

TEKNOFEST

HAVACILIK, UZAY VE TEKNOLOJİ FESTİVALİ

ÇEVRE VE ENERJİ TEKNOLOJİLERİ YARIŞMASI PROJE DETAY RAPORU

TAKIM ADI: HİDRO AKTİF

PROJE ADI: HİDROTERMAL YÖNTEMLE ÜRETİLEN AKTİF
KARBONLA SUDAN AĞIR METAL GİDERİMİ

BAŞVURU ID: 52153

1. Proje Özeti (Proje Tanımı)

Projemiz aktif karbondan oluşturulan filtrelerden ağır metal içeren atık suların geçirilerek, ağır metal giderilmesini konu almaktadır. Proje çalışması üç aşamalıdır. Bu aşamalardan birincisi; aktif karbon üretimidir. İkincisi; üretilen aktif karbonun literatüre uygun ağır metal giderilmesinde kullanılmasıdır. Üçüncüsü ise; en iyi şartlar göz önünde bulundurularak aktif karbondan üretilecek filtrenin arıtma tesislerinde kullanılması durumunda olası etkilerinin ölçülmesidir. Uygulamaya yönelik ağır metal giderim işlemleri 3D yazıcıyla üretilecek prototip aracılığıyla belirlenecektir. Bu aşamalardan ilk ikisi tamamlanmış olup, son aşama olan 3D yazıcı aracılığıyla üretilecek prototip filtre yapısı ve bu filtrenin kontrollü kirletmeye tabi tutulan ağır metal giderimi analiz işlemleri bilahare yapılacaktır.

Proje çalışması kapsamında aktif karbon etkinliğini arttırmak üzere dünyada yeni uygulanmaya başlanan hidrotermal ön işlemle aktif karbon üretimi sağlanmıştır. Aktif karbon, en iyi etkiyi göstermek üzere ASTM Standartlarına göre iyot sayısına bakılarak aşamalı olarak üretilmiştir. Bu işlemler sonucunda en iyi aktif karbon üretim şartları belirlenmiştir. Bu şartlar 6 saat 180 ° C altında otoklavda hidroçara dönüştürülen organik atığın (MDF Tozu); 24 saat aktifleştirme süresi, %70 aktifleştirici (NaOH), 45 dakika fırında bekleme süresi ve 700 ° C fırın sıcaklığı şeklindedir. Azot atmosferinde gerçekleştirilen bu işlemler sonucunda iyot sayısı 929 mg/g olarak belirlenmiştir.

Literatüre uygun bir şekilde atomik absorpsiyon spektroskopisi (AAS700) kullanılarak üretilen aktif karbon ile yapılan krom (Cr) ağır metali giderme işlemleri için en iyi şartlar belirlenmiştir. Bu şartlar; pH 3, tepkime kinetiği Freundlich izotermine göre yalancı 2. dereceden, Langmuir izotermine göre hesaplanan maksimum adsorpsiyon kapasitesi ise (q_{max}) 129 mg/gram' dır.

Projenin son aşamasında ise görsellerde görüldüğü gibi tüm sistemlere entegre edilme özelliğine sahip aktif karbondan oluşturulan filtreden, atık suların geçirilmesi aşamasıdır. Bu aşamada filtre çapı sabit kalmak koşulu ile filtre kalınlığı, atık su ağır metal kirlilik oranı, filtrenin tekrarlı kullanım parametrelerine bakılacaktır. Bu işlemlerde her seferinde tüm parametreler sabit kalmak koşulu ile bir parametre değiştirilerek ölçüm yapılacaktır. Ölçme işlemi temin edilecek EC Meter aracılığıyla kontrollü kirletilen suların iyon derişimlerine bakılarak yapılacaktır. İyon derişimleri belirleme işlemleri sonucunda kontrollü kirletmeye tabi tutulan atık suyun filtreden geçirilmesiyle aktif karbonlu filtrenin ağır metal giderim yüzdesi ve kullanım ömrü parametreleri için ortalama bir değerin belirlenmesi sağlanacaktır.

Mevcut durumda genel bir kullanım göstermeyen aktif karbonlu arıtım işlemlerinin, projenin uygulanmasıyla birlikte bundan sonraki arıtım işlemlerine ışık tutması beklenmektedir.

2. Problem/Sorun:

Günümüzde karşılaştığımız ciddi sorunların başında endüstriyel ve evsel kaynaklı atıkların oluşturduğu çevre kirliliği gelmektedir. Çevre kirliliğine sebep olan maddeler farklı özellikler gösterebilmektedir. Genel olarak ağır metal ve boyar madde olarak sınıflandırılan bu kirleticiler teknolojinin gelişmesine paralel olarak farklı şekillerde etkisini gösterebilmektedir. Toprak, hava ve su kirliliğine sebep olan bu kirleticilerin bertaraf edilmesi konuyla ilgili araştırmacıların en çok araştırdığı sorunların başında gelmektedir. Bu kirleticilerin sorun teşkil ettiği en önemli alan canlı yaşamını doğrudan ve çok hızlı bir şekilde etkileyen su kirliliğidir.

Su kirliliğine sebep olan kirleticilerin başında endüstriyel atık suları gelmektedir. Bu atık sular yüksek oranlarda ağır metal iyonları içermektedir. Bu ağır metal kirleticilerin başında; arsenik, kurşun, civa, krom, nikel, kadmiyum, bakır, demir, çinko gelmektedir. Bu ağır metal kirleticiler, toksik özelliklerinden kaynaklı canlılarda ciddi hastalıklara ve ölümlere neden olmaktadır.

Ağır metallerin giderilmesi için farklı prosesler kullanılmaktadır. Bu proseslerde genellikle kimyasal çökeltme yöntemiyle ağır metaller, arzu edilen düzeye indirmek için aşırı kimyasallar kullanılmaktadır. Fakat bu işlemler çok fazla toksik çamura neden olurlar. Bu çamurların toksitesini gidermek için, yeni proseslere ihtiyaç duyulmaktadır. Fakat bu kimyasal proseslerin uygulanması yüksek ekonomik kayıp yanında yeni sorunlara neden olabilmektedir.

Nonoteknoloji olarak adlandırılan küçük boyutlu taneciklerin oluşturduğu teknolojik gelişim, nanometrik boyutlarda kirleticilerin ortaya çıkmasına sebep olmuştur. Geçmiş dönemde kullanılan teknolojiler ömrünü yitirdiğinden kirleticilerin giderilmesi için yeni teknolojilerin oluşturulması zorunlu hale gelmiştir. Uzun vadede sürdürülebilir bir yaşam için yeni arıtma teknolojilerinin mevcut sistemlere entegre edilmesi son derece önem teşkil etmektedir.

Yukarıda genel olarak hakkında bilgi vermeye çalıştığımız kirleticilerin başında krom (Cr) gelmektedir. Krom korozyon önleme özelliği yanında; deri, mürekkep, boya, alüminyum, kumaş boyası vb. maddelerin kullanıldığı sanayi alanlarında en çok kullanılan ve çevreye kirletici olarak bırakılan maddelerin başında gelmektedir.

Kirletici türü çevre için sorun teşkil ettiği gibi kirletici miktarı da çevre üzerinde olumsuz etki oluşturan sorunların başında gelmektedir. Özellikle organik kirleticilerin miktarı gün geçtikçe artmaktadır.

3. Çözüm

Su kirliliğine sebep olan maddeler çeşitli adsorbantlar kullanılarak su ortamından uzaklaştırılmaktadır. Bu adsorbantlar içerisinde aktif karbon sağladığı avantajlarla gelecekte en çok kullanılacak adsorbant olma özelliğindedir. Birçok yönden araştırılan aktif karbonun yakın gelecekte tüm arıtma işlemlerinde kullanılacağı düşünülmektedir.

Aktif karbon kirleticiyi adsorplayarak tutmanın yanında, aktif karbonun üretimi esnasında sürdürülebilir bir yaşam için sorun teşkil eden organik kirleticilerin faydalı ürüne dönüşümünü de sağlamaktadır.

Başta krom olmak üzere sulardan ağır metal gidermede aktif karbon kullanılması durumunda ekstra çökeltme işlemlerine gerek kalmadan son ürünü çevre dostu maddeler elde edilmektedir. Elde edilen son ürün karbonizasyon işlemine tabi tutularak yalıtımda kullanılabilir. Bu da gerek aktif karbon üretimi esnasında gerekse son ürünün bertaraf edilmesinde sıfır atık gibi bir sonuca ulaşmamızı sağlamaktadır.

Nanoteknolojiye bağlı küçük boyutlardaki kirleticiler, aktif karbonun gözenek yapısının etkinliğini arttıran yeni yöntemlerle kolay ve etkin bir şekilde tutulabilmektedir. Bu çalışma kapsamında aktif karbonun etkinliğini arttırmak üzere dünyada yeni kullanılmaya başlanan hidrotermal ön işleme aktif karbon üretimi sayesinde nonometre boyutlarındaki kirleticilerin bertaraf edilebildiği atomik absorpsiyon spektroskopisi ile ölçülmüştür.

Bu çalışmadan yola çıkarak küçük işletmelerden çok büyük endüstriyel işletmelere kadar su debi ve miktarına göre kullanım imkânına sahip aktif karbonlu filtrelerle başta Cr olmak üzere çok uygun maliyetlere ağır metal ve boyar maddelerin suların giderilmesinin mümkün olduğu söylenebilir. Proje çalışmasından yola çıkarak 1 gram aktif karbon ile en az 120 mg Cr ağır metalinin rahatlıkla bertaraf edilebileceği söylenebilir. Bu da başta krom olmak üzere atık sularındaki ağır metal oranının istenen seviyenin altına düşürmenin; uygun maliyetli, yerli, çevre dostu, milli teknolojilerle mümkün olduğu anlamına gelmektedir.

4. Yöntem

Proje uygulamasını üç aşamada değerlendirmek yerinde olacaktır. Bu aşamalar; aktif karbon üretimi ve iyot sayısı belirleme, Cr giderimi için uygun şartların belirlenmesi ve kontrollü kirletmeye tabi tutulan çözeltinin artırılması.

4.1 Aktif karbon üretimi ve iyot sayısı belirleme

Bu aşama; aktif karbon üretimi için organik atığın (MDF Tozu) hidrotermal ön işleme tabi tutulması, en iyi aktifleştirme şartlarının belirlenmesi işlemlerini kapsayan aşamadır. Hidrotermal süreç; MDF tozu numunesinin otoklavda saf su içerisinde yaklaşık 3 MPa basınç altında 180 ° C ta 6 saat bekletilmesi şeklindedir. En iyi aktif karbon şartları ASTM Standartlarından yararlanarak, iyot sayısına göre belirlendi. İyot sayısının yüksek olması aktif karbonun gözenek yapısının etkinliğini, aktif karbonun yüzey alanı genişliğini ve adsorpsiyon kapasitesinin ölçüsünü göstermektedir. Bu çalışmada literatürde uygulandığı gibi sırasıyla en iyi aktifleştirici (impragasyon) oranı, en iyi aktifleştirme süresi, en iyi fırında bekleme süresi ve en iyi fırın sıcaklığı şartları uygulandı. Uygulama sonunda en iyi aktifleştirici oranı %70, en iyi aktifleştirme süresi 24 saat, en iyi fırında bekleme süresi 45 dakika ve en iyi fırın sıcaklığı 700 ° C olarak belirlendi. Bu işlemler inert bir gaz olan azot (N₂) gazı atmosferinde gerçekleştirildi. Aktifleştirici olarak sodyum hidroksit (NaOH) kullanıldı. En iyi şartlarda üretilen aktif karbon için iyot sayısı 929 mg/g olarak belirlenmiştir. Aşağıdaki tabloda deney sonuçları verilmiştir.

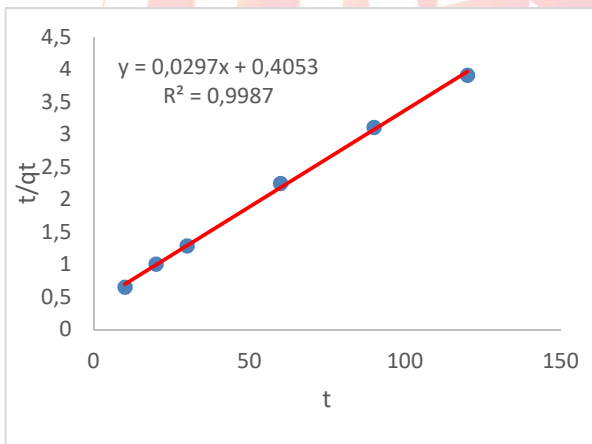
Aktif karbon üretim sürecindeki deney şartları ve iyot sayısı verileri

24 saat impragasyon sonucunda farklı yüzdelerdeki aktifleştiriciye (NaOH) karşın iyot sayısının belirlenmesi 500 ° C, 45 dk					Farklı impragasyon sürelerinde %70 aktifleştiriciyle (NaOH) kullanımına karşın iyot sayısının belirlenmesi 500 ° C, 45 dk				
20%	Blank	19,2			12 saat	Blank	19,2		
	Harcanan	17,2	İyot Sayısı	264,58		Harcanan	17	İyot Sayısı	291,04
50%	Blank	19,2			24 saat	Blank	19,8		
	Harcanan	15,2	İyot Sayısı	529,17		Harcanan	15,4	İyot Sayısı	564,44
70%	Blank	19,8			36 saat	Blank	19,2		
	Harcanan	15,4	İyot Sayısı	564,44		Harcanan	16	İyot Sayısı	423,33
100%	Blank	19,8			48 saat	Blank	19,2		
	Harcanan	15,5	İyot Sayısı	551,62		Harcanan	16,4	İyot Sayısı	370,42

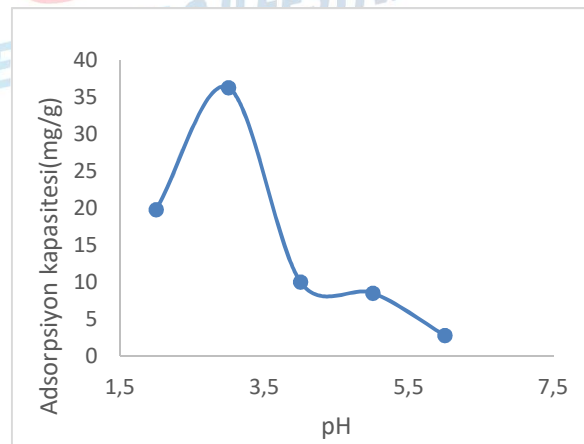
Farklı fırın bekleme sürelerinde 24 saat %70 aktifleştirici (NaOH) kullanımına karşın iyot sayısının belirlenmesi 500 ° C				Farklı fırın sıcaklıklarında 24 saat %70 aktifleştirici (NaOH) kullanımına karşın 45 dakika beklemeye ilişkin iyot sayısının belirlenmesi			
30 dakika	Blank	19,8		500 ° C	Blank	19,8	
	Harcanan	17,8	İyot Sayısı 256,57		Harcanan	15,4	İyot Sayısı 564,44
45 dakika	Blank	19,8		600 ° C	Blank	20,5	
	Harcanan	15,4	İyot Sayısı 564,44		Harcanan	15	İyot Sayısı 681,46
60 dakika	Blank	20,2		700 ° C	Blank	20,5	
	Harcanan	16,6	İyot Sayısı 452,67		Harcanan	13	İyot Sayısı 929,27
90 dakika	Blank	20,2					
	Harcanan	17,2	İyot Sayısı 377,23				

4.2 Krom (Cr) Giderimi

Krom kaynağı olarak potasyumdikromat (K_2CrO_7) ile çalışılmıştır. Adsorpsiyon sonrası krom miktarı tespiti atomik absorpsiyon spektroskopisi (AAS700) ile yapılmıştır. Aktif karbonun en iyi adsorpsiyon kapasitesi belirleme işlemleri için pH, başlangıç konsantrasyonu ve aktif karbonlu ortamda bekleme süreleri parametreleri incelenmiştir. Oda koşullarında yapılan adsorpsiyon işlemleri sonucunda krom giderimi için en iyi pH değerinin 3 olduğu tespit edilmiştir. Krom giderimi kinetiğinin uyduğu en iyi modelin yalancı ikinci dereceden olduğu belirlendi. Bu da krom gideriminin aktif karbon miktarı ve zaman kontrollü olduğu anlamına gelir. Krom gideriminin denge verilerine Langmuir izotermi ve Freundlich izotermi uygulanmış ve en iyi sonucun uygulanan Freundlich izotermine yakalandığı tespit edilmiştir. Bu izoterm eğrişinden yola çıkarak aktif karbon yüzeyinin aktif bölge dağılımının heterojen olduğu ve adsorpsiyonun birden çok tabaka halinde gerçekleştiği söylenebilir. Langmuir izotermine göre hesaplanan maksimum adsorpsiyon kapasitesi ise (q_{max}) 129 mg/gram olduğu tespit edilmiştir. Buda 1 gram aktif karbon ile 129 mg Cr ağır metalinin arıtma suyundan bertaraf edilebileceği anlamına gelir.



Yalancı 2. derece grafiği



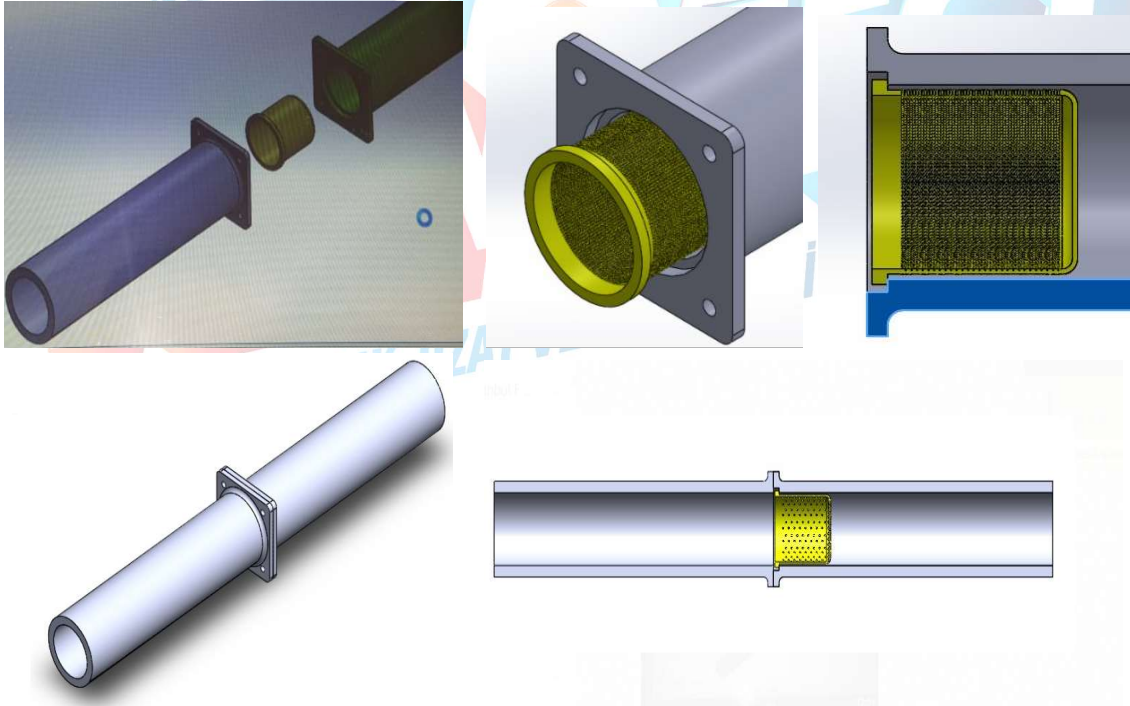
pH Grafiği

4.3 Kontrollü Arıtma

Proje çalışmasının son aşamasını kontrollü arıtma aşaması oluşturmaktadır. Bu aşama proje kapsamında oluşturulan aktif karbonlu filtrelerin ağır metallerin giderilmesinde kullanılmasını kapsamaktadır. Aktif karbonun en iyi tutuculuk değerleri belirlendikten sonra belirlenen filtre çapı ve kalınlığına göre Cr bertaraf çalışmaları yapılacaktır. Bunun için 3D yazıcı aracılığıyla üretilecek prototip filtre kabına aktif karbon yerleştirilerek, kontrollü kirletmeye tabi tutulan Cr çözeltisi geçirilecektir. Krom çözeltisi için atık suların su kirlilik parametreleri göz önünde bulundurularak 50, 100, 200, 300, 500 ve 1000 ppm konsantrasyonları ile çalışılacaktır. Belirtilen konsantrasyonlardaki Cr çözeltileri oluşturulan filtreden geçirilerek, arıtma işlemi sonunda farklı iyon derişimlerine bağlı ortalama ağır metal tutulma değerleri belirlenecektir. Ağır metal tayini, arıtmadan önce ve sonra yapılacaktır.

Ağır metal giderimi iyon derişimi değerlerine göre yorumlanacaktır. İyon derişimi ölçümleri temin edilecek EC Meter ile yapılacaktır. Bu işlemler uygulanırken her seferinde diğer parametreler sabit kalmak koşulu ile bir parametre değiştirilerek ağır metal giderim koşulları incelenecektir. Parametre incelemelerinde filtre kalınlığı, su kirlilik oranı ve tekrarlı kullanımlar incelenecektir. İncelemeler sonunda aktif karbonlu filtrenin ortalama ağır metal tutma değeri, aktif karbonlu filtrenin ortalama ömrü, su debisi ağır metal tutulma ilişkisi üzerine yorumlanabilir verilerin elde edilmesi beklenmektedir.

Proje kapsamında üretilecek prototip filtre yapısı görselleri



5. Yenilikçi (İnovatif) Yönü

Projemiz suyun aktif karbona dayalı filtreler yardımıyla arıtılmasını konu almaktadır. Mevcut durumda aktif karbonlu arıtma işlemi su arıtımı için sadece içme sularının arıtılmasında kısmi

olarak kullanılmaktadır. Proje çalışması sonuçlarına dayanarak aktif karbonlu filtreleme işleminin gelecekte başta endüstriyel atık sularının arıtımı olmak üzere tüm atık sularının arıtımının en az bir aşamasında kullanılması gerekliliğini ortaya koymaktadır. Aktif karbon etkinliğini arttırmak üzere dünyada daha yeni uygulanmaya başlanan hidrotermal ön işleme yöntemi bu çalışmanın temelini oluşturmaktadır. Önceki çalışmalardan farklı olmak üzere nano ölçekli boyutlarda kirlilik giderimi işlemlerinde kullanılan atomik absorpsiyon spektroskopisi ile ağır metal giderimi incelenmiştir. Mevcut arıtma sistemlerinde birçok aşama uygulandıktan sonra su kalitesi incelenmektedir. Bu çalışmada atık sudan ağır metal giderimi filtrelemeden önce ve sonra incelenecektir. Eski ve yeni sistemlerin tamamına entegre edilme özelliğinde filtre yapısı tasarlanmıştır.

6. Uygulanabilirlik

Proje kapsamında öncelikle 3D yazıcı aracılığıyla prototip üretimi sağlanacaktır. Bu prototip Tarım ve Orman Bakanlığı Atık Su Arıtma Rehberinde belirtilen arıtım tesislerine monte edilebilme özelliğine sahip olacaktır. Aynı çapa sahip farklı kalınlıklarda 4 prototip üretimi sağlanarak, bu prototiplerin ağır metal giderimi ve su debisi ilişkisi incelenecektir. Prototip yapısının mevcut arıtma sistemlere uygulanabilirliği yanında yeni sistemler için özgün bir yapıya sahip olması da göz önünde bulundurulmuştur. Ticari bir ürün olarak kullanılma özelliğinde olacak proje çalışması tek başına kullanılabileceği gibi arıtma tesislerine entegre edilerek sistemin herhangi bir aşamasında kullanılabilme özelliğindedir.

Proje çalışması Siirt Üniversitesi Kimya Mühendisliği öğretim üyeleri, Dicle Üniversitesi Meslek Yüksek Okulu Kimya Teknolojisi öğretim üyeleri ve birçok kimya öğretmenlerine okutulmuş ve düşünceleri geri dönüt şeklinde alınmıştır. Geri dönütlerde projenin uygulanabilirliği, özgünlüğü ve sonuçları takdir görmüştür.

7. Tahmini Maliyet ve Proje Zaman Planlaması

Projenin uygulanmasında gerekli olan madde/malzemeler; Gaz Fırını, Etüv, Otoklav, pH Metre, Azot gazı, MDF Tozu, NaOH, K_2CrO_7 , İyot, Çeşitli Cam Malzeme, Saf su, Filtre kâğıdı, 3D Yazıcı, ABS Filament ve EC Meter dir. Bu malzemelerin %98 i kurumumuz bünyesinde mevcut olup proje kapsamında kullanılmıştır/kullanılacaktır. Projenin tamamlanması için gerekli olan malzemeler EC Meter (2000 lira), ABS Filament (8*120=960 lira), NaOH (600 lira) olmak üzere toplamda **3560** liraya ihtiyaç vardır. Bu ihtiyaçlar dışında projenin tamamlanması için gerekli olan diğer teknik bilgi, malzeme/madde, altyapı imkânları mevcuttur.

Proje çalışması büyük oranda tamamlanmış durumdadır. Tüm sürecin tamamlanması için gerekli olan süre sırasıyla; çoklu aktif karbon üretim süreci (12 gün), aktif karbon filtre yapısı baskı süreci (6 gün), kontrollü atık su arıtma süreci (12 gün), analiz sonuçlarının yorumlanması ve gerekli tekrarların yapılması (12 gün) olmak üzere maksimum 45 günde sürecin tamamlanması ön görülmektedir. Projenin final için yeterli puanı almasıyla birlikte toplu aktif karbon üretim süreci ve gerekli temin işlemleri yapılacaktır. Daha sonra baskı, analiz ve değerlendirmelerle proje uygulaması tamamlanacaktır.

8. Proje Fikrinin Hedef Kitlesi (Kullanıcılar):

Projenin doğrudan hedef kitlesini belediyeler ve çevreye kirletici bırakan tüm sanayi işletmeleri oluşturmaktadır. Dolaylı olarak tüm insanlar projenin hedef kitlesine dâhil edilebilir. Çünkü su kirliliği yaşamı olumsuz etkilemektedir. Dolayısıyla tüm insanlık olumsuz etkilenmektedir. Hali hazırda su kirliliğinin önüne geçmek üzere atık su arıtımı için tasarlanan proje çalışmasının ileriki süreçte tüm arıtma süreçlerinde etkin kullanımıyla çok daha geniş kitlelere hitap etmesi beklenmektedir.

9. Riskler

Proje tek parametre üzerinde yapılan analiz sonuçlarına göre tasarlanmıştır. Çoklu kirletici olması durumunda filtre ömrü ve geçirgenliğinde olumsuz etkiler meydana gelebilir. Bu durum pilot uygulamalarla gerçek atık su üzerinde yapılacak çalışmalarla aşılabilir. Prototip polimer malzemelerden yapıldığı için basınçlı sistemlerde oluşacak yük gerginliğine dayanmada oluşabilecek sıkıntı daha dayanıklı malzeme kullanımı ile aşılabilir. Proje büyük oranda tamamlandığı için risk faktörlerinin çoğu kendi içerisinde aşılarak bu sürece gelinmiştir.

10. Kaynaklar

[https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/ar%C4%B1tma%20norm%20rehberi/AAT%20Tasar%C4%B1m%20Rehberi%20\(1\).pdf](https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/ar%C4%B1tma%20norm%20rehberi/AAT%20Tasar%C4%B1m%20Rehberi%20(1).pdf)
https://www.buski.gov.tr/tr/icerik/dogu_atik_su_aritma_tesisi_575
https://openaccess.dpu.edu.tr/xmlui/bitstream/handle/20.500.12438/7911/kalem_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y
<https://tezersivi.com/nanomalzeme-ile-olusturulan-kompozit-alginat-boncuklari-ile-agir-metal-giderimi>
<http://acikerisim.dicle.edu.tr/xmlui/handle/11468/4638>
<http://acikerisimarsiv.selcuk.edu.tr:8080/xmlui/handle/123456789/12399>
<https://www.blabmarket.com/urun/milwaukee-mc311-iletkenlik-kontrol-cihaz-hidroponik-sistem-icin>
<https://www.robotistan.com/esun-285-mm-kahverengi-abs-plus-filament-brown>
<https://www.labor.com.tr/tr/urun/merck-106462-sodium-hydroxide-pellets-pure-5-kg>
<https://www.youtube.com/watch?v=G2VK8d5rsKg>
<https://cevreselgostergeler.csb.gov.tr/atiksu-aritma-tesisi-ile-hizmet-verilen-belediyeler-i-85746>
https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/ar%C4%B1tma%20norm%20rehberi/Su%20aritma_tesislerinin_tasarm_isletme_esaslari.pdf
<https://bilimgenc.tubitak.gov.tr/makale/basit-bir-aritma-sistemi-nasil-calisir>