

Etkili Girdi Parametrelerinin Çoklu Regresyon ile Belirlendiği Su Sertliğinin ANFIS Yöntemi ile Tahmin Edilmesi

Ramazan ACAR^{1*}, Kemal SAPLIOĞLU²

¹Munzur Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Tunceli.

²Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta.

Sorumlu yazar e-posta: ramazanacar@munzur.edu.tr* ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-5864-0076>

kemalsaplioglu@sdu.edu.tr ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-0016-8690>

Geliş Tarihi: 23.07.2022

Kabul Tarihi: 15.11.2022

Öz

Su sertliği; özellikle içme suları, endüstri suları ve hizmet suyu alanlarında kullanım hususunda önemli bir kalite özelliğidir. Kalsiyum (Ca), magnezyum (Mg) ve bikarbonat (HCO_3) tuzları ile suyun geçici sertliği; klor (CL), fosfat (PO_4^{3-}), nitrat (NO_3), sülfat (SO_4) ve silikat tuzlarıyla da suyun kalıcı sertliği oluşmaktadır. Çalışmada, Fırat Havzası üzerinde bulunan 2119 nolu Kemahboğazı akım gözlem istasyonu (AGİ) için Anfis modelleri ile su sertliğinin tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla Na, K, CO_3 , HCO_3 , CL, SO_4 , EC, sıcaklık (T), pH ve su miktarı (SM) verileri girdi olarak kullanılmıştır. Ancak modeller oluşturulurken parametre sayısının fazla olması kurulacak Anfis modellerinin sayısını arttırmakta ve bu modeller içerisinde en iyi modeli seçmeyi de zorlaştırmaktadır. Bu zorluğun üstesinden gelebilmek için Anfis modellerinde kullanılacak etkili parametrelerin belirlenebilmesi için çoklu regresyon modeli kurulmuştur. Oluşturulan çoklu regresyon modeline her parametre sırası ile eklenerek Düzeltilmiş R^2 değerlerindeki değişimler gözlemlenerek Anfis modelinde kullanılacak etkili parametreler belirlenmiştir. Çoklu regresyon sonucu girdi parametrelerinin CL, EC, HCO_3 ve SO_4 olarak seçilmesine karar verilmiştir. Çalışmanın ikinci kısmında bu parametrelerin farklı kombinasyon ve alt küme sayıları ile Anfis modellemeleri oluşturulmuştur. Tüm sonuçlar eğitim ve test verileri için R^2 , ağırlıklı karesel hata ve Wilcoxon testi değerleri belirlenmiş ve su sertliğinin belirlenmesinde kullanılabilecek modeller gösterilmiştir.

Anahtar kelimeler

Su sertliği; Anfis; Çoklu Regresyon; Su kalitesi; Düzeltilmiş R^2 ; Wilcoxon

Estimation of Water Hardness by ANFIS Method in which Effective Input are Determined by Multiple Regression

Abstract

Water hardness; It is an important quality feature especially for use in drinking water, industrial water and service water areas. Temporary hardness of water occurs with calcium (Ca), magnesium (Mg) and bicarbonate (HCO_3) salts; Permanent hardness of water occurs with chlorine (CL), phosphate (PO_4^{3-}), nitrate (NO_3), sulfate (SO_4) and silicate salts. In this study, it is aimed to predict water hardness with Anfis models for Kemahboğazı flow observation station (AGI) no 2119 on the Euphrates Basin. For this purpose, Na, K, CO_3 , HCO_3 , CL, SO_4 , EC, temperature (T), pH and water content (SM) data were used as inputs. However, when the models are created, the high number of parameters increases the number of Anfis models to be installed and makes it difficult to choose the best model among these models. In order to overcome this difficulty, a multiple regression model was established to determine the effective parameters to be used in the Anfis models. The effective parameters to be used in the Anfis model were determined by observing the changes in the adjusted R^2 values by adding each parameter to the created multiple regression model in order. As a result of multiple regression, it was decided to choose the input parameters as CL, EC, HCO_3 and SO_4 . In the second part of the study, Anfis models were created with different combinations and subset numbers of these parameters. R^2 , weighted square error and Wilcoxon test values were determined for all results, training and test data, and models that can be used to determine water hardness are shown.

Keywords

Water hardness; ANFIS; Multiple Regression; Water quality; Adjusted R^2 ; Wilcoxon

1. Giriş

Nehir, çay ve dere başlıca doğal su kaynaklarıdır. Günümüzde bu su kaynakları çeşitli kullanımlar için tüketilmektedir. Gelişmekte olan ülkelerde kentsel atıklar, sanayileşme, tarımsal faaliyetler ve taşımacılık gibi insanların yaptığı aktiviteler nehir, göl ve deniz gibi doğal su kaynaklarının su kalitesi üzerinde olumsuz etkilere sahiptir. Bu sebeplerden dolayı su kalitesinde meydana gelen bozulma dünya genelinde ciddi bir sorun haline gelmiştir. Bu nedenle, su kalitesi ile ilgili daha güvenilir bilgi bulmak ve aynı zamanda su kalitesinde önem arz eden parametreleri değerlendirmek için etkili bir yol mühendisler tarafından ayrı ayrı dikkate alınmıştır. Bu konunun önemi ile ilgili olarak, çok sayıda araştırmacı deterministik ve stokastik teknikler aracılığıyla akarsularda ve nehirlerdeki farklı su kalitesi parametrelerinin değerlendirilmesi ile ilgili deneysel (Serteser vd. 2008, Topal ve Topal 2016, Şener vd. 2017, Wu et al. 2018), bilgisayar destekli görselleştirme araçları (Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS), kendi kendini düzenleyen bir harita yöntemi (Self-organizing map (SOM)) vb.) (Shanmuganathan et al. 2006, Yıldız ve Karakuş 2018) ve bilgisayar destekli veri analizi konusunda yapay zekâ yöntemleri (Areerachakul 2012, Ahmed and Shah 2017, Azad et al. 2018) kullanarak çalışmalar yapmışlardır. Son yıllarda su kaynaklarının farklı alanlarında yapay zekâ ile yapılan çok sayıda çalışma mevcuttur (Tezel ve Büyükyıldız 2016, Şişman ve Kızılöz 2020, Katipoğlu ve Acar 2021).

Su kalitesi ile ilgili deneysel çalışmalardan olan Aşikkutlu vd. (2014) Çavuş Gölü'nün su kalitesini belirlemek amacıyla beş istasyondan su numuneleri almışlardır. Bir yıl boyunca su sertliği, amonyum, elektriksel iletkenlik, çözülmüş oksijen, kalsiyum, fosfat, magnezyum, klorit, pH, nitrit, nitrat, sıcaklık, potasyum ve sülfat değerleri 1 yıllık periyotta aylık olacak şekilde ölçüm yapmışlardır. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'ni baz alarak su sıcaklığı, pH, çözülmüş oksijen, amonyum, nitrat, fosfat ve sülfat verilerinin I. Sınıf olduğunu belirtmişlerdir. Tepe vd. (2006) Hasan Çayı'nın su kalitesi parametrelerini (toplam sertlik, toplam alkalinite, pH, sıcaklık, çözülmüş oksijen, kimyasal oksijen ihtiyacı,

tuzluluk, amonyak, nitrit, nitrat, fosfat, sülfat, sülfat, potasyum, klor, sodyum, askıda katı madde ve silisyum) 12 aylık bir periyotta aylık olacak şekilde gözlemlemişlerdir. Sonuç olarak bu parametrelerin aylık olarak değişimlerini tespit etmişlerdir ve tespit edilen su kalitesi durumuna göre soğuk su türlerinden olan alabalık yetiştiriciliği için olumlu görüş bildirmişlerdir. Zeydan vd. (2019) Zonguldak Kozlu Deresi'nde su kalitesi ile ilgili çalışma yapmışlardır. Sonuç olarak; Yer Üstü Su Kalitesi Yönetmeliği (YSKY)'ne göre su kalitesinin 4. Sınıf olduğunu tespit etmişlerdir. Alver ve Baştürk (2019) Karasu nehri için Ulusal Sanitasyon Vakfı Su Kalite İndeksi (USV SKİ), Kanada Çevre Bakanlığı Konseyi Su Kalite İndeksi (KÇBK SKİ) ve Oregon Su Kalite İndeksi (O SKİ) gibi modelleri kullanarak su kalitesi ile ilgili bir çalışma yapmışlardır. Sonuç olarak; Karasu nehri su kalitesinin, USV SKİ modeline göre "orta", KÇBK SKİ modeline göre "kötü" ve O SKİ modeline göre de "kötü" seviyede olduğunu tespit etmişlerdir.

Su kalitesi ile ilgili bilgisayar destekli görselleştirme araçları çalışmalarından olan (Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS), kendi kendini düzenleyen bir harita yöntemi (Self-organizing map (SOM)) vb.) Soyaslan ve Hepdeniz (2020) Bucak Havzası'nda bulunan 20 adet ölçüm kuyusundan 1 yıl boyunca temin edilen yeraltı suyu numunelerinde Fransız su sertlik değerleri ile CaCO₃ değerlerini saptamışlardır. Sertlik verilerini Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS)'ne işledikten sonra Kriging interpolasyon metodunu kullanarak analiz yapmışlardır. Daha sonra tematik haritaları hazırlayıp ulusal ve uluslararası su sertliği sınır değerlerini kullanarak karşılaştırma yapmışlardır. Sonuç olarak, havza bölgesinde yeraltı su değerlerinin çok sert su sınıfında bulunduğunu söylemişlerdir. Guet *al.* (2019) Çin'in Zhejiang Şehri'ndeki arazi kullanımı ve yüzey suyu kalitesi arasındaki ilişkiyi kendi kendini düzenleyen bir harita yöntemi (Self-organizing map) (SOM) ile Pearson korelasyon testini kullanarak bir çalışma yapmışlardır. Çözülmüş oksijen, permanganat indeksi, toplam fosfor ve amonyak azotu gibi su kalitesi parametrelerini kullanmışlardır. Tüm numune alanlarını SOM yöntemini kullanarak su kalitesine göre dört gruba (Grup A, B, C ve D) ayırmışlardır. Sonuç olarak; yüzey suyu kalitesinin

arazi kullanım türünün yüzdesiyle yakından ilgili olduğunu söylemişlerdir.

Su kalitesi ile ilgili bilgisayar destekli veri analizi konusunda yapay zekâ yöntemleri çalışmalarından olan İcaga (2007) bulanık mantık yöntemini kullanarak yüzey suyu kalite sınıflandırması ile ilgili bir çalışma yapmıştır. Yan *et al.* (2010) Çin’de bulunan büyük nehir havzalarındaki su kalitesi durumunu sınıflandırmak için uyarlanabilir ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) yöntemini kullanmışlardır. Sonuç olarak; ANFIS modelinin nehir kalitesinin tahmininde tatmin edici sonuçlar (%89.59) verdiğini söylemişlerdir. (Sing *et al.* (2009)) Hindistan’da bulunan Gomti nehrine ait çözünmüş oksijen ve biyokimyasal oksijen ihtiyacını yapay sinir ağları (YSA) yöntemini kullanarak hesaplamışlardır. Sonuç olarak; yapay sinir ağları ile hesaplanan verilerin ölçülerek elde edilen verilere makul ölçüde yakınsadığını söylemişlerdir. Musavi-Jahromi and Golabi (2008) İran’daki Karoon nehrinde su kalitesi simülasyonu için yapay sinir ağlarının (YSA) performansını değerlendirmişlerdir. CO₃, HCO₃, SO₄, CL, Na, Ca, Mg, K, EC, TDS ve SAR gibi çeşitli su kalitesi değişkenlerini simüle etmişlerdir. İzleme istasyonlarından 1985’ten 2006’ya kadar olan verileri kullanmışlardır. Yapılan analizler sonucunda; YSA’nın su kalitesi değişkenlerini %90’dan fazla doğrulukla çok başarılı bir şekilde tahmin edebildiğini söylemişlerdir. Zhou *et al.* (2006) Yangtze Nehri’nde parçacık sürü optimizasyonu (PSO) tabanlı bir sinir ağını kullanarak su kalitesinin model sınıflandırması ve tahmini ile ilgili çalışma yapmışlardır. Sonuç olarak; su kirliliğinin gün geçtikçe daha çok arttığını söylemişlerdir.

Bu çalışmada, 2119 numaralı Fırat Nehri Kemahboğazı akım gözlem istasyonuna (AGİ) ait su sertliği değerinin tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla istasyonlara ait katyon [sodyum (Na⁺), potasyum (K⁺)], anyon [karbonat (CO₃)⁻, bikarbonat (HCO₃)⁻ klor (CL⁻), sülfat (SO₄)⁻] değerlerine ek olarak oluşturulacak modellerin doğruluğu ve kanıtlanabilirliği açısından bir değerlendirme yapabilmek amacıyla elektriksel iletkenlik (EC), sıcaklık (T), pH ve su miktarı (SM) değerleri girdi parametresi olarak su sertliği (SS) değeri ise çıktı parametresi olarak kullanılarak ANFIS modelleri

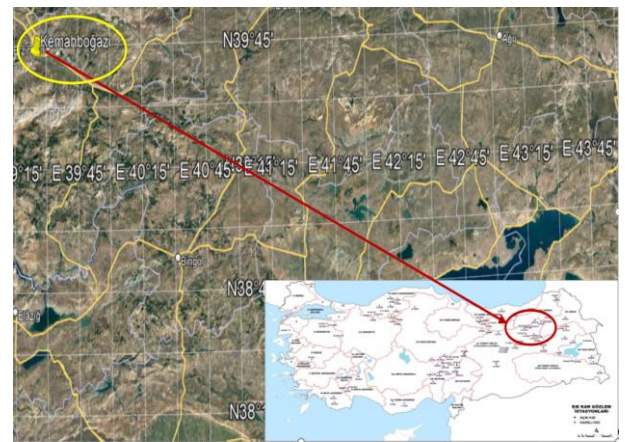
oluşturulmaya çalışılmıştır. Ancak girdi parametresinin fazla olması model kombinasyonunu arttırmakta ve en doğru modelin tespitini zorlaştırmaktadır. Bu nedenle çalışma iki bölüme ayrılmıştır. Birinci bölümde her girdinin teker teker modele katıldığı on adet çoklu regresyon modeli kurulmuş ve her modelden sonra Düzeltilmiş R² değerine bakılarak modelde kullanılacak girdi parametreleri sınırlandırılmıştır. İkinci bölümde ise bu etkili parametrelerin farklı kombinasyonları ve bu kombinasyonlara ait farklı alt küme sayıları ile Anfis modelleri oluşturulmuş ve bu modellerde elde edilen sonuçlar ile gerçek değerler hem eğitim hem de test için en iyi sonucu bulan modeller, R², ağırlıklandırılmış karesel hata(WMSE) ve Wilcoxon değerlerine bakılarak belirlenmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Çalışma alanı ve veriler

Bu çalışmada, Fırat Havzası’nda bulunan 2119 numaralı Kemahboğazı AGİ’sinden temin edilen 1995-2002 su yılı verileri kullanılarak modeller oluşturulmuştur. Bu AGİ ile alakalı detaylı bilgiler aşağıda sırasıyla verilmiştir (Şekil1).

2119 numaralı AGİ 39° 41' 0" kuzey enlemi ve 39° 23' 36" doğu boylamındadır. Deniz seviyesinden 1123 m yükseklikte ve yaklaşık olarak 10356 km² alana sahiptir. Bu AGİ’den temin edilen veriler ile ilgili basit istatistiksel analiz sonuçları Çizelge 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Verilerin temin edildiği AGİ'nin konumu (Google, Google Maps (Erişim Temmuz 2022))

Çizelge 1. 2119 numaralı Kemahboğazı AGİ verilerine ait istatistiksel bilgiler

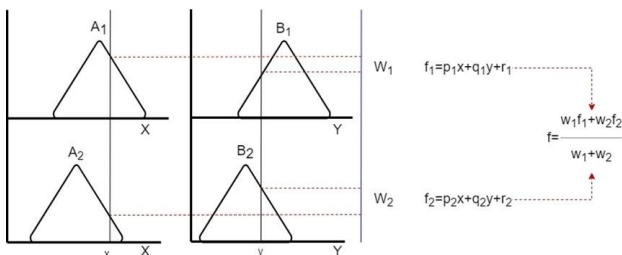
Veriler	Veri Sayısı	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
Na ⁺ (meq/l)	96	0,08	1,86	1,30	0,32
K ⁺ (meq/l)	96	0,00	0,16	0,06	0,02
(CO ₃) ²⁻ (meq/l)	96	0,00	1,60	0,42	0,27
(HCO ₃) ⁻ (meq/l)	96	1,56	5,68	3,68	0,82
CL ⁻ (meq/l)	96	0,20	1,66	0,98	0,28
(SO ₄) ²⁻ (meq/l)	96	0,13	1,36	0,69	0,26
EC (micromhos/cm)	96	255	715	523,39	100,69
SM (m ³ /s)	96	18,10	442,89	81,69	81,34
T (C°)	96	0,00	22	10,08	6,20
pH	96	7,84	8,80	8,33	0,22
SS (mval/l)	96	10,50	31,60	22,16	4,39

2.2. Uyarlamalı ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi (ANFIS)

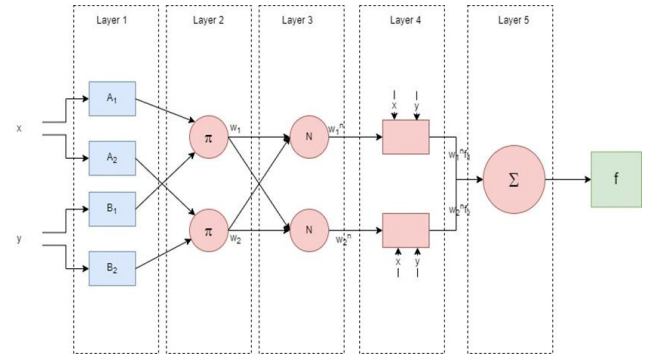
Anfis modeli ilk olarak Jang (1993) tarafından önerilmiştir (Acar ve Saplıoğlu 2020). Bu model, karmaşık ve doğrusal olmayan problemlerin çözümünde kullanılmaktadır. Anfis algoritması bir sinir ağı ve bulanık mantıktan oluşmaktadır ve bu nedenle de güçlüdür. Algoritma, girdi katmanında bulunan uyarlanabilir (Adaptif) bir sistem vasıtasıyla hem verileri tahmin etmek hem de en uygun üyelik fonksiyonunu elde etmek amacıyla kullanılır. Anfis modeli beş katmandan (buzlanma-kural-normalleşme-bulanıklaştırma-toplama) oluşur (Şekil 2-Şekil 3). Her katman birçok düğüm içerir. Anfis modeli, Şekil 2'de gösterildiği gibi iki giriş parametresi ve bir çıkış parametresi ile temsil edilir. If-then kuralları Denklem (1) ve Denklem (2)'deki gibi uygulanır (Ayşe vd. 2018, Küçükerdem vd. 2019, Hmoud Al-Adhaileh and Waselallah Alsaade 2021):

$$\text{Kural 1: Eğer } x \in A_1 \text{ ve } y \in B_1 \text{ ise } f_1 = p_1x + q_1y + r_1 \quad (1)$$

$$\text{Kural 2: Eğer } x \in A_2 \text{ ve } y \in B_2 \text{ ise } f_2 = p_2x + q_2y + r_2 \quad (2)$$



Şekil 2. İki kurallı iki girişli birinci dereceden Sugeno bulanık modeli



Şekil 3. Eşdeğer Anfis yapısı

Burada, x ve y girdi parametreleridir. A₁, A₂, B₁ ve B₂ değerleri ise bulanık kümelerdir. p₁, p₂, q₁, q₂, r₁ ve r₂ değerleri de sonuç parametreleridir. f ise Anfis modelinin çıktı parametresidir (Hmoud Al-Adhaileh and Waselallah Alsaade 2021).

2.3. Çoklu doğrusal regresyon

Çoklu doğrusal regresyon analizi, bağımlı değişken ile bağımsız değişken arasındaki doğrusal ilişkiye dayalı olarak uygulanan bir modeldir. Çoklu regresyon, tahmin edilen parametrenin değeri olan en küçük kareler kavramına dayanır ve doğrusal bir fonksiyon olarak ifade edilir (Denklem 3) (Saplıoğlu vd. 2019, Gaya et al. 2020).

$$Y = A + B_1X_1 + B_2X_2 + B_3X_3 + \dots + B_nX_n \quad (3)$$

Burada; Y bağımlı değişkeni, A sabit katsayıyı, B regresyon katsayılarını, X bağımsız değişkenleri, n ise girdi sayısını temsil etmektedir (Aksakal ve Gündoğay 2022, Sungur vd. 2022).

2.4. Doğrulama modelleri

2.4.1. Wilcoxon testi

Wilcoxon, iki yarım verideki farklılıkları dikkate alarak iki değişkenin saçılımının aynı olup olmadığını test etmeye çalışır. Bu amaçla, Denklem (5)'teki gibi mutlak değerler alınarak yarı gözlemler arasındaki farklar Denklem (4)'e göre hesaplanır (Lee and Kang 2015). Bu mutlak değerler, verilen sıra numaralarıyla küçükten büyüğe doğru sıralanır. İşaretli satırların toplamı, artı işaretli sıraların toplamı olan T^+ ve eksi işaretli sıraların toplamı olan T^- olarak alınır. Toplam, Karagöz (2019)'a göre Denklem (6)'da aşağıdaki gibi verilmiştir.

$$D_i = X_i - Y_i \quad (4)$$

$$|D_i| = |X_i - Y_i| \quad (5)$$

$$T = T^+ - T^- \quad (6)$$

Burada; D_i , birinci yarı verisi X_i ile ikinci yarı verisi Y_i arasındaki farktır. Denklem (7)'deki Z_w $Z_{\alpha/2}$ değerine göre (iki kuyruk için) trend koşullarını tanımlamaya yardımcı olan Wilcoxon için test istatistik değeridir. Dağılım standart sapma değeri σ_T 'dir ve aritmetik ortalama değer μ_T ile gösterilir. Hipotez, μ_T değerinin sıfır olmasına dayandığından sıfır olarak alınır (Wilcoxon 1992). $H_0: T^+ = T^-$, deneme sonuçları arasındaki pozitif ve negatif farkların toplamı birbirine eşittir (Saplıoğlu ve Güçlü 2022).

$$Z_w = \frac{T - \mu_T}{\sigma_T} = \frac{T}{\sigma_T} \quad (7)$$

$$\sigma_T = \sqrt{\frac{n(n+1)(2n+1)}{6}} \quad (8)$$

2.4.2. Ağırlıklandırılmış hata kareleri ortalaması (WMSE)

WMSE, Ortalama karesel hatadaki (MSE) bazı kabulleri farklı bir yönüyle ele almaya çalışır. MSE kayıp işlevi tüm sınıfların örnekleri tarafından ortaya çıkan hatayı eşit olarak işler, bu dengeli veri kümesiyle ilgili sorunlar için geçerlidir. Ancak dengesiz veri kümesi söz konusu olduğunda inşa edilen model zaten çoğunluk sınıflarına göre biçimlendirilmiştir. Çoğunluk sınıflarında bir örneğin yanlış sınıflandırılmasından kaynaklanan hata MSE'de azınlık sınıfına göre daha doğru

değerlendirilir. Ancak önerilen kayıp fonksiyonunda farklı sınıfın üyeleri tarafından ortaya çıkan hata n 'inci sınıftaki her üyenin hatasıyla çarpılan bir sınıf etki terimi olan β_n tarafından farklı şekilde ele alınır. WMSE kaybı aşağıda Denklem (9)'da verilmiştir.

$$L = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \sum_n \frac{(y_n^{(i)} - o_n^{(i)})^2}{N} \beta_n \quad (9)$$

β_n , n 'inci sınıftaki örnek sayısı ile eğitim veri kümesindeki örnek sayısı arasındaki orandır ve şu şekilde verilmiştir (Denklem 10):

$$\beta_n = \frac{C_n}{M} \quad (10)$$

Burada, C_n eğitim veri kümesinin n sınıfındaki örneklerin sayısıdır. Bu sınıf uygunluk düzeyi, eğitim veri setinde daha fazla sayıda örnek içeren sınıflar için az sayıda örnek içeren sınıflardan daha fazladır. Bu yüzden daha büyük etki değerine sahip sınıflar daha az etkiye sahip sınıflardan daha fazla hataya katkıda bulunur (Laxmi and Vijaya 2018).

2.4.3. Determinasyon (Belirleme) katsayısı (R^2)

Belirleme katsayısı genellikle R^2 ile gösterilir. Varyans analizi ve regresyon analizinde kullanılan bir kavramdır. Verilerde bulunan açıklanan varyans oranının bir ölçüsüdür. Dolayısıyla, R^2 değeri ne kadar yüksek olursa model, verileri o kadar iyi tanımlar (Di Bucchianico 2008). Belirleme katsayısı formülü Denklem (11)'de verilmiştir.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{j=1}^N (Y_j - \hat{Y}_j)^2}{\sum_{j=1}^N (Y_j - \bar{Y}_j)^2} \quad (11)$$

Burada; Y_j gerçeğe dayalı değerleri, \hat{Y}_j tahmine dayalı değerleri ve \bar{Y}_j veri kümesinin ortalama değerini temsil etmektedir. N ise örnek boyutu (değer sayısı) temsil etmektedir (Güler ve Kandemir 2022).

3. Bulgular

Çalışmamızda Anfis yöntemi yardımıyla Na, K, CO_3 , HCO_3 , CL, SO_4 , EC ve SM girdi parametresi olarak kullanılmış ve su sertliği (SS) tahmin modelleri geliştirilmeye çalışılmıştır. Bu girdilerin tamamının modelde kullanılması hem oluşabilecek olası model sayısını arttırmakta hem de Anfis modellerini kullanışsız hale getirmektedir. Bu nedenle çalışma iki

kısma ayrılmıştır. Çalışmanın birinci kısmında her parametrenin teker teker modele katıldığı çoklu regresyon modeli kurulmuştur. Buradaki amaç çoklu regresyon kurmaktan çok etkili parametrelerin belirlenmesine yöneliktir. Öncelikle her parametrenin SS değeri ile arasındaki ilişkiye bakılmıştır (Çizelge 2). Daha sonra parametrelerin katılması ile oluşan düzeltilmiş R² değerleri tespit edilmiştir. Burada R² yerine düzeltilmiş R² değerine bakılmıştır. Çünkü R² değeri her parametre katıldığında artmaktadır. Ancak düzeltilmiş R² değeri bazen sabit kalmakta bazen de düşmektedir. Sabit kalan veya düşen düzeltilmiş R² değeri yeni katılan parametrenin etkisiz olduğunu göstermektedir (Çizelge 3). Çizelge 3'ün görsel olarak gösterimi Şekil 4 ile özetlenmiştir. Bu şekilde sıçrama yapan noktalar etkili parametreleri göstermektedir. Bu nedenle oluşturulan Anfis modellerinde ve çoklu regresyon modelinde sıçrama yapan bu parametreler kullanılmıştır. Bu analize göre CL, EC,

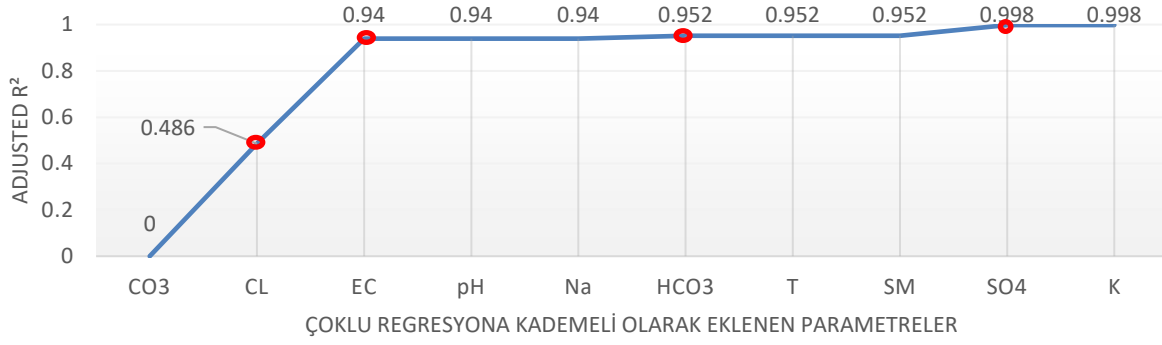
SO₄, ve HCO₃ parametrelerin su sertliği belirlemede kullanılabileceği öngörülmüştür. CO₃, PH, Na, T, SM ve K değerleri R² değerine küçükte olsa katkı sağlamasına karşın düzeltilmiş R² değerini etkilemediği görülmüştür.

Çizelge 2. 2119 numaralı Kemahboğazı AGİ verilerine ait tek girdili regresyon sonuçları

Regresyon Modeli	R ²
SM - SS	0,523
T - SS	0,007
pH - SS	0,008
EC - SS	0,903
Na - SS	0,569
K - SS	0,068
CO ₃ - SS	0,001
HCO ₃ - SS	0,849
CL - SS	0,469
SO ₄ - SS	0,458

Çizelge 3. 2119 numaralı Kemahboğazı AGİ girdi parametrelerinin sırasıyla girildiği çoklu regresyon modelleri sonuçları

Regresyon Modeli	Eklene Parametreler	R ²	Adjusted R ²
CO ₃	CO ₃	0,001	0,000
CO ₃ - CL	CL	0,500	0,486
CO ₃ - CL - EC	EC	0,942	0,940
CO ₃ - CL - EC - pH	pH	0,943	0,940
CO ₃ - CL - EC - pH - Na	Na	0,947	0,940
CO ₃ - CL - EC - pH - Na - HCO ₃	HCO ₃	0,956	0,952
CO ₃ - CL - EC - pH - Na - HCO ₃ - T	T	0,957	0,952
CO ₃ - CL - EC - pH - Na - HCO ₃ - T - SM	SM	0,957	0,952
CO ₃ - CL - EC - pH - Na - HCO ₃ - T - SM - SO ₄	SO ₄	0,999	0,998
CO ₃ - CL - EC - pH - Na - HCO ₃ - T - SM - SO ₄ - K	K	0,999	0,998



Şekil 4. 2119 numaralı Kemahboğazi AGİ girdi parametrelerinin sırasıyla girildiği çoklu regresyon modelleri grafiksel gösterimi

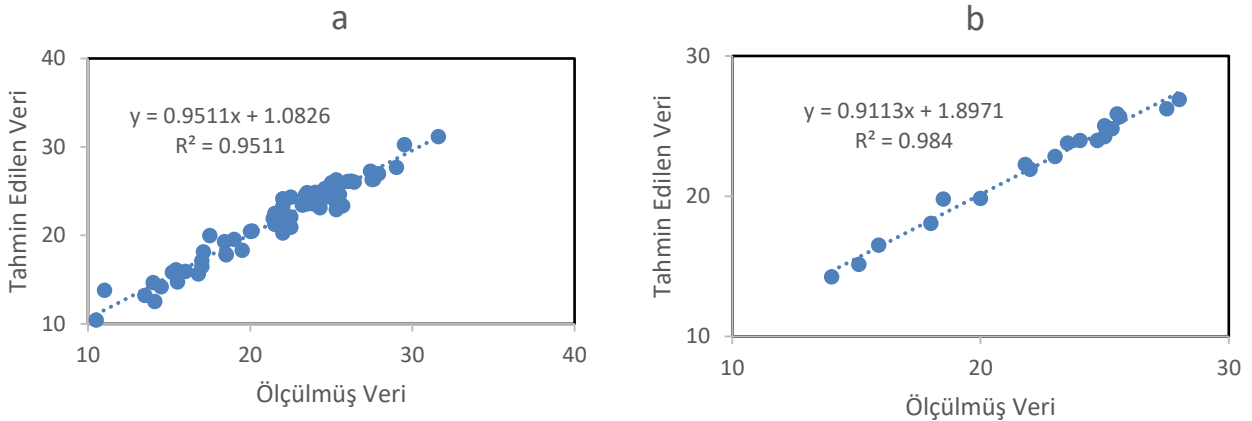
Çalışmanın birinci kısmında etkili parametreler belirlendikten sonra bu etkili parametreler ile hem çoklu regresyon modeli hemde Anfis modelleri oluşturulmuştur. Çoklu regresyon modeli oluşturulan model denklem 12 ile gösterilmiştir.

$$SS_{2119} = -5.574 * X_{CL} + 0.05 * X_{EI} + 2.946 * X_{SO4} + 0.414 * X_{HCO3} - 0.598 \quad (12)$$

Anfis modellerinde ise 1, 2, 3 ve 4 girdili modeller oluşturulmuştur. Her model için farklı alt küme sayılarına sahip farklı versiyonlar türetilmiştir. Tüm modeller için elde edilen sonuçların değerlendirme değerleri Çizelge 4'te verilmiştir. Sonuçlar değerlendirilirken hem eğitim hemde test için ayrılan veriler için R², WMSE ve Wilcoxon değerleri elde edilmiştir. Eğitim sonucu elde edilen sonuçlar yanıltıcı olabileceği için test sonuçlarından elde edilen değerlerin değerlendirilmesi çok daha uygun olacaktır. Örneğin 4 parametrelili modellerin R² değerleri 1'e yakın, WMSE değeri 0 ve Wilcoxon Z

değeri % 95 güven aralığına göre doğru olduğu kabul edilirken aynı modellerin test değerleri bu doğruluğu desteklememektedir. Bu modelin ezber yapmasından ileri gelmektedir. Bu nedenle bu çalışmada olduğu gibi eğitimde hiç kullanılmamış olan verilerin test için ayrılması karar vericiler için oldukça önemlidir.

Sonuçlar incelendiğinde Çoklu Regresyon modelinin R² ve WMSE ye göre kullanılabileceği görülürken Wilcoxon değeri bu sonucu % 95 güven aralığında desteklememektedir. Anfis modellerinden 4 lü modellerin hiç birinin test sonuçlarının iyi çıkmadığı görülmektedir. Anfis modellerinde tüm göstergelerin modelin doğruluğunu teyit ettiği EC ve CL ile oluşturulan ve her girdinin 3'er alt kümeye sahip olduğu model ön plana çıkmaktadır. Çalışmada elde edilen en iyi Anfis (EC(3)-CL(3)) modelinin eğitim ve test sonuçları saçılım diyagramları Şekil 5'de gösterilmiştir.



Şekil 5. EC(3) - CL(3) Anfis Modeli Eğitim ve Test Verilerinin Saçılım Diyagramları

Çizelge 4. 2119 numaralı Kemahboğazı AGİ Anfis model sonuçları

Modeller	Girdi Parametreleri	Eğitim				Test				
		R ²	WMSE	Wilcoxon		R ²	WMSE	Wilcoxon		
				Z	Asym			Z	Asym	
Çoklu Regresyon	EC - HCO ₃ - CL - SO ₄	0,964	0,040	-7,363	0,000	0,964	0,155	-3,783	0,000	
7-7-7-7	EC - HCO ₃ - CL - SO ₄	1,000	0,000	0,000	1,000	0,047	5,421	-2,012	0,044	
6-6-6-6		1,000	0,000	0,000	1,000	0,033	3,404	-1,288	0,198	
5-5-5-5		1,000	0,000	-0,312	0,755	0,501	0,883	-0,201	0,841	
4-4-4-4		1,000	0,000	-0,157	0,875	0,248	1,079	-1,449	0,147	
3-3-3-3		0,993	0,002	-0,553	0,580	0,161	1,590	-1,087	0,277	
4-5-5-4		1,000	0,000	-0,158	0,874	0,423	0,682	-0,523	0,601	
3-4-4-3		0,999	0,000	-0,344	0,731	0,436	1,043	-0,414	0,679	
3-3-4-4		0,998	0,000	-0,263	0,793	0,268	0,989	-0,724	0,469	
7-7-7		EC - HCO ₃ - CL	0,994	0,001	-0,596	0,551	0,000	10,601	-0,121	0,904
6-6-6			0,991	0,002	-0,300	0,976	0,091	30,477	-0,523	0,601
5-5-5	0,985		0,004	-0,199	0,842	0,260	1,536	-1,489	0,136	
4-4-4	0,976		0,006	-0,357	0,721	0,900	0,099	-0,675	0,500	
4-5-4	0,982		0,004	-0,217	0,828	0,689	0,302	-0,322	0,747	
3-4-4	0,973		0,007	-0,378	0,705	0,961	0,040	-0,544	0,586	
5-3-3	0,973		0,007	-0,272	0,786	0,923	0,070	-0,443	0,658	
7-7-7	EC - HCO ₃ - SO ₄		0,998	0,000	-0,601	0,548	0,175	6,193	-0,443	0,658
6-6-6			0,995	0,001	-0,579	0,562	0,201	2,035	-0,926	0,355
5-5-5			0,994	0,001	-0,012	0,990	0,149	2,103	-1,087	0,277
4-4-4		0,983	0,004	-0,053	0,958	0,565	0,575	-0,906	0,365	
4-5-4		0,988	0,003	-0,073	0,942	0,364	1,818	-0,101	0,920	
3-4-4		0,983	0,004	-0,176	0,861	0,796	0,250	-0,644	0,520	
5-3-3		0,984	0,004	-0,216	0,829	0,884	0,105	-0,806	0,420	
7-7-7		EC - SO ₄ - CL	0,999	0,000	-0,456	0,648	0,014	15,381	-1,046	0,295
6-6-6			0,998	0,000	-0,091	0,928	0,022	15,181	-0,121	0,904
5-5-5			0,995	0,001	-0,421	0,674	0,322	3,600	-1,046	0,295
4-4-4	0,991		0,002	-0,129	0,897	0,926	0,066	-0,849	0,396	
4-5-4	0,995		0,001	-0,016	0,988	0,144	1,544	-0,805	0,421	
3-4-4	0,989		0,003	-0,118	0,906	0,444	1,904	-0,044	0,965	
5-3-3	0,988		0,003	-0,010	0,992	0,801	0,252	-0,523	0,601	
7-7-7	HCO ₃ - SO ₄ - CL		1,000	0,000	0,000	1,000	0,005	7,139	-0,161	0,872
6-6-6			0,995	0,001	-0,459	0,646	0,094	5,666	-1,590	0,112
5-5-5			0,990	0,003	-0,198	0,843	0,424	1,298	-1,912	0,056
4-4-4		0,978	0,006	-0,054	0,957	0,021	6,781	-1,469	0,142	
4-5-4		0,980	0,005	-0,076	0,940	0,000	8,942	-0,322	0,748	
3-4-4		0,982	0,005	-0,267	0,790	0,122	1,671	-1,288	0,198	
5-3-3		0,983	0,004	-0,018	0,986	0,388	0,765	-1,207	0,227	
6-6		EC - HCO ₃	0,959	0,010	-0,412	0,680	0,029	0,088	-1,932	0,053
5-5			0,949	0,013	-0,344	0,731	0,928	0,071	-1,416	0,157
4-4			0,943	0,014	-0,335	0,738	0,935	0,061	-1,248	0,212
3-3	0,936		0,016	-0,361	0,718	0,956	0,041	-1,610	0,107	
6-6	EC - CL	0,966	0,009	-0,161	0,872	0,913	0,087	-0,241	0,809	
5-5		0,962	0,010	-0,069	0,945	0,944	0,040	-0,745	0,456	
4-4		0,958	0,011	-0,241	0,810	0,951	0,044	-0,342	0,732	
3-3		0,951	0,012	-0,122	0,903	0,984	0,019	-0,044	0,965	
6-6	EC - SO ₄	0,959	0,011	-0,113	0,910	0,769	0,313	-0,845	0,398	
5-5		0,958	0,011	-0,011	0,991	0,750	0,324	-1,087	0,277	
4-4		0,943	0,014	-0,066	0,947	0,852	0,146	-1,328	0,184	
3-3		0,938	0,016	-0,190	0,849	0,908	0,090	-1,368	0,171	

Çizelge 5. 2119 numaralı Kemahboğazı AGİ Anfis model sonuçları (devamı)

Modeller	Girdi Parametreleri	Eğitim				Test			
		R ²	WMSE	Wilcoxon		R ²	WMSE	Wilcoxon	
				Z	Asym			Z	Asym
6-6	HCO ₃ - SO ₄	0,956	0,011	-0,158	0,875	0,867	0,159	-0,604	0,546
5-5		0,940	0,015	-0,047	0,963	0,889	0,105	-0,724	0,469
4-4		0,933	0,017	-0,236	0,813	0,914	0,092	-1,610	0,107
3-3		0,928	0,018	-0,280	0,780	0,935	0,068	-1,481	0,139
6-6	HCO ₃ - CL	0,946	0,014	-0,080	0,936	0,157	1,233	-0,402	0,687
5-5		0,915	0,021	-0,241	0,810	0,833	0,156	-0,282	0,778
4-4		0,916	0,021	-0,086	0,931	0,885	0,102	-0,121	0,904
3-3		0,909	0,023	-0,069	0,945	0,847	0,140	-0,966	0,334
6-6	SO ₄ - CL	0,883	0,030	-0,319	0,750	0,623	0,333	-0,065	0,948
5-5		0,866	0,035	-0,108	0,914	0,676	0,320	-0,986	0,324
4-4		0,849	0,039	-0,061	0,951	0,650	0,334	-0,966	0,334
3-3		0,815	0,047	-0,190	0,849	0,702	0,280	-0,644	0,520
6	EC	0,908	0,023	-0,114	0,909	0,923	0,077	-0,805	0,421
5		0,906	0,024	-0,195	0,845	0,918	0,082	-0,906	0,365
4		0,907	0,023	-0,173	0,862	0,920	0,077	-0,765	0,444
3		0,905	0,024	-0,117	0,907	0,922	0,076	-0,906	0,365
6	HCO ₃	0,871	0,033	-0,420	0,675	0,940	0,059	-1,348	0,178
5		0,868	0,033	-0,396	0,692	0,939	0,057	-0,765	0,445
4		0,864	0,034	-0,348	0,728	0,937	0,061	-0,966	0,334
3		0,865	0,034	-0,325	0,745	0,939	0,059	-1,167	0,243
6	SO ₄	0,584	0,105	-0,127	0,899	0,339	0,592	-0,282	0,778
5		0,578	0,107	-0,084	0,933	0,301	0,635	-0,362	0,717
4		0,561	0,111	-0,028	0,977	0,300	0,639	-0,362	0,717
3		0,553	0,113	-0,069	0,945	0,291	0,643	-0,322	0,748
6	CL	0,599	0,101	-0,142	0,887	0,578	0,373	-0,121	0,904
5		0,587	0,104	-0,348	0,728	0,625	0,328	-0,161	0,872
4		0,586	0,104	-0,333	0,739	0,571	0,378	-0,282	0,778
3		0,581	0,106	-0,376	0,707	0,697	0,266	-0,342	0,732

4. Tartışma ve Sonuç

Su sertliği özellikle içme sularının kalitesini belirleyen önemli bir parametredir. Bu çalışmada bu parametrenin belirlenebilmesi için ölçülmüş 10 parametre ile Anfis modelleri kurulması amaçlanmıştır. Ancak parametre sayısının artması model sayısını da arttırmakta ve en iyi modeli bulmayı zorlaştırmaktadır. Bu amaçla parametrelerin teker teker eklendiği çoklu regresyon modeli oluşturulmuş ve düzeltilmiş R² değerlerine bakılarak etkili ve etkisiz parametreler belirlenmiştir. CL, EC, SO₄, ve HCO₃ değerlerinin su sertliğinin tespit edilmesinde etkili olduğu tespit edilmiştir. Bu değerler Çoklu Regresyon Modeline katıldığında 0.04 ila 0.48 aralığında düzeltilmiş R² değerinde artış olduğu görülmüştür. Çalışmada bu parametreler tespit edildikten sonra bu parametreler ile Çoklu Regresyon ve Anfis modelleri kurulmuştur. Bu modellerden EC ve CL nin

kullanıldığı Anfis modellerinin tüm değerlendirme kriterlerine göre uygun doğruluğu ispatlanmıştır.

Sonuç olarak su sertliğini belirlemek için EC ve CL değerlerinin ölçülmesinin yeterli olabileceği öngörülmüştür. Bu girdiler ile oluşturulmuş modellerin test verileri için elde edilen R² değeri 0.98, ağırlıklı hata değeri % 1.9 ve Wilcoxon değeri % 95 güven aralığında çıkmıştır. Ayrıca çoklu regresyon sonuçlarına bakıldığında R² ve WMSE değerlerine bakıldığında doğru olduğu düşünülen bir modelin Wilcoxon ile değerlendirildiğinde % 95 güven aralığında kullanılmasının hatalı olacağı görülmüştür. Bu sonuç göstermektedir ki değerlendirme kısmında kullanılan istatistiksel modellerin arttırılması karar verme aşaması için gereklidir. Ayrıca bazı modellerin eğitim verileri için çok yüksek R² değerine sahip sonuçlar test verileri için elde edilememiştir. Bu sonuçta Anfis modellerinin ezber yapabilme özelliğidir.

Sonuçlardaki doğruluğun ezberden mi yoksa öğrenmeden mi kaynaklandığının tespiti için mutlaka test verisi ayrılmalı ve bu veriler için karşılaştırma yapılmalıdır.

5. Kaynaklar

- Ahmed, A. and Shah, S., 2017. Application of adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) to estimate the biochemical oxygen demand (BOD) of Surma River. *Journal of King Saud University-Engineering Sciences*, **29(3)**, 237-243.
- Aksakal, A. ve Gündoğay, A., 2022. Determination Of Column Curvature Ductility By Multiple Regression Analysis. *Ist-International Congress on Modern Sciences Tashkent, Uzbekistan*, 395-403.
- Alver, A. ve Baştürk, E., 2019. Karasu Nehri Su Kalitesinin Farklı Su Kalitesi İndeksleri Açısından Değerlendirilmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, **23(2)**, 488-497.
- Areerachakul, S. 2012. Comparison of ANFIS and ANN for estimation of biochemical oxygen demand parameter in surface water. *International Journal of Chemical and Biological Engineering*, **6**, 286-290.
- Aşıkkutlu, B., Akköz, C. ve Öztürk, B., 2014. Çavuşçu Gölü'nün (Konya/Ilgın) bazı su kalite özellikleri. *Selçuk Üniversitesi Fen Fakültesi Fen Dergisi*, **39**, 1-9.
- Ayşe, Ü. N. A. L., Aydın, M. ve Saplıoğlu, M., 2018. TÜRK SÜRÜCÜLERİN FACEBOOK SOSYAL PAYLAŞIM SİTESİNİ TRAFİK BİLGİLENDİRME AMACIYLA KULLANIMI ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, **6(2)**, 354-364.
- Azad, A., Karami, H., Farzin, S., Saeedian, A., Kashi, H. and Sayyahi, F., 2018. Prediction of water quality parameters using ANFIS optimized by intelligence algorithms (case study: Gorganrood River). *KSCE Journal of Civil Engineering*, **22(7)**, 2206-2213.
- Gaya, M., Abba, S., Aliyu, M., Tukur, A., Saleh, M., Esmaili, P. and Wahab, N., 2020. Estimation of water quality index using artificial intelligence approaches and multi-linear regression. *IAES International Journal of Artificial Intelligence*, **9(1)**, 126.
- Gu, Q., Hu, H., Ma, L., Sheng, L., Yang, S., Zhang, X. and Chen, L., 2019. Characterizing the spatial variations of the relationship between land use and surface water quality using self-organizing map approach. *Ecological Indicators*, **102**, 633-643.
- Güler, E. ve Kandemir, S., 2022. Lineer ve Kübik Regresyon Analizleri Kullanılarak OECD Ülkelerinin CO2 Emisyonlarının Tahminlemesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, **(34)**, 175-180.
- Hmoud Al-Adhaileh, M. and Waselallah Alsaade, F., 2021. Modelling and prediction of water quality by using artificial intelligence. *Sustainability*, **13(8)**, 4259.
- Icaga, Y., 2007. Fuzzy evaluation of water quality classification. *Ecological Indicators*, **7(3)**, 710-718.
- Jang, J., 1993. ANFIS: adaptive-network-based fuzzy inference system. *IEEE transactions on systems, man, and cybernetics*, **23(3)**, 665-685.
- Javadi, S., Hashemy, S., Mohammadi, K., Howard, K., and Neshat, A., 2017. Classification of aquifer vulnerability using K-means cluster analysis. *Journal of hydrology*, **549**, 27-37.
- Juntunen, P., Liukkonen, M., Lehtola, M. and Hiltunen, Y., 2013. Cluster analysis by self-organizing maps: An application to the modelling of water quality in a treatment process. *Applied Soft Computing*, **13(7)**, 3191-3196.
- Karagöz, Y., 2019. SPSS-AMOS-META uygulamalı istatistiksel analizler. *Ankara: Nobel Yayıncılık*.
- Katipoğlu, O. ve Acar, R., 2021. Estimation of missing temperature data by Artificial Neural Network (ANN). *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, **12(2)**, 431-438.
- Küçükerdem, T., Kilit, M. ve Saplıoğlu, K., 2019. Determination of the number of clusters used in fuzzy inference systems by means of K-means and modeling of dam volume: Kestel dam example. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, **25(8)**, 962-967.
- Laxmi, S. and Vijaya, M., 2018. A Weighted Mean Square Error Technique to Train Deep Belief Networks for Imbalanced Data. *International Journal of Simulation-Systems, Science & Technology*, **19(6)**.
- Lee, H. and Kang, K., 2015. Interpolation of missing precipitation data using kernel estimations for hydrologic modeling. *Advances in Meteorology*, 2015.
- MacQueen, J., 1967. Classification and analysis of multivariate observations. *In 5th Berkeley Symp. Math. Statist. Probability*, 281-297.
- Musavi-Jahromi, S. and Golabi, M., 2008. Application of artificial neural networks in the river water quality

- modeling: Karoon river, Iran. *Journal of Applied Sciences*, **8(12)**, 2324-2328.
- Ramazan, A. ve Saplıoğlu, K., 2020. Akarsulardaki Sediment Taşınımının Yapay Sinir Ağları Ve Anfis Yöntemleri Kullanılarak Tespiti. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **9(1)**, 437-450.
- Saplıoğlu, K., Doğan, Y. ve Acar, R., 2019. Akarsulardaki Sediment Taşınımının Çoklu Doğrusal Regresyon Yöntemi Kullanılarak Modellenmesi. *Munzur Zirvesi 1. Uluslararası Uygulamalı Bilimleri Kongresi*, (s. 150-160). Tunceli.
- Saplıoğlu, K. ve Güçlü, Y., 2022. Combination of Wilcoxon Test and Scatter Diagram for Trend Analysis of Hydrological Data. *Journal of Hydrology*,, 128132.
- Saplıoğlu, K. ve Ramazan, A., 2020. K-Means Kümeleme Algoritması Kullanılarak Oluşturulan Yapay Zekâ Modelleri ile Sediment Taşınımının Tespiti. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, **9(1)**, 306-322.
- Serteser, A., Kargioğlu, M., Içağa, Y. and Konuk, M., 2008. Vegetation as an indicator of soil properties and water quality in the Akarçay Stream (Turkey). *Environmental management*, **42(5)**, 764-770.
- Shanmuganathan, S., Sallis, P. and Buckeridge, J., 2006. Self-organising map methods in integrated modelling of environmental and economic systems. *Environmental Modelling & Software*, **21(9)**, 1247-1256.
- Sing, K., Basant, A., Malik, A. and Jain, G., 2009. Artificial neural network modeling of the river water quality—a case study. *Ecological Modelling*, **220(6)**, 888-895.
- Soyaslan, İ. ve Hepdeniz, K., 2020. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) Kullanılarak Bucak Havzası Yeraltısuyu Sertlik Haritasının Hazırlanması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, **18**, 99-108.
- Sungur, A., Yazıcı, M. ve Keskin, S., 2022. Prediction of the Shear Strength of Glass Fiber-Reinforced Clay Soil by Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS). *El-Cezeri Journal of Science and Engineering DOI: 10.31202/ecjse.1133184*.
- Şener, Ş., Şener, E. ve Davraz, A., 2017. Evaluation of water quality using water quality index (WQI) method and GIS in Aksu River (SW-Turkey). *Science of the Total Environment*, **584**, 131-144.
- Şişman, E. ve Kizilöz, B., 2020. Artificial neural network system analysis and Kriging methodology for estimation of non-revenue water ratio. *Water Supply*, **20(5)**, 1871-1883.
- Tepe, Y., Ateş, A., Mutlu, E. ve Töre, Y., 2006. Hasan Çayı (Erzin-Hatay) Su Kalitesi Özellikleri ve Aylık Değişimleri. *Su Ürünleri Dergisi*, **23(1)**, 149-154.
- Tezel, G. ve Buyukyildiz, M., 2016. Monthly evaporation forecasting using artificial neural networks and support vector machines. *Theoretical and applied climatology*, **124(1)**, 69-80.
- Topal, M. ve Topal, E., 2016. Murat Nehri (Elazığ)'nin Bazı Fizikokimyasal Parametreler Açısından Su Kalitesinin Belirlenmesi. *International Symposium of Water and Wastewater Management*.
- Wilcoxon, F., 1992. Individual comparisons by ranking methods. *In Breakthroughs in statistics Springer, New York, NY*. 196-202.
- Wu, Z., Wang, X., Chen, Y., Cai, Y. and Deng, J., 2018. Assessing river water quality using water quality index in Lake Taihu Basin, China. *Science of the Total Environment*, **612**, 914-922.
- Yan, H., Zou, Z. and Wang, H., 2010. Adaptive neuro fuzzy inference system for classification of water quality status. *Journal of Environmental Sciences*, **22(12)**, 1891-1896.
- Yıldız, S. ve Karakuş, C., 2018. Sivas 4 Eylül Barajı su kalitesi-seviye ilişkisinin coğrafi bilgi sistemi (CBS) ile haritalanması. *Academic Platform-Journal Of Engineering And Science*, **6(1)**, 64-75.
- Zeydan, Ö., Özdoğan, N., Taştepe, Ş. ve Demirtaş, D., 2019. Kozlu Deresinde (Zonguldak) Su Kalitesinin İncelenmesi. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, **5(2)**, 1-11.
- Zhou, C., Gao, L., Gao, H. and Peng, C., 2006. Pattern classification and prediction of water quality by neural network with particle swarm optimization. *In 2006 6th World congress on intelligent control and automation, IEEE*, 2864-2868.

5.1.İnternet Kaynakları

<https://www.google.com/maps/place/Bo%C4%9Fazi%C3%A7i,+Merkez,+24402+Bo%C4%9Fazi%C3%A7i%2FKemah%2F Erzincan/@39.5756426,38.5824648,109774m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x407a7958487d3a7f:0x73a1fbd011c528ee!8m2!3d39.579071!4d38.902425> , (23.07.2022).