

Bulanık Yapay Sinir Ağları ve Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağları ile Günlük Buharlaşma Tahmini

Demet YILDIRIM^{1,*} Bilal CEMEK² Erdem KÜÇÜKTOPCU² 

¹Karadeniz Tarımsal Araşt. Enst. Tarımsal Sulama ve Arazi Isl. Birimi, Samsun
²Ondokuz Mayıs Üniversitesi. Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim D., Samsun

*Sorumlu yazar (Corresponding author) e-mail: demet.yildirim@tarimorman.gov.tr

Geliş tarihi (Received): 11.10.2017

Kabul tarihi (Accepted): 09.07.2019

DOI: 10.21657/topraksu.654778

Öz

Hidrolojik döngü için buharlaşma önemli parametrelerden biridir. Buharlaşma su döngüsü ve sulama yönetimi gibi birçok çalışma için kullanılır. Buharlaşmayı hesaplamak için çeşitli yaklaşımlar geliştirilmiştir. Bu çalışmada farklı iklim parametreleri kullanılarak günlük buharlaşmayı tahmin etmek için Yapay Sinir Ağları (YSA) ve Uyarlamalı Ağ Yapısına Dayalı Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS) yöntemleri kullanılmıştır. Bu metotlarda test ve eğitim verisi olarak 3 meteoroloji istasyon (Samsun, Bafra ve Çarşamba) verisi kullanılmıştır. Ortalama sıcaklık, bağıl nem, güneşlenme şiddeti ve rüzgâr hızı farklı kombinasyonlar da tahmin için kullanılmıştır.

Belirtme katsayısı (R²), tahmin hatasının standart sapması (RMSE), ortalama mutlak hata (MAE) gibi farklı istatistik parametreleri kullanılarak model performansını değerlendirilmiştir. Sonuç olarak YSA ve ANFIS metotları özellikle sınırlı iklim parametrelerinin olduğunda buharlaşmayı tahmin etmede yararlı araçlardan olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: ANFIS, günlük buharlaşma, Samsun, yapay sinir ağları

Estimation of Daily Evaporation Using Fuzzy Artificial Neural Network (ANFIS) and Multilayer Artificial Neural Network System (YSA)

Abstract

Evaporation is one of the important parameters of hydrological cycle. Evaporation is used for many studies. such as water balance, planning and management of irrigation practices. In order to estimate of evaporation is used various approaches. In study Artificial Neural Network (ANN) and Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) is employed to estimate daily evaporation using different climatic parameters. For these methods are trained and tested using the data of three weather stations (Samsun, Bafra and Çarşamba). Mean temperature, relative humidity, global radiation, wind speed are used to estimate different combination for these models. Different statistic parameters such as coefficient of determination (R²), root mean square error (RMSE), mean absolute error (MAE) are used to evaluate performance of the methods. The results showed that ANN and ANFIS methods are useful tools to estimate of evaporation especially when the limited climate parameters are used.

Keywords: Adaptive neuro-fuzzy inference system, daily evaporation, Samsun, artificial neural network

GİRİŞ

Buharlaştırma su kaybı olarak su kaynakları yönetiminde ve gelişimde bir referans olup buharlaştırma oranını tahmini hidroloji planlanmasında oldukça önemli unsurlardan birisidir. Buharlaştırma yeryüzünde sıvı ve katı halde farklı şekillerde bulunan suyun meteorolojik faktörlerin etkisinde kalarak atmosfere gaz halinde geçişidir. Yeryüzüne düşen yağışın önemli bir bölümü buharlaştırma ve terleme yoluyla atmosfere geri kazanılır. Bu kayıpların belirlenmesi ve özellikle kurak mevsimler için hidrolojik olarak önem arz etmektedir. Buharlaştırma, güneş radyasyonu, sıcaklık, rüzgâr hızı, nem, atmosferik basınç ve çevresel koşulların etkilediği bir parametredir. Son yıllarda teknolojik anlamda özellikle bilgisayar alanında ilerlemeler hızlı bir şekilde artmaktadır. Bu gelişmeler sayesinde insanlar birçok alanda yaptıkları çalışmalarda hızlı olmakta ve zamandan kazanç sağlamaktadır.

İklim verilerinin kullanımı tarımsal faaliyetler ve meteoroloji için çok önemlidir. Farklı yöntemler kullanılarak eksik olan iklim verilerinin belirlenmektedir. Ancak, bu iklim verilerinin sadece klasik istatistiksel yöntemlerle incelenmesi yeterli olmamaktadır.

Ayrıca son yıllarda toprak su ve iklim parametreleri dikkate alınarak mevcut verilerden istenilen başka bir verinin tahmin edilmesinde yapay zeka teknikleri sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır. Günlük buharlaştırma tahmini, bitki su tüketimi (ET)'nin belirlenmesinde alternatif bir yol Yapay Sinir Ağları (YSA) ve Uyarlamalı Ağ Yapısına Dayalı Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFİS) gibi matematiksel modellerin uygulanmasıdır. YSA mimarisi biyolojik sinir ağlarından esinlenerek geliştirilmiş bir modeldir. Son yıllarda farklı bilimsel uygulamalarda bilgisayar teknolojilerinin gelişimi nedeniyle kendi alanında önemli bir artış olmuştur.

YSA ve ANFİS gibi farklı nemler ile buharlaştırmanın tahmininde farklı çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar; Kişi (2006) yapay sinir ağları ile farklı meteorolojik verileri kullanarak buharlaştırmanın modellenmesi tahmin etmiştir. Sudheer vd. (2002) çok değişkenli hidrolojik modellerin oluşturulmasında Radyal tabanlı yapay sinir ağlarını kullanarak gölde meydana gelen günlük buharlaşmayı tahmin etmişlerdir. Terzi ve Keskin (2005) yapay sinir ağlarında genelleştirilmiş regresyon modeli ile A sınıfı tava

buharlaştırma tahmini yapmışlardır. Doğan ve Işık (2005), Cemek vd. (2010), Boroomand – Nasab ve Joorabian (2011), Cemek vd. (2011), Chung vd. (2012), Atiaa ve Abdul – Qadir (2012) ve Karimi – Googhari (2012) yaptıkları çalışma farklı meteorolojik parametreleri kullanarak YSA ve ANFİS ile buharlaştırma tahmini yapmışlardır.

Çalışmada 3, 4 ve 5 girdi kullanarak YSA için farklı algoritmalar kullanarak ve ANFİS için farklı üyelik fonksiyonları kullanarak günlük buharlaştırma tahmini yapılmıştır. YSA modelinde LM ve SCG eğitim algoritması, tek katmanlı ve çift katmanlı ağ yapısı kullanarak 200, 400 ve 600 iterasyon sayısında tahminler yapılmış ve model performanslarına göre en iyi model belirlenmiştir. ANFİS için farklı girdiler yanında trimp, tramp, gausemf, gausemf2 gibi farklı üyelik fonksiyonlarında model performansları belirlenmiş ve en yüksek R2, en düşük RMSE ve MAE değerlerine göre en iyi model belirlenmiştir.

Bu çalışma YSA ve ANFİS yönteminin ideal olmayan koşullar için hızlı, pratik sonuçlar üretebilen, yüksek doğrulukta tahmin yapabilen ve geleneksel yöntemlerden daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir.

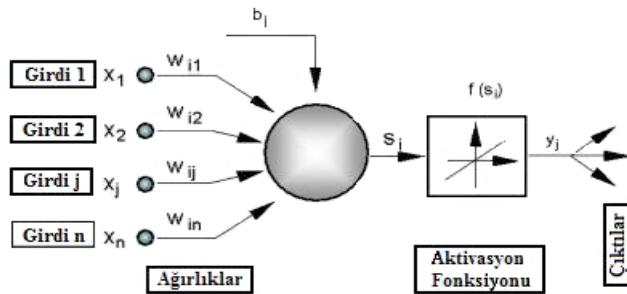
MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada Samsun için 1968–2008, Bafra için 1985–2006 ve Amasya için 1983–2010 yılları arasında meteorolojik veriler kullanılmıştır. Meteorolojik veri olarak ortalama sıcaklık, nem, rüzgâr hızı, global güneşlenme ve yağış kullanılmıştır. Bu meteorolojik veriler girdi olarak Yapay Sinir Ağları (YSA) ve Uyarlamalı Ağ Yapısına Dayalı Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFİS) modellerinde kullanılarak günlük buharlaştırma tahmin edilmiştir.

Yapay sinir ağları (YSA)

Yapay Sinir Ağları (YSA), insan beyninin özelliklerinden olan öğrenme yolu ile yeni bilgiler türetebilme ve keşfedebilme yeteneklerine bir yardım almadan otomatik olarak gerçekleştirmek için geliştirilen bir bilgisayar sistemidir. Sinir sisteminden yararlanılarak ortaya çıkarılan YSA paralel çalışma ve eğitebilme yeteneklerini kullanarak biyolojik sinir sistemine benzerlik gösterir. YSA ile bilgileri çok kolay ve hızlı bir şekilde işlenmesi sağlanır ve diğer yöntemlere göre daha cazip olmasını sağlar.

Bu ağlar öğrenme, hafızaya alma ve veriler arasındaki ilişkiyi ortaya çıkarma kapasitesine sahiptirler. YSA, 1943 yılında yapay sinir tanımını yaparak Şekil 1' deki gibi bir hücre modeli geliştiren McCulloch ve Pitts tarafından başlatıldığı kabul edilir (McCulloch ve Pitts, 1943). Çalışmalarında sinir hücrelerini sabit eşik değerli mantıksal elemanlar olarak modellemişlerdir. Daha sonra öğrenme üzerine çalışmaların yoğunlaştığı 1949 yılında Hebb, yapay sinir ağlarındaki öğrenme için başlangıç noktası sayılabilecek bir kuralı geliştirmiştir (Hebb, 1949). Genel olarak hücreler 3 katman halinde ve her katman içinde paralel olarak bir araya gelerek ağı oluştururlar. Bu katmanlar; Girdi Katmanı, Ara Katmanlar (Gizli Katman) ve Çıktı Katmanı'dır. Bir yapay sinir hücresi (nöron), kendisine gelen bir giriş değerini, kendisine gelen birden fazla bağlantıya ait ağırlık değerleri ile çarparak toplamını hesaplar. Sonra toplam değerini etkinlik fonksiyonundan geçirerek bir sonraki katmana çıkış olarak iletir. Çok katmanlı ağlarda, ara katmanlarda genellikle sigmoid etkinlik fonksiyonu, çıkış katmanında ise lineer etkinlik fonksiyonu kullanılır. Basit bir Yapay sinir ağları modeli Şekil 1' de verilmiştir (Jang, 1993).

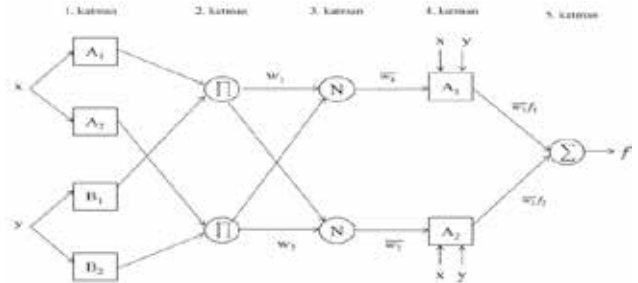


Şekil 1. Basit bir sinir ağları modeli
Figure 1. A simple neural network model

Uyarlamalı ağ yapısına dayalı bulanık çıkarım sistemi (ANFİS)

Uyarlamalı Ağ Yapısına Dayalı Bulanık Çıkarım Sistemi (Adaptive-Neural Network Based Fuzzy Inference Systems-ANFIS), yapay sinir ağlarının paralel hesaplayabilme ve öğrenme kabiliyeti ile bulanık mantığın çıkarım özelliğini ortak kullanan bir yapay zeka yöntemidir. Jang (1993) tarafından 1993 yılında geliştirilmiş olan ANFİS model Sugeno tipi bulanık çıkarım sistemini ve Melez öğrenme (Hybrid learning) algoritmasını kullanır. Uyarlamalı ağlar, doğrudan bağlanmış düğümlerden oluşur ve bu düğümler, bir işlem birimini gösterir. Düğümler arasındaki bağlantılar, aralarındaki değerler tam olarak belli olmayan bir ilgiyi (ağırlığı) gösterir. Adaptif

ağlar, sistem tanımlama için kullanılır. Verilen giriş-çıkış veri setleriyle tanımlanan bilinmeyen sistemin, en uygun ağ yapısı ve parametre setleriyle en iyi şekilde modellenmesinde kullanılır. Şekil 2' de ANFİS modeli şekilsel olarak gösterilmiştir.



Şekil 2. ANFİS Modeli (Jang, 1993)
Figure 2. ANFİS model (Jang, 1993)

Bu çalışmada YSA ve ANFİS' de meteorolojik veriler girdi olarak kullanılmış farklı kombinasyonlar ile oluşturulan modellerde günlük buharlaşma tahmin edilmiştir. YSA ve ANFİS modellerinde farklı kombinasyonlar Çizelge 1' de verilmiştir. Modeller için YSA' da tek katmanlı ve çift katmanlı ağ yapıları kullanılmıştır. Tek katmanlı ağ yapılarında 6*1, 8*1, 10*1, çift katmanlı 6*10*1, 8*10*1 ve 10*10*1 ağ yapılarında işlem yapılmıştır. Levenberg-Marquardt (LM) ve Scaled conjugate gradient (SCG) gibi iki farklı eğitim algoritması kullanılarak elde edilen sonuçlar. 200-400-600 kez iterasyon yapılarak hesaplanan değerler ile karşılaştırılmıştır.

Çizelge 1. YSA ve ANFİS modellerinde kullanılan girdiler
Table 1. Inputs used in ANN and ANFİS models

	Ort. Sıcaklık	Nem	Rüzgâr Hızı	Gün. Şiddeti	Yağış
YSA ₁	✓	✓	✓	✓	
YSA ₂	✓	✓	✓	✓	
YSA ₃	✓	✓	✓	✓	✓
ANFİS ₁	✓	✓	✓	✓	
ANFİS ₂	✓	✓	✓	✓	

BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışmada YSA ve ANFİS modelleri için ortalama sıcaklık, nem, rüzgâr hızı, global güneşlenme ve yağış verileri farklı kombinasyonlarda kullanılarak günlük buharlaşma tahmini yapılmıştır. Meteorolojik verilerin test ve eğitim verilerinin özet istatistik parametreleri; en büyük, en küçük, ortalama değer, çarpıklık ve standart sapma değerleri Çizelge 2' de verilmiştir.

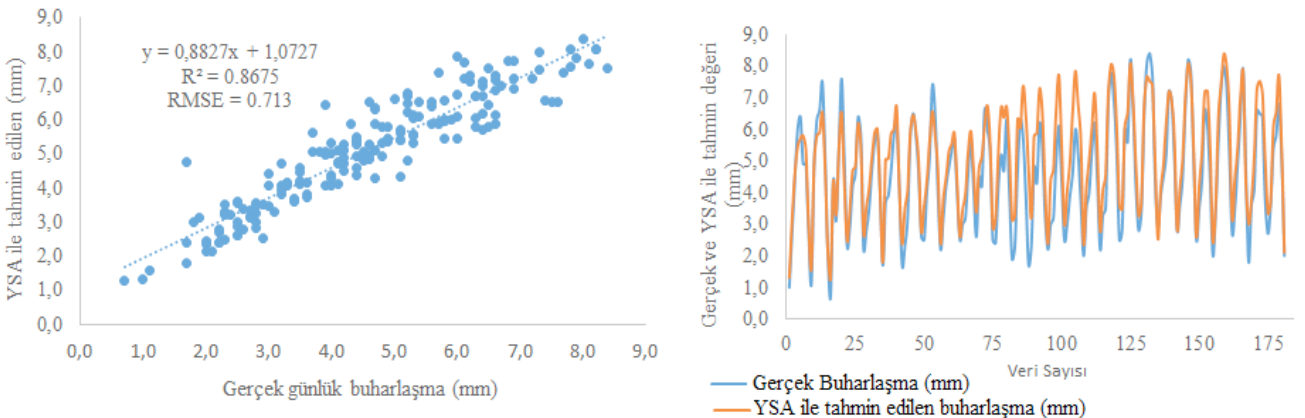
Çizelge 2. Test ve eğitim verilerinin özet istatistik parametreleri
Table 2. Summary statistical parameters of test and training data

Aşama	Değişkenler	En büyük	En küçük	Ortalama	Std Sapma	CV	Çarpıklık	
Test	Amasya	Ort. Sıcaklık	26.4	8	19.14	4.32	22.57	-0.307
		Nem	76	41.2	55.63	6.07	10.91	0.516
		Rüzgâr Hızı	3.1	0.9	1.55	0.369	23.81	0.877
		Global Gün.	144.6	0	13045.01	3233.655	24.79	-0.739
		Yağış	144.6	0	36.62	30.79	84.08	1.198
		Gün. Buh.	8.4	0.7	4.586	1.733	37.79	0.109
Eğitim	Samsun	Ort. Sıcaklık	26.50	3.10	16.29	5.51	33.82	-0.17
		Nem	86.00	55.80	74.64	5.45	7.30	-0.50
		Rüzgâr Hızı	5.4	1.00	2.17	0.61	27.97	1.72
		Global Gün.	19264.20	2638.91	10453.68	4418.48	42.27	-0.12
		Yağış	257.00	0.00	55.93	38.43	68.71	1.31
	Bafra	Gün. Buh.	6.10	1.00	3.10	1.26	40.74	0.41
		Ort. Sıcaklık	25.00	5.80	16.48	4.75	28.82	-0.23
		Nem	87.30	66.70	76.60	4.26	5.56	0.07
		Rüzgâr Hızı	4.10	0.50	1.71	0.55	32.22	0.70
		Global Gün.	17948.55	2708.90	11015.95	3896.41	35.37	-0.48
	Yağış	343.90	0.00	63.85	52.33	81.96	1.87	
	Gün. Buh.	7.10	0.90	3.51	1.44	41.03	0.15	

Çalışmada farklı girdiler kullanılarak YSA ve ANFİS uygulamalarında farklı kombinasyonlar da farklı modeller oluşturulmuştur. Modellerde Samsun ve Bafra buharlaşma verileri eğitim verisi. Amasya buharlaşma değerleri ise test verisi olarak kullanılmıştır. Toplamda 472 veri eğitim, 181 veri ise test verisi olarak kullanılmıştır. Farklı kombinasyonlar için buharlaşma tahmin edilmiş ve performans göstergeleri hesaplanarak karşılaştırılması yapılmıştır (Çizelge 3). YSA' da LM eğitim algoritmasında elde edilen model sonuçları SCG eğitim algoritmasından daha iyi olduğu belirlenmiştir. 3, 4, 5 girdi kullanılan tek katmanlı (6*1, 8*1 ve 10*1) model sonuçlarının çift katmanlı (6*10*1, 8*10*1 ve 10*10*1) model sonuçlarına göre daha yüksek R²'ye sahip olduğu elde edilmiş. Ortalama sıcaklık, nem, rüzgar hızı

ve global güneşlenme girdileri kullanılan LM eğitim algoritmasında. 600 iterasyon yapılarak 8*1 tek katmanlı ağ yapısına sahip 4*8*1 modelinde en yüksek R² (0.868) en düşük RMSE (0.713) ve MAE (0.661) değeri elde edilmiş ve en iyi buharlaşma tahmininin yapıldığı model olarak belirlenmiştir. Günlük buharlaşmanın YSA' ya göre en iyi tahmin edilen 4*8*1 model performans sonuçları Şekil 3' verilen grafik ile sunulmuştur. SCG eğitim algoritmasında tek katmanlı 8*1 ağ yapısında ortalama sıcaklık, nem, rüzgar hızı, global güneşlenme ve yağış girdilerinin kullanıldığı YSA3 (5*8*1) modelinde yüksek doğrulukta (R² 0.85) günlük buharlaşma tahmini yapılmıştır.

ANFİS' de YSA' da olduğu gibi 3, 4 ve 5 girdi kullanılmış ve trimp, tramp, gaussmf ve gaussmf2



Şekil 3. YSA ile tahmin edilen 4*8*1 modelinin performans grafiği
Figure 3. Performans chart of 4*8*1 model estimated by ANN

Çizelge 3. Yapay sinir ağları model performanslarının karşılaştırılması
Table 3. Comparison of artificial neural network model performance

Eğitim Algoritması	Ağ Yapısı	Model	R ²			RMSE			MAE			Model Ağ Yapısı
			200	400	600	200	400	600	200	400	600	
LM	6*1	YSA1	0.753	0.815	0.788	0.990	0.790	0.910	0.783	0.621	0.705	3*6*1
		YSA2	0.822	0.805	0.852	0.853	0.863	0.771	0.734	0.652	0.618	4*6*1
		YSA3	0.832	0.851	0.849	0.795	0.760	0.827	0.633	0.584	0.683	5*6*1
	8*1	YSA1	0.803	0.774	0.759	0.79	0.970	1.870	0.632	0.724	1.510	3*8*1
		YSA2	0.852	0.840	0.868	0.826	0.834	0.713	0.561	0.666	0.661	4*8*1
		YSA3	0.831	0.863	0.851	0.813	0.722	0.736	0.600	0.577	0.562	5*8*1
	10*1	YSA1	0.692	0.752	0.803	1.000	0.910	0.880	0.749	0.707	0.700	3*10*1
		YSA2	0.795	0.812	0.803	1.040	0.845	1.010	0.663	0.800	0.840	4*10*1
		YSA3	0.865	0.824	0.852	0.792	0.907	0.822	0.642	0.718	0.647	5*10*1
	6*10*1	YSA1	0.655	0.651	0.660	1.120	1.080	1.060	0.858	0.844	0.847	3*6*10*1
		YSA2	0.725	0.747	0.826	1.015	1.055	0.996	0.776	0.799	0.804	4*6*10*1
		YSA3	0.786	0.761	0.796	0.971	0.976	0.857	0.678	0.749	0.731	5*6*10*1
	8*10*1	YSA1	0.648	0.623	0.667	1.280	1.310	1.180	1.010	0.908	1.074	3*8*10*1
		YSA2	0.748	0.629	0.762	1.028	1.108	0.947	0.732	0.862	0.728	4*8*10*1
		YSA3	0.798	0.805	0.772	1.000	0.847	0.851	0.830	0.681	0.640	5*8*10*1
	10*10*1	YSA1	0.787	0.759	0.560	0.970	1.190	1.390	0.745	0.915	1.069	3*10*10*1
		YSA2	0.717	0.798	0.722	1.018	1.144	1.066	0.832	0.973	0.807	4*10*10*1
		YSA3	0.763	0.737	0.754	1.135	1.082	1.018	0.868	0.819	0.773	5*10*10*1
SCG	6*1	YSA1	0.746	0.791	0.788	1.100	0.990	1.020	0.744	0.785	0.857	3*6*1
		YSA2	0.773	0.779	0.766	1.384	1.094	1.095	1.048	0.801	0.803	4*6*1
		YSA3	0.712	0.722	0.688	1.446	1.230	1.937	1.501	1.107	0.865	5*6*1
	8*1	YSA1	0.755	0.783	0.761	1.410	0.930	0.990	1.157	0.715	0.730	3*8*1
		YSA2	0.765	0.796	0.771	1.295	1.175	1.219	0.944	0.874	0.900	4*8*1
		YSA3	0.687	0.766	0.858	1.361	1.279	0.758	1.013	0.945	0.544	5*8*1
	10*1	YSA1	0.763	0.786	0.790	1.330	1.080	0.990	1.058	0.842	0.758	3*10*1
		YSA2	0.766	0.798	0.771	1.160	1.203	1.205	0.835	0.889	0.916	4*10*1
		YSA3	0.827	0.782	0.832	1.445	1.298	1.123	1.105	0.845	0.989	5*10*1
	6*10*1	YSA1	0.743	0.773	0.781	1.500	1.030	0.940	1.243	0.781	0.721	3*6*10*1
		YSA2	0.571	0.701	0.798	1.344	1.204	1.060	0.921	0.782	1.030	4*6*10*1
		YSA3	0.709	0.773	0.775	1.430	1.587	1.372	1.056	1.220	1.067	5*6*10*1
	8*10*1	YSA1	0.737	0.709	0.736	1.000	1.260	1.040	0.781	0.956	0.807	3*8*10*1
		YSA2	0.657	0.769	0.751	1.574	1.109	1.594	1.186	1.770	1.273	4*8*10*1
		YSA3	0.761	0.806	0.763	1.588	1.410	1.491	1.287	1.096	1.132	5*8*10*1
	10*10*1	YSA1	0.760	0.824	0.802	1.350	0.940	0.920	1.092	0.753	0.747	3*10*10*1
		YSA2	0.810	0.737	0.769	0.970	1.200	1.052	0.720	0.754	0.897	4*10*10*1
		YSA3	0.750	0.761	0.735	1.857	1.368	1.443	1.444	1.035	1.100	5*10*10*1

gibi farklı üyelik fonksiyonlarında günlük buharlaşmanın tahmini yapılmıştır. Model performans sonuçları Çizelge 4’ de verilmiştir. 4 ve 5 girdi ile oluşturulan ANFİS₂ ve ANFİS₃ modellerinde ANFİS1 modeline göre daha yüksek sonuçlar elde edilmiştir. Ortalama sıcaklık, nem, rüzgar hızı, global güneşlenme ve yağış girdilerinin kullanıldığı gausmf üyelik fonksiyonun da ANFİS₃ modelinde en iyi günlük buharlaşma tahmin edilmiştir. ANFİS₃ modelinde gerçek ve

tahmin edilen buharlaşma karşılaştırıldığında 0.994 R², 0.124 RMSE ve 0.072 MAE değerleri elde edilerek yüksek doğrulukta sonuç belirlenmiştir. En yüksek doğrulukta tahmin edilen ANFİS₃ model performans grafiği Şekil 4’ de verilmiştir.

Çalışmada YSA ve ANFİS için çıkan en iyi modeller değerlendirilerek Samsun ili ve Bafra ilçesi için günlük buharlaşma tahmini yapılmıştır. YSA’ da LM eğitim algoritmasında 4*8*1 ağ

yapısına sahip model. ANFİS de 5 girdiye gausmf üyelik fonksiyonuna sahip 3. model ile tahmin yapılmış ve model performansı Şekil 5 ve Şekil 6' da verilmiştir. Test ve eğitim verilerine göre YSA ve ANFİS de seçilen en iyi model performansları Çizelge 5' de verilmiştir. YSA. Samsun için 4*8*1 model sonucunda günlük buharlaşma

Çizelge 4. ANFİS de tahmin edilen günlük buharlaşma model performansları

Table 4. Performans of daily evaporation model estimated by ANFIS

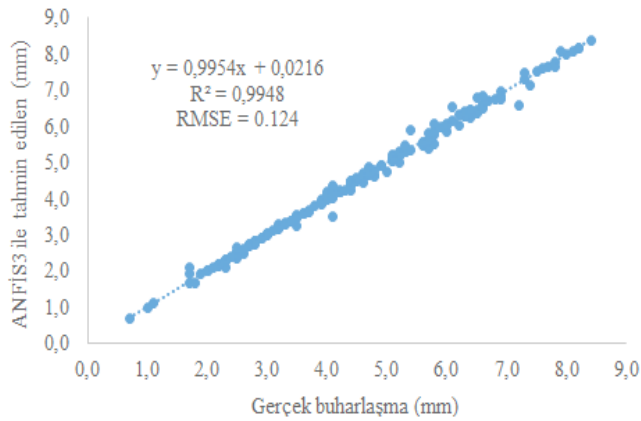
Girdiler	Üyelik Fonksiyonu	R ²	RMSE	MAE
ANFİS ₁	trimp	0.905	0.532	0.398
	tramp	0.895	0.543	0.420
	gausmf	0.905	0.516	0.396
	gausmf2	0.897	0.538	0.413
ANFİS ₂	trimp	0.946	0.400	0.287
	tramp	0.939	0.424	0.308
	gausmf	0.940	0.422	0.307
	gausmf2	0.956	0.360	0.203
ANFİS ₃	trimp	0.978	0.252	0.157
	tramp	0.965	0.321	0.227
	gausmf	0.994	0.124	0.072
	gausmf2	0.986	0.199	0.130

Çizelge 5. YSA ve ANFİS için en iyi model sonuçları

Table 5. The best model results for ANN and ANFIS

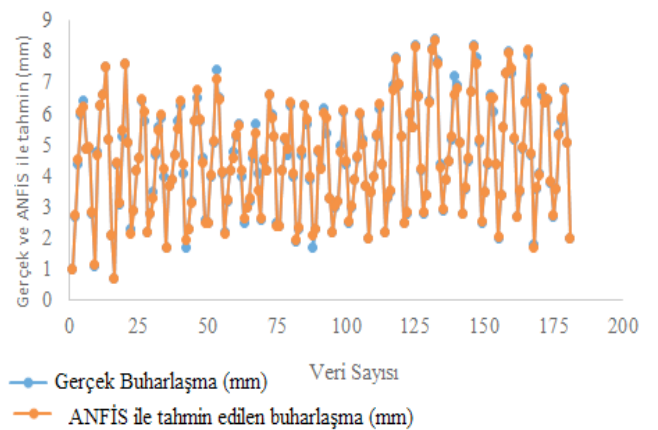
	Test Verisi		Eğitim Verisi			
	Amasya		Samsun		Baфра	
	YSA*	ANFİS*	YSA	ANFİS	YSA	ANFİS
R ²	0.868	0.994	0.761	0.95	0.833	0.976
RMSE	0.713	0.124	0.684	0.282	1.228	0.229
MAE	0.661	0.072	0.491	0.140	1.060	0.133

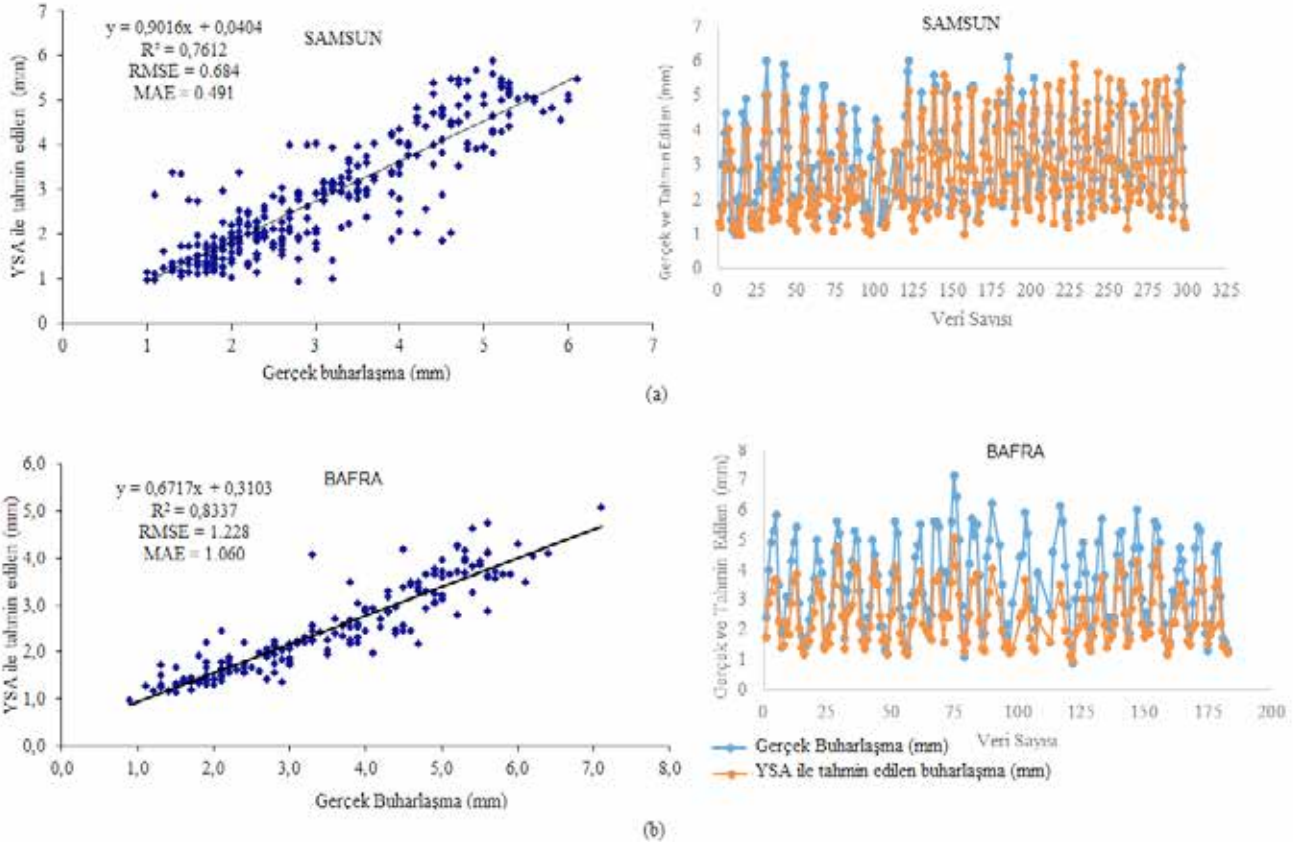
* 4*8*1 ağı yapısında YSA modeli. ANFİS3 gausmf model en iyi model belirlenmiştir.



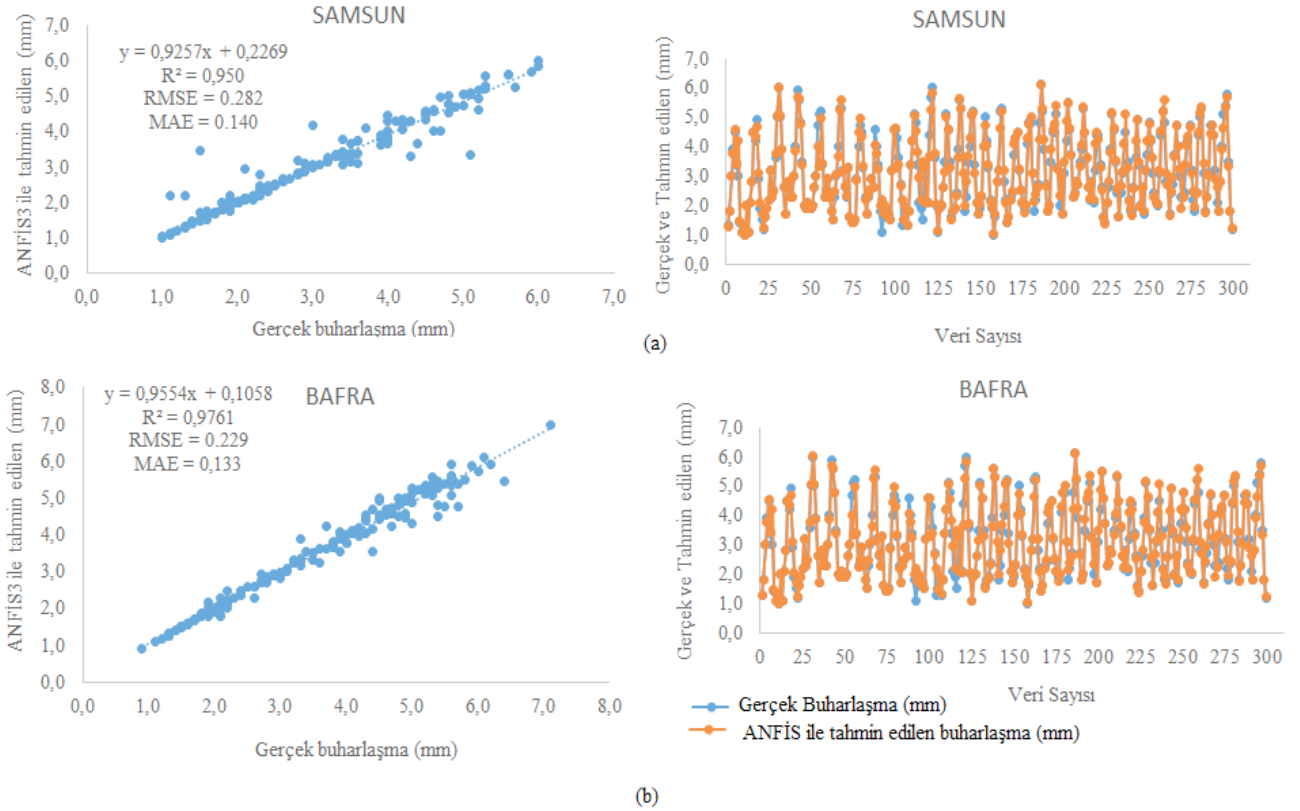
Şekil 4. ANFİS3 ile tahmin edilen gausmf üyelik fonksiyonuna sahip modeli performans grafiği
Figure 4. Performans chart of model with gausmf membership function estimated by ANFİS3

yüksek doğrulukta (R² 0.73. RMSE 0.684. MAE 0.491) tahmin edilmiştir (Şekil 5-a). Baфра için model performansı' nda R² 0.833. RMSE 1.22 ve MAE 1.06 olarak hesaplanmış (Şekil 5-b) ve yüksek doğrulukta günlük buharlaşma tahmin edilmiştir. ANFİS₃ modeline göre Samsun ve Baфра günlük buharlaşma YSA modellerine göre daha yüksek doğrulukta tahmin edilmiştir. ANFİS₃' e göre Samsun için günlük buharlaşma tahmininin' de 0.950 R². 0.282 RMSE ve 0.142 MAE performans değerleri elde edilmiştir (Şekil 6-a). Baфра için günlük buharlaşma tahmininde belirtme katsayısı (R²) 0.976. RMSE 0.229 ve MAE değeri 0.133 olarak hesaplanmıştır (Şekil 6-b). Buharlaşma tahmininde YSA ve ANFİS modellerinin kullanımı ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Afşar 2008. Chung vd., 2012, Kaarimi- Googhari vd., 2012, Boroomand-Nasab ve Joorabian 2011, Atiaa ve Abdal-Qadir (2011) tarafından yapılan çalışmalarda farklı algoritmalar kullanarak buharlaşmanın yüksek doğrulukta tahmin edildiğini belirlemişlerdir. Afşar 2008' de yaptığı te çalışmasında çok katmanlı yapay sinir ağı. radyal tabanlı yapay sinir ağı, genelleştirilmiş regresyon yapay sinir ağı ve ANFİS modellerinde farklı algoritmalar için pan buharlaşmasını tahmin etmiş ve farklı istasyonlarda Radyal tabanlı YSA' nın iyi sonuçlar verdiğini belirlemiştir. ANFİS modelinin de istasyonda yüksek doğrulukta tahmin yaptığı elde edilmiştir. Antonopoulos ve Antonopoulos, (2017) yaptıkları çalışmada günlük meteorolojik verileri kullanarak Priestley-Taylor, Makkink, Hargreaves ve kütle transferi ile hesapladıkları referans bitki su tüketimini YSA ile tahmin etmişlerdir. Çalışmada elde edilen çıktılar yapılan çalışmalar ile karşılaştırıldığında benzer sonuçlar olduğu belirlenmiştir.





Şekil 5. YSA2 4*8*1 modeline göre Samsun (a) ve Bafra (b) günlük buharlaşma performans sonuçları
Figure 5. Performance results of Samsun (a) ve Bafra (b) daily evaporation according to YSA2 4*8*1 model



Şekil 6. ANFIS₃ gausmf üyelik fonksiyonuna göre Samsun (a) ve Bafra (b) günlük buharlaşma performans sonuçları
Figure 6. Performance results of Samsun (a) ve Bafra (b) daily evaporation according to gausmf membership function by ANFIS₃

SONUÇLAR

Günlük buharlaşmanın tahmin edilmesinde YSA ve ANFİS modellerinde farklı kombinasyonlarda girdi ve algoritmalar değerlendirilmiştir. YSA ve ANFİS de R^2 . RMSE ve MAE performans değerleri hesaplanarak en iyi model belirlenmiştir. Samsun ve Bafra günlük buharlaşma değerleri model tahmin etmede eğitim verisi olarak ve Amasya günlük buharlaşma verileri modeli test etmede kullanılmıştır. YSA' da ortalama sıcaklık, nem, rüzgar hızı ve global güneşlenme verileri girdi olarak kullanılmış ve tek katmanlı (4*8*1) ağ yapısının' da LM eğitim algoritmasına sahip model için yüksek doğrulukta (R^2 0.86, RMSE 0.713) günlük buharlaşma tahmin edilmiştir. 4*8*1 ağ yapısında Samsun ve Bafra buharlaşma verileri tahmini yapılmış ve yüksek doğrulukta buharlaşma tahmin edilmiştir. ANFİS için ortalama sıcaklık, nem, rüzgar hızı, global güneşlenme ve yağış girdileri kullanarak ANFİS₃ modelinde gausmf üyelik fonksiyonunda en doğru (R^2 0.99, RMSE 0.124) günlük buharlaşma tahmin edilmiştir. Bu çalışma ile günlük buharlaşmanın tahmininde YSA ve ANFİS modellerinin kullanılabilirliği belirlenmiştir. YSA ve ANFİS modellerini karşılaştırdığımızda ANFİS' in daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. Günlük buharlaşmanın ortalama sıcaklık, nem, rüzgar hızı, global güneşlenme ve yağış girdilerinin kullanarak yüksek doğrulukta tahmin yapılması mümkün olmaktadır.

Günümüzde YSA ve ANFİS modelleri ile bazı meteorolojik verilerin ölçümlerinin yapılmaması, hatalı yapılması durumunda ortalama sıcaklık, nem, rüzgâr hızı gibi girdilerin kullanarak buharlaşmanın doğru tahmin yapılması ile mümkündür. Bu modeller masrafsız, daha kısa yoldan çözüme ulaşan, karmaşık verilerin çözümlenmesinde yol gösteren model olup sağlıklı ve başarılı sonuçların elde edilebileceğini ortaya koymuştur. Çalışmada kullanılan yöntemler ile tarımsal faaliyetlerin doğru yapılması için su yönetimi, su kullanım stratejileri gibi çalışmalara katkı sağlayan önemli bulgular elde edilmiştir.

KAYNAKLAR

Antonopoulos VZ, Antonopoulos AV (2017). Daily reference evapotranspiration estimates by artificial neural networks technique and empirical equations using limited input climate variables. Computers and Electronics in Agriculture. 132: 86-96.

Afşar S (2008). Yapay sinir ağları ve bulanık mantık yöntemleri kullanılarak tava buharlaşma tahmini yapılması. İnşaat Müh. ABD. Yüksek Lisans Tezi. Kayseri.

Atiaa AM, Abdul-Oadir AM (2012). Using Fuzzy Logic for Estimating Monthly Pan Evaporation From Meteorological Data in Emara/South of Iraq. J. Baghdad for Sci., 9(1): 133-140.

Boroomand-Nasab B, Joorabian M (2012). Estimating Monthly Evaporation Using Artificial Neural Networks. Journal of Environmental Science and Engineering. 5:88-91.

Cemek B, Yıldırım D, Atış A, Köksal ES, Temizel K (2010). Samsun ili aylık referans bitki su tüketiminin yapay sinir ağlarıyla belirlenmesi. I. Ulusal Su Kaynakları Kongresi. I / s. 44-52. 1-4 Haziran 2010, Eskişehir.

Cemek B, Ünlükara A, Karaman S, Yıldırım D, Atış A (2011). Marul yetiştirilen topraklarda toprak tuzluluğunun yapay sinir ağları ile belirlenmesi. II. Ulusal Toprak ve Su Kaynakları Kongresi. II / s. 811-817. 22-25 Kasım, Ankara.

Chung CH, Chiang YM, Chang FJ (2012). A Spatial Neural Fuzzy Network for Estimating Pan Evaporation at Ungauged Sites. Hydrology and Earth System Sciences, 16. 255-266.

Doğan E, Işık S (2005). Sapanca Gölü Günlük Buharlaşma Miktarının Radyal Temelli Yapay Sinir Ağı Modeli Kullanılarak Tahmin Edilmesi. Bilim Modern Yöntemler Sempozyumu, s. 807-814. Kasım 16-18. Kocaeli.

Hebb D (1949). The Organization of Behavior. Willey. NewYork.

Jang (1993). ANFIS: Adaptive-network-based fuzzy inference system. IEEE Trans. Syst.. Man. Cybern, 2: 665-685.

Jang JS, Sun CT, Mizutani E (1997). Neuro-fuzzy and soft computing: A computational approach to learning and machine intelligence. Upper Saddle River. NJ: Prentice-Hall. 5-15.

Kişi O (2006). Daily pan evaporation modelling using a neuro-fuzzy computing technique, J. Hydrol., 329: 636-646.

Karimi-Googhari S (2012). Daily pan evaporation estimation using a neuro-fuzzy-based model. Journal of Agricultural Science and Technology. 2: 223-228.

McCullogh WS, Pitts WA (1943). A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. Bull. Math. Biophysics. Vol. 5: 115-133 p.

Sudheer PK, Gosain AK, Mohana RD, Saheb SM (2002). Modeling evaporation using an artificial neural network algorithm. hydrological process. 16:3189- 3202.

Terzi Ö, Keskin EM (2005). Yapay sinir ağları yaklaşımı kullanarak günlük tava buharlaşmanın tayini. YMO Teknik Dergi. 3683-3693.