

TEKNOFEST

HAVACILIK, UZAY VE TEKNOLOJİ FESTİVALİ

ÇEVRE VE ENERJİ TEKNOLOJİLERİ

YARIŞMASI

PROJE DETAY RAPORU

TAKIM ADI: ESTÜ-Greencycle

PROJE ADI: Elektro-Sulak Alan Entegre Hidroponik Sistem

BAŞVURU ID: #406029

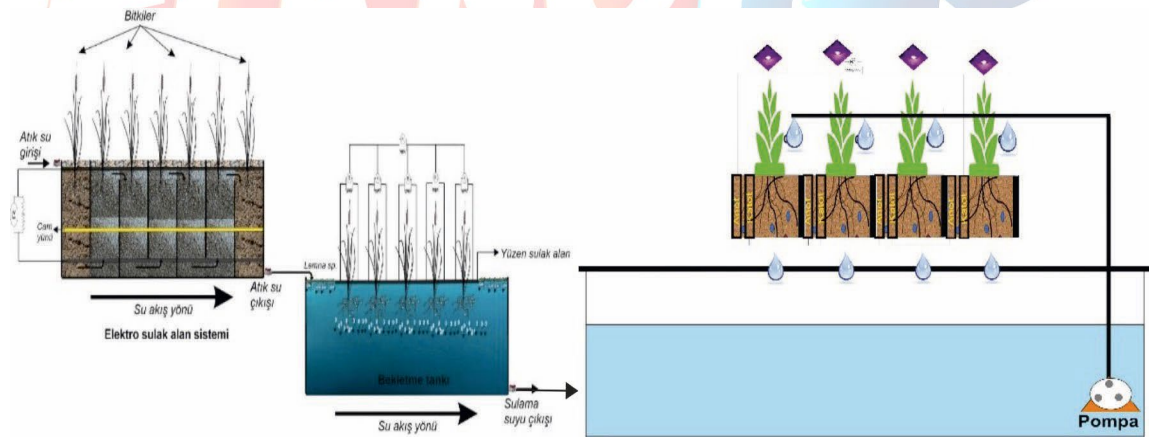
İçindekiler

Proje Özeti (Proje Tanımı)	2
Problem/Sorun	3
Çözüm	4
Yöntem	5
Yenilikçi (İnovatif) Yönü.....	8
Uygulanabilirlik	8
Tahmini Maliyet ve Proje Zaman Planlaması	9
Proje Fikrinin Hedef Kitle (Kullanıcılar)	10
Riskler	11
Kaynakça ve Rapor Düzeni.....	11

1. Proje Özeti (Proje Tanımı)

Yoğun nüfus artışı, sanayileşme, teknolojik ve ekonomik gelişmeler insanlığın hızla doğadan uzaklaşmaya başlamasına ve başta küresel iklim değişikliği olmak üzere pek çok ekolojik felaketi de beraberinde getirmiştir [1-4]. Tüm bu gelişmeler gıda, su, toprak ve enerji kaynaklarına olan talep artışına, talep artışı da kaynaklar üzerindeki stresin artmasına neden olmaktadır [5-8]. Su, enerji ve gıda üçgeni insan refahı ile sürdürülebilir kalkınma için temel ve yakından ilişkili yaşam destek gereksinimleridir [3;4]. Bu durum, bilim insanlarının kaynaklar üzerindeki stresin azaltılması, yeşil ve döngüsel ekonominin desteklenmesi düşüncesiyle gezegendeki kaynakların verimli kullanılmasını amaçlayan ekolojik mühendislik ilkelerinin ön planda tutulduğu alternatif inovatif yenilenebilir kaynak ve teknolojiler üzerinde odaklanmasını sağlamıştır [1;9-11]. Geleneksel atık su arıtma tesisleri, amaçlarına ulaşmak için mekanik ekipman ve büyük miktarda enerji girdisi gerektirmektedir. Bu nedenlerle ekonomik ve ekolojik açıdan sürdürülebilir uygulamalar değildir [1;12-14]. Arıtım odaklı düşünüldüğünde evselden endüstriyel, kentselden tarımsal ve maden drenaj sularına kadar geniş bir spektrumda çeşitli atık suların arıtılmasında kullanılan doğal sulak alan ekosistemlerinin doğal süreçlerine (fiziksel, kimyasal ve biyolojik) dayanan insan yapımı ekolojik perspektifte bakış açısına sahip mühendislik ürünü yapay sulak alan (YSA) ekosistemlerinin tasarımı ve kullanımı ön plana çıkmaktadır [11;13-15]. Enerji açısından düşünüldüğünde ise mevcut enerji teknolojileri fosil temelli olmaları ve dolayısıyla yüksek karbon salımları nedeniyle ekosistem ve organizmaların sağlığını tehlike altına atmaktadır [15;16]. Bu nedenle, sürdürülebilirlik yaklaşımı benimseyen, mevcut enerji arz ve talebini dengeleyebilecek, düşük karbon salımlı ve küçük ekolojik ayak izine sahip alternatif enerji kaynaklarından biri olan “Yeşil enerji” teknolojiler araştırılmaktadır [1]. Yakın gelecekte olası enerji sıkıntısını gidermek amacıyla

uygulanabilecek ve su-enerji bağlantısı açısından verimli çalışan teknolojilerin başında Ekolojik Yakıt Hücresi (EYH) sistemleri gelmektedir [17-19]. YSA ve EYH'lerin katmanlarında bulunan aerobik, anaerobik ve anoksik zonların benzerliği nedeniyle iki sistemin entegrasyonunun sağlanması ile doğal sulak alan ekosistemlerindeki olayların kontrollü şekilde gerçekleştirildiği, çeşitli atık suların (evsel, boyar madde içeren gibi) yerinde ve ikincil atık üretmeden arıtıldığı ve eş zamanlı şekilde biyoelektrik enerjisi üretme yeteneğine sahip ekoloji, ekonomi, enerji ve mühendislik (4E) prensibinde çalışan bir yenilenebilir enerji kaynağı olan elektro-sulak alan sistemleri (ESA) oluşturulmuştur [1,2,4; 20]. Gelişen ve değişen dünyada iklim krizinin de etkisiyle gıda güvenliği de önemli bir konuma gelmektedir. Bu noktada ise karşımıza topraksız tarım teknolojisi (hidroponik sistemler (HS)) çıkmaktadır. HS'lerde toprakta yetiştirilen bitkilere oranla %30'a kadar daha yüksek büyüme oranı [21], %90 az su tüketimi sağlanmaktadır [22]. Ancak, enerji tüketimi ise artmaktadır. İki aşamadan oluşan bu proje ile kullanılan suyun hem de gerekli enerji ihtiyacının atık sulardan karşılanması mümkündür. İlk aşamada, çeşitli atık sular ESA'lar için kaynak olarak görülecek ve hem atık suların arıtımı hem de biyoelektrik üretimi/depolaması sağlanacaktır. İkinci aşamada ise hidroponik sistemlere ESA'ların entegrasyonu ile tasarlanan model (HESA) ile biyoelektrik üretimi/depolaması ve bitkilerin gelişimi sağlanacaktır. Arıtılan su ile HESA'lardaki bitkilerin su ihtiyacı karşılanırken, ESA ve HESA'lardan üretilen/depolanan biyoelektrik ile de bitkilerin büyümesini teşvik eden aydınlatmaların, su transferini sağlayan pompanın ve sıcaklık, nem gibi parametreleri kontrol eden sensörlerin enerji ihtiyacı karşılanabilecektir. Tasarımın temelleri ekibin 7 yıllık akademik çalışmaları sonucunda gerçekleşmiştir. Şimdiye kadar uygulanmamış teknolojinin hayata geçirilmesi ile düşük karbonlu döngüsel ekonomi modelini ön plana çıkaran atık suları, ikinci atık oluşturmadan kullanılabilir hale getiren, atıklardan temiz ve kullanılabilir enerji elde edilen ekoloji-ekonomi-enerji-mühendislik (4E) perspektifinde yerli ve milli bir teknoloji kazanılmış olacaktır.



Şekil 1. Elektro-Sulak Alan Entegre Hidroponik Sistem Diyagramı

2. Problem/Sorun:

Artan nüfus, sanayileşme ve küreselleşme insanların refah seviyesinde artışa neden olurken küresel iklim değişikliği başta olmak üzere doğal sistemler üzerindeki talep ve stresin artmasına neden olmuştur [3;4;33;34]. İnsanoğlunun artan taleplerini karşılayabilmek adına kısa vadede

gezegenin dönüştürülmesi gerçekçi görünüyor olsa da uzun vadede insanlığın ve gezegenin sürdürülebilirliğini tehlikeye atmaktadır. Antropojenik faaliyetler ile teknolojik gelişmeler doğal kapita üzerindeki talep/stres artışına sebep olurken doğal olarak süregelen biyojeokimyasal ve enerji döngülerinde dengesizliklerin ortaya çıkmasına, başta küresel iklim değişikliği olmak üzere biyoçeşitlilik kaybı, çeşitli kirlilikler, kaynakların tükenmesi ve aşırı arazi kullanımı gibi ekolojik yıkımların oluşmasına neden olmaktadır [2;23]. Su, gıda ve enerji, insan refahı ile sürdürülebilir kalkınma için temel ve yakından ilişkili yaşam destek gereksinimleridir [24;25]. Sınırlı tatlı su kaynakları, tarım ve sanayi sektörlerindeki su kirliliği ve tatlı su kaynakları üzerinde baskı yaratan küresel iklim değişikliği ile sürdürülebilir su temini 21. yüzyılda önemli bir konu haline gelmiştir. Bilim insanları temiz su ve fosil yakıt temelli enerji tüketimi arasındaki kuvvetli ilişkiyi incelediğinde 2025 yılına kadar 1,5 milyar ton petrol eş değeri enerjiye ihtiyaç duyulacağını [26], 2030 yılına kadar ise küresel su kıtlığının dünya nüfusunun %50'sini etkileyeceği ve artan nüfus ile küresel enerji talebinin de artacağı ileri sürülmektedir [27]. Ek olarak, küresel boyutta çeşitli faaliyetler sonucu oluşan atık suların arıtım uygulanmadan kontrolsüz olarak su ekosistemlerine verilmesi hem halk sağlığı açısından hem de su ve kara ekosistemlerindeki canlılar için büyük tehlikeler yaratmaktadır. Ülkemizde su tüketiminin %73'ü tarımsal sulama için kullanılmaktadır [28]. TÜİK verilerine göre 2080 yılında Türkiye nüfusunun 108 milyon olacağı düşünüldüğünde su tüketiminde hızlı bir artış olacağı ancak temiz tatlı su kaynaklarının ise su tüketimi ve küresel iklim değişikliği sebebiyle çok daha hızlı yok olmaya başlayacağı bir gerçektir [29;30]. Öyle ki, günümüzde bile Dünyadaki elektrik enerjisinin %2'sinden fazlası, temiz su temini ve atık su arıtımı için kullanılmaktadır [31]. Tarım alanlarının yok olmaya başlaması, nüfus artışı, toprak kirliliği, küresel iklim değişikliği gibi etmenlerde bu durumlara eklendiğinde ülkelerin gıda ve su güvenliklerinin de tehlikede olacağı kaçınılmazdır [29]. Su kıtlığının, enerji sistemleri üzerindeki olası etkisinin istikrar ve kapasite konularında sorun oluşturabileceği dolayısıyla da maliyetlerin artacağı düşünülmektedir. Örneğin, vahşi sulama uygulanan 1 m² seranın ortalama sulama suyu ihtiyacı bile 83 L/gün olarak hesaplanırken mevcut arıtım yöntemleri ile 1m³ atık suyun arıtımındaki elektrik tüketimi değerleri ise yaklaşık 0,213-0,444 kW-saat arasında değişmektedir [32] Bu durum, ekolojik ve ekonomik yönden sürdürülebilir gözükmemektedir. Hidroponik sistemlerin topraklı üretimin ihtiyaç duyduğu suyun sadece %10'u [21] ve daha az arazi kullanımı ile eşit oranda bitki üretme yeteneğinin yanı sıra ESA teknolojisinin tasarıma entegrasyonu ile hem atık suların kaynak olarak değerlendirilmesi hem de üretilen biyoelektrik enerjisinin depolanarak bitki gelişiminde, su transferinde ve ortamın kontrolünde kullanılması projenin ekolojik ekonomik bilinç ile tasarlandığının göstergesidir. Proje, atık su, gıda güvenliği, yenilenebilir enerji ve sensör teknolojileri gibi kritik konuları konularını tek çatı altında ilişkilendirilerek holistik ve özgün bir yaklaşım sergilemektedir.

3. Çözüm

Nüfus artışına bağlı sanayileşme, küreselleşme ve küresel iklim değişikliği başta tatlı su ve enerji kaynaklarına olan talep ve stresin artmasına ek olarak tarım arazilerinin hızla yok olmasına neden olmaktadır [1;3;9]. Çeşitli faaliyetler sonucu oluşan atık suların arıtılması için yüksek maliyet gereksinimi ya da atık suların arıtılmadan su ekosistemlerine deşarjı ise uzun vadede hem ekonomik hem de ekolojik yıkıma neden olacağı düşünülmektedir. Bu noktada,

ekosistemin ve ekonominin sürdürülebilir olması, halk sağlığının ve gıda güvenliğinin sağlanabilmesi amacıyla bilim insanları alternatif ekolojik ve ekonomik bakış açısıyla oluşturulan inovatif çözümler üzerine çalışmalarına ağırlık vermişlerdir [1;36]. Bu noktada, atık suların ekolojik temelli arıtımı için yapay sulak alan ekosistemleri, alternatif enerji kaynak ve teknolojisi için ise ekolojik yakıt hücresi sistemleri akla gelmektedir. Bu iki teknolojinin benzer yapıları nedeniyle kolay entegrasyonunun sağlanması ile ortaya çıkan elektro-sulak alan ekosistemleri verimli, ekolojik ve ekonomik atık su arıtımı sağlarken eş zamanlı şekilde organik maddelerin parçalanması sırasında açığa çıkan elektronların biyo-elektrotlar aracılığıyla yakalanması ile biyoelektrik enerjisi üretebilmektedir. Üretilen enerjinin güç yönetim sistemi aracılığıyla pil/aküle depolanması ise yeni bir dönüm noktası oluşturmaktadır. ESA ekosistemleri yüksek kaynak verimliliğine sahip, düşük karbon salımlı ve ekonomik atık/enerji teknolojisi olarak tanımlanabilmektedir. Hidroponik sistemler ise küçük arazi şartlarında yüksek verim elde edilen, az su tüketimi sağlayan tarım odaklı sistemler olarak karşımıza çıkmaktadır [21;22]. Ekolojik temelli inovatif bir atık-enerji yönetim stratejisi ve gıda üretim teknolojisinin birbiri içine entegre edilmesi gıda, enerji ve temiz su arasındaki bağlantıyı maksimum seviyeye çıkarabilmektedir. İki aşamadan oluşan projenin ilk aşamasında tasarlanan ESA'lar ile evsel, endüstriyel ya da maden deşarj suları gibi çeşitli atık suların arıtılmasını sağlanırken eş zamanlı olarak biyoelektrik enerjisi üretilecek ve depolanacaktır. İkinci aşamasında ise, ESA'ların entegre edildiği hidroponik sistemlerde marul, çilek, domates gibi ekonomik değeri olan tarım bitkilerinin su ihtiyacı ilk aşamada arıtılan sudan, bitkilerin gelişimini teşvik edici aydınlatmaların, ortam kontrolünü sağlayan sensörlerin ve su transferinde görevli pompanın enerji ihtiyacı ise hem ilk aşamadaki ESA'lardan hem de hidroponik sisteme entegre edilen ESA'lardan (HESA) üretilen/depolanan biyoelektrik enerjisinden karşılanacaktır. ESA ekosistemlerinde, proje ekibinin önceki akademik çalışmalarında tespit ettikleri ve dolgu malzemesi, bitki ve biyo-elektrotlar kullanılacaktır. ESA'larda dolgu malzemesi olarak enzimatik üretimi destekleyerek organik bileşiklerin biyodegradasyonu ile elektronların katalizinin daha verimli olmasını sağlayan, atık su arıtma ve biyoelektrik üretim potansiyellerinin en üst seviyeye ulaştırdığı tespit edilen zeolit bazlı filtrasyon ortamı ile diğer sulak alan makrofitlerine göre kök bölgelerinde yeterli ortamı yüksek atık su giderim ve biyoelektrik üretim potansiyeline sahip olduğu takım kaptanı Çağdaş Saz'ın yüksek lisans tezinde tespit edilen *Typha angustifolia* L. bitkisi ve karbon temelli biyo-elektrotlar kullanılacaktır [35-37].

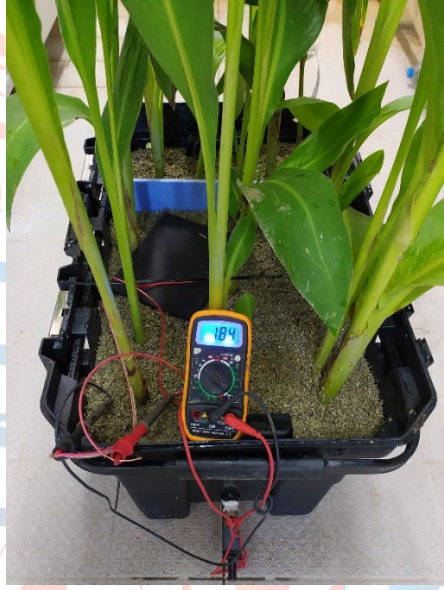
4. Yöntem

İki aşamalı proje kapsamında hem atık sular arıtılarak HESA'larda yetiştirilen çilek, marul gibi gıda bitkilerinin su ihtiyacı karşılanabileceken arıtım sırasında üretilen biyoelektrik ile HESA'lardan üretilen/depolanan biyoelektrik enerjisinden de bitkilerin gelişimini hızlandırma yeteneğine sahip aydınlatmaların, su transferini sağlayan pompanın ve ortam kontrolünü sağlayan sensörlerin enerjisi karşılanabilecektir. Şekil 1'de proje şematize edilmiştir. ESA'ların dolgu malzemesi olarak zeolit bazlı filtrasyon tercih edilecektir. Bunun sebebi, ekibin çalışmalarında atık su giderim ve biyoelektrik üretim verimliliğini sağlayan ortamın zeolit olarak tespit edilmesidir. [35].

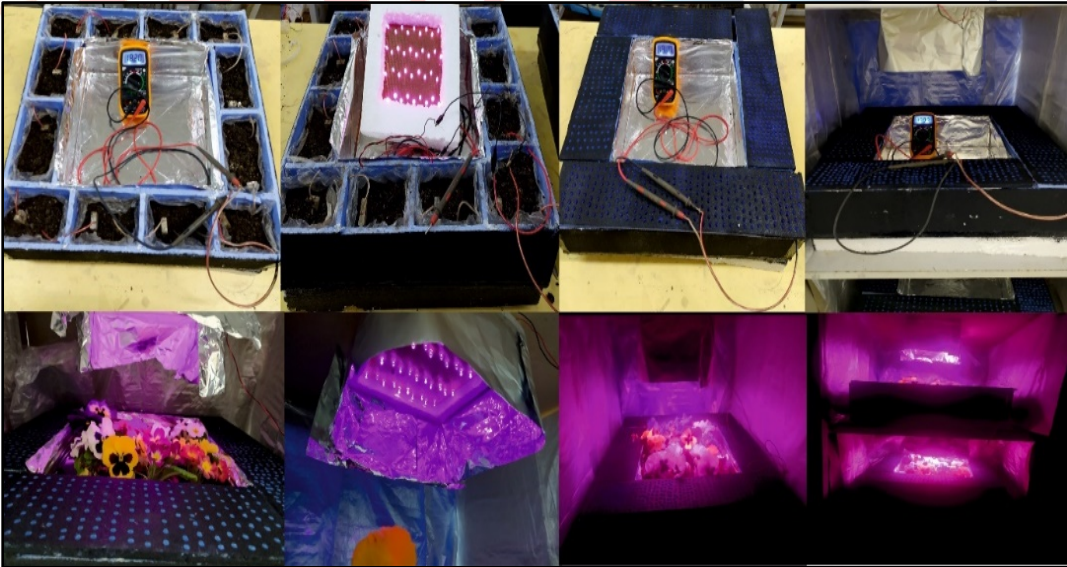
Bitki olarak ise *Typha latifolia L. (Typhaceae)*, *Typha angustifolia L. (Typhaceae)* ve *Canna indica (Cannaceae)* bitkileri tercih edilecektir. *Typha* türlerinin tercih sebebi olarak kolay temin edilmeleri, diğer bitkilere göre köklerinde mikroorganizmalar için gerekli ortamı hazırlayarak atık su giderimi ve biyoelektrik üretim verimliliği açısından avantaj sağlamalarıdır [1;35]. *C. indica* ise literatürde ve ekibin denemeleri sonucunda yüksek giderim verimliliği tespit etmesi ile renkli çiçekleri bulunan göze hoş gelen görünümüdür. 1-3 cm büyüklüğünde çakıllar ile ESA'nın çıkış noktasının etrafı kaplanacaktır. Biyoelektrik üretiminde ise insan sağlığına zararsız karbon temelli, uzun ömürlü biyoelektrotlar (karbon keçe) tercih edilecektir. Ancak, opsiyonel olarak anot elektrotunda magnezyum' da tercih edilebilmektedir. Elektrotlar birbirine 0,8 mm çapındaki titanyum kablolar aracılığıyla bağlanarak üzerleri makaron ile kaplanacaktır. Ekosistemlerin sinek oluşturmalarına karşı yüzeyleri 5 cm büyüklüğündeki çakıllar ile 2 cm yüksekliğine çakıl katmanı oluşturulacaktır. Arıtım sonucunda ekosistemlerden alınan sular *T. angustifolia* ve *Lemna gibba* bitkilerinin bulunduğu bekletme tankında oksijenlendirilecektir. Oksijenlendirilen sular HESA'lara gönderilerek bitkilerin sulamasında kullanılacaktır. HESA'nın biyoelektrik üreten bölmesinde zeolit ve torf uygun oranlarda karıştırılarak ortam oluşturulacak ve içerisine biyo-elektrotlar yerleştirilecektir. HESA' ların her bir katmanına optimum mesafe ve ışık şiddetinde bitkilerin gelişimleri teşvik edecek LED aydınlatmalar yerleştirilecektir. ESA ve HESA'dan üretilen biyoelektriğe uygun bir güç yönetim sistemi tasarlanarak biyoelektriğin akülere depolanması sağlanacaktır. Depolanan biyoelektrik ile aydınlatmalar, su transferini sağlayan pompa, ortam kontrolünü sağlayan sensörler aracılığıyla çalıştırılacaktır [37-40]. Projenin ESA ve HESA tasarımında takım danışmanı Prof. Dr. Cengiz TÜRE ve takım kaptanı Çağdaş SAZ görev alacaktır. Proje ekibinin konu ile ilgili yedi uluslararası makalesi, 13 adet uluslararası ya da ulusal bildirisi, yürütülmüş ve yürütülmekte olan yüksek lisans ve doktora tezleri ile altı adet bilimsel araştırma projesi bulunmaktadır. Biyoelektrik depolaması, güç yönetim sistemi tasarımı ve sensörlerin belirlenerek ortamın kontrol edilmesi ise Çağdaş SAZ ve Feyza SÖNMEZ tarafından gerçekleştirilecektir. Feyza SÖNMEZ' in dört uluslararası makalesi, iki adet uluslararası ya da ulusal bildirisi ve iki TÜBİTAK 1001 projesi bulunmaktadır. Takım kaptanı Çağdaş SAZ "YÖK 100/2000 öncelikli alanlar doktora burs programı Enerji Kaynakları ve Teknolojileri" alanı ile TÜBİTAK 2211-C öncelikli alanlar doktora burs programı "Enerji Depolama Teknolojileri" alanında, Feyza SÖNMEZ "YÖK 100/2000 öncelikli alanlar doktora burs programı Sensör Teknolojileri" alanı ile TÜBİTAK 2211-C öncelikli alanlar doktora burs programı "Mikro/Nano Elektro-Mekanik Sistemler" alanında desteklenmektedir. Ekip, "Elektro-Sulak Alan Model Tasarımı ile Atık Sulardan Seraların Yenilenebilir Enerji ve Temiz Su İhtiyaçlarının Karşılanması" başlıklı proje ile Teknofest 2021 Çevre ve Enerji Teknolojileri Yarışması Üniversite ve Üzeri kategorisinde dördüncülük, ÇEVKO Yeşil Nokta Öğrenci Ödülleri Atık Yönetim Sistemi ve Uygulamaları kategorisinde ise üçüncülük elde etmiştir. Bu projede, ekip ESA'ları seralar için özel tasarladıkları modüllere entegrasyonunu başarıyla sağlayarak 1m² sera alanında 2,28 kat fazla verim, 26 kat daha az su tüketimi ve ek olarak biyoelektrik enerjisi kazanımı elde etmeyi başarmıştır [37-40].



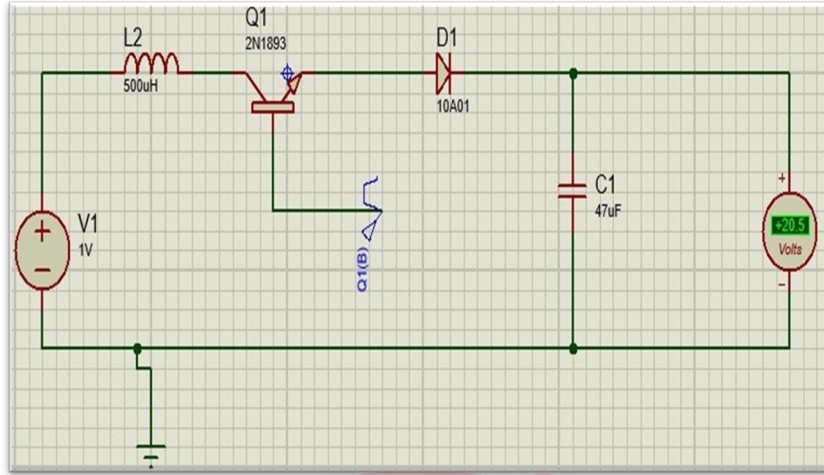
Şekil 2. Ekip tarafından doğal şartlar altında gerçekleştirilen akademik çalışmaların görünümü



Şekil 3. Teknofest 2021 yarışmasında tasarlanan ESA modülü ve işleyişi



Şekil 4. SESA modülünün yapım aşaması ve modülün işleyişi



Şekil 5. Güç Yönetim Sistemi Çizimi

5. Yenilikçi (İnovatif) Yönü

Atık suların giderimi ile temiz enerji ve ekolojik sorunların çözümü amacıyla alternatif gelişmeler sunan ESA'lar, son dönemlerde geliştirilen yenilikçi eko-teknolojik atık-enerji stratejiler arasında yer almaktadır. ESA ekosistemleri, atık suların etkili arıtımında rol alan, inovatif eko-teknolojik özelliklere sahip atık-enerji strateji olarak tanımlanabilmektedir. ESA'lar, doğal sulak alanların insan eliyle taklit edilmesi sonucunda oluşturulan doğal proseslerin devam ettiği, kolay ve ekonomik uygulanabilirliğe sahip ikincil atık oluşturmadan atıkların değerlendirilerek biyoelektrik üretme özelliğinde tasarlama fikrine sahiptir. Mevcut yenilebilir enerji teknolojilerinin (rüzgâr türbinleri, güneş panelleri gibi) yüksek miktarlarda temiz enerji üretmeleri avantaj olarak görülmektedir, ancak bu teknolojilerin atık değerlendirme yeteneklerinin olmamaları ve çevre ile uyumlu bir görünüm sergilememeleri bir dezavantaj olarak görülebilmektedir. Buna karşılık, ESA'lar biyoelektrik üretiminin yanı sıra çeşitli faaliyetler sonucu oluşan atık suları kaynak olarak görerek enerji harcamadan arıtabilmektedir. ESA'ların doğal görünümü bozmadan entegrasyonunun sağlanabilmesi estetik açıdan da bir avantaj olarak görülebilmektedir. Mevcut hidroponik sistemlerin az su tüketimi ve verim açısından avantajlı görülse de dışarıdan ek enerji sübvansiyonu ile çalıştırılması günümüz için bir dezavantaj oluşturmaktadır. Ancak, ESA'ların hidroponik sistemlere entegre edilmesi ile enerji ihtiyacı bir miktarda olsa azaltılacaktır. Proje özetlenecek olursa atık suların ekolojik ve ekonomik açıdan yüksek verimlilikle değerlendirildiği, atık üretmeyen, kurulumu kolay, su, enerji ile üretim üçgeninde yüksek potansiyele sahip, küçük karbon salımlı döngüsel ekonomi modeli temsil eden yerli ve milli atık-enerji yönetim stratejisidir [37-40]. Benzer teknoloji ekibin Teknofest 2021 Çevre ve Enerji Teknolojileri Yarışması Üniversite ve Üzeri kategorisinde katıldığı projede de kullanılmıştır. Ancak, bu projede ESA ekosistemi seralar için özel olarak tasarlanan modüller içerisine yerleştirilmiş ve başarı ile çalıştırılarak 1m² sera alanında 2,28 kat fazla verim, 26 kat daha az su tüketimi ve ek olarak biyoelektrik enerjisi kazanımı elde edilmiştir [37-40]. Bu projede ise ESA'lar hidroponik sistemler içerisine entegre edilerek (HESA) çok daha yüksek miktarda verim ve tasarruf elde edilmesi planlanmaktadır. Ek olarak, ESA'lardan HESA'lara su transferinin sağlayan pompa ve ortamın kontrolünü sağlayan sensörlerin tasarıma entegrasyonu ile bitkilerin sağlıklı şekilde gelişmesi, suyun pH'ı,

ortamın sıcaklık, nem gibi birçok parametresinin kontrolü kolaylıkla sağlanabilecektir. Literatürde üretilen biyoelektrik enerjisini bir aküye depolayabilmeyi başaran bulunmamakla birlikte takım kaptanı Çağdaş SAZ “Hibrit Yapay Sulak Alan Ekosistemlerinde Boyar Madde Giderimi, Biyoelektrik Üretimi ve Depolanabilirlik Potansiyellerinin Araştırılması” başlıklı doktora tezi kapsamında biyoelektriğin pillere depolanmasını, Teknofest 2021’ de katıldığı proje ile de akülere depolanmasını başarmıştır. Ekibin, bahsedilen çalışmayı kolaylıkla gerçekleştirme potansiyeline sahip olduğu akademik geçmişlerinden anlaşılabilir.

6. Uygulanabilirlik

Tasarımın hidroponik seralara entegrasyonu ile çeşitli faaliyetler sonucu oluşan atık sular tarımsal sulamada değerlendirilecek olup üretilen/depolanan biyoelektrik ile dışarıdan enerji sübvansiyonu olmadan sistemin sürdürülebilirliği sağlanacaktır. ESA’larda atık suları yüksek verimlilikte arıtılma potansiyeli mevcuttur. Dolayısıyla, çevre ile uyumlu şekilde atık suların değerlendirilmesi sonucunda sulama yapmak, filtrelerin ömrünü uzatmak mümkün olabilecektir. Geliştirilen proje, hidroponik sera kurarak gıda sektöründe yer edinmek isteyen girişimciler ve çiftçiler ile bünyesinde bitki yetiştiren kurum ve kuruluşlara atık sularını değerlendirme imkânı sunmaktadır. Ayrıca kurulum ölçeğinin büyümesi ile doğru orantılı şekilde üretilen ve depolanan biyoelektrik miktarı artacak, depolama süresi ise kısalmaktadır. Bu da üretilen biyoelektriğin peyzaj aydınlatması olarak kullanılması olasılığını beraberinde getirmektedir. Projenin laboratuvar ölçekli ön çalışmaları devam etmektedir. Ayrıca, boyutlandırmanın ve elektrot seçiminin opsiyonel olması kullanıcılar için büyük bir avantaj olarak görülmektedir. Projenin yarışmada dereceye girmesi halinde optimizasyon işlemlerinin tamamlanarak pilot ölçekte uygulayabilmek için kuruluşa başvuruda bulunulacak ve patent ya da faydalı model için gerekli başvurular da yapılacaktır.

7. Tahmini Maliyet ve Proje Zaman Planlaması

Tablo 1. Tahmini Maliyet Analizi

1	Hidroponik sistem için özel tasarlanmış düzenekler	2000,00 TL
2	ESA kurulum malzemeleri (depo, vana, rekor gibi)	1000,00 TL
3	Zeolit bazlı filtrasyon malzemesi (100 kg)	500,00 TL
4	Karbon keçe (8X30X20mm)	1000,00 TL
5	Titanyum kablo (0,8 mm)	750,00 TL
6	Yüzen ESA için kurulum malzemeleri (depo, vana, rekor gibi)	250,00 TL
7	Güç yönetim sistemi elemanları	500,00 TL
8	LED aydınlatmalar, sensörler ve aküler	1000,00 TL
9	ESA ve HESA kurulumda kullanılacak el aletleri (pens, boru anahtarı gibi)	500,00 TL
TOPLAM		7500,00 TL

Tablo 2. Proje Zaman Planlaması

İş Tanımı	Aylar (Hafta)		
	Haziran	Temmuz	Ağustos

	Kim(ler) Tarafından Gerçekleştirileceği	3	4	1	2	3	4	1
Malzeme Temini ve Harcamalar	ÇS	X	X	X	X	X	X	
Kullanılacak Bitkilerin Temini	ÇS	X						
ESA ve HESA'nın Tasarımı ile Oluşturulması	ÇS			X	X	X		
Sensörlerin sistemlere entegrasyonu	ÇS ve FS				X	X	X	
Sistem Optimizasyonu	ÇS ve FS					X	X	X
Test Süreci	ÇS ve FS					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; alanı ile TÜBİTAK 2211-C öncelikli alanlar doktora burs programı “Enerji Depolama Teknolojileri alanında destek almaktadır.

FS: Feyza SÖNMEZ (Eskişehir Teknik Üniversitesi Fizik Anabilim Dalı Katı hâl Fiziği Bilim Dalı Doktora Öğrencisi ve Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Mezun/YÖK 100/2000 öncelikli alanlar doktora burs programı Sensör Teknolojileri” alanı ile TÜBİTAK 2211-C öncelikli alanlar doktora burs programı” Mikro/Nano Elektro-Mekanik Sistemler” alanında desteklenmektedir.

İş Paketi 1. ESA'ların kurulum aşaması

ESA'larında kullanılacak malzemelerin temininin ardından ESA'lar kurulacaktır. Kurulum sonrası ön kültür ve kültür aşamaları ile ESA'lar verimli arıtım ve biyoelektrik üretim özelliği kazanacaktır. Üretilen elektriğe uygun güç yönetim sistemi tasarlanarak denemeler yapılacaktır.

İş Paketi 2. HESA'nın kurulum aşaması ve entegrasyonu

Malzemelerin temininin ardından prototip HESA'nın kurulumu sağlanacaktır. Aydınlatmaların ve sensörler entegrasyonu sonrasında denemelere yapılacaktır.

İki iş paketlerinin tamamlanmasının ardından tasarım çalışır durumda olacaktır.

8. Proje Fikrinin Hedef Kitle (Kullanıcılar):

Model tasarımının öncelikli hedef kitle Türkiye'de hidroponik sera kurarak gıda sektöründe yer edinmek isteyen girişimci ve çiftçiler ile bünyesinde bitki yetiştiren kurum ve kuruluşlardır. Dünyada ve ülkemizde küresel iklim değişikliği ve hızlı nüfus artışının etkisi ile gıda, enerji ve temiz su ihtiyacı her geçen gün artmaktadır. Buna ek olarak, pandeminin de etkisiyle organik tarıma olan ilgi de artış göstermektedir. Tasarımın boyutlarında gerçekleştirilecek değişiklikler ile istenilen ortama çevreyle uyumlu şekilde entegrasyonu sağlanarak kullanıcıların temiz organik gıdaya temiz su ve enerji harcamadan ulaşması mümkün olacaktır. Ayrıca atık sularının kaynak olarak değerlendirilmesi sonucunda döngüsel ekonomi modeli kapsamında temiz enerji ile temiz su konuları başta olmak üzere BM sürdürülebilir kalkınma hedeflerine katkı sağlanacaktır. Tasarım, kullanıcıların karbon ayak izlerinin

küçülerek BM'nin sürdürülebilir kalkınma hedeflerine katkı sağlamaları ve daha temiz bir gezegen için farkındalıklarını arttıracaktır. Geliştirilen tasarım ile tasarımı kullanan kurumlar maliyetlerini düşürebilecek ve yeşil teknolojinin kattığı değer ile farkındalık yaratmalarının yanında ekolojik ayak izlerini de küçülterek ekosisteme katkıda bulunacaklardır. Dahası model tasarımı, çevreye duyarlı, sıfır atık bilincinde olan, etkin atık ve enerji stratejisini kullanan kurumların AB Yeşil Mutabakatı açısından ayrıştırıcı özellik kazanmalarına olanak sağlayacaktır.

9. Riskler

Tablo 3. 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 HESA'dan biyoelektrik depolaması sırasında elektrik devresinde problem yaşanması. Olasılık: Çok Düşük; Etki Derecesi: Yüksek Risk	Problemlili devre tamir edilene kadar yenisi ile değiştirilecektir.
4	ESA ve HESA'dan biyoelektrik depolaması sırasında elektrik devresinde problem yaşanması. Olasılık: Düşük; Etki Derecesi: Yüksek Risk	LED lambalar ve sensörler 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]. Saz, Ç. (2017). Ekolojik yakıt hücresi entegre yapay sulak alan sistemlerinde bitkilerin biyoelektrik üretme ve atık su arıtma performanslarına etkisinin araştırılması (Order No. 28633323). Anadolu Üniversitesi, Yüksek lisans tezi (2564140382).

- [2]. Bonnedahl, K. J., Heikkurinen, P., & Paavola, J. (2022). Strongly sustainable development goals: Overcoming distances constraining responsible action. *Environmental Science & Policy*, 129, 150-158.
- [3]. Elavarasan, R. M., Pugazhendhi, R., Irfan, M., Mihet-Popa, L., Campana, P. E., & Khan, I. A. (2022). A novel Sustainable Development Goal 7 composite index as the paradigm for energy sustainability assessment: A case study from Europe. *Applied Energy*, 307, 118173.
- [4]. Elavarasan, R. M., Pugazhendhi, R., Jamal, T., Dyduch, J., Arif, M. T., Kumar, N. M., Shafiullah, G. M., Chopra, S. S., & Nadarajah, M. (2021). Envisioning the UN Sustainable Development Goals (SDGs) through the lens of energy sustainability (SDG 7) in the post-COVID-19 world. *Applied Energy*, 292, 116665.
- [5]. Afkhami, P., & Zarrinpoor, N. (2022). The energy-water-food-waste-land nexus in a GIS-based biofuel supply chain design: A case study in Fars province, Iran. *Journal of Cleaner Production*, 340, 130690.
- [6]. Lazaro, L. L. B., Giatti, L. L., Bermann, C., Giarolla, A., & Ometto, J. (2021). Policy and governance dynamics in the water-energy-food-land nexus of biofuels: Proposing a qualitative analysis model. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 149, 111384.
- [7]. Li, M., Li, H., Fu, Q., Liu, D., Yu, L., & Li, T. (2021). Approach for optimizing the water-land-food-energy nexus in agroforestry systems under climate change. *Agricultural Systems*, 192, 103201.
- [8]. You, C., Han, S., & Kim, J. (2021). Integrative design of the optimal biorefinery and bioethanol supply chain under the water-energy-food-land (WEFL) nexus framework. *Energy*, 228, 120574.
- [9]. Gholipour, A., Zahabi, H., Stefanakis, A.I. (2020). A novel pilot and full-scale constructed wetland study for glass industry wastewater treatment. *Chemosphere*, 247, 125966.
- [10]. Xu, J.-Y., Xu, H., Yang, X.-L., Singh, R. P., Li, T., Wu, Y., & Song, H.-L. (2021). Simultaneous bioelectricity generation and pollutants removal of sediment microbial fuel cell combined with submerged macrophyte. *International Journal Of Hydrogen Energy*, 46(20, SI), 11378-11388.
- [11]. Gupta, S., Srivastava, P., Patil, S. A., & Yadav, A. K. (2021). A comprehensive review on emerging constructed wetland coupled microbial fuel cell technology: Potential applications and challenges. *Bioresource Technology*, 320(B).
- [12]. Dell'Osbel, N., Colares, G. S., Oliveira, G. A., Rodrigues, L. R., Silva, F. P. da, Rodriguez, A. L., López, D. A. R., Lutterbeck, C. A., Silveira, E. O., Kist, L. T., & Machado, Ê. L. (2020). Hybrid constructed wetlands for the treatment of urban wastewaters: Increased nutrient removal and landscape potential. *Ecological Engineering*, 158, 106072.
- [13]. Vymazal, J. (2007). Removal of nutrients in various types of constructed wetlands. *Science of The Total Environment*, 380(1), 48-65.

- [14]. Vymazal, J. (2019). *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment*☆. İçinde B. Fath (Ed.), *Encyclopedia of Ecology (Second Edition)* (Second Edition, ss. 14-21). Elsevier.
- [15]. Kaushal, J., & Mahajan, P. (2021). Design and evaluation of hydroponic system for tertiary treatment of STP wastewater: An eco friendly approach. *Materials Today: Proceedings*, 45, 4914-4918.
- [16]. Bonnedahl, K. J., Heikkurinen, P., & Paavola, J. (2022). Strongly sustainable development goals: Overcoming distances constraining responsible action. *Environmental Science & Policy*, 129, 150-158.
- [17]. Fang, Z., Song, H., Yu, R., & Li, X. (2016). A microbial fuel cell-coupled constructed wetland promotes degradation of azo dye decolorization products. *Ecological*
- [18]. Liu, S., Feng, X., Xue, H., Qiu, D., Huang, Z., & Wang, N. (2021). Bioenergy generation and nitrogen removal in a novel ecological-microbial fuel cell. *Chemosphere*, 278.
- [19]. Yang, X.-L., Li, T., Xia, Y.-G., Singh, R. P., Song, H.-L., Zhang, H., & Wang, Y.-W. (2021). Microbial fuel cell coupled ecological floating bed for enhancing bioelectricity generation and nitrogen removal. *International Journal of Hydrogen Energy*, 46(20), 11433-11444.
- [20]. Sulukan, E., Sağlam, M., & Uyar, T. S. (2017). *Energy–Economy–Ecology–Engineering (4E) Integrated Approach for GHG Inventories*. İçinde S. Erşahin, S. Kapur, E. Akça, A. Namlı, & H. E. Erdoğan (Ed.), *Carbon Management, Technologies, and Trends in Mediterranean Ecosystems* (ss. 79-88). Springer International Publishing.
- [21]. <https://www.hortiturkey.com/yazilar/hidroponik-tarimda-bitki-yetisriciligi-rehberi>
- [22]. Kaushal, J., & Mahajan, P. (2021). Design and evaluation of hydroponic system for tertiary treatment of STP wastewater: An eco friendly approach. *Materials Today: Proceedings*, 45, 4914-4918.
- [23]. WWF (2020). R.E.A. Almond, M. Grooten, T. Petersen (Eds.), *Living Planet Report 2020. Bending the Curve of Biodiversity Loss*, WWF: Gland, Switzerland (2020)
- [24]. Zhu, Y., Zhang, C., Fang, J., & Miao, Y. (2022). Paths and strategies for a resilient megacity based on the water-energy-food nexus. *Sustainable Cities and Society*, 82, 103892
- [25]. Cansino-Loeza, B., Munguía-López, A. del C., & Ponce-Ortega, J. M. (2022). A water-energy-food security nexus framework based on optimal resource allocation. *Environmental Science & Policy*, 133, 1-16.
- [26]. <https://www.france24.com/en/environment/20220404-emissions-must-peak-before-2025-for-liveable-future-un-report-says>
- [27]. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000375724>
- [28]. <https://acikders.ankara.edu.tr/mod/resource/view.php?id=32036>

- [29]. UNWAP (United Nations World Water Assessment Programme) (2017). The United Nations World Water Development Report 2017. Wastewater: The Untapped Resource. Paris.
- [30]. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Nufus-Projeksiyonlari-2018-2080-30567>
- [31]. http://www.mneproje.com/public/website/news/aritma-tesislerinin-enerji-verimlili-isletilmesi_20200607101337.pdf
- [32]. Türkmenler, H. (2017). Atık Su Arıtma Tesislerinde Enerji Verimliliği. *Politeknik Dergisi*, 20 (2): 495-502
- [33]. Zhu, Y., Zhang, C., Fang, J., & Miao, Y. (2022). Paths and strategies for a resilient megacity based on the water-energy-food nexus. *Sustainable Cities and Society*, 82, 103892
- [34]. Cansino-Loeza, B., Munguía-López, A. del C., & Ponce-Ortega, J. M. (2022). A water-energy-food security nexus framework based on optimal resource allocation. *Environmental Science & Policy*, 133, 1-16.
- [35]. Yakar, A., Türe, C., Türker, O.C., Vymazal, J., Saz, Ç. (2018). Impacts of various filtration media on wastewater treatment and bioelectric production in up-flow constructed wetland combined with microbial fuel cell (UCW-MFC). *Ecological Engineering*, 117, 120-132.
- [36]. 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.
- [37]. “Elektro-Sulak Alan Model Tasarımı ile Atık Sulardan Seraların Yenilenebilir Enerji ve Temiz Su İhtiyaçlarının Karşılanması.” (2021, Teknofest, Çevre ve Enerji Teknolojileri, ESTÜ-Greencycle Takımı)
- [38]. https://www.cevko.org.tr/index.php?option=com_content&view=article&id=1055:cevko-vakfi-yesil-nokta-ogrenci-ve-basin-odulleri-sahiplerini-buldu&catid=11&Itemid=131&lang=tr
- [39]. <https://www.aa.com.tr/tr/cevre/aritilan-atik-sudan-sera-icin-elektrik-ureten-sistem-gelistirildi/2499755>
- [40]. <https://voturkey.com/greencycle-project-which-produces-electricity-with-power-of-waste-water-reached-the-finals-at-teknofest/>