

Referans Evapotranspirasyonun Zaman, Konum, Bağlı Nem ve Rüzgâr Hızı Girdileri Kullanılarak Yapay Sinir Ağlarıyla Tahmin Edilmesi*

Necati AKSU^{1*}

¹Milli Eğitim Müdürlüğü, Araştırmacı, Yalova.

*e-posta: necatiaksu@hotmail.com.tr

Geliş Tarihi: 19.01.2016; Kabul Tarihi: 17.05.2016

Öz: Bu çalışma ile sınırlı olan su kaynaklarının planlanmasında ve yönetiminde önem arz eden referans evapotranspirasyonun (ET_0) kolay ve ekonomik olarak tahmini amaçlanmıştır. Bu doğrultuda, Yapay Sinir Ağlarının (YSA) karmaşık sebep-sonuç ilişkilerini çözebilme yeteneğinden yararlanmak suretiyle, temin edilmesi çeşitli zorluklar içeren ve ayrıca yüksek maliyet ve uzun zaman gerektiren birçok meteorolojik girdi yerine, bu girdileri şekillendiren doğal veriler ve daha az meteorolojik veri kullanılarak ET_0 tahmin edilmiştir. Bu kapsamda; zaman, enlem, yükseklik ve denize mesafe gibi konum değişkenleriyle, bağlı nem ve rüzgâr hızı gibi meteorolojik değişkenler girdi olarak, FAO PM ET_0 değerleri de çıktı (hedef) olarak kullanılan farklı yapı ve özelliklerde çok sayıda ağ projesi oluşturulmuştur. Bu projeler Levenberg Marquardt (LM) algoritması ve farklı yinelemelerle eğitilerek test edilmiş ve tahmin başarısı en yüksek YSA belirlenmiştir. Belirlenen ağın Ortalama Mutlak Hatası (MAE) = 0.11 mm gün⁻¹; Ortalama Mutlak Yüzde Hatası (MAPE) = % 4.3; Belirlilik Katsayısı (R^2) = 0.99; Ortalama Göreceli Hatası (OGH) = 0.04; Kök Ortalama Kare Hatası (KOKH) = 0.15 mm gün⁻¹ ve NS katsayısı 0.99 bulunmuştur. Netice itibarıyla, güvenle kullanılabilir doğrulukta bir sonuç elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: ET_0 , referans evapotranspirasyon, YSA, konum, meteorolojik faktörler.

Estimation of Reference Evapotranspiration with Artificial Neural Networks Using Values of Time, Location, Relative Humidity and Wind Speed

Abstract: In this study, the easy and economic way of prediction of the reference evapotranspiration (ET_0), an important factor in planning and management of limited water resources, was aimed. Accordingly, Evapotranspiration (ET_0) was predicted with the helping Artificial Neural Networks (ANN) ability in solving the complex cause-and-effect relationships by using natural data and less meteorological data instead of large amount of real meteorological data that require various

* Doktora tezinden hazırlanmıştır.

difficulties, high costs, and longer durations. In this context, numerous network project in different structures and features has been generated. In these projects, location variables such as time, latitude, elevation, distance to sea and meteorological variables such as relative humidity and wind speed have been used as input data while FAO PM ET_0 has been used as output (target) value. These projects have been tested by the training with Levenberg Marquardt algorithms and different iterations, ANN with the highest prediction success was identified. On the selected network, Nash-Sutcliffe Coefficient (NS), Root Mean Square Error (RMSE), Mean Relative Error (MRE), Determination Coefficient (R^2), the Mean Absolute Percentage Error (MAPE), and the Mean Absolute Error (MAE) between the ANN predictions and the FAO PM ET_0 were 0.99, 0.15 mm day⁻¹, 0.04, 0.99, 4.3%, and 0.11 mm day⁻¹, respectively. In conclusion a reliable result was obtained.

Key Words: ET_0 , reference evapotranspiration, ANN, location, meteorological factors.

Giriş

Dört temel hayat unsurundan biri olan ve sınırlı miktarda bulunan tatlı suyun verimli kullanımını önemlidir. Bu kullanımda en büyük pay tarımsal sulamaya aittir. Tarımsal sulamada ideal kullanım ise ihtiyaç duyulan miktarın bilinmesine bağlıdır.

Bu miktarın belirlenmesi, su kaynaklarının planlanması ve yönetimi gibi faaliyetlerin önemli bir unsurunu oluşturan referans evapotranspirasyonun (ET_0) tespit veya tahmin edilmesiyle mümkündür. Yapılan çalışmayla bu tahminin kolay ve ekonomik yöntemi araştırılmıştır. Bu amaçla, kolay temin edilebilen girdiler ve Yapay Sinir Ağlarından (YSA) yararlanılmıştır.

Geçmişte bu doğrultuda birçok çalışma yapılmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Bu çalışmaların tümünde meteorolojik girdilerin farklı birleşimleri kullanılmıştır. Bu çalışmada ise farklı olarak daha az meteorolojik girdi ile birlikte zaman ve konum değerleri kullanılmıştır. ‘Zaman’ da aslında Dünya-Güneş ilişkisi açısından bir konum değeri ifade etmektedir. Bu anlamda girdiler; meteorolojik girdiler ve konum girdileri olarak tanımlanabilir. Aşağıda zaman ve konumun ET_0 ile ilişkisi konusunda ortaya konulan bazı görüşler aktarılmıştır.

Linacre (1999), bir bölgeye ait bazı iklim değerlerini kullanarak o yerin enlem, yükseklik ve denize uzaklığını; aynı şekilde bir bölgeye ait enlem, yükseklik ve denize uzaklık değerlerini kullanarak o yerin bazı iklim değerlerini yaklaşık olarak hesapladıktan sonra, elde ettiği sonuçlar çerçevesinde; konumdan iklimin veya iklimden konumun tahmininde iklim ve coğrafya arasındaki ampirik ilişki seviyesinin önemli olduğunu, yerel şartlar göz ardı edildiğinde bile sonuç alınabildiğini ve bu durumun ilginç olduğunu, bu tür normatif tahminlerin gerçek gözlemlerle karşılaştırılmasıyla bu ilişkilerin öneminin daha iyi değerlendirilebileceğini ifade etmiştir.

Allen ve ark. (1998)’a göre; ET_0 ’ı etkileyen faktörler sadece iklim parametreleridir. Dolayısıyla ET_0 ; belirli bir konum ve zamanda atmosferin buharlaşma gücünü ifade eden ve hava verilerinden hesaplanan bir iklim parametresidir.

Meteoroloji Genel Müdürlüğü verilerine göre; iklim elemanları oluşumlarını etkileyen faktörler ile şekillenirler. Bu faktörler; enlem etkisi, yükseklik etkisi, deniz ve kara etkisi, deniz akıntıları etkisi, yer şekilleri etkisi ve bitki örtüsü etkilerinden oluşur (MGM, 2013).

Yukarıdaki bilgiler bağlamında; mademki ET_0 zaman ve konumun bir fonksiyonudur, o halde zaman ve konum bilgisinden tahmin edilmesi mümkündür. Bunun için gerekli olan ise, oldukça karmaşık bu ilişkileri analiz edebilecek bir yöntemin kullanılmasıdır. Bu yöntem; yapay zekâ konusunun önemli alt dallarından biri olan YSA'nın tahmin amaçlı kullanımı olabilir.

Materyal ve Yöntem

Ülkemizde bulunan 143 meteoroloji istasyonuna ait uzun yıllar ortalaması aylık veriler kullanılarak FAO PM eşitliğiyle (Eşitlik 1) hesaplanan günlük ET_0 , ay bazında zaman, istasyonlara ait; enlem, yükseklik, denize uzaklık, ortalama aylık bağıl nem ve rüzgâr hızı değerleri kullanılmıştır.

YSA yazılımı olarak çeşitli paket programlardan yararlanılmıştır.

FAO PM Eşitliği:

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(Rn - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (1)$$

Eşitlikte;

ET_0 : Referans evapotranspirasyon [$mm \text{ gün}^{-1}$],

Rn : Bitki yüzeyinde net radyasyon [$MJ \text{ m}^{-2} \text{ gün}^{-1}$],

G : Toprak ısı akısı yoğunluğu [$MJ \text{ m}^{-2} \text{ gün}^{-1}$],

T : 2 m yükseklikteki ortalama günlük hava sıcaklığı [$^{\circ}C$],

u_2 : 2 m yükseklikteki rüzgâr hızı [$m \text{ s}^{-1}$],

e_s : Doymun buhar basıncı [kPa],

e_a : Mevcut buhar basıncı [kPa],

$e_s - e_a$: Doymun buhar basıncı açığı [kPa],

Δ : Buhar basıncı eğrisi eğimi [$kPa \text{ } ^{\circ}C^{-1}$],

γ : Psikrometrik sabit [$kPa \text{ } ^{\circ}C^{-1}$].

Eşitlik girdileri:

- Net radyasyon,
Solar radyasyon, ortalama sıcaklık, bağıl nem ve albedo ile hesaplanmaktadır.
- Toprak ısı akısı yoğunluğu,
Ortalama sıcaklık değişimiyle hesaplanmaktadır.
- Psikrometrik sabit,
Yüksekliğe bağlı olarak belirlenmektedir.
- Ortalama sıcaklık,
Doğrudan en düşük-en yüksek sıcaklık değerlerinin ortalamasıdır.
- Rüzgâr hızı,
Doğrudan rüzgâr hızı değeridir.

- Buhar basıncı açığı,
En düşük-en yüksek sıcaklıklar ve bağıl nem ile hesaplanmaktadır.
- Buhar basıncı eğrisi eğimi,
En düşük-en yüksek sıcaklıkla belirlenmektedir.

Eşitlik girdilerinin belirlenmesinde kullanılan ve ölçülerek elde edilen meteorolojik büyüklükler:

- En düşük sıcaklık,
Eşitlikte doğrudan yer alan ortalama sıcaklığı belirler. Net radyasyonu, toprak ısı akısı yoğunluğunu, buhar basıncı açığını ve buhar basıncı eğrisinin eğimini etkiler.
- En yüksek sıcaklık,
Eşitlikte doğrudan yer alan ortalama sıcaklığı belirler. Net radyasyonu, toprak ısı akısı yoğunluğunu, buhar basıncı açığını ve buhar basıncı eğrisinin eğimini etkiler.
- Bağıl nem,
Buhar basıncı açığını ve net radyasyonu etkiler.
- Rüzgâr hızı,
Eşitlikte doğrudan yer alır.
- Güneşlenme,
Solar radyasyonu, dolayısıyla eşitlikte yer alan net radyasyonu etkiler.
- Solar radyasyon.
Ölçüm değerleri mevcut olmadığında, 'zaman', 'enlem' ve 'güneşlenme' verileri kullanılarak hesaplanır. Net radyasyonu etkiler.

YSA'da kullanılan girdiler:

- Zaman,
En düşük-en yüksek sıcaklığı, güneşlenme ve solar radyasyonu etkiler. Zaman-sıcaklık ilişkisine ve dolayısıyla mevsimlere bağlı olarak bağıl nem ve rüzgâr hızı girdilerini etkiler.
- Konum;
– Enlem (en düşük-en yüksek sıcaklığı ve solar radyasyonu etkiler),
– Yükseklik (en düşük-en yüksek sıcaklığı, kısmen bağıl nemi etkiler),
– Denize mesafe (bağıl nemi ve sıcaklığı etkiler).
- Bağıl nem (Zaman ve konum bu verinin şekillenmesinde tam belirleyici olmadığından, doğrudan YSA girdisi olarak kullanılmıştır. Zaman ile bağıl nem arasında 0.95; konum girdileri ile bağıl nem arasında çoklu regresyonla 0.78 korelasyon hesaplanmıştır.),
• Rüzgâr hızı (Zaman ve konum bu verinin şekillenmesinde tam belirleyici olmadığından, doğrudan YSA girdisi olarak kullanılmıştır. Zaman ile rüzgâr hızı arasında 0.66 korelasyon hesaplanmıştır. Konumla rüzgâr hızı arasındaki ilişki çok küçük bulunmuştur).

YSA nedir? Nasıl çalışır?

Yapay Sinir Ağlarının üzerinde ittifak edilmiş tek bir tanımı yoktur. Geniş ya da dar kapsamlı birçok tanım yapılmıştır. Kapsamlı ve genel kabul gören bir tanım Haykin (1999) tarafından şu şekilde yapılmıştır:

'Bir sinir ağı; -deneysel bilgi depolama- ve -kullanıma uygun hale getirme- eğilimine sahip, paralel dağıtılmış basit işlem birimlerinden oluşan, yekpare bir işlemcidir. İki bakımdan beyne benzer:

1. Bilgi, ağ tarafından bir öğrenme süreciyle çevreden kazanılır.

2. Kazanılan bilgiler, sinaptik ağırlıklar olarak bilinen nöronlar arası bağlantı kuvvetleri kullanılarak saklanır.'

Yurtoğlu (2005)'ya göre; YSA, ağırlık atama yöntemiyle önceki örneklerin girdi değişkenleriyle hedef değişkenleri arasındaki ilişkiyi belirlerler. Diğer bir deyişle, eğitilirler. Bu ilişkiler bir kez belirlendikten yani ağ eğitildikten sonra, YSA artık yeni verilerle çalıştırılarak tahminler üretebilir. Eğitilmiş bir ağın performansı, amaçlanan sinyal ve hata kıstası ile ölçülür. Ağın çıktısı, amaçlanan çıktı ile karşılaştırılarak hata payı elde edilir. Hata payını azaltacak şekilde ağırlıkları ayarlamak için 'Geri Yayılım - (Backpropagation)' olarak adlandırılan bir algoritma kullanılır. Bu işlem defalarca tekrar edilerek ağın eğitimi tamamlanır. Bu eğitime işlemiyle, performans ölçümleri bazında en uygun çözüm elde edilmeye çalışılır.

1- Ağ Tasarımı

Verilerin hazırlanması, analiz edilmesi, bölümlenmesi ve ön işlenmesi:

'Zaman', istasyonların 'konum' bilgileri, bu istasyonlara ait uzun yıllar ortalaması 'bağlı nem' ile aylık ortalama 'rüzgâr hızı' değerleri ve FAO PM aylık ortalama günlük ET_0 değerlerinden oluşan veriler bir excel tablosu olarak hazırlanmıştır (Çizelge 1). Ağa sunulan bu veriler; istasyon yeri sütunu bilgi amaçlı, diğer sütunlar eğitim, doğrulama ve test amaçlı kullanılmak üzere toplam 8 sütun ve 1716 satırdan oluşmuştur.

Çizelge 1. YSA girdi sütunları

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Zaman (Ay)	Enlem (°)	Yükseklik (m)	Denize uz. (km)	Bağlı Nem (%)	Rüzgâr H. (km gün ⁻¹)	ET ₀ (mm gün ⁻¹)	İstasyon Yeri
2	1	37.00	66	34	68	112	1.25	Adana
3	2	37.00	66	34	73	121	1.54	Adana
4	3	37.00	66	34	69	121	2.31	Adana
5	4	37.00	66	34	72	130	3.26	Adana
6	5	37.00	66	34	70	121	4.36	Adana
7	6	37.00	66	34	67	138	5.47	Adana
8	.	.	.	.	.	.	.	.
9	.	.	.	.	.	.	.	.

ET_0 hedef sütun olmak üzere, ağın; eğitim, doğrulama ve testinde kullanılacak 7 sütun, ön işlemeden önce seçilen aykırılık katsayısı ile analiz edilerek, 23 veri satırı işlem dışı bırakılmıştır.

Veri satırları % 68 eğitim, % 16 doğrulama ve % 16 test verisi olacak şekilde bölümlenmiştir. 1716 veri satırının, işlem dışı bırakılan 23'ünden arda kalan 1693'ü rastgele ve otomatik bölümlenmeye tabi tutulmuştur. Bölümleme ile bu satırların; 1153'ü eğitim, 270'i doğrulama ve 270'i test verisi olarak ayrılmıştır.

Daha sonra bu veriler, ağa sunuma uygun duruma getirilmeleri amacıyla, bazı sütun parametreleriyle hesaplanan ölçekleme faktörleriyle ön işleme tabi tutularak, sınırları önceden belirlenen bir aralığa indirgenmişlerdir. Ön işlenen sütunların özellikleri, indirgeme için hesaplanan ölçekleme faktörleri ve ölçekleme aralığı Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. YSA girdi sütunları parametreleri

Parametreler	Sütunlar						
	Bağıl N. (%)	Rüzgâr H. (km gün ⁻¹)	Denize U. (km)	Yüksek. (m)	Enlem (°)	Zaman (ay)	ET ₀ (mm gün ⁻¹)
Sütun türü	giriş	giriş	giriş	giriş	giriş	giriş	hedef
Formatı	sayısal	sayısal	sayısal	sayısal	sayısal	sayısal	sayısal
Ölçekleme ara.	[-1..1]	[-1..1]	[-1..1]	[-1..1]	[-1..1]	[-1..1]	[0..1]
En düşük	21	9	0	2	36.1	1	0.29
En yüksek	100	389	455	2400	42	12	9.20
Ortalama	65.3	146.7	107.0	580.8	39.2	6.5	2.85
Standart sap.	13.3	64.1	111.5	584.3	1.6	3.5	1.81
Ölçekleme fak.	0.02532	0.00526	0.00440	0.00083	0.33727	0.18182	0.11223

Ağ Mimarisinin Belirlenmesi:

Kaastra ve ark. (1996)'na göre; genel olarak problemleri çözmeye tek gizli katmanlı ağlar başarılıdır, nadiren iki gizli katmana ihtiyaç duyulabilir ve daha fazla gizli katmana gerek yoktur. Bu görüş doğrultusunda ve çalışma kapsamında yapılan denemelere dayanılarak ağda tek gizli katman kullanılmıştır. Denemelerde daha fazla katmanlı ağlarla bir performans artışı sağlanamamıştır.

Gizli katmanında 1'den 30'a kadar nöron bulunan ağ projeleri LM algoritması ve 500 yinelemeyle eğitilmiştir. Bu algoritma genel olarak diğerlerine göre oldukça hızlı işlem gerçekleştirmekte ve daha iyi sonuç vermektedir (Yu ve ark., 2010).

Katmanlarda sigmoid aktivasyon fonksiyonu kullanılmıştır. Başlangıç ağırlıkları; [-0.3..0.3] aralığından rastgele atanmıştır. Yapılan eğitimler sonucunda, üretilen ağlar içerisinde performansı en iyi olan yani en küçük test hatasına sahip olan ağın yapısı ağ mimarisi olarak benimsenmiştir.

2- Ağın Eğitimi

Benimsenen mimari ve seçilen diğer ağ özellikleri ile oluşturulan YSA projesi, belirlenen aralıktan rasgele atanan farklı başlangıç ağırlıklarıyla 15 kez eğitilerek sonuçlar değerlendirilmiş ve en başarılı ağ seçilmiştir. Değerlendirmede eğitim ve test istatistikleri

ile test hata dağılımı kullanılmıştır. Elde edilen ağ için hedef ve çıktının karşılaştırıldığı çizgi grafikler ve saçılım grafiği ile girdilerin sonuca etkisini tanımlayan 'girdi önemi' ve ağın girdilere tepkisini gösteren 'tepki veya yanıt' grafikleri çizilmiştir.

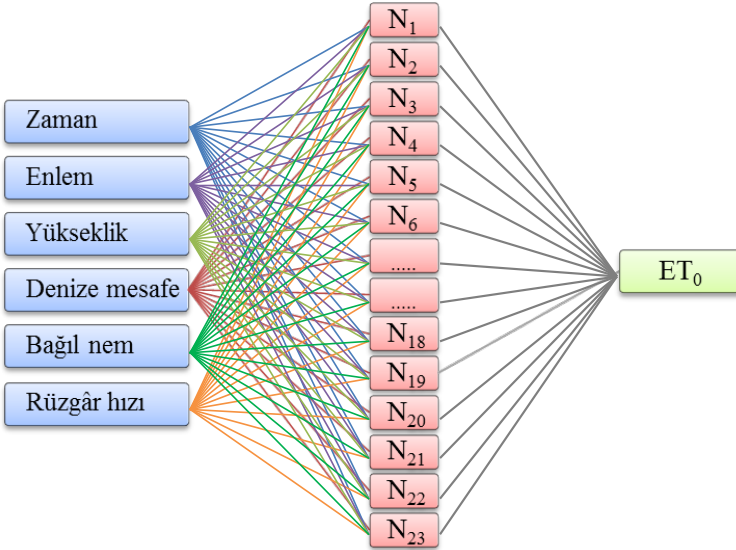
Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Uygulama:

Ağ tasarımı kapsamında hazırlanan veriler ağa sunulduktan sonra gizli katmanda olması gereken en uygun nöron (yapay sinir hücresi) sayısının belirlenmesi amacıyla 'ağ mimarisinin belirlenmesi' başlığı altında verilen özelliklerdeki ağ projesi 1'den 30'a kadar nöron sayılarıyla eğitilerek 30 adet ağ üretilmiştir. Üretilen bu 30 adet ağ içerisinde en küçük test hatası, 23 nörona sahip ağla elde edilmiştir. Tespit edilen en başarılı ağı takiben, performansı en iyi olan sonraki iki ağın nöron sayısı sırasıyla 26 ve 29 olarak bulunmuştur. Mimari belirleme çalışmalarında tüm ağlar için eğitimler, hata iyileşmesinin gerçekleşmediği yinelemelerde sonlandırılmıştır.

Ağın Eğitimi ve Testi:

Belirlenen tek katmanlı 23 nöronlu mimariyle (Şekil 1), mimari belirlemede kullanılan özelliklere sahip ağ projesi, LM eğitim algoritmasıyla 15 kez eğitilerek içerisinde performansı en yüksek YSA seçilmiştir. En küçük test hatası sağlayan ağ ağırlıklarına sahip bu YSA, ilk sıradaki eğitimle 61 yinelemeyle elde edilmiştir (Çizelge 3). Bu YSA, aynı proje üzerinde bilahare yapılacak eğitimlerle veya farklı projeler, algoritmalar ve yinelemelerle yapılacak eğitimlerle daha iyi bir performans yakalanamadığı sürece, uygulamada kullanılması gereken YSA'dır.



Şekil 1. Ağ mimarisi

Çizelge 3. Belirlenen mimari ve diğer özelliklerle eğitilen ağların özellikleri

Eğitim sırası	Yineleme sayısı	Eğitim hatası (mm)	Test hatası (mm)	Akaike kriteri (AIC)	Korelasyon	R ²	Durma nedeni
1	61	0.093840	0.107643	-0.000095	0.997751	0.995507	Hata iyileşmesi yok
2	178	0.078551	0.114806	-0.000094	0.998573	0.997148	Hata iyileşmesi yok
3	281	0.085579	0.114120	-0.000094	0.998343	0.996689	Hata iyileşmesi yok
4	79	0.095427	0.111987	-0.000096	0.997626	0.995258	Hata iyileşmesi yok
5	87	0.087783	0.111934	-0.000095	0.998207	0.996417	Hata iyileşmesi yok
6	164	0.082300	0.114264	-0.000094	0.998427	0.996856	Hata iyileşmesi yok
7	115	0.083328	0.129564	-0.000094	0.998360	0.996723	Hata iyileşmesi yok
8	143	0.082490	0.119745	-0.000094	0.998405	0.996813	Hata iyileşmesi yok
9	130	0.079426	0.116391	-0.000094	0.998554	0.997110	Hata iyileşmesi yok
10	72	0.095371	0.113743	-0.000096	0.997766	0.995537	Hata iyileşmesi yok
11	141	0.109068	0.116183	-0.000097	0.996912	0.993834	Hata iyileşmesi yok
12	21	0.104540	0.112118	-0.000097	0.997149	0.994306	Hata iyileşmesi yok
13	156	0.088606	0.112527	-0.000095	0.998039	0.996082	Hata iyileşmesi yok
14	14	0.102145	0.110925	-0.000096	0.997269	0.994545	Hata iyileşmesi yok
15	84	0.083454	0.120596	-0.000094	0.998400	0.996803	Hata iyileşmesi yok
En düşük		0.078551	0.107643	-0.000097	0.996912	0.993834	
En yüksek		0.109068	0.129564	-0.000094	0.998573	0.997148	
Ortalama		0.090127	0.115103	-0.000095	0.997985	0.995975	

Eğitim İstatistikleri

Eğitimde YSA'nın Ortalama Mutlak Hata (MAE) değeri yaklaşık 0.09 mm, Ortalama Mutlak Yüzde Hata (MAPE) değeri % 4.4, Belirlilik Katsayısı (R²) 0.996, Ortalama Göreceli Hata (OGH) değeri 0.044, Kök Ortalama Kare Hata (KOKH) değeri 0.122 mm ve Nash-Sutcliffe Katsayısı 0.995 bulunmuştur (Çizelge 4).

Çizelge 4. YSA eğitim istatistikleri

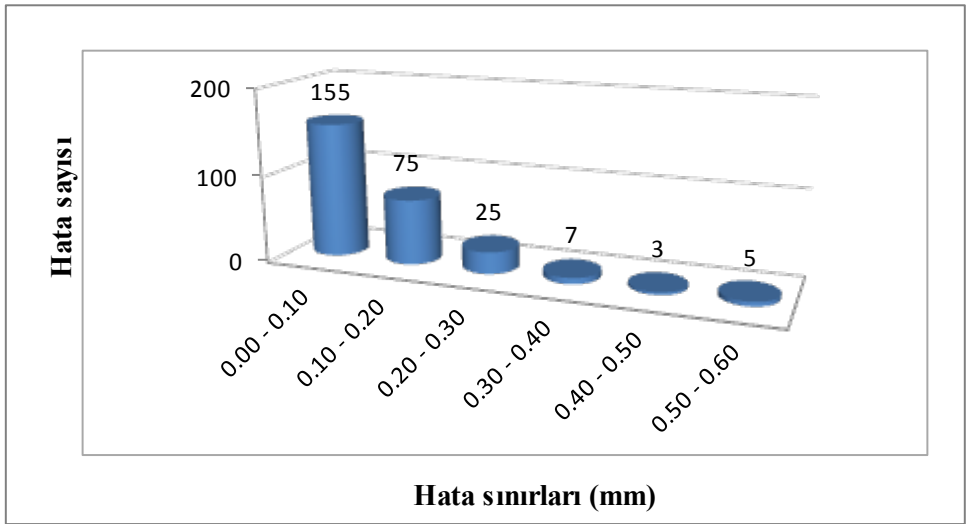
	Hedef (mm)	Çıktı (mm)	AE (mm)	APE (%)
Ortalama (M)	2.82	2.80	0.094	4.4
Std Sapma	1.81	1.81	0.078	4.8
En düşük	0.29	0.38	0.000	0.0
En yüksek	9.20	8.90	0.497	71.5
	R²	MRE	RMSE (mm)	NS
	0.996	0.044	0.122	0.995

Test İstatistikleri

270 satır test girdisiyle sorgulanan YSA'nın MAE değeri yaklaşık 0.11 mm, MAPE değeri % 4.3, Belirlilik Katsayısı (R^2) 0.997, Ortalama Göreceli Hata (OGH) değeri 0.043, Kök Ortalama Kare Hata (KOKH) değeri 0.149 mm ve Nash-Sutcliffe Katsayısı 0.994 bulunmuştur (Çizelge 5). Hataların % 57'si 0.1 mm'den; % 85'i 0.2 mm'den ve % 95'i 0.3 mm'den küçüktür. (Şekil 2).

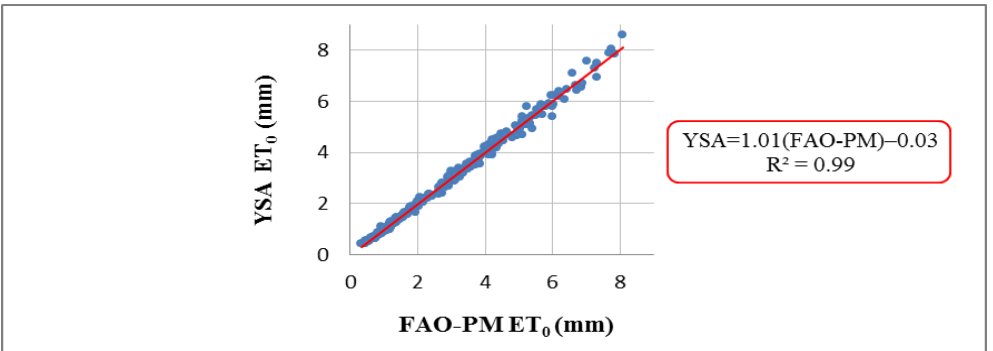
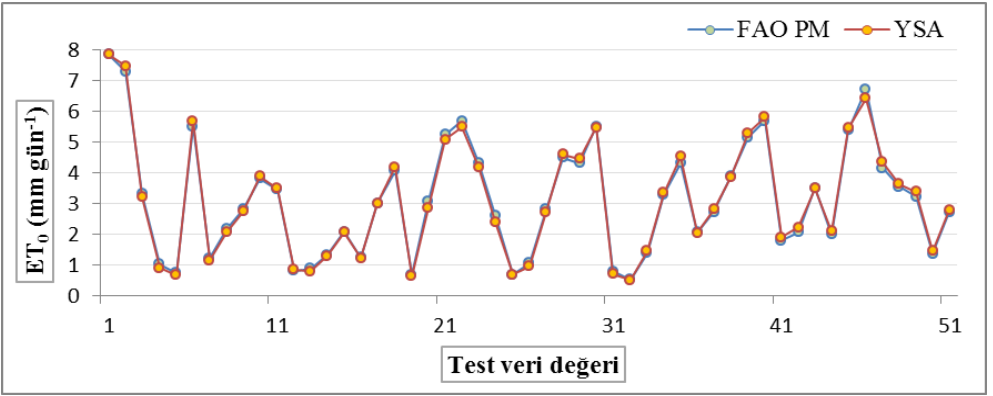
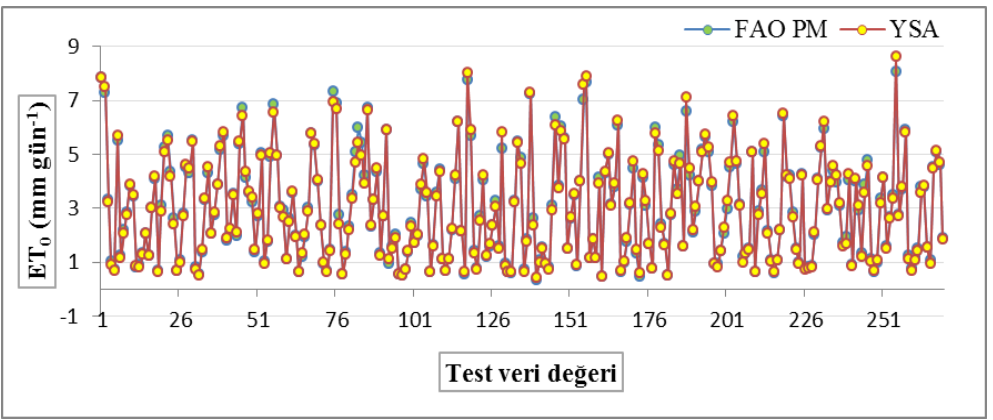
Çizelge 5. YSA test istatistikleri

	Hedef (mm)	Çıktı (mm)	AE (mm)	APE (%)
Ortalama (M)	3.02	3.01	0.108	4.3
Std Sapma	1.89	1.91	0.103	3.9
En düşük	0.33	0.43	0.000	0.0
En yüksek	8.08	8.62	0.586	31.6
	R²	MRE	RMSE (mm)	NS
	0.994	0.043	0.149	0.994



Şekil 2. YSA test hata dağılımı

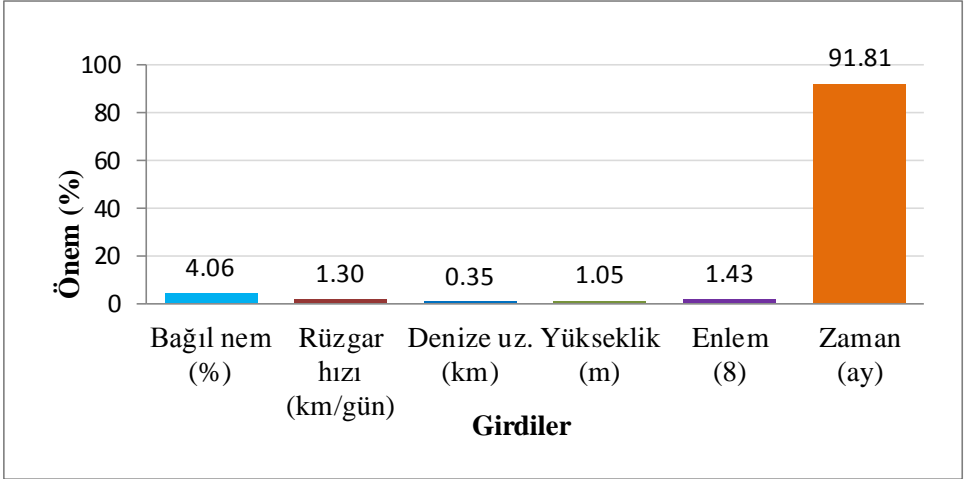
Test girdileri için, YSA'nın ET_0 tahminleri (çıktı değerleri) ile FAO PM ET_0 (hedef değerler) tahminlerinin karşılaştırıldığı grafiklerde (Şekil 3-4) sonuçların neredeyse tam olarak örtüştüğü görülmektedir. Saçılım grafiğinde ise koordinatları hedef ve çıktılardan oluşan noktaların, regresyon doğrusu etrafında kümelendiği görülmektedir (Şekil 5). Grafikler, ET_0 'ın 'zaman-konum', 'rüzgâr hızı' ve 'bağıl nem' girdileri kullanılarak YSA ile tahmin edilebilir olduğunu açıkça göstermektedir.



Girdilerin Sonuç Üzerindeki Etkileri:

Girdi Önemi

Girdi Önemi Grafiğinden, ET_0 'ın şekillenmesinde en büyük etkiye sahip girdinin yaklaşık % 92 oran ile 'zaman' olduğu görülmektedir. Bu oranı sırasıyla; 'bağlı nem', 'enlem', 'rüzgâr hızı', 'yükseklik' ve 'denize uzaklık' takip etmektedir (Şekil 6). Bu sonuç bağlamında; 'zaman' girdisinin, 'bağlı nem' ve 'rüzgâr hızı' girdilerinin sonuca ayrıca etkilerini de bu girdilerle korelasyonu oranında üstlendiği değerlendirilmektedir.



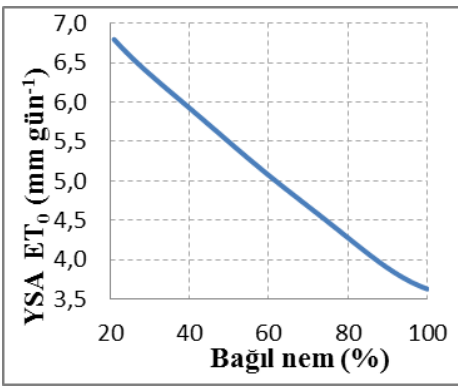
Şekil 6. YSA girdi önemi oranları

YSA'nın Girdilere Tepkisi

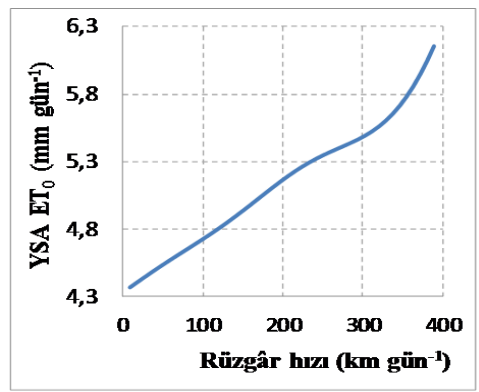
YSA'nın girdilere tepkisi veya diğer bir ifadeyle; ilgili girdinin değişimine bağlı olarak ağ çıktısının değişimi, girdilerin sonuç üzerindeki etkileri hakkında fikir vermektedir. Tepki grafikleri oluşturulurken, her satırda girdi olarak; ağ tepkisinin belirleneceği sütun dışındaki tüm sütunlar için bu sütunlara ait ortalama değerler kullanılmıştır. Ağın girdilere tepkisi (yanıt) grafiklerle görselleştirilmiştir (Şekil 7-8-9-10-11-12).

Zaman ve konum tepki grafiklerinin seyrini genel olarak sıcaklık seviyesini belirleyen şartların şekillendirdiği görülmektedir.

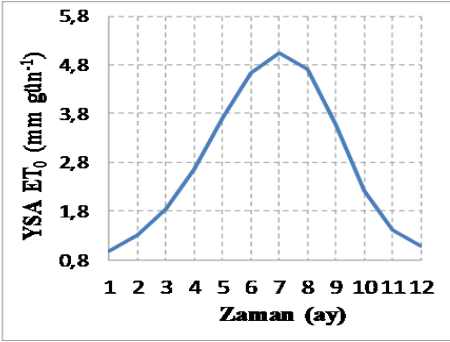
Enlem tepki grafiğinde kuzeye doğru gidildikçe sıcaklık azalmasına bağlı olarak ET_0 azalmakta ancak 41. Enlemden itibaren artmaya başlamaktadır. Hâlbuki bu enlemden Karadeniz'in nem etkisiyle ET_0 'ın daha da azalması beklenmelidir. Bu durum, enlem etkisiyle sıcaklığın düşmesi ve deniz etkisiyle nemin yükselmesinin ET_0 'ı azaltıcı etkisinin, deniz ve yükseklik etkisiyle kıyı bölgesinde sıcaklığın yükselmesinin ET_0 'ı artırıcı etkisinden daha az olmasına bağlanabilir.



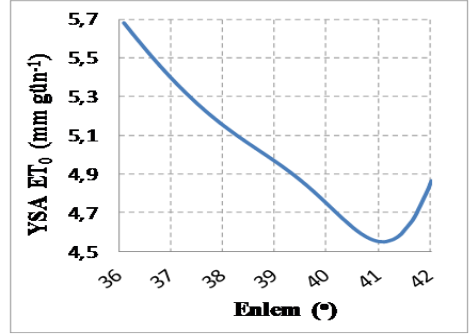
Şekil 7. YSA'nın 'bağıl nem'e tepkisi



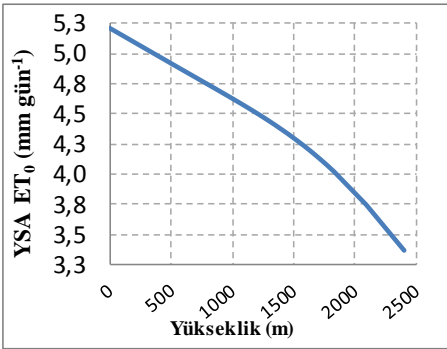
Şekil 8. YSA'nın 'rüzgâr hızı'na tepkisi



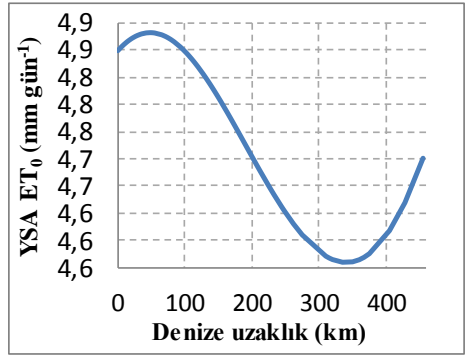
Şekil 9. YSA'nın 'zaman' a tepkisi



Şekil 10. YSA'nın 'enlem' e tepkisi



Şekil 11. YSA'nın 'yükseklik'e tepkisi



Şekil 12. YSA'nın 'denize uzaklık'a tepkisi

Denize uzaklık tepki grafiğinde küçük miktarlarda da olsa ET_0 denizden itibaren azalma yönünde seyrederken, 350 km'den sonra artışa yönelmektedir. Sadece nem durumu (deniz etkisi) dikkate alındığında, kıydan uzaklaştıkça ET_0 artmalıdır. Sadece sıcaklık (deniz ve yükseklik etkisi) dikkate alındığında ise azalmalıdır. Dolayısıyla grafiğin seyri kıydan itibaren azalma doğrultusunda olduğuna göre, sıcaklık etkisinin daha baskın olduğu, diğer bir ifadeyle; nemin düşmesinin ET_0 üzerindeki etkisinin, sıcaklık yükselmesinin etkisinden daha az olduğu söylenebilir. 350 km'den sonra ET_0 'ın artışa yönelmesi ise deniz etkisi sınırına ulaşılmış olunmasına bağlanabilir.

Sonuç

Zaman (ay), konum (enlem, yükseklik, denize uzaklık), aylık ortalama bağıl nem ve rüzgâr hızı girdileriyle eğitilen YSA'nın, eğitiminde ve doğrulanmasında (anlık testinde) hiçbir şekilde kullanılmamış olan farklı verilerle sorgulanmasıyla, hedef değerlerle (FAO PM, ET_0) tahmin değerleri (YSA, ET_0) arasında test istatistiklerinde de verildiği üzere; $R^2=0.99$, NS= 0.99, MRE= 0.04, RMSE= 0.15 mm gün⁻¹, MAE= 0.11 mm gün⁻¹ ve MAPE= % 4.3 bulunmuştur.

Elde edilen sonuç; 'zaman-konum', değerleri ve daha az meteorolojik veri kullanılarak, ET_0 'ın YSA'yla kabul edilebilir hata oranıyla tahmin edilebileceğini ortaya koymaktadır. Farklı girdi kombinasyonları, farklı ağ yapısı ve özellikleri ile çalışılarak daha başarılı sonuçlara ulaşılması da her zaman mümkündür.

Kaynaklar

- Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes and M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration, guidelines for computing crop water requirements. Irrigation and Drainage paper No. 56, FAO, 300p.
- Haykin, S. 1999. Neural Networks: A Comprehensive Fundation. (2nd ed.), Pearson Education, Inc. Pearson Prentice Hall, ISBN 81-7808-300-0, McMaster University, Hamilton, Ontario, Canada.
- Kaastra, I. and I. Boyd. 1996. Designing a neural network for forecasting financial and econometric time series. Neurocomputing, 10: 215-236.
- Linacre, E. 1999. Geography and Climate, http://www-das.uwyo.edu/~geerts/cwx/notes/chap16/geo_clim.html (10.04.2015).
- MGM, 2013. İklimi meydana getiren elemanlar, iklim. Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 1998-2013, <http://www.mgm.gov.tr/iklim/iklim.aspx?k=B> (12.04.2015)
- Yu, H. And B.M. Wilamowski. 2010. Levenberg-Marquardt Training. Auburn University. http://www.eng.auburn.edu/~wilambm/pap/2011/K10149_C012.pdf (01.01.2016).
- Yurtoğlu, H. 2005. Yapay Sınır Ağları Metodolojisi ile Öngörü Modellenmesi: Bazı Makroekonomik Değişkenler İçin Türkiye Örneği, DPT – Uzmanlık Tezleri, Yayın No: Dpt: 2683

