



TOROS TARIM



Bülteni

**Eylül 2025
Sayı: 16**

toros.com.tr

Ar-Ge Bülteni

Temmuz 2025

Sayı: 16

Merhaba,

Toros ARGE Bülteni'nin yeni sayılarında birbirinden farklı ve dopdolu içerikleri sizin için ele almaya devam ediyoruz. Bu sayımızda "Türkiye'nin Yenilenebilir Enerji Kapasite Potansiyelinin Değerlendirilmesi", "Gübre Sektöründeki Ar-Ge Süreçlerinde Veri Analizi ve 6 Sigma Yaklaşımı", "Kimyasal Proseslerde Yapay Zeka ve Ticari Otomasyon Entegrasyonu" ve "Gübre Endüstrisinde Emisyon Sorununun Çözülmesi, Sürdürülebilir Bir Gelecek İçin Çözüm Yolları" gibi birbirinden farklı konulara yer verdik.

Bülten çalışmalarını ile ilgili katkı, soru ve önerileriniz için **info.arge@toros.com.tr** üzerinden bizlere ulaşabilirsiniz.

Keyifli okumalar dileriz.

Hazırlayanlar:

Dr. Ali Yetgin
Doç. Dr. Ahmet Ozan Gezerman





TOROS TARIM

03

Türkiye'nin Yenilenebilir
Enerji Kapasite Potansiyelinin
Değerlendirilmesi

06

Gübre Sektöründeki Ar-Ge
Süreçlerinde Veri Analizi ve
6 Sigma Yaklaşımı

08

Kimyasal Proseslerde
Yapay Zeka ve Ticari
Otomasyon Entegrasyonu

10

Gübre Endüstrisinde Emisyon
Sorunu ve Alternatif Çözüm Yolları



Türkiye'nin Yenilenebilir Enerji Kapasitesi Potansiyelinin Değerlendirilmesi

Türkiye'de yenilenebilir enerji tesislerindeki enerji üretim kapasitesi, dünya genelindeki yenilenebilir üretim kapasitesinin yaklaşık %2'si kadardır [1]. Türkiye, elektrik enerjisinin en az %50'si yenilenebilir kaynaklar aracılığı ile üretmektedir. Türkiye, literatürde rapor edilen çalışmalara göre hidroelektrik santraller, yanı sıra rüzgar ve güneş üretimiyle, Türkiye, elektrik üretiminde dünya ortalamasının üzerindedir. [2]. Hidroelektrik santralleri, Türkiye'nin enerji üretiminin başlıca kaynağıdır. Yenilenebilir enerji, isminden de anlaşılacağı üzere, kendi kendine yenilenebilen kaynaklardan üretilen enerji türüdür [2]. Bu yönüyle temiz enerji olarak kabul edilebilir. Bu açıdan yenilenebilir kaynakların sürekliliği, doğal süreçlerdeki enerji akışından kaynaklanır. Yenilenebilir kaynaklar, çevresel problemler ve ekonomik sıkıntılar nedeniyle, enerji üretiminde kullanılan fosil yakıtlar ile aynı kategoride değerlendirilememelidir. [3] (Şekil 1). Bununla birlikte, yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen enerji miktarının günümüz koşullarında sınırlı olması ve artan enerji ihtiyacı, yenilenebilir enerji üretim proseslerinin geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Petrol endüstrisinde yaşanan darboğazlar ve politik süreçler ise, yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji üretimi için kullanımında önemli bir alternatif olagelmıştır.

Yenilenebilir Enerji



Güneş



Rüzgar



Biyokütle



Jeotermal



Dalga



Hidrolik

Yenilenebilir enerji kaynaklarının doğal süreçler ile doğrudan ilişkili olması, kaynakları sebebiyle tükenme riskinin bulunmaması ve fiyat artışının söz konusu olmaması, bakım onarım ve işletme koşullarının, fosil türevi kaynaklara göre daha az risk taşıması, tüketildikleri yerde üretim sağlanması ve bu yönüyle elektrik nakil hatlarındaki enerji kayıplarının minimize edilmesi, istihdama katkı sağlanması gibi nedenlerle üstün durumda bulunmaktadır[5].

Kaynak çeşitliliği nedeniyle yenilenebilir enerji kaynaklarındaki gelişim, diğer enerji türlerindeki göre daha hızlı ve öncüdür. Ne var ki, günümüz koşullarında yenilenebilir enerji üretimi yapan tesisler; yenilenemez enerji üzerine kurulu tesislere kıyasla, kurulum maliyeti ve üretim kapasitesi açısından dezavantajlıdır. Doğal koşullara bağlı üretim yapıyor olmaları, süreklilik açısından bir diğer dezavantaj olarak görülebilir. Bu açıdan, literatürde rapor edilen çalışmalar da dikkate alındığında, dünya genelinde enerji üretiminin yaklaşık %20'si yenilenebilir kaynaklardan elde edildiği aşikardır.[6].

Yenilenebilir Enerji ve Kaynak Türleri

Temiz enerji üretimi olarak bakıldığında yenilenebilir enerji kaynağı olarak rüzgar, güneş, biyokütle, su gibi kaynaklar, enerji üretiminde kullanılabilir. Özellikle ülkemizde, enerji üretiminin en az %50'si suyun kaynak olarak kullanıldığı hidroelektrik santrallerden sağlanmakta ve bu santraller yenilenebilir enerji üretiminin odağını oluşturmaktadır.[8].

Güneş enerjisinden elektrik üretimi, güneş ısısının emilerek ısıya ve su buharına dönüştürülmesi yoluyla üretilir (şekil 2)[9]. Bu üretim yönteminde güneşten gelen ısısının sınırsız olması, yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde cazibesini artırmaktadır, ancak radyasyon ışıını sebebiyle rüzgar enerjisine göre daha az tercih edilebilir durumdadır. Dünya genelinde rüzgarın yenilenebilir enerji kaynağı olarak enerji üretiminde enerji miktarı, toplam enerjinin %2 sini oluşturmaktadır.

Türkiye'de yenilenebilir enerji üretimi, bölgelere göre farklılık göstermektedir. Ege Bölgesi, rüzgar kaynaklı üretim için önemli bir konumdadır. Diğer taraftan, jeotermal enerji; rüzgar ve güneş enerjisine kıyasla süreklilik sağlaması ve kimyasal madde eklendiğinde birim zamanda üretilen ısı enerji veriminin artması nedeniyle tercih edilen bir kaynak konumundadır. Biyokütle ile enerji üretimi ise bir başka enerji üretim biçimidir[10].

Karbondioksit, güneş enerjisi ve organik içeriklerle üretilen tüm enerji kaynakları, biyokütle olarak isimlendirilebilir. Bunun yanı sıra, üretildikleri lokasyona göre katı ya da sıvı atıklar, biyokütle üretimine katkıda bulunmaktadır.

Yenilenemez Enerji



Fosil Yakıtlar



Kömür



Nükleer



Doğalgaz

Doğal süreçlerle yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretiminde, ham madde sürekliliği de göz önünde bulundurulursa bazı kaynakların gerçekten "yenilenebilir" sayılıp sayılmayacağı tartışmalıdır. Bu tartışmanın temelinde, yalnızca temiz enerji olmaları değil, aynı zamanda kaynak sürekliliğinin de değerlendirilmesi yatmaktadır. Bu açıdan bakıldığında, hidrojen enerjisi küresel ölçekte yatırım ve işletme maliyetleri nedeniyle çeşitli çekinceler barındırır. Bu nedenle, yenilenebilir enerji üretiminin merkezinde rüzgar enerjisi yer almakta. onu güneş ve biyokütle enerji sistemleri takip etmektedir.[7].

Ülkemizde bir çok, kuruluş dönemsel olarak yenilenebilir enerji kaynakları ve enerji üretimi ile ilgili olarak raporlar yayınlamakta ve bilimsel makaleler yayınlamaktadır.

Türkiye'de Yenilenebilir Enerji Üretimi ve Enerjideki Dağılım Oranı

2024 yılının üçüncü çeyreğine kadar Türkiye'de üretilen yenilenebilir enerji miktarı yaklaşık 100 GB civarında idi.

Devlet eliyle be kurulu yönetirlemlri le yenielbilir enerji miktarındaki artış sürekillik arxartmetkedr. Buna göre, aynı dönemin son çeyreğinde, yenilenebilir enerji üretiminin %30'unun hidroelektrik santraller, %20 civarını doğalgaz, %20 civarını kömür, %10 civarını rüzgar, %15 civarını güneş, %4'ünü hjetortemel gibi iger kynkalar oluşturmaktadır.

Yenilebilir enerji katnakalrından enerji üretim kapasitesi kaynağına göre artış göstermiş olup bunlardan hidroelektrik santrallerinden 485 MW, 1.420 MW' i rüzgâr enerjisi, 991 MW' i güneş enerjisi olarak gerçekleşmiştir.

Son 10 yıl içerisinde yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretimi önemli miktarda artmış olup kurulu gücün %54' üne denk gelmektedir.

Türkiye yenilenebilir enerji üretiminde ham madde sağlanması açısından önemli bir coğrafi konuma sahiptir. Ülkemizde 2024 yılı sonu itibarı ile yaklaşık 31.000 lisanslı ve lisanssız enerji üretim tesisi bulunmaktadır. Bunlardan yaklaşık 70 adeti kömür, 370 adeti rüzgar, 65 adedi jeotermal, 350 adedi doğalgaz, 29.000 adedi güneş , 800 adedi hidroelektrik santral şeklindedir.

Yenilenebilir Enerji ve Kaynak Türleri

Yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretimi, karbon salımı ve karbon ayak izi gibi parametreler de dahil edildiğinde, gelişmekte olan ülkelerin ekonomilerine büyük katma değer sağlayacaktır (11). Enerji üretiminde dışarıya olan bağımlılığın azalması, çevresel riskler ve sürdürülebilirlik, istihdama yönelik hamleler, enerji üretiminin ekonomiye olan yansıması şeklinde değerlendirilebilir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik enerjisi üretimi, fosil kaynak ithal eden ülkeler için elzemdir. Zira ülke içerisinde konuşlandırılacak teşvikli yenilenebilir enerji üretimi tesislerinin artışı, ek istihdam yaratacağı gibi [12], enerjide dışa bağımlılığın azaltılmasında öncü olacaktır. Böylelikle enerji fiyatlarındaki dalgalanmaların da önüne geçilebilecektir.

Yenilenebilir kaynaklardan enerji üretiminde karbon emisyonu sorunu olmaması, iklim değişikliğiyle mücadelede hayati önem arz etmektedir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarıyla elektrik enerjisi üretiminde enerji miktarının inovatif şekilde artışı, enerji ihracatına katkı sağlayabildiği gibi ekonomik alanda da önemli atılımlar yapılmasını sağlayacaktır [13]. Böylelikle, fosil yakıt ithalatının azalmasına ve döviz tasarrufunun artmasına katkı sağlaması olasıdır.

Yenilenebilir enerji üretiminde sürdürülebilirlik sağlanmasına yönelik alt yapı oluşturulması önemli bir ayrıntıdır. Günümüzde ve gelecekte enerji talebinin yenilenebilir kaynaklar ile sağlanması, ekonomik gelişme açısından bir kilometre taşı olabilir.

Kaynakça:

- Günay, E., & Yıldırım, S. (2024). Yenilenebilir enerji kapasitesi bakımından Türkiye'nin potansiyelinin değerlendirilmesi. *Journal of Economics and Research*, 5(2), 61-72.
- Sağır, İ. H. (2021). Türkiye'de enerji üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının yeri (Master's thesis, Necmettin Erbakan University (Turkey)).
- Kaya, T. O. (2018). Sürdürülebilirlik kapsamında yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ve önemi.
- Samadzade, A. Y. H. A. N., & AKIŞ, D. D. E. (2021). Petrol Fiyatlarındaki Dalgalanmalar ve Ekonomik Etkileri: Türkiye, Rusya Ve Azerbaycan Örneği (Doctoral dissertation, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul).
- An, F. (2023). BAŞLICA ENERJİ KAYNAKLARI VE ÇEVRESEL ETKİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ. *Dicle Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 13(26), 697-718.
- Yılmaz, E. A., & Öziç, H. C. (2018). Türkiye'nin yenilenebilir enerji potansiyeli ve gelecek hedefleri. *Ordu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi*, 8(3), 525-535.
- Ürün, E., & Soyu, E. (2016). Türkiye'nin Enerji Üretiminde Yenilenebilir Enerji Kaynakları Üzerine Bir Değerlendirme. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 31-45.
- Karaaslan, A., & Aydın, S. (2020). Yenilenebilir enerji kaynaklarının çok kriterli karar verme teknikleri ile değerlendirilmesi: Türkiye örneği. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 34(4), 1351-1375.
- SAVAŞ, Serkan, et al. Güneş enerjisi sistemlerinde yenilikçi ve akıllı bakım onarım. *Journal of Information Systems and Management Research*, 2022, 4.2: 35-49.
- Güler, Ç., Çobanoğlu, Z., & Baskı, B. (1997). Enerji ve çevre. Ankara: TC Sağlık Bakanlığı Çevre Sağlığı Temel Kaynak Dizisi.
- Santunali, H. N. (2021). Çevresel güvenlik ve enerji arz güvenliği bağlamında Türkiye'nin enerji politikası. *Uluslararası Yönetim Akademisi Dergisi*, 4(2), 409-421.
- Büyükkantarıcı Tolgay, S. E. L. M. A. (2024). Yeşil Enerji Kullanımının Çevresel Bozulmanın Azaltılması ve Sürdürülebilirlik Açısından İncelenmesi.
- Damar, A., & Yıldırım, F. (2023). TÜRKİYE ENERJİ İTHALATINDA YENİLENEBİLİR ENERJİ ÜRETİMİ VE MAKRO EKONOMİK DEĞİŞKENLER. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 22(48), 1077-1100.



Gübre Sektöründeki Ar-Ge Süreçlerinde Veri Analizi ve 6 Sigma Yaklaşımı

Gübre sektörünün öncü markalarından biri olan Toros Tarım, Türkiye’de bitki besleme alanında bir ilki gerçekleştirerek 2017 yılında kendi AR-GE Merkezi’ni kurmuştur. Merkezde; sektörel ihtiyaçları karşılamaya yönelik bilimsel araştırmalar, yenilikçi ürün geliştirme, mevcut formülasyonların iyileştirilmesi ve süreç optimizasyonu gibi çok yönlü çalışmalar yürütülmektedir. Özelleştirilmiş gübre formülasyonları, verimi artıran mikro besin çözümleri ve çevre dostu üretim teknikleri yalnızca veriye dayalı karar mekanizmalarıyla mümkün hale gelmektedir.

Bu noktada veri analiz yöntemleri ve özellikle 6 Sigma metodolojisi AR-GE süreçlerinin daha verimli, hızlı ve sürebilir yürütülmesini sağlamada kritik bir rol üstlenir. Toros Tarım AR-GE birimi, 2020 yılından bu yana 6 Sigma Yeşil Kuşak eğitimleriyle donatılmış kadrosu sayesinde, kalite odaklı projelerde aktif şekilde görev almaktadır. 6 Sigma dışında sürdürülen projelerde ise deney tasarımları ve istatistiksel analizlerde Minitab gibi yazılımlar etkin şekilde kullanılmaktadır.

Ar-Ge ve Verinin Gücü

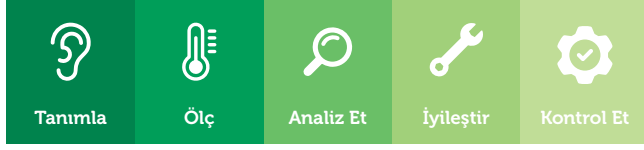
Toros AR-GE, bünyesindeki nitelikli çalışan kadrosu ile Mersin yerleşkesinde yer almasına rağmen 5 farklı lokasyondaki Toros Fabrikaları ile entegre olarak çalışmalarına devam etmektedir. Yeni ürün geliştirilmesi yanı sıra,

- Üretim süreçlerinin optimizasyonu,
- Proses tasarımı,
- Ürün stabilitesinin artırılması,
- Çevresel etkilerin değerlendirilmesi gibi geniş bir çalışma alanına sahiptir.

Bu kadar çok yönlü çalışmaların gerçekleştirildiği bir ortamda veri analitiği ve DOE tabanlı deney planlaması, sistemin her adımını izlemek, ölçmek ve sürekli geliştirmek adına vazgeçilmez araçlardır. Özellikle deneysel çalışmaların sistematik planlanması, rastgelelikten kaynaklanan hataları azaltır ve daha güvenilir sonuçlar elde edilmesini sağlar.

Ar-Ge Çalışmalarında 6 Sigma Yaklaşımı

Yalın üretim anlayışı ile tanıştığımız 6 Sigma, hata oranlarını minimize etmeye yönelik, istatistik temelli bir kalite yönetim metodolojisidir. İyileştirme araçları ve problem çözme tekniklerini kapsar. Süreç genel adımları Şekil 1'de gösterilen DMAIC döngüsü çerçevesinde ilerler.



Şekil 1. DMAIC döngüsü süreç adımları

AR-GE süreçlerinde 6 Sigma'nın DMAIC döngüsü özelliklerini gübre sektörü ile örneklersek;

Define (Tanımla): Ürün geliştirme giderilmesi gereken kalite sorunları belirlenir. Örneğin: granül yapışması, çözünme süresi, kekleşme, raf ömrü.

Measure (Ölç): Süreç performansı ile ilgili veriler toplanır. Laboratuvar deneyleri, üretim parametreleri, müşteri geri bildirimleri ölçülür.

Analyze (Analiz Et): Toplanan veriler, hataların veya sapmaların temel nedenlerini ortaya çıkarmak için analiz edilir.

Improve (İyileştir): Sorunlara yönelik çözümler geliştirilir ve süreç parametreleri optimize edilir. Örneğin: yeni bir kaplama teknolojisi ile gübrenin kekleşmesinin azaltılması. Bu aşamada DOE teknikleri devreye girerek, parametrelerin sistematik biçimde test edilmesini ve en uygun kombinasyonun belirlenmesini sağlar. Böylece hem zaman hem de kaynak tasarrufu elde edilir.

Control (Kontrol Et): Yeni sürecin sürdürülebilirliği sağlanır. Kalite kontrol noktaları ve sürekli izleme sistemleri kurulur. Yasal mevzuatlara uygun parametreler içinde kalınmasına dikkat edilir.

Bu yaklaşım, sadece ürün kalitesini değil, aynı zamanda AR-GE süreç verimliliğini de artırır. Deney sayısı azalır, geliştirme süreci kısalar, kaynak kullanımı optimize edilir.

Gübre Sektörüne Özgü Güncel Veri Analizleri

Spektroskopik Veri Analizi: Bitki besin maddelerinin formülasyondaki dağılımını ve saflığını tespit etmek için kullanılabilir.

Makine Öğrenmesi: Farklı toprak türlerine göre en uygun gübre kombinasyonlarını önermek için saha verileriyle modeller oluşturma olanağı sağlar.

Büyük Veri ile Tarla Geri Bildirimleri: Çiftçilerden gelen performans verileri, ürün formülasyonlarının sahadaki başarısını ölçülebilmesini sağlar.

Simülasyonlar ve Modelleme: Farklı iklim koşullarında gübre salınım davranışları dijital ortamda test edilerek, güncel verilerle kullanımını sağlar.

Deney Tasarımı Yaklaşımları (DOE): Parametrelerin birbiriyle olan etkileşimini görebilmek için faktöriyel tasarımlar, Taguchi yöntemleri ve Yanıt Yüzey Metodolojisi (RSM) gibi teknikler kullanılır.

AR-GE süreçleri, Spektroskopik ve Kromatografik analiz yöntemlerinin deney tasarımı yaklaşımlarıyla birlikte kullanılması sayesinde, tekrarlanabilir ve güvenilir sonuçlarla tamamlanmaktadır.

Spektroskopik Yöntemler ile;

Yeni formülasyonların karakterizasyonu: Geliştirilen her yeni ürün, içerdiği bileşenlerin doğruluğu ve kararlılığı açısından spektroskopik analizlerle değerlendirilir.

Çevre dostu üretim: Ağır metal içeriği ve fosfor geri kazanımı gibi çevresel etkilere duyarlı parametreler, bu tekniklerle hassas şekilde takip edilir.

Tersine mühendislik: Rakip ürünlerin yapısal analizleri yapılarak içerik kıyaslamaları gerçekleştirilir.

Süreç optimizasyonu: Rakip ürünlerin yapısal analizleri yapılarak içerik kıyaslamaları gerçekleştirilir.

Birden fazla parametrenin aynı anda incelenmesini sağlayan Deney Tasarımı Yöntemleri, özellikle formülasyon optimizasyonu ve proses parametrelerinin etkileşimini anlamada kritik rol oynar. Faktöriyel tasarımlar, Taguchi yöntemleri ve yanıt yüzey metodolojileri (RSM) gibi DOE teknikleri hem deney sayısını azaltır hem de maksimum bilgi elde edilmesini sağlar.

Farklı kaplama malzemeleri kullanılarak gübrelerin çözünme hızlarının karşılaştırılması ya da sıcaklık ve nemin kekleşmeye etkisinin eş zamanlı değerlendirilmesi gibi karmaşık süreçler, bu sayede daha etkin bir şekilde yönetilebilir.

İstatistiksel analiz, veri toplama, modelleme ve görselleştirme süreçlerinde birçok profesyonel yazılım etkin biçimde kullanılmaktadır. Özellikle 6 Sigma, DOE ve istatistiksel analiz adımlarında aşağıdaki yazılımlar ön plana çıkmaktadır:

• **Minitab:** 6 Sigma projelerinde en sık kullanılan yazılımlardan biridir. DOE, hipotez testleri, regresyon analizi, kontrol grafikleri gibi çok çeşitli istatistiksel analizleri kullanıcı dostu arayüzüyle sağlar.

• **Design-Expert:** Özellikle deney tasarımı (DOE) üzerine uzmanlaşmış bir yazılımdır. Yanıt yüzey metodolojisi (RSM), faktöriyel deneyler ve karışım tasarımlarında kapsamlı çözümler sunar.

• **JMP(SAS):** Veri keşfi ve modelleme için güçlü bir platformdur. Görselleştirme kabiliyeti yüksek olup, kullanıcıların DOE ve varyans analizlerini interaktif biçimde gerçekleştirmesine olanak tanır.

• **R/Python:** Açık kaynaklı ve esnek analiz araçlarıdır. Özellikle veri ön işleme, makine öğrenmesi ve büyük veri analizlerinde kullanılır. Ar-Ge süreçlerinde özelleştirilmiş analizler için tercih edilir.

• **Excel + Analysis ToolPak / SigmaXL / XLSTAT:** Daha küçük ölçekli projelerde ve hızlı analizlerde Excel eklentileri uygun maliyetli ve pratik çözümler sunar. Temel DOE ve regresyon analizleri bu araçlarla gerçekleştirilebilir.

• **SPSS:** Sosyal bilimlerde yaygın olmakla birlikte, Ar-Ge'de de özellikle anket verileri, müşteri geri bildirimleri ve kalite analizlerinde kullanılmaktadır.



Şekil 2. Örnek yazılımların logoları

Neden Bu Kadar Kritik?

Verilerin analiz edilmesi ve tahmine dayalı istatistiksel yöntemlerin kullanımı:

- Hammadde fiyatlarındaki dalgalanmaların öngörülmesiyle stratejik kaynak yönetimi sağlar.
- Azot kaybı veya fosfor fazlalığı gibi çevresel etkilerin azaltılması için doz ve formülasyon optimizasyonuna olanak tanır.
- Müşteri beklentilerine daha hızlı ve etkili şekilde cevap verebilecek dengeli ve yenilikçi ürünlerin geliştirilmesini mümkün kılar.

Sonuç olarak, veri odaklı ve ölçülebilir bir Ar-Ge anlayışı artık tercih değil, bir zorunluluk halini almıştır. 6 Sigma, bu süreci sistematik biçimde yapılandırırken; gelişmiş veri analiz teknikleri, daha sağlam ve ileriye dönük kararlar alınmasına olanak sunar. Böylece hem çiftçi memnuniyeti hem de çevresel sürdürülebilirlik güvence altına alınmış olur.

Kaynakça:

1. By DanielPenfield - Own work, CC BY-SA 4.0, ---0240303.
2. Pranata, E. J., & Santoso, R. A. (2024). Analysis Of Defect Reduction Using The Six Sigma Method In A Fertilizer Factory In Gresik Regency. Jurnal Economic Resource, 7(2), 362-369.
3. Ochoa-González, O., Coronado-Hernández, J. R., Macías-Jiménez, M. A., & Romero-Conrado, A. R. (2020). Quality improvement in ammonium nitrate production using Six Sigma methodology. In Computer Information Systems and Industrial Management: 19th International Conference, CISIM 2020, Bialystok, Poland, October 16–18, 2020, Proceedings 19 (pp. 172-183). Springer International Publishing.
4. Oral, O. K., & Dirgar, E. (2008). ALTI SİGMA YAKLAŞIMI. Qualitative Studies, 4(1), 14-23
5. SPAC firması, Yeşil Kuşak Eğitim notları, 2024.



Kimyasal Proseslerde Yapay Zeka ve Ticari Otomasyon Entegrasyonu

Günümüz gübre üretim tesislerinde dijitalleşme ve otomasyon süreçlerinin entegrasyonu, operasyonel mükemmelliğin ve sürdürülebilirliğin temel unsuru haline gelmiştir. Bu bağlamda, özellikle proses bazlı analizlerin dijital sistemlerle desteklenmesi, üretim kalitesinin sürekliliğini sağlamak açısından kritik rol oynamaktadır. Nitratlı gübre üretimi yapan Toros Tarım gibi yüksek hacimli ve proses odaklı tesislerde, süreç verilerinin anlamlı analizi yalnızca üretim verimliliğini artırmakla kalmayıp, şirketlerin stratejik karar alma yetkinliklerini de doğrudan etkilemektedir [1].

Entegre gübre üretim tesislerinde, proses kontrol sistemleri, ticari otomasyon altyapıları ve kurumsal kaynak yönetimi çoğunlukla bağımsız platformlarda çalışmaktadır. Bu yapı, veri izolasyonuna neden olarak bilgi akışını ve sistemler arası koordinasyonu sınırlamaktadır. Entegrasyon eksikliği, üretim süreçlerinin bütünsel analizini ve etkin yönetimini engellemekte; bu da hem anlık karar alma süreçlerinde gecikmelere hem de uzun vadeli planlamada verimsizliklere yol açmaktadır.

Bu noktada yapay zeka ve ticari otomasyon teknolojilerinin entegrasyonu, özellikle üretim prosesleri üzerinde önemli bir dönüşüm potansiyeli taşır. Farklı dijital altyapıların (DCS / SCADA – ERP gibi) birbiriyle konuşturulması ve proses temelli yapay zeka destekli karar mekanizmalarının devreye alınması ile, üretim ortamları çok daha çevik, verimli ve sürdürülebilir hale gelebilmektedir [3].

Proses Verilerinden Anlamlı Öngörülere

Gübre üretim süreçlerinde; reaktör sıcaklık ve basınç verileri, akış hızı (debi), pH ve iletkenlik değerleri, granülasyon özellikleri, enerji tüketimi, gaz emisyonları, kapasite kullanım oranları gibi yüksek hacimli proses parametreleri, gelişmiş yapay zeka algoritmalarıyla işlenerek bakım ihtiyaçları ve kalite sapmaları gibi kritik öngörüler sağlanabilmektedir. Bu sayede erken uyarı sistemleri kurulmakta ve üretim kalitesi sürekli kontrol altında tutulmaktadır.

Örneğin, Amonyum Nitrat gübresi üreten bir gübre tesisinde yapılan uygulamalarda, karışım tankındaki sıcaklık artışlarının ürün saflığını doğrudan etkilediği gözlemlenmiştir. Sıcaklık 5 °C üzerinde yükseldiğinde ürün saflığında %2 oranında düşüş meydana gelmektedir. Makine öğrenimi modelleri kullanılarak bu sıcaklık değişiklikleri önceden tahmin edilmiş, böylece önleyici müdahalelerle ürün kalitesi korunmuş ve atık oranı %14 azaltılmıştır [5].

Benzer şekilde, orta ölçekli bir gübre tesisi, IoT ve veri analitiği çözümleriyle sıcaklık, basınç ve besleme oranlarındaki küçük dalgalanmaların "mix" aşamasındaki kalite sapmalarına neden olduğunu tespit etmiş; süreç iyileştirmeleriyle ürün tutarlılığı artırılmış ve titreşim anomalileri sayesinde bakım gerektiren ekipmanlara zamanında müdahale edilerek arızalar önlenmiştir. [8]

Operasyonel Alanlarda Yapay Zeka Uygulamaları

Gübre sektöründe faaliyet gösteren yapay zeka uygulamaları yalnızca kimyasal proseslerde değil, operasyonel iş süreçlerinde de katma değer yaratmaktadır. Üretim dışındaki ticari faaliyetlerde bu teknolojilerin kullanımı, verimlilik ve çeviklik açısından büyük rekabet avantajları sunar.

Tedarikçi performansı, teslimat süreleri, sipariş onayları, stok seviyeleri, bakım planları gibi farklı alanlara ait operasyonel verilerin; proses kontrol sistemlerindeki canlı üretim verileriyle entegre edilmesi, sistemler arası veri izolasyonunu ortadan kaldırmaktadır. Bu entegrasyon, sadece proses verimliliğini değil; aynı zamanda planlama, tedarik zinciri yönetimi, kalite ve bakım gibi alanlarda da dijital esnekliği de mümkün kılmaktadır.

Tedarik Verileri: Tedarikçi performansı, teslimat süreleri, hammadde ve malzeme temin süreçleri,

Sipariş Verileri: Sipariş durumları, onay süreçleri, teslimat planları,

Stok Verileri: Depolardaki hammadde ve ürün miktarları, kritik stok seviyeleri ve yenileme zamanları,

Bakım Verileri: Ekipman bakım planları, geçmiş bakım kayıtları, arıza ve onarım bilgileri gibi farklı iş süreçlerine ait verilerin; proses kontrol sistemlerindeki canlı üretim verileriyle entegrasyonu, sistemler arasındaki veri izolasyonunu ortadan kaldırmaktadır. Bu entegrasyon, yalnızca proses verimliliğini artırmakla kalmayıp, planlama ve tedarik zinciri süreçlerinde dijital esnekliği de mümkün kılmaktadır.

Örneğin, bir kimyasal üretim tesisinde yaşanan ham madde tedarik gecikmeleri, ERP sisteminden alınan güncel tedarik ve sipariş bilgileri ile proses kontrol sistemindeki ilgili üretim hattı verileri eşleştirilerek analiz edilmiştir. Bu sayede üretim hattı, otomatik olarak alternatif üretim planlarına yönlendirilmiş; makine ve personel kaynakları veri tabanlı ve tahmine dayalı yöntemlerle yeniden optimize edilmiştir.

Aynı şekilde, dünya genelindeki büyük bir üre/amonyak üreticisi, "Baker Hughes-C3.ai" platformunu kullanarak 4 tesisteki 27 kritik ekipmanda makine öğrenimi tabanlı arıza tahmini uygulamıştır. Yaklaşık 1,3 milyar geçmiş veri analiziyle ve günlük 2.400 sensörden elde edilen gerçek zamanlı verilerle 233 model devreye alınmıştır. Sonuçta ekipman çalışma süresi %1,8 artmış, yılda 460 saat plansız duruş önlenmiştir. [9]

Kimyasal Süreçlerde Dijital Zeka ve Stratejik Kazanımlar

Kimyasal reaksiyonların hassas dengeleri, proses parametrelerinin (sıcaklık, pH, karışım oranı vb.) üretim kalitesi üzerinde doğrudan etkisi bulunmaktadır. Yapay zeka uygulamaları, bu kritik parametreleri anlık izleyip sapmaları erken tespit ederek, gelişmiş simülasyon teknikleri ile optimal koşullar önerir [5]. Böylece proses kontrolü daha etkin hale gelir, verimlilik artar ve çevresel sürdürülebilirlik desteklenir.

Örneğin, uluslararası bir gübre üretim tesisinde yapılan yapay zeka destekli optimizasyon çalışmaları, reaktör içi sıcaklık ve besleme oranlarının kontrolüyle ürün verimliliğinde %9 artış ve karbon emisyonlarında %12 azalma sağlamıştır [3].

Bu dijitalleşme ve yapay zeka entegrasyonları, üretim süreçlerinde pek çok stratejik kazanımı da beraberinde getirmektedir.

Gerçek Zamanlı Veri Entegrasyonu ve Üretim Süreçlerine Stratejik Katkıları

Gelişmiş veri entegrasyonu, üretim tesislerinde gerçek zamanlı veri akışının kurumsal otomasyon sistemleriyle eş zamanlı olarak işlenmesini mümkün kılar. Bu yaklaşım, tesis operasyonlarının tüm alanlarında belirgin stratejik avantajlar sağlamaktadır.

Bakım Yönetimi

Kritik ekipmanların çalışma parametreleri sürekli izlenir ve yapay zeka destekli analizler sayesinde, arızalar önceden tahmin edilip planlı bakımlar optimize edilir. Bu sayede plansız duruşlar minimize edilerek bakım maliyetleri düşürülür [4].

Üretim Optimizasyonu

Canlı üretim verileri, sipariş ve stok bilgileriyle entegre edilerek üretim planları dinamik bir şekilde güncellenir. Bu yaklaşım, malzeme akışındaki aksaklıkların önlenmesini sağlar, üretim hattının esnekliğini artırır ve müşteri taleplerine hızlı yanıt verilmesine olanak tanır. [6].

Enerji ve Kaynak Verimliliği

Ekipmanların enerji tüketim verileri, operasyonel verilerle analiz edilerek gereksiz enerji kullanımı ve karbon ayak izi azaltılır. Böylece hem maliyetler kontrol altına alınır hem de çevresel sürdürülebilirlik desteklenir [3], [7]. Yapılan çalışmalar, küresel ölçekte AI destekli optimizasyon sağlanan tesislerde enerji tüketiminde %12 azalma, karbon emisyonunda da yaklaşık %9 oranında düşüş sağlandığını göstermiştir.[10]

Kalite Yönetimi

Sürekli izlenen proses parametreleri ve proses kontrol tarafından sağlanan üretim verileri, kalite standartlarının korunması için erken uyarı sistemleri oluşturur. Böylece ürün kalitesinde sapmalar minimuma indirilir ve atık oranları azalır [5].

Tedarik Zinciri Esnekliği

Stok seviyeleri ve tedarik süreçleri gerçek zamanlı izlenerek kritik durumlarda otomatik tedarik uyarıları ve sipariş önerileri oluşturulur. Bu, üretimde malzeme kıtlığı riskini azaltır ve tedarik zinciri yönetiminde dijital esneklik ve veri odaklı planlama yapılabilmesini sağlar [2].

Ar-Ge Süreçleri

Dijital İkiz (Digital Twin) teknolojilerinin kullanımıyla Ar-Ge süreçlerinin hızlandırılması, yeni gübre formülasyonlarının sanal simülasyonlarla saha koşullarında test edilmesini, inovatif ürünlerin pazara daha hızlı sunulmasını [1] ve kurumsal dijitalleşme stratejilerinin etkin biçimde uygulanmasını sağlar [2].

İnsan Kaynakları ve Planlama

Personel vardiyalarının optimizasyonu ve iş gücü planlaması algoritmalar ile desteklenir.

Finansal ve Ticari Karar Desteği

Sipariş yönetimi, maliyet analizleri ve bütçeleme süreçlerinde geçmişteki veriler ile ileriye dönük tahminler ve planlamalar yapılır.

Sonuç

Gübre üretim proseslerinde dijital dönüşümün başarısı, operasyonel kontrol sistemleri ile kurumsal kaynak planlama platformları arasındaki veri entegrasyonunun sağlanmasına ve gerçek zamanlı veri akışının etkin kullanılmasına doğrudan bağlıdır. Bu iki sistemin birbirine entegre edilmesi, üretim süreçlerinden tedarik zincirine kadar tüm operasyonel alanlarda şeffaflık ve koordinasyonun artmasını sağlar. Böylelikle, her seviyede alınan kararlar, güncel ve doğru veri temelli olur.

Gerçek zamanlı veri tabanı entegrasyonunun temel faydaları, üretim süreçlerinde dijital ikiz teknolojileri ile simülasyon ve optimizasyon çalışmalarının yapılabilmesi, yapay zeka tabanlı öngörü ve analizlerin işletilmesi ve kurumsal otomasyon süreçlerinin uçtan uca koordine edilmesiyle ortaya çıkmaktadır. Bu da ticari otomasyon (Commercial / Business Automation) vizyonunun gübre üretim tesislerinde somut ve sürdürülebilir sonuçlar doğurmasına olanak tanır.

Kaynakça:

1. McKinsey & Company. (2021). AI in Chemicals: Moving past pilot to production.
2. SAP SE. (2021). Industry 4.0 Applications in the Chemical Sector.
3. ICL Group - Haifa. (2022). AI-Driven Efficiency in Fertilizer Plants.
4. IEEE Transactions on Industrial Informatics, Vol. 18(3), (2023). AI-based Predictive Maintenance in Continuous Process Industries.
5. AIChE Journal. (2021). Artificial Intelligence in Chemical Reaction Engineering.
6. Deloitte. (2022). Smart Manufacturing for Process Industries: Integrating AI with ERP and DCS.
7. Honeywell Process Solutions. (2020). Experion PKS and Digital Transformation Case Studies.
8. DataCalculus. (2023). IoT-Powered Fertilizer Production: Real-Time Monitoring and Predictive Maintenance.
<https://datacalculus.com/en/blog/agriculture-chemical-manufacturing/fertilizer-production-manager/iot-powered-fertilizer-production--real-time-monitoring>
9. C3 AI. (n.d.). Leading fertilizer company improves asset uptime with AI.
<https://c3.ai/customers/leading-fertilizer-company-improves-asset-uptime-with-ai>
10. Lindner, J. (2025). AI in the fertilizer industry statistics. Gitnux.



Gübre Endüstrisinde Emisyon Sorunu ve Alternatif Çözüm Yolları

Gübre endüstrisi, dünya genelinde tarımın sürdürülebilirliğini sağlamak için kritik bir role sahiptir. Tarımsal üretimi destekleyen gübreler, yüksek verimlilik ve ürün kalitesi sağlasa da, çevresel etkileri açısından önemli bir tehdit oluşturmaktadır. Özellikle azotlu gübrelerin aşırı kullanımı, nitrojen oksit (NOx) ve metan (CH₄) gibi sera gazlarının atmosfere salınımına yol açarak iklim değişikliğine neden olmaktadır. Gübre üretiminin ve kullanımının çevresel etkileri, yalnızca hava kirliliğine değil, aynı zamanda su kirliliği, toprak asidifikasyonu ve biyolojik çeşitliliğin azalmasına da yol açmaktadır.

Gübre endüstrisinin bu olumsuz çevresel etkileri, sektördeki emisyonların azaltılması adına acil bir çözüm arayışını zorunlu kılmıştır. Bu makale, gübre endüstrisindeki emisyon sorununu ele alacak ve bu sorunun çözülmesine yönelik teknolojik, ekonomik ve yönetsel çözüm önerilerini inceleyecektir.

Gübre Endüstrisindeki Emisyon Kaynakları

Gübre endüstrisinde emisyonlar, üretim sürecinden tarımsal kullanım aşamasına kadar çeşitli noktalarda meydana gelmektedir (Çizelge 1). Bu emisyonların ana kaynakları şu şekilde sıralanabilir:

Emisyon Türü	Kaynak Süreçler	Başlıca Bileşenler	Çevresel Etki
Havaya Emisyon	Kaynak süreçler: Amonyak buharlaşması, NOx salınımı	Başlıca bileşenler: NH ₃ , NOx, CO ₂ , CH ₄	Çevresel etki: Asidifikasyon, sera etkisi
Suya Emisyon	Kaynak süreçler: Atıksu deşarjı, yüzey akışı	Başlıca bileşenler: NO ₃ , PO ₄ ³⁻ , ağır metaller	Çevresel etki: Ötrofikasyon, su kirliliği
Toprağa Emisyon	Kaynak süreçler: Atıkların yanlış bertarafı	Başlıca bileşenler: Kadmium, kurşun, florür	Çevresel etki: Toprak kirliliği, bitki toksisitesi
Enerji Kaynaklı	Kaynak süreçler: Fosil yakıt kullanımı	Başlıca bileşenler: CO ₂ , SO ₂ , NOx	Çevresel etki: Karbon ayak izi

Tablo 1. Gübre Endüstrisinde Başlıca Emisyon Kaynakları

Gübre Üretim Sürecindeki Emisyonlar

Gübrelerin üretimi, yüksek enerji tüketimi gerektiren bir süreçtir. Özellikle amonyak üretimi, büyük miktarda fosil yakıt kullanımıyla ilişkilidir ve bu da karbon dioksit (CO₂) emisyonlarının artmasına neden olur. Amonyak, azotlu gübrelerin ana bileşenidir ve bunun üretimi sırasında atmosfere büyük miktarda karbondioksit salınımı gerçekleşir. Bunun yanı sıra, fosfat gübrelerinin üretimi de fosfat yataklarının işlenmesi sırasında CO₂ ve diğer zararlı gazların atmosfere salınımına yol açar.

Azotlu Gübrelerin Tarımsal Kullanımı

Azotlu gübrelerin aşırı kullanımı, nitrojen oksit (NOx) emisyonlarını artırmaktadır. Bu emisyonlar, özellikle toprağa gereksiz yere fazla azot eklenmesi sonucunda meydana gelir. Nitratların yer altı su kaynaklarına sızması ve amonyakın atmosfere salınması, tarımın çevresel etkilerini daha da kötüleştiren faktörlerdir. Ayrıca, azotlu gübreler, toprak asidifikasyonuna yol açarak biyoçeşitliliğin azalmasına neden olabilir.

Depolama ve Taşıma Süreçlerindeki Emisyonlar

Gübrelerin depolama ve taşıma süreçleri de önemli bir emisyon kaynağıdır. Depolama sırasında, özellikle azotlu gübrelerin sızması sonucu amonyak salınımı gerçekleşebilir. Ayrıca, taşıma işlemleri sırasında kullanılan yakıtlar, özellikle kara yolu taşımacılığında, daha fazla karbon salınımına yol açmaktadır.

Emisyonların Çözülmesine Yönelik Çözüm Önerileri

Gübre endüstrisinin çevresel etkilerini azaltmak için birkaç önemli strateji ve teknoloji geliştirilmiştir. Bu çözümler, yalnızca emisyonları azaltmakla kalmayacak, aynı zamanda gübre kullanımının daha verimli ve sürdürülebilir hale gelmesini sağlayacaktır.

Yeşil Gübreler ve Organik Alternatifler

Kimyasal gübrelerin yerine organik gübrelerin kullanımı hem toprak sağlığını iyileştirir hem de emisyonları önemli ölçüde azaltabilir. Yeşil gübreler, bitkiler ve mikroorganizmalarla üretilen biyolojik gübrelerdir. Bu tür gübreler, doğal azot döngüsünü destekleyerek fazla azot kayıplarını engeller. Ayrıca, organik gübreler toprağın yapısını iyileştirir ve su tutma kapasitesini artırır.

Akıllı Gübreleme Teknolojileri

Akıllı gübreleme sistemleri, gübre kullanımını optimize etmek için sensörler, veri analizleri ve yapay zekâ kullanır. Bu sistemler, toprağın besin seviyelerini ve bitkilerin ihtiyaçlarını gerçek zamanlı olarak izleyerek, gübre kullanımını daha hassas ve verimli hale getirir. Bu sayede fazla gübre kullanımı engellenir ve gereksiz emisyonlar önlenir. Ayrıca, akıllı gübreleme teknolojileri, su kaynaklarının daha verimli kullanılmasını sağlar.

Emisyon Yakalama Teknolojileri

Gübre üretim tesislerinde, emisyon yakalama sistemleri, sera gazlarının atmosfere salınmasını engelleyebilir. Bu teknolojiler, özellikle azot oksitlerin ve metan gazlarının emilmesini sağlar. Bunun yanında, biyolojik filtreleme ve karbon yakalama teknolojileri, atmosfere salınan zararlı gazları en aza indirmek için kullanılabilir.

Uygulama Alanı	Çözüm Yöntemi	Açıklama ve Etki
Üretim Süreci	Azot geri kazanım sistemleri	NOx emisyonlarını düşürür, azot verimliliğini artırır.
Enerji Kullanımı	Yenilenebilir enerji entegrasyonu	CO ₂ salınımını azaltır.
Depolama ve Taşıma	Kapalı sistemler ve gaz filtreleme	NH ₃ buharlaşmasını ve koku emisyonlarını azaltır.
Atık Yöntemi	Arıtma tesisleri, biyolojik filtreleme	Suya ve toprağa olan emisyonları önler.
Gübreleme Teknikleri	Yavaş salımlı gübreler, damla sulama	Azot kaçakını azaltır; çevresel kaybı düşürür.

Çizelge 2. Emisyon Azaltımı İçin Uygulanabilir Teknolojik Çözümler

Sürdürülebilir Tarım Uygulamaları ve Sertifikalar

Tarımda sürdürülebilir uygulamalar, yalnızca gübrelerin doğru ve verimli kullanılmasını sağlamakla kalmaz; aynı zamanda çevreye verilen zararı da azaltır. Tarımsal üreticiler için sürdürülebilirlik sertifikaları, çevre dostu uygulamaların yaygınlaştırılmasına katkı sağlar. Bu sertifikalar, çiftçilere çevresel etkileri minimize etme konusunda yol gösterir ve onlara uygun gübre kullanımı konusunda eğitim verir.

Sürdürülebilirlik Boyutu	Emisyon Azaltımının Katkısı
Çevresel	Biyoçeşitlilik korunur, sera gazı salımı azalır.
Ekonomik	Enerji ve hammadde verimliliği sağlanır.
Sosyal	Halk sağlığı korunur, kırsal bölgelerde yaşam kalitesi artar.

Çizelge 3. Emisyon Azaltımının Sürdürülebilirlik Göstergelerine Katkısı

Gelecekteki Potansiyel Çözümler

Gübre endüstrisinin emisyonlarını azaltma yolunda daha fazla yenilikçi çözüm geliştirilmesi gerekmektedir. Bu çözümler, teknoloji ve araştırma alanındaki gelişmelerle hızla şekillenmektedir.

Yapay Zeka ve Makine Öğrenimi

Yapay zeka ve makine öğrenimi, tarımda gübre kullanımını optimize etmede önemli bir rol oynayabilir. Sensörler ve yapay zekâ destekli analizler, toprak ve bitki sağlığı verilerini gerçek zamanlı olarak toplayarak, gübre ihtiyacını doğru bir şekilde belirleyebilir. Bu sistemler, gübre kullanımını daha verimli hale getirirken emisyonları da azaltabilir.

Karbon Ayak İzi Hesaplama

Tarımda gübre kullanımının karbon ayak izinin hesaplanması, çiftçilere ve üreticilere çevre dostu kararlar alması konusunda rehberlik edebilir. Karbon ayak izi hesaplama sistemleri, üreticilerin gübre kullanımını optimize etmelerine ve çevresel etkilerini azaltmalarına yardımcı olabilir.

Sıvı Gübrelerin Kullanımı

Sıvı gübreler, toprağa daha verimli bir şekilde uygulanabilir. Bu, daha düşük emisyonlarla sonuçlanabilir ve aynı zamanda daha az gübre kaybı sağlar. Sıvı gübrelerin daha geniş çapta kullanımı, özellikle azot kayıplarını azaltma konusunda büyük bir potansiyele sahiptir.

Gübre endüstrisinde emisyonların azaltılması, çevresel sürdürülebilirlik için kritik bir adımdır. Sektördeki emisyonları azaltmak için geliştirilen teknolojiler ve stratejiler, yalnızca çevresel etkileri azaltmakla kalmaz, aynı zamanda tarımsal verimliliği artırır ve gıda güvenliğini sağlar. Bu çözüm yollarının yaygınlaştırılması hem hükümetlerin hem de özel sektörün iş birliğiyle mümkün olacaktır. Gübre endüstrisinin geleceği, sürdürülebilir tarım uygulamaları ve yenilikçi teknolojilerle şekillenecektir.

Kaynakça:

1. Zhang, Y., et al. (2020). "Environmental Impacts of Fertilizer Use in Agriculture." *Environmental Science and Pollution Research*.
2. Smith, P., et al. (2014). "Agricultural Greenhouse Gas Emissions and Mitigation." *Global Change Biology*.
3. Lal, R. (2004). "Soil Carbon Sequestration Impacts on Global Climate Change and Food Security." *Science*.
4. EFMA (European Fertilizer Manufacturers Association). (2000). *Best Available Techniques for Pollution Prevention and Control in the European Fertilizer Industry – Production of Nitric Acid, Ammonia, Urea, NPK, CAN, and Ammonium Nitrate*.
5. IPCC. (2019). *2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Volume 4 – Agriculture, Forestry and Other Land Use*.
6. FAO. (2019). *The International Code of Conduct for the Sustainable Use and Management of Fertilizers*.
7. IFA (International Fertilizer Association). (2022). *Fertilizer Production & the Environment*.
8. Türk Tarım ve Orman Bakanlığı. (2021). *Gübre Üretim ve Kullanımı Raporu*.
9. Xu, X., Thornton, P. E., & Post, W. M. (2012). A global analysis of soil microbial biomass carbon, nitrogen and phosphorus in terrestrial ecosystems. *Global Ecology and Biogeography*, 22(6), 737–749.



TOROS TARIM