

Yüksek Performanslı Koagülant Sentezlenmesi ve Ticari Koagülantlarla Karşılaştırılması

Oktay Karadeniz¹, Erden Soner Erkiliç¹, Can Alp Terzioğlu¹

Matel Hammade Sanayi ve Ticaret A.Ş., Serel Seramik Fabrikası, 445030, Manisa, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 29/11/2024 **Kabul / Accepted:** 30/12/2024 **Çevrimiçi Basım / Published Online:** 30/03/2025

Son Versiyon/Final Version: 27/12/2024

ÖZET

Koagülantlar, atıksu arıtımında topaklayıcı olarak kullanılan kimyasal maddelerin genel adıdır. Koagülant, bir koloidal solüsyonunda süspansiyon halinde olan askıda katı maddeleri (sıvı faz içerisinde çözünmeden kalarak oluşturduğu heterojen karışım) destabilize etmek için kullanılmaktadır. Koagülantlar, endüstriyel, evsel ve kentsel atıksu arıtımında kullanılmaktadır. FeCl₃ (Demir III Klorür), PAC (Polialüminyum Klorür) ve bazı düşük molekül ağırlıklı polimerler, atıksu arıtımında kullanılan koagülant türleridir. Seramik sektöründe yüksek miktarlarda proses suyu kullanılmaktadır. Kullanım sonucu oluşan atıksuların geri kazanılması; hem su tasarrufu sağlayarak çevreye zararını azaltmakta hem de işletmelere mali açıdan büyük avantaj sağlamaktadır. Verimi yüksek ticari koagülantların maliyetlerinin çok fazla olması, yüksek verim düşük maliyetli koagülantların sentezlenmesi ihtiyacını doğurmaktadır.

Bu çalışmada, Fe(II), Mn(II) ve kitosan içerikli çözelti 70°C ısıtılmış ve NaOH ilavesi ile sentezlenmiştir. Sentezlenen koagülantın optimum dozaj miktarı, seramik prosesinden alınan atıksu örneklerine farklı oranlarda koagülant ilaveleri yapılarak kalıntı tayini testleri sonuçlarına göre belirlenmiştir. Belirlenen orana göre, denge pH tayini, 254 nm' absorbans tayini, koagülant hacmine karşı iletkenli tayini pH'a bağlı kalıntı bulanıklık tayinleri yapılmış ve iki farklı ticari koagülant ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonuçları incelendiğinde sentezlenen koagülantın arıtma veriminin ticari koagülantlara göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Elde edilen sonuçlarda laboratuvar ortamında sentezlenen koagülantın, ticari koagülantlara göre %61'lik bir maliyet düşüşü sağladığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler

Koagülant, Su Arıtma, Koagülasyon, Sentez

Synthesis of High-Performance Coagulant and Comparison with Commercial Coagulants

Abstract

Coagulants are the general name of chemical substances used as flocculants in wastewater treatment. The coagulant is used to destabilize suspended solids (heterogeneous mixture formed by remaining insoluble in the liquid phase) suspended in a colloidal solution. Coagulants are used in industrial, domestic and urban wastewater treatment. FeCl₃ (Iron III Chloride), PAC (Polyaluminium Chloride) and some low molecular weight polymers are types of coagulants used in wastewater treatment. High amounts of process water are used in the ceramics industry. Recovery of wastewater generated as a result of use; It both reduces the damage to the environment by saving water and provides a great financial advantage to businesses. The high costs of high-yield commercial coagulants lead to the need to synthesize high-yield, low-cost coagulants.

In this study, a solution containing Fe(II), Mn(II) and chitosan was heated to 70 C and synthesized with the addition of NaOH. The optimum dosage amount of the synthesized coagulant was determined according to the results of residue determination tests by adding coagulant at different rates to the wastewater samples taken from the ceramic process. According to the determined ratio, equilibrium pH determination, 254 nm' absorbance determination, conductive determination against coagulant volume, pH-dependent residual turbidity determinations were made and compared with two different commercial coagulants. When the comparison results were examined, it was seen that the purification efficiency of the synthesized coagulant was higher than two different commercial coagulants used in the market. In the results obtained, it was determined that the coagulant synthesized in the laboratory environment provided a 61% cost reduction compared to commercial coagulants.

Key Words

Coagulant, Water Treatment, Coagulation, Synthesis

1.Giriş:

Kentleşmenin günde güne artması, sanayileşme ve dünya nüfusunun giderek artmasına bağlı olarak su kullanımı artmakta ve buna bağlı olarak su kaynakları da hızla azalmaktadır. Mevcut olan tatlı su kaynakları sınırlıdır ve hem kalite hem de kıtlık açısından dünya çapında 785 milyondan fazla insanın hayatını etkileyen, yaygın ve önemli bir sorundur [1]. Endüstriyel, evsel, tarımsal, kentsel vb. atık suların en yakın alıcı ortamlara verilmesi bu alanlarda yaşamakta olan organizmalar ve diğer canlı türleri için olumsuz sonuçlar doğurmaktadır [2]. İnorganik parçacıklar, zararlı hidrokarbon, organik madde ve ağır metaller gibi çeşitli toksinler ve kimyasalların alıcı ortama deşarjı ile atık su arıtma prosesleri tasarlanması ve hayata geçirilmesi dünyada yaşayan canlılar için zorunlu hale gelmiştir [3]. Kullanılabilir nitelikteki su miktarının düşük olması endüstriyel atık suları geri kazanıp tekrardan proses te kullanılması ve alıcı ortama salınmadan kirleticilerinden arındırılması gerekmektedir [2].

Bir proses sonucu ortaya çıkan sıvı veya suyun taşıyabildiği evsel, yağışların ve çevre kirliliğinin meydana getirdiği sıvı atıklara atık su denmektedir [1].

İçerdiği bozunmalara ve kullanım tiplerine göre 3 çeşit atıksu örneği vardır [2].

Sanayide, fabrikaların ve firmaların proseslerinde yüksek miktarlarda kullandıkları suyun, proses sonucu atıl hale geldiği atıksulardır [3].

Günlük yaşamda kullanılan ve insanların toplu halde ikamet ettiği hastane, okul vb. alanlardan kaynaklanan atıksular [3].

Endüstriyel ve/veya yağmur suyunun kanalizasyon yoluyla taşındığı atıksulardır.

Bu çalışmamızın temel amacı organik/inorganik koagülant sentezlenmesi ve piyasada kullanılmakta olan ticari koagülantlarla karşılaştırılmasıdır. Proje kapsamında laboratuvar ortamında koagülant sentezlenmiş olup, koagülant dozu deneyleri ile uygun dozajlama miktarı tespit edilmiş olup, kalıntı bulanıklık tayinleri, koagülant hacmine karşı absorbans deneyi, denge pH deneyi, hacime karşı iletkenlik deneyi, başlangıç pH'ına karşı değişimler, pH'a bağlı kalıntı bulanıklık deneyleri yapılarak sentezlenen koagülantın AKM ve KOİ ihtiyacı belirlenmiş olup ticari koagülantlara oranla maliyet düşüşü sağladığı görülmüştür.

1.1. Koagülasyon tanımı:

Bir sıvı içerisinde dispers halinde bulunan katı taneleri belirli bir yüzey elektrik yüküne, zeta potansiyeline sahiptir. Aynı elektrik yükünü taşıyan taneler, elektrostatik olarak birbirini itmekte ve böylece çökmeden askıda durabilmektedirler. Tanelerin bir araya gelmesine diğer bir engel ise tanelerin yüzeyine adsorplanmış su tabakasıdır. Bu su tabakası da tanelerin birbirlerine iyice yaklaşmasına engel olmakta ve taneler arasında Van Der Waals (VdW) çekim kuvvetlerinin etkinliği azaltmaktadır. Ortama ilave edilecek bir kısım inorganik elektrolitler yani; $Al_2(SO_4)_3$, $18H_2O$, $AlCl_3$, $FeCl_3$, $Ca(OH)_2$ ve $Mg(OH)_2$ gibi koagülantlar yardımı ile katı tanelerin zeta potansiyelleri sıfıra veya sıfıra yakın bir değere indirilerek, taneler arasındaki elektriksel çift tabaka itme kuvvetleri (yani elektrostatik itme kuvvetleri) azaltılabilir. Böylece taneler arasındaki Van der Waals çekim kuvvetleri egemen hale gelerek taneleri bir araya getirir ve bu işleme de koagülasyon adı verilir. Koagüle olmuş yani topaklanmış bu taneler ise yerçekimi kuvvetinin etkisi ile daha etkin çöktürülebilmektedir [4].

1.2. Koagülasyonun Verimliliği

Koagülasyon sisteminin verimliliği işlem sonunda çökelen ve süzülen kısma bağlıdır. Koagülasyonda bulanıklık giderimini etkileyen birçok özellik vardır. Bunlar suyun kimyasal özelliklerindeki ve koagülasyonun uygulanmasındaki farklı yöntemlerdir. Koagülasyonun verimli olması;

- Kullanılan koagülant çeşidine,
- Kullanılan koagülant dozajına,
- Suyun pH'ına,
- Suyun sıcaklığına,
- Suyun iyonik karakterine,
- Sudaki kolloidal kirleticilerin doğasına ve konsantrasyonuna,
- Koagülant dışında eklenen diğer yardımcı koagülantların çeşidi ve dozuna,
- Kimyasal ekleme sırası ve dozlamalar arasındaki zamana,
- Hızlı karıştırmada karıştırıcının hızına,
- Hızlı karıştırıcı türüne,
- Yumaklaştırma işleminde uygulanan hızı,
- Yumaklaştırma kalma süresine ve kullanılan karıştırıcı türüne bağlıdır [5].

1.3. Koagülant Türleri

Koagülantlar arasında en yaygın olarak kullanılanlar; Alüminyum ($Al(SO_4)_3 \cdot 16H_2O$), Demir klorür ($FeCl_3 \cdot 6H_2O$) ve alüminyum klorür ($AlCl_3$) olup bunlardan başka sönmüş kireç ($Ca(OH)_2$), $Mg(OH)_2$, Mg_2CO_3 , sodyum alüminat ($NaAlO_2$) ve $FeSO_4$ 'tür. Bunlardan en yaygın kullanılanları aşağıda kısaca tanıtılmaktadır: Alüm: Kısaca Alüm olarak ifade edilen bileşiğin kimyasal formülü ($Al(SO_4)_3 \cdot 16H_2O$)'dir. Suda kolayca çözünebilir. Alüm ile orta veya nötral pH'a yakın pH'larda (pH: 6-8) sıyırma (sweep) mekanizması ile koagülasyon gerçekleşmektedir. Çünkü düşük pH'larda süspansiyonda bol miktarda serbest Al^{+3} iyonları bulunurken orta ve yüksek pH'larda hidroksitli Al bileşiği olan $Al(OH)_3$ çökeleği oluşur. Diğer yandan süspansiyona giren alüm dozajının da süspansiyon pH'ı üzerinde ve dolayısı ile de çökelek oluşumunda etkili olduğu ve 30 mg/l'den daha yüksek dozajlarda genellikle sıyırma mekanizmasının etkili olduğu ifade edilmektedir. Polialüminyum Klorit: Polialüminyum Klorit (PAK) alüminyum kloritin kontrollü şartlar altında kısmi notralizasyonu ve polimerizasyonu ile elde edilmektedir. - Demir (III) Klorür ve Demir Sülfat: Klorürlü

bileşikleri $FeCl_3$ veya $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ ve sülfatlı olanları ise $FeSO_4 \cdot 7 H_2O$ kimyasal formülüne sahiptir ve genellikle granül halde üretilir. Alüme oranla kullanımı daha azdır [6].

Koagülasyon, su arıtımında konvansiyonel olarak askıda partiküller ve patojenleri gidermek, renk ve bulanıklığı azaltmak için kullanılmaktadır [8]. Koagülantlar suya ilave edildiğinde koloidal taneciklerin sabitliklerini farklı şekillerde karmaşıktırır ve bir araya getirerek büyümelerini sağlamaktadır. Bu şekilde bir araya gelen partiküllerin çapları büyür ve daha kolay çökebilir bir yapı kazanmaktadır [13].

1.4.Koagülant Yardımcıları

Bazı kimyasalların ilavesi ile daha büyük hızla çöken flok oluşumu ile koagülasyon hızlanır. Aktifleştirilmiş silika çok ince alüminyum hidrat parçacıklarını birbirine bağlayan kısa zincirli bir polimerdir. Silika yüksek dozlarda, elektronegatif özelliğinden dolayı flok oluşumunu engeller. En uygun doz 5-10 mg/L'dir. Polielektrolitler yüksek molekül ağırlıklı polimerlerdir. İçerdikleri adsorplanabilen gruplardan dolayı partiküller veya yüklü floklar arasında köprü oluştururlar. Alüm veya demir klorür ile birlikte düşük dozlarda (1-5 mg/L) polielektrolit ilavesi ile büyük floklar (0,3-1 mm) oluşur. Polielektrolitler pH'dan etkilenmeksizin kolloidin etkin yükünü azaltarak koagülasyonu sağlarlar. Üç tip polielektrolit vardır. Bunlar; katyonik polielektrolitler, negatif kolloid veya floklar adsorblar; anyonik polielektrolitler, kolloid parçacıklarda anyonik gruplarla yer değiştirerek kolloid ve polimer arasında hidrojen bağına izin verir, iyonik olmayan (non-iyonik) polimerler ise katı yüzeyleri ile polimerdeki polar gruplar arasında hidrojen bağı ile parçacıkları adsorplanarak floklaşmalarını sağlar [7].

2. Materyal:

Yapılan çalışmada pH, bulanıklık, iletkenlik ve UV254 nm absorbans ölçümleri yapılmıştır. pH testi için Mettler Toledo Five Go FG-2 pH ölçer, topaklaştırma testi için Biosan OS-10 yörünge çalkalayıcı, UV254 nm absorbans testi için PG Instruments T80+ UV-Vis spektrofotometresi cihazları kullanılmıştır. İletkenlik testi için Orion 3 Starconductorivitiy Benchtop cihazı, türbidimetri ölçümleri için ise Scientific, Inc, Micro 100 Turbidimeter cihazı kullanılmıştır.

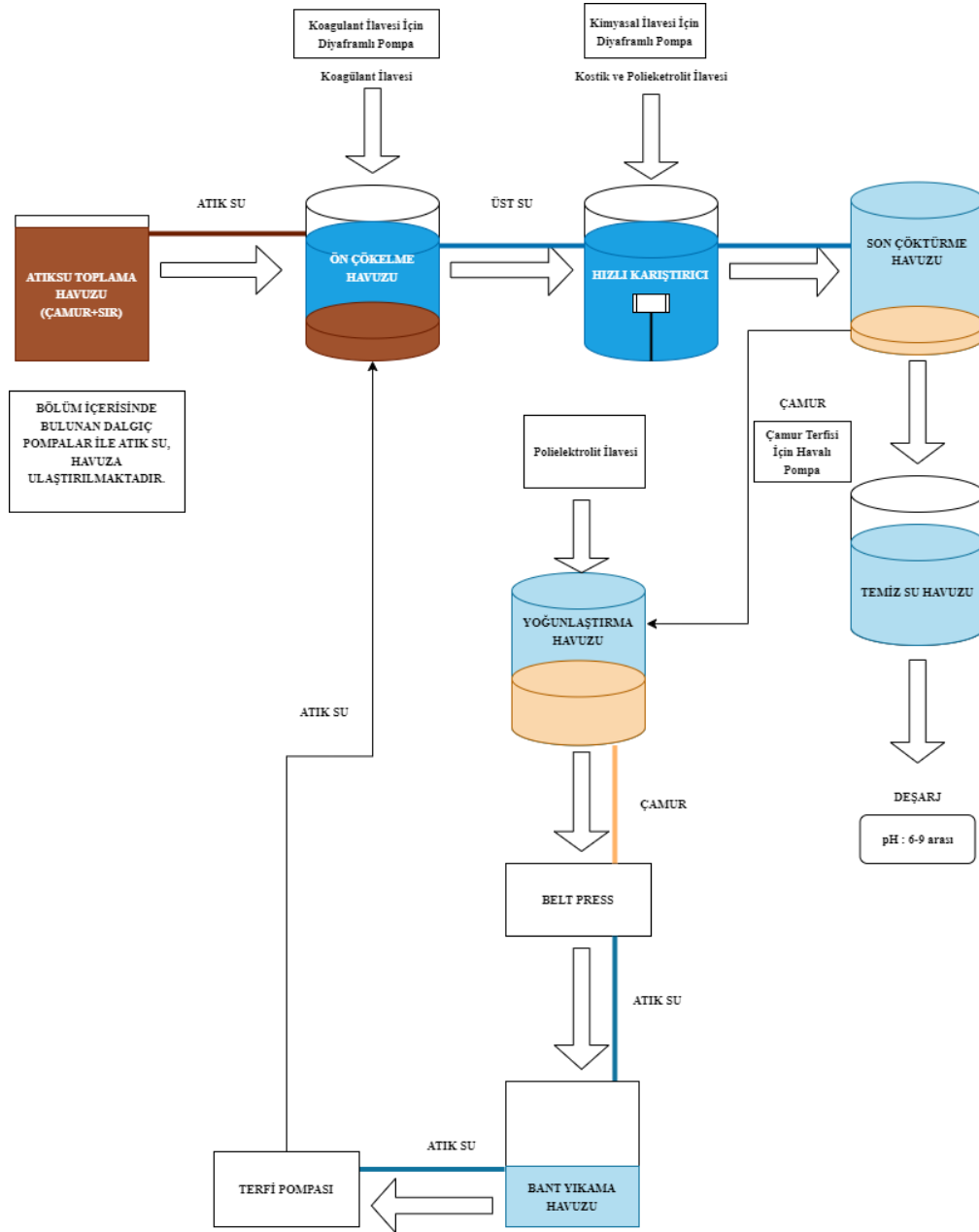
Deneysel çalışmalar boyunca deiyonizer su kullanılmıştır. Sentezlenen koagülantta kullanılan kimyasallar Merck firmasından tedarik edilmiştir.

3.Metot:

Şekil 1' de vitrifiye seramik üretimi yapılan firmanın atıksu arıtma tesisi prosesi yer almaktadır. Seramik üretimden kullanılan çamur ve sırt karışımı atıksu toplama havuzuna alınır. Buradan ön çökeltme havuzuna aktarılan atıksuya koagülant ilavesi yapıp çökeltme işlemi başlatılır. Bir sonraki aşamada atıksuya polielektrolit ilave eklenir ve son çöktürme havuzuna aktarımı sağlanır. Askıda katı madde polielektrolit ilavesiyle topaklaşır ve yoğunlaştırma havuzuna alınır, ayrışan temiz su deşarj istasyonu ile depolanır.

3.1. Sentezlenen Koagülant

75 mL 0,5 M Fe(II) çözeltisine 75 mL 0,5 M Mn(II) ($MnSO_4$ 'ten hazırlandı) çözeltisi ve 50 mL %1 (w/v) kitosan çözeltisi eklenmiş, 70 °C'ye ısıtılmıştır. 300 mL 1,5 M NaOH çözeltisi 5 mL/dk hızda eklenerek sonrasında saf su ve asetonla yıkanmış ve oda sıcaklığında kurutulmuştur (siyah renkli).



Şekil 1. Seramik Fabrikası Atık Su Arıtma Prosesi.

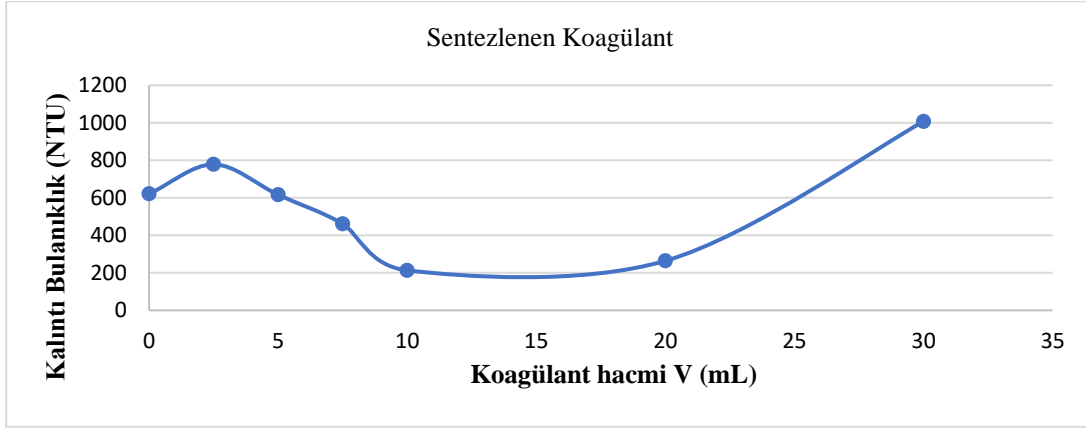
4. Deneysel Çalışmalar:

4.1. Koagülant Dozu Deneyleri

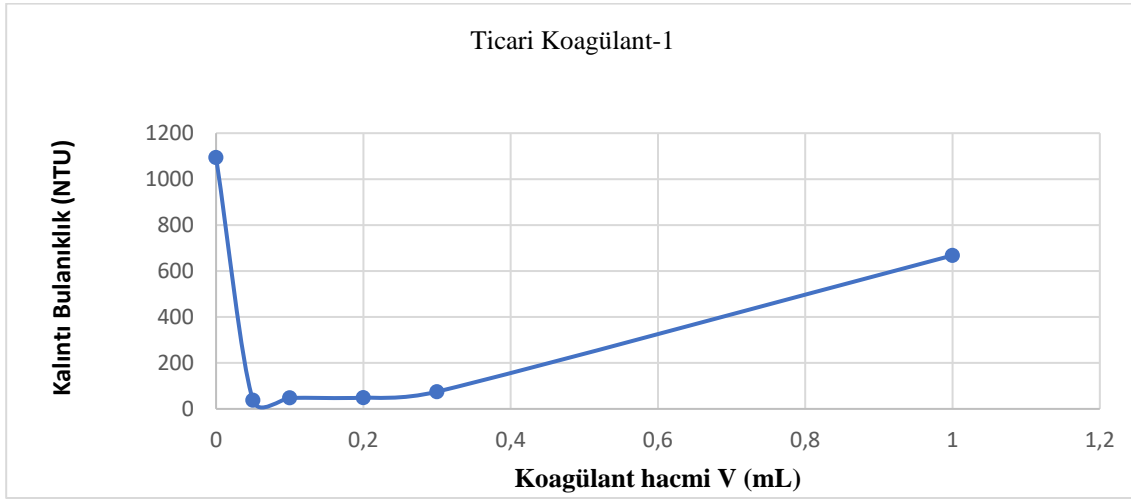
Atıksu örneğinden 5 litre alınarak HCl ile pH'ı 7.0'ye ayarlanmıştır. Manyetik karıştırıcı ile 30 dakika 250'şer mL'lik örnekler alınmıştır. Sentezlenen koagülanttan 200 mL 10 000 ppm çözelti hazırlanarak atık su örneklerine 0; 2,5; 5; 7,5; 10; 20; 30; 50 ve 70 mL eklenip üzerleri parafilm ile kapatılarak orbital çalkalayıcıda 200 rpm'de 2 dk ve sonrasında 50 rpm'de 25 dk çalkalanmıştır. 25 dk bekletilmiş ve süre sonunda üst çözeltiler falkon tüplere alınmıştır.

Deney sonucunda yapılan gözlemlerde 20 mL ve üzerinde malzeme eklenen beherde bulanıklığın fazla olduğu belirlenmiştir.

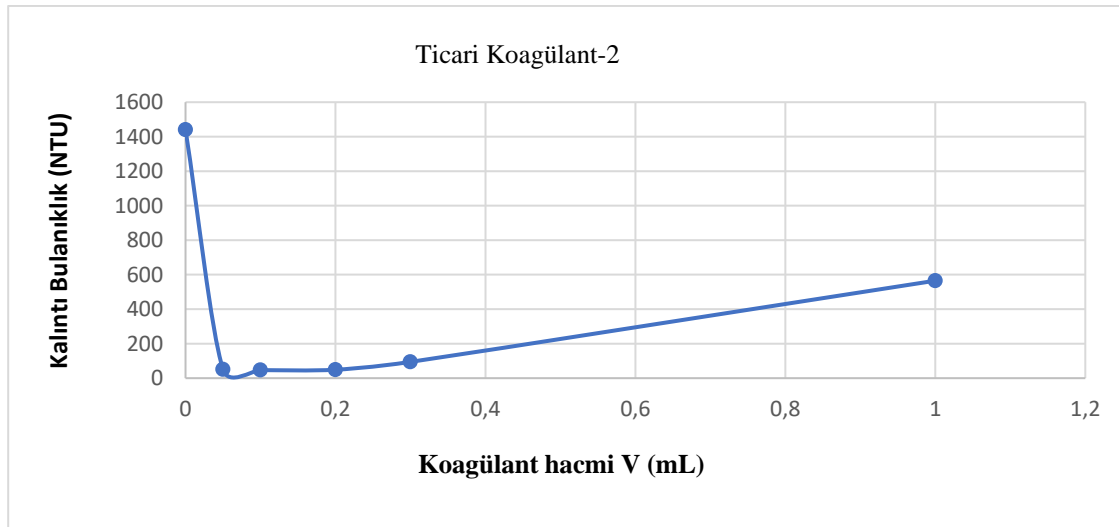
4.2. Çamurlu Atık Su Örnekleriyle Yapılan Deneyler



Şekil 2. Çamurlu su örneklerinde sentezlenen malzemenin hacmine karşı kalıntı bulanıklık sonuçları.



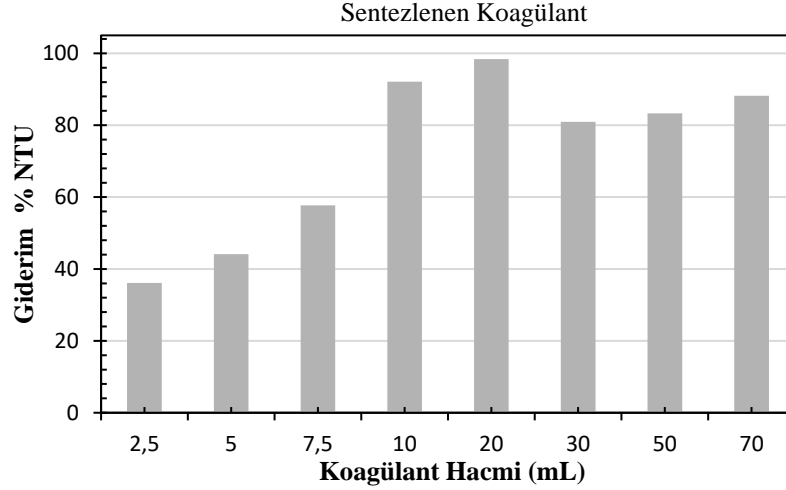
Şekil 3. Çamurlu su örneklerinde ticari koagülant-1 malzemesinin hacmine karşı kalıntı bulanıklık sonuçları.



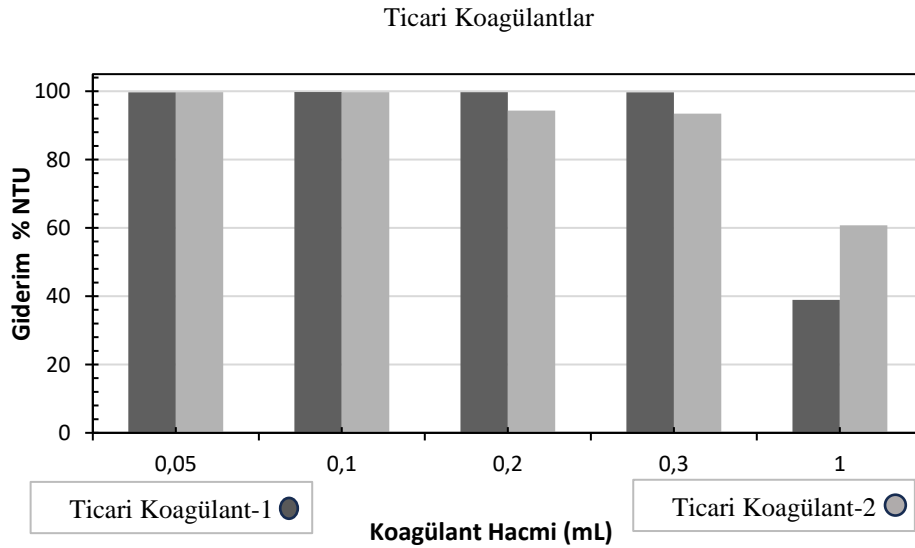
Şekil 4. Çamurlu su örneklerinde ticari koagülant-2 malzemesinin hacmine karşı kalıntı bulanıklık sonuçları.

Ticari koagülant-1 0,1 mL (2,64 NTU), ticari koagülant-2 0,05 mL (3,92 NTU) ve sentezlenen malzeme için 20 mL (80 NTU) olarak bulundu. İşlem görmemiş çamurlu atık su örnekleriyle yapılan çalışmada bulanıklık değerlerine ait sonuçların Avrupa Birliği limitlerinin (EU Directive 98/83/EC- 1 NTU)) üzerinde çıkmasına rağmen koagülasyon işlemi sonrasındaki bulanıklık değerlerinin

başlangıç suyuna göre oldukça düşük değerlerde olduğu görülmektedir. Kullanılan koagülantlardan elde edilen bulanıklılık giderme verimleri (%) Şekil 5-6'da verilmektedir.



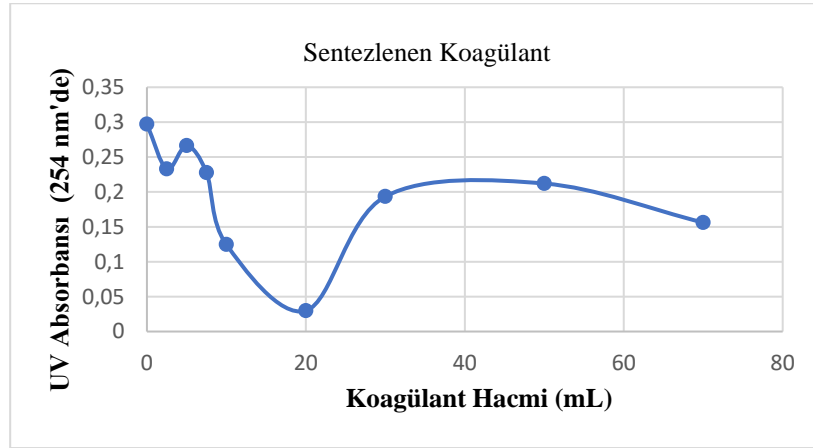
Şekil 5. Çamurlu su örneklerinde sentezlenen malzemenin giderme veriminin koagülant hacmiyle değişimi.



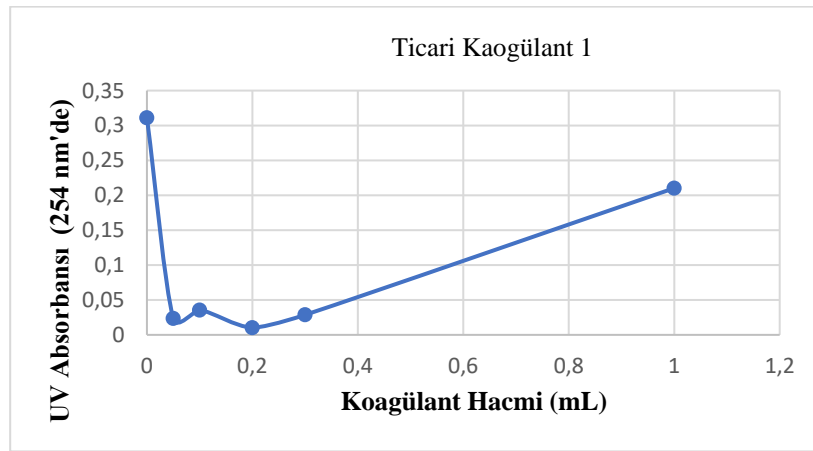
Şekil 6. Çamurlu su örneklerinde ticari koagülantların giderme verimlerinin koagülant hacmiyle değişimi.

Çamurlu su örneklerinden elde edilen bulanıklık değerlerinden hesaplanan giderme verimleri incelendiğinde Ticari koagülantlar olan ticari koagülant 1 ve 2 incelendiğinde ticari koagülant 1'in ticari koagülant 2'ye göre daha geniş bir koagülant hacmi aralığında yüksek giderme verimine (>%99) sahip olduğu görülmektedir. Sentezlenen koagülant en yüksek giderme verimi 20 mL koagülant hacmi için %98'in üzerinde giderme verimine ulaşmıştır.

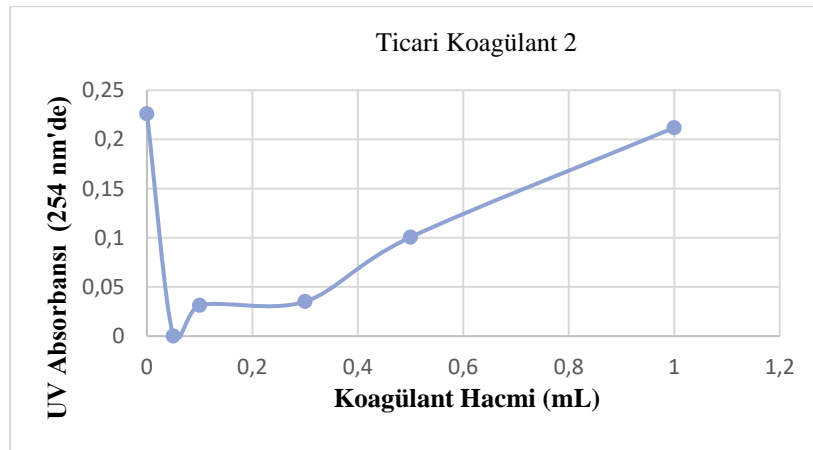
4.3. Koagülant Hacmine Karşı 254 nm’de Absorbans Tayini



Şekil 7. Çamurlu su örneklerinde sentezlenen koagülant malzemesinin koagülant hacmine karşı 254 nm’deki absorbans değişimi.



Şekil 8. Çamurlu su örneklerinde ticari koagülant-1 malzemesinin koagülant hacmine karşı 254 nm’deki absorbans değişimi.

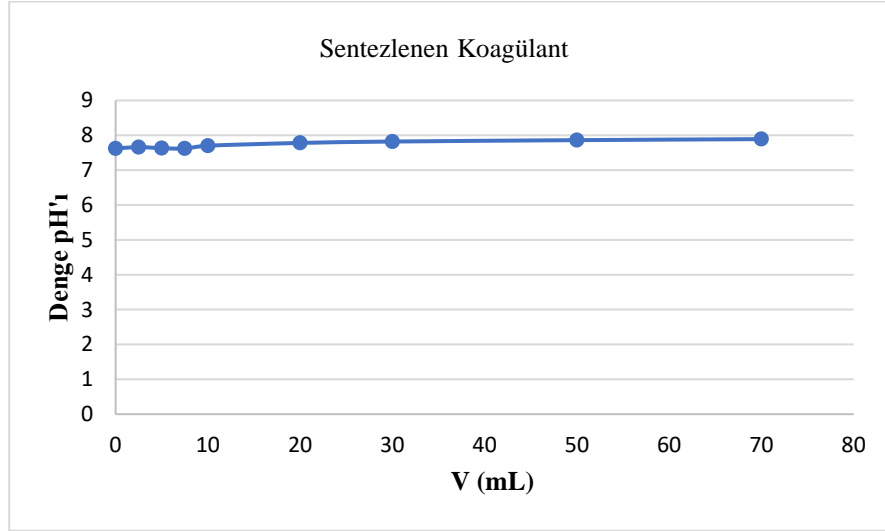


Şekil 9. Çamurlu su örneklerinde ticari koagülant 2 malzemesinin koagülant hacmine karşı 254 nm’deki absorbans değişimi.

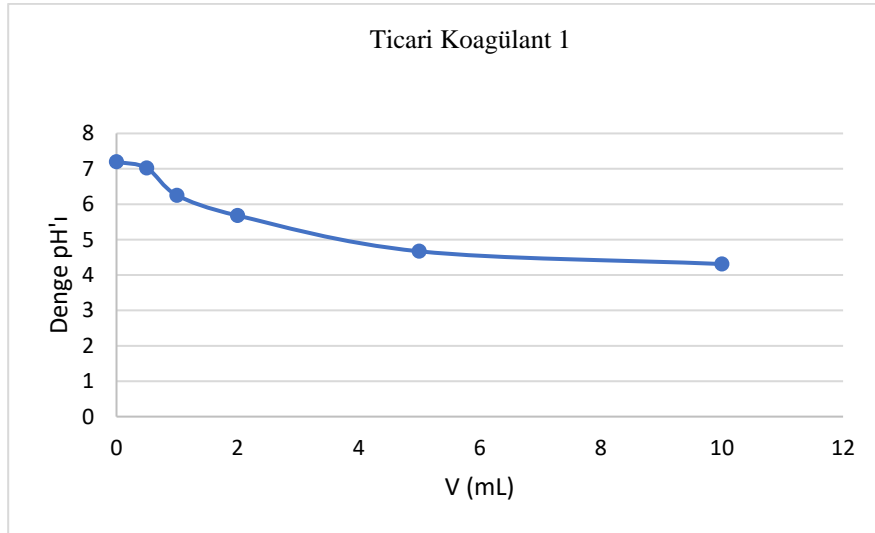
Organik maddenin bir göstergesi olan 254 nm’deki UV absorbans ölçümlerine bakıldığında en iyi performansın sentezlenen koagülant malzemesiyle elde edildiği görülmüştür. Ticari koagülant 1 ve 2’de malzemelerinin fazla miktarlarında tekrar bir artış gözlenmiştir. Az miktarlarında olumlu etki gözlenirken fazla malzeme kullanıldığında negatif etki gözlenmeye başlamaktadır. Bu nedenle bu iki malzemenin kullanımı durumunda, kullanım öncesinde optimizasyon çalışmalarının yapılması uygun olacaktır.

4.5. Koagölant Hacmine Karşı Denge pH'ının Tayini

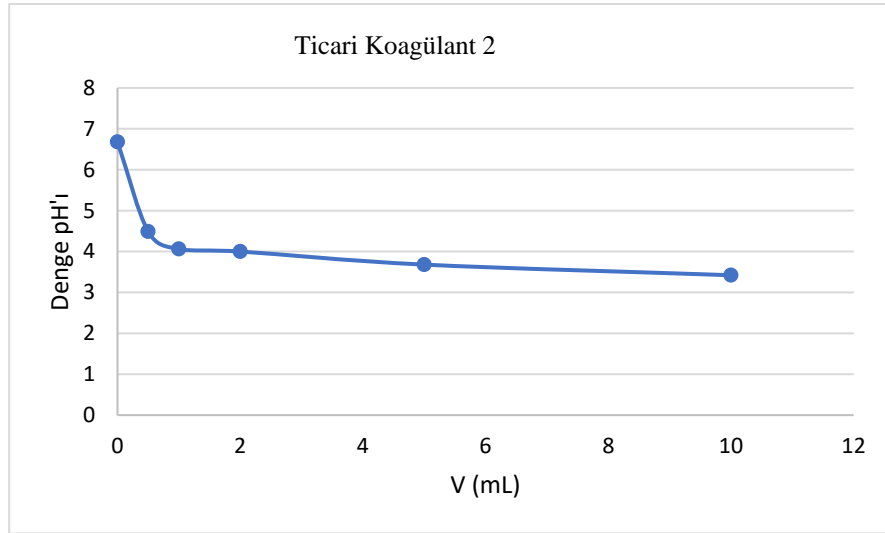
pH, kimyasal olaylar için çok önemli bir parametredir. Ortama bir kimyasal eklendiğinde, eklenen kimyasalın yapısına göre ortamda asidik veya bazik oluşumlarla birlikte pH'ta değişmeler gözlenebilmektedir. Koagölasyonda pH oldukça önemli olduğundan ortam pH'ındaki değişmeler incelenmiştir. Koagölasyon sonrası falkon tüplere alınan çözeltilerin denge pH'ları ölçülerek, eklenen koagölant hacimlerine karşı grafiklere geçirilmiştir.



Şekil 12. Çamurlu su örneklerinde sentezlenen koagölant malzemesinin koagölant hacmine karşı pH değişimi.



Şekil 13. Çamurlu su örneklerinde ticari koagölant 1 malzemesinin koagölant hacmine karşı pH değişimi.

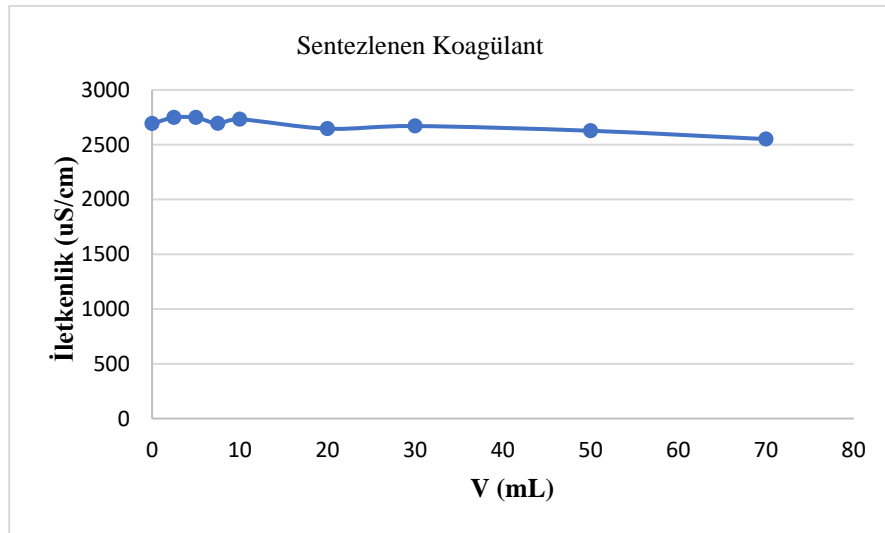


Şekil 10. Çamurlu su örneklerinde ticari koagölant 2 malzemesinin koagölant hacmine karşı pH değişimi.

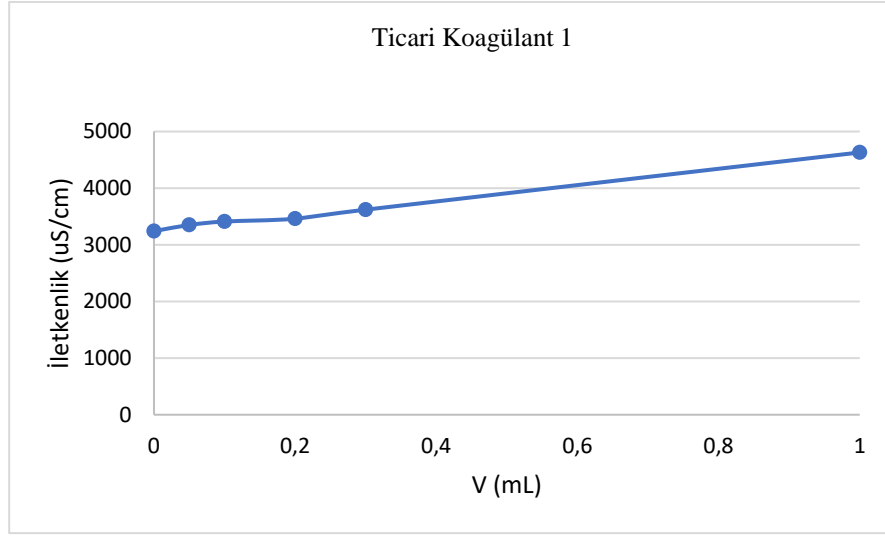
Grafiklerden görüldüğü gibi bazı malzemelerle çalışıldığında pH değeri, başlangıç değerine karşı yükselirken bazılarında düşmüştür. Eklenen türün asidik veya bazik olmasına bağlı olarak bu tür değişimler gözlenmiştir. Sentezlenen koagölantta bu değişim az bir oranda olurken ticari koagölant 1 ve 2 malzemelerinde pH değişimi kaydedeğer oranda olmuştur.

4.6. Koagölant Hacmine Karşı İletkenliklerin Tayini

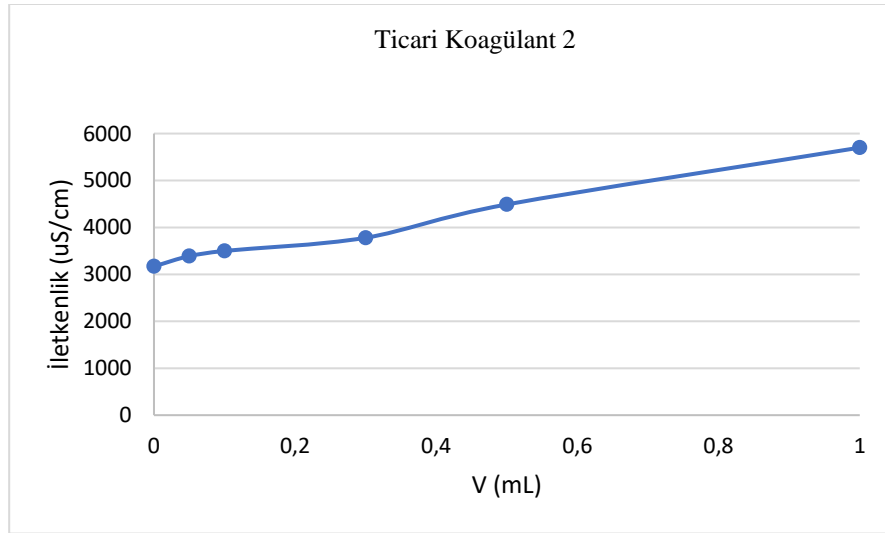
Atık su parametrelerinden biri olan iletkenlik ölçümleri her bir malzeme için, farklı koagölant hacimlerinde yapılmış ve falkon tüplere alınan çözeltilerin iletkenlikleri ölçülerek eklenen koagölant hacimlerine karşı grafiklere geçirilmiştir.



Şekil 11. Çamurlu su örneklerinde sentezlenen koagölant malzemesinin hacime karşı iletkenlik değişimi.



Şekil 12. Çamurlu su örneklerinde ticari koagülant 1 malzemesinin koagülant hacmine karşı iletkenlik değişimi.



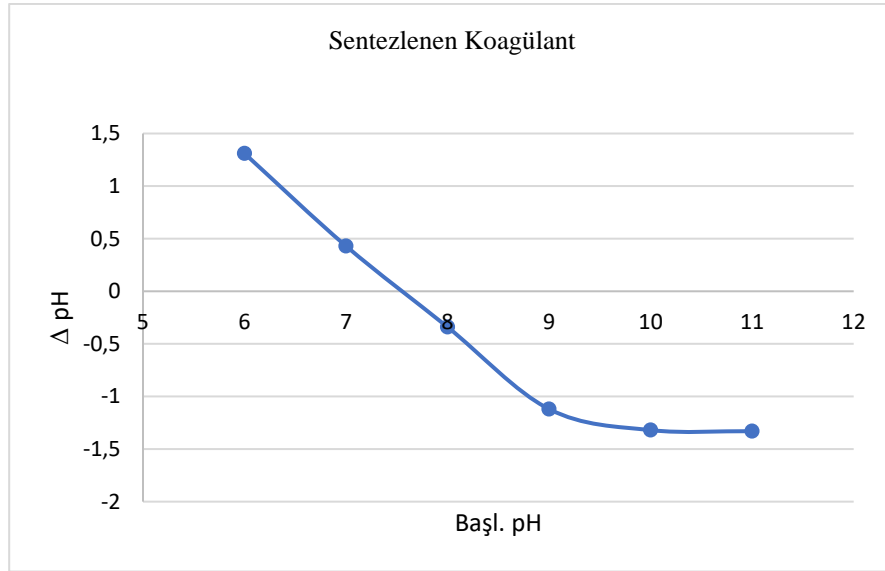
Şekil 13. Çamurlu su örneklerinde ticari koagülant 2 malzemesinin koagülant hacmine karşı iletkenlik değişimi.

İletkenlik, sulu ortamda bulunan iyonik maddelerin bir göstergesidir. Sentezlenen koagülant malzemesi eklendiğinde ortam iletkenliğinde azalma görülürken, iyonik etkisinin daha fazla olduğu belirlenen diğer ticari koagülantlarda iletkenliği artırıcı etkileri gözlenmiştir.

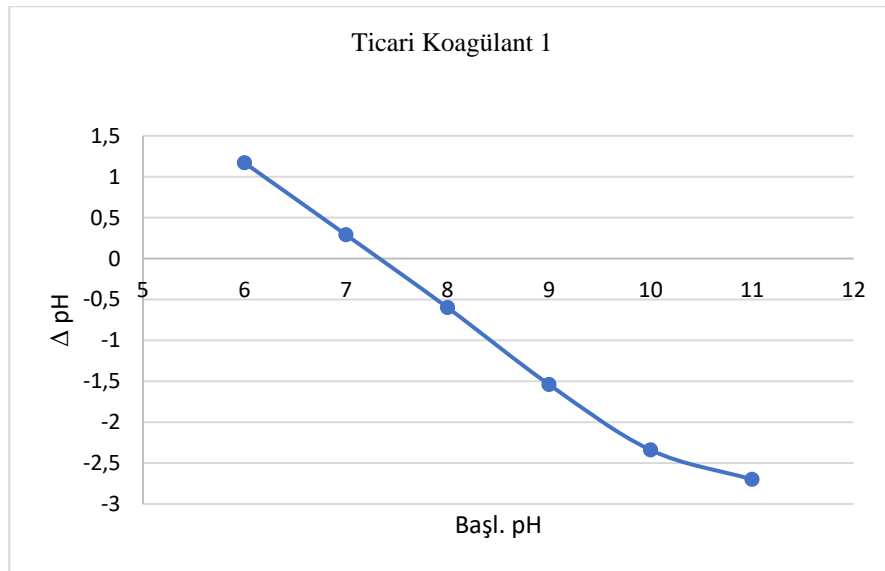
4.7. Çamurlu Su Örnekleriyle Yapılan, Başlangıç pH'ına Karşı Değişimler

Grafikler, başlangıç pH'ına karşı ΔpH değerlerini göstermektedir. ΔpH değeri aşağıdaki eşitlikten hesaplanmıştır:

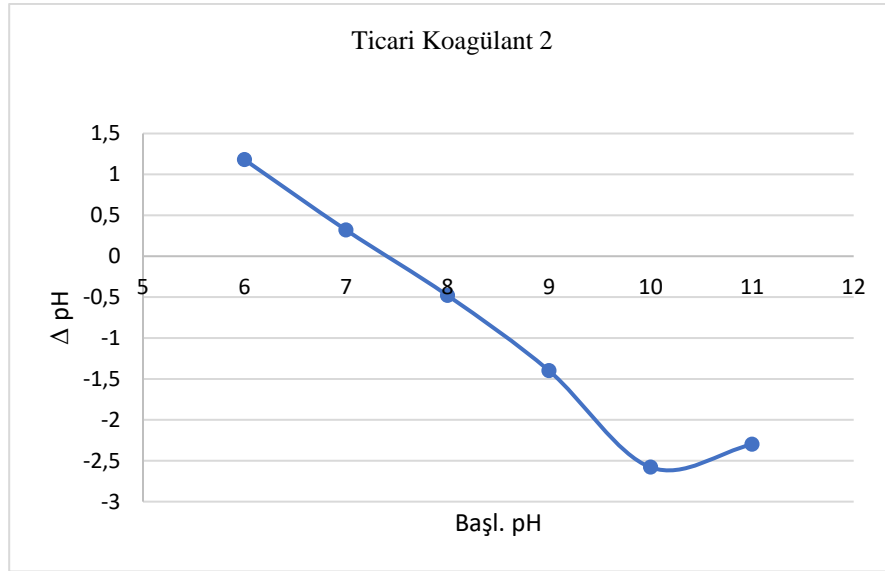
$$\Delta pH = Denge pH'ı - Başlangıç pH'ı \quad (1)$$



Şekil 14. Çamurlu su örneklerinde sentelenen koagülant malzemesinin başlangıç pH'ına karşı bulunan pH değışimi.



Şekil 15. Çamurlu su örneklerinde ticari koagülant 1 malzemesinin başlangıç pH'ına karşı bulunan pH değışimi.

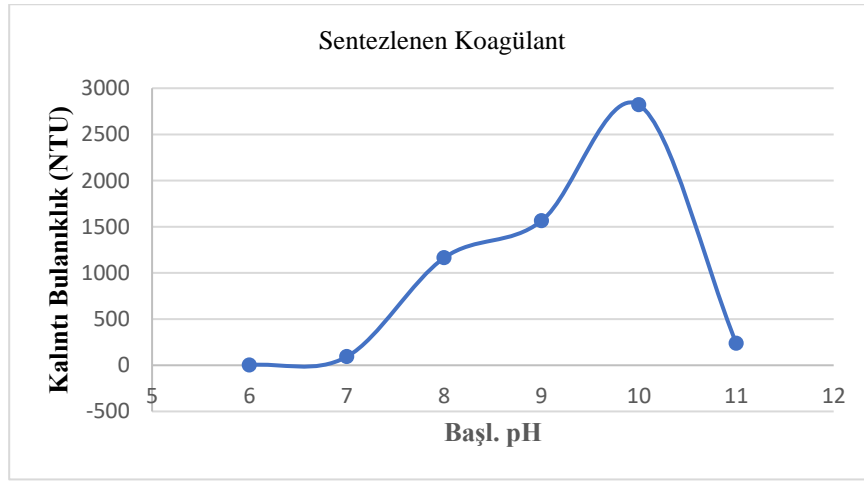


Şekil 16. Çamurlu su örneklerinde ticari koagülant 2 malzemesinin başlangıç pH'ına karşı bulunan pH değışimi.

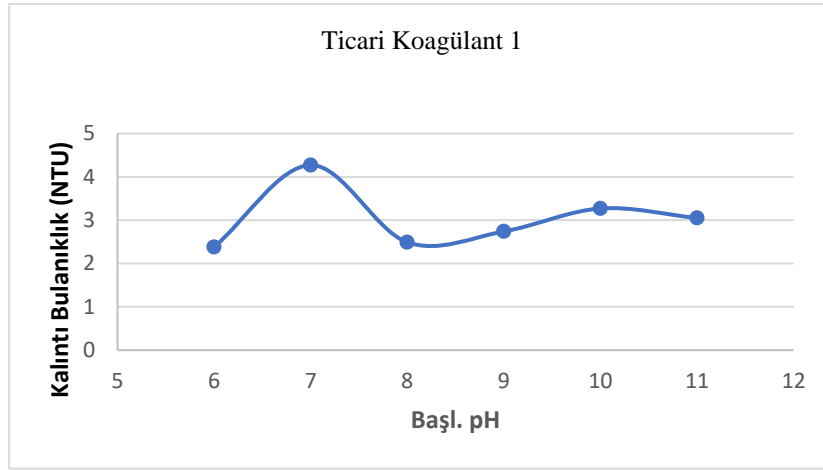
Grafiğin x eksenini kestiği, yani y değeri 0 olduğu nokta, malzemenin yüzey pH'ı olarak tanımlanmaktadır. Çalışılan malzemelerin yüzey pH'larının bazik bölgede olduğu belirlenmiştir.

4.8. pH'a Bağlı Kalıntı Bulanıklık Tayini

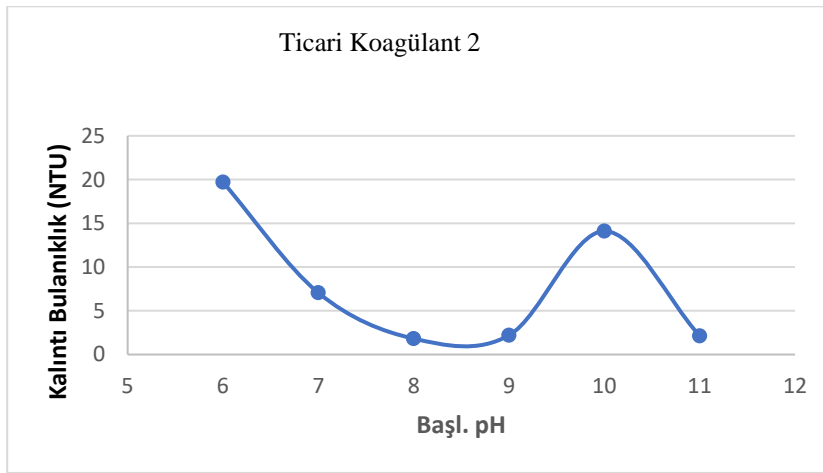
Her bir malzeme için belirlenen optimum dozda eklenen koagülantın, farklı pH ortamlarında bulanıklılığı ne kadar azalttığına yönelik grafikler çizilmiştir.



Şekil 17. Çamurlu su örneklerinde, sentezlenen koagülant malzemesi eklendiğinde kalıntı bulanıklığın pH ile değışimi.

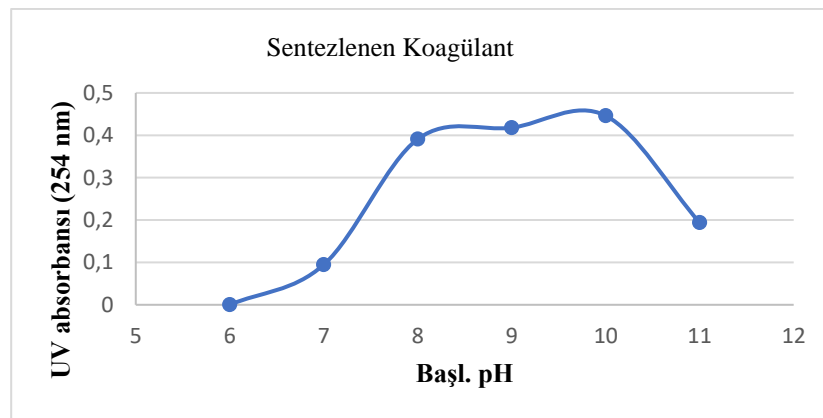


Şekil 18. Çamurlu su örneklerinde, ticari koagülant 1 malzemesi eklendiğinde kalıntı bulanıklığın pH ile değişimi.

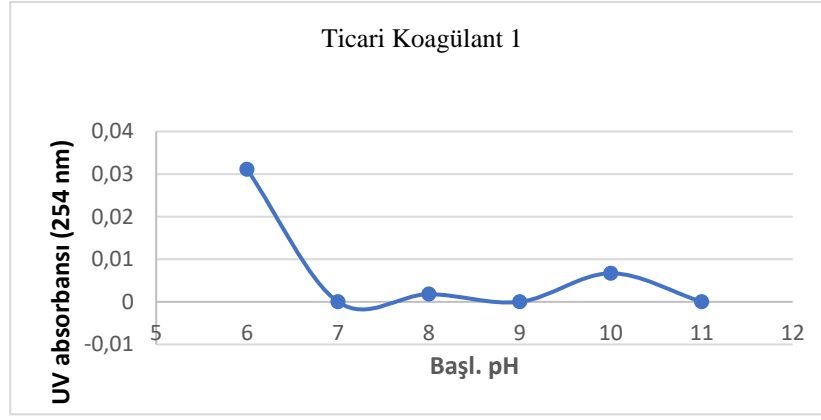


Şekil 19. Çamurlu su örneklerinde, ticari koagülant-2 malzemesi eklendiğinde kalıntı bulanıklığın pH ile değişimi.

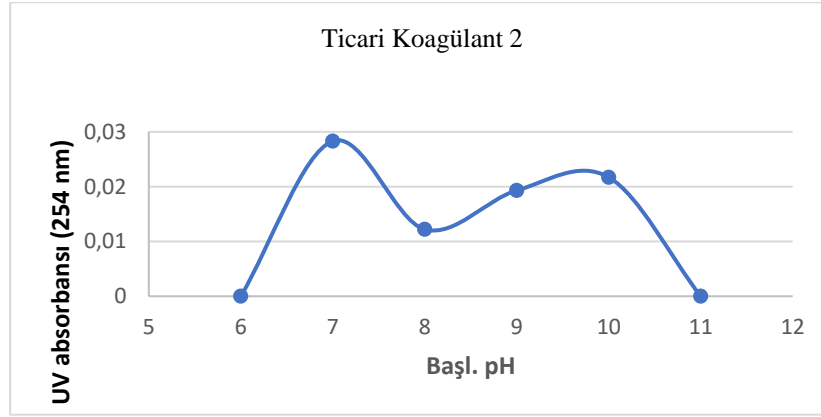
4.9. pH'a Bağlı 254 nm'de Absorbans Değerleri Tayini



Şekil 20. Çamurlu su örneklerinde sentezlenen koagülant malzemesinin 254 nm'deki absorbansın pH ile değişimi.



Şekil 21. Çamurlu su örneklerinde ticari koagülant-1 malzemesinin 254 nm'deki absorbansın pH ile değişimi.

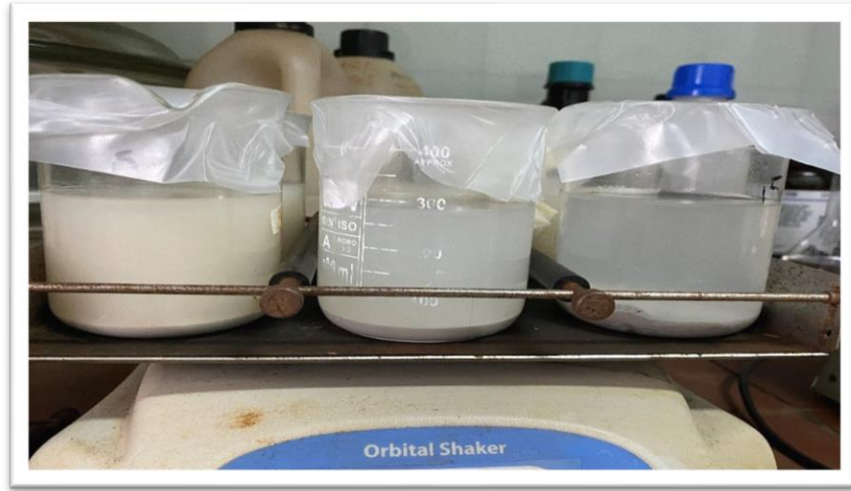


Şekil 22. Çamurlu su örneklerinde ticari koagülant 2 malzemesinin 254 nm'deki absorbansın pH ile değişimi.

Sentezlenen koagülant için optimum pH değeri 6; ticari koagülatlar için ise optimum pH değeri 8 olarak belirlenmiştir.

5. ASKIDA KATI MADDE TAYİNİ

Askıda Katı Madde (AKM), bir su veya atıksu numunesindeki filtrasyon işlemi ile elde edilen toplam katının miktarıdır. Askıda Katı Madde uygun bir arıtma işlemiyle uzaklaştırılmadığı takdirde alıcı ortamdaki su kalitesi yüksek derişimdeki askıda katı madde nedeniyle düşebilir. Sucul ortamda bulunan askıda katı maddeler ışığı soğurarak su sıcaklığının artmasına ve oksijenin azalmasına neden olmaktadır. Bu durum da sucul yaşam için elverişsiz bir ortam oluşturur. Bu nedenle, atıksu arıtma işlemlerinde çıkış suyunda izin verilen toplam askıda katı madde derişimleri belirlenmiştir [4].



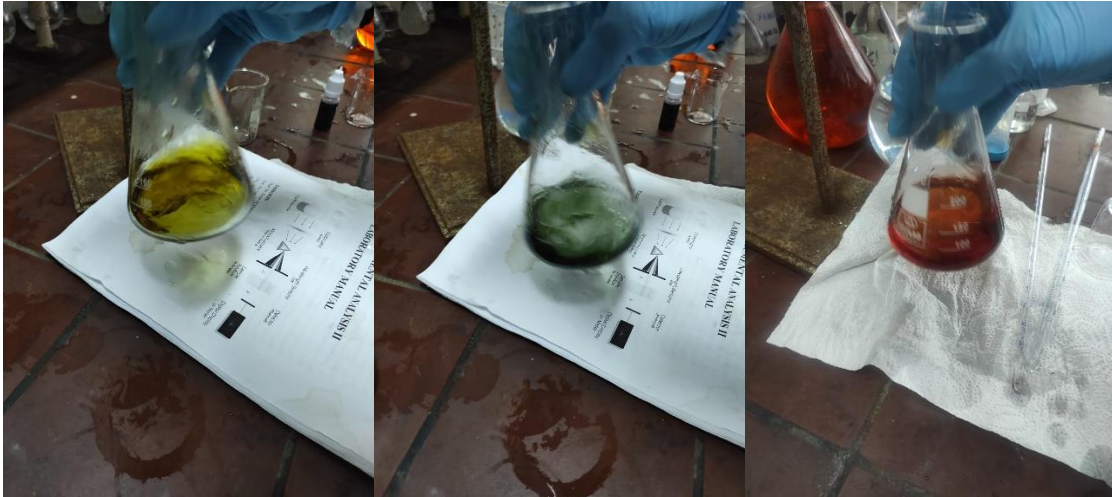
Şekil 23. Koagülant jar testleri

5.1.KOİ

Standart potasyum dikromat çözeltisi 0,0417 M, 0,250 N: $K_2Cr_2O_7$ katısı $105\text{ }^\circ\text{C}$ 'de bekletilmiş ve 12,2590 gram tartılarak ultra saf su ile 1 litre çözelti hazırlanmıştır. Gümüş sülfat içeren sülfürik asit reaktifi: 10,0876 gram Ag_2SO_4 tartılarak derişik sülfürik asit ile 1 litre çözelti hazırlanmıştır. Demir(II) Amonyum Sülfat çözeltisi 0,1250 N: $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ 'dan 49,0 gram tartılarak bir miktar saf suda çözülmüştür. 20 mL Der. H_2SO_4 eklenip ultra saf su ile 1 litre çözelti hazırlanmıştır. Deney öncesinde günlük olarak ayar yapılmıştır. Ferroin indikatör çözeltisi: 3,5 gram $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ ve 7,5 gram 1,10 fenantrolin monohidrat tartılarak ultra saf su ile 500 mL çözelti hazırlanmıştır [5].

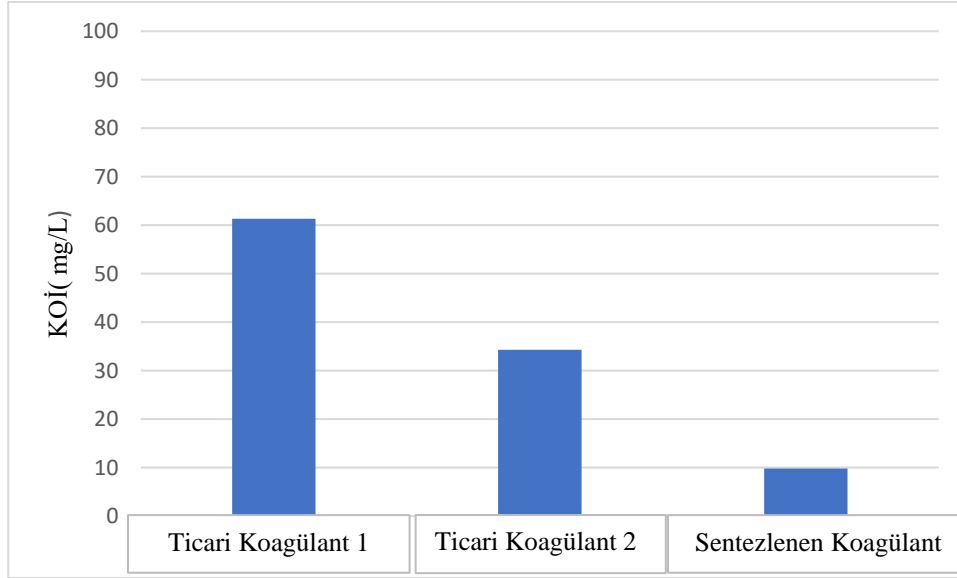


Ayar için: 10 mL $K_2Cr_2O_7$ + 30 mL Der. H_2SO_4 üzerine ferroin indikatörü eklenerek Fe(II) çözeltisi ile titre edilmiştir. Önce turuncu, yarıda yeşil ve son olarak kahve-kırmızı renk görülmüş ve titrasyon sonlandırılmıştır. [5]

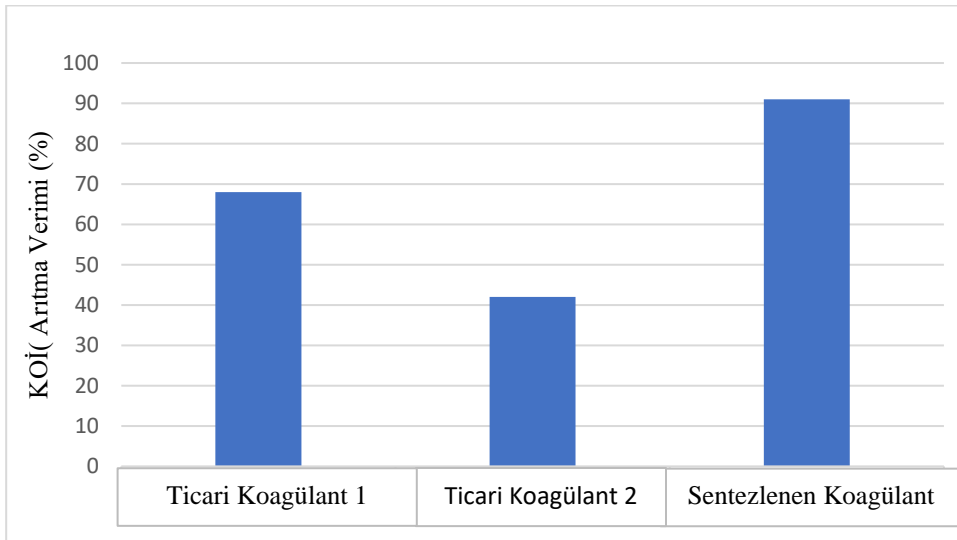


Şekil 24. KOİ titrasyonu renk değişim görüntüleri

Örnek titrasyonu için: 20 mL örnek üzerine 5 mL Ag içeren H_2SO_4 ve 10 mL $K_2Cr_2O_7$ eklenerek balon geri soğutucuya bağlanmıştır. Ag içeren H_2SO_4 'ten 25 mL alınarak geri soğutucunun tepesinden eklenmiş ve 1,5 saat ısıtılmıştır. Soğutulduktan sonra çeperler yaklaşık 60 mL saf su ile yıkanarak erlene alınmış ve ferroin eklenerek Fe(II) ile titre edilmiştir.



Şekil 25. Koagülan bulunan ortamda KOİ değerleri



Şekil 26. Koagülanların KOİ arıtma verimi değerleri

Sonuç ve Tartışma:

Deneysel çalışmalarda, atıksu örneklerinden 200 ml alınarak uygun dozajlama oranı incelenmiştir. Sentezlenen koagülan 20 ml ve üzeri dozajlamada bulanıklılığın fazla olduğu gözlemlenmiştir. Bu oran ticari koagülan-1 için 0,1 ml, ticari koagülan-2 için 0,05 ml

olarak bulunmuştur. Elde edilen bulanıklılık değerlerinden hesaplanan giderme verimleri incelendiğinde ticari koagülant-1'in ticari koagülant-2'ye göre daha geniş bir hacim aralığında yüksek giderme verimine (> %99) sahip olduğu görülmüştür. Sentezlenen koagülant için en yüksek giderme verimi 20 ml hacim için > %98'in üzerinde olduğu görülmüştür. Organik maddenin bir göstergesi olan 254 nm'deki UV absorbans ölçümlerine bakıldığında en iyi performansın sentezlenen koagülant malzemesiyle elde edildiği görülmüştür. Ticari koagülant 1 ve 2'de malzemelerinin fazla miktarlarında tekrar bir artış gözlenmiştir. Az miktarlarında olumlu etki gözlenirken fazla malzeme kullanıldığında negatif etki gözlenmeye başlamaktadır. Koagülasyonda pH oldukça önemli olduğundan ortam pH'ındaki değişimler incelenmiştir. Sentezlenen koagülantta bu değişim az bir oranda olurken ticari koagülant 1 ve 2 malzemelerinde pH değişimi kaydedeğer oranda olmuştur. İletkenlik, sulu ortamda bulunan iyonik maddelerin bir göstergesidir. Sentezlenen koagülant malzemesi eklendiğinde ortam iletkenliğinde azalma görülürken, iyonik etkisinin daha fazla olduğu belirlenen diğer ticari koagülantlarda iletkenliği artırıcı etkileri gözlenmiştir.

Deneyel çalışmaların ikinci aşamasında çamurlu su örnekleriyle yapılan başlangıç pH'ına karşı değişimler incelenmiştir. Yüzey pH tayinleri yapılmış ve üç malzemeninde bazik olduğu tespit edilmiştir. pH'a karşı bulanıklılık tayinleri yapılmış ve sentezlenen koagülant için optimum pH 6, ticari koagülantlar için optimum pH değeri 8 bulunmuştur.

Deneyel çalışmaların son aşamasında kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ) testleri yapılmıştır.

KOİ, testi incelendiğinde sentezlenen koagülantın arıtma verimi değerleri ticari koagülantlara göre yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 1. JAR Testi tablosu

Koagülant	pH	Bulanıklılık (NTU)	İletkenlik ($\mu\text{S/cm}$)	Absorbans (254NM)	AKM (mg/L)	KOİ (mg/L)
Sentezlenen Koagülant	6,46	1,22	1334	0,0295	11,2	9,8
Ticari Koagülant-1	7,51	6,08	1182	0,0041	22,5	34,3
Ticari Koagülant-2	7,14	6,27	1412	0,0402	23,9	61,3

Proje kapsamında, literatürde bulunmayan, laboratuvar ortamında hazırlanan malzeme piyasada satılan iki farklı koagülant ile karşılaştırılmıştır. Çok sayıda deneyler yapılarak optimizasyon çalışmaları yapılmış ve etkinlikleri karşılaştırılmıştır. Piyasada satılan malzemelerin eşdeğerleri, laboratuvarında çok daha uygun fiyatlara üretilmiştir. Etkinlikleri karşılaştırıldığında, su parametre değerleri limitlerin altına düşürülüp, çok yüksek verimler elde edilmiştir. Tablo 2'de Serel Seramik fabrikasında aktif olarak kullanılan iki farklı koagülant ile laboratuvar ortamında sentezlenen malzeme için maliyet hesabı yapılmıştır ve sentezlenen malzemenin kullanılması durumunda yıllık %61'lik bir maliyet düşüşü sağladığı tespit edilmiştir.

Tablo 2. Koagülant hesaplama tablosu

	Ticari Koagülant-1	Sentezlenen Kaogülant	Ticari Kaogülant -2	Atık Alıcı
Optimum Dozajlama (kg/dk)	0,5	0,5	0,5	2
Aylık Tahmini Kullanım (kg)	1300	780	7200	36000
Br. Fiyat (euro)	1	0,65	0,7	0,1
Aylık Toplam Maliyet	1300	507	5040	3600
Yıllık Toplam Maliyet	15600	6084	60480	43200

Referanslar

- [1] Salman, M., Shakir, M., Yaseen, M. 2022. Recent Developments in Membrane Filtration for Wastewater Treatment. , , 1–25. https://doi.org/10.1007/978-3-030-98202-7_1
- [2] Uğurlu, M. 2005. Removal of some inorganic compounds from paper mill effluents by the electrocoagulation method. *Fresenius Environmental Bulletin*, 14(4):, 315–321.
- [3] Karchiyappan, T., Karri, R. R., Dehghani, M. H. (Ed.) 2022. *Industrial Wastewater Treatment (C. 106)*, Cham, : Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-98202-7>
- [4] Şener, A.G., (2013), Zeolit Süspansiyonun Farklı Değerlikli Katyonlara Sahip İnorganik Tuzlar ile Koagülasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, KONYA.
- [5] kanser, A., (2010), Sulardan Kaogülasyon/Yumaklaştırma İşlemi ile Ağır Metal Gideriminin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, ANKARA.
- [6] Alptekin, A.M., (2006), Doğal Taş Atıksularının Flokülasyon/Koagülasyon Yöntemiyle Arıtılması, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, AFYONKARAHİSAR.
- [7] Çiftçi, Ç., (2007), Metal Kesme Atıksularının Koagülasyon ve Elektrokoagülasyon ile Arıtımı, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, KOCAELİ.
- [8] A.K. Tolkou, A.I. Zouboulis, Synthesis and coagulation performance of composite poly-aluminum-ferric-silicate-chloride coagulants in water and wastewater, *Des. Water Treat.* (2014) 1–10.
- [9] A.I. Zouboulis, N.D. Tzoupanos, Polyaluminium silicate chloride—A systematic study for the preparation and application of an efficient coagulant for water or wastewater treatment, *J. Hazard. Mater.* 162 (2009) 1379–1389.
- [10] Ghernaout D. (2014). The hydrophilic/hydrophobic ratio vs. dissolved organics removal by coagulation-A review. *Journal of King Saud University-Science*, 26, 169- 180.
- [11] Jiang JQ. (2001). Development of coagulation theory and prepolymerized coagulants for water treatment. *Separation and Purification Methods*, 30(1), 127-141.
- [12] Volk C, Bell K, Ibrahim E, Verges D, Amy G, LeChevallier M., (2000). “Impact of enhanced and optimized coagulation on removal of organic matter and its biodegradable fraction in drinking water”. *Water Research*, 34(12), 3247-325.
- [13] Pernitsky, D. J., Edzwald, J. K. 2006. Selection of alum and polyaluminum coagulants: Principles and applications. *Journal of Water Supply: Research and Technology - AQUA*, 55(2):, 121–141. <https://doi.org/10.2166/aqua.2006.062>