

# TEKNOFEST

HAVACILIK, UZAY VE TEKNOLOJİ FESTİVALİ

BİYOTEKNOLOJİ İNOVASYON YARIŞMASI

PROJE DETAY RAPORU

ÜNİVERSİTE VE ÜZERİ SEVİYESİ SEVİYESİ FİKİR

KATEGORİSİ

TAKIM ADI

STAR – UP

PROJE ADI

Organik Atık Kökenli Biyomimetik Membran, Aquaporin ve Aktif  
Karbonla Filtrasyon Sistemi

BAŞVURU ID

# 419710

## İçindekiler

1. Proje Özeti .....	2
2. Problem/Sorun.....	3
3. Çözüm.....	4
4. Yöntem.....	8
5. Yenilikçi (İnovatif) Yönü.....	11
6. Uygulanabilirlik.....	11
7. Tahmini Maliyet ve Proje Zaman Planlaması.....	12
8. Proje Fikrinin Hedef Kitle (Kullanıcılar).....	13
9. Riskler.....	14
10. Kaynaklar.....	14

### 1. Proje Özeti (Proje Tanımı)

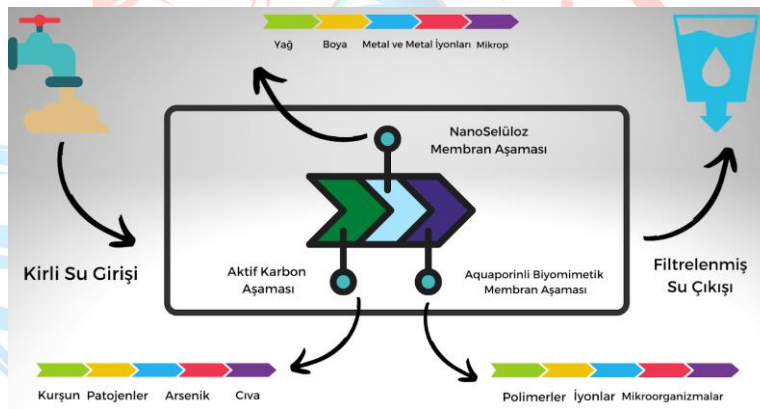
İçilebilir suya erişimin küresel bir sorun olduğu günümüzde bu soruna ilişkin çözüm ve önerilerde çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Oysa bu yöntemler arasında geri dönüşüm odaklı çözümlerin bir hayli az yer aldığını görüyoruz. Geri dönüşüm yoluyla elde edilen su arıtma elemanlarının kullanıldığı projemizdeki hedefimiz bu alandaki dışa bağımlılığı azaltarak yenilikçi ve sürdürülebilir yöntemlerle, yüksek verimli bir filtrasyon sistemi oluşturmaktır ve oluşturduğumuz ürünü ölçeklenebilir bir iş modeliyle ticari hizmete sunmak. Bu filtrasyon sistemi, içerisinde verimliliği artırmak adına aktif karbon, Aquaporinli biyomimetik membran ve selüloz membran elemanlarını birlikte bulundurmaktadır (Şekil 2.).

Aktif karbon, fizikokimyasal arıtma özelliği sayesinde insan müdahalesine gerek duymaksızın tam otomatik olarak çalışan bir karbon türüdür. Projede kullanmayı hedeflediğimiz aktif karbonu, geri dönüşüme katkı sağlamak için çoğunlukla yüksek maliyetlerle kullanılan ayrıca birer fosil yakıt olan taş veya odun kömürü yerine kayısı çekirdeği, fındık ve ceviz kabuğu gibi bitkisel ve organik atıklardan üretmeyi planlıyoruz.

Projemizin ilk aşaması olan aktif karbon filtresinde meyve çekirdeklerinden ürettiğimiz aktif karbonu kullanarak piyasadaki filtre sistemlerinin çevreci ve sürdürülebilir olmayan aktif karbonlarını böylelikle tamamen organik ve daha verimli bir ürünle değiştirmiş oluyoruz. Aktif karbon filtre sistemleri kloru, organik kimyasalları (pestisit) ve endüstriyel temizleyicilerin birçok uçucu organik bileşimini çıkarmak için idealdir. Bu filtreler ayrıca su kaynaklı patojenler dahil olmak üzere içme suyundaki mikrobiyolojik kirleticileri de temizler. İyi kalitede bir aktif karbon filtresi; filtrelediği suda arsenik, asbest, cıva, radon ve bunların yanında doksana yakın organik kontaminantı azaltır.

Aynı sebepten yola çıkarak ele aldığımız ve filtrasyon sistemimizin nanoselüloz membran aşamasında da muz kabuğu ve muz hasat atıklarını kullanarak yapacağımız membran ile suyun arıtımını geri dönüşüm ve yerli ürün zihniyeti ile ileri bir seviyeye çıkarmayı planlıyoruz (Marsh, Harry, ve Francisco Rodríguez Reinoso. (2006); B Cevallos Toledo. (2020)). Nanoselüloz izolasyonu ile nanoselüloz membran elde etmeyi planlıyoruz. Bu izolasyonu ise asit hidroliz yöntemini kullanarak gerçekleştireceğiz. Bu aşamadaki membran yapımı için ise

faz inversiyon tekniğini kullanmayı hedefliyoruz. Arıtılacak suyumuzun membran içinden akmasını sağlamakla görevli olan Aquaporinler (AQP), suyun ve bazı durumlarda küçük çözünenlerin transferine seçici olarak izin veren zar proteinleridir. AQP arkelerden memelilere kadar tüm organizmalarda bulunmaktadır, bu proteinlerin bir çeşidi olan AquaZ proteini suyun her iki yönde ozmotik olarak hareket etmesine izin veren bir su kanal proteindir (Amira Abdelrasoul, Huu Doan and Ali Lohi(2017)). Bu projede su arıtma sistemlerinin ana bileşenlerinden olan polimerik membranlar yerine verimliliği arttırmak için AqpZ katkılı lipid membran kullanmayı hedefliyoruz. Aquaporin proteinlerini sentezlemek için ise hücre bağımsız protein sentezi (HBPS) yöntemini kullanmayı planlıyoruz. Bu yöntemi seçme sebebimiz ise klonlama veya hücre kültürü ihtiyacını ortadan kaldırması ve rekombinant protein ekspresyonuna kıyasla önemli ölçüde zaman ve hammadde tasarrufu sağlamasıdır. Hücre bağımsız yöntemle elde ettiğimiz Aquaporinleri lipid membrana proteoliposomlar yoluyla dahil ediyoruz. Proteoliposomlar, bir proteinin dahil edildiği veya eklendiği lipid membranları (lipozomlar) taklit eden sistemlerdir (Ciancaglini, P., Simão, A. (2012).)



Şekil 1. Projenin bünyesinde içerdiği farklı arıtma aşamaları ve bu aşamalarla neleri arıtacağımız gösterilmiştir.

## 2. Problem/Sorun

Günümüzde şebeke sularının içilemeyecek kalitede olması ve arıtma teknolojilerinin yetersiz olması sebebiyle içilebilir suya erişim zordur. Var olan arıtma teknolojileri ve filtre sistemlerinin belli yetersizlikleri mevcuttur. Bu yetersizlikler sürdürülebilirlik ve çevrecilik, yerlilik, mineral ve verimlilik gibi alanlarında kendini göstermektedir. Bunun yanı sıra çoğu filtrasyon sisteminin uzun vadede kullanımı insan sağlığı açısından belirli sorunlar teşkil etmektedir.

### 2.1 Sürdürülebilirlik ve Çevrecilik Sorunu

Piyasadaki aktif karbon filtre sistemleri için gereken aktif karbon çoğunlukla kömür ve türevi fosil yakıtlardan elde edilmektedir. Günümüz küresel ısınması göz önünde bulundurulduğunda fosil yakıtların kullanımını azaltmamız gerektiği aşikardır. Bir gün tükeneceğini bildiğimiz fosil yakıtların da böylesine önemli ve sürekli bir gereksinim olan tatlı suya erişim için kullanılması sürdürülebilir değildir. (Villas Bôas de Almeida & Y. Wang, Eds.)

## 2.2 Yerlilik Sorunu

Ülkemizdeki belediyelere içilebilir su sağlamak için arıtma tesislerinde aktif karbon filtre sistemlerini kullanmaktadır fakat ülkemizde geniş çaplı bir aktif karbon üreticisi olmadığından dolayı bu aktif karbonlar fahiş fiyatlara ihraç edilmektedir. (Trend Economy, 2009)

## 2.3 Mineral Sorunu

Arıtma cihazlarında kullanılan filtreler sudaki ağır metalleri artırırken aynı zamanda insan vücuduna gerekli olan mineralleri de beraberinde filtre etmektedir. Bu suyu tüketen insanlarda mineral eksikliğinden kaynaklı rahatsızlıklar ve hastalıklar görülmektedir. (Orr, n.d.)

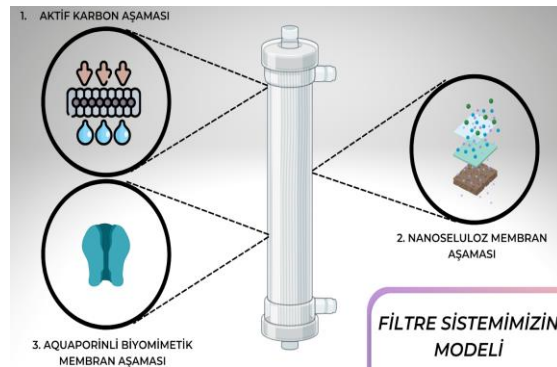
## 2.4 Verimlilik Sorunu

Piyasadaki su arıtma sistemlerinde su arıtmak için uzun süre boyunca çeşitli filtre katmanlarında bekletilmektedir bunun sonucunda arıtma süreci yavaşlayıp verim azalmaktadır.

## 3. Çözüm

İçilebilir ve temiz suya ulaşım günümüzde hassas bir konu olmakla beraber yenilikçi, sürdürülebilir ve etkili bir çözüme ihtiyaç duyan bir konudur. Sürdürülebilirlik Kalkınma Hedeflerinin özellikle 3, 6 ve 11. hedefleriyle direkt bağlantısı bulunmaktadır (Resim 2.). Sürdürülebilirlik hedeflerinden altıncısı olan “Temiz Su ve Sanitasyon” hedefi doğrultusunda Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı tarafından yapılan çalışmalar ve ortaya konulan raporlara göre 2050 yılına kadar temiz ve içilebilir suya ulaşım konusunda her dört insandan birinin olumsuz yönde etkileneceği ortaya konmuştur. Bu doğrultuda, Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı, insanların daha iyi ve güvenli suya ulaşımını sağlamak, arıtma teknolojilerini güçlendirmek ve bu teknolojileri daha sürdürülebilir hale getirmek gerektiğini belirtmiştir. Geliştirdiğimiz filtrasyon sistemi bu hedeflere uygun biçimde tasarlanmış yenilikçi bir çözüm sunmaktadır (“Amaç 6: Temiz Su ve Sıhhi Koşullar.” *UNDP Türkiye*).

Geliştirmeyi planladığımız filtrasyon sistemimiz temelde üç aşamadan oluşmaktadır. Bu aşamalar aktif karbon aşaması, membran aşaması ve aquaporin aşaması olarak sıralanabilir. Giriş yapan suyun filtrelenmesinde farklı görev ve amaçları olan aşamalar ile kirli su filtrelenerek içilebilir ve temiz su haline getirilir.



Şekil 2. Getirdiğimiz yenilikçi çözümün aşamalarını içeren filtre sistemi modelimiz



Aktif karbon, suyun içindeki yabancı maddeleri tutarak sudan ayrılmalarını sağlar. Bizim projemizde aktif karbonu filtrelemede kullanmamızın sebeplerinden biri aktif karbonun aynı zamanda sudaki istenmeyen renk, koku, tat ve klorun gideriminde de sıklıkla kullanılması ayrıca oldukça etkili olmasıdır. Aynı zamanda aktif karbonun yüzey alanının oldukça geniş olması bir diğer tercih nedenimizdir, öyle ki 1 gram aktif karbonun yüzey alanı 500-1500 metrekare arasında değişmektedir (AYDIN ve ark., 2015). Bu durum da daha çok suyun rahatlıkla filtrasyon işlemine uğramasını sağlamaktadır. Problem/Sorun kısmında belirttiğimiz gibi günümüz filtrelerinde de bulunan aktif karbon kullanımının fosil yakıt kaynaklı olması sürdürülebilir bir gelecek anlayışına uymamaktadır. Başlıca küresel ısınma konusunda olumsuz etkileri olan fosil yakıt kullanımının önüne geçtiğimiz projemizde, içilebilir suyu elde etme ve bu suya ulaşım konusunda sürdürülebilir bir yol izlenmektedir.

Diğer arıtma cihazlarında kullanılan aktif karbonların çoğu kömürün oksijensiz ortamda yüksek sıcaklığa maruz bırakılmasıyla elde edilmektedir. Aktif karbon üretiminde kömür gibi bir fosil yakıtın kullanılması tabii ki de bir sürü çevre ve maliyet sorununu da beraberinde getirmektedir. Biz aktif karbon üretimine yenilikçi, çevreci ve sürdürülebilir bir açıdan yaklaşarak ihtiyaç duyulan kısmı alındıktan sonra atık haline gelen **kayısı çekirdeği, fındık kabuğu, mısır koçanı** gibi bitkisel atıkları kullanarak atıklardan katma değerli bir ürün olan aktif karbon üretmeyi amaçlıyoruz. Bitkisel atıkları seçmiş olmamızdaki sebep yerli üretim ve tüketimlerinin fazla olması, kolay ulaşılabilir olması ve akademik verilere göre elde edilen ürünün daha verimli olmasıdır. Böyle bir yaklaşım, projemize aktif karbonun yenilikçi kullanımı sayesinde daha sürdürülebilir ve daha çevreci nitelikler kazandırmasının yanı sıra ülkemizdeki üretim atıklarının yönetimi sağlanarak döngüsel ekonomiye sahip bir ekosistem oluşturulmasını sağlayacaktır.

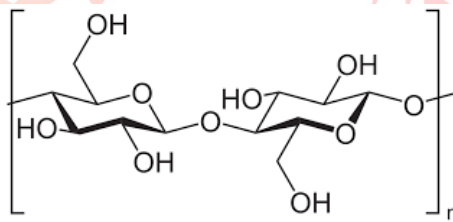
Yerli üretim özelliğini projemizde çokça öne almamızın en büyük sebebi ise, üretimi ağırlıklı olarak yurtdışında yapılan aktif karbonun temininde yerel ve çalışılması kolay malzemeleri kullanarak ülkemizin dışa bağımlı olmasının önüne geçmektir. Verimli bir aktif karbon demek porizasyonu maksimum, kül ve nem oranı düşük aktif karbon demektir. Bu yüzden aktif karbon üretiminde ham materyal fiziksel, kimyasal ve ısıl işlemlere tâbi tutulur. Başlangıçta ham materyalin alınma ve parçalanma aşamasında amaçlanan en küçük ve ideal çapta granül elde edilmektir. Bu sayede yüzey alanını arttırmış olur. Ham maddeden son ürüne gelene kadar uygulanan her kurutma işleminin ana amacı nem oranını düşük tutmaktır. Aktivasyon aşamasında granüllerin  $ZnCl_2$  karıştırılması bir sonraki ısıl aktivasyon aşaması ile çalışmaktadır.  $ZnCl_2$  yüksek sıcaklıkta ayrılma tepkimesi verir. Bu ayrılma tepkimesi sonucunda  $ZnCl_2$  'nin içinde parçalandığı porlar daha da genişler. (Liu, Huang, & Zhao, 2016). Isıl işlemin  $N_2$  varlığında gerçekleşmesi de önemlidir. Bu sayede  $N_2$  aktif karbon içinde hapsolmuş kontaminant gazları kendisine bağlayarak aktif karbonumuzun gaz ile dolmuş porlarını boşaltır, adsorbe kapasitesini artırır (Treeweranuwat, Boonyoung, Chareonpanich, & Nueangnoraj, 2020).

Adsorpsiyon, filtrasyon tartışmalarında en sık kullanılan ve bizim de projemizde sık sık kullandığımız terimlerden biridir. Adsorpsiyon, bir gaz, sıvı veya katıdan atomların, iyonların veya moleküllerin başka bir yüzeye yapışıp arınması işlemidir. Adsorpsiyon meydana

geldiğinde, suda doğan, asılı bir partikül katı bir yüzeye yapışır. Su filtrasyonu durumunda, sıvı içinde bulunan askıda katı parçacıklar ortamın katı yüzeyine yapışacaktır. Şekil 3'teki bahsedilen organik aktif karbon tabaka filtre işlemini adsorbsiyon prensibiyle yapacaktır.

### Nanoselüloz Membranı

Nanoselüloz membran kullanma amaçlarımızdan bir tanesi bize hem verimi yüksek hem de sürdürülebilir çözüm sunmasıdır. Selülozun yapısında bulunan (OH-) grupları membranın kimyasal açıdan aktif olmasını sağlar. Nanoselüloz membran sayesinde kirli su yağ, boya, mikrop, metal ve metal iyonlarından arındırılır. Nanoselüloz membranın hidrofilik yüzeyinin kimyası, yüzey alanının fazla ve modifiye edilebiliyor olması ve güçlü bir yapısının olması nanoselüloz membranı su arıtma açısından çok kullanışlı kılar (Voisin, H., Bergström, L. (2017)).



Şekil 3. Selüloz Yapısı- Selülozun yapısında birçok (OH-) grubu bulunmaktadır ve bu OH grupları selülozu reaktif kılar.

Nanoselüloz membran yapımında ilk başta saf selülozun eldesi gerekmektedir. Selüloz eldesinde delignifikasyon aşaması için sodyum klorit kullanılmıştır. Sodyum klorit, bir maddenin içerisindeki ligninden ayrıştırılmasını sağlar. Ayrıca, maddenin hemiselüloz ve selüloz harici diğer maddelerden ayrıştırılması için alkalın kullanılmıştır. Alkalın olarak genellikle sodyum hidroksit kullanılır ve selüloz harici diğer yapıları maddeden arındırır. Nanoselüloz izolasyonu olarak asit hidroliz kimyasal izolasyon yöntemi kullanılmıştır. Kimyasal izolasyon yöntem olarak kısa süren ve verimli bir yöntem olmakla beraber bu nanoselüloz izolasyon yöntemi olarak en çok kullanılan yöntemdir. Kimyasal izolasyonu kullanmamızın bir diğer sebebi de kristal nanoselülozlarını en iyi kimyasal izolasyon ile elde ediyor olmamızdır. Nanoselüloz membranın filtreleme yeteneğini arttırmak amacıyla kimyasal modifikasyonlar kullanılır. Biz yöntem olarak oksidasyon yöntemini kullandık. Membranın yapımında kullanılan birçok yöntem vardır (Jiang, F., & Hsieh, Y. L. (2013); Atakhanov, A., Turdikulov. (2019); Liu, Y., Liu, H., & Shen, Z. (2021)).

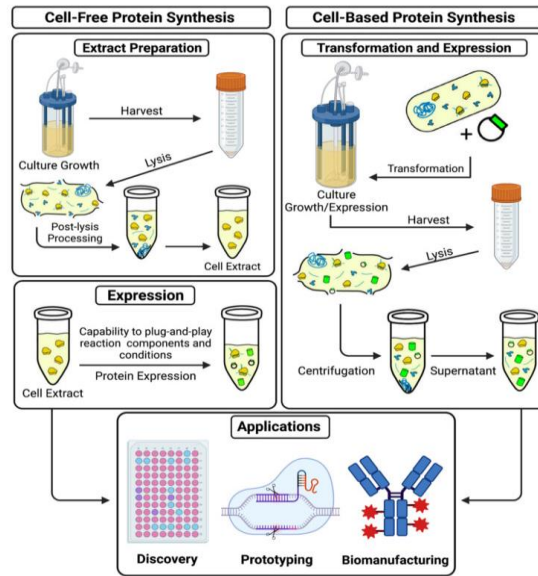
Nanoselüloz membran üretimi için kullanılan metodlar arasından bizim kullandığımız metod faz inversiyon yöntemidir ve mevcut olan metodlar arasından en çok uygulanan methodur. Yapılan araştırmalar da göstermiştir ki faz inversiyon yöntemi nanoselüloz membran üretimi için büyük bir potansiyele sahiptir (Mbakop, S., Nthunya, L. (2021).)

## Biyomimetik Membran

### Aquaporin ve Hücre Bağımsız Protein Sentez Metodu

Geleneksel olarak, *in vivo* protein üretimine kıyasla hücre bağımsız protein sentezi (HBPS) kısa sentez süresi, kaynak tükenmesi, düşük verim ve ölçeklenebilirlik zorluğu gibi teknolojik sınırlamalara kıyasla öne çıkar. Hücresiz sistemlerin yakın zamanda optimizasyonu ve standardizasyonu ile, HBPS sistemlerinin daha avantajlı olduğu uygulamaların potansiyel kapsamı önemli ölçüde genişlemiştir. Canlı hücreler oldukça karmaşıktır ve uygun homeostazi sürdürmek için özel koşullar gerektirir. Karmaşıklık, hücre zarı içinde meydana gelen reaksiyonları kontrol etmeyi zorlaştırır ve modüler modifikasyonlarla uyumsuz hale getirir. Hücresiz sistemler, canlı hücreler içermedikleri için aynı homeostatik düşüncelere bağlı değildirler. Bu, sistemin tüm enerjisinin, hücreyi canlı ve sağlıklı tutmak için çalışan çoklu hücresel süreçler arasında bölünmek yerine, tek bir hedef molekül üretme amacına adanmış anlamına gelir. Hücresiz sistemler ayrıca, belirli lizatlar veya polimerazlar gibi bu molekülleri üretmek için en uygun bileşenleri değiştirerek geniş bir yelpazede farklı hedef moleküller üretecek şekilde uyarlanabilir. Açık ortam aynı zamanda gerçek zamanlı protein sentezi reaksiyonunun gözlemlenmesine ve değiştirilmesine izin verir. (Brookwell et al., 2021.)

Şekil 4, hücresiz ve hücre bazlı protein sentezi arasındaki karşılaştırmayı göstermektedir.



Şekil 4. Hücre bağımsız protein sentezi ile aquaporin sentezi

Filtrasyon sistemimizin son aşaması olan **biyomimikriden** esinlenerek yapmayı planladığımız aquaporinli membran, birçok açıdan diğer filtrasyon sistemlerinden ayrılmaktadır. Diğer arıtma sistemlerinde kullanılan sentetik yoğun polimerik filmlere aquaporinler sayesinde gerek kalmıyor oluşu bu farklılıkların ilkidir.

Aquaporinlerin **seçici geçirgenliklerinin** aşama aşama olan filtrelemeyi en aza indirmesi oldukça önemli bir noktadır. Seçici geçirgenlik özellikleri sayesinde su, sahip olduğu doğal



mineralleri kaybedip saflaşmaz ve böylelikle diğer arıtma sistemlerinde olan alkali, mineral, tatlandırıcı gibi ekstra filtrelerle suyun zaten sahip olduğu bu nitelikleri ona geri kazandırmaya gerek kalmaz. Projemizdeki aquaporinli membran sayesinde hem aşama filtrelerinden suya kimyasal salınımının önü alınabileceği gibi hem de bu aşama filtrelerinin düzenli aralıklarla yenilenmesi gerektiği için doğacak maliyeti de ortadan kaldırmaktadır.

## **4. Yöntem**

### **4.1. Aktif karbon eldesi**

#### **4.1.1. Ham Materyallerin Boyutlarına Göre Ayırıştırılması**

Meyve çekirdekleri başlangıç malzemesi olarak kullanılır. Özellikle düşük kül yüzdesine (0.31–0.78) sahip şeftali, badem, kayısı ve fındık kabuklarının kullanımı son ürünün verimini arttıracaktır. Bunlar ham Waring Dağılımıyla boyutlarına göre ayrılıp elde edilen malzemeler kırılır ve blenderden geçirilir. Çap olarak 1–1,25 mm granül boyutuna kadar elenir.

#### **4.1.2. Metal Kalıntıların Manyetik Yolla Uzaklaştırılması**

Kırılmış ve elenmiş granüller, üzerinde güçlü bir mıknatıs bulunan banttardan geçirilir. Bu aşamada partiküllerin içinden istenmeyen metal kontaminantlar ayrılmış olur.

#### **4.1.3. Aktivasyon Aşaması**

Granül hale getirilmiş ve metal kontaminantlardan arındırılmış aktif karbon 24 saat 110 C' de kurutulur. Sonrasında ağırlıkça %30 ZnCl<sub>2</sub> çözeltisinde kimyasal yıkama yapılır. Bu işlemden sonra 24 saat boyunca 103 C'de bir kez daha kurutma işlemi yapılır. Bir sonraki aşamada N<sub>2</sub> varlığında (40 ml/dk akış hızı) ısıyla aktivasyon sağlanır. Eğer her materyalden ayrı ayrı aktif karbon üretilmek isteniyorsa bu ısıtma işlemi maksimum porizasyonu sağlamak için ham maddelerin optimum aktivasyon sıcaklıkları olan fındık kabuğu için 10-18 saat 750 C'de, ceviz kabuğu için 10 saat 750-850 C'de, kayısı çekirdeği için 18 saat 740 C'de ve badem kabuğu için 6 saat 800 C'de aktivasyon yapılır. (Aygün, A., Yenisoğ-Karakaş, S., & Duman, I. 2003).

#### **4.1.4. Kırma ve Eleme Aşaması**

Elde edilen yarı bitmiş ürün olan granüller bir kere daha parçalama ve öğütme aşamasına girer. Bu aşamada son ürün hangi boyutta ve türde (granül, toz, blok vs) isteniyorsa ona göre işleme sokulur. Bu şekilde son ürün elde edilmiş olur.

#### **4.1.5. Paketleme**

Elde edilen ürün dışarıdan nem almayacak şekilde paketlenip ilgili satış noktalarına götürülebilir.

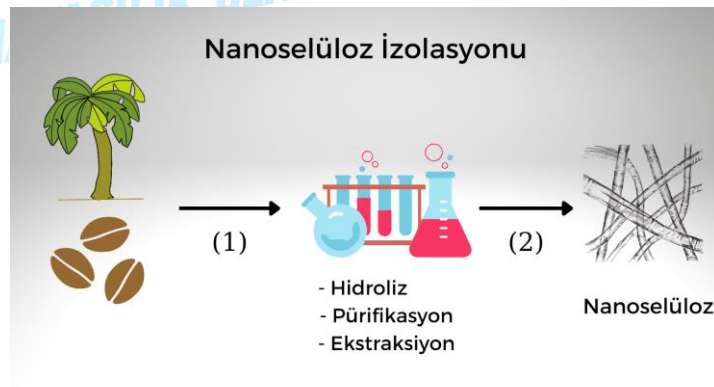
## **4.2 Nanoselüloz Membran Yapımı**

### **4.2.1. Kristal Nanoselülozun Kimyasal İzolasyonu**



Nanoselüloz eldesinden önce selüloz kaynağı olarak seçilen bitkisel ve tarımsal atıklardan selüloz elde etmek gerekmektedir. Bitkisel atıklar sadece selüloz içermekle kalmaz lignin ve hemiselülozları da içermektedir. Bu yüzden, selüloz harici yapıların elimine edilmesi gerekmektedir. Bitkisel atıktan selüloz elde etme sürecimiz bitkisel atığın öğütülmesi ve elemesinin yapılması başlar. Sonrasında, delignifikasyon (Bleaching) adını verdiğimiz yöntem ile devam edilir. Ligninleri bitkisel atıktan elimine etmek için Sodyum Klorit ( $\text{NaClO}_2$ ), distile su ve asetik asit ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) karışımında bitkisel atık 4- 12 saat aralığında  $70-80^\circ\text{C}$  sıcaklık aralıklarında karıştırılır. Bu süreç sona erdikten sonra elde edilen madde genel olarak hemiselüloz ve selüloz içerir. Hemiselüloz ve selüloz harici diğer maddeleri de elimine etmek için alkalik kullanılır. Bu deneyde kullanılan alkalik Sodyum Hidroksit ( $\text{NaOH}$ ) (4-20 wt%) kimyasal maddesidir. Bu karışım 1- 5 saat aralığında karıştırılır, elde edilen madde sonrasında distile su ile yıkayıp  $50^\circ\text{C}$ 'de kurutulur. Bunun sonucunda, saf selüloz elde edilmiş olur (Jiang, F., & Hsieh, Y. L. (2013); Zheng, D., Zhang, Y. (2019).)

Saf selüloz eldesinden sonra bu selülozdan nanoselüloz izolasyonu yapılır. Bu yöntemde nanoselülozlarımızın asit hidroliz yöntemiyle kimyasal izolasyonunu yapmayı tercih ettik. Literatürde mevcut olan birçok ölçüt ve değeri gözetererek yöntem için standart ölçülerimizi belirledik. Tabii bu ölçüler yapılan deneylere göre çok ufak derecelerde değişkenlik gösterebilir. Bu yöntemde, asit olarak sülfirik asidi ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) tercih ettik. Literatürde asit miktarı optimum sonuç verecek şekilde genelde yüksek konsantrasyonlarda (50-70 wt%) kullanılmakta olduğunu söylemektedir. Biz de sülfirik asit konsantrasyonunu 62 wt% olarak belirledik. Elde ettiğimiz saf selülozu 62 wt% sülfirik asitle beraber 40 dakika kadar  $45^\circ\text{C}$ 'de karıştırmayı tercih ettik. Asit hidroliz reaksiyonumuz için kullanılan standart sıcaklık ölçü aralığından ( $40-50^\circ\text{C}$ ) en optimum şekilde sonuç verecek olan sıcaklığı ( $45^\circ\text{C}$ ) kullanmayı tercih ettik. Ayrıca, Tercih edilen süre genellikle 30- 90 dakika aralıklarındadır. Literatüre bakıldığı zaman reaksiyonun optimum süresi 40 dakikadır ve biz de bu optimum süreye sadık kalmaya karar verdik. Asit hidroliz reaksiyonunda selülozun hidrojen bağlarını yıkmak için kullandığımız maddeler ise etilendiamin ve üredir. Sonrasında, sülfirik asidi deiyonize su ile yıkayıp ayrıştırılır. Ardından, 0.5 N Sodyum Hidroksit ( $\text{NaOH}$ ) oluşan süspansiyonu nötralize etmek için kullanılır (Jiang, F., & Hsieh, Y. L. (2013); Phanthong, P., Reubroycharoen, P. (2018); Mbakop, S., Nthunya, L. N., & Onyango, M. S. (2021).)



Şekil 5. Muz ağacı atıkları, kahve çekirdeği gibi bitkisel atıklar yüksek miktarda selüloz, hemiselüloz ve lignin içerirler. Bu bitkisel atıklardan nanoselüloz eldesi verimi yüksektir. (1). Nanoselüloz izolasyonunda bitkisel ve tarımsal atıklardan öncelikle saf selüloz eldesi yapılır. (2). Saf selüloz eldesinden sonra asit hidroliz yöntemiyle kimyasal bir izolasyon gerçekleştirilir ve

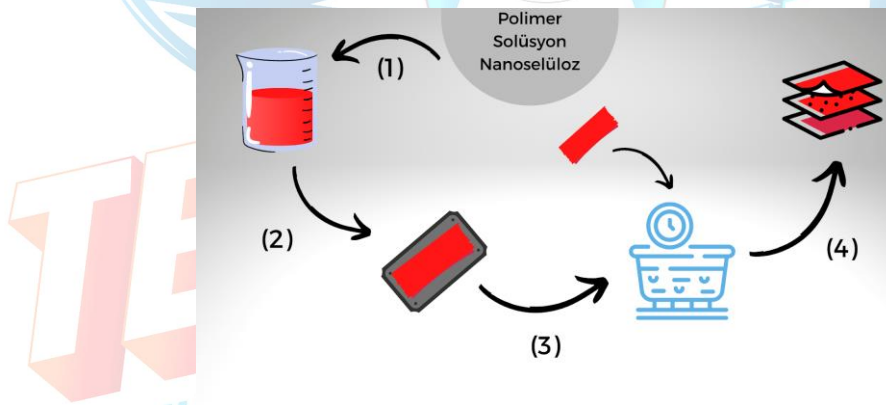
*kristal nanoselüloz elde edilmiş olur.*

#### 4.2.2 Nanoselüloz Kimyasal Modifikasyonu

Membran tabakasının modifikasyonu aslında nanoselüloz membran enerjisini düşürmek ve dispersiyon derecesini yükseltmek yoluyla membranın performansını arttırmak için kullanılan bir yöntemdir. Bizim bu süreçte kullandığımız modifikasyon çeşidi oksidasyon ile kimyasal modifikasyondur. 1.0 gramlık selüloz 100 mL'lik suya eklenir ve manyetik karıştırıcı ile 5 dakika karıştırılır. Bundan sonra, oksidasyon reaksiyonunun başlaması için 0.016 gram TEMPO, 0.1 Sodyum Bromür ve 11.9% NaClO solüsyonu eklenir ve karıştırılır. Oksidasyon reaksiyonu ile beraber kimyasal modifikasyon da gerçekleşmiş olur (Jiang, F., Han, S., & Hsieh, Y. L. (2013); Mbakop, S., Nthunya, L. N., & Onyango, M. S. (2021); Isogai, A., Saito, T., & Fukuzumi, H. (2011)).

#### 4.2.3 Faz İncersiyon Tekniği

Belirlenen bir polimer ve nanoselüloz uygun bir solüsyonun içine eklenir ve mekanik karıştırmayla dağılımının sağlandı. Dökümü yapılacak solüsyonda elde edilen nanoselülozlar ve seçtiğimiz polimer yer alır. Bu solüsyon 40 °C sıcaklıkta 5 saat kadar homojen bir karışım halini alana kadar karıştırılır. Elde edilen karışım cam bir levhaya dökülür ve kuruması beklenir. Kuruduktan sonra bir bıçak yardımıyla kesilir. Kesilen parça 19 saat kadar koagülasyon banyosunda bekletilir ve nanoselüloz membran elde edilmiş olur (Jaffar, S. S., Saallah. (2022); Mbakop, S., Nthunya, L. N., & Onyango, M. S. (2021); Kong, L., Zhang. (2014).) (Resim 4.).



Şekil 6. Faz incersiyon tekniği ile nanoselüloz membran yapımı. (1) Seçilen polimer ve nanoselüloz bir solüsyonun içerisinde karıştırılır. (2) Solüsyon bir plakanın üzerine dökülür ve kuruması beklenir. (3) Bıçak yardımıyla çıkarılan kurumuş solüsyon koagülasyon banyosunda bekletilir. (4) Nanoselüloz membran eldesi sağlanmış olur.

#### 4.3. Biyomimetik membran yapımı

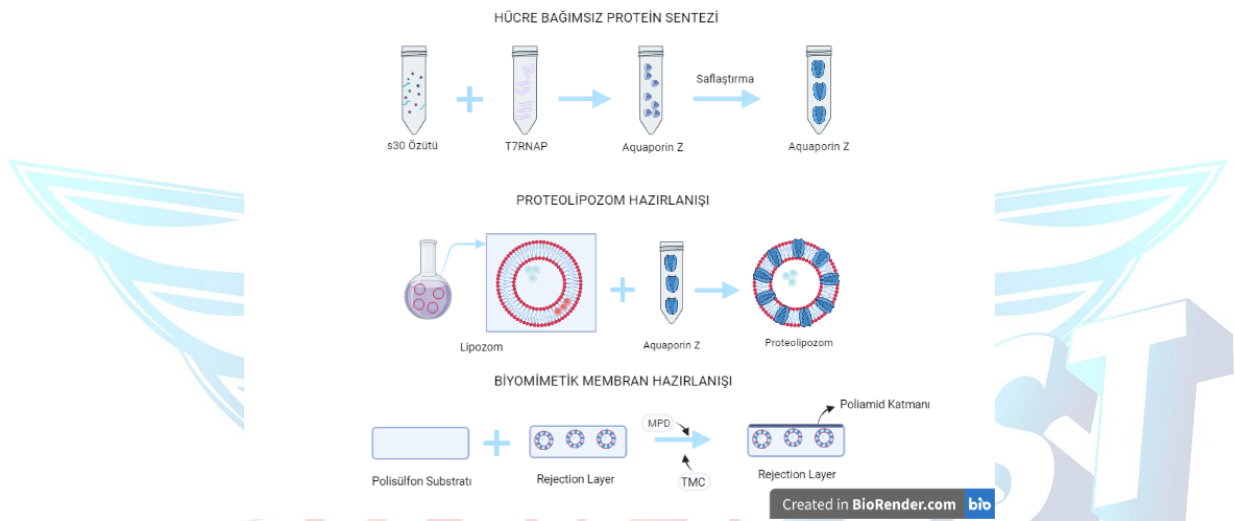
##### 4.3.1 Interfacial polycondensation (IP) Yöntemiyle Biyomimetik Membran yapımı

Literatürde yaygın metotlarla elde edilen membranların çoğu, ters ozmoz için gerekli olan yüksek hidrostatik basınca dayanamaz (Zhao ve ark., 2012b). Ek olarak bu tekniklerin çoğu, yüksek düzeyde özelleşmiş nanofabrikasyon tekniklerinin kullanılmasını gerektirdiğinden ölçeği büyütmek çok daha zor olacaktır. Geniş alana sahip membranlar üretmek bu noktada

kritik hale geliyor. İnce film kompozit (İFK) aquaporin temelli membran için **interfacial polycondensation** (IP) yöntemi tercih edildi. Bu yöntemde kısaca:

Mikro gözenekli bir polisülfon substratı, AQP bazlı proteolipozomlar içeren bir m-fenilen-diamin (MFD) sulu çözeltisi ile ıslatılıyor. Substrat daha sonra gömülü proteolipozomlar ile üç boyutlu çapraz bağlı bir poliamid tabakası oluşturmak için trimesoil klorüre (TMC) maruz bırakılıyor. Ortaya çıkan membran, yüksek basınç altında çapraz akışlı bir TO kurulumunda karakterize edildi ve ticari olarak temin edilebilen TO membranlarıyla kıyaslandı.

Bu yöntemde kullanılan proteolipozomların üretiminde ise hücre bağımsız protein sentezinden faydalanılacak. E.coli kökenli integral protein olan AquaporinZ elde edilmesine lipozom birleşmesi sağlandıktan sonra (Bkz. Figür 10.) elde edilen proteolipozomlar arayüzey polimerizasyon metoduna entegre edilerek polisülfon substrat içerisine gömülecek.



Şekil 7. Hücre Bağımsız Protein Sentezi ile Aquaporin Proteolipozomlarının Hazırlanması

## 5. Yenilikçi (İnovatif) Yönü

Bizim filtrasyon sistemimiz geleneksel sentetik su filtreleme cihazlarına göre birçok noktada farklı özelliklere sahip olmakla birlikte daha sürdürülebilir ve yenilikçi ayrıca daha az dışa bağımlı çözümler ortaya koymaktadır. Örneğin, geleneksel su filtreleme cihazlarının membranlarında kullanılan yoğun polimerik levhaların dezavantajları vardır. Bu polimerik levhalar çok küçük parçacıkların geçmesine izin verir. Aksine, bizim filtreleme sistemimizde yer alan membran yapısında bulunan aquaporin proteinler, doğal yapıları sayesinde sadece temiz suyun geçmesine izin verirken **daha hızlı ve daha seçici** bir çözüm sunar. Projemizin bir diğer yenilikçi yönü ise tasarladığımız selüloz membran yapımında bitkisel atıkları kullanmamızdır. Bu bitkisel atıklar Türkiye ekonomisinde önemli bir yere sahiptir ve bu atıkları filtrasyon sistemimizde kullanıyor olmamız hem sürdürülebilir bir çözüm sunar hem de **milli ekonomiye destek sağlar**. Bunlara ek olarak projemizin bir diğer inovatif yönü, Türkiye ekonomisinin ana üretim ürünleri olan kayısı, fındık, ceviz benzeri bitkisel besinlerin kabuk ve çekirdek gibi atık kısımlardan aktif karbon elde ederek Türkiye'ye **katma değerli** bir ürün sağlamaktır (Pınar BOZBEYOĞLU. (2020).) Filtrasyon sistemimizde kullandığımız çoğu

malzemenin Türkiye’de en çok üretilen tarım ürünlerinin bitkisel atıklardan elde edilmesi projemize **yerli, milli, çevreci ve sürdürülebilir** yönler kazandırmaktadır. Son olarak, projemiz filtre sistemi olarak aktif karbonu, aquaporinli **biyomimetik** membranı ve nanoselüloz membranı bünyesine dahil ederek tasarlanmıştır, bu sayede projemiz Türkiye’de bu şekilde tasarlanmış **ilk arıtma sistemi** olma sıfatını taşımaktadır (Yang Zhao, Xuesong Li. (2021).)

## 6. Uygulanabilirlik

Projemizin temel ve inovatif kısmı olan filtre sisteminin optimize edilip kullanıma hazır hale getirilmesinden sonra kendisine uyumlu bir su arıtım cihazı tasarlanıp piyasaya sunulacak. Üründen ve tasarlayacağımız prototipten temel beklentimiz portatiflik ve kolaylığın ön planda olması. Hedeflerimiz arasında bahsi geçen ürünün satış modeline değişimli satılan filtre mantığının hâkim olması dolayısıyla sürdürülebilir, ölçeklenebilir bir iş planı geliştirmek var.

Cihaz alımıyla beraber kullanıcıya sunulan ikişer adet tak-çıkartma filtre katmanları geliştirilen iş ortaklıklarıyla (örn. Getir, Trendyol vb.) kullanıcıya bir su teslimatı yapar gibi teslim edilecek ve kullanıcı kendi filtresini kendisi kolaylıkla takıp çıkarabilecek. Bunun yanı sıra kolaylıkla takıp çıkarılabilen bu cihaz, kafe ve restaurant zincirleri (Starbucks, Kahve Dünyası vb.) tarafından temin edilerek oluşturdukları plastik atık miktarını ciddi boyutta azaltabileceklerdir. Böylelikle anketlerimizde de öngördüğümüz gibi piyasadaki mevcut su arıtım sistemlerinden çok daha kullanıcı dostu, çok daha verimli ve çok daha ulaşılabilir bir ürün geliştirmiş olacağız. Proje sürecimiz ise 4 döneme ayrılmış olup toplamda 16 ay sürmesi planlanmaktadır. Proje başlangıcında 1. Teknoloji Hazırlık Seviyesinden (THS) yola çıkılıp ilk 10 aylık süreçte gerekli literatür taramalarının tamamlanması ve proje fikrinin deneysel olarak kanıtlanması ile birlikte THS 3’ün tamamlanarak THS 4’e geçilmesi öngörülmektedir. Projemizin 6 ay olarak planlanan üçüncü dönem çalışmalarında ise prototip laboratuvar çalışmalarına başlanarak oluşturulan prototipin uygun çevresel ortamlarda doğrulanması ve THS 5’ geçilmesi planlanmaktadır. Projemizin laboratuvar çalışmaları sonrasında ise ön ticari prototip oluşturularak 8. Teknolojik Hazırlık Seviyesi’ne kadar çıkılması başlıca hedefimizdir. Projemiz şu anda 2. Seviyeyi tamamlamış bulunmaktadır.

## 7. Tahmini Maliyet ve Proje Zaman Planlaması

Aktif karbon üretiminde kullanmayı düşündüğümüz kayısı çekirdeği gibi atıkları ve nanoselüloz membran üretiminde kullanacağımız meyve-sebze atıklarını meyve suyu fabrikaları gibi yerlerden toplayarak temin etmeyi planlıyoruz. Kullanılacak genel kimyasallar ve ekipmanlara ise laboratuvarda erişimimiz mevcut. Satın alınmasının gerektiği durumlar için maliyet bilgisi tabloda verilmiştir.



Tablo 1. Proje Zaman Planımız

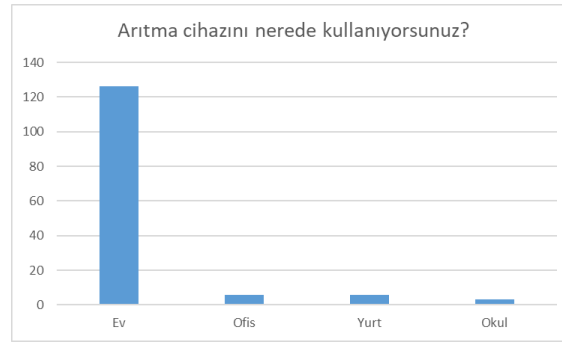
İP NO	İP ADI/TANIMI	AYLAR																			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	Proje Yönetimi	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
2	Literatür Araştırması	x	x	x	x	x	x	x													
3	Sarf malzemelerin temin edilmesi, Ar-ge laboratuvar çalışmalarına başlanması				x	x															
4	laboratuvar prototip çalışmaları					x	x	x	x	x	x										
5	Laboratuvar prototipin uygun çevresel koşullarda test edilmesi ve doğrulanması										x	x	x	x	x	x					
6	Ön ticari prototip çalışmaları															x	x	x	x	x	
7	Prototipin operasyonel ortamda gösterilmesi																			x	x

Tablo 2. Tahmini Maliyet Tablomuz

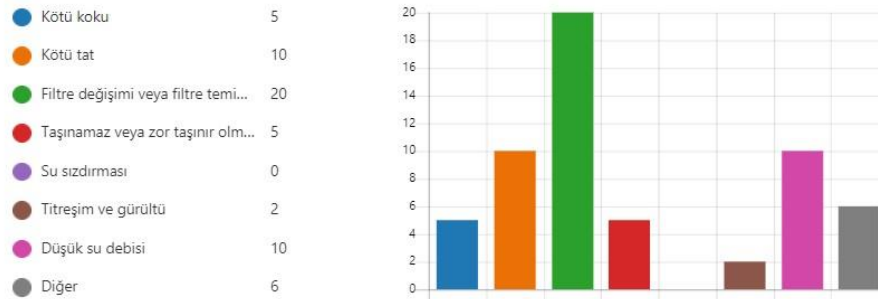
Ürün	Miktar(Kg)	Fiyat (TL)
<b>BİYOMİMETİK MEMBRAN</b>		
NaCl	0	0
KCl	1	28
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	1	800
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	1	140
Sucrose	1	375
DOPC	25MG	800
n-Oktil-b-D-glukopiranozid	*	*
chloroform solutions (20 mg lipid/ml, Avanti Polar Lipids, Alabama, USA),	*	*
Polysulfone	1	110
N-methyl-2-pyrrolidone (NMP)	1	40
m-fenilen-diamin (MFD)	250G	450
trimesoil klorüre (TMC)	10G	1000
Polyethylene glycol	1	40
lithium chloride	100G	300
TMC	5MG	850
MPD	1	207
n-hexane	1L	27
sodium dodecyl sulfate (SDS,	1G	690
Escherichia coli S30 extract	1	625
<b>AKTİF KARBON</b>		
ZnCl <sub>2</sub>	1	153
N <sub>2</sub>	1LT	37
<b>NANOSELÜLOZ MEMBRAN</b>		
NaClO <sub>2</sub>	1	100
CH <sub>3</sub> COOH	1	150
NaOH	1	70
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1	50
TEMPO	1	150
Sodyum Bromür	1	45
NaClO %31	1	100

## 8. Proje Fikrinin Hedef Kitle (Kullanıcılar)

Projemizin hedef kitle (Kullanıcılar) doğaya zarar vermeden temiz içme suyu tüketmek isteyen her birey olarak tanımlayabiliriz. Özellikle 35 yaş ve üzerindeki bireyler personamızı oluşturmaktadır. Hedef kitlemizin su arıtım cihazına en çok nerede ihtiyaç duyduğunu onlara anket yolu ile sorduk. Gelen cevapların büyük çoğunluğu evlerinde bu cihazlara yer verdiklerini belirtti.



Verilere göre hedef kitlemizin evlerinde içme su ihtiyaçlarını karşılamak için arıtım cihazı kullandıkları veya kullanmayı hedeflediklerini söyleyebiliriz. Hedef kitlemiz yalnızca evinde su arıtım cihazı kullanmak isteyen insanlarla sınırlı olmayıp kafe ve restaurant zincirlerini de kapsamakta. Starbucks, Kahve Dünyası gibi yoğun miktarda su tüketen şirketlerin temiz içme suyu ihtiyaçları oldukça büyük. Bu ihtiyacı arıtım cihazı ile karşılamaları plastik kullanımlarını azaltmakla beraber kullanılan suyun kalitesini artıracaktır. Projemiz bu gibi hedef kitlelerin ihtiyaçlarına da cevap vermektedir. Bunun yanında yaptığımız ankete göre insanların %52'si kullandığı su arıtım cihazının verimliliğine güvenmemektedir. Bu da hedef kitlemizi oluşturan insanların projemize olan ihtiyacını açıkça ortaya koymakta. Aktif olarak diğer arıtım cihazlarını kullanan insanların yaşadığı problemleri de yaptığımız ankette hedef kitlemize sorduk. Bunları aşağıdaki grafikte görüldüğü gibi listeleyebiliriz.



Hedef kitlemizin en fazla problem yaşadığı ilk üç konu sırasıyla filtre değişimi ve temizliği, düşük su debisi, kötü tat şeklinde sıralanabilir. Projemizde bu sorunları dikkate alarak her birine çeşitli çözümler getirdik.

## 9. Riskler

Aktif karbon filtreleri organik olsun olmasın, alınan şikayetlerin ve kullanıcı sıkıntılarının çoğu filtrenin adsorbe kapasitesinin azalması veya tamamen tıkanması durumudur. Bu durum gerçekleştiğinde filtre daha fazla güç tüketir ve elde edilen su istediğimiz kalitede olmaz. Biz bu probleme filtre içindeki aktif karbon kompartmanı sonrasına yerleştirilecek, burada basınç ve su akış hızını ölçen bir sensör yerleştirilmesiyle çözüm yolu bulduk. Sensör bu verileri mobil entegre cihazdaki uygulamaya yollayarak ve işleyerek aktif karbon filtresinin adsorbe kapasitesini (dolmasını) yüzdelik olarak verecektir. Böylece kullanıcı aktif karbon filtrenin ne zaman değiştirilmesi gerektiğini ve karşılaşacağı problemleri önden bilecektir. Nanoselüloz membranda kullanılan faz inversiyon metodunda polimer ve nanoselülozların oranı ve elde

edilen kompozit arasında bir korelasyon olup olmadığının daha fazla araştırılması gerekmektedir. Nanoselüloz membranın istenilen işlevsel düzeyde tasarlanamaması durumunda alternatif bir nanoselüloz membran yüzey seçeneğini B planı olarak bulundurmaktayız. Bu plandaki tasarım modeli ise

Membran içerisindeki proteinlerin deformasyona uğraması sebebiyle filtre ömürlerinin her filtre gibi tamamlanacaktır. Bahsi geçen mobil entegre sistem yardımı ile kullanıcı uyarılacak ve filtre değişim süreçlerinin başlatılması istenecek.

## 10. Kaynaklar

1. Aygün, A., Yenisoay-Karakaş, S., & Duman, I. (2003). Production of granular activated carbon from fruit stones and nutshells and evaluation of their physical, chemical and adsorption properties. *Microporous and Mesoporous Materials*, 66(2-3), 189–195. <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2003.08.028>
2. Chambre, A. (2014, March). Effects of carbon filtration type on filter efficiency ... - air science. <https://www.airscience.com/>. Retrieved May 9, 2022, from <https://www.airscience.com/lib/sitefiles/pdf/WhitePapers/Carbon-Filtration-Whitepaper.pdf>
3. Klemeš, J. J. (n.d.). *Journal of Cleaner Production* (C. M. Villas Bôas de Almeida & Y. Wang, Eds.). Elsevier.
4. Orr, T. (n.d.). Water Purifiers That Remove Minerals – And How They Do It.
5. Trend Economy. (2009). Annual International Trade Statistics by Country (HS02). Retrieved from <https://trendeconomy.com/> website: <https://trendeconomy.com/data/h2/Turkey/3802>
6. What are Carbon Filters for Water Filtration. (n.d.). Retrieved from [www.espwaterproducts.com](http://www.espwaterproducts.com) website: <https://www.espwaterproducts.com/carbon-filters/>
7. JSC “Sorbent”: activated carbon, personal protective equipment. (n.d.). Retrieved May 9, 2022, from [en.sorbent.su](http://en.sorbent.su) website: <https://en.sorbent.su/>
8. Liu, Z., Huang, Y., & Zhao, G. (2016) *Preparation and characterization of activated carbon fibers from liquefied wood by ZnCl<sub>2</sub> activation* :: *BioResources*. (n.d.). [Bioresources.cnr.ncsu.edu](http://Bioresources.cnr.ncsu.edu). <https://bioresources.cnr.ncsu.edu/resources/preparation-and-characterization-of-activated-carbon-fibers-from-liquefied-wood-by-zncl2-activation>
9. Treweranuwat, P., Boonyoung, P., Chareonpanich, M., & Nueangnoraj, K. (2020). Role of Nitrogen on the Porosity, Surface, and Electrochemical Characteristics of Activated Carbon. *ACS Omega*, 5(4), 1911–1918. <https://doi.org/10.1021/acsomega.9b03586>
10. Kobya, M., Demirbas, E., Senturk, E., & Ince, M. (2005). Adsorption of heavy metal ions from aqueous solutions by activated carbon prepared from apricot stone. *Bioresource Technology*, 96(13), 1518–1521. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2004.12.005>

11. “Amaç 6: Temiz Su ve Sıhhi Koşullar.” *UNDP Türkiye*, [www.tr.undp.org/content/turkey/tr/home/sustainable-development-goals/goal-6-clean-water-and-sanitation.html](http://www.tr.undp.org/content/turkey/tr/home/sustainable-development-goals/goal-6-clean-water-and-sanitation.html).
12. Atakhanov, A., Turdikulov, I., Mamadiyrov, B., Abdullaeva, N., Nurgaliev, I., Khaydar, Y., & Rashidova, S. (2019). Isolation of Nanocellulose from Cotton Cellulose and Computer Modeling of Its Structure. *Open Journal of Polymer Chemistry*, 9(4), 117-129.
13. Liu, Y., Liu, H., & Shen, Z. (2021). Nanocellulose based filtration membrane in industrial waste water treatment: A Review. *Materials*, 14(18), 5398.
14. Isogai, A., Saito, T., & Fukuzumi, H. (2011). TEMPO-oxidized cellulose nanofibers. *nanoscale*, 3(1), 71-85.
15. Phanthong, P., Reubroycharoen, P., Hao, X., Xu, G., Abudula, A., & Guan, G. (2018). Nanocellulose: Extraction and application. *Carbon Resources Conversion*, 1(1), 32-43.
16. Jiang, F., & Hsieh, Y. L. (2013). Chemically and mechanically isolated nanocellulose and their self-assembled structures. *Carbohydrate polymers*, 95(1), 32-40.
17. Jaffar, S. S., Saallah, S., Misson, M., Siddiquee, S., Roslan, J., Saallah, S., & Lenggoro, W. (2022). Recent Development and Environmental Applications of Nanocellulose-Based Membranes. *Membranes*, 12(3), 287.
18. Mbakop, S., Nthunya, L. N., & Onyango, M. S. (2021). Recent advances in the synthesis of nanocellulose functionalized-hybrid membranes and application in water quality improvement. *Processes*, 9(4), 611.
19. Voisin, H., Bergström, L., Liu, P., & Mathew, A. P. (2017). Nanocellulose-Based Materials for Water Purification. *Nanomaterials (Basel, Switzerland)*, 7(3), 57. <https://doi.org/10.3390/nano7030057>
20. Zheng, D., Zhang, Y., Guo, Y., & Yue, J. (2019). Isolation and characterization of nanocellulose with a novel shape from walnut (*Juglans regia* L.) shell agricultural waste. *Polymers*, 11(7), 1130.
21. Jiang, F., Han, S., & Hsieh, Y. L. (2013). Controlled defibrillation of rice straw cellulose and self-assembly of cellulose nanofibrils into highly crystalline fibrous materials. *Rsc Advances*, 3(30), 12366-12375.
22. Kong, L., Zhang, D., Shao, Z., Han, B., Lv, Y., Gao, K., & Peng, X. (2014). Superior effect of TEMPO-oxidized cellulose nanofibrils (TOCNs) on the performance of cellulose triacetate (CTA) ultrafiltration membrane. *Desalination*, 332(1), 117-125.
23. Pınar BOZBEYOĞLU, Karadeniz Bölgesinde Yetişen Mısırların (*Zea mays* L.) Koçanından Aktif Karbon Üretimi, Karakterizasyonu ve Atık Sulardan Çeşitli Kirleticilerin Uzaklaştırılmasında Kullanımının İncelenmesi, Ekim 2020.
24. Yang Zhao, Xuesong Li, Jing Wei, Jaime Torres, Anthony G. Fane, Rong Wang, and Chuyang Y. Tang, Optimization of Aquaporin Loading for Performance Enhancement of Aquaporin-Based Biomimetic Thin-Film Composite Membranes, Aralık 2021.
25. Marsh, Harry, ve Francisco Rodríguez Reinoso. Activated Carbon. Elsevier, 2006.
26. B Cevallos Toledo, Rita, vd. “Reactivation Process of Activated Carbons: Effect on the Mechanical and Adsorptive Properties”. *Molecules (Basel, Switzerland)*, c. 25, sy 7, Nisan 2020, s. E1681. PubMed, <https://doi.org/10.3390/molecules25071681>.



27. Ciancaglini, P., Simão, A., Bolean, M., Millán, J. L., Rigos, C. F., Yoneda, J. S., Colhone, M. C., & Stabeli, R. G. (2012). Proteoliposomes in nanobiotechnology. *Biophysical reviews*, 4(1), 67–81. <https://doi.org/10.1007/s12551-011-0065-4>
28. Takata K, Matsuzaki T, Tajika Y. Aquaporins: water channel proteins of the cell membrane. *Prog Histochem Cytochem.* 2004;39(1):1-83. doi: 10.1016/j.proghi.2004.03.001. PMID: 15242101.
29. Abdelrasoul, A., Doan, H., & Lohi, A. (2017). Aquaporin Biomimetic Membranes. In A. Abdelrasoul, H. Doan, & A. Lohi (Eds.), *Biomimetic and Bioinspired Membranes for New Frontiers in Sustainable Water Treatment Technology*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.71722>
30. AYDIN, Y. A., DEVECİ AKSOY, N., KARATAŞ, E., & YEŞİLADALI, B. (2015). AKTİF KARBON-POLİVİNİL ALKOL KOMPOZİT KÜRECİKLERİ İLE SENTETİK ATIKSUDAN CR(VI) GİDERİMİ. *Anadolu University Journal of Science and Technology-A Applied Sciences and Engineering*, 16(2), 97. <https://doi.org/10.18038/btd-a.13717>
31. Zhao, Y., Qiu, C., Li, X., Vararattanavech, A., Shen, W., Torres, J., Hélix-Nielsen, C., Wang, R., Hu, X., Fane, A. G., & Tang, C. Y. (2012b). Synthesis of robust and high-performance aquaporin-based biomimetic membranes by interfacial polymerization-membrane preparation and RO performance characterization. *Journal of Membrane Science*, 423-424, 422–428. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2012.08.039> Son Erişim Tarihi: 4.05.2022
32. Yue, K., Jiang, J., Zhang, P., & Kai, L. (2020). Functional Analysis of Aquaporin Water Permeability Using an Escherichia coli-Based Cell-Free Protein Synthesis System. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 8. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2020.01000> Son Erişim Tarihi: 4.05.2022
33. Brookwell, A., Oza, J. P., & Caschera, F. (2021). Biotechnology Applications of Cell-Free Expression Systems. *Life*, 11(12), 1367. <https://doi.org/10.3390/life11121367> Son Erişim Tarihi: 7.05.2022
34. Grubmüller, H. (2001, December 13). *Aquaporins - the perfect water filters of the cell*. EurekAlert!; Max Plank Gesellschaft. <https://www.eurekalert.org/news-releases/720978> Son Erişim Tarihi: 7.05.2022