

ANGSTRÖM-PRESCOTT MODELİNİN POLİNOM İLE GELİŞTİRİLMESİ VE DİYARBAKIR GÜNEŞ IŞINIMI VERİLERİNE UYGULANMASI

¹Yavuz Selim GÜÇLÜ

¹*Istanbul Medeniyet Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Üsküdar, İSTANBUL*
yavuzselim.guclu@medeniyet.edu.tr

(Geliş/Received: 03.03.2018; Kabul/Accepted in Revised Form: 12.06.2018)

ÖZ: Dünyanın en önemli enerji kaynağı güneş enerjisi, çeşitli alanlarda farklı konular altında araştırılmaktadır. Özellikle, fosil yakıt kaynaklarının azalmasından beri güneş enerjisinin değeri ve önemi daha da artmıştır. Güneş enerjisi ile ilgili ilk araştırmalar 20. yüzyılın ilk çeyreğinde başlamış ve bu tür çalışmaların ilki güneş ışınımının güneşlenme süresine karşı tahmin edildiği çalışmadır. Bu makalenin hedefi, güneş ışınımının tahmini konusunda yeni bir yöntem niteliğindeki polinom çözümlene (analiz) yolunu sunmak ve uygulamaktır. Bununla birlikte, polinom çözümlenmesi güneş ışınımını tahmin etmekte yetersiz kalacağından, Polinom ile doğrusal (lineer) bir model özelliğine sahip Angström-Prescott yaklaşımı önerilmiştir. PoLin (POLinom-LINEer) modelinin temel ilkesi, salınımı (periyodiklik) veriden ayırmak ve daha sonra Angström-Prescott modelini arınmış veriye uygulamaktır. Türkiye'nin Güneydoğu Anadolu bölgesi şehirlerinden Diyarbakır kapsamında sunulan yaklaşımın sonuçları ANFIS, HarLin ve Angström-Prescott modelleri ile karşılaştırılarak gerekli tavsiyeler sunulmuştur. PoLin modelinin çıktıları meşhur (klasik) Angström Prescott, HarLin ve ANFIS modellerinden daha başarılı bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: ANFIS, Angström-Prescott; Güneş ışınımı; Güneşlenme süresi; HarLin; Polinom.

Hybrid Model for Solar Irradiation Estimation Using Polynomial and Angström-Prescott Equation

ABSTRACT: The world's most important energy source, solar energy, is being investigated in a variety of areas under different fields. Especially since the decline of fossil fuel resources, the importance of the solar energy has increased even more. Initial researches on solar energy started in the first quarter of the 20th century and solar irradiation was estimated versus sunshine duration. This study suggests similar procedure to harmonic analysis application to solar irradiation and sunshine duration data. Basis of the methodology is combined application of the POLynomial and classical LINEar regression analysis. Therefore, it is referred to PoLin model as a hybrid model. It isolates first the periodicity from the daily values, and then linear regression analysis is applied first to order stationary data. PoLin results are compared with the classical Angström-Prescott, HarLin, and ANFIS models. In the application, solar irradiation site is considered from solar energy potential location in Turkey, namely, at Diyarbakır. Estimations by PoLin model appears more successful than ANFIS, HarLin and Angström-Prescott approaches.

Key Words: ANFIS, Angström-Prescott; HarLin; Polinom; Solar irradiation; Sunshine duration.

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Güneş, enerjisinin bir kısmını ışınım ile dünyaya aktarır. Aynı noktada ölçülmüş güneş ışınımı ile güneşlenme süresi arasında doğru orantılı bir ilişki bulunduğu ise iyi bilinen bir gerçektir. Ayrıca güneş ışınım hesapları kapsamında etkin tahminler ortaya koymak diğer bir ifadeyle tahminleri iyileştirmek hedeflenen önemli konulardandır.

İklim değişikliğinin etkileri ile önemli temiz enerji kaynağı güneş enerjisine duyulan ihtiyaç sürekli artmaktadır çünkü fosil yakıtların yoğun kullanımından ötürü artan sera gazları küresel ısınmayı tetiklemektedir. Bu yüzden geleneksel enerji dağıtım teşkilatları ve yenilenebilir enerji kaynaklarının bütünleşmesi (entegrasyonu) ile sera gazı salınımının azaltılması amaçlanmaktadır. Bu kapsamda temiz ve yenilenebilir enerji alanlarına odaklanan çok sayıda iklim değişikliği tabanlı araştırmalar bulunmaktadır (Şen, 2008).

Güneş enerjisinden azami fayda sağlamak ve verimliliğini belirlemek adına aynı noktada güneş ışıını ve güneşlenme süresinin eş zamanlı elde edilmesi son derece önem arz etmektedir. İşte bu ilişkiyi göstermek için ilk önce Kimball (1919) sonra da Angström (1924) denklemler geliştirmişlerdir. Daha sonra Prescott (1940) Angström denklemini atmosfer dışı güneş ışıını ve güneşlenme süresi ile boyutsuzlaştırarak geliştirmiştir ve ilgili denklem 1940'tan beri Angström-Prescott ibaresiyle anılmaktadır. Aynı amaca hizmet eden diğer bir denklem Page ve diğ. (1964) tarafından geliştirilmiştir ve yanal güneş ışıını da nazarı itibara alınmıştır. Ayrıca bu doğrusal ilişkinin farklı araştırmacılar tarafından önerilmiş çeşitli sürümlerine de rastlamak mümkündür (Swartman ve Ogunlade, 1967; Sabbagh ve diğ., 1977; Rietveld, 1978; Dogniaux ve Llemoine, 1983; Gopinathan, 1988; Lewis, 1989; Soler, 1990; Hinrichsen, 1994; Şen, 2001, 2008; Lia ve diğ., 2011; Korachagaon ve Bapat, 2012; Almorox ve diğ., 2013). Şahin ve Şen (1998) doğrusal modellerde katsayıları hesaplamak için dinamik bir yöntem geliştirmiştir. Ayrıca, Şahin (2007), güneş ışıını ve güneşlenme süresini tahmin etmek için bir başka pratik yaklaşım ortaya koymuştur.

Ögelman ve diğ. (1984) aynı veri takımlarını kullanarak ikinci dereceden denklem tasarlarırken Akınoğlu ve Ecevit (1990) benzer çalışma sunmuşlardır. Samuel (1991) ise yazdığı eserde ilk defa üçüncü dereceden denklem ile güneşlenme süresinden güneş ışıını tahmin etmiştir. Ancak birinci dereceden denklemde hesaplanması gereken katsayılar iki iken ikinci dereceden denklemde üç ve üçüncü dereceden denklemde dördüttür. Kullanışlılık, anlaşılabilirlik ve basitlik açısından katsayıların azlığı önemli bir meseledir. Şu da bir gerçek ki artan katsayı miktarlarına rağmen ilerleyen teknoloji sayesinde bilgisayarlar bu durumun üstesinden kolayca gelebilmektedir. Şen (2007) çok basit bir biçimde eğriselliği yakalamak için sadece iki katsayı içeren üssel fonksiyon tasarlamıştır. Yapay zekâ yöntemlerinden bulanık mantık ve yapay sinir ağlarından faydalanan bazı araştırmacılar güneş ışıını tahmini konusunda literatüre önemli katkılar sunmuşlardır (Benghanem ve diğ., 2009; Rahimikhoob, 2010; Chen ve diğ., 2013; Wu ve diğ., 2014; Güçlü ve diğ., 2015, 2018). Şen (2017) "ihtimali yenilikçi güneş ışıını tahmini" başlığı ile yazdığı makalede ilgili konuya yeni bir soluk getirmiştir.

Yukarıda bahsedilen eserlere bakıldığında önerilen modellerin zaman bağımlılığını içermediği göze çarpmaktadır. Güçlü ve diğ. (2014a, b) zaman bağımlılığını da içeren basit bir yaklaşım sunmuşlardır ve ANFIS ile kıyaslayarak ilgili bölgeler için bağımlılık modelinin başarısını ortaya çıkarmışlardır. Ek olarak, Tolabi ve diğ. (2014) yeni bir sınıflandırma ile güneş ışıını tahmin modellerini üç başlık altında toplayarak kıyaslamalar yapmıştır. Bu başlıklar; deneysel (ampirik), benzetim (simülasyon) ve en iyileme (optimizasyon) modelleridir.

Meteorolojik verilerdeki salınımın Dünya'nın kendi ekseni ve ayrıca güneş etrafındaki hareketinden kaynaklandığı bilinen bir hakikattir. Bu dönme hareketleri neticesinde saatlik, günlük, aylık ve mevsimsel ölçümlerde salınımlar kendini göstermektedir. Bazı araştırmacılar salınımları dikkate alarak çeşitli eserler yazmışlardır (Balling, 1983; Amato ve diğ., 1986; Baldasano ve Berna, 1988; ve Şahin ve diğ., 2001).

Bu çalışmanın maksadı POLinom ile LİNeer (PoLin) regresyon çözümleme (analiz) yöntemlerini birleştirmek suretiyle daha iyi güneş ışıını tahminleri üretmektir. Hedefe ulaşmak için Diyarbakır'da ölçülen günlük güneşlenme süresi ve güneş ışıını verileri kullanılacaktır. Başarı durumu ise 2015'te geliştirilen HarLin yaklaşımı, meşhur Angström-Prescott denklemi ve ANFIS modeli ile kıyaslanarak gözler önüne serilecektir. Ek olarak, güneş ışıını hidrolojinin önemli konularından terleme-tutma-buharlaştırma (evapotranspirasyon) için girdi niteliği taşımaktadır. Dolayısıyla, güneş enerjisi alanına olduğu gibi bu çalışmanın hidrolojiye de önemli katkı sunacağı düşünülmektedir.

YÖNTEM (METHODOLOGY)

Burada, literatürde bulunan Angström-Prescott denklemi, ANFIS ve HarLin modeli ilk aşamada tüm ayrıntıları ile aktarılacaktır. Bu çalışma ile ilk defa gündeme getirilen PoLin ise dördüncü alt başlık ile sunulacaktır.

Angström-Prescott Denklemi (Angström-Prescott Equation)

Denklem 1, Angström-Prescott tarafından güneş ışınımı ile güneşlenme süresi arasında doğrusal ilişki bulunduğu düşünülerek güneş ışınımı tahmini için önerilmiştir.

$$\left(\frac{H}{H_0}\right) = a + b\left(\frac{S}{S_0}\right) \quad (1)$$

Denklemdaki simgelerin açıklamaları şu şekildedir;

S: Günlük doğal güneşlenme süresi,

So: Günlük atmosfer dışı güneşlenme süresi,

H: Günlük doğal güneş ışınımı,

Ho: Günlük atmosfer dışı güneş ışınımı,

a ve b: Denklemin sabit katsayılarıdır.

Boyutsuzlaştırılan bu denklem günlük verilere uygulanabildiği gibi aylık ölçümlere tatbiki de mümkündür.

ANFIS (ANFIS)

Uyarlamalı Sinirsel Bulanık Çıkarım Yapısı, ANFIS (Adaptive Neuro Fuzzy Inference System), girdi ve çıktı değişkenlerinin eğitimini yapan ve dünyada birçok uygulamada yoğun bir kullanıma sahip bir yazılımdır (Jang, 1992). Bu önemli yazılım girdilerin çıktılarla en iyi biçimde uygunluğunu sağlayarak tahmin yapmaya fırsat tanımaktadır. ANFIS iki aşamalı içeriğe sahiptir. Esasında Sugeno Bulanık Çıkarım Yapısını (BÇY) (Şekil 1) kullanır fakat verilerin eğitimi aşamasında yapay sinir ağlarından (YSA) da destek alır (Şen, 2004). Model üretirken verilerin eğitimi safhasında şu hususlar son derece önemlidir ve aynı anda sağlanmalıdır; birincisi hataların toplamının sıfıra eşit veya sıfıra çok yakın olmasıdır, ikincisi ise hataların karelerinin toplamının seçenekler arasında en küçük olmasıdır. ANFIS bu iki noktayı dikkate alarak verileri eğiterek en uygun modeli meydana getirmektedir. Güçlü ve diğ. (2014b, 2015) bir girdi ve bir çıktılı ANFIS mimarisinin örneğini göstermişlerdir (Şekil 2).

Sugeno BÇY'nda (Takagi ve Sugeno, 1985; Sugeno, 1985) veri dizisinin girdi kısmı bulanık alınırken, çıktı kısmı düz (klasik) mantıktaki gibi kesin ifadelerle belirtilir. Bunun için ortaya koyulan uygulamalarda iki seçenek vardır. Bir yapıda girdi bulanık, çıktı kısmı sabit değer kabul edilebilir veya doğrusal bir denklem alınabilir (Şekil 1) (w simgeleri üyelik derecelerini ifade etmektedir).

Mesela, Şekil 1'den yola çıkarak bir girdi-bir çıktı (Güneşlenme Süresi, GS:girdi ve Güneş Işınımı, GI:çıkıtı) ve üç üyelik fonksiyonlu bir yapıda aşağıda belirtilen kurallar çerçevesinde çıktı kısmı sabit düşünülebilir (c_1 , c_2 ve c_3 sabit değerlerdir). Bir girdi ve bir çıktılı sistemlerde kural sayısı girdinin üyelik fonksiyonu sayısınınca yazıldığı unutulmamalıdır.

1-Eğer GS Kısa ise $GI=c_1$ 'dir,

2-Eğer GS Orta ise $GI=c_2$ 'dir,

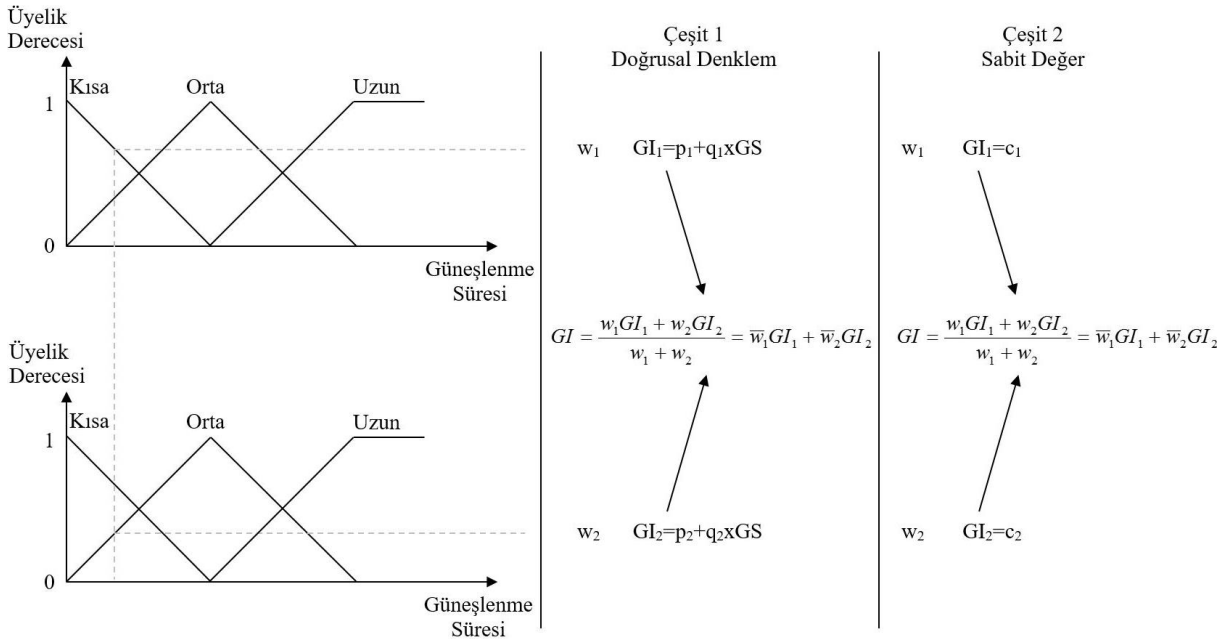
3-Eğer GS Uzun ise $GI=c_3$ 'tür.

Çıktı doğrusal bir fonksiyon biçiminde de dikkate alınabilir ve aşağıdaki kurallar yazılabilir (p_1 , p_2 , p_3 , q_1 , q_2 ve q_3 lineer fonksiyon katsayılarıdır).

1-Eğer GS Kısa ise $GI=p_1+q_1 \times GS$ 'dir,

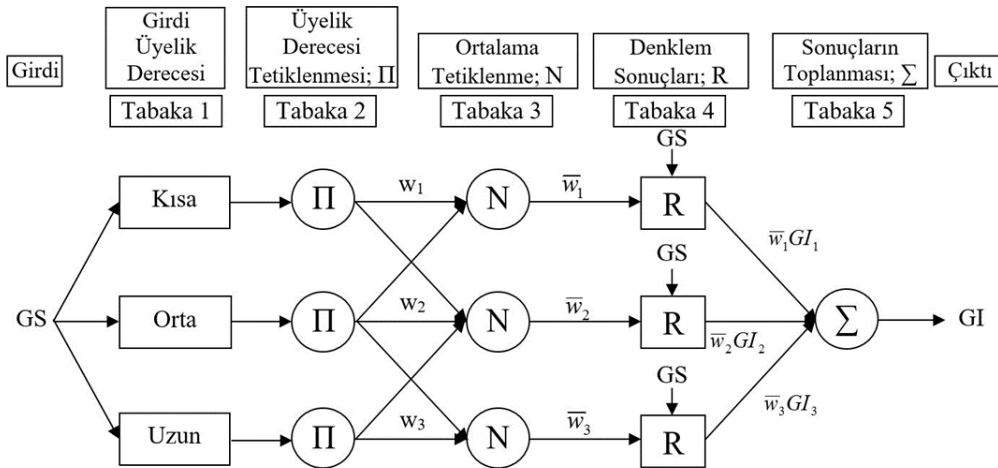
2-Eğer GS Orta ise $GI=p_2+q_2 \times GS$ 'dir,

3-Eğer GS Uzun ise $GI=p_3+q_3 \times GS$ 'dir.



Şekil 1. Sugeno BÇY çeşitleri

Figure 1. Sugeno Fuzzy Inference System types



Şekil 2. Bir girdi ve bir çıktılı ANFIS mimarisi

Figure 2. ANFIS architecture with one input-one output

Burada ANFIS ve Sugeno BÇY çok ayrıntıya girilmeden aktarılmıştır. Ross (1995) tarafından yazılan eser bulanık mantık üzerine çok kapsamlı bir içeriğe sahiptir ve mühendislik uygulamaları kapsamında son derece ayrıntılı bilgiler sunmaktadır.

HarLin Modeli (HarLin Model)

Belli bir salınıma sahip veri takımını görselleştirmek adına Güçlü ve diğ. (2015)'nin yaptığı gibi bir düzenleme yapılabilir (Çizelge 1). Çizelgede Y_{ij} değerleri günlük ölçümleri ifade ederken satırlar yıl ($j = 1, 2, 3, \dots, n$), sütunlar ise günlerdir ($i = 1, 2, 3, \dots, 365$). HarLin için ilk adım her bir günün aritmetik ortalamasını almaktır. Çizelge 1'deki son satır 365 günün günlük ortalamalarını içermektedir.

Çizelge 1. Günlük ortalama hesabı.

Table 1. Calculation of daily averages.

		Günler				
Yıllar		Y _{1,1}	Y _{1,2}	.....	Y _{1,364}	Y _{1,365}
		Y _{2,1}	Y _{2,2}	.....	Y _{2,364}	Y _{2,365}
		⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
		⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
		Y _{n-1,1}	Y _{n-1,2}	.....	Y _{n-1,364}	Y _{n-1,365}
		Y _{n,1}	Y _{n,2}	.....	Y _{n,364}	Y _{n,365}
Günlük ortalamalar		\bar{Y}_1	\bar{Y}_2	.....	\bar{Y}_{364}	\bar{Y}_{365}

Harmonik çözümlene Denklem 2 ve Denklem 3 'teki gibi sinüs ve kosinüs dalgalarından müteşekkildir (Şen, 2002).

$$\bar{Y}_i = a \sin\left(2\pi \frac{i}{T} + \varphi\right) + \bar{Y} \quad (i= 1, 2, 3, \dots, 365) \quad (2)$$

$$\bar{Y}_i = a \cos\left(2\pi \frac{i}{T} + (\varphi + \pi/2)\right) + \bar{Y} \quad (i= 1, 2, 3, \dots, 365) \quad (3)$$

Aşağıda sunulan Denklem 4 ise Denklem 2'nin genişletilmiş halidir.

$$\bar{Y}_i = a \cos(\varphi) \sin\left(2\pi \frac{i}{T}\right) + a \sin(\varphi) \cos\left(2\pi \frac{i}{T}\right) + \bar{Y} \quad (4)$$

Denklemin içindeki ifadeler şu şekilde açıklanabilir;

a: Harmonik katsayısı,

φ : Faz açısı,

T: Temel salınım süresi (365),

\bar{Y} : Günlük ortalamaların ortalamasıdır (Denklem 5).

$$\bar{Y} = \frac{1}{365} \sum_{i=1}^{365} \bar{Y}_i \quad (5)$$

Denklem 4'te bulunan $a \cos(\varphi)$ ve $a \sin(\varphi)$ A ve B harfleri ile nitelendirilirse o zaman denklemin yeni halini şöyle yazmak imkân dâhilindedir;

$$\bar{Y}_i = A \sin\left(2\pi \frac{i}{T}\right) + B \cos\left(2\pi \frac{i}{T}\right) + \bar{Y} \quad (6)$$

Aynı zamanda A ve B katsayılarına ait eşitlikler sırasıyla aşağıda sunulmuştur.

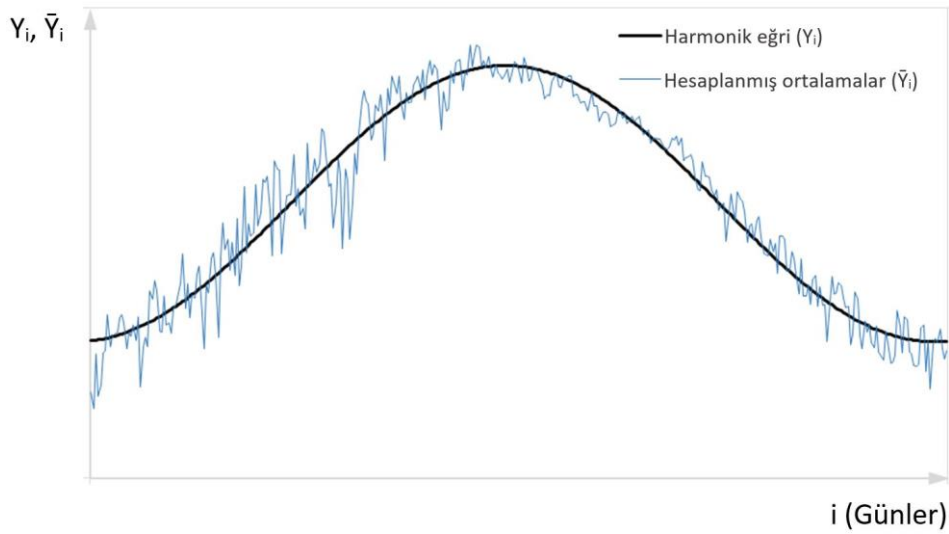
$$A = \frac{2}{T} \sum_{i=1}^T \bar{Y}_i \sin\left(2\pi \frac{i}{T}\right) \quad (7)$$

$$B = \frac{2}{T} \sum_{i=1}^T \bar{Y}_i \cos\left(2\pi \frac{i}{T}\right) \quad (8)$$

A ve B katsayılarının elde edilişlerine dair atılan adımlar burada yazılmamıştır ancak Güçlü ve diğ. (2015) makalelerinde tüm ara adımlara yer vermişlerdir. \bar{Y}_i ($i=1, 2, 3, \dots, 365$) ölçümlerine göre A, B ve \bar{Y} değerleri hesaplandıktan sonra harmonik denklemin en kapsamlı ve süreklilik arz eden evrensel hali yazılabilir.

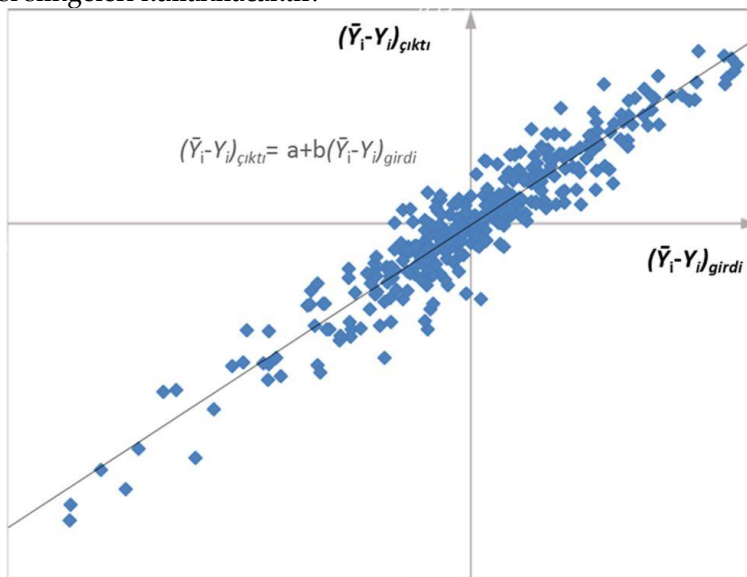
$$Y_i = A \sin\left(2\pi \frac{i}{T}\right) + B \cos\left(2\pi \frac{i}{T}\right) + \bar{Y} \quad (9)$$

Ölçülmüş \bar{Y}_i ve buna göre hesaplanmış Y_i değerleri Şekil 1 üzerinde resmedilmiştir.



Şekil 1. Temsili harmonik tahmin eğrisi ve hesaplanmış günlük ortalamalar
Figure 1. Sample harmonic analysis line and calculated daily averages

Şimdiden sonra HarLin yönteminin ikinci safhasını uygulamak için Şekil 1'deki \bar{Y}_i ve Y_i değerleri arasındaki farkları göz önüne alarak doğrusal model katsayılarını (a ve b) belirlemek gerekir (Şekil 2). Çizelge 1, Şekil 1 ve 2'de belirtilen evrensel \bar{Y}_i ve Y_i simgeleri yerine uygulama aşamasında güneş ışıını ve güneşlenme süresi simgeleri kullanılacaktır.



Şekil 2. Fark değerler için regresyon çözümleme örneği
Figure 2. Linear regression analysis for difference values

Günlük değerlerin tahmini için HarLin modeli kullanılabilir durumdadır. İki bileşenden müteşekkil Y_T (Tahmini değer) Denklem 10 ile (Y_H , harmonik model sonucu ve Y_L , doğrusal regresyon sonucu) elde edilebilecektir.

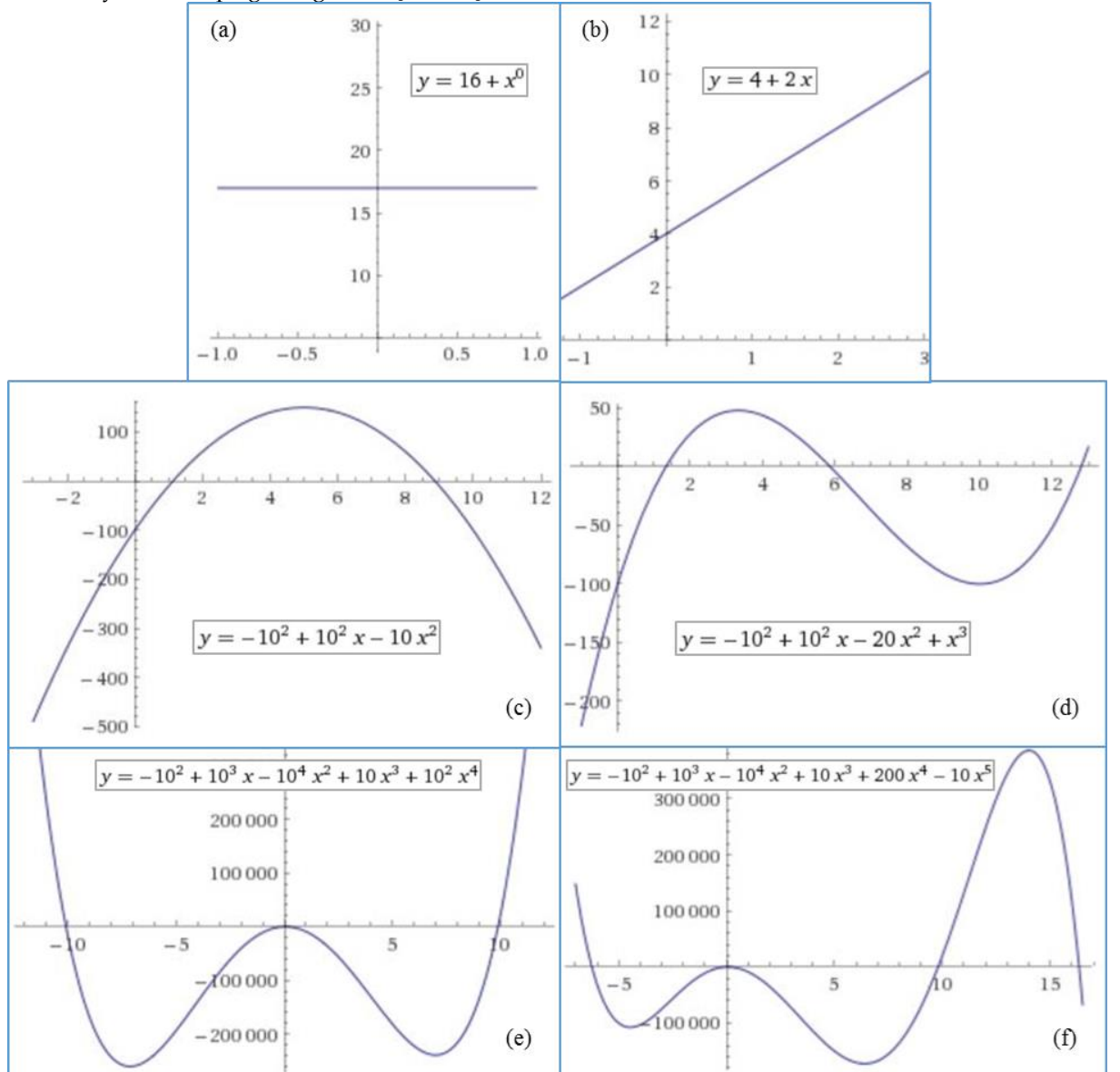
$$Y_T = Y_H + Y_L \quad (10)$$

PoLin Modeli (PoLin Model)

Bu çalışmanın özgün çıktısı PoLin yaklaşımı, HarLin modelinin yerine kullanılabilir ve daha iyi sonuçlar üretecek düşüncesiyle tasarlanmıştır çünkü harmonik eğri tamamen simetriktir ve $183 \pm n$

değerleri bir birine daima eşittir. Burada 183 değeri yılın tam ortasındaki gündür. Mesela, birbiriyle ikili eşleştirilmiş 182 ve 184 ($n=1$), 130 ve 236 ($n=53$), 83 ve 283 ($n=100$), 1 ve 365 ($n=182$) günlerinin harmonik eğri değerleri birbirine eşittir. Burada özgün yaklaşım harmonik eğri yerine en uygun polinom denklemi ayarlayıp kullanmaktır çünkü polinom her bir gün için değişik ve en uygun değeri belirlemeye yarayacaktır.

Bir saçılma diyagramına polinom uydurulurken en önemli husus saçılan veri topluluğunun kaç dönüme sahip olduğu tespit edilmesidir çünkü diyagrama kaçınıcı dereceden bir polinom ayarlanacağı dönüm sayısına göre belirlenmektedir. Eğer saçılmış verilere bir polinom uydurulacaksa dönüm sayısından bir fazla dereceden denklem ayarlanmalıdır. Örneğin dönüm sayısı 2 ise o zaman üçüncü dereceden bir denklem verilere en uygun eğriyi temsil edecektir. Şekil 3'te (Wolfram Alpha, 2018) farklı dönüm sayısına sahip eğriler görselleştirilmiştir.



Şekil 3. Çeşitli dereceden polinomlar ve temsil ettiği eğriler

Figure 3. Different polynomials and their curves

Şekil 3(a) sıfırıncı dereceden bir denklem özelliğinden ötürü sadece bir noktayı ifade etmektedir. Şekil 3(b) ise birinci dereceden bir denklemin çıktısıdır ve dönüm noktası yoktur (sıfırıdır). Dolayısıyla sifira bir eklendiğinde şekle bakmadan dahi denklemin birinci dereceden elde edileceği malumdur. Şekil

3'ün diğer grafiklerine bakıldığında eğrilerdeki dönüm sayılarının bir fazlası dereceden denklemler içereceği aşikârdır.

Yukarıda sunulan bilgi ve şekillerden yola çıkarak bu çalışmada belli bir salınımına sahip veri topluluğunun nasıl bir dağılım göstereceği ve kaç dönüm yapacağı önem arz etmektedir. Şekil 1 dikkatlice gözlemlendiğinde verilerin en başında, en sonunda ve ortasında bulunmak üzere toplam üç dönüm sarıh bir şekilde belirlemektedir. Dolayısıyla bu salınımına uydurulacak en uygun polinom dördüncü dereceden bir denklemdir.

PoLin yaklaşımı özünde Çizelge 1'deki işlemleri içerir fakat günlük değerlerin ortalamasına harmonik analiz yerine polinom uydurmayı hedefler. Daha somut ifadeyle, bu çalışma Denklem 9 yerine Denklem 11'in kullanılmasını tavsiye etmektedir.

$$Y_i = a_0 + a_1 g_i + a_2 g_i^2 + a_3 g_i^3 + a_4 g_i^4 \quad (11)$$

Denklemde a_0, a_1, a_2, a_3 ve a_4 katsayılar g_i ($i= 1, 2, 3, \dots, 364, 365$) ise gün değerlerini ifade etmektedir. Y_i de güneş ışınımı veya güneşlenme süresine karşılık gelmektedir.

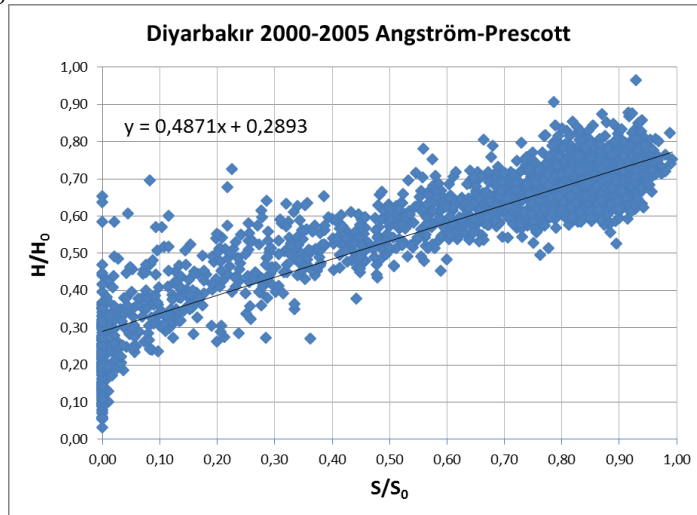
Bu aşamadan sonra Şekil 1 için polinom kullanılır ve sonucuna göre de Şekil 2 ortaya koyulur. Günlük değerlerin tahmini için PoLin modeli kullanılabilir durumdadır. Denklem 10'a benzer bir şekilde Denklem 12 yazılır ancak denklemde Y_H yerine Y_P (Dördüncü dereceden polinom sonucu) simgesi yer almaktadır.

$$Y_T = Y_P + Y_L \quad (12)$$

UYGULAMA (APPLICATION)

Uygulama için Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün Diyarbakır ölçüm noktasında elde edilen veriler kullanılmıştır. Bu nokta $40^\circ 13.5'D$ enlem ve $37^\circ 54.5'K$ boylamında konumlanmaktadır. Veri takımı, 2000'den 2008'e kadar günlük güneş ışınımı ve güneşlenme süresi ölçümlerini içermektedir. Veriler eğitim ve doğrulama için iki takıma ayrılırken eğitim verileri 2000 ila 2005 yıllarını kapsar ve kalan veriler doğrulama amaçlıdır.

Klasik Angström-Prescott modeli için yapılan doğrusal regresyon çözümlemesi sonucuna göre a ve b katsayıları sırasıyla 0,2893 ve 0,4871 hesaplanmıştır (Şekil 4). Bu aşamadan sonra, tahminler Angström-Prescott modeli ile sağlanabilecektir.

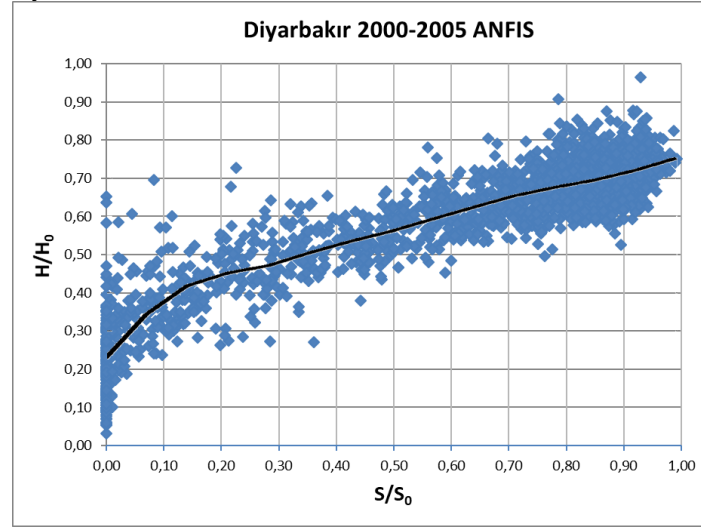


Şekil 4. Angström-Prescott model eğrisi ve katsayıları

Figure 4. Scatter diagram for classical Angström-Prescott model

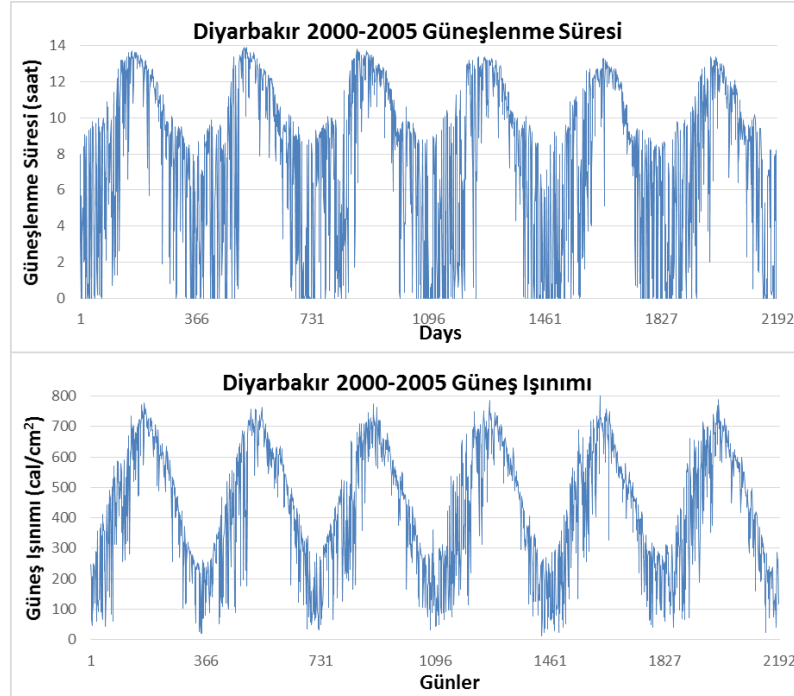
Diğer modellerdeki gibi bir girdi ve bir çıktılı ANFIS tahmin modeli, Şekil 1 ve 2'deki yapıya göre şekillendirilmiştir. Verilerin eğitim sürecinde girdiler beş tane üçgen alt kümeye ayrılırken buna karşılık çıktılar doğrusal denklemler seçilmiştir. Dolayısıyla yapılan eşleştirme ile toplam beş kural ile tahmin modeli tesis edilmiştir. Sonuç olarak, ANFIS modeli Şekil 5'teki gibi eğrisel bir forma sahiptir. Bu

adımından sonra gözlemlenen değerler ile tahmin edilen veriler karşılaştırılacaktır ve diğer modellere nispeten hata oranları kıyaslanacaktır.

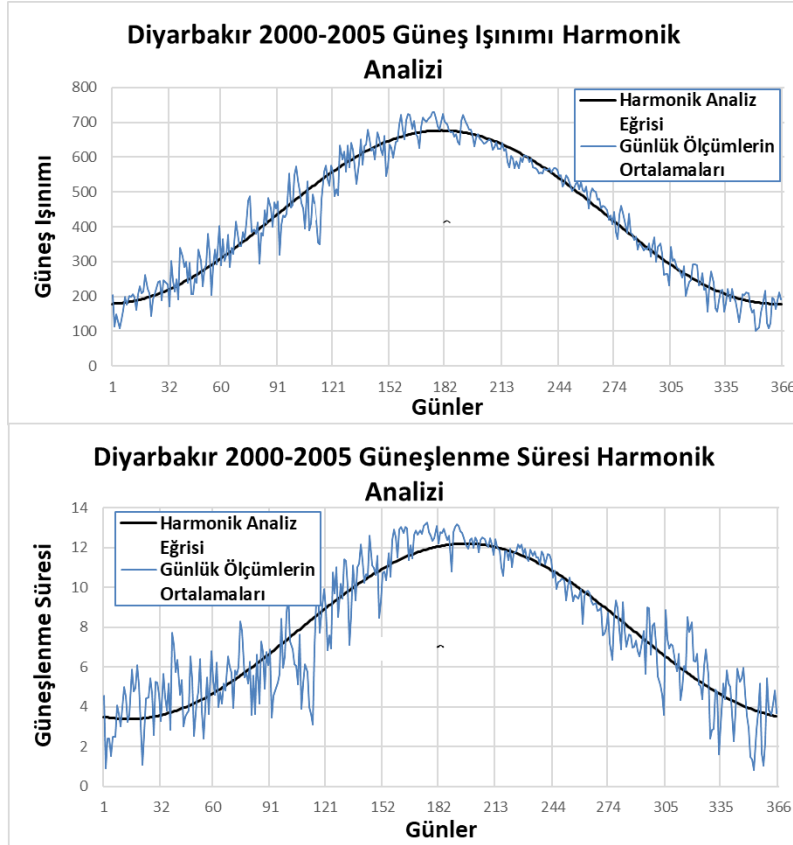


Şekil 5. ANFIS model eğrisi
Figure 5. ANFIS model curve

2000-2005 yılları arasında ölçülen güneşlenme süresi ve güneş ışınımı için zaman dizileri Şekil 6'da gösterilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi, güneş ışınımı ve güneşlenme sürelerinin düzenli salınım yaptığı çok açıktır. Harmonik analiz sonuçları, Şekil 7'de güneşlenme süresi ve güneş ışınımı için sunulmuştur. Öte yandan Denklem 9'daki A, B ve \bar{Y} katsayıları, harmonik çözümleme sonuçlarına göre Çizelge 2'de yazılmıştır.



Şekil 6. Güneşlenme süresi ve güneş ışınımı zaman dizisi
Figure 6. Time series for measured sunshine duration and solar irradiation



Şekil 7. Güneş ışınımı ve güneşlenme süresi harmonik analiz görselleri

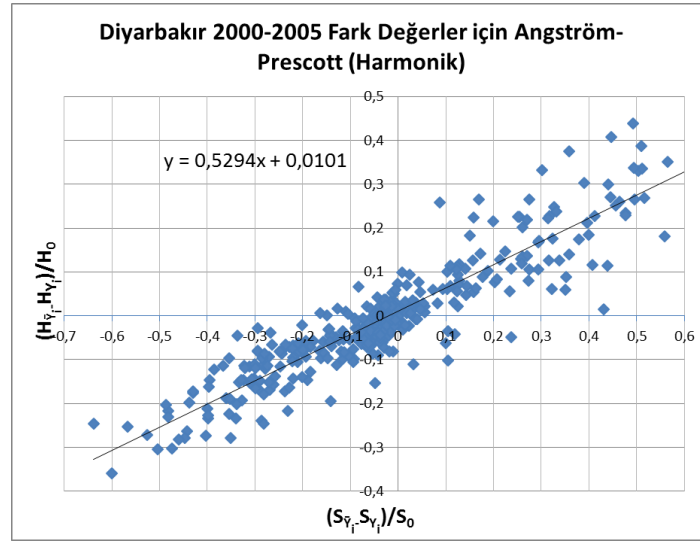
Figure 7. Harmonic analysis illustration for solar irradiation and sunshine duration

Çizelge 2. A, B ve \bar{Y} katsayıları.

Table 2. A, B and \bar{Y} coefficients.

	Güneşlenme Süresi	Güneş Işınımı
\bar{Y}	7,790594	427,5009
A	-1,080406	10,5402
B	-4,276403	-248,7756

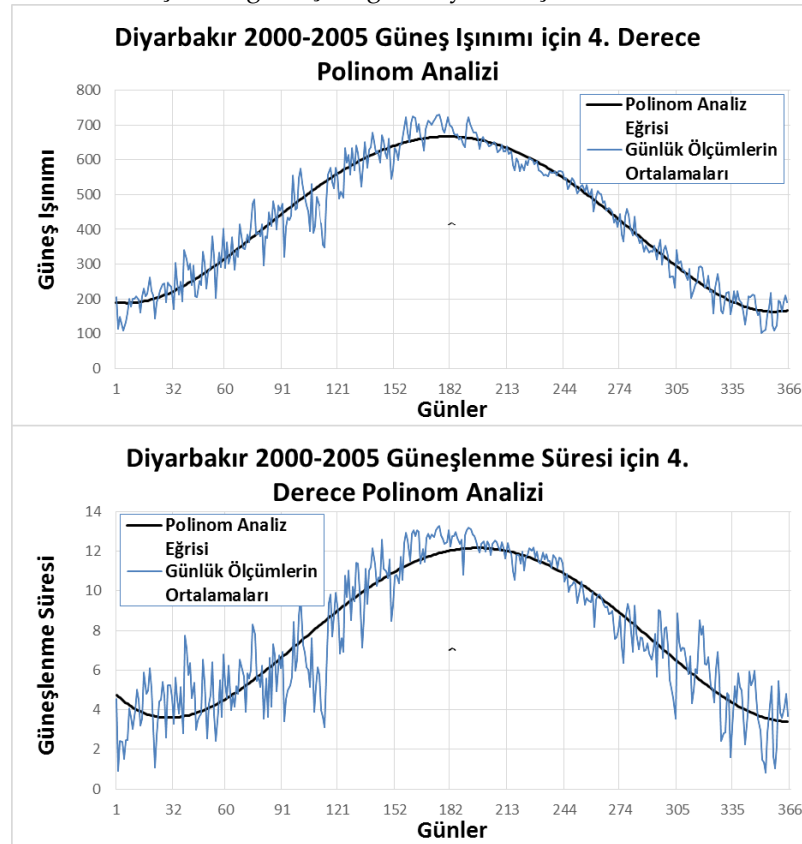
HarLin modeli için doğrusal regresyon analizi niteliğindeki Angström-Prescott denklemi kullanılmıştır. Harmonik analiz değerlerinin (Y_i) ölçülmüş günlük değerlerin ortalamalarından (\bar{Y}_i) farkları dikkate alınarak bu analiz gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar Şekil 8’de sunulmuştur ve Angström-Prescott denklemi için katsayılar $a=0,0101$ ve $b=0,5294$ ’dir.



Şekil 8. Harmonik fark değerler için Angström-Prescott model eğrisi ve katsayıları

Figure 8. Scatter diagram for classical Angström-Prescott model for harmonic difference values

Tahminler HarLin modeli ile sağlanabilecektir çünkü ilgili tüm katsayılar elde edilmiştir. Uygulamanın son aşamasında PoLin modeline ait katsayılar belirlenecektir. Yöntem kısmında söylendiği üzere harmonik eğri yerine dördüncü derece bir polinom ile güneş ışınımı ve güneşlenme süresi ortalama değerlerine uygun eğri uydurulmuştur. Polinom ayarlama neticesi, Şekil 9'da güneşlenme süresi ve güneş ışınımı için ortaya koyulmuştur. Denklem 11'deki a_0 , a_1 , a_2 , a_3 ve a_4 katsayılar, polinom analiz sonuçlarına göre Çizelge 3'te yazılmıştır.



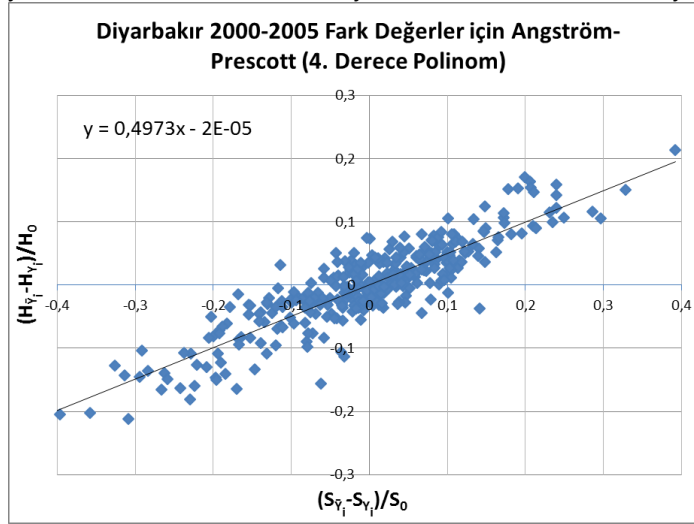
Şekil 9. Güneş ışınımı ve güneşlenme süresi polinom analiz görselleri

Figure 9. Polynomial analysis illustration for solar irradiation and sunshine duration

Çizelge 3. a_0, a_1, a_2, a_3 ve a_4 katsayıları.*Table 3.* a_0, a_1, a_2, a_3 and a_4 coefficients.

	Güneşlenme Süresi	Güneş Işınımı
a_0	4.848	190.81
a_1	-0.0919	-0.9250
a_2	$1.919 \cdot 10^{-3}$	0.0709
a_3	$-8.551 \cdot 10^{-6}$	$-3.772 \cdot 10^{-4}$
a_4	$1.083 \cdot 10^{-8}$	$5.186 \cdot 10^{-7}$

PoLin için HarLin'deki gibi Lineer Angström-Prescott denklemi kullanılmıştır. Polinom çözümleme sonuçlarının (Y_i) ölçülmüş günlük değerlerin ortalamalarından (\bar{Y}_i) farkları dikkate alınarak bu analiz gerçekleştirilmiştir. Netice Şekil 10'da aktarılmıştır ve Angström-Prescott model katsayıları $a=0,00002$ ve $b=0,4973$ 'tür. Sonuç itibarıyla, tahminler tüm modeller Angström-Prescott, HarLin ve PoLin ile elde edilebilecektir çünkü aynı veriler kullanılmak suretiyle her bir modele ait katsayılar bulunmuştur.

**Şekil 10.** PoLin fark değerler için Angström-Prescott model eğrisi ve katsayıları*Figure 10.* Scatter diagram for classical Angström-Prescott model for polynomial difference values

Üç modele göre belirlenen tahminlerin hataları, Ortalama Mutlak Hata (OMH) adıyla anılan Denklem 13'teki ifadeye göre hesaplanmıştır (N , 2006-2008 arası veri sayısı).

$$OMH = \frac{1}{N} \sum \sqrt{(\text{Ölçüm} - \text{Tahmin})^2} \quad (13)$$

Angström-Prescott, ANFIS, HarLin ve PoLin modelleri ile belirlenen tahminlerin ortalama hatası sırasıyla $40,18 \text{ cal/cm}^2$, $44,71 \text{ cal/cm}^2$, $37,28 \text{ cal/cm}^2$ ve $36,67 \text{ cal/cm}^2$ 'dir. Angström-Prescott modeline kıyasla yüzde anlamında bir değerlendirme yapıldığında ANFIS tahminlerinin zayıflığı göze çarpmaktadır çünkü başarı oranı %11,3 daha azdır. HarLin ise Angström-Prescott denklemine göre %7,2 daha başarılıdır. Bu çalışmada ilk defa önerilen PoLin modelinin başarı oranı ise Angström-Prescott'a göre yükselmiştir ve %8,8 hesaplanmıştır.

SONUÇ (CONCLUSION)

Günümüzde temiz enerji kaynakları yoğun bir şekilde araştırılmaktadır çünkü fosil yakıtların aşırı kullanımı sebebiyle sera gazları salınımı artmaktadır ve küresel ısınma (iklim değişikliği) kendisini iyiden iyiye hissettirmektedir. Sonuçta, rüzgâr, güneş, güneş-hidrojen, hidroelektrik ve jeotermal enerji gibi temiz enerji kaynaklarına teknolojik ve bilimsel manada daha fazla odaklanılmaktadır.

Bu makalede güneş ışınımı tahmini için polinom analiz ve klasik Angström-Prescott denklemi dikkate alınarak yeni bir yaklaşım PoLin modeli önerilmiştir. Literatürde, güneş ışınımı tahmini için

çeşitli modeller önerilmektedir ancak sadece bir tanesi harmonik analizi içermektedir. Bu çalışmada harmonik denklemin bir takım sakıncalarından bahsederek onun yerine polinom kullanılması uygun görülmüştür. Önerilen yöntem, güneş ışınımı hesaplamaları için HarLin gibi basit ve yeni bir yaklaşımdır.

Meteoroloji Genel Müdürlüğünden temin edilen Diyarbakır verilerinin 2000-2005 arasındaki modelleri eğitmek için geri kalanlar ise sınama için kullanılmıştır. PoLin modeli yapılan kıyaslamalar sonucunda en başarılı neticeleri ortaya koymuştur. Ortalama mutlak hata denklemine göre yeni model, meşhur Angström-Prescott ile kıyaslandığında yaklaşık %9 daha başarılı tahminler elde etmiştir. Esinlenen HarLin modelinin başarısı ise yaklaşık %7 ile sınırlı kalmıştır. ANFIS yaklaşımının çıktıları ise yaklaşık %11 daha kötü elde edilmiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Akınoğlu B.G., and Ecevit, A. (1990) Construction of a quadratic model using modified Angström coefficients to estimate global solar radiation, *Solar Energy*, 45:85–92.
- Almorox, J., Bocco, M., and Willington, E. (2013) Estimation of daily global solar radiation from measured temperatures at Cañada de Luque, Córdoba, Argentina, *Renewable Energy*, 60:382-387
- Amato U., Andretta A., Banoli B., Coluzzi B., Cuomo V., Fontana F., Serio C., (1986) Markov processes and Fourier analysis as a tool describe and simulate Daily solar irradiance. *Solar Energy* 37(3):179-94.
- Angström, A. (1924) Solar Terrestrial Radiation, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 50:121–126.
- Baldasano J.M., Clar J, Berna A., (1988) Fourier analysis of Daily solar radiation data in Spain. *Solar Energy* 41(4):327-34.
- Balling R., Cervený R.S., (1983) Spatial and temporal variations in long-term normal percent possible solar radiation levels in the United States. *J Climate Appl Met* 22:1726-1732.
- Benghanem M., Mellit A., and Alamri S.N., (2009) ANN-based modelling and estimation of daily global solar radiation data: A case study, *Energy Conversion and Management*, 50:1644–1655.
- Chen, S.X., Gooi, H.B., and Wang M.Q. (2013), Solar radiation forecast based on fuzzy logic and neural networks, *Renewable Energy*, 60, 195–201.
- Dogniaux, R., and Lemoine, M. (1983) Classification of radiation sites in terms of different indices of atmospheric transparency. In Palz W. (éditeur), *Solar Energy R&D in the European Community, Series F, Vol. 2, Solar Energy Data*. D. Reidel Publ. Co., Dordrecht, 94-107.
- Gopinathan, K. K., (1988) A general formula for computing the coefficients of the correlation connecting global solar radiation to sunshine duration, *Solar Energy*, 41:499-502.
- Güçlü, Y. S., Dabanlı, İ., and Şişman, E., (2014a) Short- and Long-Term Solar Radiation Estimation Method, *Progress in Exergy, Energy, and the Environment*, DOI 10.1007/978-3-319-04681-5_48, Springer, Cham.
- Güçlü, Y. S., Yeleşen, M. Ö., Dabanlı, İ., and Şişman, E., (2014b) Solar Irradiation Estimations and Comparisons by ANFIS, Angström-Prescott and Dependency Models, *Solar Energy*, 109:118-124.
- Güçlü, Y. S., Dabanlı, İ., Şişman, E., and Şen, Z. (2015). HARmonic–LINear (HarLin) model for solar irradiation estimation. *Renewable Energy*, 81, 209-218.
- Güçlü Y.S., Dabanlı İ., Şişman E., and Şen Z. (2018). Improving of the Angström-Prescott Model Using Harmonic Analysis, *Exergy for A Better Environment and Improved Sustainability 2*, DOI 10.1007/978-3-319-62575-1_43, Springer, Cham.
- Hinrichsen, K. (1994) The Angström formula with coefficients having a physical meaning, *Solar Energy*, 52:491–495.
- Jang, J.S.R. (1992) Self-learning fuzzy controller based on temporal back-propagation. *IEEETrans Neural Networks*, 3 (5) 714-723.

- Korachagaon, I., Bapat, V.N. (2012) General formula for the estimation of global solar radiation on earth's surface around the globe, *Renewable Energy*, 41:394–400.
- Lewis, G. (1989) The Utility of the Angström –Type Equation for the Estimation of Global Radiation, *Solar Energy*, 43(5):297-299.
- Lia, H., Maa, W., Liana, Y., Wanga, and X., Zhaob, L. (2011) Global solar radiation estimation with sunshine duration in Tibet, China, *Renewable Energy*, 36(11):3141–3145.
- Ögelman, H., Ecevit A., and Taşemiroğlu, E. (1984) Method for estimating solar radiation from bright sunshine data, *Solar Energy*, 33:619–625.
- Page, J. K. (1964) The estimation of monthly ea values of daily total short wave radiation on vertical and inclined surfaces from sunshine records for latitudes 40°N–40°S, *Proceedings of the UN conference on new sources of energy*, paper no. 598, 4, pp 378–390.
- Prescott J. A. (1940) Evaporation from a water surface in relation to solar radiation. *Trans. Roy. Soc. S. A.* 64: 114-18.
- Rahimikhoob, A. (2013) Estimating global solar radiation using artificial neural network and air temperature data in a semi-arid environment, *Renewable Energy*, 35(9):2131–2135.
- Rietveld, M. R. (1978) A new method for estimating the regression coefficients in the Formula relating solar radiation to sunshine, *Agric. Meteorol.*, 19:243–252.
- Ross T. J. (1995) Fuzzy logic with engineering applications. New York: McGraw Hill Co.
- Sabbagh, J. A., Sayigh, A. A. M., and El-Salam, E. M. A. (1977) Estimation of the total solar radiation from meteorological data, *Solar Energy*, 19(3): 307-311.
- Samuel T. D. M. A. (1991) Estimation of Global Radiation for Sri Lanka, *Solar Energy*, 47(5):333-337.
- Soler, A. (1990) Monthly specific Rietveld's Correlations. *Solar and Wind Technology*, 2/3, 305-306.
- Sugeno, M. (1985) Industrial Applications of Fuzzy Control North-Holland, New York.
- Swartman, R. K., and Ogunlade, O. (1967) Solar Radiation Estimates from Common Parameters, *Solar Energy*, 11, 170-172.
- Şahin, A. D., (2007) A new formulation for solar irradiation and sunshine duration estimation, *International Journal of Energy Research*, 31:109–118
- Şahin, A. D., Kadioğlu, M., and Şen, Z. (2001) Monthly clearness index values of Turkey by harmonic analysis approach, *Energy Conversion and Management* 42:933-940.
- Şahin, A. D., and Şen, Z. (1998) Statistical analysis of the Angström formula coefficients and application for Turkey, *Solar Energy*, 62:29–38.
- Şen, Z. (2001) Angström equation parameter estimation by unrestricted method, *Solar Energy*, 71:95–107.
- Şen., Z. (2002) "İstatistik Veri İşleme Yöntemleri" (In Turkish), Turkish Water Foundation Publications, pp.243, Istanbul.
- Şen, Z. (2004) Yapay Sinir Ağları İlkeleri, Turkish Water Foundation Publications, Istanbul.
- Şen, Z. (2007) Simple nonlinear solar irradiation estimation model, *Renewable Energy*, 32:342–350.
- Şen, Z. (2008) "Solar energy fundamentals and modeling techniques", Springer, London.
- Şen, Z. (2017). Probabilistic innovative solar irradiation estimation. *International Journal of Energy Research*, 41(2), 229-239.
- Takagi, T., and Sugeno, M. (1995) Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 15, 1, 116-132.
- Tolabi, H. B., Moradi, M.H. and Ayob, S. B. M., (2014) A review on classification and comparison of different models in solar radiation estimation, *International Journal of Energy Research*, 38:689–701.
- Ulgen, K. and Hepbasli, A. (2002) Estimation of solar radiation parameters for Izmir, Turkey, *International Journal of Energy Research*, 26:807–823
- Wolfram Alpha, Computational Knowledge Engine, <https://www.wolframalpha.com/>, ziyaret tarihi: 10 Ocak 2018.
- Wu, J., Chan, C. K., Zhang, Y., Xiong, B. Y., Zhang Q. H. (2014), Prediction of solar radiation with genetic approach combing multi-model framework, *Renewable Energy*, 66:132-139.