

## GÜNEŞ ENERJİSİ KULLANAN SİSTEMLER İÇİN YENİ BİR ENERJİ TAHMİN ALGORİTMASI

*Selahattin KOŞUNALP\**

Alınma:18.02.2016; düzeltme: 30.11.2017; kabul: 09.04.2018

**Öz:** Yenilenebilir enerji kaynakları doğal olarak sürekli mevcut olduklarından, kısıtlı kaynaklara sahip sistemlerin enerji ihtiyaçlarını gidermek için önemli bir yer tutmaktadır. Güneş enerjisi en çok kullanılan çevresel enerji kaynaklarına güzel bir örnektir. Güneş enerjisi kontrol edilemeyen ama tahmin edilebilen bir enerji kaynağı olarak literatürde yer almıştır. Güneş enerji miktarının gelecek için tahmini kritik bir konudur. Bu çalışmada, geçmişte üretilen güneş enerji miktarına bakarak gelecekte muhtemelen üretilen güneş enerji miktarını tahmin eden yeni bir algoritma geliştirilmiştir. Bu algoritma aynı zamanda tahmin yapılan gün içerisinde üretilen enerji miktarındaki değişimleri de göz önüne almaktadır. Önerilen yaklaşım literatürde çokça temel alınan *Exponential Weighted Moving-Average* (EWMA) algoritmasından esinlenmiştir. Gün içerisinde güneş enerjisindeki dalgalanmaları göz önüne alan farklı senaryolar üzerinde önerilen yaklaşımın performansı EWMA ile karşılaştırılarak sunulmuştur. Gerçekleştirilen benzetimler önerilen algoritmanın güneş enerjisindeki dalgalanmaları EWMA' dan daha iyi olarak tahmin ettiğini göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Ortam Enerjisi, Güneş Enerjisi, Enerji hasat, EWMA

### A New Energy Prediction Algorithm for Solar-Powered Systems

**Abstract:** Renewable energy sources can provide the energy requirements of resource-constrained systems due to their inherent continuous availability. Solar power is a good example of the most effective ambient energy source. In literature, it exhibits an uncontrollable but predictable manner which makes the prediction of future energy availability a critical issue. This study presents a new approach to estimate the amount of energy that will available in future, depending on the past energy generation pattern. This approach also considers the fluctuations in energy generation in the current day. It is inspired by a well-known algorithm, namely Exponential Weighted Moving-Average (EWMA). The performance of the proposed scheme has been tested on various real-world scenarios in comparison to EWMA. The simulation results show that our algorithm provide more accurate estimation of future energy availability than EWMA.

**Keywords:** Renewable Energy Sources, Ambient Energy, Solar Power, Energy Harvesting, EWMA.

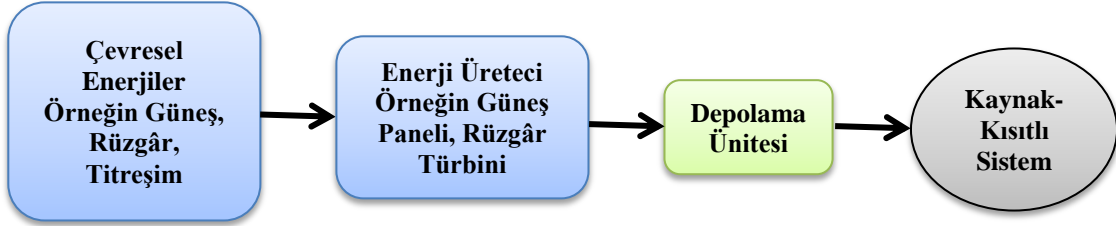
## 1. GİRİŞ

Doğada mevcut olan yenilenebilir enerji kaynakları kısıtlı kaynaklara sahip sistemlerin enerji ihtiyacını karşılamak için yaygın hale gelmişlerdir. Çevresel enerji kaynaklarının en önemli özelliği sınırsız olarak var olmalarıdır. Dolayısıyla, kısıtlı enerji kaynaklar ile çalışan sistemler için, örneğin basit pillerle beslenen algılayıcılar (Kosunalp, 2015), sınırsız enerji kaynağı muazzam bir öneme sahiptir. Güneş, rüzgâr, termal, titreşim, akustik ve RF enerji en

\* Bayburt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, 69000, Bayburt.  
İletişim Yazarı: Selahattin KOŞUNALP (skosunalp@bayburt.edu.tr)

yaygın kullanılan çevresel enerji kaynaklarıdır. Bu kaynaklar arasında güneş enerjisi en yaygın olarak kullanılan enerji kaynağı olarak karşımıza çıkmaktadır. Bunun en önemli sebebi, en yoğun enerjinin güneşten üretilmesidir. Ayrıca, güneş enerjisi diğer kaynaklar gibi belli zamanlarda ve özel mekânlarda üretilebilen bir enerji kaynağı değildir. Örneğin, titreşim enerjisi için bir hareketin olması söz konusudur. Ancak, güneş enerjisi belli bir devir ile tekrar edilip hasat edilen bir kaynaktır. Bu yüzden, hasat edilebilecek güneş enerjisi geçmişteki hasat edilen enerji miktarına bakılarak tahmin edilebilir bir özelliğe sahiptir (Ali ve diğ., 2010; Kosunalp, 2016; Kosunalp, 2017). Güneş ışınlarının elektrik enerjisine dönüşümü foto-voltaik hücrelerinin kullanımıyla gerçekleşir.

Çevresel enerjilerin kullanımıyla, kaynak-kısıtlı sistemlerin sürekli işlevsel olmaları beklenmektedir. Bunu sağlamak için, belli bir zaman aralığında ortamdan hasat edilen enerjinin tüketilen enerjiden daha fazla olması koşulu sağlanmalıdır. Bu koşul *energy neutral operation* (ENO) olarak isimlendirilmiştir (Buchli ve diğ., 2014). Dolayısıyla, ENO koşulunu sağlayan her sistemin sürekli işlevsel olduğu kabul edilir. Farklı zaman aralıklarında hasat edilecek enerji miktarı çevresel değişimlere bağlıdır. Örneğin, gündüz hasat edilecek güneş enerji miktarı gece üretilecek olandan daha yüksektir. İhtiyaç duyulan enerjiden daha fazla üretilen enerjinin boşa harcanmaması için, ihtiyaç fazlası enerjinin depolanması önemlidir. Depolanan bu fazla enerji, daha sonra enerjinin az olduğu zamanlarda kullanılıp sistemin işlevini kaybetmesi önlenmiş olur. Özellikle gündüz depolanacak yüksek miktarda güneş enerjisi gece enerjinin neredeyse hiç olmadığı zamanlarda sistemin enerji ihtiyacını karşılamış olacaktır. Çevresel enerji ile beslenen sistemlerin genel yapısı Şekil 1’ de gösterilmiştir.



Şekil 1:

Ortam enerjisi kullanan kaynak-kısıtlı sistem mimarisi.

Kaynak-kısıtlı sistemlerin en tipik örneklerinden biri basit pillerle çalışan algılayıcı düğümlerin oluşumuyla ortaya çıkan kablosuz algılayıcı ağlar (KAA)'dır (Akyıldız ve diğ., 2002). KAA'lar erişimi zor ya da imkânsız olan alanlarda çalıştıklarından enerji verimliliğinin en üst seviyede olması beklenir. Fakat kaçınılmaz enerji (pil) bitimi algılayıcıların işlevsiz olmasına neden olacaktır (Kosunalp, 2016). Algılayıcıların ortam enerjisini kullanarak çalışması kısıtlı enerji problemini ortadan kaldıracaktır. Akıllı şebeke (smart grid) uygulamalarında kullanılmak üzere geliştirilen KAA tabanlı sistemlerin ortam enerjisi kullanarak daha verimli olduğu gösterilmiştir (Tuna ve diğ., 2013a). KAA'ların endüstriyel uygulamalarda kullanımı ve kullanılan enerji hasat teknikleri ayrıntılı olarak incelenmiştir (Tuna ve diğ., 2013b).

Değişen ortam ve kanal şartlarından ötürü, hasat edilen enerji miktarındaki değişimlerin sistemlerin işlevini aksatmaması önemli bir çalışma konusu olmuştur. Sistemler hasat edecekleri enerji miktarına bağlı olarak işlev görürler. Bu hasat edilecek enerji miktarının geçmişe bakarak tahmini popüler bir konudur. Geliştirilen yaklaşımlar enerjinin belli bir periyodik eğilime sahip olduğunu temel almışlardır. Örneğin, güneş enerjisi ortalama olarak günün belli saatlerinde belli miktarlarda üretilebilir. Önceki günlerde hasat edilen enerji miktarına bağlı olarak ileriki günlerde hasat edilecek enerji miktarının tahmini belli bir hata payı ile mümkün olmaktadır. Yaklaşımların ortak noktası, gün içerisinde belli bir zaman aralığında oluşacak enerji miktarının önceki günlerde bu zaman diliminde oluşan enerji miktarının ortalamasının temel alınmasıdır.

Güneş enerji miktarının tahmini için geliştirilen yaklaşımlardan en önemlilerinden biri *Exponential Weighted Moving-Average* (EWMA) algoritmasıdır (Kansal ve diğ., 2007). EWMA günü belli zaman dilimlerine bölerek, her dilimde oluşacak enerji miktarını hesaplar. Bu

hesaplama işlemi için, herhangi bir dilimde önceki günlerde hasat edilen enerjinin üstel ortalaması hesaplanır. Fakat EWMA hesap yapılan gün içerisindeki hava koşullarını göz önüne almaz. Bundan ötürü, ani hava değişimlerinde EWMA yüksek oranda hatalı sonuç vermektedir. Geçmişte yapılan çalışmaların önemli çoğunluğu EWMA yaklaşımındaki yüksek hatalı tahminleri azaltmak üzerine olmuştur. Örneğin, WCMA yaklaşımı gün içerisindeki hava koşullarındaki dalgalanmaları göz önüne alarak EWMA yaklaşımının performansını belli ölçüde geliştirmiştir (Pioro ve diğ., 2009). ASEA ise hesap yapılan dilimden bir önceki dilimdeki hata oranını göz önüne alarak EWMA dan daha iyi sonuçlar vermiştir (Noh ve diğ., 2011).. Pro-energy hem yakın geçmişteki enerji üretim profillerine hem de hesap yapılan dilimden önceki dilimde hasat edilen enerji miktarlarını göz önüne alarak en iyi sonucu vermiştir (Cammarano ve diğ., 2012). Bütün bu çalışmalar hata tahmin oranlarını belli seviyede geliştirse de, halen yeni yaklaşımlara ihtiyaç duyulmaktadır. Özellikle hava koşullarının çok sık değişime uğradığı farklı senaryolar için yeni yaklaşımlar daha iyi tahmin yapmaları için tasarlanmalıdır.

Bu çalışmada, EWMA' nın değişen hava koşulları karşısındaki yüksek hatalı ürettiği tahminlerini ciddi oranda geliştirmek için yeni bir yaklaşım önerilmiştir. Geliştirilen algoritma işlem yapılan gün içerisindeki hava koşullarını da baz alarak daha yüksek oranda doğru tahminler yapmaktadır. Dilimlerde oluşan hata oranları hesaplanarak bunun ortalaması hesap yapılan dilime yansıtılmaktadır. Böylece ani değişen günlük şartlar tespit edilip hesap yapılan dilime yansıtılmaktadır. Önerilen algoritma geliştirilmiş-EWMA (G-EWMA) olarak adlandırılmıştır. Bölüm 2' de EWMA ve G-EWMA ayrıntılı olarak anlatılacaktır. G-EWMA' nın performansı farklı senaryolar üzerinden 3. bölüm' de anlatılacaktır. Elde edilen sonuçlar G-EWMA' nın EWMA' dan daha iyi sonuçlar verdiğini göstermektedir.

## 2. EWMA VE G-EWMA TEMEL ÇALIŞMA PRENSİPLERİ

### 2.1 EWMA

EWMA güneş enerjisindeki günlük döngüden faydalanır. 24-saatlik gün belli zaman dilimlerine ayrılır. Örneğin bir zaman dilimi 30 dakika olduğunda 1 gün 48 adet zaman dilimine bölünmüş olur. EWMA bir dilim içerisinde üretilen enerjinin aynı dilim içerisinde önceki günlerde üretilmiş enerjiyle benzer olduğunu kabul eder. Böylece her dilim içerisinde üretilen enerjinin ağırlıklı ortalaması (weighted average) göz önüne alınmış olur. Bu ortalama üstel (exponential) bir yapıya sahip olarak hesaplama yapılan güne uzak olan günlerdeki değerleri daha az kullanır. Her dilimde hesaplanan enerji ortalaması aşağıdaki denklemle hesaplanır:

$$E(d) = \alpha * E(d - 1) + (1 - \alpha) * H(d) \quad (1)$$

Burada E(d) d. dilim de hesaplanan ortalama enerji miktarını, H(d) d. dilimde hasat edilen gerçek enerji miktarını ve  $\alpha$  ağırlıklı (weighting) katsayısıdır. Herhangi bir dilim için hesaplanan ortalama enerji miktarı, E(d), aynı zamanda bir sonraki gün bu dilimde beklenen enerji miktarı olacaktır. Ağırlıklı katsayı,  $\alpha$ , ise (0, 1) aralığında seçilen bir önceki hesaplanan ortalama enerji miktarının yeni hesaplanacak değer üzerindeki etkisini belirler. Formül 1' den açıkça görüleceği üzere,  $\alpha$  küçük seçildiği sürece hasat edilen enerji miktarının etkisi daha yüksek olacaktır. EWMA' da dikkat edilmesi gereken en önemli hususlardan biri,  $\alpha$  değerinin çok dikkatli ve doğru seçilmesidir. Kansal ve diğ., (2007) çalışmasında en düşük hata ile doğru tahmin veren  $\alpha$  değerinin 0,5 olduğunu deneysel olarak göstermişlerdir. Bu uygulamada çeşitli günlerde hasat edilen enerji miktarı tespit edilerek farklı  $\alpha$  değerlerindeki hata oranları gözlemlenmiştir. Bu çalışmada yapılan deneylerde de  $\alpha$  değeri için 0,5 değeri kullanılmıştır.

EWMA en temel hedefleri arasında hasat edilen enerji miktarındaki mevsimsel/sezonluk değişime karşı adapte oluşudur. Bu değişimlere karşı adapte oluş süresi değişimlerin süresine, şiddetine ve ayrıca doğru  $\alpha$  değeri seçimine bağlı olarak değişir. Örnek bir sezonluk değişim senaryosu Şekil 2' de sunulmuştur. Görüleceği üzere, her bir zaman dilimi 30-dakika uzunluğundadır ve Bölüm 3' te yapılan deneylerde de bu değer kullanılmıştır. Sunulan örnek 2.

dilimdeki hasat edilen enerji miktarındaki ani değişimin EWMA tarafından tespit edilip adapte edilmesini göstermektedir. Verilen örnekten de anlaşılacağı üzere, EWMA belli bir süre içerisinde sezonluk değişimlere karşı iyi sayılacak bir tahmin yapmaktadır. EWMA artan yeni hasat edilen enerji miktarını tespit edebilmek için ilk günlerde daha hızlı artış sergilemektedir. Yukarıda da bahsedildiği gibi, tahmini yapılan önceki günlerin değerleri zamanla daha az etkiye sahip olacağından, ilerleyen günlerde bu hızlı artış miktarı üstel olarak azalmıştır. Sonuç olarak, EWMA ihtiyaç duyulan süre sonunda hasat edilen yeni enerji miktarına çok yakın tahminde bulunmuştur.

E = 10, H = 40					
Dilim 1	Dilim 2	Dilim 3	.....	Dilim 48	(T). Gün
E = 25, H = 40					
Dilim 1	Dilim 2	Dilim 3	.....	Dilim 48	(T+1). Gün
E = 32.5, H = 40					
Dilim 1	Dilim 2	Dilim 3	.....	Dilim 48	(T+2). Gün
E = 36.2, H = 40					
Dilim 1	Dilim 2	Dilim 3	.....	Dilim 48	(T+3). Gün
E = 38.1, H = 40					
Dilim 1	Dilim 2	Dilim 3	.....	Dilim 48	(T+4). Gün
E = 39, H = 40					
Dilim 1	Dilim 2	Dilim 3	.....	Dilim 48	(T+5). Gün
E = 39.5, H = 40					
Dilim 1	Dilim 2	Dilim 3	.....	Dilim 48	(T+6). Gün

### Şekil 2:

Sezonluk değişime örnek EWMA uygulaması.

## 2.2 G-EWMA

EWMA sezonluk ortalama değişimlere karşı iyi oranda tahminler yürütmesine karşın, günlük ani değişimlere karşı çok yüksek oranda hatalı sonuç üretir. Bunun sebebi ise EWMA'nın tahmin edilen gün içerisindeki hava koşullarını değerlendirmeye almamasıdır. Şekil 2' de verilen örnekte aslında (T+1). Gün anlık hava değişimin başladığı gündür. EWMA genel ortalamaya baktığı için, hesaplanan enerji değeri aslında üretilen enerji değerinden %37 hata oranı ile hesaplanmıştır. Dolayısıyla, geliştirilmiş EWMA, G-EWMA, temel hedefi hesap yapılan gün içerisindeki hava koşullarındaki ani değişimleri de göz önüne alarak daha doğru ve hızlı tahminler yapmaktır. Gün içerisindeki hava koşullarını da içeren yeni formül aşağıda verilmiştir.

$$E(d) = [\alpha * E(d - 1) + (1 - \alpha) * H(d)] * (1 + GO) \quad (2)$$

Burada GO hesap yapılan gün içerisindeki enerji üretim miktarındaki artış/azalış oranını temsil etmektedir. Herhangi bir zaman diliminde hesap yapılırken bu zaman dilimine kadar olan önceki dilimlerdeki beklenen enerji ile hasat edilen enerji arasındaki artış/azalış ilişkisi GO hesabında kullanılacaktır.

GO'yu hesaplamak için, dilim oranı (DO) vektörü tanımlanmıştır,  $DO = [d_1, d_2, \dots, d_n]$ . DO vektörü her dilimde oluşan hata oranını göstermektedir. Hasat edilen enerji miktarındaki

fazlalık/azlık miktarı beklenen enerji miktarına bölünerek enerji miktarındaki artış/azalış oranı tespit edilir.

$$d_t = \frac{H(t) - E(t)}{E(t)} \quad (3)$$

Güneş ışınları günün belli aralıklarında çok daha yoğun/az olduğundan, örneğin yaz sezonunda öğle 13.00 – 16.00 en yoğun dönem, herhangi bir dilimde hesap yapılırken bu dilime yakın olan dilimlerin etkisinin daha yüksek olması gerekir. Dilimlerdeki hesaplanan değerler asıl hesap yapılan dilime olan uzaklıklarına göre K vektörüne bağlı olarak işleme alınır, K = [1, 2, ..., t]. Sonuç olarak GO aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$GO = \frac{DO * K}{\sum K} \quad (4)$$

G-EWMA' nın çalışma prensibini daha anlaşılır anlatabilmek için sayısal bir örnek Şekil-3' te verilmiştir. Örnek bir önceki gün hesaplanan 5 dilim için enerji miktarlarının (10, 11, 14, 16, 18) sonraki gün üretilen enerji miktarlarındaki artışa karşın G-EWMA' nın nasıl değerler ürettiğini göstermektedir.

Dilim 1, E=10	Dilim 2, E=11	Dilim 3, E=14	Dilim 4, E=16	Dilim 5, E=18
E <sub>1</sub> =10, H <sub>1</sub> =14 d <sub>1</sub> =0,4	E <sub>2</sub> =15,4, H <sub>2</sub> =16 d <sub>2</sub> =0,45	E <sub>3</sub> =20,2, H <sub>3</sub> =20 d <sub>3</sub> =0,42	E <sub>4</sub> =22,7, H <sub>4</sub> =22 d <sub>4</sub> =0,37	E <sub>5</sub> =25,2, H <sub>5</sub> =25 GO <sub>5</sub> =0,40

### Şekil 3:

Örnek G-EWMA uygulaması.

Şekildeki kırmızı renkle gösterilen değerler G-EWMA tarafından üretilmiştir. Her dilimde oluşan hata oranlarıyla DO vektörü elde edilir. Denklem 2 ve 4 kullanılarak her dilimde üretilecek enerji değerleri hesaplanır. G-EWMA tarafından elde edilen enerji değerlerinin üretilen enerji değerlerine çok yakın olduğu görülmektedir. Bu örnekte 5.dilimdeki GO değeri aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$GO_5 = \frac{1 * 0,4 + 2 * 0,45 + 3 * 0,42 + 4 * 0,37}{1 + 2 + 3 + 4} = 0,40 \quad (5)$$

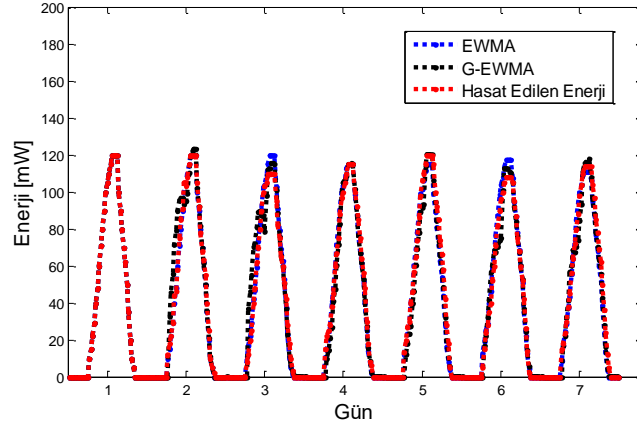
Elde edilen GO<sub>5</sub> değeri denklem 2'de yerine yazılırsa:

$$E(5) = 18 * (1 + 0,4) = 25,2 \quad (6)$$

## 3. PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ

### 3.1 Benzetim Sonuçları

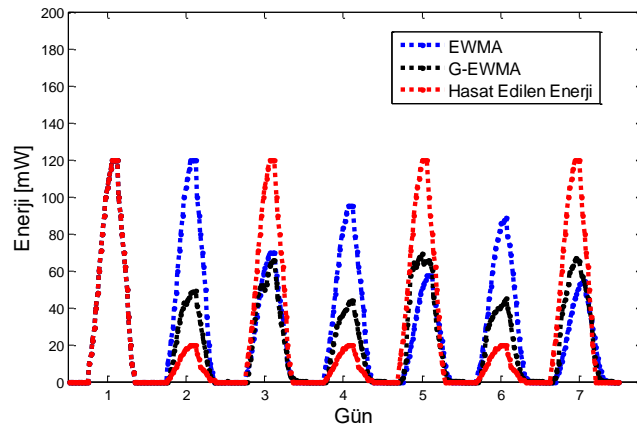
G-EWMA ve EWMA yaklaşımlarının performans karşılaştırılması farklı hava koşullarını içeren 3 senaryo üzerinde gerçekleştirilmiştir. Her senaryo birbirini takip eden 7 günlük tahminleri içermektedir. 1.senaryo hava koşullarının 7 gün boyunca ciddi bir değişime uğramadığı bir durumu içerir. Şekil 4 1.senaryo için elde edilen değerleri göstermektedir. Görüleceği üzere, hasat edilen enerji miktarının büyük değişime uğramadığı bu durumda iki algoritmada benzer sonuçlar vermektedir. Yapılan benzetimlerde üretilecek maksimum enerji miktarı gerçek bir kaynak-kısıtlı sistem temel alınarak alınmıştır (Sudevalayam ve Kulkarni, 2011). Bu sistemde 30 dakikalık direk güneş ışınları altında 120 mW enerji üretimi gözlemlenmiştir.



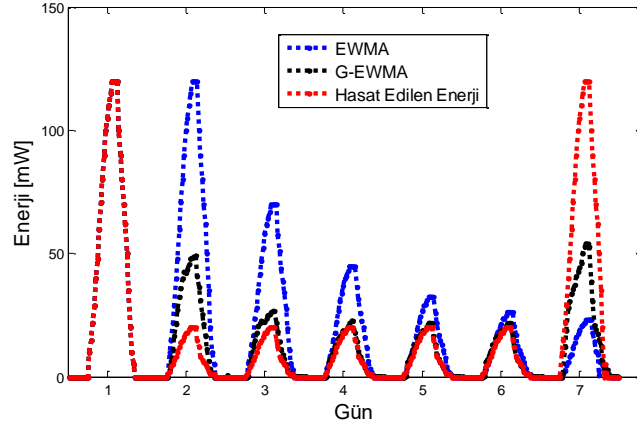
**Şekil 4:**  
*Senaryo 1.*

2.senaryo arka arkaya hava koşullarının değiştiği bir durumdur. Temel olarak havanın 1 gün güneşli ertesi gün kapalı/bulutlu olduğu bir senaryodur. Şekil 5 bu senaryoda iki algoritmanın tahmin ettiği verileri sunmaktadır. Görüldüğü gibi EWMA çok yüksek hatalı tahmin yapmaktadır. EWMA'nın tahmin ettiği değerler önceki günlerin ağırlıklı ortalaması olması günlük değişen hava koşullarını tespit edememesine neden olmuştur. G-EWMA ise günlük hava koşullarını göz önüne aldığından EWMA'dan çok daha iyi tahmin yapmıştır. Örneğin 4.gün hasat edilen enerji ciddi oranda düşmesine rağmen EWMA önceki güne nazaran daha yüksek tahmin de bulunmuştur. Fakat G-EWMA'nın tahmin ettiği değer daha düşük olmuştur.

3.senaryo ise güneşli bir günün ardından 5 günlük kapalı gün serisini göz önüne alır. Bu senaryonun amacı bu tarz uzun süren değişimlere iki algoritmanın ne kadar sürede adapte olmasını test etmektir. EWMA önceki günlerin ortalamasına baktığından belli bir hızla tahmin ettiği değerleri azaltır. Bunun sonucu olarak 6.gün EWMA çok az hata payıyla doğru tahmin yapmıştır. Fakat 7.gün güneşli olduğundan EWMA önceki kapalı günlerden ötürü çok kötü tahminde bulunmuştur. G-EWMA ise bu ani düşen enerji hasat miktarına çok daha hızlı karşılık vererek 3.gün çok yakın tahminde bulunmuştur. 7.gün oluşan ani yükselişe ise ürettiği değeri artırarak karşılık vermiştir. Sonuç olarak, her durumda G-EWMA algoritması EWMA'dan daha yüksek oranda doğru ve daha hızlı tahminler yapmıştır.



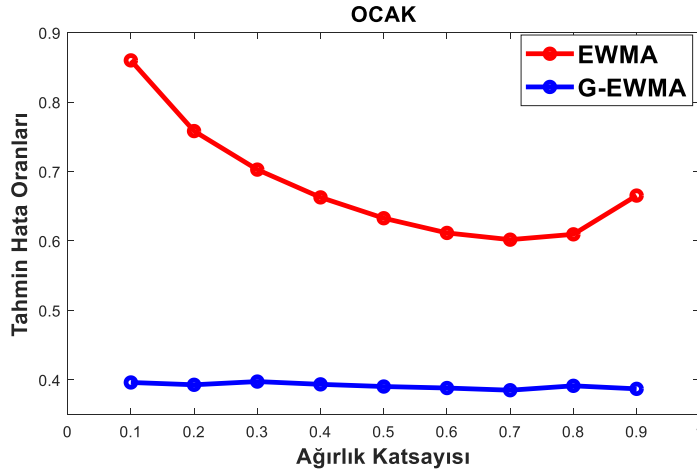
**Şekil 5:**  
*Senaryo 2*



Şekil 6:  
Senaryo 3.

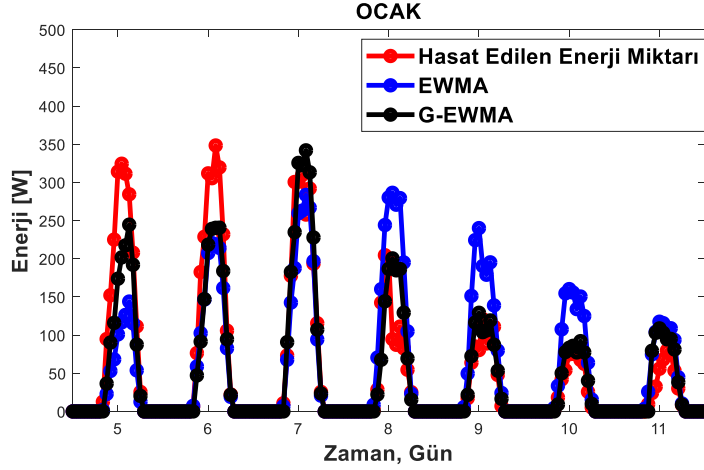
### 3.2 Deneysel Sonuçlar

EWMA ve önerilen yaklaşımın performanslarını daha gerçekçi ortaya koymak için, gerçek bir güneş panelinden elde edilen veriler kullanılarak, bu 2 yaklaşımın hata tahmin oranları hesaplanmıştır (Andreas ve diğ., 2015). 2015 yılının Ocak ayında elde edilen veriler bu performans analizinde kullanılmıştır. Ocak ayının kullanılma sebebi, bu zaman diliminde hava koşullarının çok sık değişmesinden ötürü önerilen yaklaşımın performans analizini daha gerçekçi yapmaktır. Şekil 7 farklı ağırlık katsayıları kullanılarak bu 2 yaklaşımın yapmış oldukları hata tahmin oranlarını sunmaktadır. Sonuçlardan görüleceği üzere, G-EWMA her durumda EWMA' dan ciddi anlamda daha iyi tahminler üretmiştir. EWMA yaklaşımının performansı ise ayrıca ağırlık katsayısına bağlı kalmıştır.



Şekil 7:  
EWMA ve G-EWMA hata tahmin oranları

EWMA ve G-EWMA' nın tahmin profillerini göstermek için, 1 haftalık tahmin değerleri şekil 8'de gösterilmiştir. EWMA üstel olarak ortalama değerler ürettiğinden ani değişimlere anlık yanıt veremediğinden ciddi hatalı tahminler üretmiştir. G-EWMA ise günlük koşulları hesaba kattığından ani değişimlere daha hızlı adapte olmuştur.



Şekil 8:  
1 hafta süreli EWMA ve G-EWMA tahmin profilleri.

#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada güneş enerjisi ile çalışan kaynak-kısıtlı sistemler için hasat edilen enerji miktarının tahmini için yeni bir yaklaşım önerilmiştir. Bu yaklaşım geçmişte hasat edilmiş enerji miktarını ve tahmin yapılan gün içerisindeki hava koşullarını göz önüne alarak daha doğru sonuçlar üretmeyi hedeflemiştir. Geliştirilen yaklaşım daha önce önerilmiş *Exponential Weighted Moving-Average* (EWMA) algoritmasından esinlendiği için geliştirilmiş-EWMA (G-EWMA) olarak adlandırılmıştır. EWMA sadece geçmişte hasat edilen enerji miktarlarının üstel olarak ortalamasını alarak tahmin yaptığından, hava koşullarının anlık değişimlerinde yüksek oranda hatalı sonuçlar vermektedir. G-EWMA ise EWMA'nın ana temasını kullanarak tahmin yapılan gün içerisindeki hava koşullarını da işleme sokar. Böylece, özellikle hızlı değişen hava koşullarında G-EWMA'nın EWMA'dan daha yüksek oranda doğru tahmin yaptığı sunulmuştur. G-EWMA daha yüksek doğrulukta tahmin yapabilmesinin yanında, değişen hava koşullarına daha hızlı adapte olabileme özelliğine de sahiptir. G-EWMA ve EWMA yaklaşımlarının performanslarının test edilmesi için değişen 3 farklı hava koşullarında bu algoritmaların tahmin ettiği değerler karşılaştırılmıştır. Hava koşullarının ciddi değişikliğe uğramadığı durumlarda G-EWMA ve EWMA benzer tahminler üretmesine rağmen, hızlı değişen hava koşullarında G-EWMA'nın daha yüksek doğrulukta tahmin yaptığı yapılan benzetimlerle ve gerçek analizlerle sunulmuştur.

#### KAYNAKLAR

1. Akyildiz, F.I., Su, W., Sankarasubramaniam, Y., ve Cayirci, E. (2002) A survey on sensor networks, *IEEE Commun. Magazine*, 40(8), 102-114. DOI: 10.1109/MCOM.2002.1024422
2. Ali, M.I., Al-Hashimi, B.M., Recas, J., ve Atienza, D. (2010) Evaluation and design exploration of solar harvested-energy prediction algorithm, *IEEE European Conference in Design, Automation & Test*, Germany, Dresden, 142-147. DOI: 10.1109/DATE.2010.5457222
3. Andreas., A. ve Stoffel., T. (2015) Elizabeth City State University: Elizabeth City, North Carolina (Data), NREL Report No: DA-5500-56517.
4. Buchli, B., Sutton, F., Beutel, J., ve Thiele, L. (2014) Dynamic power management for long-term energy neutral operation of solar energy harvesting systems, *ACM Conference on Embedded Network Sensor Systems*, Stanford, USA , 31-45. DOI: 10.1145/2668332.2668333



5. Cammarano, A., Petrioli, C. ve Spenza, D. (2012) Pro-Energy: a novel energy prediction model for solar and wind energy-harvesting wireless sensor networks, *IEEE International Conference on Mobile Ad-Hoc and Sensor Systems*, Las Vegas, USA, 75-83. DOI: 10.1109/MASS.2012.6502504
6. Kansal, A., Hsu, J., Zahedi, S., ve Srivastava, M.B. (2007) Power management in energy harvesting sensor networks, *ACM Transactions on Embedded Computing Systems*, 6(4), p.32. DOI: 10.1145/1274858.1274870
7. Kosunalp, S. (2015) MAC protocols for energy harvesting wireless sensor networks: Survey, *ETRI Journal*, 37(4), 804-812. DOI: 10.4218/etrij.15.0115.0017
8. Kosunalp, S. (2016) A new energy prediction algorithm for energy-harvesting wireless sensor networks with q-learning, *IEEE Access*, 4, 5755-5763. DOI: 10.1109/ACCESS.2016.2606541
9. Kosunalp, S. (2016) A performance evaluation of solar energy prediction approaches for energy-harvesting wireless sensor networks, *International Journal of Applied Mathematics, Electronics and Computers*, 4, 424-427. DOI: 10.18100/ijamec.266963
10. Kosunalp, S., Chu, Y., Mitchell, P.D., Grace, D., Clarke, T., (2016) Use of q-learning approaches for practical medium access control in wireless sensor networks, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 55, 146-154. DOI: 10.1016/j.engappai.2016.06.012
11. Kosunalp, S. (2017) An energy prediction algorithm for wind-powered wireless sensor networks with energy harvesting, *Energy*, 139, 1275-1280. DOI: 10.1016/j.energy.2017.05.175
12. Noh, D.K. ve Kang, K. (2011) Balanced energy allocation scheme for a solar-powered sensor system and its effects on network-wide performance, *Journal of Computer and System Sciences*, 77, 917-932. DOI: 10.1016/j.jcss.2010.08.008
13. J.C. Piorno, C. Bergonzini, D. Atienza & T.S. Rosing, "Prediction and management in energy harvested wireless sensor nodes," *In Proc. IEEE Wireless VITAE'09*, 2009, pp. 6-10. DOI: 10.1109/WIRELESSVITAE.2009.5172412
14. Sudevalayam, S., and Kulkarni, P. (2011) Energy harvesting sensor nodes: survey and implications, *IEEE Commun. Survey Tutorials*, 13(3), 443-461. DOI: 10.1109/SURV.2011.060710.00094
15. Tuna, G., Gungor, V.C., ve Gulez, K. (2013a) Wireless sensor networks for smart grid applications: a case study on link reliability and node lifetime evaluations in power distribution systems, *International Journal of Distributed Sensor Networks*, vol. 2013, Article ID 796248. DOI: 10.1155/2013/796248
16. Tuna, G., Gungor, V.C., ve Gulez, K. (2013b) Energy harvesting techniques for industrial wireless sensor networks, *In Industrial Wireless Sensor Networks: Applications, Protocols, Standards and Products*, 119-136.

