

2023



TÜBİTAK

**YEŞİL BÜYÜME TEKNOLOJİ YOL HARİTASI  
GÜBRE SEKTÖRÜ TEKNOLOJİK İHTİYAÇLAR VE  
ÇÖZÜMLER**

Versiyon: 12.05.2023

Görüşlerinizi ve sorularınızı [politikalar@tubitak.gov.tr](mailto:politikalar@tubitak.gov.tr) adresine e-postayla iletebilirsiniz.

## İçindekiler

Teknolojik Hedef 1: .....	13
ORGANİK VE ORGANO-MİNERAL GÜBRE ÜRETİM TEKNOLOJİLERİ .....	13
Kritik Ürün/Teknoloji 1.1.....	14
Yenilenebilir ve yeni nesil enerji sistemlerinin organik gübre üretimindeki fermantasyon, kurutma, hijyenizasyon ve buharlaştırma proseslerinde kullanımı .....	14
Kritik Ürün/Teknoloji 1.2.....	23
Aerobik/Anaerobik Fermente gübre üretiminin yaygınlaştırılmasına yönelik teknolojilerin geliştirilmesi ve pilot gösterimlerin yapılması.....	23
Kritik Ürün/Teknoloji 1.3.....	38
Besin içeriği yüksek organo-mineral gübrelerin üretimine yönelik yenilikçi organik ve kimyasal katkıların ve proseslerin öncelikli olarak yerel kaynaklar kullanılarak tasarlanması .....	38
Kritik Ürün/Teknoloji 1.4.....	55
Biyostimulantların, öncelikli olarak yerel kaynaklardan geliştirilmesi.....	55
Teknolojik Hedef 2: .....	1
MİNERAL GÜBRE ÜRETİM SÜREÇLERİ .....	1
Kritik Ürün/Teknoloji 2.1.....	2
Kompoze gübre üretim süreçlerinde kayıpların önlenmesi ve geri kazanıma ilişkin yöntemlerin geliştirilmesi.....	2
Kritik Ürün/Teknoloji 2.2.....	14
Azotlu gübre üretim sürecinin hammadde, katalizörler açısından iyileştirilmesi, daha verimli hale getirilmesi ve azot gazı emisyonlarının düşürülmesine ilişkin teknolojilerin geliştirilmesi .....	14
Kritik Ürün/Teknoloji 2.3.....	28
Sülfürik asit üretim sürecinde döngüsel proseslerin tasarlanarak enerji-kaynak verimliliği sağlanması ve sülfür dioksit emisyonlarının azaltılmasına yönelik teknolojilerin geliştirilmesi .....	28
Kritik Ürün/Teknoloji 2.4.....	39
Fosforik asit üretim sürecinde döngüsel prosesler tasarlanarak verimlilik artışı ve emisyon azaltımı sağlanmasına yönelik teknolojilerin ve uygulamaların geliştirilmesi .....	39
Teknolojik Hedef 3: İLERİ TEKNOLOJİ GÜBRELER .....	55
Kritik Ürün/Teknoloji 3.3.....	80
Yavaş salımlı ve kontrollü salımlı gübrelerin üretilmesi ve ilgili teknolojilerinin geliştirilmesi .....	80
Teknolojik Hedef 4: GÜBRELERİN ETKİN KULLANIMI .....	88
Kritik Ürün/Teknoloji 4.1.....	89
Toprak ve bitki analizlerinin izlenmesi ve değerlendirilmesi için yeni teknolojilerin geliştirilmesi.....	89

## TÜBİTAK Yeşil Büyüme Teknoloji Yol Haritası – Gübre Sektörü, 2023

Kritik Ürün/Teknoloji 4.2.....	105
Biyosensör teknolojilerinin geliştirilmesi .....	105
EK 1. Yeşil Büyüme Teknoloji Yol Haritası Gübre Danışma Grubu Üyeleri .....	114
EK 2. Yeşil Büyüme Teknoloji Yol Haritası Gübre Sektörel Odak Grubu Katılımcı Kuruluşlar .....	115
EK 3. Çalışmanın Yürütülmesinde Görevli Uzmanlar .....	116

- 1.1. Yenilenebilir ve yeni nesil enerji sistemlerinin organik gübre üretimindeki fermentasyon, kurutma, hijyenizasyon ve buharlaştırma proseslerinde kullanım
- 1.2. Aerobik/Anaerobik fermente gübre üretiminin yaygınlaştırılmasına yönelik teknolojilerin geliştirilmesi ve pilot gösterimlerin yapılması
- 1.3. Besin içeriği yüksek organo-mineral gübrelerin üretimine yönelik yenilikçi organik ve kimyasal katkıların ve proseslerin öncelikli olarak yerel kaynaklar kullanılarak tasarlanması
- 1.4. Biyostimulantların, öncelikli olarak yerel kaynaklardan geliştirilmesi

### 1. Organik ve Organo-mineral Gübre Üretim Teknolojileri



- 2.1. Kompoze gübre üretim süreçlerinde kayıpların önlenmesi ve geri kazanıma ilişkin yöntemlerin geliştirilmesi
- 2.2. Azotlu gübre üretim sürecinin hammadde, katalizörler açısından iyileştirilmesi, daha verimli hale getirilmesi ve azot gazı emisyonlarının düşürülmesine ilişkin teknolojilerin geliştirilmesi
- 2.3. Sülfürik asit üretim sürecinde dögüsel prosesler tasarlanarak enerji-kaynak verimliliği sağlanması ve sülfür dioksit emisyonlarının azaltılmasına yönelik teknolojilerin geliştirilmesi
- 2.4. Fosforik asit üretim sürecinde dögüsel prosesler tasarlanarak verimlilik artışı ve emisyon azaltımı sağlanmasına yönelik teknolojilerin ve uygulamaların geliştirilmesi

### 2. Mineral Gübre Üretim Süreçleri



- 3.1. Gübre etkinliğini artıracak yeni nesil aktivatör, kaplama, inhibitör ve benzeri maddelerin üretimine ve uygulamalarına yönelik teknolojilerin geliştirilmesi
- 3.2. Nanogübrelerin ekonomik ve ekolojik üretimine yönelik teknolojilerin geliştirilmesi ve pilot gösterimlerin yapılması
- 3.3. Yavaş salımlı ve kontrollü salımlı gübrelerin üretilmesi ve ilgili teknolojilerinin geliştirilmesi

### 3. İleri Teknoloji Gübreler



- 4.1. Toprak ve bitki analizlerinin izlenmesi ve değerlendirilmesi için yeni teknolojilerin geliştirilmesi
- 4.2. Biyosensör teknolojilerinin geliştirilmesi

### 4. Gübrelerin Etkin Kullanımı



Şekil 1. Gübre Sektörünün Yeşil Dönüşümü için Teknolojik İhtiyaçlar ve Çözümler

TÜBİTAK Yeşil Büyüme Teknoloji Yol Haritası – Gübre Sektörü, 2023

Hedef	Kritik Ürün/Teknoloji	Araştırma, Teknoloji Geliştirme ve Yenilik Konusu	Dünyada Teknolojik Hazırlık Seviyesi	Türkiye’de Teknolojik Hazırlık Seviyesi	Zaman Tahminleri Kısa Vade: 2026’a kadar Orta Vade: 2030’a kadar Uzun Vade: 2035’e kadar
1. Organik ve Organo-mineral Gübre Üretim Teknolojileri	1.1. Yenilenebilir ve yeni nesil enerji sistemlerinin organik gübre üretimindeki fermantasyon, kurutma, hijyenizasyon ve buharlaştırma proseslerinde kullanım	a. Kurutma prosesinde gazlaştırma ile elde edilmiş sentez gazı kullanımına yönelik uygulamaların geliştirilmesi	9	7-8	2026
		b. Kurutma işlemini yenilenebilir enerji kaynaklarıyla çalışan ısıtıcılar vasıtasıyla gerçekleştirmek amacıyla sistemlerin tasarımı ve entegrasyonu	9	8-9	2030
		c. Enerji verimliliğine yönelik yeni nesil ekipmanların geliştirilmesi	9	8-9	2030
	1.2. Aerobik / Anaerobik Fermente gübre üretiminin yaygınlaştırılmasına yönelik teknolojilerin geliştirilmesi ve pilot gösterimlerin yapılması	a. Fermantasyon prosesinin verimliliği artıracak şekilde tasarlanması: Biyolojik dönüşüm ve iyileştirme proseslerinin geliştirilmesi; kullanılan hammaddelerin kalite ve standartlara uygunluğunun test edilmesi	8-9	3-4	2035

TÜBİTAK Yeşil Büyüme Teknoloji Yol Haritası – Gübre Sektörü, 2023

Hedef	Kritik Ürün/Teknoloji	Araştırma, Teknoloji Geliştirme ve Yenilik Konusu	Dünyada Teknolojik Hazırlık Seviyesi	Türkiye’de Teknolojik Hazırlık Seviyesi	Zaman Tahminleri Kısa Vade: 2026’a kadar Orta Vade: 2030’a kadar Uzun Vade: 2035’e kadar
		<p><b>b. Hızlı fermantasyon tekniklerinin mikroorganizmalar ve enzimler kullanılarak geliştirilmesi</b></p> <p><b>b1.</b> Besin değeri bakımından zengin fermente gübrelerin oluşumuna yönelik standartlara uygun <b>tek ve/veya karma mikroorganizma kültür koleksiyonlarının</b> öncelikli olarak yerel kaynaklardan oluşturulması ve geliştirilmesi</p> <p><b>b2.</b> Fermentasyon proseslerinde kullanılacak <b>enzimlerin üretiminin</b> araştırılması</p>	<p>Fermantasyonda mikroorganizma kullanımı: <b>7</b></p> <p>Fermantasyonda enzim kullanımı: <b>1</b></p>	<p>Fermantasyonda mikroorganizma kullanımı: <b>3-4</b></p> <p>Fermantasyonda enzim kullanımı: <b>1</b></p>	<b>2030</b>
		<p><b>c. Mikroalgal biyogübre üretimi:</b> Mikroalgal biyoteknoloji uygulamalarının geliştirilmesi ve gübre yönetmelikleri içinde yer alan mikroalgal biyoçeşitliliğinin araştırılması</p>	<b>8-9</b>	<b>3-4</b>	<b>2026</b>

TÜBİTAK Yeşil Büyüme Teknoloji Yol Haritası – Gübre Sektörü, 2023

Hedef	Kritik Ürün/Teknoloji	Araştırma, Teknoloji Geliştirme ve Yenilik Konusu	Dünyada Teknolojik Hazırlık Seviyesi	Türkiye’de Teknolojik Hazırlık Seviyesi	Zaman Tahminleri Kısa Vade: 2026’a kadar Orta Vade: 2030’a kadar Uzun Vade: 2035’e kadar
		<b>d.</b> Organik, organo-mineral, biyostimulant ve mikrobiyal üretiminde kullanılmak üzere <b>yerli besiyerlerin geliştirilmesi</b>	9	3-4	2035
		<b>e.</b> Bitki, insan ve hayvan atıklarından kimyasal ve biyolojik yöntemlerle <b>aminoasit üretimi</b>	9	7-9	2035
	<b>1.3. Besin içeriği yüksek organo-mineral gübrelerin</b> üretimine yönelik yenilikçi organik ve kimyasal katkıların ve proseslerin öncelikli olarak yerel kaynaklar kullanılarak tasarlanması	<b>a.</b> Ham fosfat ağırlıklı organomineral gübrelerde <b>ham fosfatın suda çözünebilir fosfor miktarını artırabilecek kimyasal ve/veya biyolojik proseslerin geliştirilmesi ve iyileştirilmesi</b>	1-2	1-2	2030
<b>b.</b> Depo ömrünü artırmaya ve kullanımını kolaylaştırmaya yönelik <b>granül kalitesini yükseltecek proseslerin geliştirilmesi</b>		1-2	1-2	2030	
<b>c.</b> <b>Piroliz ürünlerinin organo-mineral gübre üretiminde kullanılmasına</b> yönelik yenilikçi proseslerin geliştirilmesi		4-5	3-4	2030	

TÜBİTAK Yeşil Büyüme Teknoloji Yol Haritası – Gübre Sektörü, 2023

Hedef	Kritik Ürün/Teknoloji	Araştırma, Teknoloji Geliştirme ve Yenilik Konusu	Dünyada Teknolojik Hazırlık Seviyesi	Türkiye’de Teknolojik Hazırlık Seviyesi	Zaman Tahminleri Kısa Vade: 2026’a kadar Orta Vade: 2030’a kadar Uzun Vade: 2035’e kadar
	<b>1.4. Biyostimulantların,</b> öncelikli olarak yerel kaynaklardan geliştirilmesi	<b>a. Bitki gelişimini iyileştiren, adaptasyonu artıran, bitkisel ve çevresel stresler ile hastalık ve zararlılara karşı koruyan</b> biyostimulant ürün ya da formülasyonların geliştirilmesi	7-9	7-9	2035
		<b>b. Toprak verimliliğinin ve mikrobiyom çeşitliliğinin iyileştirilmesi için</b> biyostimulantların geliştirilmesi	7-9	7-9	2035
		<b>c. İndüklenmiş bakteriyel gübreler, metabolit, enzim ve bitki gelişim düzenleyici üretiminde genetik modifiye bakteri kullanım olanaklarının</b> araştırılması	7-9	7-9	2035
<b>2. Mineral Gübre Süreçleri</b>	<b>2.1.Kompoze gübre üretim süreçlerinde</b> kayıpların önlenmesi ve geri kazanıma ilişkin yöntemlerin geliştirilmesi	<b>a. Isıtma, kurutma gibi proseslerde enerji verimliliğine yönelik yenilikçi teknolojilerin</b> geliştirilmesi	5-6	3-4	2030
		<b>b. Geri dönüştürülmüş ve geri kazanılmış suyun</b> kullanıma	5-6	2-3	2030



TÜBİTAK Yeşil Büyüme Teknoloji Yol Haritası – Gübre Sektörü, 2023

Hedef	Kritik Ürün/Teknoloji	Araştırma, Teknoloji Geliştirme ve Yenilik Konusu	Dünyada Teknolojik Hazırlık Seviyesi	Türkiye’de Teknolojik Hazırlık Seviyesi	Zaman Tahminleri Kısa Vade: 2026’a kadar Orta Vade: 2030’a kadar Uzun Vade: 2035’e kadar
		yönelik yenilikçi teknolojilerin geliştirilmesi			
		<b>c. Yenilikçi su soğutma teknolojilerinin geliştirilmesi</b>	<b>6-7</b>	<b>4</b>	<b>2030</b>
		<b>d. Proses emisyon kayıplarının azaltılarak proseste geri dönüştürülmesine yönelik teknolojiler geliştirilmesi</b>	<b>7-9</b>	<b>2-3</b>	<b>2030</b>
	<b>2.2. Azotlu gübre üretim sürecinin</b> hammadde, katalizörler açısından iyileştirilmesi, daha verimli hale getirilmesi ve azot gazı emisyonlarının düşürülmesine ilişkin teknolojilerin geliştirilmesi	<b>a. Azotlu gübre ve hammaddelerinin üretimine yönelik yeni nesil katalizörler geliştirilmesi</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>2030</b>
<b>b. Azotlu gübre üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına yönelik teknolojilerin geliştirilmesi</b>		<b>4</b>	<b>3</b>	<b>2030</b>	
<b>c. Azot oksit emisyonlarını azaltmaya yönelik Mevcut En İyi Tekniklerin (Best Available Techniques – BAT) uygulamalarına</b>		<b>6</b>	<b>4</b>	<b>2035</b>	

TÜBİTAK Yeşil Büyüme Teknoloji Yol Haritası – Gübre Sektörü, 2023

Hedef	Kritik Ürün/Teknoloji	Araştırma, Teknoloji Geliştirme ve Yenilik Konusu	Dünyada Teknolojik Hazırlık Seviyesi	Türkiye’de Teknolojik Hazırlık Seviyesi	Zaman Tahminleri Kısa Vade: 2026’a kadar Orta Vade: 2030’a kadar Uzun Vade: 2035’e kadar
		yönelik yeni teknolojilerin geliştirilmesi			
		<b>d. Sıvılaştırılmış amonyağın doğrudan gübre olarak kullanımını yaygınlaştırmaya yönelik teknolojiler geliştirilmesi</b>			<b>2030</b>
	<b>2.3. Sülfürik asit üretim sürecinde dögüsel proseslerin tasarlanarak enerji-kaynak verimliliği sağlanması ve sülfür dioksit emisyonlarının azaltılmasına yönelik teknolojilerin geliştirilmesi</b>	<b>a. Proses sırasında çıkan sıcak kondens, sülfürik asit gibi ürünlerin sahip olduğu ısının alternatif enerji kaynağı olarak sisteme dönüşünün sağlanmasına yönelik teknolojilerin geliştirilmesi</b>	<b>8-9</b>	<b>8-9</b>	<b>2026</b>
<b>b. Sülfürik asit üretim süreçlerinde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ve enerji tasarrufuna yönelik teknolojilerin geliştirilmesi</b>		<b>4-5</b>	<b>3-4</b>	<b>2035</b>	
<b>c. Baca gazlarının artırılması ve geri dönüşebilecek gazların kazanımına yönelik teknolojilerin geliştirilmesi</b>		<b>8-9</b>	<b>8-9</b>	<b>2026</b>	

TÜBİTAK Yeşil Büyüme Teknoloji Yol Haritası – Gübre Sektörü, 2023

Hedef	Kritik Ürün/Teknoloji	Araştırma, Teknoloji Geliştirme ve Yenilik Konusu	Dünyada Teknolojik Hazırlık Seviyesi	Türkiye’de Teknolojik Hazırlık Seviyesi	Zaman Tahminleri Kısa Vade: 2026’a kadar Orta Vade: 2030’a kadar Uzun Vade: 2035’e kadar
	<b>2.4. Fosforik asit üretim sürecinde döngüsel prosesler tasarlanarak verimlilik artışı ve emisyon azaltımı</b> sağlanmasına yönelik teknolojilerin ve uygulamaların geliştirilmesi	<b>a. Katı/sıvı/gaz atıkların azaltılması ve geri kazanımına</b> yönelik teknolojilerin geliştirilmesi	8-9	3-4	2030
		<b>b. Fosforik asit üretiminde bir yan ürün olarak açığa çıkan fosfojipsin, döngüsel ekonomiye geri kazandırılması</b> yönünde yeni proseslerin geliştirilmesi ve/veya pilot gösterimlerinin yapılması	8-9	4-5	2030
<b>3. İleri Teknoloji Gübreler</b>	<b>3.1. Gübre etkinliğini artıracak yeni nesil aktivatör, kaplama, inhibitör ve benzeri maddelerin üretimine</b> ve uygulamalarına yönelik teknolojilerin geliştirilmesi	<b>a. Bu kapsamda kullanılacak olan girdilerin öncelikli olarak yerel kaynaklarla ve/veya yerli üretim ile</b> üretilme olanaklarının araştırılması	8-9	7-8	2035
	<b>3.2. Nanogübrelerin ekonomik ve ekolojik üretimine yönelik teknolojilerin geliştirilmesi ve pilot</b>	<b>a. Nanogübre üretiminde kimyasal yöntemler yanında alternatif yöntemlerin (yeşil sentez gibi) kullanılmasına</b> yönelik teknolojilerin geliştirilmesi	8-9	3-4	2026

TÜBİTAK Yeşil Büyüme Teknoloji Yol Haritası – Gübre Sektörü, 2023

Hedef	Kritik Ürün/Teknoloji	Araştırma, Teknoloji Geliştirme ve Yenilik Konusu	Dünyada Teknolojik Hazırlık Seviyesi	Türkiye’de Teknolojik Hazırlık Seviyesi	Zaman Tahminleri Kısa Vade: 2026’a kadar Orta Vade: 2030’a kadar Uzun Vade: 2035’e kadar
	gösterimlerin yapılması	<b>b.</b> Nanogübrelerin ekosistemdeki olası <b>olumsuz etkilerinin belirlenmesi ve giderilmesine</b> yönelik teknolojilerin geliştirilmesi	<b>1-2</b>	<b>1-2</b>	<b>2026</b>
	<b>3.3. Yavaş salımlı ve kontrollü salımlı gübrelerin</b> üretilmesi ve ilgili teknolojilerinin geliştirilmesi	<b>a.</b> Kontrollü ve yavaş salım sağlayacak maddelerin <b>çevre dostu alternatiflerinin</b> geliştirilmesi	<b>9</b>	<b>9</b>	<b>2030</b>
<b>4. Gübrelerin Etkin Kullanımı</b>	<b>4.1. Toprak ve bitki analizlerinin</b> izlenmesi ve değerlendirilmesi için yeni teknolojilerin geliştirilmesi	<b>a.</b> Toprak kalitesi, besin ihtiyacı ve bitkinin beslenme durumunun tespitine yönelik sensör veya biyosensörlerin geliştirilmesi	<b>9</b>	<b>9</b>	<b>2030</b>
	<b>4.2. Biyosensör teknolojilerinin</b> geliştirilmesi	<b>a.</b> Elektro-kimyasal biyosensörler, fiziksel biyosensörler, optik biyosensörler, giyilebilir biyosensörler, nanosensörler vb. üretiminin ve kullanımının yaygınlaştırılmasına yönelik teknolojilerin geliştirilmesi	<b>6-7</b>	<b>4-5</b>	<b>2030</b>

**Teknolojik Hedef 1:**

**ORGANİK VE ORGANO-MİNERAL GÜBRE ÜRETİM TEKNOLOJİLERİ**

**Tarım, gıda ve diğer sektörlerin organik atıklarından zengin içerikli organik/organo-mineral gübrelerin üretilmesine ilişkin yöntemlerin ve teknolojilerin geliştirilmesi, yaygınlaştırılması**

### **Kritik Ürün/Teknoloji 1.1.**

**Yenilenebilir ve yeni nesil enerji sistemlerinin organik gübre üretimindeki fermantasyon, kurutma, hijyenizasyon ve buharlaştırma proseslerinde kullanımı**

### **Öncelikli Ar-Ge ve Yenilik Konuları**

**1.1.a. Kurutma prosesinde gazlaştırma ile elde edilmiş sentez gazı kullanımına yönelik uygulamaların geliştirilmesi**

**1.1.b. Kurutma işlemini yenilenebilir enerji kaynaklarıyla çalışan ısıtıcılar vasıtasıyla gerçekleştirmek amacıyla sistemlerin tasarımı ve entegrasyonu**

**1.1.c. Enerji verimliliğine yönelik yeni nesil ekipmanların geliştirilmesi**

### **A. Teknik Açıklamalar, Yenilikçi Özellikler, Hedeflenen Performans ve Metrikler**

Dünya çapında çeşitli kuruluşlar iklim değişimlerine dikkat çekmek için çeşitli faaliyetlerde bulunarak havadaki sera gazı miktarının azaltılması gerektiğini belirtmektedirler (Tijen and Çobanoğlu, 2019). Bu bağlamda sera gazı emisyonunu düşürmek için yenilenebilir ve yeni nesil enerji sistemlerinin tüm endüstriyel proseslerde uygulanması gerekmektedir (Bırol and Bilgici, 2021). Paris Anlaşmasının gereği ve Türkiye için öncelikli sektör olarak seçilen gübre için yenilenebilir enerjinin uygulanması öncelikli alan olarak belirtilmiştir. Fosil yakıtlarla kıyaslandığında yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen enerjinin çevreye yaymış olduğu karbon emisyonu düşük seviyelerdedir (Çoban, 2015).

Ekonomik büyümeyle ilişkilendirilen önemli faktörlerden biri de enerji olarak kullanılan elektrik tüketimidir (Aydın, 2010). Ancak çoğunlukla doğalgaz, linyit kömürü gibi fosil yakıtlardan elde edilen elektrik tüketimiyle atmosfere salınan CO<sub>2</sub> miktarı fazladır (Dulkadiroğlu, 2018). Bu nedenle ekonomik büyümeyle birlikte CO<sub>2</sub> emisyonunun azaltılması ve sıfırlanması günümüz enerji politikalarının temelini oluşturmaktadır (T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği

Bakanlığı, 2021). Gübre üretimindeki fermantasyon, kurutma, hijyenizasyon ve buharlaştırma proseslerinde kullanılan enerjinin yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanmasıyla karbon salımının azaltılması önem arz etmektedir. Bu nedenle, ülkemizde ucuz ve temiz enerji elde edilmesine ve bu enerjinin gübre üretim süreçlerine dahil edilmesine imkan sağlayacak teknolojilerin geliştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

Artan elektrik tüketimi dünyada küresel ısınmaya neden olmuştur. Organik gübre üretimindeki fermantasyon, kurutma, hijyenizasyon ve buharlaştırma işlemlerinde enerji kaynağı olarak fosil yakıtların kullanımı hem atmosfere aşırı miktarda CO<sub>2</sub> salımına neden olmuş hem de ülkemiz enerji konusunda dışarıya bağımlı kılmıştır.

### **ÖNCELİKLİ AR-GE VE YENİLİK KONULARI**

#### **1.1.a. Kurutma prosesinde gazlaştırma ile elde edilmiş sentez gazı kullanımına yönelik uygulamaların geliştirilmesi**

Sentez gazı, kömür, petrol, biyokütle veya atık organik maddelerin gazlaştırılmasıyla elde edilen gazdır (Öztürk, 2019). Başta hidrojen ve CO olmak üzere CO<sub>2</sub>, metan gibi bileşenleri içeren yakıt gazı karışımı olan sentez gazı elektrik üretiminde veya sentetik dizel, dimetil eter ve metanol gibi sıvı yakıtların üretiminde fosil yakıtlara alternatif olarak kullanılabilir (Tolay ve ark., 2009). Bu amaçla üretilen sentez gazı temizlendikten sonra kazanlarda, motorlarda, türbinlerde ısı ve güç üretmek üzere organik gübrenin kurutulması aşamasında enerji kaynağı olarak kullanılması önemlidir (Mutlu ve ark., 2019).

Mevcut durumda sentez gazı kullanılmamaktadır. Tarımsal atıkların yakılarak bertaraf edilmesi çevre sorunları oluşturduğundan yakma yerine gazlaştırılmalarıyla elde edilecek gazın doğal gazı ikame etme potansiyeli yüksektir (Kükreç, 2015). Biyokütleden gazlaştırma ile elde edilen temizlenmiş gaz yakıt, ısı ve buhar üreten kazanlarda direk yakılarak veya Stirling motorlarda %20–30 verimlilikte elektrik üretimi için kullanılabilir. Basınçlı gazlaştırma türbinlerinde ise %40 veya daha fazla verimlilikte elektrik üretimi yapılabilir (Mutlu ve ark., 2019).

Sentez gazı olarak açığa çıkan gazın çevreye salınımı önemli düzeyde çevre kirliliğine neden olmaktadır. Gazlaştırma işlemi sonucunda elde edilen sentez gazında, yakıtların yapısında bulunan azotun yaklaşık %60-90'ı amonyak gazına (NH<sub>3</sub>) dönüşmektedir. Entegre Gazlaştırma Kombine Çevrim (IGCC) sistemlerinde yapay gazların yakılması NO<sub>x</sub> emisyonları şeklinde çevre sorunları oluşturmaktadır (Çetin, 2017).

Gazlaştırıcıdan çıkan işlenmemiş ham gaz; katran, biyokütle tozu, gazlaşma sıvısı ve diğer saflığı bozan maddeler içermesi nedeniyle, sentezlenen gazın ısı/güç üretim ünitelerinde kullanılmadan önce bu kirleticilerden arıtılması gazlaştırma prosesinin uzun süre etkili olması için önemlidir (Mutlu ve ark., 2019). Ayrıca sentez gazında bulunan partiküllerin de

uzaklaştırılarak temiz sentez gazı elde edilmesi hedeflenmesi gereken yenilikçi özelliklerden birisidir. Böylece bu üretilen ürünle yenilenebilir enerji üretimi, çevre açısından sorunlu atıkların faydalı yakıtlara dönüştürülmesi, karbon emisyonlarının azaltımı ve çevre kirliliğine neden olan bu gazın temizlenerek alternatif enerji kaynağı olarak kullanılmasına yönelik yeni nesil teknolojilerin geliştirilmesi hedefleri öncelikli konular arasındadır.

### **1.1.b. Kurutma işlemini yenilenebilir enerji kaynaklarıyla çalışan ısıtıcılar vasıtasıyla gerçekleştirmek amacıyla sistemlerin tasarımı ve entegrasyonu**

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına uygun ısıtıcılar, organik gübre içeriğinde bulunan nemin düşürülerek arzu edilen düzeye indirilmesi amacıyla kullanılan ısıtıcıları kapsamaktadır. Yenilenebilir ısı teknolojileri; yenilenebilir biyoyakıtları, güneş enerjisiyle ısıtmayı, jeotermal ısıtmayı, ısı pompalarını ve ısı eşanjörlerini içermektedir (Şevik ve ark., 2011; Topalci ve ark., 2020).

Mevcut ısıtıcıların; sınırlı, ekonomik olmayan ve CO<sub>2</sub> salımının direkt veya indirekt olarak fazla olmasıdır.

Günümüzde organik gübrenin kurutulması işleminde kullanılan ısıtıcıların doğalgaz veya elektrikle çalıştırılıyor olması ve CO<sub>2</sub> salımına neden olmasının yanında bu enerji kaynaklarının sınırlı ve yüksek maliyetli olması önemli bir problemdir.

Organik gübrenin kurutulmasını yenilenebilir enerji kaynakları ile çalışan ısıtıcılar vasıtasıyla gerçekleştirmek amacıyla geliştirilen sistemlerin enerji verimlerinin yüksek olması, ekonomik olması, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına uygun olmaları ve kurutma işlemi sırasında gübrenin fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini bozmaması hedeflenmesi gereken yenilikçi özellikler olarak sıralanabilir.

### **1.1.c. Enerji verimliliğine yönelik yeni nesil ekipmanların geliştirilmesi**

Enerji verimliliği yüksek yeni nesil ekipman, organik gübre üretiminde kullanılan elektrik miktarını azaltmak için daha az enerji yoğun teknolojiler kullanan ekipmanların geliştirilmesini kapsamaktadır. En ucuz enerji ihtiyaç kadar kullanılan ve tasarruf edilen enerjidir (Kuru ve Özer, 2016).

Enerji verimliliğinin iyileştirilmesine katkıda bulunan özellikler, tasarım ve enerji verimliliği ile ilgili çok sayıda yayın bulunmaktadır. Temel olarak enerji kullanımında enerji kayıplarının önlenmesi ve enerjinin daha etkin kullanılmasını esas alan yapı ve araçların kullanılması esas alınmaktadır. Ayrıca enerji verimliliğine yönelik sürdürülebilir enerji kullanımı ve enerji verimli tasarımlar yer almaktadır.



Organik gübre üretim süreçlerinde kullanılan ekipmanların enerji verimliliklerinin düşük olması ayrıca kullanılan ekipmanların yenilenebilir enerji kaynaklarıyla daha az uyumlu olması organik gübre üretimi maliyetlerinin yüksek olmasına ve çevre kirliliğine neden olmaktadır.

Her yerde ve her zaman öncelik taşıması nedeni ile enerji verimliliği teknolojik ilerlemelerin geleceğe dönük enerji planlaması ve verimlilik hassasiyeti bakımından çok önemlidir (Şenol, 2020). Fosil yakıt kaynaklarının her geçen gün azaldığı dünya genelinde, sınırsız kaynak olarak nitelendirilebilecek yenilenebilir enerji kullanımının daha yaygın hale getirilmesiyle; organik gübre üretim süreçlerinde kullanılan ekipmanların modernize edilerek geçmişe nazaran daha ekonomik modellerin geliştirilmesi önemlidir. Enerji verimi yüksek ve daha ekonomik olacak ekipman, yapı ve araç-gereç geliştirilmesi hedeflenmektedir.

## **B. Dünyada ve Türkiye’de Teknolojik Hazırlık Seviyeleri**

### **1.1.a. Kurutma prosesinde gazlaştırma ile elde edilmiş sentez gazı kullanımına yönelik uygulamaların geliştirilmesi**

Dünyada THS düzeyi 9, Türkiye’de THS düzeyi 7-8 olarak belirlenmiştir.

### **1.1.b. Kurutma işlemini yenilenebilir enerji kaynaklarıyla çalışan ısıtıcılar vasıtasıyla gerçekleştirmek amacıyla sistemlerin tasarımı ve entegrasyonu**

Dünyada THS düzeyi 9, Türkiye’de THS düzeyi 8-9 olarak belirlenmiştir.

### **1.1.c. Enerji verimliliğine yönelik yeni ekipmanların geliştirilmesi**

Dünyada THS düzeyi 9, Türkiye’de THS düzeyi 8-9 olarak belirlenmiştir.

## **C. Dünyada ve Türkiye’deki Mevcut Duruma İlişkin Başarılı Örnekler**

### **1.1.a. Kurutma prosesinde gazlaştırma ile elde edilmiş sentez gazı kullanımına yönelik uygulamaların geliştirilmesi**

Örneğin, Alman Lurgi-Envirotherm GmbH lisansı ile BGL yöntemi ile çevre dostu prosestir. Üretilen syngaz sadece elektrik üretiminde değil metanol, dizel yakıtı, uçak yakıtı ve diğer kimyasal madde üretiminde kullanılabilir.

EBARA-fluidized bed gasification technology (EBARA - akışkan yataklı gazlaştırma teknolojisi (Japonya), KOPF SynGas GmbH & Co. KG (Almanya) Alman Lurgi-Envirotherm GmbH lisansı ile BGL yöntemi ile çevre dostu prosestir.

### **1.1.b. Kurutma işlemini yenilenebilir enerji kaynaklarıyla çalışan ısıtıcılar vasıtasıyla gerçekleştirmek amacıyla sistemlerin tasarımı ve entegrasyonu**

Elektrik üretiminin yanı sıra metanol sentezinde ve yakıt hücrelerinde kullanılmak üzere  $H_2$  üretiminde de kullanılan birleşik gazlaştırma kombine güç santrali (IGCC) verimli bir yöntemdir. Ayrıca  $CO_2$  yakalama özelliği vardır. IGCC 1990'larda ticari olarak kullanılmaya başlanmıştır. IGCC güç santrali hammadde olarak sentez gazını kullanır. Sentez gazı bir gazlaştırma biriminde üretildiği için 'birleşik santral' adını almıştır. Sentez gazı atık ısı bir buhar türbini sistemine veya bir gaz türbini jeneratörüne güç sağlamak için kullanılır. Gazlaştırma prosesinin ürettiği ısı, buhar atık ısı kazanlarında değerlendirilir. Buradan elde edilen buhar, buhar türbinlerinde kullanılır. Kombine çevrim güç santrali (CCPP) ya da kombine çevrim gaz türbini (CCGT) santralinde bir gaz-türbin jeneratörü elektrik üretir. Atık ısıdan ise buhar türbini aracılığıyla fazladan elektrik üretilir. Bu adımla elektrik üretim verimliliği sağlanır.

Dünyanın en büyük enerji şirketleri Enel, Iberdrola, NextEra Energy ve Orsted arasında gösterilmektedir. China Energy Brookfield Renewable Partners (portföyünde 7900 MW'lık hidroelektrik ve 4700 MW'lık rüzgâr enerjisi kapasitesine sahip).

### **1.1.c. Enerji verimliliğine yönelik yeni nesil ekipmanların geliştirilmesi**

Evsel ve endüstriyel atıklarında kullanıldığı gibi biyokütle gazlaştırılırken edilirken elektrik ve ısı enerjisi üretildiği çevre dostu gazlaştırma tesisleri akışkan yatak teknolojisi ile yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunlara en güzel örnekler İtalya, İsviçre, Japonya, Almanya, A.B.D. gibi ülkelerde kullanılan sistemlerdir. Almanya, Güney Afrika, ABD'de Lurgi/BGL Gazlaştırıcısı, İtalya'da Greve in Chianti bölgesinde 1992 yılından beri çalıştırılan katı atık akışkan yataklı gazlaştırıcısı ve özellikle ABD'de ve dünyanın diğer bölgelerinde 35 ayrı tesiste çalışan PRME biyo kütle gazlaştırıcısı örnek olarak gösterilebilir.

## **D. Ar-Ge ve Yenilik Sürecinde Bir Araya Gelmesi Gereken Disiplinler ve Sektörler**

### **1.1.a. Kurutma prosesinde gazlaştırma ile elde edilmiş sentez gazı kullanımına yönelik uygulamaların geliştirilmesi**

Kimya ve makina mühendisliği, elektrik- elektronik, enerji alanında yetkin personeller. Organik gübre üretimini gerçekleştiren KOBİ'ler, konuyla ilgili çalışan Teknopark firmaları belirlenen kritik ürün ve teknolojilerin gerçekleştirilebilmesi için bir arada bulunması gerekmektedir.

Üniversite, Kamu kuruluşları, KOBİ'ler, petrokimya, enerji endüstrileri belirlenen kritik ürün ve teknolojilerin gerçekleştirilebilmesi için bir arada çalışması gerekmektedir.

Kimya, elektrik- elektronik ve makina mühendislerinden akademik destek ve KOBİ ve sanayii kuruluşlarından üretimle ilgili destek alınması gerekmektedir.

### **1.1.b. Kurutma işlemini yenilenebilir enerji kaynaklarıyla çalışan ısıtıcılar vasıtasıyla gerçekleştirmek amacıyla sistemlerin tasarımı ve entegrasyonu**

Makine, enerji ve proses mühendisliği, ilgili KOBİ'ler, teknopark firmaları belirlenen kritik ürün ve teknolojilerin gerçekleştirilebilmesi için bir arada bulunması gerekmektedir.

Üniversite, Kamu kuruluşları, KOBİ'ler, petrokimya, enerji endüstrileri belirlenen kritik ürün ve teknolojilerin gerçekleştirilebilmesi için bir arada çalışması gerekmektedir.

Makine mühendislerinden akademik destek, KOBİ ve sanayii kuruluşlarından üretimle ilgili destek alınması gerekmektedir.

### **1.1.c. Enerji verimliliğine yönelik yeni nesil ekipmanların geliştirilmesi**

Elektrik-elektronik mühendisliği, makine mühendisliği, ilgili KOBİ'ler ve teknopark firmaları belirlenen kritik ürün ve teknolojilerin gerçekleştirilebilmesi için bir arada bulunması gerekmektedir.

Üniversite, Kamu kuruluşları, KOBİ'ler ile üretim ve imalat sektörü belirlenen kritik ürün ve teknolojilerin gerçekleştirilebilmesi için bir arada çalışması gerekmektedir.

Elektrik-elektronik mühendisliği, makine mühendisliğinden akademik destek; KOBİ ve enerji üretimi ve kullanımının olduğu sanayii kuruluşlarından üretimle ilgili destek alınması gerekmektedir.

## **E. Ar-Ge , Yenilik, Demonstrasyon İşbirliği Modeli ve Destek Mekanizması**

### **1.1.a. Kurutma prosesinde gazlaştırma ile elde edilmiş sentez gazı kullanımına yönelik uygulamaların geliştirilmesi**

Devlet eliyle açılmış çağrılar yolu ile enerji üretiminin olduğu imalat sektöründe bulunan KOBİ'ler ve Üniversiteler birlikte ortak Ar-Ge projeleriyle bir araya gelip çalışmalarını gerekmektedir.

Gerçekleştirilecek çalışmalar eşgüdüm içinde yapılacak proje şeklinde desteklenmelidir.

### **1.1.b. Kurutma işlemini yenilenebilir enerji kaynaklarıyla çalışan ısıtıcılar vasıtasıyla gerçekleştirmek amacıyla sistemlerin tasarımı ve entegrasyonu**

Devlet eliyle açılmış çağrılar yolu ile enerji üretiminin olduğu imalat sektöründe bulunan KOBİ'ler ve Üniversiteler birlikte ortak Ar-Ge projeleriyle bir araya gelip çalışmalarını gerekmektedir.

Belirtilen kuruluşlar eşgüdüm içinde yapılacak proje şeklinde desteklenmelidir.

### **1.1.c. Enerji verimliliğine yönelik yeni nesil ekipmanların geliştirilmesi**

Devlet eliyle açılmış çağrılar yolu ile enerji üretiminin olduğu imalat sektöründe bulunan KOBİ'ler ve Üniversiteler birlikte ortak Ar-Ge projeleriyle bir araya gelip çalışmaları gerekmektedir.

Belirtilen kuruluşlar eşgüdüm içinde yapılacak proje şeklinde desteklenmelidir.

## **F. Zaman ve Bütçe Tahminleri**

### **1.1.a. Kurutma prosesinde gazlaştırma ile elde edilmiş sentez gazı kullanımına yönelik uygulamaların geliştirilmesi**

Belirlenen Ar-Ge niteliğindeki bir ürün için en az 2 yıl, inovasyon niteliğindeki bir ürün için 5 yıl zaman gerekmektedir.

Kritik bir ürün için 2 yıl, çok kritik bir ürün için 5 yıllık bir vade hedeflenmelidir.

Ar-Ge projeleri için 3-5 milyon TL bütçe ayrılmalıdır.

### **1.1.b. Kurutma işlemini yenilenebilir enerji kaynaklarıyla çalışan ısıtıcılar vasıtasıyla gerçekleştirmek amacıyla sistemlerin tasarımı ve entegrasyonu**

Belirlenen Ar-Ge ve yenilik konusunun gerçekleştirilmesi için minimum 2 yıl zaman gerekmektedir.

Belirlenen Ar-Ge ve yenilik konusunun gerçekleştirilmesi kısa ve orta vadede (2-3 yıl) hedeflenmelidir.

Ar-Ge projeleri için 2-3 milyon TL bütçe ayrılmalıdır.

### **1.1.c. Enerji verimliliğine yönelik yeni nesil ekipmanların geliştirilmesi**

Belirlenen Ar-Ge ve yenilik konusunun gerçekleştirilmesi için minimum 2 yıl zaman gerekmektedir.

Belirlenen Ar-Ge ve yenilik konusunun gerçekleştirilmesi için orta vade (3-4 yıl) hedeflenmelidir.

Ar-Ge projeleri için 5-10 milyon TL bütçe ayrılmalıdır.

## **G. Teknolojik İlerlemenin Sağlanmasında Kritik Hususlar**

Belirlenen konularla ilgili Ar-Ge projelerinin yapılması için devlet eliyle gerekli yayım, tanıtım ve reklam yapılarak ilgili platformların bu yönde teşvik edilmesi gerekmektedir.

5346 sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarına (YEK) İlişkin Politikalar Kanunu. Bu kanun baz alınarak tüm yenilenebilir enerji kaynaklarımızın kullanımı amacıyla ilgili politikalar belirlenmiştir. Bunlar Teşvik çerçevesinde geliştirilebilir.

2 Mayıs 2007 tarihinde 26510 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren 5627 sayılı Enerji Verimliliği Kanunu bugüne kadar eksik olan politik desteğin en üst düzeyde verilmesi ve bütüncül yaklaşım anlamında çok olumlu bir girişim örneğidir.

### **Teknik Altyapılar**

Üniversite ve sanayide bu alanlarda desteklenecek Ar-Ge projelerin yapılması ve üretim süreçlerinin gerçekleştirilmesi için gerekli yeterli altyapı olsa da gelişen teknolojiye göre alt yapı artırılabilir. Süreç iyileştirmesi için enstrümantasyon geliştirilmesi gerekmektedir. Ayrıca bu konuda olası riskler belirlenmeli ve bunların giderilmesi için gerekli adımlar atılmalıdır.

### **İnsan Kaynakları**

Üniversite ve sanayide bu alanlarda Ar-Ge projeleri yapacak yetkinliğe sahip insan kaynağı olmakla birlikte, teknolojik gelişme de göz önüne alınarak imalat sanayinde daha fazla nitelikli personelin bulunmasının sağlanması, bu özellikteki kişilerin teşvik edilmesi gerekir. Ayrıca uluslararası ortak çalışmaların yapılması da teşvik edilmelidir.

### **Destek ve Teşvikler**

Beklenen hedeflerin gerçekleştirilmesi için sanayicinin altyapı desteklerinin verilmesi, vergi muafiyetleri, üretim destekleri ve tescil alma süreçlerinin hızlandırılması şeklinde desteklenmeli. Üniversite personelinin teknoparklar aracılığıyla imalat sektöründe değerlendirilmesi ve büyük ölçekli üretimde tecrübe kazandırılması teşvik edilmelidir.

### **Kaynaklar:**

- Aydin, F. (2010). Enerji tüketimi ve ekonomik büyüme. *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, (35), 317-340.
- Biröl, U. B. A. Y., & BİLGİCİ, Y. 2021. Karbon Fiyatlandırmasında Emisyon Ticaret Sistemi ve Önemi. *Kırklareli Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 10(1), 47-72.
- Çetin, Y. *Sıcak Yapay Gazdan Katalitik Amonyak Giderimi* (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Çoban, O. (2015). Yenilenebilir enerji tüketimi karbon ve emisyonu ilişkisi: TR örneği. *Erciyes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 1(38), 195-208.
- Dulkadiroğlu, H. (2018). Türkiye’de elektrik üretiminin sera gazı emisyonları açısından incelenmesi. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7(1), 67-74.

- Kuru E, Özer Y. (2016). Bina Enerji Analiz Yazılımlarının HVAC Sistemlerindeki Hatalarını Azaltmak Ve Gerçek Zamanlı Verimlilik Hesabı İçin Geri Besleme Sistemi Geliştirilmesi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 4(1), 305-316.
- Kükreler, B. (2015). *Hidrojen enerjisinin gelişme potansiyeli ve Türkiye ekonomisi açısından değerlendirilmesi*. (Doktora tezi, Anadolu Üniversitesi (Türkiye)).
- Mert, M. S., Merve, S. E. R. T., Özkara, G., & Yüksel, F. 2017. Biyokütleden Sentez Gazı Eldesinde Kullanılan Gaz Filtrelerinin ve Filtreleme Yöntemlerinin Değerlendirilmesi. *Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2(2), 23-38.
- Mutlu, N., Tolay, M., Karaca, C., & Öztürk, H. H. 2019. Biyokütle Gazlaştırma Teknolojisindeki Gelişmeler. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 15(2), 53-59.
- Öztürk, S. (2019). Sentez Gazı Yanması ve Çevre Kirleticiler. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 34(1), 129-138.
- Şenol, S. (2020). Gemi Kökenli Emisyonlara Dayalı Alternatif Sevk Sistemleri. *Gidb Dergi*, (18).
- Şevik, S., Doğan, H., & Aktaş, M. (2011). Güneş Enerjisi ve Isı Pompası Destekli Isıtma-Kurutma Sisteminin Modellenmesi. *Politeknik Dergisi*, 14(1), 85-91.
- T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2021). Paris Anlaşması. Erişim: 30.10.2021, <https://iklim.csb.gov.tr/paris-anlasmasi-i-98587>.
- Tijen, İ. G. C. İ., & Çobanoğlu, N. (2019). İklim değişikliğinin ve iklim değişikliğiyle ilgili küresel anlaşmaların çevre etiği bakımından değerlendirilmesi. *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 7(2), 130-146.
- Tolay, M., Vostan, P., & Waterschoot, A. 2009. Kati Yakıtların Gazlaştırılmasıyla Hidrojen Üretimi. Iv. Ulusal Hidrojen Enerjisi Kongresi,
- Topalci, Ü., Gürbüz, H., Akçay, H., & Demirtürk, S. (2020). Buji Ateşlemeli Bir Motorda Egzoz Atık Isı Geri Kazanımı İçin Termoelektrik Jeneratör Modelinin Geliştirilmesi. *Mühendislik Bilimleri Ve Tasarım Dergisi*, 8(2), 582-596.

## **Kritik Ürün/Teknoloji 1.2.**

**Aerobik/Anaerobik Fermente gübre üretiminin yaygınlaştırılmasına yönelik teknolojilerin geliştirilmesi ve pilot gösterimlerin yapılması**

### **Öncelikli Ar-Ge ve Yenilik Konuları**

**1.2.a. Fermantasyon prosesinin verimliliği artıracak şekilde tasarlanması: Biyolojik dönüşüm ve iyileştirme proseslerinin geliştirilmesi; kullanılan hammaddelerin kalite ve standartlara uygunluğunun test edilmesi**

**1.2.b. Hızlı fermantasyon tekniklerinin mikroorganizmalar ve enzimler kullanılarak geliştirilmesi**

**1.2.b1. Besin değeri bakımından zengin fermente gübrelerin oluşumuna yönelik standartlara uygun tek ve/veya karma mikroorganizma kültür koleksiyonlarının öncelikli olarak yerel kaynaklardan oluşturulması ve geliştirilmesi**

**1.2.b2. Fermantasyon proseslerinde kullanılacak enzimlerin üretiminin araştırılması**

**1.2.c. Mikroalgal biyogübre üretimi: Mikroalgal biyoteknoloji uygulamalarının geliştirilmesi ve gübre yönetmelikleri içinde yer alan mikroalgal biyoçeşitliliğinin araştırılması**

**1.2.d. Organik, organo-mineral, biyostimulant ve mikrobiyal üretiminde kullanılmak üzere yerli besiyerlerin geliştirilmesi**

**1.2.e. Bitki, insan ve hayvan atıklarından kimyasal ve biyolojik yöntemlerle aminoasit üretimi**

## **A. Teknik Açıklamalar, Yenilikçi Özellikler, Hedeflenen Performans ve Metrikler**

Fermente gübre kısmen ayrışmış organik madde, mikrobiyal biyokütle ve inorganik maddelerin karışımından oluşmaktadır (Albuquerque ve ark., 2012). Fermente gübreler aerobik/anaerobik olmak üzere iki temel yöntemle üretilmekte olup mevcut yöntemlerle yürütülen süreçlerde sınırlılıklar mevcuttur. Örneğin; sürecin uzun zaman aralığında gerçekleşmesi, nihai ürün olan gübrenin kalite değerlerinin düşüklüğü, karbon emisyon oranını düşürecek uygulamaların yeterince uygulanamaması gibi durumlarla karşılaşılabilir. Bu sınırlılıkların giderimine yönelik proses ve teknolojilerin geliştirilmesi bir gerekliliktir.

Kişi başına düşen enerji kullanımıyla birlikte nüfusun hızla artması, enerjide yoğun talep artışına neden olmaktadır (Yazan ve ark., 2018). Yeryüzünde üretilen enerjinin yaklaşık %88'i fosil yakıtlardan sağlanmakta ve fosil kökenli enerji üretimi sera gazı emisyonlarının başlıca nedenlerinden biri olmaktadır. Sera gazı emisyonlarının iklim değişikliği üzerindeki etkilerinden dolayı bir yandan yenilenebilir enerji kaynaklarına talep artarken, diğer taraftan bu kaynaklardan enerji üretimi için çeşitli teknolojiler de geliştirilmektedir (IPCC, 2014; Gonzalez ve ark., 2017; Yang ve ark., 2017). Fosil yakıtlar dünyanın enerji arzında büyük paya sahiptir ve özellikle çevre kirliliği ve küresel ısınma sorunlarına neden olmaktadır. Enerji üretiminde fosil yakıtların yaygın olarak kullanılması ve bu yakıt rezervlerinin ömrünün sınırlı olması nedeniyle tüm dünyada yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarına olan eğilim artmaktadır (Abdeshahian ve ark., 2016).

Dünya genelinde 200 milyar ton olarak ortaya çıkan atık miktarı, Türkiye genelinde melas, ayçiçeği, buğday, çeltik, yulaf gibi ekonomik değeri yüksek bitkilerden 54.4 milyon ton olarak ortaya çıkmaktadır (Dursun ve Dalgıç 2018). Bu atıklardan biyogaz dönüşümüne yönelik çalışmalar dışında detaylı başka herhangi bir katma değerli ürün eldesine yönelik çalışmaya rastlanmamıştır.

AB Yeşil Mutabakatı kapsamında organik gübrelerin üretiminin ve kullanımının yaygınlaştırılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Mevcut durumda ortaya çıkan organik içerikli atıkların ise fermantasyon teknolojileriyle gübreye dönüşüm potansiyeli de oldukça yüksektir.

Günümüzde Türkiye tarım topraklarının organik madde içeriklerinin yetersizliği gübre kullanımını zorunlu kılmakta ve AB Yeşil Mutabakatı kapsamında da organik madde ve bitki besin içeriği yüksek olma potansiyelindeki fermente gübrelere gereksinimi elzem kılmaktadır.

Biyokütle, hayvan gübresi, ormancılık faaliyetleri ve endüstriyel, kentsel, tarımsal katı atıklar gibi çok çeşitli organik atıkları içeren sürdürülebilir bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Biyokütle sürdürülebilir kalkınmaya katkı sağlamasının yanında, dünya nüfusunun tamamında enerji güvenliği de sağlar. Ayrıca biyokütleden enerji elde edilmesi proseslerinde ortaya çıkan CO<sub>2</sub>,



fotosentez yoluyla tekrar organik maddeye dönüşmesi nedeniyle atmosferden alınan CO<sub>2</sub>' e eşdeğer olduğundan biyokütle enerjisi karbon nötr olarak değerlendirilir. Böylece sera gazı emisyonları da azalmış olur. Bunun yanı sıra, biyokütle geliştirilecek dönüşüm teknolojileri sayesinde talebi karşılamak ve enerji arz güvenliğini sağlamak amacıyla yakın bir gelecekte önemli enerji kaynaklarından biri olacaktır (Ekpeni ve ark., 2014; Ar, 2018).

Serbest amino asitler ve peptitlerin bitki büyümesindeki önemi bilinmekle birlikte bu konuda Türkiye'de katma değeri yüksek ürün geliştirmeye yönelik Ar-Ge çalışması sınırlı veya bulunmamaktadır. Dünyada rekombinant yöntemlerle triptofan gibi bazı amino asitlerin mikroorganizmalarda 1000-1500 kat artırılabilmesine ilişkin çalışmalar bulunmakla birlikte Türkiye'de böyle bir bilgiye rastlanmamıştır. Dünya genelinde ortaya çıkan milyarlarca ton atığın gübreye dönüştürülme potansiyeli olup değerlendirilmesi çevre kirliliğinin azaltılmasıyla birlikte çok yönlü ekonomik kazanç sağlayacaktır (Dursun ve Dalgıç, 2018). Dönüştürülebilir enerji kaynağı olmasının yanında ortaya çıkan bu biyokütlenin mikroorganizma faaliyeti ile katma değeri yüksek tarımsal ürüne dönüşmesi mümkün olup üniversite ve özel sektörlerin de katılımıyla endüstriyel uygulama alanına çevrilmesi önem arz etmektedir.

Bitkisel veya hayvansal atıkların aerobik/anaerobik yolla işlenmesi sonrasında açığa çıkan fermente gübre üretim süreçlerinin verimli olacak şekilde tasarlanması, bu amaçla biyolojik dönüşüm ve iyileştirme proseslerinin geliştirilmesine yönelik teknolojileri kapsamaktadır.

Biyogaz üretim süreci sonunda temel ürün olarak ortaya çıkan fermente gübrenin, tarımsal üretimde yaygın olarak kullanılan mineral gübrelerin tüketimini azaltabileceği öngörülmektedir (Bharatthiraja ve ark., 2018). Bitkiler için gerekli olan iz elementler dâhil olmak üzere temel bitki besin maddeleri, kaybolmadan fermente gübre içinde kalmaktadır (Arthurson, 2009). Aynı zamanda anaerobik fermantasyon sonucu elde edilen fermente gübre, aerobik koşullarda oluşan fermente gübreye göre %25 daha yüksek oranda amonyum (NH<sub>4</sub>) içerdiği için bitkilerin kullanabileceği formdaki mineral azot (N) miktarı yönünden daha zengindir (Monnet, 2003). Buna ilaveten fermente gübrenin çeşitli bitki hastalık ve zararlılarını baskılayarak toprak kaynaklı hastalıklara doğrudan, biyolojik aktiviteye ise dolaylı bir etkiye sahip olduğu bilinmektedir (Hoitink ve ark., 1999; Yu ve ark., 2006). Fermente gübrenin belirtilen bu özellikleri gübre olarak değerinin önemini göstermektedir (Makadi ve ark., 2012). Organik atık/artıkların değerlendirilmesi sonucu oluşan fermente gübre, bitki yetiştiriciliğinde ve toprak özelliklerinin iyileştirilmesinde sağladığı faydalar açısından çevre dostu özelliğiyle ön plana çıkmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan biyogaz, anaerobik fermantasyon sürecinde serbest oksijen yokluğunda organik maddelerin ayrışması sonucu oluşmakta ve bu süreç farklı atık/artıkların ayrıştırılmasında da kullanılmaktadır (Angelidaki ve ark., 2003; Tani ve ark., 2006; Tambone ve ark., 2009). Anaerobik fermantasyon süreci, farklı kökenli atık/artıkları yenilenebilir enerji kaynağı olarak biyogaz ve potansiyel gübre kaynağı olarak

fermente gübre gibi yararlı ürünlere dönüştürmektedir (Nkoa, 2014). Anaerobik fermantasyon sonucu oluşan biyogazın kullanımı, enerji üretimi, tarımsal, anaerobik fermantasyon, doğal ortamların yanı sıra küçük veya büyük ölçekli kontrollü ortamlarda da gerçekleştirilmektedir. Biyogaz, doğrudan ve dolaylı üretim yöntemleriyle mutfak, pişirme, ısınma ve elektrik üretme gibi alanlarda kullanılan çevre dostu bir enerji kaynağıdır. Endüstriyel ve evsel atıkların düşük maliyetlerle arıtılması, organik maddelerin bozunması sonucu ortaya çıkan sera gazı emisyonlarının azaltılması gibi faydalar sağlamasından dolayı tüm dünyada hızla artmaktadır (Mao ve ark., 2015). Biyogaz üretimi sonucu oluşan fermente gübre, tarımsal faaliyetlere uygun özellikler taşımakta ve bitki büyümesi için gerekli olan temel besin maddelerinin bitkiler tarafından kolaylıkla alınmasını sağlamaktadır ( Rivard ve ark., 1995; Bath ve ark., 2000, Tiwari ve ark., 2000; Wang ve ark., 2008). Fermente gübre uygulaması sayesinde toprak verimliliği korunurken, aynı zamanda toprak yapısı ve humus dengesi de iyileşmektedir (Adediran, 2003; Monnet, 2003; Odlare, 2005).

Belirli oranlarda amino asit bulunduran sıvı ve katı organik gübreler bitkilerin protein, koenzim ve apoenzim sentez hızındaki artışla birlikte kök büyümesi ve çiçeklenmesini de artırmaktadır. Amino asitler hücrede biyokimyasal yollarda diğer organik metabolitlerin üretilmesinde kritik öneme sahiptir. Nükleik asitlerin yapı taşları olan organik bazlar, vitaminler ve koenzimler bunların en önemlileridir (Liu ve ark., 2018; El-Said and Mahdy 2016). Uygun oranlarda amino asit içeren sıvı fermente gübrelerin topraktan veya yapraktan uygulanması bitkilere azot kazandırdığından bitki beslemede büyük önem taşımaktadır (Kalkan ve ark. 2017; Özyardımcı 2021). Bitki büyümesini teşvik edici özelliği olan (PGPR - Plant Growth Promoting Rhizobacterium) bakteri tür ve suşlarının (*Bacillus amyloliquefaciens*, *B. subtilis*, *B. simplex* gibi) doğrudan kullanımı veya enzimatik aktivitelerle çeşitli kaynaklardan elde edilen amino asit içerikli ürünlerin bitki verimini önemli seviyede artırdığı bilinmektedir (Wang ve ark. 2019). Tarımsal, endüstriyel, kentsel vb yollarla bol miktarda ortaya çıkan atıklar mikrobiyolojik veya enzimatik yollarla amino asit içerikli gübrelere dönüştürülebilmektedir. Amino asit üretimi ayrıca rekombinant biyoteknolojik yöntemlerle mikroorganizmalardan da bol miktarda elde edilebilmektedir.

### **ÖNCELİKLİ AR-GE VE YENİLİK KONULARI**

#### **1.2.a. Fermantasyon prosesinin verimliliği artıracak şekilde tasarlanması: Biyolojik dönüşüm ve iyileştirme proseslerinin geliştirilmesi, kullanılan hammaddelerin kalite ve standartlara uygunluğunun test edilmesi**

Bitkisel veya hayvansal atıklardan fermente gübre üretim proseslerinin en verimli şekilde tasarlanmasında uygun mikroorganizmaların ve/veya metabolitlerinin (enzim vb.) konsorsiyumlarının oluşturulması, optimizasyonu ve metodolojisini kapsar. Ayrıca

optimizasyon için kullanılacak hammadde içeriği ve ürün kalite uygunluklarının değerlendirilmesini içerir. Fermantasyonda materyalin C/N oranı başta olmak üzere sıcaklık, nem, oksijen, mikroorganizma cins ve yoğunluğu gibi parametreler süreci etkileyen en önemli faktörlerdir. Bununla beraber günümüz yeşil teknolojilerinde ise diğer önemli kriter elde edilen ürünün karbon ayak izidir. Ürün karbon ayak izi, bir ürünün yaşam döngüsü boyunca neden olduğu sera gazı emisyon miktarıdır. Bu hesaplama yapılırken bir ürünün kaynağından hammadde olarak çıkarılıp çeşitli aşamalardan geçerek son kullanıcıya sunulması ve kullanım ömrünü tamamlamasına kadar geçen tüm süreç esas alınmaktadır (ISO 14067 standardı ve PAS 2050 de çeşitli ürün ve hizmetlerin sera gazı emisyonlarının hesaplanması). Bu bağlamda prosesin ve ürünün değerlendirilmesi gerekmektedir

Biyogaz organik maddelerin oksijensiz (anaerobik) şartlarda biyolojik parçalanması sonucu oluşan ağırlıklı olarak (%60-80) metan ve karbondioksit gazıdır. Çeşitli organik maddelerin  $CH_4$  ve  $CO_2$ 'e dönüşümü mikrobiyal flora tarafından gerçekleştirilmektedir. Biyogaz oluşumu için gerekli ikinci bileşen olan bakteriler; önce organik madde içindeki proteinleri, karbonhidratları ve yağları asetik ve propiyonik asit gibi basit asitlere, daha sonra bu basit asitleri metan ve karbondioksite dönüştürürler. Bir kısım metan oluşturan bakteriler  $CO_2$  ve  $H_2$ 'i kullanarak  $CH_4$  ve  $H_2O$  açığa çıkarırken, bir diğer grup metan bakterileri ise asetik asitten ( $CH_3COOH$ )  $CH_4$  ve  $CO_2$  oluştururlar (Bahtiyar ve Emin, 2008; İlkılıç ve Deviren, 2011). Bunun yanı sıra biyogaz üretimi sonucunda sıvı formda fermente organik gübre elde edilmektedir. Fermantasyon sonucu elde edilen organik gübrenin temel avantajı anaerobik fermantasyon sonucunda patojen mikroorganizmaların büyük bir bölümünün yok olması ve fermantasyon sonucu elde edilen organik gübrenin daha verimli olmasıdır.

Fermente gübre üretiminde kullanılan bitkisel ve hayvansal atıkların kalite ve içerik açısından uygunluklarının bilinmemesi, fermantasyon sürecinin uzun sürmesi, fermente gübrelerinin içerik ve kalitelerinin düşük olması ile fermantasyonun başlangıç ve bitiş noktasında C/N oranı ile fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerin standartlara uygun seviyelere gelip gelmediğinin kontrolü ve aksaklıkların nedenleri irdelenmelidir.

Türkiye'de 350 MW kapasitede 100'e yakın biyogaz tesisi, 750 MW kapasitede 120'ye yakın "landfill" alanı ve 600 MW kapasitede 40'a yakın yakma tesisi bulunmaktadır. Bu tesisler mevcut atıkların %40'ını kullanabilmektedir. Planlama ve proses eksikliklerine bağlı aksamalara rağmen biyokütle tesislerinin ekonomiye önemli katkıları olmaktadır. Hammadde kaynağı atık olsa da ülkede yeterince bulunması dışa bağımlı olmama yönüyle önemlidir. Bu sistemlerle hem atıklar bertaraf edilmekte hem de enerji ve gübre üretilmektedir. Atıkların işlenmesi sonucu elde edilen ürünler önemli katkı sağlamaktadır (Denizsel 2021).

Bitkisel ve hayvansal atıkların uygun yöntemlerle işlenerek kullanılmaması çevreye zarar vermektedir. Fermantasyonun uygun proseslerle gerçekleşmesi nedeniyle nihai üründe kalite standartlarına ulaşılamaması ve karbon emisyonunun düşürülebilmesi mevcut problemler olarak ifade edilebilir.

Dünyada küresel ısınmayla mücadele de enerji açığını, sürdürülebilirlik bakımından, yenilenebilir alternatif enerji kaynakları ile sağlama yönelimi mevcuttur. Bu kapsamda Türkiye gibi enerji yönünden dışa bağımlı ve tarımsal potansiyeli yüksek ülkeler için alternatif enerji kaynakları (biyogaz, biyodizel, biyoetanol gibi) ile birlikte fermente gübre üretimini geliştirme/yaygınlaştırma ve yeşil teknolojileri geliştirme bir avantaj olarak değerlendirilebilir.

Sistemde bulunan hammaddeler ön işlemden geçirilmekte, mekanik, kimyasal ve biyolojik ön işlemler yapılmaktadır. Bu çalışmalar verim artırmaya yönelik yapılmaktadır. Hammaddelerin yüzey alanının artırılması amacıyla ön işlem sayısının azaltılması yolları araştırılmalıdır. Türkiye’de düzenlenecek kompost makineleri fuarı ile mevcutlara göre enerji verimliliği yüksek (daha az enerji tüketen) bakım masrafı düşük makinaların tercih edilmesi gerekir. Kompost makinaları standardizasyonu, enerji verimliliği ve kompostlaşma süresini kısaltmaya yarayacak iyileştirmelerin yapılması ve teknolojinin takip edilmesi sağlanmalıdır. Hammadde içeriğindeki kimyasal ve biyolojik gruplara özel mikroorganizma ve enzim sistemlerinin geliştirilmesine yönelik yeni yöntemler geliştirilmesi gereklidir. Kompostlaşmayı hızlandırmak için mikroorganizma eklenmesi/sisteme oksijen verme dengeleme/mekanik müdahale, fermantasyonu iyileştirmeye yönelik proses çalışmaları hedeflenmelidir. C/N oranı ve çeşitli hammadde kompozisyonlarını iyileştirmeye yönelik standart optimum fermantasyon çalışmalarının yapılması sağlanmalıdır. Müsilaj şekliyle mikroalgler biyogaz üretiminde değerlendirilebilir. Bu amaçla önce dekantörden geçirilmiş mikroalg atıkların (yosunların) belediyeler tarafından toplanarak tuzsuzlaştırılması analiz edilmesi, uygun içeriğin organomineral gübre üretiminde kullanılması sağlanmalıdır. Fermente edilmiş gübrelerin üretiminde yeni proseslerin geliştirilmesiyle bitkisel ve hayvansal atıkların çevreye olan olumsuz etkilerinin azaltılması ve bu atıkların tarımsal amaçla kullanılarak toprak verimliliğinin ve üretkenliğinin artırılması sonucu ürün veriminin artırılması hedeflenmektedir. Süreçte kısımla, kalite artışı, C salımının daha düşük düzeylere çekilmesi ve zenginleştirme yoluyla faydası artırılarak daha az kimyasal gübre kullanımı sağlanması gibi konular önemlidir.

Enerji kullanımı bakımından yenilenebilir enerjiye geçiş de önem arz etmektedir. Biyogaz bu yönden dezavantajı olmayan bir kaynaktır. Enerji üretimine katkı sağlamak ve tasarruf amacıyla biyogaz üretimi teşvik edilmelidir. Biyogaz tesislerinin yaygınlaştırılmasıyla organik atıklardan enerji üretilirken aynı zamanda ortaya çıkan fermente gübrelerin kullanımının yaygınlaştırılması da ekosisteme olumlu katkı sağlayacaktır. Çevresel problemler azaltılıp

enerji ihtiyacı karşılanırken bir taraftan da istihdam yaratılabilir. Bu amaçla enerji kaynağı olarak her türlü organik atıktan biyogaz üretiminin her yönüyle incelenerek araştırılması gerekmektedir. Kamu ve özel sektörün illerde pilot tesisler kurması ve organik atıkları kullanarak hem temizlik yapması hem de çok sayıda ürün eldesiyle ekonomik katkı sağlaması yönünde teşvik edilmesi gerekmektedir.

Biyolojik dönüşüm ve iyileştirme proseslerinin geliştirilmesi kapsamında irdelenmesi gereken en önemli basamak karbondioksit emisyonlarının azaltılabilmesine yönelik proseslerin kullanımı olmalıdır. Bunlardan bazıları:

- Yenilenebilir enerji sistemlerinin yaygın kullanımını destekleyecek şekilde planlanmış kapalı düzeneklerin tasarlanması, karbon yakalama ve depolama sistemlerinin tesislere entegre edilmesi,
- Hızlı fermantasyon tekniklerinin mikroorganizmalar ve enzimler kullanılarak geliştirilmesi, dönüşüm hızını arttıracak ve sürenin azaltılmasına yönelik enzimlerin tespiti, üretimi ve yerel kaynaklı olarak ticarileşmesi, geliştirilmesi,
- Besin değeri bakımından zengin, standartlara uygun fermente gübre proseslerinde kullanılacak starter tek ve/veya karma mikroorganizma türlerini içeren inokulantların öncelikli olarak yerel kaynaklardan oluşturulması ve geliştirilmesi, bu proseslerde kullanılacak olan starterler ile sürecin kısaltılıp karbon emisyonlarının azaltılması,
- Karbondioksit salınımının düşük olduğu hammaddelerin tespiti ve kullanımınıdır.

Fermente gübrelerin üretiminde yeni proseslerinin geliştirilmesiyle bitkisel ve hayvansal atıkların çevreye olan olumsuz etkilerinin azaltılması ile birlikte bu atıkların tarımsal amaçla kullanılarak toprak verimliliğinin ve üretkenliğinin artırılması hedeflenmektedir. Atıkların dönüştürülmesi ve karbon salımını azaltan hammaddelerin değerlendirilmesi gibi birçok uygulama ile dekarbonizasyon sağlanabilir.

### **1.2.b. Hızlı fermantasyon tekniklerinin mikroorganizmalar ve enzimler kullanılarak geliştirilmesi**

Enzim ve bakteriler bitkisel ve hayvansal atıkların hızlı bir şekilde parçalanmasına yardımcı olurlar. Doğal koşullarda yavaş yürüyen fermantasyon prosesinin bu işe aracılık edebilecek mikroorganizmaların veya fermantasyonda yürüyen reaksiyonları katalize edebilecek enzimlerin kullanılmasıyla sürecin kısaltılması işlemidir.

Fermantasyon sürecinde mikroorganizma ve enzim kullanımı yaygın olmadığından fermantasyon süreci uzun sürmektedir. Fermantasyon doğal koşullarda 3-6 ay sürebilmektedir. Bu durumun gübre kalitesini olumsuz etkilemesinden dolayı sürecin hızlandırılarak kalite değerlerinin korunması önemlidir. Kalite analizleri ile biyolojik, kimyasal ve fiziksel

özelliklerindeki değişimler ve iyileşme durumu kontrol edilmelidir. Özellikle pH, EC ve C/N oranı ile organik madde durumu yönüyle kritik değerlerin üzeri hedeflenmelidir.

Fermentasyon süreci klasik yöntemlerle uzun sürmekte ve elde edilen fermente gübrenin içeriği ve kalitesi düşük olmaktadır. Fermentasyon başlama ve bitişi arasındaki sürenin uzun sürmesi ve nihai ürün olan kompost ya da organik gübrenin gübre değerinin düşük olmasıdır.

Organomineral gübre üretiminde, yüksek OM içeriğine sahip organik madde kaynaklarının kullanımının, uygun ürün grubu ve yöntem açısından değerlendirilmesi, leonarditin organik madde içeriğinin zenginleştirilmesine yönelik yöntemler araştırılması, suda çözünürlük problemini artırmaya yönelik katkı maddelerinin belirlenmesi gibi yenilikler hedeflenmelidir. Özel antikek maddelerin kullanımlarının değerlendirilmesi ve etkilerinin gözlenmesi ve granül makinalarında tane yüzeyini iyileştirici modifikasyonlar yapılmalıdır. Hızlı elde edilebilir, ekonomik ve kaliteli fermente gübre üretimi hedeflenmelidir. Ayrıca süreci kısaltabilecek tek veya karma kültür mikroorganizmaların seleksiyonu ve karakterizasyonu ile mikroorganizmalarla birlikte veya ayrı kullanılacak enzimlerin seleksiyonu, biyoteknolojik yollarla üretilebilecek olanların ticari boyutta üretimlerinin yapılması gibi konular yenilikçi özellikler kapsamında değerlendirilmelidir.

**1.2.b1. Besin değeri bakımından zengin fermente gübrelerin oluşumuna yönelik standartlara uygun tek ve/veya karma mikroorganizma kültür koleksiyonlarının öncelikli olarak yerel kaynaklardan oluşturulması ve geliştirilmesi**

Komposta fermentör veya hızlı ayrışma sağlayan bakterilerin eklenmesi kokuyu kısa sürede azaltabilir. Kompostlama tesisi tarafından üretilen koku, biyolojik koku giderme teknolojisi ile giderilirken bu amaçla kullanılacak olan enzim/mikroorganizma seçimi kritik noktadır. Organik gübre üretimi sürecinde, organik atıkların fermentasyonunu ve mikroorganizma üremesini etkileyen faktörler etkin bir şekilde kontrol edilmelidir. Bir yandan, her bir mikroorganizma türünün büyümesi ve üremesi için gerekli olan C/N oranı, sıcaklık, nem, pH değeri, oksijen içeriği ve diğer besinler gibi çeşitli faktörler optimize edilirken, öte yandan, farklı besin içeriği gübre özelliklerinde farklı etkiler kazandıracaktır. Örneğin, yüksek karbon içeriği toprak mantarlarını artırabilir, azot toprak bakterilerinin artmasına yardımcı olabilir ve kalsiyum bitkilerin hastalık ve zararlılara direncini artırır. Fermente gübre üretim sürecinde mikroorganizmaların zarar görmesini önlemek için hammaddelerin ağır metal içeriği kontrol edilmelidir. Organik gübrelerin ağır metal düzeylerinin izin verilen değerlerden yüksek olması toprak ve bitkiye de zarar verir. Yerel bitkisel veya hayvansal kaynaklardan fermente gübre üretim süreçlerinde besin kayıplarını azaltan tek veya karma mikroorganizma kültürleri kullanılarak besin içeriği yüksek fermente gübre elde edilmesi sağlanmalıdır. Fermentasyonda inokülasyon görevi görebilecek mikroorganizmaların yerel ırklardan seleksiyonu,

karakterizasyonu ve standartlara uygunluğunun kontrol edilmesi fermente gübre oluşumunda önem taşıyan kriterlerdir. Yerel kaynakların öncelikli ele alınması, başka alternatifi olmadığı durumlarda yurtdışı kaynakların tercih edilmesi düşünülmelidir.

Fermente gübre üretim süreçlerinde mikroorganizma kaynaklarının çoğunlukla yurtdışı alım şeklinde gerçekleştirilmesi maliyeti yükseltmektedir. Mevcut durumda az sayıda olan mikroorganizma kültürlerinin çoğu dış kaynaklıdır ve genellikle fermantasyonu sağlayan teknoloji ile birlikte ithal edilmesi gerekmektedir. Az sayıda yerel kültür seleksiyonları çoğunlukla araştırma düzeyinde devam etmektedir. Ticari boyuta geçme süreçleri de yavaş ilerlemektedir.

Fermente gübre üretim süreci uzun sürmekte ve üretilen fermente gübrenin içerik ve kalitesi düşük olmaktadır. Mevcut durumda bu başlıkla ilgili olarak teknoloji ve mikroorganizma kültürü olarak yurtdışı kaynakların kullanılmakta ya da bu yönde eğilim oluşmaktadır.

Etkin tek veya karmamikroorganizma kültürleriyle fermente gübre üretimini gerçekleştirme, üretimi sürecini kısaltma ve kalitesi yüksek fermente gübre elde edilmesi gibi performans artırıcı özellikler kazandırılması önemlidir. Zorunluluk olmadıkça yabancı menşeli kültürler yerine, yerel olmak üzere fermantasyonu hızlandırıcı ve/veya kalite artırıcı tek veya karma kültür mikroorganizma koleksiyonlarının seleksiyonu, karakterizasyonu ve ticari boyutta çoğaltımı sağlanmalıdır.

### **1.2.b2. Fermantasyon proseslerinde kullanılacak enzimlerin üretiminin araştırılması**

Fermantasyon proseslerinde organik maddenin hidrolizini (parçalanmasını) sağlayan enzimlerin üretilmesinin sağlanması, nihai ürün gübre değerini artırıcı etki sağlayabilecek enzimler ve enzimlerin etkinlik mekanizmalarını kapsamaktadır.

Organik maddenin parçalanma süreci klasik yöntemlerle gerçekleştiğinde, fermantasyon süresi uzamakta, üretilen fermente gübrenin kalitesi düşük olmaktadır. Ayrıca mevcut durumda fermantasyonda enzim kullanılması da yaygın değildir.

Bitki ve hayvansal atıklardan fermente gübre üretim sürecinin uzun sürmesi, üretilen fermente gübrenin kalitesinin ve standartlara uygunluğunun düşük olması, fermente gübrenin toprak verimliliği ve üretkenliğinin artırılmasında yeterince etkin olmaması karşılaşılan başlıca sorunlardır.

Fermantasyon prosesinde etkin olabilecek enzimler araştırılarak bunların üretilmesi ve enzim temininde dışarıya bağımlılığın azaltılması, enzimlerin seleksiyon ve karakterizasyonu ile ticari boyutta üretiminin sağlanması önemli hedeflerdir.

**1.2.c. Mikroalgal biyogübre üretimi: Mikroalgal biyoteknoloji uygulamalarının geliştirilmesi ve gübre yönetmelikleri içinde yer alan mikroalgal biyoçeşitliliğinin araştırılması**

Mikroalgal biyogübreler, bitkilerde büyüme düzenleyici maddeler salgılanması yanında azot fiksasyonuna ve topraktaki bitki besin elementlerinin yayılgılığına yardımcı olan tekli veya çoklu mikroalg içeren taşıyıcı veya sıvı bazlı ürünlerdir (Deepika ve Mubarak Ali, 2020). Mikroalgler atıklardaki besinleri kullanıp havadaki CO<sub>2</sub>'i bağlayarak biyokütle üretimini gerçekleştirirler. Bu amaçla uygun ve etkin olabilecek mikroalg tiplerinin oluşturulması, mikroalglerden biyogübre üretimi, mikroalglerin yaşam döngüsü, mikroalg üretiminde biyoteknoloji uygulamaları, karma mikroalg üretimi yapılması önem taşımaktadır.

Mevcut yönetmelikler kapsamında mikrobiyal gübreler "Bitki gelişimi için gerekli bitki besin maddelerinin yayılgılığının artırılmasında ve/veya toprağın düzenlenmesinde rol oynayan canlı mikroorganizmaları içeren ürünler"olarak tanımlanmaktadır. Bu ürünler özellikle PGPR etkisi gösteren bakterileri ve siyanobakteriler ile maya ve özellikle biyolojik arıtmada etkili ökaryotik mikroorganizmaları, endo/ektomikorizaları ve mikroalgleri içermektedir. Bu ürünlerin en büyük avantajı AB Yeşil Mutabakatı kapsamında ürün ve uygulama aşamalarında sıfır karbon emisyonuna sahip olmalarıdır. Sektörde sadece üretim aşamasında kullanılan biyoreaktör ve işletim sistemindeki emisyon parametrelerinin düşürülmesini gerektirmektedir.

Ayrıca yönetmelik kapsamında belirtilen makroalg-deniz yosunu fiziksel, kimyasal ve/veya biyolojik işlemlerle elde edilen katı veya sıvı ürün olarak tanımlanmaktadır. *Ascophyllum nodosum* dünyada en fazla araştırılan denizden çıkarılan tarımda kullanılan, yosun ürünleri içerisinde en yüksek biyoaktivite seviyesine sahip bir makroalgdir. Günümüzde bilim adamlarının ana görevlerinden biri, çevre dostu tarım yöntemleriyle bitkisel üretimi artırmanın doğal yollarını bulmaktır. Deniz yosunu bazlı ürünlerin çoğu, kahverengi alg *Ascophyllum nodosum*'dan çıkarılır. Deniz yosunu biyokütlesi, tarım yanında gıda ve besin takviyelerinde çok çeşitli diğer ürünlerde kullanılmaktadır. Ülkemizde bu makroalgin temini ve kullanımı dışa bağımlı olarak sürdürülmektedir. Yerel kaynaklı makroalg biyokütlelerinin de bu bağlamda araştırılmasına ve yerel üretimine ihtiyaç vardır.

Mevcut performansa bakıldığında ülkemiz genelinde bu tip ürünlerin üretim, pazarlama ve uygulamalarına yönelik uzman personel istihdamının azlığı, teknik donanım ve bilgi düzeyinin zayıflığı, ayrıca maliyet yüksekliği nedeniyle yerel üretim oldukça azdır ve makroalg bazlı organik gübre pazarında %98 oranında ithal ürünler yer almaktadır. Dünyada ise bu konuda oldukça yoğun araştırma ve üretimler gerçekleştirilmekte, pazar da ekonomik gelir kaynağı olarak hızla büyümektedir. Mevcut durumda mikroalg biyogübre üretimi yok ve/veya yaygın



değil. Mikroalg üretim kapasitesi, çoğaltma yöntemleri, toplama ve işleme uygunlukları incelenebilir. Süspansiyon halde canlı yeşil alg hücreleri, makro ve mikro elementler, vitamin ve amino asitleri içeren ticari ürünleri kapsamaktadır (Deepika ve MubarakAli, 2020).

Karbon emisyonu sıfır olan mikrobiyal gübrelerin araştırılması ve üretimine ihtiyaç duyulmaktadır. Dünya çapında gübre yelpazesi genişledikçe, yalnızca bitkiler için gerekli besinleri değil aynı zamanda eser elementleri ve büyümeyi veya besin maddelerini destekleyen diğer maddeleri de içeren çevre dostu biyoaktif gübrelere artan bir odaklanma oluşmaya başlamıştır. Toprağın yapısı ile meteorolojik ve iklimsel koşullardan dolayı gübrelerin yaklaşık %30-40'ının kaybolduğu bilinmektedir. Kaybolan bu gübreler çevreyi kirletmekte ve canlılarda da çeşitli hastalıklara neden olmaktadır. Son yıllarda gıda maddelerinin tükenmesi ve çevreyi koruma ihtiyacının artmasıyla birlikte besin maddelerinin ve biyolojik kaynaklı ürünlerin gübreleme amacıyla yeniden kullanılması ve bitki besin maddelerinin etkinliğinin artırılmasına yönelik araştırmalar giderek yaygınlaşmaktadır (Slinksiene ve ark., 2022). Ayrıca evsel ve sanayi kaynaklı organik atıklar da çevre kirliliğine neden olmaktadır. Mikroalg üretiminin ve mikroalglerden gübre yapımının yaygınlaşmaması da sorun oluşturmaktadır.

Mikroalg canlılığı uzun süre aktif tutmak biyogübre performansı açısından önemlidir. Ana hedef canlılığın aktif tutulması için gereken teknolojilerin optimizasyonu ve içerik bakımından zengin türlerin seçilmesidir. Çevresel atıklar kullanılarak mikroalglerden biyogübre üretilmesi yoluyla karbon salımının azaltılması ve yenilenebilir enerji üretilmesi üzerinde durulmalıdır. Geniş boyutta ve hızlandırılmış üretim süreçlerinin geliştirilmesi, karma kültür yetiştirme olanakları, ticari boyutta üretim olanakları önemli konular arasında yer almaktadır. Mevcut iklim değişikliği kapsamında problemlerinin çözümüne yönelik mikrobiyal starterlerin canlı ve/veya cansız biyokütlelerinin yerel kaynaklar kullanılarak üretimi ve yaygınlaştırılması, ülkemizde ve dünyada farklı metabolik aktivitelere sahip yeni starter suşların organik gübre formunda ürüne dönüşümü yenilikçi özellik olarak görülmektedir.

### **1.2.d. Organik, organo-mineral, biyostimülant ve mikrobiyal gübre üretiminde kullanılmak üzere yerli besiyerlerin geliştirilmesi**

Mikrobiyal ajanların çoğaltım aşamasında yeterli sayıya ulaşabilecekleri ve yeterli miktarda metabolit içeren, depolama süresi boyunca canlılıklarını koruyabilecekleri, mikroorganizmaların gelişebilmesi için zorunlu olan ve gelişme koşullarını içeren ortam ticari ölçekte, katı veya sıvı beslenme ortamıdır. Besiyerleri katı veya sıvı şeklinde hazırlanabilir. Yapay olarak hazırlanmış katı besiyeri agar olarak adlandırılmakta, sıvı besiyeri ise buyyon olarak adlandırılmaktadır.

Mikrobiyel besiyerleri olan nutrient broth (NB), luria bertani broth (LB), triptik soy broth (TSB), MRS ve diğer birçok besiyerinin önemli bir kısmı pepton, tripton, maya ekstraktı, et ekstraktı, ve soya ekstraktı gibi maddeler kullanılarak hazırlanmakta olup Türkiye’de yerli üretim yapan firmaya rastlanmamıştır. Satışını yapan firmalar bunları ithal edip karıştırarak veya doğrudan satışını yapmaktadır. Pepton: Süt proteini (kazein), kan proteini (fibrin), sığır eti, karaciğer veya soya proteininin tripsin, pepsin veya papain gibi proteolitik enzimlerle hidrolize edilmesinden üretilir. Pek çok mikroorganizmada proteinleri hidrolize ederek azot kaynağı olarak kullanmalarını sağlayacak proteolitik enzim sistemleri bulunmadığından besiyerine pepton katılır. Mikroorganizmaların büyüme gereksinimleri bu karışımdaki amino asit peptidler tarafından karşılanır (Temiz, 1991). Tripton: Canlı hücre dışında yapılan standart mikrobiyolojik çalışmalarda kullanılan genel bir besiyeri maddesidir. Bileşiminde bulunan kazein peptonu yüksek miktarda triptofan içerir. Tripton laboratuvar ortamında mikrobiyolojik kültür ortamlarının hazırlanmasında azot kaynağı olarak kullanılmak üzere kazein ve et’in enzimatik sindirimi ile elde edilir. Kazein, sütün ana proteini olup zengin bir amino asit ve azot kaynağıdır (Halkman ve Sağdaş 2014). Maya Ekstraktı (Yeast Extract): Maya ekstraktı, laboratuvar ortamında mikrobiyolojik kültür ortamının hazırlanmasında kullanılan maya hücrelerinin bir lizatıdır. Maya ekstraktı, otolize mayanın suda çözünür kısmıdır. B-kompleks vitaminleri de içerir. Maya ekstraktı, bakteriyolojik kullanım ve hücre kültürleri için hazırlanır ve standardize edilir. Mükemmel bir bakteri üremesi uyarıcısıdır. Genellikle %0,3-%0,5 konsantrasyonunda kullanılır. Genellikle *Saccharomyces spp.*'nin karbonhidrat açısından zengin bir bitki ortamında yetiştirilmesiyle hazırlanır. Maya hücreleri toplanır, yıkanır ve suda yeniden süspanse edilerek burada otolize, yani maya enzimleri kullanılarak kendi kendine sindirime uğratılır. Maya ekstraktı, bu otolitik sonucun toplam çözünür kısmıdır. Otolitik aktivite ısı ile durdurulur. Nihai maya özü, temiz bir şekilde filtrelenir ve püskürterek kurutma işlemi ile toz haline getirilir. Mikrobiyolojik ve hücre kültürü ortamlarında vitamin, azot, amino asit ve karbon kaynağıdır (Halkman, 2005). Bunların dışında Soya peptonu, kazein, beef ekstraktı, malt ekstraktı gibi sıklıkla kullanılan temel besiyeri hammadde içeriklerinin Türkiye’de üretilmesi önem arz etmektedir. Yerli besiyer olmadığı için yeterli bilgi olmamakla birlikte uygulamada gösterecekleri etkiler değerlendirilmelidir.

Gıda sektörü atıklarından elde edilen melas ve benzeri besiyer ortamlarında yetersiz bakteri gelişimi ve yetersiz metabolit oluşumu nedeniyle etkinliği düşük mikrobiyal ürünler üretilmektedir. NB, TSB ve T3 gibi besiyerler ise yüksek kaliteli olmasına rağmen ithalata bağımlı, ticari mikrobiyal ürünlerin üretimi için yüksek maliyetlidir. Bütün mikroorganizmalar için uygun olabilecek tek besiyeri bulunmamaktadır. Ayrıca her bir mikroorganizmanın en iyi gelişme göstereceği besiyerinin özelliklerinin bilinmiyor olması ve besiyerlerde dışa bağımlı olunması önemli problemlerdir.

Yerli kaynaklardan veya gıda sektörünün nitelikli atıklarından yüksek hacimde üretilecek ve yeterli sayıda mikroorganizma gelişimini ve metabolit üretimini sağlayacak besiyerleri geliştirilmesi yenilikçi özellikler ve performans artırıcı unsurlardır. Organik, organo-mineral, biyostimülant ve mikrobiyal gübre üretiminde kullanılacak olan mikroorganizmalar için uygun olacak besiyerlerinin geliştirilmesi hedeflenmelidir. Rekabet edebilir yerel besiyerleri kompozisyonu ve bunun kullanımı ile gübre kalitesinde artış hedeflenmelidir. İlk başta luria bertani broth, sabouraud dextrose broth, nutrient broth, tryptic soy broth, alkaline peptone, lactose broth, MacConkey broth, Muller Hinton broth, pepton water, MRS broth, malt, tripton, yeast ekstrakt, kazein gibi besiyerlerinin üretimi hedeflenmeli ve ardından gerekli olması durumunda modifiye besiyerlerinin geliştirilmesi hedeflenmelidir.

### **1.2.e. Bitki, insan ve hayvan atıklarından kimyasal ve biyolojik yöntemlerle amino asit üretimi**

Bitki, insan ve hayvan atıklarının kimyasal yola, alkali bileşiklerle (KOH) veya enzimler kullanılarak biyolojik yolla hidrolize (parçalama) edilerek bitki beslenmesinde topraktan ve/veya yapraktan uygulanabilen çoklu amino asit kompozisyonları elde edilebilmektedir. Amino asitler ve protein hidrolizatları, hayvansal ve bitkisel ürünlerden asit-baz, enzimatik ve mikrobiyal hidroliz yöntemleriyle üretilebilmektedir. Hayvansal ve bitkisel kökenli amino asitler ve hidrolizat kompozisyonlarının biyostimülant olarak tarımda kullanımı yaygınlaşmaktadır. Tarımda tekli amino asit kullanımına izin verilmezken ayrıştırılmamış amino asit-hidrolizat kompozisyonlarının tek başına veya sıvı gübreler ile kullanımı mümkündür. Glutamat, histidin, prolin ve glisin- betain gibi amino asitlerin bitkilerin abiyotik stres koşullarına karşı kullanılmaları ile ilgili birçok araştırma mevcuttur. Atıklardan fermentasyon sonrası elde edilen katı ve sıvı formlar gübreye dönüştürülebilmekte ve mevzuatlar çerçevesinde piyasaya sunulabilmektedir (Üçgül 2019). Organik gübreler toprağın fiziko-kimyasal yapısını düzeltebilen ve organik formda bitki besin elementleri içeren ürünlerdir. Organik gübreler toprağı mikroorganizma faaliyeti ve yarayışlı bitki besin içeriğı yönüyle zenginleştirmektedir. Humik-fulvik asitler bitki besin elementlerinin yarayışlılığını artırmaktadır. Bitkisel ve hayvansal atıklardan elde edilen gübreler zengin organik içeriklerinin yanında inorganik bileşik ve faydalı mikroorganizmaları da bulundurabilmektedir (Kacar ve Kütük, 2010). Dolayısıyla bu ürünler toprağın mikroflorasının zenginleşmesine de katkı sağlamaktadır (Güçdemir ve diğerleri, 2008). Tüm bu yönleriyle inorganik gübre kullanımı kaçınılmaz olmakla birlikte organik gübrelerin kullanımı da her geçen gün yaygınlaştırılmalıdır (Kacar ve Katkat, 2014). Bunların yanında organik maddeler olan enzimlerin organik gübrelerdeki varlığı bu ürünlerdeki organik maddelerin yapı taşlarına dönüşmesine ve bitkiler tarafından alımının kolaylaşmasına katkı sağlamaktadır (Okumuş, 2019). Avrupa Birliğı Altıncı Çevre Eylem Planında atık yönetimi, geri dönüşümü, üretim

kaynağı şeklinde ilave doğal kaynak olarak ele alınması önemli öncelik konusu olup atık yönetimi politikalarının esas unsurlarından birisidir (Korkmaz ve ark., 2021).

Mevcut durumda atıklar amino asit üretimi amacıyla kullanılmamaktadır. Tarımsal amaçlı kullanılmak üzere, çoğunlukla sıvı gübrelerde katkı olarak veya biyostimülant olarak ithal edilmektedir. Mevcut durumda akademik düzeyde araştırmalar devam etmektedir. Bunun yaygın hale gelmesi sağlanmalıdır. Uygulanacak yöntemlere bağlı olarak ulaşılabilecek neticeler yol gösterici olacaktır. Amino asit içeren atıklar ve bunlardan amino asit üretim yöntemleri, hangi yöntemlerin uygulanabilir ve ekonomik ya da verimli olduğu irdelenmelidir. Soya ve ayçiçeği küspesi gibi tarımsal endüstriyel atıklardan veya hayvan derisi, kan unu, kemik unu, kıl ve tüy gibi hayvansal atıklardan ve hatta alglerden üretilmiş ticari ürünler olmakla birlikte bu ürünler ihtiyacı karşılamamaktadır. Atıkların kimyasal hidrolizi için asit-baz ve enzimatik yöntemler kullanılabilir. Raghavan (2008) balık atıklarının bu yöntemlerle hidroliz edilerek balıktaki toplam proteine göre %10-20 oranında peptit ve amino asit elde edildiğini belirtmiştir. Yüksek sıcaklık, pH ve basınç uygulanması nedeniyle amino asit içeriğinde azalma gibi bazı dezavantajları olmakla birlikte kimyasal yöntemle elde edilen hidrolizatlar gübre olarak veya bakteri beslenmesinde azot kaynağı olarak kullanılmaktadır. (Slizyte, 2004). Degredasyonu takiben nötralizasyon amacıyla fazla NaCl kullanımının amino asit tahribatına neden olması gibi durumlarda dezavantaj olarak ortaya çıkabilmektedir (Hordur ve ark., 2000). Enzimatik yöntemlerle elde edilen ürünlerde bu olumsuzlukların çoğu ile karşılaşmamaktadır (Korkmaz ve ark. 2021). Hayvansal atıklardan enzimatik hidroliz ile yem hammaddesi, gıda katkısı ve takviyesi, sıvı organik gübre, balık yağı ve hidroksiapatit gibi katma değeri yüksek ürünler elde edilmektedir (Korkmaz, 2018). Toprak verimliliği, bünyesinde bulunan mikroorganizmalar ve diğer canlıların faaliyetine bağlıdır. Solucanların salgılarında bulunan enzim, vitamin, amino asit, büyüme hormonu gibi maddeler bitkilere uygulandığında protein sentezinde %30'a kadar artış sağlanabilmektedir. Buna bağlı olarak da bitki gelişimi artmakta ve bitkiler olumsuz şartlara karşı direnç kazanmaktadır (Demir ve ark., 2010). Başka bir kaynak olarak süt endüstrisi atık su arıtma çamurunun substrat olarak yeniden kullanımıyla biyo-gübre üretim maliyeti azaltılabilmektedir (Özcan ve Harputlilgil, 2021).

İhtiyaç duyulan amino asit ürünlerinin yerli kaynaklardan yeterince üretilmemesi ve ihtiyacın ithalat yoluyla karşılanması önemli sorun teşkil etmektedir. Bitki, insan ve hayvansal atıklar çevre kirliliğine neden olmaktadır. Atıklarda amino asitlere dönüşebilecek önemli miktarda azotlu bileşikler vardır. Bunlar iyi değerlendirilmediği için ekonomiye kazandırılmadığı gibi çevre sorunlarına yol açmaktadır. Amino asit üretiminde hızlı, ucuz ve hacimli üretim avantajından dolayı asit hidroliz yöntemi daha çok tercih edilmektedir. Fakat daha küçük molekül boyutuna sahip grupların oluşumunda çok daha etkili olan enzimatik ya da mikrobiyal yöntemler ile hidrolizatların üretimi maliyet ve zaman dezavantajı yüzünden çok tercih

edilmemektedir. Hem bitkisel hem de tehlikeli hayvansal atıkların değerlendirilerek amino asit hidrolizat üretiminin yaygınlaştırılması bitki gelişiminin güçlendirilmesi, verim ve kalitenin artırılmasına katkı sağlayacaktır. Nişasta, selüloz, hemiselüloz gibi karbonhidratlar, proteinler, lipitler, organik asitler ve diğer inorganik bileşikler organik atıkların heterojen yapısındaki ana unsurlardır (Özdemir ve ark., 2021). Bu atıkların yem ve kompost olarak kullanılan kısımlarından geri kalanlar çoğunlukla yakılarak imha edildiğinden metan gazı emisyonuna neden olarak iklim değişikliğini hızlandırmaktadır (Lin ve ark., 2013). Dünya genelinde artan nüfus, fazla atık oluşumu ve bertarafı ciddi çevresel problemler ortaya çıkarmaktadır. Bu nedenle atıkların üretime yönelik olarak kullanılması ekosistemin korunması yönünden önem arz etmektedir (Gündüzalp & Güven, 2016). Kısa vadede tarımsal üretimi artırdığı için tarım ilacı ve kimyasal gübrelerin yanlış kullanımı çevre sorunlarının artmasına neden olmaktadır. Zaman içerisinde kanserojen, mutajen ve teratojen etkilerin görülmesi, bitkisel üretimi artırıcı alternatif ve zararsız yöntemlerin geliştirilmesini gerektirmiştir (Baier-Anderson & Anderson, 2000). Aşırı kimyasal kullanımına bağlı olarak toprak tuzluluğu artmış, mikroflora ve faunası ciddi şekilde olumsuz etkilenmiştir (Özkaya, 2021). Çoraklaşma süreci hızlanan toprakların iyileştirilmesini sağlamak ve ıslah için doğal dengeyi koruyucu ürünlerin kullanılması gerekmektedir.

Öncelikle atıklardan tercihen enzimatik ve mikrobiyal yöntemler ile amino asit hidrolizatların hızlı ve düşük maliyetli üretimi konusunda araştırmaların hedeflenmesi ve reaktörlerin geliştirilmesi, tarımda azot kaynağı olarak kullanılacak amino asit üretimi gerçekleştirmek, amino asit ekstraksiyonunu sağlayacak verimli yöntem geliştirmek ya da yöntemi modifiye etmek suretiyle daha etkin hale getirmek hedeflenmelidir. Atık geri dönüşümünün sağlanması, doğal kaynak ve hammadde olarak kullanımının teşvik edilmesi önem arz etmektedir. Tarımsal üretimde, kimyasal gübrelemeye alternatif olarak organik gübre üretimi ve kullanımının artırılması ve teşvik edilmesi gerekmektedir (İlay ve ark., 2013). Organik gübre tarımda sürdürülebilirliği çok yönlü olarak güçlendirmekte, sağlık problemleri riskini azaltmakta ve aynı zamanda verimin ana unsurlarından biri olan mikrobiyal aktiviteyi de hızlandırmaktadır (URL-1, 2007). Organik tarım çalışmalarında termofilik kompostlarla ilgili araştırmaların sayısı artırılmalıdır. Önemli ölçüde şehirleşmeden kaynaklanan sebeplerle kompost uygulamaları yaygın hale gelmiş ve atıkların işlenmesi, sürdürülebilir hale gelmesi sağlanabilmiştir. Bu uygulamaların çevre dostu ve ekonomik olması avantaj olarak ortaya çıkmaktadır. İlgili disiplinlerin ve özel sektörün çalışmalarını bu yönde hedeflemesi ve ilerlemesi ile atıkların organik gübreye dönüştürülmesi, çevre ve sağlık risklerinin minimize edilmesi sağlanabilir.

## **B. Dünyada ve Türkiye’de Teknolojik Hazırlık Seviyeleri**

### **1.2.a. Fermantasyon prosesinin verimliliği artıracak şekilde tasarlanması: Biyolojik dönüşüm ve iyileştirme proseslerinin geliştirilmesi; kullanılan hammaddelerin kalite ve standartlara uygunluğunun test edilmesi**

Dünyada THS 8-9, Türkiye’de 3-4. Fermantasyon prosesi hem dünyada hem Türkiye’de çok iyi bilinmekte ve uygulanmaktadır. Türkiye için iyileştirme gerekmektedir.

### **1.2.b. Hızlı fermantasyon tekniklerinin mikroorganizmalar ve enzimler kullanılarak geliştirilmesi**

Fermantasyonda mikroorganizma kullanımı THS dünya için 7, Türkiye için 3-4’tür. Enzim kullanımı için THS hem dünya hem Türkiye için 1’dir. Akademik düzeyde mikroorganizma kültür seleksiyonu yapılıyor olmakla birlikte enzim konusuna daha fazla önem verilmelidir.

#### **1.2.b1. Besin değeri bakımından zengin fermente gübrelerin oluşumuna yönelik standartlara uygun tek ve/veya karma mikroorganizma kültür koleksiyonlarının öncelikli olarak yerel kaynaklardan oluşturulması ve geliştirilmesi**

Fermantasyonda mikroorganizma kullanımı THS dünya için 7, Türkiye için 3-4’tür. Enzim kullanımı için THS hem dünya hem Türkiye için 1’dir. Akademik düzeyde mikroorganizma kültür seleksiyonu yapılıyor olmakla birlikte enzim konusunda yeterli çalışma bulunmamaktadır.

#### **1.2.b2. Fermantasyon proseslerinde kullanılacak enzimlerin üretiminin araştırılması**

Fermantasyonda mikroorganizma kullanımı THS dünya için 7, Türkiye için 3-4’tür. Enzim kullanımı için THS hem dünya hem Türkiye için 1’dir. Akademik düzeyde mikroorganizma kültür seleksiyonu yapılıyor olmakla birlikte enzim konusunda yeterli çalışma bulunmamaktadır.

### **1.2.c. Mikroalgal biyogübre üretimi: Mikroalgal biyoteknoloji uygulamalarının geliştirilmesi ve gübre yönetmelikleri içinde yer alan mikroalgal biyoçeşitliliğinin araştırılması**

Dünyada Teknolojik Hazırlık Seviyesi 8-9; Türkiye’de Ar-Ge ve Yenilik projesi temelinde Teknolojik Hazırlık Seviyesi 3-4’tür.

Fermantasyon prosesi hem dünyada hem Türkiye’de çok iyi bilinmekte ve uygulanmaktadır. Türkiye için iyileştirme gerekmektedir. Fermantasyon mikroorganizma kullanımı THS dünya için 7, Türkiye için 3-4’tür. Enzim üretimi ve kullanımı için THS hem dünya hem Türkiye için

1'dir. Akademik düzeyde mikroorganizma kültür seleksiyonu yapılıyor olmakla birlikte enzim konusunda yeterli çalışma bulunmamaktadır.

Aerobik/anaerobik fermente gübre prosesi sonucu açığa çıkan gazların toplanıp enerji kaynağı olarak biyogaza dönüşümü, yenilenebilir diğer enerji kaynaklarına göre hammadde yönünden geniş bir yelpazeye sahip olması sebebiyle tarım ve ekonomik anlamda ciddi katkılar sağlamaktadır. Gelişmiş ülkeler hem kaynak israfını önlemek hem de hayat standartlarını yükseltmek ve enerji açığını gidermek adına bütün organik atıklardan biyogaz üretilmesi ve üretilen biyogazın çeşitli amaçlar doğrultusunda kullanımıyla enerji ihtiyaçlarını karşılayabilmektedir.

#### **1.2.d. Organik, organomineral, biyostimülant ve mikrobiyal gübre üretiminde kullanılmak üzere yerli besiyerlerin geliştirilmesi**

Dünyada Teknolojik Hazırlık Seviyesi 9; Türkiye'de Ar-Ge ve Yenilik projesi temelinde Teknolojik Hazırlık Seviyesi 3-4'tür.

Organik biyoyararıcılar (biyostimülantlar), yeşil endüstrinin geleceği için büyük umut vaat etmektedir. Biyostimülantlar bitki büyümesine ve metabolizmasına yardımcı olur, kök kütlesini ve toprak mikroorganizmalarını artırır. Gübreyle birlikte veya tek başına tüm bitkilere uygulanabilir.

Mevcut durumda kullanılan organik biyoyararıcılar arasında bitki hormonları, vitaminler, enzimler, humik asit, şekerler, deniz yosunları, balık emülsiyonu ve diğer ürünler yer almaktadır.

Bazı türleri toprak mikroorganizmalarını ve bitkilerde büyümeyi uyarır, bitkisel üretimi artırır ve bitki sağlığını iyileştirmektedir.

#### **1.2.e. Bitki, insan ve hayvan atıklarından kimyasal ve biyolojik yöntemlerle amino asit üretimi**

Dünyada Teknolojik Hazırlık Seviyesi 9; Türkiye'de Ar-Ge ve Yenilik projesi temelinde Teknolojik Hazırlık Seviyesi 7-9 düzeyindedir. Dünyada ve Türkiye'de kimyasal, enzimatik ve mikrobiyal yöntemlerle bitkisel ve hayvansal kökenli yüksek protein içeriğine sahip atıklardan amino asit hidrolizat üretimi konusunda ulaşılan THS 8-9 düzeyindedir.

### **C. Dünyada ve Türkiye'deki Mevcut Duruma İlişkin Başarılı Örnekler**

#### **1.2.a. Fermantasyon prosesinin verimliliği artıracak şekilde tasarlanması: Biyolojik dönüşüm ve iyileştirme proseslerinin geliştirilmesi; kullanılan hammaddelerin kalite ve standartlara uygunluğunun test edilmesi**

**Whey2Grow:** Lüksemburg, Wisconsin kökenli bir firma olup Lactobacillus suşları ile atık ürünlerden fermente gübre üretmektedir.

**TOROS GÖNEN YENİLENEBİLİR ENERJİ A.Ş.** Yoğun bir ARGE çalışmasının ürünü olan % 100 yerli ve tümüyle çevre dostu teknolojiler kullanılarak üretim yapılan tesis 15000 ton organik katı gübre, 10.000 ton sıvı organik gübre kapasitesine sahip olup, 3.62 MW kurulu elektrik üretim kapasitesine sahiptir.

**EKOSMART ENERJİ A.Ş.:** Büyükbaş hayvan gübresi ve tavuk gübresi gibi organik maddelerle birlikte anaerobik fermantasyon teknolojisi ile katkısız ve %100 doğal gübre üretildiği belirtilmektedir.

**Aydınlar madencilik:** Bünyesinde bitki besin elementlerini organik bileşikler halinde bulduran, toprağın fiziksel ve kimyasal yapısını düzenleyen fermente büyükbaş hayvan gübresi üretmektedir. İleri teknoloji ile dinlenme, mayalanma ve fermantasyon işlemine tabi tutularak elde edilen Nif Garden Katı Çiftlik Gübresi, her çeşit toprak türünde en iyi verimliliği sağlayabilmek için geliştirilmiştir. Organik tarım (Ecocert) sertifikasına sahiptir.

**Yükseller Zirai Ürünler Pazarlama Ltd. Şti:** Tavuk gübresinden üretilen organik gübre, domates, biber, fındık, üzüm, zeytin, çay, mısır, patates gibi meyve ve sebze yetiştiriciliğinde, çiçek bakımı, seracılık, park ve bahçe yeşil alan tesisinde topraktan alınan verimi artırdığı, özellikle insan ve çevre dostu özelliğiyle doğal dengenin yeniden kurulmasını sağladığı belirtilmiştir.

### **1.2.b. Hızlı fermantasyon tekniklerinin mikroorganizmalar ve enzimler kullanılarak geliştirilmesi**

Dünyada mikroorganizma kullanımı olmakla birlikte yaygın değildir.

Ülkemizde ve dünyada hayvansal ve bitkisel atıklar kullanılarak hem enerji elde edilmesi hem de atıkların gübreye dönüşümü mümkün olmaktadır. Fermantasyon prosesi sonucu açığa çıkan gazların toplanarak biyogaz eldesi ve enerjiye dönüşüm hem sera gazı etkisini düşürmekte hem de ekonomik girdi sağlamaktadır. Dünya THS seviyesi 8-9 iken (en somut örneklere Almanya'da rastlanılmaktadır) Türkiye'nin geride kalması bu alanda daha çok çalışılması gerekliliğini göstermektedir. Kompostlaştırma sonrası endüstriyel simbiyoz yaklaşımı (fiziksel olarak birbirine yakın olup bağımsız çalışan en az iki işletmenin bir araya gelerek çevresel performansı ve rekabet gücünü artırıcı ilişkiler kurması olarak tanımlanmaktadır) kullanılarak; bitki besin elementi eldesi, biyogaz ve kompost tesisleri gibi alternatif sistemlerin tasarlanması mümkündür.



Hindistan, 500 nüfuslu ve 250 büyükbaş hayvana sahip 100'er hanelik köylerde, günde 130 m<sup>3</sup> biyogaz üretilmektedir. Çin, biyogaz tesislerinin kurulması ve kırsal kesimde yaygınlaştırılmasında öncü ülkelerden bir diğeridir.

Özellikle Türkiye için mikroorganizmalar ile ilgili çalışmalar akademik düzeyde olup, ürün geliştirmeye ilgili girişimler mevcuttur.

**1.2.b1. Besin değeri bakımından zengin fermente gübrelerin oluşumuna yönelik standartlara uygun tek ve/veya karma mikroorganizma kültür koleksiyonlarının öncelikli olarak yerel kaynaklardan oluşturulması ve geliştirilmesi**

Dünyadaki başarılı örnekler Cornell Üniversitesi kompost sistemi ve kompost mikroorganizmaları, CalRecycle'dır.

Türkiye'de ise İSTAÇ, Buğday Derneği Kompost Rehberi iyi uygulama örneklerindedir.

**1.2.b2. Fermantasyon proseslerinde kullanılacak enzimlerin üretiminin araştırılması**

Fermantasyonda enzim kullanımı yaygın değildir. Türkiye'de gübre amaçlı fermantasyonda enzim kullanımı bulunmamaktadır.

**1.2.c. Mikroalgal biyogübre üretimi: Mikroalgal biyoteknoloji uygulamalarının geliştirilmesi ve gübre yönetmelikleri içinde yer alan mikroalgal biyoçeşitliliğinin araştırılması**

Ticari olarak satılan mikroalgal biyogübreler mevcuttur; BioBizz Alg A Mic, Omex Adept Seastar F Deniz Yosunu, BioSC Bioeconomy Science Center algal biyogübre üretimi üzerine çalışmakta ve deneysel olarak sonuçların başarısı test edilmektedir.

Teknopark bünyesinde ve diğer işletmelerde satışa sunulan ürünler mevcuttur. Ayrıca ticari olarak; Leo Power Saf Yosun, Black Alg BZZ Agro. Panko birlik endüstriyel simbiyozla örnek teşkil ederken, Torcu örneği kendi bünyesindeki şirket kapsamında örnek oluşturabilir.

**1.2.d. Organik, organomineral, biyostimülant ve mikrobiyal gübre üretiminde kullanılmak üzere yerli besiyerlerin geliştirilmesi**

Dünyada THS seviyesi 7-9 arasında olmakla birlikte Türkiye'de besiyeri üretimi ile ilgili araştırma seviyesinde bile ürüne rastlanmamıştır. Ayrıca Merck, Sigma, Neogen, LabM, HKM gibi şirketler mikrobiyolojik besiyeri hammadde içeriklerini ve besiyerlerini üretmektedir.

Promoseed A.Ş. ithal besiyerleri ile üretim yapmaktadır; Bactogen ile Bioneks, Enfalab, Letgen biotech, Kemiteks gibi firmalar besiyerlerini ithal ederek satış yapmaktadır. Belirtilen ürün

hammadelerinin Türkiye’de yerli kaynaklarla üretildiğine dair herhangi bir bilgiye bu firmaların web sitelerinden ulaşılamamıştır.

### **1.2.e. Bitki, insan ve hayvan atıklarından kimyasal ve biyolojik yöntemlerle amino asit üretimi**

**Hans Corporation Limited:** Bitki büyüme-gelişmesini destekleyen ve aynı zamanda zorlu şartlarda ve fotosentetik büyüme aşamalarında bitkiye yardımcı olan amino asitli gübre üretimi yapmaktadır. Çalışmaları THS7-9 seviyesindedir. Farklı kaynaklardan amino asit içeren gübre üretmekle birlikte Ar-Ge detayları sitesinde bulunmamaktadır.

**Energrom Enerji İnşaat Ticaret ve Sanayi A.Ş:** Biyokütleden enerji ve organik gübre üretimi ve satışı yapan bir firmadır. THS7-9 seviyesindedir.

**Toros Tarım Sanayi ve Ticaret A.Ş:** organik maddesi çok yetersiz olan alanlarda ve özellikle de meyve bahçeleri ve sera alanlarında uygulandığında, gübrelere uygulanan bitki besin elementlerinden bitkilerin daha iyi yararlanmasına yardımcı olan, bitkisel kaynaklı hümik ve fulvik asitler içeren bir solucan gübresi üretmektedir. THS7-9 seviyesindedir.

**Ekosol Tarım ve Hayvancılık Sanayi Ticaret A.Ş:** Granül formda EkosolFarm %100 Solucan Gübresi (Worm Castings) ve sıvı formda EkosolFarm Sıvı Solucan Gübresi (Liquid Worm Fertilizer) üreten firmadır. THS 7-9 seviyesindedir.

## **D. Ar-Ge ve Yenilik Sürecinde Bir araya Gelmesi Gereken Disiplinler ve Sektörler**

### **1.2.a. Fermantasyon prosesinin verimliliği artıracak şekilde tasarlanması: Biyolojik dönüşüm ve iyileştirme proseslerinin geliştirilmesi; kullanılan hammaddelerin kalite ve standartlara uygunluğunun test edilmesi**

Biyokimya uzmanı, genetik mühendisliği, biyoloji mühendisliği, ziraat mühendisliği, bitki besleme uzmanları, biyolog/mikrobiyolog gibi bilim dalları, organik gübre üretimini gerçekleştiren KOBİ’ler, konuyla ilgili çalışan teknopark firmaları, üniversiteler, kamu araştırma merkezleri, Tarım ve Orman Bakanlığı ve Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı’ndan konu uzmanları; kompost, fermantasyon konusunda uzmanların bir arada çalışması önemlidir.

Üretilecek olan fermente gübre pek çok farklı disiplini bir araya getirmektedir. Yapılan incelemeler sonucunda her ne kadar toprak uygulaması söz konusu olsa da atıksal ürünlerden yeni bir ürün oluşumu büyük çapta bir üretim tesisini de gerekli kılmaktadır. Bu açıdan alanında uzman araştırmacıların kontrolünde büyük çaplı endüstriyel üretim sistemlerinin kurulmasına ihtiyaç bulunmaktadır. Üretim sonrası toprak analizlerinin yapılması ve uygulamalarının yapılabilmesi için alanında yetkin ziraat mühendislerine, uygulama sonrası yetiştirilecek olan ürünlerin analizlerinin yapılabilmesi için de hem sektör içerisinde uzman kişiler hem de

üniversite bünyesinde laboratuvar analizleri konusunda gıda ve ziraat alanında eğitimli kişilerin bulunması gerekmektedir. Çevresel etkilerin değerlendirilmesi için Tarım ve Orman Bakanlığının etkili denetimi sağlıklı bir ekolojik denge için gereklidir.

Gübre ve imalat endüstrileri, üniversite, kamu kuruluşları, KOBİ'ler, Bakanlıklar, Gübre Üreticileri Dernekleri, gübre üretimi yapan sektörler (özellikle organik ve/veya organomineral gübre). Tarım, hayvancılık, fen ve sağlık sektörlerinin bir arada çalışması gerekmektedir.

Ağırlıklı olarak özel sektörden üretimle ilgili ihtiyaçlar ve aksaklıklar konularında bilgi, biyoloji mühendislerinden akademik destek, KOBİ ve sanayii kuruluşlarından üretimle ilgili destek, üniversitelerden ve ilgili fakülte ya da bölümlerinden bilimsel bilgiler ve yenilik olarak neler yapılabileceği hakkında görüşler, bakanlıklardan hem mevzuat hem uygulamada ihtiyaçlara başvurulmalıdır.

Dünyadaki mevcut durumun en ince detaylarıyla araştırılması gerekir. Özellikle üniversitelerde ilgili araştırmacıların güncel gelişmeleri, yapılacak olan üretimleri ve yapılması gerekenleri rapor etmesi gerekir. Daha sonra özel sektör kuruluşlarının tecrübesi ile yol haritası belirlenmelidir. Üniversitelerin laboratuvarları bünyesinde yetkin araştırmacılardan analizler konusunda destek alınmalıdır. Üretim sonrası Tarım ve Orman Bakanlığı bünyesinde çalışanların mevzuat açısından bilgilendirmesine ihtiyaç bulunmaktadır.

### **1.2.b. Hızlı fermantasyon tekniklerinin mikroorganizmalar ve enzimler kullanılarak geliştirilmesi**

**1.2.b1. Besin değeri bakımından zengin fermente gübrelerin oluşumuna yönelik standartlara uygun tek ve/veya karma mikroorganizma kültür koleksiyonlarının öncelikli olarak yerel kaynaklardan oluşturulması ve geliştirilmesi**

**1.2.b2. Fermantasyon proseslerinde kullanılacak enzimlerin üretiminin araştırılması**

Biyokimya uzmanı, genetik mühendisi, biyologlar, ziraat ve kimya mühendisleri; Tarım ve Orman Bakanlığı ve Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığından kompost, fermantasyon konularının uzmanları bir arada bulunmalıdır.

Gübre ve imalat endüstrileri; üniversiteler, kamu kuruluşları, KOBİ'ler, Bakanlıklar, Gübre Üreticileri Dernekleri, Gübre üretimi yapan sektörler (özellikle organik ve/veya organomineral gübre) biraraya gelmelidir.

Ağırlıklı olarak özel sektörden üretimle ilgili ihtiyaçlar ve aksaklıklar konularında bilgi, biyoloji uzmanlarından akademik destek, KOBİ ve sanayii kuruluşlarından üretimle ilgili destek, üniversitelerden ve ilgili fakülte ya da bölümlerinden bilimsel bilgiler ve yenilik olarak neler yapılabileceği hakkında görüşler, Bakanlıklardan hem mevzuat hem uygulamada ihtiyaçlar alınarak projeler tasarlanmalıdır.

**1.2.c. Mikroalgal biyogübre üretimi: Mikroalgal biyoteknoloji uygulamalarının geliştirilmesi ve gübre yönetmelikleri içinde yer alan mikroalgal biyoçeşitliliğinin araştırılması**

Bu teknolojilerin gelişebilmesi ancak multidisipliner grup çalışmaları ile mümkün olmakla beraber temelde organik gübre kalite ve standartlarına ulaşmak için ziraat mühendisleri (üretim ve ürün uygulama aşamaları) ve biyologlar, kimyacılar gibi temel bilimlerde uzmanlar (enzimler ve mikroorganizmalar konusunda uzmanlaşmış biyolog, kimyager veya kimya mühendisleri, tarım biyoteknolojisi uzmanları) gereklidir. Bununla beraber proses mühendisleri, endüstriyel tasarımcı, çevre, makine, elektrik-bilgisayar mühendisi gibi branş uzmanlarının yer alması gerekmektedir.

Biyokimya, biyolog (mikrobiyolog), biyoteknoloji uzmanları, genetik mühendisleri, ziraat mühendisleri, toprak ve bitki besleme uzmanları ve ilgili konularda Ar-Ge ve ticari üretim yapan KOBİ'ler, teknopark firmalar; Tarım ve Orman Bakanlığı ve Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığında kompost, fermentasyon konu uzmanlarının bir araya gelmesi gerekmektedir.

Gübre ve imalat endüstrileri, üniversite ev özel şirketler, uygulama ve araştırma merkezleri, kamu kuruluşları, KOBİ'ler, bakanlıklar, üniversiteler, Gübre Üreticileri Dernekleri, gübre Üretimi yapan sektörler (özellikle organik ve/veya organomineral gübre), belediyeler, kooperatifler, girişimci özel sektörler, kalkınma ajanslarının birlikte çalışması önemlidir.

Özel sektör ağırlıklı, üniversitelerden teorik ve pratik uygulama bilgileri; şirketlerden ticari ürün potansiyel bilgileri, biyoloji mühendisleri ve biyoteknoloji mühendislerinden akademik destek; KOBİ ve sanayii kuruluşlarından üretimle ilgili destek; üniversitelerden ve ilgili fakülte ya da bölümlerinden bilimsel bilgiler ve yenilik olarak neler yapılabileceği hakkında görüşler, bakanlıklardan hem mevzuat hem uygulamada ihtiyaçlar; sektörden ise üretimle ilgili ihtiyaçlar ve aksaklıklar konularında bilgi alınmalıdır. Kamu kurum ve kuruluşları (Bakanlıklar, TÜBİTAK, KOSGEB vb.), özel sektör melek yatırımcıları, uluslararası destek kurumları gibi yerlerden maddi destekler sağlanabileceği gibi üniversitelerden Ar-Ge ve iyileştirmeye yönelik danışmanlık/hizmet katkıları alınmalıdır.

**1.2.d. Organik, organomineral, biyostimülant ve mikrobiyal gübre üretiminde kullanılmak üzere yerli besiyerlerin geliştirilmesi**

Fen ve tarım bilimleri, biyokimya uzmanları, genetik mühendisliği, gıda mühendisliği, kimya mühendisliği, ziraat mühendisliği, proteomik, biyolog, biyoloji, biyoteknoloji, mikrobiyoloji ilgili konularda Ar-Ge ve ticari üretim yapan KOBİ'ler, teknopark firmalar, Tarım ve Orman Bakanlığı ve Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığında kompost, fermantasyon konu uzmanları. İhtiyaç duyulan ve sık kullanılan hammadde üretimi için projelendirme yapılarak prototip üretiminin ardından mikroorganizma kültürleri çoğaltılıp detaylı proteomik-metabolomik çalışmaların yapılması, kontrol ticari besiyerleri ile kıyaslanması ve değerlendirilmesi gerekir. Optimum çoğalma sağlanması durumunda ticari üretime geçme işlemlerinin teşvik edilmesi gerekmektedir.

Gübre ve imalat endüstrileri, üniversite ve özel şirketler, kamu kuruluşları, KOBİ'ler, bakanlıklar, üniversiteler, Gübre Üreticileri Dernekleri, gübre üretimi yapan sektörler (özellikle organik ve/veya organomineral gübre). Ar-Ge çalışmalarının üniversitelerde yetkin bilim insanlarının gözetiminde altyapı kullanılarak yapılması etkili ilerleme sağlanması bakımından önemlidir. Ardından özel sektörler ile işbirliği içerisinde destek alınarak kapsamlı üretim yapılabilmektedir.

Özellikle mikroorganizmalar üzerinde çalışma ve üretim yapan kamu ve özel sektör kuruluşlarından besiyeri ihtiyaçlarının belirlenmesi konusunda destek alınması üretimin yönlendirilmesi konusunda faydalı olacaktır. Besiyeri içeriklerinin optimize edilmesinde gıda mikrobiyolojisi alanında destek alınması gerekir. Üretilen besiyerlerinin mikroorganizmalar üzerindeki etkilerini kontrol besiyerlerine göre kıyaslayarak değerlendirme yapabilecek bilim dallarından (biyokimya, mikrobiyoloji fizyoloji, proteomik, genomik gibi) araştırmacıların destek vermesi gerekir. KOBİ ve sanayii kuruluşlarının üretimle ilgili destek vermesi işlemleri hızlandırabilir. Özel sektör ağırlıklı, besiyer üretimine uygun bitkisel veya hayvansal atığı bulunan kuruluşlardan hammadde desteği, Üniversiteler ve Ar-Ge merkezlerinden araştırma desteği, Biyoloji Mühendisleri ve Biyoteknoloji Mühendislerinden akademik destek, KOBİ ve sanayii kuruluşlarından üretimle ilgili destek, üniversitelerden ve ilgili fakülte ya da bölümlerinden bilimsel bilgiler ve yenilik olarak neler yapılabileceği hakkında görüşler, bakanlıklardan hem mevzuat hem uygulamada ihtiyaçlar, sektörden ise üretimle ilgili ihtiyaçlar ve aksaklıklar konularında bilgi alınmalıdır.

**1.2.e. Bitki, insan ve hayvan atıklarından kimyasal ve biyolojik yöntemlerle amino asit üretimi**

Yapılacak olan bu çalışma pek çok farklı disiplini bir araya getirmektedir. Öncelikle bir kimyasal dönüşüm prosesi olduğu için mevcut şartların ilerlemesini ve optimizasyonunu yönlendirecek

ziraat, fen bilimleri, gıda gibi disiplinlerden araştırmacıların işbirliği içinde çalışması gerekmektedir. Bitkisel ve hayvansal atıkların ana unsur olması nedeniyle botanik, zooloji ve mikrobiyolojik çalışmalar yapılmalıdır. Enzim teknolojisi bu alanda kullanılmalıdır. Üretilen amino asitlerin biyokimyasal içeriklerinin laboratuvar ortamlarında ve çeşitli bilimsel platformlarda karşılaştırılması ve detaylı analizlerin yapılması ve varsa zararlı bileşiklerin analizleri gıda araştırmacıları tarafından yapılmalıdır. Biyokimya uzmanları, genetik mühendisliği, ziraat mühendisi, biyolog, kimya mühendisi, gıda mühendisi, organik kimya, biyoteknoloji, mikrobiyoloji, makine mühendisi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, biyoloji, ayrıca ziraat ve kimya ile ilgili konularda AR-GE ve ticari üretim yapan KOBİ'ler, teknopark firmalar, Tarım ve Orman Bakanlığı ve Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığında konu uzmanları bir arada bulunmalıdır.

Atık dönüşüm proseslerinden yüksek besin değerlikli amino asit üretimi ve bunun gübre üretiminde kullanılması, geliştirilmesi, ürün çeşitliliğinin artırılması işlemleri kamu (özellikle üniversiteler) ve özel sektör kuruluşlarının ortak çalışmasıyla ivmelendirilebilir. Üniversite kontrolünde planlanacak projelerde özel sektör kuruluşlarının etkili problem belirleme tecrübelerinden faydalanılmalıdır. Atık yönetimi çevresel etki mekanizması açısından kontrolün sağlanmasını gerektiren bir dönüşüm prosesidir. Bu açıdan düşünüldüğünde her bir aşamada Çevre ve Şehircilik Bakanlığı ile iletişim halinde olunması gerekmekte ve meydana gelebilecek olan ürünlerin mevzuat açısından kontrollerin yapılması ve Tarım ve Orman Bakanlığı'nın ilgili birimleri ile görüşmeler yapılarak kontrollü bir şekilde ilerlenmesi gerekmektedir. Gübre ve imalat endüstrileri, hayvansal ve bitkisel gıda üretimi yapan şirketler, gübre üretimi yapan şirketler, üniversiteler, araştırma enstitüleri, teknoloji geliştirme bölgesi şirketleri, kamu kuruluşları, KOBİ'ler, bakanlıklar bir arada çalışmalıdır.

Kamu kurumlarının yapabileceği katkılar bu tür ekolojik tabanlı projeler için ilerleme ve sonuç alma bakımından gereklidir. Bu konuda özellikle üniversite kaynaklı araştırmacı ve altyapı destekleri dahil edilmelidir. TÜBİTAK tarafından sağlanacak destekler yine bu doğrultuda önemli olmakta ve yapılacak olan bu tür projelerde yetkin araştırmacı ve kişilerce çevrim içi ortamda bir araya gelinebilecek bir platformun oluşturulması yol haritasının belirlenmesi açısından önemli olabilmektedir. Özel sektör ağırlıklı, besiyer üretimine uygun bitkisel veya hayvansal atığı bulunan kuruluşlardan hammadde desteği, üniversiteler ve Ar-Ge merkezlerinden araştırma desteği, biyoloji mühendisleri ve biyoteknoloji mühendislerinden akademik destek, KOBİ ve sanayii kuruluşlarından üretimle ilgili destek, üniversitelerden ve ilgili fakülte ya da bölümlerinden bilimsel bilgiler ve yenilik olarak neler yapılabileceği hakkında görüşler, Bakanlıklardan hem mevzuat hem uygulamada ihtiyaçlar, sektörden ise üretimle ilgili ihtiyaçlar ve aksaklıklar konularında bilgi alınmalıdır. Hayvansal ve bitkisel gıda üretimi yapan

şirketlerden atık hammadde temini, Üniversiteler ve Teknoloji Geliştirme Bölgesi Şirketleri araştırma altyapısı kullanılabilir.

## **E. Ar-Ge , Yenilik, Demonstrasyon İşbirliği Modeli ve Destek Mekanizması**

### **1.2.a. Fermantasyon prosesinin verimliliği artıracak şekilde tasarlanması: Biyolojik dönüşüm ve iyileştirme proseslerinin geliştirilmesi; kullanılan hammaddelerin kalite ve standartlara uygunluğunun test edilmesi**

Küçük/orta/büyük ölçekli Ar-Ge ve yenilik projeleri, KOBİ ve üniversite ortak Ar-Ge projeleri, devlet teşvikli proje, eşgüdüm içinde yapılacak proje şeklinde ve mümkün olduğu hallerde ara çıktılar ve nihai çıktı bazında olmalıdır. Ara çıktılar ümit vaatmeyen projelere destekler kaldırılarak bütçe etkin kullanılması sağlanmalıdır.

Üretilen ürünün etki mekanizması çok boyutlu olduğu için tarım, fen bilimleri, sağlık, çevre, gıda gibi alanlarda araştırma geliştirme yapan disiplinlerin etkileşim halinde çalışması gerekmektedir.

Biyogübre üretiminde sürdürülebilirlik önemlidir. Bu açıdan sadece üretim aşaması değil üretim sonrası da yeni gelişmeler olabilmektedir. Örneğin fermente gübre üretiminde besinsel içeriğin artırılması amacıyla bakteri uygulaması yapılarak yeni formülasyonlarının yapılması ve etkisinin incelenmesi ayrı bir çalışma olarak yürütülebilir.

### **1.2.b. Hızlı fermantasyon tekniklerinin mikroorganizmalar ve enzimler kullanılarak geliştirilmesi**

#### **1.2.b1. Besin değeri bakımından zengin fermente gübrelerin oluşumuna yönelik standartlara uygun tek ve/veya karma mikroorganizma kültür koleksiyonlarının öncelikli olarak yerel kaynaklardan oluşturulması ve geliştirilmesi**

#### **1.2.b2. Fermantasyon proseslerinde kullanılacak enzimlerin üretiminin araştırılması**

Küçük/orta/büyük ölçekli Ar-Ge ve yenilik projeleri, KOBİ ve üniversite ortak Ar-Ge projeleri, devlet teşvikli proje, eşgüdüm içinde yapılacak proje şeklinde ve mümkün olduğu hallerde ara çıktılar ve nihai çıktı bazında olmalıdır. Ara çıktılar ümit vaatmeyen projelere destekler kaldırılarak bütçenin etkin kullanılması sağlanmalıdır.

### **1.2.c. Mikroalgal biyogübre üretimi: Mikroalgal biyoteknoloji uygulamalarının geliştirilmesi ve gübre yönetmelikleri içinde yer alan mikroalgal biyoçeşitliliğinin araştırılması**

Enzim, mikroorganizma ve emisyon azaltıcı hammadde açısından orta/büyük ölçekli Ar-Ge ve yenilik projeleri şeklinde çalışılabileceği gibi, tesis sistem ve emisyon azaltıcı işletimine yönelik

teknoloji platformları, yenilik ağına yönelik destek sistemleri aracılığıyla çalışılabilir. Küçük/orta/büyük ölçekli Ar-Ge ve yenilik projeleri, TÜBİTAK TEYDEB projeleri üniversite-şirket ilişkileri açısından önemlidir. Teknopark bünyesindeki THS açısından ilerleyen KOBİ'ler, KOBİ ve üniversite ortak Ar-Ge projeleri, devlet teşvikli proje, kamu ve özel sektör ortaklığı, eşgüdüm içinde yapılacak proje şeklinde, mümkün olduğu hallerde ara çıktılar ve nihai çıktı bazında olmalıdır. Ara çıktıları ümit vaatmeyen projelere sonuçlanıncaya kadar destek devam ettirilmeyerek bütçe etkin kullanılmış olabilir. Bu aşamada maddi desteklerle birlikte üniversiteler aracılığıyla uzman destekleri kesinlikle gereklidir.

### **1.2.d. Organik, organo-mineral, biyostimülant ve mikrobiyal gübre üretiminde kullanılmak üzere yerli besiyerlerin geliştirilmesi**

Küçük/orta/büyük ölçekli Ar-Ge ve yenilik Projeleri, orta ölçekli Ar-Ge ve yenilik projeleri KOBİ ve üniversite ortak Ar-Ge projeleri, devlet teşvikli proje, ayrı yürüyen projeler, eşgüdüm içinde yapılacak proje şeklinde, mümkün olduğu hallerde ara çıktılar ve nihai çıktı bazında olmalıdır. Ara çıktıları ümit vaatmeyen projelere sonuçlanıncaya kadar destek devam ettirilmeyerek bütçe etkin kullanılmış olabilir. Çalışmaların planlaması mikrobiyoloji alanında uzman bilim insanları tarafından yönlendirilmelidir. Besiyerlerinin içeriğinin protein, karbonhidrat, yağ, nükleik asit, vitamin gibi besin kaynaklı ve mikroorganizma gıdası olması nedeniyle gıda mikrobiyolojisi alanında uzman bilim insanlarının desteği gereklidir. Ürünlerin kullanılması ile mikroorganizmaların biyokimyası, protein ifade profili, metabolit içeriği, fizyolojik yapısı gibi parametreler ilgili bilim insanları tarafından en ince detaylarına kadar çok sayıda mikroorganizma grubu (farklı cinslere ait türler) kullanılarak değerlendirilmelidir. Biyoloji mühendisleri ve biyoteknoloji mühendislerinde akademik destek, KOBİ ve sanayii kuruluşlarından üretimle ilgili destek alınmalıdır. Destek şekli ise eşgüdüm içinde yapılacak proje şeklinde olmalı ve disiplinlerin üretim ve kontrol ile ilgili çalışmalarının bulguları süreklilik arz edecek şekilde ilintilendirilerek değerlendirilmeli ve aksama olabilecek her adımda geribesleme mekanizmasıyla düzenlemeler yapılmalıdır.

### **1.2.e. Bitki, insan ve hayvan atıklarından kimyasal ve biyolojik yöntemlerle amino asit üretimi**

Ürün geliştirmiş veya bu konuda araştırmalar yapmış akademik ve Ar-Ge personelinin sempozyumlar veya kongreler ile bir araya getirilip, araştırmacı gruplarının oluşturulmasında potansiyel adayların belirlenmesi ve birbirleri ile olabilecek birlikteliklerinin sağlanması gereklidir. Yapılacak olan çalıştaylar ile araştırma konularının detayları ve yol haritası ortaya konmalıdır. Bu alanda yapılacak araştırmalar laboratuvar, üretim Ar-Ge'si ve arazi çalışmalarını kapsayan orta ölçekli projeler şeklinde yürütülmelidir. Küçük/orta/büyük ölçekli



Ar-Ge ve yenilik projeleri, KOBİ ve üniversite ortak Ar-Ge projeleri, devlet teşvikli proje, ayrı yürüyen projeler, eşgüdüm içinde yapılacak proje şeklinde, mümkün olduğu hallerde ara çıktılar ve nihai çıktı bazında olmalı. Ara çıktılar ümit vaatmeyen projelere sonuçlanıncaya kadar destek devam ettirilmeyerek bütçe etkin kullanılmış olabilir. Konu ile ilgili temel araştırmaların ardından ürün prototiplerinin elde edilmesi, üretim hattının geliştirilmesi için belirlenecek araştırma konularında finansal destek kalemleri oluşturulmalıdır. Yapılacak olan projede öncelikli olarak üniversite ve özel kuruluş araştırmacılarının bir araya gelerek atılması gereken adımların belirlendiği bir platform oluşturulması gerekmektedir. Sektörlerin ilgi alanına göre araştırmacılardan bir kısmının dünyadaki ürünlerin detaylarına (varsa patent bilgilerinden) ulaşarak muadil ürün ve yeni ürün geliştirme çalışmalarına yönelik bilgi toplaması diğer çalışmaların başarıya ulaşmasını hızlandırabilir. Problem belirleme, çözüm yolları araştırma, metod belirleme ve Ar-Ge çalışmaları yapan ekiplerin kurulması gerekir.

Dönüşüm proseslerinin gerçekleşmesi, toprak uygulamasının yapılması ve analizlerin yapılması gibi aşmalarda üniversite tabanlı yetkin araştırmacıların desteğine ihtiyaç bulunmaktadır. Yukarıda belirtilen özelleşmiş ve gruplandırılmış araştırmacıların interaktif halde çalışması gerekir. Üretim sonrası ticari hale gelebilecek ürünlerin mevzuat çerçevesinde kontrollerinin yapılması ve eksiklerin giderilmesi hususunda yetkili kişilerin etkin yönlendirmesine ihtiyaç bulunmaktadır. Bütçe konusunda yeterli desteklerin proje tabanında sağlanması da yine projenin ilerlemesi açısından yeterlidir.

Projede bir araya gelen disiplinlerin ve grupların problem ve ihtiyaçları belirlemesi, gelişmeleri takip etmesi, mevcut ürünleri araştırması ve incelemesi ve Ar-Ge birimlerini yönlendirmesi gerekir. Çalışmalar sırasında projelerin dallanması muhtemel olup en ince detaylarına kadar ilerlenmesi önemlidir. Bu şekilde ürün çeşitliliği artırılabilir. Örneğin üretilen amino asitlerin analizlerinde farklı konsantrasyonlarda amino asit ayarlanması ve önerilmesi için ayrı bir grup oluşturulabilir. Üretilen amino asitlerin uygulandığı toprak özellikleri, etkisi bilinen mevcut kimyasal ürünler ile kıyaslanarak inceleme yapan başka bir grup oluşturulabilir. Toprağa uygulama sonucu elde edilen bitkisel ürünlerin insan veya hayvanlar üzerindeki etkilerini değerlendiren başka bir grup kurulabilir. Tüm gruplar iletişim içerisinde çalışmalarını sürdürmelidir.

### **F. Zaman ve Bütçe Tahminleri**

#### **1.2.a. Fermantasyon prosesinin verimliliği artıracak şekilde tasarlanması: Biyolojik dönüşüm ve iyileştirme proseslerinin geliştirilmesi; kullanılan hammaddelerin kalite ve standartlara uygunluğunun test edilmesi**

Uygulama öncesi farklı disiplinlerin birlikte çalışmasıyla detaylı değerlendirmeler sonrası üretime başlaması gerektiği için araştırma aşaması orta vadede zaman alabilir. Bu tür fermente

gübrelerin üretimi cihaz optimizasyonunu da gerektirdiği için bu aşamalar 2-3 yıl sürebilir. Üretim sonrası arazi çalışmalarının da en az 2 yıl süreyle tekrarlı yapılması gerekir. Uygulama sonrası ekolojik, sağlık etki çalışmaları da göz önünde bulundurulduğunda 7-8 yıllık bir süreç gerekebilir. Proje başlangıcından sonuna kadar uzun vadeli (5 yıl +) olarak düşünülmelidir. Fermente gübre üretiminde cihaz ve diğer paketleme ekipmanları, arazi denemeleri, sonrasında yapılması gereken analizler dahil gerekli ekipmanlar için 5-7 milyon TL bütçe yeterli olduğu düşünülmektedir.

### **1.2.b. Hızlı fermantasyon tekniklerinin mikroorganizmalar ve enzimler kullanılarak geliştirilmesi**

Belirlenen Ar-Ge ve yenilik konusu için 3 yıl süre, 3-5 milyon TL bütçe ayrılması uygundur.

#### **1.2.b1. Besin değeri bakımından zengin fermente gübrelerin oluşumuna yönelik standartlara uygun tek ve/veya karma mikroorganizma kültür koleksiyonlarının öncelikli olarak yerel kaynaklardan oluşturulması ve geliştirilmesi**

Belirlenen Ar-Ge ve yenilik konusu için 3 yıl süre, 3-5 milyon TL bütçe ayrılması uygundur.

#### **1.2.b2. Fermantasyon proseslerinde kullanılacak enzimlerin üretiminin araştırılması**

Belirlenen Ar-Ge ve yenilik konusu için 3 yıl süre, 3-5 milyon TL bütçe ayrılması uygundur.

### **1.2.c. Mikroalgal biyogübre üretimi: Mikroalgal biyoteknoloji uygulamalarının geliştirilmesi ve gübre yönetmelikleri içinde yer alan mikroalgal biyoçeşitliliğinin araştırılması**

Önerilen tavsiyeler kapsamında ve THS seviyesi dikkate alındığında sektörel uygulamaların en az 1 yıl en fazla 3 yıl sürede gerçekleştirilebileceği öngörülmektedir. AB Yeşil Mutabakatı kapsamında öngörülen bu durumun en kısa vadede hedeflenmesi gerekmektedir. Bu ürünler ve yapılanmaya yönelik fizibilite öngörüsü dahilinde 1-10 milyon TL'lik bütçe gerekmektedir.

### **1.2.d. Organik, organomineral, biyostimülant ve mikrobiyal gübre üretiminde kullanılmak üzere yerli besiyerlerin geliştirilmesi**

Türkiye'de şimdiye kadar besiyeri hammaddesi içeriği üretimi yapılmamış olması nedeniyle, ürün içerikleri çok kompleks olmamakla birlikte etkili metot adaptasyonu zaman alıcı olabilir. En az 10 içerik hammaddesi ve organizma türüne spesifik yüzlerce farklı besiyeri olması nedeniyle orta ve uzun vade hedeflenerek plan yapılmalıdır. Ürünlerin Türkiye'de üretilmesi en az inorganik gübre hammaddesi üretimi kadar önemlidir. Disiplinler arası çalışmalar gerektirmesi, enzim teknolojisini de içermesi, ürün sayısının çok olması, orta ve uzun vadede

zaman alacak olması nedeniyle her bir ürün göz önünde bulundurulduğunda 10-20 milyon TL bütçe gereksinimi olabilir.

### **1.2.e. Bitki, insan ve hayvan atıklarından kimyasal ve biyolojik yöntemlerle amino asit üretimi**

Kullanılacak asit-baz, enzim ve mikrobiyal ajanların belirlenmesi ve laboratuvar koşullarında prototip ürünlerin elde edilmesi, ticari ölçekte üretimi için üretim Ar-Ge 'sinin yapılması ve zaman maliyet etkili üretim hattının detaylarının oluşturulması konuları en az 2 yıllık bir süreç olacaktır. Genel olarak toprak uygulaması yapılan projelerde etki mekanizmalarının uzun sürelerde takip edilmesi gerekmektedir. Uygulamalar sonrası ekolojik etkilerin takibi kısa, orta ve uzun vadelerde yapılmalıdır. Atık maddelerin toplanması, sistem kurulması, proses optimizasyonlarının yapılması, toprak uygulamasının yapılması, bitkisel ürün eldesi ve ürün sonrası analizlerin yapılması genel olarak 10 yıllık bir süre alabilir. Prototip ürünün üretiminden sonra sera veya tarla denemeleri ile en az 2 yıl sürecek agronomik çalışmalar da dikkate alındığında 3-5 yıl veya daha uzun sürecek projelerin başarıya ulaşabileceği söylenebilir. Geniş kapsamlı böyle projelerde en önemli parametre dönüşüm proses optimizasyonunun uygulanacağı cihazlardır. Dolayısıyla çevresel koşullarının sağlanmasının yanında analizlerin de hassas yapılabilmesi açısından 3-10 milyon TL'lik bir bütçe gerekebilir.

## **G. Teknolojik İlerlemenin Sağlanmasında Kritik Hususlar**

Ar-Ge kapsamında kullanıma yönelik yeterli ve kullanımı kolay ama denetlenebilir bütçe desteği olmalıdır. Üniversite-sanayi işbirliklerine yönelik Ar-Ge projeleri çağrısı yapılmalı, belirlenen konularla ilgili Ar-Ge projelerinin oluşturulmasına yönelik yayım, tanıtım ve reklam faaliyetleri gerçekleştirilerek ilgili platformların bu yönde teşvik edilmesi gereklidir.

Fermente gübre üretiminde kamu sektörünün etkinliği iki aşamada değerlendirilebilir. Birincisi, üretim öncesi üniversite tabanlı Ar-Ge projelerin desteklenmesi ve ikinci olarak prototip sonrası ticari üretim için teşviklerin verilmesidir.

Kamu ve özel sektör kuruluşlarına üretim ve ticarileşme konusunda teşvik desteklerinin sağlanması ilerlemeyi hızlandırabilir. Üniversite – sanayi işbirliğinin devlet teşviki ile sağlanması, bu iş birliklerinin mevcut proje ve teşvik programlarından ayrı olarak yeni programlarla desteklenmesi gerekmektedir. Kurulacak iş birliklerinin yasal güvencelerle korunması, devlet tarafından denetlenmesi, proje çalışmalarına ait her türlü verinin devletin sağlayacağı veri tabanlarında depolanması gerekir. Projenin sektörel uygulamaları ve başarıları durumunda da değerlendirme ve ödül sistemlerinin kurulması önerilir.

## **Mevzuat ve Yasal Düzenlemeler**

Mevzuat teknolojik ilerlemeye uygun olmakla birlikte yasal düzenlemelerin kapsamının genişletilmesine ihtiyaç duyulabilir. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığının 10 Ekim 2015 tarihli “Mekanik Ayırma, Biyokurutma ve Biyometanizasyon Tesisleri ile Fermente Ürün Yönetimi Tebliği” 29498 sayılı yasayla fermente ürünlerle ilgili politikalar belirlenmiştir.

Mevcut teknolojilerini milli olarak üretilecek yeni teknolojilerle değiştirmek isteyen kuruluşlar için teşvik mevzuatlarında gerekli düzenlemelere ihtiyaç vardır. Bununla beraber bu değişimi hızlandırmak için maddi desteklerle değişim ile emisyonlarını azaltan kuruluşlar ödüllendirilmelidir.

Türkiye’de kullanılan gübrelere ilişkin teknik düzenlemeleri tanımlayan ve ürünlere uygulanacak analiz metotlarını belirten iki mevzuat bulunmaktadır. Bu uygulayıcı dokümanlar sırasıyla “Tarımda Kullanılan Organik, Mineral ve Mikrobiyal Kaynaklı Gübrelere Dair Yönetmelik” ve “Piyasaya Arz Edilen Gübrelerin İzlenmesine Yönelik Tebliğ”dir. Gübrelere ilişkin teknik düzenlemeler ve toleranslar, Tarımda Kullanılan Organik, Mineral ve Mikrobiyal Kaynaklı Gübrelere Dair Yönetmelik’in Ek-1, Ek-2, Ek-3, Ek-4, Ek-5, Ek-6, Ek-7 ve Ek -18’inde belirtilmektedir. Gübrelerin analizinde kullanılacak metotlar, Tarımda Kullanılan Organik, Mineral ve Mikrobiyal Kaynaklı Gübrelere Dair Yönetmeliğin Ek-19’unda ve Piyasaya Arz Edilen Gübrelerin İzlenmesine Yönelik Tebliğ’in Ek-3’ünde belirtilmektedir (T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, 2018).

**Madde 4-** Organik gübre: Bitki besin maddelerini bünyesinde organik bileşikler halinde bulunduran, toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini düzelterek, bitki besin maddelerinin yararlılığını artırmak suretiyle alımını kolaylaştıran bitkisel ve/veya hayvansal kökenli atık ve/veya artıklardan elde edilen ürünleri belirtir.

Bununla birlikte Türkiye ve Avrupa Birliği arasında malların serbest dolaşımının sağlanması için 1995 yılında imzalanan Gümrük Birliği anlaşması çerçevesinde, Türkiye’nin Avrupa Birliğinde değişik tipteki ürünler için yayınlanan ürün mevzuatlarını uyumlaştırmaktadır. Uyumlaştırılan Avrupa Birliği direktifleri/regülasyonları ulusal mevzuat (yönetmelik) olarak ilgili bakanlıklarca yayınlanmaktadır. 2019 yılında gübreler ile ilgili Avrupa Birliği’nde regülasyon yayınlanmış olup, bu regülasyonun ülkemizde ulusal mevzuat olarak yayınlanması için uyumlaştırma çalışmaları T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından yürütülmektedir. Bu mevzuatın yönetmelik olarak yayınlanmasıyla birlikte, gübreler ile ilgili yürürlükte olan yönetmeliklerin kaldırılacağı öngörülmektedir. Avrupa Birliği’nde yayınlanan ve ülkemizde uyumlaştırma çalışmaları başlatılan bu regülasyonun resmi olarak uygulanma tarihi 16 Temmuz 2022’dir. Yeni regülasyonun yürürlüğe girmesi ile beraber, Türkiye’de yerleşik gübre

üreticilerinin ürünlerini piyasaya arz etmeleri, Türkiye ve Avrupa Birliği üyesi ülkelere ihracat yapmak isteyen gübre üreticilerinin bu yönetmelik şartlarını sağlamaları gerekecektir (Avrupa Komisyonu, 2016; Avrupa Konseyi, 2019). İlgili regülasyon kapsamında Türkiye'deki gübre üreticilerinin, Ek-4 Bölüm 2'ye göre teknik dokümantasyonu oluşturması ve ürünlerini Avrupa Birliği tarafından atanmış bir Onaylanmış Kuruluş (Belgelendirme Kuruluşu) tarafından regülasyonun Ek-4'ünden seçecekleri uygunluk değerlendirme rotasına göre belgelendirilmeleri gerekecektir.

Yapılacak olan Ar-Ge ve üretim tabanlı projelerde atıkların hangi oranlarda, hangi bileşimde kullanılacağı belirli bir standartta olmadığı için mevzuatın geniş kapsamlı olarak çizdiği çerçevenin belirli bir standarda göre oluşturularak doldurulması gerekmektedir. Ekolojik dengede toprak, bitki ve insan bağlamında bir zincir olduğundan insan ve hayvan sağlığını etkileyecek çeşitli farmakolojik testlerin yapılması gerekmekte ve mevzuat açısından bu tür düzenlemelere dikkat edilmesi gerekmektedir.

Çok sayıda formülasyon olması ve etki mekanizmalarının (biyokimyasal) tam olarak bilinmemesi nedeniyle uygulanacak fermente gübre çeşidi, uygulama zamanları, miktarları gibi parametrelere bağlı zaman içerisinde düzenleme ihtiyacı ortaya çıkabilir.

Ayrıca inorganik, organik ve organomineral gübre üretim prosesleri ve tarımda gübre kullanımına bağlı sera gazı emisyonlarının azaltılmasına yönelik yürütülecek Ar-Ge faaliyetleri sonucunda ortaya çıkabilecek yeni teknolojiler ve buluşların üretimi ve piyasada satışı, Tarım ve Orman Bakanlığı, Bitkisel Üretim Genel Müdürlüğü tarafından ruhsatlandırılacak ve tescillendirilecektir. Avrupa Birliği uyum çalışmaları nedeniyle, İnorganik Gübre Yönetmeliği, Avrupa Birliği Gübre Yönetmeliği ile birebir uyumludur. Ülkemizde yeni geliştirilecek benzeri ürünlerin patent veya faydalı model tescili alınmış olsa dahi, Avrupa Birliği Gübre Yönetmeliğine kaydının yapılmadan üretimi ve satışı mümkün değildir. Firmalarımız, özellikle de başlangıç (start-up) veya KOBİ düzeyinde olan şirketlerimiz, bu süreci ve oluşacak maliyetleri Avrupa Birliğinde faaliyet gösteren gübre şirketleri kadar kolay yönetemeyecek ve maliyetleri karşılamakta zorlanacaklardır. Bu nedenle Ar-Ge projeleri kapsamında geliştirilebilecek yeni teknoloji ve buluşların, hem sera gazı emisyonlarının azaltılmasında yerli teknoloji kullanımının sağlanması hem de ucuz teknolojiye ulaşım ve sektörün yurtdışı bağımlılığının azaltılması açısından desteklenmesi gerekmektedir. Öncelikle yeni teknoloji ve buluşların üretim ruhsatlarının ve satış tescillerinin verilebilmesi için bu alanda ulusal yönetmeliklerin geliştirilmesi gereklidir. Yeni teknoloji ve buluşların etik, insan ve çevre sağlığı açısından değerlendirileceği pozitif bakış açısına sahip komisyonlar kurulabilir. Bu komisyonlar güçlü bilimsel alt yapılarından dolayı özellikle Araştırma Üniversitelerinden, Tarım ve Orman Bakanlığı ve Bağlı Kuruluşlardan oluşturulabilir. Bu teknoloji veya ürünlerin ulusal

yönetmelikten Avrupa Birliği yönetmeliğine geçişleri Tarım ve Orman Bakanlığı, Bitkisel Üretim Genel Müdürlüğü tarafından yürütülmelidir.

Yeni teknoloji ve buluşların Avrupa Birliği Gübre Yönetmeliğine kayıtlarının yapılabilmesi için Tarım ve Orman Bakanlığı, Sanayi ve Ticaret Bakanlıkları ve KOSGEB gibi kuruluşlar tarafından usuller konusunda ve mali yönden destekler verilmelidir. Aksi takdirde Avrupa Birliği tarafından özellikle de Avrupa Birliği üyesi ülkelerde yapılmış olma koşulu ile istenecek test, sertifikasyon veya kayıt işlemlerine başlangıç (start-up) veya KOBİ ölçeğinde faaliyet gösteren şirketlerimizin ekonomik güçleri yetmeyecektir. Ulusal yönetmeliklerin bu kapsamda oluşturulmadan ya da güncellenmeden uluslararası şirketlere sahip Avrupa Birliği üyesi ülkelerin teknoloji ve pazarı elinde tutmasının önüne geçmek mümkün olmayacaktır.

### **Teknik Altyapılar**

Üniversite ve Sanayide bu alanlarda desteklenecek Ar-Ge projelerin yapılması ve üretim süreçlerinin gerçekleştirilmesi için gerekli yeterli altyapı olsa da bu konuda olası riskler belirlenmeli ve bunların giderilmesi önerilmektedir. Bu grup gübre ile ilgili test ve sertifikasyonlar üniversitemiz ve özel sektöre ait laboratuvarlarda rahatlıkla yapılabilir.

Üretim tesisi için destek gerekebilir. Bununla birlikte piyasada satışa sunulan gübrelerin gözetim ve denetim amacıyla gerek gübre örneklerinin alınması, alınacak örnek sayısının belirlenmesi ve gerekse analiz sırasında uygulanacak yöntemler ile analiz bulgularının hangi formata göre rapor edileceği Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından yayımlanan tebliğlerde belirtilmiştir. Uygulanması istenen yöntem dışında kullanılan metotlar belirtilmelidir. Bu durumda öncelikle uluslararası kabul gören yöntemler tercih edilmelidir.

Üretim ve test altyapısı yeterli olmakla birlikte sertifikasyon işlemlerinde düzenleme yapılması gerekebilir. Fakat üniversite araştırma ortamlarının bu çalışmalarda kritik öneme sahip olması nedeniyle, buralardaki kontrol mekanizmalarının kurulması gerekebilir. Üniversiteler Ar-Ge yatırımlarını gerçekleştirip teknoparklar aracılığıyla bu tür eksiklerin giderilmesi hususunda adım atabilir. Ayrıca analiz sırasında uygulanacak yöntemler ile analiz bulgularının hangi formata göre rapor edileceği Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından yayımlanan tebliğlerde belirtilmiştir. Bu tebliğler dışında başka bir yöntem uygulanması durumunda yeni değerlendirmeler yapılma ihtiyacı ortaya çıkabilir.

Mevcut durumda sektör uygulamalarında altyapıları yeterli olarak değerlendirilirken karbon emisyonlarının azaltılmasına yönelik devlet ve özel kurumlardan danışmanlık-arge ve eğitim ihtiyaçları öngörülmektedir. Özellikle bu bağlamda sektörün bilinçlenmeye ve yönlendirilmeye ihtiyacı bulunmaktadır. Bu nedenle devlete bağlı ilgili kurum ve kuruluşlardan sektöre yönelik farkındalık ve bilinçlendirme hizmetlerinin verilmesi gerekmektedir.

## **İnsan Kaynakları**

Yetmişmiş teknik ve mühendis desteği gerekmektedir. İhtiyaç duyulan yetkinlikte insan kaynağı mevcuttur, ancak ülke geneli düşünüldüğünde insan kaynaklarının homojen dağılmadığı ve arzın talebi karşılayamadığı öngörülmektedir. Mevcut işletmelerde konunun uzmanı olan kişilerin istihdamlarına daha çok yer verilmesi gerekliliği ve üniversite-sanayi işbirliklerinin yaygınlaştırılması öncelikli çözüm olmalıdır. Üniversite ve sanayide bu alanlarda Ar-Ge projesi geliştirecek yetkinliğe sahip insan kaynağı olmakla birlikte, uluslararası ortak çalışmaların yapılması da teşvik edilmelidir. Üniversitelerde insan kaynağı kritik düzeyin altındadır. Ar-Ge alanında araştırmacı ve/veya yardımcı araştırmacı desteğine çok ihtiyaç bulunmaktadır.

Üniversitelerde çalışan ve özellikle mikrobiyoloji, biyokimya, ekoloji, moleküler biyoloji alanlarındaki yetkin akademisyenlerden her aşamada destek alınması Ar-Ge ve üretim aşamalarına kadarki süreçlerde aksamaları büyük ölçüde azaltabilir. Türkiye geneli olarak düşünüldüğünde bu konu üzerinde yetkili bilim insanları ve araştırmacılar mevcuttur. Fen bilimleri, ziraat, gıda, sağlık alanında üniversite bünyesindeki bilim insanları ve lisansüstü eğitim almış diğer araştırmacıların desteğine ihtiyaç vardır.

## **Destek ve Teşvikler**

Üniversite-sanayi işbirliklerinin kapsamının ve teşvik kapsamının genişletilmesi, hibe destekleri, Ar-Ge destekleri, beklenen hedeflerin gerçekleştirilmesi için sanayiye altyapı desteklerinin verilmesi, vergi muafiyetleri getirilmesi, üretim destekleri ve tescil alma süreçlerinin hızlandırılmasına yönelik destekler verilebilir. Entegrasyon için altyapı ve/veya özendirme desteği bazı alanlarda gereksinilebilir. TÜBİTAK ve TAGEM tarafından temel araştırmayı da kapsayacak Ar-Ge projeleri çağrısına çıkılabilir. Sanayiye entegrasyonu için ise KOSGEB tarafından orta ölçekli, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı tarafından da büyük ölçekli yatırımlar için hibe destek programları oluşturulabilir. Bu tür projelerin araştırma, uygulama ve kontrol olmak üzere üç aşamadan oluşan geniş kapsamlı bir çalışma olduğu göz önünde bulundurulmalıdır. Üniversite-sanayi işbirliği, KOSGEB, TAGEM, akredite yatırım fonlarının katkısı alınabilir.

Yapılacak olan projelerde cihazların temini için Sanayi ve Teknoloji Bakanlığının yatırım teşviklerine ihtiyaç bulunmaktadır. Laboratuvar analizlerin gerçekleşmesi için üniversite tarafından ve TÜBİTAK gibi kurumlardan gerekli malzeme tedariklerinin sağlanması gerekmektedir. Üretilecek olan ürünlerin piyasa arzında ise çeşitli hibe desteklerinin verilmesiyle beraber bireysel ve kurumsal yatırım işlemleri teşvik edilmelidir.

Özellikle karbon emisyonlarının azaltılmasına yönelik teknoloji ve uygulamaları yürütecek sektörün bilinçlenmeye ve yönlendirilmeye ihtiyacı bulunmaktadır. Bu nedenle devlete bağlı

ilgili kurum ve kuruluşlardan sektöre yönelik farkındalık ve bilinçlendirme hizmetlerinin verilmesi gerekmektedir. Ayrıca ödül, teşvik veya yerel odaklı kalkınma birlikleri ile entegre planlanan maddi/manevi desteklerin verilmesi önerilebilir.

## KAYNAKLAR

- Adediran, J.A., De Baets, N., Mnkeni, P.N.S., Kiekens, L., Muyima, N.Y.O., Thys, A. 2003. "Organic waste materials for soil fertility improvement in the border region of the Eastern Cape, South Africa", *Biological Agric. Hortic.*, 20, 283-300.
- Albuquerque, J. A., Fuente, C., Ferrer-Costa, A., Carrasco, L., Cegarra, J., Abad M., Bernal, M. P. (2012). Assessment of the fertiliser potential of digestates from farm and agroindustrial residues, *Biomass and Bioenergy*, 40:181-189.
- Arthurson, V. 2009. "Closing the Global Energy and Nutrient Cycles through Application of Biogas Residue to Agricultural Land – Potential Benefits and Drawbacks, *Energies*", 2, 226-242.
- Avrupa Komisyonu. 2016. Avrupa Birliği ürünlerine ait kuralların uygulanması için Mavi Kılavuz. Brüksel: Avrupa Birliği Resmi Gazetesi.
- Bahtiyar, Ö., Emin, O., 2008. "Membran yöntemiyle biyogazdan karbondioksitin ayrıştırılması ve metan saflaştırma projesi", Proje no: 105Y084.
- Bharathiraja, B., Sudharsana, T., Jayamuthunagai, J., Praveenkumar, R., Chozhavendhan, S., Iyyappan J. 2018. "Biogas Production – A review on composition, fuel properties, feed stock and principles of anaerobic digestion, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*", 90, 570-582.
- Deepika, P., MubarakAli, D. 2020. "Production and assessment of microalgal liquid fertilizer for the enhanced growth of four crop plants", *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 28, 101701.
- Denizsel, A. "Biyokütle". [https://izmir.mmo.org.tr/sites/default/files/014\\_4.pdf](https://izmir.mmo.org.tr/sites/default/files/014_4.pdf) Son erişim tarihi:19 Aralık 2022.
- Gonzalez, M.O.A., Gonçaves, J.S., Vasconcelos, R.M. 2017. "Sustainable development: Case study in the implementation of renewable energy in Brazil", *J. Clean. Prod.*, 142:461–75.
- Hoitink, H.A.J., Boehm, M.J. 1999. "Biocontrol within the context of soil microbial communities: a substrate-dependent phenomenon", *Ann. Rev. Phytopath.* 37, 427- 446.
- IPCC. Climate change. 2014. Impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: global and sectoral aspects. Contribution of working group II to the fifth assessment report of the



- intergovernmental panel on climate change. Cambridge, UK, and New York: Cambridge University Press; 2014.
- İlkılıç, C., Deviren, H., 2011. "Biyogaz Oluşumu ve Biyogaz Safılaştırma Yöntemleri. 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)", 16-18 May, Elazığ, Turkey, s.150-155.
- Monnet, F. 2003. An introduction to the anaerobic digestion of organic waste, In Remade Scotland, Final Report Biogasmax.
- Nkoa, R. 2014. "Agricultural Benefits and Environmental Risks of Soil Fertilization with Anaerobic Digestates: a review", *Agron. Sustain. Dev*, 34:473–492.
- Odlare, M. 2005. "Organic residues. A resource for arable soils. Swedish university of agricultural sciences", Upsala, Sweden.
- Slinksiene, R., Sendzikiene, E., Mikolaitiene, A., Makareviciene, V., Paleckiene, R., Ragauskaitė, D., 2022. "Use of microalgae biomass for production of granular nitrogen biofertilizers", *Green Chemistry Letters and Reviews*, 15 (2), 415-425.
- Wang, Y., Shen, F., Liu, R., Wu, L. 2008. "Effects of anaerobic fermentation residue of biogas production on the yield and quality of Chinese cabbage and nutrient accumulations in soil", *Int. J. Glob. Energy Issues*, 29, 284-293.
- Yang, L., Wang, J., Shi J. 2017. "Can China meet its 2020 economic growth and carbon emissions reduction targets?" *J. Clean. Prod.*, 142:993–1001.
- Yu, F., Guan, X., Zhao, Z., Zhang, M., Guo, P., Pan, J., Li, S. 2006. "Application of biogas fermentation residue in *Ziziphus jujuba* cultivation", *Ying Yong Sheng Tai Xue Bao.*, 17, 345-347.
- 2019/1009 sayılı gübrelere ilişkin regülasyon, Avrupa Konseyi. (2019, 6 25). Brüksel: Avrupa Birliği Resmi Gazetesi.
- Halkman, A.K. 2005. Sayfa 358. Merck Gıda Mikrobiyolojisi Uygulamaları. Editör: Halkman, A.K. Ankara. Başak Matbaacılık ve Tanıtım Hizmetleri Ltd. Şti.
- Halkman, A.K. ve Sağdaş Ö.E. 2014. Sayfa 250. Merck Mikrobiyoloji El Kitabı. Editör: Halkman, A.K. ve Sağdaş Ö.E. Ankara. Grafik Tasarım Teknik Hazırlık ve Baskı.
- Megep, 2012. "Besiyeri Hazırlama". [http://megep.meb.gov.tr/mte\\_program\\_modul/moduller\\_pdf/Besiyeri%20Haz%C4%B1rlama.pdf](http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Besiyeri%20Haz%C4%B1rlama.pdf) Son erişim tarihi:19 Aralık 2022.

- Temiz, A. 1991. "Peptonlaştırılmış Peynir Altı Suyu Proteinin Mikrobiyolojik Besiyerlerinde Kullanılabilirliği", *Gıda*, 16(5).
- Baier-Anderson, C. and Anderson, R.S. 2000. "The effects of Chlorothalonil on oyster hemocyte activation: Phagocytosis, reduced pyridine nucleotides, and reactive oxygen species production", *Environmental Research*, 83(1), 72-78.
- Demir, H., Polat, E., and Sönmez, İ. 2010. "Ülkemiz için yeni bir organik gübre: solucan gübresi", *Tarım aktüel*, 14, 54-60.
- Dursun, D., and Dalgıç, A. C. 2018. "Tarımsal-Endüstriyel Atıklardan Katma Değeri Yüksek Pigmentlerin Biyoüretimi", *Akademik Gıda*, 16(2), 205-209.
- El-Said, M. A. A., & Mahdy, A. Y. 2016. "Response of two wheat cultivars to foliar application with amino acids under low levels of nitrogen fertilization". *Middle East Journal of Agriculture Research*, 5(4), 462-472.
- Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı. "Tarımda Kullanılan Organik, Mineral ve Mikrobiyal Kaynaklı Gübrelere Dair Yönetmelik". <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2018/02/20180223-4.htm> Son Erişim Tarihi: 19 Aralık 2022.
- Güçdemir, İ.H., Keçeci M., Usul, M., Özcan, H. ve Polat, H. 2008. *Tarım El Kitabı. Tarım ve Köyşleri Bakanlığı Tarımsal Üretim ve Geliştirme Genel Müdürlüğü, Ankara.*
- Gündüzalp, A. A., and Güven, S. 2016. "Atık, çeşitleri, atık yönetimi, geri dönüşüm ve tüketici: Çankaya belediyesi ve semt tüketicileri örneği", *Hacettepe Üniversitesi Sosyolojik Araştırmalar E-Dergisi*, 9(1), 1-19.
- Hordur, G., Kristinsson, B., and Rasco, A. 2000. "Fish protein hydrolysates: production, biochemical ve functional properties", *Food Science ve Nutrition*, 40(1), 43–81.
- İlay, R., Kavdır, Y. and Sümer, A. 2013. "The effect of olive oil solid waste application on soil properties and growth of sunflower (*Helianthus annuus L.*) and bean (*Phaseolus vulgaris L.*)", *International Biodeterioration and Biodegradation*, 85, 254-259.
- Kacar, B., Kütük, C., 2010. "Gübre analizleri". Nobel Yayın No: 1497, Birinci baskı, 382s, Ankara.
- Kacar, B. ve Katkat, V. 2014. "Gübreler ve Gübreleme Tekniği". Nobel Yayın Dağıtım No:21, Ankara.

- Kalkan, H., Gözükara, G. and Kaplan, M. 2017 “New Trend in Autumn Tomato Growing: Liquid Organic Fertilizer Consumption”, *Academia Journal of Engineering and Applied Sciences*,2, 92-100.
- Korkmaz, K. 2018. “Ticari enzimler kullanılarak farklı balık Türü atıklarından hidrolizat üretimi ve Kalitesinin belirlenmesi”, Doktora Tezi, O.D.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, Ordu.
- Korkmaz, K., Tokur, B. and Yılmaz, U.Ç.A.R. 2021. “Enzimatik hidroliz yöntemi kullanılarak balık işleme atıklarından balık protein hidrolizatı üretimi”, *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 31(2), 502-513.
- Lin, C.S.K., Pfaltzgraff, L.A., Herrero-Davila, L., Mubofu, E. B., Abderrahim, S., Clark, J. H., Koutinas, A.A., Kopsahelis, N., Stamatelatos, K., Dickson, F., et al. 2013. “Food waste as a valuable resource for the production of chemicals, materials and fuels. Current situation and global perspective”. *Energy Environ Sci*, 6, 426–464, <https://doi.org/10.1039/C2EE23440H>
- Liu, H., Zhong, X. , Huang, Y., Qiao, C., Shao, C., Li, R. and Shen, Q. 2018. “Production of Free Amino Acid and Short Peptide Fertilizer from Rapeseed Meal Fermentation Using *Bacillus flexus NJNPD41* for Promoting Plant Growth”, *Pedosphere*, vol. 28 , pp. 261-268, March.
- Okumuş, A., & Alçınkaya, T. 2019. “Toprak ve bitki destekleyicileri: biopestisit ve mikrobiyal gübreler”, *Soil and Plant Promoters: Biopest and Biofertilizers*. Samsun.
- Özcan, T. and Harputlugil, B.T. 2021. “Süt Endüstrisi Atıklarının Çevresel Etkileri ve Biyoteknolojik Olarak Değerlendirilmesi”. *Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 35(2), 415-437.
- Özdemir, E. E., Görgüç, A., Gençdağ, E., and Yılmaz, F. M. 2021. “Püskürtmeli Kurutma Ve Dondurarak Kurutma Yöntemlerinin Temelleri Ve Bu Yöntemler İle Gıda Atıklarından Toz Ürünlerin Üretimi”, *Gıda*, 46(3), 583-607.
- Özkaya, M.S. “Orman Toprağı Ve Üç Farklı Toprakla Beslenen Kırmızı Kaliforniya Solucanından Elde Edilen Solucan Gübreleri Arasındaki Farkın Belirlenmesi”, *Turkish Journal of Forest Science*, 5(1), 12-22.
- Özyardımcı, C. 2021. “Sıvı organik gübrelerde ve amino asitli sıvı organik gübrelerde bitki besin maddesi içeriklerinin belirlenmesi ve gübrelerdeki içerik yararlılığının karşılaştırılması”, Master's thesis, Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara.

Raghavan, S., and Kristinsson, H.G. 2008. "Antioxidative efficacy of alkali-treated tilapia protein hydrolysates: A comparative study of five enzymes". Journal of Agricultural and Food Chemistry, 56 (4), 1434-1441.

Slizyte, R. 2004. "Hydrolysis of cod (*Gadus morhua*) by-products: Influence of raw material composition and process conditions". PhD thesis, NTNU, Faculty of Natural Sciences and Technology, Department of Biotechnology.

URL-1, 2007. <http://www.zmo.org.tr/etkinlikler/6tk05/016> Son erişim tarihi: 19 Aralık 2022.

Üçgül, V. 2019. "Tekirdağ ili'nin hayvansal atık kaynaklı biyogaz potansiyelinin değerlendirilmesi", Master's thesis, Namık Kemal Üniversitesi. Tekirdağ.

Wang, D., Deng, X., Wang, B., Zhang, N., Zhu, C., Jiao, Z., ... & Shen, Q. 2019. "Effects of foliar application of amino acid liquid fertilizers, with or without *Bacillus amyloliquefaciens* SQR9, on cowpea yield and leaf microbiota". PLoS One, 14(9).

### **Kritik Ürün/Teknoloji 1.3.**

**Besin içeriği yüksek organo-mineral gübrelerin üretimine yönelik yenilikçi organik ve kimyasal katkıların ve proseslerin öncelikli olarak yerel kaynaklar kullanılarak tasarlanması**

#### **Öncelikli Ar-Ge ve Yenilik Konuları**

**1.3.a. Ham fosfat ağırlıklı organomineral gübrelerde ham fosfatın suda çözünebilir fosfor miktarını artıracak kimyasal ve/veya biyolojik proseslerin geliştirilmesi ve iyileştirilmesi**

**1.3.b. Depo ömrünü artırmaya ve kullanımını kolaylaştırmaya yönelik granül kalitesini yükseltecek proseslerin geliştirilmesi**

**1.3.c. Piroliz ürünlerinin organo-mineral gübre üretiminde kullanılmasına yönelik yenilikçi proseslerin geliştirilmesi**

#### **A. Teknik Açıklamalar, Yenilikçi Özellikler, Hedeflenen Performans ve Metrikler**

Bitkisel ve hayvansal atıkların kontrollü koşullarda ayrıştırılmasıyla elde edilen organik gübrelerden fiziksel ve kimyasal özellikleri iyi, etkinliği yüksek gübre hazırlamak amacıyla çözünebilir fosfor miktarını artıracak kimyasal ve/veya biyolojik proseslerin geliştirilmesi ve iyileştirilmesi için ham fosfat, mika biotit gibi minerallerle ya da inorganik gübrelerle veya leonardit, humik asit, torf gibi diğer organik madde kaynaklarıyla harmanlanarak hazırlanmış olan sıvı ya da katı gübrelerdir.

Organomineral gübreler; inorganik gübreler ile leonardit, kompost ve hayvansal gübreler gibi organik kaynaklar ile oluşturulan, klasik gübrelere göre daha düşük oranlarda bitki besin maddesi içeren, fakat gübre kullanımı sayesinde az da olsa toprağa organik madde kazandırarak bitki kök bölgesinde fiziksel ve kimyasal toprak özelliklerinin iyileşmesini hedefleyen yeni nesil gübre teknolojisidir.

Klasik gübreler ile kıyaslandığında rizosfer bölgesinde fiziksel ve kimyasal toprak özelliklerini düzenlemesi, organomineral gübre ile verilen organik kolloidlerin besin elementlerini tutarak, yıkanma veya gaz şeklinde gerçekleşebilecek kayıpları azaltması gübre kaynaklı sera gazı emisyonlarının da azalmasına katkı sağlayabilir.

Türkiye’de bulunan ham fosfat yataklarının düşük tenör nedeniyle fosforlu gübre üretiminde kullanımının ekonomik olmaması nedeniyle dışa bağımlı olmayı zorunlu kılmaktadır. Bu nedenle ham fosfatın çözünürlüğünü artıracak yeni yöntemler geliştirilmesi dışa bağımlılığı azaltacak ya da tamamen ortadan kaldıracaktır.

Organomineral gübrelerde üretimden sonra depolanma süresince fiziksel ve/veya kimyasal özelliklerde istenmeyen yönde değişimler olabilmektedir. Granül (tane) yapısı bozulup dağılabilmektedir. Ağırlık kaybı olabilmekte, içerdiği nem nedeniyle kesikleşme/kekleşme olabilmekte ya da bozunma olabilmektedir. Bunlar organomineral gübrelerin kullanımını zorlaştırmaktadır. Bu olumsuzlukları giderecek proses, bileşik, yöntem vb teknoloji geliştirilmesi faydalı olacaktır.

Piroliz (biyokömür) ürünlerinin tarımsal amaçlı kullanım alanları yaygınlaşmaktadır. Piroliz ürünleri diğer etkileri yanında önemli miktarda karbonu toprağa bağlama görevi görmektedir. Bu amaçla yenilikçi piroliz ürünleri bağlantılı organomineral gübre hazırlama prosesleri geliştirilmesi önemlidir.

Organomineral gübrelerin yüksek oranda suda çözünebilir bitki besin maddesi ve kaliteli organik madde içeriğine sahip olmasının sağlanması yanında uygulama ve depolama sorunlarının ortadan kaldırılmasına yönelik teknoloji geliştirilmesi de önemlidir. Türkiye tarım topraklarının organik madde içeriğinin yetersiz olması organomineral gübre kullanımını gerektirmektedir. Ayrıca organik madde mineral gübrelerden yararlanma oranını artırdığı için gübre kullanımını optimize etmek yoluyla karbon salımını dolaylı olarak azaltıcı etkiye sahiptir. Organomineral gübre üretimi ve tüketimi bitkisel ve hayvansal atıkların değerlendirilmesini sağlayarak bunların çevre kirliliğine yol açmasını engelleyeceği için de önemlidir. Bu yönde yapılacak faaliyetler yerel kaynaklardan yararlanmayı sağlayarak dışa bağımlılığı azaltma yönünden önem taşımaktadır. Organomineral gübreler toprakların fiziksel/kimyasal/biyolojik özelliklerini düzenleme ve iyileştirme yoluyla etkin gübre kullanımını sağlayarak daha az karbon salımı sağlayacaktır.

Ülkemiz ve dünya için çok da eski olmayan bu gübre çeşidinin geliştirilmesi veya sera gazı emisyonunun artmasına neden olabilecek veya sera gazı emisyonlarının azalmasını sağlayacak bazı eksikliklerin ve sorunların giderilmesi AB Yeşil Mutabakatı kapsamında hedeflenen noktaya ulaşmayı da kolaylaştıracaktır. Organomineral gübrelerin düşük oranda suda çözünebilir bitki besin maddesi ve kaliteli organik madde içeriğine sahip olması, uygulama ve depolama sorunlarının ortadan kaldırılması gerekmektedir.

Bitkisel ve hayvansal atıkların değerlendirilmemesi çevre kirliliği oluşturmaktadır. Fosforlu gübreler ithal yoluyla temin edilmektedir. Dünyadaki ham fosfat kaynakları da tükenme yolundadır. Türkiye’de bulunan ham fosfat kaynakları ise tenör düşüklüğü nedeniyle kimyasal

gübre üretiminde değerlendirilememektedir. Ham fosfatların çözünürlüğünün artırılması bu kaynakların kimyasal gübre üretimine gerek kalmadan organomineral gübrelerin kullanımı yoluyla kimyasal fosforlu gübre ithalatını azaltacak ya da gereksiz hale getirebilecektir. Türkiye ham fosfatların bitkisel ve hayvansal atıklarla kompostlanarak bu yönde fayda sağlanması önemlidir. Benzer şekilde piroliz ürünlerinden daha fazla ve etkili yararlanılarak atmosfere karbon salımının azaltılması önemlidir. Düşük pH ve yüksek organik karbon içeriğine sahip yerel kaynaklardan yenilikçi organik madde kaynağı ihtiyacının karşılanması (piroliz ürünleri) düşünülmelidir.

Depolama süresince organomineral gübrelerin özellik ve kalitelerinde oluşan istenmeyen değişimlerin kullanımını olumsuz etkilemesi sorun oluşturmaktadır. Düşük granül kalitesinden dolayı, depolama ömrünün kısa olması ve gübreleme makinalarıyla uygulanmalarında zorluklarla karşılaşmaktadır.

Organomineral gübre üretiminde suda çözünebilir fosfor miktarı çok düşük ham fosfat kullanımı yanında yüksek pH ve tuz, düşük organik karbon içeriğine sahip organik kaynakların kullanımı (leonardit, biyogaz atıkları) organomineral gübrelerin etkinliğini azaltmaktadır.

Gübre Takip Sistemi (GTS) verilerine göre 2021 yılında satışı yapılan organomineral gübre miktarı 666.000 ton olmuştur. Bu miktar ülkemizin gübre ihtiyacının yaklaşık %10'una denk gelmekte olup şimdiye kadar gerçekleşmiş en yüksek miktardır. Organomineral gübre yönetmeliğine göre fosfor kaynağı olarak %30'dan daha fazla ham fosfat kullanılan ürünlere tescil verilmemektedir. Tarım ve Orman Bakanlığı organomineral gübrelerde fosfor kaynağının en az %70 oranında DAP gübresinden karşılanmasını istemektedir.

## **ÖNCELİKLİ AR-GE VE YENİLİK KONULARI**

### **1.3.a. Ham fosfat ağırlıklı organomineral gübrelerde ham fosfatın suda çözünebilir fosfor miktarını artırabilecek kimyasal ve/veya biyolojik proseslerin geliştirilmesi ve iyileştirilmesi**

Ham fosfat organomineral gübre üretiminde yaygın olarak kullanılan fosfor kaynağıdır. Ülkemizde Mazı Dağı en önemli ham fosfat yataklarından biridir. Gübre sektörü ham fosfat ihtiyacını çoğunlukla Kuzey Afrika ülkelerinden ithalat yoluyla karşılamaktadır. Ham fosfatın kimyasal (asitlerle) ve/veya biyolojik (fosfor çözücü bakteri, mantar vb) yollarla suda çözünür fosfor içeriği artırılmış organomineral gübre elde edilmesini sağlayan kimyasal/biyolojik proseslerin geliştirilmesi gibi teknolojileri içerir. Ham fosfat organomineral gübre üretiminde yaygın olarak kullanılan fosfor kaynağıdır. Organomineral gübrelerde bitkiye yararlı, elverişli ya da bitki tarafından alınabilir fosfor miktarının (hiçbir zaman toplam fosfor değil) olabildiğince yüksek olması istenir. Çözünürlüğü artırıcı asit çözeltileri, bunların karışımları ile

konsantrasyonları, pH'ları, reaksiyon süreleri kritiktir. Biyolojik yollar ile çözünme artışı sağlayacak mantar, bakteri vb canlı faaliyetlerinden yararlanma yollarının araştırılması gereklidir. Bu amaçla tek veya karma kültür oluşturarak fosfor çözünürlüğünün artırılmasını sağlayacak bakteri ve/veya mantar gibi mikroorganizma kültürlerinin seleksiyonu, karakterizasyonu ve organomineral gübrelerde kullanılabilirliğini hedefleyen yenilikçi yöntemlere ihtiyaç vardır.

Üretilen organomineral gübrelerin yaklaşık yarısında fosfor içeriği ham fosfatlardan karşılanmaktadır. Dolayısıyla yarayı fosfor içeriği son derece düşüktür. Kullanılan hamfosfatın kalitesinin optimizasyonu gereklidir. Piyasada mevcut organomineral gübrelerin fosfor içeriklerinin düşük olması ve dışarıdan satın alınması nedeniyle dışa bağımlılık söz konusudur. Mevcut durumda uygulanan yöntemler yeterli çözünürlük sağlamamaktadır. Çözünürlük düzeyi, çözünen miktarın bitki ihtiyacını ne düzeyde karşıladığı, kimyasal gübreden ne kadar tasarruf sağlanabildiği test edilerek bunların mevcut durumu ileletmesi beklenmelidir. Tarım ve Orman Bakanlığı Gübre Takip sisteminden elde edilen veriler, organomineral gübre tüketiminin artarak devam edeceğini göstermektedir. Bunun en önemli nedeni gübre etkinliğinden ziyade DAP, 20-20-0 ve 15-15-15 gibi kompoze gübrelere göre daha ekonomik olması ve çiftçilerin 6-8 ay gibi uzun vadelerde bu gübre grubuna ulaşabilmelerinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca organomineral gübre kullanımına devletin teşvik vermesi kullanımını cazip hale getiren başka bir konudur. Toros Tarım, Nativa, Hektaş, İgsas, UBA, Candem gibi gübre üreticileri ve lokal faaliyet gösteren birçok orta ölçekli firma organomineral gübre üretimi yapmakta ve kapasite yeni kurulan tesisler ile her geçen gün artmaktadır.

Türkiye tarım topraklarında fosfor noksanlığının yaygın olması, fosfor hammaddesinde dışa bağımlı olunması, ham fosfat ile üretilen gübrelerde suda çözünebilir fosfor miktarının çok düşük olmasından dolayı tarımsal üretimde verim ve kalite azalmasına yol açmaktadır. Organomineral gübrelere katılan ham fosfatın çözünürlüğünün yetersiz olması, ileri derecede çözünme sağlayacak araç eksikliği yeni arayışlara yönelmesini gerektirmektedir. Biyolojik yollarla çözünürlük artırma çabalarının araştırma düzeyinde kalması ve bunların uygulamaya aktarılmasında gecikme veya akademik boyuttan ticari boyuta ve üretim boyutuna aktarılamamasına çözüm aranmaktadır.. Bitki beslenmesinde azot ve fosfor arasındaki sinerji iyi bilinen bir konudur. Ham fosfat ile üretilen organomineral gübrelerde suda çözünebilir fosfor miktarının az olması kullanıldığı alanlarda verim ve kaliteyi etkileyen önemli faktörlerden biridir. Aslında organomineral gübre üretiminde kullanılan DAP, çiftçinin doğrudan kullanımına hazır bir üründür. DAP üretim aşamalarıyla ilgili enerji kullanımına bağlı sera gazı salınımı yapılmış, ambalajlanmış ve son kullanıcıya kadar nakliyesine bağlı olarak yeniden sera gazı emisyonu da gerçekleşmiştir. Fakat organomineral gübre üretimi için hammadde olarak kullanılırken granüller yeniden öğütülerek toz haline getirilmekte ve organik madde kaynağı ile yeniden



granülasyon yapılmaktadır. Bu üretim prosesi aynı iş için ikinci defa sera gazı emisyonu oluşmasına neden olmaktadır.

Öncelikle organomineral gübre üretiminde kimyasal gübre kullanımı yerine ham fosfat kullanımı sağlanmalıdır. Böylece DAP üretimi sonrası ikinci kez sera gazı salımının önüne geçileceği gibi üretilen organomineral gübrenin de etkinliğini artırarak birim bitkisel üretim için salınacak sera gazını azaltacaktır. Organomineral gübre üretiminde kullanılacak ham fosfatın üretim prosesi öncesinde veya sırasında kimyasal ve biyolojik (mikrobiyal, enzimler) yenilikçi ve etkili yöntemler ile çözünürlüğünün ve yarayışlı fosfor miktarının artırılması, bitkinin fosfor ihtiyacını karşılama oranını artırıcı yeni yöntemler geliştirilmesi, bitkiye yarayışlı fosfor içeriği mevcutlardan yüksek organomineral gübre oluşturmanın hedeflenmesi gibi hususlar önemlidir.

### **1.3.b. Depo ömrünü artırmaya ve kullanımını kolaylaştırmaya yönelik granül kalitesini yükseltecek proseslerin geliştirilmesi**

Depolama süresince ve kullanım sırasında granül kalitesini koruyucu prosesler veya uygulamaları içerir. Organomineral gübrelerin kolay uygulanabilmesi için belli büyüklükte granül formunda üretilmektedir. Organomineral gübreler 4-6 mm çapında granüllere olup kısmen inorganik kısmen de organik bileşenlerden oluşur. Granül kalitesi; granül sertliği, granül boyutunda homojenlik, tozluluk ve granüllerin birbirine yapışması (kekleşme) gibi özelliklerle tanımlanmaktadır. Kekleşme eğilimini azaltıcı, granül aşınma ve kırılma dayanımı artırıcı ürünlerin petrol türevi içerikler yerine bitkisel ve biyobozunur içerikte üretilmesi ve mevcut hatlara entegre edilmesini kapsar. Depo ömrü, granül özellikleri ve/veya standartları, granül sertliği gibi özelliklerin iyileştirilmesini sağlayıcı işlemlerdir.

Kekleşme eğilimi, aşınma dayanımı, kırılma dayanımı metrikleri, biyobozunurluk, heterojen granül yapısı, tozluluk ve kekleşme, depolama süresince granüllerin dağılması ve toz haline gelmesi nedeniyle kullanım zorlaşması ve kalite bozulması, dayanım süresi ile üretildiği zamanki kalitesini koruma süresi gibi metrikler değerlendirilmelidir. Bölgenin iklim koşullarına bağlı olarak 1 yıldan daha kısa depolama süresi, tarım makinaları ile uygulama zorluğu mevcut organomineral gübrelerde performans ve metrikleri tanımlamaktadır.

Granül kalitesinin düşük olması, depolama ömrünün kısa olması ve tozlaşma, kekleşme, dağılma, parçalanma vb istenmeyen koşullar gübrenin uygulanmasını zorlaştırmakta ve gübreden oluşacak kayıpları artırmaktadır. Kullanılması gereken ürünlerin zamanla toprakta mutajenik bir forma geçmesi, bu içeriklerin ilerleyen süreçlerde çevre regülasyonlarında ticari risk oluşturması, mevcut organomineral gübrelerin kalitesinin iyi olmaması nedeniyle depolanmaya uygun olmaması mevcut problemler arasında yer almaktadır.

Granül görünümü pürüzsüz, en fazla %3 oranında toz görülen, bir yıllık depolama sürecinde kekleşme eğilimi %5'in altında performansa sahip, granül kalitesi yüksek, depo ömrü uzun organomineral gübre üretiminin hedeflenmesi gereken yenilikçi özelliklerdedir. Organomineral gübre üretimi için yeni granülasyon teknikleri yanında ucuz ve yerli kaynaklardan amaca uygun anti-kek ajanları ve bağlayıcı geliştirilmesi önemlidir. Granüllerin ortamdan nem almasını engelleyecek teknolojilerin geliştirilmesi, granül sertliğinin artırılması ve granül içinde organik maddenin fermantasyonunu azaltacak yöntem ve kimyasalların geliştirilmesi hedeflenmesi gereken önemli konulardır.

### **1.3.c. Piroлиз ürünlerinin organo-mineral gübre üretiminde kullanılmasına yönelik yenilikçi proseslerin geliştirilmesi**

Organik atıkların (bitkisel, hayvansal, kentsel) oksijensiz veya düşük oksijenli ortamda değişik sıcaklıklarda (300-700 °C) yakılması ile elde edilen ürünler piroliz ürünleri olarak isimlendirilmektedir. Biyokömür olarak isimlendirilen ve %80 organik karbon içeren piroliz ürünü nano boyutlu gözenekleri sayesinde geniş yüzey alanı ve yüksek nem tutma özellikleri gösterir. Ayrıca piroliz işlemi aktif karbon nano boyutlu tüplerin veya boşlukların oluşmasını sağlamaktadır. Kapalı karakterde oluşan bu boşluklar, hem iç hacimlerinde hem de adsorbsiyon yüzeylerinde anyon ve katyonları tutabilme yeteneğine sahiptir. Piroлиз yöntemi ile biyokütle dönüşümü sonucunda elde edilen biyokömürün organomineral gübre üretiminde kullanılmasıdır. Piroлиз yan ürünü olarak bitkisel yağlardan veya piroliz dumanının sudan geçirilmesiyle elde edilen odun sirkesinden pestisit veya toprak düzenleyici olarak yararlanılmaktadır.

Piroлиз ürünlerinin üretimi küçük ölçekli işletme düzeyinde olup hacimli üretimi için kurulu tesisler bulunmamaktadır. Mevcut durumda ticari boyutta ürün bulunmamakta, araştırma düzeyinde yapılan projeler devam etmektedir. Yüksek organik karbon içeriği ve toprakta karbon stabilitesinin artırılması gibi hususlar önemlidir. Yapılan bilimsel araştırmalar biyokömürün toprak ve çevreye önemli katkıları olduğunu göstermiştir. Biyokömür uygulaması ile besin elementleri, pestisit vb kimyasalların yer altı sularına yıkanması engellenmektedir (Yan ve ark. 2022, Farhangi-Abriz ve ark. 2021; Martin ve ark. 2012; Li ve ark. 2017; Mukherjee ve ark., 2016). Biyokömür aynı zamanda iyi bir karbon kaynağı olup toprakta 1000 yıl kadar kalabilmektedir. Kumlu bir toprakta biyokömür ile yapılan bir araştırmada kontrol çalışmasına göre nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ), amonyum ( $\text{NH}_4^+$ ) ve fosfor (P) kayıplarının sırasıyla %34, 34.7 ve 20.6 azaldığı belirlenmiştir (Yao ve ark. 2012). Biyokömür üretimi için kullanılacak birçok organik atık bulunmaktadır. Özellikle karbon/azot (C/N) oranları çok geniş olup kompostlaştırılmaları büyük sorun olan pirina, muz atıkları, Hindistan cevizi kabuğu atıkları, budama atıkları, fındikkabuğu atıkları, mısır atıkları gibi birçok organik atık biyokömür üretimi için önemli doğal

kaynaklardır. Sümer ve ark. (2016), biyokömüre dönüştürüleebilecek sadece budama atıklarının  $2.5 \times 10^6$  ton/yıl civarında olduğunu belirtmişlerdir. Çiftçiler ve tarımsal işletmelerin çoğu yüksek C/N oranına sahip bu atıklardan yakarak kurtulma yolunu seçmektedirler. Sadece budama atıklarından yıllık elde edilebilecek biyokömür miktarı yaklaşık 900 bin tondur

Tarımsal üretimde oluşan bitkisel ve hayvansal organik atıkların (prina, budama atıkları, muz serası atıkları, vb) bertarafı çiftçiler ve işletmeciler için sorun oluşturmakta ve çoğunlukla yakılmaktadır. Bu atıkların yakılarak bertarafı tarımsal üretime hiç girmeden atmosfere sera gazı salımına neden olmaktadır. Toprakta organik karbonun hızlı ayrışması, karbon salımının artışı, toprakta organik kirleticilerin (pestisit vb.) birikmesi gibi istenmeyen durumlar. Yakılmasa bile bitkisel ve hayvansal atıklar çevre kirliliğine neden olmaktadır. Bu nedenle atıkların değerlendirilmesi amacıyla bir yöntem olarak piroliz ürünlerinden yararlanılması gereklidir. Sorun olan organik atıkların biyokömüre dönüştürülmesi ve tarımsal amaçlı kullanımı toprak ve çevre açısından olumlu sonuçlar vermektedir. Doğrudan toprağa uygulamada ihtiyaç duyulan miktar 1 hektar arazi için onlarca tonu bulmaktadır. Optimum biyokömür uygulama miktarı biyokömürün kaynağı, piroliz sıcaklığı, toprak özellikleri ve ürün desenine göre değişiklik göstermektedir (Joseph ve ark. 2021; Borchard ve ark. 2019; Liu ve ark. 2018; Mulcahy ve ark. 2013). Araştırmalar genel olarak 5-20 ton/ha biyokömür uygulama dozlarının hem verim hem de yıkanmayla nitrat kaybı açısından olumlu sonuçlar verdiğini göstermiştir. Az miktarda (<1 t/ha) gübre-biyokömür karışımlarının özellikle tohum yakınına bant şeklinde uygulanmasının verimi artırdığı bildirilmiştir (Crane-Droesch ve ark. 2013; Biederman ve ark. 2013; Jeffery ve ark. 2011).

Organik atıklardan piroliz ürünleri elde edilme tekniklerinin geliştirilmesi ve piroliz ürünlerinin organomineral gübre üretiminde kullanım imkânlarının araştırılması ve etkinliklerinin belirlenmesini sağlayacak yenilikler hedeflenmelidir. Toprakta karbonun daha stabil forma getirilmesi, yavaş salımlı organomineral gübre üretimi, bitkisel bazlı pestisit geliştirilmesi vb konular önem taşımaktadır. Bitkisel ve hayvansal atıklardan elde edilmiş biyokömür değişik minerallerle harmanlanarak, bitki tarafından kolayca alınabilen besinlerce zengin ve toprak verimliliğine katkı sağlayan gübre üretmek. Biyokömür üretim maliyeti dikkate alındığında yüksek miktarda biyokömür uygulanması çok ekonomik görünmemektedir. Fakat organomineral gübrelerde olduğu gibi bitki besin maddeleri ile zenginleştirilerek bitki kök bölgesine ve yakın çevresine verilebilir. Sonuç olarak, organomineral gübre hammaddelerinden olan leonardit ve diğer kaynaklara göre çok daha nitelikli organik C kaynağının toprağa verilmesi sağlanmış olacaktır. Biyokömür kullanımı organomineral gübre üretiminde hedeflenmesi gereken yenilikçi bir yöntem ve ürün olarak karşımıza çıkmaktadır.

## **B. Dünyada ve Türkiye’de Teknolojik Hazırlık Seviyeleri**

### **1.3.a. Ham fosfat ağırlıklı organomineral gübrelere ham fosfatın suda çözünabilir fosfor miktarını artıracak kimyasal ve/veya biyolojik proseslerin geliştirilmesi ve iyileştirilmesi**

Ham fosfat ağırlıklı organomineral gübrelere ham fosfatın suda çözünabilir fosfor miktarının artırılmasını sağlayacak bir yöntem, üretim prosesi ve üretim hattı tasarımıyla ilgili bir girişim veya araştırma verisi bulunmamaktadır. Bu nedenle bu Ar-Ge başlığı THS 1-2 düzeyindedir.

### **1.3.b. Depo ömrünü artırmaya ve kullanımını kolaylaştırmaya yönelik granül kalitesini yükseltecek proseslerin geliştirilmesi**

Organomineral gübrelere devam eden en önemli sorunlar, kısa depo ömrüne neden olan problemlerin hala çözülememiş olmasıdır. Bu konuda uygulamaya aktarılmış veya prototipi yapılmış Ar-Ge çalışması veya verileri yoktur. Organomineral gübrelere depo ömrünü artıracak ve kullanımını kolaylaştıracak ve granül kalitesi yükseltecek THS 1-2 düzeyindedir.

Antikek, antidust ve granül iyileştirici ürünlerin dünyada kullanımı ve üretimi oldukça yaygın. Bu ürünler genellikle petrol türevlerinden üretilmektedir. Petrol türevi ürünler yerine bitkisel bazlı ürünlerin geliştirilmesi çevre açısından oldukça önem arz etmektedir. Bu alanda yeni ürünler az da olsa piyasaya sürülmektedir. Yaygınlaşmış durumda olmamakla birlikte teknolojik altyapısı hazırdır.

### **1.3.c. Piroliz ürünlerinin organo-mineral gübre üretiminde kullanılmasına yönelik yenilikçi proseslerin geliştirilmesi**

Orta Avrupa ve Güney Amerika’da yaygın bir şekilde piroliz sistemleri kullanılmaya başlanmıştır. Orta Avrupa’da daha çok biyokömürün toprak iyileştirici çalışmaları yapılmaktayken, dünyada daha çok piroliz sistemi yan ürünü olan biyoyağın yenilenebilir enerji kaynağı olarak değerlendirilmesi süreçleri üzerinde çalışılmaktadır. Türkiye’de henüz bu alanda fiili bir çalışma bulunmasa da son 5-6 yıldır akademik birçok araştırma yapılmaktadır.

Piroliz ürünlerinin ve özellikle biyokömürün üretimi ve toprak uygulamalarının sonuçları, yavaş kontrollü salım gübre yapımında etkinlikleri, kaplama malzemesi olarak kullanımına yönelik çalışmalar yapılmış ve prototip ürünler ortaya çıkarılmıştır. Bu nedenle THS 4-5 düzeyindedir.

### **C. Dünyada ve Türkiye’deki Mevcut Duruma İlişkin Başarılı Örnekler**

#### **1.3.a. Ham fosfat ağırlıklı organomineral gübrelerde ham fosfatın suda çözünebilir fosfor miktarını artıracak kimyasal ve/veya biyolojik proseslerin geliştirilmesi ve iyileştirilmesi**

Dünya’da ve Türkiye’de bu konuda uygulama örneği bulunmamaktadır.

#### **1.3.b. Depo ömrünü artırmaya ve kullanımını kolaylaştırmaya yönelik granül kalitesini yükseltecek proseslerin geliştirilmesi**

Instral ve Naqglobal gibi bazı firmaların yeşil içerikli ürünleri piyasada yer almaya başlamıştır.

Türkiye’de bazı yağ firmalarının ürünleri bu amaçla sanayi içinde var olmaya başlamıştır.

#### **1.3.c. Piroliz ürünlerinin organo-mineral gübre üretiminde kullanılmasına yönelik yenilikçi proseslerin geliştirilmesi**

Biyokömürün organomineral gübre üretiminde kullanımı ve prototip üretimi ile ilgili çalışmalara ait iki örnek aşağıda verilmiştir.

- Kavdır Y., Başaran M., “Biyokömür Kaplamalı İnorganik Organomineral ve Organik Katı Gübre ve Biyokömür Kaplamalı Gübre Üretim Yöntemi”; Patent, Bölüm A İnsan İhtiyaçları, Buluşun Başvuru Numarası: 2021/018719 , Standart Tescil, 2021
- Chen, S., Yang, M., Ba, C., Yu, S., Jiang, Y., Zou, H., & Zhang, Y. (2018). “Preparation and characterization of slow-release fertilizer encapsulated by biochar-based waterborne copolymers”; Science of The Total Environment, 615, 431-437.

Biyokömür, biyoyağ ve odun sirkesi ürünleri piroliz sistemlerinden elde edilen çeşitli değerli ürünler olarak piyasa yer almaya başlamıştır.

Ayrıca piroliz ile elde edilen biyoyağın saflaştırılması ile değerli kimyasalların üretim süreçleri literatürde bulunmaktadır.

Biyokömürün toprak iyileştirici olarak kullanımının yanı sıra bir organomineral gübre olarak geliştirilmesi çalışmaları literatürde bulunmaktadır.

Üniversitelerde TÜBİTAK, SAM gibi önemli desteklerle yürütülen ve başarıya ulaşmış akademik çalışmalar bulunmaktadır.

## **D. Ar-Ge ve Yenilik Sürecinde Bir Araya Gelmesi Gereken Disiplinler ve Sektörler**

### **1.3.a. Ham fosfat ağırlıklı organomineral gübrelerde ham fosfatın suda çözünebilir fosfor miktarını artıracak kimyasal ve/veya biyolojik proseslerin geliştirilmesi ve iyileştirilmesi**

Organik, organomineral ve kimyasal gübre üretim tecrübesi olan mikrobiyoloji ve enzimler konusunda araştırmaları bulunan kimya mühendisliği, ziraat mühendisliği, makine mühendisliği, biyoloji, bitki besleme alanında akademisyenler ve uzmanların bir arada olacağı temel araştırma ve ürün geliştirme konusunda bir arada çalışabilirler. Ayrıca bu kapsamda gübre üretimini gerçekleştiren KOBİ'ler, konuyla ilgili çalışan teknopark firmalar ile Tarım ve Orman Bakanlığı ve Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığında konu uzmanları yer almalıdır.

Gübre fabrikaları, üniversiteler, araştırma enstitüleri, teknoloji geliştirme bölgesi şirketleri ile KOBİ'ler, Tarım ve Orman Bakanlığı, Gübre Üretici Dernekleri, gübre üretimi yapan kamu ve özel kurum/kuruluşlar bu konu ile ilgili araştırma ve ürün geliştirme çalışmalarında bir arada olmaları gereklidir.

Özellikle gübre fabrikaları organik/organomineral, kompoze gübre üretiminde uzmanlıkları ve alt yapı konusundaki yetkinlikleri nedeniyle tesis kullanımı, hammadde temini konularında bu tür projelere destek verebilir. Üniversiteler ve araştırma enstitüleri akademik birikim ve teknoloji geliştirme bölgesi şirketleri ise fikir üretme konusunda katkı verebilirler. Üniversitelerden ve ilgili fakülte ya da bölümlerinden bilimsel bilgiler ve yenilik olarak neler yapılabileceği hakkında görüşler, Bakanlıklardan hem mevzuat hem uygulamada ihtiyaçlar, sektörden ise üretimle ilgili ihtiyaçlar ve aksaklıklar konularında bilgi alınmalıdır. Kimya ve biyoloji alanlarından akademik destek, KOBİ ve sanayii kuruluşlarından üretimle ilgili destek alınabilir.

### **1.3.b. Depo ömrünü artırmaya ve kullanımını kolaylaştırmaya yönelik granül kalitesini yükseltecek proseslerin geliştirilmesi**

Organik, organomineral, kimyasal gübre üretiminde tecrübeli kimya mühendisliği, ziraat mühendisliği, makine mühendisliği, malzeme bilimi, KOBİ'ler, teknoparklar alanında akademisyenler ve uzmanların bir arada olacağı temel araştırma ve ürün geliştirme konusunda bir arada çalışabilirler. Tarım ve Orman Bakanlığı ve Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği konu uzmanları, granülasyon uzmanı, mikrobiyologlar yer almalıdır.

Gübre fabrikaları, üniversiteler, araştırma enstitüleri, teknoloji geliştirme bölgesi şirketleri, kimya, gıda (bitkisel yağlar), KOBİ'ler, Tarım ve Orman Bakanlığı, gübre üreticileri dernekleri, gübre üretimi yapan sektörler (özellikle granülasyon konusunda) bu konu ile ilgili araştırma ve ürün geliştirme çalışmalarında bir arada olmaları gereklidir.

Özellikle gübre fabrikaları organik/organomineral, kompoze gübre üretiminde uzmanlıkları ve alt yapı konusundaki yetkinlikleri nedeniyle tesis kullanımı, hammadde temini konularında bu tür projelere destek verebilir. Üniversiteler ve araştırma enstitüleri akademik birikim ve teknoloji geliştirme bölgesi şirketleri ise fikir üretme konusunda katkı verebilirler. Üniversitelerden ve ilgili fakülte ya da bölümlerinden bilimsel bilgiler ve yenilik olarak neler yapılabileceği hakkında görüşler, Bakanlıklardan hem mevzuat hem uygulamada ihtiyaçlar, sektörden ise üretimle ilgili ihtiyaçlar ve aksaklıklar konularında bilgi alınmalıdır. Kimya ve biyoloji alanlarından akademik destek, KOBİ ve sanayii kuruluşlarından üretimle ilgili destek alınabilir.

### **1.3.c. Piroliz ürünlerinin organo-mineral gübre üretiminde kullanılmasına yönelik yenilikçi proseslerin geliştirilmesi**

Organik atıkların yönetimi konusunda çalışmış ve biyokömür üretimi konusunda çalışmaları olan, çevre mühendisliği, ziraat mühendisliği, kimya mühendisliği, makine mühendisliği ve biyoloji, bitki besleme, agronomi, KOBİ'ler, teknoparklar, Tarım ve Orman Bakanlığı ve Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği konu uzmanları, piroliz uzmanı, mikrobiyologlar alanında akademisyenler ve uzmanlar, ürün geliştirme konusunda yürütülecek projelerde bir araya gelebilirler.

Gübre fabrikaları, üniversiteler, araştırma enstitüleri, teknoloji geliştirme bölgesi şirketleri, kimya, gıda (bitkisel yağlar), KOBİ'ler, Tarım ve Orman Bakanlığı, gübre üreticileri dernekleri, gübre üretimi yapan sektörler (özellikle piroliz konusunda) bu konu ile ilgili araştırma ve ürün geliştirme çalışmalarında bir arada olmaları gereklidir.

Özellikle gübre fabrikaları organik/organomineral, kompoze gübre üretiminde uzmanlıkları ve alt yapı konusundaki yetkinlikleri nedeniyle tesis kullanımı, hammadde temini konularında bu tür projelere destek verebilir. Üniversiteler ve araştırma enstitüleri akademik birikim ve teknoloji geliştirme bölgesi şirketleri ise fikir üretme konusunda katkı verebilirler. Üniversitelerden ve ilgili fakülte ya da bölümlerinden bilimsel bilgiler ve yenilik olarak neler yapılabileceği hakkında görüşler, Bakanlıklardan hem mevzuat hem uygulamada ihtiyaçlar, sektörden ise üretimle ilgili ihtiyaçlar ve aksaklıklar konularında bilgi alınmalıdır. Kimya ve biyoloji alanlarından akademik destek, KOBİ ve sanayii kuruluşlarından üretimle ilgili destek alınabilir.

## **E. Ar-Ge , Yenilik, Demonstrasyon İşbirliği Modeli ve Destek Mekanizması**

**1.3.a. Ham fosfat ağırlıklı organomineral gübrelere ham fosfatın suda çözünabilir fosfor miktarını artıracak kimyasal ve/veya biyolojik proseslerin geliştirilmesi ve iyileştirilmesi**

**1.3.b. Depo ömrünü artırmaya ve kullanımını kolaylaştırmaya yönelik granül kalitesini yükseltecek proseslerin geliştirilmesi**

Ürün geliştirmiş veya bu konuda araştırmalar yapmış akademik ve Ar-Ge personelinin sempozyumlar veya kongreler ile bir araya getirilip, araştırmacı gruplarının oluşturulmasında potansiyel adayların belirlenmesi ve birbirleri ile olabilecek birlikteliklerinin sağlanması gereklidir. Yapılacak olan çalıştaylar ile araştırma konularının detayları ve yol haritası ortaya konmalıdır. Bu alanda yapılacak araştırmalar laboratuvar, üretim Ar-Ge'si ve arazi çalışmalarını kapsayan küçük/orta/büyük ölçekli Ar-Ge ve yenilik projeleri, KOBİ ve üniversite ortaklı projeler, ayrı yürüyen projeler, büyük bir platform bünyesinde eşgüdüm içinde yapılacak projeler şeklinde mümkün olduğu hallerde ara çıktılar ve nihai çıktı bazında olmalıdır. Ara çıktılar ümit vaatmeyen projelere sonuçlanıncaya kadar destek devam ettirilmeyerek bütçe etkin kullanılmış olabilir. Konu ile ilgili temel araştırmaların ardından ürün prototiplerinin elde edilmesi, üretim hattının geliştirilmesi için belirlenecek araştırma konularında finansal destek kalemleri oluşturulmalıdır.

**1.3.c. Piroliz ürünlerinin organo-mineral gübre üretiminde kullanılmasına yönelik yenilikçi proseslerin geliştirilmesi**

Küçük/orta/büyük ölçekli Ar-Ge ve yenilik projeleri, KOBİ ve üniversite ortak Ar-Ge projeleri ile büyük bir platform bünyesinde eşgüdüm içinde yapılacak projeler, ayrı veya eşgüdümlü, mümkün olduğu hallerde ara çıktılar ve nihai çıktı bazında olmalı. Ara çıktılar ümit vaatmeyen projelere sonuçlanıncaya kadar destek devam ettirilmeyerek bütçe etkin kullanılmış olabilir.

## **F. Zaman ve Bütçe Tahminleri**

**1.3.a. Ham fosfat ağırlıklı organomineral gübrelere ham fosfatın suda çözünabilir fosfor miktarını artıracak kimyasal ve/veya biyolojik proseslerin geliştirilmesi ve iyileştirilmesi**

Hedef ürünlerin öncelikle girişim kimyasallarının belirlenmesi ve laboratuvar koşullarında prototip ürünlerin elde edilmesi, ticari ölçekte üretimi için üretim Ar-Ge'sinin yapılması ve zaman maliyet etkili üretim hattının detaylarının oluşturulması konuları en az 2 yıllık bir süreç olacaktır. Prototip ürünün üretiminden sonra sera veya tarla denemeleri ile en az 2 yıl sürecek



agronomik çalışmalar da dikkate alındığında 3-5 yıl sürecek projelerin başarıya ulaşacağı söylenebilir. Araştırma konularının genişliği ve farklı disiplinlerin farklı koşullarda çalışacağı dikkate alındığında orta vadede hedefe ulaşılabilir. Laboratuvar çalışmaları, prototip ürün eldesi, üretim hattının pilot ölçekte geliştirilmesi ve agronomik denemeler dikkate alındığında Ar-Ge konularına 3-10 milyon TL bütçe ayrılmalıdır.

**1.3.b. Depo ömrünü artırmaya ve kullanımını kolaylaştırmaya yönelik granül kalitesini yükseltecek proseslerin geliştirilmesi**

**1.3.c. Piroliz ürünlerinin organo-mineral gübre üretiminde kullanılmasına yönelik yenilikçi proseslerin geliştirilmesi**

Laboratuvar koşullarında prototip ürünlerin elde edilmesi, ticari ölçekte üretimi için üretim Ar-Ge 'sinin yapılması ve zaman maliyet etkili üretim hattının detaylarının oluşturulması konuları en az 2 yıllık bir süreç alacaktır. Prototip ürünün üretiminden sonra sera veya tarla denemeleri ile en az 2 yıl sürecek agronomik çalışmalar da dikkate alındığında 3-5 yıl sürecek projelerin başarıya ulaşacağı söylenebilir. Araştırma konularının genişliği ve farklı disiplinlerin farklı koşullarda çalışacağı dikkate alındığında orta vadede hedefe ulaşılabilir. Laboratuvar çalışmaları, prototip ürün eldesi, üretim hattının pilot ölçekte geliştirilmesi ve agronomik denemeler dikkate alındığında Ar-Ge konularına 5-10 milyon TL bütçe ayrılmalıdır.

**G. Teknolojik İlerlemenin Sağlanmasında Kritik Hususlar**

Piroliz ürünlerinin yönetmeliklerde tanımlanması, Ar-Ge kapsamında kullanıma yönelik yeterli ve kullanımı kolay ama denetlenebilir bütçe desteği olmalıdır. Organomineral gübre yönetmeliğinde ham fosfat kullanımı veya kullanım oranlarının, kullanılacak organik madde kaynağının niteliklerinin, granül kalitesinin ve kekleşme ile ilgili testlerin ve limitlerin yeniden gözden geçirilmesi ve düzenlenmesi gerekmektedir. Yaklaşık 1 milyon ton/yıl kullanım rakamına ulaşacak bu ürünlerin etkinlik ve kalitesinin geliştirilmesine yönelik sektörün zorlanması ancak yönetmeliklerin güncellenmesi ile mümkün olacaktır. Yönetmelikle yapılacak bu düzenlemeler organomineral gübrelerden depo ve uygulama kayıplarını azaltacak, bitki besin maddesi etkinliğini artıracaktır. Sonuç olarak sera gazı emisyonlarının azaltılmasına da katkı sağlayacaktır.

**Mevzuat ve Yasal Düzenlemeler**

Mevzuat teknolojik ilerlemeye imkan tanımakta ve yeterli görünmekle birlikte ihtiyaç olabilecek hususlar da yönetmelikle düzenlenebilir. Organomineral gübre üretiminde organik madde kaynağı olarak biyokömür de yönetmeliğe eklenebilir. Belirlenen konularla ilgili Ar-Ge projelerinin hazırlanması için gerekli yayım, tanıtım ve reklam yapılarak ilgili platformların bu yönde teşvik edilmesi gereklidir. Organomineral gübre yönetmeliğinde ham fosfat kullanımı

veya kullanım oranlarının, kullanılacak organik madde kaynağının niteliklerinin, granül kalitesinin ve kekleşme ile ilgili testlerin ve limitlerin yeniden gözden geçirilmesi ve düzenlenmesi gerekmektedir. Yaklaşık 1 milyon ton/yıl kullanım rakamına ulaşacak bu ürünlerin etkinlik ve kalitesinin geliştirilmesine yönelik sektörün zorlanması ancak yönetmeliklerin güncellenmesi ile mümkün olacaktır. Yönetmelikle yapılacak bu düzenlemeler organomineral gübrelerden depo ve uygulama kayıplarını azaltacak, bitki besin maddesi etkinliğini artıracaktır. Sonuç olarak sera gazı emisyonlarının azaltılmasına da katkı sağlayacaktır.

Ayrıca inorganik, organik ve organomineral gübre üretim prosesleri ve tarımda gübre kullanımına bağlı sera gazı emisyonlarının azaltılmasına yönelik yürütülecek Ar-Ge faaliyetleri sonucunda ortaya çıkabilecek yeni teknolojiler ve buluşların üretimi ve piyasada satışı, Tarım ve Orman Bakanlığı, Bitkisel Üretim Genel Müdürlüğü tarafından ruhsatlandırılacak ve tescillendirilecektir. Avrupa Birliği uyum çalışmaları nedeniyle, İnorganik Gübre Yönetmeliği, Avrupa Birliği Gübre Yönetmeliği ile birebir uyumludur. Ülkemizde yeni geliştirilecek benzeri ürünlerin patent veya faydalı model tescili alınmış olsa dahi, Avrupa Birliği Gübre Yönetmeliğine kaydının yapılmadan üretimi ve satışı mümkün değildir. Firmalarımız, özellikle de başlangıç (start-up) veya KOBİ düzeyinde olan şirketlerimiz, bu süreci ve oluşacak maliyetleri Avrupa Birliğinde faaliyet gösteren Gübre Şirketleri kadar kolay yönetemeyecek ve maliyetleri karşılamakta zorlanacaklardır. Bu nedenle Ar-Ge projeleri kapsamında geliştirilebilecek yeni teknoloji ve buluşların, hem sera gazı emisyonlarının azaltılmasında yerli teknoloji kullanımının sağlanması hem de ucuz teknolojiye ulaşım ve sektörün yurtdışı bağımlılığının azaltılması açısından desteklenmesi gerekmektedir. Öncelikle yeni teknoloji ve buluşların üretim ruhsatlarının ve satış tescillerinin verilebilmesi için bu alanda ulusal yönetmeliklerin geliştirilmesi gereklidir. Yeni teknoloji ve buluşların etik, insan ve çevre sağlığı açısından değerlendirileceği pozitif bakış açısına sahip komisyonlar kurulabilir. Bu komisyonlar güçlü bilimsel alt yapılarından dolayı özellikle Araştırma Üniversitelerinden, Tarım ve Orman Bakanlığı ve Bağlı Kuruluşlardan oluşturulabilir. Bu teknoloji veya ürünlerin ulusal yönetmelikten Avrupa Birliği yönetmeliğine geçişleri Tarım ve Orman Bakanlığı, Bitkisel Üretim Genel Müdürlüğü tarafından yürütülmelidir.

Yeni teknoloji ve buluşların Avrupa Birliği Gübre Yönetmeliğine kayıtlarının yapılabilmesi için Tarım ve Orman Bakanlığı, Sanayi ve Ticaret Bakanlıkları ve KOSGEB gibi kuruluşlar tarafından usuller konusunda ve mali yönden destekler verilmelidir. Aksi takdirde Avrupa Birliği tarafından özellikle de Avrupa Birliği üyesi ülkelerde yapılmış olma koşulu ile istenecek test, sertifikasyon veya kayıt işlemlerine startup veya KOBİ ölçeğinde faaliyet gösteren şirketlerimizin ekonomik güçleri yetmeyecektir. Ulusal yönetmeliklerin bu kapsamda

oluşturulmadan ya da güncellenmeden uluslararası şirketlere sahip Avrupa Birliği Üyesi ülkelerin teknoloji ve pazarı elinde tutmasının önüne geçmek mümkün olmayacaktır.

### **Teknik Altyapılar**

Bitkisel antikek ürünlerinin üretim, test ve sertifikasyon süreçlerinde altyapı yeterlidir. Piroliz ürünlerinin üretimi konusunda tesis yatırımı sürecinde daha çok dışa bağımlılık söz konusudur. Üniversite ve sanayide bu alanlarda desteklenecek Ar-Ge projelerinin yapılması ve üretim süreçlerinin gerçekleştirilmesi için gerekli yeterli altyapı olsa da bu konuda olası riskler belirlenmeli ve bunların giderilmesine çalışılmalıdır. Organomineral gübre üretim kapasitesi mevcut üretimin oldukça üzerindedir. Kapasite artırımına gerek yoktur. Bu grup gübre ile ilgili test ve sertifikasyonlar üniversiteler ve özel sektöre ait laboratuvarlarda rahatlıkla yapılabilir.

### **İnsan Kaynakları**

Kimya mühendisliği, malzeme bilimi ve ziraat mühendislikleri alanında yeşil ürünlerin üretimi/toksik veya zararlı olabilecek içerikli endüstriyel ürünlerde bitkisel içeriklerinin kullanımının yaygınlaştırılması gibi alanlarda daha fazla çalışan insan sayısına ihtiyaç vardır. Üniversite ve sanayide bu konularda Ar-Ge projesi yapacak yetkinliğe sahip insan kaynağı olmakla birlikte uluslararası ortak çalışmaların yapılması da teşvik edilmelidir.

### **Destek ve Teşvikler**

Özellikle pilot ölçekli ekipman teşviğine ve bu alanda çalışmak isteyen araştırmacı desteğine ihtiyaç duyulmaktadır. Ürün geliştirme ve üretim Ar-Ge'si için Ar-Ge proje destekleri ve hibeler gereklidir. Beklenen hedeflerin gerçekleştirilmesi için sanayi altyapısının desteklenmesi, vergi muafiyetleri, üretim destekleri ve tescil alma süreçlerinin hızlandırılması şeklinde destek verilebilir. Entegrasyon için altyapı ve/veya özendirme desteği bazı alanlarda gereksinilebilir. TÜBİTAK ve TAGEM tarafından temel araştırmayı da kapsayacak Ar-Ge projeleri çağrısına çıkılabilir. Sanayiye entegrasyonu için ise KOSGEB tarafından orta ölçekli, Sanayi Bakanlığı tarafından da büyük ölçekli yatırımlar için hibe destek programları oluşturulabilir.

## Kaynaklar

- Crane-Droesch, A., Abiven, S., Jeffery, S., & Torn, M. S. (2013). Heterogeneous global crop yield response to biochar: a meta-regression analysis. *Environmental Research Letters*, 8(4), 044049.
- Biederman, L. A., & Harpole, W. S. (2013). Biochar and its effects on plant productivity and nutrient cycling: a meta-analysis. *GCB bioenergy*, 5(2), 202-214.
- Jeffery, S., Verheijen, F. G., van der Velde, M., & Bastos, A. C. (2011). A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis. *Agriculture, ecosystems & environment*, 144(1), 175-187.
- Joseph, S., Cowie, A. L., Van Zwieten, L., Bolan, N., Budai, A., Buss, W., ... & Lehmann, J. (2021). How biochar works, and when it doesn't: A review of mechanisms controlling soil and plant responses to biochar. *GCB Bioenergy*, 13(11), 1731-1764.
- Borchard, N., Schirrmann, M., Cayuela, M. L., Kammann, C., Wrage-Mönnig, N., Estavillo, J. M., ... & Novak, J. (2019). Biochar, soil and land-use interactions that reduce nitrate leaching and N<sub>2</sub>O emissions: a meta-analysis. *Science of the Total Environment*, 651, 2354-2364.
- Mulcahy, D. N., Mulcahy, D. L., & Dietz, D. (2013). Biochar soil amendment increases tomato seedling resistance to drought in sandy soils. *Journal of arid environments*, 88, 222-225.
- Liu, Q., Zhang, Y., Liu, B. et al. How does biochar influence soil N cycle? A meta-analysis. *Plant Soil* 426, 211–225 (2018). <https://doi.org/10.1007/s11104-018-3619-4>
- Sümer, S. K., Kavdir, Y., & Çiçek, G. (2016). Türkiye’de tarımsal ve hayvansal atıklardan biyokömür üretim potansiyelinin belirlenmesi. *KSÜ Doğa Bilimleri Dergisi*, 19(4), 379-387.
- Yan, P., Zou, Z., Li, X., Zhang, L., Zhang, L., Fu, J., & Wenyan, H. (2022). Biochar changed the distribution of imidacloprid in a plant–soil–groundwater system. *Chemosphere*, 136213.
- Farhangi-Abriz, S., Torabian, S., Qin, R., Noulas, C., Lu, Y., & Gao, S. (2021). Biochar effects on yield of cereal and legume crops using meta-analysis. *Science of the Total Environment*, 775, 145869.
- Li W, Sun Y, Li G, Liu Z, Wang H, Zhang D (2017) Contributions of nitrification and denitrification to N<sub>2</sub>O emissions from aged refuse bioreactor at different feeding loads of ammonia substrates. *Waste Manag* 68:319–328

Mukherjee, S., Weihermüller, L., Tappe, W., Hofmann, D., Köppchen, S., Laabs, V., ... & Burauel, P. (2016). Sorption–desorption behaviour of bentazone, boscalid and pyrimethanil in biochar and digestate based soil mixtures for biopurification systems. *Science of the Total Environment*, 559, 63-73.

Martin, S. M., Kookana, R. S., Van Zwieten, L., & Krull, E. (2012). Marked changes in herbicide sorption–desorption upon ageing of biochars in soil. *Journal of hazardous materials*, 231, 70-78.

### **Kritik Ürün/Teknoloji 1.4.**

#### **Biyostimulantların, öncelikli olarak yerel kaynaklardan geliştirilmesi**

#### **Öncelikli Ar-Ge ve Yenilik Konuları**

**1.4.a. Bitki gelişimini iyileştiren, adaptasyonu artıran, bitkisel ve çevresel stresler ile hastalık ve zararlılara karşı koruyan biyostimulant ürün ya da formülasyonların geliştirilmesi**

**1.4.b. Toprak verimliliğinin ve mikrobiyom çeşitliliğinin iyileştirilmesi için biyostimulantların geliştirilmesi**

**1.4.c. İndüklenmiş bakteriyel gübreler, metabolit, enzim ve bitki gelişim düzenleyici üretiminde genetik modifiye bakteri kullanım olanaklarının araştırılması**

### **A. Teknik Açıklamalar, Yenilikçi Özellikler, Hedeflenen Performans ve Metrikler**

#### **1.4.a. Bitki gelişimini iyileştiren, adaptasyonu artıran, bitkisel ve çevresel stresler ile hastalık ve zararlılara karşı koruyan biyostimülant ürün ya da formülasyonların geliştirilmesi**

Biyostimülantlar bitki gelişimini, verimi ve ürün kalitesini artıran, bitkileri biyotik-abiyotik strese karşı olumlu yönde etkileyen, hastalık ve zararlılara karşı koruyucu etki gösteren maddelerdir. Biyostimülantlar bitkilere yaprak, toprak veya tohumdan uygulanan, organik veya inorganik bileşik, mikroorganizma ve toprak yapısını düzenleyici etkileri de olabilen maddelerdir. Biyostimulanlar ayrıca "Biyolojik Uyarıcılar" veya "Bitki Aktivatörleri" olarak da adlandırılmaktadır. Bitki besin alımının etkinliğini artırmak ve çevre kirliliğini azaltmak için toprağa veya doğrudan yaprak yüzeyine küçük miktarlarda uygulandığında bitki büyümesini ve gelişimini artırabilen geniş bir bileşik yelpazesini kapsamaktadır. Bunlar, pozitif bitki büyüme düzenleyicileri veya metabolik artırıcılar ve biyostimülantlar olarak adlandırılır (Külahtaş ve Çoksoysal 2016).

Üç ana gruba ayrılan biyostimülantlara hümik ve fulvik asitler, alg ve bitki ekstraktları, amino asit ve peptidlere ek olarak PGPR özellikli mikroorganizmalar da dahil edilmektedir. Hem humik maddeler hem de deniz yosunu özleri, oksinler ve gibberellinler gibi belirli miktarda bitki büyüme hormonları içerir ve küçük miktarlarda uygulandıklarında bitki fizyolojisini uyarırlar (Külahtaş ve Çoksoysal 2016).

Hümik maddeler, çeşitli biyokimyasal mekanizmalar ve fizyolojik süreçlerde etkileşime girerek, büyümeyi ve glikoliz solunum yollarını etkileyerek, alınan toplam besin miktarını artırarak, ilgili kodlayan genlerin ekspresyonu üzerinde doğrudan düzenleyici etki göstererek bitki metabolizmasını ve morfolojisini etkiler. H<sup>+</sup>-ATPaz (buradaki H yanındaki + üst simge olmalı izoformları ve nitrat taşıyıcılar için hümik asitler ve/veya FeSO<sub>4</sub> ile desteklenmiş veya desteklenmemiş deniz yosunu özleri, özellikle abiyotik stres koşullarında bitkilerin büyümesini teşvik etmektedir (Kurt ve Ugur 2021).

Amino asitler ve küçük peptit bazlı ürünler, bileşimlerinde faydalı organizmaların ve mikroorganizmaların büyümesine olumsuz etki gösterecek metabolit bulundurmaması durumunda bitki büyümesi üzerine olumlu etki göstermektedir. Amino asit bazlı biyostimülantlar bitki beslemede şelatlayıcı maddeler olarak, biyotik ve abiyotik strese karşı bitki direncini artırmak için pestisit veya herbisitlerle karışım halinde uygulanarak olumlu sonuçlar elde edilebilmektedir. Biyostimülantlarda bulunan amino asitler, proteinojenik olmayan amino asitlerin yanı sıra bitkilerde protein yapımında kullanılabilir. Glutamat, histidin, prolin, glisin ve betain gibi amino asitler haricen uygulandığında bitkileri abiyotik stres faktörlerine karşı korumakta veya bitkilerde metabolik sinyal mekanizmalarını uyarmaktadır (Külahtaş ve Çoksoysal 2016).

Biyoaktif moleküller içeren biyostimülantlar, bitkiler üzerinde faydalı primer ve sekonder etki göstererek olumsuz çevre koşullarına karşı direnç kazandırır. Sadece biyotik streslere karşı doğrudan etkisi olan bitki koruma ürünlerinin biyostimülant kategorisine dahil edilmesi için abiyotik stres koşullarına karşı da etkili olması gerekir.

Aşağıda belirtilen kategorideki maddeler biyostimülant olarak kabul edilmektedir.

- Hümik maddeler
- Amino asitler ve diğer azotlu bileşikler
- Yosun ve bitki özleri
- Kitin ve kitosan benzeri polimerler
- İnorganik bileşikler
- Faydalı mantarlar ve faydalı bakteriler
- Atıklar
- Tohumların, yaprakların ve köklerin salgıları ve özleri ( Du Jardin 2015).

Endüstride kullanılan enzimlerin %60'ından fazlası rekombinant yöntemlerle elde edilerek kullanılmaktadır. Başta ABD olmak üzere bazı gelişmiş ülkelerde rekombinant genetik yöntemlerle amino asit üretimi Ar-Ge seviyesinde çalışılmakta ve THS 8-9 seviyesinde ürün bulunmaktadır. Türkiye'de rekombinant yöntemlerle amino asit üretimine yönelik bilgi bulunmamaktadır. Rekombinant yöntemlerle amino asitler çeşitlerine göre 20-170 g/L konsantrasyonda üretilmektedir. Bu yöntem adapte edilerek Türkiye'de de kullanılabilir.

Diğer taraftan mikrobiyel ürünler olan nitrojenaz, fitaz, 1-aminocyclopropane-1-carboxylate deaminase, fosfataz, siderofor, sürfaktin, fengisin, itürin, zwittermisin, Cry, Sit, Vip, Mtx, IAA, ABA, JA gibi protein ve sekonder metabolitlerin bireysel veya farklı kombinasyonlar halinde ürettirilip formüle edilmesiyle bitkiler üzerinde pozitif primer ve sekonder fayda sağlanabilir. Bu ürünler bilinen genetik ve biyoteknolojik yöntemlerle (gen indükleme, gen klonlama, gen düzenleme gibi) mikroorganizmalara ürettirilerek kullanılabilir.

İnorganik ve petrol türevi girdilerde aşırılık, bu konuda %90-100 oranında dışa bağımlılık ve ekonomik kayıp, buna bağlı ekosistemin kirlenmesi ve en önemlisi de sağlık problemlerinin artması mevcut problemin en çarpıcı yansımasıdır. Gıda, tarım, sağlık gibi alanlarda kullanılan kimyasalların (enzim, hormon gibi) %60'tan fazlası mikroorganizma kaynaklı rekombinant ürünler olup dünyanın hemen her yerinde yaygın şekilde kullanılmak durumundadır. Türkiye'de biyoteknolojik yöntemlerle ürün eldesi yukarıda belirtilen orana göre yok denecek kadar azdır. Bu nedenle geç kalınmış olmakla birlikte adapte edilmediği takdirde gelecek süreçlerde sıkıntılı durum ortaya çıkma ihtimali oldukça fazladır.

Biyostimülantların tarımda kullanımı verimi önemli oranda artırdığından farklı üretim yöntemleri kullanılarak çoğaltılmalı ve formüle edilmelidir. Biyoteknolojik ve enzimatik yöntemlerle üretim başta ABD ve Çin olmak üzere birçok ülkede yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemlerin kullanılmasının ana sebebi mikroorganizma kaynaklı metabolitlerin yabancı tip hücrelerde minimum sınırın üzerinde üretilmemesidir. Bu tür problemler aşağıda belirtilen bazı yöntemlerle aşılabilmekte olup Türkiye'de de adapte edilerek etkin kullanımı önem arz etmektedir:

- Kodlayan yapısal genlerin kopya sayısı genetik mühendisliği ile artırılabilir,
- RNA polimerazın promotör bölgeye sıkı bağlanması ile birlikte transkripsiyon sıklığı artırılabilir,
- Plazmit aktarımı ile gen kopya sayısı artırılabilir,
- Transkripsiyon sıklığının artırılması promotör ve operatör kontrol bölgeleri bulunmayan hibrit plazmit konstrüksiyonu ile sağlanabilir,
- Genetik ve/veya çevresel faktörleri değerlendirerek ilgili metabolitlerin üretiminin teşvik edilmesiyle (indükleyici madde araştırması) sağlanabilir.



Mikroorganizmalarda amino asitlerin etkili şekilde üretilebilmesi:

- İlgili amino asit üretiminde biyokimyasal yolaktaki sınırlayıcı enzim miktarının artırılması,
- Yolaktaki dallanma sonrası ilk enzimin amplifikasyonu,
- Geri besleme düzenlemesi olan bir enzimi kodlayan genin klonlanması,
- Son üretime giden yolakta ara madde birikiminin engellenmesine yönelik enzim çalışmaları veya PEP karboksikinaz delesyonu veya pirüvat karboksikinaz over-expresyonu gibi yöntemlerle sağlanabilir.

*Corynebacterium*, *Brevibacterium*, *Serratia* ve *Bacillus* suşlarında ticari amino asit üretimi birkaç kattan binlerce kata kadar artacak şekilde gerçekleştirilebilir. Nükleotid, karotenoid, glukozamin ve çözücüler de benzer yöntemlerle üretilerek kullanılabilir. Bitki büyümesine dolaylı yoldan katkı sağlayan itürin, fengisin, zwittermisin, sürfaktin, spinosad gibi sekonder metabolit üretimi kitle halde ürettirilerek formüle edilip kullanılabilir.

#### **1.4.b. Toprak verimliliğinin ve mikrobiyom çeşitliliğinin iyileştirilmesi için biyostimülantların geliştirilmesi**

Bitki metabolizmasını iyileştirerek bitki büyümesini destekleyen maddeler olarak tanımlanan biyostimülantlar günden güne büyüyen bir pazar payına sahiptir. Biyostimülantlar tipik olarak doğal kaynaklardan elde edilmekle birlikte yararlı bakteri ve mantarları da içerecek şekilde çeşitlendirilebilmektedir. Bu nedenle bazen biyogübre olarak kullanılan mikrobiyal aşular gibi biyoyuvarıcılar da bu tanım içinde yer almaktadır (O'Callaghan ve ark. 2022). Biyostimülantların kök büyümesini, toprak mikrobiyal aktivitesini, toprak su tutma kapasitesini, abiyotik streslere karşı direncini artırarak bitki büyümesini iyileştirdiği bildirilmiştir (Külahtaş ve Çoksoysal 2016). Biyostimülantların sınıflandırılmasında geniş bir fikir birliği olmamakla birlikte önemli grupları arasında:

1. Humik ve fulvik asitler,
1. Protein hidrolizatları ve diğer N içeren bileşikler,
2. Deniz yosunu ve bitki ekstraktları,
3. Kitosan ve diğer biyopolimerler,
4. İnorganik bileşikler,
5. Yararlı mantarlar ve
6. Yararlı bakteriler yer almaktadır( Du Jardin 2015).

Genel olarak biyostimülantlar üretildikleri kaynaklara ve içeriklerine göre humik bileşenler, deniz yosunu ekstraktları ve amino asit içeren ürünler olmak üzere üç grupta ele alınmaktadır (Kauffman ve ark. 2007). Tarımda kullanılan mikrobiyal inokülantlar; biyopestisitler ve biyolojik

gübreler olmak üzere iki grupta toplanmaktadır. Özellikle biyolojik gübreler biyostimülant grubuna girmektedir. Biyolojik gübreler içerisinde canlı mikroorganizmalar bulunduran tarımsal girdiler olup, tohumla, bitkiye ve toprağa uygulanabilmektedirler. Biyogübreler bitkilerin kök biyokütlesi, kök yüzey alanını ve bitkilerin besin elementi alımını artırır (Vessey 2003). Anılan biyostimülant grubunun içeriğinde yararlı bakteriler, mantarlar, mikoriza mantarları bulunmaktadır. Bu mikroorganizmalar toprak, bitki artıkları, su ve kompostlaştırılmış organik gübrelerden izole edilmektedirler. Mikrobiyal inokülantların geliştirilmesindeki anahtar faktör onların ticari formülasyonlarıdır. Seçilerek inoküle edilmiş mikroorganizmalar ticari formülasyonlarda canlılıklarını korumalı ve uygulandığı alanlarda beklenen etkiyi göstermelidirler. Benzer şekilde; tohumdan veya yapraktan uygulanan bu preparatların kimyasal gübreler ve bitki koruma ürünleri ile uyumlu olması da son derece önemlidir (Kulahtaş ve Çokuysal 2016).

Günümüzde tarımsal üretimde biyostimülantların kullanımı bitkilerin abiyotik stres koşullarına dayanımıyla birlikte verim ve kalitesini de artırmaktadır. Çeşitli organik ve inorganik maddelerden elde edilen biyostimülantlar bitki gelişimini uyarıcı etkileriyle abiyotik strese dayanıklılık kazandırır (Suzuki ve ark., 2012). Araştırmacılar doğal biostimülantların verim ve kaliteyi olumlu yönde etkilediğini ve fitokimyasal etkinlik ile birlikte fotosentetik pigmentleri koruyucu etkilerinin de olduğunu bildirmişlerdir (Michalak ve ark., 2021). Bitkiler gelişmelerinin yanı sıra stres koşullarına da dayanıklılıklarını arttırmak amacıyla amino asitleri ve peptitleri kullanabilmektedirler (Ertani ve ark. 2009; Watson ve Fowden 1975). Amino asitler ve peptit karışımları, tarımsal ve endüstriyel yan ürünler ile bitkisel ve hayvansal atıklardan kimyasal ve enzimatik protein hidrolizi ile elde edilebilmektedir (Du Jardin, 2012; Calvo ve ark., 2014). Deniz yosunu ekstraktları da sıvı ekstrakt olarak veya doğrudan toprağa karıştırılarak tarımda kullanılmaktadır. Bununla beraber deniz yosunu özütü, makro ve mikro besin elementlerinin topraktan dengeli olarak ve uzun süreli alınmasını sağlayarak meyve ağaçlarında sürgün oluşumunu ve meyve tutumunu artırarak verim ve kaliteyi artırmaktadır (Bender Özenç ve Şen, 2017). Tarımda diğer makro ve mikroorganizmalar gibi mikoriza mantarlarının kullanımı da yaygınlaşmaktadır (Koide ve Mosse, 2004; Schüssler ve ark., 2001; Wang ve Qiu, 2006). Köklerde simbiyotik olarak yaşayan mikoriza türlerinin önemi anlaşıldıkça tarımsal üretimde kullanımı da yaygınlaşmaktadır (Öztürk ve ark., 2017). Biyostimülantların tarımda kullanımı ile ilgili Türkiye’de de araştırmalar yapılmıştır. Toprağa katı ve sıvı olarak uygulanan humik ve fulvik asitlerin mısır bitkisinin bitkinin kuru ağırlığını ve N, P, K, Fe, Zn ve Mn içeriğini artırdığı bildirilmiştir (Çimrin ve ark., 2001). Protein hidrolizatları ve diğer N içeren bileşiklerin kullanıldığı diğer bir çalışmada domates bitkisine yapraktan ayrı veya birlikte uygulanan tirozin, lizin methionin bitkinin büyümesine olumlu etki yaptığı bildirilmiştir (Alfosea-Simon ve ark., 2020). Ekinazya bitkisine tuz stresi altında deniz yosunu ekstraktı uygulaması sonucunda yaprak

dokularından iyon sızıntısı dışında incelenen tüm parametrelerde önemli düzeyde artış olduğu bildirilmiştir (Kara ve ark., 2019). Aspir ve ayçiçeği bitkisine tuz stresi altında düşük dozda kitosan uygulamasının çimlenme oranını artırdığı bildirilmiştir (Jabeen ve Ahmad, 2013). Tuzlu koşullarda yetişen çemen bitkisine kitosan uygulamasının yaprak su içeriği, fotosentetik pigmentler ve bitki gelişimi üzerine tuz stresinin olumsuz etkilerini azaltmada etkili olduğu bildirilmiştir (Yahyaabadi ve ark., 2016). Çeşitli yararlı mantarların kullanıldığı bir çalışmada ise arbüsküler mikoriza mantarı uygulamasının tuzlu toprak koşullarında genel olarak fide gelişimini olumlu yönde etkilediği bildirilmiştir (Abdülhadi ve ark., 2017).

Abiyotik ve biyotik stres şartlarında maliyet artırmamak için gübre ve ilaç kullanımının azaltılması tarımsal üretimde verim ve kaliteyi düşürmektedir. Öte yandan, ıslah yoluyla geliştirilen yeni çeşitlerin gübre ihtiyacının yüksek olması gübre ve pestisit kullanımını artırarak hem doğal kaynaklarda hem de bitkilerde kalıntı bırakmaktadır. Bu durum kaliteyi etkilediği kadar, halk sağlığını da etkilemektedir. Tarımsal üretim, son yıllarda iklim değişikliğinin etkisine bağlı olarak artış gösteren kuraklık, yüksek sıcaklık, tuzluluk gibi stres faktörlerinin etkisiyle giderek daha da zorlaşmaktadır. Topraklarının da verimliliği ve yapısı kuraklık, tuzluluk, yüksek sıcaklık, çevre kirliliği, aşırı ve bilinçsiz kimyasal kullanımı, metal toksisitesi vb nedenlerle her geçen gün bozulmakta ve kaliteli bitkisel ürün elde etmek zorlaşmaktadır. Buna rağmen dünya nüfusu giderek artmakta ve bu nüfusun beslenme ihtiyaçlarını karşılamak her geçen gün daha zor hale gelmektedir. Tüm bu nedenler yeni yaklaşımların uygulanması ve geliştirilmesini gerektirmektedir. Biyostimülant bileşiklerin elde edilmesi, geliştirilmesi ve ticarileştirilmesi ekolojik çevreye oldukça önemli olumlu özellikler katabilir.

Birleşmiş Milletler'in 2030 yılı için sürdürülebilir kalkınma hedefleri, sürdürülebilir tarıma özel olarak odaklanmaktadır (Strateji ve Bütçe Başkanlığı 2019). Farklı coğrafi bölgelerde faaliyet gösteren çok sayıda küçük ve daha az sayıda büyük şirket ile pazar şu anda büyük ölçüde parçalanmış durumdadır. Biyogübreler büyük ölçüde düzensiz olduğundan, şu anda piyasada birçok küçük şirket varlığını sürdürmektedir; küresel biyopestisit pazarında olduğu gibi, düzenlemelerin getirilmesi durumunda pazarın daha konsolide hale gelmesi muhtemeldir. Mevcut biyogübre pazarı, azot fikse eden mikroorganizmaların hakimiyetinde olmaya devam ediyor. Pazardaki hakimiyetleri, iyi kanıtlanmış saha etkinliği, standartlaştırılmış üretim ve uygulama yaklaşımlarının araştırılması ve geliştirilmesi ve belki de simbiyotik mikroorganizma-bitki etkileşiminin oldukça spesifik doğası gibi çeşitli faktörlere dayanmaktadır. Konvansiyonel çiftçilik genellikle toprakların biyolojik verimliliğinin azalmasına ve kaliteli ürün verme kapasitelerinin düşmesine neden olmaktadır. Ayrıca suyolu kirliliği, mineral tükenmesi, toprağın asitleşmesi ve tarımsal biyoçeşitliliğin azalması gibi ciddi çevre sorunlarına neden olmaktadır. Tarımda çevreye zarar vermeyen doğal kaynakların kullanımı, küresel ısınmayla yakından ilişkili olan toprak bozulması ve atmosfer kirliliğinin azaltılmasında önemlidir.

Gübreleme yönetimi ile birleştirilen toprak iyileştirme stratejisi, genellikle C döngüsünün gecikmesinin bir sonucu olarak CO<sub>2</sub> emisyonlarını azaltır. Verimliliği artırma amacıyla organik gübreler ve biyostimülantların kullanımının, çevre üzerindeki tarımsal baskıyı azaltmak için iyi bir alternatif olduğu belirtilmektedir. Organomineral ve biyostimülant kullanımı toprağın su tutma kapasitesini ve kök gelişimini artırarak ve gübre ve su kullanım etkinliğini artırır (Gürsoy 2022). Örneğin oksin hormonuna benzer şekilde H<sup>+</sup>ATPaz'ın ekspresyonunu tetikleyerek bitki gelişimini ve kök büyümesini artırır (Canellas ve ark. 2009). Biyostimülantlar rizosfer mikroorganizmalarını, toprak enzimatik aktivitesini, fotosentetik aktiviteyi ve bitkilerde hormon veya büyüme düzenleyicilerin üretimini uyarabilir. Organik çözünenleri adsorbe ederek, toprak pH tamponları olarak hareket ederek ve metalik iyonları kompleksleştirerek toprak verimliliği için fayda sağlarlar (Antón-Herrero ve ark. 2022). Böylece mikro besinlerin mevcudiyetini artırırlar. Önerilen diğer mekanizmalar arasında, mikrobiyal popülasyonun metabolizması ve toprağın fiziksel koşulları üzerindeki “dolaylı etki” yer alır, bu da daha iyi bir besin alımı anlamına gelir. Mikroorganizmalar, toprakta organik madde ayrışmasında, besin döngüsünde ve patojenlerin baskılanmasında kritik bir rol oynadığından sürdürülebilir tarım sistemlerinin önemli bir bileşenidir. Mikroorganizmalar, organik maddenin ayrışma ürünleri olarak polisakkaritler, proteinler, nükleik asitler, karotenoidler, lipitler vb. çeşitli bileşikler sentezler. Mikroorganizmaların topraktaki rolü verim ve kalite artışıyla sonuçlanır (Antón-Herrero ve ark. 2022). Biyostimülantlar, olası yeni bir tarım geliri sınıfını temsil eder, pestisitler ve gübreler gibi tarımsal kimyasalları tamamlar, abiyotik stres direncini artırır ve tarımsal verimliliği artırır. Biyostimülant biyoaktif bileşenlerinin karakterizasyonu ve uyarıcı etkilerinin moleküler ve fizyolojik yollarının aydınlatılması, bilim çevresi ve ticari kuruluşlar için büyük önem taşımaktadır. Küçük ve yüksek verimli fenotipleme tekniklerinin kullanılması, çeşitli biyoaktif gruplar ve sinyal molekülleri ile çeşitli matrisler nedeniyle yeni biyostimülant geliştirmek için belki de en güçlü stratejidir. Yapılan araştırmalar biyostimülantların etkilerinin dayandığı mekanizmanın, (i) Bitki büyümesini teşvik ediciler, (ii) Stres gidericiler ve (iii) Ortak müdahale (joint intervention) olmak üzere üç etkene dayandığını göstermiştir (Malik ve ark. 2020). Yeni biyoaktif bileşenleri ve biyouyarıcı özelliklere sahip sinyal moleküllerini taramaya yardımcı olan ve sağlayacak olan metabolomik, transkriptomik ve fenotipleme gibi yüksek performanslı tekniklerin de mevcut olduğu bilinmektedir. Biyostimülantların kullanımı, stres koşulları altında çeşitli ürünlerin yetiştirilmesine yardımcı olarak sürdürülebilir tarımı desteklemektedir.

Biyogübre pazarının 2022 ile 2027 arasında yıllık bileşik %12.1 büyüme oranıyla artması beklenmektedir (O'Callaghan ve ark. 2022). Küresel biyostimülant pazar büyüklüğü, %8 bileşik yıllık büyüme oranıyla 2022'de 2.79 milyar dolardan 2023'te 3.01 milyar dolara çıkması ve küresel biyostimülant pazar büyüklüğünün 2026'da %11.1'lik bileşik yıllık büyüme oranıyla 4.33 milyar dolara çıkması beklenmektedir (The Business Research Company 2022).

#### **1.4.c. İndüklenmiş bakteriyel gübreler, metabolit, enzim ve bitki gelişim düzenleyici üretiminde genetik modifiye bakteri kullanım olanaklarının araştırılması**

Doğrudan büyüme teşviği sağlayan bakteri kaynaklı metabolitler nitrojenaz, fitaz, 1-aminocyclopropane-1-carboxylate deaminase, Mn-dependent inorganic pyrophosphatase (ppaC), fosfataz ve siderofor iken dolaylı katkı sağlayan metabolitler sürfaktin, fengisin, itürin, zwittermisin, Cry, Sit, Vip, Mtx, IAA, ABA, JA gibi bileşiklerdir. Bu maddeler protein veya sekonder metabolit yapısında olup bitki büyüme teşviği, fungusidal etki ve zararlı böcek kontrolü bakımında kritik öneme sahip bakteri kaynaklı ürünlerdir. Bu organik kimyasallar EU AB Yeşil Mutabakatı kapsamında doğrudan kullanılabilir olan ve yeni genomik teknikler de dâhil olmak üzere teşvik edilme kapsamında olan çevre dostu ürünlerdir. Bu ürünler bilinen genetik ve biyoteknolojik yöntemlerle bakterilere ürettirilerek kullanılabilir. Büyüme teşviği özelliği olan bakterilerin plazmit ve tüm genomları (Gen bankasında var olanlar veya yeni eklenebilecek olanlar) biyoinformatik olarak detaylı incelendikten sonra ilgili genlerin protein üretimini teşvik etmek üzere madde araştırılması ve kullanımı ile spesifik etkili ürün eldesi mümkündür. Spesifik etkili ürünlerin eldesi için bitkilerin toplam kimyasalları veya bir kısmı aşılama yöntemiyle bakterilere tanıtılıp elde edilen ürünler incelendikten sonra kitle üretim aşamasına geçilerek formülasyonlar yapılabilir. Kitle üretim amacıyla gen klonlama, plazmit aktarımı veya gen düzenleme gibi yöntemlerle bakteriler üzerinde işlem yapılarak biyoreaktörlerde etkili sonuçlar elde edilebilir.

Türkiye’de bakteri kaynaklı büyüme teşviği ürünleri bulunmasına rağmen teknolojik olarak geliştirme işlemleri yeterli seviyede görünmemektedir. Üretilen ürünlerin stabilitesi ithal ürünlerdekine göre düşük seviyede kalmaktadır. Gelişmiş ülkelerde özellikle bakteriler üzerinde detaylı genetik, proteomik ve biyoteknolojik yöntemlerle etkili ürünler elde edilmekte ve formüle edilerek ticarileştirilmektedir. Ülkemizde bu yönde kalifiye bilim insanları bulunmakta olup benzer çalışmalar rahatlıkla yapılabilir ve ürün geliştirme yönünden teşvik edici adımların atılması etkili sonuç getirebilir.

Sentetik gübreler ve diğer tarımsal kimyasallar yaygın şekilde kullanılmasına rağmen dünya genelinde gıda ihtiyacı giderek artmakta ve üretimde yetersizlikler ortaya çıkmaktadır. Mikrobiyel biyoteknolojik yöntemler (genetik modifiye mikroorganizma, gen düzenleme, plazmit transfeksiyonu, gen indükleme gibi) kullanılarak girdiler azaltılırken, bu açık sürdürülebilir bir şekilde kapatılabilir. Azot girdisi mikroorganizma kaynaklı ürünlerin kullanımı ile %10 oranında azaltılırken verimin de %10 oranında artırılabilmesi tüm ekili alanlar göz önünde bulundurulduğunda büyük bir sosyal ve ekonomik refah anlamına gelebilir.

Türkiye’de biyoteknolojik yöntemlerle mikroorganizmalara ürettirilen protein ve sekonder metabolitler ile modifiye mikroorganizmaların tarımda doğrudan kullanıldığına dair bilgiye rastlanmamıştır.

İnorganik ve petrol türevi girdilerde aşırılık, bu konuda %90-100 oranında dışa bağımlılık ve ekonomik kayıp, buna bağlı ekosistemin kirlenmesi ve en önemlisi de sağlık problemlerinin artması mevcut problemin en çarpıcı yansımasıdır.

Tarım yapıldığı sürece ilaç ve gübre kullanımı kaçılmaz olmakla birlikte İklim değişikliğine uyum ve AB Yeşil Mutabakatı kapsamında kimyasal pestisit ve inorganik gübrelerin 2030 yılına kadar %50 oranında azaltılması ve yerine çevre dostu ürünlerin geliştirilmesi hedefi belirlenmiştir (Maçin 2021). Biyoteknolojik yöntemlerle bakteri kaynaklı metabolitlerin kitle halde verimli şekilde üretilmesi ülkemiz açısından kritik öneme sahip olup çok yönlü kazanç sağlayabilir. Başarı sağlanması durumunda inorganik gübre, fungusit ve insektisit girdilerinin azaltılması, ekonomik kazanç ve sağlıklı yaşam için adım atılmış olacaktır. Mikrobiyal biyoteknolojik yöntemler kullanılarak birden fazla bitki büyüme teşviği, fungusit etki ve insektisit etkili gen ürünlerinin bakterilere ürettirilmesi ile formüle edilebilecek yüksek katma değerli spesifik etkili ürün portföyü genişletilebilir. Bitkiye özgü ürün eldesi mümkün olabilir. Tek yönlü üretim potansiyeli yüksek mikroorganizma hücreleri seçildikten sonra genetik modifikasyon sağlanarak bitkilerde indüklenmiş sistemik direnç, indüklenmiş sistemik tolerans, bitki gelişiminde artış, protein ifadesinde artış gibi parametrelerde iyileştirme sağlanabilir. Yabancı ürünlere rakip yerli, ileri teknoloji mikrobiyal gübre, fungusit ve biyoinsektisit üretimi ile milli gelire önemli katkı sağlanabilir. Bu sayede istihdama da katkı sağlanabilir.

Tarımda kullanımı yaygın, doğa dostu bakteri türlerinin bir kısmı büyüme teşviği etkili, bir kısmı fungusit etkili bir kısmı da insektisit etkili protein ve sekonder metabolit üretebilmektedir. Gen aktarımı, gen düzenleme, indüklenme ve benzeri yöntemlerle bu organizmaların ilgili metaboliti yüksek oranda ifade etmesi sağlanabilir. Aynı tür üzerinde üç yönlü etki sağlayan metabolitlerin aynı ortamda üretimi sağlanarak farklı özellikli birden fazla mikroorganizma türünün aynı ortamda birbirine zarar verme ihtimali de azaltılabilir.

Bakterilerde ilgili genlerin promotorlarında değişim veya düzenleme yapılarak 10 kat hatta bazı ürünlerde birkaç bin kat kadar üretim artışı sağlanabilir. Böyle bir durumda organizmaların kendi hücrelerinin ölümü hızlanmakta ve ortamda sadece metabolitleri kalarak belirli bir süre etkisini gösterebilmektedir. Fazla üretimle birlikte meydana gelen erken hücre ölümü, modifiye bakteri hücrelerinin doğada tehlike oluşturma endişesini de gidermektedir. Aynı şekilde konjugatif plazmitler kullanılarak ilgili genlerin bir türün hücresinden diğer bir hücreye aktarılması doğada mevcut halde gerçekleşen bir durum olup tehlike endişelerini de azaltabilir.

Tereddütlerin azaltılması veya giderilmesi amacıyla belirli şart ve sürelerde hücrelerin ölümüne neden olan “kill switches” lerin hücrelere genlerle birlikte aktarılması sağlanabilir.

Metabolitlerin organizmalara ürettirilmesi kadar saflaştırılması da önemli bir aşamadır. Proteinlerin bireysel saf eldesi için mevcut en etkili yöntemlerden biri olan afinite kromatografisi pahalı bir yöntem olup mikroorganizmalara ürettirilecek ilgili metabolitlerin ucuz yöntemlerle saflaştırılmasına yönelik çalışmalar planlanmalı ve teşvik edilmelidir.

Türkiye genelinin tarımsal öneme sahip toprak mikroflorasının (özellikle bakteri ve fungus türleri için) bölgelere göre çıkarılarak kendine ait bir stok kültür veya gen bankasının oluşturulması kritik öneme sahiptir. Tarım alanlarındaki toprak mikroflorası, kullanılan tarımsal kimyasallar sebebiyle zarar görmekte ve tedbir alınmadığı takdirde aşırı verim kayıpları yaşanma ihtimali ortaya çıkabilir. Böyle bir durumda stok kültürlerde bulunan mikroorganizma türleri çoğaltılarak tarım alanlarına her yıl düzenli verilmek suretiyle iyileştirme sağlanabilir.

## B. Dünyada ve Türkiye’de Teknolojik Hazırlık Seviyeleri

### 1.4.a. Bitki gelişimini iyileştiren, adaptasyonu artıran, bitkisel ve çevresel stresler ile hastalık ve zararlılara karşı koruyan biyostimülant ürün ya da formülasyonların geliştirilmesi

THS seviyeleri	Dünya	Türkiye	Proje ve Konusu
THS 1	X		Gübretaş.
THS 2			SerkimKimya ( <a href="https://serkimaminoasit.com/">https://serkimaminoasit.com/</a> )
THS 3			Recombinant organisms for production of industrial products
THS 4	X		NewNutri ( <a href="https://www.new-nutri.com/amino-acid-a/?gclid=Cj0KCQiAvqGcBhCJARIsAFQ5ke55kb_iYkK-IrOZLiYKt7TpQJ_GMW1AQTCuZ4Gbl_vQzbQ_Ak-XeqQHYaAu2QEALw_wcB">https://www.new-nutri.com/amino-acid-a/?gclid=Cj0KCQiAvqGcBhCJARIsAFQ5ke55kb_iYkK-IrOZLiYKt7TpQJ_GMW1AQTCuZ4Gbl_vQzbQ_Ak-XeqQHYaAu2QEALw_wcB</a> )
THS 5			
THS 6	X		
THS 7		X	HUMATE (TIANJIN) INTERNATIONAL LIMITED
THS 8	X	X	( <a href="https://www.fertinalgas.com/productos/">https://www.fertinalgas.com/productos/</a> ). CN
THS 9	X	X	

			Grower's ( <a href="https://www.growerssecret.com/amino-acids-as-biostimulants">https://www.growerssecret.com/amino-acids-as-biostimulants</a> ). Canada AminoA ( <a href="https://www.aminoa.co.uk/">https://www.aminoa.co.uk/</a> ). UK	Secret
--	--	--	---	--------

Dünyadaki başarılı girişimler ve örnekler.

- TAGROW (<http://www.tagrow.com/products/amino-grow40.htm>), CN. Farklı yüzdelerde amino asit ve humik asit üreten bir firmadır.
- HUMINTECH GmbH (<https://www.humintech.com/agriculture/information/what-are-biostimulants>), Almanya. Peptit, amino asit ve humik asitin farklı kombinasyon ve çeşitlerini üretmektedir.
- VALAGRO S.p.A (<https://www.valagro.com/>), İtalya
- AgTonic, LLC (<https://www.agtonik.com/>), USA
- Saint Humic Acid (<https://www.humicacidinc.com/>), CN
- Nutri-Tech Solutions (<https://www.nutri-tech.com.au/>), Avustralya
- Hydro Fert (<https://hydrofert.it/growth-promoters/?lang=en>), IT

Türkiye'de (varsa) başarılı örnek ve girişimler

- ALGAWAY (<https://growway.com.tr/urun/algaway/>)
- UNİBA (<http://www.uniba.com.tr/>), üretim proseslerinin nasıl yapıldığı ile ilgili bilgi bulunamamıştır.

Biyostimülant üretimi ile ilgili çalışmalar Çin, ABD, Almanya, İtalya gibi birçok ülkede her aşamada (THS 1-9) bulunmakta ve sanayiye aktarım seviyesinde (THS 7-9) ticari olarak kullanılan ürünler mevcuttur.

Türkiye'de THS 7-9 seviyesinde ürün satışı gerçekleştiren firmalar bulunmakla birlikte Ar-Ge çalışmaları ve prototip üretimi ile ilgili (THS 1-7) detaylı bilgi elde edilememiştir. Bu durum THS7-9 seviyesindeki ürün ana maddelerinin veya tamamının ithal edildiği fikrini ortaya çıkarmaktadır.



**1.4.b. Toprak verimliliğinin ve mikrobiyom çeşitliliğinin iyileştirilmesi için biyostimülantların geliştirilmesi**

THS seviyeleri	Dünya	Türkiye	Proje ve Konusu
THS 1			<b>Plant Food Company, Inc:</b> Bitki ve toprak verimliliği ürünleri üreterek golf sahaları, ticari sebze yetiştiricileri, profesyonel çim bakım şirketleri ve diğer müşterilere sıvı gübre sağlamaktadır.
THS 2	X		
THS 3	XX		
THS 4			<b>REINDERS, INC:</b> Çim, Bitki Patolojisi, Toprak ve Su Bilimleri alanlarında ihtiyaçlara yönelik çözümler sunmaktadır.
THS 5	X		
THS 6			<b>Earth Smart Solutions - Environmental Solutions Provider:</b> Makro-mikro besinler, enzimler, karbonhidratlar ve amino asitler dahil olmak üzere sürdürülebilir kaynaklar kullanılarak formüle etmektedir.
THS 7	X	X	
THS 8	X	X	
THS 9	X	X	<p><b>Adams Earth - Ray Smith &amp; Associates, Inc:</b> Toprak yapısının, köklenmenin ve N-P-K ve minör elementlerin alımının iyileştirilmesi yönünde çalışma yapmaktadır.</p> <p><b>Lantmännen BioAgri:</b> Tahıl, bezelye ve havuç için tohum uygulama çalışmaları yapmaktadır. Ürünlerinde toprak bakterisi kullanılmaktadır</p> <p><b>Koppert Biyolojik Mücadele ve Polinasyon Sistemleri Sanayi Ticaret Anonim Şirketi:</b> Bitki gelişimini, bitkilerin beslenmesini, ürün kalitesini ve verimini olumlu yönde etkilemek; bitkilerin strese dayanıklılığını arttırmak için çalışmalar yapmaktadır.</p> <p><b>Tim Plant Care Tarım San. ve Tic. Ltd. Şti:</b> Üreticilerin daima yüksek kaliteli ürünlere erişimini sağlamak ve Türk tarımına değer katma yönünde çalışmalar yapmaktadır.</p>

			<p><b>Valagro Tarım Tic. Ltd.Şti:</b> Biyostimülant ürünlerinin bitkinin temel fizyolojik süreçlerini harekete geçirirken aynı zamanda büyümesini ve verimliliğini artıran tamamen doğal yoldan elde edilmiş etken maddelere sahip bir ürün grubu sunduğunu belirtmektedir.</p> <p><b>Food Machinery Corporation:</b> Bitki koruma ve bitki besleme çözümleriyle sürdürülebilir tarımsal büyümeyi desteklediğini belirtmektedir.</p> <p><b>Doktor Tarsa Tarım San. ve Tic. A.Ş:</b> Torftan vermikulite, bitki beslemede konvansiyonel tarım gübrelere, yaprak gübrelere ve iz elementlere kadar çeşitli portföyde üretim yapmaktadır.</p>
--	--	--	--

**1.4.c. İndüklenmiş bakteriyel gübreler, metabolit, enzim ve bitki gelişim düzenleyici üretiminde genetik modifiye bakteri kullanım olanaklarının araştırılması**

THS seviyeleri	Dünya	Türkiye	Proje ve Konusu
THS 1	X		<p>Evolve: İsviçre şirketi. Modifiye maya hücresinde Vanilin ve Resveratrol üretimi.</p> <p>Engineered bacteria involved in remediation of heavy metals (Singh ve ark. 2011)</p> <p>Promoseed Biyoteknoloji A.Ş. (TR): Bacillus türü bakterilerin ACC deaminaz, siderofor ve fosfataz genlerinde gen editing ve klonlama yöntemleriyle modifiye edilmesi suretiyle bitki büyümesini teşvik edici özellikleri üzerine etkilerinin artırılması.</p>
THS 2			
THS 3			
THS 4	X	X	
THS 5		X	
THS 6	X		
THS 7			
THS 8		X	
THS 9	X		

Genetik modifiye mikroorganizmalar ile ilgili çalışmalar başta ABD olmak İsviçre gibi bazı gelişmiş ülkelerde her aşamada (THS 1-9) bulunmakta ve sanayiye aktarım seviyesinde (THS 7-9) ticari olarak kullanılan ürünler mevcuttur.

Türkiye’de prototip aşamasına kadar (THS 5-6) gelmiş çalışmalar bulunmakla birlikte ürüne dönüşme aşamasına gelmiş ticari ürün bulunmamaktadır. Fakat genetiği değiştirilmiş mikroorganizma (GDM) ile ilgili düzenleme yapılması durumunda kısa sürede THS 9 seviyesine ulaşmave yaygın kullanım potansiyeli mevcuttur.

### **C. Dünyada ve Türkiye’deki Mevcut Duruma İlişkin Başarılı Örnekler**

#### **1.4.a. Bitki gelişimini iyileştiren, adaptasyonu artıran, bitkisel ve çevresel stresler ile hastalık ve zararlılara karşı koruyan biyostimülant ürün ya da formülasyonların geliştirilmesi**

- TAGROW CN. Farklı yüzdelerde amino asit ve humik asit üreten bir firmadır.
- HUMINTECH GmbH. Almanya. Peptit, amino asit ve humik asitin farklı kombinasyon ve çeşitlerini üretmektedir.
- VALAGRO S.p.A. İtalya
- AgTonic, LLC. USA
- Saint Humic Acid CN
- Nutri-Tech Solutions, Avustralya
- Hydro Fert, İtalya
- ALGAWAY
- UNİBA

Biyostimülant üretimi ile ilgili çalışmalar Çin, ABD, Almanya, İtalya gibi birçok ülkede her aşamada (THS 1-9) bulunmakta ve sanayiye aktarım seviyesinde (THS 7-9) ticari olarak kullanılan ürünler mevcuttur.

Türkiye’de THS 7-9 seviyesinde ürün satışı gerçekleştiren firmalar bulunmakla birlikte Ar-Ge çalışmaları ve prototip üretimi ile ilgili (THS 1-7) detaylı bilgi elde edilememiştir. Bu durum THS 7-9 seviyesindeki ürün ana maddelerinin veya tamamının ithal edildiği fikrini ortaya çıkarmaktadır.

#### **1.4.b. Toprak verimliliğinin ve mikrobiyom çeşitliliğinin iyileştirilmesi için biyostimülantların geliştirilmesi**

Biyostimülant pazarındaki şirketler, müşterilerin talep ve gereksinimlerini karşılamak ve rakiplerine karşı üstünlük sağlamak için yenilikçi ürünler geliştirmektedir. Çoğunlukla, start-up'lar pazara yeni ürünlerle girmektedir. İspanyol Agro-Biyoteknoloji şirketi Futureco Bioscience, bitki köklerini ve genel yapısını güçlendiren Radisan isimli ürünü ticarileştirmiştir.

Tarıma yönelik İtalya merkezli biyoteknoloji firması Italtollina, kök gelişimi sağlayan ve aynı zamanda bitkinin zorlu koşullara karşı direncini güçlendiren Tandem'i geliştirmiştir.

Biyostimülant pazarında BASF, Bayer CropScience, Novozymes A/S, Koppert Biological Systems, Verdesian Life Sciences, Lallemand Plant Care, Valagro, Syngenta, West Coast Marine Bio-Processing Corp ve Italtollina S.p.A önemli çalışmalar yapmakta ve ürün ticarileştirmektedir.

Asya Pasifik, 2022'de biyostimülant pazarındaki en büyük bölge olurken Kuzey Amerika, en büyük ikinci bölge olmuştur. Biyostimülant pazar raporunun kapsadığı bölgeler Asya-Pasifik, Batı Avrupa, Doğu Avrupa, Kuzey Amerika, Güney Amerika, Orta Doğu ve Afrika'dır.

Biyostimülant pazarının yaygın olduğu ve regüle edildiği ülkeler Avustralya, Brezilya, Çin, Fransa, Almanya, Hindistan, Endonezya, Japonya, Rusya, Güney Kore, İngiltere ve ABD'dir (The Business Research Company 2022).

**Plant Food Company, Inc:** Bitki ve toprak verimliliği ürünleri üreterek golf sahaları, ticari sebze yetiştiricileri, profesyonel çim bakım şirketleri ve diğer müşterilere sıvı gübre sağlamaktadır.

**REINDERS, INC:** Çim, bitki hastalıkları, toprak ve su bilimleri alanlarında ihtiyaçlara yönelik çözümler sunmaktadır.

**Earth Smart Solutions - Environmental Solutions Provider:** Makro-mikro besinler, enzimler, karbonhidratlar ve amino asitler dahil olmak üzere sürdürülebilir kaynaklar kullanılarak formüle etmektedir.

**Adams Earth - Ray Smith & Associates, Inc:** Toprak yapısının, köklenmenin ve N-P-K ve minör elementlerin alımının iyileştirilmesi yönünde çalışma yapmaktadır.

**Lantmännen BioAgri:** Tahıl, bezelye ve havuç için tohum uygulama çalışmaları yapmaktadır. Ürünlerinde toprak bakterisi kullanılmaktadır.

**Koppert Biyolojik Mücadele ve Polinasyon Sistemleri Sanayi Ticaret Anonim Şirketi:** Bitki gelişimini, bitkilerin beslenmesini, ürün kalitesini ve verimini olumlu yönde etkilemek; bitkilerin strese dayanıklılığını artırmak için çalışmalar yapmaktadır.

**Tim Plant Care Tarım San. ve Tic. Ltd. Şti:** Üreticilerin daima yüksek kaliteli ürünlere erişimini sağlamak ve Türk tarımına değer katma yönünde çalışmalar yapmaktadır.

**Valagro Tarım Tic. Ltd.Şti:** Biostimülant ürünlerinin bitkinin temel fizyolojik süreçlerini harekete geçirirken aynı zamanda büyümesini ve verimliliğini artıran tamamen doğal yoldan elde edilmiş etken maddelere sahip bir ürün grubu sunduğunu belirtmektedir.

**Food Machinery Corporation:** Bitki koruma ve bitki besleme çözümleriyle sürdürülebilir tarımsal büyümeyi desteklediğini belirtmektedir.

**Doktor Tarsa Tarım San. ve Tic. A.Ş.:** Tor'tan vermikulite, bitki beslemede konvansiyonel tarım gübrelere özel suda eriyebilen gübrelere, yaprak gübrelere ve iz elementlere kadar çeşitli portföyde üretim yapmaktadır.

**ADAFER GÜBRE ve Tarım İlaçları San. Tic. Ltd. Şti:** Bitki ve toprak sağlığını gözetken doğada ağır metal ve negatif etki bırakmayan yüksek verimliliğe sahip ürünleri bulunduğu belirtilmiştir.

#### **1.4.c. İndüklenmiş bakteriyel gübrelere, metabolit, enzim ve bitki gelişim düzenleyici üretiminde genetik modifiye bakteri kullanım olanaklarının araştırılması**

**Andes Ag, Inc:** Mikroorganizmalarla ilgili çalışmaları tohum embriyosunda modifikasyon içermektedir.

**Zbiotics:** Dünyanın ilk GDO'lu probiyotiği tasarlanmıştır.

**Ginkgo Bioworks:** Kokulardan gübreye kadar her şeyi yapmak için genetik mühendisliğini kullanmaktadır.

**Monsanto and Advanced Genetic Sciences, Inc:** FrostBan adlı ürünü *Pseudomonas syringae* üzerinde gen delesyonu yapmak suretiyle geliştirmiş don tehlikesine karşı kullanmıştır (1998).

**Monsanto:** *Pseudomonas chlororaphis*'e doğada takip amacıyla beta-galaktosidaz eklemiştir.

**University of California'da** *Pseudomonas syringae* üzerinde modifikasyon yapmış ve don engellemeye yönelik denemeler yapmıştır (1987).

**Crop Genetics International (CGI)** *Bacillus thuringiensis* Cry1AC delta proteinini endofit *Clavibacter xli* türlerine aktarmış ve mısırdaki ksilem içerisine yerleştirmiştir (1991).

**FIFRA** (Federal Insecticide Fungicide and Rodenticide Act) 1991-1996 arasında dört adet genetik modifiye mikrobiyel ürünü tescil etmiştir. Bunlardan biri *Bt* delta endotoksinlerinin *Pseudomonas fluorescens*'e aktarılarak elde edilen enkapsülasyondur (*Chapter 4 Regulation of Genetically Engineered Microorganisms Under FIFRA, FFDC and TSCA, 2013*).

**Livzyme Biyoteknoloji Araştırma Geliştirme San. Tic. A.Ş.:** Modern biyoteknolojik yöntemlerle enzim üretimi.

**Promoseed Biyoteknoloji A.Ş.:** Biyoteknolojik yöntemlerle mikrobiyal gübre geliştirme çalışmaları.

## **D. Ar-Ge ve Yenilik Sürecinde Bir Araya Gelmesi Gereken Disiplinler ve Sektörler**

### **1.4.a. Bitki gelişimini iyileştiren, adaptasyonu artıran, bitkisel ve çevresel stresler ile hastalık ve zararlılara karşı koruyan biyostimülant ürün ya da formülasyonların geliştirilmesi**

Başta ziraat alanında ilgili bilim dallarında araştırma yapan bilim insanları olmak üzere kimya, ekoloji, biyokimya, genomik, proteomik, mikrobiyoloji alanında çalışan araştırmacıların bir arada çalışması önemlidir. Peptitler ve amino asitler biyostimülantlar içerisinde önemli bir yer tutmaktadır. Bu nedenle rekombinant yöntemlerle üretim çalışmalarının yapılması gerekir. Üretim aşamasından sonra biyokimyasal açıdan detaylı olarak incelenmelidir. Elde edilen ürünlerin deneme amaçlı uygulamasının ardından gıda ve sağlık etkileri bakımından detaylı incelenmesi ve formülasyonların geliştirilebilmesi için bu alandaki araştırmacılarla işbirliği yapılması gerekmektedir.

Eğitim, gıda, tarım ve sağlık sektörlerindeki kuruluşlar yukarıda belirtildiği şekilde bir arada çalışmalıdır.

Özel sektörlerde Ar-Ge çalışmaları yapılıyor olsa da üniversitelerden alanında uzman araştırmacıların bu tür çalışmalarındaki katkısı göz ardı edilmemeli ve işbirliği içinde olunmalıdır. Tarım alanındaki özel kuruluşların uzun yıllar içerisindeki arazideki eksiklik/problem tecrübesi ürün geliştirmeye yönelik olarak gıda ve sağlık sektörlerinin kendi alanları ile ilgili katkılarıyla birlikte desteklenmelidir. Özellikle peptit ve amino asit üretimi için modifiye mikroorganizma veya bunların ürünlerinin kullanılması durumunda arazide bitkiler üzerine uygulanmasının ardından elde edilen ürünler gıda ve sağlık sektörü araştırmacıları tarafından faydalı veya model organizmalar üzerinde ortak proje ile detayları ile birlikte incelenmeli ve değerlendirilmelidir.

### **1.4.b. Toprak verimliliğinin ve mikrobiyom çeşitliliğinin iyileştirilmesi için biyostimüantların geliştirilmesi**

Biyostimülantların kullanımında en önemli parametre toprağa uygulanmasıdır. Dolayısıyla öncelikle etkili bir şekilde biyostimülantlarla ilgili detaylı araştırmaların yapılması ve zirai uygulamaların gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda uygulanacak olan mikrobiyal biyostimülantların analizi için mikrobiyologların genomik, proteomik ve metabolik analiz yapmasına ihtiyaç vardır. Uygulama sonrası bitkisel ürünlerin analizleri için gıda, sağlık ve ekolojik alanda uzman kişilerce incelemelerin yapılması gerekmektedir.

Eğitim, tarım ve sağlık sektörlerindeki kuruluşların işbirliği içerisinde çalışması gerekmektedir.

Yapılacak bilimsel çalışmaların gerçekleşmesi için öncelikli olarak Ar-Ge alanındaki araştırmacılara ihtiyaç bulunmaktadır. Üniversite bünyesindeki etkin donanımlı kişilerin tecrübelerinin kullanılması gerekmektedir. Özel sektörde Ar-Ge çalışmaları yaparak üretim yapan uzmanlardan destek alınmalı veya üniversite-özel kuruluş iş birliği ile ortak projeler yapılmalıdır. Sağlık sektörünün gıda ve ziraat alanındaki etkin bağlantısı burada da kullanılmalı ve her bir işlem basamağında görüşleri alınmalıdır.

### **1.4.c. İndüklenmiş bakteriyel gübreler, metabolit, enzim ve bitki gelişim düzenleyici üretiminde genetik modifiye bakteri kullanım olanaklarının araştırılması**

Genomik, proteomik, mikrobiyoloji alanında çalışan araştırmacıların genetik modifikasyon yapmasının ardından elde edilen ürünler biyokimyasal açıdan detaylı olarak incelenmelidir. Ürünlerin laboratuvar ve arazi şartlarında bitkilere uygulandıktan sonra Ziraat Fakültesi ilgili araştırmacıları tarafından pomolojik/morfolojik yönden incelenmelidir. Gıda Mühendisliği araştırmacıları tarafından besinsel değerler yönüyle ele alınmalıdır. Tıp Fakültesi ilgili araştırmacılarının ise işbirliği içerisinde sağlık yönünden değerlendirmesi gerekmektedir. Ayrıca ekolojik incelemelerin de detaylı yapılması önemlidir. Belirtilen alanlardaki araştırmacıların gen düzenleme, gen aktarımı, gen indükleme, protein mining, biyoinformatik alanlarında tecrübeli olması çalışmaların planlı yürütülmesinde önemlidir. Eğitim, gıda, tarım ve sağlık sektörlerindeki kuruluşlar yukarıda belirtildiği şekilde bir arada çalışmalıdır.

Ar-Ge çalışmaları her ne kadar özel kuruluşlarda yapılabiliyor olsa da üniversitelerden alanında uzman araştırmacıların bu tür çalışmalarındaki katkısı göz ardı edilmemeli ve işbirliği içinde olunmalıdır. Tarım alanındaki özel kuruluşların uzun yıllar içerisindeki arazideki eksiklik/problem tecrübesini ürün geliştirmeye yönelik olarak gıda ve sağlık sektörlerinin kendi alanları ile ilgili katkılarıyla birlikte desteklemelidir. Örneğin genetik modifiye mikroorganizma veya bunların ürünlerinin arazide bitkiler üzerine uygulanmasının ardından elde edilen ürünler gıda ve sağlık sektörü araştırmacıları tarafından faydalı veya model organizmalar üzerinde ortak projeye detayları ile birlikte incelenmeli ve değerlendirilmelidir.

## **E. Ar-Ge , Yenilik, Demonstrasyon İşbirliği Modeli ve Destek Mekanizması**

### **1.4.a. Bitki gelişimini iyileştiren, adaptasyonu artıran, bitkisel ve çevresel stresler ile hastalık ve zararlılara karşı koruyan biyostimülant ürün ya da formülasyonların geliştirilmesi**

Farklı biyostimülantların eldesi için ihtiyaçlara göre üretim şekli ve yöntemi belirlenmelidir. Ürünler belirlenen ihtiyaçlara yönelik olarak tarım sektörü ile iş birliği içinde oluşturulacak proje ile birlikte denenmeli ve çıktıları incelenmelidir. Bu konuda üniversitelerin laboratuvar altyapısının kullanımı işbirliğini ve etkili sonuç eldesini güçlendirecektir.

Birimler araştırma alanlarına göre proje oluşturma aşamasında katkı sağlamalı ve çalışmalara destek vermelidir. Örneğin humik asit, fulvik asit, bitki ekstraktı ürünleri, inorganik maddeler veya peptit-amino asit gibi biyostimülant ürünler içerik düzenlemelerinin ardından kontrollü şartlarda deneme amacıyla Ziraat Fakültesi birimlerince değerlendirilmelidir. Uygulamaların ardından elde edilen ürünlerin gıda bileşenleri detaylı olarak gıda alanındaki bilim insanlarıca araştırılmalıdır. Ekologlarca çevre üzerine etkileri planlanarak uzun süre takip edilmelidir. Sağlık parametreleri üzerindeki değişimler veya biyokimyasal olaylar değerlendirilmelidir.

Disiplinlerin farklı zamanlarda yapacağı çalışmalar birbiriyle ilişki ağı kurulacak şekilde değerlendirilmeli ve gerekli durumlarda düzenleme ve değişiklikler yapılmalıdır. Hüyük ve fulvik asit, alg ve bitki ekstraktları, amino asit ve peptitlere ek olarak PGPR özellikli mikroorganizma geliştirme Ar-Ge çalışmaları ve üretimi ayrı birimlerce planlanıp farklı ürün geliştirilebilir. Ardından kontrollü şartlarda arazi denemesi ve gıda, sağlık, ekolojik çalışmalar yürütülmelidir.

#### **1.4.b. Toprak verimliliğinin ve mikrobiyom çeşitliliğinin iyileştirilmesi için biyostimülantların geliştirilmesi**

Yukarıda bahsi geçen disiplinlerin ziraat alanındaki problemleri belirlenmesi ve problem odaklı çözüme gitmesi gerekmektedir. Etkili literatür taramasıyla birlikte yol haritalarının belirlenmesi ve üretim amaçlı çalışmalara başlanmalıdır. Konu ile ilgili bilimsel altyapısı yeterli olan bilim adamları ve laboratuvarlar belirlenerek özel sektörle birlikte ortak çalışmaları teşvik edilmelidir. Ürünlerin gıda, sağlık ve ekosistemdeki etkileri ilgili disiplinlerle araştırılmalı ve ardından ürüne dönüştürülmelidir.

Problem ve ihtiyaçların belirlenmesi, disiplinlerarası interaksyonların başlatılması, çözüm yollarının araştırılması, proje planlaması ve yöntem belirlemesi, laboratuvar çalışmaları, arazi denemeleri şeklinde kurgulanmalıdır. Disiplinlerin kendisiyle ilgili yapması gereken iş bölümü detaylarıyla tamamlamasının ardından gıda, sağlık, ekolojik değerlendirmeler yapılmalı ve sonuca gidilmelidir.

Projenin eşgüdüm içinde yapılması amacıyla ayrı yapılacak bir çalışmanın yapıp yapılmayacağı önceden belirlenmelidir. Bir projenin çıktısı diğer disiplinlerdeki araştırmacılarının projelerine konu olmalı ve ilişki haritalaması yapılmalıdır.

#### **1.4.c. İndüklenmiş bakteriyel gübreler, metabolit, enzim ve bitki gelişim düzenleyici üretiminde genetik modifiye bakteri kullanım olanaklarının araştırılması**

Tarım sektöründeki önemli ihtiyaçlar belirlendikten sonra biyoteknoloji alanındaki araştırmacılar tarafında genetik modifiye bakterilerin oluşturulmasıyla rekombinant ürünler elde edilebilir. Ardından ürünler belirlenen probleme yönelik olarak sektörlerle işbirliği içinde oluşturulacak proje ile birlikte denenmeli ve çıktıları belirtildiği şekilde incelenmelidir. Bu



konuda üniversitelerin laboratuvar altyapısının kullanımı işbirliğini ve etkili sonuç eldesini güçlendirecektir.

Birimler araştırma alanlarına göre proje oluşturma aşamasında katkı sağlamalı ve çalışmalara destek vermelidir. Örneğin rekombinant bir enzim veya modifiye bakteri elde edildikten sonra kontrollü şartlardaki denemeler Ziraat Fakültesi birimlerince planlanmalıdır. Uygulamaların ardından elde edilen ürünlerin gıda bileşenleri detaylı olarak gıda alanındaki bilim insanlarınca araştırılmalıdır. Ekologlarca çevre üzerine etkileri planlanarak uzun süre takip edilmelidir. Sağlık parametreleri üzerindeki değişimler veya biyokimyasal olaylar tp alanındaki araştırmacılar tarafından değerlendirilmelidir. Özellikle alerjik herhangi bir etkinin olup olmadığı araştırılmalıdır.

Disiplinlerin farklı zamanlarda yapacağı çalışmalar birbiriyle ilişki ağı kurulacak şekilde değerlendirilmeli ve gerekli durumlarda düzenleme ve değişiklikler yapılmalıdır. Ayrı yürüyebilecek projeler şu şekilde sıralanabilir; genetik modifiye ürün eldesi, rekombinant ürün saflaştırma çalışmaları, kontrollü şartlarda arazi denemesi, gıda çalışmaları, sağlık çalışmaları, ekolojik Çalışmalar.

### **F. Zaman ve Bütçe Tahminleri**

#### **1.4.a. Bitki gelişimini iyileştiren, adaptasyonu artıran, bitkisel ve çevresel stresler ile hastalık ve zararlılara karşı koruyan biyostimülant ürün ya da formülasyonların geliştirilmesi**

Peptit ve amino asit geliştirme bakımından bakteri hücrelerinde tek bir gen veya amino asit ürünü üzerinde yapılacak çalışma 2 yıl içerisinde tamamlanabilir. Bu süreçte diğer amino asitler için de benzer yöntemler kullanılacağından 5 yıla kadarki süre içerisinde formülasyonlarda dahil olmak üzere tüm amino asit üretim süreçleri tamamlanabilir. Ürünlerin etkinliğinin farklı gruptaki bitkiler üzerinde laboratuvar, sera ve arazi şartlarında teyit edilmesi en az 2-3 yıl süreli ve tekerrürlü çalışmalarla belirlenmelidir. Ürünlerin gıda ve sağlık açısından değerlendirilmesi de model organizmalar üzerinde tekerrürlü olarak detaylı araştırılmalıdır. Bitki ekstraktları, atıklar ve alglerin kullanımı ile biyostimülant geliştirme çalışmaları 5 yıl içerisinde tüm Ar-Ge detayları ile tamamlanabilir. Son ürüne kadarki çalışma süreci 10 yıl içerisinde tamamlanabilir.

Humik, fulvik asit, yosun-alg ürünleri ile PGPR bakteri türlerinin kısa vadede Ar-Ge çalışmaları yapılabilir olmasına rağmen ürün portföyünün genişletilebilmesi için uzun vadede çalışmaların planlanması gerekir.

Mevcut şartlarda Üniversite ve özel sektör ileri seviye laboratuvar cihaz altyapılarının kullanılması durumunda 20 çeşit amino asit ile birlikte farklı humik-fulvik asit kombinasyonları

ve çok sayıda bakteri suşu elde edilebilir. Rekombinant peptitlerle birlikte ziraat, gıda, sağlık ve ekolojik incelemeler de dahil olmak üzere ortalama 10 milyon TL bütçe yeterlidir.

#### **1.4.b. Toprak verimliliğinin ve mikrobiyom çeşitliliğinin iyileştirilmesi için biyostimülantların geliştirilmesi**

Kullanılan biyostimülantların araştırılması ve arazi denemesinin yapılması en az 2-2.5 yıl sürebilmektedir. Analizlerin laboratuvar ortamlarında yapılması, tekerrür çalışmalarının da birlikte olması ve sağlık üzerine eşgüdümlü bir çalışmanın gerçekleştirilmesi 2-3 yıl sürebilmektedir. Üretilen ürünlerin Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından mevzuata uygunluğunun denetlenmesi ve çevresel etkilerinin de Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı birimlerince denetlenmesi gerekmektedir. Tüm çalışmaların 7-8 yıllık bir süreçte tamamlanması mümkün olabilir.

Biyostimülantların farklı gruplarda çok çeşitli ürünlerinin olması ve tüm parametreler yönüyle incelenmesi gerektiğinden kısa vadede Ar-Ge çalışmaları, orta vadede etki denemeleri ve uzun vadede de sağlık açısından değerlendirilmesi gerekir.

Üniversite ve özel sektör kuruluşlarının alt yapılarının kullanılması ve laboratuvar analizlerinin yapılması, tarımsal, çevresel ve sağlık etkilerinin araştırılması dahil 10 milyon TL bütçe yeterli olabilir.

#### **1.4.c. İndüklenmiş bakteriyel gübreler, metabolit, enzim ve bitki gelişim düzenleyici üretiminde genetik modifiye bakteri kullanım olanaklarının araştırılması**

Bakteri hücrelerinde tek bir gen üzerinde çalışma bakımından gen indükleme, gen transferi, gen düzenleme, konjugasyon gibi modifikasyon amaçlı çalışmaların her biri ortalama 2 yıl içerisinde tamamlanabilir. Ürünlerin etkinliğinin farklı bitkiler üzerinde laboratuvar, sera ve arazi şartlarında teyit edilmesi en az 2-3 yıl süreli ve tekerrürlü çalışmalarla belirlenmelidir. Ürünlerin gıda ve sağlık açısından değerlendirilmesi de model organizmalar üzerinde tekerrürlü olarak detaylı araştırılmalıdır. Ticari kullanım çalışmalarına başlanmadan önce çevresel etkileri Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı birimlerince belirlenen süreler içerisinde detaylı olarak değerlendirilmelidir. Tüm çalışmaların tamamlanması 10 yıllık bir süreçte gerçekleştirilebilir.

Genetik modifikasyon ve rekombinant ürün eldesi çalışmaları proje başlangıcından sonuna kadar tüm yönleriyle ele alınması gerektiğinden Orta (1-5 yıl) ve uzun vadede (5 yıl +) hedeflenmelidir.

Mevcut şartlarda Üniversite ve özel sektör ileri seviye laboratuvar cihaz altyapılarının kullanılması durumunda 15-20 farklı rekombinant ürün için ziraat, gıda, sağlık ve ekolojik incelemeler de dahil olmak üzere ortalama 10 milyon TL bütçe yeterlidir.

## G. Teknolojik İlerlemenin Sağlanmasında Kritik Hususlar

### 1.4.a. Bitki gelişimini iyileştiren, adaptasyonu artıran, bitkisel ve çevresel stresler ile hastalık ve zararlılara karşı koruyan biyostimülant ürün ya da formülasyonların geliştirilmesi

Türkiye’de çalışmalarla ilgili bilim insanı ve laboratuvar altyapısı yeterlidir. Yerli inovatif veya muadil biyostimülant geliştirmeye yönelik girişimlerin biyoteknolojik çalışmaları da içerecek şekilde kamu ve özel sektör teşvikleri veya işbirliği ile desteklenmesi gerekir. Desteklenecek projelerle Türkiye’de peptit-amino asit biyostimulanları da dahil olmak üzere yüksek katma değerli çok sayıda ürün geliştirme altyapısı ve potansiyeli yüksektir.

Humik, fulvik asit, yosun-alg ürünleri ile PGPR bakterilerin (tür seçimi hariç) Ar-Ge çalışmaları ve üretimi ile ilgili kısıtlama görülmemiştir. Mevcut mevzuatlar aşağıdaki maddeler çerçevesinde rekombinant GDM ürünlerinin kullanımına imkan vermekle birlikte kapalı ortam denemeleri dışında GDM’nin kullanımını sınırlamakta/engellemektedir. Araştırma seviyesinde izin verilebilmektedir.

- **MADDE 10** (1) GDM’nin kapalı alanda kullanım başvurusu için 8 inci maddenin ikinci fıkrasının (a), (b), (c), (ç), (d), (e) ve (g) bentlerinde belirtilen kurallara göre kurul kararı ile...
- **MADDE 10** (2) GDM üretimi Kurul tarafından belirlenen kapalı alan koşul ve standartlarında risk sınıflandırmaları dikkate alınarak üretilir ve depolanır (mülga Tarım ve Köyüşleri Bakanlığı 2010).

Normal üretim yollarında problem olmamakla birlikte genel çerçevede etkili ve verimli genetik modifiye mikroorganizma oluşturulması ve kapalı alanda izin verilen sürelerde takip edilmesinin ardından herhangi bir olumsuzluk izlenmediği takdirde kontrollü olarak araziye çıkarılması ile ilgili düzenleme yapılması dünyadaki gelişmeleri yakalama bakımından önemli olabilir. Dünyada GDM’nin tüm incelemeler yapıldıktan sonra doğrudan kullanımına yönelik çalışmalar mevcuttur.

Normal yollardan üretim ve genetik modifikasyon sonucu elde edilen ürünlerin mevzuatta belirtilen kapalı alandaki deneme sonuçlarının birbirine yakın olması durumunda modifiye yöntemler kullanılmayabilir, fakat böyle bir ihtimal literatür bilgileri göz önünde bulundurulduğunda çok düşüktür.

Üretim ve test altyapısının Türkiye’de yeterli seviyede olduğu düşünülmektedir. Böcek öldürücü proteinler olan Cry, Vip, Sip, Bin, Chi ile fungusit olarak kullanılan fengisin, sürfaktin, itürin, zwittermisin gibi bakteri kaynaklı sekonder metabolitlerin prototip seviyesine kadar üretimi rahatlıkla yapılabilir. Genetik modifiye organizmalardan elde edilen ürünlerin bir kısmının

(biyoinsektisit, fungusit gibi) sertifikasyon işlemleri Avrupa ile uyum halinde yapılmak durumundadır. Bu durumun zaman alıcı ve zor olması, yerli ürün geliştirme ve tescilinde önemli aksamalara neden olmakta, bazen de imkansız hale getirmektedir. Bu konularda düzenleme yapılması süreçleri hızlandırabilir.

Bireysel olarak her üniversitede ihtiyaç duyulan yetkinlikte yeterli bilim insanı bulunmayabilir, fakat Türkiye genelinde gelişmiş ülkeler seviyesinde yetkinliğe sahip bilim insanı sayısının yeterli olduğu düşünülmektedir. Sanayide biyoteknolojik çalışmaların problemsiz yürütülebileceği yeterlilikte insan kaynağı istenen seviyede olmamakla birlikte özel kuruluşların Ar-Ge birimlerini üniversiteler ile işbirliği içinde (Ar-Ge çalışanlarının lisansüstü eğitim desteği) geliştirmesiyle kısa sürede ilerleme sağlanabilir. Sadece lisans eğitimi almış araştırmacılar ileri seviye biyoteknolojik çalışmalarda yetersiz kalabilir.

Üniversite sanayi işbirliği programları bu konuda kritik öneme sahiptir. Sanayi kuruluşu çalışanlarının lisansüstü eğitim alması gelişmeleri ivmelendirecektir. TÜBİTAK 2244 Programı gibi sanayi-doktora işbirliği projeleri ve KOSGEB destekleri bu konuda önemli katkı sağlamaktadır. Başlangıç hibe destekleri ürün gelişimine yönelik fikir ve girişimleri hızlandırabilir. Üniversitelerde akademisyenlerin fikirlerini takip edecek bir mekanizma kurularak yerli ürüne dönüşebilecek olanların üzerine gidilip teknoparklarda başlangıç (start-up) firmalarının kuruluşu teşvik edilmeli ve gerekli olması durumunda akredite özel kuruluş ve bireysel yatırım işlemleri teşvik edilmelidir.

### **1.4.b. Toprak verimliliğinin ve mikrobiyom çeşitliliğinin iyileştirilmesi için biyostimülantların geliştirilmesi**

Bu tür çalışmalarda elde edilen ürünlerin mevzuata uygunluğu en önemli parametredir. Bu hususta Tarım ve Orman Bakanlığının toprak analiz desteği ve iyi tarım uygulamaları gibi desteklerinin her zaman olması ve ayrıca etkili denetimlerin üretilecek olan ürünlerin kontrolünün sağlanması hususunda önemlidir. Ayrıca çevresel etki için Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığının etkili denetimleri bu hususta kamunun atacağı önemli adımlar arasındadır. Ayrıca üniversitelerin arazi denemelerinin ve laboratuvar analizleri için gerekli cihaz ve ekipman desteğini sağlaması işlemleri kolaylaştırabilir.

Avrupa'da 2011 yılında kurulan Avrupa Biyostimülant Endüstrisi Konseyi (EBIC), kıtadaki biyostimülant sektörünün ihtiyaç ve sorunlarına çözümler üretmeyi hedeflemektedir. Günümüzde hem Avrupa'da hem de Amerika'da uyumlu bir yaklaşımın bulunmayışı nedeniyle, biyostimülantların mevzuattaki yerleri karışık bir hal almıştır. Sözü edilen tarımsal girdilerin Avrupa pazarında bulunuşu iki yolla mümkün olmaktadır. Birincisi, Avrupa'da bulunan her üye ülkenin gübreler ile ilgili mevzuatları olurken; diğer yol ise, AB'nin pestisitler ile ilgili mevzuatıdır (1107/2009 European Commission). Ülkemizde ise, 17/2/1999 tarihli ve 23614 sayılı Resmî

Gazete’de yayımlanan Zirai Mücadelede Kullanılan Pestisit ve Benzeri Maddelerin Ruhsatlandırılması Hakkında Yönetmeliğin 4 üncü maddesinde yer alan “Pestisit Benzeri Maddeler” tanımına 26/06/2002 tarihli ve 24797 sayılı Resmi Gazete’de “tuzaklar” ifadesinden sonra gelmek üzere “bitki aktivatörleri” ifadesi eklenmiş ve söz konusu tarihten itibaren Türkiye’de biyostimülantlar kullanılmaya başlanmıştır. Biyostimülantların Türkiye’de ruhsatlandırılması halen sözü edilen yönetmeliğe göre gerçekleşmektedir. Anılan ürünlerin ruhsatlandırılması hakkında istenen belgeler 12/09/2009 tarihinde yayınlanan 27347 sayılı Resmi Gazete’de listelenmiştir (Tarım ve Köyişleri Bakanlığı 2009).

Biyostimülant tanımının dünya genelinde farklılık göstermesi ve yasal düzenlemelerin ülkelere göre ciddi farklılıklar gösteriyor olması nedeniyle biyostimülantların kullanım miktarlarının ve kullanıldığı alanların kesin olarak belirlenmesi ve mevzuata eklenmesi gerekmektedir.

Biyostimülantlara ilişkin yasal çerçeve hakkındaki belirsizlik biyostimülant pazarını sınırlayabilir. Biyostimülantların etiketlenmesi ve etkinliğine ilişkin belgeler mevcut değildir. “Avrupa’daki Beklentiler ve Uluslararası Düzeydeki Mevcut Durum 2019” hakkındaki bir rapora göre biyostimülantlar için uyarlanmış bir düzenleyici süreç bulunmamakta ve bu da rakipler arasında sağlıksız rekabete neden olmaktadır (Caradonia ve ark. 2019).

### **Teknik Altyapılar**

Türkiye’de teknik altyapı olsa da sürekli olarak yenilenme süreçlerine gidilmesi gerekmektedir. Analiz süresince karşılaşılabilecek herhangi bir problemin giderilmesi için gerekli donanımın kurulması ve kontrolünün sağlanması önemlidir. Özellikle mikrobiyoloji çalışmalarında optimize edilmesi gereken veya çevresel etkilere yönelik beklenmedik durumlarla karşılaşılabılır. Örneğin büyüme ortamında mikroorganizma hücre sayısı normal seviyede olmasına rağmen etkili ve yeterli metabolit üretimi besiyeri farklılıkları, oksijen ihtiyacı, pH durumu gibi etkilere bağlı olarak azalma gösterebilir veya üretilemeyebilir. Aynı zamanda akredite laboratuvarlarda ürün etki standardizasyonu çalışmaları yapılmalıdır.

### **İnsan Kaynakları**

Üniversitelerde ve sanayi kuruluşlarında lisansüstü seviyesinde eğitim alınmaktadır. Bu konuda kalifiye eleman yeterli düzeydedir. Özel kuruluş çalışanlarının uzun vadede belirli bir alanda uzmanlaşması sağlanmalıdır. Projelerin ilerlemesi sırasında yeterli donanım eksikliği ile karşılaşırsa sanayi ve üniversite arası anlaşma yapılarak materyal ve insan kaynağı konusunda işbirlikleri yapılmalıdır.

## Destek ve Teşvikler

Kamu kurumlarında (TÜBİTAK, KOSGEB, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı destekleri gibi) yeterli destekler her aşamada sağlanmaktadır. Üniversite ve diğer kurumların desteği ile sonuçlandırılan projelerden ticarileşme potansiyeli olanlar taranarak özel sektör işbirliği ile üretime yönlendirilmelidir.

### 1.4.c. İndüklenmiş bakteriyel gübreler, metabolit, enzim ve bitki gelişim düzenleyici üretiminde genetik modifiye bakteri kullanım olanaklarının araştırılması

Türkiye’de çalışmalarla ilgili bilim insanı ve laboratuvar altyapısı yeterlidir. Endüstri ve laboratuvar gibi alanlarda kullanılan kimyasalların %30’dan fazlası mikroorganizma kaynaklı ürünlerdir. Bunlar içerisinde rekombinant ürün eldesi çalışmaları böcek, memeli, fungus ve bakteri hücrelerinde yapılabilmekle birlikte maliyet ve verim yönünden en etkili olanın bakteriler olduğu bilinmektedir. Yerli inovatif veya muadil ürün geliştirmeye yönelik girişimlerin biyoteknolojik çalışmalar ile ilgili projeleri kamu ve özel sektör teşvikleri ile desteklenmelidir. Rekombinant yöntemlerle bazı biyostimulanlar da dahil olmak üzere yüksek katma değerli çok sayıda ürün eldesi mümkündür.

Mevcut mevzuatlar aşağıdaki maddeler çerçevesinde rekombinant GDM ürünlerinin kullanımına imkan vermekle birlikte kapalı ortam denemeleri dışında GDM’nin doğrudan kullanımını sınırlamakta/engellemektedir. Araştırma seviyesinde izin verilebilmektedir.

- **MADDE 10** (1) GDM’nin kapalı alanda kullanım başvurusu için 8 inci maddenin ikinci fıkrasının (a), (b), (c), (ç), (d), (e) ve (g) bentlerinde belirtilen kurallara göre kurul kararı ile...
- **MADDE 10** (2) GDM üretimi Kurul tarafından belirlenen kapalı alan koşul ve standartlarında risk sınıflandırmaları dikkate alınarak üretilir ve depolanır (Tarım ve Köyişleri Bakanlığı 2010).

Genetik modifiye mikroorganizma oluşturulması ve kapalı alanda izin verilen sürelerde takip edilmesinin ardında herhangi bir olumsuzluk izlenmediği takdirde kontrollü olarak araziye çıkarılması ile ilgili düzenleme yapılması dünyadaki gelişmeleri yakalama bakımından önemli olabilir. Dünyada GDM’nin tüm incelemeler yapıldıktan sonra doğrudan kullanımına yönelik çalışmalar mevcuttur. Örneğin “Intrexon ve Synlogic” firmaları bakterileri (*Lactococcus lactis*) modifiye ederek diyabetliler ve kanserlilerde kemoterapinin yan etkisini azaltma üzerine denemeler yapmıştır. “Osel in Mountain View” firması *Lactobacillus* üzerinde modifikasyon yaparak HIV bulaşını önleme çalışmaları yapmıştır.

İndükleme çalışmaları ile ilgili herhangi bir kısıtlamaya rastlanmamıştır. Bu nedenle ayrı ayrı indükleme ve genetik modifikasyon sonucu elde edilen aynı ürünlerin mevzuatta belirtilen

kapalı alandaki deneme sonuçlarının birbirine yakın olması durumunda sadece indüklenmiş ürünlerin arazi kullanımı yaygınlaştırılabilir.

### **Teknik Altyapılar**

Üretim ve test altyapısının Türkiye’de yeterli seviyede olduğu düşünülmektedir. Genetik modifiye organizmalardan elde edilen ürünlerin bir kısmının (biyoinsektisit, fungusit gibi) sertifikasyon işlemleri Avrupa ile uyum halinde yapılmak durumundadır. Bu durumun zaman alıcı ve zor olması, yerli ürün geliştirme ve tescilinde önemli aksamalara neden olmakta, bazan da imkansız hale getirmektedir. Türkiye içerisinde böyle bir mekanizmanın kurulması, detaylı inceleme ile birlikte yerli ürün tescilinin kolaylaştırılması gerekmektedir. Avrupa birliği “Development of biofertilizers legislation” da her ülkenin bu konudaki düzenlemeyi kendi ihtiyaçlarına göre yapabileceği belirtilmiştir. Bakteri kaynaklı biyogübre bakımından problem olmamakla birlikte biyoinsektisit ve biyofungusit için aynı durum geçerli değildir. Bu nedenle Türkiye’de biyopestisit çalışmalarını THS 5-6 seviyesine kadar getirmiş araştırmacılar bulunmasına rağmen ticari ürün aşamasına gelen ürün bulunmamaktadır. Bu konuda düzenleme yapılması önem arz etmektedir.

### **İnsan Kaynakları**

Bireysel olarak her üniversitede ihtiyaç duyulan yetkinlikte yeterli bilim insanı bulunmayabilir, fakat Türkiye genelinde gelişmiş ülkeler seviyesinde yetkinliğe sahip bilim insanı sayısının yeterli olduğu düşünülmektedir. Sanayide biyoteknolojik çalışmaların problemsiz yürütülebileceği yeterlilikte insan kaynağı istenen seviyede olmamakla birlikte özel kuruluşların Ar-Ge birimlerini üniversiteler ile işbirliği içinde geliştirmesiyle (Ar-Ge çalışanlarının lisansüstü eğitim desteği) kısa sürede ilerleme katedilebilir. Sadece lisans eğitimi almış araştırmacılar ileri seviye biyoteknolojik çalışmalarda yetersiz kalabilir.

### **Destek ve Teşvikler**

Üniversite sanayi işbirliği programları bu konuda kritik öneme sahiptir. Sanayi kuruluşu çalışanlarının lisansüstü eğitim alması gelişmeleri ivmelendirecektir. TÜBİTAK 2244 gibi sanayi-doktora işbirliği projeleri ve KOSGEB destekleri bu konuda önemli katkı sağlamaktadır. Başlangıç hibe destekleri ürün gelişimine yönelik fikir ve girişimleri hızlandırabilir. Üniversitelerde akademisyenlerin fikirlerini takip edecek bir mekanizma kurularak yerli ürüne dönüşebilecek olanların üzerine gidilip teknoparklarda başlangıç (start-up) firmalarının kuruluşu teşvik edilmeli ve gerekli olması durumunda bireysel ve kurumsal yatırım işlemleriyle teşvik edilmelidir.

## KAYNAKÇA

- Antón-Herrero, R., García-Delgado, C., Mayans, B., Camacho-Arévalo, R., Delgado-Moreno, L., & Eymar, E. 2021. "Biostimulant Effects of Micro Carbon Technology (MCT®)-Based Fertilizers on Soil and Capsicum annum Culture in Growth Chamber and Field", *Agronomy*, 12(1), 70.
- Bender Özenç D, Şen O. 2017. "Farklı Gelişim Dönemlerinde Uygulanan Deniz Yosunu Gübresinin Domates Bitkisinin Gelişim ve Bazı Kalite Özelliklerine Etkisi", *Akademik Ziraat Dergisi Cilt:6 Özel Sayı: 235 – 242*.
- European Commission (EC) Regulation 1107/2009, 2009. "Regulation (EC) No 1107/2009 of the european parliament and of the council of 21 October 2009 concerning the placing of plant protection products on the market and repealing council directives 79/117/EEC and 91/414/EEC," European Union, Brussels, Belgium.
- Calvo P, Nelson L, Kloepper J.W. 2014. "Agricultural Uses of Plant Biostimulants. *Plant and Soil*", 383(1), 3- 41.
- Canellas, L., P., Spaccini, R., Piccolo, A. 2009. "Relationships between chemical characteristics and root growth promotion of humic acids isolated from Brazilian oxisols", *Soil Sci* 174, 611–620.
- Caradonia, F., Battaglia, V., Righi, L., Pascali, G., & La Torre, A. 2019. "Plant biostimulant regulatory framework: prospects in Europe and current situation at international level", *Journal of Plant Growth Regulation*, 38(2), 438-448.
- Çimrin, K.M., Karaca, S., Bozkurt, M.A. 2001. "Mısır Bitkisinin Gelişimi ve Beslenmesi Üzerine Hümik Asit ve NPK Uygulamalarının Etkisi". *Tarım Bilimleri Dergisi* 7(2), 95-100.
- Du Jardin, P. 2012. "The Science of Plant Biostimulants - A Bibliographic Analysis", Adhoc Study Report to the European Commission [http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/chemicals/files/fertilizers/final\\_report\\_bio\\_2012en.pdf](http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/chemicals/files/fertilizers/final_report_bio_2012en.pdf).
- Du Jardin, P. 2015. "Plant biostimulants: Definition, Concept, Main Categories and Regulation", *Sci. Hortic.*, 196, 3–14.
- Ertani, A., Cavani, L., Pizzeghello, D. 2009. "Biostimulant activity of two protein hydrolyzates in the growth and nitrogen metabolism of maize seedlings", *J Plant Nutri Soil Sci*, 172, 237–244.
- Gürsoy, M. 2022. "Tarımda Biostimulant Uygulamaları". 7th International Zeugma Conference on Scientific Research. Gaziantep.
- Kara, A., Tunçtürk, M. ve Tunçtürk, R. 2019. "Ekinezya (*Echinacea purpurea* L.) Bitkisinde Tuz Stresi ve Deniz Yosunu Uygulamalarının Bazı Fizyolojik Parametreler Üzerine Etkisinin Araştırılması". *Derim*, 36(2),199-206.
- Kauffman, G.L., Kneivel, D.P. and Watschke, T.L. 2007. "Effects of a biostimulant on the heat tolerance associated with photosynthetic capacity, membrane thermos stability, and polyphenol production of perennial ryegrass", *Crop Sci*. 47,261–267.
- Koide, R.T. and Mosse, B. 2004. "A History of Research on Arbuscular Mycorrhiza", *Mycorrhiza*, 14, 145-163.



- Kurt, Ö. ve Uğur, A. 2021. "Kıvırcık Marulda (*Lactuca sativa* L. var. *crispa*) Borlu Gübre ve Humik Asit Uygulamalarının Bazı Bitki Özelliklerine Etkisi", *Turkish Journal of Agricultural Engineering Research*, 3(1), 1-14.
- Külahtaş, B., & Çokuysal, B. 2016. "Biyostimulantların Sınıflandırılması ve Türkiye'deki Durumu". *Çukurova Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 31(3), 185-200.
- Jabeen, N. and Ahmad, R. 2013. "The Activity of Antioxidant Enzymes in Response to Salt Stress in Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) and Sunflower (*Helianthus annuus* L.) Seedlings Raised from Seed Treated with Chitosan", *J Sci Food Agric*. 93, 1699-1705.
- Maçın, K.E. 2021. "Biyoekonomi Stratejisi ve Sıfır Atık Perspektifinden Türkiye'de Gıda Atıkları Yönetimi ve Paydaşların Görevleri", 15-17 Eylül 2021 AB Yeşil Mutabakatı, İstanbul.
- Malik, A., Mor, V.S., Tokas, J., Punia, H., Malik, S., Malik, K., ... & Karwasra, A. 2020. "Biostimulant-treated seedlings under sustainable agriculture: A global perspective facing climate change", *Agronomy*, 11(1), 14.
- Muhie, S.H. 2019. "Organik özütlerle priming uygulamalarının havuç (*Daucus carota*) ve soğan (*Allium cepa*) tohumlarının abiyotik stres koşulları altında çimlenme ve fide kalitesine etkisi", Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Üniversitesi, Ankara.
- O'Callaghan, M., Ballard, R. A., & Wright, D. 2022. "Soil microbial inoculants for sustainable agriculture: Limitations and opportunities". *Soil Use and Management*. 38,1340–1369.
- Öztürk, N., Basım, E., Basım, H. 2017. "Tarımda Mikorizal Fungusların Etkinliği". *The Journal of Fungus*, 8(1), 20-34.
- Schüssler, A., Schwarzott, D. and Walker, C. 2001. "A New Fungal Phylum, The Glomeromycota: Phylogeny and Evolution". *Mycological Research*, 105, 1413-1421.
- Strateji, T. C., & Başkanlığı, B. 2019. "Sürdürülebilir kalkınma amaçları değerlendirme raporu". Ankara T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı Yönetim Hizmetleri Genel Müdürlüğü Bilgi ve Belge Yönetimi Dairesi Başkanlığı.
- Suzuki, N., Koussevitzky, S., Mittler, R., Miller, G. 2012. "ROS and redox signaling in the response of plants to abiotic stress". *Plant Cell Environ*, 35,259–270.
- Tarım ve Köyışleri Bakanlığı. "Genetik Yapısı Değiştirilmiş Organizmalar Ve Ürünlerine Dair Yönetmelik", <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2010/08/20100813-4.htm> Son Erişim Tarihi: 19 Aralık 2022.
- Tarım ve Köyışleri Bakanlığı. "Bitki Koruma Ürünlerinin Ruhsatlandırılması Hakkında Yönetmelik", <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2009/09/20090912-4.htm> Son Erişim Tarihi: 19 Aralık 2022.
- The Business Research Company. 2022. "Biostimulants Global Market Report 2023 – By Chemical Origin (Natural, Biosynthetic Biostimulants), By Active Ingredient (Humic Acid, Fulvic Acid, Amino Acids, Protein Hydrolysates, Seaweed Extracts, Other Active Ingredients), By Application (Foliar, Soil, Seed, Other Applications) – Market Size, Trends, And Market Forecast 2023-2030", <https://www.thebusinessresearchcompany.com/report/biostimulants-global-market-report> Son Erişim Tarihi: 20Aralık 2022.
- Watson, R., Fowden, L. 1975. "The uptake of phenylalanine and tyrosine by seedling root tips", *Phytochemistry*, 14, 1181–1186.

- Wang, B. and Qiu, Y.L. 2006. "Phylogenetic Distribution and Evolution of Mycorrhizas in Land Plants", *Mycorrhiza*, 16, 299-363.
- Vessey, J.K. 2003. "Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers", *Plant Soil* 255,571–586.
- Yahyaabadi, H.M., Asgharipour, M.R. and Basiri, M. 2016. "Role of Chitosan in Improving Salinity Resistance Through some Morphological and Physiological Characteristics in Fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.), *J Sci Technol Greenhouse Cult*, 7(25), 165-174.

**Teknolojik Hedef 2:**

**MİNERAL GÜBRE ÜRETİM SÜREÇLERİ**

**Mineral Gübre Üretiminde karbon ayak izini azaltacak yöntemlerin geliştirilmesi**

**Kritik Ürün/Teknoloji 2.1.**

**Kompoze gübre üretim süreçlerinde kayıpların önlenmesi ve geri kazanıma ilişkin yöntemlerin geliştirilmesi**

**Öncelikli Ar-Ge ve Yenilik Konuları**

**2.1.a. Isıtma, kurutma gibi proseslerde enerji verimliliğine yönelik yenilikçi teknolojilerin geliştirilmesi**

**2.1.b. Geri dönüştürülmüş ve geri kazanılmış suyun kullanıma yönelik yenilikçi teknolojilerin geliştirilmesi**

**2.1.c. Yenilikçi su soğutma teknolojilerinin geliştirilmesi**

**2.1.d. Proses emisyon kayıplarının azaltılarak proseste geri dönüştürülmesine yönelik teknolojiler geliştirilmesi**

## **A. Teknik Açıklamalar, Yenilikçi Özellikler, Hedeflenen Performans ve Metrikler**

Granülasyon yöntemi ile elde edilen gübreler, belli oranda nem içermektedir. Nemin belirlenen oranın altına düşürülmesi, gübrenin depolama ve kullanımı esnasında fiziksel özelliklerinin de korunması açısından önemlidir. Bu nedenle, üretim prosesinde, kurutma ve soğutma işlemi, düşük nem içeriği ve yüksek kırma mukavemetini korumak açısından önemli rol oynamaktadır.

Kurutma verimi; kurutucu iç sıcaklığı ve NPK [Azot (N), Fosfor (P), Potasyum (K)] malzemelerinin döner tamburda kalma süresi ile doğrudan ilişkilidir. Isıtma /kurutma gibi proseslerde farklı yakıt kaynakları kullanılabilir. Yenilikçi teknolojilerin kullanılarak ısıtma/kurutma gibi işlemlerin yapılması enerji verimliliği açısından elzemdir.

## **ÖNCELİKLİ AR-GE VE YENİLİK KONULARI**

### **2.1.a. Isıtma, kurutma gibi proseslerde enerji verimliliğine yönelik yenilikçi teknolojilerin geliştirilmesi**

Gübreler, öncelikle su içerikleri nedeniyle her zaman çabuk bozulur, bu nedenle mekanik hasara ve çevre koşullarına karşı oldukça hassastır. Kurutma teknolojisi, gübre işlemek için önemli bir yöntemdir. Gübrenin kurutulmasında nihai ürün kalitesi önemlidir. Uygun kurutma koşullarının seçilmesi, kalite bozulması ve yapısal değişikliklere neden olmayı ve kabul edilemez ürün üretmeyi önler. Öte yandan, kurutma teknolojisinin endüstrileşmiş uygulamalarında kurutma işleminin enerji tüketimi ve kurutma ekipmanlarının maliyeti büyük önem taşımaktadır. Gübre üretiminde enerji verimliliğine yönelik ideal kurutma teknolojilerinin geliştirilmesi, daha güvenli çalışma, yüksek kapasite, iyi ürün kalitesi, az çevresel etki, yüksek enerji verimliliği ve düşük maliyet açısından önem taşımaktadır.

### **2.1.b. Geri dönüştürülmüş ve geri kazanılmış suyun kullanıma yönelik yenilikçi teknolojilerin geliştirilmesi**

İmalat endüstrisinde proses suyunun geri dönüştürülerek kullanımı, mevcut sınırlı ham su kaynaklarının kullanımının minimize edilmesi açısından önemlidir. Bu açıdan endüstriyel işletmelerde kullanılan ham su, endüstriyel proses öncesinde, sonraki arıtma aşamalarını engelleyebilecek kum, gres ve kaba katıları gidermek için genellikle ön arıtmadan geçirilir. Daha sonra uygulanan birincil arıtma, hem organik hem de inorganik askıda katı maddeleri çöktürmek ve uzaklaştırmak için uygulanmaktadır.

Mümkün olan durumda, endüstriyel üretim biçimine bağlı olarak proses suyunun geri kazanılarak kullanımı endüstri tipine bağlı olarak çeşitli işlemlerden geçirilir. Bu işlemler, atık suyun boşaltılmadan önce parlatılmasını veya yeniden kullanılabilir olan azot ve fosfor gibi elementlerin, toksik bileşiklerin, askıda kalan artık maddelerin veya mikroorganizmaların klor,

ozon, ultraviyole radyasyon veya diğer diğer arıtma yöntemleriyle uzaklaştırılmasını içermektedir [1].

Endüstriyel tesislerde geri dönüştürülmüş suyun kullanımı çeşitli şekillerde enerji tüketimini de beraberinde getirir. Enerji maliyetlerinin artması sonucu, enerji krizi ve küresel ısınmanın aciliyeti ve diğer çevresel kaygılar nedeniyle, son yıllarda enerji verimliliğinin iyileştirilmesine yönelik teknikler ve tasarımlar üzerine çok sayıda ve sürekli artan sayıda kitap, rapor ve makale yayınlanmıştır. Bu özellikler arasında daha yüksek düzeyde yalıtım, yüksek performanslı pencereler, daha sıkı dış yapı, sızıntı yapmayan kanallar, daha verimli ısıtma ve soğutma ekipmanları ve cihazlar, sürdürülebilir enerji kullanımı ve enerji verimli tasarımlar yer alır. Su soğutma teknolojilerinde ısı transferi hem teorik hem de deneysel olarak kapsamlı bir şekilde incelenmiş olup sistemlerin optimum kontrolü ve doğru modellemesi son yıllarda yoğun ilgi görmüştür.

Endüstriye yönelik suyun geri kazanımı ve bu suyun geri dönüşümü amacıyla imalat teknolojilerinde kullanılan malzemeler, prosesin geliştirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Bununla birlikte, suyun geri kazanımına yönelik enerji tüketiminde yeşil üretim süreçleri ve teknikleri gözden geçirmeden soğutma teknolojileri malzemelerinin gözden geçirilmesi tamamlanmış sayılmaz. Bu nedenle ilgili teknolojiye yönelik proseslerin geliştirilmesi ve suyun geri kazanımına yönelik yeşil üretim teknolojileri günümüzün önemli problemleri arasındadır.

Endüstriyel süreçlere yönelik suyun geri kazanımının ve proses iyileştirmeleri olarak yeşil teknolojilerin geliştirilmesi, ve bu tür özelliklerin büyük ölçekli üretimler için odak noktasına alınması mevcut süreç için hedeflenmesi gereken en önemli parametredir.

### **2.1.c. Yenilikçi su soğutma teknolojilerinin geliştirilmesi**

Proses suyu kullanımı ve bunun geri kazanımına yönelik yenilikçi teknolojilerin geliştirilmesi, yeşil üretim teknolojilerini temel noktasını oluşturmaktadır. Yeşil üretim teknolojilerinde soğutma suyunun performansı, bu suyun soğutulması için minimum enerji tüketimini referans almaktadır.

### **2.1.d. Proses emisyon kayıplarının azaltılarak proste geri dönüştürülmesine yönelik teknolojiler geliştirilmesi**

Proses emisyon kayıplarını azaltmak, yeşil üretim teknolojilerine yönelik önemli bir adımdır. Zira, yeşil üretim teknolojileri ile birlikte karbon emisyonunun azaltılması bu yöndeki teknolojilerin gelişiminin odak noktasıdır. Herhangi bir üretim tekniğinde, emisyonla sebep olan malzemenin atmosfere verilmek yerine proste tekrar kullanımı, tutma/yakalama sistemlerinin performansının daha verimli sonuçlanmasına neden olacaktır.

Yeşil üretim teknolojileri ile proses suyu geri dönüşümü, tekrar kullanımı ya da emisyon gazlarının prosese tekrar beslenmesi, global ölçekteki enerji tüketim oranlarını etkileyeceği gibi, sera gazı salımını da önemli oranda azaltacaktır. Zira imalat endüstrisinin günümüz sera gazı salımının %1,8'inden sorumlu olduğu düşünüldüğünde, proses suyu geri kazanımı ya da soğutma teknolojilerinde yeşil üretim yöntemlerinin benimsenmesi küresel ölçekte sera gazı salımının minimize edilmesini sağlayacaktır.

İmalat sektöründeki atık materyallerin oluşumu veya atmosfere verilmesi ekosistemin varlığını tehdit eden önemli bir unsurdur. Proses suyunun geri kazanımı, sistemde tekrar kullanımı, atık olarak ekosisteme verilmesinin önlenmesi ya da benimsenen herhangi bir yeşil üretim yönetimi, üretim teknolojilerinde problemin tanımlanması ve giderilmesi açısından hayati önem taşımaktadır.

Proses suyunun geri kazanımı ya da reaksiyon ortamına tekrar beslenmesi, bununla birlikte enerji tüketimine yönelik yeşil üretim yöntemlerinin seçilmesi ya da belirlenmesi süreçte hedeflenmesi gereken önemli bir parametre olacaktır.

### **B. Dünyada ve Türkiye’de Teknolojik Hazırlık Seviyeleri**

#### **2.1.a. Isıtma, kurutma gibi proseslerde enerji verimliliğine yönelik yenilikçi teknolojilerin geliştirilmesi**

Dünya genelinde enerjinin yoğun olarak kullanıldığı ısıtma ve kurutma teknolojilerinde yeşil teknolojilerin kullanımı teknoloji hazırlık seviyesinde 4. kademe olarak tanımlanabilir. Özellikle gübre üretim teknolojilerinde Yara, Uhde gibi firmaların THS 4 seviyelerinde çalışmaları mevcut olup Almanya gibi ülkelerde enerji verimliliğine yönelik denizel gelgit enerjisi ve rüzgar santrallerinin kullanımı yenilikçi teknolojilerin kullanımına örnek olarak verilebilir.

#### **2.1.b. Geri dönüştürülmüş ve geri kazanılmış suyun kullanıma yönelik yenilikçi teknolojilerin geliştirilmesi**

Suyu belirli bir su kullanım amacına uygun hale getirmek ve güvenli bir şekilde su ortamına boşaltmak için gereken tüm su hizmetlerini içeren bir sistem aynı zamanda su kullanma süreçlerini ve ekonomik faaliyetleri de içermektedir. Bununla ilgili olarak AB bünyesinde Ecowater projesi, teknoloji hazırlık seviyesi için bir örnek olarak gösterilebilir. Arionex sisteminde gübre sektörü atık suları kullanılarak amonyum nitrat gübresi üretimi gerçekleştirilmiş, ticarileştirilmiştir. Türkiye ve Dünyada THS 4-9 seviyelerinde farklı teknolojiler geliştirilmiştir.

### **2.1.c. Yenilikçi su soğutma teknolojilerinin geliştirilmesi**

Yenilikçi su soğutma teknolojilerine yönelik EcoWater tipi projeleri, bu kavramları işlevsel hale getirerek, yenilikçi uygulamalar (teknolojiler dahil) için çeşitli seçeneklerin eko-verimliliğini değerlendirmeyi, bu tür uygulamaları benimseme kararlarını etkileyen faktörleri analiz etmeyi, daha iyi karar verme sürecini bilgilendirmeyi ve böylece politika çerçevelerini bilgilendirmeyi amaçlar. Daha fazla eko-verimliliğe yönelik kararları kolaylaştırır. Bu konuları araştırmak için, çeşitli vaka incelemeleri, görüşmeler ve çalıştaylar aracılığıyla kilit aktörlerin bakış açılarını araştırır (THS 4).

### **2.1.d. Proses emisyon kayıplarının azaltılarak proste geri dönüştürülmesine yönelik teknolojiler geliştirilmesi**

NPK gübresi üretimi esnasında boru reaktörlü granülatörlü sistemler, tambur granülatörlü ve amonyak beslenen sistemler, fosfat kayası çözündürme işleminin karışık asitle yapıldığı noktalardan emisyonlar açığa çıkmaktadır. Bu emisyonlar, kirlenici parametrelerin toplanıp yıkanabildiği gibi, reaksiyon sıvısından santrifüjleme, hidrosiklon veya son teknolojik uyarlamalarda lamella (plakalı) ayırıcılarda reaksiyon ortamından ayrılması ile reaktör sistemlerine üre eklenerek atmosfere verilen NOx miktarı bir kristalizatör sistem teknolojiler ile geri kazanılarak kayıp olan ürünlerin sisteme geri dönüşümü mümkündür.

Küresel ısınma ve iklim değişikliği en ciddi sorun ve tehdit haline gelmektedir. Hızlı bir şekilde artan sera gazı emisyonları nedeniyle, iklim değişikliği sonucu sıcaklık 1 °C'lik bir artışa ulaşmıştır. Mevcut yanlış uygulamalarla ilgili çevresel kayıpları değerlendirmek neredeyse imkansızdır. Endüstri kaynaklı karbon emisyonunu net olarak hesaplama yöntemleri mevcuttur. Ötrofikasyona, sis oluşumuna, ozon tabakasının incelmesine, ek küresel ısınmaya ve biyolojik çeşitlilik kaybına neden olduğundan azot ayak izinin daha da kötü olduğunu gösteren çalışmalar olmasına rağmen, azot türevi NOx emisyonlarına tam olarak aynı ilgi gösterilmemiştir. Proses emisyonlarını minimize edecek olan mekanizmaların, enerji ve su taleplerini azaltırken sinerji olarak kullanılabilmesi, böylece hem çevresel etkilerin azaltılacağı hem de zaten etkili olan iklim değişikliklerine uyum sağlayabileceği gösterilmiştir (THS 5).

## **C. Dünyada ve Türkiye'deki Mevcut Duruma İlişkin Başarılı Örnekler**

### **2.1.a. Isıtma, kurutma gibi proseslerde enerji verimliliğine yönelik yenilikçi teknolojilerin geliştirilmesi**

Dünyadaki ve Türkiye'deki THS seviyesine ilişkin somut örnekler farklı başlıklar altında aşağıda verilmiştir.



### **Yenilebilir enerji kaynaklarının imalat endüstrisinde kullanımı**

- Alkalın Elektrolizli Elektrikli HB: THS 8-9
- Yüksek Basıncılı PEM Elektrolizli Elektrikli HB: THS 6-7
- SO Elektrolizli Elektrikli HB: THS 3-5
- Elektrokimyasal: THS 1-3
- Elektrikli Düşük Basıncılı HB, Soğurmalı: THS 4-5
- Yerinde Absorpsiyonlu Elektrikli Düşük Basıncılı HB: THS 1-3
- Termal olmayan plazma: THS 1-3
- Fotokatalitik: THS 1-3
- Metallokompleksler: THS 1-3
- Biyolojik: THS 1-3

### **Rüzgar enerjisinin ve okyanus gelgitinin enerji üretiminde kullanımının artması (THS 5).**

Geniş ve güçlü olan okyanus, muhtemelen ısı, akıntılar, dalgalar ve gelgitler şeklinde dünya çapındaki toplam enerji talebini karşılamaya yetecek kadar enerji depolar. Bugüne kadar, okyanus enerjisi dünya çapındaki enerji arzının yalnızca çok küçük bir bölümünü oluşturmaktaydı ancak şimdi, küresel iklim değişikliği ve dünya çapında fosil yakıtlara bağlılığın diğer çevresel etkileri konusundaki yaygın endişe, yenilenebilir enerjiye olan ilgiyi artırmıştır. Gelecekte dikkatlerin daha çok okyanustaki muazzam enerji depolarına odaklanması muhtemeldir. Geniş, kapsamlı ve sorumlu bir enerji planı için okyanustan elde edilen yenilenebilir enerjinin daha fazla araştırılması ve geliştirilmesi gereklidir. Yeni okyanus enerjisi teknolojilerinin geliştirilmesi, halihazırda aşırı avlanma, kirlilik, habitat kaybı ve iklim gibi birçok tehdide maruz kalan deniz ortamına zarar vermemesini sağlamak için kritik öneme sahip olacaktır.

Amerika Birleşik Devletleri'nde OTEC araştırması, 1980'lerde federal fonun kesilmesinden bu yana yapılmamaktadır. NELHA'daki pilot OTEC tesisleri başarılı bir şekilde işletilmesine rağmen ekonomik olmadığı düşünülmektedir. SSP, NELHA deneyinde OTEC güç üretiminin ekonomik olmamasına rağmen, SSP tasarımının uygun maliyetli olabileceği tahmin edilmektedir. SSP sistemin her bir bileşenini test etmek ve iyileştirmek/optimize etmek amacı ile projeler geliştirilmektedir. Sistemin optimizasyonundan sonra SSP, Guam'da 10 MW'lık bir pilot proje üzerinde çalışma planlanmaktadır Güney Hindistan'da Tamil Nadu'da 100 MW'lık bir yüzer santral bulunmaktadır [6].

Gübre üretim süreçleri, yenilenebilir ham maddeleri daha yüksek değerli tarımsal girdilere dönüştürmek için önemli miktarda emek, makine ve enerji kullanmaktadır. Artan enerji fiyatları ve sera gazı emisyonlarının azaltılmasına yönelik çabalar nedeniyle, enerji verimliliğini artırmak, mevcut enerji yoğun operasyonları enerji verimli yenileriyle değiştirmek ve gübre endüstrisinde yenilenebilir enerji kullanımını artırmak için enerji verimliliğinin iyileştirilmesi dikkate alınmalıdır [5] (THS 3-4).

### **2.1.b. Geri dönüştürülmüş ve geri kazanılmış suyun kullanıma yönelik yenilikçi teknolojilerin geliştirilmesi**

Dünyanın dört bir yanındaki topluluklar, artan talep, kuraklık, yer altı sularının tükenmesi ve kirlenmesi ve tek arz kaynağına bağımlılık nedeniyle su temini sorunlarıyla karşı karşıyadır. Su ıslahı, geri dönüşümü ve yeniden kullanımı, su kaynağı sorunlarını çözerek ve yüksek kaliteli su kaynakları için yeni kaynaklar yaratarak bu zorlukların üstesinden gelinir. Geri kazanılmış arıtılmış atık su için gelecekteki potansiyel büyüktür. Su ıslahı ve yeniden kullanımı dünyanın birçok ülkesinde uygulanıyor olsa da, mevcut yeniden kullanım seviyeleri, oluşan kentsel ve endüstriyel atık suların toplam hacminin küçük bir bölümünü oluşturmaktadır. Buna ek olarak, topluluklar artan su ihtiyaçlarını karşılamak için tarımsal geri dönüş akışları, konsantre ve diğer atık su akımları, yağmur suyu, enerji ve madencilik endüstrilerinden kaynaklanan su gibi diğer geleneksel olmayan su kaynaklarını da değerlendirmeye yönelmektedir. Deniz suyunun ve acı yeraltı suyunun arıtılmasını sağlayacak yenilikçi teknolojiler önem taşımaktadır. Suyun yeniden kullanımı, topluluklar için çok çeşitli faydalar sağlar ve bu da halk ve çevre için muazzam değer yaratma anlamına gelir. Bununla birlikte, suyun yeniden kullanımının faydalarını ölçmek zordur ve çoğu zaman başarılmaz. Suyun yeniden kullanımının en önemli faydalarından biri, suyun yeniden kullanımının entegre su kaynakları planlamasına ve su politikasının diğer yönlerine dahil edilmesiyle ve su kaynaklarımızın uzun vadeli sürdürülebilirliğini sağlayan su projelerinin uygulanmasıyla yaratılan değerdir. Yönetişim, sağlık riskleri, düzenleme ve kamu algısı gibi farklı alanların yakınsamasını içeren bu bütünlük kavramları, suyun yeniden kullanımı konusunda da önemli zorluk teşkil etmektedir. Bu karmaşık bağlantılar, suyun yeniden kullanımıyla ilgili hem fayda hem de zorluk üzerinde eşit etki gösterebilmektedir(THS 5). [7]

California, Orange County'deki tesisler, Singapur'daki NEWater tesisi ve Namibya, Windhoek'deki tesisler de dahil olmak üzere dünya çapında dolaylı içilebilir yeniden kullanımın bilinen örnekleridir (THS 6).

Türkiye ve dünyada geri dönüştürülmüş suyu kullanımı oldukça küçük ölçeklerde yapılmasından ötürü, büyük ölçekte girişimler devam etmektedir (THS 2-3).

### **2.1.c. Yenilikçi su soğutma teknolojilerinin geliştirilmesi**

Yenilikçi su soğutma teknolojilerine yönelik olarak atık suyun arıtma sisteminden deşarj edilmeden önce belirli işlemlere tabi tutulması örnek olarak verilebilir.

Septik tanklar ve Imhoff tankları, yenilikçi su soğutma teknolojilerinin bir parçası olarak kabul edilebilir (THS 7).

Yenilikçi su soğutma teknolojilerine yönelik , Hindistan, Peru ve İspanya'da THS 5 seviyesinde çalışmalar mevcuttur.

Türkiye ve dünyada yenilikçi soğutma suyu kullanımı oldukça küçük ölçeklerde yapılmasından ötürü, büyük ölçekte girişimler devam etmektedir (THS 4).

### **2.1.d. Proses emisyon kayıplarının azaltılarak proste geri dönüştürülmesine yönelik teknolojiler geliştirilmesi**

Proses emisyon kayıplarını azaltmaya yönelik De-NOx ve scrubber tipi sistemler, dünya ölçeğinde teknoloji hazırlık seviyesi ölçeğinde 6-9 seviyelerdedir.

Emisyon giderimine yönelik atık gaz filtreleme, karbon tutma ve yakalama türü sistemler için Stamicarbon nitrik asit üretim tesisleri, Yara üre üretim teknolojileri emisyon giderim sistemine verilebilecek başarılı örnekleridir (THS 7).

Türkiye ve dünyada emisyon giderimi odak çalışma konuları arasındadır. Ancak küçük ölçeklerde olmasından ötürü, büyük ölçekte girişimler devam etmektedir (THS 2-3).

## **D. Ar-Ge ve Yenilik Sürecinde Bir araya Gelmesi Gereken Disiplinler ve Sektörler**

### **2.1.a. Isıtma, kurutma gibi proseslerde enerji verimliliğine yönelik yenilikçi teknolojilerin geliştirilmesi**

Ar-Ge çalışmalarında farklı alanlardan katkı alınması önem arz etmektedir. Proje kapsamında belirlenen hedeflerin başarı ölçütlerinin sağlanabilmesi açısından, kurutma ve enerji konularında uzmanlaşmış akademisyen ve mühendislerin birlikteliği faydalı olacaktır. Bu bağlamda, makine mühendisliği, kimya mühendisliği, enerji mühendisliği, çevre mühendisliği gibi disiplinlerin ve kamu, özel ve imalat sektörlerinin birlikteliği süreç açısından faydalı olacağı düşünülmektedir.

Termal süreçlerinde yenilenebilir enerji kullanılması için öncelikle enerji tedarikinin 24 saat kesintisiz ve stabil olması gerekir. Bunun için yenilenebilir enerji endüstrisi, elektrik enerjisi depolamak üzere termal depolama teknolojisi üreticileri ve ilgili Ar-Ge kuruluşları ortak çalışmalıdır.

Ar-Ge çalışmalarında farklı alanlardan katkı alınması önem arz etmektedir. Proje kapsamında belirlenen hedeflerin başarı ölçütlerinin sağlanabilmesi açısından, enerji konularında uzmanlaşmış akademisyen ve mühendislerin birlikteliği faydalı olacaktır. Bu bağlamda, makine mühendisliği, kimya mühendisliği, enerji mühendisliği, çevre mühendisliği gibi disiplinlerin ve kamu, özel ve imalat sektörlerinin birlikteliği süreç açısından faydalı olacağı düşünülmektedir.

İmalat sektöründe faaliyet gösteren Ar-Ge merkezleri, yanma teknolojileri konusunda çalışan uzman ve akademisyenler, tasarım, üretim, yazılım, uygulama, dijital ikiz ve simülasyon yapan kuruluşlar ortak bir çalışma ortaya koymalıdır.

### **2.1.b. Geri dönüştürülmüş ve geri kazanılmış suyun kullanıma yönelik yenilikçi teknolojilerin geliştirilmesi**

Çevre mühendisliği , kimya mühendisliği, biyoloji , makine mühendisliği gibi temel uzmanlık alanlarının birlikte çalışması gerekir.

Kamu iktisadi teşebbüsü niteliği ile devletin doğrudan desteklediği endüstri kuruluşları, ve enerji üretimi sektörlerinin bir arada çalışması gerekir.

İmalat sektöründe faaliyet gösteren Ar-Ge merkezleri, yanma teknolojileri konusunda çalışan uzman ve akademisyenler, tasarım, üretim, yazılım, uygulama, dijital ikiz ve simülasyon yapan kuruluşlar ortak bir çalışma ortaya koymalıdır.

### **2.1.c. Yenilikçi su soğutma teknolojilerinin geliştirilmesi**

Ar-Ge çalışmalarında farklı alanlardan katkı alınması önem arz etmektedir. Proje kapsamında belirlenen hedeflerin başarı ölçütlerinin sağlanabilmesi makine mühendisliği, kimya mühendisliği, enerji mühendisliği, çevre mühendisliği gibi disiplinlerin ve kamu, özel ve imalat sektörlerinin birlikteliği süreç açısından faydalı olacağı düşünülmektedir.

Termal süreçlerinde yenilenebilir enerji kullanılması için öncelikle enerji tedarikinin 24 saat kesintisiz ve stabil olması gerekir. Bunun için yenilenebilir enerji endüstrisi, elektrik enerjisi depolamak üzere termal depolama teknolojisi üreticileri ve ilgili Ar-Ge kuruluşları ortak çalışmalıdır.

Soğutma teknolojisine yönelik imalat yapan firmalar ve bu teknolojiyi kullanan endüstri kuruluşlarının çeşitli soğutucu gazların farklı proses tipiyle kullanımına yönelik dünya ölçeğindeki gelişmelere paralel bilgi birikimlerinden somut biçimde faydalanılması gerekmektedir.

#### **2.1.d. Proses emisyon kayıplarının azaltılarak proste geri dönüştürülmesine yönelik teknolojiler geliştirilmesi**

Makine mühendisliği, kimya mühendisliği, enerji mühendisliği, çevre mühendisliği gibi disiplinlerin ve kamu, özel ve imalat sektörlerinin birlikteliği süreç açısından faydalı olacağı düşünülmektedir

İmalat sektöründe faaliyet gösteren Ar-Ge merkezleri, yanma teknolojileri konusunda çalışan uzman ve akademisyenler, tasarım, üretim, yazılım, uygulama, dijital ikiz ve simülasyon yapan kuruluşlar ortak bir çalışma ortaya koymalıdır.

### **E. Ar-Ge , Yenilik, Demonstrasyon İşbirliği Modeli ve Destek Mekanizması**

#### **2.1.a. Isıtma, kurutma gibi proseslerde enerji verimliliğine yönelik yenilikçi teknolojilerin geliştirilmesi**

Küçük/orta/büyük ölçekli Ar-Ge ve Yenilik Projeleri, Teknoloji Platformları ile bir araya gelerek çalışma yapılabilir. Isıtma ve kurutma teknolojileri gibi enerji tüketiminin yoğun olarak gerçekleştiği proseslerin gelişimi için teknoloji platformlarının Ar-Ge projeleri ile ortak çalışmaları gerekmektedir.

TÜBİTAK destek programlarıyla Ar-Ge ve yenilik proje destekleri ve Teknoloji Odaklı Sanayi Hamlesi programıyla yatırım destekleri sağlanmalıdır.

Bahsi geçen teknolojilerle ilgili baştan sona birbirine entegre edilecek her bir teknik aşama tespit edilmeli, her bir teknik aşama için büyüklüğüne bakılmaksızın hibe destekli akademi – sanayi işbirliği proje çağruları açılmalı, gerçekçi, uygulanabilir ve sürdürülebilir endüstriyel çözümler ortaya koyan projeler desteklenmeli, proje çıktıları proje ortağı olan firmaların dışında en az 3 farklı tesiste pilot çalışmalar ile test edilmelidir. Pilot tesisler akademisyen ve sektör temsilcilerinden oluşan heyetler ile denetlenmeli ve teknolojinin verimliliği kanıtlanmalıdır. Elde edilen teknoloji ve teknikler devlet – özel sektör işbirlikleriyle yerli üretime geçirilerek millileştirilmelidir. Millileştirilen teknolojilerin uygulanması için fabrikalara hibe, finansal destek ve vergi iadesi gibi teşvikler sağlanarak uygulamaların yaygınlaştırılması ve diğer ülkelerle rekabetçi olabilmesi sağlanmalıdır. İlgili teknoloji ve tekniklerin geliştirilmesiyle ilgili üniversitelerle işbirliği yapılarak lisansüstü eğitime teşvik sağlanmalı, ilgili fakültelerin ders programlarına lisans dersleri eklenmelidir. Bu sayede ihtiyaç duyulan bu teknolojilerin geleceği garanti altına alınmalıdır.

**2.1.b. Geri dönüştürülmüş ve geri kazanılmış suyun kullanıma yönelik yenilikçi teknolojilerin geliştirilmesi**

Geri dönüştürülmüş suyun kullanımına yönelik enerji ve imalat sektöründeki firmalar ile yenilik ağlarının bir arada proje gerçekleştirmeleri gerekmektedir. Devlet eliyle, proje geliştirme olanağı bulduran kuruluş ve endüstriyel platformların hibe yöntemi ile desteklenmesi gerekmektedir.

**2.1.c. Yenilikçi su soğutma teknolojilerinin geliştirilmesi**

Ar-Ge ve yenilik projeleri şeklinde, yenilikçi su soğutma teknolojilerini gelişimi teknoloji platformları ve arge projeleri ile bir arada çalışması gerekmektedir. Teknoloji platformları ve Ar-Ge hedefli imalat sektörlerinin yine devlet hibeleri ile desteklenerek minimum 5 yıl boyunca desteklenmesi gerekir.

**2.1.d. Proses emisyon kayıplarının azaltılarak proseste geri dönüştürülmesine yönelik teknolojiler geliştirilmesi**

Yukarıda belirtilen disiplinler ve sektörler Ar-Ge ve yenilik projeleri şeklinde bir araya gelerek çalışmalıdır. TÜBİTAK destek programlarıyla hibe ve proje destekleri, ayrı yürüyen projeler, büyük bir platform bünyesinde eşgüdüm içinde yapılacak projeler ve benzeri yapıda olmalıdır.

**F. Zaman ve Bütçe Tahminleri**

**2.1.a. Isıtma, kurutma gibi proseslerde enerji verimliliğine yönelik yenilikçi teknolojilerin geliştirilmesi**

Belirlenen Ar-Ge ve yenilik konularının gerçekleştirilmesi için 3-5 yıl zaman, 3-20 milyon TL bütçe gerekmektedir.

**2.1.b. Geri dönüştürülmüş ve geri kazanılmış suyun kullanıma yönelik yenilikçi teknolojilerin geliştirilmesi**

Belirlenen Ar-Ge ve yenilik konularının gerçekleştirilmesi için 3-5 yıl zaman, 20-60 milyon TL bütçe gerekmektedir.

**2.1.c. Yenilikçi su soğutma teknolojilerinin geliştirilmesi**

Belirlenen Ar-Ge ve yenilik konularının gerçekleştirilmesi için 3-5 yıl zaman, 3-20 milyon TL bütçe gerekmektedir.

#### **2.1.d. Proses emisyon kayıplarının azaltılarak proste geri dönüştürülmesine yönelik teknolojiler geliştirilmesi**

Belirlenen Ar-Ge ve yenilik konularının gerçekleştirilmesi için 3-5 yıl zaman, 3-20 milyon TL bütçe gerekmektedir.

#### **G. Teknolojik İlerlemenin Sağlanmasında Kritik Hususlar**

İlgili kanun ve yönetmeliklerdeki değişiklikler ile yenilik projelerine daha fazla ödenek sağlanması gereklidir.

#### **Referanslar**

- [1] Miller, G. Wade. "Integrated concepts in water reuse: managing global water needs." *Desalination* 187.1-3 (2006): 65-75.
- [2] Asano, T. (2002). Water from (waste) water—the dependable water resource (The 2001 Stockholm Water Prize Laureate Lecture). *Water science and technology*, 45(8), 23-33.
- [3] Li, X., Li, X., & Li, Y. (2022). Research on reclaimed water from the past to the future: A review. *Environment, Development and Sustainability*, 24(1), 112-137.
- [4] Jangam, S. V., Karthikeyan, M., & Mujumdar, A. S. (2011). A critical assessment of industrial coal drying technologies: Role of energy, emissions, risk and sustainability. *Drying Technology*, 29(4), 395-407.
- [5] Cheng, S., Su, W., Yuan, L., & Tan, M. (2021). Recent developments of drying techniques for aquatic products: With emphasis on drying process monitoring with innovative methods. *Drying technology*, 39(11), 1577-1594.
- [6] Acar, C., Dincer, I., & Mujumdar, A. (2022). A comprehensive review of recent advances in renewable-based drying technologies for a sustainable future. *Drying Technology*, 40(6), 1029-1050.
- [7] Mujumdar, A. S., & Huang, L. X. (2007). Global R&D needs in drying. *Drying Technology*, 25(4), 647-658.

### **Kritik Ürün/Teknoloji 2.2.**

**Azotlu gübre üretim sürecinin hammadde, katalizörler açısından iyileştirilmesi, daha verimli hale getirilmesi ve azot gazı emisyonlarının düşürülmesine ilişkin teknolojilerin geliştirilmesi**

#### **Öncelikli Ar-Ge ve Yenilik Konuları**

**2.2.a. Azotlu gübre ve hammaddelerinin üretimine yönelik yeni nesil katalizörler geliştirilmesi**

**2.2.b. Azotlu gübre üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına yönelik teknolojilerin geliştirilmesi**

**2.2.c. Azot oksit emisyonlarını azaltmaya yönelik Mevcut En İyi Tekniklerin (Best Available Techniques – BAT) uygulamalarına yönelik yeni teknolojilerin geliştirilmesi**

**2.2.d. Sıvılaştırılmış amonyağın doğrudan gübre olarak kullanımını yaygınlaştırmaya yönelik teknolojiler geliştirilmesi**



## **A. Teknik Açıklamalar, Yenilikçi Özellikler, Hedeflenen Performans ve Metrikler**

Azotlu gübre endüstrisinin temel hammaddesi amonyaktır. Azot ( $N_2$ ) gazından amonyak üretimi, amonyağın azotlu gübreler için hammadde olarak kullanılması nedeniyle en önemli endüstriyel işlemlerden biridir. Şu anda, amonyak üretiminin ana yöntemi, çok yüksek sıcaklık ve basınç altında çalışan ve bu nedenle çok enerji yoğun olan Haber–Bosch işlemidir. Azot gazının geçiş metallerinin kataliziyle indirgenmesi, amonyak oluşumu için alternatif bir yöntemdir [1]. Amonyak üretimi kobalt-demir, manyezit- demir, kobalt, molibden, rutenyum katalizörleri ile gerçekleştirilmektedir.

Amonyum nitrat gübresi üretiminde kullanılan nitrik asitin üretilmesi sırasında amonyak gazının oksidasyonu gerçekleştirilmektedir. Amonyak gazının platin katalizörler vasıtası ile oksidasyonu sonucu  $NO_x$  gazı açığa çıkmakta, bu gazların absorpsiyon kolonunda absorbe edilmesi sonrasında nitrik asit üretimi gerçekleştirilmektedir.

### **2.2.a. Azotlu gübre ve hammaddelerinin üretimine yönelik yeni nesil katalizörler geliştirilmesi**

Mevcut endüstriyel koşullarda, Fauser prosesi, claud prosesi, chemico prosesi, ICI prosesi, AMV prosesi, LCA prosesi, Linde amonyak konsepti, fluor prosesi, GIAP prosesi azotlu gübre hammaddesi olarak amonyak üretiminde kullanılmaktadır. Her bir amonyak üretim prosesine özgü geliştirilmiş olan demir, kobalt ve mangan esaslı katalizörleri mevcuttur [2].

Amonyak üretiminde kullanılan katalizörlerin yapısı gereği çoğu zaman amonyak ile birlikte  $NO_2$ ,  $N_2O$  gibi yan ürünler de meydana gelmekle birlikte azotlu gübre üretim sürecinde nitrik asite dönüşmemiş  $HNO_2$  gibi yan ürünler ve bunların yüksek konsantrasyonu, emisyonla yönelik önemli problemlerdir. Bu problemin önüne geçmek, reaksiyon ortamında tam dönüşümü sağlayan yeni nesil mangan ve kobaltın iyot ile yaptığı kompleks metal katalizörler ile mümkün olabilmektedir [3].

Amonyak üretiminde sıcaklık ve basınç gibi fiziksel parametrelerin yanı sıra katalizörlerin yapısı, üretimde amonyağa dönüşüm oranı için çok önemlidir. Zira, amonyak üretim sürecindeki  $NO_x$  gazı konsantrasyonundaki artış, özellikle sera gazı oluşumunu tetikleyen önemli bir unsurdur. Uygun katalizör seçimi, sera gazı oluşumunu azaltmada ve amonyak oluşum oranını artırmada doğrudan katkı sağlamaktadır [4]. Bu amaçla uygun katalizör olarak titanyum iyodür, radon-rodyum alaşımları yenilikçi bir özellik olarak katalizör üretiminde kullanılabilir özelliktedir. Her iki katalizör türü gerek amonyak üretiminde gerekse nitrik asit üretiminde birer katalizör türü olarak üzerinde çalışılan yüksek performanslı katalizör türleridir. Katalizörler konusu gelişime açık olduğu için yenilikçi katalizör araştırılmalı ve desteklenmelidir.

### **2.2.b. Azotlu gübre üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına yönelik teknolojilerin geliştirilmesi**

Rüzgar ve güneş gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, karbondioksit salımı açısından, dünya ölçeğinde küresel ısınma sorununun önüne geçecek önemli parametrelerdir. Ancak rüzgar ve güneş enerjisinin süreklilik sorunu sebebiyle bu tür enerji santrallerinin kapasite sorunu mevcuttur [5]. Bunun önüne geçilebilmesi için enerji depolama sistemlerini sağlıklı biçimde inşa edilip akü teknolojilerinin geliştirilmesi gerekmektedir.

Azotlu gübre endüstrisinin, global ölçekte mevcut sera gazı salımının %1,8'ini gerçekleştirdiği bilinmektedir. Buna istinaden bu tür bir imalat endüstrisi için yeşil üretim teknolojileri kullanımı elzemdir.

- Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanıldığı tesislerde türbinlerin verimleri düşüktür.
- Enerji kaynağı sürekli olmadığı için enerji üretim değeri sabit değildir.
- İlk yatırım maliyetleri diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre daha yüksektir.
- Sürekli değişen kaynak tedariki elektrik üretim miktarında düzensizliklere sebep olmaktadır.
- Bu tür tesisler genellikle şebeke hatlarına uzak olduğu için enerji nakil hatları oluşturulmasında yüksek maliyet gerektirmektedir.

Enerji üretim tesisi için enerji depolama sistemlerinin geliştirilmesi ve daha uzun süre üretilen elektriğin depolanmasına olanak vermesi önemlidir. Böyle bir tesis için yatırım maliyetlerinin tercih edilebilir olması, olası devlet desteklerinin önünü açacaktır.

### **2.2.c. Azot oksit emisyonlarını azaltmaya yönelik Mevcut En İyi Tekniklerin (Best Available Techniques – BAT) uygulamalarına yönelik yeni teknolojilerin geliştirilmesi**

Mevcut En İyi Teknikler (BAT), Avrupa Birliği ve başka yerlerdeki endüstriyel tesisler için izin koşullarının oluşturulmasında temel bir referans unsurudur. BAT, ilgili (endüstriyel) işletmelerin ekonomik sağlığını tehlikeye atmadan çevre üzerinde en az etkiye sahip tekniklerdir. Mevcut En İyi Teknikler (BAT) genellikle referans noktası olarak alınır. IPPC direktifinde (96/61/EC), AB üye devletlerinden belirli endüstriyel tesisler için çevresel izin koşullarının oluşturulmasında referans noktaları olarak Mevcut En İyi Teknikleri (BAT) ve çevresel kalite hedeflerini kullanmaları istenmektedir [6].

Mevcut en iyi teknikler (BAT), önemli performans parametrelerini kontrol etmek, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, buhar, su, CO<sub>2</sub> ve azot için kütle denkleğini sağlamak amacıyla üretim alanlarında düzenli enerji denetimlerini gözden geçirmek için oluşturulmuştur. Enerji kayıplarının en aza indirilmesi için

enerji tüketmeden buhar basıncının düşürülmemesi ya da aşırı buhar üretimini asgari düzeye indirmek için tüm buhar sisteminin adapte edilmesi gerekmektedir. Aşırı termal enerji tesis içinde ve dışında kullanılabilir, yerel faktörler buna engel oluşturuyorsa, son seçenek olarak buhar yalnızca elektrik üretiminde kullanılır. Mevcut en iyi teknikler (BAT), geri dönüşüm, buharların yönünün değiştirilmesi, ekipmanın etkin bir şekilde paylaşımı, ısı entegrasyonunun artırılması, yanma havasının önceden ısıtılması, ısı değişimi yeterliliğinin sağlanması, atık su hacimlerinin düşürülmesi, geri dönüşüm kondensatlarının yüklenmesi, sulu fırçalama işlemi, ileri işleme kontrol sistemleri gibi işlemlerin bir araya gelmesi ile üretim tesisinin performansını arttırmayı amaçlar [7].

Amonyak Üretiminde yeni tesisler için mevcut en iyi teknikler (BAT), olağan dönüşüm, azaltılmış birincil düzeltim ya da ısı değişimi ototermal dönüşümü uygulamak için oluşturulmuştur. Amonyak üretiminde NO<sub>x</sub> konsantrasyon salımı seviyelerine ulaşmak için birincil dönüşümde SCNR gibi teknikler (fırın, gerekli sıcaklık/alıkonma süresi penceresine izin verdiği takdirde), düşük NO<sub>x</sub> ocakları, amonyağın atmosfere tahliyeden ve ani basınç düşmesiyle oluşan gazdan arındırılması ya da oto termal ısı değişikliği dönüşümü için düşük dereceli kükürtsüzleştirme uygulanmalıdır. Mevcut en iyi teknikler (BAT) aynı zamanda rutin enerji denetimlerini yapmak için oluşturulmuştur. Enerji tüketim seviyelerinde bir optimum yakalamak için gerekli teknikler hidrokarbon beslemenin önceden ısıtılması, yakma havasının önceden ısıtılması, ikinci gaz üretme türbininin kurulması, ocak yakmadaki değişiklikler (gaz türbininin ocaklara göre eşit şekilde dağılımı), konveksiyon borusunun tekrar ayarlanması ve ilave yer, uygun bir buhar tasarruflu proje ile bağlantılı olarak tekrar düzenleme gibi işlemlerdir. Diğer işlemler ise geliştirilmiş CO<sub>2</sub>'in giderilmesi, düşük dereceli kükürtsüzleştirme, izotermik dönüştürme (yeni tesisler için) amonyak dönüştürmelerde katalizör partiküllerinin kullanılması, düşük basınçlı amonyak sentez katalizörleri, kısmen oksitlenme sebebiyle meydana gelen sentez gazının dönüşüm reaksiyonu için sülfüre dayanıklı katalizörün kullanımı, amonyak sentez reaktörünün dolaylı olarak soğutulması, amonyak sentezinde pürj gazından elde edilen hidrojen ya da ileri işleme kontrol sisteminin uygulanmasıdır. Kısmi oksitlenmede BAT ile ilgili salınım seviyelerine ulaşmak için ya da Petrol ve Gaz Rafinerileriyle ilgili Kaynak Belge (BREF)'de sıralanan verimlilik kriterlerini yerine getirmek için Claus ünitesinin artık gaz ıslahı ile birleştirilmesi aracılığıyla sülfür baca gazlarından arındırılmaktadır. BAT NH<sub>3</sub>'ü sıyırma gibi işlemlerle kondensatörlerden ayırmaktır. NH<sub>3</sub> kapalı bir çemberde pürjden ve ani basınç düşmesi ile oluşan gazdan ayrıştırılır.

Nitrik asit üretiminde mevcut en iyi teknikler (Best Available Techniques - BAT), yenilenebilir enerji üretimi için oluşturulmuştur; kojenerasyon sistemli buhar/elektrik gücü olarak belirtilmiştir. Mevcut en iyi teknikler (BAT), N<sub>2</sub>O salımlarını azaltmak ve aşağıdaki yöntemlerin

uygulanmasıyla salınım yoğunluk seviyelerini azaltmak ve kabul edilebilir emisyon faktörlerine ulaşmak için oluşturulmuştur:

- Ham maddelerin en iyi şekilde filtrelenmesi
- Ham maddelerin en iyi şekilde karıştırılması
- Gaz dağılımını katalizörlerden yapılması
- Katalizör performansının denetlenmesi ve çalışma süresinin ayarlanması
- NH<sub>3</sub>/hava oranının en iyi şekilde ayarlanması
- Oksitlenme aşamasında basıncın ve sıcaklığın iyi ayarlanması
- Yeni tesislerde reaktör haznesinin genişletilerek N<sub>2</sub>O'nin ayrıştırılması
- Reaktör haznesinde katalizör N<sub>2</sub>O ayrıştırılması
- Bileşik NO<sub>x</sub> ve N<sub>2</sub>O artık gaz indirme [8]

Azotlu gübre endüstrilerinde temel hammaddelerden olan nitrik asit üretim tesislerinden kaynaklanan N<sub>2</sub>O emisyonları problemin esasını oluşturmaktadır. BAT, bu emisyonun giderilmesine yönelik önemli alternatifler sunmaktadır.

Azotlu gübre üretiminde NO<sub>x</sub> ve N<sub>2</sub>O ve karbondioksit giderim teknolojileri yeşil dönüşüm teknolojileri için hedeflenmesi gereken önemli bir başlangıç noktası olacaktır. Bu amaçla uygulanması faydalı olacak ve/veya geliştirilmeye açık olan bazı konular aşağıda verilmiştir.

- Düşük atık oluşumuna neden olan teknolojilerin kullanımı.
- Daha az tehlikeli maddelerin kullanımı.
- Proseste kullanılan ve üretilen maddelerin ve uygun olduğu durumlarda atık maddelerin geri kazanımının ve geri dönüşümünün geliştirilmesi.
- Endüstriyel ölçekte başarıyla denenmiş benzer proses, tesis veya işletme yöntemleri.
- Bilimsel bilgi ve anlayıştaki teknolojik ilerleme ve değişiklikler.
- İlgili emisyonların doğası, etkileri ve hacmi.
- Mevcut en iyi tekniklerin uygulamaya konulması için gerekli süre.
- Proseste kullanılan hammaddelerin (su dâhil) niteliği, tüketimi ile enerji verimliliği.
- Emisyonların çevre üzerindeki genel etkisini ve riskleri önleme veya en aza indirme gerekliliği.

#### **2.2.d. Sıvılaştırılmış amonyağın doğrudan gübre olarak kullanımını yaygınlaştırmaya yönelik teknolojiler geliştirilmesi**

Susuz amonyak (anhydrous ammonia), basınç altında sıvı halde iken, atmosferik basınç altında gaz haline dönüşmektedir. Kimyasal özellikleri nedeniyle gerek depolama aşamasında gerekse uygulama aşamasında özel alet ve ekipmana gereksinim duyulmaktadır. Bu nedenle susuz amonyağın gübreleme amaçlı kullanımı ülkemiz tarımında gelişmemiştir. Tarımda

gübreleme amacıyla gelişmiş ülkelerde oldukça geniş uygulama alanı bulmuştur. Susuz amonyak içerdiği %82,2 saf azot oranı ile azotlu gübrelerin hammaddesi konumundadır.

Ülkemizde sıvı amonyağın gübre olarak kullanımı bulunmamaktadır.

Sıvı amonyağın toprağa uygulanmasıyla ilgili araç-gereç olmayışı, sıvı amonyak kullanımını sınırlayan önemli problemdir.

Susuz amonyağın doğrudan gübre olarak kullanımı, azotlu gübre endüstrisinde üretim esnasında açığa çıkan sera gazı emisyonu için önemli bir alternatif olması nedeniyle yeşil dönüşüm teknolojileri için hedeflenmesi gereken yenilikçi hedeflere yönelik adımlar olacaktır.

Bununla birlikte, susuz amonyak atmosferik ortamda gaz formuna geçtiği için uygulama aşamasında toprak altına enjekte edilmektedir. Toprak altına uygulama derinliği, toprağın yapısı, toprak nemi, ekipmanın ayak yapısı, ilerleme hızı gibi etkenler azotun toprağa etkin verilmesini etkilemektedir [9].

Sıvı gübre formunda olan üre, amonyum nitrat vb gübrelerin de susuz amonyak yerine alternatif kullanımı değerlendirilebilir. Ancak bu durumda sera gazı salımına etkisi susuz amonyak kullanımındaki kadar etkili olmayacaktır. Sıvı amonyak gübrenin tarımda kullanımını özellikle depolanma koşullarını ve toprağa uygulanmasını kolaylaştıran teknolojilerin geliştirilmesi hedeflenmektedir.

## **B. Dünyada ve Türkiye’de Teknolojik Hazırlık Seviyeleri**

### **2.2.a. Azotlu gübre ve hammaddelerinin üretimine yönelik yeni nesil katalizörler geliştirilmesi**

Azotlu gübre ve hammaddeleri üretimi için kullanılan katalizörlere yönelik piridin bazlı bir PNP-şelatı taşıyan ve ortam koşullarında amonyak üretimini katalize eden molibden iyodür kompleksleri bildirilmiştir. Dekametilkobaltosen ve 2,4,6-trimetilpiridinyum triflorometansülfonat sırasıyla indirgeme reaktifi ve proton kaynağı olarak kullanılmaktadır. Daha önce ılıman koşullar altında amonyak oluşumunda proton kaynağı olarak su ve bazı basit alkoller kullanılmış olsa da, bu reaksiyonlar stokiyometrik; ılıman koşullar altında katalitik amonyak oluşumunda başarılı kullanımları henüz bildirilmemiştir (THS 4). Bununla birlikte azotlu gübre üretim proseslerinde nitrik asit gibi hammaddelerin üretime yönelik Thyssenknupp firmanın geliştirdiği Envinox, Uhde firmasının  $N_2O$  ve  $NO_x$  azaltımına yönelik ikiz ya da tekil basınç sistemleri, azeotropik nitrik asit üretim sistemleri sektörde yeni girişimlere örnek olarak verilebilir [10].

### **2.2.b. Azotlu gübre üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına yönelik teknolojilerin geliştirilmesi**

Azotlu gübre üretiminde enerji verimliliği açısından yenilenebilir enerjinin kullanımı sera gazı emisyonu ve enerji tüketimi açısından önemli mesafe kat edilmesini sağlayacaktır. UHDE, Thyssenkrupp, Envinox gibi nitrik asit üretim tesisleri, düşük emisyon miktarı ile yenilenebilir enerji kaynaklarını enerji üretimine uygun çalışan düşük basınçlı üretim tesisleridir.

### **2.2.c. Azot oksit emisyonlarını azaltmaya yönelik Mevcut En İyi Tekniklerin (Best Available Techniques – BAT) uygulamalarına yönelik yeni teknolojilerin geliştirilmesi**

Azotlu gübre üretiminde ve hammadde eldesi prosesi boyunca sera gazı emisyonunu azaltmaya yönelik “mevcut en iyi tekniklerin (MET) gelişimi”, dünya ölçeğinde yeni teknolojilerin geliştirilmesini sağlamıştır. Buna yönelik olarak atık gazın temizlendiği scrubber, filtrasyon ve kimyasal çöktürme yöntemleri, mevcut en iyi tekniklere verilebilecek önemli örneklerdir.

### **2.2.d. Sıvılaştırılmış amonyağın doğrudan gübre olarak kullanımını yaygınlaştırmaya yönelik teknolojiler geliştirilmesi**

Bitkisel üretimde bitkinin azot ihtiyaçlarının tamamının, susuz amonyak gübresi ile ekim öncesinde bir defada toprak altına verilmesi ile mümkün olabilmektedir. Araştırılan tüm parametrelerde ve verim üzerinde susuz amonyağın etkisinin önemli olduğu bulunmuştur. Ülkemizde temel olan uygulama ekipman probleminin çözülmesi amacıyla, üzerinde çalışılan ve prototipi ortaya konan susuz amonyak uygulama ekipmanının iyileştirme çalışmaları devam ettirilerek ülkemiz tarımına kazandırılması ve özel firmaların bu konu hakkında yatırım yapmaları ile birlikte gübrelemede aktif olarak kullanımı sağlanmalıdır. Gübrelemede uygulama kolaylığı, zaman kazandırması ve en önemlisi verim ve verime bağlı parametrelerdeki olumlu etkileriyle ve ekonomik tasarruf sağlama açısından dikkat çekicidir.

## **C. Dünyada ve Türkiye’deki Mevcut Duruma İlişkin Başarılı Örnekler**

### **2.2.a. Azotlu gübre ve hammaddelerinin üretimine yönelik yeni nesil katalizörler geliştirilmesi**

Azotlu gübre üretiminde Ni, Mo, Co, Rh, Pt, Pd vb. metaller katalizör olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır. Genellikle alümina ve silika gibi gözenekli malzemeler üzerinde çökeltme veya empenye işlemleriyle desteklenebilir özelliktedirler. Birçok araştırmacı, değerli metallerin geri kazanımı için pirometalurji ve hidrometalurji sürecini uyarlamıştır. Bir başka araştırmacı grubu, amonyak fabrikasında kullanılmış bir katalizörden nikeli sülfürik asit çözeltisine (hidrometalurji) süzerek geri kazanmayı incelemiştir [11]. 0,09 mm parçacık boyutuna sahip olan katalizör 70 °C’de 50 dakika süreyle %80’lik sülfürik asit çözeltisinde çözüldüğünde,

nikelin yüzde doksan dokuzu nikel sülfat olarak geri kazanılmıştır [12]. Birçok araştırmacı, kavurma-ekstraksiyon yöntemi (pirometalurji) ile kullanılmış katalizörden metallerin ekstraksiyonunu incelemiştir [13]. Şelatlama maddeleri, kirlenmiş topraklardan ağır metal ekstraksiyonunu arttırmak için toprak yıkama sıvısına dahil edilebilen en etkili özütleyici maddelerdir. Şelatlama maddelerinin toprak temizlemedeki avantajları, yüksek metal ekstraksiyonu verimliliği, oluşan metal komplekslerinin yüksek termodinamik kararlılıkları, metal komplekslerinin iyi çözünürlükleri ve şelatlama maddelerinin toprakta düşük adsorpsiyonunu içermektedir (THS 4).

TUBİTAK MAM bünyesinde katalizör geliştirilmesine yönelik çalışmalar olduğu bilinmektedir (THS 1-4).

### **2.2.b. Azotlu gübre üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına yönelik teknolojilerin geliştirilmesi**

Dünyadaki başarılı girişimler ve örnekler azotlu gübre üretimi için ihtiyaç duyulan amonyağın üretimi yüksek miktarda enerji tüketimi gerektirir. Bu enerji tüketimini azaltmak için yenilenebilir enerjinin kullanımı sera gazı emisyonun azaltılmasına da yardımcı olacaktır. Gübre üretim sistemleri yeşil olma potansiyeline sahiptir. Literatürde yeşil gübre üretimi ile ilgili az sayıda çalışma yapılmıştır (THS 3).

### **2.2.c. Azot oksit emisyonlarını azaltmaya yönelik Mevcut En İyi Tekniklerin (Best Available Techniques – BAT) uygulamalarına yönelik yeni teknolojilerin geliştirilmesi**

Mevcut en iyi teknikleri kapsamındaki projeler içerisinde geliştirilmiş çeşitli araştırma çalışmaları mevcuttur. Nikel, kobalt, manyetit esaslı demir katalizörlerin kullanımı mevcut en iyi teknikler içerisinde önerilmiş ve gelişime açık, aynı zamanda tam dönüşüm oranları sağlayacak şekilde sera gazı emisyonunu minimize edecek önemli örneklerdir. Buna örnek olarak UHDE firmasının EnviNOx prosesi dünyada azot oksit emisyonlarını azaltmaya yönelik mevcut en iyi tekniklere dair bir uygulama olarak kabul edilebilir (THS 6).

Toros Tarım Mersin Tesisleri Türkiye’de gübre sektöründe ilk olan bir yatırımla nitrik asit ünitesinde 1994 yılında baca gazında NOx gazlarının arıtılmasına yönelik yatırım yapmıştır. Tesiste baca gazları 200 ppm NOx seviyesinin altına düşürülerek seçici katalitik redüksiyon sistemi ile arıtılmaktadır. Tesis aynı zamanda N<sub>2</sub>O gazının azaltılması ile karbon ayak izinin azaltılmasına yönelik de yatırım planlamaktadır.

## **D. Ar-Ge ve Yenilik Sürecinde Biraraya Gelmesi Gereken Disiplinler ve Sektörler**

### **2.2.a. Azotlu gübre ve hammaddelerinin üretimine yönelik yeni nesil katalizörler geliştirilmesi**

Kimya, fizik, fizik mühendisliği, kimya mühendisliği, malzeme ve metalurji mühendisliği gibi alanlardan uzmanlar birlikte çalışmalıdır.

Multidisipliner bir bakış açısıyla katalizör geliştirilmesi metalurji ve malzeme mühendislerinin desteğiyle kimya mühendislerinin ve kimya uzmanlarının ortak çalışması ile mümkün olabilir.

Katalizör teknolojisi ve tekniklerinin geliştirilmesiyle ilgili üniversitelerle işbirliği yapılarak lisansüstü eğitime teşvik sağlanmalı, ilgili fakültelerin ders programlarına lisans dersleri eklenmelidir. Bu sayede ihtiyaç duyulan bu teknolojilerin geleceği garanti altına alınmalıdır.

### **2.2.b. Azotlu gübre üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına yönelik teknolojilerin geliştirilmesi**

Kimya, fizik, fizik mühendisliği, enerji mühendisliği, kimya mühendisliği gibi alanlardan uzmanlar birlikte çalışmalıdır.

Azotlu gübre endüstrisine doğrudan destek verebilecek enerji üretim tesisleri ve imalat endüstrilerinin katkısı gerekmektedir.

İlgili teknoloji ve tekniklerin geliştirilmesiyle ilgili üniversitelerle işbirliği yapılarak lisansüstü eğitime teşvik sağlanmalı, ilgili fakültelerin ders programlarına lisans dersleri eklenmelidir. Bu sayede ihtiyaç duyulan bu teknolojilerin geleceği garanti altına alınmalıdır.

### **2.2.c. Azot oksit emisyonlarını azaltmaya yönelik Mevcut En İyi Tekniklerin (Best Available Techniques – BAT) uygulamalarına yönelik yeni teknolojilerin geliştirilmesi**

Çevre, makine, metalurji ve malzeme, proses ve kimya mühendislerini bir arada bulunarak katalizör teknolojisiyle ilgili çalışmalarda bulunması gerekir.

Enerji ve imalat sektöründeki kuruluşlar ile üniversitelerde BAT ile ilgili konularda uzmanlaşmış akademisyenler, kimya sektöründeki katalizörlerle ilgili alanlarda çalışan uzmanların bir arada çalışılması gerekmektedir.

İlgili teknoloji ve tekniklerin geliştirilmesiyle ilgili üniversitelerle işbirliği yapılarak lisansüstü eğitime teşvik sağlanmalı, ilgili fakültelerin ders programlarına lisans dersleri eklenmelidir. Bu sayede ihtiyaç duyulan bu teknolojilerin geleceği garanti altına alınmalıdır.



**2.2.d. Sıvılaştırılmış amonyağın doğrudan gübre olarak kullanımını yaygınlaştırmaya yönelik teknolojiler geliştirilmesi**

Makine mühendisliği, elektronik mühendisliği kimya mühendisliği, ziraat mühendisliği alanlarının birlikte çalışması gerekmektedir.

**E. Ar-Ge , Yenilik, Demonstrasyon İşbirliği Modeli ve Destek Mekanizması**

**2.2.a. Azotlu gübre ve hammaddelerinin üretimine yönelik yeni nesil katalizörler geliştirilmesi**

Amonyak üretimi ve diğer azotlu gübre üretiminde yeni nesil katalizör şeklinde tanımlanan kıymetli metallerin büyük ölçekli Ar-Ge projeleri ile geliştirilmesi gerekmektedir. Katalizör üretim, onarım, yenileme firmaları ve enerji üretim tesisleri yenilikçi projeleri ile bir araya gelmelidir.

Teknoloji platformları ve üretim tesislerinin bir araya geleceği hibe projeleri ile en az 5 yıllık projeler ile desteklenmelidir.

**2.2.b. Azotlu gübre üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına yönelik teknolojilerin geliştirilmesi**

Belirlenen Ar-Ge ve yenilik konusu hibe yolu ile devlet tarafından projeler kanalı ile desteklenmelidir.

**2.2.c. Azot oksit emisyonlarını azaltmaya yönelik Mevcut En İyi Tekniklerin (Best Available Techniques – BAT) uygulamalarına yönelik yeni teknolojilerin geliştirilmesi**

Mevcut en iyi tekniklerin uygulanması multidisipliner bir yapı gerektirmesi nedeniyle bu yöndeki yeni teknolojilerin gelişimi için metalurji ve malzeme mühendisleri, kimya, makine ve çevre mühendislerinin bir arada çalışması gerekmektedir. Enerji üretim tesisleri ve azotlu gübre üretiminde katalizör desteği sağlayabilecek bireyleri bir araya getirebilecek büyük bir platform bünyesinde eşgüdüm içinde yapılacak projeler

**2.2.d. Sıvılaştırılmış amonyağın doğrudan gübre olarak kullanımını yaygınlaştırmaya yönelik teknolojiler geliştirilmesi**

Ziraat mühendisleri, makina ve elektronik mühendisleri, kimya mühendislerinin bir araya gelmesi gerekmektedir. Kimya ve ziraat mühendislerin birarada çalışmasını sağlayacak hibe destekleri sağlanmalıdır.

## **F. Zaman ve Bütçe Tahminleri**

### **2.2.a. Azotlu gübre ve hammaddelerinin üretimine yönelik yeni nesil katalizörler geliştirilmesi**

Belirlenen Ar-Ge ve yenilik konularının gerçekleştirilmesi için 3-5 yıl zaman, 5 milyon TL bütçe gerekmektedir.

### **2.2.b. Azotlu gübre üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına yönelik teknolojilerin geliştirilmesi**

Belirlenen Ar-Ge ve yenilik konularının gerçekleştirilmesi için 3-5 yıl zaman, 5 milyon TL bütçe gerekmektedir.

### **2.2.c. Azot oksit emisyonlarını azaltmaya yönelik Mevcut En İyi Tekniklerin (Best Available Techniques – BAT) uygulamalarına yönelik yeni teknolojilerin geliştirilmesi**

Belirlenen Ar-Ge ve yenilik konularının gerçekleştirilmesi için 5 yıl zaman, 10-20 milyon TL bütçe gerekmektedir.

### **2.2.d. Sıvılaştırılmış amonyağın doğrudan gübre olarak kullanımını yaygınlaştırmaya yönelik teknolojiler geliştirilmesi**

Belirlenen Ar-Ge ve yenilik konularının gerçekleştirilmesi için 3-5 yıl zaman, 5 milyon TL bütçe gerekmektedir.

## **G. Teknolojik İlerlemenin Sağlanmasında Kritik Hususlar**

Hedeflenen teknoloji ve tekniklere sahip olunması konusunda akademi – sanayi işbirliğinin devlet teşviki ile sağlanması, bu iş birliklerinin mevcut proje ve teşvik programlarından ayrı olarak yeni bir program çerçevesinde sağlanması gerekir. Kurulacak iş birliklerinin ve ortaya konulan projenin yasal güvenceyle korunması, bağımsız teknik ve finansal heyetler tarafından denetlenmesi, proje çalışmalarına ait her türlü verinin devletin sağlayacağı veri tabanlarında depolanması gerekir. Projelerden en yüksek verimi almak ve devamını sağlamak için proje çalışanları için adil bir performans değerlendirme ve ödül sistemlerinin kurulması önerilir.

Teknolojilerin gelişmesini sağlayacak en önemli unsurlardan biri endüstriyel kullanım esnasında toplanacak verilerdir. Veri toplayabilmek için teknolojilerin uygulamaya geçirilebilmesi ve yaygınlaştırılabilmesi için ilgili bakanlıkların ve özel sektör temsilcilerinin bir araya gelerek yeni iş modellerinin oluşturulması faydalı olacaktır. Bu teknolojiler için yönetici ve teknik personel bazında ayrı ayrı farkındalığı artırma eğitimleri ve etkinliklerinin yapılması gerekmektedir. Ticarileştirilen proje çıktılarının maddi teşvikler sağlanarak sektörde

kullanımının yaygınlaştırılması gerekmekte; ilgili teknolojinin ilk kullanıcıları olacak tesisler ile geri bildirim ve veri toplanması konusunda anlaşmalar yapılmalıdır.

### **Mevzuat ve Yasal Düzenlemeler**

Mevcut mevzuat teknolojik ilerlemelerin sağlanması noktasında herhangi bir engel olmamasına rağmen yasal zorunluluklar ve teşvikler yoluyla gelişmelerin sağlanması noktasında revizyonlara ihtiyaç duyulmaktadır. Öncelikle ilgili teknoloji ve tekniklerin milli olarak elde edileceği projelerin ortaya konulabilmesi için, mevzuattaki mevcut programlardan farklı üniversite – sanayi işbirliği teşvik programları oluşturulmalı, proje değerlendirme ve denetim süreçleri daha kapsamlı olacak şekilde ilgili bakanlık denetiminde yürütülmelidir. Kurulacak iş birlikleri için yasal güvenceler oluşturulmalıdır.

Mevcut teknolojilerini milli olarak üretecek yeni teknolojilerle değiştirmek isteyen kuruluşlar için teşvik mevzuatlarında gerekli düzenlemeler yapılarak bu değişimi hızlandıracak maddi destek sağlanmalı, değişim ile emisyonlarını azaltan kuruluşlar ödüllendirilmelidir. Yeni teknolojiler ile emisyonların azaltılması konusunda sektörlere kademeli hedefler konularak, nihai hedeflere ulaşma gayretinin tamamının son birkaç yıla bırakılmasının önüne geçilmelidir.

Ülkemizde yasal bir emisyon limiti olmayan, yalnızca izlenen emisyon parametreleriyle ilgili olarak, ülkedeki mevcut durum ve karbon sıfır hedefleri hassasiyetle dikkate alınacak şekilde emisyon sınır değerleri belirlenmesi gerekir. Mevcut emisyon durumları ve ülke hedefleri göz önünde bulundurularak her bir tesis özelinde çalışma yapılması faydalı olacaktır.

### **Teknik Altyapılar**

Gerek üniversitelerde gerekse de üniversite-sanayi işbirlikli projelerde öğütme teknolojilerindeki yenilikler ve uygulanabilirlikleri üzerine araştırmalar yapılmaktadır. Bu noktada öğütme teknolojisinin geliştirilmesi ve uygulanmasında belirli bir aşamaya geldiği bilinmektedir. Yeterli teknik altyapının oluşturulabilmesi için pilot ölçekte elde edilen çözümler endüstriye ölçeklendirilerek THS'nin yükseltilmesi gerekir. Bunun için sanayide ayrıca farkındalık çalışması yapılarak sektörün yönlendirilmesi faydalı olacaktır. Öte yandan yenilenebilir enerji üzerine de etkili çalışmalar ve endüstriyel uygulamalar bulunmaktadır. Bu iki konunun, üretimdeki öğütme ve kırma süreçleri için bir araya getirebilecek düzeye geldiği düşünülmektedir. Bu doğrultuda ek yatırım ve destekler bu gelişimin önünü açacaktır. Bu noktada pilot ve endüstriyel ölçekli çalışmalara organize sanayi bölgeleri ve KOSGEB'in katkısı ile küçük sanayici ve KOBİ'lerin katılımının sağlanması, nokta atışı çözümler, liyakatli ortaklıkların kurulması, bu ortaklıkların ilgili bakanlıklar ve TÜBİTAK tarafından desteklenmesi ve denetlenmesi gerekir.

## İnsan Kaynakları

Gerekli insan kaynağının oluşturulabilmesi için gerek akademide gerek sanayide liyakat esaslı personel teşviki sağlanarak ilgili personelin bütün mesaisini sadece hedef teknoloji için kullanması garanti altına alınmalıdır. Bu hususta çalışması desteklenecek personelin Ar-Ge vizyonuna sahip olması, araştırma ve çözüm üretme kabiliyeti bulunması, mevcut eğitim ve tecrübe altyapısının çalışılacak iş ile uygun olması oldukça büyük önem arz etmektedir.

## Destek ve Teşvikler

Önceki bölümlerde de ifade edildiği üzere hedef teknoloji ve tekniklerin elde edilebilmesi için nitelikli Ar-Ge projelerinin tasarlanması ve çalışılması gerekir. Sanayide karşılığı olmayacak hiçbir akademik çalışma veya akademik altyapısı olmayan hiçbir sanayi uygulaması güvenilir, sürdürülebilir ve uzun soluklu olmayacaktır. Bu noktadan hareket ederek hibe teşviki sağlanan, kapsamlı değerlendirme ve denetim süreçlerine tabi tutulacak akademi – sanayi işbirliklerinin ivedilikle kurulması önem arz etmektedir. Bu işbirliklerinin kapsamı kısa, orta ve uzun vadeli olmak üzere kapsamlı bir çalışma peşinen belirlenmelidir. Hedef teknoloji için planlanan çalışmanın içeriğine göre ihtiyaç duyulması halinde özel desteklerle ilgili alanda yurt dışında çalışmakta olan kendini kanıtlamış araştırmacı veya personel ülkemize davet edilmelidir. Kurulacak destek ve teşvik mekanizmaları için ayrı bütçe oluşturulması ve bürokratik süreçlerin hızlandırılması gerekmektedir.

Elde edilecek teknolojilerin seri üretimi için küçük sanayici ve KOBİ'lere gerekli yatırım desteği sağlanmalı, hedef tesisler bu yerli teknolojilere mevzuat ve finansal teşviklerle yönlendirilmelidir.

Hedeflenen her bir teknoloji alanında ülkemizin kendi kendine yetecek seviyeye gelmesini takiben rekabetçiliği arttırarak dünyada yeni pazarlar bulunması ve bu konuda ihracat desteklerinin sağlanması elzemdir. Bu şekilde, AB Yeşil Mutabakatı Hedeflerinin yakalanmasının yanı sıra, ithal ürünlerin ikame edilmesi ve milli teknolojilerin ihraç edilmesi yoluyla ülkemizin ekonomisine katkı sağlanacaktır.

## Referanslar

- [1] Renner, J. N., Greenlee, L. F., Ayres, K. E., & Herring, A. M. (2015). Electrochemical synthesis of ammonia: a low pressure, low temperature approach. *The Electrochemical Society Interface*, 24(2), 51.
- [2] Wu, X., Xia, L., Wang, Y., Lu, W., Liu, Q., Shi, X., & Sun, X. (2018). Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanocube: an efficient electrocatalyst toward artificial N<sub>2</sub> fixation to NH<sub>3</sub>. *Small*, 14(48), 1803111.

- [3] Tanabe, Y., & Nishibayashi, Y. (2022). Recent advances in catalytic nitrogen fixation using transition metal–dinitrogen complexes under mild reaction conditions. *Coordination Chemistry Reviews*, 472, 214783.
- [4] Ligtenbarg, A. G. J. (2001). *Vanadium and iron complexes for catalytic oxidation*. University Library Groningen][Host].
- [5] Laslett, D., Carter, C., Creagh, C., & Jennings, P. (2017). A large-scale renewable electricity supply system by 2030: Solar, wind, energy efficiency, storage and inertia for the South West Interconnected System (SWIS) in Western Australia. *Renewable Energy*, 113, 713-731.
- [6] Huybrechts, D., Derden, A., Van den Abeele, L., Vander Aa, S., & Smets, T. (2018). Best available techniques and the value chain perspective. *Journal of Cleaner Production*, 174, 847-856.
- [7] Shimizu, A., Tanaka, K., & Fujimori, M. (2000). Abatement technologies for N<sub>2</sub>O emissions in the adipic acid industry. *Chemosphere-global change science*, 2(3-4), 425-434.
- [8] Rochette, P., MacDonald, J. D., Angers, D. A., Chantigny, M. H., Gasser, M. O., & Bertrand, N. (2009). Banding of urea increased ammonia volatilization in a dry acidic soil. *Journal of Environmental Quality*, 38(4), 1383-1390.
- [9] Ruane, J., Sonnino, A., & Agostini, A. (2010). Bioenergy and the potential contribution of agricultural biotechnologies in developing countries. *Biomass and Bioenergy*, 34(10), 1427-1439.
- [10] Tanabe, Y., & Nishibayashi, Y. (2016). Catalytic dinitrogen fixation to form ammonia at ambient reaction conditions using transition metal-dinitrogen complexes. *The Chemical Record*, 16(3), 1549-1577.
- [11] Khoshnevisan, Benyamin, et al. A critical review on livestock manure biorefinery technologies: Sustainability, challenges, and future perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2021, 135: 110033.
- [12] Guseva, T., Shchelchkov, K., Sanzharovskiy, A., & Molchanova, Y. (2019). Best available techniques, energy efficiency enhancement and carbon emissions reduction. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM*, 19(5.1), 63-70.
- [13] Rostrup-Nielsen, J. R., Christiansen, L. J., & Hansen, J. H. B. (1988). Activity of steam reforming catalysts: role and assessment. *Applied Catalysis*, 43(2), 287-303.

**Kritik Ürün/Teknoloji 2.3.**

**Sülfürik asit üretim sürecinde döngüsel proseslerin tasarlanarak enerji-kaynak verimliliği sağlanması ve sülfür dioksit emisyonlarının azaltılmasına yönelik teknolojilerin geliştirilmesi**

**Öncelikli Ar-Ge ve Yenilik Konuları**

**2.3.a. Proses sırasında çıkan sıcak kondens, sülfürik asit gibi ürünlerin sahip olduğu ısının alternatif enerji kaynağı olarak sisteme dönüşünün sağlanmasına yönelik teknolojilerin geliştirilmesi**

**2.3.b. Sülfürik asit üretim süreçlerinde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ve enerji tasarrufuna yönelik teknolojilerin geliştirilmesi**

**2.3.c. Baca gazlarının arıtılması ve geri dönüşebilecek gazların kazanımına yönelik teknolojilerin geliştirilmesi**

## A. Teknik Açıklamalar, Yenilikçi Özellikler, Hedeflenen Performans ve Metrikler

Sülfürik asit üretim sürecinde oluşan yüksek düzeyde kükürt dioksit ( $SO_2$ ) emisyonu, çeşitli ekolojik zararlar ve sağlık sorunlarına yol açmaktadır. Kükürt dioksit sağlığa zararlıdır ve ayrıca toprağın ve suyun asitleşmesine neden olur. Başlıca sağlık sorunları solunum yolu rahatsızlığı, solunum güçlüğü,  $SO_2$ 'ye kısa süreli maruz kalma hırıltı, göğüste sıkışma ve nefes darlığı gibi sorunlardır. Yüksek düzeyde partikül kurum ile birlikte kükürt dioksite daha uzun süre maruz kalmak, solunum yolu hastalığına, akciğerlerin savunmasında değişikliklere ve mevcut kardiyovasküler hastalığın şiddetlenmesine neden olabilir.  $SO_2$  havadaki çeşitli katı parçacıkların yüzeyinde reaksiyona girer, suda çözünerek seyreltik sülfürik asit ( $H_2SO_4$ ) oluşturur ve asit yağmurları şeklinde yeryüzüne ulaşarak toprağı asitleştirmektedir [1].

Tüm geleneksel fosil yakıtlar, çeşitli kükürt bağlı organik ve inorganik bileşikler içerir. Bazı yakıt kaynaklarının kükürt içerikleri aşağıda verilmiştir.

- Ahşap ve selüloz açısından zengin biyokütle (<%0,1)
- Doğal gaz (% 0-15)
- Ham petrol (% 0,3-3)
- Kömür (% 0,5-3,0)

Kömür ve ham petrol yatakları gibi fosil yakıtlar tipik olarak ağırlıkça %1-2 kükürt içerir. Fosil yakıt çevrede antropojenik  $SO_2$  emisyonunun ana kaynağıdır.  $SO_2$ , kömür santrali, fırın çıkış gazları, sülfürik asit fabrikaları, ilgili endüstrisi, gemi emisyonları vb. gibi diğer gazlarla birlikte çeşitli tesislerce açığa çıkarılmaktadır. Bu nedenle sülfürik asit üretim sürecinde bu kirleticilerin giderilmesi, atmosferik kirliliğin önlenmesine yönelik önemli ihtiyaç ve adımdır.

Kükürt dioksit, sülfid cevherlerinin kavrulması, eritilmesi ve sinterlenmesi ile ilgili tesislerden çıkan birçok endüstriyel gazda veya yüksek kükürtlü kömür veya fuel oil yakan enerji santrallerinden, diğer kükürtlü cevherlerden veya kükürt içeren yakıtların yakıldığı diğer endüstriyel operasyonlardan çıkan gazlarda bulunur. Endüstrinin karşılaştığı en zor çevre sorunlarından biri, bu kaynaklardan çıkan  $SO_2$  emisyonlarının ekonomik olarak nasıl kontrol edileceğidir [2].

## ÖNCELİKLİ AR-GE VE YENİLİK KONULARI

### 2.3.a. Proses sırasında çıkan sıcak kondens, sülfürik asit gibi ürünlerin sahip olduğu ısının alternatif enerji kaynağı olarak sisteme dönüşünün sağlanmasına yönelik teknolojilerin geliştirilmesi

Sülfürik asit üretimindeki temel adımlar tipik olarak yanma yoluyla sülfürün  $SO_2$ 'ye oksidasyonu, dönüştürücü bölümünde  $SO_2$ 'nin  $SO_3$ 'e katalitik oksidasyonu ve  $SO_3$ 'ün su  $H_2O$  ile  $H_2SO_4$ 'e hidratlanmasıdır. Bu adımların tümü ekzotermik reaksiyonlardır, yani büyük miktarlarda enerji veya ısı çıkışıyla karakterize edilir. Bir sülfürik asit tesisinin ticari olarak yararlı bir şekilde çalışmasını sağlamak için, söz konusu fazla termal enerjinin geri kazanılması ve bunun elektrik enerjisine aktarılması sağlanmalıdır [3].

Proses adımları: kükürt - yakma, sülfürlü - cevherler - kavurma,  $SO_2$  - dönüştürme ve  $SO_3$  - absorpsiyon ekzotermik proseslerdir. Bu, teknik açıdan enerjiyi uzaklaştıran tesislerin sülfürik asit üretimi için büyük önem taşıdığı anlamına gelir ve en etkili şekilde farklı düzeylerde ve biçimlerde enerji kazanımı ile birleştirilir. Enerji kazanımı, hedef ürünler için, yerel koşullar için, diğer üretimlerle olası bir ilişki için proses stratejisine bağlıdır. Üretim birimlerinin yaşı enerji üretimine / tüketimine karar verir çünkü inşaat malzemeleri ve belirli binalar enerji optimizasyonu için teknik olasılıkları belirler. En fazla enerji verimliliği, çift absorpsiyonla birlikte kükürt yakma sürecini gösterir. Farklı enerji kazanma teknikleri şunlardır:

- Kızdırıcı, ekonomizör, kükürt yakmak için buhar kazanı gibi özel aparatlarla elektrik enerjisi üretiminden bilinen tüm buhar üretimi teknikleri.
- 110 °C ila 180 °C sıcaklıkta ve 1,5 bar ila 11 bar buhar basıncında geçişler arası absorpsiyonla buhar üretimi.
- 15 MWh'ye kadar güç üreten buhar türbinleri (1250 t  $H_2SO_4$ /gün )
- Son emilimde 40 °C'den 80 °C'ye kadar su ön ısıtması.

Geleneksel bir soğuk gaz tesisinin (metalurjik gazlar) temel bir özelliği, enerjinin neredeyse tamamının düşük sıcaklıkta atık ısı olarak atılmasıdır. Metalurjik gazlara dayalı çifte absorpsiyon prosesleri, kükürt yanmasına dayalı sıcak gaz tesislerinden farklıdır, çünkü soğuk besleme gazları, kükürt dioksitin oksidasyonunda serbest kalan enerjiyi kullanarak konvertör giriş sıcaklığına kadar ısıtılmalıdır. % 8,5  $SO_2$  besleme gazı konsantrasyonunda ve 30-40°C'lik bir kurutucu giriş sıcaklığında, her bir ton sülfürik asit başına yaklaşık 2,7 GJ termal enerji açığa çıkmaktadır (sülfürik asidin elementel kükürttten üretilmesi durumunda 5,4 GJ termal enerji açığa çıkar). Kapasitesi günlük 1000 ton olan bir tesis için 31 MW'lık termal enerjiye karşılık gelir. Toplam enerjinin yaklaşık %45'i ara absorber asit soğutma sisteminden, %23'ü son absorber asit soğutma sisteminden ve yaklaşık %22'si de kurutucu-asit soğutma sisteminden



atılır. Bu nedenle, problemin temel nedeninin düşük enerji verimliliği ve atmosferik kirlenme olduğu ifade edilebilir.

Isı geri kazanımı açısından, nispeten düşük dereceli kükürt dioksit içeren besleme gazlarının işlenmesi için geleneksel bir soğuk gaz çift emme tesisinde, yüksek basınçlı buhar üretimi için kullanılacak fazladan yüksek sıcaklıkta ısı yoktur. Bununla birlikte, sülfürik asit tesisinin modern bir dökümcü tesisine bağlı olduğu yerlerde, yüksek SO<sub>2</sub> mevcuttur ve yüksek basınçlı buhar çıkışını artırmak için soğutucu asit devrelerinden gelen düşük sıcaklıktaki ısı, kazan besleme suyunun ön ısıtılması için kullanılabilir [4].

### **2.3.b. Sülfürik asit üretim süreçlerinde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ve enerji tasarrufuna yönelik teknolojilerin geliştirilmesi**

Yoğunlaştırılmış termal güneş enerjisi santralleri (CSP) yenilenebilir ısı enerjisi ya da elektrik enerjisi kaynağı olarak kullanılırlar. CSP sistemleri aynalar ve bu aynalara bağlı güneşi izleme sistemleri vasıtasıyla geniş bir alana düşen güneş ışınlarını tek bir küçük alana odaklar. Yoğunlaştırılmış gün ışığı daha sonra klasik enerji santrallerine gereken ısıyı üretmekte kullanılmış olur. Bunun yanı sıra, üretilen ısı enerjisi başka amaçlar için de kullanılabilir. Konsantre güneş enerjisi teknolojileri geniş alanlarda buhar türbinleri örnekleriyle yer almıştır. Her bir odaklama yöntemi yüksek sıcaklıkların elde edilmesini ve buna paralel olarak yüksek termodinamik verimliliği sağlamaktadır.

Bu yöntemlerin güneşi takip mekanizmaları ve güneş enerjisinden faydalanma biçimleri birbirinden farklıdır. Teknolojide yaşanan ilerlemeler sayesinde, bu yoğunlaştırılmış güneş enerjisi yöntemleri maliyet yönüyle de gündün güneş uygun hale gelmektedir. Parabolik (içbükey) oluklar, parabolik yansıtıcıların odak noktasına yerleştirilmiş bir alıcıda güneş ışığını toplamaları ile çalışır. Buradaki alıcı, yansıtıcıların odak noktaları doğrultusunda uzanan ve içinde çevrim akışkanının bulunduğu bir tüpten oluşur. Yansıtıcı, gün boyunca güneşi takip mekanizmaları ile takip eder. Çevrim akışkanı, alıcı içinde ilerletilirken (erimiş tuz ve ark.) 150-350 °C civarında ısınır. Ardından, ısı enerjisi kaynağı olarak enerji üretim tesisinde kullanılır. Parabolik oluk sistemler, CSP teknolojileri arasında en gelişmiş olanıdır [5].

Bahsi geçen sistemlerin sülfürik asit üretim prosesi esnasında yenilikçi teknoloji olarak gelişime ihtiyaç duyması ve pilot ölçekten ileriye gidememesi problemin temelini ortaya koymaktadır.

Sülfürik asit üretiminde emisyonun minimize edilmesi ve bu prosesler için büyük ölçekte üretim gerçekleştirilmesi yenilikçi teknolojiler için önemli bir kilometre taşı olacaktır.

### **2.3.c. Baca gazlarının artırılması ve geri dönüşebilecek gazların kazanımına yönelik teknolojilerin geliştirilmesi**

Taş kömürü ve linyit kömürü, petrol ve doğal gaz gibi konvansiyonel yakıtların yanması, atmosferin kükürt oksitler ( $SO_2$  ve  $SO_3$ ), azot oksitler ( $NO_x$ ) ve toz ile kirlenmesine neden olur. Yakın gelecekte bu enerji kaynaklarının kullanımının durdurulması pek mümkün görünmemektedir. Bu nedenle, kabul edilebilir tek çözüm, yakıtlardan veya atık gazların yakılmasından sonra oluşan çevreye verilen zararlı maddeleri ortadan kaldıran uygun teknolojilerin ve ekipmanın uygulanmasıdır. Kömür yakıtlı kazanlardan çıkan  $SO_2$  emisyonu birçok ülkede sıkı bir şekilde düzenlemeye tabi tutulmuştur. Kömür kullanımındaki artış, kükürt dioksit emisyonunda da artışa neden olmaktadır. Kömür yakıtlı kazanların  $SO_2$  emisyonunu kontrol etmek için birçok yöntem mevcuttur.  $SO_2$ 'yi kazan ve fırın egzoz gazlarından uzaklaştırma yöntemleri 150 yılı aşkın süredir araştırılmaktadır. Uzun baca gazı bacaları, ortam havasındaki kirleticileri seyrelterek emisyonları dağıtmaktadır.  $SO_2$  atmosfere salındığında, diğer bileşiklere dönüştürülebilir ve/veya çeşitli mekanizmalarla atmosferden uzaklaştırılabilir. Oksidasyon, ıslak biriktirme, kuru biriktirme, bitki örtüsü ve toprak tarafından absorpsiyon, suda çözünme ve diğer işlemler gibi prosesler  $SO_2$ 'nin atmosferden uzaklaştırılmasına katkıda bulunur.

Yakın zamandaki çevresel kaygılar,  $SO_2$  emisyonuna ilişkin daha katı düzenlemeleri zorunlu kıldığı için, baca gazında  $SO_2$ 'nin artırılması giderek daha fazla dikkat çekmektedir. Dolayısıyla, bu konuyu ele alan yaklaşımlar,  $SO_2$  emisyonunun azaltmasını referans almıştır. Tarihsel olarak,  $SO_2$  emisyon kontrolü için çok sayıda süreç olmuştur. Kükürt dioksit ve azot oksitler endüstriyel kaynaklı önemli kirleticilerdir. Genellikle endüstriyel, ulaşım ve kentsel faaliyetlerden kaynaklanır. Kükürt dioksit, hem doğal olaylar hem de fosil yakıtların yanması, topraktaki organik maddelerin oksidasyonu, volkanik patlamalar, biyokütle yanması vb. gibi antropojenik faaliyetlerin bir sonucu olarak çevreye verilir. Kömür, petrol ve daha az ölçüde gaz dahil olmak üzere fosil yakıtlar, hem organik hem de inorganik formda kükürt içerir. Kentleşme ve sanayileşme, çevreye  $SO_2$  eklenmesine katkıda bulunur [7].

Kükürt dioksit ( $SO_2$ ), kükürt oksitleri olarak bilinen bir grup yüksek oranda reaktif gazdan biridir.  $SO_2$ , solunum sistemi ve diğer çevresel sorunlar üzerindeki bir dizi olumsuz etkileriyle bilinmektedir. Asit yağmurları gibi çevrede çeşitli zararlara neden olan önemli bir endüstriyel emisyon gazıdır. Kükürt dioksit, yakıt yanma egzozlarının her yerde bulunan bir bileşenidir ve tüm dünyada düzenlenmesi gereken ilk hava kirleticilerden biridir.

Ortamdaki  $SO_2$  içeriğini azaltmak için çeşitli yaklaşımlar benimsenmiştir. Endüstrinin karşılaştığı en zor çevre sorunlarından biri,  $SO_2$  emisyonlarının ekonomik olarak nasıl kontrol

edileceğidir. SO<sub>2</sub>'nin H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>'e dönüştürülmesi kirliliğin azaltılmasında büyük etkiye sahip olacaktır [8].

## **B. Dünyada ve Türkiye’de Teknolojik Hazırlık Seviyeleri**

### **2.3.a. Proses sırasında çıkan sıcak kondens, sülfürik asit gibi ürünlerin sahip olduğu ısının alternatif enerji kaynağı olarak sisteme dönüşünün sağlanmasına yönelik teknolojilerin geliştirilmesi**

Belirlenen Ar-Ge ve yenilik konusun için THS 8-9 olarak belirlenmektedir.

### **2.3.b. Sülfürik asit üretim süreçlerinde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ve enerji tasarrufuna yönelik teknolojilerin geliştirilmesi**

Belirlenen Ar-Ge ve yenilik konusun için THS 4-5 olarak belirlenmektedir.

### **2.3.c. Baca gazlarının arıtılması ve geri dönüşebilecek gazların kazanımına yönelik teknolojilerin geliştirilmesi**

Belirlenen Ar-Ge ve yenilik konusun için THS 8-9 olarak belirlenmektedir.

## **C. Dünyada ve Türkiye’deki Mevcut Duruma İlişkin Başarılı Örnekler**

### **2.3.a. Proses sırasında çıkan sıcak kondens, sülfürik asit gibi ürünlerin sahip olduğu ısının alternatif enerji kaynağı olarak sisteme dönüşünün sağlanmasına yönelik teknolojilerin geliştirilmesi**

Elessent Clean Technologies firmasına ait MECS® ısı eşanjörleri, enerji tüketen proseslerden ısının geri kazanılması için piyasadaki en verimli araçları sunan lider plaka teknolojisi ile özel olarak tasarlanmıştır (THS 8-9).

Veolia firması, atık buhardan enerji kazanımı yapan firmalardan biridir.

Toros Tarım A.Ş. Samsun işletmesi, proses sırasında açığa çıkan buhardan elektrik enerjisi üretmektedir.

Art Enerji firması, buhar türbinleri yardımıyla proses sırasında açığa çıkan buharın elektrik enerjisine dönüştürülerek sisteme geri kazandırılmasına olanak sağlamaktadır.

Escon firması, atık ısı geri kazanımı kapsamında Türkiye'nin tanınmış birçok firması ile projeler gerçekleştirmiştir.

### **2.3.b. Sülfürik asit üretim süreçlerinde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ve enerji tasarrufuna yönelik teknolojilerin geliştirilmesi**

Belirlenen Ar-Ge ve yenilik konusunda Dünya’da ve Türkiye’de girişimler olsa da nihai sonuca ulaşmış örnekler mevcut değildir.

**2.3.c. Baca gazlarının arıtılması ve geri dönüşebilecek gazların kazanımına yönelik teknolojilerin geliştirilmesi**

Waterleau firması baca gazı scrubber yolu ile temizlenmesi bu konudaki girişim örneklerindedir.

**D. Ar-Ge ve Yenilik Sürecinde Biraraya Gelmesi Gereken Disiplinler ve Sektörler**

**2.3.a. Proses sırasında çıkan sıcak kondens, sülfürik asit gibi ürünlerin sahip olduğu ısının alternatif enerji kaynağı olarak sisteme dönüşünün sağlanmasına yönelik teknolojilerin geliştirilmesi**

Araştırma ve geliştirme, multidisipliner çalışma ile yapılabileceğinden sektöre katkı sağlayabilecek yetkinlikteki uzmanlar bir araya gelmelidir. Üretim prosesi söz konusu olduğunda, kimya ve makine mühendislerinin bir araya gelmesi gerekmektedir.

Üretim sırasında yüksek sıcaklıklara çıkılan her sektör bir araya gelebilir. Burada önemli olan üründen çok açığa çıkan ısı ve ısının geri kazanılmasıdır.

TÜBİTAK ve üniversitelerden teknik altyapı desteği ve özel şirketlerden pilot üretim desteği alınmalıdır.

**2.3.b. Sülfürik asit üretim süreçlerinde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ve enerji tasarrufuna yönelik teknolojilerin geliştirilmesi**

Yenilenebilir enerji kaynaklarının prosesleri üzerine çalışan enerji firmaları ile sülfürik asit üretimi yapan firmalar bir araya gelmelidir. Yenilenebilir enerji mühendisleri ile kimya ve makine mühendisleri birlikte çalışmalıdır. Sülfürik asit üretim prosesi sırasında kullanılan enerji girdisinin hangi yenilenebilir enerji kaynağından sağlanabileceği üzerine detaylı çalışma yapılmalıdır.

Kimya (sülfürik asit üretimi yapan) ve yenilenebilir enerji şirketleri bir arada çalışmalıdır.

Yenilenebilir enerji şirketlerinden sülfürik asit üretim prosesi için gerekli enerjinin hangi yenilenebilir enerji kaynağından alınabileceği üzerine katkılar alınabilir.

**2.3.c. Baca gazlarının arıtılması ve geri dönüşebilecek gazların kazanımına yönelik teknolojilerin geliştirilmesi**

Baca gazının arıtılması söz konusu olduğunda çevre uzmanları/mühendisleri devreye girmekle olup, üretime entegrasyon olacağından üretim birimi ve çevre birimi ile bu entegre sistem için çalışılan dış firmanın makine/kimya mühendisleri, baca gazı arıtma sistemi kapsamında yazılan yasal mevzuatlara uygun şekilde çalışmalıdır.

Baca gazı arıtma sistemi kurmayı planlayan firma ile Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği personelleri ve dış hizmet alınan firma bir arada çalışmalıdır.

Yasal mevzuatlar kapsamında ilgili yönetmeliklerin ışığında Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı ve fikir alışverişi yapmak adına üniversitelerin çevre bölümünden alanında uzman akademisyenlerden katkı alınabilir.

#### **E. Ar-Ge , Yenilik, Demonstrasyon İşbirliği Modeli ve Destek Mekanizması**

Yukarıda belirtilen disiplinler ve sektörler küçük/orta/büyük ölçekli Ar-Ge ve yenilik projeleri şeklinde biraraya gelerek çalışmalıdır. TÜBİTAK gibi kurumlardan ve devlet mekanizmasından hibe şeklinde desteklenmelidir.

İlgili teknolojilerin üretimi ve kurulumu üzerine çalışan firmalar ile bu teknolojinin kurulum talebi olan firmalar bir araya gelerek detaylı bir çalışma yapmalıdır. Her iki firmanın da Ar-Ge ve üretim ekibinden yetkin personelleri ile beyin fırtınası yapılarak bu projenin artı ve eksi yönleri düşünülmeli, tartışılmalı ve bütçe hesabı yapılmalıdır. Yenilikçi teknolojinin hem çevre ve enerji dostu hem de mevcut maliyeti arttırmayacak düzeyde olmalıdır. Bu kapsamlar göz önüne alınarak ilgili teknolojinin mevcut üretime nasıl entegre edileceği ile ilgili çalışmalar yapılmalıdır. Ayrıca, ilgili teknolojiler kapsamında üniversiteler ile işbirliği de yapılarak üniversite-sanayi fikir alışverişi yapılmalıdır.

İlgili projeler çevre dostu ve enerji geri kazanımı üzerine yatırımlar olacağından ve devlet tarafından desteğe açık olmalıdır. Bu destekler ile yatırımcı firma, diğer üreticilere de örnek teşkil edecektir.

**F. Zaman ve Bütçe Tahminleri**

Zaman ve Bütçe Tahminleri			THS	
Ar-Ge ve Yenilik Konusu	Hedeflenen Süre	Tahmini Bütçe (Milyon TL)	Dünya	Türkiye
Proses sırasında çıkan sıcak kondens, sülfürik asit gibi ürünlerin sahip olduğu ısının alternatif enerji kaynağı olarak sisteme dönüşünün sağlanmasına yönelik teknolojilerin geliştirilmesi	Kısa Vade	30	8-9	8-9
Sülfürik asit üretim süreçlerinde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ve enerji tasarrufuna yönelik teknolojilerin geliştirilmesi	Uzun Vade	70	4-5	3-4
Baca gazlarının arıtılması ve geri dönüşebilecek gazların kazanımına yönelik teknolojilerin geliştirilmesi	Kısa Vade	30	8-9	8-9

Sülfürik asit üretimi sırasında çıkan ısının geri kazanımı ile ilgili çalışmalar yapan Dünyada örnek firmalar bulunmakta olup, bu çalışmaların uygulanmasının kısa vadede gerçekleştirilebileceği düşünülmüştür. Çalışma THS 8-9 seviyesinde görülmüştür. Tahmini bütçe öngörüsü üretim entegrasyonu gerekeceğinden 30 milyon TL olarak öngörülmüştür.

Sülfürik asit üretim süreçlerinde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı kapsamındaki proje Dünyada THS 4-5, Türkiye’de THS 3-4 seviyelerinde görüldüğü için bu çalışmanın sülfürik asit tesisine entegre edilebilmesinin daha uzun vadede gerçekleştirilebileceği düşünülmüştür. Bu çalışmanın öngörülen maliyeti 70 milyon TL’dir.

Baca gazlarının arıtılması, yıllardır süre gelen çalışmalar sonucu halihazırda kullanılan bir teknolojik gelişme olup THS 8-9 seviyesinde görülerek kısa vadede üretime entegre edilebilecek bir yatırım olarak görülmüştür. Bu çalışmanın öngörülen maliyeti 30 milyon TL’dir.

## **G. Teknolojik İlerlemenin Sağlanmasında Kritik Hususlar**

Bahsi geçen projeler kapsamında devlet teşviki ve üniversite-sanayi işbirliklerinin uygulanması gerekmektedir. Kurulacak işbirlikleri ile başlatılan projeler yasal düzenleme ve denetlemeye tabi tutulmalıdır. Bu kapsamda ilgili kamu kuruluşları bilgilendirilmeli ve fikir alışverişleri yapılmalıdır.

### **Mevzuat ve Yasal Düzenlemeler**

Mevcut mevzuat teknolojik ilerlemelerin sağlanması noktasında herhangi bir engel teşkil etmemesine rağmen yasal zorunluluklar ve teşvikler yoluyla gelişmelerin sağlanması noktasında revizyonlara ihtiyaç duymaktadır.

Mevcut teknolojilerini milli olarak üretilen yeni teknolojilerle değiştirmek isteyen kuruluşlar için teşvik mevzuatlarında gerekli düzenlemeler yapılarak bu değişimi hızlandıracak maddi destek sağlanmalı, değişim ile emisyonlarını azaltan kuruluşlar ödüllendirilmelidir.

Ülkemizde yasal bir emisyon limiti olmayan, yalnızca izlenen emisyon parametreleriyle ilgili olarak, ülkedeki mevcut durum ve karbon sıfır hedefleri hassasiyetle dikkate alınacak şekilde emisyon sınır değerleri belirlenmesi gerekir. Mevcut emisyon durumları ve ülke hedefleri göz önünde bulundurularak her bir tesis özelinde çalışma yapılması faydalı olacaktır.

### **Teknik Altyapılar**

Enstrümantasyon açısından yapay zekanın da kullanılabildiği üstün analitik yöntem ve cihazlar geliştirilmelidir.

### **İnsan Kaynakları**

Teknik yeterliliği güncel enstrümantasyon ile geliştirilmiş teknik personel ihtiyacı bulunmaktadır.

## **Bölüm 2.3. Referans Listesi**

[1] Partigöç, N. S., Çubukçu, K. M. 2017. Hava Kirliliği ve Kent Gliğkisine Ampirik Bakığ: Ekolojik Sürdürülebilirlik Ekseninde Bir Değerlendirme, Akademia Disiplinlerarası Bilimsel Araştırmalar Dergisi 3 (2), 28-45

[2] Perera F. Pollution from Fossil-Fuel Combustion is the Leading Environmental Threat to Global Pediatric Health and Equity: Solutions Exist. Int J Environ Res Public Health. 2017 Dec 23;15(1):16. doi: 10.3390/ijerph15010016. PMID: 29295510; PMCID: PMC5800116.

[3] Gupta, A.K., Ibrahim, S., Al Shoaibi, A. 2016. Advances in sulfur chemistry for treatment of acid gases, Progress in Energy and Combustion Science, Volume 54

- [4] Taine, H. A. (2005). SULFUR AND SULFURIC ACID. *Handbook of Chemical Technology and Pollution Control*, 19(83), 255.
- [5] Pavlović, T. M., Radonjić, I. S., Milosavljević, D. D., & Pantić, L. S. (2012). A review of concentrating solar power plants in the world and their potential use in Serbia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(6), 3891-3902.
- [6] Kikuchi, R. (2001). Environmental management of sulfur trioxide emission: impact of SO<sub>3</sub> on human health. *Environmental management*, 27(6), 837-844.
- [7] d'Aquin, G. E., & Fell, R. C. (2007). Sulfur and sulfuric acid. In *Kent and Riegel's Handbook of Industrial Chemistry and Biotechnology* (pp. 1157-1182). Springer, Boston, MA.
- [8] Herrick, R. A., & Lipták, B. G. (2018). Sulfur Oxide Analyzers. In *Analytical Instrumentation* (pp. 362-366). Routledge.



**Kritik Ürün/Teknoloji 2.4.**

**Fosforik asit üretim sürecinde dögüsel prosesler tasarlanarak verimlilik artışı ve emisyon azaltımı sağlanmasına yönelik teknolojilerin ve uygulamaların geliştirilmesi**

**Öncelikli Ar-Ge ve Yenilik Konuları**

**2.4.a. Katı/sıvı/gaz atıkların azaltılması ve geri kazanımına yönelik teknolojilerin geliştirilmesi**

**2.4.b. Fosforik asit üretiminde bir yan ürün olarak açığa çıkan fosfojipsin, dögüsel ekonomiye geri kazandırılması yönünde yeni proseslerin geliştirilmesi ve/veya pilot gösterimlerinin yapılması**

## **A. Teknik Açıklamalar, Yenilikçi Özellikler, Hedeflenen Performans ve Metrikler**

Katı/sıvı/gaz atıkların azaltılması ve geri kazanımına yönelik teknolojilerin geliştirilmesi, “üret, kullan ve at” mottosunu benimseyen lineer ekonomi stratejisi ile birlikte, sınırlı olan global kaynakların tüketim hızında artışı tetiklemektedir. Lineer ekonomi stratejisinin dayalı olduğu tüketim felsefesine alternatif olarak gelişen “sürdürülebilirlik” ve “döngüsel ekonomi” kavramları kapsamında, fosforik asit üretim sürecinde kaynak tüketiminin azaltımına yönelik döngüsel proseslerin geliştirilmesi, proses verimliliğini arttırmaya yönelik ekipman ve/veya süreç iyileştirmeleri ve mevcut fosforik asit üretimi prosesinin çevresel anlamda zararlı olabilecek florür bileşiklerinden oluşan emisyon azaltımı teknolojilerinin geliştirilmesi ve uygulaması adımlarını içermektedir [1]. Dünya nüfusunun 2050 yılına kadar yaklaşık 9.8 milyara ulaşacağı öngörülmektedir, bununla birlikte gelişen endüstriyel faaliyetlerde artış sebebiyle dünya genelinde ekili-dikili alanlar kısıtlanmıştır. Artan dünya nüfusu ile doğru orantılı bir şekilde artan gıda talebinin karşılanması amacıyla tarımsal uygulamalarda verimin artırılması gittikçe önem kazanmaktadır. Tarımsal uygulamalarda birim alandan alınan verimin artırılması için bitki besleyici ürünlerin uygulaması gereklidir. Günümüzde dünya genelinde kullanılan mineral gübreler yaklaşık olarak dünya nüfusunun gıda ihtiyacının %40'ını karşılayacak kapasitede gıda yetiştirilmesini sağlamaktadır [2]. Artan dünya nüfusunun gıda talebini karşılamak amacıyla bitki besleyici ürünlerin üretim kapasitelerinde de artış olduğu gözlemlenmektedir. Mineral gübre grubuna dahil olan fosforlu gübrelerin de üretim kapasitelerinde artış olduğu, fosforlu gübrelerin üretim proseslerinde temel girdi olan fosforik asit üretim kapasitesinin de talebe bağlı olarak arttığı gözlemlenmektedir [3]. İklim değişikliği ve küresel ısınma gibi olguların çevresel anlamda yarattığı olumsuz etkiler sebebiyle, net sıfır karbon emisyonu hedefleri doğrultusunda yüksek verimli, kar sağlayan ve sürdürülebilir yöntemlerle bitki besleyici ürünlerin üretilmesi gübre üreticilerinin önceliği olmuştur. Fosforlu gübrelere olan talebin artması ve bu talebin karşılanması sürecinde sürdürülebilirlik kavramlarını benimseyen teknolojilerin geliştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

## **ÖNCELİKLİ AR-GE VE YENİLİK KONULARI**

### **2.4.a. Katı/sıvı/gaz atıkların azaltılması ve geri kazanımına yönelik teknolojilerin geliştirilmesi**

Geri kazanıma yönelik, yaş prosesle fosforik asit üretiminde açığa çıkan emisyonlar genellikle silikon tetraflorür ( $\text{SiF}_4$ ) ve hidrojen florür (HF) olmak üzere gaz formunda florürlü bileşiklerdir [4]. Yaş proses sonucu oluşan fosfojips ise katı atık olarak tanımlanmaktadır. Florun büyük bir kısmı fosfojips yapısında kalırken, bir kısmı da fosforik aside geçmektedir, geriye kalan miktar ise reaktör veya evaporatör içerisinde buharlaşmaktadır. Flor sızıntı suyu çökeltme havuzlarında birikebilir. Havuz suyu florür açısından doygun hale gelirse, flor gazının

atmosfere yayılma ihtimali bulunmaktadır. Fosfojips ise proses bitiminde depolama alanına gönderilip, bekleme süreci boyunca sediment oluşturmaktadır. Proseste kullanılan fosfat kayası belirli bir formülasyona sahip olmayan doğal bir kayadır, içeriği bulunduğu lokasyona göre değişiklik göstermektedir. Proses sonucu oluşan fosfojipsin yapısına geçen safsızlıkların konsantrasyonunu büyük oranda etkileyen temel etken fosfat kayasının kimyasal içeriğidir. Prosesin hemihidrat ya da dihidrat proses olması, elde edilen fosforik asitin  $P_2O_5$  konsantrasyonunu etkilemekle birlikte, mevcut yaş proses teknolojileri ile fosfojips oluşumu önlenmektedir.

Yaş proses, doğal fosfat kayası ile sülfürik asitin fosforik asit üretmek üzere tepkimesi olarak adlandırılmaktadır. Fosfat kayası kurutma ve öğütme gibi fiziksel ön işlemlerden geçirildikten sonra sülfürik asit ile reaktöre beslenmektedir. Reaksiyon süresince fosfat kayası yapısındaki kalsiyum ile sülfatın birleşmesi sonucu kalsiyum sülfat (jips) oluşmaktadır. Oluşan jips, reaksiyon ortamından filtrasyon ile ayrılmaktadır. Fosforik asit üretim prosesleri arasında en yaygın olarak kullanılan dihidrat prosesi farklı konsantrasyon içeriklerine sahip fosfat kayası ile kullanılabilen çok yönlü bir prosestir. Proses verimi, kullanılan fosfat kayasına bağlı olarak %94-97 arasında değişkenlik gösterebilmektedir. Fosfat kayası reaktöre kuru, nemli veya çamur halinde gönderilebilmektedir. Proseste seyreltik sülfürik asit de kullanılabilir, diğer proseslere oranla elde edilen asitin  $P_2O_5$  içeriği en düşük (yaklaşık olarak %28) olanıdır. Dolayısıyla, üretilen asidin konsantre hale getirilmesi amacıyla prosesin buhar tüketimi ve filtre edilen kek içerisinde  $P_2O_5$  olması sebebiyle yıkama suyu tüketimi fazladır. Hemihidrat proses ise dihidrat prosese göre daha düşük yatırım maliyeti ve bakım giderlerinin olması sebebiyle avantajlıdır. Hemihidrat proses ile daha derişik (%40-42  $P_2O_5$ ) asit üretilmektedir, daha derişik asit üretilmediği için de prosesin su tüketimi dihidrat prosese göre daha azdır. Hemihidrat proses sonucu oluşan jipsin yüksek oranda  $P_2O_5$  içeriyor olması sebebiyle alçı veya ilgili uygulamalarda kullanımı kısıtlı olmaktadır. Bu sebeple, fosfojips zirai uygulamalarda değerlendirilmektedir [5,6,7]. Ancak fosfojips de bir dizi riskli maddeler içermesi nedeniyle kullanımı kimi ülkelerde sınırlandırılmaktadır.

Yaş proseste kullanılan doğal fosfat kayası %3.5-4 flor içermektedir. Ana emisyon olan florlu bileşiklerin ( $SiF_4$ , HF) büyük bir kısmı fosfojips yapısında kalırken, bir kısmı da fosforik asite geçmektedir, geriye kalan miktar ise reaktör veya evaporatör içerisinde buharlaşmaktadır. Filtrelenmiş asit ve jips içerisindeki flor miktarı proseste kullanılan fosfat kayası yapısına ve işletme koşullarına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Nihai flor emisyonu dağılımı proses tasarımına ve tesisin işletme koşullarına bağlı olarak değişiklik gösterir. Yaş proses ile fosforik asit üretiminde yüksek konsantrasyonlarda fosfor ve florür içeren asidik karakterde soğutma suyu oluşmaktadır. Oluşan soğutma suyunun fazlası fazla çökeltiyi geçici olarak depolama ve bu soğutma suyunun prosese tekrar beslenmesi amacıyla depolama havuzunda

toplanmaktadır. Dolayısıyla, depolama havuzlarından olası sızıntı suyu oluşabilecek yeraltı suyu kirliliğinin potansiyel kaynağı olabilmektedir. Soğutma suyu kabul edilebilir fosfor içeriğini sağlayabilecek şekilde arıtma işlemine tabi tutulabilir, gerekli olduğu durumlarda flor deşarjı yapılabilir.

Fosfojipsin toprakta depolanması sırasında içeriğindeki kirleticilerin yeraltı sularına sızma, sedimentte ve suda ağır metal konsantrasyonlarının artması gibi riskler barındırmaktadır. Fosfojipsin bertarafı için dünyada yaygın olan 4 farklı metod bulunmaktadır. Bu metodlar su ortamına deşarj, maden ocaklarına doldurma, kuru yığılaşma ve yaş yığılaşma olmak üzere sınıflandırılmaktadır. Dünya genelinde Fosfojipsin yığınlarının fazla miktarda olması ve malzemenin kimyasal yapı itibarıyla endüstriyel amaçlı geri kazanımı potansiyelinin bulunması sebebiyle, fosfojips yığınlarının hem ekonomik anlamda değerlendirilebileceği, hem de çevresel anlamda minimum olumsuz etki yaratacak şekilde kullanılabilmesi alternatif kullanım alanlarının araştırılması gün geçtikçe önem kazanmaktadır. Dünya genelinde olduğu gibi Türkiye’de de kimyasal gübreye olan talebin karşılanabilmesi için üretim kapasitelerinde artışın önümüzdeki yıllarda da devam edeceği öngörülmektedir ve bu durum fosforlu gübreler için de geçerlidir. Türkiye’de fosforlu gübre üretiminde hammadde olarak kullanılan fosforik asit yaş proses ile üretilmektedir ve üretimin mevcut teknoloji ile devam ettiği müddetçe fosfojips oluşumunun önlenmesi veya azaltılması mümkün değildir. Fosfojipsin endüstriyel boyutta değerlendirilebilmesi için yeni proseslerin geliştirilmesinin teşvik edilmesi sürdürülebilirlik açısından önem taşımaktadır [8].

Flor emisyonlarını kontrol etmek amacıyla yıkayıcı (scrubber) kullanılabilir. Fosforik asit üretim tesislerinde kullanılan yıkama sistemlerine ventüri, ıslak siklonik ve çapraz akışlı yıkayıcılar örnek olarak verilebilir.

**Prayon** tarafından geliştirilen proses modifikasyonları aşağıda belirtilmiştir:

**DA-HF (Di attack- hemi filtration) Prosesi:** Dihidrat prosesine ikinci bir kristalizasyon basamağının eklenmesi ile geliştirilebilecek teknolojidir. Dihidrat jipsin hemihidrat jipse dönüştürülmesi ile dihidrat prosesine oranla %1.5-2 oranında verim artışı sağlanabilmektedir. Bu modifikasyon ile üretilen asit daha derişiktir (%32-33), proseste tüketilen sülfürik asit miktarı da nispeten daha azdır ve prosesin su tüketimi daha düşüktür. Gerektiği durumlarda dihidrat prosesine göre tasarlanmış bir tesiste yapılacak modifikasyonlarla DA-HF prosesine geçiş sağlanabilmektedir [9].

**CPP (Dihydrate- hemihydrate) Prosesi:** CPP prosesi ikili kristalizasyon ve ikili filtrasyon basamaklarını içeren bir modifikasyondur ve proses ile %97-98.5 oranında yüksek verim sağlanabilmektedir, sülfürik asit tüketimi de bütün proseslere oranla en düşüktür. CPP

prosesinde sülfürik asit ile buhar da gönderilmektedir. Ekipman maliyetlerine bağlı olarak, prosesin sermaye harcamaları (CAPEX) dihidrat prosesine oranla %20 daha fazladır, bu maliyet fazlalığı üretilen fosfojipsin ekonomik anlamda değerlendirilebilmesi ile kompanse edilebilmektedir. Fosfat kayası tüketiminin iyileştirilmesi ve üretilen kalsiyum sülfatın yönetimi hususlarında avantaj sağlamaktadır [10].

**Novaphos** firması ise düşük kalitedeki fosfat kayasının hammadde olarak kullanılması durumunda yüksek kalitede fosforik asit üretimini sağlayan ve J-Rox olarak adlandırılan, zararsız kalsiyum silikat bileşiği oluşturan, fosfojips oluşumunu önleyen bir proses geliştirmiştir (CRU Sustainable Fertilizer Production Technology Forum). Oluşan J-Rox bileşiği zirai ve yapı malzemesi sektöründe uygulanabilen bir malzeme olma özelliğini göstermektedir.

**Technip Energies (Fransa):** Technip Energies DIPLO prosesi, iki basamaklı dihidrat prosten oluşmaktadır. Bu modifikasyonda, seri bağlı iki reaktör bulunmaktadır ve her reaktör belirli oranlarla fosfat kayası, sülfürik asit ve geri dönüştürülen fosforik asit ile beslenmektedir. Her basamakta sıcaklık,  $P_2O_5$  konsantrasyonu ve asit içerisinde serbest sülfat içeriği parametreleri açısından reaksiyon koşulları optimize edilmiştir.

**Clariant (ABD):** Firma, geniş yelpazede endüstriyel prosesler için katalizör geliştirici Ar-Ge çalışmalarını yürüten ve katalizör ürünlerini üreten bir firmadır. Firma, geliştirdiği katalizörlerin daha düşük enerji tüketimi sağladığını, emisyon azaltıcı özellikleri olduğunu beyan etmektedir. Firmanın, yaş prosesin verimliliğini arttıracak ve florlu emisyonların azaltıcı etki gösterecek proses-spesifik katalizör geliştirme çalışmaları için gerekli Ar-Ge altyapısının bulunduğu düşünülmektedir.

**Enercat (Fransa):** Firma katalizör test ve karakterizasyonu, emisyon kontrolü ve proses mühendisliği konularında hizmet vermektedir. Proses-spesifik çalışmalar için potansiyel işbirliği çalışmalarının yapılabileceği düşünülmektedir.

**Graver Technologies (ABD):** Firma geniş yelpazede endüstriyel filtrasyon ürünleri sunmaktadır. Ayrıca amonyak filtreleri hususunda da uzman olan firma ile, amonyağın hammadde olarak kullanıldığı (Merseburg Prosesinde amonyum karbonat üretiminde amonyağın hammadde olarak kullanılması gibi) alternatif proseslerde firmanın uzmanlığına başvurulabileceği düşünülmektedir.

**Johnson Matthey (İngiltere):** Firma, net sıfır emisyon teknolojilerine geçiş sürecine hazırlık için sürdürülebilir teknolojilerin geliştirilmesi alanında hizmet vermektedir. Düşük emisyon teknolojileri, küresel kaynakların verimli kullanımı ve kimyasal süreçlerde verimliliğin artırılması alanlarında işbirliği çalışmalarının yapılabileceği düşünülmektedir.

**Solenis LLC (ABD):** Firma atık su yönetimi hususunda sürdürülebilir çözümler üretmektedir. Atık su yükünün fazla olduğu proseslerde, atık suyun geri kazanımı, ürün kalitesinin artırılması ve çevresel etkinin minimuma indirilmesi gibi konularda işbirliği kurulabileceği düşünülmektedir.

#### **2.4.b. Fosforik asit üretiminde bir yan ürün olarak açığa çıkan fosfojipsin, döngüsel ekonomiye geri kazandırılması yönünde yeni proseslerin geliştirilmesi ve/veya pilot gösterimlerinin yapılması**

Fosfojipsin kimyasal içeriği proseste kullanılan fosfat kayasına göre değişiklik göstermekle birlikte, genel olarak CaO, SO<sub>4</sub>, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ve eser miktarda As, Ag, Ba, Cd, Cr, Pb, Hg ve Se içermektedir [8,9]. Fosfojips kimyasal yapısının ana bileşenleri CaO ve SO<sub>3</sub> olmakla birlikte, diğer bileşenler (SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, Na<sub>2</sub>O, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, F) proseste kullanılan fosfat kayasının kimyasal yapısına göre farklılık göstermektedir.

Fosforik asit üretiminde kullanılan en yaygın olan dihidrat prosesin stokiyometrisine göre, 1 ton fosforik asit üretimi esnasında yaklaşık olarak 5 ton fosfojips oluşmaktadır. Oluşan fosfojipsin yaklaşık %15'i ilgili, alçı, yol yapımı veya zirai uygulamalarda toprak düzenleyici olarak kullanılmakta, %85'i ise depolanmaktadır. Günümüzde fosfojips birikimi yıllık 300 Mton'a ulaşmıştır. Fosfojipsin yapı itibariyle farklı endüstriyel alanlarda kullanıma uygun olma potansiyelinin bulunması, ekonomik anlamda değerlendirilebileceği alternatif kullanım alanlarının araştırılmasını önemli kılmıştır.

Fosfojipsin toprakta depolanması sırasında içeriğindeki kirleticilerin yeraltı sularına sızabilme, sedimentte ve suda ağırmetal konsantrasyonlarının artması gibi riskler barındırmaktadır.

Fosfojipsin yapısında bulunan suda çözünebilir fosfatlar, serbest asitler ve ağır metaller sebebiyle değerlendirilme alanı kısıtlıdır ve yıllık oluşan fosfojipsin sadece %15 gibi küçük bir miktarı yeniden kullanılmakta, geri kalan %85'i ise proses sonucu gönderildikleri depolama alanında yığınlar halinde depolanmaktadır [11]. Geri dönüşüm amaçlı kullanılan fosfojips miktarı, yıllık oluşan PG miktarı ile kıyaslandığında yok denecek kadar azdır. Bu sebeple fosfojips için yeni kullanım alanlarının araştırılmasına yönelik çalışmalar çok önemlidir [12].

Dünya genelinde olduğu gibi Türkiye'de de kimyasal gübreye olan talebin karşılanabilmesi için üretim kapasitelerinde artışın önümüzdeki yıllarda da devam edeceği öngörülmektedir ve bu durum fosforlu gübreler için de geçerlidir. Türkiye'de fosforlu gübre üretiminde hammadde olarak kullanılan fosforik asit yaş proses ile üretilmektedir ve üretim mevcut teknoloji ile devam ettiği müddetçe fosfojips oluşumunun önlenmesi veya azaltılması mümkün değildir. Fosfojipsin endüstriyel boyutta değerlendirilebilmesi için yeni proseslerin geliştirilmesinin teşvik edilmesi sürdürülebilirlik konusu açısından önem kazanmaktadır [13].

**Merseburg Prosesi:** Fosforik asit üretiminde yan ürün olarak açığa çıkan jipsin amonyak karbonatlama reaksiyonu olarak da bilinen Merseburg Prosesi, CO<sub>2</sub>'nin amonyum karbonata dönüşümünü takiben fosfojips ile amonyum karbonatın reaksiyonu sonucu amonyum sülfat ve kalsiyum karbonat eldesi esasına dayanmaktadır. Proseste hem CO<sub>2</sub> tüketimi hem de jips kaynağı olarak fosfojips kullanıldığı durumlarda fosfojips için yeni bir kullanım alanı açılmış olmaktadır. Merseburg Prosesi, prosesin çıktısı olan amonyum sülfatın gübre endüstrisinde, kireçtaşının ise çeşitli endüstriyel uygulamalarda kullanılan ürünler olmalarına ek olarak, atıl durumda bekletilen fosfojipsin bedelsiz/düşük bütçeli hammadde olarak kullanılarak katma değeri olan ürünlere dönüştürülmesi açısından da avantajlı konuma geçmektedir. Prosesin bir diğer avantajı ise, CO<sub>2</sub>'nin hammadde olarak kullanılması sebebiyle ilgili sektörü gibi karbon emisyonu yüksek olan endüstrilerin de karbon kredisi konusunda fayda sağlayabileceği bir teknoloji olma özelliği göstermesidir. Bu kapsamda Merseburg Prosesi, Döngüsel Ekonomi, AB Yeşil Mutabakatı ve Sürdürülebilir Kalkınma gibi çoklu hedeflere hizmet eden çok yönlü bir proses olma özelliği taşımaktadır.

**Fosfojipsin zirai uygulamalarda kullanımı:** Fosfojipsin çorak toprakların ıslahında kullanılması, bitki köklerinin besin taşınımını desteklemesi ve içerisinde barındırdığı Ca ve S gibi besin elementleri ile bitki besin maddesi özelliği göstermesi sürdürülebilir tarım açısından katkı sağlayabilecek ve günümüz Döngüsel Ekonomi ve Sürdürülebilir Kalkınma hedeflerine hizmet eden bir yöntemdir.

**Yeni ürün çalışmaları:** Fosfojips katkılı yeni formülasyonlar ile bitki besin maddesi kaynağı veya içeriği farklı iz elementlerle zenginleştirilmiş toprak düzenleyici ve ilgili-yapı malzemesi sektöründe kullanılabilecek dolgu-katkı maddesi gibi yöntemlerle malzemenin kaynak verimliliğini artırmak ve fosfojipsi döngüsel ekonomi hedeflerine kazandırmak açısından önem taşımaktadır.

## **B. Dünyada ve Türkiye’de Teknolojik Hazırlık Seviyeleri**

### **2.4.a. Katı/sıvı/gaz atıkların azaltılması ve geri kazanımına yönelik teknolojilerin geliştirilmesi**

Endüstriyel ölçekte karbon salınımı azaltılmasını amaçlayan döngüsel ekonomi konseptli çalışmalar, net sıfır karbon emisyonuna ulaşmak için büyük önem taşımaktadır. Sürdürülebilir kalkınma hedefleri doğrultusunda da fosfojipsin ikincil bir hammadde kaynağı olarak değerlendirilmesine yönelik çalışmalar küresel ölçekte önem kazanmaktadır.

Fosfojipsin döngüsel ekonomi ve sürdürülebilir kalkınma hedefleri kapsamında karbon tutma yakalama, geri dönüşüm, geri kazanım, kaynak verimliliğinin iyileştirilmesi gibi çalışma kırılımlarına ek olarak, fosfojipsin çevresel anlamda olası olumsuz etkilerinin azaltılması

amacıyla da çeşitli çalışmalar yürütülmüştür. Aşağıda fosfojipsin yararlanılabilir duruma getirilmesine ilişkin çalışmalardan örnekler verilmiştir:

**Yunanistan:** Drapetsona gübre fabrikası tarafından geçmişte depolanan fosfojips yığınının çevresel anlamda etkileri Yunan Atom Enerjisi Komisyonu tarafından yapılan bildiriye konu olmuştur. Benzer şekilde fosfojips yığınlarının farklı zaman aralıklarında faaliyet gösteren gübre fabrikaları tarafından Yunanistan'ın kuzeyinde depolandığı belirtilmiştir. 1979-1989 yılları arasında Schistos yakınlarına 10 Mton fosfojipsin depolandığı belirtilmiştir. Bu yığının yakın zamanda jeomembranlar ile iyileştirme işlemi gerçekleştirilmiş ve üzerine kalın toprak tabakası örtülerek bitkilendirme çalışması yapılmış ve yığının radyolojik etkisi incelenmiştir [14]. Sonuçlara göre, <sup>226</sup>Ra konsantrasyonunun fazla olmasına rağmen, dünyada raporlanmış çoğu değere göre düşük olduğu belirtilmiştir. Çalışmaya göre, jeomembranlar ile yapılan remediasyon işleminin ve sonrasında yapılan bitkilendirme çalışmasının fosfojips kaynaklı çevresel riskleri en aza indirdiği belirlenmiştir.

**Romanya:** Romanya'da ise fosfojipsin iyileştirme işlemi pilot ölçekli bir saha çalışması ile gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada fosfojips yığınları asidite, sülfat konsantrasyonu, toksik element ve ağır metal konsantrasyonu açısından karakterize edilmiştir [15]. Geçmiş dönemlerde gerçekleştirilmiş laboratuvar ölçekli çalışmalar, fosfojipse besin elementi eklenmesi gibi gerçekleştirilen modifikasyonlar ile çok yıllık bitkiler ve çalılar için uygun bir büyüme ortamı oluşturulabildiğini göstermiştir..

**Fosfojipsin geri kazanımına yönelik literatür çalışmaları:** Literatürde fosfojipsin, içerdiği nadir toprak elementleri ekstraksiyonunda kullanıldığına dair çalışmalar mevcuttur [16]. Bir diğer geri kullanım alanı ise, tarımsal amaçlı toprak düzenleyici veya sodyum / amonyum sülfat üretiminde ikincil bir hammadde olarak kullanılmasıdır [20]. Fosfojips ilgili sektöründe priz geciktirici katkı maddesi veya ilgili üretiminde mineralleştirici ajan olarak da kullanılmaktadır [5]. Literatürde fosfojipsin yapı malzemesi sektöründe alçıpan, tuğla yapımında veya yol inşasında dolgu maddesi olarak kullanıldığına dair örnekler de bulunmaktadır [8]. Literatürde fosfojipsin özellikle yapı malzemesi veya yol yapımında kullanımına yönelik örneklerle daha sık rastlanılsa da, bu çalışmalar henüz geliştirme aşamasındadır ve büyük miktarlarda düzenli bir tüketimi sağlayacak aşamada değildir.

### **2.4.b. Fosforik asit üretiminde bir yan ürün olarak açığa çıkan fosfojipsin, döngüsel ekonomiye geri kazandırılması yönünde yeni proseslerin geliştirilmesi ve/veya pilot gösterimlerinin yapılması**

Merseburg Prosesi ile hem PG'nin geri dönüşümü hem de CO<sub>2</sub>'nin CaCO<sub>3</sub> şeklinde tutulması mümkün olmaktadır. Atıl durumda bekletilen fosfojips yığınları ve proses koşulları gereği CO<sub>2</sub> salınımı yükü fazla olan ilgili endüstrilerin CO<sub>2</sub> salınımlarının kullanılmasına olanak sağlaması



sebebiyle, proses ekonomik olarak uygulanabilir durumdadır. Fosfojipsin atık yönetimi ve sürdürülebilir kalkınma hedefleri kapsamında amonyum sülfat ve kalsiyum karbonat gibi endüstriyel ölçekte katma değere sahip ürünlere dönüştürülmesine olanak sağlaması ve hammadde olarak CO<sub>2</sub> tüketimini sağlıyor olması prosesin çevresel anlamda olumlu etkilerini vurgulamakta olup, uygulama potansiyelini kuvvetlendirmektedir. Fosfojipsin amonyum sülfata dönüştürülmesine yönelik, Gujarat State Fertilizers & Chemicals firması (Hindistan) yıllık 342.000 ton üretim kapasiteli amonyum sülfat tesisi tasarlamıştır.

### **C. Dünyada ve Türkiye'deki Mevcut Duruma İlişkin Başarılı Örnekler**

#### **2.4.a. Katı/sıvı/gaz atıkların azaltılması ve geri kazanımına yönelik teknolojilerin geliştirilmesi**

Fosfojips saflaştırılması alanında yapılan bir çalışmada, 1987 yılında Samsun TÜGSAŞ Gübre Fabrikası'ndan alınan fosfojips örneğinde çözücü oranı, sıcaklık, karıştırma süresi, kalsinasyon ve kimyasal katkıları gibi parametreler dikkate alınarak analizler gerçekleştirilmiştir (THS 3-4).

Erdem'in 1993 yılında sunduğu "Fosfojipsin çeşitli ligantların hidratasyonuna etkisi" başlıklı yüksek lisans tezinde ise PG'nin ilgili alanında uygulanabilirliği araştırılmış, işlem görmemiş PG'nin sadece ilgili hidratasyonunu kontrol etmek için kullanılabileceği sonucu raporlanmıştır [17]. (THS 2-3)

Değirmenci'nin 2008 yılında yaptığı "PG kalsinasyonunun PG, uçucu kül karışımlarının basınç dayanımlarına etkisi" başlıklı çalışmada ise PG'nin farklı sıcaklıklarda kalsinasyon koşullarının ve basınç dayanımlarının incelendiği önemli bir çalışmadır[18]. (THS 2-3)

Keleş'in 2001 yılında sunduğu "Borojips ve fosfojipsin ilgili sanayiinde kullanılması" başlıklı yüksek lisans tezinde ise borojips ve PG'nin inşaat sektöründe kullanılabilirliği araştırılmıştır [19]. (THS 3-4)

Antalya Ferrokrom Tesisi'nin silis dumanı ile fosfojipsin iyi derecelendirmiş granüler malzemelerin iyileştirilmesine yönelik etkilerinin araştırıldığı çalışmada ise Ordu-Mesudiye Dereyolu Çataalkaya mevkiinde bulunan bazalt taş ocağından konkasör tesisinde üretilmiş yol yapımı temel malzemesine değişik oranlarda silis dumanı ve fosfojips karıştırılarak numuneler hazırlanmıştır. Numuneler, CBR, tek eksenli basınç ve kompaksiyon testlerine tabi tutularak fiziko mekanik özellikleri araştırılmıştır (THS 3-4).

**Novaphos (ABD)** firması düşük kalitedeki fosfat kayasının hammadde olarak kullanılması durumunda yüksek kalitede fosforik asit üretimini sağlayan ve J-Rox olarak adlandırılan, zararsız kalsiyum silikat bileşiği oluşturan, fosfojips oluşumunu önleyen bir proses geliştirmiştir (THS 8-9).

**Gujarat State Fertilizers & Chemicals (Hindistan)** firması yıllık 342000 ton üretim kapasiteli amonyum sülfat tesisi tasarlamıştır (THS 8-9).

**Prayon (Belçika)** dihidrat fosforik asit üretimi prosesinde, prosesin verimliliğini ve fosforik asidin  $P_2O_5$  içeriğini iyileştirici, sülfürik asit ve soğutma suyu tüketimlerini azaltacak DA-HF ve CPP gibi proses modifikasyonları geliştirmiştir (THS 8-9).

Toros Tarım A.Ş. ve Ankara Üniversitesi iş birliği ile TÜBİTAK 2244 projesi kapsamında fosfojipsin geri kazanımına yönelik proje çalışmaları yapılmaktadır. Bu çalışmalar ışığı altında fosfojipsin sürdürülebilir atık yönetimine yönelik farklı kurumlarla proje işbirliği çalışmaları devam etmektedir.

#### **2.4.b. Fosforik asit üretiminde bir yan ürün olarak açığa çıkan fosfojipsin, dögüsel ekonomiye geri kazandırılması yönünde yeni proseslerin geliştirilmesi ve/veya pilot gösterimlerinin yapılması**

**Toros Tarım A.Ş. ve Ankara Üniversitesi (Türkiye):** TÜBİTAK 2244 Sanayi Doktora programı kapsamında yürütölen “Gübre Üretim Prosesinde Atık Geri Dönüşümü ve Uygulamaları” projesi ile fosfojipsin dögüsel ekonomi ve Sürdürülebilir Kalkınma hedefleri çerçevesinde, malzemenin ikincil bir hammadde kaynağı olarak kullanımına yönelik çalışmalar gerçekleştirilmektedir (THS 4-5).

**Novaphos (ABD)** firması düşük kalitedeki fosfat kayasının hammadde olarak kullanılması durumunda yüksek kalitede fosforik asit üretimini sağlayan ve J-Rox olarak adlandırılan, zararsız kalsiyum silikat bileşiğı oluşturan, fosfojips oluşumunu önleyen bir proses geliştirmiştir (THS 8-9).

**Ostara Nutrient Recovery (Kanada):** Patentli “Pearl” teknolojisi ile proses suyundan struvit geri kazanımı gerçekleştirilmektedir. Fosfojips proses suyu işleminde %65 oranında fosfor geri kazanımı gerçekleştirilmiştir (THS 8-9).

**Thyssenkrupp (Almanya):** UHDE fosfojips işlemleri ünitesi ile %93-96 oranında  $P_2O_5$  geri kazanımı gerçekleştirilebilmektedir. Aynı işlem ile fosfojipsden %96 flor, 51 kadmiyum, %45 nikel, %27 krom giderimi sağlanmaktadır (THS 8-9).

International Fertilizer Association (IFA) tarafından 2016’da yayınlanan “Phosphogypsum: Sustainable Management and Use” (PG 1) raporunda dögüsel ekonomiye göre fosfojipsin bertarafı tercih edilmemekte, geri dönüştürülebilir hammadde olarak değerlendirilmesi önerilmektedir. Geri dönüşümde kullanımı için gerekli koşullar sağlanmıyorsa da, bu koşullar sağlanana kadar gelecekte kullanılmak üzere uygun bir şekilde depolanmalıdır. 2020 yılında yayınlanan “Phosphogypsum: Leadership, Innovation and Partnership” (PG 2) raporunda,

fosfojipsin sürdürülebilir kalkınma ilkesi kapsamında çeşitli yapı malzemeleri ve tarım sektöründe hammadde olarak kullanım potansiyeline sahip olduğu vurgulanmaktadır. Endüstriyel kuruluşların sürdürülebilir kalkınma ve çevresel-sosyal düzenlemelerin koşullarını sağlayabilmek adına daha aktif bir rol üstlenmekte olduğu da belirtilmiş, IFA üyesi firmalar tarafından fosfojipsin geri dönüşümü ile ilgili çalışmalar raporlanmıştır. IFA üyesi firmalar tarafından gerçekleştirilen saha çalışmaları detaylı incelendiğinde fosfojipsin,

- Tarım (toprak düzenleyici, gübre üretiminde Ca ve S hammadde kaynağı),
  - İnşaat ve yapı malzemeleri sektörü (alçı- ilgili, tuğla, fayans vb. yapımı) ve
  - Yol yapımı alanlarında geri kullanımı ile ilgili çalışmaların yoğun olduğu belirlenmiştir.
- Yukarıda belirlenen üç ana kullanım alanı dışında sınırlı da olsa nadir madencilik endüstrisinde dolgu maddesi olarak ve nadir toprak elementleri ekstraksiyonunda kullanımı mevcuttur.

Fosfojipsin tarımsal alanda kullanımı ile ilgili **Nutrien (Kanada)** firması tarafından toprak düzenleyici olarak kullanıldığı, çalışma sonunda sahada bulunan ağaçların daha hızlı büyüdüğü ve biyokütle olarak daha fazla ağırlığa sahip olduğu belirtilmiştir. **Eurochem (Rusya)** tarafından gerçekleştirilen saha çalışmasında da yine toprak düzenleyici olarak kullanılmış, fosfojips kullanımı ile toprağın tuzluluk oranının dengelendiği ve su geçirgenliğinin arttığı belirtilmiştir. Kazakistan'da gerçekleştirilen bir diğer çalışma sonunda fosfojips uygulaması ile topraktaki Mg toksisitesinin azaldığı gözlemlenmiştir. **OCP (Fas)** firması da fosfojipsi toprak ıslahında kullanmış, kontrol grubuna göre yapılan karşılaştırma sonucunda da uygulamanın yapıldığı bitkilerde makro/mikro besin miktarında ve genel üretim miktarında artış gözlemlenmiştir. **Paradeep Phosphate Ltd. (Hindistan)** ise fosfojips ve dolomit içeren, formülasyonunda %15 oranında kükürt bulunduran gübreyi (ticari adı: Zypmite) piyasaya sürmüştür. Brezilya'da da fosfojipsin granül/kompoze gübre üretiminde Ca ve S kaynağı olarak kullanımı ile ilgili çalışmalar mevcuttur.

Fosfojipsin alçı-ilişkili sektöründe kullanımı ile ilgili yapılan literatür çalışmalarında fosfojipsin ilgili hidrasyonu reaksiyonunda bağlayıcı ve kıvam verici olarak kullanıldığı ve fosfojipsin bu şekilde değerlendirilmesinin ekonomik ve ekolojik avantajlarının bulunduğu belirlenmiştir. Ülkemiz açısından bakılacak olduğunda, doğal alçı kaynaklarının bol ve ucuz olması sebebiyle, doğal alçı yerine kullanımı kısıtlı kalmaktadır. Ayrıca, fosfojipsin içerisindeki farklı bileşenlerin, farklı endüstriyel alanlarda kullanımı için uygunluğunu kısıtladığı da belirlenmiştir. Örnek olarak, içerisindeki  $SO_4$  miktarının beton yapısında deformasyona sebep olduğu,  $P_2O_5$  ve F miktarının ise betonun mukavemet değerlerini düşürdüğü belirlenmiştir. Konu ile ilgili en dikkat çekici çalışma **Prayon (Belçika)** ve **Knauf** işbirliği çalışmasıdır. Prayon'un HH prosesi ile ürettiği fosfojipsin Knauf'un spesifikasyonlarını karşıladığı ve Prayon tarafından üretilen fosfojipsin tamamının Knauf tarafından kullanıldığı belirtilmiştir. Aynı zamanda Çin, fosfojips

üretimi ve kullanımında dünyada ilk sırada yer almaktadır. IFA PG 2 raporunda belirtildiği üzere Çin, fosforik asit üretim kapasitesini üretim-geri kullanım arasında bir denge oluşturacak şekilde planlamıştır.

Fosfojipsin yol yapımında kullanılabilirliği ile ilgili çalışmalar yeni yeni ivme kazanmış olup, **PhosAgro (Rusya)** pilot ölçekli bir çalışma başlatmıştır. **OCP (Fas)** da fosfojips ile yapılan yolun çeşitli yazılımlar ve standartlar baz alınarak dayanıklılık testlerini gerçekleştirmiştir.

## **D. Ar-Ge ve Yenilik Sürecinde Bir araya Gelmesi Gereken Disiplinler ve Sektörler**

### **2.4.a. Katı/sıvı/gaz atıkların azaltılması ve geri kazanımına yönelik teknolojilerin geliştirilmesi**

Hedeflenen teknolojik ilerlemenin sağlanabilmesi için kimya mühendisi, ziraat mühendisi (fosfojipsin zirai amaçlı kullanımı), inşaat mühendisi (fosfojipsin ilgili vb. yapı malzemesi sektöründe kullanım çalışmaları), çevre mühendisleri gibi disiplinler ile proses-mühendislik tasarımı, atık yönetimi, dekarbonizasyon, sürdürülebilirlik kavramlarında deneyimli olan uzmanlar bir arada bulunmalıdır.

Fosforlu gübre üreticileri (fosfojips kullanımı), ilgili üreticileri (lokal çiftçiler ve gübre satış-pazarlama birimleri (fosfojipsin tarımsal faaliyetlerde kullanımı çalışmaları, saha etkinlik testleri) ve üniversitelerin bir arada çalışması gerekmektedir.

Olası akademik destek için üniversiteler, proje destekleri için TÜBİTAK'tan katkılar alınmalıdır.

### **2.4.b. Fosforik asit üretiminde bir yan ürün olarak açığa çıkan fosfojipsin, döngüsel ekonomiye geri kazandırılması yönünde yeni proseslerin geliştirilmesi ve/veya pilot gösterimlerinin yapılması**

Hedeflenen teknolojik ilerlemenin sağlanabilmesi için ziraat mühendisleri, kimya ve çevre mühendisleri bir arada bulunmalıdır. Gübre firmaları ve üniversite işbirlikleri ile ortak çalışmalar yapılmalıdır. Ar-Ge merkezleri, üniversiteler ve enstitülerden katkılar alınmalıdır.

## **E. Ar-Ge , Yenilik, Demonstrasyon İşbirliği Modeli ve Destek Mekanizması**

### **2.4.a. Katı/sıvı/gaz atıkların azaltılması ve geri kazanımına yönelik teknolojilerin geliştirilmesi**

Yukarıda belirtilen disiplinler ve sektörler konu ile ilgili proje çağrıları ile büyük ölçekli üretimlerde bir araya gelerek çalışmalıdır. Söz konusu projelerde destek mekanizması proje teşvik yöntemi ile olmalıdır.

**2.4.b. Fosforik asit üretiminde bir yan ürün olarak açığa çıkan fosfojipsin, dögüsel ekonomiye geri kazandırılması yönünde yeni proseslerin geliştirilmesi ve/veya pilot gösterimlerinin yapılması**

Üniversiteler ve kimyevi gübre üretici firmaları, Ar-Ge merkezleri tarafından kurulan genişletilmiş sera ve saha denemeleri ile demonstrasyon çalışmaları ile bir araya gelerek çalışmalıdır. Söz konusu projelerde destek mekanizması büyük kapsamlı ulusal ve uluslararası destekli projeler ile destek ve kaynak ile olmalıdır.

**F. Zaman ve Bütçe Tahminleri**

**2.4.a. Katı/sıvı/gaz atıkların azaltılması ve geri kazanımına yönelik teknolojilerin geliştirilmesi**

Belirlenen Ar-Ge ve yenilik konularının Ar-Ge altyapısı 1-3 yıllık süre kapsamında hazırlanabilir. Belirtilen kritik ürün/teknoloji, Ar-Ge altyapı çalışmaları sonrası pilot tasarım, tesis kurulumu vb. çalışmaları takiben 3-5 yıl içerisinde gerçekleştirilebilir. Söz konusu olası Ar-Ge altyapı faaliyetleri, temel mühendislik tasarımı, pilot tesis kurulumu vb. çalışmalar kapsamında yaklaşık 1.000.000 USD tahmini bütçe gerekmektedir.

**2.4.b. Fosforik asit üretiminde bir yan ürün olarak açığa çıkan fosfojipsin, dögüsel ekonomiye geri kazandırılması yönünde yeni proseslerin geliştirilmesi ve/veya pilot gösterimlerinin yapılması**

Belirlenen Ar-Ge ve yenilik konuları kapsamında gerçekleştirilecek sera, saha ve analiz süreçlerinden en az 4 yıl tekrarlanabilir denemeler ile anlamlı sonuçlar alınması beklenmektedir. Fosfojipsin ikincil kaynak olarak değerlendirilmesi hususunda yapılan çalışmalar için Ar-Ge altyapısının kurulumu 1-3 yıl içerisinde yapılabilir. Kritik ürün/teknoloji kapsamında altyapı çalışmaları, tasarım ve test çalışmaları uzun vadede hedeflenmelidir.

Söz konusu olası Ar-Ge altyapı faaliyetleri, temel mühendislik tasarımı, pilot tesis kurulumu vb. çalışmalar kapsamında yaklaşık 1.000.000 USD tahmini bütçe gerekmektedir.

**G. Teknolojik İlerlemenin Sağlanmasında Kritik Hususlar**

Fosfojips hususunda malzemenin içerdiği ağır metaller gibi safsızlıklardan dolayı, çevreye çok olumsuz etkilerinin olduğu vb. bir görüş hakimdir. Bu anlamda, dünyada bu etkileri inceleyen ve belirli ölçüde kullanımına izin veren kurum ve kuruluşlar bulunmaktadır. Türkiye’de global ölçekte çalışmalar yapan ve yayınlar hazırlayan (USEPA vb.) kurumların raporları da dikkate alınarak yönetmeliklerde düzenleme ihtiyacı bulunmaktadır.

### **Mevzuat ve Yasal Düzenlemeler**

Fosfojips alanında mevzuat içeriği kısıtlıdır, düzenlemelere ihtiyaç duyulmaktadır. Bununla birlikte, Fosfojips yapısında bulunan ağır metaller, geri kullanımına yönelik alanlarda büyük bir kısıt teşkil etmektedir ve bu safsızlıklar sebebiyle insanlarla birebir temas edeceği alanların yapımında kullanılabilmesi için radyonüklid değerinin belirlenmiş limit değerler altında olması gerekmektedir [20]. Fosfojipsin tarımsal amaçlı kullanılabilmesi için de <sup>226</sup>Ra konsantrasyonunun 370 Bq/kg değerinin altında olması gerekmektedir [21]. Fosfojipsin dögüsel ekonomiye sağlayacağı katkıya paralel olarak kurumsal işbirliklerini teşvik edici, atığın alternatif kullanımını teşvik edici destek mekanizmaları geliştirilmelidir.

### **Teknik Altyapılar**

Fosforik asit üretim teknolojileri lisansör firmaların kurulumu ile gerçekleşmektedir. Fakat, yaş proseste kullanılan fosfat kayası içeriğinin değişkenlik göstermesi ile oluşan fosfojips içeriği de değişmektedir. Dolayısıyla, fosfojips belirli bir formülasyon ile belirtilemeyen, hammadde-spesifik bir malzemedir. Bu konuda, malzemenin üretilmiş olduğu tesis koşulları ve hammadde göz önünde bulundurulmalıdır.

### **İnsan Kaynakları**

Üniversitelerde gerçekleştirilen deneysel ölçekte çalışmalar genellikle büyük ölçeğe scale-up düşünöldüğünde ekonomik anlamda fizibil olmayan bulgulardır, dolayısıyla büyük ölçeğe taşınması hususunda handikaplar bulunmaktadır. Ayrıca, sadece fosfojips alanında uzmanlaşmış ve bu alanda endüstriyel ölçekte hizmet edebilecek çalışmaları gerçekleştiren akademisyen sayısı da azdır. Sanayide ise fosforik asit üretimi hususunda üretim mühendisleri teknik donanıma sahiptir. Fosfojipsin çevresel anlamda periyodik kontrollerini gerçekleştiren çevre uzmanları da mevzuat ve yönetmelikler hususunda gerekli bilgiye sahiptir. Önemli olan, üniversite-sanayi işbirliği modellerinde her iki kuruma da entegre olabilecek çalışmaların gerçekleştirilebiliyor olmasıdır.

### **Destek ve Teşvikler**

Hedeflenen ilerlemenin sağlanması ve sanayinin bu ilerlemeye entegre edilebilmesi için geliştirilmesi planlanan teknolojilerin Ar-Ge altyapılarını sürdürmek amacıyla gerekli olan bütçe desteğini sağlayabilecek ulusal ve uluslararası proje çağrıları gibi teşviklere ihtiyaç duyulmaktadır.

#### **Bölüm 2.4. Referans Listesi**

- [1] Wang, H., You, X., Tian, J., Cheng, X., Wang, J. (2021). “Study on pretreatment of phosphogypsum and preparation of non burning building materials”, IOP Conference Series: Earth and Environmental Sciences, 668, 012076.
- [2] Yang, L., Zhang, Y., Yan, Y. (2016). “Utilization of original phosphogypsum as raw material for the preparation of self-leveling mortar, Journal of Cleaner Production, 127, 204-213.
- [3] Canovas, C.R., Perez-Lopez, R., Macias, F., Chapron, S., Nieto, J. M., Pellet-Rostaing, S. (2017). “Exploration of fertilizer industry wastes as potential source of critical raw materials”, Journal of Cleaner Production, 143, 497-505.
- [4] EPA, fosforik asit dokümanı, [https://www.epa.gov/sites/default/files/2020-09/documents/8.9\\_phosphoric\\_acid.pdf](https://www.epa.gov/sites/default/files/2020-09/documents/8.9_phosphoric_acid.pdf) (son erişim tarihi: 22.12.2022)
- [5] World Fertilizer Magazine, Mart-Nisan 2017.
- [6] Cao, Y., Cui, Y., Yu, X., Li, T., Chang, I., Wu, J. (2021). “Bibliometric analysis of phosphogypsum research from 1990 to 2020 based on literatures and patents”, preprint, Environmental Science and Pollution Research.
- [7] Ennaciri, Y., Bettach, M. & El Alaoui-Belghiti, H. 2020. Conversion of Moroccan phosphogypsum waste into nano-calcium fluoride and sodium hydrogen sulfate monohydrate, Journal of Material Cycles and Waste Management, 22, 2039–2047.
- [8] Kandil, A., Cheira, M. F., Gado, H. S., Soliman, M. H., Akl, H. M. (2017). “Ammonium sulfate preparation from phosphogypsum waste”, Journal of Radiation Research and Applied Sciences, 10, 24-33.
- [9] Wu, S., Wang, L., Zhao, L., Zhang, P., El-Shall, H., Moudgil, B., Huang, X., Zhang, L., 2018. Recovery of Rare Earth Elements from Phosphate Rock by Hydrometallurgical Process: A Critical Review. Chemical Engineering Journal, 335, 774-800.
- [10] Chernysh, Y., Yakhenko, O., Chubur, V., Roubik, H. 2021. Phosphogypsum recycling: A review of environmental issues, current trends, and prospects”, Applied Sciences, 11 (4), 1575.
- [11] Papageorgiou, F., Golelitsas, A., Mertzimekis, T. J., Xanthos, S., Voulgaris, N., Katsantonis, G., 2016. Environmental impact of phosphogypsum stockpile in remediated Schistos waste side (Piraeus, Greece) using a combination of  $\gamma$ - ray spectrometry with geographic information systems, Environmental Monitoring Assesments, 188, 133- 147.

- [12] Komnitsas, K., Paspaliaris, I., Lazar, I., Petrisor, I. G., 1999. Remediation of phosphogypsum stacks: Field pilot scale application, *Process Metallurgy*, 645-654.
- [13] Canovas, C.R., Chapron, S., Arrachart, G., Pellet- Rostaing, S. 2019. Leaching of rare earth elements (REEs) and impurities from phosphogypsum: a preliminary insight for further recovery of critical raw materials, *Journal of Cleaner Production*, 219, 225-235.
- [14] Ryckhov, V. N., Kirillov, E. V., Kirillov, S. V., Semenishchev, V. S., Bunkov, G. M., Botalov, M. S., Malyshev, A. S. 2018. Recovery of rare earth elements from phosphogypsum, *Journal of Cleaner Production*, 196, 674-681.
- [15] Ennaciri, Y., Bettach, M., Cherrat, A., Zegzouti, A. 2016. Conversion of phosphogypsum to sodium sulfate and calcium carbonate in aqueous solution, *Journal of Material and Environmental Sciences*, 7 (6), 1925-1933.
- [16] Min, C., Shi Y., Liu, Z. 2021. Properties of cemented phosphogypsum backfill in case of partially substitution of composite Portland cement by ground granulated blast furnace slag, *Construction and Building Materials*, 305, 124786.
- [16] Hammi, K. M., Hammi, H., Hamzaoui, A. H. 2021. Use of mixture design approach for the optimization and performance of cost- effective cementitious quaternary system: Portland cement- fly ash- silica Fume- phosphogypsum, *Chemistry Africa*, 00262.
- [17] Erdem, E., Fosfojips'in Çeşitli Çimentoların Hidratasyonuna Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun, 1993. Erdem 1993
- [18] Nurhayat Değirmenci N, Fosfojips Kalsinasyonunun Fosfojips-Uçucu Kül Karışımlarının Basınç Dayanımlarına Etkisi Değirmenci 2004, Conference: Türkiye İnşaat Mühendisliği 16. Teknik Kongresi, 1-3 Kasım 2001, Ankara
- [19] Keleş, G. (2004). *Borojips ve Fosfojipsin Çimento Sanayiinde Kullanılması* (Doctoral dissertation, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas). Keleş 2008 literatürleri buraya eklenmemiş.
- [20] International Fertilizer Association (IFA), 2016. Phosphogypsum: sustainable management and use report.
- [21] United States Environmental Protection Agency. National residential radon survey: Summary report. Washington, DC: Office of Radiation and Indoor Air; EPA 402-R-92-011; 1992b.



**Teknolojik Hedef 3: İLERİ TEKNOLOJİ GÜBRELER**

**Gübrelerle uygulanan besin elementlerinden meydana gelen kayıpların azaltılması ve kullanım etkinliğinin artırılması amacı ile yeni teknoloji ve yeni nesil gübrelerin geliştirilmesi**

### **Kritik Ürün/Teknoloji 3.1.**

**Gübre etkinliğini artıracak yeni nesil aktivatör, kaplama, inhibitör ve benzeri maddelerin üretimine ve uygulamalarına yönelik teknolojilerin geliştirilmesi**

### **Öncelikli Ar-Ge ve Yenilik Konuları**

**3.1.a. Bu kapsamda kullanılacak olan girdilerin öncelikli olarak yerel kaynaklarla ve/veya yerli üretim ile üretilme olanaklarının araştırılması**

#### **A. Teknik Açıklamalar, Yenilikçi Özellikler, Hedeflenen Performans ve Metrikler**

Son yıllarda gerek gübre üreticileri ve gerekse tarımsal girdi alanında faaliyet gösteren teknoloji şirketleri, gübrelerin ve özellikle de azotlu gübrelerin etkin kullanımı üzerinde yoğunlaşmışlardır. Bu çalışmalar konvansiyonel gübrelerin iyileştirilmesinin yanında bazı özel ürünlerin geliştirilmesini sağlamıştır. Konvansiyonel gübrelerin iyileştirilmesi ile ilgili çalışmalar fiziksel ve kimyasal özellikleri ile çevre açısından güvenilirliği, mekanik stabilitealarının artırılması, tozluluğun azaltılması, kekleşmenin önlenmesi ve higroskopik özelliklerinin iyileştirilmesi konularını kapsamaktadır (Trenkel et al., 1988, Bröckel and Hahn, 2004). Bitki besin maddelerinin kullanım etkinliğini fiziksel ve kimyasal özellikler yanında kullandıkları bölgenin iklimi (yağış, sıcaklık vb) ve toprak özellikleri (tekstür, pH, organik madde düzeyi, toprağın strüktürel durumu vb.) de belirlemektedir. Azotlu gübrelerde kimyasal stabilitenin çok düşük olması, bilinen etkinlik oranlarının üzerine çıkmayı güçleştirmektedir. Bu nedenle sadece iyi fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip gübrelerin yanında iklimin ve fiziksel-kimyasal toprak özelliklerinin olumsuz etkilerini azaltarak, özellikle azot kullanım etkinliğini artıracak ve kayıpları azaltacak kaplama, inhibitör ve enzim teknolojileri içeren ileri teknoloji gübreler geliştirilip, yeni teknolojiler üzerine araştırmaların yoğunlaşması gerekmektedir.

İleri teknoloji gübreler; çoğunlukla toprak ve iklim koşullarının etkisine bağlı olarak, başta azot olmak üzere yıkanma-gaz şeklinde kayıplar, fiksasyon ve yarayışız kimyasal yapıya dönüşme gibi bitki besin maddesi kayıplarını azaltmaya ve gübre etkinliklerini artırmaya yönelik

geliştirilen ve bunun için enzim, inhibitör ve çeşitli kaplama malzemelerini içeren yüksek teknoloji gerektiren gübrelerdir.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change - Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli), 2014 raporuna göre tarımsal faaliyetlerin sera gazı emisyonları içindeki payı %11-15 olup, bunun sadece dörtte biri N<sub>2</sub>O emisyonundan gelmektedir. N<sub>2</sub>O'nun küresel ısınma faktörü 265 CO<sub>2</sub> eşdeğeridir. Gübre uygulamalarının toplam sera gazı emisyonundaki payı ise %1-1,5 civarında olmasına karşın, eğer hiç gübre kullanılmaz ise sera gazı emisyonlarının %50 oranında azalacağı hesaplanmaktadır. Dolayısıyla gübre uygulamalarının sera gazı emisyonları üzerindeki doğrudan etkisi düşük, dolaylı etkisi yüksektir. Fakat artan dünya nüfusu dikkate alındığında gübre kullanımının azaltılması ya da gübre kullanımından vazgeçilmesi mümkün gözükmemektedir. Karbon salımını azaltmayı hedefleyen "The Swiss Carbon Offset Program" programı gübre kullanımına bağlı karbon salımının üreaz enzim ve nitrifikasyon inhibitörlü gübrelerin kullanımıyla doğrudan emisyon faktörünün (EF) N<sub>2</sub>O için %0.25 (IPCC EF:%1), dolaylı emisyon faktörünün ise %7 (IPCC EF:%30) oranında azaldığını bildirmiştir. Program sonuçları ileri teknoloji gübreler sınıfına giren sadece üreaz ve nitrifikasyon inhibitörlü gübre kullanımı ile N<sub>2</sub>O için IPCC referans değerinin %75 oranında azaltılabileceğini göstermektedir. Sonuç olarak gübreler ile verilen bitki besin maddesi alımının maksimum, kayıplarının ise minimum düzeyde kalacağı teknolojilerin geliştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

Bitki besin maddesi kayıpları, tarımsal üretimde maksimum verim ve kaliteyi engelleyen önemli bir faktördür. Besin elementi kayıplarına yol açan koşulları geçici olarak ortadan kaldırmaya yönelik (inhibitör, kaplama malzemeleri) veya bitkilerin besin elementi kullanımını teşvik edecek teknolojiler (enzimler) kayba uğrayacak besin elementlerinin de üretime katılmasını sağlayacak dolayısıyla sera gazı emisyonlarının azalmasına önemli katkı sağlayacaktır. Özellikle azot bu kayıplardan en fazla etkilenen bitki besin maddesidir. Gübrelerle verilen azotun kimyasal stabilitesinin düşük olması, uygulama sonrası toprak ve iklim koşullarına bağlı olarak ve çoğunlukla da gaz şeklinde olmak üzere farklı oranlarda kaybolmaktadır. Özellikle N<sub>2</sub>O'nun yüksek küresel ısınma faktörüne sahip olması nedeniyle kayıplarının kontrol altına alınması hem küresel ısınma hem de ekonomik açıdan önem arz etmektedir.

Kurak koşullara bağlı olarak ürenin hidrolizinin gecikmesi, ürede bulunan amid azotunun [(NH<sub>2</sub>)-N] amonyak (NH<sub>3</sub>) şeklinde kaybına neden olmaktadır. Ürenin hidrolizi sonucu ya da organik gübrelerden amonifikasyon sonucu veya kimyasal gübrelerle verilen amonyum iyonları (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) Nitrosomonas cinsine ait bakteriler tarafından öncelikle toprak sıcaklığına bağlı olarak birkaç hafta içinde yükseltgenir. Bu bakteriler amonyum iyonlarını önce nitrite (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) daha sonra da Nitrobacter ve Nitrosolubus türü bakteriler tarafından nitrate (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) dönüştürmektedir.

Nitratın kolloidlerce tutulmaması yıkanma veya sızma yoluyla kaybına yol açarken, sulama ve yağışa bağlı olarak toprakta havasız koşulların oluşmasıyla da, denitrifikasyon yoluyla azotun  $N_2O$ ,  $NO_x$  ve  $N_2$  formunda gaz şeklinde kayıplarına neden olmaktadır.

Problemin temelini oluşturan bu kayıpların azaltılması doğrudan sera gazı emisyonlarının da azalmasını sağlayacaktır. Bu amaçla geliştirilen ve üzerinde hala araştırmaların devam ettiği teknolojiler aşağıdaki başlıklar altında verilen önemli Ar-Ge konularıdır.

1. Nitrifikasyon inhibitörlü gübreler
2. Üreaz inhibitörlü gübreler
3. Nano Gübreler
4. Yavaş ve kontrollü salımlı gübreler

## **ÖNCELİKLİ AR-GE VE YENİLİK KONULARI**

### **3.1.a. Bu kapsamda kullanılacak olan girdilerin öncelikli olarak yerel kaynaklarla ve/veya yerli üretim ile üretilme olanaklarının araştırılması**

#### **Sentetik inhibitörler**

Nitrifikasyon inhibitörleri; Nitrifikasyonu geçici olarak durduran veya azaltan organik ve inorganik kimyasallardır.

Üreaz enzim inhibitörleri; Üreaz enzim aktivitesini geçici olarak durduran veya azaltan organik ve inorganik kimyasallardır.

#### **Biyolojik inhibitörler**

Nitrifikasyon inhibitörleri; Nitrifikasyonu geçici olarak durduran veya azaltan bitkisel veya hayvansal kökenli organik bileşikler veya yağlardır.

Üreaz enzim inhibitörleri; Üreaz enzim aktivitesini geçici olarak durduran veya azaltan bitkisel veya hayvansal kökenli organik bileşikler veya yağlardır.

Nitrat ve nitrit redüktaz enzim aktivatörleri; Nitrat ve nitritin bitki dokularında amonyağa dönüşümünü teşvik eden enzimlerdir.

Bilinen ve ticari olarak satılan bazı nitrifikasyon, üreaz enzim inhibitörleri ve bitkisel veya hayvansal kökenli biyolojik nitrifikasyon inhibitörü olarak kullanılacak bileşikler Çizelge 3.1, 3.2, ve 3.3'de verilmiştir.

**Çizelge 3.1. Bilinen Sentetik Nitrifikasyon İnhibitörleri**

Kimyasal İsmi	Genel İsmi	Geliştiren
2-chloro-6-(trichloromethyl-pyridine)	Nitrapirin (N-Serve)	Dow Chemical
4-amino-1,2,4-6-triazole-HCl	ATC	Ishihada Industries
2,4-diamino-6-trichloro-methyltriazine	CI-1580	American Cyanamid
Dicyandiamide	DCD	Showa Denko
Thiourea	TU	Nitto Ryuso
1-mercapto-1,2,4-triazole	MT	Nippon
2-amino-4-chloro-6-methyl-pyrimidine	AM	Mitsui Toatsu
3,4-dimethylpyrazole phosphate	DMPP	BASF
1-amide-2-thiourea	ASU	Nitto Chemical Ind.
Ammonium thiosulphate	ATS	
1H-1,2,4-triazole	HPLS	
5-ethylene oxide-3-trichloro-methyl-1,2,4-thiodiazole	Terrazole	Olin Mathieson
3-methylpyrazole	3-MP	
1-carbamoyl-3-methyl-pyrazole	CMP	
3,5 dimetil pirazolyum glisero borat	DMPB	Doğatech A.Ş.
Potasyum azid	KN <sub>3</sub>	

Çizelge 3.2’de verilen nitrifikasyon inhibitörleri içinde Nitrapirin Amerika Birleşik Devletleri’nde yaygın olarak kullanılan bir nitrifikasyon inhibitörüdür. Avrupa Birliği’nde tescilli değildir. Gübre Yönetmeliği’ne giremediği için Avrupa’da kullanılması mümkün değildir. Aynı şekilde Türkiye’de de Nitrapirin inhibitörü içeren gübrelerin tescili ve kullanımı mümkün değildir.

Nitrapirin etkinliği ile ilgili de önemli endişeler vardır. Nitrapirinin buharlaşma kayıplarının yüksek olması uzun süre etkinliğini sınırlandırmaktadır.

DCD Avrupa Birliği ve Türkiye’de dahil olmak üzere tüm dünyada yaygın olarak kullanılan nitrifikasyon inhibitörlerinin başında gelmektedir. Tam etkinlik sağlamak için gübredeki toplam azotun %5 i kadar DCD kullanımı önerilmektedir. Yüksek miktarda DCD kullanımı ise özellikle yaprağı yenen bitkilerde fitotoksisiteye neden olmaktadır.

DMPP Türkiye dahil dünyada yaygın olarak kullanılan en etkili nitrifikasyon inhibitörlerinden biridir. 3,4 dimetil pirazol ile polifosforik asidin tuzu olan inhibitörün en önemli avantajı buharlaşma kayıplarının düşük olmasıdır. 2017 yılında patent süresi sona eren bu inhibitör ülkemizde faaliyet gösteren Toros, İgşaş ve Gübretaş gibi büyük gübre üreticisi şirketler tarafından da ileri teknoloji gübreler grubunda üretilmekte ve pazara sunulmaktadır. Bu şirketler düşük üretim maliyetinden dolayı DMPP inhibitörünü Çin’den ithal etmektedirler.

DMPB bu inhibitörler içerisinde yerli ve patent koruması devam eden tek nitrifikasyon inhibitörüdür. Bir akademik girişim şirketi olan Doğatech A.Ş. ürünün patent sahibidir. DMPB; 3,5 dimetil pyrasol ve gliserol-borik asit tepkimesi ile elde edilen gliseroborik asidin tuzudur. Gliseroborik asit yapısından dolayı aynı zamanda üreaz enzim inhibitörü olarak da görev yapmaktadır.

### Çizelge 3.2. Bilinen Üreaz Enzim İnhibitörleri

Kimyasal İsmi	Genel İsmi	Üretici
N-(n-Butyl) thiophosphoric triamide	NBPT	Agratain
N-(propyl) thiophosphoric triamide	NPPT	BASF
Phenyl phosphoramidate	PPD/ PPDA	Kiss and Simihaian
N-(2-nitrophenyl) phosphoric acid triamide	2-NPT	-
Kükürt kaplama		-
Kükürt/bor kaplama		-

NBPT ve NPPT bilinirliği fazla olan ve dünyada en fazla kullanılan üreaz enzim inhibitörleridir. Üreye toplam azot içeriğinin %0.2-0.5'i kadar kaplama yapılarak kullanılmaktadır. Toros, İgşaş ve Gübretaş gibi büyük üreticilerin yanı sıra orta ve küçük ölçekte şirketler tarafından üretimi yapılan veya doğrudan kaplanmış gübre şeklinde ithal edilen bir üründür. Patent süresi bitmiş olan bu inhibitörlerin de ülkemizde üretimi yapılamamaktadır. Avrupa ve ABD'ye kıyasla daha ucuz olduğu için çoğunlukla Çin'den ithal edilmektedir.

**Çizelge 3.3. Biyolojik Nitrifikasyon İnhibitörleri (BNİ) (Sathukhan ve ark., 2022)**

Bileşik	Kaynağı	ED <sub>80</sub> ED <sub>80</sub> ; etkili doz (mg/ml)
Brachialactone	<i>Brachiaria humidicola</i>	10.6
Methyl p-coumarate	<i>B. humidicola</i> root tissue	<40.0
Methyl ferulate	<i>B. humidicola</i> root tissue	<20.0
Linoleic acid	<i>B. humidicola</i> shoot tissue	16.0
Sorgoleone	<i>Sorghum</i> root exudate	12.0
MHPP	<i>Sorghum</i> root exudate	>120.0
Sakuranetin	<i>Sorghum</i> root exudate	0.6
Limonene	<i>Pinus ponderosa</i> leaf	NA
Neem oil	<i>Neem</i>	

Çizelge 3.3'de verilen biyolojik nitrifikasyon inhibitörleri içinde neem ağacı (tesbih ağacı) çekirdeklerinden elde edilen Neem Oil inorganik gübrelere kaplanarak uygulanabilen ve dünyada kullanımı yaygınlaşan bir üründür. Sentetik nitrifikasyon inhibitörlerinin maliyetlerinin yüksek olması kullanımını sınırlandıran en önemli faktördür. Sentetik nitrifikasyon inhibitörlerinin etkinlik süresi ise biyolojik nitrifikasyon inhibitörlerine göre oldukça düşüktür. Sentetik nitrifikasyon inhibitörleri toprak sıcaklığına bağlı olarak 4-12 haftaya kadar etkili olurken biyolojik nitrifikasyon inhibitörlerinin etkinliği 12 aya kadar uzamaktadır. Hem maliyetlerinin düşük olması hem de etkinliklerinin yüksek olması biyolojik nitrifikasyon inhibitörleri üzerinde araştırma ve ürün geliştirme çalışmalarının desteklenmesi gerektiğini göstermektedir.

İleri teknoloji gübreler ile ilgili en önemli sorun birçoğunun patentli teknoloji olup, ticari açıdan koruma altında olmalarıdır. Patent süresi bitmiş olan teknolojilerde ise üretim bilgisi yetersizliği

veya girişim maddelerinin de ithalata dayalı olması bir diğer sorundur. Bununla birlikte yeni bir nitrifikasyon veya üreaz enzim inhibitörünün geliştirilmesi için birçok koşulun yerine getirilmesi gerekmektedir. Oldukça zaman alan ve pahalı bir süreç olan ürün geliştirme aşamalarında elde edilen ürünün aşağıdaki özelliklere sahip olması gerekmektedir (Trenkel, 2010). Bu nedenle bu kapsamda yapılacak çalışmalara öncelik ve destek verilmelidir;

1. Toprak verimliliği açısından yan etkilere sahip olmamalıdır.
2. Toprakta parçalanan inhibitörün toksik maddelere dönüşmemesi gerekir.
3. Bitkiler, hayvanlar ve insanlara toksik olmaması gerekir.
4. Üretim süreçleri ekonomik ve çevresel açıdan kabul edilebilir olmalıdır.
5. Üretim depolama, taşıma ve kullanım süreçleri boyunca stabil olmalıdır.
6. Maliyetleri çiftçiler tarafından kabul edilebilir düzeyde olmalıdır.
7. Kaplanacak gübreler ile uyumlu olması gereklidir.

Biyolojik nitrifikasyon inhibitörleri üzerine yapılacak çalışmalarda kullanılmak üzere ülkemizde bulunan ve etkili olabilecek bitki türleri ile ilgili yeterli çalışma bulunmamaktadır. Öncelikli Ülkemizde biyolojik nitrifikasyon inhibitörü özelliği bulunan yerel bitki çeşitlerinin belirlenmesi ve nitrifikasyon inhibitörü şeklinde ticari boyutta kullanım olanaklarının araştırılması önem arz etmektedir.

Patent tescili alabilecek yeni teknolojilerin geliştirilmesi veya patent süresi sona ermiş teknolojilerde üretim bilgisi yaygınlaştırılarak üretime alınması, bilinen inhibitörlerinin yerli sentezlerinin yapılabilmesi, sentetik inhibitörler için önemli Ar-Ge konularıdır. Yeni bir nitrifikasyon inhibitörünün geliştirilmesi oldukça uzun zaman alacaktır. Fakat mevcut ve patent süresi bitmiş inhibitörlerin ülkemizde sentezlenmesi ile ilgili projelerin ve sentezlenecek bu inhibitörlerin, girişim kimyasallarının da ülkemizde üretimiyle ilgili konuların desteklenecek proje konularına dâhil edilmesi gerekmektedir. Dünyada yaygın olarak kullanılan ve inorganik gübre yönetmeliğinde de kaydı bulunan bu kimyasalların bütünüyle yurt dışından ithal ediliyor olması, sera gazı emisyonlarının azaltılmasında önemli olan bu teknolojilerin kullanımını sınırlandırmaktadır.

### **B. Dünyada ve Türkiye’de Teknolojik Hazırlık Seviyeleri**

#### **3.1.a. Bu kapsamda kullanılacak olan girdilerin öncelikli olarak yerel kaynaklarla ve/veya yerli üretim ile üretilme olanaklarının araştırılması**

Sentetik inhibitörler Türkiye’de dahil birçok ülkede üretilip ticari ölçekte kullanılmaktadır. Yeni inhibitörler ve bu teknoloji konusunda Ar-Ge çalışmaları da devam etmektedir. Bu nedenle THS 1 ile 9 arasında değişmektedir. Biyolojik inhibitörler de ise sınırlı sayıda ticarileşmiş ürün



bulunmaktadır. Araştırmalar ve ürün geliştirme çalışmaları da devam etmektedir. THS biyolojik inhibitörler için 1-8 arasındadır.

## **C. Dünyada ve Türkiye'deki Mevcut Duruma İlişkin Başarılı Örnekler**

### **3.1.a. Bu kapsamda kullanılacak olan girdilerin öncelikli olarak yerel kaynaklarla ve/veya yerli üretim ile üretilme olanaklarının araştırılması**

Nitrifikasyon inhibitörlerinden, Nitrapyrin, DMPP, DCD ve DMPB, sırasıyla Agrotain, BASF, TİMAC ve Doğatech A.Ş. şirketleri tarafından ticari ölçekte üretilmektedir. Benzer Şekilde NPPT (Agrotain), NBPT (BASF) ve Kükürt kaplı üre (YARA Amidas) de ticari ölçekte üretilip satılmakta ve tüm dünyada çiftçiler tarafından kullanılmaktadır. Bu nedenle nitrifikasyon ve Üreaz enzim inhibitörlerinde THS 8-9 düzeyindedir.

Nitrifikasyon inhibitörü ve üreaz inhibitörü (NBPT) ve nitrifikasyon inhibitörlü gübre üretimi yapan (Nitrapyrin) Agrotain (USA), üreaz (NPPT) ve nitrifikasyon inhibitörü (DMPP) üretimi ve inhibitörlü gübre üretimi yapan BASF, Entec ve Compo firmaları (Almanya), nitrifikasyon inhibitörlü gübre üretimi (DCD) yapan TİMAC (Fransa) dünyadaki başarılı girişimlerdir.

Erciyes Üniversitesi Teknopark'ında 2015 yılında kurulan DOĞATECH A.Ş. 2021 yılında patent tescilini aldıkları 3,5 dimetil pirazolyum glisero borat (DMPB) isimli nitrifikasyon inhibitörü ile nitrifikasyon inhibitörlü gübre üretimi yapmaktadır. Doktora ve yüksek lisans düzeyinde de olmak üzere 10 beyaz yaka ve 11 adet mavi yaka çalışanı olan şirket, 2021 yılı sonunda 5.500 ton nitrifikasyon inhibitörlü gübre üretimi ve satışı yapmıştır.

## **D. Ar-Ge ve Yenilik Sürecinde Biraraya Gelmesi Gereken Disiplinler ve Sektörler**

### **3.1.a. Bu kapsamda kullanılacak olan girdilerin öncelikli olarak yerel kaynaklarla ve/veya yerli üretim ile üretilme olanaklarının araştırılması**

Gerek sentetik gerekse biyolojik inhibitörlerin geliştirilmesinde birçok disiplin bir arada çalışmalıdır. Sentetik inhibitör adaylarının veya var olan teknolojilerinin kullanılması ve üretim bilgisinin geliştirilebilmesi için organik kimya, analitik kimya ve kimya mühendisliği alanında uzmanların, inhibitör etkinliklerinin belirlenmesi için eczacılık alanında uzmanların, potansiyel biyolojik inhibitör türlerinin belirlenmesi için biyologların ve tarımsal üretimde etkinliklerinin belirlenmesi için ise toprak bilimi ve bitki besleme uzmanlarının bir araya gelip ortak projelerde görev alması gereklidir.

Gübre sektörü geliştirilecek veya yeniden sentezlenecek ürünlerin hacimli üretimini yapacak ve bayiler aracılığı ile çiftçilere ulaşımını sağlayacak temel özel sektör kuruluşudur. İnhibitör

sentezi için gerekli girişim kimyasallarının elde edilmesi için de kimya sektöründen kuruluşların bir arada çalışması gereklidir.

Üniversiteler, Ar-Ge merkezleri ve araştırma enstitüleri de ürün geliştirme ve sera-tarla denemelerinde bir araya gelebilecek veya bireysel destek verecek kuruluşlardır. Araştırma projelerinin desteklenmesinde ise TÜBİTAK, KOSGEB ve TAGEM destekleri verebilir.

## **E. Ar-Ge , Yenilik, Demonstrasyon İşbirliği Modeli ve Destek Mekanizması**

### **3.1.a. Bu kapsamda kullanılacak olan girdilerin öncelikli olarak yerel kaynaklarla ve/veya yerli üretim ile üretilme olanaklarının araştırılması**

Öncelikle inhibitörler konusunda ürün geliştirmiş veya bu konuda araştırmalar yapmış akademik ve Ar-Ge personelinin sempozyumlar veya kongreler ile bir araya getirilip, araştırmacı gruplarının oluşturulmasında potansiyel adayların belirlenmesi ve birbirleri ile olabilecek birlikteliklerinin sağlanması gereklidir. Yapılacak olan çalıştaylar ile araştırma konularının detayları ve yol haritası ortaya konmalıdır. Bu alanda yapılacak araştırmalar laboratuvar, üretim Ar-Ge'si ve arazi çalışmalarını kapsayan orta ölçekli projeler şeklinde yürütülmelidir.

Konu ile ilgili temel araştırmaların ardından ürün prototiplerinin elde edilmesi, sera ve arazi koşullarında denemelerinin yapılması ve zaman ve maliyet açısından etkin üretim hattının geliştirilmesi için belirlenecek araştırma konularında finansal destek kalemleri oluşturulmalıdır.

## **F. Zaman ve Bütçe Tahminleri**

### **3.1.a. Bu kapsamda kullanılacak olan girdilerin öncelikli olarak yerel kaynaklarla ve/veya yerli üretim ile üretilme olanaklarının araştırılması**

Hedef inhibitörlerin sentezlenmesi veya var olan inhibitörlerin üretim bilgisinin kazanılması için öncelikle girişim kimyasallarının belirlenmesi ve laboratuvar koşullarında sentezlerinin yapılarak prototip ürünlerin elde edilmesi, ticari ölçekte üretimi için üretim Ar-Ge 'sinin yapılması ve zaman maliyet etkili üretim hattının detaylarının oluşturulması konuları en az 2 yıllık bir süreç olacaktır. Prototip ürünün üretiminden sonra sera veya tarla denemeleri ile en az 2 yıl sürecek agronomik çalışmalar da dikkate alındığında 3-5 yıl sürecek projelerin başarıya ulaşacağı söylenebilir.

Araştırma konularının genişliği ve farklı disiplinlerin farklı koşullarda çalışacağı dikkate alındığında orta vadede hedefe ulaşılabilir. Laboratuvar çalışmaları, prototip ürün eldesi, üretim hattının pilot ölçekte geliştirilmesi ve agronomik denemeler dikkate alındığında 5-10 milyon TL Ar-Ge konularına bütçe ayrılmalıdır. Herhangi bir Gübre Şirketinin en az 30.000

Ton/Yıl tam otomasyon inhibitörlü gübre üretimi için yapacağı yatırım ise 15-20 milyon TL civarında olacaktır.

## **G. Teknolojik İlerlemenin Sağlanmasında Kritik Hususlar**

### **Mevzuat ve Yasal Düzenlemeler**

Ülkemizde gübre üretimi ve gübrelerin piyasa denetimi ile ilgili yönetmelikleri Tarım ve Orman Bakanlığı, Bitkisel Üretim Genel Müdürlüğü yürütmektedir. Türkiye’de uygulanan Kimyevi Gübrelere Dair Yönetmelik, eski 2003/2003/EC Avrupa Birliği yönetmeliği ile uyumlu olup, yenilenen 2019/1009/EC yönetmeliğine uyum süreci henüz tamamlanmamıştır. Türkiye’de halihazırda geçerli yönetmelikte DCD, DMPP, NBPT ve NPT gibi nitrifikasyon inhibitörü maddelerinin gübredeki ihtivası için alt ve üst limit değerleri tanımlanmış olup, bu maddeler haricindeki yavaş salınım ajanları için bir tanımlama bulunmamaktadır. Bu gibi malzemeler içeren gübrelerin satışı için ilgili yönetmelikler kapsamında tescil alınması süreçlerinde zorluklar yaşanabilmektedir. Firmalarımızın bu süreci ve oluşacak maliyetleri Avrupa Birliğinde faaliyet gösteren Gübre Şirketleri kadar kolay yönetemeyecek ve maliyetleri karşılamakta zorlanacaklardır. Bu nedenle özellikle ileri teknoloji gübreler konusunda yerli bir yönetmelik ile inovasyona dayalı üretim ve satış yapacak şirketlerimizin gelişmesi ve Avrupalı rakiplerine karşı korunması mümkün olacaktır.

Sera gazı emisyonlarının azaltılmasına katkı sağlayacak, öncelikle yerli patent veya faydalı model ile üretim yapan şirketlerimize doğrudan gelir desteği veya bu ürünleri kullanan çiftçilerimize hibe ödemeleri konusunda mevzuatlar geliştirilebilir.

### **Teknik Altyapılar**

İnhibitörlerin analizleri ve testleri için laboratuvar alt yapıları çoğu üniversitede yeterli durumdadır. Ülkemizde sadece Laben (Antalya) inhibitör analizleri yapabilen akredite laboratuvardır. Diğer özel sektör akredite laboratuvarlara bu konuda eğitim verilebilir.

### **İnsan Kaynakları**

Gübre şirketlerinin birçoğu ithal ettikleri inhibitörlerle gübreleri kaplayarak üretim yapabilmektedirler. Fakat inhibitörlerin geliştirilmesi veya sentezlenmesi konusunda üretim bilgisine sahip personel yeterli değildir. Üniversitelerin ilgili bölümlerinde yüksek lisans ve doktora düzeyinde öğrenci yetiştirilebilir.

### **Destek ve Teşvikler**

## TÜBİTAK Yeşil Büyüme Teknoloji Yol Haritası – Gübre Sektörü, 2023

TÜBİTAK ve TAGEM tarafından temel araştırmayı da kapsayacak Ar-Ge projeleri çağrısına çıkılabilir. Sanayiye entegrasyonu için ise KOSGEB tarafından orta ölçekli, Sanayi Bakanlığı tarafından da büyük ölçekli yatırımlar için hibe destek programları oluşturulabilir.

**Kritik Ürün/Teknoloji 3.2.**

**Nanogübrelerin ekonomik ve ekolojik üretimine yönelik teknolojilerin geliştirilmesi ve pilot gösterimlerin yapılması**

**Öncelikli Ar-Ge ve Yenilik Konuları**

**3.2.a. Nanogübre üretiminde kimyasal yöntemler yanında alternatif yöntemlerin (yeşil sentez gibi) kullanılmasına yönelik teknolojilerin geliştirilmesi**

**3.2.b. Nanogübrelerin ekosistemdeki olası olumsuz etkilerinin belirlenmesi ve giderilmesine yönelik teknolojilerin geliştirilmesi**

## A. Teknik Açıklamalar, Yenilikçi Özellikler, Hedeflenen Performans ve Metrikler

Nano gübreler; bitkiye bir ya da birden fazla besin elementi sağlayan ve bitkinin büyüme ve gelişmesini arttıran 1-100 nm boyutunda malzemeler olarak tanımlanmaktadır. Toprakтан yıkanmadan ya da değişime uğramadan, organik madde, kil ve kireç gibi maddelere bağlanmadan, diğer elementlerle bileşikler oluşturup yarıyşsız forma geçmeden bitkiler tarafından kolayca alınan yavaş salınımlı nano gübreler daha çok tercih edilme potansiyeline sahiptir (Dağhan, 2017).

Nano gübreler: 1) mikro besinlerin nano formülasyonu, 2) makro besinlerin nano formülasyonu ve 3) besin yüklü nano materyaller (malzemeler) olarak üç grupta ele alınırlar.

Nano gübreler, nanoteknolojinin tarım sektöründe kullanılan bir uygulamasıdır. Bu gübreler, nanometre boyutlarındaki partiküllerden oluşur ve besin maddelerinin bitki tarafından daha etkin bir şekilde alınmasını sağlar. Nano gübreler, geleneksel gübrelere göre daha yüksek verim ve özelliklere sahip olabilir ve toprak verimliliğini ve bitki sağlığını arttırabilir. Yüksek yüzey alanı ve kontrollü salım kinetiği, nanopartiküller için inovasyonel bir gübre dağıtma sistemi oluşturur. Nanogübreler, sürdürülebilir tarım için yeni fırsatlar açmasına rağmen, alan seviyesinde uygulamadan önce dikkatli bir şekilde düşünülmesi gereken birçok soru ve sınırlama bulunmalıdır. Bu nedenle, nano gübrelerin etkilerinin dikkatli bir şekilde incelenmesi ve uygun kullanımı için gerekli çalışmalar yapılması gerekmektedir. Ayrıca, bu ürünlerin çevre ve insan sağlığına olan etkilerinin düzenli olarak izlenmesi gerekmektedir (Zulfiqar ve ark., 2019).

Artan dünya nüfusu gıda güvenliği ile ilgili kaygıları da artırmaktadır. Gıda ihtiyacının karşılanması için özellikle az gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde tarım alanları doğal alanlar içinde genişlemektedir. Verim gücü yüksek yeni çeşitlerin geliştirilmesi, sulanan alanların artması, tarımsal mekanizasyonda ilerlemeler daha çok üretim yapma hedefinin bir sonucudur. Genişleyen tarım alanları ve tarım teknolojilerindeki gelişmeler klasik gübrelere olan ihtiyacı artırmaktadır. Klasik gübrelerde hammadde kaynaklarının sınırlı olması ve üretiminden kullanımına kadar oluşan sera gazı emisyonları ve bunlarla ilgili uluslararası düzenlemeler, gübre etkinliği konusunda yeni teknolojilerin gelişmesini sağlamıştır. Yeni gübre teknolojilerinin en önemlilerinden bir tanesi de nano teknolojidir. Bitki besin maddelerinin küçük moleküllü yapılarının gerek kök gerekse yapraktan alımı çok kolay olduğu için etkinlikleri klasik gübrelere göre son derece yüksektir. Çevre ve insan sağlığı ile ilgili kaygılar giderildiğinde nano gübreler, gübre kullanımına bağlı sera gazı emisyonlarının azaltılmasında en önemli teknolojilerden bir tanesi olarak karşımızda durmaktadır. Gübreler, toprak verimliliğinin korunmasıyla verim ve kalitenin artışında önemli rol oynar. Geleneksel gübreler sadece üretici için maliyetli olmakla kalmaz, aynı zamanda 4 doğru (doğru gübre, doğru dozda, doğru şekilde ve doğru yere)

ilkesine uygun olarak kullanılmadığı takdirde insanlara ve çevreye de zararlı olabilir (Aljanaby, 2021).

Gübre kullanımında söz konusu kritik ayırmda olası arzu edilen ilkelere bağlı olarak gübreleme yapılmayan durumlar, çevre dostu gübrelerin, özellikle besin kullanım etkinliği yüksek olanların aranmasına yol açmıştır ve nanoteknoloji umut verici bir alternatif olarak ortaya çıkmış gibi gözükmemektedir. Nanoteknoloji, artan dünya nüfusunu beslemek ve küresel gıda arzını artırmak için nano gübreler (100 nm'den küçük boyutlarda) gibi devrim niteliğindeki yeni gübre biçimleri üretme yeteneğine sahip akıllı tarım konseptinde yeni bir çözüm arayışı tekniği olarak ihtiyaca cevap verecektir (Aljanaby, 2021).

Tarım alanlarında klasik gübre kullanımına bağlı azot kayıpları ( $N_2O$ ,  $NH_3$ ,  $N_2$ ,  $NO_3$ ,  $NO_x$ ), klasik gübre üretim süreçlerinde meydana gelen ve navlunu esnasında oluşan sera gazı emisyonları çözülmesi gereken problemlerdir. Bu anlamda nano gübreler üretimden tüketime sera gazı emisyonlarının azaltılmasında önemli bir teknolojidir.

Tarım sektöründe nano gübrelerin kullanımı, aktif bileşiklerin akıllı dağılımı yoluyla gübre miktarının azaltılmasına, besin mevcudiyetinin ve besin kullanım etkinliği (NUE) değerlerinin artırılmasına ve buharlaşma, yıkanma, üretim sırasında kaçak ve enerji tüketiminin azaltılmasına tarım sektöründe kullanımını kaçınılmaz kılmaktadır. Bunun yanı sıra, nano gübreler içeren tohum kaplamalarının kullanılmasının üretim ve ekosistem maliyetlerini de azaltabileceği iddia edilmektedir. Nano gübreler, yapraklara püskürtüldüğünde daha hızlı alındıkları için geleneksel gübrelere göre daha etkili oldukları iddia edilmektedir.

### **ÖNCELİKLİ AR-GE VE YENİLİK KONULARI**

#### **3.2.a. Nano gübre üretiminde kimyasal yöntemler yanında alternatif yöntemlerin (yeşil sentez gibi) kullanılmasına yönelik teknolojilerin geliştirilmesi**

Nano gübrelerin üretiminde avantajları ve dezavantajları olan farklı teknolojiler kullanılmaktadır. Bu yöntemler kimyasal ve fiziksel yöntemler ile yeşil sentez olarak sıralanmaktadır. Nano gübre üretiminde kullanılan yöntemler Çizelge 3.4'de verilmiştir.

**Çizelge 3.4. Nano gübre üretiminde kullanılan yöntemler**

<b>Kimyasal Yöntemler</b>	<b>Fiziksel Yöntemler</b>	<b>Yeşil Sentez</b>
Chemical vapordeposition Kimyasal buhar yoğunlaştırma	Gas Condensationmethod Gaz Yoğuşturma	Hydroponics Hidroponik
Chemical precipitation method Kimyasal çöktürme	Inert gas Condensation İnert (asal) gaz yoğunlaştırma	Soil aplication Toprak uygulamaları
Sol-gel technique Sol-jel	Aerosols synthesismethod Aerosol sentezi	Foliar aplication Yaprak uygulamaları
Electrodeposition Elektro biriktirme	High energy ball mill Yüksek enerjili çekiçli değirmen	
Photochemical method Fotokimyasal	Bottom up-Top down Yukarıdan aşağıya-aşağıdan yukarıya	
Gamma –radiationmethod Gama radyasyonu	Mechanical alloying Mekanik alaşımlama	
Spray pyrolysis Püskürtme piroliz	Molecular beam epitaxy Moleküler ışın epitaksi	
	Thermolysis method Termoliz	
	Vaccum arc deposition Vakum ark biriktirme	
	Expansions coolingmethod Genleşme soğutma	



Nano teknoloji ve nano gübreler ile ilgili kaygılar devam ediyor olsa da bu teknolojinin üretim bilgisine ve bu alanda yerli patentli veya yenilikçi teknolojilere sahip olmak stratejik avantajlar sağlayacaktır. Ayrıca, nano gübrelerin, faydalı maddeler veya mikroorganizmalarla birlikte üretilmesi durumunda (nano-biyogübreler), sürdürülebilir tarıma yönelik çok önemli bir uygulama alanı bulacağı tahmin edilmektedir (Bernela ve ark. 2020).

Nanoteknoloji ile ilgili yapılmış ve yapılmakta olan birçok araştırma mevcuttur. Sektörde uluslararası şirketler tarafından geliştirilmiş formülasyonlara ulaşmak mümkündür. Bu ürünler ile ilgili bazı araştırma sonuçlarından elde edilen çıkarımlar şunlardır;

Nano gübreler besinlerini 40-50 günde, sentetik gübreler ise 4-10 günde salabilmektedirler. Üre gübresi başta olmak üzere sentetik gübrelerin, etkinliği %50'den daha az olabilmektedir. Nano gübrelerin toprak yerine yaprağa uygulanması daha avantajlı olmaktadır.

Nano teknoloji gübreler ile ilgili en önemli problem, insan ve çevre sağlığı ile ilgili kaygılardır. Bu konuda bazı istenmeyen durumlar yaşanması nedeniyle akademide NANOTOKSİKOLOJİ BİLİM DALI kurulma ihtiyacı hissedilerek çalışmaların sağlık bilimcilerle entegre yürütülmesine çalışılmaktadır. İlerleyen yıllarda gıda güvenliği ile ilgili dünya genelinde yaşanan kaygının da artacak olması, nano teknoloji gübreler hakkında *fyada-zarar* hesaplarının yapılması ve sınırlı veya bütünüyle kullanımı ile ilgili düzenlemelerin hazırlanması muhtemeldir. Nanomalzemeler çok düşük çözünürlüğe veya bozunurluğa sahip olduklarından biyolojik sistemlerde kolayca birikebilirler. Bunun yanısıra besin zincirinde biyobirikim ve biyodegradasyona maruz kaldığında ekotoksikolojik etkileri nedeniyle günümüzde yaşantımızı tehdit edici bir unsur olarak görülmektedir. Günümüzde nanomalzemelerin pek çoğu için toksisiteleri ve organizma üzerindeki etkileri hala tanımlanamamıştır (Kuzma, 2008).

Mevcut yöntemlere göre avantajlı yeni kimyasal, fiziksel ve yeşil sentez yöntemlerinin geliştirilmesi ve ticari üretimi için üretim hatlarının tasarlanması yolları araştırılmalıdır.

### **3.2.b. Nano gübrelerin ekosistemdeki olası olumsuz etkilerinin belirlenmesi ve giderilmesine yönelik teknolojilerin geliştirilmesi**

Madanayake and Adassooriya (2020) özellikle nano malzemelerin çevreye ve gıda zincirine yoğun bir şekilde salınmasının insan sağlığı için risk oluşturabileceğini belirtmiştir. Her ne kadar nano gübreler tarım, iklim değişikliği çerçevesinde daha yüksek verim elde etmek, bitki beslenmesini ve stres toleransını iyileştirmek için büyük fırsatlar sunuyor olmakla birlikte bazı riskleri de beraberinde getirme olasılığı unutulmamalıdır. Nano gübrelerin risklerinin göz ardı edilmemesi ve tarımda doğru ve güvenli bir şekilde uygulanması için daha fazla biyoteknolojik ilerleme gerekmektedir.

Madanayake and Adassooriya, (2020) nano gübrelerin etkinliğinin iç ve dış faktörler ile uygulama şekli olmak üzere üç faktöre bağlı olduğunu belirtmiştir. İç faktörler arasında nano formülasyon hazırlama yöntemi, nano formülasyon boyutu ve yüzey kaplamasının, dış faktörler arasında ise toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri ile uygulama yeri ve yöntemini kapsadığı belirtilmiştir. Bu özellikler nano gübrenin absorpsiyonunda, etkisinde ve biyoyararlılığında önemli bir rol oynamaktadır.

Etkinliği yüksek olan ve kontrollü etkiye sahip olan nanoteknolojik gübreler bitkilerin mineralleri almalarını kolaylaştırmaktadır. Bunlar özellikle yapraktan (stoma gözeneginden) uygulanabilen ve alınabilen gübreler olup daha az gübre kullanarak daha etkili sonuçlar alınmasını sağlamaktadır. Nano gübrelerin avantajlarına karşın koşullara göre olumsuz etkileri de olabilmektedir. Bunlara ilişkin bazı örneklerden aşağıda bahsedilmiştir.

Madanayake ve Adassooriya, (2020) nano gübre ve nano parçacık teknolojilerinin tarım sektöründe ve verimliliğinde devrim yaratma potansiyeline sahip olmakla birlikte bazı güvenlik ve etik sorunlara yol açtığını belirtmiştir. Nano gübrelerin ya da nano parçacıkların boyutlarına da bağlı olarak hayvan dokularına, hücrelerine veya organellerine girerek gen ifadesini değiştirebileceği belirtilmiştir (Xia ve Nel, 2009). Yüksek dozda uygulandığında makro ve mikro elementler toksisiteye neden olabilmektedir (Chhipa, 2017). Karbon bazlı nano parçacıkların bitki dokularındaki gen ifade düzeylerini değiştirmesine benzer şekilde (Lahiani ve ark., 2015, Zuverza ve ark., 2017) canlı organizmaları çeşitli şekillerde etkileyebileceği belirtilmiştir. Nano ZnO uygulamasının baklagillerde simbiyotik faaliyeti etkileyerek azot fiksasyonunu artırıp olgunlaşma süresini uzattığı belirtilmiştir (Huang ve ark., 2014). Nano CuO uygulamasının bitkilerde indol asetik asit ve absisik asit oranını etkilemesine benzer şekilde inorganik iyonlar degesini ve moleküler modifikasyonları da etkileyebileceği belirtilmiştir (Le Van et al. 2016). Demir bazlı nano malzemeler, partikül boyutlarına bağlı olarak köklerin hidrolik iletkenliğini bozmakta ve kök yüzeyinde birikme sonucu da su ve besin maddelerinin (Ca, K, Mg ve S vb) alınmasını engellemektedir (Martinez ve Barroso, 2016).

Nano parçacıkların bitkilere etkisi bitki tür ve çeşidi ile nano parçacık bileşimine, konsantrasyonuna, boyutuna ve fizikokimyasal özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Nano parçacıklar proteinlere bağlanma, akuaporinler aracılığıyla, endositoz ile yeni porlar oluşturma ve çevresel ortamda organik kimyasallara bağlanma şeklinde olmak üzere çeşitli yollarla hücreye girebilmektedir. Nanoparçacıklar, membran taşıyıcılarla veya kök salgıları ile kompleks oluşturarak da bitki içerisine taşınabilmektedirler. Hücre içine giren nano parçacıklar apoplastik veya simplastik olarak bir hücreden diğerine, plazmodezma aracılığıyla taşınabilmektedirler. Bu taşınım sırasında nano parçacıkların yüzey özellikleri önem taşımaktadır. Nano parçacıkların bitki büyümesi ve gelişmesine etkileri konusunda

araştırmalar devam etmektedir. Tarımda nano parçacıkların fitotoksitesine ilişkin yapılan çalışmalar ve etkileri çizelge 3.5’de verilmiştir.

**Çizelge 3.5 Nano parçacıkların farklı bitkilerde yaratmış olduğu olumsuz etkileri**  
(Madanayake ve Adassooriya, 2020)

**Table 2. Negative effects of NMs on different model plants.**

Type of NMs	Size	Concentration	Test Plant	Effects	References
CuO NPs	30–50 nm	10 g/L	<i>Hordeum sativum</i>	Inhibited growth by affecting the shoot and root elongations, maximal quantum yield of photosystem II, and transpiration rate	[36]
CuO NPs in the presence of humic acid	43 nm	0, 2, 5, 10, 20, 50, 100 mg /L	Rice	Induced the inhibition of root elongation, abnormality in root morphology and its ultrastructure	[37]
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> NPs at concentration	60 ± 27 × 30 ± 12 nm	50 mg/L	<i>Lactuca sativa</i>	Decreased the root elongation by 20%, compared to control	[38]
ZnO NPs	< 50 nm	5 and 50 µg/mL	<i>Allium cepa</i>	Cytotoxic and genotoxic effects in the root meristems	[39]
TiO <sub>2</sub> NPs		400 mg/L	<i>Lactuca sativa</i>	Negative impact on the nutritional quality	[40]

(Table 2) contd....

Type of NMs	Size	Concentration	Test Plant	Effects	References
TiO <sub>2</sub> NPs		1000 ppm	<i>Oryza sativa</i>	Reduction in CO <sub>2</sub> fixation, transpiration rate and stomatal conductance Effects on photosynthetic pigments, quantum efficiency of PSII (Fv/Fm ratio) and photochemical quenching	[41]
TiO <sub>2</sub> NPs	<25 nm	0, 0.1, 1, 2.5, or 5%	Tobacco	Inhibit the germination rates, root lengths, and biomasses of tobacco seedlings	[42]
Ag NPs	20 nm	50, 500, and 2000 mg/kg	Peanut	Reduction in plant growth and crop yield	[43]
MWCNTs	Outer mean diameter ~13 nm, Inner mean diameter ~4 nm	1000 and 2000 mg/L	Red spinach, cucumber and lettuce	Significantly reduced the shoot and root elongation	[48]
SWCNTs	Diameter of 1 – 2 nm	5–250 µ g/mL	<i>Arabidopsis</i> and <i>Oryza</i>	Dose-dependent programmed cell death through oxidative stress	[50]
C <sub>60</sub>	29–38 nm		<i>Lemna gibba</i>	Contents of chlorophylls a and b and the oxygen generation by chloroplasts were considerably decreased	[51]
Graphene	1 nm	500 to 2000 mg/L	Cabbage, tomato and red spinach	Inhibitory effect on plant growth and biomass Leaf number and the size of the leaves were considerably reduced	[52]
Mesoporous CNMs	80 nm and 150 nm	50 and 150 mg/L	Rice	Exposure to 150 mg/L (150 nm) reduced root length and shoot lengths by 21% and 29%. Significantly reduced the root and shoot lengths by 70% and 57% at the concentration 150 mg/L (80 nm)	[53]
Silica NPs	7, 12, 22 nm	540- 1820 mg/L	<i>Allium cepa</i>	Affected on germination and root elongation in seedlings Cytogenetic analysis on root meristems showed chromosomal abnormalities	[66]
SiO <sub>2</sub> NPs	35 nm	2000 mg/L	Bt- transgenic cotton	Decrease in the plant height, shoot and root biomasses Affected micronutrient contents such as Cu, Mg in roots and Na content in roots	[67]
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub> NPs	65.8 ± 10.5 nm	200 mg/L - 2000 mg/L	Cucumber	Decrease in root elongation by 66% at the highest concentration	[72]
CeO <sub>2</sub> NPs	16.5 ± 6.8 nm	1000 and 2000 mg/kg	Lettuce	Diminished chlorophyll content by 16.5% and 25.8% at highest concentrations tested	[73]
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> NPs	20–30 nm	50 and 100 mg/L	Rice seedlings	Delayed seed germination	[74]
Hydroxyapatite NPs	diameter of 20 nm and an average length	0–10000 mg/L	<i>Raphanus sativus</i>	Hydroxyapatite NPs were biotransformed within the roots of the test plant. Shoot, root lengths and dry biomass were significantly enhanced with no effect	[78]

Nano parçacıklar canlı sağlığı ve çevre üzerine olumsuz etkilerde bulunabilmektedir. Nano malzemelerle ilgili gerçekleştirilen ilk çalışmalar, nano partiküllerin insan sağlığı üzerine ciddi tehlikelere ve toksik etkilere neden olduğunu göstermiştir. Nano parçacıklar insan vücuduna girdikten sonra tüm organlara ulaşarak dokulara zarar verebilmektedirler. Yapılan bazı çalışmalarda nano gübrelerin toksik etkilere de sahip oldukları, ekosistem için ciddi bir tehdit unsuru oldukları ve yarattıkları çevre sorunlarının giderilmesinin zor olduğu bildirilmiştir (Rameshaiah ve ark., 2015; Solanki ve ark., 2015).

Gübreler ile ilgili ulusal veya uluslararası düzenlemelerde nano gübrelerin çevre ve insan sağlığına etkilerinin belirlenebileceğiyle ilgili olarak kabul görmüş bir test veya yöntem bulunmamaktadır. Nano gübreler üzerinde bu kaygıları gidermek amacıyla geliştirilmiş bir teknoloji de mevcut değildir. Ancak bu yönde olabilecek gelişmelere de ihtiyaç duyulmaktadır.

Nano gübrelerin kullanımı sonucu insan ve çevre sağlığıyla ilgili kaygılar ve nano gübrelerin kullanımının etik boyutunun olup olmadığı literatürün tartıştığı önemli problemlerdir. Chaitra ve ark (2021)'na göre, insanların nano gübrelere maruz kalması, sitotoksosite ve genotoksosite yönleri nedeniyle ciddi sağlık risklerine yol açabilmektedir. Nano parçacıklar sitoplazmaya, organellere ve hatta hücre çekirdeğine ulaşmak için hücre zarını/zarlarını aşabilmekte ve gen ifadesini değiştirebilmektedir. Özellikle karbon bazlı nanoparçacıkların, bitki dokularındaki DNA yapısını ve gen ifadesini değiştirebileceği belirtilmiştir (Lahiani ve diğerleri 2015) . Çinko oksit nano parçacıklarının rhizobium-baklagil simbiyotik ilişkisini bozduğu ve azot fiksasyonunu olumsuz etkilediği belirtilmiştir (Huang ve ark., 2014).

Nano boyut bir taraftan fayda sağlarken diğer taraftan belirli risk unsurlarını da taşıyabilmektedir. Yaşam kalitesinin artırılması için birçok alanda kullanılan nanoteknolojik ürünlerin avantajlarının yanında çevre ve insan sağlığı üzerine olası risklerinin dikkate alınması gerekmektedir. Toprak-bitki sisteminde nano gübrelerin avantaj ve dezavantajları dikkate alınarak birim alandan en yüksek verim elde edilmesinin yanında çevresel etkileri de dikkate alınarak bu gübrelerin kullanımlarında bilinçli davranılması gerekmektedir.

Söz konusu yan etkilerle ilgili olarak; toprak, çevre, bitki, insan ve hayvan sağlığına etkisine yönelik uzun süreli veriler netleşmeden teknolojik ilerlemelere ait çabalar Ar-Ge ölçeğinde akademik düzeyde sürdürülmelidir.

Yeni geliştirilecek veya geliştirilmiş olan nano gübrelerde insan ve çevre sağlığı açısından riskleri analiz edebilecek veya nano gübrelerin çevre ve insan sağlığı konularında literatürün atıfta bulunduğu sorunları ortadan kaldıracak yeni teknolojiler hedeflenmelidir.

Yapılacak olan çalışmalar, çevresel akıbeti, davranışı, taşıma yollarını, eko-toksikolojiyi ve toprakta birikmesini aydınlatmaya yardımcı olacaktır.

Nano gübrelerin topraktan uygulanması durumunda toprak mikrobiyotası üzerindeki olası etkileri metagenomik analizlerle araştırılabilir. Araştırılacak bir diğer ilgi çekici konu da nano gübrelerle gübrenmiş bitkilerin birbirleriyle etkileşime girmeleri durumunda sinyal mekanizmalarında oluşabilecek değişimlerin araştırılmasıdır. Nano gübrelerin topraktaki biyolojik ve biyokimyasal etkileşimlerinin modellenmesi de araştırılmalıdır.

## **B. Dünyada ve Türkiye’de Teknolojik Hazırlık Seviyeleri**

### **3.2.a. Nano gübre üretiminde kimyasal yöntemler yanında alternatif yöntemlerin (yeşil sentez gibi) kullanılmasına yönelik teknolojilerin geliştirilmesi**

Kimyasal, fiziksel yöntemler ve yeşil sentez ile ilgili dünyada geliştirilmiş ve ticari üretimi yapılmış onlarca ürün bulunmaktadır. Hala nano teknoloji üzerinde yoğun Ar-Ge faaliyetleri de devam etmektedir. Bu nedenle nano gübreler ile ilgili THS'nin 1-9 arasında olduğu söylenebilir.

Farklı seçenekler sunması nedeniyle farklı yöntemlerle nano parçacık sentezi önem taşımaktadır. Örneğin hidroksiapatit nano parçacıklar, zeolit, gözenekli silika nano parçacıklar, azot, fosfor, potasyum, demir, bakır, çinko, silika, karbon ve polimerik nano parçacıklar şu anda yaygın olarak üretilen nano parçacıklar arasındadır.

Hibrit nano gübre formülasyonu tipik bir örnektir; bu yöntemde kalsiyum ve fosfat kaynağı zengin azot kaynağı olan üre ile modifiye edilmekte, bakır, demir ve çinko gibi nano parçacıklar, gübrenin etkinliğini artırmak için üre ile modifiye edilmiş hidroksiapatite dâhil edilerek elde edilmektedir.

### **3.2.b. Nano gübrelerin ekosistemdeki olası olumsuz etkilerinin belirlenmesi ve giderilmesine yönelik teknolojilerin geliştirilmesi**

Bilim ve teknolojiye bağlı olarak gelişen nanoteknoloji, dünyada hızla ortaya çıkan, son derece umut verici disiplinler arası yaklaşımlardan biridir. Nano malzemelerin doğal özellikleri, tarım da dahil olmak üzere birçok alanda kullanımları yaygın olarak kabul görmüştür. Nano parçacıklar bitkisel üretimi artırmak için yeni zirai kimyasal formülasyonlar oluşturmak amacıyla kullanılmaktadır. Nanopartikül bazlı tarımsal kimyasal formülasyonlar ve tasarlandığı şekilde kullanılan nanopartiküllerin tarımsal ürünlere olası etkileri hakkında endişeler artmıştır. Bu nedenle, fitotoksisite yapabilecek nanopartiküllerin tarımsal ürünlere ve çevreye etkisi öncelikli olarak değerlendirilmelidir. Bu nedenle, nanopartikül bazlı ürünlerin tarım sektörü için uygun bir alternatif olarak kullanılıp kullanılmayacağı tartışılmaktadır.

Tarımsal gıda nano teknolojisinin önerilen uygulamalarının farklı vaka çalışmalarına dayandırılması gereklidir. Kullanıcıların, işçilerin, ekosistemin veya tüketicilere etkisi, malzemenin doğası ve güvenliği, teknolojilerin mevcut düzenleyici sistemlere uyup

uymayacağı ve nerede yer alabileceği, bu yeni uygulamalar ışığında sistemin güçlü ve zayıf yönleri olası sosyal kaygılar ortaya konulmalıdır.

### **C. Dünyada ve Türkiye'deki Mevcut Duruma İlişkin Başarılı Örnekler**

#### **3.2.a. Nano gübre üretiminde kimyasal yöntemler yanında alternatif yöntemlerin (yeşil sentez gibi) kullanılmasına yönelik teknolojilerin geliştirilmesi**

Fiziksel, kimyasal ve yeşil sentez yoluyla nano gübre üretimi ve yeni üretim teknolojileri üzerindeki çalışmalar devam etmektedir. Bu nedenle THS 1-9 arasındadır.

Yara, Haifa, Compo, BASF firmaları bu konuda çalışmalarını bulunan başarılı örnekler arasında bulunmaktadır. Türkiye'de bu konuda kayıt bulunmamaktadır.

#### **3.2.b. Nano gübrelerin ekosistemdeki olası olumsuz etkilerinin belirlenmesi ve giderilmesine yönelik teknolojilerin geliştirilmesi**

Türkiye'de ve Dünya'da bu konuda çalışmalar henüz araştırma aşamasındadır ve THS 1 sınıfında yer almaktadır.

### **D. Ar-Ge ve Yenilik Sürecinde Biraraya Gelmesi Gereken Disiplinler ve Sektörler**

#### **3.2.a. Nano gübre üretiminde kimyasal yöntemler yanında alternatif yöntemlerin (yeşil sentez gibi) kullanılmasına yönelik teknolojilerin geliştirilmesi**

Kimyasal ve fiziksel yöntemler ile nano gübre üretimi konusunda Kimya Mühendisliği, yeşil sentez konusunda ise biyoloji ve ziraat fakülteleri, ürün etkinliklerinin denenmesinde ise toprak bilimi ve bitki besleme uzmanları bir arada çalışabilir. Gübre, kimya ve biyoteknoloji şirketleri bu alanda birlikte çalışacak sektör kesimleridir.

Üniversiteler, Ar-Ge merkezleri ve araştırma enstitüleri ürün geliştirme ve sera-tarla denemelerinde bir araya gelebilecek veya bireysel destek verecek kuruluşlardır. Projelerin finansal desteklenmesinde ise TÜBİTAK, KOSGEB ve TAGEM destekleri verebilir.

#### **3.2.b. Nano gübrelerin ekosistemdeki olası olumsuz etkilerinin belirlenmesi ve giderilmesine yönelik teknolojilerin geliştirilmesi**

Çevre mühendisliği, biyokimya, tıp, kimya mühendisliği ve kimya bölümleri, ziraat fakülteleri, fen fakülteleri, biyoloji bölümleri nano teknoloji konusunda çalışan diğer uzmanlıklar bir arada bulunmalıdır. Sağlık, çevre, kimya, gübre, biyoteknoloji şirketleri bir arada çalışmalıdır.

Üniversiteler, Ar-Ge merkezleri ve araştırma enstitüleri de ürün geliştirme ve sera-tarla denemelerinde bir araya gelebilecek veya bireysel destek verecek kuruluşlardır. Araştırma projelerinin desteklenmesinde ise TÜBİTAK, KOSGEB ve TAGEM destekleri verebilir.

## **E. Ar-Ge , Yenilik, Demonstrasyon İşbirliği Modeli ve Destek Mekanizması**

### **3.2.a. Nano gübre üretiminde kimyasal yöntemler yanında alternatif yöntemlerin (yeşil sentez gibi) kullanılmasına yönelik teknolojilerin geliştirilmesi**

Nano gübre üretimi konusunda ürün geliştirmiş veya bu konuda araştırmalar yapmış akademik ve Ar-Ge personelinin sempozyumlar veya kongreler ile bir araya getirilip, araştırmacı gruplarının oluşturulmasında potansiyel adayların belirlenmesi ve birbirleri ile olabilecek birlikteliklerinin sağlanması gereklidir. Yapılacak olan çalıştaylar ile araştırma konularının detayları ve yol haritası ortaya konmalıdır. Bu alanda yapılacak araştırmalar laboratuvar, üretim Ar-Ge'si ve arazi çalışmalarını kapsayan orta ölçekli projeler şeklinde yürütülmelidir.

Konu ile ilgili temel araştırmaların ardından ürün prototiplerinin elde edilmesi, sera ve arazi koşullarında denemelerinin yapılması ve zaman ve maliyet açısından etkin üretim hattının geliştirilmesi için belirlenecek araştırma konularında finansal destek kalemleri oluşturulmalıdır. Ayrı yürüyen projeler şeklinde destekler planlanmalıdır.

### **3.2.b. Nanogübrelerin ekosistemdeki olası olumsuz etkilerinin belirlenmesi ve giderilmesine yönelik teknolojilerin geliştirilmesi**

Nano gübrelerin insan ve çevre sağlığı açısından riskleri konusunda çalışmaları bulunan akademik ve Ar-Ge personelinin sempozyumlar veya kongreler ile bir araya getirilip, araştırmacı gruplarının oluşturulmasında potansiyel adayların belirlenmesi ve birbirleri ile olabilecek birlikteliklerinin sağlanması gereklidir. Yapılacak olan çalıştaylar ile yeni araştırma konularının detayları ve yol haritası ortaya konmalıdır.

Çalıştay veya sempozyumlar sonrası bir araya gelecek araştırmacıların ayrı yürüyen projeler ile kısa sürede birçok risk faktörü için veri üretmeleri sağlanmalıdır.

## **F. Zaman ve Bütçe Tahminleri**

### **3.2.a. Nano gübre üretiminde kimyasal yöntemler yanında alternatif yöntemlerin (yeşil sentez gibi) kullanılmasına yönelik teknolojilerin geliştirilmesi**

Ülkemizde birçok araştırmacı fiziksel ve kimyasal yöntemler ve yeşil sentez yoluyla nano gübre üretiminde önemli mesafe kaydetmiş, üretim bilgisi edinilmiştir. Ticari ölçekte üretim hatlarının geliştirilmesi için yapılacak Ar-Ge faaliyetleri için 2-3 yıllık projeler sonuç verecektir. Proje sonuçlarının paylaşımı ile orta vadede nihai hedefe ulaşmak mümkündür.

Tek bir merkezde pilot üretim hatlarının geliştirilmesi ve ticari ölçekte üretim için gerekli yatırım tutarı 10-15 milyon TL düzeyindedir.

### **3.2.b. Nano gübrelerin ekosistemdeki olası olumsuz etkilerinin belirlenmesi ve giderilmesine yönelik teknolojilerin geliştirilmesi**

Kısa süreli testler ile çoğunlukla laboratuvar koşullarında yürütülecek araştırmalar ile nano gübrelerin olumsuz etkileri belirlenebilir. 1-3 yıllık çalışmalar ile sonuca ulaşılabilir.

Kısa vadede nano gübreler ile ilgili kaygıların ortaya konulması veya bu kaygıların giderilmesine yönelik teknolojilerin geliştirilmesi mümkündür. Laboratuvar ölçeğinde yürütülecek bu araştırmalar için 1-3 milyon TL tutarında projeler ihtiyacı karşılayacaktır.

## **G. Teknolojik İlerlemenin Sağlanmasında Kritik Hususlar**

### **Mevzuat ve Yasal Düzenlemeler**

İnorganik, organik ve organomineral gübre üretim prosesleri ve tarımda gübre kullanımına bağlı sera gazı emisyonlarının azaltılmasına yönelik yürütülecek Ar-Ge faaliyetleri sonucunda ortaya çıkabilecek yeni teknolojiler ve buluşların üretimi ve piyasada satışı, Tarım ve Orman Bakanlığı, Bitkisel Üretim Genel Müdürlüğü tarafından ruhsatlandırılacak ve tescillendirilecektir. Avrupa Birliği uyum çalışmaları nedeniyle, İnorganik Gübre Yönetmeliği, Avrupa Birliği Gübre Yönetmeliği ile birebir uyumludur. Ülkemizde yeni geliştirilecek benzeri ürünlerin patent veya faydalı model tescili alınmış olsa dahi, Avrupa Birliği Gübre Yönetmeliğine kaydının yapılmadan üretimi ve satışı mümkün değildir. Firmalarımız, özellikle de startup veya KOBİ düzeyinde olan şirketlerimiz, bu süreci ve oluşacak maliyetleri Avrupa Birliğinde faaliyet gösteren Gübre Şirketleri kadar kolay yönetemeyecek ve maliyetleri karşılamakta zorlanacaklardır. Bu nedenle Ar-Ge projeleri kapsamında geliştirilebilecek yeni teknoloji ve buluşların, hem sera gazı emisyonlarının azaltılmasında yerli teknoloji kullanımının sağlanması hem de ucuz teknolojiye ulaşım ve sektörün yurtdışı bağımlılığının azaltılması açısından desteklenmesi gerekmektedir. Öncelikle yeni teknoloji ve buluşların üretim ruhsatlarının ve satış tescillerinin verilebilmesi için bu alanda ulusal yönetmeliklerin geliştirilmesi gereklidir. Yeni teknoloji ve buluşların etik, insan ve çevre sağlığı açısından değerlendirileceği pozitif bakış açısına sahip komisyonlar kurulabilir. Bu komisyonlar güçlü bilimsel alt yapılarından dolayı özellikle Araştırma Üniversitelerinden, Tarım ve Orman Bakanlığı ve bağlı Kuruluşlardan oluşturulabilir. Bu teknoloji veya ürünlerin ulusal yönetmelikten Avrupa Birliği yönetmeliğine geçişleri Tarım ve Orman Bakanlığı, Bitkisel Üretim Genel Müdürlüğü tarafından yürütülmelidir.

Yeni teknoloji ve buluşların Avrupa Birliği Gübre Yönetmeliğine kayıtlarının yapılabilmesi için Tarım ve Orman Bakanlığı, Sanayi ve Ticaret Bakanlıkları ve KOSGEB gibi kuruluşlar tarafından usuller konusunda ve mali yönden destekler verilmelidir. Aksi takdirde Avrupa Birliği tarafından özellikle de Avrupa Birliği üyesi ülkelerde yapılmış olma koşulu ile istenecek test,



sertifikasyon veya kayıt işlemlerine startup veya KOBİ ölçeğinde faaliyet gösteren şirketlerimizin ekonomik güçleri yetmeyecektir. Ulusal yönetmeliklerin bu kapsamda oluşturulmadan ya da güncellenmeden uluslararası şirketlere sahip Avrupa Birliği Üyesi ülkelerin teknoloji ve pazarı elinde tutmasının önüne geçmek mümkün olmayacaktır.

### **Teknik Altyapılar**

Nano gübrelerin prototip üretimleri üniversitelerin laboratuvarlarında yapılabilir. Özel sektörün pilot veya ticari ölçekte yeterli alt yapısı yoktur. Nano gübrelerin sertifikasyonu ile ilgili yönetmelikler yeterli değildir. Testler üniversitelerin araştırma merkezleri ve laboratuvarlarında ve akredite özel sektör laboratuvarlarında yapılabilir.

### **İnsan Kaynakları**

Özel sektörde nano gübre üretimi ve araştırması yapabilecek bilgi birikimine sahip yeterli Ar-Ge personeli yoktur. Üniversitelerimizin ilgili bölümlerinde yüksek lisans ve doktora düzeyinde araştırmacılar yetiştirilebilir.

### **Destek ve Teşvikler**

TÜBİTAK ve TAGEM tarafından temel araştırmayı da kapsayacak Ar-Ge projeleri çağrısına çıkılabilir. Sanayiye entegrasyonu için ise KOSGEB tarafından orta ölçekli, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı tarafından da büyük ölçekli yatırımlar için hibe destek programları oluşturulabilir.

### **Kritik Ürün/Teknoloji 3.3.**

**Yavaş salımlı ve kontrollü salımlı gübrelerin üretilmesi ve ilgili teknolojilerinin geliştirilmesi**

#### **Öncelikli Ar-Ge ve Yenilik Konuları**

**3.3.a. Kontrollü ve yavaş salım sağlayacak maddelerin çevre dostu alternatiflerinin geliştirilmesi**

#### **A. Teknik Açıklamalar, Yenilikçi Özellikler, Hedeflenen Performans ve Metrikler**

Kontrollü salımlı gübreler; sentetik veya organik polimerler ile kaplanmış, içerdiği bitki besin maddelerini zaman içinde bitki kullanımına sunan, bitki besin maddelerinin bağlanması veya kayıplarını azaltan özel gübrelerdir. Yavaş salımlı gübreler ise; üre türevlerinde olduğu gibi mikroorganizmalar tarafından parçalanarak veya kimyasal olarak ayrışarak içerdiği azotun ya da besin maddelerinin zamanla yarayışlı hale geldiği özel gübrelerdir.

Hem kontrollü hem de yavaş salımlı gübreler çoğunlukla nitelikli yeşil alanların, fidan ve peyzaj bitkilerinin (profesyonel futbol sahaları, golf sahaları, rekreasyon merkezleri, parklar, süs bitkisi yetiştiriciliği ve fidan-fide üretimi) üretimi için tercih edilmektedir. Maliyetlerinin çok yüksek olması tarımsal alanda kullanımını sınırlamaktadır.

Kontrollü ve yavaş salımlı gübreler inhibitörlü gübrelerde olduğu gibi başta azot ve fosfor olmak üzere bitki besin maddelerinin minimum kayıpla etkin kullanımını amaçlamaktadır. Ülkemizde kontrollü salımlı gübre üretimi ile ilgili birkaç girişim vardır (Doktor Tarsa/ Antalya). İç piyasada satılan ürünlerin neredeyse tamamı ithal edilmektedir (Scoot, Peters, Haifa, Compo). Kontrollü

salımlı gübrelerde kaplama malzemesi olarak kullanılan sentetik ve organik kökenli kimyasalların ve üretim için kurulacak makine altyapısı ile teknoloji maliyetlerinin yüksek olması daha da önemlisi çoğu üründe patent sınırlaması bu gübrelerin klasik gübrelere oranla 5 kat daha yüksek fiyata satılmasına neden olmaktadır. Yüksek maliyet bu gübrelerin ihtiyaç duyulan alanlarda kullanımını sınırlandırmakta ve bu alanlarda klasik gübre kullanımı ise sera gazı emisyonlarının artmasına neden olmaktadır. Bu nedenle yerli ve maliyeti ucuz olan ve fikri mülkiyet hakkı sorunu olmayan ürünlerin geliştirilmesi, ihtiyacın yerli şirketlerden karşılanması, uluslararası şirketler için rekabet ortamı oluşturacağı için ürün fiyatlarının gerilemesine ve kullanım alanlarının genişlemesine katkı sağlayacaktır.

Peyzaj alanlarında su kullanımının fazla olması nedeniyle klasik gübreler ile verilen azot, fosfor ve mikro element kayıpları daha fazla gübre kullanımı ve daha fazla sera gazı emisyonu ile sonuçlanmaktadır. Azot, inhibitörlü gübre başlığı altında tartışıldığı gibi farklı kimyasal formlarda kayba uğramakta, fosfor ve mikro elementler ise kısa sürede toprakta bağlanarak yayılsızlıkları azalmaktadır. Kontrollü salımlı gübreler içerdiği besin elementlerini kaplama yapılan sentetik veya organik polimer sayesinde belli bir zaman diliminde bitkinin kullanımına sunmaktadır. Toprağa uygulanan kontrollü salımlı gübrelerde mikro boşluklara sahip polimer kaplamanın (yarı geçirgen) gözeneklerinden içeri giren su, granüldeki bitki besin maddelerini çözmekte ve şişen granüldeki gözeneklerin genişlemesi ile çözelti haline gelen gübre zaman içinde bitki kök bölgesine salınmaktadır. Besin maddesinin salım süresi polimerin kaplama kalınlığı ile doğru orantılı olup, kullanım amacına göre 3, 6, 9 ve 12 ay boyunca salım yapabilecek kontrollü salım gübrelerin tasarımı mümkün olmaktadır. Yavaş salımlı gübreler ise çoğunlukla azot ile ilişkili olup toprakta mikroorganizmalar sayesinde parçalanabilen üreformaldehitler, metilen üre ve kimyasal olarak ayrışabilen isobutiliden diüre kondanse ürünlerdir. Toprak sıcaklığı arttıkça bitkiler tarafından ihtiyaç duyulan azot miktarı da artmaktadır. Yavaş salımlı gübrelerde toprak sıcaklığı ile mikrobiyal parçalanma arttığı için bu kimyasallardan azotun yayılsız hale geçmesi de sıcaklığa bağlı olarak artıp azalmaktadır. Çok maliyetli ve pahalı satılan bu ürünlerin tarımsal amaçlı kullanımı ise üretim maliyetlerinin düşmesi ile mümkün olacaktır. Araştırma ve geliştirmeye açık olan bu grup gübrelerin yerli üretimi için bilgi eksikliğinin giderilmesi ve yerli üretiminin gerçekleştirilmesi gerekliliktir.

### **ÖNCELİKLİ AR-GE VE YENİLİK KONULARI**

#### **3.3.a. Kontrollü ve yavaş salım sağlayacak maddelerin çevre dostu alternatiflerinin öncelikli olarak yerel kaynaklardan geliştirilmesi**

Sentetik polimerler ve üreformaldehit kaplı kontrollü salım gübreler üretim maliyetinin düşük ve üretim prosesinin kolay olması nedeniyle piyasaya hakim ürünlerdir. Sentetik polimerler genellikle poliöl ve poliisosiyanat tepkimesi ile elde edilen süngerimsi malzemenin amin içerikli

katalizörler ile hızlı kurutulması yolu ile üretilmektedir. Üretilen formaldehit ise yüksek sıcaklıkta gübre granülünün etrafına kaplanmakta ve kurutma prosesinden geçirilerek üretilmektedir. Organik polimerlere kitosan, mum ve benzeri organik kaynaklı ürünler örnek verilebilir. Kitosan deniz kabuklularının kabuklarından elde edilen organik yapıda polimerdir.

Çevre dostu kaplama malzemeleri organik kökenli olup, toprakta zamanla parçalanıp kaybolur ve toprak kirliliğine yol açmaz. Organik reçineler bu amaçla kullanılabilir ürünlerdir.

Sektörde pazara hakim ürünler üretim ve hammaddeye erişim kolaylığından dolayı çoğunlukla petrol türevi ürünlerdir. Peters, Scoot, Compo, Haifa gibi uluslararası şirketler kontrollü salım ve yavaş salımlı gübreler konusunda sektörde lider firmalardır. Çoğunlukla sentetik veya üretilen formaldehit kaplama malzemeleri kullanılmaktadır.

Petrol türevi kaplama malzemeleri toprakta parçalanmaz ve uzun süre kirliliğe neden olabilir. Bu nedenle yerli kaynaklardan elde edilecek tercihen organik polimerler ile kontrollü salımlı gübre üretimi ile ilgili araştırma ve ürün geliştirmeye ihtiyaç vardır.

Toprakta kolay parçalanıp kalıntı bırakmayan, üretim ve paketleme süreçleri pratik ve hızlı olan, tercihen bir katalizör ile hızlı kurutulup paketlenen ürünler olmalıdır.

### **B. Dünyada ve Türkiye’de Teknolojik Hazırlık Seviyeleri**

#### **3.3.a. Kontrollü ve yavaş salım sağlayacak maddelerin çevre dostu alternatiflerinin öncelikli olarak yerel kaynaklardan geliştirilmesi**

Kontrollü ve yavaş salımlı gübreler bilinen teknolojiler olup çoğu patent ile koruma altına alınmış üretilen ve tüm dünyada satışı yapılan teknolojik ürünlerdir. Bu nedenle her iki grup gübrelerde THS 9’dur.

### **C. Dünyada ve Türkiye’deki Mevcut Duruma İlişkin Başarılı Örnekler**

#### **3.3.a. Kontrollü ve yavaş salım sağlayacak maddelerin çevre dostu alternatiflerinin öncelikli olarak yerel kaynaklardan geliştirilmesi**

Compo firması tarafından üretilen Ozmocote, Everris firması tarafından üretilen Sportsmasters, Scoot firması tarafından üretilen Bazocote ve Haifa firması tarafından üretilen Multicote gibi ürünler için THS 9’dur. Fakat Organik polimerler veya organik ürünler ile yapılabilecek kontrollü salımlı gübrelerde THS 1-9 arasında değişebilir.

Compo tarafından üretilen Fleronid ticari ismiyle satılan gübreler isobutiliden diüre kullanılarak azotun yavaş salımı sağlanmıştır. Everris firması tarafından üretilen Sierraform isimli üründe ise azotun yavaş salımı üretilen formaldehit ile sağlanmıştır ve THS her iki üründe de 9’dur.

Scot firması tarafından üretilen Bazocote (Üreformaldehit), Compo firması tarafından üretilen Ozmocote (Sentetik), Haifa firması tarafından üretilen Multicote (Sentetik), Everris firması tarafından üretilen Sportsmaster (POLY-S) örnekleri ticari ürünleri ve kullandıkları kaplama malzemeleri ve yavaş salımlı azot teknolojileri ile örnek gösterilecek başarılı girişimlerdir. Bu konuda Türkiyede başarılı bir girişim mevcut değildir.

## **D. Ar-Ge ve Yenilik Sürecinde Biraraya Gelmesi Gereken Disiplinler ve Sektörler**

### **3.3.a. Kontrollü ve yavaş salım sağlayacak maddelerin çevre dostu alternatiflerinin öncelikli olarak yerel kaynaklardan geliştirilmesi**

Kontrollü ve yavaş salımlı gübrelerin geliştirilmesinde birçok disiplin bir arada çalışmalıdır. Kaplama ve yavaş salım teknoloji adaylarının veya var olan teknolojilerinin üretim bilgisinin geliştirilebilmesi için organik kimya, analitik kimya ve kimya mühendisliği alanında uzmanların, ürün etkinliklerinin belirlenmesi için ise toprak bilimi ve bitki besleme uzmanlarının bir araya gelip ortak projelerde görev alması gereklidir.

Gübre sektörü geliştirilecek veya yeniden sentezlenecek ürünlerin hacimli üretimini yapacak ve bayiler aracılığı ile çiftçilere ulaşımını sağlayacak temel özel sektör kuruluşudur. Gerekli kimyasalların belirlenmesi ve elde edilmesi için de kimya sektöründen kuruluşların bir arada çalışması gereklidir.

Konu ile ilgili temel araştırmaların ardından ürün prototiplerinin elde edilmesi, sera ve arazi koşullarında denemelerinin yapılması ile zaman ve maliyet açısından etkin üretim hattının geliştirilmesi için belirlenecek araştırma konularında finansal destek kalemleri oluşturulmalıdır.

## **E. Ar-Ge , Yenilik, Demonstrasyon İşbirliği Modeli ve Destek Mekanizması**

### **3.3.a. Kontrollü ve yavaş salım sağlayacak maddelerin çevre dostu alternatiflerinin öncelikli olarak yerel kaynaklardan geliştirilmesi**

Kontrollü ve yavaş salımlı gübre konusunda ürün geliştirmiş veya bu konuda araştırmalar yapmış akademik ve Ar-Ge personelinin sempozyumlar veya kongreler ile bir araya getirilip, araştırmacı gruplarının oluşturulmasında potansiyel adayların belirlenmesi ve birbirleri ile olabilecek birlikteliklerinin sağlanması gereklidir. Yapılacak olan çalıştaylar ile araştırma konularının detayları ve yol haritası ortaya konmalıdır. Bu alanda yapılacak araştırmalar laboratuvar, üretim Ar-Ge'si ve arazi çalışmalarını kapsayan orta ölçekli projeler şeklinde yürütülmelidir.

Konu ile ilgili temel araştırmaların ardından ürün prototiplerinin elde edilmesi, sera ve arazi koşullarında denemelerinin yapılması ve zaman ve maliyet açısından etkin üretim hattının geliştirilmesi için belirlenecek araştırma konularında finansal destek kalemleri oluşturulmalıdır.

## **F. Zaman ve Bütçe Tahminleri**

### **3.3.a. Kontrollü ve yavaş salım sağlayacak maddelerin çevre dostu alternatiflerinin öncelikli olarak yerel kaynaklardan geliştirilmesi**

Hedef ürünlerin veya var olan ürünlerin üretim bilgisinin kazanılması için öncelikle girişim kimyasallarının belirlenmesi ve laboratuvar koşullarında sentezlerinin yapılarak prototip ürünlerin elde edilmesi, ticari ölçekte üretimi için üretim Ar-Ge'sinin yapılması ve zaman maliyet etkili üretim hattının detaylarının oluşturulması konuları en az 2 yıllık bir süreç olacaktır. Prototip ürünün üretiminden sonra sera veya tarla denemeleri ile en az 2 yıl sürecek agronomik çalışmalar da dikkate alındığında 3-5 yıl sürecek projelerin başarıya ulaşacağı söylenebilir.

Araştırma konularının genişliği ve farklı disiplinlerin farklı koşullarda çalışacağı dikkate alındığında orta vadede hedefe ulaşılabilir.

Laboratuvar çalışmaları, prototip ürün eldesi, üretim hattının pilot ölçekte geliştirilmesi ve agronomik denemeler dikkate alındığında 5-10 milyon TL Ar-Ge konularına bütçe ayrılmalıdır. Herhangi bir Gübre Şirketinin en az 5.000 Ton/Yıl tam otomasyon kontrollü ve yavaş salımlı gübre üretimi için yapacağı yatırım ise 10-15 milyon TL civarında olacaktır.

## **G. Teknolojik İlerlemenin Sağlanmasında Kritik Hususlar**

### **Mevzuat ve Yasal Düzenlemeler**

İnorganik, organik ve organomineral gübre üretim prosesleri ve tarımda gübre kullanımına bağlı sera gazı emisyonlarının azaltılmasına yönelik yürütülecek Ar-Ge faaliyetleri sonunda ortaya çıkabilecek yeni teknolojiler ve buluşların üretimi ve piyasada satışı, Tarım ve Orman Bakanlığı, Bitkisel Üretim Genel Müdürlüğü tarafından ruhsatlandırılacak ve tescillendirilecektir. Türkiye'de uygulanan Kimyevi Gübrelere Dair Yönetmelik, eski 2003/2003/EC Avrupa Birliği yönetmeliği ile uyumlu olup, yenilenen 2019/1009/EC yönetmeliğine uyum süreci henüz tamamlanmamıştır. Ülkemizde yeni geliştirilecek benzeri ürünlerin patent veya faydalı model tescili alınmış olsa dahi, Avrupa Birliği Gübre Yönetmeliğine kaydının yapılmadan üretimi ve satışı mümkün değildir. Firmalarımız, özellikle de startup veya KOBİ düzeyinde olan şirketlerimiz, bu süreci ve oluşacak maliyetleri Avrupa Birliğinde faaliyet gösteren Gübre Şirketleri kadar kolay yönetemeyecek ve maliyetleri karşılamakta zorlanacaklardır. Bu nedenle Ar-Ge projeleri kapsamında geliştirilebilecek yeni teknoloji ve buluşların, hem sera gazı emisyonlarının azaltılmasında yerli teknoloji kullanımının sağlanması hem de ucuz teknolojiye ulaşım ve sektörün yurtdışı bağımlılığının azaltılması açısından desteklenmesi gerekmektedir. Öncelikle yeni teknoloji ve buluşların üretim

ruhsatlarının ve satış tescillerinin verilebilmesi için bu alanda ulusal yönetmeliklerin geliştirilmesi gereklidir. Yeni teknoloji ve buluşların etik, insan ve çevre sağlığı açısından değerlendirileceği pozitif bakış açısına sahip komisyonlar kurulabilir. Bu komisyonlar güçlü bilimsel alt yapılarından dolayı özellikle Araştırma Üniversitelerinden, Tarım ve Orman Bakanlığı ve Bağlı Kuruluşlardan oluşturulabilir. Bu teknoloji veya ürünlerin ulusal yönetmelikten Avrupa Birliği yönetmeliğine geçişleri Tarım ve Orman Bakanlığı, Bitkisel Üretim Genel Müdürlüğü tarafından yürütülmelidir.

Yeni teknoloji ve buluşların Avrupa Birliği Gübre Yönetmeliğine kayıtlarının yapılabilmesi için Tarım ve Orman Bakanlığı, Sanayi ve Ticaret Bakanlıkları ve KOSGEB gibi kuruluşlar tarafından usuller konusunda ve mali yönden destekler verilmelidir. Aksi takdirde Avrupa Birliği tarafından özellikle de Avrupa Birliği üyesi ülkelerde yapılmış olma koşulu ile istenecek test, sertifikasyon veya kayıt işlemlerine startup veya KOBİ ölçeğinde faaliyet gösteren şirketlerimizin ekonomik güçleri yetmeyecektir. Ulusal yönetmeliklerin bu kapsamda oluşturulmadan ya da güncellenmeden uluslararası şirketlere sahip Avrupa Birliği Üyesi ülkelerin teknoloji ve pazarı elinde tutmasının önüne geçmek mümkün olmayacaktır.

### **Teknik Altyapılar**

Kontrollü veya yavaş salımlı gübrelerin analizleri üniversitelerimizin laboratuvarlarında yapılabilir. Ülkemizde akredite laboratuvarlara mevzuata uygun analiz ve test yöntemleri konusunda eğitimler verilebilir.

### **İnsan Kaynakları**

Gübre şirketlerinin birçoğu ithal ettikleri ürünlerin pazarlama ve satışını yapmaktadır. Kontrollü ve yavaş salımlı gübrelerin geliştirilmesi veya üretimi konusunda üretim bilgisine sahip personel yeterli değildir. Üniversitelerin ilgili bölümlerinde yüksek lisans ve doktora düzeyinde öğrenci yetiştirilebilir.

### **Destek ve Teşvikler**

TÜBİTAK ve TAGEM tarafından temel araştırmayı da kapsayacak Ar-Ge projeleri çağrısına çıkılabilir. Sanayiye entegrasyonu için ise KOSGEB tarafından orta ölçekli, Sanayi Bakanlığı tarafından da büyük ölçekli yatırımlar için hibe destek programları oluşturulabilir.

## KAYNAKLAR

- Aljanabi . H. A. 2021. Effects of Nano Fertilizers Technology on Agriculture Production. Annals of R.S.C.B. ISSN:1583-6258, Vol. 25, Issue 4, 2021, Pages. 6728 – 6739
- Chaitra. P, Kalia. A, Ahuja.R, Sidhu. SPK and Sikka.R.2021. Importance of Nano Fertilizers in Sustainable Agriculture. Environmental Sciences and Ecology: Current Research (ESECR) .Volume 1 Issue 5.
- Kuzma, J.(2008). Assessment of Risk and Oversight”, Center for Science, Technology, and Public Policy Humphrey Institute, University of Minnesota, USA.
- Lahiani MH, Chen J, Irin F, Poretzky AA, Green MJ, et al. (2015) Interaction of carbon nanohorns with plants: Uptake and biological effects. Carbon 81: 607-619.
- Huang YC, Fan R, Grusak MA, Sherrier JD, Huang CP (2014) Effects of nanoZnO on the agronomically relevant Rhizobium-legume symbiosis. Sci Total Environ 497: 78-90
- Madanayake.M.V and Adassooriya.N.M. 2020.Phytotoxicity of Nanomaterials in Agriculture. Volume.15 page ; 109
- Zulfiqar, F., Navarro, M., Ashraf, M., Akram, N. A., and Munné-Bosch, S. (2019). Nanofertilizer use for sustainable agriculture: Advantages and limitations. Plant Sci., 110270.
- Bröckel, U. and Hahn, C. (2004): Product design of solid fertilizers. Chemical Engineering Research and Design, 82(A11), 1453-1457.
- [https://www.fertilizer.org/images/Library\\_Downloads/2018\\_IFA\\_Measuring\\_and\\_Reporting\\_Fertilizer\\_Emissions.pdf](https://www.fertilizer.org/images/Library_Downloads/2018_IFA_Measuring_and_Reporting_Fertilizer_Emissions.pdf)
- Trenkel, M.E., Wichmann, W. and Kummer, K.F. (1988): New Challenges for the World Fertilizer Industry with Regard to Agriculture. IFA Agro-Economics Committee, Monte Carlo.
- IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
- Mason, M.G., 1992. Effect of nitrogen source and soil type on inorganic nitrogen concentrations and availability in field trials with wheat. Australian Journal of Experimental Agriculture 32(2) 175 - 181
- Sathukhan, R., et. Al., 2022. Plant Perspectives to Global Climate Changes. Biological nitrification inhibition for sustainable crop production. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85665-2.00007-8>
- Crane-Droesch, A., Abiven, S., Jeffery, S., & Torn, M. S. (2013). Heterogeneous global crop yield response to biochar: a meta-regression analysis. Environmental Research Letters, 8(4), 044049.
- Biederman, L. A., & Harpole, W. S. (2013). Biochar and its effects on plant productivity and nutrient cycling: a meta-analysis. GCB bioenergy, 5(2), 202-214.
- Jeffery, S., Verheijen, F. G., van der Velde, M., & Bastos, A. C. (2011). A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis. Agriculture, ecosystems & environment, 144(1), 175-187.



- Joseph, S., Cowie, A. L., Van Zwieten, L., Bolan, N., Budai, A., Buss, W., ... & Lehmann, J. (2021). How biochar works, and when it doesn't: A review of mechanisms controlling soil and plant responses to biochar. *GCB Bioenergy*, 13(11), 1731-1764.
- Borchard, N., Schirrmann, M., Cayuela, M. L., Kammann, C., Wrage-Mönnig, N., Estavillo, J. M., ... & Novak, J. (2019). Biochar, soil and land-use interactions that reduce nitrate leaching and N<sub>2</sub>O emissions: a meta-analysis. *Science of the Total Environment*, 651, 2354-2364.
- Mulcahy, D. N., Mulcahy, D. L., & Dietz, D. (2013). Biochar soil amendment increases tomato seedling resistance to drought in sandy soils. *Journal of arid environments*, 88, 222-225.
- Liu, Q., Zhang, Y., Liu, B. et al. How does biochar influence soil N cycle? A meta-analysis. *Plant Soil* 426, 211–225 (2018). <https://doi.org/10.1007/s11104-018-3619-4>
- Sümer, S. K., Kavdir, Y., & Çiçek, G. (2016). Türkiye’de tarımsal ve hayvansal atıklardan biyokömür üretim potansiyelinin belirlenmesi. *KSÜ Doğa Bilimleri Dergisi*, 19(4), 379-387.
- Yan, P., Zou, Z., Li, X., Zhang, L., Zhang, L., Fu, J., & Wenyan, H. (2022). Biochar changed the distribution of imidacloprid in a plant–soil–groundwater system. *Chemosphere*, 136213.
- Farhangi-Abriz, S., Torabian, S., Qin, R., Noulas, C., Lu, Y., & Gao, S. (2021). Biochar effects on yield of cereal and legume crops using meta-analysis. *Science of the Total Environment*, 775, 145869.
- Li W, Sun Y, Li G, Liu Z, Wang H, Zhang D (2017) Contributions of nitrification and denitrification to N<sub>2</sub>O emissions from aged refuse bioreactor at different feeding loads of ammonia substrates. *Waste Manag* 68:319–328
- Mukherjee, S., Weihermüller, L., Tappe, W., Hofmann, D., Köppchen, S., Laabs, V., ... & Burauel, P. (2016). Sorption–desorption behaviour of bentazone, boscalid and pyrimethanil in biochar and digestate based soil mixtures for biopurification systems. *Science of the Total Environment*, 559, 63-73.
- Martin, S. M., Kookana, R. S., Van Zwieten, L., & Krull, E. (2012). Marked changes in herbicide sorption–desorption upon ageing of biochars in soil. *Journal of hazardous materials*, 231, 70-78.

**Teknolojik Hedef 4: GÜBRELERİN ETKİN KULLANIMI**  
**Gübrelerin kullanım etkinliğinin izlenmesi ve artırılması**

### **Kritik Ürün/Teknoloji 4.1.**

**Toprak ve bitki analizlerinin izlenmesi ve değerlendirilmesi için yeni teknolojilerin geliştirilmesi**

### **Öncelikli Ar-Ge ve Yenilik Konuları**

**4.1.a. Toprak kalitesi, besin ihtiyacı ve bitkinin beslenme durumunun tespitine yönelik sensör veya biyosensörlerin geliştirilmesi**

### **A. Teknik Açıklamalar, Yenilikçi Özellikler, Hedeflenen Performans ve Metrikler**

Bitki gelişmesinde verim ve kalite, temelde bitki için gerekli toprak besinlerinin mevcudiyetine bağlıdır. Geleneksel laboratuvar yöntemleri, toprak besin maddelerinin doğru ölçümlerini sağlar ancak pahalı, karmaşık ve zaman alıcıdır. Bilgi ve iletişim teknolojisindeki gelişmeler, çeşitli toprak parametrelerinin daha hızlı ölçümlerini yapabilen elektronik cihazların geliştirilmesini sağlamıştır.

Toprak verimliliği; "toprağın temel bitki besinlerini sağlayarak büyümeyi sürdürme yeteneği" olarak tanımlanmaktadır. Tarımsal sistemlerde toprak verimliliğinin sürdürülmesi, gübre ve diğer organik materyallerin, inorganik gübrelerin, kirecin, mahsul sistemlerine baklagillerin dahil edilmesini veya bunların bir kombinasyonunu içermektedir. Optimum üretim ve toprağın verimliliğini korumak için, gerekli tüm besin maddelerini yeterli miktarda muhafaza etmek için gübre uygulamasında iki ilke göz önünde bulundurulmalıdır. Justus von Liebig tarafından önerilen ilk yasa olan minimum yasası, "bitkinin büyümesi, bitki-besin elementinin en küçük miktarda bulunması ile sınırlıdır, geri kalan her şey yeterli miktarda bulursa da" demektir. Aşırı gübreleme, toprak özellikleri üzerinde büyük bir etkiye sahip olabilir ve büyümeyi azaltabilir. İkinci ilke, azalan verim artışına ilişkin Mitscherlich yasası, belirli bir besin maddesinin miktarının artmasıyla, ürün büyümesindeki artışın, maksimum verim kapasitesine ulaşılan bir noktaya kadar azalacağını belirtir.

Toprak verimliliğinin karakterizasyonunda; (i) kalitatif teknikler (örneğin, toprak renginin gözlemlenmesi, el ile toprak dokusu karakterizasyonu testi, toprak flora ve faunasının bolluğunun ve çeşitliliğinin gözlemlenmesi) ; (ii) kantitatif teknikler (örneğin, topraktan makro ve mikro elementlerin miktarının belirlenmesi ve toprak su içeriğinin miktarının belirlenmesi); ve (iii) yarı kantitatif teknikler (örneğin, toprak özellikleri, gübre uygulama oranı ve miktarı hakkında anket veya veri değerlendirmesi) önemlidir.

Toprak verimliliği karakterizasyonuna yönelik teknikler ayrıca aşağıdaki şekilde de gruplandırılabilir: (i) biyolojik karakterizasyon; (ii) bitki analizi; ve (iii) toprağın kimyasal ve fiziksel parametrelerinin değerlendirmesi. Toprak verimliliğinin biyolojik karakterizasyonu için, toprak faunası ve florasının bolluğu ve çeşitliliği, mikrobiyal biyokütle ve enzim aktivitesindeki değişikliklerin değerlendirilmesi, toprağın sağlığı, toprak besinlerinin tükenmesi veya gübrelerin toprak üzerindeki etkisi hakkında önemli bilgiler vermektedir. Toprak faunası ve mikrobiyal topluluklar, büyüyen bitkiler tarafından emilebilen inorganik formlara ayrışmasında önemli bir rol oynamaktadır. Ek olarak, toprak faunasının faaliyetleri toprak suyunun sızmasını ve depolanmasını iyileştirmektedir. Niteliksel yöntemler (örneğin, toprak numunesinin gözlemlenmesi), toprak değerlendirmesinde değerlendirici uzmanlığı gerektiren toprak verimliliğinin biyolojik karakterizasyonu için kullanılmaktadır. Ayrıca bitki analizlerinde kalitatif ve yarı kantitatif yöntemler kullanılabilir. Bitkilerin gözlemlenmesi, genellikle besin eksikliği ile ilişkilendirilen gözle görülür semptomların gözlemlenmesi yoluyla kritik besin koşullarını belirlemek için kullanılabilir.

Tarla ve Bahçe tarımında toprak besin düzeylerinin değerlendirilmesi büyük önem taşımaktadır. Zira bilgi sisteminin uygulanması birçok zorlukla karşı karşıyadır: (i) tarımsal alanlarda büyük mekansal değişkenlik (örneğin, engebeli topografya); (ii) ekilmiş olan bitkiler için farklı toprak özellikleri (örneğin, farklı su tutma kapasitesi, farklı kum, toprak, kil ve toprak organik maddesi içeriği, farklı pH ve farklı geçirgenlik); (iii) farklı bitkiler tarafından farklı besin alım potansiyeli ; (iv) monokültür tarımın yaygın olması; ve (v) çok çeşitli çiftlik bileşenleri, agroekolojik bölge ve sosyo-ekonomik faktörlerdir. Bilgi ve iletişim teknolojilerindeki gelişmeler, kaynak yönetimini iyileştirecek ve tarımsal alanların üretkenliğini ve sürdürülebilirliğini artıracak düşük maliyetli, verimli bilgi sistemlerinin oluşturulmasını sağlayacaktır. Tarımsal faaliyetlerde farklı algılama kabiliyetine, nesnelerin internetine ve mobil uygulamaya dayalı bilgi sistemlerinin; tarımsal uğraşlarda çiftçilerin kaynak yönetimini iyileştirmesini sağlayan teknolojilerin geliştirilmesi için teorik bir temel ve teknik destek sağlayacağına inanılmaktadır ( Postolache ve ark., 2023).

Yakın dönemde ve yakın gelecekte tarım kavramı; su tasarruflu tarım, akıllı tarım, yüksek kaliteli, yüksek verimli, çevreyi kirletmeyen tarım konseptinde ilerleyecektir. Dijital tarım, tüm bu dönüşümleri gerçekleştirmek için en etkili ve gerekli yaklaşımdır (Yane, 2010).

2018 yılında deklare edilen “**Tarım 4.0 – Tarım Teknolojisinin geleceği**” adlı raporda, 2050 yılına kadar %70 daha fazla gıda üretiminin, dijital tarım teknolojisiyle bağlantılı olacağı iddia edilmektedir. Nitekim yakın gelecekte dünya nüfusundaki artışa bağlı olarak hem gıda açığındaki artışa karşı önlem almak, hem de iklimsel ve çevresel zorlukların üstesinden gelmek için, hükümetlerin ve yatırımcıların “**yenilikçi tarım teknolojilerine**” yönelimi artacaktır ( Brini, 2020).

Endüstri 1.0, 2.0 ve en nihayet 3.0 dan sonra 4. Sanayi Devrimi ile yaşamımıza giren **Endüstri 4.0** dönemiyle beraber çoğu sektör dijital dönüşümle tanışmıştır. Dijital tarım, endüstri 4.0 devrimi olarak da adlandırılan gelişmiş, ilgili ve veri yoğun bilgisayar teknolojilerinin tarımda yaygınlaşmasıyla birlikte yeni fırsatları da beraberinde getirmektedir. Tüm tarım ve hayvancılık sistemlerinde kullanılabilen dijital tarım araçları ile kaynakların yönetiminde optimizasyon, yüksek hassasiyet, gerçek zamanlı ve özelleştirilmiş bilgi kullanımı mümkün hale gelmekte ve bu da tarımsal uygulamalarda kaldıraç etkisi yaratmaktadır (van ES ve ark. 2016; Deichman ve diğerleri 2016). GIFS (2015) tarafından hazırlanan raporda, tüm dünyadaki tarım alanlarının %20'den azının dijital tarım teknolojileri kullanılarak yönetildiğini iddia etmektedir (Özdoğan ve ark. 2017). Bilgiye dayalı tarım modeli olarak da bilinen dijital tarım, tarımsal üretim ve yönetim sistemlerine dayalı dijital verilerin işlenmesini ve yorumlanmasını sağlayan süreçleri içermektedir (Liang ve ark. 2002; Zhang 2011).

Dijital dönüşümle tanışan sektörlerden biri de **tarım** olunca “ **nesnelerin İnterneti, büyük veri, yapay zekâ ve dijital uygulama teknolojileri**” endüstri 4.0 desteği ile tarımsal alanda da yerini almıştır. Özellikle modern bilgi ve iletişim teknolojilerini kullanım sayesinde, akıllı tarım konseptinde tarımsal alanların yönetimi optimize edilmeye başlanmıştır.

Son yıllarda, Nesnelerin İnterneti (Internet of Things - IoT) , Yapay Zeka (Artificial Intelligence - AI) , Uzaktan Algılama ve Görüntü İşleme (Remote Sensing and Image Processing) teknikleri Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile entegre edilerek tarımsal aktivitelerde aktif olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu yenilikçi teknolojiler arasında yer alan “Sensörler” toprak özellikleri ve hava olaylarına ilişkin verileri uydu sistemlerinden ve İnsansız Hava Araçları'ndan (İHA) almış oldukları yüksek çözünürlüklü görüntüleri yapay zekâ destekleri yardımıyla “karar destek platformlarına” naklederek ürünlere ilişkin stres etkenleri ve teşhise ilişkin çözüm önerileri sunulmaktadır.

**Nesnelerin İnterneti:** Ağ, sensör, kablosuz bağlantı sistemleri ve cihazların birbiri ile iletişim kurabilmesi olarak tanımlanabilir. Bulut sistemlerinde veriler işlenip depolanmaktadır.

**Coğrafi Bilgi Sistemleri:** Çeşitli coğrafi temelli bilginin temini ,depolanması, güncellenmesi, kullanılması, analiz edilmesi ve görüntülenmesi için bilgisayar donanımı, yazılımı, personel ve yöntemlerin organize olarak bir araya toplanmasıdır.

**Yapay Zekâ:** Çeşitli algoritmalarla bilginin makinaya tanımlanması ( şartlandırılması) , karşılaştırmalı verilere ait muhakeme yeteneği kazandırılması ve alınacak çıktının güvenilirliğinin artırılmasıdır. Bu tür sistemlerle karar alma mekanizması geliştirilmekte ve hızlandırılmaktadır.

**Dijital Tarım 3 aşamalı bir süreçtir:**

(1) Tarımsal alanla ilgili bilgilerin toplanması ve sayısallaştırılması (mikro iklim koşulları, toprağın fiziksel ve kimyasal özellikleri, sulama düzeni vb) veri alma sürecinden oluşur. Akıllı sensörler şunlardır: bitkinin gövde çevresini ölçmek için drometreler ( ksilem akışlarını tespit etme vb), yaprak potansiyometreleri (bitki streslerini değerlendirmek için), NPK toprak sensörleri. Buna ek olarak, traktörler ve diğer makineler sensörlerle giderek daha yoğun bir şekilde donatılıyor, bunlardan bazıları operasyonları iyileştirmek için kullanılırken, diğerleri daha geniş agronomik değerlendirme için değerli veriler topluyor. Yerel iletişim gerektiren bu veriler, özellikle uzak lokasyonlarda hafife alınmamalıdır.

(2) Elde edilen verilerin, tarımsal modeller (modelleştirilmiş deneyimler) ve geçmiş döneme ait veriler (ana materyal özellikleri vb.), diğer kaynaklar (tedarik zinciri durumları, fiyatlandırma beklentileri vb.) ile birleştirilmesi ve karşılaştırılması

(3) Çiftçiye önerilerde bulunmak (seçilecek ürün çeşidi, gübreleme, tohumlama zamanı, sulama modeli, haşere ve hastalıklara karşı tedaviler, hasat zamanı vb.)

Nesnelerin internetindeki gelişmeler sayesinde güçlenen akıllı teknolojiler (akıllı cihazlar, bilgi işlem ve sensör teknolojileri) ile tarımsal endüstride üretkenlik ve sürdürülebilirlik özellikle gelişmekte olan ülkelerin yerel tarımsal sorunlarını da giderme imkanı sağlamaktadır.

Özdoğan ve arkadaşlarının 2017'de aktardığına göre; Juma (2015), dünyanın değişen ekonomik, politik ve ekolojik koşullarına uygun olarak hammaddenin inovasyon yoluyla zenginleştirilmesinin, gıdanın üretim sonrasında işlenmesine, paketlenmesine, depolanmasına, dağıtımına ve güvenliğine katkı sağladığını belirtmektedir. Tüylüoğlu ve Saraç (2012) da tarımda üretimin verimliliğini tüm süreçlerle sağlayarak inovasyona yönelmenin ekonomik büyümeyi artırdığı sonucuna varmışlardır. Tarım sektörü uzun yıllardır teknolojik gelişmeleri takip etmekte ve bu gelişmelerden faydalanmaktadır. Uydu, (Küresel Konumlandırma Sistemi (GPS), Coğrafi Bilgi Sistemi (GIS) ve diğer mobil iletişim teknolojilerindeki gelişmeler, hassas tarım uygulamalarının ortaya çıkmasını sağlamıştır (López-Riquelme ve ark. 2016). Özellikle son yıllarda bulut bilişim ve nesnelerin interneti gibi

iletişim teknolojilerindeki gelişmeler, yapay zeka, robotik teknolojiler sektörü gibi diğer gelişmelerle birleşerek büyük veri analizi, tarım sektörü için dördüncü devrimin yani dijital tarımın başlamasına olanak sağlamıştır (Dong ve diğerleri 2013; Tan 2016).

Tarım sektöründe; tarımsal risklere, gıda israfına, fiyat belirsizliklerine ve daha fazlasına neden olan girdilerde (su, gübreler, böcek ilaçları, insan gücü) önemli ölçüde azalma sağlayan çeşitli dijital teknolojilere eğilim hızla artmaktadır. Şüphesiz Dijital tarımın yatırım getirisini kanıtlayan bazı başarılı pilot uygulamaların yanı sıra başarısız olduğu yönler de bulunmaktadır. Amaç bu kapsamda laboratuvar, serada veya tarlada bu konuları ele alıp hata paylarını minimize ederken adaptasyonunu optimize etmektir.

### **Dronlar**

Dronlar, çiftçilerin ekinlerinin üzerinde kameralarla gözlemsel çekimler yaparak çiftçileri destekleyebilirler, bu nedenle ekinlerin genel bir görünümünün elde edilmesine veya sorunların belirlenmesine yardımcı olabilir. Dronlar, çiftçilerin uygulamalarını esas olarak yukarıda, yakın mesafede ve hedeflenen alanda pestisit, gübre ve polen salarak iyileştirebilecektir.

Dronlar gerçekten de mahsullerle bir bakış açısıyla etkileşime girebilir. Elbette helikopterler ve uçaklar uzun süredir kullanılıyor ama daha pahalılar, daha fazla eğitim gerektiriyorlar, tarlaya yakınlık limiti söz konusu ve nadiren yeni nesil kameralarla donatılıyorlar. Ek olarak, bugün "dronlar"dan bahsederken, dolaylı olarak gelişmiş sensörleri (esas olarak kameralar) ve yazılımları (esas olarak otomatik uçuş sistemleri ve görüntü işleme) dahil etmek de mümkündür. Dronlar bir yenilik demetini temsil eder ve aslında dronlar yalnızca yenilik yakınsaması olarak anlam ifade eder, çünkü dronlar eylemlerin taşıyıcılarıdır

Dronların temel eylemleri; küresel mahsul gözlemi ve hedefli ilaçlama uygulamalarıdır (Brini, 2020).

## **ÖNCELİKLİ AR-GE VE YENİLİK KONULARI**

### **4.1.a. Toprak kalitesi, besin ihtiyacı ve bitkinin beslenme durumunun tespitine yönelik sensör veya biyosensörlerin geliştirilmesi**

Son zamanlarda, toprak verimliliği karakterizasyonu için bitki analizi konseptinde, uydu görüntüsü kullanılarak (örneğin, MODIS kullanılarak - normalleştirilmiş bitki örtüsü indeksi ve bazı toprak özellikleri hakkında orta çözünürlüklü görüntüleme, spektral radyometre bilgisi) veya insansız hava aracı (İHA) kullanılarak (yüksek çözünürlüklü RGB kamera, hiperspektral kamera veya termal kamera bağlanarak) gerçekleştirilebilir. Uydu görüntülerinin çözünürlüğü metre cinsinden ölçülürken, drone görüntülerinin çözünürlüğü santimetre mertebesinde olabilir. Söz konusu bitki analiz yönteminin dez avantajı, besin eksikliği belirtileri görüldüğünde

verimlilikteki düşüşü düzeltmek için artık çok geç kalınmış olmasıdır. Diğer taraftan, elde edilen veriler bitki içindeki besinlerin oranına bağlı olduğundan ve bir bitkideki besin miktarı bitki türüne, örnekleme zamanına, fizyolojik olgunluğa, örneklenen bitki kısmına ve bitkiye göre değiştiği için, bitki analizi tekniği, toprak verimliliğini değerlendirmede yalnızca yarı niceliksel bir boyut kazandırır.

Kimyasal ve fiziksel toprak parametre değerlendirmesi, çeşitli teknikler ve teknolojiler kullanılarak yapılabilir. Toprak karakterizasyonu, tipik olarak, tarladan farklı derinliklerde (0 ila 20 cm) 20 dönümlük (yaklaşık 1 hektar) kare alanlardan toplanan 20 ila 50 numunedan alınan bir toprak ekstraktının analizi yoluyla gerçekleştirilir. Analiz, çok zaman alan ve pahalı olan kolorimetri ve spektroskopi gibi çeşitli laboratuvar yöntemleriyle su, kimyasal özütleyiciler, iyon değiştirici reçine ve membranlar ile elektro-ultrafiltrasyonun değerlendirilmesiyle veya yorumlanmasıyla gerçekleştirilir. Ayrıca, çoğu durumda, toprak testleri gravimetrik temelde, hacimsel yerine toprağın kütlesi dikkate alınarak yapılır. Oysa, toprak hacmi, kütle yoğunluğu ve örnekleme derinliği ile değişebilir. Ayrıca değerlendirme, daha derin katmanlardan toplanan örneklerle karşılaştırıldığında yüzeyden toplanan örnekler üzerindeki toprak kimyasal ve fiziksel özelliklerindeki büyük farklılıklar gösterir. Ayrıca, toprak numunesi alınırken, bitki köklerinin tipi de dikkate alınmalıdır (yani, kazık köklü bitkiler için, toprak numunesi, lifli köklü bitkilerden daha derin bir tabakadan alınmalıdır vb). Birçok toprak tabakalı olduğundan numune derinliği tutarlı kalmalıdır ve bu, ölçümlerde daha fazla değişkenliğe ve verilerin yetersiz yorumlanmasına neden olabilir.

Bilgi sisteminin önemli bir bileşeni veri toplamaya olanak sağlayan yapıdır. Toprak besin maddeleri hakkında bilgi, belirli sensörler kullanılarak doğrudan ölçüm yoluyla veya farklı sensörlerden alınan veriler ve farklı kaynaklardan toplu veriler kullanılarak dolaylı ölçümler yoluyla elde edilebilir (örn. gerekli gübre). Toprak verimliliğini izleme yöntemleri üç kategoriye ayrılabilir: (i) yerinde, (ii) yakın mesafede ve (iii) uzaktan algılama.

Yerinde algılama tekniğinde, tahribatsız ve farklı arazilerde ve farklı çevre koşullarında kullanımı kolay sensörler kullanır. Nokta tabanlı ölçümler, yakın temas halinde olan veya numunedan küçük bir mesafede bulunan sensörler kullanılarak elde edilir. Bu teknikler, nem ve besin içeriği, pH, tuzluluk ve sıcaklık gibi toprak parametrelerini ölçmek için kullanılır. Toprak nemini ölçmek için zaman alanlı reflektometri (TDR), ısı darbe probu ve tansiyometri teknikleri gibi çeşitli teknikler hâlihazırda kullanılmaktadır. Kapasitans, frekans alanı (FDR) gibi diğer pek çoğu reflektometri, nötron saçılması, elektriksel özdirenç tomografisi ve yakın kızılötesi yansımaya teknolojileri, NPK içeriği olarak da bilinen toprak makrobisleri, nitrojen/nitrat (N), fosfor (P) ve potasyum (K) için algılama teknolojisi henüz çok yenidir. İyon seçici membran (ISM) tabanlı elektrokimyasal sensörler, enzim tabanlı biyosensörler, moleküler baskılı



polimerler (MIP) tabanlı biyoalgılama yaklaşımları, nitratın elektro-indirgenmesi gibi toprak N, P ve K ölçümü için farklı teknolojiler vardır. Amonyum iyonu ölçümünde Bakır bazlı elektrotlar, floresan bazlı sensörler, tamer bazlı sensörler, hareket halindeyken spektroskopi ve elektroforez bazlı yöntemler kullanılmaktadır. Optik veya kolorimetrik sensör, iletkenlik sensörleri ve elektrokimyasal sensör, Nesnelerin İnterneti teknolojisine dayalı bir bilgi sisteminin algılama katmanı olarak N, P ve K ölçümü için kullanılmaktadır. Toprak besin düzeylerinin belirlenmesi için IoT tabanlı bilgi sistemleri için önerilen algılama cihazlarının kullanımını sınırlayan bazı konular söz konusudur. Çeşitli optik ve kolorimetrik algılama cihazları, yalnızca toprak numunesi hazırlandıktan sonra (yani, seyreltme, filtrasyon ve hedeflenen toprak elementinin optik olarak tespit edilmesini sağlayan numuneye farklı reaktiflerin eklenmesi) ölçümleri mümkün kılmaktadır. Prosedür, geleneksel laboratuvar ölçümlerine benzer ve pahalı malzemeler ile eğitilmiş ve deneyimli teknisyenlerin çalıştığı laboratuvar koşulları gerektirir. Ayrıca, önerilen cihazlar spektrofotometri teknolojisindeki ilerlemeyi dikkate almamıştır (yani, bu teknolojideki yenilik ölçüm doğruluğunu artırmış ancak aynı zamanda ekipmanın fizibilitesini ve bakımını da geliştirmiştir).

Taşınabilir sensörlerdeki ve spektral algılama tekniklerindeki gelişmeler, sahada hareket halindeyken toprak değerlendirmesi, besin maddelerinin tahmini ve belirli bir alan için toprak besinleri üzerindeki akışın analizine olanak tanır. Ayrıca, coğrafi bilgi sistemleri (GIS), gübre uygulamasının daha iyi yönetilmesine olanak tanıyan, besin maddelerinin ölçülen değerlerini belirli konumlara veya alanlara gerçek zamanlı olarak haritalamak için kullanılabilir (Postolache ve ark, 2023).

### **Sensörler**

Sensörler; Tarımsal süreçte değişen aşamalarda, gerçek zamanlı ürün takip veya izlemede karar destek ekipmanları olarak kullanılmaktadır.

Sensörler, fiziksel olarak belli bazı büyüklüklere ait ölçümsel değerleri elektrik sinyallerine dönüştüren aparatlardır. Akıllı tarım alanında, su potansiyelinin, hava olaylarının ve toprak özelliklerinin takibinde, kontrol altına alınmasında ya da pratik ölçümünde kullanılan ekipmanlardır. Bahis konusu Sensörlere bir örnek olarak Optik sensörleri verebiliriz. Optik sensörle toprak özelliklerinin belirlenmesinde bu özelliklerin ışık yansıma frekanslarını ölçere söz konusu parametre hakkında fikir sahibi olunabilmektedir.

Daha sürdürülebilir tarım için öne çıkan çözümler arasında, mevcut teknolojik olanakları amaca göre yöneterek elde edilen akıllı yaklaşımlar sayesinde girdi kullanımının ekonomik ve ekolojik kullanımı sağlanmış olur. Bir yandan, toprak, çevre ve insan sağlığı korunur diğer yandan sürdürülebilirliği de sağlanmış olur.

Gelişmiş ülkelerin tarımsal ihracat miktarları ağırlıklı olarak katma değeri yüksek ürünlerden oluşurken inovasyon katma değeri yüksek ürünler elde edilmesini mümkün kılmaktadır. İnovasyon, daha az kaynak ve çabayla çok daha fazlasını başarmanın önemli bir yolu olarak görülmektedir (Avşar ve Avşar, 2014: 380).

Dijital tarım, makro verilerle bilgilendirmeye imkân veren uygulamadır. Çiftçiler, şirketler ve politika yapıcılar, toplu veriler olmadan bilinçli kararlar alamayacağı için, Dijitalleşme ile basitleştirmeye gereksinim vardır. Bilinçli kararlar almak için gerekli olan genel rakamların üretilmesine ve paylaşılmasına olanak tanıyan veri toplama ve veri analizine ihtiyaç doğmaktadır.

Özellikle, tarımda iklim değişikliğine bağlı olarak gelişen anormal hava olayları nedeniyle ürün kayıpları, bazı tedbirler gerektirmektedir. Toprak özelliklerine, su yönetimine, tohum, gübre, bitki koruma ilaçları yönetimine, hasat tekniklerine göre değişen inovatif yaklaşımlar gerekmektedir. Bu kapsamda yenilikçi Dijital teknolojide, izleme teknikleri arasında sensörlerle elde edilen bilgiler arşivlenmekte ve bazı algoritmalar desteği ile yorumlanıp rapor edilmektedir. Bu veriler hızlı, çabuk ve kolayca anlık bilgiler olarak akıllı telefonlar aracılığıyla iletilebilmektedir. Tarımsal sorunun farkına varıp uygulama hatalarına karşı önleyici, zamanında ve doğru müdahaleye olanak tanımaktadır.

"Gıda ve tarım sektörünün dijitalleşmesinin önündeki temel engeller; birlikte çalışabilirliğin olmaması, tedarik zincirinin birçok bölümünde, şirketlerin pahalı veri tabanlarına sahip olması ancak veri egemenliğini ve gizliliği koruyacak şekilde, tüm bu verileri bir araya getirecek çerçeveden yoksun olmalarıdır. Bu alt yapıya sahip olunduğu zaman; tarımda sürdürülebilirliği sağlamak, sürdürülebilir ürün yönetimi, hastalık-zararlı kontrolü, yeni tarım teknolojileri sayesinde çiftçilerin mevcut ve gelecekteki nesillerin yeryüzünde ihtiyaçlarını tehlikeye atmadan büyümeye olanak sağlayacaktır.

### **B. Dünyada ve Türkiye’de Teknolojik Hazırlık Seviyeleri**

Ülkemizde tarım makineleri üzerine yerleştirilen **sensör, kamera ve uzaktan kumandalı sistemler ile gerek otonom uygulamalar gerekse dijital kayıt çalışmaları** hızla yaygınlaşmaktadır. Bu ekipmanlara erişim kolay olabildiği gibi cep telefonlarıyla senkronize hizmet alınmaktadır. Hasat uygulamaları için ekipman açığı kapatılmaya çalışılmaktadır. Bu kapsamda yapılan çalışmaların bir kısmı dar kapsamlı akademik çalışma ölçeğindedir. Referans spektral kütüphane açığı nedeniyle, akademik düzeyde AR-GE çalışmalarını zorunlu kılmıştır.

**Tarla.io**, her koordinat için meteoroloji istasyonlarından yapılan ölçümlerin yorumuna sahiptir. Böylece, orada olsa bile Bölgede ölçüm istasyonu bulunmamasına rağmen yine de en doğru

tahmini yapabilmektedir. **Tarla.io**'da güncel veya arşiv meteorolojik verileri, bitki biyolojisi ve toprak özellikleri ile ilgili bilgilere yer verilerek karar destek sistemleri oluşturulmaktadır. Örneğin, belirli bir bölgedeki sıcaklık birikimi izlenerek, buğdayın çiftlik için gübre önerileri yapılabilmektedir

#### **4.1.a. Toprak kalitesi, besin ihtiyacı ve bitkinin beslenme durumunun tespitine yönelik sensör veya biyosensörlerin geliştirilmesi**

##### **Akıllı Sensörler**

Akıllı sensörler, sistemde birden fazla algılama kanalından gelen verileri toplama ve bunları işleme birimine ve veri bulutu sunucusuna gönderme sorumluluğuna sahiptir. Sıcaklık, pH ve toprak nemi içeriği, iletkenlik ve N, P ve K içeriğinin eş zamanlı ölçümü için TDR çalışma prensibine dayalı çok elektrotlu bir sensöre bağlı bir ESP32 Wi-Fi/LoRa kartı içeren ekipmanlardır.

Tarımsal uğraşlar için en akılcı, pratik, çabuk, ekonomik ve başarılı teknolojilerinden biri akıllı sensörlerdir. Uzaktan algılama gücüne sahip akıllı sensörler, bitki sağlığını, toprak koşullarını, sıcaklığı, nemi vb. durumları izlemektedir. Akıllı dronlar eşliğinde bir tarım alanındaki sorunları da ( kurak alanları, tahılların nem düzeylerini, beslenme bozuklukları veya besin eksikliklerini) gökyüzünden tarayarak rapor edebilmektedirler.

Farklı **görüntüleme sensörleri** aracılığıyla, bitki gelişmesinde önemli girdilerden su, ışıklandırma, nemlilik, sıcaklık ve kimyasal besin düzeyi vb konularda ölçümler yaparak; bitkilerin morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal değişimlerini görüntüleyen sensörlerinin kullanımı da hızla yaygınlaşmıştır. Farklı görüntüleme sensörleri bitkilerde yaprak rengi, yaprak dokusu, ışık yansıtma oranı gibi biyokimyasal ve fizyolojik değişiklikleri de tespit edilebilmektedir.

Ortak çalışma prensibi; görüntülenen objeye gönderilen ışığın emilme miktarlarını ölçmeye dayanan Görüntüleme sensörleri 5 kategoriye ayrılır; 1.RGB, 2.spektroskopi, 3.floresans, 4.termal ve 5.üç boyutlu (3B) görüntüleme.

**Görüntüleme sensörleri**, besin eksikliği, hastalık ve zararlı tespiti gibi konularda oldukça başarılıdır.

**Floresans görüntüleme sensörleri** daha çok laboratuvarlarda ve ürün yetiştirme alanlarında kullanılır. Örneğin, bitkiden UV uyarımlı otofloresansın toplanarak bitki metabolizması analizinde kullanılabilmektedir.

**Termal görüntüleme sensörleriyle** kuraklığa duyarlık, virüs, bakteri ve mantar enfeksiyonları tespitinde kullanılmaktadır. 3B görüntüleme sensörleri ile bitkilerin boyutları ile bitki büyümesinin izlenmesi ve fenotiplemesi de mümkündür.

### **Akustik Sensörler**

Daha sofistike akustik algılama kabiliyetine sahip DSC 'snap crackle pop' sensörü, kaba parçaları tahmin etmek ve topraktaki çeşitli malzemeler arasında ayırım yapmak için kullanılır

### **Dijital toprak Probu**

Dijital Toprak probu (**Digital Soil Core, DSC**), tam toprak profilini yaklaşık 1 dakika içinde 120 cm + derinliğe kadar karakterize etmesini sağlayan sürekli bir hızda toprağa itilen 7 bağımsız sensörlü bir probdur. DSC, diğer ücretsiz teknolojilerle dijital olarak senkronize edildiği arazi tarama (Land Scan) için saha karakterizasyon ve analiz sisteminin bir parçasıdır. **DSC karşılaştığı her santimetre toprak için 1200'den fazla bağımsız bilgi parçası sağlayarak** çok sayıda toprak özelliğinin doğru bir şekilde ölçülmesini sağlamaktadır.

Taşınabilir sensörlerdeki ve spektral algılama tekniklerindeki gelişmeler, sahada toprak değerlendirmesi, hareket halindeyken besin maddelerinin tahmini ve belirli bir alan için toprak besinleri üzerindeki akışın analizine olanak tanır. Ayrıca, coğrafi bilgi sistemleri (GIS), gübre uygulamasının daha iyi yönetilmesine olanak tanıyan, besin maddelerinin ölçülen değerlerini belirli konumlara veya alanlara gerçek zamanlı olarak haritalamak için kullanılabilir.

## **C. Dünyada ve Türkiye'deki Mevcut Duruma İlişkin Başarılı Örnekler**

### **4.1.a. Toprak kalitesi, besin ihtiyacı ve bitkinin beslenme durumunun tespitine yönelik sensör veya biyosensörlerin geliştirilmesi**

Bu başlık kapsamında iki örnek özetledim. Birincisi; büyük veri (big data) kullanımıyla entegre, gerçek zamanlı, taşınabilir bir biyosensör geliştirilmesine ilişkin bir başarıyla sonuçlandırılmış bir AB projesidir. Benzer bir projenin AB hibesiyle ve/veya ulusal finansman imkanlarıyla ülkemizde gerçekleştirilebileceği değerlendirilmektedir.

Projenin Temel Çıktısı: Yeni geliştirilen uygulama, çiftçilere mahsullerinin ne kadar gübreye ihtiyacı olduğunu bildirmesi olacaktır.

Bitkilerin beslenme ihtiyaçlarını doğru bir şekilde ölçmemek, aşırı gübrelemeye neden olabilmekte; toprağı, havayı ve suyu kirletmektedir. LiveSEN, nitrojen seviyelerini ölçen ve

Büyük Veri (Big Data) odaklı önerilerle çiftçilere fayda sağlayan gerçek zamanlı, taşınabilir bir biyosensör geliştirmiştir.

Toprak verimliliğini artırmak için, çiftçiler arasında yaygın olan uygulama, mahsulün gerçekte ihtiyaç duyduğundan daha fazla gübre kullanmasıdır. Bu yaklaşım iyi bir verim sağlamaya yardımcı olurken, olumsuz ekonomik ve çevresel sonuçlara sahiptir.

Bunun bir çözümü, çiftçilerin toprakta bulunan nitrojen miktarı hakkında doğru ve zamanında bilgiye erişerek girdilerini buna göre ayarlaması olacaktır. Bununla birlikte, maliyetler ve laboratuvar analizine dayanan zahmetli iş akışı nedeniyle mevcut analitik araçların kullanımını zayıftır.

LiveSEN projesinin yaklaşımı, nitrat seviyelerini doğrudan bitki suyundan ölçmektir. Bu sıvı numune, sadece numune hazırlamayı basitleştirmekle kalmayıp, aynı zamanda tek kullanımlık elektrokimyasal biyosensörlerle yerinde analizi mümkün kılmaktadır.

Doğrulama deneyleri laboratuvarında gerçekleştirilmiştir ve proje ekibi şimdi sensörlerin fabrikasyonunu arttırmaktadır.

Mevcut analitik araçlar (nitrat iyonu seçici elektrotlar gibi) maliyetli olmalarının yanı sıra, tek kullanımlık değildir ve bu nedenle ölçümler arasında temizlenmeleri gerekmektedir ve sık sık kalibrasyona ihtiyaçları vardır. Farklı iyonlara karşı da hassas olduklarından, karmaşık numuneler (bitki suyu gibi) üzerindeki okumaları yanlış olabilmektedir.

LiveSEN projesini yöneten Ruhr Üniversitesi, projenin amacını "numune alma, ölçüm, veri yorumlama ve karar verme için teknisyenlere veya uzman danışmanlara olan ihtiyacı ortadan kaldırmak için, bir bitkinin ne kadar gübreye ihtiyaç duyduğu hakkında eğitim almadan kullanılabilen, yerinde bir biyosensör geliştirmek" biçiminde özetlemiştir.

Projede biyosensör, elektrotun elektronlarıyla reaksiyona giren nitratları tespit etmek için enzimler kullanmaktadır. Bu elektronların sayısı, bitki suyunda bulunan nitrat moleküllerinin sayısını ölçmek için ölçülür. Biyosensör ayrıca, yanlış bir okuma vererek elektronları da kabul edecek olan çözünmüş oksijeni uzaklaştırmak için enzimler (oksidazlar) dâhil olmak üzere, paraziti önleyen sistemler (patent beklemede) içerir.

Önerilen nitrojen girişi daha sonra bulut tabanlı bir sisteme bağlı bir akıllı telefon uygulaması aracılığıyla çiftçilere anında sağlanır.

Çiftçiler, çiftlik ekipmanlarını çalıştırırken, tüm hava koşullarında yüksek teknoloji bir cihaz kullanmanın pratikliği hakkında proje ekibine geri bildirimde bulunmuştur. Bu geribildirim

mekanizması, çiftçilerin ihtiyaçlarına göre biyosensörün yeniden tasarlanmasına yardımcı olmuştur. Ayrıca fosfat ve sülfat içeriği gibi diğer öncelikleri hedefleyen benzer bir sensörün geliştirilmesi süreci de başlatılmıştır.

LiveSEN projesi, AB'nin Copernicus projesinden biyosensör verileri, hava durumu bilgileri, topografik bilgiler ve multispektral uydu görüntüleri (alanların klorofil veya "yeşillik" haritaları) kombinasyonundan gübreleme öneri haritaları oluşturmak için Büyük Veriyi kullanacaktır. Bu, gübrelemenin bir mahsulün besin ihtiyaçlarını karşılayarak bir tarla içinde ayarlanabileceği anlamına gelmektedir.

Çiftçilere sensörler üretim maliyeti üzerinden sağlanacak ve bu da kullanıcı sayısını ve Büyük Veri tahmin modellemesinin doğruluğunu artıracaktır. LiveSEN paketi daha sonra bir akıllı telefon veya bilgisayar uygulaması aracılığıyla gübreleme tavsiyesi hizmeti sunacaktır.

LiveSEN projesi ile tarımsal verimin %5 ila 10 oranında artırılması, maliyetlerin ve kirliliğin azaltılması, özellikle de %1'den fazlası azotlu gübre üretiminden kaynaklanan CO2 emisyonlarının azaltılması hedeflenmiştir.

İkinci örnek ise; toprak kalitesi, besin ihtiyacı ve bitkinin beslenme durumunun tespitine yönelik İrlanda'da hâlihazırda kullanılmakta olan bir uygulamanın özetidir (fakat biyosensör uygulaması/geliştirmesi içermemektedir).

Teagasc Besin Yönetimi Planlaması NMP çevrimiçi aracı, tarım profesyonellerinin, toprak verimliliği konusundaki uzman bilgilerini bir dizi bilgi kaynağıyla birleştirerek çiftçiler için yüksek kaliteli besin yönetimi planları üretmelerine olanak tanır.

Teagasc NMP Online aracı, tarım profesyonellerinin İrlanda çiftliklerinin mevcut besin dengesini değerlendirmesi ve toprak verimliliğini optimize edecek ve Nitrat Yönetmelikleri kapsamında belirlenen sınırlara uygunluğu sağlayacak bir gübre yönetim programı tasarlaması için tasarlanmıştır. Program, renk kodlu haritalarla birlikte çiftçi dostu bir besin yönetim planı oluşturmak için en son çevrimiçi haritalama teknolojisini kullanır.

Önemli avantajları:

- Karmaşık besin hesaplamalarının verimli bir şekilde tamamlanması
- En yeni hava görüntülerine ve haritalamaya erişmek
- Kullanıcı dostu raporlar ve haritalar oluşturmak
- Tüm kullanıcılar için eğitim ve sürekli güncellemeler

Son on yılda, İrlanda'da çiftliklere çevre mevzuatının getirilmesinden bu yana, besin planlaması, tarla bazında nispeten basit bir süreç olmaktan çıkıp, bütün çiftlik besin dengesine dayalı karmaşık bir sistem haline gelmiştir. Yeni karmaşıklığın üstesinden gelmek için, çiftçilerin yasal gereksinimleri karşılamalarına yardımcı olmak için çeşitli besin planlama araçları hazırlanmıştır. Bununla birlikte, yasal gerekliliğin karmaşıklığı, çiftçileri kimyasal ve organik gübre uygulamalarına yönlendirmek için pratik olmayan planlar sağlamıştır. Bu süreçte Teagasc, çiftçilerle bir istişare sürecini üstlenmiştir. Bu sürecin sonucu, çiftçiler için çiftlik düzeyinde günlük eylemleri destekleyen haritalama ve grafik çıktıları entegre eden çok görsel bir çıktı oldu.

NMP Online aracının üç ana hedefi vardır:

- Daha verimli, rekabetçi ve kârlı çiftçilik sistemlerini desteklemek için çiftlik düzeyinde besin yönetimini iyileştirmek,
- Yasal gereklilikleri karşılayacak şekilde üretilen planların etkinliğini ve kalitesini artırmak,
- Özellikle su kalitesi ve gaz emisyonları ile ilgili olarak çevresel sonuçları iyileştirmek.

NMP Online, İrlanda'da çalışan tüm danışmanlar ve danışanlar tarafından kullanılabilir. Yüksek kaliteli besin yönetimi planlarının verimli bir şekilde üretilmesini kolaylaştırır ve İrlanda çiftliklerinde toprak verimliliği yönetiminin iyileştirilmesi için bir temel sağlar.

NMP Online, bir danışmanın bir çiftçiyle birlikte çalışarak bir besin yönetimi planı oluşturması için çiftlik bilgilerinin veri setini kullanır. Gerekli verilerin çoğu başka kaynaklardan temin edilebilir ve sistem, planlama sürecini hızlandırmak için bir dizi veri tabanı ile entegre olur. Bağlı veritabanları arasında Tarım, Gıda ve Deniz Bakanlığı (DAFM) arazi parseli verileri, DAFM hayvancılık bilgileri ve toprak analizi sonuçları yer alır. Planın tamamlanması ardışık bir süreci içerir; bazı bileşenler isteğe bağlıdır (haritalama ve depolama). İlgili görevler arasında;

- (1) Kurulumun planlanması,
- (2) Toprak analizi sonuçlarının içe aktarılması veya girilmesi,
- (3) Arazi parsellerinin girişi ve haritalama,
- (4) Hayvan bilgilerinin içe aktarılması veya girilmesi,
- (5) Konsantre yem kullanımının girişi,
- (6) Barınma bilgilerinin girilmesi (Opsiyonel),
- (7) Gübre girişi ve kirli su deposu (Opsiyonel),
- (8) Lime planının hazırlanması,
- (9) Organik gübre planının hazırlanması,
- (10) Toprak verimliliği ve besin uygulamaları haritalarının üretilmesi,
- (11) Raporların hazırlanması (İhtiyaçlara bağlı olarak) bulunmaktadır.

## TÜBİTAK Yeşil Büyüme Teknoloji Yol Haritası – Gübre Sektörü, 2023

NMP Online planlama sistemi iki ana kural setine dayanmaktadır. Birincisi Avrupa Birliği - Ulusal Eylem Programı (NAP) (Suların Korunması için İyi Tarım Uygulamaları) düzenlemeleridir. Bu, çiftlik düzeyinde gübre kullanımı için sınırları belirleyen düzenleyici kuralları sağlar. Teagasc Yeşil Kitabı (Verimli Tarımsal Mahsuller için Ana ve Mikro Besin Önerileri), mahsul ve hayvan gereksinimlerine dayalı olarak organik ve kimyasal besinlerin tarla bazında uygulanmasına yönelik tavsiyeler için temel sağlar.

Bir besin yönetim planının iki temel gereksinimi karşılaması gerekir:

- (1) Organik ve kimyasal gübre uygulamasına rehberlik edecek ve iyi bir toprak verimliliği durumuna ve çiftlikte hedeflenen mahsul verimine ulaşılmasını destekleyecek, anlaşılır bir formatta çiftçiye bir plan sağlamak.
- (2) Mevzuata uygunluğu gösterecek ve yasal mercilerin istediği formatta olacak şekilde bir plan sağlamak.

NMP Online, bu nitelikleri karşılayan besin yönetim planlarını çiftçilere sunmaktadır. Sistem bir dizi NMP rapor türü sağlar.

Çiftlik Gübre Planları: Tüm çiftçiler, toprak testi sonuçları, ürün türü ve/veya stoklama oranı vb. uyarınca besin uygulamalarını toprak gereksinimleriyle eşleştirmeye yardımcı olacak bir besin yönetim planına ihtiyaç duyar. NMP Online, iki ana çiftlik gübre planı türü sunar;

(1) Basit gübre planı - Bu plan, planın temel besin yönetimi bileşenine odaklanan bir rapor sunar.

(2) Ayrıntılı gübre planı - Bu plan, besin yönetimi, gübre üretimi ve depolama dahil olmak üzere sistemden kapsamlı bir çıktı sağlar.

GLAS NMP Raporu: GLAS Tarım-çevre planına katılan çiftçiler için sistem tarafından üretilen bir rapor formatı vardır. Bu rapor sistem tarafından çiftçi için yazdırılabilir ancak NMP Online olarak doğrudan DAFM sistemlerine yüklenir. Bu, bir GLAS sistem yükleme sistemi ile arabirim gereksinimini ortadan kaldırır.

Muafiyet UYP Raporu: AB Nitrat Direktifi NAP kapsamında daha yoğun (yani 250 kg/ha organik N stoklama oranına kadar) çiftçilik yapmak için istisna başvurusunda bulunan çiftçiler için, organik gübre depolamanın kapsamlı bir hesaplamasını içeren ayrıntılı bir besin yönetim planı geliştirme zorunluluğu vardır.

Tüm raporlar, temel toprak verimliliği zorluklarını ve çiftlikteki gerekliliği grafiksel olarak vurgulayan bir Toprak Verimliliği Özeti içerir. Toprak verimliliği özeti için amacı, danışmanın ve



çiftçinin genel toprak verimliliği durumunu hızlı bir şekilde değerlendirmesine ve ileriye dönük eylem için temel önceliklerin bir göstergesini almasına olanak sağlamaktır. Üretimdeki kayıpların vurgulanması, sorunla başa çıkmak için bir teşvik sağlamayı amaçlamaktadır.

NMP Online, çiftçiyi destekleyebilecek bir dizi harita üretmek için kullanıcıya serbestlik sağlayan esnek bir harita üretim sistemi sağlar. Eşlenen grafikler, çeşitli kriterler için renk kodludur ve grafikler üzerinde belirtilen çok çeşitli etiketlere ve bilgilere sahip olabilir.

#### **4.1.a. Toprak kalitesi, besin ihtiyacı ve bitkinin beslenme durumunun tespitine yönelik sensör veya biyosensörlerin geliştirilmesi**

2010'dan bugüne daha fazla otomasyon dönemine geçilmiştir. Wageningen Üniversitesi'nde çeşitli **sensör** ve hasat robotlarının geliştirilmesi, yabancı ot tespiti ve haritalandırılması gibi projeler ile ülke ekonomisine katkı sağlanmaktadır. Tuz ve kuraklık stresi ile mücadele eden İsrail ise tarımsal teknolojiye yaptığı yatırımlar sayesinde üretimde kendine yetmeyi başaran bir ülke olmakla kalmayıp, dünyada akıllı tarım uygulamalarında başta gelen ülkelerden biri olmuştur (Kocaoğlu ve ark., 2021). Hassas tarıma ilk defa damla sulama ile adım atan İsrail, sulama suyunu tuzlu suyun ve atık suların geri dönüştürülmesi ile sağlanmaktadır. Çölde kurulan Arava isimli tarım merkezinde akıllı seralarda üretim yapılmaktadır (Arava Institute, t.y.)

#### **Teknolojinin ülkemizde kullanım durumuna çarpıcı örnek**

HEKTAŞ firması Ar-Ge Merkezinde "tarım sektörüne katma değer katan" projeler geliştirilmiştir. Tarım makinalarına yerleştirilen sensör, kamera ve uzaktan kumandalı sistemler ile İnsansız hava aracı ve spektral kameralar ile ürünün/tarım alanının durumunun tespitine yönelik akademik çalışmalar bulunmaktadır. (Kirkaya, 2020)

### **D. Ar-Ge ve Yenilik Sürecinde Biraraya Gelmesi Gereken Disiplinler ve Sektörler**

#### **4.1.a. Toprak kalitesi, besin ihtiyacı ve bitkinin beslenme durumunun tespitine yönelik sensör veya biyosensörlerin geliştirilmesi**

Toprak bilimi, bitki besleme, kimya, biyoloji, fizik, tarım teknolojileri (mekanizasyon) tarımsal sulama, nano toksikoloji disiplinleri belirnen Ar-Ge ve yenilik konusu için bir arada çalışmalıdırlar.

Tarım sektörü çok ilerici ve hızla endüstrinin bir amiral gemisi haline gelme çabasında. Bununla birlikte, gerek üniversiteler, gerek kamu ve gerekse birçok özel şirket, aynı zamanda tamamlayıcı uzmanlık meydana getirerek kendilerini ve çalışanlarını dijital olarak "uygun" hale getirmelidir.

Bilişim teknolojileri endüstrisi, Makine Mühendisliği, İlgili KOBİ'ler, Teknopark firmalar ve Enerji, proses ve üniversite, kamu kuruluşları, KOBİ'ler, enerji endüstrileri üretim ve imalat sektöründen katkılar alınmalıdır.

Üniversitelerin teknokentleri ve kuluçka merkezleri, biriken bilimsel bilgiyi girişimlere dönüştürebilmeli ve dijital tarım odaklı bir ekosistem oluşturabilmelidir.

## **E. Ar-Ge , Yenilik, Demonstrasyon İşbirliği Modeli ve Destek Mekanizması**

### **4.1.a. Toprak kalitesi, besin ihtiyacı ve bitkinin beslenme durumunun tespitine yönelik sensör veya biyosensörlerin geliştirilmesi**

Çiftçilerimize kolaylık sağlayacak sistemlerin geliştirilmesi yanında genç nüfusun tarıma yönlendirilmesi için yatırım ve planlama yapılarak bu çalışmalara hız verilmesi gerekmektedir.

Yatırımcıların desteklenerek **üniversite ve özel sektör iş birliklerinin** artırılmasına yönelik politikalar sayesinde hem tarımsal araçların ve teknolojinin üretimini arttırarak dışa bağımlılığı azaltmak hem de bu ürünleri araziye uygulamak gerekir.

## **F. Zaman ve Bütçe Tahminleri**

### **4.1.a. Toprak kalitesi, besin ihtiyacı ve bitkinin beslenme durumunun tespitine yönelik sensör veya biyosensörlerin geliştirilmesi**

Aselsan, GAP İdaresi ve TÜBİTAK Uzay Teknolojileri Araştırma Enstitüsünce yürütülen bölgesel çalışmalar ise verimli ve son kullanıcıya yönelik çalışmalardır. Ülke koşullarına uygun referans spektral kütüphane olmaması ARGE çalışması yapılması ihtiyacını doğurmuştur

Belirlenen Ar-Ge ve yenilik konuları için orta vade (3-5 yıl) hedeflenmelidir.

## **Kritik Ürün/Teknoloji 4.2.**

### **Biyosensör teknolojilerinin geliştirilmesi**

#### **Öncelikli Ar-Ge ve Yenilik Konuları**

**4.2.a. Elektro-kimyasal biyosensörler, fiziksel biyosensörler, optik biyosensörler, giyilebilir biyosensörler, nanosensörler vb. üretiminin ve kullanımının yaygınlaştırılmasına yönelik teknolojilerin geliştirilmesi**

#### **A. Teknik Açıklamalar, Yenilikçi Özellikler, Hedeflenen Performans ve Metrikler**

**Biyosensörler**, reseptör ve dönüştürücü gibi biyolojik elemanların bir kombinasyonunu içeren analitik cihazlar olarak tanımlanabilirler. Bir biyosensör; kimyasal, biyolojik ya da biyokimyasal sinyali, yapısında bulunan dönüştürücü ile ölçülebilir ve işlenebilir elektriksel sinyale dönüştürerek, biyolojik ve kimyasal maddelerin tespitinde kullanılır. Biyosensörler genel olarak klinikten, tarım alanına ve gıda endüstrisine kadar geniş bir yelpazeye sahiptir. Biyosensörlerin temel özellikleri; stabilite, maliyet, hassasiyet ve tekrarlanabilirliktir.

#### **Biyosensörü Oluşturan Ana Elemanlar**

Biyosensörün blok diyagramı sensör, dönüştürücü ve analit olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır. Eğer reseptör, biyomoleküler bir yapıda ise buna biyoreseptör adı verilir. Biyoreseptörler, analiti fark edebilen biyomoleküllerdir. Dönüştürücüler ise biyoreseptörün analiti fark ettiği esnada ürettiği kimyasal veya fiziksel sinyali elektrik sinyallerine dönüştüren yapılardır.

#### **Biyosensörlerin Çalışma Prensibi**

Biyosensörlerde; enzimler, antikorlar, nükleik asitler, tam hücreler, reseptörler, dokular, organeller gibi biyoreseptör materyalleri kullanılır. Biyoreseptör materyali, transdüserle tespit edilebilir sinyaller gönderir. Sistemde kullanılan transdüser, optik, elektrokimyasal, elektriksel, termal, piezoelektrik, ve diğerleri olabilir. Çeşitli biyoreseptör ve transdüser kombinasyonları ile farklı biyosensörler elde edilebilir. Biyoreseptör ve transdüser birbirine uygun fiziksel ya da

kimyasal yol ile bağlanır. Uygun kombinasyona sahip biyoreseptörler, analite özel biyoreseptör yapısı ile bu analiti dönüşüme uğratar. Transdüserler, biyoreseptörlerin biyolojik reaksiyonunu, ölçülebilir fiziksel bir sinyale dönüştürür. Biyolojik etkileşimin fiziksel sinyale dönüşmesi ve bu sinyalin bilgisayara aktarılmasıyla sinyal gözle görülür boyuta ulaşır.

### **Biyosensörlerin Uygulama Alanları**

Biyosensörlerin uygulama alanlarını şöyle sıralayabiliriz:

- Ortak sağlık kontrolü
- Metabolit ölçümü
- Hastalık taraması
- İnsülin tedavisi
- Klinik psikoterapi ve hastalık tanısı
- Askerlik
- **Tarımsal ve veterinerlik uygulamaları**
- İlaç iyileştirme, suç tespiti
- Endüstride işleme ve izleme
- Ekolojik kirlilik kontrolü
- Bu kritik ürün/teknolojinin geliştirilmesine duyulan ihtiyaç
- Mevcut problemin tanımı

Nanosensörler gibi, Nanoteknoloji (NT), yapıları ve bileşenleri nano ölçekli boyutları nedeniyle yeni fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikler sergileyen malzemeler ve sistemlerle ilgilidir. Bu yeni bilimsel disiplin hızla sağlık hizmetlerinin gelecekteki yönünün önemli bir itici gücü haline geliyor ve toplum, tıp ve hemşirelik üzerinde önemli bir etkisi olması muhtemel

Bitkilerin Stresini Ölçerek Kuraklığa Karşı Çiftçileri Uyarın Nanosensör

### **ÖNCELİKLİ AR-GE VE YENİLİK KONULARI**

**4.2.a. Elektro-kimyasal biyosensörler, fiziksel biyosensörler, optik biyosensörler, giyilebilir biyosensörler, nanosensörler vb. üretiminin ve kullanımının yaygınlaştırılmasına yönelik teknolojilerin geliştirilmesi**

Biyosensörler, sensör cihazına ve biyolojik maddeye dayanarak sınıflandırılır.

#### **1.Elektrokimyasal Biyosensörler**

Genel olarak, elektrokimyasal biyosensör, elektronları tüketen veya üreten enzimatik katalizin reaksiyonuna dayanır. Bu tip enzimler redoks enzimler olarak adlandırılır. Bu biyosensörün substratı genellikle bir sayaç, referans ve çalışma tipi gibi üç elektrot içerir.

**Elektrokimyasal biyosensörler** 4 farklı sınıfa ayrılmaktadır:

- a) Ampermetrik Biyosensörler
- b) Potansiyometrik Biyosensörler
- c) Empedans Biyosensörler
- d) Voltmetrik Biyosensörler

#### **a) Ampermetrik Biyosensörler**

Ampermetrik biyosensörler; konsantrasyon bağımlı akımı, biyolojik olarak aktif materyalle kaplı elektrokimyasal elektrot aracılığıyla ölçerler.

Bu biyosensörün kuralı, çalışma elektrodu ile karşıt elektrot arasına bir gerilim uygulanması sonucu meydana gelen akımın akış miktarına dayanır. Analit merkezleri seçmek, yüksek verimli tıp taraması, kalite kontrolü, problem bulma ve işleme, biyolojik kontrol gibi geniş bir kullanım yelpazesi bulunmaktadır.

#### **b) Potansiyometrik Biyosensörler**

Bu tür biyosensörlerde, iyonik konsantrasyonlardaki değişiklikler iyon seçici elektrotlar kullanılarak belirlenir. Potansiyometrik biyosensörlerin en büyük kısıtlaması, enzimlerin H<sup>+</sup> ve NH<sub>4</sub><sup>+</sup> gibi iyonik konsantrasyonlara olan duyarlılığıdır.

Potansiyometrik elektrot ve referans elektrot arasında elde edilen potansiyel fark ölçülebilir ve bu değer substratın konsantrasyonu ile orantılıdır.

#### **c)Empedans Biyosensörler**

Elektrokimyasal empedans spektroskopisi, geniş bir yelpazedeki fiziksel ve kimyasal özellikler için duyarlı bir göstergedir. Şu anda empedans biyosensörlerin kullanımına doğru artan bir eğilim gözlenmektedir. Empedans teknikler, biyosensörlerin buluşunu ayırmak ve enzimler, laktinler, nükleik asitler, reseptörler ve antikörlerin tepkilerini incelemek için gerçekleştirilmiştir.

#### **d) Voltmetrik Biyosensörler**

Bu biyosensör, Hb (hemoglobin) ile uyarlanmış bir karbon tutkal elektrodu ile inşa edilmiştir. Bu elektrot tipi, Hb'nin tersine çevrilebilen oksidasyon veya indirgeme prosedürünü gösterir.

Bir voltmetrik sensör, doğrusal veya döngüsel voltmetrik diğer modlarda çalışabilir. Bunun sonucunda, her mod için ilgili akım ve gerilim farklı olacaktır.

## **2.Fiziksel Biyosensörler**

Sınıflandırma koşullarında, fiziksel biyosensörler, en yaygın kullanılan sensörlerdir. Fiziksel biyosensörler; piezoelektrik biyosensör ve termal biyosensör olarak ikiye ayrılır.

#### **a) Piezoelektrik Biyosensörler**

Piezoelektrik esaslı biyosensör; yüzeyinde bir madde emildiği veya biriktiğinde piezoelektrik kristalin rezonans frekansındaki değişimin ölçülmesi temel alınarak çalışır.

Bir piezoelektrik genel olarak, kuartz kristal levha ile bu levhanın iki zıt yanına yerleştirilmiş iki uyarma elektrodundan oluşur.

#### **b) Termal Biyosensörler**

Isı ile bağlantılı çeşitli biyolojik reaksiyon türleri vardır ve bu da termometrik biyosensörlerin temelini oluşturur. Bu sensörler genellikle termal biyosensörler olarak adlandırılır.

### **3. Optik Biyosensörler**

Optik esaslı biyosensörler; çeşitli optik teknikler kullanılarak üretilir. Biyokimyasal reaksiyonların sonucunda yayılan veya emilen ışığın ölçümünü temel alarak çalışır. Optik biyosensörler, elektrikle erişilemeyen ekipmanların uzaktan algılanmalarını sağlar. Ek bir yararı, bunların sıklıkla referans sensörlere ihtiyaç duymamasıdır. Çünkü örnekleme sensörü kullanılarak karşılaştırmalı sinyaller üretilebilir.

### **4. Giyilebilir Biyosensörler**

Giyilebilir biyosensörler, insan vücudunda kan şekeri, kalp atış oranı, BP (bipolar bozukluk) vb. düzeylerini sağlayan, aynı zamanda akıllı saat, akıllı gömlek, dövme gibi farklı giyilebilir sistemlerde kullanılan bir dijital cihazdır.

#### **Biyosensörle pratik NO<sub>3</sub> ölçüm tekniği ;**

Nitrat iyonları, bir izleme sistemi geliştirmek için laboratuvar tabanlı yöntemlerle veya yerinde sensör tabanlı yöntemlerle tespit edilebilir. Bu tür bazı sistemler, iyi bir algılama sınırı (LOD) ile yüksek hassasiyete sahiptir, ancak pahalı enstrümantasyona sahiptir. Diğerleri, önerilen algılama yönteminin sensör tabanlı bir taşınabilir algılama sistemi kullandığı durumlarda düşük maliyetle makul bir duyarlılığa sahiptir.

Membranlar, indirgeme ajanları gibi ileri malzemelerin kullanımı da sistem iyileştirmesinin kilit yönü olarak tanımlanır. Potansiyometri, elektrokimyasal ve biyosensörler alanındaki birçok araştırmacı, yerinde nitrat ölçümü yeteneğini geliştirmek için algılama sistemlerini küçültmeye odaklandı. Minyatür sensör sistemlerinin performansı, geleneksel sistemlerle karşılaştırılmaktadır (Geniş algılama aralığında, düşük tespit limiti (LOD), oldukça kararlı sistem ve yüksek duyarlılıkta). Nitrat biyosensörleri, güçlü bir şekilde substrat seçici olan

enzimlerin avantajı dikkate alınarak son yirmi yılda geliştirilmiştir. Nitrat redüktaz (NR), ve nitrat biyosensörlerinin üretiminde kullanılır.

Biyosensör, suda nitrat tespiti için kullanılan doğrudan yöntemlerden biridir. Biyosensör sisteminde, bir analit çözeltisindeki hedeflenen iyon konsantrasyonu, biyolojik materyal, algılama sistemi ve sinyal koşullandırma devresi kullanılarak belirlenebilir. Analit solüsyonu doğrudan bir biyolojik materyale maruz bırakılır. Biyolojik materyal, analit solüsyonunda hedeflenen iyon ile etkileşime girer. Etkileşim süreci hakkındaki bilgiler daha sonra bir algılama sistemi tarafından voltaj veya akım gibi bir elektrik sinyaline çevrilir. Sinyal, biyosensör sistemindeki sinyal koşullandırma devresi tarafından toplanır. Bir dijital veri toplama sistemi gibi bir sinyal koşullandırma devresi, analiz edilmeden önce elde edilen verileri yenileyecektir. Nitrat iyonunun konsantrasyonu, önerilen algılama sisteminin çıkış sinyaline dayalı olarak tahmin edilmektedir. Son on yılda, biyomolekülleri karakterize etmek ve ölçmek için biyosensör sisteminin minyatürleştirilmesi gerçekleştirilmiştir. Sensör sisteminin küçültme boyutu, daha düşük malzeme maliyeti sağlayabilir, güç tüketimini ve sistem ağırlığını azaltabilir. Bu nedenle, pazardaki biyosensör sistem talebi artmıştır. İşletmeler, ölçüm ve kontrol için faydalı bir sinyal veren, bir dönüştürücü ile birlikte bir biyolojik algılama elemanı içeren ölçüm cihazlarıdır ( Azmi ve ark., 2017).

### **Nanosensörler**

- Toprak koşullarını (örn. nem, toprak pH'ı), çok çeşitli pestisitleri, herbisitleri, gübreleri, insektisitleri, patojenleri ve ekin büyümesini izlemek için nanosensörler
- Çiftlikte gıda kaynaklı kirletici maddelerin tespiti veya çevresel koşulların izlenmesi için nanosensörler
- Kimlik koruması ve takibi için nanoçipler
- Pestisitler, herbisitler, gübreler ve aşıların dağıtımı için nanokapsüller
- Tarımsal doğal kaynakların (örn. su), besinlerin ve kimyasalların hassas tarım yoluyla verimli kullanımı için nanosensörler ve nano tabanlı akıllı dağıtım sistemleri
- Büyüme hormonlarını veya DNA'yı bitkilere kontrollü bir şekilde ileten nanopartiküller
- Farklı koşullara tepki verebilen değişen koşulların erken uyarısı için akıllı nanosensörler olarak kullanılan nanoparçacıklar
- Pestisitlerin ve insektisitlerin belirlenmesi için aptasensörler (örn. phorate, acetamiprid, isocarbophos)
- Antibiyotiklerin, ilaçların ve bunların kalıntılarının (örn. kokain, oksitetrasiklin, tetrasiklin, kanamisin) belirlenmesi için aptasensörler.
- Ağır metallerin tayini için aptasensörler (örn. Hg<sup>+2</sup> As<sup>+3</sup> Cu<sup>+2</sup> )

## C. Dünyada ve Türkiye’deki Mevcut Duruma İlişkin Başarılı Örnekler

### 4.2.a. Elektro-kimyasal biyosensörler, fiziksel biyosensörler, optik biyosensörler, giyilebilir biyosensörler, nanosensörler vb. üretiminin ve kullanımının yaygınlaştırılmasına yönelik teknolojilerin geliştirilmesi

Kaliforniya Üniversitesi’ndeki bilim insanları, iklim değişikliği kaynaklı kuraklığa karşı çiftçileri önceden uyarabilecek SNACS adlı bir nanosensör geliştirdi. SNACS ile enzimlerdeki değişiklikleri izlemek, yetiştiricilere sınırlı olan kaynakları daha verimli bir şekilde kullanabilme imkanı sunuyor. Araştırmacı ekip özellikle yaprakların yüzeyinde küçük gözeneklerin açılmasını ve kapanmasını tetikleyen kinaz enzimine odaklanmış. Bitki kuraklık koşulları algılandığında, bu enzim fazla suyun buharlaşmasını önlemek için gözeneklerin kapanmasını sağlıyor. SNACS, bitki hücrelerinde yaşayan SnRK2 kinazları ölçmektedir.

Kimya alanında farklı iyonlar için geliştirilen biyosensörler ve nanosensörler mevcuttur. Bitki besleme ve gübreleme kimya biliminden yardım alan bir disiplindir. Bu kapsamda entegre olacağımızdan endişemiz yoktur.

Türkiye’de dijital tarım uygulamaları erken gelişme aşamasındadır. **Doktar A.Ş. ve Tarla.io** şirketler, Türkiye’de çiftçilerin ve tarım sektörünün diğer ilgili kesimlerinin bilinçlendirilmesi konusunda anlamlı ilerlemeler kaydetmiştir. İki şirketin penetrasyonu şu anda hem hacim hem de miktar olarak yeterli değildir, ancak dijital tarım için kullanılan uygulamalar gelişmiş ülkelerdeki uygulamalarla paralellik göstermektedir.

Dijital tarım Türkiye’de henüz gelişme aşamasında olan bir alandır. Diğer bir ifadeyle, Türkiye’de dijital tarım uygulamaları erken gelişme aşamasındadır. Türkiye’de yerleşik dijital tarım şirketleri olan Doktar A.Ş. ve Tarla.io dur.

Türkiye’de dijital tarım uygulamaları henüz çok sınırlı bir şekilde uygulanmaya başlandı, ancak “hızlandırmak” için atılması gereken adımlar vardır. Türkiye’de dijital tarımı geliştirmek için devlet desteklerinin stratejik öncelikleri vardır. Bu bağlamda AB ülkeleri ve ABD’de olduğu gibi dijital tarım eylem planının geliştirilmesi ve bu stratejinin ilgili politika ve uygulamalarla desteklenmesi Türkiye’de tarımsal üretim vizyonunun genişletilmesini sağlayacaktır. Üniversitelerin teknokentleri ve kuluçka merkezleri, biriken bilimsel bilgiyi girişimlere dönüştürebilecek ve dijital tarım odaklı bir ekosistem oluşturabilecektir (Özdoğan ve ark., 2017).



## **D. Ar-Ge ve Yenilik Sürecinde Biraraya Gelmesi Gereken Disiplinler ve Sektörler**

### **4.2.a. Elektro-kimyasal biyosensörler, fiziksel biyosensörler, optik biyosensörler, giyilebilir biyosensörler, nanosensörler vb. üretiminin ve kullanımının yaygınlaştırılmasına yönelik teknolojilerin geliştirilmesi**

Belirlenen Ar-Ge ve yenilik konusu için tarımsal mekanizasyon, biyomühendisler, kimya bilimciler, elektrik elektronik bilimciler bir araya gelerek çalışmalıdır.

## **E. Ar-Ge , Yenilik, Demonstrasyon İşbirliği Modeli ve Destek Mekanizması**

### **4.2.a. Elektro-kimyasal biyosensörler, fiziksel biyosensörler, optik biyosensörler, giyilebilir biyosensörler, nanosensörler vb. üretiminin ve kullanımının yaygınlaştırılmasına yönelik teknolojilerin geliştirilmesi**

Yukarıda belirtilen disiplinler ve sektörler orta ölçekli Ar-Ge ve yenilik projelerinde bir araya gelmeleri önemlidir. Bu disiplinler büyük bir platform bünyesinde eşgüdüm içinde yapılacak projeler ile desteklenmelidir.

## **F. Zaman ve Bütçe Tahminleri**

### **4.2.a. Elektro-kimyasal biyosensörler, fiziksel biyosensörler, optik biyosensörler, giyilebilir biyosensörler, nanosensörler vb. üretiminin ve kullanımının yaygınlaştırılmasına yönelik teknolojilerin geliştirilmesi**

Belirlenen Ar-Ge ve yenilik konularının gerçekleştirilmesi için 3-5 yıllık zamana ve 20 milyon TL değerinde bir yatırıma ihtiyaç duyulmaktadır.

## Kaynaklar

- A.Azmi., Azman. A. A., İbrahim.S., Md Yunus.M.A., 2017. Techniques in advancing the capabilities of various nitrate detection methods: A review. International Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems. vol. 10, no. 2, june.
- Brini.M. 2020. Digital agriculture adoption: The data journey.Implemented .EnvEve SA Via Cantonale 18, 6928 Manno Switzerland . DOI; 10.20913/AGRO-2020-52
- Farooq. M and Pisante. M., 2019. Innovations in Sustainable Agriculture. ISBN 978-3-030-23168-2 ISBN 978-3-030-23169-9 (eBook) <https://doi.org/10.1007/978-3-030-23169-9>
- Kocaoğlu.B., Gümüşlü.E., Güven.B., Baz.İ., Barkana.D.E., Soğutmaz Özdemir.B., 2021. Sürdürülebilir Tarımsal Kalkınma İçin Akıllı Tarım Teknolojileri: Tarım 4.0. Harman Time. (4) sayı; 100.
- Kırkaya, A. 2020. Smart farming-precision agriculture technologies and practices. Journal of Scientific Perspectives, 4(2),123-136. <https://doi.org/10.26900/jsp.4.010>
- Liang, Y., Lu, X. S., Zhang, D. G., & Liang, F. (2002). The Main Content, Technical Support and Enforcement Strategy of Digital Agriculture, Geo-Spatial Information Science, 5(1), 68-73.
- LiveSen Project 2019. LiveSEN In-Field Live Sensing of Nitrate in Crops for Real-Time Fertilization Adjustment Excellent Science - European Research Council (ERC). Accession: <https://www.livesen.de/> <https://cordis.europa.eu/project/id/790155>
- Omanoviç. E. M. and Maksimoviç .M. 2016. Nanosensors Applications in Agriculture and Food... Bulletin of the chemist and technologist of Bosnia and herzegovina. Special issue.
- Özdoğan , A. Gacar , H. Aktas. 2017. Digital agriculture practices in the context of agriculture 4.0 . Journal of Economics, Finance and Accounting – (JEFA), Volume: 4 Issue: 2 (13)- p.184-191 . ISSN: 2148-6697
- Postolache.S., P.Sebastião., V.Viegas., O. Postolache and F. Cercas. 2023 . IoT-Based Systems for Soil Nutrients Assessment in Horticulture. 23(1),403 <https://doi.org/10.3390/s23010403>
- Teagasc., 2022. Teagasc NMP Online. The Agriculture and Food Development Authority of Ireland. Accession: <https://www.teagasc.ie/environment/soil/nmp/>
- Yane, D. 2010. Research and Analysis about System of Digital Agriculture Based on a Network Platform, In International Conference on Computer and Computing Technologies in Agriculture (pp. 274-282). Springer Berlin Heidelberg

Wall, D. & Plunkett, M. 2021. Major and micro nutrient advice for productive agricultural crops. 5th Edition. Teagasc, Johnstown Castle, Environment Research Centre, Wexford. Accession: <https://t-stor.teagasc.ie/handle/11019/2475>

**EK 1. Yeşil Büyüme Teknoloji Yol Haritası Gübre Danışma Grubu Üyeleri**

No	Ad-Soyad	Kurum/Kuruluş
1	Prof. Dr. Ali İNAL (Moderatör)	Ankara Üniversitesi
2	Doç. Dr. Berat HAZNEDAROĞLU	Boğaziçi Üniversitesi
3	Doç. Dr. Bülent ERENOĞLU	Çukurova Üniversitesi
4	Doç. Dr. Burcu ERTİT TAŞTAN	Gazi Üniversitesi
5	Prof.Dr. Cengiz KAYA	Harran Üniversitesi
6	Prof. Dr.Hikmet KATIRCIOĞLU	Gazi Üniversitesi
7	Prof.Dr. Mustafa BAŞARAN	Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi
8	Prof. Dr. Nesrin YILDIZ	Atatürk Üniversitesi
9	Prof. Dr. Sait GEZGİN	Selçuk Üniversitesi
10	Prof.Dr. Semih YILMAZ	Erciyes Üniversitesi
11	Didem TÜMÜK	Toros Tarım A.Ş.
12	Metin GÜNEŞ	Gübre Üreticileri, İthalatçıları ve İhracatçıları Derneği

**EK 2. Yeşil Büyüme Teknoloji Yol Haritası Gübre Sektörel Odak Grubu Katılımcı Kuruluşlar**

**Moderatör:** Metin GÜNEŞ - Gübre Üreticileri, İthalatçıları ve İhracatçıları Derneği (GÜİD)

No	Kurum/Kuruluş
1	Ankara Toprak Gübre ve Su Kaynakları Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü
2	Ankara Üniversitesi
3	Aydın Adnan Menderes Üniversitesi
4	Çukurova Üniversitesi
5	Gazi Üniversitesi
6	Gaziosmanpaşa Üniversitesi
7	Gebze Teknik Üniversitesi
8	<b>Gübre Üreticileri, İthalatçıları ve İhracatçıları Derneği (GÜİD)</b>
9	GÜBRETAS
10	Harran Üniversitesi
11	Hektaş
12	İstanbul Teknik Üniversitesi
13	Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı
14	Selçuk Üniversitesi
15	TAGEM
16	Tarım ve Orman Bakanlığı
17	Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü (TAGEM)
18	TOBB
19	Toros Tarım A.Ş.
20	TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi (MAM)
21	Türkiye İhracatçıları Meclisi

22	Uludağ Üniversitesi
----	---------------------

### EK 3. Çalışmanın Yürütülmesinde Görevli Uzmanlar

Ad Soyad	Kurum/Kuruluş
Hande ALPASLAN	TÜBİTAK Bilim, Teknoloji ve Yenilik Politikaları Daire Başkanı
Melis KOCATÜRK	TÜBİTAK Bilim, Teknoloji ve Yenilik Politikaları Dairesi Müdür V.
Dr.Özlem DOĞAN	TÜBİTAK Bilim, Teknoloji ve Yenilik Politikaları Dairesi Bilimsel Programlar Başuzmanı
Mehmet İmran AKSU	TÜBİTAK Bilim, Teknoloji ve Yenilik Politikaları Dairesi Bilimsel Programlar Uzmanı
Büşra YILMAZ YANIK	TÜBİTAK Bilim, Teknoloji ve Yenilik Politikaları Dairesi Bilimsel Programlar Uzmanı - Gübre TYH Koordinatörü