

TEKNOFEST
HAVACILIK, UZAY VE TEKNOLOJİ
FESTİVALİ
ÇEVRE VE ENERJİ TEKNOLOJİLERİ
YARIŞMASI
PROJE DETAY RAPORU

PROJE ADI: Güneş Enerjisi İle Çalışan Elektroflotokoagülasyon Prosesi İle Toplu Konutlardan Kaynaklanan Evsel Gri Suyun Arıtımı Ve Geri Kazanımı

TAKIM ADI: DÜ-ÇEVRE

TAKIM ID: T3-25044-162

TAKIM SEVİYESİ: Üniversite

DANIŞMAN ADI: Prof. Dr. Anatoli DİMOGLO

1. Proje Özeti (Proje Tanımı)

Toplu konutlar, günümüzde şehirlerin barınma ihtiyacını karşılamak için inşa edilen ve birden fazla konuttan oluşan yerleşim alanlarıdır. Bu yerleşim alanlarında ülkemizdeki ortalama yıllık içme ve kullanım suyu tüketimi her bir hane için 316 m³ tür. Kullanım sonrası ortaya çıkan evsel atık sular ise mevcut sistemde toplu olarak kanalizasyon sistemine deşarj edilmektedir. Ancak toplu olarak kanalizasyona deşarj edilen bu suların büyük bir kısmı gri su sınıfına girmektedir. Tasarladığımız proje kapsamında evlerde banyo, mutfak ve yıkama makineleri gibi alanlarda kullanım sonrası oluşan atık suyun yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanılarak ileri arıtma teknikleri ile arıtımı ve geri kazanımı sağlanacaktır. Bu proje sayesinde geri kazanım potansiyeli yüksek olan bu atık sular doğrudan kanalizasyon sistemine deşarj edilmesi yerine geliştirilen ileri arıtma teknikleri ile rezervuar sistemlerinde, bahçe sulamada, yangın söndürme sistemlerinde, araç ve bina temizliğinde tekrar kullanılacaktır. Proje tamamen yerli ve milli malzemeler kullanılarak tasarlanacak ve sistem için gerekli olan enerji güneş panelleri sayesinde yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilecektir. Arıtma işleminde ileri arıtma tekniklerinden Elektrotokogülasyon (EFK) yöntemi kullanılacaktır. Atık sudaki askıda katı madde yükünü azaltmak için arıtma işlemi öncesi yüksek verimli ve düşük maliyetli kum filtre kullanılacaktır. Bu sayede arıtma prosesinde KOİ, BOİ, renk, koku, bulanıklık giderimine ilave olarak askıda katı madde giderimi de sağlanacaktır. Projenin tasarım alanı, oluşan atık su yüküne ve inşa edilen konut sayısına bağlı olarak değişkenlik gösterecektir. Ancak mevcut diğer arıtım sistemleri ile karşılaştırıldığında tasarım alanı oldukça küçük ve proses maliyetini ortalama 5,5 yılda geri kazandıran bir sistemdir. Bu kapsamda gerçekleştirilecek olan proje sayesinde işletimi kolay, bakım ve sistem maliyeti düşük, yenilikçi, sıfır atık düşünce sistemine uygun yerli ve milli bir arıtım sistemi elde edilecektir.

2. Problem/Sorun:

Arıtımı sağlandıktan sonra tekrar kullanılabilir potansiyelde olan gri sular, mevcut sistemde doğrudan kanalizasyon sistemine deşarj edilmektedir. Bu durum su kaynaklarının giderek azalmasına ve atık su arıtma tesislerindeki kirletici yükünün artmasına sebep olmaktadır. Mevcut arıtma tesislerinde farklı proses ve yöntemler kullanılmaktadır. Ancak çoğu proses kimyasal madde kullanımı ile arıtım ve dezenfeksiyon mantığı ile gerçekleştirilmektedir. Bu mantığa dayalı arıtma tesislerinde ve diğer prosesleri kullanan arıtma tesislerinde enerji ihtiyacı, kurulum ve işletme maliyeti de yüksektir. Mevcut sistemdeki arıtma tesislerine tasarladığımız projenin sağladığı; atık sulardaki kirletici yükünü azaltmak faydalı olacaktır. Bu sayede arıtma proseslerinde kimyasal madde kullanımı, işletme maliyeti ve enerji ihtiyacı büyük oranda azaltılacaktır.

3. Çözüm

Mevcut su kaynaklarının konutlarda banyo, mutfak ve yıkama makineleri gibi alanlarda kullanıldıktan sonra oluşan gri suyun arıtımı ve geri kazanımı sağlanacaktır. Bu arıtma işlemi atık suyun kaynağı olan konutların, tasarım aşamasına dahil edilerek proje alanında yapılacaktır. Bu sayede atıksu, kaynağında ayrılarak hem ilave ayırma prosesine ihtiyaç

ortadan kalkacak hem de işletme maliyeti düşürülecektir. Ancak bu arıtım tesisi koku, gürültü kirliliği ve yüksek alan hacimleri gibi problemlere yol açmamalıdır. Bu bağlamda geliştirilen hibrit Elektroflotokoagülasyon (EFK) yöntemi ile arıtımı daha yenilikçi ve verimli bir seçenek olacaktır. EFK yöntemi, elektrokoagülasyon (EK) ve elektroflotasyon (EF) yöntemlerinin birleştirilerek kullanılan hibrit bir sistemdir. EK, alüminyum ya da demir elektrotlar kullanılarak alüminyum ya da demir iyonlarının elektriksel olarak çözünmesiyle koagülant üretimini içeren bir prosestir. EF yöntemi ise katotta oluşan H_2 gazı ve anot bölgesinde oluşan O_2 gazı ile meydana gelen kabarcıklar yardımıyla kirleticilerin suyun yüzeyinde toplanmasını sağlayan bir prosestir. Bu sayede arıtma işlemi yapılırken çevre ve insan sağlığını korumak amacıyla kimyasal madde kullanılmamaktadır. EFK yöntemi için gerekli olan elektrik ihtiyacı güneş panellerinden sağlanacaktır. Geliştirilen hibrit EFK yöntemi ile arıtımı sağlanan sular rezervuar sistemlerinde, bahçe sulamada, yangın söndürme sistemlerinde, araç ve bina temizliğinde tekrar kullanılacaktır. Bu bağlamda geliştirilen bu sistem ile yıllar içerisinde maddi açıdan kar sağlanacak ve çevresel açıdan doğal su kaynakları korunmuş olacaktır. EFK prototip fotoğrafı Şekil.2 ile Ek-1’de gösterilmiştir.

4. Yöntem

Geliştirilen projede hibrit elektroflotasyonkoagülasyon yöntemi tercih edilmiştir. Bu yöntemde kimyasal reaktiflere ve çözeltilere gerek duyulmaz, arıtım doğrudan su arıtma yöntemlerinin ekolojik güvenliğini de sağlayan elektrokimyasal reaktörde gerçekleştirilmektedir. Elektrokimyasal yöntemlerde “Faraday Kanunu” esas alınmaktadır. Yöntemin ilk aşamasında evlerde banyo, mutfak ve yıkama makineleri gibi alanlarda kullanım sonrası oluşan atık su, çöktürme tankında toplanacaktır. Bu sayede atık su içerisindeki katı maddelerin bir kısmının çökmesi sağlanacaktır. Daha sonra atık su, içerisindeki atık yağı ayırmak amacıyla yağ ayırma sistemine iletilir. Burada yoğunluk farkından yararlanarak su içerisindeki atık yağ kolay bir şekilde ayrılmış olur. Atık su elektroflotokoagülasyon prosesine iletilmeden önce kum filtresinden geçirilir. Kum filtresi atık su içerisinde kalan askıda katı maddelerin gideriminde etkili olacaktır. Kum filtresinden geçen su hibrit elektroflotokoagülasyon prosesine iletilir. Proses elektrokoagülasyon ve elektroflotasyon olmak üzere iki aşamadan oluşmaktadır. Proses ve sistemin enerji ihtiyacı Fotovoltaik güneş pillerinden sağlanmaktadır. Sistem tasarımı Şekil.1 ile Ek-1’de gösterilmiştir.

Prosesin elektrokoagülasyon bölümünde yaygın olarak alüminyum ve demir elektrotlar tercih edilmektedir. Metal anot ve katot elektrotlar ile atık suya elektrik akımı verilerek anottan çözünen metal iyonları (Al^{3+} , Fe^{2+} ve Fe^{3+} vb) ve ortamda bulunan yüklü iyonlar (OH^-) bir araya gelerek $Al(OH)_3$, $Fe(OH)_2$ ve $Fe(OH)_3$ gibi metal hidroksit floklarını oluşturmaktadır. Anot elektrotlarda yükseltgenme, katotlarda ise indirgenme meydana gelmektedir. Elektrokoagülasyon anında oluşan metal hidroksitler oldukça yüksek adsorbsiyon özelliklerine sahiptir ve mikrokirleticileri adsorbe etmektedir. Elektrokoagülasyon ünitesinde iki elektrot arasında gerçekleşen reaksiyonlar Şekil.3 ile Ek-1’de gösterilmiştir. Suda klor bulunması halinde hipokloröz asit oluşur. Bu asit, $HOCl$ formülüne sahip bir zayıf asittir ve mikroorganizmalar üzerine parçalayıcı etki oluşturmaktadır. Bu sayede atık suda

dezenfeksiyon işlemi sağlanmış olur. Alüminyum ve demir elektrot kullanıldığında meydana gelen reaksiyonlar aşağıda sıralanmıştır.

Tablo 1. Elektrokoagülasyon yönteminde Al ve Fe elektrot kullanıldığında meydana gelen reaksiyonlar.

Al Elektrot (Elektrokoagülasyon)	Fe Elektrot (Elektrokoagülasyon)
Anot: $Al_{(s)} \rightarrow Al_{(aq)}^{3+} + 3e^{-}$	Anot: $Fe_{(s)} \rightarrow Fe_{(aq)}^{2+} + 2e^{-}$
Katot: $3H_2O + 3e^{-} \rightarrow 3/2H_{2(g)} + 3OH^{-}$	Katot: $2H_2O + 2e^{-} \rightarrow H_{2(g)} + 2OH_{(aq)}^{-}$
Toplam: $Al_{(aq)}^{3+} + 3H_2O \rightarrow Al(OH)_3 + 3H^{+}$	Toplam: $Fe_{(aq)}^{2+} + 2H_2O \rightarrow Fe(OH)_{2(s)} + H_{2(g)}$
Suda Klor varsa;	
Anot: $2Cl^{-} - 2e^{-} = Cl_{2(g)}$	$Fe(OH)_2 + HOCl = Fe(OH)_3 + Cl^{-}$
$Cl_{2(g)} + H_2O = HOCl + H^{+} + Cl^{-}$	

Elektroflotasyon bölümünde ortama dayanıklı ve çözünmeyen Ti/Ru, Ti/Sn ve çelik gibi inert metal veya metal alaşımlardan yapılmış elektrotlar tercih edilmektedir. Bu yöntem, elektrotlardan açığa çıkan gaz kabarcıkları ile kirleticileri adsorbe ederek, arıtılan su yüzeyine çıkarılması işlemine dayanır. Elektroflotasyon yönteminde katotta hidrojen gazı ($H_{2(g)}$) ve anotta oksijen gazı ($O_{2(g)}$) meydana gelmektedir. Yüzeyde flok olarak toplanan askıda katı maddeler böylece sudan uzaklaştırılmış olur. Açığa çıkan gazların oluşum reaksiyonları aşağıdaki gibidir.

Tablo 2. Elektroflotasyon yönteminde Al ve Fe elektrot kullanıldığında meydana gelen reaksiyonlar.

Al-Fe Elektrot (Elektroflotasyon)
Anot: $2H_2O \rightarrow O_{2(g)} \uparrow + 4H^{+} + 4e^{-}$
Katot: $4H^{+} + 4e^{-} \rightarrow 2H_{2(g)} \uparrow$

Arıtma işleminden sonra prosesten çıkan temiz su içerisindeki floklardan tamamen ayrılması için tekrar kum filtresinden geçirilerek temiz su toplama tankına iletilecektir. Buradan temiz su tekrar kullanılacağı alanlara iletilecektir. Bu sayede yenilenebilir enerji kaynakları ile kimyasal kullanmadan atık suyun tekrar kullanımı sağlanacaktır.

5. Yenilikçi (İnovatif) Yönu

Bu proje çalışmasında literatürde ilk defa bu çalışmaya özgün olarak toplu konutlarda oluşan gri suyun Elektroflotokoagülasyon yöntemi kullanılarak arıtımı ve geri kazanımı sağlanacaktır. Mevcut diğer arıtma sistemlerinde genellikle sadece atık suyun arıtımına yönelik prosesler uygulanmaktadır. Sistem için gerekli olan enerji ise yenilenebilir enerji kaynaklarından kullanılmamaktadır. Bu sistemlerin istenilen verime ulaşabilmesi için ise genellikle proseslerde kimyasal madde kullanımına yer verilir. Bu sistemlerin en önemli sorunlarından biri ise arıtma prosesinden çıkan çökeltinin (arıtma çamuru) fazla olmasıdır. Ancak geliştirilen proje çalışmasında konutlardan çıkan atık suyun KOİ, BOİ, renk, koku, bulanıklık ve askıda katı madde gibi giderimleri yapılarak suyun tekrar kullanılması sağlanacaktır. Sistem için gerekli olan enerji ihtiyacı ise mevcut sistemlerdekinden aksine güneş panellerinden sağlanacaktır. Bu sayede Fotovoltaik (güneş pilleri) doğrudan elektrik üreten sistemleri kullanarak su arıtımında yeni bir ilerleme kaydedilecektir. Arıtım sırasında

ise çamur oluşturmeyen ve kimyasal madde kullanılmayan bir proses uygulanacaktır. Bu projenin sonucunda; yüksek verimli, uygulanabilirliği kolay, yenilikçi, düşük maliyetli, yerli ve milli bir arıtım yöntemi elde edilecektir.

6. Uygulanabilirlik

Geliştirilen proje, toplu olarak inşa edilen konutların tasarımı ve inşa sürecine entegre edilerek geri kazanılabilir gri suyun mevcut sistemden ayrılması ile gerçekleştirilecektir. Gri suyun toplanabilmesi için bina gider sistemi iki hat şeklinde tasarlanacaktır. Tuvalet gibi alanlardan gelen sular kanalizasyon sistemine; banyo, mutfak ve yıkama makineleri gibi alanlardan gelen gri sular ise bir toplama tankına aktarılacaktır. Ancak mevcut arıtma tesislerinin de en büyük sorunu olan atık yağların mutfak lavabolarına dökülmesi projede kullanılan sisteme de zarar verebilir. Bu nedenle toplama tankı girişinde mutfak lavabosundan kaynaklanan atık yağlar ayırıcı bir düzenekten geçirilecektir. Daha sonra toplanan gri sular arıtılması için hibrit elektroflotokoagülasyon sistemine iletilecektir. Bu sistemin çalışabilmesi için gerekli olan enerji ihtiyacı doğrudan elektrik üreten fotovoltaiik (güneş pilleri) sistemler ile sağlanacaktır. Hibrit elektroflotokoagülasyon sisteminde arıtılan gri sular temiz su toplama tankında toplanarak rezervuar sistemleri, bahçe sulama sistemleri, yangın söndürme sistemleri, araç ve bina temizliği için kullanılacaktır. Bu sayede kendi kendine geri dönüşümünü sağlayabilen ve yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanan çevre dostu toplu yaşam alanları inşa edilecektir. Geliştirilen projede tasarlanan arıtma sistemi, paket arıtım olarak ticari bir ürüne dönüştürülebilir. Gerekli düzenlemeler ve değişiklikler yapılması durumunda endüstriyel birçok alanda dahi kullanılabilir.

7. Tahmini Maliyet ve Proje Zaman Planlaması

Tablo 3. Proje zaman planlanması.

İş Tanımı	AYLAR									
	Temmuz				Ağustos				Eylül	
	1. Hafta	2. Hafta	3. Hafta	4. Hafta	1. Hafta	2. Hafta	3. Hafta	4. Hafta	1. Hafta	2. Hafta
Malzeme Temini ve Harcamalar	X	X	X							
Suyun Karakterizasyonu		X	X	X						
Sistem Tasarımı ve Üretimi			X	X	X					
Sistem Optimizasyonu				X	X	X	X	X		
Test Süreci				X	X	X	X	X	X	X
No	Malzeme Listesi	Tahmini Fiyat		Harcamalar		Harcama Dönemi				
1	Fotovoltaiik Güneş Paneli	3500 TL				Temmuz				
2	DC Güç Kaynağı	4000 TL				1. Hafta	2. Hafta	3. Hafta		
3	Dozaj Pompası	4000 TL				X	X			
4	Hidrofor (6 adet)	1800 TL					X	X		
5	Kum Filtresi (2 adet)	2000 TL								
6	Atık Yağ Ayırıcı	2000 TL								
7	Atık Su Depolama Tankı	800 TL								
				Malzeme Alımı		X	X			
				Hizmet Alımı			X	X		

8	Temiz Su Depolama Tankı	800 TL
9	Elektroflotokoagülasyon Reaktörü	3000 TL
10	Sarf Malzemeler (Kablo, Boru vb.)	1000 TL
11	Elektrot (Demir, Alüminyum)	2000 TL
		24900 TL

8. Proje Fikrinin Hedef Kitle (Kullanıcılar):

Geliştirilen proje doğrudan halka hitap etmektedir. Çünkü proje kapsamında insanların barınma ihtiyaçlarını karşıladıkları konut bölgelerinde atık suyun arıtımı ve geri kazanımı hedeflenmektedir. Bu sebeple proje yenilikçi ve proaktif yaklaşım benimseyen inşaat firmaları tarafından kullanılabilir. Azalan su kaynakları, çevre ve insan sağlığının önemi halkın bu teknolojilere sahip konut bölgelerinde yaşamlarını sürdürmesini gerektirmektedir.

9. Riskler

Tablo 4. Risk planlaması ve olası problemlere yönelik çözüm önerileri.

No	En Önemli Risk	Alternatif Plan
1	Kum Filtresi ile Ön Arıtım: İstenilen düzeyde askıda katı madde giderimin olmaması. Olasılık: Düşük Etki: Yüksek Risk Derecesi: Orta	Kullanılan filtre malzemesi değiştirilebilir, kumun tane çapı tekrar belirlenebilir veya kum filtresi yeniden boyutlandırılabilir.
2	Hibrid Elektroflotokoagülasyon Prosesi ile Arıtım: Giderim verimlerinin istenilen düzeyde sağlanamaması. Olasılık: Düşük Etki: Çok yüksek Risk Derecesi: Orta	İşletme parametrelerinden akış hızı ve akım yoğunluğu değiştirilebilir ve değişken aralıkları yeniden belirlenebilir.
3	Alüminyum elektrotların çözünme miktarının düşük olmasıyla yeteri düzeyde arıtımın sağlanamaması. Olasılık: Düşük Etki: Yüksek Risk Derecesi: Orta	Alüminyum elektrotların saflık ve kalınlık gibi özellikleri değiştirilebilir. Sisteme verilen akım yoğunluğu artırılarak çözünme oranında artış sağlanabilir.
4	Kirliliklerin yüzdürme yöntemiyle yeteri kadar uzaklaştırılamaması sonucunda suda askıda katı madde kalması. Olasılık: Düşük Etki: Düşük Risk Derecesi: Düşük	Flotasyon prosesinde oluşan gaz miktarı artırılarak flokların su yüzeyine toplanması sağlanabilir. Flotasyon için kullanılan elektrotun cinsi veya gözenek çapları değiştirilebilir.
5	Fotovoltaik güneş pillerinin depolama kapasitesinin sistem için gerekli enerjiyi sağlayamaması. Olasılık: Orta Etki: Çok Yüksek Risk Derecesi: Yüksek	İhtiyaca uygun yüksek kapasiteli güneş pilleri tercih edilebilir.

6	Arıtma sistemine yüksek miktarda atık yağ girişi olması. Olasılık: Orta Etki: Yüksek Risk Derecesi: Orta	Atık yağ ayırma tankı gelen su debisine ve yağ oranına göre tasarımında değişiklikler yapılarak proses için gerekli iyileştirmeler sağlanabilir.
---	---	--

Tablo 5. Risk matrisi.

Olasılık		Etki				
		Çok Düşük	Düşük	Orta	Yüksek	Çok Yüksek
Çok Yüksek	Düşük Risk	Orta Risk	Yüksek Risk	Yüksek Risk	Çok Yüksek Risk	
Yüksek	Düşük Risk	Orta Risk	Orta Risk	Yüksek Risk	Yüksek Risk	
Orta	Düşük Risk	Düşük Risk	Orta Risk	Orta Risk	Yüksek Risk	
Düşük	Düşük Risk	Düşük Risk	Düşük Risk	Orta Risk	Orta Risk	
Çok Düşük	Çok Düşük Risk	Düşük Risk	Düşük Risk	Düşük Risk	Düşük Risk	

10. Proje Ekibi

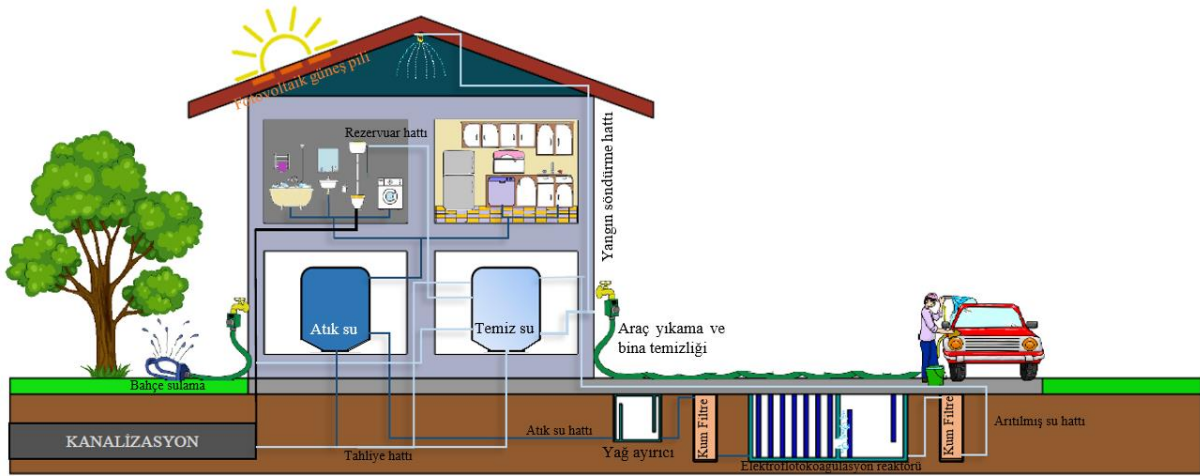
Takım Lideri: Hakkı ERDOĞAN

Adı Soyadı	Projedeki Görevi	Okul	Projeyle veya problemle ilgili tecrübesi
Hakkı ERDOĞAN	Modelleme ve Projelendirme	Düzce Üniversitesi /Kompozit ve Malzeme Teknolojileri YL	İleri arıtma yöntemleri ile ilgili çalışma ve projelerde görev almıştır. Yöntem ile ilgili bir uluslararası yayını bulunmaktadır. Lisans eğitimini Çevre Mühendisliği alanında tamamlamıştır. Benzer projelerde sistem modellemesi ve optimizasyonu konusunda çalışmıştır.
Kübra GÖKMEN	Analiz Süreci ve Sistem Tasarımı	Düzce Üniversitesi /Kimya Ana Bilim Dalı YL (mezun)	İleri arıtma yöntemleri ile ilgili çalışma ve projelerde görev almıştır. Yöntem ile ilgili bir uluslararası yayını bulunmaktadır. Yüksek lisans tez çalışmasını ileri arıtma yöntemleri konusunda tamamlamıştır.

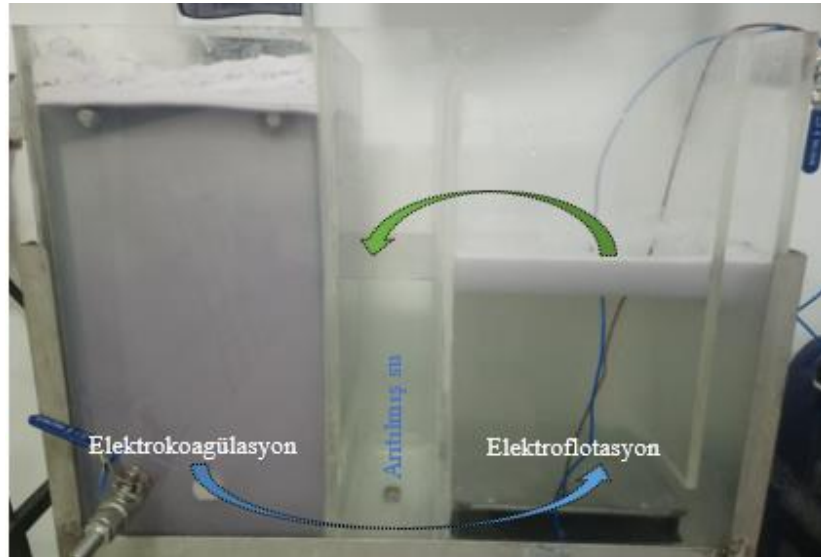
11. Kaynaklar

1. Dimoglo, P. Sevim-Elibol, Ö. Dinç, K. Gökmen, and H. Erdoğan, "Electrocoagulation/electroflotation as a combined process for the laundry wastewater purification and reuse," J. Water Process Eng., c. 31, ss. 1–8, 2019.
2. C. J. Lin, S. L. Lo, C. Y. Kuo, and C. H. Wu, "Pilot-scale electrocoagulation with bipolar aluminum electrodes for on-site domestic greywater reuse," J. Environ. Eng., vol. 131, no. 3, pp. 491–495, 2005.
3. E. Nolde, "Erratum to 'Greywater reuse systems for toilet flushing in multi-storey buildings – over ten years experience in Berlin' [Urban Water 1 (1999) 275–284]," Urban Water, vol. 2, no. 3, p. 260, 2000.

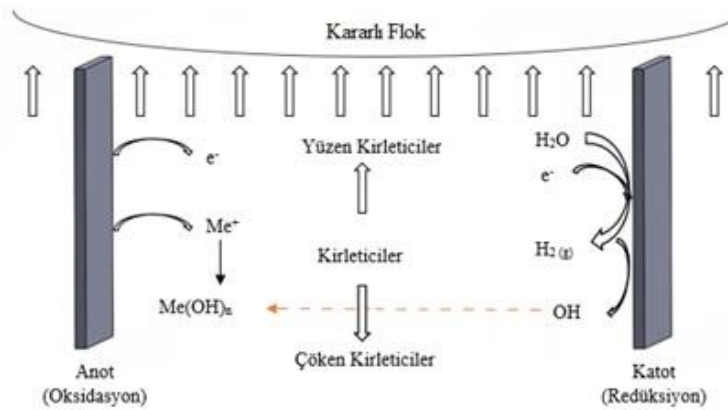
Ek-1 Görseller



Şekil 1. Sistem tasarımı.



Şekil 2. Ön denemelerin yapıldığı elektroflotokoagülasyon prosesi.



Şekil 3. Elektrokoagülasyon ünitesinde gerçekleşen reaksiyonlar.