

TEKNOFEST

HAVACILIK, UZAY VE TEKNOLOJİ FESTİVALİ

ÇEVRE VE ENERJİ TEKNOLOJİLERİ YARIŞMASI PROJE DETAY RAPORU

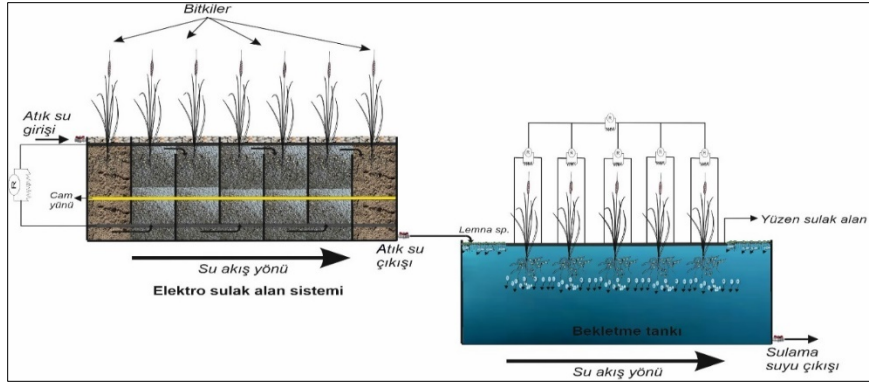
TAKIM ADI: ESTÜ-Greencycle

PROJE ADI: Elektro-Sulak Alan Model Tasarımı ile Atık Sulardan Seraların Yenilenebilir Enerji ve Temiz Su İhtiyaçlarının Karşılanması

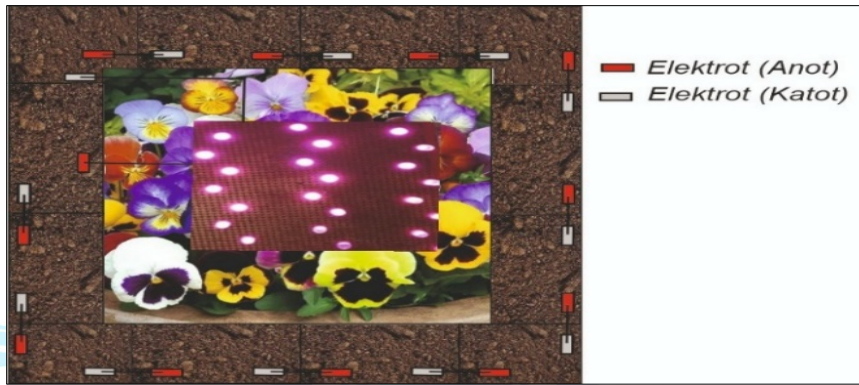
BAŞVURU ID: #57211

1. Proje Özeti (Proje Tanımı)

Günümüzde, yoğun sanayileşme, nüfus artışı ve ekonomik gelişmeler, su/enerji kaynakları üzerindeki talep artışını ve stresi de beraberinde getirmektedir. Başta dünyamızın tatlı su kaynaklarını etkisi altına alan iklim değişikliği ile oluşan kuraklık, artan kirlilik gibi faktörler su kıtlığını ortaya çıkarmaktadır. Bu durum dünyadaki yaşam için potansiyel bir tehdit haline gelmektedir. Öyle ki, 2030 yılına kadar, su kıtlığının küresel boyutta %40'lara ulaşacağı ve dünya nüfusunun neredeyse yarısının bundan etkileneceği düşünülmektedir [1]. Dünyamızın ana enerji kaynağı olan fosil yakıtların yenilenemez doğası ve her geçen gün artan enerji talebi, ekolojik ve ekonomik açıdan alternatif yenilenebilir enerjiye olan ilgiyi de artırmaktadır. Bunun temel nedeni, 2030 yılına kadar küresel enerji talebinin 2010 yılına göre %36 oranında artacağı düşüncesidir [1]. Ayrıca su kıtlığının enerji sisteminin istikrarını ve kapasite artırımının fizibilitesini zorlaştırabileceğine ve bunun da ek maliyetlere yol açabileceğine ifade edilmektedir [2]. Bu nedenlerle ülkelerin mevcut kalkınma modeli, yenilenebilir enerjileri ve ekolojik teknikleri benimseyen, aynı zamanda ekolojik ekonomik yaklaşım odaklı “Yeşil Ekonomi” modeli olmalıdır [3]. Bu kalkınma modelini ve kaynaklar üzerindeki stresi engellemek amacıyla ekolojik mühendislik ilkelerine göre tasarlanan ekolojik sistemler ile atık suların yakıt kaynağı olarak tekrar değerlendirilebileceği, çevreyle uyumlu, düşük karbonlu, kaynak verimliliğinin maksimum olduğu ve döngüsel ekonomi modelinin uygulanabileceği elektro-sulak alanlar (ESA) yeni nesil atık-enerji yönetim stratejisi olarak karşımıza çıkmaktadır. Küresel olarak tüm atık suların %80'inin arıtılmadan çevreye deşarj edildiği [4] ve kaynakların tükenmesi sonucu enerji fiyatlarındaki artışta dikkate alındığında ESA'ların avantajları ortaya çıkmaktadır. ESA'lar yapay sulak alanlar (YSA) ile mikrobiyal yakıt hücresi (MYH) sistemlerinin entegrasyonu sonucunda oluşan sistemlerdir. Temel ekolojik mühendislik teknolojilerinden biri olan YSA, kontrollü ortamda atık su arıtımında sulak alanlarda gerçekleşen doğal prosesler kullanılarak tasarlanmış insan yapımı ekosistemlerdir [5]. MYH'leri ise kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürmek için ekzoelektrojenlerin metabolizmasından yararlanan küçük ölçekte atık su arıtımında görevli ve düşük biyoelektrik üreten biyoelektrokimyasal bir cihazlardır [6]. ESA'lar ise, atık sudaki biyolojik olarak parçalanabilen organik bileşikleri, istenmeyen atıkları enerji kaynağı olarak tanımlanmakta ve atık suların arıtılması sırasında biyoelektrik üretilmektedir [5]. Bu ekolojik bakış açıları benimsenmiş projemizin amaçları: (1) ESA'lar aracılığıyla çeşitli faaliyetler sonucu oluşan atık suların (evsel, tarımsal, endüstriyel gibi) arıtılarak seralarda sulama suyu olarak kullanılması ile biyoelektrik üretilmesi ve üretilen biyoelektriğin depolanması, (2) seralar için tasarlanmış ESA temelli yenilikçi model tasarımı (SESA) ile seralardaki peyzaj bitkilerin gelişimini teşvik edici aydınlatmaların (LED) enerji ihtiyaçlarının karşılanmasıdır. Bu model ile bitkilerin sağlıklı gelişimi ile su, enerji ve üretim açısından yüksek verimlilik ($1m^2$ sera alanında 2,28 kat fazla verim, 26 kat daha az su tüketimi ve ek olarak biyoelektrik enerjisi kazanımı) sağlanacaktır. Projemizin tasarımı, ESA ve bekletme tankından oluşan atık suların arıtılarak sulama suyu haline getirildiği ekosistemler ve peyzaj bitkilerinin yetiştirilmesi amacıyla SESA'ların uygun ortamlara entegrasyonunun sağlanması ile gerçekleştirilecektir (Şekil 1 ve Şekil 2).



Şekil 1. Elektro sulak alan sistemi (ESA) tasarımı (1. Aşama)



Şekil 2. Seralar için tasarlanan ESA modülü (SESA) (2. Aşama)

2. Problem/Sorun:

Su, insan yaşamı için tartışmasız gezegenimizdeki en önemli kaynaktır. Sınırlı tatlı su kaynakları, tarım ve sanayi sektörlerinden kaynaklanan su kirliliği, küresel iklim değişikliği tatlı su kaynakları üzerinde baskılar oluşturmakta ve sürdürülebilir su temini 21. yüzyılda hayati soruna dönüşmektedir. Öyle ki, 2030 yılına kadar, su kıtlığının küresel boyutta %40'lara ulaşacağı ve dünya nüfusunun neredeyse yarısının bundan etkileneceği düşünülmektedir. İnsanoğlunun temel enerji kaynağını oluşturan kömür, doğal gaz gibi fosil yakıtlarının sürdürülemez yapısı, 2030 yılına kadar küresel enerji talebi 2010 yılına kıyasla %36 artacağı düşüncesi gibi nedenlerle insanlığın devamı için alternatif enerji kaynaklarına odaklanmak zorunlu hale gelmiştir. Bunun yanı sıra evsel, tarımsal, endüstriyel ya da maden sularının arıtılmadan su ekosistemlerine verilmesi hem ekosistemlerde yaşayan su canlılarını hem de halk sağlığını etkilemektedir. Su kıtlığının, enerji sistemlerinin istikrarını ve kapasite genişlemesinin uygulanabilirliğini zorlaştırabileceği ve dolayısıyla ek maliyetler ortaya çıkarabileceği de ifade edilmektedir. Örneğin, konvansiyel arıtım yöntemleri ile 1m^3 evsel atık suyun arıtımındaki tahmini maliyet yaklaşık 4550-5750 ₺ olarak hesaplanmaktadır. Bu maliyetler, kirlilik temelli ekolojik stresin ekolojik ve ekonomik açıdan sürdürülemez olduğunu göstermektedir.

3. Çözüm

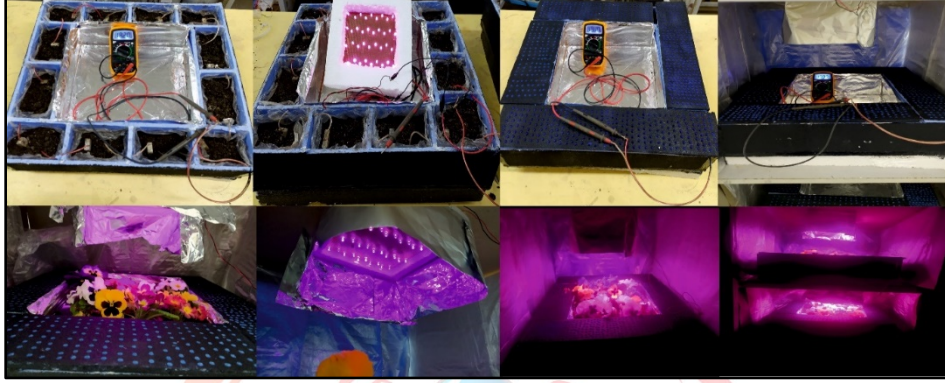
Su kaynaklarımızın küresel iklim değişikliği ve antropojenik faaliyetlerin etkisi altında azalması, 2030 yılına kadar su kıtlığının küresel boyutta %40'lara ulaşacağı ve dünya nüfusunun neredeyse yarısının bundan etkileneceği, 2030 yılına kadar küresel enerji talebinin

2010 yılına kıyasla %36 artacağı ve küresel ölçekte tüm atık suların %80'inin arıtılmadan çevreye deşarj edildiği, su kaynaklarının tükenmesi sonucu enerji fiyatlarındaki artışlar bilim insanlarını ekolojik ve ekonomik yeni teknolojiler arayışına itmıştır. Bu durumlar, ekonomik, kaynak verimliliğinin maksimum olduğu, çevreyle uyumlu, düşük karbon ayak izine sahip atık/enerji teknolojilerinden biri olan ESA karşımıza çıkmaktadır. İki aşamadan oluşan projemizde hem çeşitli atık sular arıtılarak peyzaj bitkilerinin su ihtiyacı karşılanacak ve biyoelektrik üretilerek depolanacak hem de SESA'lerden üretilen/depolanan biyoelektrik enerjisinden ise peyzaj bitkilerin gelişimini teşvik edici aydınlatmaların (LED) ve düşük güç gerektiren cihazların (sensör, termometre gibi) enerji ihtiyacı karşılanacaktır. Proje ile atık suların çevre dostu, ikincil bir atık üretmeden yeniden kullanılabilereği ve temiz enerjiye dönüştürülebileceği, su, enerji ve üretim açısından yüksek verimlilik sağlayan döngüsel ekonomi modelinin uygulandığı yerli ve milli bir atık-enerji yönetim stratejisi kazanılmış olacaktır.

4. Yöntem

İki aşamadan oluşan proje ile hem çeşitli atık sular arıtılarak peyzaj bitkilerinin su ihtiyacı karşılanırken ve üretilen biyoelektrik depolanacak hem de SESA'lerden üretilen/depolanan biyoelektrik enerjisinden peyzaj bitkilerin gelişimini teşvik edici aydınlatmaların ve düşük güç gerektiren cihazların enerji ihtiyacı karşılanacaktır. Projenin aşamalarının şematik gösterimi Şekil 1 ve Şekil 2'deki gibidir. ESA'larda dolgu malzemesi olarak proje ekibinin önceki çalışmalarında atık su arıtım verimliliği ve biyoelektrik üretim potansiyelini en üst seviyeye çıkardığı belirlenmiş zeolit bazlı filtrasyon ortamı kullanılacaktır [7]. ESA'larda *Typha angustifolia L. (Typhaceae)*, *Typha latifolia L. (Typhaceae)*, *Canna indica (Cannaceae)* bitkileri başta olmak üzere sulak alan bitkileri ile bitkilendirilecektir. *T. angustifolia L.* ve *T. latifolia L.* bitkilerinin seçilme sebebi; tasarımında kullanılacak bitki türünün sulak alanlarda doğal yayılış göstermesi, kolay temin edilebilmesi, mikroorganizmalar için diğer bitki türlerinin rizosferinden daha fazla ortam sağlayarak atık su arıtım verimliliğini ve biyoelektrik üretim potansiyelinin yüksek olmasıdır [5]. *C. indica* bitkisinin ise literatürde ve proje ekibinin laboratuvar çalışmalarında atık su arıtım verimliliğinin yüksek olarak tespit edilmesidir. ESA'nın giriş ve çıkış noktaları 1-3 mm büyüklüğünde çakıl tabakası ile kaplanacaktır. ESA'dan biyoelektrik elde edebilmek için karbon temelli, uzun ömürlü, insan sağlığına zararsız biyoelektrotları (karbon keçe) kullanılacaktır. Anot ve katotlar 0,8 mm kalınlığındaki titanyum kablo aracılığıyla birbirine bağlanarak biyoelektrik üretimi ve depolaması sağlanacaktır. ESA'nın yüzeyi 5 cm çapındaki çakıl taşları ile kaplanarak ekosistemin sinek oluşturmasının önüne geçilecektir. ESA'dan çıkan su bekletme tankına transfer edilerek burada oksijen seviyesi *T. angustifolia* bitkisine sahip yüzen sulak alan ve *Lemna gibba* bitkileri aracılığıyla yükseltilecektir. Bekletme tankından alınan su, SESA'lara transfer edilerek peyzaj bitkilerinin su ihtiyacı karşılanacaktır. SESA'nın biyoelektrik üreten bölümü torf ve zeolit karışımından oluşan dolgu malzemesi kullanılacaktır. Burada biyoelektrotlar ESA sistemlerindeki gibi karbon keçeden oluşacaktır. Anot elektrotu, opsiyonel olarak insan sağlığına zararsız magnezyumdan da oluşabilecektir. SESA'nın ortasında peyzaj bitkilerinin yetiştirileceği alan mevcuttur. Peyzaj bitkilerinin üzerinde optimum mesafede LED aydınlatmalar yerleştirilerek bitkilerin gelişimleri teşvik edilecektir. ESA ve SESA'dan biyoelektrik depolanması için bir

güç yönetim sistemi yapılacaktır. Bu güç yönetim sistemi aracılığıyla LED aydınlatmalar, düşük güç gerektiren cihazlar depolanan biyoelektrik aracılığıyla çalıştırılacaktır. Proje ekibinin konu ile ilgili 7 uluslararası makalesi, 13 adet uluslararası ya da ulusal bildirisi, yürütülmüş ve yürütülmekte olan yüksek lisans ve doktora tezleri ile 4 adet bilimsel araştırma projesi bulunmaktadır (Şekil 4).



Şekil 3. ESA sera modülünün yapım aşaması ve modülün işleyişi



Şekil 4. Ekibin doğal şartlar altında gerçekleştirdiği çalışmalarda kullanılan ESA ekosistemleri

5. Yenilikçi (İnovatif) Yönü

Atık suların arındırılarak yeşil enerji üretimi ile çevresel problemlerin çözümü için etkili alternatifler sunan ESA ekosistemleri, son yıllarda geliştirilen yenilikçi eko-teknolojik stratejilerin başında gelmektedir. Bu metot, sulak alanlarda süre gelen fiziksel, kimyasal ve biyolojik mekanizmalar taklit edilerek atık suların, uygulaması kolay, ucuz ve herhangi bir ikincil atık meydana getirmeden etkili bir şekilde değerlendirilmesi ile biyoelektrik enerjisi üretme fikrine dayanmaktadır. Mevcut yenilenebilir enerji teknolojileri (ör: rüzgâr türbinleri ve güneş panelleri) yeşil enerjisi üretimi yapsa da herhangi bir atığı değerlendirememektedir. ESA'lar biyoelektrik üretiminin yanında atıkları da değerlendirebilmektedir. Bu nedenle, rüzgâr ve güneş enerjisine göre güçlü yönü olan ikincil bir kazanımını beraberinde getirmektedir. ESA'ların diğer bir avantajı, manzara ile uyumlu bir şekilde kullanılabilmesidir. Bu sayede, diğer yenilenebilir enerji teknolojiler gibi görüntü kirliliği yaratmayarak, uygulanan ekosistemlerin estetik özelliklerini etkilemeyecektir. Özetle, proje ile atık suların çevre dostu, ikincil bir atık üretmeden yeniden kullanılabilirliği ve temiz enerjiye dönüştürülebilirliği, su, enerji ve üretim açısından yüksek verimlilik sağlayan döngüsel ekonomi modelinin uygulandığı yerli ve milli bir atık-enerji yönetim stratejisi kazanılmış olacaktır.

6. Uygulanabilirlik

Geliştirilen proje, bünyesinde peyzaj bitkisi yetiştiren belediye, üniversite gibi kurumlar, peyzaj firmaları ile evlerden çıkan atık suları değerlendirerek bitki yetiştirmek isteyen bireysel kullanıcıların (bahçe, teras, balkon) gösterdikleri alanlara çevre ile uyumlu şekilde uyarlanabilmektedir. ESA'lar her türlü atık suyu (endüstriyel, maden, tarımsal, gri su, gibi) arıtabilme potansiyeline sahiptir. Bu nedenle, atık suyu değerlendirerek sulama yapmak, filtrelerin ömrünü uzatmak isteyen kurum ve kuruluşların gösterecekleri alanlara tek başına da uygulanabilmektedir. Bünyesinde peyzaj bitkisi yetiştiren kurum ve kuruluşların gösterecekleri alanlara ESA'lar ile birlikte SESA'da entegre edilerek peyzaj bitkilerinin büyümeyi teşvik edici aydınlatmalar aracılığıyla daha hızlı yetiştirme imkânı kazanacaklardır. Ayrıca, ESA'lar ve seralardan üretilen biyoelektrik ile peyzaj aydınlatması da sağlanabilmektedir. Projede yer alan teknoloji biyolojik gölet, maden sahası, parklar, refüjler, gibi dikey duvar ve yeşil çatı alanlarına da uygulanabilecektir. Projemizin laboratuvar ölçekli ön çalışmaları devam etmektedir. Projemiz bu yarışmada dereceye girmesi halinde optimizasyon işlemleri tamamlanacak ve pilot ölçekte uygulayabilmek için TÜBİTAK ya da başka bir kuruluşa başvuruda bulunulacaktır. Ayrıca patent ya da faydalı model için gerekli başvurular da yapılacaktır.

7. Tahmini Maliyet ve Proje Zaman Planlaması

Tablo 1. Tahmini Maliyet Analizi

1	Sert Hava Koşullarına Uygun Hibrit Bahçe Serası 2,47x1,85x2,08 m	6200,00 TL
2	Katlı sera sistemi için özel yapım raflar	2000,00 TL
3	Dekota Siyah Plaka (4.75 m ²)	2500,00 TL
4	ESA kurulum malzemeleri (depo, musluk, rekor, vs)	700,00 TL
5	Zeolit bazlı filtrasyon malzemesi	250,00 TL
6	Karbon Keçe (8X30X20mm)	3500,00 TL
7	Titanyum Kablo (0.8mm)	1000,00 TL
8	Yüzen sulak alan kurulum malzemeleri	1000, 00 TL
9	Güç yönetim sistemi elemanları	500,00 TL
10	Led aydınlatmalar, sensörler ve piller	500,00 TL
11	ESA ve SESA kurulumda kullanılacak el aletleri (pens, boru anahtarı, vs)	800,00 TL
TOPLAM		18950,00 TL

Tablo 2. Proje Zaman Planlaması

İş Tanımı	Kim(ler) Tarafından Gerçekleştirileceği	AYLAR							
		Temmuz		Ağustos				Eylül	
		3	4	1	2	3	4	1	2
Malzeme Temini ve Harcamalar	ÇS	X	X	X	X	X	X		
Kullanılacak Bitkilerin Temini	ÇS, EZ, KA	X	X	X	X				
ESA ve SESA'nın Tasarımı ile Oluşturulması	ÇS, EZ, KA				X	X	X		
Sistem Optimizasyonu	ÇS, EZ, KA					X	X	X	
Test Süreci	ÇS, EZ, KA						X	X	X

ÇS: Çağdaş SAZ (Takım kaptanı/Eskişehir Teknik Üniversitesi Biyoloji Anabilim Dalı Ekoloji Bölümü Doktora Öğrencisi/YÖK 100/2000 öncelikli alanlar burs programının Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Teknolojileri)

EZ: Elif ZEREY (Eskişehir Teknik Üniversitesi Biyoloji Bölümü Lisans Öğrencisi)

KA: Kaan AKGÖREN (Eskişehir Teknik Üniversitesi Biyoloji Bölümü Lisans Öğrencisi)

İş Paketi 1. ESA ekosistemlerinin kurulması

ESA'ların kurulmasında kullanılacak malzemelerin temin edildikten sonra, ekosistemlerin kurulumu sağlanacaktır. Kurulumu tamamlanan ESA'lar ön kültür (bitkisiz) ve kültür periyotlarına alınarak ESA'lardaki bitkilerin ortama alışmaları ve biyoelektrik üretiminde görevli mikrobiyal çeşitliliğin çoğalması sağlanacaktır. Bu aşamada biyoelektrik depolanacak düzenek kurularak simülasyonları gerçekleştirilecektir.

İş Paketi 2. SESA'nın yapımı ve entegrasyonu

SESA istenen ölçülere uygun temin edilecek malzemeler kullanılarak yapılacaktır. Bu aşamada modelden üretilen biyoelektrik için biyoelektrik devresi ve LED aydınlatmalar kurularak simülasyonları tamamlanacaktır. İki iş paketinin tamamlanması ile model çalışır hale gelecektir.

8. Proje Fikrinin Hedef Kitle (Kullanıcılar):

Model tasarımının öncelikli hedef kitlesi Türkiye'de bünyesinde peyzaj bitkisi yetiştiren belediye, üniversite gibi kurumlar ve peyzaj firmalarıdır (özellikle biyolojik gölet ve biyo-peyzaj yapan). Ayrıca, modellerin boyutlarında değişiklik yapılarak balkon, teras ya da bahçe gibi alanlara entegrasyonun sağlanması ile evlerden çıkan atık suları değerlendirerek bitki yetiştirmek isteyen bireysel kullanıcılarda projenin hedef kitesini oluşturmaktadır. Ülkemizdeki belediyeler ve üniversiteler başta olmak üzere pek çok kurum yolların, refüjlerin, park ve bahçelerin peyzajına büyük harcamalar ayırmaktadır. Ülkemizdeki peyzaj sektörünün pazar büyüklüğünün 2020 yılı sonunda 10 milyar TL'ye ulaşacağı da düşünüldüğünde geliştirilen proje sektöre yenilikçi bakış açısı kazandıracaktır. Geliştirilen tasarım ile kendi peyzaj uygulamalarında ya da bitki yetiştirme ortamlarını kullanan kurumlar maliyetlerin düştüğünü ve biyoenerjinin kattığı değeri kavramaları ile hem diğer kurumlara göre avantaja sahip olacaklar hem de ekolojik ayak izlerini küçülterek doğaya katkı sağlayacaklardır. Hatta model tasarımı, çevreye duyarlı, sıfır atık bilinci ile hareket eden, etkin bir atık/enerji stratejisine sahip olan kurumlar için ayrıştırıcı bir faktör olabilecektir. Model tasarımının evlerin balkon, teras ya da bahçe gibi alanlarına entegrasyonun sağlanması ile bireysel kullanıcıların hem peyzaj için aydınlanmaları hem de peyzaj bitkisi yetiştirmeleri sağlanacaktır. Bu durumun kullanıcılara peyzaj aydınlatması için ekstra bir maliyet oluşturmaması büyük bir avantajdır. Ayrıca, ESA'ların doğaya entegrasyonunun kolaylığı ile biyolojik gölet, maden sahası, parklar, refüjler, dikey duvar uygulamaları gibi alanlara uygulanması hem su hem de enerji açısından ülke ekonomisine büyük katkı sağlayacaktır.

9. Riskler

Tablo 4. Risk planlaması ve olası problemlere yönelik çözüm önerileri

No	En Büyük Riskler	Risk Yönetimi (B Planı)
----	------------------	-------------------------

1	ESA modülündeki bitkilerin sağlıklı birey sayısının %75'den düşük olması. Olasılık: Çok Düşük; Etki Derecesi: Düşük Risk	Ölen bitkiler yeni bitki rizomları ile değiştirilecektir.
2	ESA modülü ile atık sularından istenilen gideriminin sağlanamaması. Olasılık: Düşük; Etki Derecesi: Yüksek Risk	Bu durumda suyun sistemde bekleme süresinin arttırılması yapılacaktır.
3	ESA ve SESA'dan biyoelektrik depolaması sırasında elektrik devresinde problem yaşanması. Olasılık: Çok Düşük; Etki Derecesi: Yüksek Risk	Problemler devre tamir edilene kadar yenisi ile değiştirilecektir.
4	ESA ve SESA'dan biyoelektrik depolaması sırasında elektrik devresinde problem yaşanması. Olasılık: Düşük; Etki Derecesi: Yüksek Risk	LED lambalar yenileri ile değiştirilecektir.

Tablo 5. Risk matrisi.

Olasılık

Çok Yüksek	DR	OR	YR	YR	ÇYR
Yüksek	DR	OR	OR	YR	YR
Orta	DR	DR	OR	OR	YR
Düşük	DR	DR	DR	OR	OR
Çok Düşük	ÇDR	DR	DR	DR	DR

Çok Düşük Düşük Orta Yüksek Çok Yüksek **Etki**

ÇDR:Çok düşük risk; **DR:**Düşük risk; **OR:**Orta Risk; **YR:**Yüksek Risk; **ÇYR:**Çok yüksek risk

10. Kaynakça ve Rapor Düzeni

1. Z. Yang, H. Pei, Q. Hou, L. Jiang, L. Zhang, C. Nie (2018). Algal biofilm-assisted microbial fuel cell to enhance domestic wastewater treatment: nutrient, organics removal and bioenergy production. Chem. Eng., 332, 277-285
2. Zhang, X., Vesselinov, V.V. (2016). Energy-water nexus: balancing the tradeoffs between two-level decision makers. Applied Energy, 183, 77-87.
3. Chen, S. (2015). The evaluation indicator of ecological development transition in China's regional economy. Ecological Indicators, 51, 42-52.
4. UNWAP (United Nations World Water Assessment Programme) (2017). The United Nations World Water Development Report 2017. Wastewater: The Untapped Resource. Paris.
5. Saz, Ç., Türe, C., Türker, O.C., Yakar, A. (2018). Effect of vegetation type on treatment performance and bioelectric production of constructed wetland modules combined with microbial fuel cell treating synthetic wastewater. Env. Sci. Pol. Res., 25(9):8777-8792.
6. Jiang, M., Xu, T., Chen, S. (2020). A mechanical rechargeable small-size microbial fuel cell with long-term and stable power output, Applied Energy, 260, 114336.
7. Yakar, A., Türe, C., Türker, O.C., Vymazal, J., Saz, Ç. (2018). "Impacts of Different Media Types on Wastewater Treatment and Bioelectric Production in Up-Flow Constructed Wetland Combined with Microbial Fuel Cell (UCW- MFC)." Ecological Engineering, 117, 120-132.