

PILOT ÖLÇEKLİ İÇME SUYU ARITMA TESİSİNDE HIZLI KARIŞTIRMA ÜNİTESİNİN MATEMATİKSEL MODELLENMESİ

*Ece SAĞIR KURT** 

*F. Büşra YAMAN BÜYÜKBÜBEROĞLU** 

*Nigar EYİT** 

*Onur KİRAZ*** 

*Çağlar YILDIRIM*** 

*Mehmet ÇAKMAKCI**** 

*Erdem GÖRGÜN***** 

Alınma: 16.11.2020; düzeltme: 04.04.2021; kabul: 26.04.2021

Öz: Konvansiyonel arıtma üniteleri suda bulunan partiküler ve kolloidal maddelerin uzaklaştırılmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Ham sudaki organik maddenin karakteri ve konsantrasyonu, bulanıklık, pH, alkalinite ve sıcaklık gibi parametreler arıtma verimini önemli ölçüde etkilemektedir. Arıtma ünitelerinin verimini artırmak amacıyla genellikle inorganik pıhtılaştırıcılara ihtiyaç duyulmaktadır. İnorganik pıhtılaştırıcılar hızlı karıştırma ünitesine ilave edilmektedir ve suda çözüldüğünde pH ile diğer parametrelere etki edebilmektedir. Konvansiyonel arıtma ünitelerinden biri olan hızlı karıştırma ünitesi, partiküler ve kolloidal maddelerin destabilize edilmesinde önemli rol oynamaktadır. Hızlı karıştırma ünitesinin verimli olması sonraki ünitelerin de verimlerini etkilemektedir. Bu çalışma kapsamında Büyükçekmece İçme Suyu Arıtma Tesisi ham suyu ile pilot ölçekli tesis işletilerek hızlı karıştırma ünitesi modellenmiştir. Ham su parametreleri kullanılarak hızlı karıştırma ünitesinin çıkış pH değerini tahmin edebilmek için korelasyon ve regresyon analizleri gerçekleştirilmiştir. İstatistiksel analiz ve modellemede Excel veri çözümü araçları kullanılmıştır. %1,90 hata sınırı içerisinde pH değeri tahmin edilmiştir. Böylece, Türkiye’de ilk defa hızlı karıştırma ünitesi için bir matematiksel model oluşturulmuştur. Bu sonuçlar, oluşturulan modelin içme suyu arıtma tesislerinde kullanılabilir olacağını göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Hızlı karıştırma, pH, Model, İçme suyu arıtma

Mathematical Modeling of Rapid Mixing Unit in Pilot Scale Drinking Water Treatment Plant

Abstract: Conventional treatment units are widely used for the removal of particulate and colloidal substances in water. Parameters such as character and concentration of organic matter in raw water, turbidity, pH, alkalinity and temperature significantly affect the treatment efficiency. Inorganic coagulants are usually needed to increase the efficiency of treatment units. They are added to the rapid mixing unit and can affect pH and other parameters when dissolved in water. The rapid mixing unit, one of the conventional treatment units, plays an important role in destabilizing particulate and colloidal substances. The efficiency of the rapid mixing unit also affects the efficiency of the subsequent units. Within the scope of this study, a pilot plant was operated with the raw waters of Buyukcekmece Drinking Water Treatment Plant and a

* İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi, Araştırma ve Geliştirme Şube Müdürlüğü, 34060, Eyüpsultan/İstanbul

** İo Çevre Çözümleri Ar-Ge Ltd. Şti., 34469, Sarıyer/İstanbul

*** Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Davutpaşa Kampüsü, 34220, Esenler/İstanbul

**** İstanbul Teknik Üniversitesi, Ayazağa Kampüsü, İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 34469, Maslak/İstanbul

İletişim Yazarı: Ece SAĞIR KURT (eskurt@iski.istanbul)

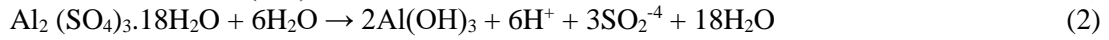
rapid mixing unit was modeled in terms of pH. Correlation and regression analyses were carried out to estimate the outlet pH of the rapid mixing unit by using the raw water parameters. Excel data analysis tools were used in statistical analysis and modeling. The pH value was estimated within the 1.90% error limit. Thus, a mathematical model has been developed for the rapid mixing unit for the first time in Turkey. These results indicate that the model created will be usable in drinking water treatment plants.

Keywords: Rapid mixing, pH, Model, Drinking water treatment

1. GİRİŞ

İçme ve kullanma suları yer üstü, yer altı ve deniz suyu gibi kaynaklardan temin edilmektedir. Az sayıda yer üstü ve yer altı su kaynakları içme suyu standartlarını sağlamaktadır ve arıtma yapılmaksızın sadece bakiye klor ilavesi sonrasında tüketiciye ulaştırılabilmektedir. Doğrudan içme suyu olarak kullanılacak nitelikte olmayan kaynakların suları arıtılmaktadır. Bu su kaynaklarında genellikle mikrobiyolojik parametreler, askıda katı maddeler, koloidal tanecikler ve bazı iyonlar gibi kirleticilerin biri veya birkaçı standart değerleri sağlamayabilir. Suda bulunan kirleticilerin özellikleri değerlendirilerek uygun arıtma üniteleri ile arıtılmaları gerekmektedir (Leeuwen Van ve diğ., 2003).

Kendiliğinden çökelmeyen koloidal ve askıda katı taneciklerin sudan uzaklaştırılabilmesi amacıyla koagülant (pıhtılaştırıcı) maddeler ilave edilmektedir. İlave edilen koagülantlar ile tanecik yükünün zıt olması gerekmektedir. Böylece, tanecik kesme yüzeyindeki zeta potansiyeli azaltılmakta ve taneciğin destabilize olması sağlanmaktadır. Su arıtımında yaygın olarak kullanılan koagülantlar demir ve alüminyum tuzlarıdır. Demir ve alüminyum tuzlarının sudaki hidroliz reaksiyonları Reaksiyon 1 ve 2’de görülmektedir.



Reaksiyon 1 ve 2’deki hidroliz reaksiyonları sonrasında demir ile alüminyum, su içerisinde +3 değerlidir. İlave edilen koagülantların hidroliz ürünlerinin 0,01 ila 1 saniye içinde gelişmesi ve kolloidler ile temas ederek koloidlerin stabilitesini bozması (destabilize etmesi) beklenmektedir. Hidroliz ürünlerinin su içerisinde genellikle 0,1 saniye gibi kısa süre içinde dağılması sağlanmalıdır. 1 ila 7 saniye arasında +3 değerlikli demir ile alüminyum, suda bulunan hidroksil (OH⁻) iyonu ile reaksiyon verebilmektedir. Reaksiyon sonucu demir hidroksit (Fe(OH)₃) ile alüminyum hidroksit ((Al(OH)₃)₃) oluşturmaktadır. Oluşan hidroksitler katı formdadır ve ancak temas ettikleri kolloidlerin çöktürülmesine katkı sağlamaktadır. Kolloid gideriminde destabilizasyonun verimi hidroksitlere göre oldukça yüksektir (Vrale ve Jordan, 1971; Faust ve Aly, 2017). Destabilizasyon ile tanecik kesme yüzeyindeki zeta potansiyeli de en aza indirgenir.

Hızlı karıştırma ünitelerinin performansının belirlenmesinde en önemli parametre zeta potansiyeli ölçümüdür. Zeta potansiyelin büyüklüğü, koloidal sistemin kararlılığının bir göstergesidir. Zeta potansiyelinin birimi voltur. +30 mV’dan büyük ve -30 mV’dan küçük potansiyelerde koloidal tanecikler kararlı olarak kabul edilmektedir. Kolloidlerin destabilize edilmesi için potansiyelin sıfıra yakın olması istenmektedir. Tanecikler 0- ±5 mV aralığında zeta potansiyeline sahipse taneciklerin bir araya toplanmasını engelleyecek kuvvet bulunmadığından topaklanma ve çökme oluşabilir (Kumar ve Dixit, 2017).

pH, iletkenlik (tuzun tipi ve/veya konsantrasyonu) ve katkı maddelerinin (polimerler vb.) konsantrasyonundaki değişiklikler zeta potansiyelini etkilemektedir. Zeta potansiyelini etkileyen pH, hızlı karıştırma ünitesinde de oldukça önemli bir etkiye sahiptir (Uyak ve diğ., 2007; Xie ve diğ., 2012). Hidroliz ürünlerinin yükleri pH ile değişmektedir. Reaksiyon 1 ve 2’de görüldüğü üzere demir ile alüminyumun hidrolizi sonrasında suya H⁺ iyonu verilmektedir. H⁺ iyonu suda alkalinite tüketimine ve pH değerine önemli ölçüde etki etmektedir. H⁺ iyonlarının iyi karışımı sonucunda pH ve alkalinite değişim gözlenmektedir.

Koagülantların sudaki çözünürlüklerini ve etkinliklerini sıcaklık etkilemektedir. Su sıcaklığının artması ile alüminyum sülfatın sudaki çözünürlüğü de artmaktadır (Brandt ve diğ., 2017). İrlanda EPA (2002) tarafından 12 °C ve üzerindeki sıcaklıklarda koagülantların verimli çalışabilecekleri belirtilmiştir.

Pıhtılaşma ile uzaklaştırılan [çözünmüş organik karbon (ÇOK) olarak ölçülen] doğal organik madde (DOM) miktarı, kullanılan koagülantın dozundan, tipinden ve pıhtılaşmanın meydana geldiği pH değerinden etkilenir. Koagülantların çözünürlüklerinin en düşük olduğu pH aralığının organik maddelerin uzaklaştırılması için önemli olduğu birçok çalışmada belirtilmiştir (Leeuwen Van ve diğ., 2003; Xie ve diğ., 2012).

Zenginleştirilmiş koagülasyon ile doğal organik madde giderimi için pH modeli oluşturulması Xie ve diğ. (2012)'de araştırılmıştır. Bu modelde zenginleştirilmiş koagülasyona etki eden doğal organik madde, UV254, spesifik ultraviyole adsorpsiyonu (SUVA), alkalinite, pH ve bulanıklık parametreleri dikkate alınmıştır. Zenginleştirilmiş koagülasyon sonrasında parametreler ile pH arasındaki ilişkiler irdelenmiş ve farklı koagülantlar kullanılarak pH modelleri geliştirilmiştir.

İçme suyu arıtma tesisleri uygun çıkış suyu sağlaması yanında maliyetlerin azaltılması, enerji kaynaklarının daha iyi kullanılması ve çevresel emisyonların azaltılmasına odaklanmalıdır. Tesislerin operatör tecrübesi yanında matematiksel modeller ile tahmine dayalı kontrollerin yapılması maliyet tasarrufu için bir koşuldur (van der Helm ve Rietveld, 2002). Büyük ölçekli bir su arıtma tesisinde koagülant dozu seçimi, etkili organik madde giderimi ve aynı zamanda dezenfeksiyon yan ürünleri oluşumu ile kimyasal kullanım maliyetini de en aza indirebilir. Tahmine dayalı matematiksel modeller ile geleneksel kontrol yöntemlerinin karşılaştırıldığı Bakker ve diğ. (2013)'nin çalışmasında, tahmine dayalı modellerin gerçek ölçekli tesislerde enerji tasarrufu sağladığı ve su kalitesinin iyileştirilmesinde rol oynadığı ortaya çıkmıştır.

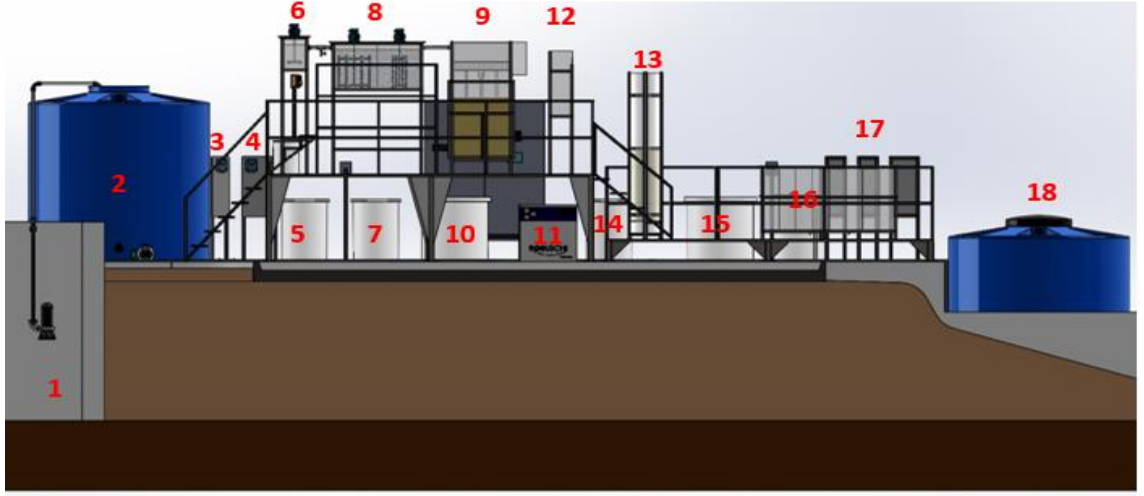
Bu çalışma kapsamında, hidrolizi sonrasında suya H⁺ iyonları veren koagülantların kullanılması halinde temel amacı homojen ve hızlı karışımın sağlanması olan hızlı karıştırma ünitesinin performansının belirlenmesinde analizi zeta potansiyeline göre daha kolay ve ucuz olan pH analizlerinin gösterge olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Çalışmada elde edilen veriler ile pH modeli geliştirilmiştir.

2. DENEYSEL METOT

2.1. Pilot Tesis

Büyükçekmece İçme Suyu Arıtma Tesisinin (400.000 m³/gün) 1/10.000 kapasitesinde (40 m³/gün) pilot tesis kurulmuştur. Pilot tesis, Büyükçekmece İçme Suyu Arıtma Tesisinde havalandırma ünitesi bitişine yerleştirilmiştir. Tesiste hızlı karıştırma, yavaş karıştırma, çamur yataklı çöktürme, filtrasyon, dezenfeksiyon ve temiz su tankları bulunmaktadır (Şekil 1). Büyükçekmece İçme Suyu Arıtma Tesisinde kaskat havalandırma ünitesi çıkışından dalgıç pompa ile alınan ham su, pilot tesis ham su depolama tankına alınmaktadır. Pilot tesis üniteleri saydam akrilik malzemelerden imal edilmiş ve ünitelerdeki değişimler gözle görülebilmektedir.

Hızlı karıştırma ünitesinin tank hacmi 50 L ve ıslak hacmi 41,7 L'dir. Mekanik hızlı karıştırma ünitesinde temas süresi 90 s, hız gradyanı 500 sn⁻¹, karıştırıcı devri ise 153 devir/dk'dır. Koagülant olarak alüminyum sülfat kullanılmaktadır. Hazırlanan alüminyum sülfat çözeltisi hızlı karıştırma ünitesi girişine verilmektedir.



Şekil 1:

Pilot tesis şematik gösterimi 1)Kaskat havalandırma, 2) Ham su dengeleme tankı, 3) Giriş bulanıklık sensörü, 4) Giriş pH Sensörü, 5) Koagülant hazırlama tankı, 6) Hızlı karıştırma ünitesi ve pH sensörü, 7) Flokülant hazırlama tankı, 8) Yavaş karıştırma ünitesi, 9) Durultucu ünitesi, 10) Çamur depolama tankı, 11) Hava blowerı, 12) Granül medya ünitesi, 13) Filtreler, 14) Geri yıkama suyu depolama tankı, 15) Son klorlama hazırlama ünitesi, 16) Dezenfeksiyon ünitesi, 17) Çıkış pH, bulanıklık ve klor sensörü, 18) Temiz su depolama tankı

2.2. Ham Su Kaynağı ve Özellikleri

Pilot ölçekli tesise ham su girişi Büyükçekmece İçme Suyu Arıtma Tesisi havalandırma yapısı çıkışından sağlanmıştır. 18.01.2020 ile 03.07.2020 tarih aralığını kapsayan çalışma dönemine ait pilot tesis giriş suyu, su kalite özellikleri Tablo 1’de görülmektedir.

Tablo 1. Pilot tesis giriş suyu özellikleri

Parametre	Minimum	Maksimum	Ortalama±Standart Sapma
Bulanıklık, NTU	1,53	41,60*	6±5,60
pH	6,06**	10,33**	7,89±0,66
Sıcaklık, °C	7,20	28,10	17,68±6,18
İletkenlik, µS/cm	406	967	583±47
T. Alkalinite, mg CaCO ₃ /L	30,90	184,20	118,24±25,30

*Çalışma süresince yaklaşık olarak 3 kez 200 NTU değerinin üstüne çıkmıştır. Bu sebeple bu değerler değerlendirmeye alınmamıştır.

**Ham su pH değeri 7,2-8,8 arasında değişmektedir. Pilot tesis girişinde kısa süreli asit veya baz ilavesi ile elde edilen değerlerdir.

2.3. Modelleme

Ham su da ölçümü kolayca yapılabilen pH, alkalinite ve sıcaklık değerleri ile alum dozu parametreleri kullanılarak hızlı karıştırma ünitesi çıkışındaki pH değerinin tahmin edilmesi amacıyla model oluşturulmuştur. Modelleme ve doğrulama çalışmalarında, günlük olarak elde edilen 330 adet pilot tesis verisi kullanılmıştır. Çalışma süresince alum dozu 30, 60, 70, 90, 100 ve 120 mg/L konsantrasyonlarında değiştirilmiştir. Mevsim şartlarına bağlı olarak sıcaklıklar 7,20 °C ile 28,10 °C aralığında değişiklik göstermiştir. Ham suyun alkalinite değeri ise en yüksek 184,20 mg/L, en düşük ise 32,20 mg/L ölçülmüştür.

Verilerin %75'i model kurulumu ve %25'i de model doğrulanması amacıyla kullanılmıştır. Ham su pH, alkalinite ve sıcaklık parametreleri ile alum dozu regresyon modelinin giriş parametreleri iken hızlı karıştırma ünitesi çıkış pH değeri ise model çıktısıdır.

Çalışmada pH modellemesi amacıyla Microsoft Excel 2010 uygulamasındaki veri çözümü menüsünde yer alan korelasyon ve regresyon seçeneği kullanılmıştır. Korelasyon analizi ile modelde kullanılan bağımlı ve bağımsız değişkenlerin birbirleri ile ilişkileri incelenmiş, regresyon analizi ile modeldeki katsayılar belirlenmiştir.

Farklı değişkenler arasındaki ilişkiyi tahmin etmek için kullanılan istatistiksel süreç regresyon analizi olarak adlandırılmaktadır. Bu istatistiksel analiz, doğrusal ve doğrusal olmayan olarak iki farklı teknik ile yapılabilmektedir. Doğrusal regresyon, bağımlı değişkenin (regresyon fonksiyonu) bağımsız değişkenlerden hesaplanan sınırlı sayıda bilinmeyen parametre ile tanımlandığı parametrik bir yöntemdir. Doğrusal olmayan yöntemler ise, regresyon fonksiyonunun sonsuz boyutlu bir fonksiyon olmasına izin verir.

Doğrusal regresyon, bağımlı değişken Y ile bir veya daha fazla bağımsız değişken x arasındaki ilişkiyi modelleyen istatistiksel bir yöntemdir. Bağımsız değişken olan x parametrelerinin her bir değeri bağımlı değişken Y'nin bir değeri ile ilişkilidir. x_1, x_2, \dots, x_n n adet açıklayıcı değişkene bağlı regresyon fonksiyonu Y, Denklem 1 ile verilmiştir.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n \quad (1)$$

Denklem 1, tahmin edilmek istenen Y değişkeninin diğer bağımsız değişkenler ile nasıl değiştiğini açıklar. $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ regresyon analizi sonucu tanımlanabilen katsayılardır. Birden fazla bağımsız değişkene sahip doğrusal regresyon modelleri, tek bağımsız değişkenli basit doğrusal modellerin aksine çoklu doğrusal modeller olarak adlandırılır.

Doğrusal regresyonun birçok alanda pratik kullanımı ve avantajları bulunmaktadır. Bu modelleri eğitmek yapay sinir ağları gibi karmaşık modelleri eğitmekten çok daha hızlıdır. Ayrıca, doğrusal regresyon modelleri oldukça basit olmakla beraber, uygulanmaları sırasında minimum bellek alanı gerektirir. Bu nedenle sınırlı bellek alanına sahip makinelerde de regresyon modellerini çalıştırmak mümkündür. Ayrıca hızlı tepki veren modeller, ekonomik işletme maliyeti ve gerçek zamanlı süreçte uygulanabilme özelliği sayesinde geleneksel yöntemin yerini alma konusunda büyük bir potansiyele sahiptir (Heddam ve diğ., 2012).

3. SONUÇLAR ve TARTIŞMALAR

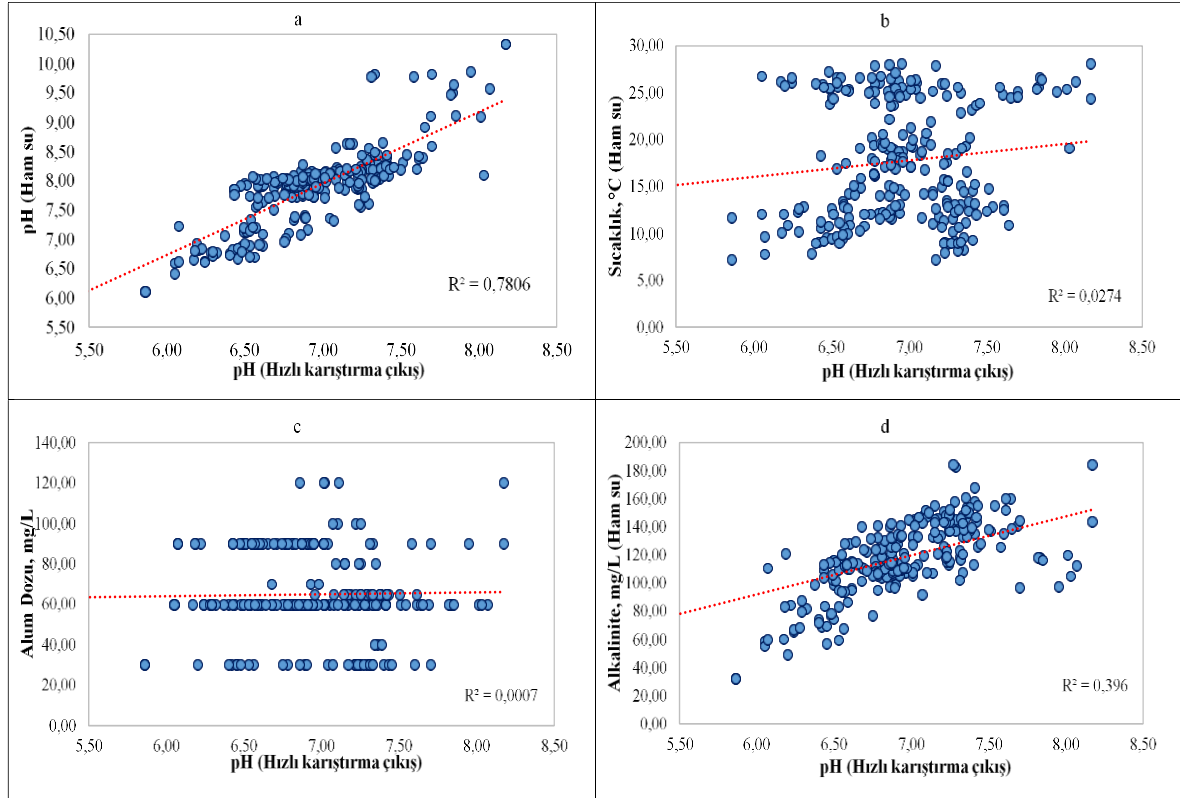
3.1. Hızlı Karıştırma Çıkış pH'ı ile ham su kalite parametreleri arasındaki İlişki

pH modelinin ham su parametreleri ile aralarındaki bireysel ilişkilerini değerlendirmek ve hangi parametrelerin pH'ı en çok etkilediğini belirlemek model parametrelerinin seçimi açısından önemlidir (Xie ve diğ., 2012). Hızlı karıştırma pH modelinde kullanılan parametreler arasındaki ilişkinin tespit edilmesi amacıyla parametrelerin korelasyon analizi yapılmıştır. Korelasyon analiz sonuçları Tablo 2'de verilmiş ve parametreler arasındaki korelasyon ilişkisi Şekil 2'de görülmektedir. Korelasyon katsayıları eş doğrusallığı araştırılan iki parametre arasındaki ilişkiyi göstermekte olup -1 ile 1 arasında bir değer almaktadır.

Tablo 2 ve Şekil 2'de görüldüğü üzere ham su pH değeri ile hızlı karıştırma ünitesi çıkış pH değeri arasında sırasıyla pozitif yönlü ve güçlü (0,82) bir ilişki vardır. Ham su alkalinite değeri ile hızlı karıştırma ünitesi çıkış pH değeri arasında da pozitif yönlü ve orta (0,65) dereceli ilişki vardır (Tablo 2). Xie ve diğ. (2012) tarafından yapılan çalışmada da ham su pH'ı ve alkalinitesi ile hızlı karıştırma ünitesi çıkış pH'ı arasında pozitif yönlü ve güçlü bir ilişki olduğu görülmektedir. Suyu ilave edilen H^+ iyonlarının alkalinite ile tamponlanması veya pH değerini etkilemesi söz konusu olabilir. Bu sebeple ham su pH veya alkalinitesi ile hızlı karıştırma ünitesi çıkış pH değeri arasındaki korelasyonun yüksek olması beklenen bir durumdur.

Tablo 2. Korelasyon Analizi

	pH (Hızlı karıştırma çıkışı)	pH (Ham su)	Sıcaklık, °C (Ham su)	Alkalinite, mg/L (Ham su)	Alum Dozu, mg/L
pH (Hızlı karıştırma çıkışı)	1				
pH (Ham su)	0,81865	1			
Sıcaklık, °C (Ham su)	0,086725	0,071179	1		
Alkalinite, mg/L (Ham su)	0,653456	0,645203	-0,12666	1	
Alum Dozu, mg/L	-0,14714	0,222417	0,074339	0,22554	1



Şekil 2:

Parametreler arasındaki korelasyonlar a. ham su pH ve hızlı karıştırma çıkış pH, b. ham su sıcaklık ve hızlı karıştırma çıkış pH, c. alum dozu ve hızlı karıştırma çıkış pH, d. ham su alkalinitesi ve hızlı karıştırma çıkış pH

Ham su sıcaklığı ile hızlı karıştırma ünitesi çıkış pH değeri arasında pozitif yönlü zayıf ilişki (0,08) bulunmaktadır. Zayıf ilişki bulunmuş olsa dahi sıcaklık su arıtımında koagülantların çözünürlüğünü etkileyen önemli parametrelerden biridir (Ernest ve diğ., 2017). Koagülantların çözünürlüğünün düşmesi durumunda koagülantlardan su ortamına salınan H⁺ iyonu konsantrasyonunda azalma olması beklenmektedir. Masoomi ve diğ. (2019) sıcaklığın ozon çözünürlüğü ve dolaylı olarak arıtma verimi üzerinde önemli bir etki sahibi olduğunu

belirtmektedir. Bu sebeple korelasyon analizinde etkisi zayıf olmasına rağmen, modelde yer almıştır.

Korelasyon analizi sonucu hızlı karıştırma ünitesi pH değeri ile alum dozu negatif yönlü zayıf (-0,14) ilişkili olduğu bulunmuştur. pH ve alum dozu koagülasyon-flokülasyon prosesindeki hidroliz dengeleri sebebi ile proses verimini etkileyen en önemli faktörlerdir (Lanciné ve diğ., 2008). Alum dozu arttıkça suya ilave edilen H⁺ iyonu konsantrasyonu da artmakta ve pH ile alkalinite değeri azalmaktadır. Suya ilave edilen alum dozu sebebi ile oluşan H⁺ iyonunun bir kısmının alkalinite tarafından tamponlanması mümkündür. Bu sebeple korelasyonun negatif olması beklenmektedir, ilişki zayıf olsa da pH üzerinde etkili olabilmesi sebebiyle modelde yer almıştır.

3.2. Çoklu Doğrusal Regresyon Modeli ile Hızlı Karıştırma Ünitesi Çıkış pH'nın Tahmini

Çoklu doğrusal regresyon analizi ile kurulan hızlı karıştırma pH modeli, modelde yer alan bağımsız değişkenlerin katsayı ile çarpılmasından oluşan doğrusal bir modeldir. 330 adet veri kullanılarak yapılan regresyon analizi sonucunda modelin R² değeri 0,83 ve ayarlı R² değeri 0,83 olarak hesaplanmıştır. %95 güven aralığı içerisinde kurulan modelin anlamlılık düzeyini ifade eden P-değeri ise 0,000'dır. Anlamlılık değerinin 0,05'ten küçük olması çalışmada seçilen bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkenin tahmin edilmesinde yeterli olduğunu göstermektedir. 0,83 olan R² değeri ise bağımlı değişkende meydana gelen değişimin %83'ünün bağımsız değişkenlerindeki değişim ile açıklanabileceğini ifade etmektedir. pH hızlı karıştırma modeline ait regresyon katsayılarının ve bu katsayıların anlamlılıkları (P değeri) Tablo 3'de verilmektedir.

Tablo 3. pH Hızlı Karıştırma Modeli Regresyon Katsayıları

	Katsayılar	Standart Hata	P-değeri
Sabit Terim	3,20493	0,1387873	3,197E-63
pH (Ham su)	0,44717	0,0222221	1,148E-53
Sıcaklık (Sc) (Ham su)	0,00686	0,0017998	0,0001765
Alkalinite (Alk) (Ham su)	0,00502	0,0005943	2,802E-15
Alum Dozu (Al)	-0,00761	0,0005428	4,1E-33

Tablo 3'deki regresyon katsayılarına göre, hızlı karıştırma çıkış pH'ı ile pilot tesis girişindeki pH, sıcaklık (Sc), alum dozu (Al) ve alkalinite (Alk) parametrelerinin doğrusal ilişkili olduğu model denklemi Denklem 2 ile verilmektedir;

$$pH=3,20493+(0,44717* pH_Ham\ su)+(0,00686*Sc)+(0,00502*Alk)-(0,00761*Al) \quad (2)$$

3.3. Model doğrulama

Verilerin %25'si doğrulama amacıyla kullanılmıştır. Model doğrulama grafiği Şekil 3'de görülmektedir. Şekil 3'de doğrulama grafiği incelendiğinde, elde edilen veriler ile tahminlerin birbirleri ile örtüştüğü ve modelin tahmin gücü %98,10 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca, model tahmini ve analiz sonuçları arasındaki farkların karelerinin ortalaması (MSE) 0,03'tür. MSE değerinin 0'a yakın olması istenen bir durumdur. MSE değeri dikkate alındığında istatistiksel olarak modelin anlamlı olduğu görülmektedir.

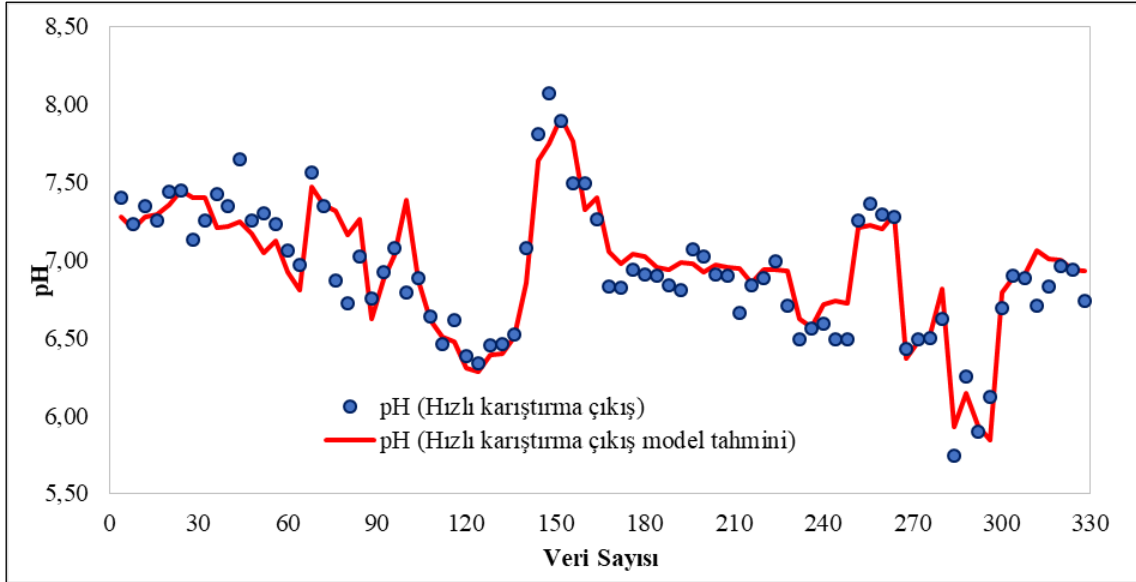
pH değerinin değişimine etki eden koagülant dozunun modellenmesi konusunda çalışmalar bulunmaktadır. Gagnon ve diğ. (1997) koagülant dozu hesaplamak için yapay sinir ağları (YSA) ile model oluşturmuştur. 1600 adet verinin %70'i model kurulumu ve veri setinin diğer kısmı da

modeli doğrulamak için kullanılmıştır. Koagülant dozu oluşturulan YSA modeli ile tahmin edilebilmiştir (Gagnon ve diğ., 1997).

Heddam ve diğ. (2012) optimum koagülant dozunu modellemek için altı adet 725 numuneden (24 aylık bir süre boyunca) oluşan veri setini kullanmıştır. Bulanıklık, sıcaklık çözünmüş oksijen, UV₂₅₄ ve pH parametreleri ile model kurulmuştur. Oluşturulan model ile koagülant dozu tahmin edilebilmiştir.

Zainal-Abideen ve diğ. (2012) koagülasyon prosesi için yaptığı çalışmada giriş pH'ı, alum dozu ve polimer dozu bağımsız değişkenler olarak seçilmiştir. %95 güven aralığı içerisinde kurulan bulanıklık, durultucu ünitesi çıkış pH'ı ve bakiye alüminyum tahmini yapan modellerin R² değerleri sırasıyla 0,34, 0,54 ve 0,8 olarak bulunmuştur.

Bu çalışma kapsamında geliştirilen pH modelinin tahmin gücü, Zainal-Abideen ve diğ. (2012) tarafından yapılan çalışmada ortaya konulan modele göre daha yüksektir. Yapılan çalışmalardan içme suyunda model kullanılarak hem laboratuvar deney aşamasının kısılabileceği hem de optimum doz kullanarak giderim veriminin optimize edilebileceği anlaşılmaktadır.



Şekil 3:
pH modeli doğrulaması

4. SONUÇLAR

Tam ölçekli arıtma tesisini besleyen ham su ile pilot ölçekli tesis işletilmiş ve elde edilen veriler kullanılarak hızlı karıştırma ünitesi çıkışı pH değeri tahmin edilmiştir. Çalışma sonuçları aşağıda özetlenmiştir.

- Ham su pH, alkalinite ve sıcaklık ile alum dozu model giriş parametreleri ve hızlı karıştırma ünitesi çıkış pH'ı ise model çıktısıdır.
- Regresyon analizi sonucunda modelin R² değeri 0,83, ayarlı R² değeri 0,83 ve anlamlılığı 0,000 olarak hesaplanmıştır. Bu duruma göre, kurulan model anlamlı olmakla birlikte, bağımlı değişkende meydana gelen değişimin %83'ü bağımsız değişkenlerindeki değişim ile açıklanabilmektedir.
- Kurulan modelin MSE değeri 0,03'tür. MSE değeri de modelin anlamlı olduğunu göstermektedir.

- Kurulan model, hızlı karıştırma ünitesi çıkışı pH değerini %98,10 doğrulukta tahmin edebilmektedir.
- Kolaylıkla analiz edilebilen parametrelerle yüksek doğrulukta tahmin yapabilen model oluşturulmuştur. Oluşturulan modelin içme suyu arıtma tesislerinde pratik işletimde uygulanabileceğini göstermektedir. Uygun pH değerinde tesisin işletilebilmesi ile organik madde giderimi artırılabilir ve alum dozu su kalitesine göre ayarlanarak tesis işletme maliyetinin minimize edilmesine katkı sağlanabilir.
- Oluşturulan modelin farklı tesis verilerinde de kullanılarak doğrulanması önerilmektedir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazarlar, bilinen herhangi bir çıkar çatışması veya herhangi bir kurum/kuruluş ya da kişi ile ortak çıkar bulunmadığını onaylamaktadırlar.

YAZAR KATKISI

Nigar Eyit, Onur Kiraz ve Çağlar Yıldırım çalışmanın veri toplama aşamasında, Ece Sağır Kurt, Nigar Eyit, Onur Kiraz, Çağlar Yıldırım ve Mehmet Çakmakçı veri analizi ve yorumlama aşamasında, Ece Sağır Kurt, Fatma Büşra Yaman Büyükbüberoğlu ve Mehmet Çakmakçı makale taslağının oluşturulması aşamasında katkı sağlamışlardır. Ayrıca tüm yazarlar çalışmanın kavramsal ve tasarım süreçlerinin belirlenmesi, bu süreçlerin yönetilmesi ve fikirsel içeriğin eleştirel incelemesi aşamalarında yer aldıklarını, makalenin son onayını ve tam sorumluluğunu kabul ederler.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi'nin (İSKİ) Araştırma ve Geliştirme Şube Müdürlüğü bünyesinde yürütülen "İçme Suyu Arıtma Tesis Proseslerinin Matematiksel Modellenmesi Araştırma Geliştirme Projesi" tarafından desteklenmiştir. Yazarlar, desteklerinden dolayı Proje Ekibi'ne, Büyükçekmece Su Arıtma Şube Müdürlüğü'ne ve Temiz Su Laboratuvar Şube Müdürlüğü'ne teşekkür eder.

KAYNAKLAR

1. Bakker, M., Vreeburg, J.H.G., Palmen, L.J., Sperber, V., Bakker, G. ve Rietveld, L.C. (2013) Better water quality and higher energy efficiency by using model predictive flow control at water supply systems, *Journal of Water Supply: Research and Technology—AQUA*, 62(1), 1–13. doi: 10.2166/aqua.2013.063
2. Brandt, M.J., Johnson, K.M., Elphinston, A.J. ve Ratnayaka, D.D. (2017) *Twort's Water Supply*, 7. Basım, IWA Publishing, İngiltere. ISBN 13: 9781780406411
3. EPA, (2002). *Water Treatment Manuals*. Ireland Environmental Protection Agency. ISBN: 1-84095-090-0
4. Ernest, E., Onyeka, O., David, N., Blessing, O. (2017) Effects of pH, Dosage, Temperature and Mixing Speed on The Efficiency of Water Melon Seed in Removing the Turbidity and Colour of Atabong River, Awka-Ibom State, Nigeria, *International Journal of Advanced Engineering, Management and Science*, 3(5), doi: 10.24001/ijaems.3.5.4
5. Faust, S.D. ve Aly, O.M. (2017) *Chemistry of Water Treatment*, 2. Basım, CRC Press; Taylor and Francis, İngiltere. ISBN 13: 978-1575040110

6. Gagnon, C., Grandjean, B.P.A. ve Thibault, J. (1997) Modelling of coagulant dosage in a water treatment plant, *Artificial Intelligence in Engineering*, 11(4), 401-404. doi: 10.1016/S0954-1810(97)00010-1
7. Heddami, S., Bermad, A. Ve Dechemi, N. (2012) ANFIS-based modelling for coagulant dosage in drinking water treatment plant: a case study, *Environmental Monitoring and Assessment* 184, 1953–1971. doi: 10.1007/s10661-011-2091-x
8. Kumar, A. ve Dixit, C. (2017) *Advances in Nanomedicine for the Delivery of Therapeutic Nucleic Acids*, Woodhead Publishing Elsevier Ltd, İngiltere, 43-58. doi: 10.1016/B978-0-08-100557-6.00003-1
9. Lanciné, G.D., Bamory, K., Raymond, L., Jean-Luc, S., Christelle, B. ve Jean, B. (2008) Coagulation-Flocculation Treatment of a Tropical Surface Water with Alum for Dissolved Organic Matter (DOM) Removal: Influence of Alum Dose and pH Adjustment, *Journal of International Environmental Application and Science*, 3(4), 247-257.
10. Leeuwen Van, J., Holmes, M., Heidenreich, C., Daly, R., Fisher, I., Kastl, G., Sathasivan, A. ve Bursill, D. (2003) Modelling the Application of Inorganic Coagulants and pH Control Reagents for Removal of Organic Matter from Drinking Waters, *International Congress on Modelling and Simulation*, Townsville, 1835-1840. ISBN: 1 74052 098 X
11. Masoomi, B., Jaafarzadeh, N., Tabatabaie, T., Kouhgard, E. ve Jorfi S. (2019) Effects of pre-ozonation and chemical coagulation on the removal of turbidity, color, TOC, and chlorophyll a from drinking water, *Environmental Health Engineering and Management Journal*, 6(1), 53–61. doi: 10.15171/EHEM.2019.06
12. Uyak, V., Yavuz, S., Toroz, İ., Özyaydin, S. ve Ateş-Genceli, E. (2007) Disinfection by-products precursors removal by enhanced coagulation and PAC adsorption, *Desalination*, 216(1-3), 334–344. doi: 10.1016/j.desal.2006.11.026
13. van der Helm, A.W.C. ve Rietveld, L.C. (2002) Modelling of drinking water treatment processes within the Stimela environment, *Water Science and Technology: Water Supply* 2(1), 87–93. doi: 10.2166/ws.2002.0011
14. Vrale, L. ve Jordan, R.M. (1971) Rapid Mixing In Water Treatment, *American Water Works Association*, 63(1), 52-58. doi: 10.1002/j.1551-8833.1971.tb04027.x
15. Xie, J., Wang, D., van Leeuwen, J., Zhao, Y., Xing, L. ve Chow, C.W.K. (2012) pH Modeling For Maximum Dissolved Organic Matter Removal By Enhanced Coagulation, *Journal of Environmental Sciences*, 24(2), 276–283. doi: 10.1016/S1001-0742(11)60717-1
16. Zainal-Abideen, M., Aris, A., Yusof, F., Abdul-Majid, Z., Selamat, A. ve Omar, S.I. (2012) Optimizing the coagulation process in a drinking water treatment plant - comparison between traditional and statistical experimental design jar tests, *Water Science & Technology* 65(3), 496-503. doi: 10.2166/wst.2012.561