

TEKNOFEST

HAVACILIK, UZAY VE TEKNOLOJİ FESTİVALİ

ÇEVRE VE ENERJİ TEKNOLOJİLERİ YARIŞMASI

PROJE DETAY RAPORU

TAKIM ADI: SCEVTEK

PROJE ADI: Sıfır Atık Kapsamında Algler Kullanılarak Yararlı Ürün Geri Kazanımı, Elektrik Enerjisi ve Biyoplastik Üretimi ve Üretilen Biyoplastiğin Nükleer Zırhlamada Kullanımı

BAŞVURU ID: 432859

TEKNOFEST
HAVACILIK, UZAY VE TEKNOLOJİ FESTİVALİ

İçindekiler

1. Proje Özeti (Proje Tanımı)	3
2. Problem/Sorun	3
3. Çözüm	4
4. Yöntem	5
4.1. Alg üretimi	6
4.2. Elektrik Enerjisi Üretimi ve Yararlı Ürün Geri Kazanımı	6
4.3. Kalıntı Biyokütleden Biyoplastik Oluşturulması	7
4.4. Üretilen Biyoplastik Malzemenin Nükleer Zırhlamada Kullanılabilirliğinin Araştırılması	7
4.4.1. Gama Zırh Performansı	8
4.4.2. Nötron Zırh Performansı	8
5. Yenilikçi (İnovatif) Yönü	9
6. Uygulanabilirlik	9
7. Tahmini Maliyet ve Proje Zaman Planlaması	10
8. Proje Fikrinin Hedef Kitle (Kullanıcılar)	11
9. Riskler	11
10. Kaynakça	12



1. Proje Özeti (Proje Tanımı)

Bu proje ile çevresel sürdürülebilirlik ve fosil yakıtlara olan bağımlılığın azaltılması amaçlanmıştır. Projemiz kapsamında, karbondioksit ve organik karbon (biyogaz tesisinden çıkan ve yüksek nütrient içeriğine sahip atık akımı) kullanılarak yetiştirilecek algden elde edilecek biyokütle, sıfır atık kapsamında biyoürünlere dönüştürülecektir. Bu çalışma için öncelikle, iki basamaklı alg büyütme sistemi tasarlanmıştır ve ilk basamakta alg biyokütle yoğunluğu artırılacaktır. İkinci basamakta ise elektrik enerjisi üretilecektir ve sonrasında alg biyokütlesi hasat edilerek katma değeri yüksek ve ticari olarak potansiyele sahip karotenoid pigmentleri ve fikobilin proteinleri ürünlerinin geri kazanımları gerçekleştirilecektir.

Plastikler ve yan ürünleri uzun zamandır dünyamızı kirletmekte ve başta insanlar olmak üzere canlılarda sağlık sorunlarına yol açmaktadır. Bu polimerler, hidrofobik oldukları ve mikroorganizmaların etkisine girmedikleri için ayrışmaları uzun seneler boyunca sürer. Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerdeki ekonomik büyüme ve nüfus artışları nedeniyle bu sorunlar günden güne artmaktadır. Bu nedenle, pratiklik ile ekonomi konularını birleştirerek, atılan plastik miktarını azaltmak ve biyolojik olarak parçalanabilen plastikler oluşturmak önemlidir. Bu proje kapsamında petrol bazlı hammaddeler kullanılarak üretilen plastiklere alternatif olarak, ekstraksiyon sonrası kalan alg kalıntı biyokütlesinden çevre dostu biyobozunur biyoplastik üretilecektir. Ayrıca, üretilen biyoplastiğin, gama ve nötron radyasyonu için zırhlama uygulamalarında kullanılabilirliğinin deneysel ve Monte Carlo simülasyon teknikleri kullanılarak araştırılması hedeflenmiştir. Hammadde kaynağı olarak birden fazla ürün üretiminde algin kullanılması sürdürülebilir yaşam için önemli bir adım olacaktır.

2. Problem/Sorun

i) Artan sanayileşme ve kentleşme, dünyamızda çevre kirliliğinde belirgin bir artışa sebep olmaktadır ve artan çevre sorunları, sürdürülebilir kalkınma hedeflerini yerine getirmek için atık azaltıcı çözümlerin ihtiyacını ortaya koymaktadır. Günümüzde enerji ihtiyacı büyük oranda fosil yakıtlardan sağlanmaktadır. Fosil yakıtların kullanılmasının sebep olduğu sera gazı salınımı ve fosil yakıtların tükenebilecek bir kaynak olması sebebiyle hem iklim değişikliğinin önüne geçilmesini sağlayacak hem de sürekli bir kaynak olarak kullanılacak enerji kaynaklarına ihtiyaç vardır. Ayrıca, entegre yaklaşımlar içeren yeni teknolojilerin geliştirilmesine de ihtiyaç duyulmaktadır.

ii) Biyogaz tesisindeki yüksek nütrient içeriğine sahip anaerobik çürütücü çıkışının doğaya salınması çevre sağlığı için tehlikelidir. Çürütücü çıkışı halk sağlığı için risk bulunduran patojenler içerebilir. Patojenlerin arıtılması için klorin, UV-ışığı, ozon veya yüksek ısı ve basınç arıtımı kullanılabilir [2]. Biyogaz tesislerinin atık akımı bunun yanında ağır metaller ve yüksek yoğunluklu organik madde içerir. Bu atıklar toprağa ve yer altı sularına karışıp ortaya koku çıkarabilir ve yer altı sularının kirlenmesine yol açarlar [3]. Atıklardaki yüksek seviyedeki azot ve fosforun giderilmemesi yüzey sularında ötrofikasyona yol açabilir. Biyolojik arıtma ile atıktaki karbon, azot ve fosfor seviyeleri azaltılabilir [2, 3]. Kimyasal arıtma ile de ağır metallerin giderimi sağlanabilir. Ancak, yüksek nütrient içeriğine sahip atık akımlarının doğaya olabilecek olumsuz etkilerini azaltmak için yenilikçi ve hibrit arıtma sistemlerine ihtiyaç vardır.

iii) Radyasyon kaynağı ile bu kaynağın sebep olduğu dozdan etkilenme olasılığı olan kişiler arasına kurşun, tuğla, beton, duvar gibi malzeme konulmasına zırhlama denilmektedir. Ayrıca, nükleer teknolojide, radyasyon reaksiyonlarından olan alfa, beta ve gama ışınları sırasıyla kağıt, alüminyum ve kurşun ile zırhlana bilmektedir [4]. Radyasyon dozunu azaltan malzemeye de zırhlama malzemesi denir [3]. Zırhlama malzemelerinin yoğunluğu ne kadar fazla ise X ve gama

ışınlarını zırlama özelliği o kadar artar [3]. Gama ışını ışınlamaları; kütlesi ve yükü olmadığı için manyetik alandan etkilenmezler. Bunlar, yavaşlarken canlı hücrelere zarar verebilen ve enerjisini de kendisini çevreleyen hücrelere aktaran enerjik bir iyonlaştırıcı radyasyonlardır [5]. Radyasyondan koruyucu malzeme olarak çoğunlukla kurşun ve beton kullanılmaktadır fakat kurşun toksisitesinin insan vücudu üzerindeki etkilerinin yıkıcı olduğunu bilinmektedir [5]. Bu nedenle, insanı ve çevreyi radyasyonun yıkıcı etkisinden korumak için sürdürülebilir bir radyasyon koruyucu malzeme bulmaya acil bir ihtiyaç vardır. O yüzden yeni kurşunsuz koruyucu malzemeler geliştirilmesi elzemdir.

iv) Tüm radyasyon tesislerinde günlük uygulamalar için güvenli bir ortam sağlamak amacıyla radyasyon koruyucu bariyerler olarak birçok malzeme türü kullanılmaktadır. Bunlar arasında; baryum (Ba), kurşun (Pb) ve bizmut (Bi) gibi gama radyasyon kalkanları için yüksek atom numarası (yüksek Z) dahil olmak üzere birçok özellik, kullanılacak uygun koruyucu malzemeyi kategorize edebilir [3]. Bununla birlikte, maliyet, ağırlık ve toksisite gibi sorunlarla karşılaşmaktadır.

v) Dünyada yıllık 200 milyon ton plastik üretimi olduğu bilinmektedir ve her yıl %5 civarında plastik üretimi artmaktadır. Petrokimya esaslı sentetik plastiklerden olan PVC (polivinil klorür), PET (polietilen tereftalat), PP (polipropilen), PS (polistiren) vb diğer ısıya karşı dayanıklı düşük maliyet ve bulunabilirlikleri için ambalaj malzemesi olarak kullanılmaktadır fakat plastik ambalajların çoğu doğada biyolojik olarak parçalanamaz [4]. Artan çevresel kaygı ile beraber biyolojik olarak parçalanmayan geleneksel sentetik malzemelerin geri dönüşümü elzem bir duruma gelmiştir.

vi) Gama ışınlarından korunmak için petrol kökenli PVC gibi plastikler araştırılmaktadır [6]. Fakat, çevre-dostu olmayan bu plastikler yerine alternatif biyolojik olarak parçalanabilecek özellikte plastik kullanılması gerekmektedir.

vii) Alg türevli biyoyakıtın ve aslında mikroalg bazlı biyoürünlerin ticarileştirilmesinin önündeki en büyük engeller, temel olarak, büyük hacimli ekim, hasat ve işleme için yüksek maliyetlerdir.

3. Çözüm

Alg biyokütlesi, atık kaynaklarının endüstriyel ya da ticari ürüne dönüştürülmesinde uygun bir hammaddedir ve çok sayıda endüstriyel biyoürün üretmek için karbondioksit gazı ve atık su kaynaklı besin maddelerini değerlendirme imkânı sunmaktadır [1]. Çevreden karbondioksit fiksasyonu ve atık sudan besinlerin uzaklaştırılmasına dayalı entegre yaklaşımlar, çevre dostu bir şekilde alg biyokütle üretimi sağlayacaktır. Çünkü bu proje, sıfır atık ilkesini benimseyerek sera gazı (GHG) emisyonları ve genel ekolojik ayak izi gibi çevresel etkileri en aza indirirken verimliliği, karlılığı ve faydaları maksimize etmektedir. Bu çalışmada sıfır atık yaklaşımı için entegre sistemler üzerinde gerçek zamanlı denemeler yapabilmek amacıyla alg biyofineri anlayışı kullanılarak nütrient değeri yüksek atık/atık su ile entegre edilen sistem ile çoklu ürün eldesi planlanmıştır. Başka bir deyişle bu çalışma, yüksek değerli ürünlerle beraber biyoenerji üretimini bütünleştirir. Haliyle, biyokütle kullanımını ve malzeme geri kazanımını en üst düzeye çıkararak atık malzeme ve emisyonları da en aza indirmeye yardımcı olur.

Söz konusu olan bu biyofineride, pazarda sürdürülebilir bir ikame olarak talebi karşılayan geniş bir biyobazlı ürünler yelpazesine dönüşüm esastır. Yüksek değerli ürünlerin ürün gamına entegre edilmesi, pazar değerini artırarak geçerli bir ikame olabilir ve biyobazlı olmayan ürünlerin fiyatları ile rekabet edebilme şansını artırmaktadır.

Alg destekli mikrobiyal yakıt hücresi elektrik enerjisi üretilirken aynı zamanda atmosferdeki CO₂ gazı kullanıldığı ve çevreye tahliyesi zararlı atık suların arıtımı yapılabildiği için gelecek vadede bir enerji kaynağı olarak değerlendirilmektedir ve bu proje kapsamında kullanılacaktır [7].

Mikrobiyal yakıt hücreleri bir çeşit elektrik devresidir. Devrenin anot hücresindeki biyofilmde yaşayan bakteriler atık sudaki organik karbonu kendi metabolizmalarında O_2 ile indirgeyince hücre dışına elektron, H^+ iyonu ve CO_2 molekülü salarlar [8, 9]. Hücre dışına salınan elektronlar devre aracılığıyla katot hücresine taşınır. “Proton exchange membran filtre” sayesinde katot hücresine geçen H^+ , O^{2-} ve CO_2 algler tarafından fotosentezde kullanılarak ortaya H_2O ve O_2 çıkar. Katot hücresine taşınan elektronlar devrede bir yük farkı oluşturduğu için ortaya elektrik akımı çıkar. Katot hücresinde oluşan alg biyokütlesi ile biyoyakıt ve biyoplastik üretilebilir. Sistemdeki elektrik üretimini etkileyen faktörler CO_2 transfer oranı, katot biyoofilminin kalınlığı ve oksijen difüzyon hızıdır [8, 9]. Işığın verimli kullanımı için foto sentetik mikrobiyal yakıt hücrelerinde yeterli bir elektrot alanının kullanımı ve uygun elektro seçimi önemlidir [10]. Alg bazlı mikrobiyal yakıt hücreleri atık su arıtımında havalandırma masraflarından tasarruf edilerek karbon yakalanması amacıyla tercih edilmiştir.

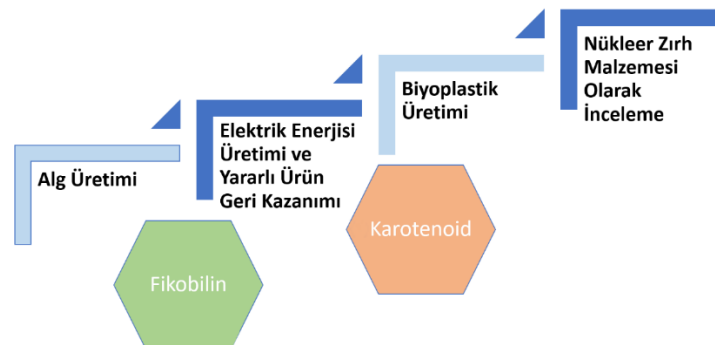
Bu projede alglerin biyolojik arıtma sonucu ortaya çıkan CO_2 'yi fotosentezde kullanacak ve yüksek nütrient içeriğine sahip atığın artırımının dışarıya CO_2 salınımının kısıtlanması sonucu karbon salınımını dengeleyen bir proses oluşturacaktır. Alglerin mikrobiyal yakıt hücresinde kullanılması ile karbon nötr bir enerji eldesi sonucunda alg biyokütlesinin biyoenerji ve biyoplastik üretiminde kullanılabilmesidir [8].

Biyolojik olarak parçalanabilir biyoplastik formülasyonunda kullanılan en yaygın polimerler, tek başına veya kombine olarak kullanılan proteinler (jelatin, kazein, buğday gluteni ve zein), polisakaritler (nişasta ve kitosan) ve lipidlerdir (mumlar). Bu biyopolimerler, yüksek oranda biyolojik olarak parçalanabilir ve kolayca inorganik CO_2 'ye ve suya ayrışır. Algler bu tip polimerleri içermesi nedeniyle projede biyoplastik üretiminde kullanılacaktır [28].

Bu proje ile, alg yetiştiriciliği, sürdürülebilirlik ve sıfır atık kavramları çerçevesinde ticari olarak daha uygulanabilir hale gelecektir. Bu esnada alg biyokütlesinden yüksek değerli ürünler örneğin, besin takviyesinde, fonksiyonel gıdalarda, kozmetikte, farmasötikte ve çeşitli sağlık yararları olan katma değerli biyotürünler (karbonhidratlar, uzun zincirli yağ asitleri, pigmentler ve proteinler) elde edilebilecektir [1]. Bu durum sadece çevresel faydalarla daha sürdürülebilir bir alg üretimine katkıda bulunmakla kalmaz, aynı zamanda tüm süreçte maliyet tasarrufu da sağlayacak ve projenin temelini oluşturan bu yaklaşım sayesinde algler, geniş bir ürün ve endüstri yelpazesinde tam olarak uygulanabilecek ve biyoekonomiye fayda sağlayacaktır. Nişasta ile gerçekleştirilen Pin vd. [4] çalışmasında olduğu gibi gama ışını (γ -ışını) etkisi altında koruyucu özellik gösteren biyoplastiklerin üretilmesi radyasyondan korunmak için yenilikçi yaklaşımlardandır ve bu çalışma ile de yenilikçi malzeme üretimi planlanmıştır.

4. Yöntem

Bu projede kullanılacak yöntemler alt başlıklar ile açıklanmıştır ve akış diyagramı olarak Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1: Proje yöntemine ait akış diyagramı.

4.1. Alg üretimi

Öncelikle, *Spirulina platensis* siyanobakterisi, alg üretiminde yüksek protein içeriğine sahip bir tür olduğu için tercih edilecektir. Alg türünün ön yetiştirmeleri BG-11 besiyeri ortamında gerçekleştirilecektir. BG11 besiyeri ortamı, NaNO₃ (1.5 g/L), MgSO₄.7H₂O (0.075 g/L), CaCl₂.2H₂O (0.036 g/L), sitrik asit (0.006 g/L), amonyum ferrik sitrat (0.0006 g/L), K₂HPO₄ (0.04 g/L), ve 1ml eser element solüsyonu (2.86 g/L H₃BO₃, 1.81 g/L MnCl₂.4H₂O, 0.22 g/L ZnSO₄.7H₂O, 0.39 g/L Na₂MoO₄.2H₂O, 0.08 g/L CuSO₄.5H₂O, 0.05g/L Co(NO₃)₂.6H₂O içermektedir). Aşı kültürü 1000- ml'lik erlenlerde 300 ml çalışma hacmi ile yetiştirilecektir. Sonrasında kültür %4 oranında seyreltilmiş amonyak içeriği yüksek anaerobik çürütücü çıkışı ortamında >60 gün olacak şekilde aklime edilecektir. Işık şiddeti koşulları 55±15 µmol /m².s olacak ve yetiştirme sıcaklığı ise 25±2°C olacaktır. Aklimasyon sonrası 20 L'lik reaktörde maksimum biyokütleyle ulaşılması sonrası ikinci basamak olan yakıt hücrelerine entegrasyon gerçekleştirilecektir.

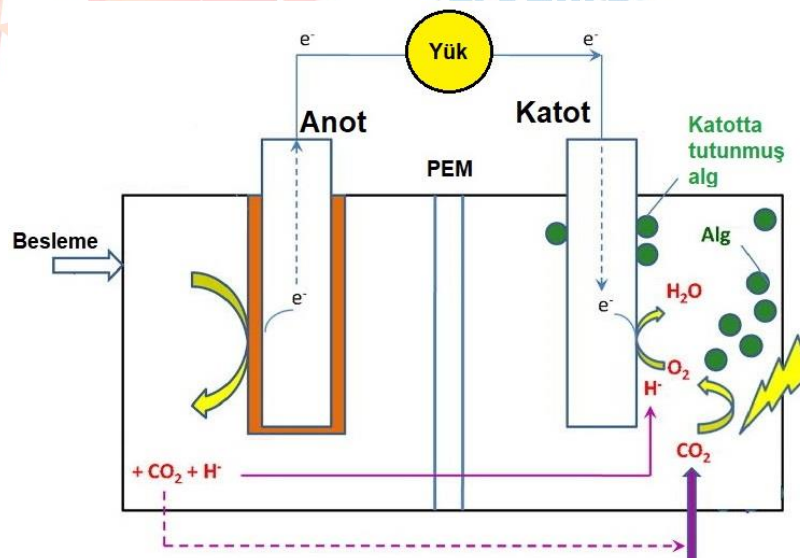
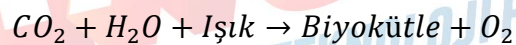
4.2. Elektrik Enerjisi Üretimi ve Yararlı Ürün Geri Kazanımı

Nafion proton seçici membranlara sahip, yakıt hücreleri ile yoğun alg biyokütlesi birleştirilecektir. Anaerobik ve aerobik olarak iki bölmeye sahip olacak bu sistemde Çalışma koşulları 25±2°C olacaktır ve yakıt hücresinin aerobik kısmına algler yerleştirilecektir (Şekil 2). Mikrobiyal yakıt hücrelerinde genellikle anaerobik kısımda, çubuk şekilli gram negatif hücre duvarına sahip bir elektrojen olan *Geobacter sulfurreducens* ve zorunlu anaerobik çubuk şekilli gram negatif bir bakteri grubundan olan *Shewanella* mikroorganizmaları kullanılır [11]. Bu çalışmada anaerobik kısma anaerobik çamur konulacaktır. Zamana bağlı elektrik enerjisi üretimi ölçülecektir ve 15 günlük inkübasyon sonrasında alg biyokütlesi hasat edilecektir.

Anot hücresinde gerçekleşecek tepkime:



Katot hücresinde gerçekleşecek tepkime



Şekil 2: Mikrobiyal yakıt hücresi için deneysel düzenek.

Hasat sonrası fikobilin proteinleri, ve fikosiyanın molekülleri için, 60 mg ıslak biyokütle 10 ml 4 mM sodyum azid, 2mM merkptoetanol ve 2 mM EDTA içeren 0,125 M sodyum fosfat içerisinde ardarda üç kere -20°C’de dondurma ve +4°C’ye getirme şeklinde hücre duvarları parçalanacaktır [11]. 8960g’de 15 dk santrifüj sonrası üst fazın konsantrasyonu 280, 620 ve 652 nm dalga boyları kullanılarak spektrofotometrik olarak ölçülecektir. Elde edilen sonuçlarla biyokütle içinde ne kadar fikosiyanın olduğu hesaplanacaktır.

Amonyum sülfat kullanılarak proteinin çöktürülmesi amaçlanmıştır. %30-65 oranlarında ön denemeler gerçekleştirilecektir [12]. 4°C’de gece boyu bekletilen numune, 10 ml pH 6.8 20 Mm Tris-HCl tampon çözeltisi içinde çözülecektir. Selüloz membran filtrasyon ünitesinden (Amicon Ultra-15) geçirilecektir. Sonrasında döner buharlaştırıcı kullanılarak, protein susuzlaştırılacak ve SDS-Page ile elde edilen protein görüntülenecektir.

Ayrıca, karotenoid pigmentleri de, ekstraksiyon sonrası kalan biyokütleden etanol çözeltisi kullanılarak elde edilecek ve döner buharlaştırıcıda susuzlaştırma işlemi sonrası toz hale getirilecektir [13].

4.3.Kalıntı Biyokütleden Biyoplastik Oluşturulması

Biyoplastik üretiminde Marangoni vd. [14] çalışmasındaki yönteme benzer bir yöntem kullanılacaktır. Öncelikle, %4’lük olarak hazırlanacak sodyum alginat çözeltisi içine sodyum alginat miktarının %30’u kadar plastikleştirici madde olarak gliserol eklenecektir. Sodyum alginat ağırlığının %0, %10, %20 ve %30’u kadar kalıntı alg biyokütlesi eklenecek ve karışım 80 °C’de 20 dakika bekletilecektir. Sonrasında, homojen karışımın sağlanması için 15 dk ultrasonik banyoda bekletilen karışım, 20x30 uzunluğundaki dökme plakalarına dökülecektir. Ayrıca, kalınlık incelemesi için 1-5 cm kalınlığında kalıplara da döküm gerçekleştirilecektir. 40°C’de 20 saat kuruma sonrası, etiketlenerek analiz öncesi oda sıcaklığında %75’lik nem oranına sahip ortamda bekletilecektir.

4.4.Üretilen Biyoplastik Malzemenin Nükleer Zırhlamada Kullanılabilirliğinin

Araştırılması

Üretilen biyoplastik malzeme farklı yöntemlerle karakterize edilecektir. Öncelikle, Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM-EDX) ile yüzey özellikleri ve elementel kompozisyon incelenecektir. Sonrasında, FTIR Spektrometresinde (Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi) üretilen malzemeye ait fonksiyonel gruplar incelenecektir. Temas açısı analizi ile malzemenin su emme özellikleri incelenecek, DMA analizi (Dinamik Mekanik Analiz) ile de mekanik özellikleri, çekme ve dayanım kuvvetleri incelenecektir. Ayrıca, CHNS analizi ile de karbon, hidrojen içerikleri belirlenecektir.

Elde edilecek elementel kompozisyon verileri kullanılarak nükleer zırhlamada kullanılabilirliği hem gama hem de nötron zırhlama için değerlendirilecektir. Bunun için Monte Carlo simülasyonları kullanılacaktır. Monte Carlo simülasyonu, rastgele değişkenler ile karmaşık problemlerin çözümünde, farklı sonuçlar ve olasılıkları tahmin etmek için kullanılan bir modeldir [15]. Monte Carlo simülasyonları, tahmin dışında belirsizliği tanımlayıp ölçmek için kullanılmaktadır [15–17]. Özellikle deney yapmanın imkansız olduğu durumlarda, bir malzemenin bazı parametrelerini elde etmek için önemli bir araçtır ve bir malzemenin radyasyon kalkanı özelliğini belirlemek için kullanılabilir [18].

4.4.1. Gama Zırh Performansı

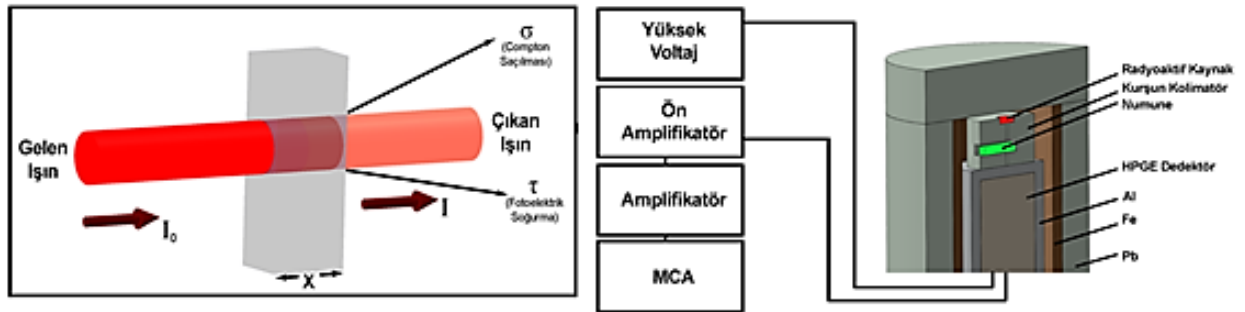
Gama zırhlamada uygulanabilirlik deneysel olarak HPGE (Yüksek Safılıkta Germanyum) dedektörü kullanılarak, simülasyon olarak Fluka ve Genta4 programları ile ve teorik olarak da Wincom web yazılımı kullanılarak değerlendirilecektir. Denemeler 662 keV enerjili gama radyasyon kullanılarak gerçekleştirilecektir.

Kütle zayıflatma katsayısı (μ/ρ), yarı değer kalınlığı (YDK) gibi parametreler bir malzemenin gama radyasyonu zırhlamasında kullanılıp kullanılmayacağını anlamak için değerlendirilmektedir. Belirli radyasyon kaynakları kullanılarak gönderilen radyasyon (I_0) ve malzeme üzerinden geçen (I) gama radyasyonu yoğunlukları Beer-Lambert kanunu ile ifade edilebilmektedir. Birimi cm^2/g olan kütle azaltma katsayısı μ/ρ dikkate alınarak ve YDK değeri performansı incelemede kullanılabilir. Denklem 1’de Burada (μ/ρ)_i değeri, i. elementin kütle azaltma katsayısı iken w_i değeri, i. elementin bileşik içerisindeki ağırlık kesri olarak ifade edilebilir.

$$\mu/\rho = \sum(\mu/\rho)_i w_i \quad (1)$$

$$YDK = \frac{\ln(2)}{\mu} \quad (2)$$

Gama radyasyonu ile ilgili deneysel düzenek Şekil 3’de görülmektedir. Şekilde görüldüğü üzere, deney düzeneği yüksek gerilim, ön amplifikatör, amplifikatör, çok kanallı analizör (MCA), standart HPGe detektörü, kolimatörler ve radyoaktif kaynaktan oluşmaktadır.



Şekil 3: Gama zırhlama parametrelerini belirlemek için deneysel düzenek.

Ölçümlerde kullanılacak kaynaklar ^{137}Cs (661,6 keV) dir ve radyoaktif noktasal kaynaklar her numune için detektörden eşit mesafede olacak (ölü zamanın %5’in altında) şekilde gama spektrometresinde 1000 s sayım yapılacaktır. Daha hassas sonuçlar elde etmek için ölçümler 3 kez tekrarlanacaktır. Hali hazırda zırhlama için önemli olan toksik kurşun kıyaslaması yapılacak başarı ölçütü olarak %10 seviyesinde bir değer belirlenmiştir. Bu değer daha sonra bizmut gibi yüksek gama zırhlama kabiliyetine sahip toksik olmayan nanoboyutta toz karışımı eklenerek geliştirilecektir. Bu aşamada toz nano bor kullanılacaktır.

4.4.2. Nötron Zırh Performansı

Üretilecek malzemelerin nötron zırhlama kabiliyetleri nötron sökme tesir kesiti hesaplanarak belirlenecektir. Bu değer, ne kadar yüksekse o kadar iyi nötron zırhlama gözlenecektir. Ek olarak Fluka ve Genta4 simülasyonları ile modellenen numuneler üzerinden nötron sayıları belirlenerek nötron zırhlama kabiliyetleri belirlenecektir. Projenin bu kısmı deneysel sonuçlar içermemektedir. Bu kapsamda, teorik olarak malzemeleri değerlendirebilmek için etkin nötron

sökme tesir kesitleri hesaplanacaktır. Bu tesir kesit ne kadar büyük ise nötron zırlama kabiliyeti de o kadar iyi olacaktır (Denklem 3 ve 4). w_i ve ρ_i değerleri sırasıyla her bir elementin yüzde kütle oranı ve kısmi yoğunluğunu ifade etmektedir.

$$\Sigma_R = \sum_i \rho_i (\Sigma_{R/\rho})_i \quad (3)$$

$$\Sigma_{R/\rho} = \sum_i w_i (\Sigma_{R/\rho})_i \quad (4)$$

5. Yenilikçi (İnovatif) Yönü

Biyorafineri yaklaşımı ile atıksu kullanılarak alg ve yakıt hücreleri ile elektrik enerjisi üretimi, sonrasında protein ve pigment ekstraksiyonunun biyoplastik üretimi ile entegrasyonu “sıfır atık” yaklaşımli hibrit alg biyorafinerisi sistemi oluşturacaktır. Bu sistemin sera gazı emisyonlarının sınırlandırılmasına yönelik olmakla birlikte başarılı bir ticari uygulama olacağı öngörülmektedir. Araştırmacılar sürekli olarak radyasyondan korunma için sürdürülebilir bir radyasyon koruyucu malzeme aramaktadırlar. Bu çalışma ile kalıntı alg biyokütlesinden üretilen biyoplastik malzemenin nükleer zırlamada kullanılabilir nitelikte olması hedeflenmiştir. Daha önce alg biyokütlesinden geliştirilmiş radyasyon koruyucu madde üretilmemiştir. Bu çalışma atık su ortamı kullanılarak yetiştiren algden nükleer zırlama gibi bir maddeye elde edilmesi ile sonuçlanan çevre-dostu bir projedir. Biyoplastik, yenilenebilir biyokütle kaynaklarından elde edilen plastikler olduğundan dolayı kullanıldıktan sonra mikroorganizmalar tarafından çevreye zarar vermez. Bundan dolayı zırlamada kullanımı büyük bir avantajdır. Maliyet konusunda da diğer zırlama malzemelerine kıyasla daha az maliyetli olacaktır.

6. Uygulanabilirlik

Endüstriyel ürünlere yönelik biyorafineri konsepti ile planlanan bu çalışma ile, mikroorganizma kullanılarak çevre problemi olan atık su kaynağının entegrasyonu sonucunda elde edilecek biyotabanlı ürünlerden biri olan biyoplastik malzemenin, gama ve nötron radyasyonu için zırlama uygulamalarında kullanılabilirliği gösterilecektir. Hibrit sistem olarak diğer sektörlere pazarlanması hedeflenmiştir. Ayrıca, elde edilecek yararlı ürünlerin ticari potansiyelleri yüksektir.

Alglerden elde edilecek ekonomik değeri olan ürünlerden birisi karotenoidlerdir. Bu bileşikler, potansiyel sağlık yararları nedeniyle öne çıkarlar. Özellikle, beta-karoten, mikroalgden ticari olarak üretilen ilk yüksek değerli üründür ve *Dunaliella salina*'dan beta-karoten seri üretimi 1980'lerde ABD, Avustralya ve İsrail'de başladığı bilinmektedir [19]. *Haematococcus pluvialis*'ten üretilen astaksantin ise mikroalglerden üretilen ikinci karotenoid çeşididir. Hu ve ark. [20] 1990'ların ortalarından bu yana, birkaç şirketin ticari ölçekte *Haematococcus pluvialis*'i başarıyla ürettiğini ve doğal astaksantinin dünya çapında pazarlandığını vurgulamıştır. Beta-karoten pazar büyüklüğü 2020'de 520 Milyon ABD Dolarını aşmıştır ve 2021 ile 2027 arasında %6'nın üzerinde bir kümülatif yıllık büyüme oranı kaydettiği tahmin edilmektedir [21]. *Dunaliella salina*'dan üretilen beta-karotenin şu anki başlıca üreticileri Avustralya'da BASF (40-50 ton/yıl), İsrail'de NBT (2-3 ton/yıl) ve Hindistan'da E.I.D Parry (1-3 ton/yıl) idir [22]. Bitkilerle karşılaştırıldığında, alglerde daha yüksek karotenoid içerdiği olduğu bilindiğinden (örneğin, havuçtaki beta-karoten içeriği kuru ağırlığının %0.08'i iken *Dunaliella salina*'da ise bu oran yaklaşık %12-14'dir), üretilen karotenoid bileşiklerinin ticari olarak pazarlanma potansiyeli yüksektir.

Fikobiliproteinler, diğer önemli ticari potansiyeli olan ürünlerdendir ve siyanobakteriler (*Arthrospira platensis*, *Aphanizomenon flos-aquae* gibi) ve kırmızı alglerdeki başlıca

fotosentetik pigmentler olan fikosiyenin, allofikosiyenin, fikoeritrin ve fikoeritrokosiyenin bileşiklerinden oluşurlar [23–25]. Fikobiliproteinler, ticari olarak sadece doğal boyalar ve floresan ajanlar olarak değil, aynı zamanda farmasötik (antioksidan, anti-alerjik, antiinflamatuvar, nöroprotektif ve hepatoprotektif ajanlar) ve kozmetik endüstrilerinde (parfümler ve göz makyaj tozları) kullanılabilir. Fikobiliproteinlerin fiyatı 3\$/mg ile 25\$/mg arasında değişmektedir. Floresan etiketleme reaktifleri olarak kullanılan fikobiliproteinlerin önde gelen üreticileri ve tedarikçileri şunlardır: Algapharma Biotech Corp. (ürün markası Flogen; Far East Bio-Tec. Co. Ltd.'nin (FEBICO) Tayvan'daki bir yan kuruluşu); Columbia Biosciences (ürün markası SureLight, Maryland, ABD'de); ve QuantaPhy, Inc. (Kaliforniya, ABD'de; distribütörü ProZyme, Inc.'dir). 2020'de 44 milyon ABD Doları değerinde olan küresel fikobiliprotein pazarının, 2022-2026 döneminde %21.3'lük bir kümülatif yıllık büyüme oranında büyüyerek 2026'nın sonunda 174.1 milyon ABD Dolarına ulaşması beklenmektedir [26]. Bu proje ile saflaştırılacak fikobilin proteinlerin pazarlanılabilirlik potansiyeli yüksektir.

Bu çalışmada *Spirulina platensis* kullanılacaktır. *Spirulina* (*Arthrospira*) cinsi, büyük ölçekte üretilen ve dünya çapında gıda, yem ve birkaç yüksek katma değerli ürün kaynağı olarak ticarileştirilen birkaç fotosentetik mikroorganizmadan biridir. Başlıca avantajları şu şekilde sıralanabilir: (1) Azot sınırlaması olmayan koşullar altında yetiştirildiğinde mümkün olan en yüksek protein içeriğine (kuru ağırlıkça %60-70) sahip biyokütledir, (2) topaklanma (birbirine yapışma ve böylece daha büyük hale gelme) kapasitesi hasadı kolaylaştırır ve diğer mikroalgelere göre oldukça ucuzdur, (3) yüksek pH değerlerinde gelişebilme özelliği diğer türlerin neden olabileceği kontaminasyon riskini azaltır, (4) bazı suşları çok yüksek NH₄-N konsantrasyonunda büyür, (5) bazı suşlar heterotrofik ortamda çoğalma yeteneğine sahiptir ve ve (6) mikсотrofik koşullar ve ağır metaller için biyoadsorban olarak kullanılabilir [27].

7. Tahmini Maliyet ve Proje Zaman Planlaması

Proje takvimi 10 aylık olarak planlanmıştır. Detayları Şekil 4'de İş-zaman çizelgesi olarak gösterilmiştir. İş paketleri İ.P.1-5 olacak şekilde ara faaliyetlerle birlikte detaylandırılmıştır.

İ.P.-1: Sistemin Tasarlanması										
Ara Faaliyetler	Şub.22	Mar.22	Nis.22	May.22	Haz.22	Tem.22	Ağu.22	Eyl.22	Eki.22	Kas.22
1.1) Alg türünün seçilmesi										
1.2) Mikrobiyal yakıt hücrelerinin tasarlanması										
1.3) Biyoplastik üretim malzemesinin seçilmesi										
İ.P.-2: Alg Üretimi										
Ara Faaliyetler	Şub.22	Mar.22	Nis.22	May.22	Haz.22	Tem.22	Ağu.22	Eyl.22	Eki.22	Kas.22
2.1) Sentetik besiyeri ortamında üretimi										
2.2) Amonyak içeriği yüksek anaerobik çürütücü çıkışı ortamında üretimi										
İ.P.-3: Elektrik Enerjisi Üretimi ve Yararlı Ürün Geri Kazanımı										
Ara Faaliyetler	Şub.22	Mar.22	Nis.22	May.22	Haz.22	Tem.22	Ağu.22	Eyl.22	Eki.22	Kas.22
3.1) Mikrobiyal yakıt hücrelerinin işletilmesi										
3.2) Fikobilin proteini izolasyonu ve SDS-Page ile görüntüleme										
3.3) Karotenoid pigmentlerinin ölçülmesi ve ekstrakte edilmesi										
İ.P.-4: Kalıntı Biyokütleden Biyoplastik Oluşturulması										
Ara Faaliyetler	Şub.22	Mar.22	Nis.22	May.22	Haz.22	Tem.22	Ağu.22	Eyl.22	Eki.22	Kas.22
4.1) Sodyum alginat biyoplastığının üretilmesi										
4.2) Alg katkılı sodyum alginat biyoplastığının üretilmesi										
İ.P.5: Üretilen Biyoplastik Malzemenin Nükleer Zırhlamada Kullanılabilirliğinin Araştırılması										
Ara Faaliyetler	Şub.22	Mar.22	Nis.22	May.22	Haz.22	Tem.22	Ağu.22	Eyl.22	Eki.22	Kas.22
5.1) SEM, FTIR, DMA ve temas açısı analizleri										
5.2) Gama zırh performansı										
5.3) Nötron zırh performansı										

Şekil 4: Projeye ait iş-zaman çizelgesi.

Proje bütçesi ve maliyet analizi kullanılacak malzemeler, analizler dikkate alınarak hesaplanmış ve Tablo 1’de detaylı olarak gösterilmiştir.

Tablo 1: Projeye ait maliyet

	Birim Fiyat	Miktar/Adet	Fiyat (KDVsiz)
Reaktör ve aksamaları		2 adet	48.500 TL
Sarf malzemeler	Muhtelif	Muhtelif	14.729 TL
SEM analizi	1.250 TL	0.5 saat	625 TL
FTIR analizi	100 TL	3 adet	300 TL
Temas açısı analizi	200 TL	3 adet	600 TL
DMA analizi	350 TL	3 adet	1.050 TL
CHNS analizi	80 TL	4 adet	320 TL
SDS-PAGE analizi	71.50 TL	4 adet	286 TL
Kül fırını kullanımı	19.5 TL/gün	4 adet	78 TL
Hassas Terazı	Ücretsiz	-	-
Etüv	3.25 TL/gün	10 adet	32,5 TL
Spektrofotometre kullanımı	39 TL/gün	10 adet	390 TL
Santrifüj	Ücretsiz	-	-
Vorteks	Ücretsiz	-	-
Ultra saf su	3.90 TL/L	50 L	195 TL
Sodyum alginat	383.89 TL	2 kg	767,78 TL
Gliserin	82.72. TL	5 kg	413,60 TL
Sıvı azot	15 TL	100 L	1.500 TL
Nanobor tozu 500 nm, 100 gr	5950 TL/100 gr	100 gr	5.950 TL
Toplam Fiyat			75.736,88 TL
KDV			13.632,64 TL
KDV dahil Toplam Fiyat			89.369,5 TL

8. Proje Fikrinin Hedef Kitle (Kullanıcılar)

Günümüzde nükleer fizik deneyleri için hızlandırıcılar, uzay araştırmaları için uydu tasarımları, kanser tedavisi için radyoterapi merkezlerinde radyasyon koruyucu malzemelere ihtiyaç duyulmaktadır. Biyoplastik nihai ürün, radyasyon koruyucu malzemeye ihtiyaç duyan nükleer tıp gibi alanlarda kullanılabilir. Ayrıca, Türkiye Enerji, Nükleer ve Maden Araştırma Kurumu (TENMAK) bağlı TENMAK Proton Hızlandırıcısı Tesisi (PHT) ve Türk Hızlandırıcı Merkezi (THM) için kullanılabilir alternatif radyasyon zırh malzemesi üretilebilir ve üretilen malzeme radyoaktif atıklarında muhafazasında ekili olabilir.

Ayrıca, proje süresince elde edilecek yararlı ürünlerin kozmetik, gıda ve farmasötik endüstrilerinde antioksidan, anti-alerjik gibi özellikleri nedeniyle kullanım potansiyeli yüksektir.

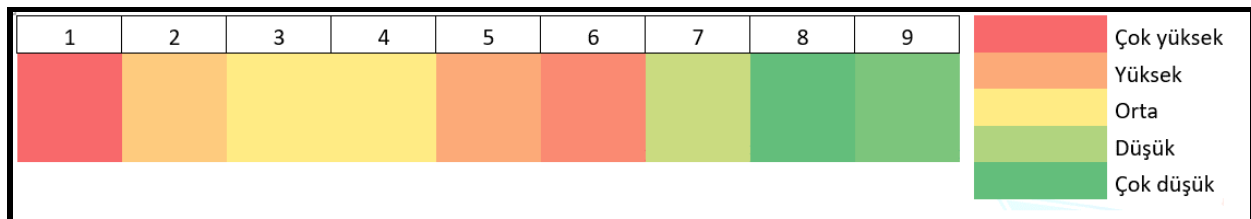
9. Riskler

Projeyi olumsuz yönde etkileyecek unsurlar Tablo 2’de özetlenmiştir.

Tablo 2: Projeyi olumsuz etkileyebilecek riskler

Risk No	Risk	B Planı
1	Mikrobiyal popülasyonda istenilen hücre yoğunluğuna ulaşamaması	Reaktör sistemine büyümeyi destekleyici nütrient ilavesi gerçekleştirilecektir.
2	Sirkülasyon pompası ve akşamların arızalanması	Yedekleri ile değiştirilecektir.
3	Proteinin filtre ünitesi ile saflaştırılamaması	Diyaliz membranı kullanılarak, 1000 ml ekstraksiyon tampon çözeltisine karşı oda sıcaklığında ve +4°C'de gece boyunca diyaliz gerçekleştirilecektir. Ekstrakt diyaliz membranında toplanıp 0.45 µm'lik filtreden geçirilecektir.
4	SDS-Page tekniği ile proteinin görüntülenememesi	Kapiller jel elektroforezi kullanılacaktır.
5	Biyoplastik üretimi için sodyum aljinatın temin edilememesi	Nişasta polimeri kullanılacaktır.
6	Üretilen biyoplastik malzemenin zırh performansının kurşun zırhlamasına göre %10'ten daha kötü bulunması	Projenin hedefleri olan minimuma erişmek için bor tozu dışında %1-5 oranlarında bizmut elementi eklenecektir.
7	Deney ve simülasyon hesaplama sonuçları arasında %10'dan daha büyük bir sapma olması	Elde edilecek değerler teorik hesaplamalar ile karşılaştırılacaktır. Proje kapsamında herhangi bir aksaklık olmasın diye iki farklı simülasyon programı ve teorik hesaplama yazılımı kullanılacaktır.
8	Teorik sonuçlarla deneysel sonuçlar uyuşuyor fakat benzetim sonuçları uyuşmuyorsa	MCNP programı ile uzun süreli yeni simülasyonlar elde edilecektir.
9	Teorik sonuçlarla benzetim sonuçları uyuşuyor ama deney sonuçları uyuşmuyorsa	Başka bir HPGe detektörü ile deneysel sonuçlar 3 kez tekrar elde edilecektir.

Risk planlamasına ait olasılık ve etkiler matrisi olarak risk numaraları dikkate alınarak Şekil 5'de gösterilmiştir.

**Şekil 5: Risklere ait olasılık ve etki matrisi.**

10. Kaynakça

- [1] Stephens E, Ross IL, King Z, Mussnug JH, Kruse O, Posten C, et al. An economic and technical evaluation of microalgal biofuels. Nat Biotechnol 2010;28:126–8. <https://doi.org/10.1038/nbt0210-126>.

- [2] Nag R, Whyte P, Markey BK, O'Flaherty V, Bolton D, Fenton O, et al. Ranking hazards pertaining to human health concerns from land application of anaerobic digestate. *Sci Total Environ* 2020;710:136297. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136297>.
- [3] Liew CS, Yunus NM, Chidi BS, Lam MK, Goh PS, Mohamad M, et al. A review on recent disposal of hazardous sewage sludge via anaerobic digestion and novel composting. *J Hazard Mater* 2022;423:126995. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126995>.
- [4] Pin YS, Othman SA, Nasir NN. The effects of gamma radiation on bioplastics. *Food Sci Technol (United States)* 2019;7:53–6. <https://doi.org/10.13189/fst.2019.070402>.
- [5] AbuAlRoos NJ, Baharul Amin NA, Zainon R. Conventional and new lead-free radiation shielding materials for radiation protection in nuclear medicine: A review. *Radiat Phys Chem* 2019;165:108439. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2019.108439>.
- [6] Mann KS, Rani A, Heer MS. Shielding behaviors of some polymer and plastic materials for gamma-rays. *Radiat Phys Chem* 2015;106:247–54. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2014.08.005>.
- [7] Peng K-T, Wang X, Peng G, Yu L, Li H-Y. Recent Progress in Solar-Induced Direct Biomass-to-Electricity Hybrid Fuel Cell Using Microalgae as Feedstocks . *Front Bioeng Biotechnol* 2021;9.
- [8] Lee D-J, Chang J-S, Lai J-Y. Microalgae–microbial fuel cell: A mini review. *Bioresour Technol* 2015;198:891–5. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.09.061>.
- [9] Arun S, Sinharoy A, Pakshirajan K, Lens PNL. Algae based microbial fuel cells for wastewater treatment and recovery of value-added products. *Renew Sustain Energy Rev* 2020;132:110041. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110041>.
- [10] Jafary T, Daud WRW, Ghasemi M, Kim BH, Md Jahim J, Ismail M, et al. Biocathode in microbial electrolysis cell; present status and future prospects. *Renew Sustain Energy Rev* 2015;47:23–33. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.03.003>.
- [11] Manirafasha E, Murwanashyaka T, Ndikubwimana T, Rashid Ahmed N, Liu J, Lu Y, et al. Enhancement of cell growth and phycocyanin production in *Arthrospira (Spirulina) platensis* by metabolic stress and nitrate fed-batch. *Bioresour Technol* 2018;255:293–301. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.12.068>.
- [12] Kathiravan A, Udayan E, Ranjith Kumar R. Bioprospecting of *Spirulina* biomass using novel extraction method for the production of C-Phycocyanin as effective food colourant. *Vegetos* 2021. <https://doi.org/10.1007/s42535-021-00320-z>.
- [13] Sivathanu B, Palaniswamy S. Purification and characterization of carotenoids from green algae *Chlorococcum humicola* by HPLC-NMR and LC-MS-APCI. *Biomed Prev Nutr* 2012;2:276–82. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.bionut.2012.04.006>.
- [14] Marangoni Júnior L, Rodrigues PR, da Silva RG, Vieira RP, Alves RMV. Sustainable Packaging Films Composed of Sodium Alginate and Hydrolyzed Collagen: Preparation and Characterization. *Food Bioprocess Technol* 2021;14:2336–46. <https://doi.org/10.1007/s11947-021-02727-7>.
- [15] Andersen M, Panosetti C, Reuter K. A Practical Guide to Surface Kinetic Monte Carlo Simulations . *Front Chem* 2019;7.
- [16] Gao M, Yin L, Ning J. Artificial neural network model for ozone concentration estimation and Monte Carlo analysis. *Atmos Environ* 2018;184:129–39. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.03.027>.
- [17] Andreo P. Monte Carlo simulations in radiotherapy dosimetry. *Radiat Oncol* 2018;13:121. <https://doi.org/10.1186/s13014-018-1065-3>.
- [18] Akkurt I, Malidarre RB, Kavas T. Monte Carlo simulation of radiation shielding properties of the glass system containing Bi₂O₃. *Eur Phys J Plus* 2021;136:264. <https://doi.org/10.1140/epjp/s13360-021-01260-y>.
- [19] Milledge JJ. Commercial application of microalgae other than as biofuels: a brief review. *Rev Environ Sci Bio/Technology* 2011;10:31–41. <https://doi.org/10.1007/s11157-010-9214-7>.
- [20] Hu I-C. Chapter 14 - Production of potential coproducts from microalgae. In: Pandey A,

- Chang J-S, Soccol CR, Lee D-J, Chisti YBT-B from A (Second E, editors. Biomass, Biofuels, Biochem., Elsevier; 2019, p. 345–58. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64192-2.00014-7](https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64192-2.00014-7).
- [21] Ahuja K, Rawat A. Beta carotene market size by source. Glob Mark Insights Inc 2021. <https://www.gminsights.com/industry-analysis/beta-carotene-market#:~:text=Beta Carotene market size exceeded, CAGR between 2021 and 2027>.
- [22] Leu S, Boussiba S. Advances in the Production of High-Value Products by Microalgae. *Ind Biotechnol* 2014;10:169–83. <https://doi.org/10.1089/ind.2013.0039>.
- [23] Sekar S, Chandramohan M. Phycobiliproteins as a commodity: trends in applied research, patents and commercialization. *J Appl Phycol* 2008;20:113–36. <https://doi.org/10.1007/s10811-007-9188-1>.
- [24] de Jesus Raposo MF, de Morais RMSC, de Morais AMMB. Health applications of bioactive compounds from marine microalgae. *Life Sci* 2013;93:479–86. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.lfs.2013.08.002>.
- [25] Odjadjare EC, Mutanda T, Olaniran AO. Potential biotechnological application of microalgae: a critical review. *Crit Rev Biotechnol* 2017;37:37–52. <https://doi.org/10.3109/07388551.2015.1108956>.
- [26] MarketWatch. Phycobiliprotein market report 2022. <https://www.marketwatch.com/press-release/phycobiliprotein-market-report-2022-2026-covid-19-analysis-with-top-countries-data-worldwide-overview-by-industry-size-market-share-future-trends-growth-factors-and-leading-players-research-report-analysis-2022-04>.
- [27] Olguin EJ, Sanchez-Galvan G. Chapter 6 – Phycoremediation: Current Challenges and Applications. In: Moo-Young M. *From Comprehensive biotechnology* (Second E, editors.) Pergamon; 2019, p. 215-22. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-088504-9.00405-0>

