



Sıcaklık ve güneşlenme süresine dayalı günlük yağış tahmini: Antalya ilinde istasyon bazlı bir modelleme yaklaşımı

Daily rainfall prediction based on temperature and sunshine duration: A station-based modelling approach in Antalya province

Hasan Törehan Babacan^{1,*} 

¹ Amasya Üniversitesi, Taşova Yüksel Akın Meslek Yüksekokulu, 05800, Amasya Türkiye

Öz

Sıcaklıkta yaşanan pozitif anomaliler son yıllara iklim değişikliğine bağlı önemli bir araştırma sorusu olmuştur. Sıcaklık değişimleri doğrudan ve dolaylı pek çok etkiye sahiptir. Bu çalışma günlük maksimum sıcaklık ve günlük toplam güneşlenme süresi parametrelerinin günlük yağış üzerindeki etkisini araştırmayı amaçlamaktadır. Bu doğrultuda çalışmada Granger nedensellik analizi yapılarak meteorolojik parametrelerin yağış üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Güneşlenme süresi ve günlük maksimum sıcaklık değişkenleri için p istatistik değeri <0.05 olarak belirlenmiş olup iki değişkenin de yağış üzerinde etkin olduğu görülmüştür. Çalışmada parametrelerde çeşitli gün gecikmeleri kullanılarak optimum girdi modelleri oluşturulmuş, Yapay Sinir Ağları (YSA) ve Sınıflandırma ve Regresyon Ağacı (SRA) yöntemleri kullanılarak ilişki düzeyleri araştırılmıştır. Çalışma sonucunda SRA yöntemi ile geliştirilen tahmin modellerinin YSA modellerine göre üstün başarısı (NSE:0.65-0.79) görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Yağış tahmini, Makine öğrenmesi, Granger nedensellik analizi, Güneşlenme süresi

1 Giriş

İklim değişikliği, meteorolojik ve hidrolojik döngülerin hissedilir düzeyde etkilenmesine neden olan günümüzde en çok merak edilen doğal fenomenler arasındadır. İklim değişikliği atmosferdeki sera gazı konsantrasyonuna bağlı olarak yeryüzünde sıcaklık değişimlerine neden olmaktadır [1]. Bu sıcaklık değişimleri doğrudan veya dolaylı olarak pek çok doğal süreç üzerinde istatistiksel olarak anlamlı anomaliler oluşturmaktadır [2]. Bölgesel ölçekte artan sıcaklıklar mikro iklim koşullarını etkileyerek, tarımsal faaliyetler, turizm faaliyetleri, üretim faaliyetleri gibi ekonomik faaliyetlerin olumsuz etkilenmesine ayrıca yaşamın devamlılığını için en önemli kaynak olan yüzey sularının kuraklığa bağlı olarak azalmasına ayrıca bölgelerde su kıtlığı yaşanmasına dahası azalan yüzey suyu miktarına bağlı olarak salgın hastalıklar, flora ve fauna çeşitliliğinde azalma gibi geri dönüşü zor olan kritik konularda sorun yaşanmasına neden olmaktadır [3].

İklim değişikliği küresel ölçekte etkileri hissedilen çevresel bir krizdir. Ancak bu değişimlerin bölgesel ölçekteki yansımaları çok daha karmaşık ve çeşitlidir. Her

Abstract

Positive anomalies in temperature have been an important research question related to climate change in recent years. Temperature changes have many direct and indirect effects. This study aims to investigate the effect of daily maximum temperature and total daily sunlight duration parameters on daily rainfall. In this perspective, Granger causality analysis was conducted to investigate the effect of meteorological parameters on rainfall. The p statistic value of the sunshine duration and daily maximum temperature variables was determined as <0.05 and both variables were found to be effective on rainfall. In the study, optimum input models were created using various day lags for the parameters and the relationship levels were investigated using Artificial Neural Networks (ANN) and Classification and Regression Tree (CART) methods. As a result of the study, the prediction models developed with the CART method outperformed the ANN models (NSE: 0.65-0.79).

Keywords: Rainfall prediction, Machine learning, Granger causality test, Sunshine duration

bölgenin topografik yapısı, bitki örtüsü ve atmosferik dolaşım sistemleri farklılık göstermektedir. İklim değişikliği her farklı bölgede, bölgenin karakteristik özelliklerini etkilemektedir. Bölgesel ölçekte kendine özgü özellikler taşıyan faktörlerin diğer bölgelere göre farklı düzeylerde ve biçimde etkilenmesi, yerel ölçekte iklim değişikliği etkilerinin araştırılması konusunu zorlaştırmaktadır [4]. Yapılacak araştırmalar, bölgesel uyum stratejilerinin geliştirilmesi, doğal kaynakların sürdürülebilir kullanımı ve afet yönetimi çalışmaları için büyük önem taşımaktadır. Son yıllarda yapılan çalışmalar, sıcaklık ortalamalarının arttığı, yağış desenlerinde mevsimsel kaymalar yaşandığını, kurak-sulak geçişlerinde keskinleşme olduğunu ve aşırı hava olaylarının sıklığının arttığını göstermektedir [5]. Bu durum da gösteriyor ki bölgesel iklim uyum stratejilerinin geliştirilmesi hem bilimsel çalışmalar hem de sürdürülebilir politikalar geliştirilebilmesi için önemli hale gelmiştir.

Yerel ölçekte iklim değişikliği etkileri, bazı bölgelerde kuraklık, bazı bölgelerde ise taşkın felaketlerinin yaşanmasına, büyük can kaybı ve maddi kayıplara neden olmaktadır. Küresel ölçekte gerçekleşen bu etkiler, Türkiye

* Sorumlu yazar / Corresponding author, e-posta / e-mail: hasan.babacan@amasya.edu.tr (H. T. Babacan)

Geliş / Received: 16.07.2025 Kabul / Accepted: 21.08.2025 Yayınlanma / Published: xx.xx.20xx

doi: 10.28948/ngumuh.1743641

için de hissedilir sonuçlar ortaya çıkarmaktadır. Türkiye’de son 30 yılda kuraklık ve taşkın olayları gözlenme sıklığındaki artış bunun en önemli ispatı niteliğindedir [6, 7]. Türkiye’nin batı kesimlerinde kuraklık beklentisi yüksek, kuzey doğu kesimlerinde ise taşkın eğilimi yüksek bölgeler bulunmaktadır. Geniş alanlarda tek bir optimum çözümden bahsetmek bu yönüyle zorlaşmaktadır. Dolayısıyla yaşanması muhtemel her durum kendi içerisinde ayrı olarak değerlendirilmesi gereken önemli araştırma konusudur. Tarımsal faaliyetlerin yüksek olduğu bölgelerde yaşanan sıcaklık artışları, tarımsal üretim miktarı üzerinde anlamlı bir etkiye sahiptir [8]. Bu durum yerel ölçekte değişen koşullara bağlı olarak tarımsal ürün deseninin değişmesi ile sonuçlanabilmektedir. Ayrıca aşırı ve şiddetli yağışlara bağlı olarak kentsel alanlarda yaşanabilecek taşkın olayları da Türkiye için risk yönetimi gerektiren önemli konulardandır.

Sıcaklık anomalileri dünya genelinde artış göstermektedir. Türkiye 2020 yılında yaptığı araştırmada Türkiye’de 1990’lardan itibaren pozitif sıcaklık anomalilerinde bir artış olduğunu, pozitif anomali düzeylerinin bölgesel olarak farklılık gösterdiğini ve bu değişimlerin iklim değişikliği ile bağlantılı olduğunu vurgulamıştır [9]. İklim değişikliğinin bir sonucu olarak artan sıcaklıklar doğrudan veya dolaylı olarak hidrolojik süreçleri etkilemektedir [10]. İklim değişikliğinin hidrolojik süreçler üzerindeki etkisini inceleyen araştırmalarda sıcaklık, yağış, akış değişimleri sıklıkla araştırılmıştır [11-14]. Bu araştırmalar sıcaklık ve yağışın yüzeysel akış üzerinde etkin bir parametre olduğunu göstermektedir. Bu durumda hidrolojik çevrim araştırmalarında sıcaklığın önemli bir indikatör olduğu söylenebilmektedir. Ayrıca sıcaklığın dolaylı etkileri de bulunmaktadır örneğin sıcaklığın buharlaşmayı arttırdığı bilinmektedir [15]. Böylece sıcaklık artışlarının buharlaşma miktarını artırıcı etkisi olduğu, bunun bir sonucu olarak yüzeyden yoğun miktarda su kaybına neden olacağı söylenebilmektedir. Çoğu durumda yağışın oluşması havadaki bağıl nem miktarına bağlıdır [16], bu durumda yağış değişiminin izlenmesi amacıyla buharlaşmayı direkt olarak etkileyen sıcaklık parametresinin kullanılabilmesi görülmektedir. Açık yüzey buharlaşmasını etkileyen diğer bir meteorolojik parametre bölgenin güneşlenme süresi ve güneşlenme süresinin fazla olması buharlaşmayı artırıcı etki yapmaktadır [17]. Buharlaşmayı direkt olarak etkileyen sıcaklık ve güneşlenme süresi parametreleri kolay ölçülebilir olması nedeniyle erişilebilir verilerdir. Bu verilerin yağış tahmininde bulunmak üzere kullanılması veri toplama, düzenleme ve sayısal modelleme aşamalarında süreyi kısaltarak kolaylık sağlayacaktır.

Yağış hidrolojik çevrimde havzaya su getiren önemli bir faktördür. Havzadaki su dengesinin sağlanması çoğu yarı kurak ve kurak havzada yağışın varlığına bağlıdır [18]. Ayrıca sürdürülebilir tarımsal faaliyetlerin sorunsuz biçimde devam etmesi [19], bölgesel ölçekte su kıtlığı riskinin önlenmesi [20], kentsel alanlarda taşkın riskinin değerlendirilmesi [21] gibi konularda yağış parametresindeki değişimler esas alınmaktadır. Gerek ekonomik faaliyetlerin devamlılığı, sürdürülebilir politikaların geliştirilmesi gerekse de hidrolojik

dinamiklerin anlaşılması amacıyla yağıştaki değişimin incelenmesi önem arz etmektedir. Ayrıca yağışın tahmin edilmesi tarım, enerji, su kaynakları yönetimi ve afet önleme gibi alanlarda pek çok sektör için katkı sağlamaktadır. Bu tahmin aşamasında, gelişmiş bilgisayar sistemlerinin desteğinin karmaşık tahmin işlemlerinde, tahmin performansını artırdığı geçmiş araştırmalarda görülmektedir [22]. Latif vd. 2023 yılında yaptıkları araştırmada, gelişmiş tahmin yöntemlerinin geleneksel yöntemlere göre daha yüksek doğrulukla tahmin yaptığını, bu yöntemler içerisinde Makine Öğrenmesi (MÖ) gerçekleştiren modellerin benzer yöntemlere göre daha yüksek performans değerine ulaştığını göstermiştir [23].

Literatürde yaygın olarak kullanılan pek çok yapay zeka destekli MÖ modeli bulunmaktadır [23]. Hidrolojik zaman serilerinin modellenmesi ve parametre tahmini amacıyla kullanılan başlıca farklı algoritmalara sahip MÖ yöntemleri sayıldığında öne çıkan yöntemler arasında Yapay Sinir Ağları (YSA) ve Sınıflandırma ve Regresyon Ağacı (SRA) bulunmaktadır [24, 25]. Bu yöntemlerden YSA üstün işlem kabiliyeti neticesinde karmaşık örüntüleri çözme konusunda başarılıdır [26] ancak kapalı bir sistem olması parametrelerin tahmin performansını ortaya koymayı zorlaştırmaktadır. Kapalı modeller tahminlemede başarılı olsalar da tahmin aşamasındaki adımların ifade edilmesi, tahminleyici parametrelerin tahmindeki önemini ortaya koymak açısından verimli değildir. Bu modellere karşılık kullanılan SRA modeli regresyon temelli bir model olup hidrolojik tahmin modellerinin oluşturulmasında açıklanabilir ve yüksek doğruluklu uygulamaları bulunmaktadır [27]. Bu modellerin birlikte kullanılması literatürdeki araştırma bulgularıyla kıyaslanabilirliğin sağlanması amacıyla geniş bir perspektif sunmakta ve çalışma bulgularının kendi içerisinde tutarlılığını sağlamaktadır.

Bu çalışma iklim değişikliğine bağlı olarak artan pozitif sıcaklık anomalilerini dikkate almış ve bu etki altında gelecek yağışın tahmin edilmesine dayalı MÖ destekli bir model oluşturmayı amaçlamıştır. Günlük maksimum sıcaklık ve günlük güneşlenme süresi gibi kolay erişilebilir parametrelerin yağış üzerindeki etkilerini hem istatistiksel hem de MÖ yaklaşımlarıyla birlikte araştırması bakımından literatüre özgün bir katkı sunmayı amaçlamaktadır. Literatürde sıcaklık ve güneşlenme süresi parametreleri çoğunlukla bağımsız olarak ele alınmışken bu çalışmada parametrelerin yağış ile nedensellik düzeyinde ilişkisi Granger testi ile sınanmış, ardından gecikmeli girdi desenleri oluşturularak MÖ yaklaşımlarıyla hidrolojik modeller oluşturulmuştur. Çalışmada YSA ve SRA yöntemleri kullanılarak tahmin modelleri oluşturulmuş ve bu model çıktılarının tahminleme performansları kıyaslanmıştır. Böylece hem açıklanabilirlik hem de diğer çalışmalar ile kıyaslanabilirlik esasına dayalı bütüncül bir modelleme stratejisi izlenmiştir. Parametrelerin kolay erişilebilirliği, modellenebilirliği ve sürdürülebilir su yönetimi stratejilerinde kullanılabilirliği sonucunda, çalışma bölgesel yağış tahminlerinde sıcaklığa bağlı meteorolojik girdilerin, yağış tahmini açısından etkinliğini ortaya koyarak literatüre yenilikçi bir yöntemsel yaklaşım getirmektedir.

2 Çalışma bölgesi ve kullanılan veriler

2.1 Çalışma bölgesi: Antalya

Antalya Türkiye'nin Akdeniz kıyı şeridinde, 36°57'59.7"N – 30°39'59.7"E koordinatlarında yer almaktadır. Antalya Türkiye için hem turizm hem de tarımsal faaliyetler açısından önemli bir yere sahiptir. Antalya 360.245 ha tarım alanına sahip olup bu alanın yaklaşık %86'lık kısmı gıda üretimi amaçlı kullanılmaktadır. Ayrıca bölgede küçükbaş hayvancılık faaliyetleri de önemli bir yer tutmaktadır. Bölgedeki tarım ve hayvancılık faaliyetleri Türkiye ihtiyacının yaklaşık %5'ini karşılamaktadır. Ayrıca bölgedeki turizm faaliyetleri de önemli bir ekonomik faaliyet alanı oluşturmaktadır. Bölgenin Türkiye için önemli olan ekonomik pozisyonu, burayı hassas bir konuma yerleştirmektedir. Antalya ili kuzeyinde bulunan Toros dağları denizden gelen havanın orografik yağışa dönüşmesinde etkindir. Bu yağışlar kış aylarında kısa süreli şiddetli şekilde görülmektedir. Bölgenin engebeli yapısı bölgeye düşen yağışların akışa geçiş sürecini hızlandırmakta ve bu durum bölgeyi taşkınlara karşı riskli bir şehir yapmaktadır [28]. Bölgenin topografik yapısı gereği bölgede denize ulaşan akarsular bulunmaktadır. Bu durum da bölgenin taşkın riskini arttırıcı etki yapmaktadır. Ayrıca kıyı ovalarında sulama amacıyla kullanılan yeraltı suyu miktarındaki artış kurak geçen yaz aylarında kritik seviye düşüşlerine neden olmaktadır. Bu durum tarımsal amaçla kullanılan arazilerde toprak tuzluluğunun artmasına ve tarımsal faaliyetlerin etkilenmesine neden olmaktadır. Bununla birlikte kurak geçen yaz aylarında düşen yağış miktarları yeraltı suyunu besleme konusunda eksik kaldığında bu durum daha kritik bir problem haline dönüşmektedir. Çalışma kapsamında Türkiye için önemli şehirlerin başında gelen Antalya'da yağış desenlerinde meydana gelen değişikliklerin inceleneceği Meteoroloji İstasyonu (Mİ) konumları ve çalışma alanı Şekil 1'de gösterilmiştir. Bu bölgelerde yağış desenlerindeki değişikliklerin incelenmesi olası felaketlerin erken tespitini sağlayabilecek ve önlem stratejileri geliştirmeyi sağlayabilecektir.

2.2 Kullanılan veriler

Çalışma kapsamında Antalya bölgesinde yağış desenlerindeki değişimlerin sıcaklık parametreleri kullanılarak modellenebilirliği incelenmiştir. Bu amaç doğrultusunda tahmin modelleri geliştirilmiştir. Tahmin modelleri günlük ölçekte olup, güneşlenme süresi ve günlük maksimum sıcaklık parametreleri tahminleyici olarak kullanılmıştır. Hedef parametre olarak günlük yağış seçilmiştir. Çalışmada kullanılan gözlem istasyonlarına ilişkin detaylar Tablo 1'de gösterilmiştir. Günlük maksimum sıcaklık, günlük güneşlenme süresi ve yağış parametrelerine ilişkin detaylar Tablo 2'de yer almaktadır.

Tablo 1. Çalışmada kullanılan gözlem istasyonları

İstasyon Numarası	Konum	Tipi	Koordinatları
17300	Antalya	Meteoroloji İstasyonu	36°53'16.9"N 30°47'32.0"E
17954	Manavgat	Meteoroloji İstasyonu	36°47'22.3"N 31°26'27.8"E

Tablo 2. Çalışmada kullanılan parametrelere ilişkin istatistiksel inceleme

İstasyon No.	Veri ¹	μ	σ	Maks.	S	K
17300	MS	24.2	7.8	45	0.16	-0.93
	GS	8.4	3.8	14.1	-0.88	-0.23
	Y	3.0	13.6	232.8	8.01	83.58
17954	MS	24.4	7.4	43.8	0.07	-0.98
	GS	7.7	3.6	12.8	-0.90	-0.32
	Y	3.0	11.1	199.9	6.10	50.99

¹İstatistiksel incelemesi yapılan zaman serilerindeki veri sayıları; 17300 numaralı istasyon için 1970-2006 yılları aralığında toplam 13507 ve 17954 numaralı istasyon için 1985-2009 yılları aralığında toplam 9124'tür.

MS: Maksimum Sıcaklık (°C)

GS: Güneşlenme Süresi (sa/gün)

Y: Yağış (mm/gün)

μ : Ortalama

σ : Standart Sapma

S: Çarpıklık

K: Basıklık

3 Çalışmada kullanılan yöntemler

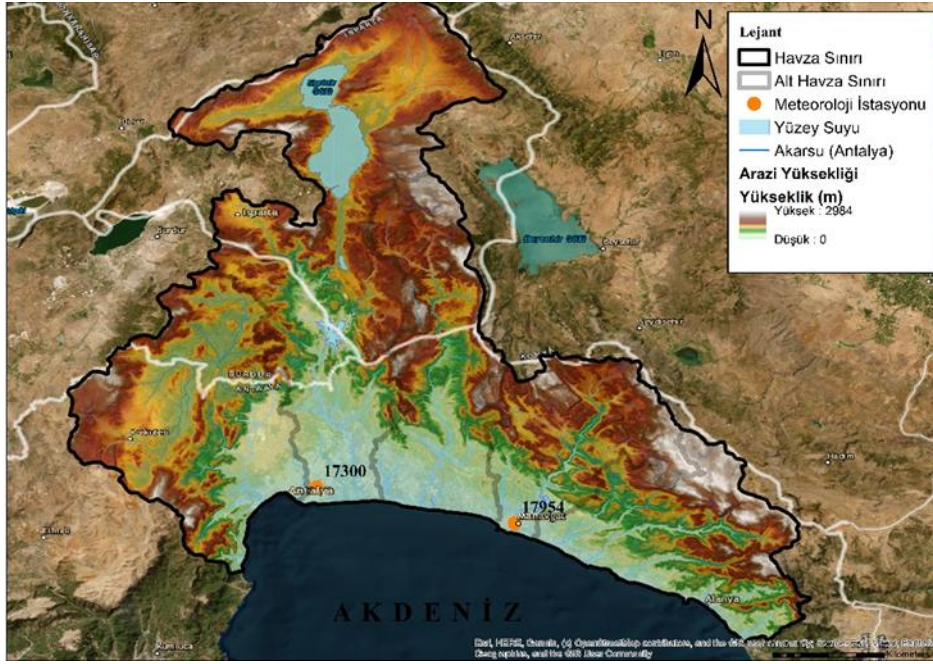
3.1 Granger Nedensellik Testi

Çalışma kapsamında kullanılan meteorolojik parametrelerin birbiri arasındaki nedensellik ilişkisini açıklamak amacıyla Granger Nedensellik (GN) testi kullanılmıştır. Granger tarafından 1969 yılında geliştirilen bu yöntem bir zaman serisinin geçmiş verilerinin başka bir zaman serisini anlamlı biçimde açıklayıp açıklayamayacağını test eder [29]. Eğer bir zaman serisi diğer bir zaman serisini tahmin etmede anlamlı bir katkı sağlıyorsa, o zaman serisinin diğer zaman serisi üzerinde Granger nedenselliği olduğu kabul edilir. GN analizi öncesinde zaman serilerinin durağanlık durumunun test edilmesi gerekmektedir. GN testinde zaman serilerinin durağan olması bir ön kuldür. Durağan olmayan zaman serileri çeşitli yöntemlerle durağan hale getirilerek kullanılabilir. Çalışmada kullanılan zaman serilerinin durağanlığı Augmented Dickey-Fuller (ADF) testi ile incelenmiştir [30]. Ardından uygun gecikme uzunlukları Akaike Bilgi Kriteri (AIC)'ne göre belirlenmiştir.

3.2 Augmented Dickey-Fuller testi

ADF testi Dickey ve Fuller tarafından 1979 yılında geliştirilmiştir [31]. Bu yöntemin esas amacı test edilen zaman serisinde birim kök olup olmadığının araştırılmasıdır. Bu araştırmanın yapılması amacıyla H0 ve H1 hipotezleri oluşturulur. Bu hipotezler sırasıyla "Seri birim kök içerir (Seri durağan değildir)" ve "Seri birim kök içermez (Seri durağandır)". ADF testi Denklem (1)'deki gibi regresyon denklemi gerçekleştirilmektedir [31].

Hidroloji gibi karmaşık ilişkilere sahip zaman serilerinin incelendiği pek çok alanda, sayısal modelleme aşamasında kullanılan zaman serilerinin durağanlık durumunu



Şekil 1. Çalışma bölgesi: Antalya ili ve kullanılan gözlem istasyonları

belirlemek amacıyla ADF testi yaygın biçimde kullanılmaktadır [32].

Çalışmada yağış ve sıcaklık verilerine ait zaman serilerinin durağanlık durumu incelenmiştir. Bu serilerde mevsimsellik etkisi, uzun dönemli iklim değişikliğine bağlı trend ve ani sıçramalar nedeniyle ortalama ve varyansın değişmesi olası bir durumdur. Bu durumda GN durağanlık varsayımı bozulmuş olur. Zaman serilerinde durağanlık tespit edilmediği durumlarda serilerin birinci farkları alınıp yeniden kontrol yapılması, logaritmik dönüşüm gibi yöntemler kullanılarak zaman serilerinde durağanlık sağlanabilmektedir.

$$\Delta y_t = \alpha + \beta t + \gamma y_{t-1} + \sum_{i=1}^p \delta_i \Delta y_{t-i} + \epsilon_t \quad (1)$$

Burada, y_t analiz edilen zaman serisi, Δy_t serinin birinci farkını, t trend bileşenini, p gecikme uzunluğunu ve ϵ_t ise hata terimini temsil etmektedir.

ADF testinde optimum gecikme süresi AIC kriteri dikkate alınmış olup, seride otokorelasyon kalmaması sağlanmış olur. Elde edilen sonuçlar %5 anlamlılık düzeyinde değerlendirilmiş, test sonucu p değeri <0.05 olduğunda serinin durağan olduğu kabul edilmiştir

3.3 Yapay sinir ağırları (YSA)

YSA karmaşık örüntüleri başarılı bir biçimde oluşturabilen, paralel işlem yeteneği yüksek olan bir bilgisayar modelidir [33]. Üstün örüntü oluşturma yeteneği sayesinde sayısal modelleme gerektiren pek çok araştırmada başarılı uygulamaları mevcuttur [11, 34, 35]. YSA genel yapısı itibarıyla girdi katmanı, gizli katman ve çıktı katmanı olmak üzere en az üç katmandan oluşmaktadır. Girdi katmanı verilerin sisteme dışarıdan alındığı katman olup

girdi parametresi kadar nöron ile YSA'nın çalışmaya başladığı katmandır. Ara katman YSA'nın tahminleme aşamasında kullanacağı ağırlık değerlerinin elde edildiği katmandır. Bu ağırlık değerleri öğrenme algoritması denilen algoritmalar yardımıyla YSA'ya atanır. Ara katmanda tasarımcı tarafından belirlenen önemli kriterler bulunmaktadır. Bu kriterlerden performansa etkisi en yüksek olanları, nöron sayısı ve ara katman sayısı olarak sayılabilir. Ayrıca bu aşamada seçilen öğrenme algoritmasının ve katmanlar arasındaki transfer fonksiyonlarının da tahmin performansı açısından önemi yüksektir [33]. Son katman olan çıktı katmanı ara katmandan sonra çalışan ve YSA'nın tahmin sonuçlarının dışarı aktarıldığı katmandır. Bu katmandan elde edilen çıktı değerleri eğer gerçek değerlere uzaksa bu durumda geri yayılım algoritması sayesinde YSA geri doğru çalıştırılarak atanan ağırlık değerlerinin optimizasyonu yapılır. Son durumda elde edilen tahminler çıktı katmanından alınmaktadır. Çalışmada YSA tasarımında girdi-ara-çıkı olmak üzere toplam üç katman kullanılmıştır. Öğrenme algoritması olarak Levenberg-Marquardt (LM) [36], transfer fonksiyonu olarak tanjant sigmoid ve ara katmandaki nöron sayısı olarak 1-11 aralığında değerler seçilmiş ve kullanılmıştır. Literatürdeki araştırmalarda hidrolojik zaman serileri kullanılarak yapılan modelleme çalışmalarında LM algoritmasının başarılı uygulamaları görülmektedir [37, 38]. Geçmiş araştırmalarda sigmoid fonksiyonların hidrolojik zaman serileri için yaygın kullanımı [39] bildirilmiştir.

3.4 Sınıflandırma ve regresyon ağacı (SRA)

Makine Öğrenmesi modelleri içerisinde SRA sıklıkla tercih edilen güvenilir bir yöntemdir [27]. SRA algoritması veriyi yinelenen biçimde ikili dallara ayırarak veri setinin homojenliğini maksimize etmeyi amaçlayan bir karar ağacı yöntemidir. SRA modelleri oluşturulurken ağaç büyüklüğü,

yaprak boyutu, budama stratejileri gibi bazı parametrelerin optimize edilmesi gerekmektedir. Ağaç büyüklüğü maksimum tutulmuş, yaprak boyutu 5-10 aralığında belirlenmiştir. Model karmaşıklığını dengelemek için Cost-Complexity Pruning (CCP) uygulanmıştır. Ayrıca asıl bölme yapılacak değişkenin bulunmaması durumunda onun yerine kullanılacak yedek bölme kural sayısını ifade eden yedek değişken sayısı 5 olarak seçilmiştir. SRA modeli hakkında detaylı bilgiye Breiman vd. tarafından 2017 yılında yapılan araştırmadan erişilebilir [40].

3.5 Performans ölçütleri

Çalışmada kullanılan yöntemlerin performanslarının değerlendirilmesi için farklı performans ölçütleri kullanılmıştır. Augmented Dickey-Fuller ve Granger testinde kullanılacak optimum gecikme AIC kullanılarak belirlenmiştir. AIC hesaplaması Denklem (2)'deki gibi yapılmıştır [41]. AIC kriteri negatif ve pozitif yönde sonsuza uzanan değerler alabilmektedir. Çalışmada en uygun sonucun belirlenmesi amacıyla sıfıra en çok yakınsayan pozitif değer belirlenmesi yapılmıştır [41]. YSA ve SRA model çıktılarının performans değerlendirmesi Denklem (3)'teki Nash-Sutcliffe Belirlilik Katsayısı (NSE) ve Denklem (4)'teki Korelasyon Katsayısı (R) kullanılarak yapılmıştır [42]. NSE değeri eksi sonsuzdan 1'e kadar değer alabilmektedir ve bu değer 1 olması mükemmel uyum olduğunu göstermektedir, diğer bir parametre olan R [-1 1] aralığında değer almakta olup 1 doğru orantılı mükemmel uyumu, -1 ters orantılı mükemmel uyumu ifade etmektedir [42].

$$AIC = X \ln \left(\frac{HKT}{X} \right) + 2k \quad (2)$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum_1^n (P_{göz,i} - P_{mod,i})^2}{\sum_1^n (P_{göz,i} - \bar{P}_{göz})^2} \quad (3)$$

$$R = \frac{\sum (X_i - X_{ort})(Y_i - Y_{ort})}{\sqrt{\sum (X_i - X_{ort})^2} * \sqrt{\sum (Y_i - Y_{ort})^2}} \quad (4)$$

Burada Denklem (2)'de X parametre sayısını, HKT hata kareler toplamını, k tahmin edilen parametre sayısını, Denklem (3)'te "göz" indisi gözlenmiş gerçek veriyi, "mod" indisi model çıktısını, n parametre sayısını, $\bar{P}_{göz}$ ise gözlem değerleri ortalamasını ve Denklem (4)'te X ve Y iki farklı zaman serisi değerlerini, "i" serinin i. elemanını ve "ort" indisi ortalama değerini ifade etmektedir.

4 Bulgular

4.1 Augmented Dickey-Fuller testi bulguları

ADF testi önceki bölümlerde açıklandığı gibi zaman serilerinin durağanlık durumunu tespit etmek amacıyla kullanılan bir test olarak önceki bölümlerde açıklanmıştır. Doğal süreçlere ilişkin gözlenmiş ve kaydedilmiş verilerde durağanlık incelemesi, verilerin aktarımı ve kaydedilmesi sırasında oluşabilecek hataların tespit edilmesi konusunda da yaklaşık bir fikir sağlayabilmektedir. Çalışmada günlük yağış, maksimum sıcaklık ve günlük güneşlenme süresi gibi

hidrolojik ve meteorolojik zaman serilerinin durağanlık durumu ADF kullanılarak incelenmiştir. ADF testinde test istatistiği olan p değerinin 0.05'in altında olması serinin durağan olduğunu göstermektedir. Bu değer üstünde bir test istatistik değeri ($p > 0.05$) hesaplandığı durumlarda serinin durağan olmadığı tespit edilebilmektedir.

17300 numaralı istasyon verileri incelendiğinde tüm zaman serilerinde test istatistiği değerinin 0.05 değerinden küçük olduğu görülmektedir (Tablo 3). Bu durumda 17300 istasyonu verilerinin durağan olduğu sonucuna ulaşılmaktadır. Diğer bir ifade ile bu istasyon için kullanılan zaman serilerinin ortalama ve varyansının zamanla değişmediği görülmüştür.

Tablo 3. 17300 numaralı istasyon verileri için ADF testi sonuçları

Değişken	ADF İstatistik Değeri	P İstatistik Değeri	Durağanlık
Yağış (mm)	-15.856	<0.05	Durağan
Maksimum Sıcaklık (°C)	-8.444	<0.05	Durağan
Güneşlenme Süresi (saat)	-8.166	<0.05	Durağan

Çalışmada kullanılan diğer bir istasyon olan 17954 numaralı istasyondan alınan veriler için ADF testi sonuçları Tablo 4'te görülmektedir. Bu istasyondan da alınan veri setlerinin de ADF testine göre durağan kabul edilebileceği görülmüştür.

Tablo 4. 17954 numaralı istasyon verileri için ADF testi sonuçları

Değişken	ADF İstatistik Değeri	P İstatistik Değeri	Durağanlık
Yağış	-9.538	<0.05	Durağan
Maksimum Sıcaklık	-6.768	<0.05	Durağan
Güneşlenme Süresi	-6.427	<0.05	Durağan

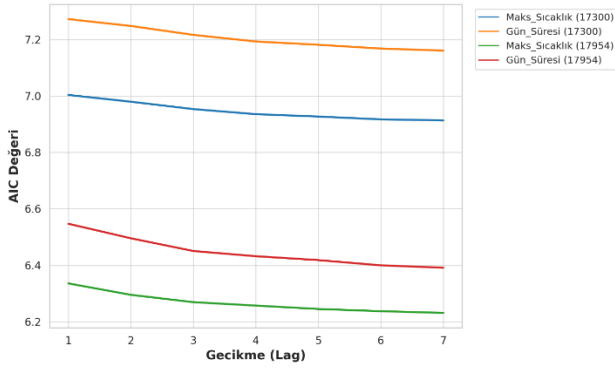
Özet olarak istasyonlardan alınan verilere ait zaman serilerinin ADF testi kullanılarak yapılan durağanlık incelemesi sonucunda elde edilen p değerinin tamamı 0.05'ten küçük hesaplanmıştır. Bu durum zaman serilerinin durağan olduğunu göstermiştir. Serilerde tespit edilen durağanlık durumu sonucunda, seriler için yapılacak birinci fark alma, logaritmik dönüşüm gibi durağanlaştırma işlemlerine gerek olmadan zaman serilerinin doğrudan Granger testinde kullanılabilir olduğu görülmüştür.

4.2 Granger nedensellik testi bulguları

GN testi farklı zaman serilerinin birbirine göre değişip değişmediğinin araştırılması amacıyla kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan sıcaklık ve güneşlenme süresi verilerinin hidrolojik olarak yağışlar üzerindeki etkisi bilinse de sayısal modelleme aşaması öncesinde bu durumun istatistiksel olarak ortaya konulması modellemenin tutarlılığını arttırmaktadır. GN testinde günlük maksimum sıcaklık ve günlük güneşlenme süresi parametreleri bağımsız değişken olarak kullanılmış, günlük toplam yağış ise bağımsız değişken olarak seçilmiştir. Bu doğrultuda yağış

oluşumunda maksimum sıcaklık ve güneşlenme süresinin istatistiksel olarak anlamlı bir değişim oluşturup oluşturmayacağı kontrol edilmiştir. GN testinde zaman serileri arasındaki ilişki p istatistik değeri ile kontrol edilmiştir. Zaman serilerinin gün gecikmeleri ile oluşturulmuş alt serilerinin her biri yağış serisi ile değerlendirilmiştir. Yapılan değerlendirme sonrasında p istatistik değeri 0,05'ten küçük bulunan serilerin yağış üzerinde anlamlı etkiye sahip olduğu belirlenmiştir.

Bu aşamada AIC kriteri kullanılarak 7 güne kadar olan gecikmeli serilerin performans değerlendirmesi yapılmıştır. 17300 ve 17954 numaralı istasyonlardan alınan veriler bağımsız değişken olarak AIC kriterine göre değerlendirilmiştir. Değerlendirme bulguları Şekil 2'de gösterilmiştir. Şekil 2'deki bulgulara göre günlük maksimum sıcaklık ve güneşlenme süresi parametrelerinin 7 güne kadar gecikmesinin yağış üzerinde etkin olduğu görülmektedir.



Şekil 2. 17300 ve 17954 numaralı istasyonlardan alınan verilerin GN testi AIC bulguları

GN testinden elde edilen nedensellik sonuçlarına göre günlük maksimum sıcaklık (Maks_Sıcaklık) parametresi için p istatistik değerinin, 17954 istasyonunda 1 gün gecikme haricinde, tüm gecikme düzeylerinde sıfıra yakınsadığı görülmüştür. Bu durum günlük maksimum sıcaklık parametresinin yağış üzerindeki kuvvetli etkisini vurgulamaktadır. Çalışmada kullanılan diğer bir parametre olan günlük güneşlenme süresi (Gün_Süresi) 17300 istasyonunda 2 gün düzeyinde, 17954 istasyonunda 1 ve 2 gün düzeylerinde anlamlı etkiye sahiptir. Bu nedenler SRA ve YSA kullanılarak yapılacak sayısal modelleme aşamasında tüm değişkenler kullanılarak model geliştirilmesinin en uygun çözümü bulmayı zorlaştıracak ve analiz süresini uzatacağını göstermektedir. Bu nedenle istasyonlarda farklı girdi setleri oluşturularak sadece yağış üzerinde GN testine göre anlamlı etkiye sahip serilerin kullanılması sağlanmıştır. GN testinden elde edilen p istatistik değerleri Tablo 5'te gösterilmiştir. Ayrıca sayısal modelleme aşamasında kullanılacak girdi setleri Tablo 6'da gösterilmiştir. Tablo 5'te elde edilen bulgular, optimum gün gecikmesi düzeylerinin tespit edilmesi konusunda ilgili zaman serisinin nedensel olarak ilişkisini GN testi ölçeğinde istatistiksel olarak ortaya koymaktadır. Buradan elde edilen istatistiksel göstergeler kullanılarak girdi setleri oluşturulmuştur. Oluşturulan girdi setleri GN testi bulgularına göre nedensellik düzeyinde en etkili

parametrelerin seçilmesi esasına dayanmaktadır. Tablo 6'da görülen parametre seçimi Tablo 5'teki istatistiksel göstergelerden elde edilmiştir.

Tablo 5. GN testinden parametrelere ve istasyonlara göre elde edilen p istatistik değeri bulguları

Gecikme Düzeyi	Gün_Süresi (17300)	Maks_Sıcaklık (17300)	Gün_Süresi (17954)	Maks_Sıcaklık (17954)
1	0.2449	<0.001	0.0415	0.1116
2	0.0080	<0.001	0.0072	<0.001
3	0.1124	<0.001	0.2319	<0.001
4	0.7851	<0.001	0.9778	<0.001
5	0.2873	<0.001	0.4695	<0.001
6	0.1100	<0.001	0.3121	<0.001
7	0.2576	<0.001	0.1523	<0.001

P istatistik değerine göre yağış üzerinde GN testine göre etkin (<0.05) gecikme düzeylerine ilişkin sonuçlar koyu sembol kullanılarak vurgulanmıştır.

Tablo 6. Sayısal modelleme aşamasında kullanılan girdi setlerindeki zaman serileri

Gün_Süresi	t-1	t-2	t-3	t-4	t-5	t-6	t-7
17300		•					
17954	•	•					
Maks_Sıcaklık	t-1	t-2	t-3	t-4	t-5	t-6	t-7
17300	•	•	•	•	•	•	•
17954	•	•	•	•	•	•	•

• sembolü ilgili gecikme düzeyi zaman serisinin girdi setinde tahminleyici olarak kullanıldığını göstermektedir.

4.3 Makine Öğrenmesi yöntemleri (SRA ve YSA) bulguları

Makine öğrenmesi yöntemleri geçmiş verileri kullanarak gerçekleştirdiği öğrenme işlemi sonrasında gelecek verileri temsil eden tahminler yapabilen bilgisayar destekli yazılımlardır. Çalışmada SRA ve YSA gibi makine öğrenmesi esaslı ve farklı çalışma sistemine sahip iki farklı yöntem kullanılarak günlük ölçekte yağış tahmini gerçekleştirilmiştir. Günlük yağışın tahmin edilmesi karmaşık hidrolojik ve meteorolojik döngülerin bilinmesi ve bunların doğru bir formasyonda bir araya getirilmesi gereken bir konudur. Bu karmaşık ilişkilerin tamamının sayısal olarak ölçülmesi veya modellenmesi çok zor ve pratik olarak mümkün değildir. Çalışmada kolay elde edilebilen ve ölçümü kolay olan günlük maksimum sıcaklık ve günlük toplam güneşlenme süresi parametreleri kullanılmıştır. Yağış oluşumunda sıcaklığın bilinen yüksek düzeydeki etkisi çalışma hipotezini oluşturmuş ve yağışın basit parametreler kullanılarak, günlük ölçekte yüksek doğrulukla tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda 17300 ve 17954 numaralı gözlem istasyonlarından elde edilen veriler kullanılarak sayısal modelleme yapılmıştır. İstasyonlardan elde edilen günlük verilerin alındığı zaman periyodu en uzun süre kesintisiz ölçüm yapılmış ve veri bulunan zaman aralığı seçimi temel alınarak belirlenmiştir. Verilerin kesintisiz bulunduğu zaman aralığı ve sayısal modellemede test aşamasında kullanılan zaman aralığı Tablo 7'de gösterilmiştir. Tablo 7'de gösterilen zaman aralıklarındaki veriler yılın ilk günü başlamakta ve periyodun son yılının son gününe kadar kesintisiz sürekli bir zaman serisi oluşturmaktadır. Veri setlerinden ayrılan test verileri ise girdi serisinde oluşturulan gün gecikmeleri göz önüne alınarak ilk yılının 8. gününden itibaren başlatılmış ve bitiş

yılıının son gününe kadar kesintisiz sürekli bir zaman serisi olarak değerlendirilmiştir.

Literatürde hidroloji alanında yapılan pek çok araştırmada başarılı biçimde kullanılan YSA modellerinden elde edilen bulgular ile kıyaslanabilirliğin sağlanması amacıyla bu araştırmada YSA yöntemi kullanılmıştır.

Çalışmada YSA yöntemi ile geliştirilen tahmin modellerinin mimarisi 3 katmanlı olarak geliştirilmiştir (girdi-ara-çıktı). Girdi katmanında GN analizi bulgularından elde edilen sonuçlara göre parametreler ve çıktı katmanında ise günlük yağış seçilmiştir. Öğrenme algoritması olarak hidrolojik zaman serilerinde başarılı olan LM algoritması kullanılmıştır. Bu seçim, tasarım aşamasındaki belirsizlikleri azaltmak ve analiz süresini kısaltmak amacıyla literatürde benzer araştırma bulguları esas alınarak gerçekleştirilmiştir [33, 38]. Transfer fonksiyonu olarak log-sigmoid ve lineer fonksiyonlar test edilmiş ancak performans anlamında çok farklı sonuçlar elde edilememiştir. Bu nedenle çalışmada tanjant sigmoid fonksiyon kullanılarak elde edilen çıktılar sunulmuştur. Model eğitimi sürecinde veri seti %70 eğitim ve %30 test stratejisi ile ayrılmıştır. Bu oranlar literatürde yaygın olarak kullanılan bulgulara dayanmaktadır [11, 34]. Her istasyon için en uygun nöron sayısının belirlenmesi amacıyla, nöron sayısı 1'den en yüksek girdi parametre sayısı olan 11'e kadar denenerek en uygun çözümün bulunması sağlanmıştır.

Tablo 7. 17300 ve 17954 numaralı istasyon verileri için zaman aralıkları

İstasyon No	Verilerin Bulunduğu Zaman Aralığı	Test Aşamasında Seçilen Zaman Aralığı
17300	1970-2006 (37 yıl)	2002-2006 (5 yıl)
17954	1985-2009 (25 yıl)	2006-2009 (4 yıl)

Test aşamasında seçilen veriler haricindeki veriler sayısal modellemede eğitim aşamasında kullanılmıştır

Çalışma bu yönüyle sınırlı bir aralıktaki nöron sayısı değişiminin, yağış tahmin performansı üzerindeki etkisini de değerlendirmiştir. GN testinden elde edilen bulgular kullanılarak girdi setleri Tablo 6'daki gibi oluşturulmuştur. Bu girdilere karşılık olarak günlük yağış değeri hedef veri olarak belirlenmiştir. Sınırlı girdi parametresi ve günlük ölçek gibi tahmin edilmesi zor olan bir ölçeğin bulunması YSA'nın tahmin performansını olumsuz etkilemiştir. Nöron sayısı değişimine göre YSA modeli çıktılarından elde edilen performans bulguları Tablo 8'de görülmektedir. Şekil 3'te istasyonlara göre belirlenen en iyi yöntem çıktılarından hedef veri setine göre zaman serisi gösterimi bulunmaktadır.

YSA'nın esnek yapısının sınırlı girdi verisi ile yüksek performans değerine erişememe riski SRA yönteminin sayısal modelleme aşamasında kullanılmasını gerektirmektedir. SRA modelinde verilere göre kategorik ayırım yapılması dönemsel değişimlerin daha iyi anlaşılmasını sağladığından pik değerleri daha yüksek çözünürlükle ifade edebilmektedir. SRA yöntemi kullanılarak geliştirilen tahmin modelinde tasarım aşamasında seçilen parametreler tahmin performansını belirleyen önemli unsur olarak sayılabilmektedir. SRA yöntemi ile geliştirilen modelde ağaç büyüklüğü maksimum olarak belirlenmiş ve böylece verilerin kategorik olarak

ayrılması konusunda sınırlandırma uygulanmamıştır. CCP yöntemi kullanılarak yapılan budama geliştirilen yapıyı optimum düzeye indirgeyerek tahmin performansına olumlu katkı sunmuştur. 17300 ve 17954 numaralı istasyonlara göre SRA yöntemi ile geliştirilen tahmin modeli çıktılarından elde edilen performans bulguları ve geliştirilen SRA modeline ilişkin parametreler Tablo 9'da gösterilmiştir. Test dönemi tahminlerini gözlenmiş değerlere göre değerlendirmeyi kolaylaştırmak amacıyla Şekil 4'te zaman serisi grafiği verilmiştir.

Tablo 8. YSA modelinden elde edilen günlük yağış çıktılarından nöron sayısı değişimine göre performans bulguları

Gizli Nöron Sayısı	Katmandaki		17300		17954	
			R	NSE	R	NSE
1			0.39	0.15	0.59	0.37
2			0.39	0.15	0.59	0.37
3			0.43	0.18	0.59	0.37
4			0.40	0.16	0.60	0.38
5			0.40	0.15	0.60	0.38
6			0.41	0.16	0.60	0.38
7			0.43	0.18	0.58	0.36
8			0.41	0.17	0.59	0.37
9			0.41	0.16	0.59	0.37
10			0.40	0.15	0.60	0.38
11			0.44	0.19	0.59	0.37

İstasyonlardan elde edilen en yüksek tahmin performansı koyu semboller kullanılarak gösterilmiştir.

Tablo 9. SRA yöntemi ile geliştirilen tahmin modelinin istasyonlara göre en iyi tahmin performans bulguları

İstasyon	R	NSE
17300	0.81	0.65
17954	0.89	0.79

SRA modeli parametreleri
Ağaç Büyüklüğü: Maksimum
Düğümdeki Minimum Örnek Sayısı: 10
Yedek Değişken Sayısı: 5

5 Tartışma

Bu çalışmada, günlük yağış tahmini yapabilen makine öğrenmesi destekli YSA ve SRA modelleri geliştirilmiştir. Çalışmada kullanılan YSA doğrusal olmayan ve karmaşık ilişkileri modellemede üstün örutü tanıma yeteneğine sahip bir yapay zeka tekniğidir [43-45]. SRA ise özellikle açıklanabilirlik ve karar destek sistemlerine entegrasyon açısından öne çıkmaktadır. Kural tabanlı yapısı sayesinde tahmin süreci anlaşılır ve yorumlanabilir olmaktadır. Bu yönüyle YSA'nın kara kutu modelleme tekniğine iyi bir alternatif oluşturmuştur. Çalışmanın temel amacı sıcaklık ve güneşlenme süresi gibi kolay erişilebilir meteorolojik verilerin günlük yağış tahmini için kullanılabilirliğini ortaya koymaktır. Bu nedenle çalışmanın ilk aşamasında GN testi kullanılarak bu parametrelerin günlük yağış üzerindeki nedensellik etkisi araştırılmış ve elde edilen anlamlı parametreler kullanılarak model geliştirilmiştir. Bulgular özellikle sıcaklık parametresindeki artışların yağış oluşum

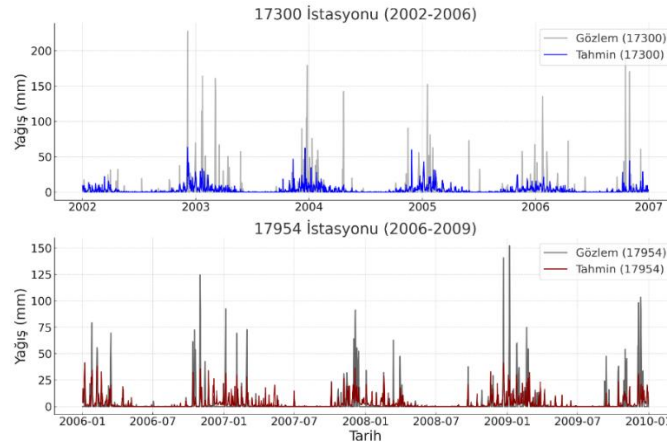
sürecini doğrudan etkileyen kritik bir faktör olduğunu göstermektedir.

Granger nedensellik testinden elde edilen sonuçlar, günlük maksimum sıcaklığın hem 17300 hem de 17954 numaralı istasyonlarda günlük yağış üzerinde çok güçlü bir nedensellik ilişkisi olduğunu ortaya koymuştur. Güneşlenme süresi ise 17954 numaralı istasyonunda 1 ve 2 gün gecikme düzeylerinde anlamlı bulunurken, 17300 istasyonunda yalnızca 2 gün düzeyinde anlamlı bulunmuştur. Bu bulgu, istasyonların bulunduğu konum ve konumun topografik özelliklerine göre bitki örtüsü, yükseklik gibi konumsal farklılıkların güneşlenme süresinin yağış üzerindeki etkisini değiştirebileceğini düşündürmektedir.

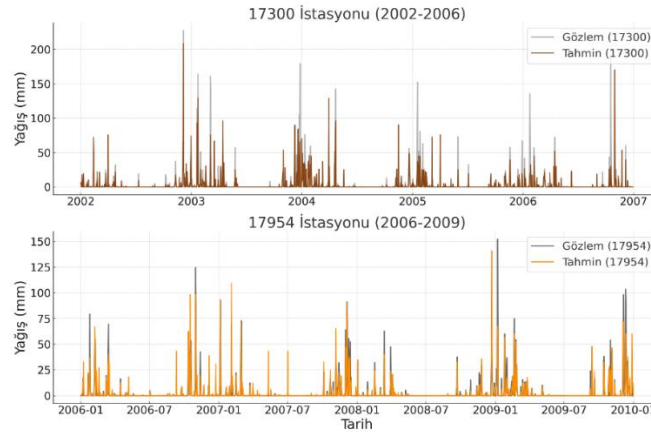
Çalışmada YSA kullanılarak geliştirilen tahmin modeli bulgularına göre YSA'da sigmoid transfer fonksiyonu ve LM algoritması kullanılarak geliştirilen model günlük yağış tahmini konusunda, Brydges tarafından 2019 yılında önerilen [46] istatistiksel etki düzeyine göre yeterli düzeyde bir tahmin performansı sergilemiştir. 17300 ve 17954 numaralı istasyonlarda eğitim ve test için ayrılan veri sayısı farklılık göstermektedir. Bu durum YSA'da elde edilen optimum çözüm modelindeki temel farklılık olan nöron sayısı değişikliğiyle birlikte değerlendirildiğinde, veri sayısı arttıkça paralel işlem yapma ihtiyacı artmış ve daha fazla

nöron sayısı ile yüksek performans değerine ulaşılmıştır. Bu noktada literatürde destekleyici bir araştırma bulunamamıştır. Çalışma bulgularıyla birlikte YSA tahmin modelleri için bu konunun araştırılması literatüre katkı sağlayacaktır.

SRA modelinde ağaç büyüklüğünün sınırlandırılmaması tahmin modelinde geniş bir çözüm havuzu oluşturulması amacıyla belirlenmiştir. Bu sayede ağın benzer değerleri ısrarla ürettiği aşırı öğrenme durumu ile karşılaşılmemiştir. Ayrıca aşırı öğrenme durumuna karşılık olarak üretilen her bir dal veya düğüm noktasında yeni bölünme için minimum 10 elemanın bulunması durumunu ifade eden minimum örnek sayısı parametresi modeldeki sabit değer tahmini problemini önlemiş ve model tahmin performansına olumlu katkı sağlamıştır. Tahmin güvenliğinin artırılması için dallanmada düğüm oluşturulacak noktadaki kritik değer belirlenmesi aşamasında yedek değişken sayısı 5 olarak belirlenmiştir. Bu durumda eksik veya istatistiksel olarak uygun olmayan değerler tahmin performansını etkilememiş, böyle durumlarda yedek değişkenin kullanılması sağlanmıştır. Yedek değişken sayısının fazla olması hidrolojik zaman serilerinde sıklıkla karşılaşılan eksik veri durumlarında kullanılabilir bir çözüm önerisi oluşturmaktadır.



Şekil 3. YSA'da en yüksek performans elde eden modelde 17300 ve 17954 numaralı istasyon verileri için test dönemi zaman serisi grafiği



Şekil 4. SRA tahmin modelinde 17300 ve 17954 numaralı istasyon verileri için test dönemi zaman serisi grafiği

Çalışmada kullanılan makine öğrenmesi yöntemlerinden YSA ile geliştirilen modeller, sınırlı giriş parametresi ve kısa tahmin periyodu nedeniyle beklenen düzeyde bir performans sergileyememiştir. Özellikle NSE değerlerinin 0.20'nin altında kalması YSA ile geliştirilen modellerin, beklenen verilere göre kullanılabilir düzeyde korelasyona sahip olan tahmin verileri üretmiş olsa da SRA modeline göre yetersiz kaldığını göstermektedir. Bu durum YSA modellerinin karmaşık yapısı nedeniyle yüksek miktarda ve çeşitli veriye ihtiyaç duyduğunu göstermektedir. Çalışmada kullanılan diğer bir yöntem olan SRA kullanılarak geliştirilen tahmin modeli yüksek doğruluk oranı ($R > 0.80$ ve $NSE > 0.60$) ile tatmin edici bir tahmin performansı sergilemiştir. Bu durum karmaşık modellere göre açıklanabilirliği yüksek, daha az ön işlem gerektiren karar ağacı modellerinin, sınırlı girdi parametresi kullanılan günlük tahmin problemlerinin çözümünde daha etkili olabileceğini göstermektedir.

Çalışmadan elde edilen bulgular Erdal ve Karakurt (2013) ile Patil vd. (2020) tarafından yapılan, SRA yönteminin hidrolojik zaman serilerindeki uygulanabilirliğinin gösterildiği araştırmalar ile uyumlu olduğunu göstermektedir. Ayrıca Latif vd. (2023) tarafından yapılan araştırmada makine öğrenmesi modellerinin geleneksel modellere göre daha yüksek performans gösterdiği bildirilmiştir. Bu geçmiş bulgu doğrultusunda, çalışma kapsamında kullanılan MÖ yöntemlerinin kabul edilebilir düzeyde tahmin performansı gösterdiği söylenebilir. Ancak çalışmadaki sınırlı girdi parametresi kullanımı YSA'nın potansiyelinin tam anlamıyla ortaya çıkmasına engel olmuştur.

Çalışma sonucunda elde edilen bulgular sıcaklık ve güneşlenme süresi gibi kolay erişilebilir parametrelerin günlük yağış tahmini konusundaki etkinliğini ortaya koymaktadır. Bu durumda geliştirilen tahmin modellerinin erken uyarı sistemleri, tarımsal planlama ve kentsel taşkın yönetimi gibi konularda uygulanabilir olduğu görülmektedir. Özellikle Antalya gibi tarımsal ve turizm faaliyetlerinin yüksek olduğu hidrolojik olarak kırılgan bir yapıya sahip bölgelerde kısa vadeli hava tahmin sistemlerine entegre edilecek makine öğrenmesi destekli tahmin modelleri, erken müdahale sistemlerine önemli katkılar sunabilir.

Çalışmada günlük maksimum sıcaklık ve güneşlenme süresi olmak üzere sınırlı meteorolojik parametre kullanılmıştır. Bu durum çalışmanın genellenebilirliğini sınırlandırmaktadır. Çalışmada bağıl nem, rüzgâr hızı ve basınç gibi yağışı etkilediği bilinen parametreler çalışmaya dahil edilmemiştir. Gelecek çalışmalarda daha çeşitli bölgelerde seçilecek istasyonlarda meteorolojik girdi parametrelerinin sayısı artırılarak model performansları yeniden değerlendirilebilir.

6 Sonuç

Bu çalışma günlük ölçekte yağış, maksimum sıcaklık ve güneşlenme parametrelerini kullanarak, makine öğrenmesi destekli YSA ve SRA yöntemleriyle tahmin etmeyi amaçlayan çok yönlü bütüncül bir analiz sunmaktadır. Çalışmada incelenen parametrelerin istatistiksel olarak değerlendirilmesi yapılmış ve GN testi yardımı ile maksimum

sıcaklık ve güneşlenme süresi parametrelerinin yağış üzerindeki etkisi nedensellik bağlamında ortaya konulmuştur. GN testi bulgularına dayanarak istatistiksel anlamlılık düzeylerine göre veri setleri oluşturulmuş ve gelecek yağış tahmini yapılmıştır. Çalışma bu yönüyle sadece korelasyon odaklı değil, nedensellik ilişkisini de esas alan bir girdi seçim yöntemi sunarak özgün bir modelleme yaklaşımı ortaya koymuştur.

Sayısal modelleme aşamasında, YSA ve SRA yöntemleri kullanılmıştır. YSA karmaşık örüntüleri çözümleme yeteneğinin yüksek olması, hidrolojik zaman serilerinin tahmin edildiği çalışmalarda sıklıkla kullanılması ve bu çalışmadan elde edilecek bulguların literatür ile kolay kıyaslanabilir olması nedeniyle, SRA yöntemi ise açıklanabilir yapısı ve kategorik veri tahmin yeteneği nedeniyle bu çalışmada kullanılmıştır. Kullanılan bu iki yöntem ile geliştirilen tahmin modellerinin performansları istasyon bazında kıyaslanmıştır. Sonuçlar SRA modelinin sınırlı girdi parametresi kullanılarak yüksek başarı ($NSE: 0.65-0.79$) yakaladığını ve açıklanabilir yapısıyla hidrolojik karar destek sistemlerine uygun bir yapı sunduğunu göstermektedir. YSA modelinde ise optimize etmek için farklı nöron sayıları düzeyinde denemeler yapılmış olsa da yöntemin yüksek veri ihtiyacı, sınırlı parametre kullanılarak yapılan bu tahminleme aşamasında performansın düşük olmasına sebep olmuştur.

Çalışma Antalya gibi hidrolojik olarak riskli ve ekonomik olarak kritik bir bölgede gerçekleştirilmiştir. Bu sayede çalışma kapsamında elde edilen bulguların, yağışa bağlı gelişecek bölgesel taşkınlara ilişkin risk yönetimi faaliyetlerinde, tarımsal planlama, alt yapı düzenlemesi gibi şehircilik faaliyetlerinde kullanılabilir olduğu görülmüştür.

Çalışmada sayısal tahmin modeli geliştirmek üzere seçilen yöntemler regresyon ve sinir ağları esaslı olarak seçilmiş olsa da her iki yöntemin bazı sınırlılıkları bulunmaktadır. YSA yönteminde tahminler veri miktarına ve çeşitliliğine oldukça duyarlıdır, çalışmada geliştirilen yöntemde sınırlı parametre kullanımı YSA performansını sınırlandırmıştır ayrıca kapalı kutu bir model oluşturulduğundan parametrelerin tahmin üzerindeki etki düzeyi net anlaşılamamaktadır. SRA yöntemi ise açıklanabilirlik ve model kurulumundaki kolaylığı nedeniyle tercih edilmiş olsa da ağaç yapısının aşırı budanması ya da büyütülmesi model performansı üzerinde olumsuz etki yaratabilmektedir. Bu nedenle uç değer tahminlerinde SRA performansı etkilenebilmektedir. Bu nedenlerle çalışmanın farklı istatistiksel tahmin yöntemleri kullanılarak tekrarlanması sonuçların güvenilirliği açısından önemlidir.

Çalışma, Antalya iline ait iki farklı meteoroloji istasyonuna (17300 – Antalya Merkez, 17954 – Manavgat) ait veriler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Söz konusu istasyonlar, bulundukları alt havzalarda yürütülecek çalışmalar için fikir verici olmakla birlikte, Antalya ilinin tüm hidrolojik ve iklimsel çeşitliliğini temsil etmek açısından yeterli değildir. Bu nedenle, bölgenin iklimsel karakteristiğinin daha bütüncül şekilde yansıtılabilmesi için, gelecekte yapılacak araştırmalarda uzun dönemli ve sürekli veri sağlayan daha fazla sayıda meteoroloji istasyonunun

kapsanması önem arz etmektedir. Bu yaklaşım, model çıktılarının genellenabilirliğini ve bölgesel güvenilirliğini artıracaktır.

Gelecek araştırmalar farklı topografik özelliklere sahip daha fazla istasyon verisi kullanarak model bulgularının bölgeselleştirilmesi konusunda katkı sağlayabilir. Bu durumda bölgesel özelliklerin geliştirilen tahmin modelleri üzerindeki etkileri daha net ortaya konulmuş ve literatüre daha geniş bir katkı sağlanmış olacaktır.

Çıkar çatışması

Yazar “Sıcaklık ve güneşlenme süresine dayalı günlük yağış tahmin modeli araştırması: Antalya örneği” başlıklı bu çalışmada çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Benzerlik oranı (iThenticate): %7

Kaynaklar

- [1] A. Keskin ve Z. Kanat, Dünyada iklim değişikliği üzerine yapılan çalışmalar ve Türkiye’de mevcut durum. Atatürk University Journal of Agricultural Faculty, 49(1), 2018.
- [2] M. Röthlisberger ve L. Papritz, Quantifying the physical processes leading to atmospheric hot extremes at a global scale. Nature Geoscience, 16, 210–216, 2023. <https://doi.org/10.1038/s41561-023-01126-1>
- [3] K.-H. Kim ve B.-M. Lee, Effects of climate change and drought tolerance on maize growth. Plants, 12(20), 3548, 2023. <https://doi.org/10.3390/plants12203548>
- [4] T. Vansteenkiste, M. Tavakoli, V. Ntegeka, P. Willems, F. De Smedt ve O. Batelaan, Climate change impact on river flows and catchment hydrology: a comparison of two spatially distributed models. Hydrological Processes, 27(25), 3649–3662, 2013. <https://doi.org/10.1002/hyp.9480>.
- [5] M. Donat, A. Lowry, L. Alexander, P. A. O’Gorman, N. Maher, More extreme precipitation in the world’s dry and wet regions. Nature Climate Change, 6, 508–513, 2016. <https://doi.org/10.1038/nclimate2941>.
- [6] H. Serkendiz, H. Tatlı, A. Kılıç, vd., Analysis of drought intensity, frequency and trends using the SPEI in Turkey. Theoretical and Applied Climatology, 155, 2997–3012, 2024. <https://doi.org/10.1007/s00704-023-04772-y>
- [7] M. A. Çelik, H. Bayram ve S. Özüpekçe, An assessment on climatological, meteorological and hydrological disasters that occurred in Turkey in the last 30 years (1987–2017). International Journal of Geography and Geography Education, 38, 295–310, 2018. <https://doi.org/10.32003/iggei.424675>
- [8] T. Pilevneli, G. Capar ve C. Sánchez-Cerdà, Investigation of climate change impacts on agricultural production in Turkey using volumetric water footprint approach. Sustainable Production and Consumption, 35, 605–623, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.12.013>.
- [9] M. Turkes, Climate and drought in Turkey. In N. Harmancioglu ve D. Altinbilek (Eds.), Water Resources of Turkey, World Water Resources, vol. 2, Springer, Cham, pp. 57–87, 2020. https://doi.org/10.1007/978-3-030-11729-0_4
- [10] Q. Zhang, J. Li, V. P. Singh ve M. Xiao, Spatio-temporal relations between temperature and precipitation regimes: Implications for temperature-induced changes in the hydrological cycle. Global and Planetary Change, 111, 57–76, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2013.08.012>.
- [11] H. T. Babacan, İklim değişikliği etkisi altında kıyı bölgelerinde aylık yağış rejimi değişimi ve gelecek yağış-akış tepkisinin araştırılması: Rize ve Antalya çalışması. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 28(2), 1020–1035, 2025. <https://doi.org/10.17780/ksujes.1657507>
- [12] M. Riaz, S. M. Bateni, C. Jun, vd., Enhancing rainfall-runoff simulation in data-poor watersheds: Integrating remote sensing and hybrid decomposition for hydrologic modelling. Water Resources Management, 2025. <https://doi.org/10.1007/s11269-025-04215-5>
- [13] H. Guzel, Estimation of rainfall-runoff relationship using soft computing techniques. Applied Ecology & Environmental Research, 23(2), 2025.
- [14] T. D. Duong, V. N. Tran ve T. V. Nguyen, Evaluating rainfall-runoff generation mechanisms of deep learning models using a process-based rainfall-runoff model. Water Resources Management, 2025. <https://doi.org/10.1007/s11269-025-04231-5>
- [15] M. Valipour, Temperature analysis of reference evapotranspiration models. Meteorological Applications, 22(3), 385–394, 2015. <https://doi.org/10.1002/met.1465>
- [16] K. A. Coskuner, Doğu Karadeniz orman yangınlarının uzun dönem meteorolojik parametrelerle değerlendirilmesi. Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 7(2), 374–381, 2021.
- [17] S. D. Lindsey ve R. K. Farnsworth, Sources of solar radiation estimates and their effect on daily potential evaporation for use in streamflow modeling. Journal of Hydrology, 201(1–4), 348–366, 1997. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(97\)00046-2](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(97)00046-2)
- [18] V. Kaleris ve A. Langousis, Comparison of two rainfall-runoff models: Effects of conceptualization on water budget components. Hydrological Sciences Journal, 62(5), 729–748, 2016. <https://doi.org/10.1080/02626667.2016.1250899>
- [19] Y. Zhang, Y. Chao, R. Fan, F. Ren, B. Qi, K. Ji ve B. Xu, Spatial-temporal trends of rainfall erosivity and its implication for sustainable agriculture in the Wei River Basin of China. Agricultural Water Management, 245, 106557, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106557>
- [20] P. Guhathakurta ve E. Saji, Detecting changes in rainfall pattern and seasonality index vis-à-vis increasing water scarcity in Maharashtra. Journal of Earth System Science, 122, 639–649, 2013. <https://doi.org/10.1007/s12040-013-0294-y>
- [21] T. Cheng, Z. Xu, H. Yang, S. Hong ve J. P. Leita, Analysis of effect of rainfall patterns on urban flood process by coupled hydrological and hydrodynamic

- modeling. *Journal of Hydrologic Engineering*, 25(1), 04019061, 2020. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.19435584.0001867](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.19435584.0001867)
- [22] A. Y. Barrera-Animas, L. O. Oyedele, M. Bilal, T. D. Akinosho, J. M. D. Delgado ve L. A. Akanbi, Rainfall prediction: A comparative analysis of modern machine learning algorithms for time-series forecasting. *Machine Learning with Applications*, 7, 100204, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.mlwa.2021.100204>
- [23] S. D. Latif, N. A. B. Hazrin, C. H. Koo, J. L. Ng, B. Chaplot, Y. F. Huang, vd., Assessing rainfall prediction models: Exploring the advantages of machine learning and remote sensing approaches. *Alexandria Engineering Journal*, 82, 16–25, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2023.09.060>
- [24] H. I. Erdal ve O. Karakurt, Advancing monthly streamflow prediction accuracy of CART models using ensemble learning paradigms. *Journal of Hydrology*, 477, 119–128, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.11.015>
- [25] D. Patil, S. Badarpura, A. Jain ve A. Gupta, Rainfall prediction using linear approach & neural networks and crop recommendation based on decision tree. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 2020.
- [26] H. T. Babacan ve Ö. Yüksek, Investigation of climate change impacts on daily streamflow extremes in Eastern Black Sea Basin, Turkey. *Physics and Chemistry of the Earth*, 134, 103599, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2024.103599>
- [27] J. L. Ng, H. C. Aik, J. C. L. Jin, N. I. F. M. Noh, M. Abdulkareem, D. Syamsunur, vd., Machine learning-based approach for filling gaps in streamflow data. *Semarak International Journal of Machine Learning*, 5(1), 46–63, 2025. <https://doi.org/10.37934/sijml.5.1.4663a>
- [28] H. T. Babacan, Examining streamflow in lower and upper basins due to climate change and the effects of forest fires: The Manavgat basin, Türkiye. *Hydrological Sciences Journal*, 70(5), 818–832, 2025. <https://doi.org/10.1080/02626667.2025.2461081>
- [29] C. W. Granger, Investigating causal relations by econometric models and cross-spectral methods. *Econometrica*, 37(3), 424–438, 1969. <https://doi.org/10.2307/19127911969>
- [30] B. Bergougui ve M. A. Zambrano-Monserrate, Assessing the relevance of the Granger non-causality test for energy policymaking: Theoretical and empirical insights. *Energy Strategy Reviews*, 59, 101743, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2025.101743>
- [31] D. A. Dickey ve W. A. Fuller, Distribution of the estimators for autoregressive time series with a unit root. *Journal of the American Statistical Association*, 74(366a), 427–431, 1979. <https://doi.org/10.1080/01621459.1979.10482531>
- [32] W. Wang, P. H. A. J. M. Van Gelder ve J. K. Vrijling, Trend and stationarity analysis for streamflow processes of rivers in western Europe in the 20th century. *Proceedings: IWA International Conference on Water Economics, Statistics, and Finance*, 810, 2005.
- [33] Ö. Yüksek, H. T. Babacan ve F. Saka, Yağış-akış modellemesinde optimum yapay sinir ağı yapısının araştırılması. *Türk Hidrolik Dergisi*, 2(1), 31–37, 2018.
- [34] M. J. Bahmani, Z. Kayhomayoon, S. G. Milan, F. Hassani, M. Malekpoor ve R. Berndtsson, Development of a new hybrid model to enhance streamflow estimation using artificial neural network and reptile search algorithm. *Scientific Reports*, 15, 6098, 2025. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-90550-x>
- [35] R. S. Oyarzabal, L. B. L. Santos, C. Cunningham, vd., Forecasting drought using machine learning: A systematic literature review. *Natural Hazards*, 121, 9823–9851, 2025. <https://doi.org/10.1007/s11069-025-07195-2>
- [36] J. J. More, The Levenberg–Marquardt algorithm: Implementation and theory. In *Numerical Analysis: Proceedings of the Biennial Conference held at Dundee, June 28–July 1, 1977* (pp. 105–116). Springer, Berlin, Heidelberg, 2006.
- [37] A. Yadav, P. Chithaluru, A. Singh, D. Joshi, D. H. Elkamchouchi, C. M. Pérez-Oleaga ve D. Anand, An enhanced feed-forward back propagation Levenberg–Marquardt algorithm for suspended sediment yield modeling. *Water*, 14(22), 3714, 2022. <https://doi.org/10.3390/w14223714>
- [38] L. Latifoğlu ve M. Özger, A novel approach for high-performance estimation of SPI data in drought prediction. *Sustainability*, 15(19), 14046, 2023. <https://doi.org/10.3390/su151914046>
- [39] J. Drisya, D. S. Kumar ve T. Roshni, Hydrological drought assessment through streamflow forecasting using wavelet enabled artificial neural networks. *Environment, Development and Sustainability*, 23, 3653–3672, 2021. <https://doi.org/10.1007/s10668-020-00737-7>
- [40] L. Breiman, J. Friedman, R. A. Olshen ve C. J. Stone, *Classification and Regression Trees*. Routledge, 2017. <https://doi.org/10.1201/9781315139470>
- [41] D. P. Adeke ve S. N. Mugume, A methodology for development of flood-depth-velocity damage functions for improved estimation of pluvial flood risk in cities. *Journal of Hydrology*, 132736, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2025.132736>
- [42] H. T. Babacan, Ö. Yüksek ve F. Saka, Investigation of impact of vapor pressure on hybrid streamflow prediction modeling. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 27, 890–902, 2023. <https://doi.org/10.1007/s12205-022-0488-4>
- [43] E. E. Başakın, Ö. Ekmekcioğlu, H. Çitakoğlu, vd., A new insight to the wind speed forecasting: Robust multi-stage ensemble soft computing approach based on pre-processing uncertainty assessment. *Neural Computing and Applications*, 34, 783–812, 2022. <https://doi.org/10.1007/s00521-021-06424-6>

- [44] H. Citakoğlu ve Ö. Coşkun, Comparison of hybrid machine learning methods for the prediction of short-term meteorological droughts of Sakarya Meteorological Station in Turkey. *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 75487–75511, 2022. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-21083-3>
- [45] H. Citakoğlu, Comparison of artificial intelligence techniques for prediction of soil temperatures in Turkey. *Theoretical and Applied Climatology*, 130, 545–556, 2017. <https://doi.org/10.1007/s00704-016-1914-7>
- [46] C. R. Brydges, Effect size guidelines, sample size calculations, and statistical power in gerontology. *Innovation in Aging*, 3(4), igz036, 2019., <https://doi.org/10.1093/geroni/igz036>

