



TOROS TARIM

# AR-GE BÜLTENİ

Ağustos 2024 / Sayı 10

Merhaba,

Toros ARGE Bülteni'nin yeni sayılarında birbirinden farklı ve dopdolu içerikleri sizler için ele almaya devam ediyoruz. Bu sayımızda "Tarımsal Atıklar Bakteriyel Selüloz Üretiminde Devrim Yaratıyor", "Endüstriyel Tesis Tasarımında Proses Simülasyonu, Yatırım Maliyet Tahmini ve Yapay Zeka (AI) Yardımıyla 3B Modellemenin Entegre edilerek Mühendislik Çalışmalarının Hızlandırılması", "Mezofilik Koşullarda Bir Şeker Fabrikası Atığı Olarak Vinasın (Şilempe) Biyometan Potansiyelinin Belirlenmesi" ve "İklim Değişikliği ile Birlikte Toprak Karbon Döngüsü" gibi birbirinden farklı konulara yer verdik.

Bülten çalışmalarını ile ilgili katkı, soru ve önerileriniz için [info.arge@toros.com.tr](mailto:info.arge@toros.com.tr) üzerinden bizlere ulaşabilirsiniz.

Keyifli okumalar dileriz.



## Tarımsal Atıklar Bakteriyel Selüloz Üretiminde Devrim Yaratıyor

Prof. Dr. Sami Doğanlar  
İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Moleküler Biyoloji ve Genetik Öğretim Üyesi

Bakteriyel selüloz, yeni nesil bir nano-malzeme olarak ortaya çıkmış ve benzersiz özellikleri ve çok çeşitli potansiyel uygulamaları nedeniyle sadece ülkemizde değil, küresel çapta akademisyenler ve sanayicilerin ilgisini çekmiştir. Bu özellikler, dünyamız daha sürdürülebilir ve temiz bir döneme doğru ilerlerken, bakteriyel selülozu geleneksel bitki selülozuna mükemmel bir sanayi alternatifi haline getirmektedir. Küresel çevre bilincinin artması ve hammadde temininde yaşanabilecek potansiyel sorunlar, uluslararası ölçekte faaliyet gösteren birçok büyük şirketi yeni alanlar keşfetmeye yönlendirmektedir. Örneğin, bitki bazlı selülozlar uzun süredir tekstilde (selülozdan yapılan yapay ipek gibi) kullanılmaktadır. Araştırmacılar, bu malzemenin daha güçlü, daha hafif ve daha dayanıklı yeni formlarını geliştirmişlerdir.

American Process, Borregaard, Celluforce Inc., Goodyear Tyre, Inventia, Land Rover, Nippon Paper, Tesla, H&M, Kimberly-Clark Corp., Oji Paper, Paperlogic, Sony Corp,

The US Forest Service, University of Maine ve diğer birçok şirket bu yeni kaynakları araştırmalarında kullanmaya başlamış ve küresel bakteriyel selüloz pazarında önemli oyuncular haline gelmişlerdir [1]. Bazı şirketler, geliştirdikleri ürünlerde bakteriyel selüloz kullanımına yönelik patentler bile almaya başlamışlardır. Küresel olarak üretim yapan tekstil ve konfeksiyon markaları, perakendeciler ve üreticiler, değişen müşteri profili göz önünde bulundurularak çevre dostu yeni ürünlere yönelmektedir. Günümüzde mevcut tekstil ve konfeksiyon üretim yöntemleri artık çevre dostu olmadıkları için kabul edilemez hale gelmiştir. Bu nedenle, tüketiciler ve sanayiciler çevre dostu, uygulanabilir ve sürdürülebilir alternatifler aramaktadır.

Bu anlayış ve hedef doğrultusunda, bir Avustralya biyoteknoloji şirketi (Nanollose Ltd.), bira, şarap, şeker ve hindistancevizi atıkları gibi endüstriyel sıvı organik ve tarım atıklarını kullanarak çevre dostu mikrobiyal selüloz

geliştirmiştir. Şirket, benzersiz fermantasyon ve işleme teknolojisi sayesinde ayda yaklaşık 1 ton mikrobiyal selüloz üretmekte ve bu rakamı ayda 5 tona çıkarmayı hedeflemektedir. Benzersiz teknolojilerini kullanarak bu çevre dostu mikrobiyal selülozları yaklaşık 10-15 gün gibi kısa bir sürede ipek liflerine dönüştürmüşlerdir. Böylece, dünya genelinde ilk kez sürdürülebilir yapay ipek lifleri üretmişlerdir. İpek, şu anda ağaçlardan elde edilen selülozlardan üretilmektedir ve 2014 yılında 10 milyar dolar olan pazar değerinin 15-20 milyar dolara çıkacağı tahmin edilmektedir. İpek, ev eşyalarından giyim ürünlerine kadar çeşitli ürünlerde kullanılmaktadır ve ipek ürünlere olan talebin önümüzdeki yıllarda artması beklenmektedir. Bu teknolojiyi kullanarak, şirket küresel tekstil endüstrisinden 500 milyar dolarlık pazar payını hedeflemekte ve bu süreçte geleneksel tarım ve orman kaynaklarını kullanarak çevreye verilen zarar önemli ölçüde azaltmayı planlamaktadır [2]. Bu gelişme, bakteriyel selülozun yenilikçi uygulamaları ve sürdürülebilirlik potansiyeli açısından önemli bir örnek teşkil etmektedir.

Önümüzdeki yıllarda, özellikle 2023-2030 dönemi arasında, küresel bakteriyel selüloz pazarının, kompozit malzemelerden dokunmamış adsorbanlara, kağıt ve kartondan gıda ürünlerine kadar çeşitli alanlarda artan talep nedeniyle önemli ölçüde büyümesi bekleniyor. Bu artış, bakteriyel selülozun çeşitli endüstrilerde kullanılan geniş bir ürün yelpazesi ile ilişkilendirilmesine dayanmaktadır. Öngörülen büyüme, bakteriyel selülozun farklı sektörlerdeki artan önemini ve uygulamalarını göstermektedir.

Küresel bakteriyel selüloz talebinin artmasıyla birlikte, bu alanda faaliyet gösteren şirketler ve ülkeler önümüzdeki yıllarda fayda sağlayacak konumda olacaklar. Bu artan talep, üreticiler ve ülkeler için yatırım yapma ve genişleme

fırsatları sunarak rekabet avantajı kazandıracaktır. Sonuç olarak, bakteriyel selüloz üretimine katkıda bulunan çiftçilerden sanayicilere ve dolayısıyla ilgili ülkeye kadar olumlu ekonomik sonuçlar beklenmektedir.

Yıllık 45-50 milyon ton tarımsal atık üreten bir ülke olarak Türkiye, bakteriyel selüloz üretimi için önemli bir potansiyele sahiptir. Bu durum, biyolojik üretim için gerekli hammaddelerin kolayca temin edilebileceğini göstermektedir. Özellikle bitki artıkları gibi tarımsal atıklar, çevre dostu, bol ve yenilenebilir olup, yüksek selüloz ve lif içeriğine sahiptir. Bu atıklar, bakteriyel selüloz üretimi için gerekli olan substratlar (besin kaynakları) olarak kullanılabilir. Bu bağlamda, yüksek tarımsal atık potansiyeline sahip bir ülke olarak Türkiye, selüloz üretiminde avantajlı bir konumda olacaktır.

Ülkemizde teknolojik bağımlılığı azaltmak veya rekabet gücümüzü artırmak için gereken ürünler, süreçler, yöntemler, modeller ve benzeri ulusal kazanımlar. 2022 yılında küresel bakteriyel selüloz pazar büyüklüğü yaklaşık 350 milyon dolar civarındayken, 2030'lu yıllarda 1,5 milyar dolara ulaşması öngörülmektedir. Bu büyüme, gıda ve içecek, kozmetik ve tekstil gibi çeşitli endüstrilerde sürdürülebilir ve çevre dostu malzemelere olan artan talep tarafından önemli ölçüde etkilenecektir. Şu anda ülkemizin bu pazarda hiçbir payı bulunmamaktadır çünkü sektör henüz kurulmamıştır. Bu nedenle, Türkiye'de bu tür yüksek değerli teknolojik ürünlerin üretilmesi gerekmektedir. Bu tür ürünlerin üretimi, ülkenin ekonomik rekabet gücünü artıracak ve yeniliği teşvik edecektir. Son yıllarda Türkiye, yüksek değerli teknolojik ürünlerin üretimini hedeflemiş ve hükümetimiz tarafından bu hedefi teşvik eden çeşitli çabalar sürdürülmektedir. Bu nedenle, ülkemizin tarımsal atıklardan bakteriyel selüloz üretimi gibi çok özel üretim alanlarında teknoloji geliştirmesi gerekmektedir.

#### Kaynaklar:

- <https://www.businessresearchinsights.com/enquiry/request-sample-pdf/microbial-and-bacterial-cellulose-market-100001>
- [https://www.annualreports.com/HostedData/AnnualReportArchive/n/ASX\\_NC6\\_2020.pdf](https://www.annualreports.com/HostedData/AnnualReportArchive/n/ASX_NC6_2020.pdf)



## Endüstriyel Tesis Tasarımında Proses Simülasyonu, Yatırım Maliyet Tahmini ve Yapay Zekâ (AI) Yardımıyla 3B Modellemenin Entegre edilerek Mühendislik Çalışmalarının Hızlandırılması

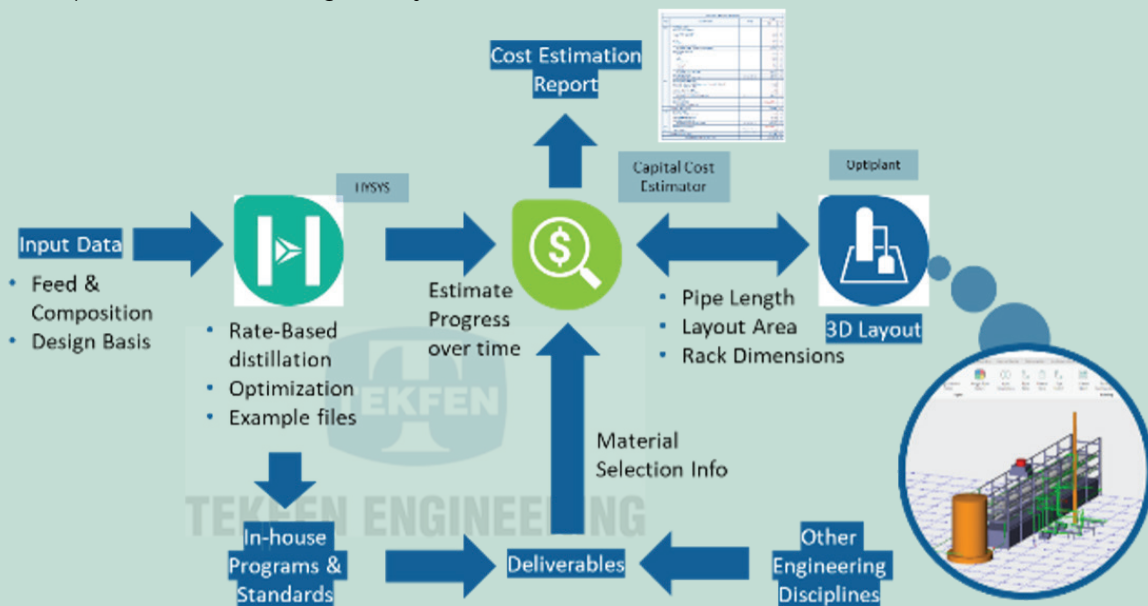
Volkan Topaloğlu  
Tekfen Mühendislik, İstanbul, Türkiye  
Proses Mühendisi

Endüstriyel tesislerin yatırım kararlarında kullanılan fizibilite raporlarının en önemli kalemlerinden birisi yatırım maliyeti tahmini olarak öne çıkmaktadır. Yatırım kararının alınmasında kullanılan bu maliyet tahmininin en güvenilir şekilde yapılması yatırım kararlarını doğrudan etkilerken şirketlerin gelecekle için hayati bir öneme sahiptir. Dolayısıyla, olması gerekenden daha ucuz tahmin edilen tesisler yatırımcı için kısa süreli bir özgüven sağlarken; diğer yandan, olması gerekenden daha pahalı tahmin edilen tesisler ise yatırımcının yatırım iştahını kaydırabilmektedir.

Bu durumu iyileştirmenin mümkün olduğuna inandığımız ön mühendislik sırasında hazırladığımız Yatırım Maliyeti Tahmini çalışmalarımızda Tekfen Mühendislik olarak işi bir adım daha ileri götürerek entegre bir çalışma yapıyoruz; maliyete etkisi olan tüm kalemlerin proses simülasyonunu yaparken diğer yandan yapay zeka yardımıyla 3B Yerleşim tasarımı ile gerekli olabilecek borulama ve bina vb. gibi tesisin önemli gider kalemlerini henüz konsept aşamasında ele alarak en optimum tasarımı en doğru maliyet analizi ile

gerçekleştiriyoruz. Kullandığımız entegre araçlar piyasadaki en güvenilir proses simülasyonu üreticisi AspenTech'in; Aspen Plus, Aspen HYSYS, Aspen Exchanger Design & Rating, Aspen Optiplant, Aspen Capital Cost Estimator (ACCE) araçlarıdır.

İlerleyen paragraflarda detaylarını aktaracağım vaka çalışmalarını, geçtiğimiz dönemde hem yatırımcı tarafında hem de mühendislik firmaları tarafında ilgi çekmesi sebebiyle, üç farklı konferansta sunma ve Tekfen Markasını temsil etme fırsatı bulduk. Bunlardan ilki Frankfurt'ta AspenTech tarafından gerçekleştirilen "Optimizing Design Plant Operations Sustainability" başlıklı konferanstır. İkinci olarak, Tekfen Mühendislik ve AspenTech tarafından Tekfen Tower'da ortaklaşa düzenlenen ve özellikle Türkiye'deki yatırımcıların toplandığı "Increasing Confidence in Capital Investment Projects" konferansı olarak gerçekleşmiştir. Son olarak 1500'den fazla sektör profesyonelinin katıldığı ve Houston, Texas'ta iki yılda bir gerçekleşen "Optimize 2024"te sunulmuştur.



Şekil 1. Aspen HYSYS, Aspen Capital Estimator ve Aspen Optiplant'ın Entegre Kullanımı (1)

### “Sour Water Stripping” Ünitesi için Aspen HYSYS, Aspen Capital Cost Estimator (ACCE) ve Aspen Optiplant Entegre Kullanımı Üzerine Bir Vaka Çalışması

Geçtiğimiz yıl yabancı bir müşteri için yaptığımız projede Sour Water Stripping ünitesi tasarımında yer alma fırsatı buldum. Proje temelde Front End Engineering Design (FEED) dokümanları ve proje sonucunda bağlayıcı bir fiyat tahmini teklifi hazırlanmasını içeriyordu. Aspen Capital Cost Estimator programını test etmek ve hangi yüzde ile projenin hangi aşamasında projenin nihai yatırım maliyeti teklifine yaklaşıyoruz sorusunu sorarak başladığım bu çalışmada şaşırtıcı bir hızda nihai fiyat teklifine yaklaşılabildiğini gözlemledik. Projenin çoğu kaleminin yaklaşımı yanında optimum bir 3B tesis tasarımı da bu sürecin ekstra çıktısı oldu. Projenin en başından sonuna kadar tüm önemli fazlar için maliyet tahmini yaparak tahmin edilen ACCE fiyatının nihai teklif fiyatına uzaklığını tespit edilecektir. Yerleşim ve 3B Borulamayı maliyet tahmini sürecinde birlikte yaparak maliyet çalışmasını güçlendirilecektir.

Proje ilk fazda proses simülasyonu Aspen HYSYS ile başlamıştır. Önceki projelerdeki deneyimler kullanılarak simülasyon çalışmaları hızlandırılırken diğer yandan Aspen HYSYS'in sağladığı Rate-Based Column modeling ve Column Hydraulics, Line Hydraulics özellikleri kullanılarak ihtiyaç duyulan en optimum tepsi sayısı ve hidrolik tasarımı müşterinin hedeflediği ürün çıktılarna uygun şekilde gerçekleştirilmiştir. Ek olarak, maliyet tahmini sırasında Aspen Optiplant kullanılarak yapay zeka (AI) yardımıyla otomatik borulama yapılmış ve buradaki metrajlar ACCE'de hazırlanan maliyet tahmini içerisine gömülmüştür.

Tesisin yatırım maliyetine tüm maliyet kalemleri dahil edilmiştir. Bunlara; ekipman, çelik, elektrik, enstrümantasyon, inşaat, işçilik ve mühendislik örnek olarak gösterilebilir. Çalışmanın teknik süreci Şekil 1'de özetlenmiştir.

Endüstriyel tesis tasarımı multi-disciplinary mühendislik çalışmaları gerektirdiği için genellikle Şekil 2'deki gibi kapsamlı bir teknik süreç içerir. Proses Departmanı olarak işin başlangıç noktasını oluşturuyoruz diyebilirim. Önceki projelerdeki deneyimleri ve kabul edilmiş standartları baz alarak başladığımız projelerde diğer disiplinlerin de katılımı ile PFD, P&ID ve Data Sheetler gibi dokümanları müşteriye yayınlamaktayız. Bu bir süreç olduğu için bu süreçlerin her birinde elimizdeki bilginin miktarı artmaktadır. Projenin tüm ayrıntıları tamamlandığında artık Maliyet Tahmini yapılabilir bir noktaya gelir.

En başta sorduğumuz “Projenin hangi aşamasında hangi yüzde ile yatırım maliyeti fiyatına (TIC) yaklaşıyoruz?” sorusunu cevaplamak adına çalışmanın sonuçlarını Şekil 3'teki gibi görebilmekteyiz. “Elapsed Project Time” satırını takip ederek projenin bulunduğu aşamaları izleyebilirsiniz. Doc. Basis kısmında yayınlanan veya elimizde o aşamada hazırda bulunan dokümanları görmekteyiz. Grafikte ise mavi çizgi ile proje sonunda teklif olarak sunulan maliyet fiyatıdır. Sarı çizgiler, o aşamada yapılan maliyet tahmininin teklif maliyet fiyatına olan uzaklığını yani hata payını yüzdesel olarak göstermektedir.

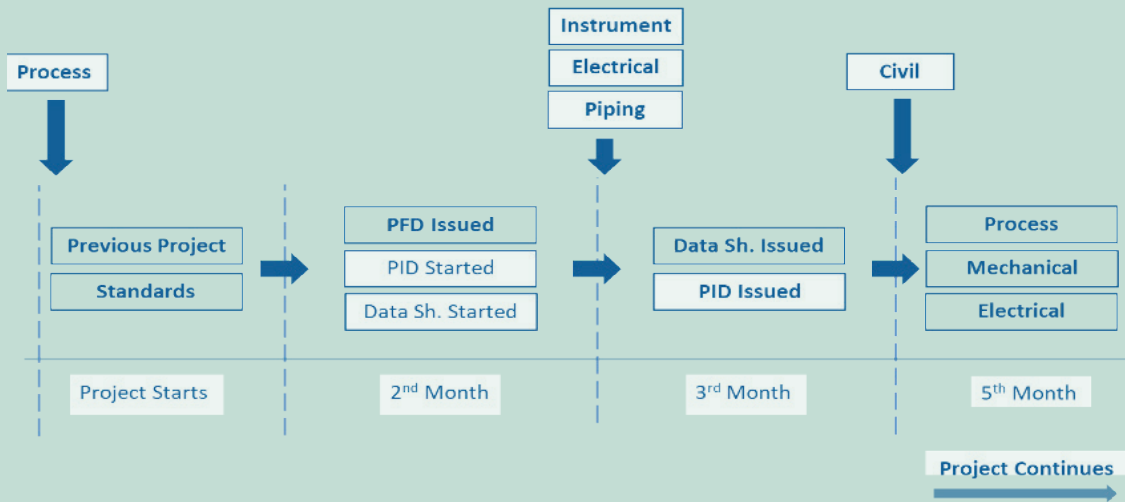
Hata payının detaylarına değinmeden önce Association for the Advancement of Cost Engineering (AACE) International'ın standardize edilmiş yaklaşımını Tablo 1'de paylaşmak istedim. Bu tabloda Maliyet Tahmininin sınıflandırmasını ve tipik kullanım alanlarını görmekteyiz.

AACE Class	ANSI Classification	Typical Use	Project Definition	Expected Range of Accuracy		Other Terms
				Low Expected Actual Cost	High Expected Actual Cost	
Class 5	Order-of-Magnitude	Strategic Planning; Concept Screening	0% to 2%	-50% to -20%	+30% to +100%	ROM; Ballpark; Blue Sky; Ratio
Class 4		Feasibility Study	1% to 15%	-30% to -15%	+20% to +50%	Feasibility; Top-down; Screening; Pre-design
Class 3	Budgetary	Budgeting	10% to 40%	-20% to -10%	+10% to +30%	Budget; Basic Engineering Phase; Semi-detailed
Class 2	Definitive	Bidding; Project Controls; Change Management	30% to 75%	-15% to -5%	+5% to +20%	Engineering; Bid; Detailed Control; Forced Detail
Class 1		Bidding; Project Controls; Change Management	65% to 100%	-10% to -3%	+3% to +15%	Bottoms Up; Full Detail; Firm Price

Tablo 1. association for the advancement of Cost Engineering (AACE) Capital Cost Estimate Sınıflandırması (2)

Şimdi elimizde çalışmamızı kıyaslayabileceğimiz bir sınıflandırma seti olduğuna göre çalışmanın detaylarına yani Şekil 3'e dönebiliriz. Eğer elimizde sadece Proses Simülasyonu (HYSYS) dosyası olsaydı Yatırım Maliyetine %44 hata payı ile yaklaşmış olacaktık, yani bu durumda AACE Class V olarak yaklaşım yaptığımızı gösteriyor. Eğer bu proses simülasyonunu kullanarak Aspen Capital Cost Estimator (ACCE) içerisine ekipmanları tanımlasaydık bu sefer %15'lik bir farka yaklaşmış olacaktık, bu da bizi dramatik şekilde AACE Class III'e yükseltmektedir. Burada dikkat çekmek istediğim en önemli nokta hala elimizde proses simülasyonu dışında bir proje çıktısı/dokümanı bulunmamasıdır. Yapay zeka yardımı ile yerleşimini ve borulamasını hazırladığımız 3B modeli de Maliyet Tahminine yani ACCE'ye entegre ettiğimizde Error için

%15'lik bir iyileşme, genel Maliyet Tahmininde ise %2'lik bir iyileşme sağlayabilmekteyiz. 3B modele temel olarak borulama metrajı ve eğer varsa borular için kullanılan askılar (Rack) dahil edilmektedir. Proje başladıktan 2 ay sonra elde edilen veriler kullanılarak (Proses Flow Diagram) yapılan Maliyet Tahmini %20'lik bir fark yaratırken güncellenen 3B model bize genel için %5'lik daha iyileştirme sağlayarak yeniden AACE Class III mertebesine yükseltmektedir. Projenin üçüncü ayına girerken yapılan Yatırım Maliyeti çalışmasında ekipmanların veri kartları (Data Sheet) kullanılmış ve Teklif için hazırlanan maliyet mertebesine %2'lik ve 3B çalışma ile %3'lük fark ile yaklaşmıştır. Son olarak elde edilen tüm veriler kullanılarak (P&ID, Line List, Yerleşim Planı) yapılan yaklaşım ise %11'lik bir farka sebep olmuştur.

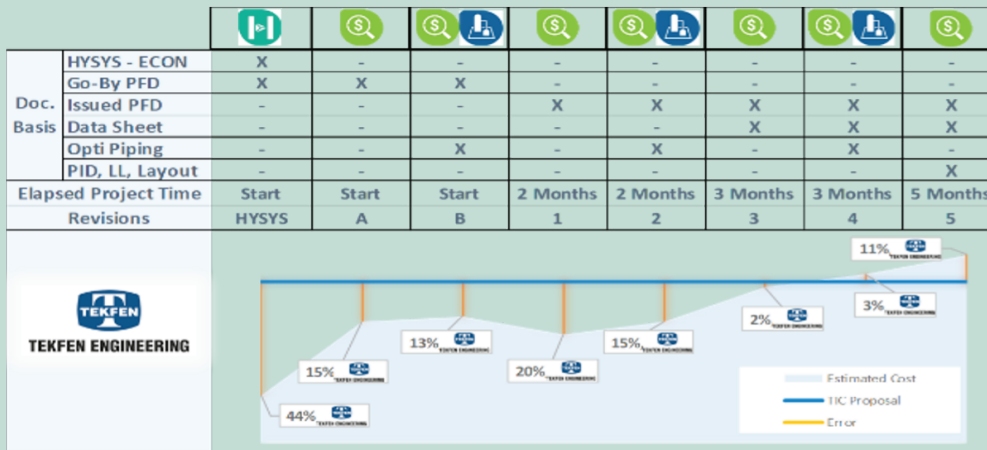


Şekil 2. Endüstriyel Tesislerin Tasarım Sürecinde Multi-Disciplinary Süreç

Başta değindiğim üzere projedeki bilgi miktarı zamanla farklı disiplinlerin katılımı ile artmakta ve Maliyet Tahminini iyileştirmektedir. Şekil 4'te bu durum özetlenmiştir.

Bu çalışmada, Ön Mühendislik sırasında hazırlanan Proses Simülasyonunun ve Yapay Zeka yardımı ile hazırlanan 3B Modelin Yatırım Maliyeti Tahmini için bir destek olarak kullanılması durumunda Yatırım Maliyeti Tahminini hangi

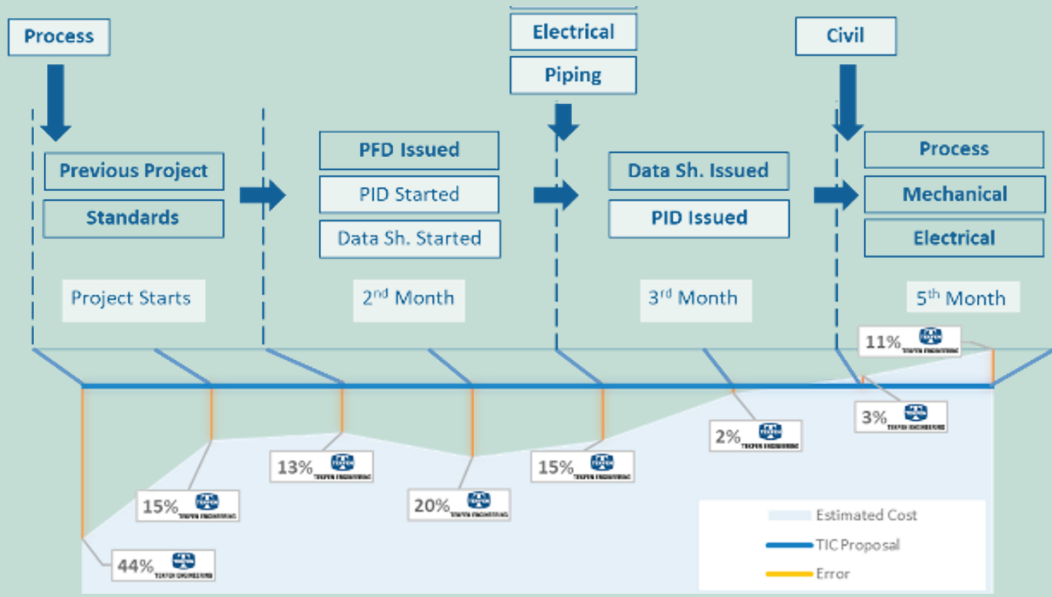
boyutta iyileştirdiği incelenmiştir. Bu şekildeki bir iş akışının önemli faydaları olduğu gözlemlenmiştir. Henüz başlamayan bir proje için dahi (özellikle fizibilite aşamasındaki projelerde) yüksek doğruluk payıyla tesisin yatırım maliyetinin saptanmasının mümkün olabileceği gözlemlenmiştir. Aspen Capital Cost Estimator'a beslenen veri miktarı ile hedeflenen doğruluk arasında bir pozitif korelasyon ortaya konmuştur.



Şekil 3. Projede geçen Zaman-Yaklaşılacak Maliyet Tahmini grafiği: Girdi Verilerine Bağlı Olarak Maliyet Tahmini ve Göreceli Hata Payları

Konsept aşamasında hazırlanan ve boyutlandırılan ekipmanların Aspen Optiplant'ın 3B uzayında yerleşiminin yapılması ile sahada oluşabilecek kısıtların erkenden öngörülebildiği bir diğer önemli avantaj konumundadır. 3B borulamanın otomatik ve kural bazlı yapılması ile hangi tasarımın en yüksek maliyet avantajı yarattığının belirlenmesini mümkün kılmaktadır. Farklı tesis yerleşimlerinin teoride sonsuz defa çalışılarak en optimum ekipman yerleşim noktalarının bulunması tesisin yatırım maliyetinde bir avantaj sağlayabilmektedir. Projenin tasarımı sırasında çeşitli değişikliklerin gerekmesi durumunda 3B model üzerindeki değişikliklerin de oldukça çevik ve neredeyse eş zamanlı gerçekleştirilebilmektedir.

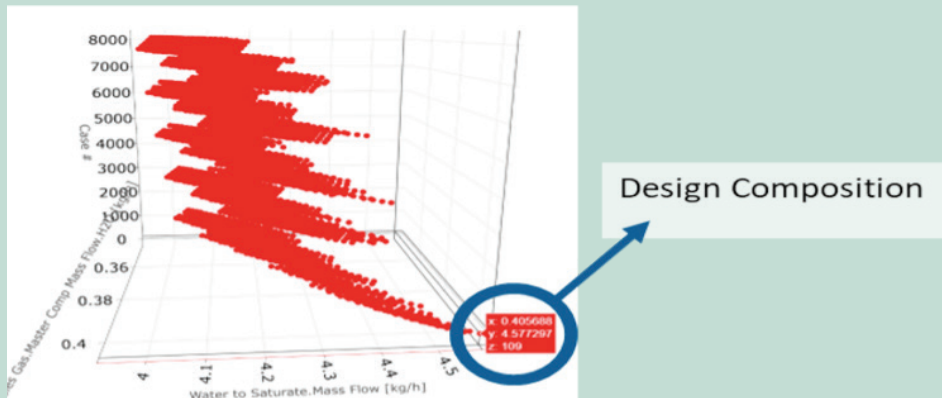
**Mühendislik Proje Tekliflerinin Proses Simülasyonu Yardımıyla Yatırım Maliyeti Tahmini Yapılması ve 3B Yerleşim ve Borulama Çalışmasının Hızlandırılması**  
Engineering-Procurement-Fabrication (EPF) için teklif isteyen bir müşteri için çalıştığımız Gaz Dehidrasyon-Rejenerasyon Ünitesi tasarımında bir önceki vaka çalışmasında olduğu gibi Aspen HYSYS, Aspen Optiplant ve Aspen Capital Cost Estimator birlikte kullanılmıştır. Buna ek olarak Aspen Multi-Case ile optimizasyon çalışması detaylandırılmıştır.



Şekil 4. Projede geçen Zaman-Yaklaşılan Maliyet Tahmini grafiği: Projeye Dahil Olan Disiplinlere Göre Maliyet Tahmini ve Göreceli Hata Payları

Teklif sırasında 3B Modelleme yapılarak maliyet tahmininde iyileştirme yapılması amaçlanmıştır. Proses tasarımı sırasında müşterinin verdiği girdi ürün kompozisyonu yardımıyla hedeflediği dehidrasyon oranı çıktı ürün olarak şekilde Aspen HYSYS ile simüle edilmiştir. Geçmiş deneyimlerin de yardımıyla hedeflenen ürün kompozisyonunda gaz dehidrasyonu sağlayan absorber kolonunda gerekli olacak en optimum sayıda tepsi

kullanılmıştır. Müşteri tarafından besleme kompozisyonu için bir aralık verilmiştir ancak bu aralık farklı kapasitelerde su tutabilmektedir. Tasarım kompozisyonu belirlemek için aralık içerisindeki ürün kompozisyonları 70 binden fazla kez simüle edilerek Şekil 5'teki "Design Composition" bulunmuştur. Değindiğim üzere, bu kompozisyon en kötü şartı içermekte ve tasarım için girdi ürün kompozisyonunu oluşturmaktadır.



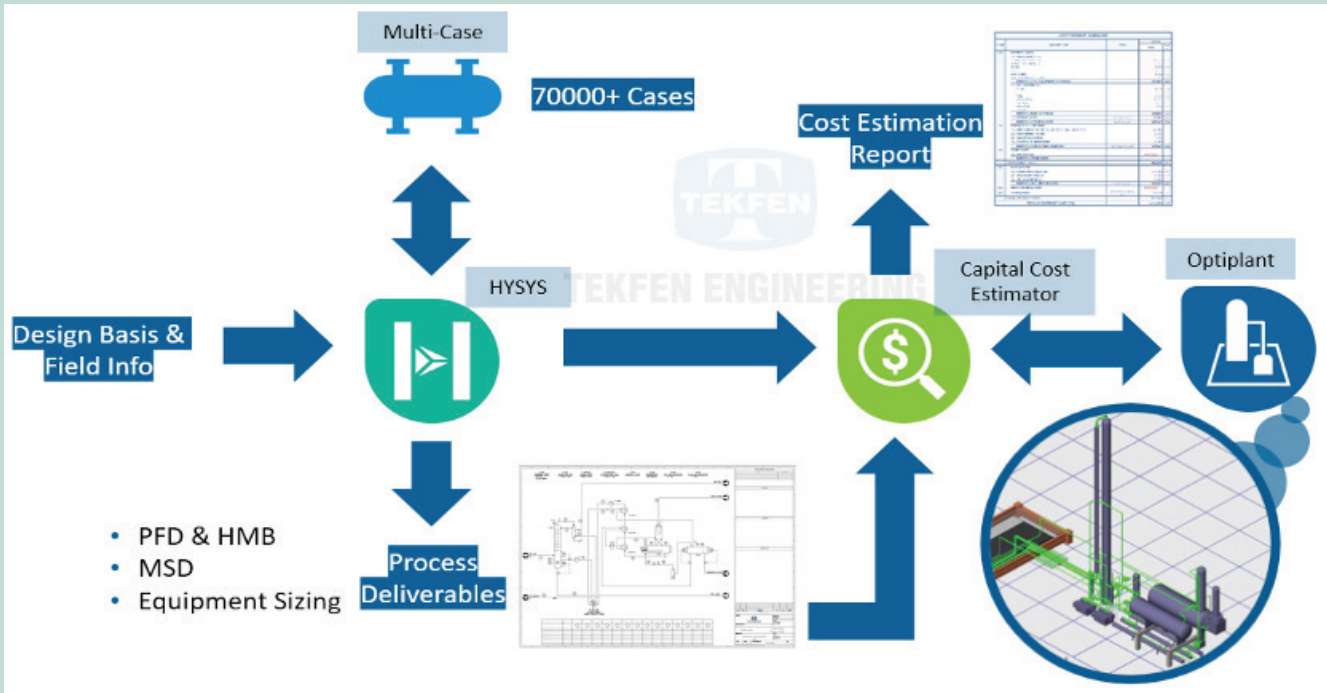
Şekil 5. Tasarım Kompozisyonunun Bulunması, Aspen Multi-Case ile 70 binden Fazla Çalıştırılan HYSYS Simülasyonu (3)

Şekil 6'da yine önceki Vaka Çalışmasındaki benzer bir teknik sistematik kullanılmıştır. Buna ek olarak Aspen Multi-Case ile tasarım kompozisyonu ve optimum tepsi sayısı belirlenmiştir.

### Sonuç

Mühendislik hizmeti teklifi hazırlama aşamasında bahsi geçen entegre tasarım sürecinin önemli faydaları bulunmaktadır. Tedarikçilerden oldukça geç gelen bazen ayları bulabilen Ekipman Maliyet Tekliflerini Aspen Capital Cost Estimator ile birkaç saniyede alabilmek olduğu model tasarlandığı için olası proje limitasyonlarını müşteriye

belirtebilmek bu süreçteki bir diğer avantaj olarak öne çıkmaktadır. Bu vaka çalışmasında müşteri tarafından 4 farklı besleme miktarlarına göre tasarımların çalışması istenmişti. İlk çalışma tamamlandıktan sonra diğer 3 tasarımın yapılması simülasyonda birkaç değişiklik sonucunda oldukça hızlı gerçekleşti. Buna ek olarak otomatik borulama ise yerleşimdeki olası değişikliklerin oldukça hızlı adaptasyonunu sağlamıştır. Henüz teklif aşamasında 3B model ile müşterinin karşısına çıkmak teklifin başarı şansını arttıran ve Tekfen Mühendislik olarak yaptığımız projelere verdiğimiz önemi göstermektedir.



Şekil 6. Aspen HYSYS, Aspen Multi-Case, Aspen Capital Cost Estimator ve Aspen Optiplant'in Entegre Kullanımı (1)

### Kaynaklar:

- <https://www.aspentech.com/en/products/engineering/aspen-hysys>
- [https://web.aacei.org/docs/default-source/toc/toc\\_18r-97.pdf?sfvrsn=4](https://web.aacei.org/docs/default-source/toc/toc_18r-97.pdf?sfvrsn=4)
- <https://www.aspentech.com/en/products/engineering/aspen-multi-case>



## Mezofilik Koşullarda Bir Şeker Fabrikası Atığı Olarak Vinasın (Şilempe) Biyometan Potansiyelinin Belirlenmesi

Mustafa Ödek  
Toros Meram Yenilenebilir Enerji, Konya, Türkiye  
Laboratuvar Şefi

Endüstriyel üretim süreçlerindeki atık madde sorunu, günümüz imalat sanayinin önemli çevre sorunları arasında yer almaktadır [1]. Her endüstriyel süreçte ortaya çıkan atık maddelerin farklı değerlendirme yöntemleri geliştirilmiştir [2]. Günümüzde özellikle gıda sanayinde en çok talep edilen üretim maddelerinden biri olan şekerin üretimi sonrasında büyük miktarda atık ortaya çıkmaktadır [3]. Bu atık malzeme doğrudan doğaya boşaltılmak yerine, organik içeriği nedeniyle enerji ve gübre üretiminde kullanılma potansiyeline sahiptir [4]. Bu tür bir kullanımın mevcut yöntemi, şeker fabrikası atık malzemesindeki metanın enerji üretim süreçlerinde elektrığe dönüştürülmesi ve bu elektrik üretimi sırasında ortaya çıkan atık malzemenin gübre üretiminde kullanılması ile mümkündür.

Şeker üretimi sırasında atık olarak açığa çıkan büyük miktardaki birincil madde vinas olarak adlandırılmakta ve organik içeriği nedeniyle ağırlıklı olarak etil alkol ve metan üretiminde kullanılmaktadır [5]. Etil alkol ve metan çoğunlukla petrol türevlerinden ve biyolojik hammaddelerden üretilmektedir [6]. Biyolojik kaynaklardan elde edilen metan biyometan olarak adlandırılmakta ve ulaşım sektöründe alternatif enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır [7]. Ancak biyometanın benzine belirli oranda katılarak yakıt olarak kullanılabilirliği bildirilmiştir [8]. Biyometan üretimi için mısır ve buğday kullanılabilirliği gibi şeker pancarı da kullanılabilirliği [9]. Şeker pancarından şeker üretimi sonrasında geriye kalan atık olan vinasın metan kaynağı olarak kullanılması günümüz araştırmacılarının odak noktasıdır [10]. Vinas fermantasyon işlemine tabi tutulduktan sonra bu fermantasyon sıvısından damıtma yoluyla ayrıştırılarak biyometan oluşturulur [11]. Fermantasyon sıvısının içeriği etil alkol ve metandan oluşmaktadır ve bu fermantasyon sıvısındaki alkol damıtma işlemi ile ekstrakte edilebilmektedir [12].

Biyometan birçok farklı şekilde endüstriyel amaçlı üretilebilmektedir. Üretim miktarı ihtiyaç doğrultusunda her geçen gün artmaktadır. Herhangi bir organik kaynaktan

biyometan üretimi çok sınırlı olmakla birlikte, üretilen biyometanın 10 katı kadar vinas oluşmaktadır [13]. Vinasın değerlendirilmesi günümüzde şeker üretim endüstrisinin önemli bir sorunudur [14].

Vinas (şilempe), hammaddeden gelen yüksek organik madde, çözünmüş katı maddeler, ağır metaller, fenolikler, şekerler (karbonhidratlar) ve proteinlerin (amino grupları) reaksiyonu sonucu oluşan melanodinler ve asitlerin hidrolizi ile oluşan bileşikler gibi fitotoksik ve antibakteriyel içeriğe sahiptir [15]. Bu nedenle vinasın çevreye doğrudan deşarjı toprak ve yeraltı sularında kirliliğe neden olabilmektedir [16]. İçerdiği yüksek miktardaki renk bileşikleri nedeniyle arıtılmadan su kaynaklarına deşarj edildiğinde, nehir ve göllerde güneş ışığı geçirgenliğini azaltarak fotosentetik aktivitenin ve çözünmüş oksijen konsantrasyonunun azalmasına neden olmakta ve sucul yaşam koşullarında tehlikeli durumlara yol açmaktadır [17]. Yüksek organik içerik nedeniyle yeraltı sularında besin zenginleşmesi veya ötrofikasyon, ekosistemin yapı ve işlevinde istenmeyen değişikliklere neden olabilir.

Organik kaynaklardan biyometan üretiminin incelendiği bir çalışmada, bir şeker fabrikası atığı olan vinasın mezofilik koşullar altında metan potansiyelinin belirlenmesi için BMP cihazı kullanılmış ve ilgili cihazda 36 gün boyunca metan gazı salınımı izlenmiştir [18]. Elektrik enerjisi üretimi için biyogaz ünitesine yapılan küspe beslemesinin metan gazı içeriği 36 gün boyunca incelenmiştir. Cihaz kalibrasyonu metan içeriği bilinen nişasta ile yapılmış ve burada pozitif kontrol için nişasta kullanılmıştır. Vinas ile birlikte metan içeriğini belirlemek için biyogaz ünitesine vinas eklenmeden önce biyogaz üretiminde kullanılan fermentör sıvısı (inokulum) da kullanılmıştır.

Vinas kullanılarak biyometan üretimi üzerine çeşitli çalışmalar rapor edilmiştir [19]. Bu çalışmalardan birinde, BMP cihazında vinas kullanılarak üretilen biyogazın yarısı yalnızca ilk dört gün boyunca oluşmuştur. Altıncı günden sonra gaz üretim oranı düşmeye başlamıştır. Denemeler boyunca en yüksek metan konsantrasyonu 4. günde % 73,1



olarak ölçülmüştür [20]. Biyokimyasal biyogaz ve metan potansiyeli ise sırasıyla 137,46 m<sup>3</sup> biyogaz/m<sup>3</sup> şilempe ve 99,90 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> / m<sup>3</sup> şilempe olarak belirlenmiştir. Böyle bir biyometan üretim tesisinde H<sub>2</sub>S gibi biyometan üretim verimini düşüren parametrelerden biri de H<sub>2</sub>S oluşumu olup gaz kromatografisi ile üretilen biyogazda biyometan ve H<sub>2</sub>S analizi yapılabilmektedir.

Bu çalışmada, Şeker Fabrikası atığı olan vinasın Biyogaz Ünitesinde kullanılmak üzere mezofilik koşullar altında biyometan üretim potansiyelinin belirlenmesi amaçlandı. Biyometan Potansiyeli (BMP) deneyinde kullanılan organik hammaddelerin % Kuru Madde ve % Uçucu Katı Madde miktarları laboratuvarında hesaplandıktan sonra fermentör sıvısı (aş) ile belirli oranlarda karıştırılarak simüle edilerek gaz çıkışı izlendi. Tesis 30 gün boyunca gazlı mezofilik bir ortamda tutulur. Çalışmada kullanılan BMP cihazı 6 adet 2,5 L reaktör, CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>S absorber ünitesi ve metan ölçüm ünitesinden oluşmaktadır. Reaktörde oluşan biyogaz CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S gazlarını içermektedir. Üretilen metan gazı miktarının belirlenmesi amacıyla reaktörde üretilen biyogaz 0,3 M NaOH çözeltisi ile yıkanarak CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>S gazlarının NaOH çözeltisi içerisinde absorbe edilmesi sağlanmış ve bu sayede BMP cihazı tarafından sadece CH<sub>4</sub> içeriği tespit edilmiştir. BMP cihazı ile ölçülen biyogaz değerinin güvenilirliğini sağlamak amacıyla pozitif kontrol olarak metan içeriği bilinen nişasta çözeltisi kullanıldı. Çalışmada organik madde ilavesiyle biyometan üretim potansiyelini ölçmek amacıyla negatif kontrol çözeltisi olarak fermentör sıvı inokulumu kullanıldı. Çalışmada kullanılan organik katkı maddelerinin BMP cihazı tarafından üretilen biyometan miktarı, inokulum çözeltisi miktarının organik madde içeriğindeki katı madde miktarına oranı olarak formüle edilerek belirlenmektedir. Böylece BMP cihazı ile yapılan ölçümlerde nişastadan sırasıyla 358 Nml/g.CH<sub>4</sub>, şerbetten ise 500 Nml/g.CH<sub>4</sub> üretilbildiği belirlendi.

#### Kaynaklar:

- M. Garetti, M. Taisch, Sustainable manufacturing: trends and research challenges. *Production planning & control*, 23(2012), 83-104.
- L. C. Freitas, J. R. Barbosa, A.L.C. da Costa, F.W.F., Bezerra, R.H.H. Pinto, R.N. de Carvalho Junior, From waste to sustainable industry: How can agro-industrial wastes help in the development of new products? *Resour. Conserv. Recycl.*, 169 (2021), 105466.
- R. Ravindran, A.K. Jaiswal, Exploitation of food industry waste for high-value products. *Trends Biotechnol.* 34 (2016), 58-69.
- W. Peng, A. Pivato, A. Sustainable management of digestate from the organic fraction of municipal solid waste and food waste under the concepts of back to earth alternatives and circular economy. *Waste Biomass Valori*, 10(2019), 465-481.
- B.S. Moraes, M. Zaiat, A. Bonomi, Anaerobic digestion of vinasse from sugarcane ethanol production in Brazil: Challenges and perspectives. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 44(2015), 888-903.
- J.K. Baras, S.B. Gaćeša, S. B., D.J. Pejin. Ethanol is a strategic raw material. *Hem. Ind.* 56(2002), 89-104.
- D. Mignogna, P. Ceci, C. Cafaro, G. Corazzi, P. Avino, Production of Biogas and Biomethane as Renewable Energy Sources: A Review. *Appl. Sci.*, 13(2023), 10219.
- A.C. Wilkie, Biomethane from biomass, biowaste, and biofuels. In *Bioenergy*, (2008, May) (pp. 195-205). Washington, DC, USA: ASM Press.
- J.C. Frigon, S.R. Guiot, Biomethane production from starch and lignocellulosic crops: a comparative review. *Biofuel Bioprod Bior.*, 4(2010), 447-458.
- C. A. Christofoletti, J. P. Escher, J. E. Correia, J. F. U. Marinho, C. S. Fontanetti, Sugarcane vinasse: environmental implications of its use. *Waste Manage.*, 33(2013), 2752-2761.
- C. Varella Rodrigues, L. Oliveira Pires, K.J.D. Medina, S. Imaculada Maintinguer., Recovery of Crude Glycerol and Citrus Vinasse in Anaerobic Digestion in Two Stages for Lactic Acid and Biomethane Production. *Ind. Biotechnol.*, 18(2022), 248-256.
- D. Cai, J. Wen, Y. Zhuang, T. Huang, Z. Si, P. Qin, H. Chen, Review of alternative technologies for acetone-butanol-ethanol separation: Principles, state-of-the-art, and development trends. *Sep. Purif. Technol.*, 298(2022), 121244.
- J. Pavičić, K. Novak Mavar, V. Brkić, K. Simon, Biogas and biomethane production and usage: technology development, advantages and challenges in Europe. *Energies*, 15 (2022), 2940.
- V. Ashokkumar, S. Jayashree, G. Kumar, S.A. Sharmili, M. Gopal, S. Dharmaraj, C. Ngamcharussrivichai. Recent developments in biorefining of macroalgae metabolites and their industrial applications-A circular economy approach. *Bioresour. Technol.*, 359 (2022), 127235.
- R.P. Rodrigues, A.C. Baroni, C.A. Carollo, D.P. Demarque, L.F. Pardo, L.M. de Rezende, J.M. de Siqueira, Synthesis, phytotoxic evaluation and in silico studies for the development of novel natural products-inspired herbicides. *Biocatal Agric Biotechnol.*, 24(2020), 101559.
- R. Vázquez-Blanco, C. González-Feijoo, C. Campillo-Cora, D. Fernández-Calviño, D. Arenas-Lago, Risk assessment and limiting soil factors for vine production—Cu and Zn contents in vineyard soils in Galicia (rías baixas DO). *Agron.* 13(2023), 309.
- U. Okereafor, M. Makhatha, M. Mekuto, N. Uche-Okereafor, T. Sebola, V. Mavumengwana, Toxic metal implications on agricultural soils, plants, animals, aquatic life and human health. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 17(2020), 2204.
- N. Batool, J.I. Qazi, N. Aziz, A. Hussain, S.Z.H. Shah, Bio-methane production potential assays of organic waste by anaerobic digestion and co-digestion. *Pak. J. Zool.* 52 (2020), 971.
- G. Kaur, N. Basak, S. Kumar, State-of-the-art techniques to enhance biomethane/biogas production in thermophilic anaerobic digestion. *Process Saf. Environ. Prot.* (2024)
- N.H.M. Sabiani, H.A. Tajarudin, H. A. Biogas harvesting from anaerobically digested food waste: a review. *Appl. ecol. environ. res.*, 19(2021).



## İklim Değişikliği ile Birlikte Toprak Karbon Döngüsü

Ali Yetgin  
Toros Tarım ARGE Merkezi, Mersin, Türkiye  
Ar-Ge Uzmanı

### Özet

İklim değişikliği son on yılda giderek artan kuraklık, sel ve sıcak hava dalgaları meydana getirmiştir. Toprak karbon döngüsünün, bitki kökleri, toprak ve mikroorganizmalar arasındaki karmaşık etkileşimlerin anlaşılması önem arz etmektedir. İlk olarak iklim değişikliğinin genel etkilerini inceleyerek, atmosferik koşulların toprak sıcaklığı, nem ve karbona olan etkilerini ele aldık. Ardından, rizosferin önemi vurgulanarak, bitki köklerinin toprak karbon dinamikleri üzerindeki etkileri, mikroorganizmaların rizosferdeki rolü ve bitki-kök mikrobiyota etkileşimleri incelenmiştir. Stresli ortamların toprak karbon döngüsü üzerindeki etkileri, bitki rizosferinin toprak karbon dinamiklerine olan etkisi ve rizosfer etkileşimlerinin potansiyel mekanizmaları ele alınmıştır. Bu çalışma, toprak karbon döngüsü ile iklim değişikliği arasındaki karmaşık ilişkiyi anlamak ve gelecekteki araştırmalara rehberlik etmeyi amaçlamaktadır.

### Giriş

İklim değişikliği, dünya genelinde giderek artan endişe kaynağı haline gelmiştir. Atmosferdeki sera gazlarının artması nedeniyle ortaya çıkan bu değişiklikler, pek çok ekosistem üzerinde derin etkiler bırakmaktadır. Yükselen ortalama sıcaklıklar, iklim desenlerindeki değişimler, ekstrem hava olayları ve deniz seviyesindeki artışlar, iklim değişikliğinin temel belirtileridir. İklim değişikliğinin en belirgin belirtilerinden biri, dünya genelindeki sıcaklık artışlarıdır. Bilim insanları, son yıllarda gözlemlenen ısınmanın, sanayileşme öncesi döneme kıyasla hızlı şekilde gerçekleştiğini belirtmektedir. Ortalama küresel sıcaklık, sanayi öncesi döneme kıyasla yaklaşık 1 °C arttı ve küresel ortalama sıcaklıktaki artışın 2030 ile 2052 yılları arasında 1,5 °C'ye ulaşacağını öngörmektedir [1]. Bu sıcaklık artışları, kuraklık ve sıcak hava dalgaları gibi aşırı hava olaylarına yol açarak tarım, su kaynakları ve biyolojik çeşitlilik üzerinde olumsuz etkiler yaratmaktadır.

İklim değişikliği, daha sık ve şiddetli hale gelen ekstrem hava olaylarına neden olmaktadır [2]. Sıklaşan sel, kasırga,

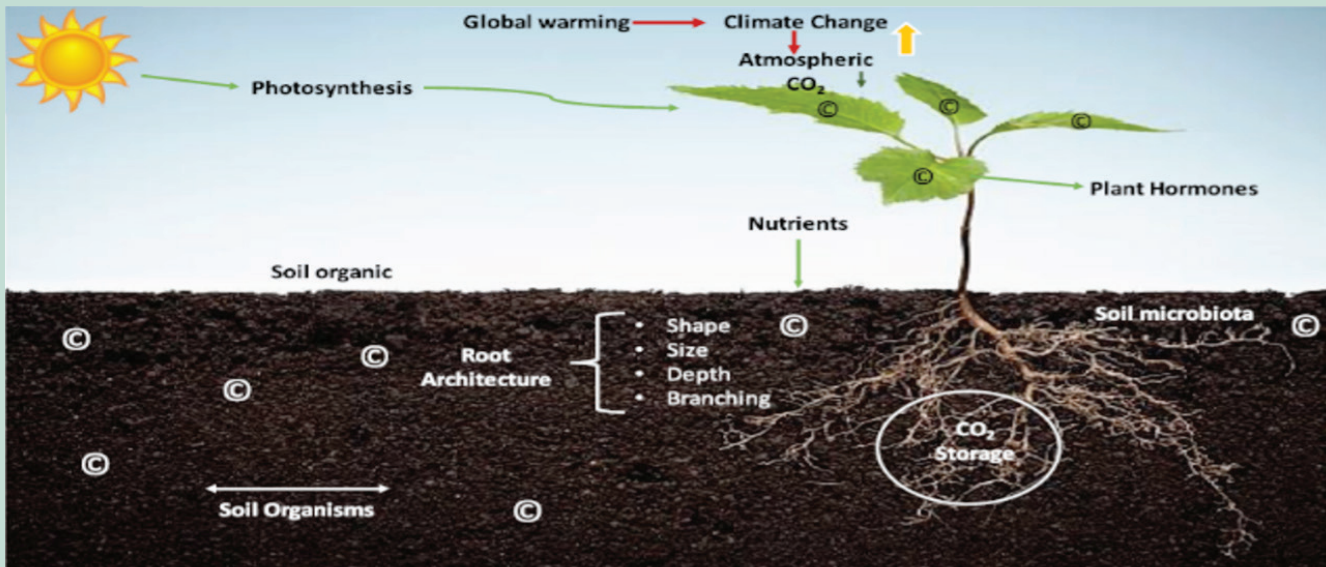
orman yangınları ve şiddetli fırtınalar, topluluklar üzerinde ciddi zararlara yol açmaktadır. Bu olaylar, evsiz bırakılan insanlar, tarım arazilerinde verim kayıpları ve ekonomik kayıplar gibi bir dizi sorunu beraberinde getirirken, aynı zamanda iklim değişikliğinin acil bir küresel mesele olduğunu vurgulamaktadır. İklim değişikliğinin diğer önemli etkisi, deniz seviyesindeki yükselmedir. Küresel ısınma, kutuplardaki buzulların ve buz tabakalarının erimesine yol açarak okyanuslardaki su seviyelerini artırmaktadır [3]. Bu durum, kıyı bölgelerindeki sulanma içeriye doğru ilerlemesine ve deniz suyunun tuzluluk oranlarının değişmesine neden olmaktadır.

Toprak karbon döngüsü, ekosistemlerin ve iklimin sağlıklı şekilde sürdürülebilmesi için kritik öneme sahiptir. Topraktaki karbon, bitki kalıntıları, mikroorganizmalar ve organik madde gibi kaynaklardan gelir ve doğrudan toprak sağlığına, bitki büyümesine ve biyolojik çeşitliliğe etki eder. Aynı zamanda, topraktaki karbon miktarı, atmosferdeki karbon dioksit seviyelerini düzenleyerek iklim değişikliğinin etkilerini hafifletmeye yardımcı olur [4]. Toprak karbon döngüsü, karbonun organik formda depolanması, mineral formda serbest bırakılması ve çeşitli biyokimyasal süreçler aracılığıyla dengelenmesiyle karakterizedir. Tarım uygulamaları da dahil olmak üzere toprağın yönetimi, karbon tutma potansiyeli üzerinde doğrudan etkiye sahiptir. Doğru yönetim, toprağın karbonu tutma ve iklim değişikliğini azaltma yeteneğini geliştirebilir [5]. Bu döngü, sadece toprak verimliliğini artırmakla kalmaz, aynı zamanda karbonun uzun vadeli depolanmasına da katkıda bulunarak iklim değişikliğiyle mücadelede önemli bir stratejidir. Ekim alanlarının ormanlara ve otlaklara dönüştürülmesi gibi arazi kullanımı değişiklikleri toprağın karbon depolamasını artırabilir ve karbon tutumuna katkıda bulunabilir [6]. Bu nedenle, toprak karbon döngüsünün anlaşılması ve sürdürülebilir şekilde yönetilmesi hem ekosistem sağlığını koruma hem de iklim değişikliği ile mücadelede etkili rol oynaması açısından kritiktir.

İklim değişikliği, dünya genelinde meydana gelen

atmosferik değişikliklerin sonucu olarak toprak karbon döngüsü üzerinde önemli etkilere neden olmaktadır. Yükselen ortalama sıcaklıklar, ekstrem hava olayları ve yağış desenlerindeki değişimler, toprak karbon döngüsünü derinden etkileyerek ekosistemlerin karbon dengesini bozmaktadır. Artan sıcaklık, mikrobiyal aktiviteyi artırarak organik madde ayrışmasını hızlandırabilir ve bu da topraktaki karbonun daha hızlı şekilde atmosfere salınmasına neden olur [7, 8]. Aynı zamanda, kuraklık ve sel gibi aşırı hava olayları, toprak erozyonunu artırarak organik madde kaybını tetikleyebilir. Bu değişimler, bitki örtüsü, toprak mikroorganizmaları ve besin döngüsü üzerinde olumsuz etkiler bırakabilir. Bu bağlamda, iklim değişikliğinin toprak karbon döngüsü üzerindeki etkilerini anlamak, sürdürülebilir toprak yönetimi stratejileri geliştirmek ve karbon depolama potansiyelini artırmak açısından hayati öneme sahiptir.

### İklim Değişikliği ve Toprak Karbon Döngüsü İlişkisi



Şekil 1. Bitki, toprak ve mikroorganizma ile karbon tutumu (5)

İklim değişikliği, dünya genelinde toprak sıcaklığı ve nem rejimlerinde belirgin değişikliklere neden olmaktadır, bu da ekosistemlerin ve toprak karbon döngüsünün üzerinde önemli etkiler bırakmaktadır. Yükselen ortalama sıcaklıklar, topraklardaki mikrobiyal aktiviteyi artırarak organik madde mineralizasyonunu hızlandırabilir. Bu durum, toprakta depolanan organik karbonun daha hızlı şekilde atmosfere salınmasına yol açabilir. Ayrıca, iklim değişikliği sıcak hava dalgalarını ve kuraklık olaylarını artırarak toprak nem içeriğini azaltır. Azalan nem, bitki büyümesini sınırlayabilir ve bitki kalıntılarının toprakta birikmesini zorlaştırır [9]. Bu durum, toprak karbon döngüsündeki dengeyi etkileyerek toprak organik madde içeriğinde azalmalara neden olabilir. Dolayısıyla, iklim değişikliğinin toprak sıcaklığı ve nem ile olan kompleks ilişkisi, toprak karbon döngüsünün anlaşılması açısından kritik öneme sahiptir ve bu etkileşimleri anlamak, sürdürülebilir toprak yönetimi stratejileri geliştirmek ve karbon depolama potansiyelini

artırmak adına önemli bir adımdır.

Atmosferik koşullar, toprak karbon döngüsü üzerinde belirleyici etkiye sahiptir. Özellikle, atmosferdeki karbon dioksit (CO<sub>2</sub>) seviyelerinin artışı, fotosentez yoluyla bitkilerin atmosferden karbon absorbe etmesine ve organik karbon oluşturmaya olanak tanır. Ancak, aynı zamanda bu artış, bitki ve toprak mikroorganizmaları arasındaki etkileşimleri de etkileyerek toprak karbon döngüsünde değişikliklere neden olur. Yüksek CO<sub>2</sub> seviyeleri, bitkilerin daha fazla organik madde üretmesine yol açar, ancak bu artan organik madde miktarı, topraktaki mikroorganizmaların aktivitesini artırarak organik karbonun mineral formda serbest bırakılmasına katkıda bulunmaktadır [10]. Toprağa organik karbon salan bitkiler, "hazırlık etkisi" olarak bilinen mikrobiyal toprak organik madde ayrışmasını artırmaktadır. Yüksek CO<sub>2</sub>, mikrobiyal aktiviteyi teşvik edebilir, suda çözünebilir kararsız organik maddenin dönüşümünü ve topraktaki organik maddenin

üst toprakta çözünmesini artırarak potansiyel olarak toprağın karbon birikimini ve stabilitesini etkilemektedir [11].

İklim değişikliği, dünya genelinde ekstrem hava olaylarının frekansını ve şiddetini artırmakta, bu da toprak karbon döngüsü üzerinde önemli etkilere neden olmaktadır. Artan sıcaklık, sıklıkla meydana gelen kuraklık olaylarını tetikleyerek toprak nem içeriğini azaltabilir. Bu durum, bitki örtüsünün zayıflamasına ve bitki kalıntılarının azalmasına yol açarak toprak karbonunun birikimini zorlaştırmaktadır. Aynı zamanda, artan sıcaklık ve yoğun yağışlar, sel olaylarını şiddetlendirir ve toprak erozyonunu artırır, bu da toprak organik maddesinin kaybına neden olmaktadır [12]. Uzun süreli kuraklık dönemlerinin ve aşırı yağış olaylarının artmasının toprağın su iticiliğini artırması ve potansiyel olarak toprak erozyonunu şiddetlendirmesine neden olur [13]. Ekstrem sıcak hava dalgaları ise bitki köklerini olumsuz etkileyerek toprak karbon döngüsü üzerinde dolaylı etkilere yol açmaktadır. Bu bağlamda, iklim değişikliğinin

ekstrem hava olayları üzerindeki rolünün anlaşılması, toprak karbon döngüsündeki değişimleri öngörmek ve bu değişimlere uyum sağlamak adına önemlidir [14]. Ayrıca, sürdürülebilir toprak yönetimi stratejileri geliştirmek ve toprak karbonunun uzun vadeli depolanmasını sağlamak için bu etkileşimlerin derinlemesine incelenmesi gerekmektedir.

### Rizosfer Etkileşimleri ve Toprak Karbon Döngüsü

Rizosfer, bitki kökünün etrafındaki toprak bölgesini kapsayan ve bitki kökleri ile toprak arasındaki önemli etkileşimleri içeren ekosistemdir. Bu bölge, bitki köklerinin salgıladığı organik bileşenler ve köklerle etkileşime giren mikroorganizmalar tarafından karakterizedir. Rizosfer, bitki sağlığı, besin alımı ve toprak verimliliği açısından kritik rol oynar. Bitki kökleri tarafından salgılanan özler, mikroorganizmaların aktivitesini artırarak toprakta besin mobilizasyonunu teşvik eder. Aynı zamanda, bu mikrobiyal aktivite, toprak karbon döngüsü üzerinde etkili olur, çünkü organik karbonun mineralizasyonu ve stabilizasyonunda rol oynar. Rizosfer etkileşimleri, bitki-kök mikrobiyotada arasındaki bu karşılıklı ilişkileri içerir ve bitki büyümesi, toprak yapısı ve biyolojik çeşitliliğin korunması gibi kritik ekosistem hizmetlerine katkıda bulunur [15]. Geleneksel tarımsal yaklaşımlar ve tarım kimyasallarının bilinçsiz kullanımı, rizosferik mikroorganizmaları olumsuz yönde etkileyebilir, ancak genetik modifikasyon ve hedefe yönelik mikrobiyal mühendislik stratejileri, bu etkilerin hafifletilmesine yardımcı olur [16]. Dolayısıyla, rizosferin anlaşılması, sürdürülebilir tarım uygulamalarının geliştirilmesi, bitki sağlığının korunması ve toprak karbon döngüsünün yönetilmesi açısından önemli bir konudur.

Bitki kökleri, toprak karbon dinamikleri üzerinde önemli etkiye sahiptir. Kökler, organik karbonun toprak içindeki seviyelerini etkileyerek toprak karbon döngüsünü düzenler. Kök yapıları, kök-toprak etkileşimleri ve organik madde parçalanması yoluyla toprağın karbon depolamasını etkiler [5]. Bitkilerde sabitlenmiş karbon, sabitlendikten birkaç gün sonra toprağa hareket eder ve birkaç yıl boyunca yer altında kalarak toprağın karbon depolamasını etkiler [17]. Kökler tarafından salgılanan organik bileşenler, mikroorganizmaların aktivitesini artırarak toprakta besin çözünürlüğünü ve mineralizasyonu teşvik eder. Bu süreç, toprakta depolanan organik karbonun mikroorganizmalar aracılığıyla ayrıştırılmasına ve karbonun atmosfere serbest bırakılmasına katkıda bulunur. Aynı zamanda, bitki kökleri, toprak agregalarının oluşumunu artırarak organik madde stabilizasyonuna yardımcı olur [18]. Bu durum, toprak karbonunun daha uzun süre boyunca depolanmasını sağlar. Bununla birlikte, bitki köklerinin etkisi bitki türüne, toprak özelliklerine ve iklim koşullarına bağlı olarak değişmektedir.

Rizosfer mikroorganizmaları bitki kökleri tarafından salgılanan organik bileşenler, kök döküntüleri ve ölü hücrelerle beslenirler. Rizosfer mikroorganizmalarının

faaliyetleri, bitki kökleriyle karşılıklı etkileşim içerisinde olup, bitki büyümesini ve toprak verimliliğini artırmaktadır. Ayrıca, bu mikroorganizmalar, organik karbonun mineralizasyonunu hızlandırarak toprak karbon döngüsüne önemli katkıda bulunur. Rizosfer mikrobiyotası, bitkilerin hastalıklara karşı direncini artırabilir ve toprakta besin elementlerinin daha etkili şekilde çözülmesine katkı sağlar. Faydalı rizosfer mikroorganizmaları, abiyotik stres toleransı ve fitopatojenlere karşı düşmanlık yoluyla bitki büyümesini destekler [19]. Rizosfer mikroorganizmaları, toprağın doğal özelliği olan toprağın baskılanmasını geliştirerek toprak kaynaklı hastalıkların baskılanmasında önemli rol oynar [20]. Bu kompleks etkileşimler, bitki kökleri ve rizosfer mikroorganizmaları arasındaki karşılıklı bağın, toprak sağlığı ve ekosistem fonksiyonları üzerindeki etkilerini anlamak adına önemlidir. Bu nedenle, mikroorganizmaların rizosferdeki rolünün derinlemesine incelenmesi, sürdürülebilir tarım uygulamalarının geliştirilmesi ve toprak verimliliğinin artırılması için kritik bir adımdır.

### Sonuç

İklim değişikliğinin yol açtığı sıcaklık artışları ve ekstrem hava olayları karasal ekosistemler üzerinde derin etkiler bırakmaktadır. Bu etkilerin sonucu olarak, toprak karbon döngüsü üzerindeki rizosfer etkileşimleri, karbon oluşumu, stabilizasyonu ve mineralizasyonu üzerinde önemli rol oynamaktadır. Stres altındaki ortamların toprak karbon dengesi üzerindeki etkilerinin anlaşılması, gelecekteki iklim senaryolarının daha doğru şekilde tahmin edilmesine katkıda bulunacaktır. İklim değişikliği ve toprak karbon döngüsü arasındaki bu karşık etkileşimlerin anlaşılması, sürdürülebilir toprak yönetimi ve iklim değişikliği ile mücadelede etkili stratejiler geliştirmek için önemlidir. Gelecekteki araştırmalar, bu alandaki bilgiyi genişletmeye ve karasal ekosistemlerin karbon döngüsü üzerindeki karmaşıklığını daha iyi anlamaya yönelik daha fazla ışık tutmaya devam etmelidir.

### Kaynaklar:

- Nezafat, Z., Nasrollahzadeh, M., Javanshir, S., Baran, T., & Dong, Y. (2023). Recent developments in polysaccharide and lignin-based (nano) materials for CO<sub>2</sub> capture. *Green Chemistry*, 25 (23), 9603-9643.
- Robinson, W. A. (2021). Climate change and extreme weather: A review focusing on the continental United States. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 71(10), 1186-1209.
- Leuliette, E. W., & Nerem, R. S. (2016). Contributions of Greenland and Antarctica to global and regional sea level change. *Oceanography*, 29(4), 154-159.
- Naorem, A. (2022). Carbon Sequestration: A Climate Change Solution Under Your Feet. *Resonance*, 27(7), 1237-1245.
- Srivastava, R. K., & Yetgin, A. (2024). An overall review on influence of root architecture on soil carbon sequestration potential. *Theoretical and Experimental Plant Physiology*, 1-14.
- Sadatshojaei, E., Wood, D. A., & Rahimpour, M. R. (2021). Potential and challenges of carbon sequestration in soils. *Applied Soil Chemistry*, 1-21.
- Auffret, M. D., Karhu, K., Khachane, A., Dungait, J. A., Fraser, F., Hopkins, D. W., ... & Prosser, J. I. (2016). The role of microbial community composition in controlling soil respiration responses to temperature. *PLoS One*, 11(10), e0165448.
- Marañón-Jiménez, S., Soong, J. L., Leblans, N. I., Sigurdsson, B. D., Penuelas, J., Richter, A., ... & Janssens, I. A. (2018). Geothermally warmed soils reveal persistent increases in the respiratory costs of soil microbes contributing to substantial C losses. *Biogeochemistry*, 138, 245-260.

9. Tietjen, B., Schlaepfer, D. R., Bradford, J. B., Lauenroth, W. K., Hall, S. A., Duniway, M. C., ... & Wilson, S. D. (2017). Climate change-induced vegetation shifts lead to more ecological droughts despite projected rainfall increases in many global temperate drylands. *Global change biology*, 23(7), 2743-2754.
10. Wild, B., Alaei, S., Bengtson, P., Bodé, S., Boeckx, P., Schnecker, J., ... & Rütting, T. (2017). Short-term carbon input increases microbial nitrogen demand, but not microbial nitrogen mining, in a set of boreal forest soils. *Biogeochemistry*, 136, 261-278.
11. Fang, H., Cheng, S., Lin, E., Yu, G., Niu, S., Wang, Y., ... & Wang, L. (2015). Elevated atmospheric carbon dioxide concentration stimulates soil microbial activity and impacts water-extractable organic carbon in an agricultural soil. *Biogeochemistry*, 122, 253-267.
12. Yadav, R., Kumar, J., & Ram, K. (2022). Climate Change: Current Scenario and Its Implications on Soil Health and Mitigation. In *Plant Stress Mitigators: Action and Application* (pp. 173-186). Singapore: Springer Nature Singapore.
13. Schwen, A., Zimmermann, M., Leitner, S., & Woche, S. K. (2015). Soil water repellency and its impact on hydraulic characteristics in a beech forest under simulated climate change. *Vadose Zone Journal*, 14(12), 1-11.
14. Piao, S., Zhang, X., Chen, A., Liu, Q., Lian, X., Wang, X., ... & Wu, X. (2019). The impacts of climate extremes on the terrestrial carbon cycle: A review. *Science China Earth Sciences*, 62, 1551-1563.
15. Handakumbura, P. P., Rivas Ubach, A., & Battu, A. K. (2021). Visualizing the hidden half: Plant-microbe interactions in the rhizosphere. *Msystems*, 6(5), 10-1128.
16. Gupta, H., Ganotra, J., Pathania, N., Patel, T. B., Choudhary, N., Rani, R., ... & Kumar, D. (2023). Unearthing the Modern Trends and Concepts of Rhizosphere Microbiome in Relation to Plant Productivity. *Plant Microbiome for Plant Productivity and Sustainable Agriculture*, 19-54.
17. Fossum, C., Estera-Molina, K. Y., Yuan, M., Herman, D. J., Chu-Jacoby, I., Nico, P. S., ... & Firestone, M. K. (2022). Belowground allocation and dynamics of recently fixed plant carbon in a California annual grassland. *Soil Biology and Biochemistry*, 165, 108519.
18. Li, J., Yuan, X., Ge, L., Li, Q., Li, Z., Wang, L., & Liu, Y. (2020). Rhizosphere effects promote soil aggregate stability and associated organic carbon sequestration in rocky areas of desertification. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 304, 107126.
19. Devi, N. O., Debbarma, M., Hajong, M., Satyanarayana, M. S. V., Thokchom, S., & Majumder, D. (2023). Rhizosphere Microbiome: Interactions with Plant and Influence in Triggering Plant Disease Resistance. In *Detection, Diagnosis and Management of Soil-borne Phytopathogens* (pp. 329-369). Singapore: Springer Nature Singapore.
20. Das, K. A., Chosdon, T., Nawale, R., Koder, S. B., Bhosale, R. K., Rana, M., & Srivastava, S. (2021). Role of Rhizospheric Microbiome against Soil-Borne Pathogens. *Biopesticides International*, 17(1).