

Atf İçin: Demir, H. N., Korkmaz, M. S. ve Arıman, S. (2023). Akım Gözlem İstasyonlarında ANFİS Yöntemi ile Günlük Ortalama Debi Tahmini: Kızılırmak Örneği. *İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13(4), 2565-2582.

To Cite: Demir, H. N., Korkmaz M. S., & Arıman, S. (2023). Daily Average Discharge Prediction of Stream Gages with ANFIS Method: A Case for Kızılırmak River. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 13(4), 2565-2582.

Akım Gözlem İstasyonlarında ANFİS Yöntemi ile Günlük Ortalama Debi Tahmini: Kızılırmak Örneği

Hilal Nur DEMİR¹, Mehmet Seren KORKMAZ^{2*}, Sema ARIMAN²

Öne Çıkanlar:

- ANFİS yöntemi ile akarsu debisi tahmini yapıldı.
- Günlük ortalama debi ANFİS yöntemi ile yüksek başarımla elde edildi.
- Havza yağışının nehir debisini etkilediği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler:

- ANFİS
- Debi
- Hidrolojik Analiz
- Kızılırmak
- Tahmin
- Yağış-Akış

ÖZET:

Akarsuların su potansiyelinin belirlenmesi için sezgisel tahmin modelleri sıklıkla kullanılmaktadır. Bu modellerden birisi olan Uyarlamalı Ağ Tabanlı Bulanık Mantık Çıkarım Sistemi (ing. kıs. ANFİS); yapay sinir ağlarının (YSA) öğrenme yeteneğini ve bulanık mantık (BM) yaklaşımının karar verme mekanizmasını kullanarak tahmin modeli geliştirmektedir. Bu çalışmada; Kızılırmak Nehri'nde yer alan iki adet Akım Gözlem İstasyonu'nda (AGİ) günlük ortalama debi, iki farklı ANFİS modeli ile tahmin edilmeye çalışılmıştır. AGİ'lere ait 2014-2021 yılları arasında gözlemlenmiş günlük ortalama debi verileri ile AGİ'lerin kurulu olduğu akarsu havzalarını temsil eden iki Meteoroloji Gözlem İstasyonu (MGI)'ye ait günlük toplam yağış verileri mekansallaştırılarak modellerde kullanılmıştır. Membadaki Kızılırmak-Ahmetacı AGİ-1 için, 2 giriş 1 çıkış yaklaşımı, bu AGİ'nin mansabında kalan Kızılırmak-Bulakbaşı AGİ-2 için ise 3 giriş 1 çıkış yaklaşımı ile ANFİS modelleri kurgulanmıştır. Giriş verilerinden günlük toplam yağış, zaman ölçeğinde (t-2). gün, günlük ortalama debi, (t-1). gün alınmış ve çıkış olarak (t). güne ait ortalama debi tahmin edilmiştir. Modellerde verilerin %75'i eğitim, %25'i test verisi olarak kullanılmıştır. Kurallar oluşturulurken 3 farklı kümeleme yapılmış ve hedef değerin üyelik fonksiyonu belirlenmiştir. Her iki AGİ için eğitim ve test verilerinde 3 ayrı kümelemeye ait sonuçlar elde edilmiş ve modellerin başarımları için determinasyon katsayısı (R^2) ve karekök ortalama hatası (RMSE) metrikleri kullanılmıştır. AGİ-1 için en iyi sonucu $R^2 = 0.9578$, RMSE = 1.49 ile 3 kümelemeli model verirken AGİ-2 için en iyi sonucu; $R^2 = 0.976$ ve RMSE = 2.20 ile yine 3 kümelemeli model vermiştir. Sonuç olarak ANFİS modeli, yüksek başarımla günlük ortalama debiyi tahmin etmiştir.

Daily Average Discharge Prediction of Stream Gages with ANFIS Method: A Case for Kızılırmak

Highlights:

- River discharge is estimated with ANFIS method.
- Daily average discharge is obtained with high success with ANFIS method.
- It is determined that precipitation in catchment affects the river discharge.

Keywords:

- ANFIS
- Discharge
- Hydrological Analysis
- Kızılırmak
- Prediction
- Rainfall-runoff

ABSTRACT:

Adaptive Network Based Fuzzy Logic Inference System (ANFIS); has been developed as a prediction model by using the learning ability of artificial neural networks (ANN) and the decision-making mechanism of fuzzy logic approach. Daily average discharges at two stream gages located in the Kızılırmak River is tried to be predicting with two different ANFIS models in this study. Daily average discharge of the river observed between 2014-2021 and daily total precipitation data of two Weather Stations (AWS) representing the river basins are used in the models. ANFIS models have been formed with 2 input and 1 output approach for SG-1 Stream Gage in the upstream, and with 3 input - 1 output approach for SG-2 Stream Gage which takes place at downstream. Total daily precipitation has two days lag time (t-2) and average daily discharge has one day lag time (t-1) taken as input data and (t) days as output. 75% of the data is used as training and 25% as test. While creating the rules, three different clusters have been made, and the membership function of the target value is obtained. Coefficient of determination (R^2) and root mean square error (RMSE) metrics are used for the performance of the models. The best results for both SG-1 and SG-2 are three clustered model with respectively, $R^2 = 0.9578$ and 0.976 , RMSE = 1.49 and 2.20. As a result, it was observed that the ANFIS model predicted the daily average discharge with high success.

¹ Hilal Nur DEMİR ([Orcid ID: 0009-0003-6893-1266](https://orcid.org/0009-0003-6893-1266)), DSİ Sivas 19. Bölge Müdürlüğü, Sivas, Türkiye

² *Mehmet Seren KORKMAZ ([Orcid ID: 0000-0001-8345-7265](https://orcid.org/0000-0001-8345-7265)), Sema ARIMAN ([Orcid ID: 0000-0001-7201-9243](https://orcid.org/0000-0001-7201-9243)), Samsun Üniversitesi, Özdemir Bayraktar Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Samsun, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Mehmet Seren KORKMAZ, e-mail: mehmetkorkmaz@samsun.edu.tr

GİRİŞ

Büyük su havzalarının modellenmesi, topografya, iklim modelleri, arazi örtüsü, havza drenaj yoğunluğu, toprak drenaj kapasitesi ve diğer ilgili faktörlerdeki havza içi ve havzalar arası farklılıklar nedeniyle hidroklimatik rejimlerin karmaşıklığı nedeniyle oldukça zordur. Örneğin, soğuk mevsimlerde nehirlerin ana kolu boyunca simüle edilen akışlar genellikle iklimsel girdilere daha duyarlıyken, akış döngüsünün ara akış ağırlıklı olduğu diğer durumlarda bölgesel topoğrafyaya bağlı duyarlılık daha fazladır (Belvederesi ve ark., 2022).

Nehir akışlarını tahmin modelleri; süreç odaklı modeller ve veri odaklı modeller olarak iki ana kategoriye ayrılabilir (Fu ve ark., 2014; Devia ve ark., 2015; Hayat ve ark., 2019). Süreç odaklı modeller, ampirik ve fiziksel tabanlı yapıları ile süreçte etkili denklemlerden yararlanarak havza sistemi içindeki fiziksel süreçlerin matematiksel benzeşimini yapmaya çalışmaktadır (Bayazıt, 1998). Veri odaklı modeller ise doğal fiziksel süreçler hakkında bilgi ve tecrübe gerektirmedikleri için yalnızca saha verilerine göre kalibre edilmiş *ampirik* denklemlere dayanmaktadır (Kışı, 2003). Süreç odaklı ve veri odaklı modeller arasındaki temel fark, yöneten süreçlerin temsili ve veri gerekliliğidir (Şen, 2004a).

Fiziksel temelli hidrolojik modeller, hidrolojik çevrim elemanlarından hareketle havzayı bir bütün olarak yöneten ayrı hidrolojik süreçler hakkında daha geniş bir anlayış sağlayabilse de, gözlem ve ölçüm veri setleri yetersiz olabilmekte ya da bunun sağlanması pahalı ve zaman alıcı olabilmektedir. Öte yandan modelleri yöneten parametrelerin kestirimi için bazı değişkenlerin model kalibrasyonu yoluyla elde edilmesi gerekebilir (Bayazıt, 1998). Bu nedenle, fiziksel tabanlı hidrolojik modellerin uygulanması zor olabilir. Ayrıca, gerçek zamanlı operasyonel tahminlerin, veri odaklı modeller kullanılarak yönetilmesi daha pratik olabilir. Çünkü karmaşık fiziksel modeller genellikle büyük miktarda girdi verisine, model kalibrasyonu için potansiyel olarak uzun hesaplama sürelerine ve uygun yazılımı doğru şekilde kullanacak profesyonellere ihtiyaç duymaktadır (Şen, 2004b). Veri odaklı modeller, fiziksel temelli modeller tarafından tam olarak anlaşılabilen fiziksel mekanizmaları anlamak ve girdi-çıkı ilişkisini değerlendirmek için yeterince mevcut olduğu durumlarda daha uygun olabilir (Veiga ve ark., 2014; Belvederesi ve ark., 2020).

Hidrolojik çalışmalarda, akarsu havzalarının su potansiyelinin belirlenebilmesi için, anlık olarak geçen su miktarı olarak tanımlanan debinin belirlenmesi gerekmektedir. Her ne kadar, akarsuların debisi yer altı suyunun pınar veya kaynaklar yolu ile yeryüzüne çıkıp akışa geçmesinden dolayı oluşsa da, debinin zaman içerisinde artışında havza geneline düşen yağış miktarı veya mevsimsel kar erimesi temel etkenlerdir. Doğal olarak debi, havzada meydana gelen bütün meteorolojik ve hidrolojik oluşumların birlikte ortaya çıkardığı değişimi ifade etmektedir (Bayazıt, 2011).

Ülkemizdeki akarsularda debi ölçümlerinden sorumlu devlet kuruluşu olan Devlet Su İşleri (DSİ) tarafından işletilen yaklaşık 1340 adet Akım Gözlem İstasyonu (AGİ) bulunmaktadır (DSİ, 2023). Bu istasyonlarda başta bir referans düzlemine bağlı otomatik eşel seviyesi ölçümü ile beraber periyodik olarak debi ölçümleri yapılmaktadır. Bu hidrometrik faaliyetler sonucunda da işletilen her AGİ için yıllık olarak “AGİ Akım Gözlem Yıllıkları” çıkarılmaktadır (Teker, 1984). Ancak bazı durumlarda AGİ’lerde su seviyesi veya debi ölçümleri eksik veya hatalı olduğunda AGİ Akım Gözlem Yıllıkları çıkmamaktadır. Bu da ilerleyen dönemlerde akarsuya ait hem su potansiyelinin belirlenmesi hem de planlanan su yapılarının projelerindeki hidrolojik hesaplamalarda veri eksikliğine neden olmaktadır (Şahin, 2012). Farklı yöntemler kullanılarak eksik debi verileri tamamlanarak o su yılına ait Akım Gözlem Yıllığı elde edilebilmektedir.

Hem su potansiyelinin hesaplanması, hem de eksik verilerden kaynaklı hidrometrik değerlendirmelerdeki kayıpların giderilmesi için yağış-akış bağlantısı temeline dayanan hidrolojik

tahmin yaklaşımları kullanılabilir. Pratikte *regresyon analizi*, en çok kullanılan tahmin yöntemlerinin başında gelmektedir (Altunkaynak ve Başakın, 2018). Öte yandan Yapay Sinir Ağları (YSA), Otoregresif hareketli ortalamalar (ARIMA), Uyarlamalı Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS) gibi yöntemlerle de debi tahmini yapılmaktadır. YSA, insan beynindeki nöronların çalışma prensiplerine dayanılarak modellenmiş bir sistemdir (Caner ve Akarşlan, 2009). Bu nöronların işleyiş şekli yeni bilgiyi kaydetme ve eski bilgi ile arasında ilişkiler kurmak şeklindedir. YSA'da, sistem; her yeni elde ettiği değerle kendisini eğitmektedir (Uzunali, 2019). ARIMA modeli, üç ayrı parçadan oluşan bir doğrusal denklem oluşturarak zaman serisi verilerini çözümler ve kestirimler yapar. ARIMA'da kullanılan doğrusal denklem, AR (otoregresyon), I (entegrasyon) ve MA (hareketli ortalama) olarak tanımlanabilen üç ayrı parça ile oluşturulur. AR, otoregresyon, geçmiş veri noktalarına dayalı denklem terimleri oluşturur. I, entegrasyon, verilerdeki genel "eğilimi" hesaba katar. MA, hareketli ortalama, geçmiş veri noktalarına dayalı hata veya gürültü denklem terimleridir. ARIMA modeli genellikle ARIMA (p, d, q) olarak gösterilir. Burada her bir harf yukarıda açıklanan üç parçaya karşılık gelir. Bu üç harf, sağlamanız gereken parametreleri temsil eder ve şu şekilde açıklanır: *p* otoregresif (AR) terimlerin sayısını belirler, *d* farklılaştırma derecesini belirler ve *q* hareketli ortalama (MA) terimlerin sayısını belirler (Storch ve Zwiers, 2003).

YSA'nın bulanık mantık ile birleşiminden oluşan ANFIS ise, YSA'nın öğrenme kabiliyetini artıran bulanık çok sayıda katmandan oluşan sinirsel bir yapıdır. Aynı zamanda içerisinde bulanık mantığın "eğer-ise" kurallarını da barındırmaktadır. ANFIS yöntemi, hidrolojik tahminlerde sıklıkla kullanılan ve istatistiksel başarıyı yüksek bir modelleme yöntemi olduğundan literatürde de birçok çalışma yapılmıştır (Çizelge 1). Altunkaynak ve Başakın (2018); yaptıkları çalışmada Kuzey Amerika'da bulunan Columbia Nehri'nin 1950-1960 yılları arasında ölçülen günlük ortalama debi veri setini (iki gün önce, bir gün önce ve aynı gün) kullanarak matematik modeller geliştirmişlerdir. Modelleme aşamasında Yapay sinir ağları (YSA), bulanık mantık (ANFIS) ve otoregresif hareketli ortalama (ARIMA) yöntemleri ile çeşitli modeller oluşturmuşlardır. Modellerin tahmin performanslarını istatistiksel metriklerle değerlendirmişlerdir. ANFIS modelinin tahmin sonuçlarının NAR ve ARIMA model tahmin sonuçlarından daha iyi bir başarıyı gösterdiğini görmüşlerdir. Asaad ve ark. (2022); Çok Katmanlı Algılayıcı (ÇKA, *ing. Multi Layer Perceptron-MLP*), derin öğrenme metodu olarak geliştirilen Uzun Kısa Süreli Bellek (LSTM), YSA ve ANFIS yöntemleri ile, Konya'daki Meram Çayı üzerinde kurulu Küçükmuhsine AGİ'de 1981-2017 yılları arasında gözlemlenen aylık ortalama debi verilerini kullanarak, gelecekteki 1 yıl, 2 yıl ve 3 yıl gibi uzun süreli olarak aylık ortalama debiyi tahmin etmeye çalışmışlardır. Sonuç olarak LSTM yönteminin, MLP ve ANFIS yöntemlerine göre istatistiksel olarak daha yüksek tahmin doğruluğu ve daha düşük hata verdiğini belirlemişlerdir. Arslan ve ark. (2020), ANFIS ve Destek Vektör Makineleri (SVM) yöntemlerini kullanarak Doğu Anadolu Bölgesi'nde yer alan Keban Barajı'nın rezervuarındaki su seviyesinin değişimini modelleyerek tahmin etmişlerdir. Yaygın kullanılan çoklu lineer regresyon (ÇLR) yöntemi ile de bu iki yöntemi karşılaştırmışlardır. Girdi verileri olarak; barajdan bırakılan su miktarı, günlük toplam akım ve toplam buharlaşma miktarı verilerini kullanmışlardır. Uygulanan üç yöntemle de Kızılırmak Nehri Havzasının memba bölgesinde Sivas ili sınırları içerisinde yer alan AGİ'deki günlük ortalama debiyi ve baraj su seviyesini çok yüksek bir istatistiksel başarıyla tahmin ettiğini ortaya koymuşlardır (Arslan ve ark., 2020). Bir başka çalışmada; Sakarya Havzası'ndaki Kocasu Nehri'ndeki 1222 No'lu AGİ için günlük debi tahmininde 3 YSA yöntemi ile ÇLR yöntemi sınanmıştır. 21 yıllık periyottaki günlük debi ölçüm verileri kullanılarak beş gün gecikmeli olarak kurgulanan modellerden; üç katmanlı ileri besleme geri yayılım yapay sinir ağı yöntemi (İBGY-YSA), genelleştirilmiş regresyon yapay sinir ağları (GR-YSA) ve radyal tabanlı

işlevi yapay sinir ağları (RT-YSA) ile çoklu lineer regresyon (ÇLR) yöntemi karşılaştırıldığında Kocasu Nehri'ndeki AGİ'de günlük debi tahmini için istatistiksel başarımı en yüksek modelin, İBGY-YSA algoritması ile elde edildiği ortaya konulmuştur (Burgan, 2022). Türkiye'nin Fırat havzasında yer alan Murat ve Karasu alt havzalarında, drenaj alanı oranı (ing. Drainage Area Ratio) yöntemi, ortalama ile standartlaştırma (ing. Standardization with mean) yöntemi ve ters benzerlik ağırlıklandırma (ing. Inverse Similarity Weighting) yöntemi olarak üç istatistiksel yöntem ile farklı AGİ'lerde günlük ortalama debi tahmin edilmeye çalışılmıştır. Günlük debi tahmininin başarımını artırmak amacıyla, istatistiksel yöntemler ikili veya üçlü birleştirilerek 'ensemble yaklaşımlar' önerilmiştir. Sonuçlar karşılaştırıldığında önerilen birleşik yaklaşımların günlük debi tahmininde istatistiksel yöntemlerin performansını artırmak için faydalı olduğunu görülmüştür (Yılmaz ve Onoz, 2022). Özkan ve Haznedar (2023) yaptıkları çalışmada, Seyhan Havzası'ndaki 3 farklı AGİ'de uzun vadeli günlük debi gözlem kayıtlarını kullanarak; Adaptatif Nöro-Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS) modelini, Geri Yayılım (BP), Hibrit Öğrenme (HB) ve Simüle Edilmiş Tavlama (SA) algoritmaları ile eğitmiş ve model tahmin sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Ayrıca farklı giriş parametreleri kullanarak oluşturulan ANFIS modellerinin performansı, Izgara Bölütleme (Grid Partitioning) ve Bulanık C-Means Kümeleme (Fuzzy C-Means Clustering) yöntemleri ile de çalışılmıştır. Farklı istatistiksel değerlendirme ölçütlerine göre BP modelinin 3 farklı AGİ'de de en başarılı olduğu görülmüştür. BP algoritmasının, nonlineer problemlerde ANFIS parametrelerini eğitmek için diğer algoritmalarından daha başarılı ve etkili bir şekilde kullanılabilmesi sonucuna varılmıştır (Özkan ve Haznedar, 2023).

Yukarıdaki çalışmalarda görüldüğü gibi hem ANFIS yöntemi hem de diğer veri temelli modelleme yöntemleri uygulanarak birçok hidrolojik değişken yüksek istatistiksel doğrulukla tahmin edilebilmektedir. Yağışa bağlı olarak meydana gelen akışın ölçüsü olarak akarsu debisi de üzerinde durulan önemli bir hidrolojik değişkendir. Havzanın su potansiyeli (Algancı ve ark., 2010), tekerrürlü taşkın debilerinin belirlenmesi (Özdemir, 1978), hidrolojik ve tarımsal kuraklık çalışmaları (Katipoğlu, 2022), genel olarak akarsu debisi verilerinden yararlanılarak yapılmaktadır. Bu çalışmada, Kızılırmak Nehri Havzasının memba bölgesinde Sivas ili sınırları içerisinde yer alan iki adet AGİ'nin günlük ortalama debisi, havzalarına düşen günlük yağış miktarı ve AGİ'lerde gözlemlenen günlük ortalama debi verileri yardımıyla ANFIS yöntemi kullanılarak modellenmiş ve günlük ortalama debi tahmin edilmeye çalışılmıştır. Her AGİ için, girdiler değiştirilerek 3 farklı kümeleme yaklaşımı ile ANFIS modelleri oluşturulmuştur. Her model yapılandırmasının gözlemlerle uyumuna bakılarak, elde edilen modellerin günlük ortalama debiyi tahmin performansı istatistiksel olarak karşılaştırılmıştır.

Çizelge 1. Literatür araştırması ve performans metrikleri (R^2 , RMSE)

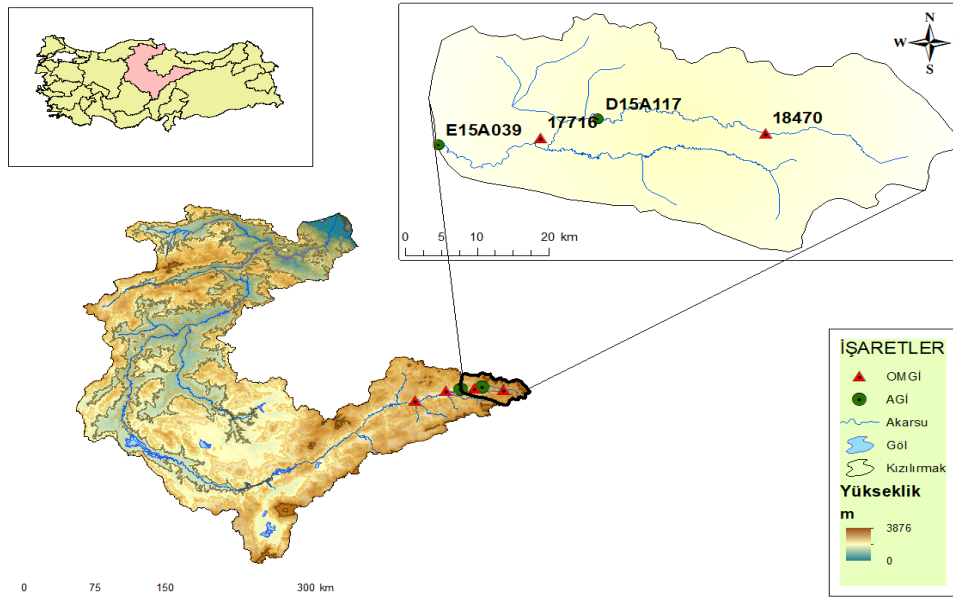
Referanslar	Model	R^2	RMSE
Fırat (2007)	ANFIS	0.964	6.03
Altunkaynak ve Başakın(2017)	ANFIS	0.987	-
Yıldırım ve Soklu (2008)	ANFIS	0.82	3,484
Taylan (2018)	ANFIS	0.91	12.2
Alzukraf ve Khalifa (2016)	ANFIS	0.9446	0.37
Arslan ve ark. (2020)	ANFIS	0.99	0.02
Şener ve Morova (2011)	Bulanık Mantık	0.899	-
Kumar ve Kyada, (2015)	ANFIS	-	0.034
Eryürük ve ark. (2021)	ANFIS	0.73	0.510
Patel ve Parekh (2014)	ANFIS	0.99	3.02

MATERYAL VE METOT

Çalışma Alanı

Kızılırmak Nehri havzası; 82221 km² yağış alanına sahiptir ve Türkiye'nin 2. büyük akarsu havzasıdır. Türkiye yüzölçümünün yaklaşık %10.49'unu kapsar (DSİ, 2020). Kızılırmak Nehri, mebadan mansaba 1355 km uzunluğu ile Türkiye'nin içinde doğup sınırları içerisinde denize dökülen en uzun akarsuyudur. Fırat Havzası'na komşu olarak Sivas'ın doğusundaki Kızıldağ'dan (3025 m) doğar, sırasıyla Sivas, Kayseri, Nevşehir, Kırşehir, Kırıkkale, Ankara, Çankırı, Çorum, Sinop ve Samsun il sınırları içerisinde geçerek Bafra ilçesi yakınlarından Karadeniz'e dökülür. Döküldüğü noktadaki su potansiyeli, uzun yıllar gözlemlerine dayanılarak 7004 hm³/yıl olarak hesaplanmıştır (DSİ, 2021). Kızılırmak Havzası, ülkemiz enerji üretiminde de önemli bir yere sahiptir. Nehir üzerinde kurulu 12 baraj ve hidroelektrik santrali bulunmaktadır. Ayrıca, Kızılırmak ve yan kollarından yararlanılarak, tarımsal sulama da yapılmaktadır (SYGM, 2019).

Bu çalışmada, Kızılırmak Havzasının membasındaki bir bölge, *çalışma alanı* olarak belirlenmiştir (Şekil 1). Çalışma alanı, İç Anadolu Bölgesinde Sivas il sınırları içerisinde kalmaktadır. Çalışma alanı içinde iki adet Akım Gözlem İstasyonu (AGİ) ve iki adet Meteoroloji Gözlem İstasyonu (MGİ)'ye ait gözlem verileri kullanılarak AGİ enkesitlerindeki günlük ortalama debiler tahmin edilmeye çalışılmıştır.



Şekil 1 Çalışma Alanındaki AGİ ve MGİ'lerin konumlarını gösteren lokasyon haritası

Veriler

Kızılırmak ana kolu ve bu nehri besleyen yan kollar üzerinde Devlet Su İşleri (DSİ) ve 2011 yılında kapatılan Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİEİ) tarafından kurulan çok sayıda AGİ bulunmaktadır. Aynı zamanda havza içerisinde ve çevresinde Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) tarafından işletilen MGİ'ler bulunmaktadır. Bu çalışmada, Ocak 2014–Eylül 2021 tarihleri arasında, Kızılırmak nehri ana kolu üzerinde bulunan D15A117 No'lu Kızılırmak - Ahmethacı (AGİ-1) ve E15A039 No'lu Kızılırmak – Bulakbaşı (AGİ-2)'ye ait günlük ortalama debi (m³/s) verileri ile, 18470 No'lu İmranlı (MGİ-1) ve 17716 No'lu Zara (MGİ-2)'ye ait günlük toplam yağış (mm/gün) verileri kullanılmıştır. Çizelge 2'de çalışmada kullanılan AGİ'lere, Çizelge 3'de çalışmada kullanılan MGİ'lere ait bilgiler verilmiştir. MGİ'lerde gözlemlerin noktasal olması nedeniyle, AGİ'lere ait havzaların yağış miktarının mekânsal temsiliyetinde yetersiz kalacağı için, mekânsal temsiliyetin artırılması amacıyla *ArcGIS for Desktop*

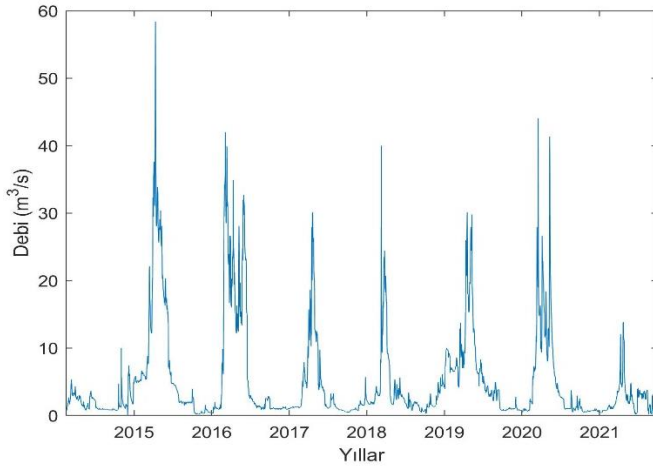
platformundaki çeşitli araçlar yardımıyla MGİ'lerin çalışma alanı üzerindeki konumları göz önünde bulundurularak *thiessen poligonları* elde edilmiştir. Böylelikle her MGİ'nin, havzaları ne kadar temsil ettiği ağırlıklı olarak hesaplanmıştır. Sonrasında bu oranlar ile istasyonlardan alınan günlük yağış verileri çarpılarak noktasal yağış verilerinden, mekansal havza yağış verileri elde edilmiştir.

Çizelge 2. Çalışmada kullanılan Akım Gözlem İstasyon Bilgileri

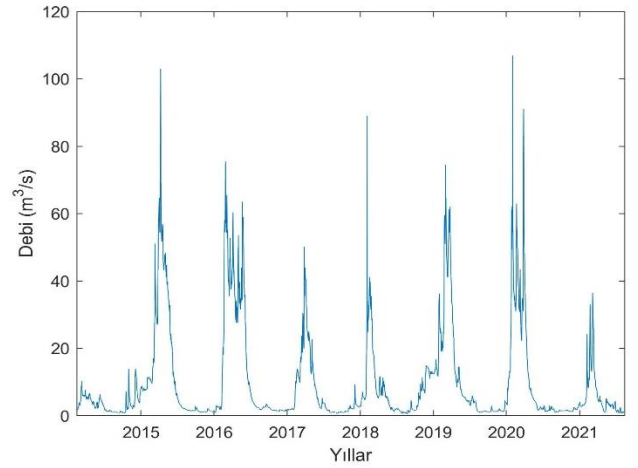
Çalışmadaki Kodu	İstasyon No	İstasyon Adı	Yağış Alanı (km ²)	Gözlem Periyodu	Enlem	Boylam
AGİ-1	D15A117	Kızılırmak - Ahmethacı	693.42	10.12.1966-29.09.2021	39°54'23" K	37°49'33" D
AGİ-2	E15A039	Kızılırmak - Bulakbaşı	1642.0	01.06.1971- 29.09.2021	39°52'41" K	37°33'47" D

Çizelge 3. Çalışmada kullanılan Meteoroloji Gözlem İstasyon Bilgileri

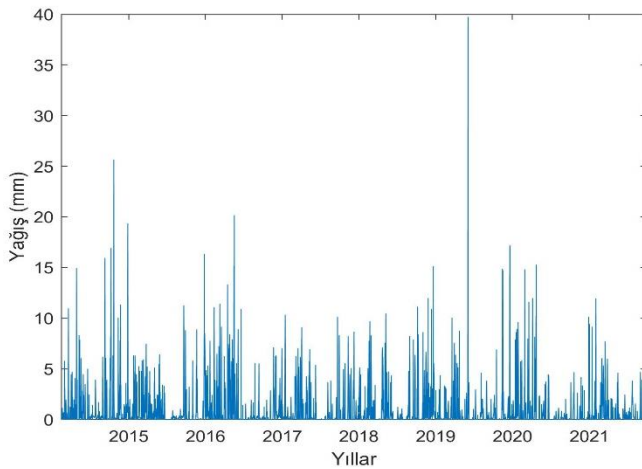
Çalışmadaki Kodu	İstasyon No	İstasyon Adı	Gözlem Periyodu	Enlem	Boylam
MGİ-1	18470	İMRANLI	14.02.2014- 29.09.2021	39°52'32.90"K	38°05'53.90"D
MGİ-2	17716	ZARA	10.09.2009 -29.09.2021	39°52'58.00"K	37°43'47.30"D



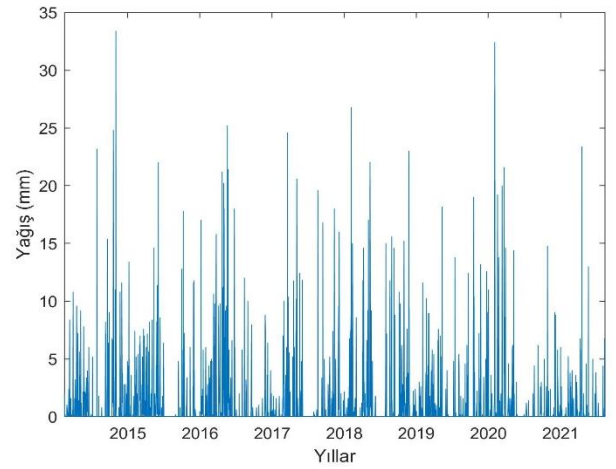
Şekil 2. AGİ-1 (D15A117)'e ait akım verilerinin 2014-2021 yılları arasındaki değişimi



Şekil 3. AGİ-2 (E15A009)'e ait akım verilerinin 2014-2021 yılları arasındaki değişimi



Şekil 4. MGİ-1 (18470)'e ait yağış verilerinin 2014-2021 yılları arasındaki değişimi



Şekil 5. MGİ-2 (17162)'e ait yağış verilerinin 2014-2021 yılları arasındaki değişimi

Çalışma sahasındaki AGİ'lerde ölçülen günlük ortalama debilere bakıldığında (Şekil 2 - Şekil 3); her iki AGİ'de de ortalama debinin kış ve ilkbahar aylarında fazla olduğu görülmektedir. MGİ'lerde

ölçülen günlük toplam yağış miktarlarının zamana bağlı değişimlerine bakılırsa (Şekil 4 - Şekil 5); yağışın fazla olduğu mevsimlerin kış ve ilkbahar olduğu görülmüştür. Hem yağış hem de debi verileri incelendiğinde yağış ile debi arasında doğru orantı olduğu sonucuna ulaşılabilir. Kış aylarındaki kar yağışı sonucu havzaların yukarı bölgelerinde biriken kar ve ilkbahardaki mevsimsel şiddetli sağanak yağışların beraber akışa geçmesi buna neden olarak gösterilebilir.

Yöntem

Bulanık mantık (BM-*fuzzy logic*) yaklaşımı ilk kez Azerbaycan asıllı ABD’li matematikçi ve mühendis Lütfi Askerzade tarafından ortaya atılmıştır (Zadeh, 1965). BM, insanlara ait ifadelerin işlenerek, makinelere aktarılmasını amaçlayan yaklaşımdır. Girdi veya girdi gruplarının bulanık mantık kullanılarak bir çıktı ile ilişkilendirilmesine *bulanık çıkarım* adı verilir (Şen, 2004a). Bu çıkarım; bünyesinde üyelik fonksiyonları, mantıksal işlemler ve eğer-ise kurallarını içerir. Bu sistemler hidroloji, meteoroloji ve su kaynakları gibi alanlarda başarıyla uygulanmıştır (Altunkaynak, 2010).

Noktasal Yağış Gözlemlerinin Mekansallaştırılması

Yağışın noktasal olarak Meteoroloji Gözlem İstasyonlarında ölçülmesi, mekansal temsiliyetinin yetersiz olmasına neden olmaktadır. Bu nedenle hidrolojik çalışmalarda yağışın havzalardaki miktarının belirlenmesi için thiessen polygon yöntemine sıklıkla başvurulmaktadır (Bayazıt, 2011). Bu yöntemde göre havza içerisindeki ve çevresindeki tüm MGİ’lerin havzanın içerisinde temsil ettiği alanlar belirlenip bu alanların o havzada ne kadar bir oransal yüzdeye karşılık geldiği hesaplanır. Böylelikle örneğin herhangi bir havzada memba bölgesindeki yağış miktarı fazla olan MGİ de, mansaptaki yağış miktarı az olan MGİ de havza içerisindeki konumuna göre yöntemin uygulanmasıyla elde edilen poligonlarla havza yağışına bir ‘katkı’ sunar. Benzer şekilde havzanın dışında olup havzaya yakın olan istasyonlarda bu sayede değerlendirilebilir ve havzanın yağışında onların temsil ettikleri oran kadar havza yağışına katkı sunabilirler. Mekansal olarak havzadaki yağış miktarı (toplam yağış, maksimum yağış, yinelenmeli yağış vb.) hesaplanmak istenildiğinde thiessen yöntemi pratik bir kullanıma sahiptir (Özdemir, 1978).

$$P_{ort} = \frac{\sum_{i=1}^N P_i A_i}{A} \quad (1)$$

P_{ort} : Thiessen poligonlarına göre havzanın ortalama yağış miktarı (mm/m²)

P_i : İstasyondaki yağış miktarı (mm/m²)

A_i : Yağış yüksekliği P_i olan gözlem istasyonunun thiessen poligon alanı (km²)

A : Havzanın toplam alanı (km²)

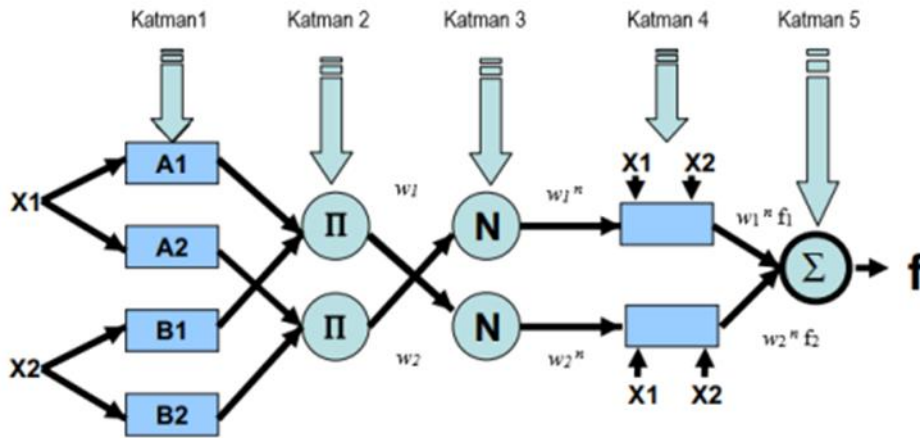
N : İstasyon sayısı olarak ifade edilmiştir.

Çalışma alanındaki her iki AGİ için de kesit yerlerine göre tespit edilen havzalarının içerisindeki ve etrafındaki meteoroloji gözlem istasyonlarının konumları göz önünde bulundurularak thiessen poligonları elde edilmiştir. Bunun için *ArcGIS for Desktop* CBS platformu ve araçları kullanılmıştır.

Uyarlamalı Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS) Yöntemi

Uyarlamalı ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi (*ANFIS - Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System*). Takagi-Sugeno bulanık çıkarım sistemine dayanan yapay bir sinir ağı yöntemidir (Jang, 1993). Yöntemde, hem yapay sinir ağları hem de bulanık mantık ilkeleri beraber ele alınıp modelleme

yapıldığından bu iki yaklaşımın da faydalarını tek bir çerçevede yakalama potansiyeline sahiptir. ANFIS, beş katmandan oluşan bir mimariye sahiptir (Şekil 6). Birinci katman girdi değerlerini alır ve onlara ait üyelik fonksiyonlarını belirler. Bu katman genellikle *bulanıklaştırma katmanı* olarak adlandırılır. Her bir fonksiyonun üyelik dereceleri, $\{a, b, c\}$ olarak adlandırılan öncül parametre setini kullanarak hesaplanır. İkinci katman kurallar için *ateşleme güçlerini* üretmekten sorumludur. Görevi nedeniyle ikinci katman “kural katmanı” olarak adlandırılır. Üçüncü katmanda; önceki katmanda hesaplanan ateşleme güçleri normalleştirilmektir. Bunun için her bir değer, toplam ateşleme gücüne bölünür. Dördüncü katmanda girdi olarak normalize edilmiş değerleri ve $\{p, q, r\}$ sonuç parametre setini alır. Bu katman tarafından döndürülen değerler bulanıklaştırılmış olanlardır ve bu değerler beşinci yani son katmana geçirilerek nihai çıktıyı döndürür. ANFIS model yapısı, Sugeno tipi bulanık sistemlerin, sinirsel öğrenme kabiliyetine sahip bir ağ yapısı olarak temsilinden oluşmaktadır (Caner ve Akarşlan, 2009). Her bir ağ katmanlar şeklinde yapılanmıştır (Şekil 6). ANFIS yönteminde hem yapay sinir ağları (YSA) hem de bulanık mantık (BM) kullanılır (Kosko, 1992). ANFIS, YSA'nın öğrenme yeteneğini ve kuralları belirlerken bulanık mantığın çıkarım yöntemini kullanarak çıkış verisi üretmektedir (Uzunali, 2019).



Şekil 6 ANFIS Yöntemi Model Mimarisi

İki girişli (x ve y) ANFIS yapısındaki bulanık kurallar (2) ve (3)'de verilmektedir (Jang ve Mizutani 1997).

$$EGER \ x = A_1VE \ y = B_1ISE \ z = p_1x + q_1y + r_1 \quad (2)$$

$$EGER \ x = A_2VE \ y = B_2ISE \ z = p_2x + q_2y + r_2 \quad (3)$$

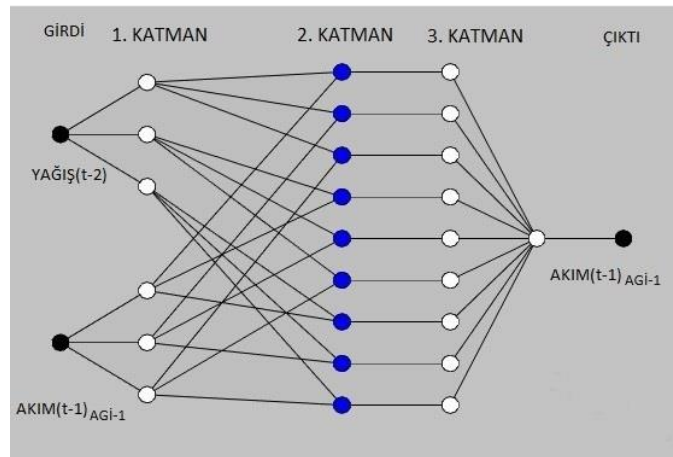
Burada, A_i ve B_i bulanık kümelerinin üyelik fonksiyonları; μ_{A_i} ve μ_{B_i} şeklindedir. p_1, q_1, r_1, p_2, q_2 ve r_2 ise çıkarım sisteminin çıkış parametreleridir.

ANFIS yöntemiyle modelleme yapmak için MATLAB platformunda bulunan “*Fuzzy toolbox*” araçları kullanılmıştır. Çalışma alanındaki memba bölgesindeki Kızılırmak - Ahmethacı (AGİ-1) AGİ için; 2 giriş 1 çıkışlı ANFIS modelleri, çalışma alanının mansap bölgesindeki Kızılırmak - Bulakbaşı AGİ (AGİ-2) için; 3 giriş 1 çıkışlı ANFIS modelleri oluşturulmuştur. AGİ-1 (t) debi tahmini için giriş değişkeni olarak MGİ-1' den elde edilen alansal yağış verileri akışa geçme süreleri göz önüne alınarak (t-2). gün değerleri, AGİ-1' den alınan debi verileri ise (t-1). gün değerleri olarak, çıkış değişkeni için ise AGİ-1 (t). güne ait ortalama debi değerleri modele giriş olarak verilerek ANFIS modeli oluşturulmuştur (Çizelge 4). Ayrıca AGİ-2 (t) debi tahmini için giriş parametreleri olarak MGİ-2 yağış verileri (t-2). AGİ-1 debi verileri (t-1) ve AGİ-2 debi verileri de (t-1) olarak, çıkış AGİ-2 (t) zamanlı debi verisi tahmin edilmiştir (Çizelge 5). AGİ'ler için 3 farklı kümeleme yapılarak ANFIS modeline girilmiştir ve debi

tahmini yapılmıştır. Şekil 9’da AGİ-2 için oluşturulmuş 3 kümelemeli modelin yapısı verilmiştir. Üyelik fonksiyonu olarak üçgen üyelik fonksiyonu (İng. kıs. triangular membership function-*trimf*) seçilmiştir. Gerçek ölçüm(gözlem) verileri ile model tahmin çıktı verileri karşılaştırılarak model performansı değerlendirilmiştir.

Çizelge 4. AGİ – 1 için ANFIS Modeli Girdi ve Çıktıları

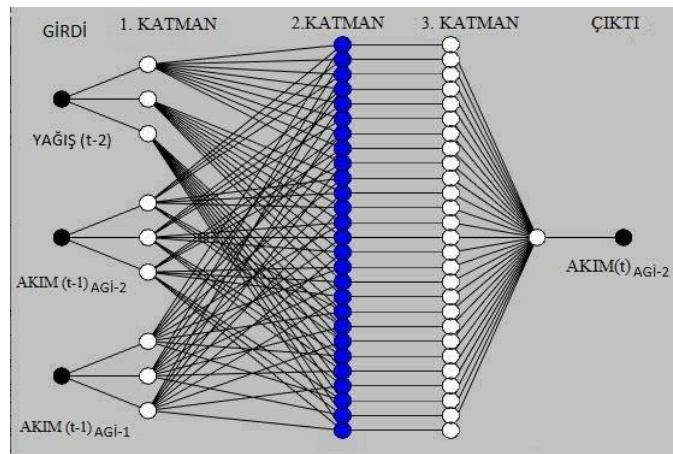
Kümeleme	Giriş Verisi	Çıkış Verisi
3 3	$Q_1(t-1)$ $P_1(t-2)$	$Q_1(t)$
4 4	$Q_1(t-1)$ $P_1(t-2)$	$Q_1(t)$
5 5	$Q_1(t-1)$ $P_1(t-2)$	$Q_1(t)$



Şekil 7 AGİ – 1 için kurulan ANFIS Model Mimarisi

Çizelge 5. AGİ – 2 için ANFIS Model Girdi ve Çıktıları

Kümeleme	Giriş Verisi	Çıkış Verisi
3 3 3	$Q_1(t-1)$ $Q_2(t-1)$ $P_2(t-2)$	$Q_2(t)$
4 4 4	$Q_1(t-1)$ $Q_2(t-1)$ $P_2(t-2)$	$Q_2(t)$
5 5 5	$Q_1(t-1)$ $Q_2(t-1)$ $P_2(t-2)$	$Q_2(t)$



Şekil 8 AGİ – 2 için kurulan ANFIS Model Mimarisi

Model Performans Metrikleri

ANFIS modeli sonucu elde edilen günlük ortalama debiler ile gerçekte ölçülen günlük ortalama debiler karşılaştırılarak modelin istatistiksel başarımı değerlendirilmiştir. Model performans metrikleri Korelasyon Katsayısı (R^2) ve Karesel Ortalama Hatanın Karekökü (İng. kıs. *RMSE*) olarak belirlenmiştir. Bu metriklerin hesaplanması için eşitlikler sırasıyla (4) ve (5)'de verilmiştir (Şen, 2002).

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_i^n (\psi_{ölçüm} - \psi_{model})^2}{\sum_i^n (\psi_{ölçüm} - \bar{\psi}_{ölçüm})^2} \quad (4)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (\psi_{model} - \psi_{ölçüm})^2}{n}} \quad (5)$$

Eşitliklerde $\psi_{ölçüm}$ gerçek değer, ψ_{model} tahmin değeri, n ise toplam veri sayısını ifade etmektedir.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışma kapsamında ele alınan, Kızılırmak Nehri memba bölgesinde akarsu üzerinde kurulu AGİ-1 ve AGİ-2 için 2014-2021 tarihleri arasında gözlenen günlük ortalama debiler (m^3/s)'in tahmin edilmesi için her bir AGİ'ye özel olarak, ANFIS yöntemi ile tahmin modelleri oluşturulmuştur. Oluşturulan ANFIS modellerinde girdi katmanında havzanın günlük toplam yağış miktarı ve AGİ'de ölçülen günlük ortalama debi veri setlerinden yararlanılmıştır.

Havzalara ait günlük toplam yağış miktarlarını belirlemek için oluşturulan thiesen poligonları Şekil 9.a-b'de ve temsiliyetleri Çizelge 6 ve Çizelge 7'de verilmektedir.



Şekil 9. Çalışma Sahasındaki MGİ'lerin, AGİ-1(a) ve AGİ-2'ye (b) ait havzalarındaki thiesen poligonları (kesikli kırmızı çizgi temsiliyet sınırını göstermekte)

Çizelge 6. AGİ – 1 Havzası için MGİ noktalarının thiesen poligonları ve temsiliyetleri

MGİ Adı	Temsil ettiği poligon alanı (km^2)	Temsil ettiği oran (%)
MGİ - 1	577.7	94
MGİ - 2	39.2	6

Çizelge 7. AGİ – 2 Havzası için MGİ noktalarının thiesen poligonları ve temsiliyetleri

MGİ Adı	Temsil ettiği poligon alanı (km^2)	Temsil ettiği oran (%)
MGİ - 1	958.4	55
MGİ - 2	778.1	45

Her AGİ enkesitine göre havza büyüklükleri farklıdır. Bu sebeple hesaplanan thiesen poligonlarının havza alanını kesişimi ve buna bağlı oransal temsiliyeti de farklıdır. Elde edilen oranlar, istasyonlarda ölçülen günlük toplam yağış miktarları ile çarpılarak tüm MGİ'ler için (1)'de gösterilen eşitlik ile ağırlıklı yağış miktarları hesaplanmıştır. Ağırlıklı yağışların hesaplanması havzayı temsil eden tüm MGİ'ler için tekrarlanmıştır. Toplanan ağırlıklı yağışlar, ilgili AGİ kesiti için 'havzanın mekânsal yağışı' olarak ifade edilir.

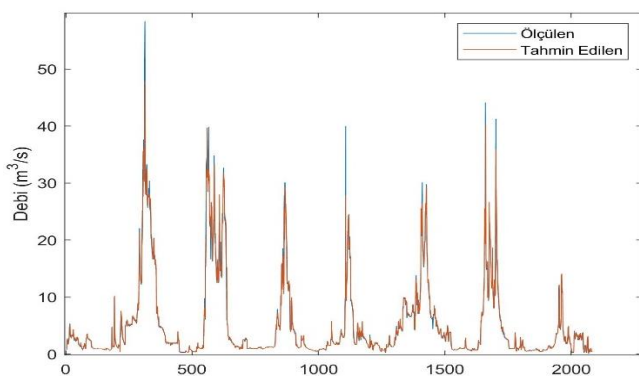
Model sonucunda çıktı olarak her AGİ için günlük ortalama debi (m^3/s) değerleri üretilmiştir. Çalışmada kullanılan AGİ'ler için ANFIS modelleri sonucunda elde edilen tahmin performans metrikleri hesaplanmış ve buna göre model başarımları değerlendirilmiştir

Çalışmada akarsuyun memba bölgesinde yer alan AGİ-1 (D15A117)'de 2014-2021 yılları arasında yapılmış ölçümler sonucu elde edilen günlük ortalama debiler ve thiesen poligonu ile belirlenen AGİ-1'in havzasındaki günlük toplam yağış miktarı verileri ile kurgulanan her bir ANFIS modelinin eğitim veri setleri; Şekil 10, Şekil 12 ve Şekil 14'de verilmiştir. Ayrıca her tahmin modeli için gözlemlerle karşılıklı uyumun gösterildiği saçılım grafikleri de Şekil 11, Şekil 13 ve Şekil 15'de verilmiştir. Modellerin gözlemlerle uyumuna bakıldığında AGİ-1 için tahmin modelleri arasında en yüksek uyumun 5 kümelemeli modelde olduğu belirlenmiştir. (Çizelge 8).

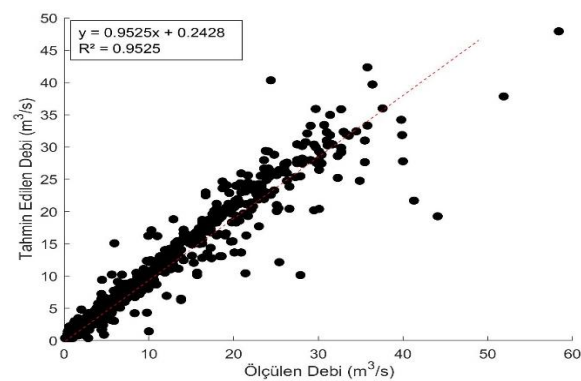
AGİ-1 için. eğitilen veri setlerinden oluşturulan modeller yardımıyla üretilen tahmin çıktıları, ANFIS modeli *test verisetleri* olarak. Şekil 16, Şekil 18 ve Şekil 20'de verilmektedir. AGİ-1 için test verilerinin gözlemlerle uyumunu gösteren saçılma grafikleri de Şekil 17, Şekil 19 ve Şekil 21'de verilmiştir. Model yapılandırılmalarına göre AGİ-1 için test verilerinin gözlemlerle uyumu en yüksek ANFIS modelinin, 3 kümelemeli model olduğu görülmektedir (Çizelge 8).

Çizelge 8. AGİ – 1 için oluşturulan eğitim ve test veri setinin farklı ANFIS modelleri ile eğitilmesinde elde edilen istatistiksel başarımlar

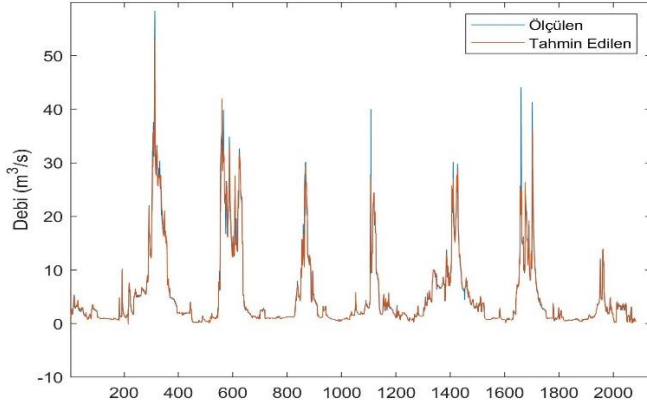
ANFIS Kümeleme Modelleri	Eğitim		Test	
	R ²	RMSE	R ²	RMSE
3 3 3	0.9525	1.57	0.9578	1.49
4 4 4	0.9561	1.51	0.9102	2.19
5 5 5	0.9567	1.50	0.9351	1.86



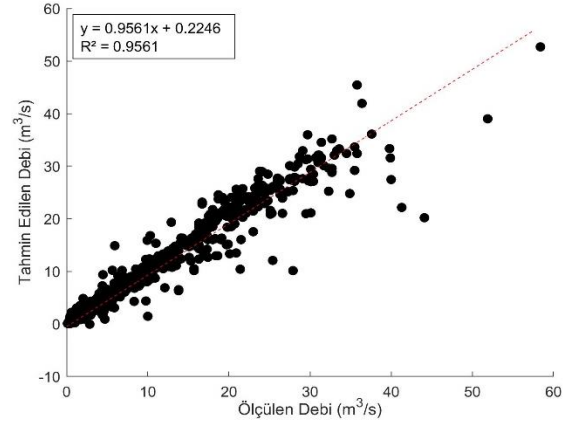
Şekil 10. AGİ – 1 için 3 Kümelemeli ANFIS modelinin eğitim verilerine ait ölçülen ve tahmin edilen ortalama debilere ait zaman serisi



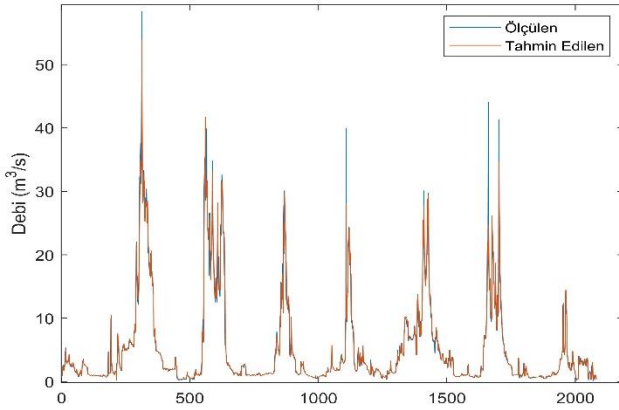
Şekil 11. AGİ – 1 için 3 Kümelemeli ANFIS modelinin eğitim verilerine ait ölçülen ve tahmin edilen ortalama debilerin karşılaştırılması



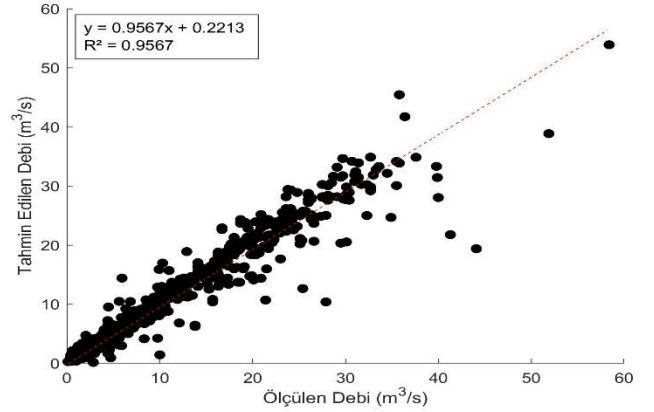
Şekil 12. AGİ - 1 için 4 Kümelemeli ANFIS modelinin eğitim verilerine ait ölçülen ve tahmin edilen ortalama debilere ait zaman serisi



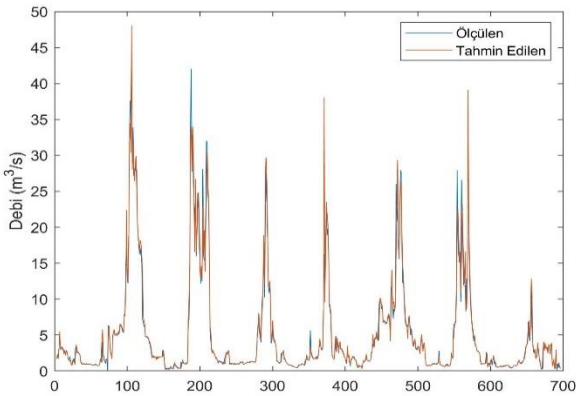
Şekil 13. AGİ - 1 için 4 Kümelemeli ANFIS modelinin eğitim verilerine ait ölçülen ve tahmin edilen ortalama debilerin karşılaştırılması



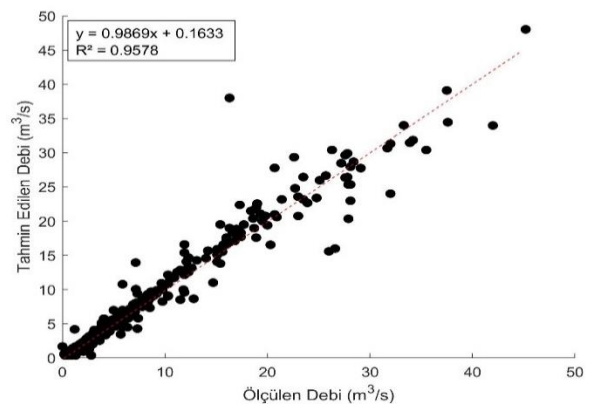
Şekil 14. AGİ - 1 için 5 Kümelemeli ANFIS modelinin eğitim verilerine ait ölçülen ve tahmin edilen ortalama debilere ait zaman serisi



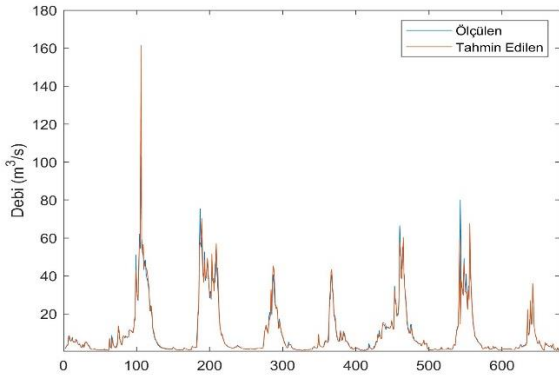
Şekil 15. AGİ - 1 için 5 Kümelemeli ANFIS modelinin eğitim verilerine ait ölçülen ve tahmin edilen ortalama debilerin karşılaştırılması



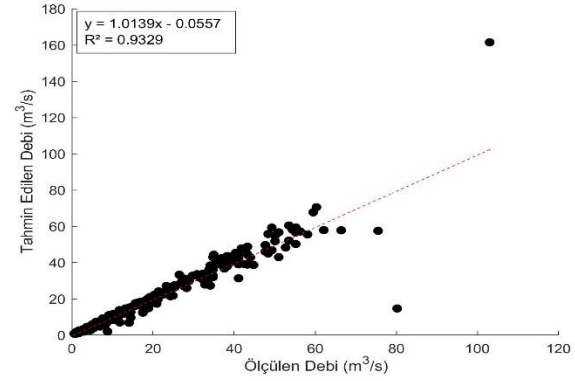
Şekil 16. AGİ - 1 için 3 Kümelemeli ANFIS modelinin test verilerine ait ölçülen ve tahmin edilen ortalama debilere ait zaman serisi



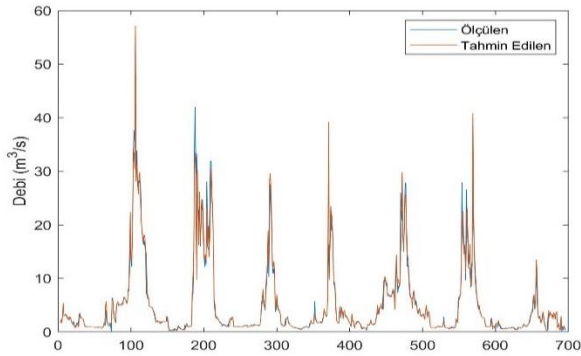
Şekil 17. AGİ - 1 için 3 Kümelemeli ANFIS modelinin test verilerine ait ölçülen ve tahmin edilen ortalama debiler için saçılma diyagramı



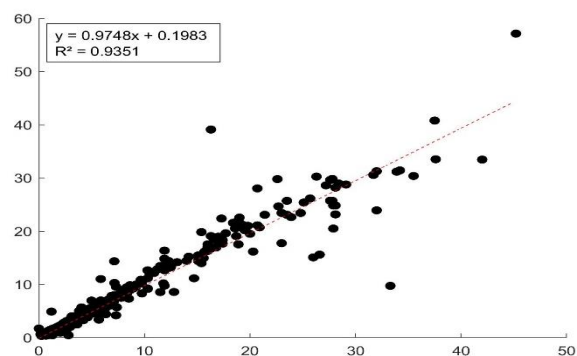
Şekil 18. AGİ – 1 için 4 Kümelemeli ANFIS modelinin test verilerine ait ölçülen ve tahmin edilen ortalama debiler



Şekil 19. AGİ – 1 için 4 Kümelemeli ANFIS modelinin test verilerine ait ölçülen ve tahmin edilen ortalama debiler için saçılma diyagramı



Şekil 20. AGİ – 1 için 5 Kümelemeli ANFIS modelinin test verilerine ait ölçülen ve tahmin edilen ortalama debilere ait zaman serisi

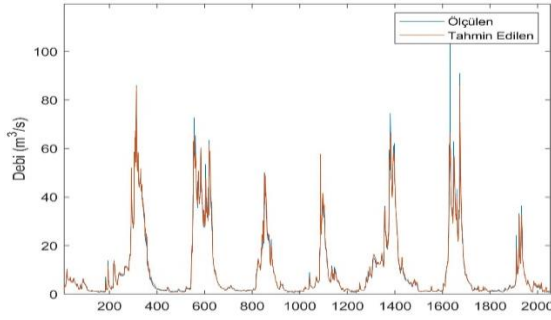


Şekil 21. AGİ – 1 için 5 Kümelemeli ANFIS modelinin test verilerine ait ölçülen ve tahmin edilen ortalama debiler için saçılma diyagramı

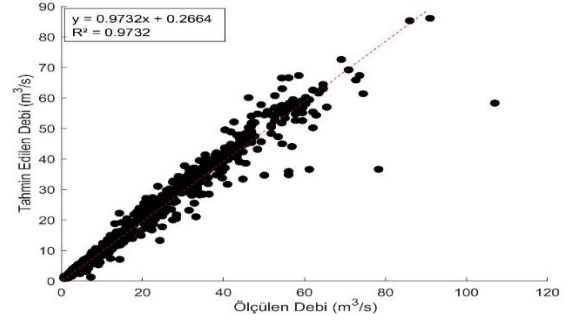
AGİ-1 için kurulan ANFIS modelleri gibi, mansaptaki AGİ-2 (E15A039) için de günlük ortalama debi tahmin modelleri yapılandırılmıştır. AGİ-1'den farklı olarak, AGİ-2'nin havzasına düşen yağış miktarı ile beraber, üstünde yer alan AGİ-1'de gözlenen günlük ortalama debi miktarı verileri, her modele *girdi* olarak tanımlanmıştır. AGİ-1'deki yaklaşıma benzer şekilde, verilerin %75'i eğitim, %25'i test verisi olarak ayrılmıştır. Yağış değerleri (t-2). gün, üstteki AGİ-1'e ait ortalama debi değerleri (t-1). gün değerleri *girdi* olarak alınmıştır. Çıktı katmanına AGİ-2 için günlük ortalama debi değerleri (t). gün zamanlı alınarak ANFIS yöntemi ile model mimarisi oluşturulmuştur. ANFIS model yapılandırmaları sırasıyla; 3'lü, 4'lü ve 5'li kümelerle ayrılarak hedef değerlerin üyelik fonksiyonu oluşturulmuştur.

Çalışmada akarsuyun mansap bölgesinde yer alan AGİ-2 (E15A039)'da 2014-2021 yılları arasında yapılmış ölçümler sonucu elde edilen günlük ortalama debiler ile, thiessen poligonu yardımıyla belirlenen AGİ-2'nin havzasındaki günlük toplam yağış miktarı ve membasındaki AGİ-1'e ait günlük ortalama debi verileri ile kurgulanan her bir ANFIS modelinin eğitim veri setleri; Şekil 22, Şekil 24 ve Şekil 26'da verilmiştir. AGİ-2 için eğitim verilerinin gözlemlerle uyumunu gösteren saçılma grafikleri de Şekil 23, Şekil 25 ve Şekil 27'de verilmiştir.

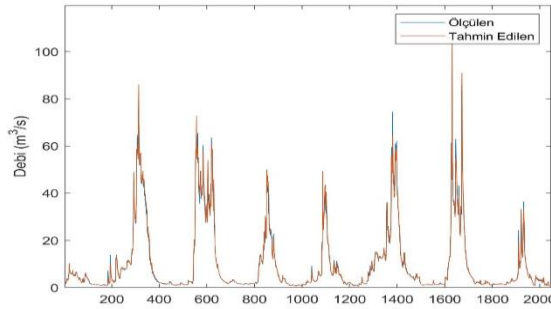
AGİ-2 için, eğitilen veri setlerinden oluşturulan modeller yardımıyla üretilen tahmin çıktıları. ANFIS modeli test veri setleri olarak Şekil 28, Şekil 30 ve Şekil 32'de verilmektedir. AGİ-2 için test verilerinin gözlemlerle uyumunu gösteren saçılma grafikleri de Şekil 29, Şekil 31 ve Şekil 33'de verilmiştir.



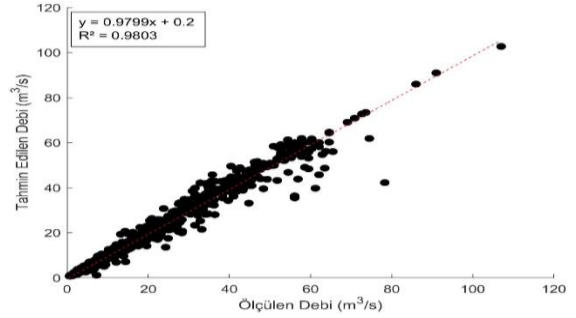
Şekil 22. AGİ – 2 için 3 Kümelemeli ANFIS modelinin eğitim verilerine ait ölçülen ve tahmin edilen ortalama debilere ait zaman serisi



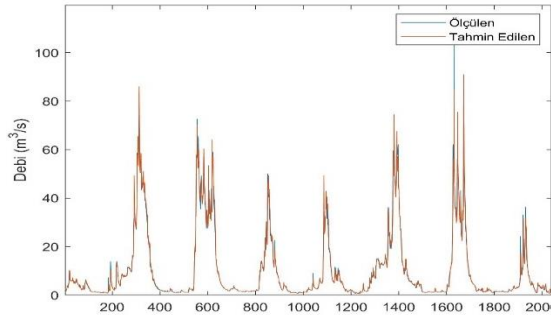
Şekil 23. AGİ – 2 için 3 Kümelemeli ANFIS modelinin eğitim verilerine ait ölçülen ve tahmin edilen ortalama debilerin karşılaştırılması



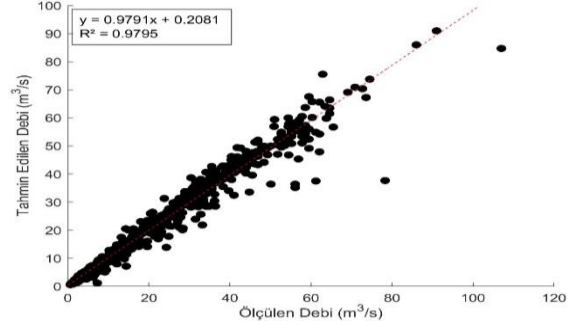
Şekil 24. AGİ – 2 için 4 Kümelemeli ANFIS modelinin eğitim verilerine ait ölçülen ve tahmin edilen ortalama debilere ait zaman serisi



Şekil 25. AGİ – 2 için 4 Kümelemeli ANFIS modelinin eğitim verilerine ait ölçülen ve tahmin edilen ortalama debilerin karşılaştırılması

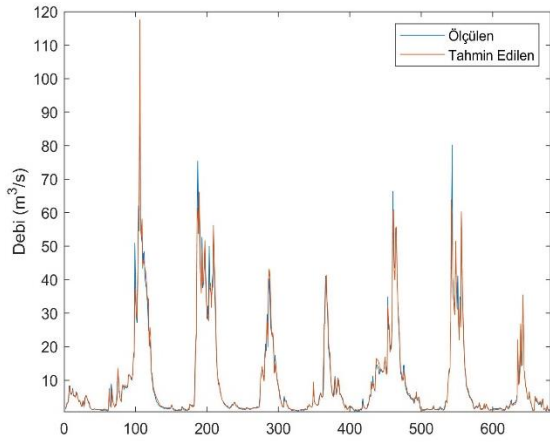


Şekil 26. AGİ – 2 için 5 Kümelemeli ANFIS modelinin eğitim verilerine ait ölçülen ve tahmin edilen ortalama debilere ait zaman serisi

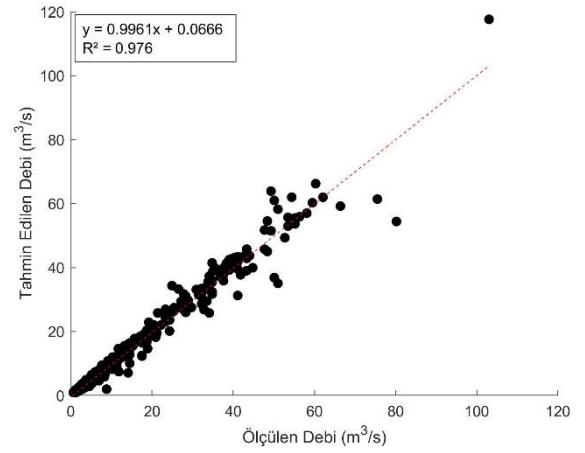


Şekil 27. AGİ – 2 için 5 Kümelemeli ANFIS modelinin eğitim verilerine ait ölçülen ve tahmin edilen ortalama debilerin karşılaştırılması

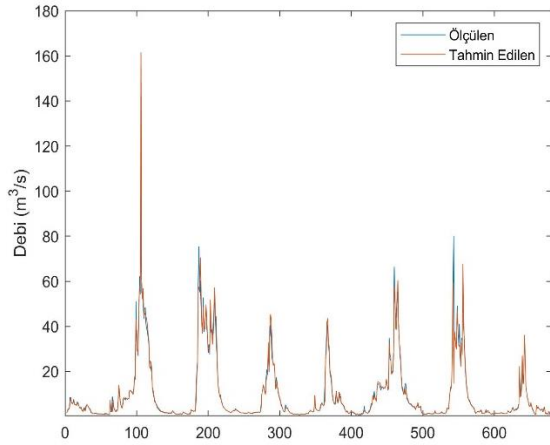
AGİ-2 için ANFIS modellerinde kümeleme sayısı arttıkça modellerin ürettikleri çıktıların gözlemlerle olan uyumlarının düştüğü de görülmüştür (Çizelge 9).



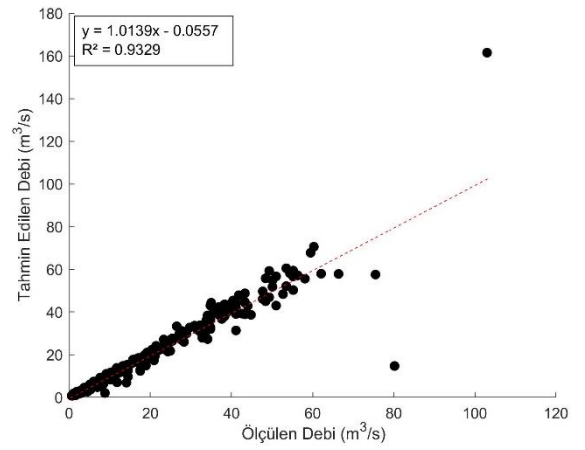
Şekil 28 AGİ – 2 için 3 Kümelemeli ANFIS modelinin test verilerine ait ölçülen ve tahmin edilen ortalama debilere ait zaman serisi



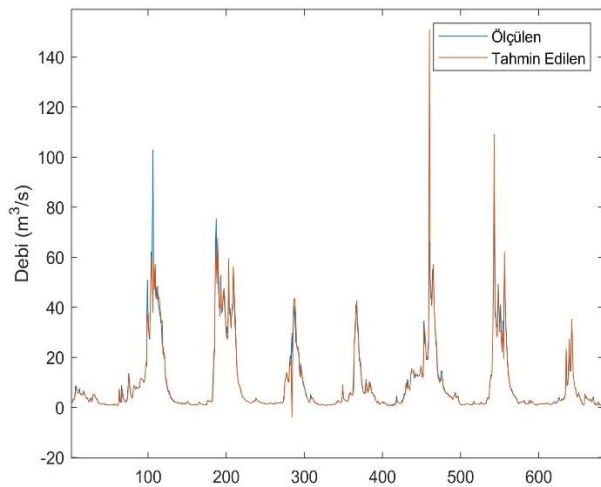
Şekil 29 AGİ – 2 için 3 Kümelemeli ANFIS modelinin test verilerine ait ölçülen ve tahmin edilen ortalama debilerin karşılaştırılması



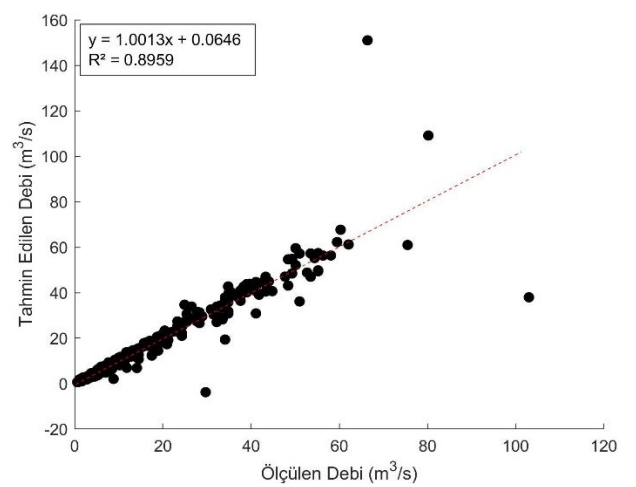
Şekil 30 AGİ – 2 için 4 Kümelemeli ANFIS modelinin test verilerine ait ölçülen ve tahmin edilen ortalama debilere ait zaman serisi



Şekil 31 AGİ – 2 için 4 Kümelemeli ANFIS modelinin test verilerine ait ölçülen ve tahmin edilen ortalama debilerin karşılaştırılması



Şekil 32 AGİ – 2 için 5 Kümelemeli ANFIS modelinin test verilerine ait ölçülen ve tahmin edilen ortalama debilere ait zaman serisi



Şekil 33 AGİ – 2 için 5 Kümelemeli ANFIS modelinin test verilerine ait ölçülen ve tahmin edilen ortalama debilerin karşılaştırılması

Her kümelemeye ait çıkan tahmin sonuçları ile ölçüm(gözlem) değerleri karşılaştırılmıştır. Model yapılandırılmalarına göre AGİ-2 için de test verilerinin gözlemlerle uyumu en yüksek ANFIS modelinin 3 kümelemeli model olduğu görülmektedir (Çizelge 9).

Çizelge 9. AGİ-2 için oluşturulan eğitim ve test veri setinin farklı ANFIS modelleri ile eğitilmesinde elde edilen istatistiksel başarımları

ANFIS Kümeleme Modelleri	Eğitim		Test	
	R ²	RMSE	R ²	RMSE
3 3 3	0.9732	2.37	0.976	2.20
4 4 4	0.9803	2.03	0.9329	3.83
5 5 5	0.9795	2.07	0.8959	4.79

SONUÇ ve TARTIŞMA

Bu çalışmada ANFIS yöntemi ile Kızılırmak Havzasının memba bölgesinde iki farklı AGİ için günlük ortalama debi ve günlük toplam yağış değerleri kullanılarak debi tahmini yapılmıştır. Modelin girdi verileri, yağışın akışa geçiş süresi göz önüne alınarak (t-2). gün ve debi değerleri de (t-1). gün olarak düzenlenmiştir. Model çıktı verisi olarak, (t). gün debi değerleri tahmin edilmiştir. AGİ-1 için debi tahmininde 2 girdi ve 1 çıktı içeren bir model mimarisi oluşturulmuştur. AGİ-2 için debi tahmininde 3 girdi ve 1 çıktıya sahip bir model kurulmuştur. ANFIS modeli mimarisinde girdi verileri için birden fazla kümeleme işlemi yapılmıştır. Kümeleme modellerinin tahmin sonuçları ile ölçüm değerleri karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre; 3'lü kümeleme modeli için AGİ-1 için en yüksek tahmin başarısı $R^2 = 0.9578$ ve AGİ-2 için ise en yüksek tahmin başarısı $R^2 = 0.976$ 'dır. Sonuç olarak bu çalışmada yağış ve akış arasındaki ilişki göz önünde bulundurularak ANFIS modeli ile debi tahmini yapılmış ve yüksek başarıma sahip sonuçlar elde edilmiştir. Aynı zamanda ANFIS modelinin akarsulardaki günlük ortalama debi tahminini yapmak için kullanılacak bir yöntem olduğu görülmüştür. Bununla beraber memba-mansap şeklinde sıralı olarak akarsularda kurulan AGİ'lerde memba istasyonuna ait günlük ortalama debi verileri de ANFIS modeline girdi olarak sunulmuştur. Sonuç olarak, bu çalışma ile debi tahmini için havzaya düşen yağış miktarının etkisinin göz önüne alınması gerekliliğinin önemi ortaya konulmuştur.

Suyun yaşamın her alanında kullanılması nedeniyle kullanılabilir su kaynaklarındaki mevcut su miktarının bilinmesi, eksik veri olan Akım Gözlem İstasyonları'nda geçmişe dönük verilerin güvenilir yöntem ve araçlarla tahmin edilmesi, gelecek dönemlerde gerçekleştirilmesi planlanan su yapılarının hidrolojik planlamalarında önemli bir kazanım sağlayacaktır. Bununla birlikte çeşitli iklim projeksiyonlarıyla üretilen günlük toplam yağış ve günlük ortalama sıcaklık gibi meteorolojik değişkenleri, akarsu debisi veya baraj ortalama su seviyesi gibi hidrolojik değişkenlerle ilişkilendirecek çalışmalarla mevcutta işletilmekte olan baraj. gölet vb. su depolama yapılarının geleceğe yönelik su potansiyelinin belirlenmesi mümkün görünmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada kullanılan meteorolojik ve hidrolojik verileri sağlayan Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne ve Devlet Su İşleri Sivas 19. Bölge Müdürlüğü'ne teşekkür ederiz.

Çıkar Çatışması

Makale yazarları, aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Yazar Katkısı

SA ve MSK çalışmanın yöntemini belirlemişlerdir, mantıksal akışını düzenlemişlerdir. Veri toplama; SA ve HND tarafından yapılmıştır. Analiz çalışması HND tarafından gerçekleştirilmiştir. Makalenin ilk taslağı SA ve MSK tarafından yazılmış ve SA makalenin önceki versiyonları hakkında yorum yapmıştır. Tüm yazarlar makalenin son halini okumuş ve onaylamıştır.

KAYNAKLAR

- Algancı, U., Coşkun, H. G., Eriş, E., Ağırlioğlu, N., Cığızoğlu, K., Yılmaz, L., & Toprak, F. (2010). Akım Ölçümleri Olmayan Akarsu Havzalarında Hidroelektrik Potansiyelin Belirlenmesine Yönelik Uzaktan Algılama ve CBS ile Hidrolojik Modelleme. *Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi* (Sayı 101), TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası.
- Altunkaynak, A. (2010). A predictive model for well loss using fuzzy logic approach. *Hydrological Processes*, 24, 2400–2404. <https://doi.org/10.1002/hyp.7642>
- Altunkaynak, A., & Başakın, E. E. (2018). Zaman Serileri Kullanılarak Nehir Akım Tahmini ve Farklı Yöntemlerle Karşılaştırılması. *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11(1), 92–101. <https://doi.org/10.18185/erzifbed.339781>
- Arslan, H., Üneş, F., Demirci, M., Taşar, B., & Yılmaz, A. (2020). Keban Baraj Gölü Seviye Değişiminin ANFIS ve Destek Vektör Makineleri ile Tahmini. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 3(2), 71–77. <https://doi.org/10.47495/okufbed.748018>
- Asaad, M. N., Eryürük, Ş., & Eryürük, K. (2022). Forecasting of Streamflow and Comparison of Artificial Intelligence Methods: A Case Study for Meram Stream in Konya, Turkey. *Sustainability*, 14(10), 6319. <https://doi.org/10.3390/su14106319>
- Bayazıt, M. (1998). *Hidrolojik Modeller* (1.), İTÜ Rektörlüğü Yayınları.
- Bayazıt, M. (2011). *Hidroloji*, Birsen Yayınevi.
- Belvederesi, C., Zaghoul, M. S., Achari, G., Gupta, A. & Hassan, Q. K. (2022). Modelling river flow in cold and ungauged regions: a review of the purposes. methods. and challenges. *Environmental Reviews*, 30(1), 159–173. <https://doi.org/10.1139/er-2021-0043>
- Burgan, H. İ. (2022). Comparison of different ANN (FFBP. GRNN. RBF) algorithms and Multiple Linear Regression for daily streamflow prediction in Kocasu River, Turkey. *Fresenius Environmental Bulletin*, 31(5), 4699–4708.
- Caner, M. & Akarslan, E. (2009). Mermer Kesme İşleminde Spesifik Enerji Faktörünün ANFIS ve YSA Yöntemleri ile Tahmini. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 15(2), 221–226.
- DSİ, (2020). *Toprak Su Kaynakları*. <https://www.dsi.gov.tr/Sayfa/Detay/754#>
- DSİ, (2023). *DSİ AGİ Sayısı hakkında Bekir Ragıp Yurtseven (Rasatlar Şube Müdürü) ile Kişisel Görüşme*.
- Fistikoglu, O. & Okkan, U. (2011). Statistical Downscaling of Monthly Precipitation Using NCEP/NCAR Reanalysis Data for Tahtali River Basin in Turkey. *Journal of Hydrologic Engineering*, 16(2), 157–164. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)he.1943-5584.0000300](https://doi.org/10.1061/(asce)he.1943-5584.0000300)

- Jang, J. S. R. (1993). ANFIS: adaptive-network-based fuzzy inference system. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 23(3), 665–685. <https://doi.org/10.1109/21.256541>
- Jang, J. S. R., Sun, C. T. & Mizutani, E. (1997). *Neuro-Fuzzy and Soft Computing*. Pearson College Div; US Ed edition.
- Katipoğlu, O. M. (2022). Analyzing the trend and change point in various meteorological variables in Bursa with various statistical and graphical methods. *Theoretical and Applied Climatology*, 150(3–4), 1295–1320. <https://doi.org/10.1007/s00704-022-04231-0>
- Kişi, Ö. (2003). *Nehir Enkesitindeki Askı Malzemesi Miktarının Bulanık Mantık ile Modellenmesi (Yayınlanmış Doktora Tezi)*. İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Kosko, B. (1992). *Neural Networks and Fuzzy Systems. A Dynamical Systems Approach to Machine Intelligence*.
- Özdemir, H. (1978). *Uygulamalı Taşkın Hidrolojisi*. DSİ Genel Müdürlüğü.
- Özkan, F.. & Haznedar, B. (2023). Comparative analysis of ANFIS models in Prediction of Streamflow: the case of Seyhan Basin. *International Journal of Applied Mathematics Electronics and Computers*, 11(2), 72–78.
- Şahin, Ş. (2012). *Büyük Menderes Nehri Üzerindeki Akım Gözlem İstasyonlarında eksik verilerinin tamamlanması (Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi)*. Pamukkale Üniversitesi.
- Şen, Z. (2002). *İstatistik Veri İşleme Yöntemleri*. Su Vakfı Yayınları.
- Şen, Z. (2004a). *Mühendislikte Bulanık (Fuzzy) Mantık ile Modelleme Prensipleri (2. baskı)*. Su Vaktı Yayınları.
- Şen, Z. (2004b). *Yapay Sinir Ağları İlkeleri (2. baskı)*. Su Vakfı Yayınları.
- Storch, H. von & Zwiers, F. W. (2003). *Statistical Analysis in Climate Research (1. baskı)*. Cambridge University Press.
- SYGM, (2019). *Kızılırmak Havzası Taşkın Yönetim Planı Yönetici Özeti (Hidro dizayn A.Ş.)*. [https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/Taşkın Yönetim Planları/KIZILIRMAK HAVZASI TASHKIN YONETIM PLANI YONETICI ÖZETİ.pdf](https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/Taşkın_Yönetim_Planları/KIZILIRMAK_HAVZASI_TASHKIN_YONETIM_PLANI_YONETICI_OZETI.pdf)
- Teker, A. (1984). *Hidrometri (Teori - Tatbikat)*. DSİ Genel Müdürlüğü.
- Uzunali, A. (2019). *Yapay sinir ağlarına dayalı yağış tahmin ve analizi (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi)*. İstanbul Kültür Üniversitesi / Lisansüstü Eğitim Enstitüsü / Bilgisayar Mühendisliği Ana Bilim Dalı / Bilgisayar Mühendisliği Bilim Dalı.
- Yılmaz, M. U. & Onoz, B. (2022). Development of ensemble approaches based on performance of statistical methods for daily streamflow estimation. *Hydrological Sciences Journal*, 67(8), 1199–1215. <https://doi.org/10.1080/02626667.2022.2072735>
- Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy Sets . *Information and Control*, 8, 338–353.