

Güneş enerjisinin küresel teknoloji yayılımı ve Türkiye için teknoloji yayılım tahmini

Alper ÇELEBİ*, Burç ÜLENGİN

İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İşletme Mühendisliği Programı, 34367, Maçka, İstanbul

Özet

Günümüzde enerji arzı ağırlıklı olarak fosil yakıtlarından sağlanmaktadır. Fosil kaynaklarının kısıtlı olması ve küresel ısınma yeni enerji kaynağı arayışlarını hızlandırmıştır. Güneş enerjisi henüz işlenmemiş büyük potansiyeli ve son yıllarda düşen maliyetinden dolayı arayışların odağındadır. Birikimli kurulu gücü son beş yılda yıllık %50 büyüyerek 2010 yılı sonu itibariyle 40GW'a ulaşmıştır. Almanya, İspanya, Japonya kurulu güce öncülük yaparken Türkiye'de henüz kurulu güç yok denilecek kadardır. Bu çalışmada seçilmiş yedi ülkede fotovoltaik'in (PV) dört farklı yayılım şekli (sürdürülebilirler, hızlı koşucular, rotasızlar, tetiklenemeyenler) ortaya çıkarılarak yayılımın tetikleyici koşullarını, hızını ve üst sınırını belirleyen değişkenler oluşturulmuştur. Veri kısıtı nedeniyle yeni ürün yayılımında kullanılan teknoloji tahmini yöntemlerinden genelleştirilmiş Bass model (GBM) ve lojistik kullanılmıştır. Orijinal denklemlerdeki üst sınır zamanın bir fonksiyonu haline getirilerek geliştirilmiştir. Bulunan yayılım fonksiyonları R^2 'nin >0.97 olduğu tatminkâr sonuçlar üretmiştir. GBM doğrulamada lojistik yöntemine göre genelde daha iyi sonuç vermesine rağmen Türkiye için yapılan tahminlerde lojistik daha gerçekçi sonuçlar çıkarmıştır. Belirlenen iki yayılım politikasına göre 2020 yılı için birikimli kurulu gücün 5.2GW veya 10.6GW olacağı öngörülmüştür. Bu senaryolarda 2020 yılında 2 milyar USD ile 4 milyar USD arasında değişen yatırım büyüklüğü hesaplanmış olup aynı yılda hükümetin satın alma yükümlülüğü 1.4 milyar USD ile 3 milyar USD arasında değişeceği hesaplanmıştır. Küresel bulgular ışığında Türkiye'nin, yeterli finansal destek sağlaması, hükümetin net kurulu güç taahhüdünde bulunması, şeffaf ve yalın yönetsel süreçler tasarlaması, iletim dağıtım hatlarının kapasitelerini takip etmesi ve güneş enerjisi farkındalığını artırmaya yönelik eylemler yapması önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Teknoloji yayılımı modelleme, teknoloji tahmini, güneş enerjisi.

*Yazışmaların yapılacağı yazar: Alper ÇELEBİ. alpercelebi@gmail.com; Tel: (533) 626 85 88.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İşletme Mühendisliği Programında tamamlanmış olan "Development dynamic of solar energy: Case of Turkey" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır.

Global diffusion of solar energy and technology diffusion forecasting for Turkey

Extended abstract

Electricity has become unavoidable and an important part of almost all daily activities. Currently, the world heavily relies on fossil fuels. Although they are cheap now, using them creates a problem of long-term energy security and global warming. This situation increased the importance of solar energy due to unutilized potential yet and steep cost reduction in last decades however solar energy installations in is still a fraction of installed base.

In the study, photovoltaic (PV) is only focus. After analysis of PV diffusion in seven focused countries, four diffusion patterns (sustainable, fact catchers, unguided missiles and lacking trigger) have been identified according to variables of market pick-up and diffusion speed characteristics.

Under the light of four diffusion patterns, three dimensions (trigger conditions, diffusion speed and upper limit) which differentiate patterns from each other are identified. Determined trigger conditions are profitability i.e. internal rate of return, IRR of a PV investment meets minimum market expectation, clear government commitment exists, lean administrative process in place, solar resources is higher than $>800\text{kWh/m}^2$. As long as all trigger conditions are not met, market pick-up is not expected. Diffusion speed is affected by IRR level, knowledge base, level of FIT, duration of administrative process, GDP growth and per capita, political stability. The diffusion reaches an upper limit influenced by country's PV installation target, solar potential, grid allowance, GDP growth / per capita, weight of FIT liability on GDP.

Due to limited historical data, generalized bass model (GBM) and logistic model are used. Both enable to add exogenous variables in equations, different from other growth curves e.g. Bass model, Gompertz. However, original equations still have fixed upper limit so, equations are improved in a way that upper limit is a function.

Developed "improved logistic" model reached 0.972 value of R^2 . Variables of triggered IRR and knowledge base are found to be statistically significant for determining diffusion speed considering any acceptance level, 0.01 or 0.05.

Variables of Z6 (PV target 2020) and Z4 (GDP per capita) are statistically significant for determining upper limit considering acceptance level of 0.1. "Improved GBM" model reached 0.997 value of R^2 . Variables of X12 (triggered IRR) and X3 (knowledge base) are statistically significant for determining diffusion speed at any acceptance level, 0.01 or 0.05. "Improved logistic" has been selected as the reference model because "improved GBM" didn't generate reasonable forecasts for Turkey despite the fact that it generates higher R^2 validation.

Turkish government introduced a new FIT for PV in 2011 however it is not expected to trigger the market. The reason is that two trigger points i.e. economic feasibility of an investment and government commitment are missed. Followed by expiration date of FIT (2013 end), it is assumed that trigger conditions are met with new FIT.

Based on "improved logistic" forecasts "sustainable" scenario starts with 240MW PV installations in 2014; reaches 1.4GW annual PV installations by 2020; 5.2GW cumulatively by 2020; this scenario might bring USD 2 billion yearly investment and cause FIT liabilities of USD 1.4 billion (0.12% of GDP) to Turkish government in 2020. "Fast catcher" scenario starts with 493MW too and reaches 2.9MW annual PV installations and 10.6GW cumulatively by 2020; this scenario might bring USD 4 billion yearly investment and cause FIT liabilities of USD 3 billion (0.27% of GDP) to Turkish government by 2020. The forecasts are cross-checked with local and international forecasts; other countries' 2020 installation targets and installed base development of Turkey. All cross-checks provide satisfactory results.

In order to trigger the PV market, Turkey should address the topic of economic attractiveness and government commitment. Turkey should pay attention to following topics in designing a policy. FIT should provide adequate financial incentives (not more not less than expected); clear government commitment should be shown by communicating short, mid and long term installation targets as done in wind case; transparent and lean regulatory procedures should be in place to avoid over-bureaucracy; grid capacity for PV should be followed carefully; promotion of PV should be done to build up public awareness.

Keywords: Technology diffusion modeling, technology forecasting, solar energy.

Giriş

Enerji kullanımı günlük hayatın vazgeçilmezlerindedir. Günümüzde enerji arzı ağırlıklı olarak fosil yakıtlı enerji kaynaklarına dayanmaktadır. Fosil kaynaklarının kısıtlı olması ve küresel ısınma yeni enerji kaynağı arayışlarını hızlandırmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarına artan ilginin temel nedeni budur. Yenilenebilir enerji kaynakları 2010 yılı itibariyle küresel enerji arzında %20 pay almasına rağmen hidroelektrik santralleri dışındaki yenilenebilir kaynaklarının payı toplamın sadece %3'ünü oluşturmaktadır. Güneş enerjisi işlenmemiş potansiyelinin büyüklüğünden ve maliyetindeki son 10 yıldaki hızlı düşüşten dolayı araştırmacıların, şirketlerin ve yatırımcıların odağındadır.

Güneş enerjisi teknolojik açıdan ikiye ayrılır. Güneş ışınlarını doğrudan elektriğe dönüştüren fotovoltaiik (photovoltaic, PV) teknolojisi, güneş enerjisinden buhar üreterek dolaylı yoldan elektrik üreten termal enerji (concentrated solar power, CSP) teknolojisi olarak isimlendirilir. Küresel yaygınlık ve Türkiye'deki kısa – orta vadedeki potansiyeli düşünülerek PV çalışmanın odağını oluşturmaktadır.

PV son 5 yılda en hızlı büyüyen endüstrilerden bir tanesidir. PV'nin küresel kurulu gücü 2005'teki 5GW seviyesinden 2010'da 40GW seviyesine yükselmiştir, bu 2005 yılından bu yana yıllık ~50%; son üç yılda yıllık ~60% büyüme anlamına gelmektedir (EPIA, 2011). Büyüklüğün daha net anlaşılması için; kabaca dünya'daki PV kurulu gücünün hemen hemen Türkiye'nin elektrik üretim santrallerinin toplam kapasitesi (50GW) kadar olduğunu söyleyebiliriz. Türkiye, Portekiz'den ve İspanya'dan sonra Avrupa'da en yüksek üçüncü güneş potansiyeline sahip olmasına rağmen birkaç deneysel amaçlı kurulmuş istasyon dışında maalesef PV kurulu gücü yoktur.

Avrupa'da PV'nin ülkelerdeki yayılımları incelendiğinde Almanya yatırımcılara göreceli olarak daha tutucu satın alma garantisi (feed-in tariff, FIT) sağlamasına rağmen 2010 yılı itibariyle kurulu gücü 17GW'a ulaşmıştır. Öte

yandan Yunanistan ve Bulgaristan yatırımcılara yüksek getiri vaat eden teşvik yasalarını uygulamaya koymalarına rağmen her ikisinin toplam kurulu gücü dahi ancak 200MW seviyesindedir. Acaba ülkeleri farklılaştıran unsurlar nelerdir? Küresel hangi yayılım şekilleri (diffusion patterns) mevcuttur? İstatistiki açıdan modellenilebilir mi? Türkiye için nasıl bir öngörü ve öneride bulunabiliriz?

Literatür araştırmasında güneş enerjisi endüstrisi için teknoloji yayılım şekillerinin ortaya çıkarılması ve teknoloji yayılım tahmini konusunda bir açık tespit edilmiştir. Rao ve Kishore (2010)'nun yaptığı çalışmaya göre teknoloji yayılım modellerinin ağırlıklı olarak son tüketiciye yönelik ticari ürünler (B2C) için kullanıldığı ve PV gibi devlet politikalarına bağlı gelişen pazarlarda yayılım modellerinin yeterince işlenmediği tespit edilmiştir. Şu anki zorluğun yenilenebilir enerji kaynaklarının yayılımı konusunda modellerinin geliştirilmesinin olduğu belirtilmiştir. Dalla Valle ve Furlan (2011) çevre korumasına yönelik farkındalığın artmasına rağmen temiz teknolojilerin yayılımı konusunda sadece birkaç tane kantitatif analiz ve tahminin yapıldığını işaret etmiştir. Yazarların tespitlerine paralel şekilde literatürde bulunan çalışmaların ağırlıklı kısmı yayılımı olumlu ve/ya olumsuz etkileyen değişkenleri anlamaya yönelik olduğu gözlemlenmiştir. Bulunan birkaç PV yayılım modelinde (örneğin: Guidolin ve Mortarino (2010)) ise tahmin değerleri ile gerçekleşmiş veriler arasında yüksek ölçüde farklılaşma mevcuttur. Türkiye'de yapılan çalışmalar belli bir bölgenin güneş enerjisi potansiyelinin farklı yöntemlerle hesaplamasından ve özel uygulama alanlarının araştırılmasından öteye gitmemiştir.

Çalışmanın ana hedefleri: seçilen odak ülkeler için PV yayılım şekillerinin belirlenmesi, yayılımı etkileyen unsurların tespiti ve modellenmesi, geliştirilen modelin Türkiye için çalıştırılarak farklı yayılım senaryolarına göre 2020 yılına kadar kurulu güç gelişim tahminidir. İncelenen ülkelerin yayılımlarından öğrenilenlerin Türk hükümetine politika önerisi şeklinde derlenmiştir.

Yöntem

PV'nin yeni gelişen bir teknoloji olması aşağıdaki üç konuda araştırma yöntemini şekillendirmiştir. Küresel seviyede mevcut geçmiş veri kısıtlıdır, mesela 100MW gibi temsili bir kurulu güce Almanya 2001'de, İspanya 2006'da, İtalya ve Fransa ise ancak 2008'de ulaşmıştır. Türkiye için oluşturulacak tahminler için doğrulanma çalışması kısıtlıdır, çünkü birkaç deneysel proje dışında güneş enerjisi kurulu güç yoktur. Türk hükümetinin güneş enerjisine yaklaşımıyla ilgili karmaşık mesajlar mevcuttur.

Türkiye'nin geçmiş verisinin olmamasından dolayı küresel seviyede elde edilen sonuçlar aşağıda bahsedilen dört aşamalı bir yöntemle Türkiye'ye uyarlandı. Ülkelerdeki PV yayılımları incelenerek ortak yayılım şekilleri oluşturuldu. Yayılım için yeni ürün tahminlerinde kullanılan istatistiki yöntemlerle bir model geliştirildi. Türkiye için oluşturulan PV yayılım Senaryolarına göre modeller çalıştırılarak 2020 yılına kadar kurulu güç tahmini yapıldı. Bunlara ek olarak diğer ülkelerden öğrenilenler çerçevesinde öneri paketi oluşturuldu.

Veriler toplanmasında EPIA (Avrupa Fotovoltaik Endüstrisi Derneği), IEA, (Uluslararası Enerji Ajansı), IEA PVPS (Uluslararası Enerji Ajansı Fotovoltaik Enerji Sistemleri Programı) gibi organizasyonların ve Avrupa Birliği'nin veri bankaları kullanıldı.

Yeni ürün yayılımının tahminlerinde en sık kullanılan büyüme eğrileri Bass model, genelleştirilmiş bass model (GBM), lojistik, Gompertz olarak listelenebilir. Dışarıdan değişken eklenmesine izin verdiğinden dolayı GBM ve lojistik'in en uygun modelleme yöntemleri olduğu tespit edildi.

Güneş enerji yayılımı sonuçları

Aşağıdaki tabloda yer aldığı gibi PV'nin ülkelerdeki yayılımı yıllar itibarıyla incelendiğinde Almanya'nın uzun yıllar boyunca en fazla kurulu gücü barındırarak liderliğini sürdürdüğünü görebiliriz. İspanya, Çek Cumhuriyeti, Fransa, İtalya, ABD ülkelerinde

son yıllarda yatırıma uygun koşullar oluşturularak PV yayılımı tetiklenmiştir. Son üç yıla bakıldığında toplam kurulu güç neredeyse üç kat artmasına rağmen en fazla kurulu gücü olan yedi ülkenin toplam kurulu güçteki payı %86'da sabit kaldığı gözlemlenmektedir.

Tablo 1. Ülkelerin PV kurulu güç gelişimi

GW	2006	2007	2008	2009	2010
Almanya	2.8	4.0	6.0	9.8	17.2
İspanya	0.1	0.7	3.5	3.5	3.9
Japonya	1.7	1.9	2.1	2.6	3.6
İtalya	0.1	0.1	0.5	1.2	3.5
A.B.D.	0.6	0.8	1.2	1.6	2.5
Çek Cumhuriyeti	0.0	0.0	0.1	0.5	2.0
Fransa	0.0	0.1	0.2	0.4	1.1
Diğerleri	1.6	1.9	2.2	3.2	5.7
Toplam	7.0	9.5	15.7	22.9	39.5
Top 7'nin payı	77%	80%	86%	86%	86%

Çalışmada kurulu gücün 1GW'a ulaşması, satın alma garantisi tipi teşviklerin mevcudiyeti ölçütlerine göre değerlendirilme yapılarak Almanya, İspanya, Çek Cumhuriyeti, Fransa, İtalya odak ülke olarak seçilmiştir. Bunlara ek olarak komşu ülkelerden Bulgaristan ve Yunanistan da cömert FIT sağlanmasına rağmen tetiklenmeyen PV pazarları olmasının Türkiye için örnek olacağı düşünülerek bu iki ülke de odak ülke listesine eklenmiştir.

Yedi ülkedeki PV yayılımının başladığı yıl "yıl 1" olacak şekilde normalize edilip benzer yayılım şekilleri tespit edilerek aşağıdaki dört tip belirlenmiştir.

Sürdürülebilirler (Sustainable): Sadece Almanya'nın dahil olduğu gruptur. Verdiği satın alma garantilerinde yatırımcılara makul ölçülerde iç karlılık oranı (IRR, ortalama ~%8) sağlar. Şeffaf ve yapısal yönetsel süreçleri mevcuttur. PV endüstrisinin gelişimi için hükümetin kısa – orta – uzun vadeli taahhütleri mevcuttur.

Hızlı koşucular (Fast catchers): İtalya ve Fransa'daki yayılma şeklidir. Yatırımcılarına göreceli olarak daha yüksek IRR (ortalama ~12%) sağlayarak daha hızlı bir büyüme gerçekleştirmektedir. Her iki ülkede de

yayımların başlangıcında bazı yönetsel engellerle karşılaşmıştır ancak sonrasında bunlar yeni çıkarılan yönetmeliklerle ortadan kaldırılarak yayılım tetiklenmiştir. Satın alım garantilerin devletin bütçesinde oluşturacağı yük uzun vadedeki sürdürülebilirliği belirsizdir.

Rotasızlar (Unguided missiles): İspanya ve Çek Cumhuriyeti bu gruba dahildir. Bu yayılım sekinde IRR seviyesi %12'yi aşmakta, bazı yıllarda %16 mertebesine varmaktadır. Çekici yatırım koşulları ve uyguladıkları yalın yönetsel süreçlerle büyük ölçüde yatırımcıların ilgisini çekmişlerdir. Ülkeler PV yatırımının gelişimini sıkı kontrol altında tutmamışlardır. Hızlı yayılım başlangıçta bir başarı öyküsü olarak gözükse de sonrasında 20 yıl için yüksek teşvik taahhütlerinden dolayı devlet için kâbus haline dönüşmüştür. Her iki ülke de benzer zorluklarla karşılaşarak geriye yönelik teşviklerde değişiklik yapma veya yatırımcılara ek vergi getirme yoluna gitmiştir. Bu tur sürprizler sadece o ülkelere yatırım yapanların değil küresel boyutta PV endüstrisindeki yatırımcıların güvenini önemli ölçüde kırmıştır.

Tetiklenmemişler (Lacking trigger): Yunanistan ve Bulgaristan bu gruba dahildir. Her iki ülkede de yatırımcılar için oldukça çekici IRR seviyeleri taahhüt edilmesine rağmen bürokratik engeller, belirsiz / uzun yönetsel süreçler ve/ya kötüleşen ekonomik koşullardan dolayı pazarın tetiklenmesi beklendiği gibi gerçekleşmemiştir.

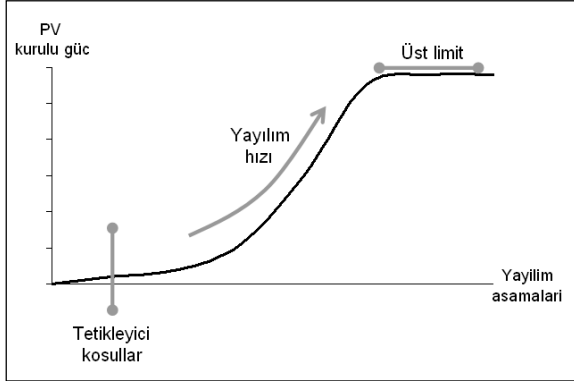
Peki, Bulgaristan yatırımcılarına çekici bir yatırım imkânı sunmasına rağmen neden henüz pazar tetiklenmemiştir? Bu sorunun en temelinde teşviklerin yayılımın başlaması için önemli bir unsur olmasına rağmen yayılımın başlaması için tek başına yeterli olmamasıdır. Yayılım başlaması için *tetikleyici koşullar (trigger conditions)* olarak isimlendirilen unsurların oluşması gerekmektedir. Belirlenen 4 tetikleyici unsur şu şekildedir: PV elektriğinin satın alma garantisini pazarın beklediği asgari IRR seviyesini sağlaması (küresel asgari oran %6'dır ancak ülkelerin yatırımcı iştahı farklılık gösterebilmektedir), PV'ye yönelik net kısa –

orta – uzun vadeli hükümet taahhüdü, ağır bürokrasiden arındırılmış yalın yönetsel süreç, asgari güneş enerjisi potansiyelinin >800kWh/m²'dan fazla olması. Pazarın gelişmesi için belirlenen bu dört koşulun da aynı zamanda oluşması gerekmektedir. Aksi takdirde Bulgaristan ve Yunanistan'da olduğu gibi yayılım şekli "tetiklenmeyenler" olmaktadır.

Tetikleyici koşullara ek olarak Çek Cumhuriyeti sadece iki yıl gibi kısa bir sürede sıfır PV kurulu gücünden 2.3GW'lik bir kurulu güce ulaşmasına rağmen Almanya'nın aynı kurulu güce ulaşması pazar tetiklendikten 9 yıl sonra olmuştur. Neden bazı ülkelerde PV daha hızlı yayılım gösterirken bazı ülkelerde daha yavaş yayılım göstermektedir. Bu boyut *yayılım hızı (diffusion speed)* olarak isimlendirilmiştir. Yatırımcılara sağlanan IRR seviyesi, ülkede oluşan bilgi birikimi, FIT seviyesi, PV kurulum başvurusunun sonuçlanması için geçen süre, GSMH (büyüme ve kişi başına), politik istikrar yayılım hızını belirleyen değişkenler olarak tanımlanmıştır.

Son olarak bazı ülkelerde pazar daha erken doyum noktasına ulaştığı gözlemlenmiştir. Örneğin Almanya 2010 yılı sonu itibarıyla 17GW kurulu güce erişmesine rağmen büyümesini devam etmesi beklenmektedir. Hâlbuki Çek Cumhuriyeti artık yatırımcıya çekici FIT sağlamaktan vazgeçmiştir. Bu boyut *üst limit (upper limit)* olarak isimlendirilmiştir. Ülkenin PV kurulu güç hedefi, güneş enerjisi potansiyeli, elektrik dağıtım ağının PV kurulu gücünü kaldırabilme potansiyeli, GSMH (büyüme ve kişi başına) ve devletin PV elektriğini satın alma garantisinin GSMH'daki payı üst limiti belirleyen değişkenler olarak tanımlanmıştır.

Aşağıdaki şekilde yukarıda bahsedilen üç boyut görselleştirilmiştir.



Şekil 1. Ülkedeki PV yayılımının boyutları

PV teknoloji yayılımı tahmini

İstatistiki modelleme amacıyla GBM ve lojistik yöntemlerinin seçilmiştir. Ancak her iki yöntemdeki özgün denklemlerde üst limiti sabit bir sayıdır, modelleme için özgün denklemlerde iyileştirmeler yapılarak üst limit dışarıdan değişken eklenebilir bir fonksiyonu haline getirilmiştir. Yeni modeller “geliştirilmiş GBM” ve “geliştirilmiş lojistik” olarak isimlendirilmiştir. GBM için EViews yazılımında bir eklenti geliştirilmiştir ve geliştirilen eklenti EViews tarafından ana sayfalarında duyurularak diğer kullanıcıların da hizmetine açılmıştır.

“Geliştirilmiş GBM” doğrulama sonuçlarında “geliştirilmiş lojistik”e göre genel anlamda daha iyi sonuç üretmesine rağmen “geliştirilmiş GBM”in Türkiye için yaptığı tahminler rasyonel değildir. İlk yıl tahmin edilen kurulu güç bir zirve yapıp sonraki yıllarda azalmaktadır. Bu makalede sadece “geliştirilmiş lojistik” sonuçları referans sonuç olarak incelenecektir. Meraklısı için GBM’le ilgili tüm denemeler, sonuçlar, nedenler doktora tezinde tartışılmıştır.

Lojistik

Lojistik model nüfus tahmininden petrol fiyatı gelişimine kadar birçok farklı uygulama alanında kullanılmaktadır (Hubbert, 1962). Lojistik yönteminin boyutları aşağıdaki gibidir:

- üst limiti mevcuttur

- başlangıçta yayılım artışı yavaştır ve sonrasında ivmelenmesi artar. üst limite yaklaştıkça ivmelenmesi azalır.
- özgün lojistik fonksiyonunda üst limit, A, bir sabit sayıdır ve zaman açıklayıcı değişkendir.
- zamanın etkisi β ile belirlenir. Daha büyük bir β ile denklem üst limite daha kısa surede erişir.

Özgün denklemi aşağıdaki gibidir:

$$Y(t) = \frac{A}{1 + e^{-\beta t}} \quad (1)$$

Y(t): toplam değer

A: üst limit, Y(t)’nin alabileceği azami değer

β : katsayı, zamanın etkisi

e: 2.718282

Özgün denklemde üst limiti ve zamanın etkisini fonksiyon haline getirdiğimizde aşağıdaki gibi bir denklem oluşur:

$$Y_{it} = \frac{\beta_0 + \beta_1 z_{1it} + \beta_2 z_{2it} + \dots}{1 + e^{-(\alpha_0 + \alpha_1 x_{1it} + \alpha_2 x_{2it} + \dots)}} \quad (2)$$

Burada z' değişkenleri ülkelerin üst limitini belirleyen değişkenleri, x' değişkenleri ise ülkelerin yayılım hızını oluşturan değişkenleri temsil etmektedir.

Lojistik denklemin yayılım hızını ve üst limiti etkileyen değişkenler kullanıldığında EViews aşağıdaki sonuçları çıkarmaktadır:

Tablo 2. Lojistik modelleme sonucu

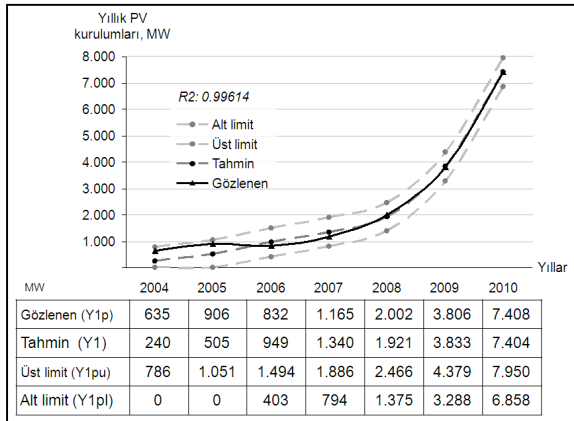
Yöntem: Least Squares				
Örnek: 1 32				
Dahil edilen gözlem: 32				
Yakınsama 87 iterasyon sonunda erişilmiştir				
Y1=(C(1)+C(2)*Z6+C(5)*Z4)/(1+EXP(C(3)+C(4)*X12+C(6)*Z5+C(7)*X3))				

	Katsayı	Std.Sapma	t-değeri	Olasılık (p)
C(1)	589180.4	337006.1	1.748278	0.0927
C(2)	-3.7017	2.0964	-1.7657	0.0897
C(5)	-9.2764	5.7638	-1.6094	0.1201
C(3)	9.6244	0.5319	18.0959	0.0000

C(4)	-17.9562	2.5488	-7.0449	0.0000
C(6)	-8.5607	3.3271	-2.5730	0.0164
C(7)	-0.7147	0.0773	-9.2407	0.0000
R2	0.972406			

0.972 R² değeri gözlenen veri ile tahmin edilen verinin birbirine yüksek seviyede uyumlu olduğunu göstermektedir. Bunun dışında hem 0.1 hem de 0.05 kabul seviyesinde “tetiklenmiş IRR” (X12) ve “oluşmuş bilgi” (X3) istatistiki açıdan yayılımın hızını etkilemesi anlamlı bulunmuştur. “2020 yılı PV hedefi” (Z6) ve “kişi başına GSMH” (Z4) 0.1 kabul seviyesinde istatistiki açıdan anlamlı çıkmıştır.

Bu sonuçlar ışığında seçilen yedi ülke için gözlenen ve tahmin edilen veriler (alt ve üst limitler %95 güven aralığında belirlenmiştir) için doğrulama (validation) yapılmıştır. Aşağıda bu doğrulamalardan Almanya için yapılan bir örnek bulunmaktadır. Sonuçlar tatmin edicidir.



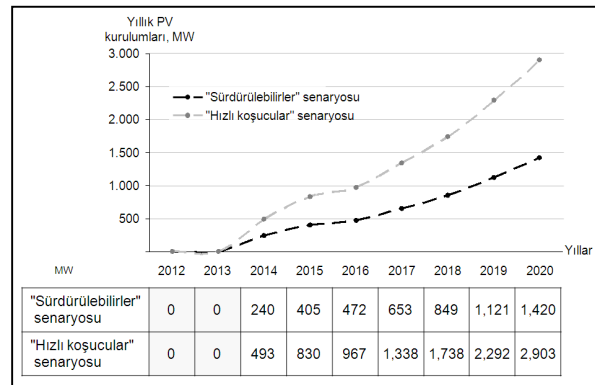
Şekil 2. Almanya için “geliştirilmiş lojistik” sonuçlarının doğrulanması

Türkiye’de PV yayılımı ve teknoloji yayılım tahmini

Türk hükümeti yeni tevsik yasasını 2011 yılında yürürlüğü koydu. Pazarın başlaması için belirlenen tetikleyici unsurlar incelendiğinde yeni tevsik yasasının koşulları sağlamadığı görülmektedir. Taahhüt edilen satın alma garantisi ve bugünkü PV yatırım maliyetleri düşünüldüğünde asgari gerekli olan IRR koşulu (>%6) sağlamamaktadır. Buna ek olarak Türk hükümetinin PV yatırımlarına yönelik net bir

hedefi ve/ya mesajı bulunmamaktadır. Belirlenen dört tetikleyici koşuldaki yukarıdaki iki koşul oluşmadığı için 2013 yılı sonuna kadar yürürlükte kalması planlanan yasanın PV pazarının tetiklenmesi beklenmemektedir. Bu durum “tetiklenemeyenler” olarak tanımlanan yayılım sekline denk düşmektedir.

Modellemedeki gelecek senaryoları sadece 2014 yılından itibaren başlamıştır. Oluşturulan dört küresel yayılım şekillerinden “rotasızlar” ve “tetiklenemeyenler” hiç bir zaman hükümetlerin özellikle planladığı yayılım şekilleri değildir. Dolayısıyla Türkiye’de 2013 yılı sonrasındaki yayılım şekil senaryoları için “sürdürülebilirler” ve “hızlı koşucular” tipleri referans alınacaktır. Yayılım senaryoları arasındaki temel fark IRR seviyeleridir. “Sürdürülebilirler” yayılım Senaryosu için IRR seviyesi %8, “hızlı koşucular” için %12 kullanıldı. Tahmin sonuçları aşağıdaki şekildedir.



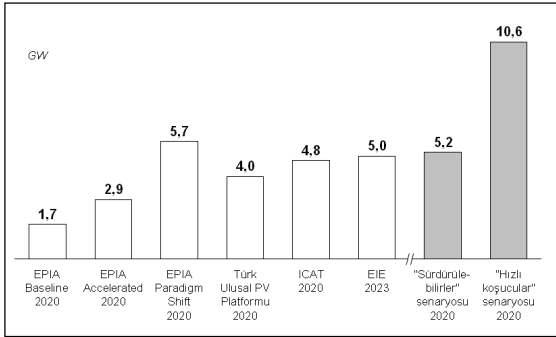
Şekil 3. Türkiye için “geliştirilmiş lojistik” tahmin sonuçları

“Sürdürülebilirler” yayılım senaryosunda 2014 yılında 240MW kurulu güç ile yayılımın başlaması öngörülmüş olup yıllar boyunca kurulu güç tahminleri artarak 2020 yılında 1.4GW’a erişmektedir. Bu sonuçlarla birikimli kurulu gücü 2020 yılında 5.2GW’a ulaşmaktadır.

“Hızlı koşucular” yayılım senaryosunda ise 2014 yılında 493MW kurulu güç ile yayılımın başlaması öngörülmüş olup yıllar boyunca kurulu güç tahminleri artarak 2020 yılında

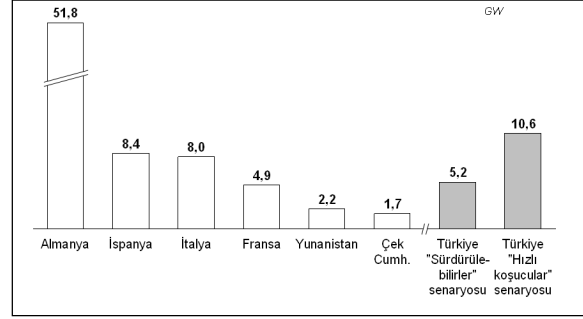
2.9GW'a erişmektedir. Bu sonuçlar birikimli kurulu gücü 2020 yılında 10.6GW ulaşmaktadır.

Çıkarılan sonuçlar farklı yerel ve uluslararası kuruluşlar tarafından yapılan tahminlerle aşağıdaki gibi karşılaştırılmıştır. "Sürdürülebilirler" yayılım senaryosu EPIA'nin yaptığı paradigma değişikliği senaryosu, Türk Ulusal PV Platformu'nun, ICAT'in (Uluslararası Uygulamalı Termodinamik Merkezi), Elektrik İşleri Etüt İdaresi'nin tahminleriyle örtüşmektedir. "Hızlı koşucular" senaryosu beklendiği gibi yatırımcılara sunulan çekici koşullardan dolayı daha yüksek sonuçlar çıkarmıştır. Tahminlerdeki farklılar yayılım senaryolarında varsayılan tetikleme koşullarının olduğu yılların farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Mesela "sürdürülebilirler" senaryosunda tetikleyici koşulların 2014 yılında değil de 2015 yılında oluştuğunu varsayarsak 2020 yılındaki kurulu güç 5.2GW değil, kabaca 3.7GW olacaktır.



Şekil 4. Türkiye için tahmin sonuçlarının diğer tahminlerle karşılaştırılması

Başka bir karşılaştırma aşağıdaki gibi Avrupa Birliği'nin ülkelere verdiği PV kurulu güç hedefleridir. Almanya PV'ye olan ulusal ilgisinden, Yunanistan ve Çek Cumhuriyeti toplam kurulu gücünün kısıtlı olmasından, Fransa nükleer'e olan ilgisinden dolayı Türkiye tam karşılaştırılabilir ülkeler değildir. Ancak benzer güneş enerjisi potansiyeline sahip İspanya ve İtalya'nın hedefleri Türkiye için tahmin edilen birikimli kurulu güç ile uyumluluk göstermektedir.



Şekil 5. Türkiye için tahmin sonuçlarının diğer ülkelerin 2020 yılı hedefleri ile karşılaştırması

Sınırlayıcı koşullar

Yayılım senaryoları geliştirilirken 2014 yılı itibarıyla PV pazarının tetikleneceğini varsayılmıştır. Bu bölümde tetikleyici unsurların neler olduğu ve neyi gerektirdiği tartışılacaktır.

Mevcuttaki teşvik yasası değerlendirildiğinde PV yatırımın ekonomik çekiciliği ve hükümetin PV pazarına yönelik taahhüt eksikliğinden dolayı tetikleyici unsurların oluşmadığı sonucuna varılmıştı.

PV pazarını tetiklemek için ilk yapılması gereken Türk hükümetinin nasıl bir PV Pazar gelişimini öngördüğünü ve destekleyeceğini açıklamasıdır. Yatırımcılar için kritik olacak unsur gerçekçi uzun, orta ve kısa vadeli kurulu güç hedeflerinin ve bunlara nasıl ulaşılabileceğinin yapısal bir planda gösterilmesidir. Böyle bir taahhüt sadece PV kurulu gücünü tetiklemeye yardımcı olmakla kalmayacak aynı zamanda uluslararası PV bileşenleri (modül, inverter gibi) üreticilerini de yatırım yapmaya teşvik edecektir. Benzer durum Türkiye'deki rüzgar enerjisinde görülmektedir. Uygulan teşvik yasası ve hükümetin 2023 yılında 20GW rüzgar kurulu güce ulaşma hedefini açıklanmasıyla uluslararası rüzgar türbin üreticileri Türkiye'deki üretim merkezlerini ya arttırmayı ya da olmayanlar kurmayı değerlendirmektedir.

Tetikleyici diğer bir unsur PV elektriğine verilen satın alma garantisinin yatırımcıların getiri beklentilerini karşılayacak seviyede olma-

sıdır. Aşağıdaki tabloda “sürdürülebilirler” ve “hızlı koşucular” yayılım şekillerinde belirlenen %8 ve %12 IRR seviyelerine göre yıllar itibariyle hesaplanmış önerilen satın alma garantisi seviyeleri ve yılları bulunmaktadır.

Tablo 3: farklı yayılım senaryoları için hesaplanmış satın garantisi (FIT) seviyeleri

Yıl	"Sürdürülebilirler"			"Hızlı koşucular"		
	IRR %	FIT \$/kWh	Taahhüt Yıl	IRR %	FIT \$/kWh	Taahhüt Yıl
2012	8%	0.201	20	12%	0.215	20
2013	8%	0.189	20	12%	0.205	20
2014	8%	0.182	20	12%	0.196	20
2015	8%	0.177	20	12%	0.190	20
2016	8%	0.165	20	12%	0.177	20
2017	8%	0.156	20	12%	0.166	20
2018	8%	0.149	20	12%	0.160	20
2019	8%	0.144	20	12%	0.153	20
2020	8%	0.137	20	12%	0.145	20

Tabloda görüldüğü gibi yıllar itibariyle FIT seviyesinde azalma gözlemlenmektedir. Bunun nedeni PV teknolojisindeki ucuzlaşmasına paralel yapılan indirimlerle yatırımcıların karlılığının belli bir koridorda kalmasının sağlanmasıdır. Bu yöntem Almanya tarafından uygulanmakta ve yarattıkları başarı öyküsünün temel nedenidir, bu şekilde devletin altına girdiği yükümlülüğün seviyesini sınırlayarak yayılım politikası uzun vadede sürdürülebilirdir.

PV endüstrisi hükümetin seçeceği yayılım şekillerine göre önemli miktarda yatırım imkanı sağlayacaktır. Sistem kurulum maliyetlerini ile “sürdürülebilirler” ve “hızlı koşucular” senaryolarında tahmin edilen kurulu güç gelişimi düşünüldüğünde 2014 yılında yıllık yatırım maliyeti sırasıyla 500 milyon USD ve 1 milyar USD; 2020 yılı için yatırım tutarı sırasıyla 2 milyar USD ve 4 milyar USD olacağı hesaplanmıştır.

Bununla birlikte benzer bir hesaplama satın alma garantilerinin kamuya getireceği taahhüt büyüklüğü için yapılmıştır. 2014 yılındaki ödeme her iki senaryo için 100 milyon USD mertebesindeyken 2020 yılında “sürdürülebilirler” senaryo için toplam kurulu güç için

ödenen miktar 1.4 milyar USD’a, “hızlı koşucular” senaryosunda için ise 3 milyar USD’a ulaşmaktadır. Ödenen tutarların tahmin edilen GSMH’lari payı “hızlı koşucular” senaryosunda dahi sadece %0.27 ile sınırlı kalacaktır. Bu oran bugün Çek Cumhuriyeti’nde %0.5, Almanya’da ise %0.2 olduğu düşünülürse göreceli olarak ekonominin kaldırabileceği bir yük olarak değerlendirilebilir. Yapılacak yatırımların, yerel ve/ya ihracat için yapılacak bileşen üretiminin sağlayacağı istihdam ve katma değer ekonomik değeri ayrıca hesaplanmalıdır.

Politika önerileri

Almanya’da gözlemlendiği gibi düzgün bir yasal düzenleme ile PV endüstrisi bir başarı öyküsü olabileceği gibi Çek Cumhuriyeti ve İspanya örneklerinde olduğu rotasız yasal düzenlemelerin sonuçları kamunun kâbusu olabilmektedir. İncelenen ülkelerdeki PV yayılımının iyi, iyileştirmeye açık yönleri ve yapılan uluslararası çalışmalar (EPIA, 2011; EPIA, 2010; BMU, 2007) ışığında Türkiye için aşağıdaki politika önerileri oluşturulmuştur.

Yeterli finansal destek: Uygulamaya koyulacak FIT yatırımcılara makul getiri sağlamalıdır. Cömert tasarlanan teşvikler spekülative bir pazar oluşturabileceği gibi, tutucu tasarlanmış teşvikler pazarın tetiklememektedir. Bu yüzden teşvik seviyesi öyle bir tasarlanmalıdır ki yatırımcının sadece asgari ihtiyaç duyduğu IRR sağlamalıdır. Küresel örneklerde %8 IRR pazarın “sürdürülebilirler” şeklinde yayılımını %12 IRR pazarın “hızlı koşucular” şeklinde yayılımını sağlamaktadır. Ancak bu değerlerin Türkiye’deki yatırımcıların iştahlarıyla uyumlandırılması düşünülebilir. PV teknolojisi hızla ucuzladıkça ilk yatırım maliyetleri azalmaktadır. Bu yüzden teşvik büyüklüğü maliyetlerdeki düşmeye paralel yatırım gerçek değerini yansıtmalıdır. Bu kamunun pazarı yakın takibini gerektirir. Bunun dışında şu anki teşvik yasasında olduğu gibi yıllık kurulum büyüklüğünü sınırlamakta spekülative pazarı önleyici bir tedbirdir.

Endüstri gelişimini yönelik kesin taahhüt: Türk hükümetinin Cumhuriyetin 100. kuruluş yılı için öngördüğü 100GW'lık kurulu güç içerisinde güneş enerjisi için özel bir hedef belirtilmemiştir. Ülkedeki toplam kurulu güç gelişimi, enerji üretim teknolojilerinin dağılımı, ithal edilen enerji kaynaklarına bağımlılık gibi kıstaslar düşünülerek kısa – orta – uzun vade için PV kurulu güç hedefleri belirlenmelidir. Uzun vadeli hedefe ek olarak kısa ve orta vadede kilometre taşları belirlenerek gelişimin takip edilmesi sağlanmalıdır.

Şeffaf ve yalın düzenleyici süreçler: Bulgaristan ve Yunanistan yatırımcılara yüksek getiriler taahhüt etmesine rağmen güneş enerjisi pazarı tetiklenememiştir. Bunun nedeni karmaşık süreçlerdir. PV diğer tüm enerji üretim teknolojilerinden farklı olarak dağınık bir yapıya sahiptir. Yani kamu kuruluşlarına başvuru yapacaklar 10MW – 100MW'lik üretim tesisi kurmak isteyenlere ek olarak evlerin çatısına kW büyüklüğünde PV kurulumu yapmak isteyen ancak enerji konusuna hakim olmayan binlerce vatandaşlar olabilir. Dolayısıyla sürecin şeffaf ve yalın olması kritik başarı unsurudur. Burada iki öneri öne çıkmaktadır. Birincisi belirli büyüklüğe kadar yapılan başvuruların tek yerden yapılarak zaman ve para tasarrufu sağlanmasıdır. İkincisi ise “tip proje” denilen standart büyüklükte projeler oluşturularak vatandaşların proje tasarımına ayıracakları para ve teknik aksaklıklar asgariye indirilmesidir.

İletim / dağıtım hatlarının kapasiteleri takip edilmelidir: İletim ve dağıtım hatları PV gibi dalgalı enerji sağlayan elektrik üretim teknolojilerini belli bir kapasiteye kadar kaldırmaktadır. Bu kapasite bazı kaynaklarda %10 olarak gösterilirken bazı kaynaklarda %30 olarak gösterilmektedir. Ancak ilgili kurumların yakın takibi ile Türkiye özelinde bir limit noktası belirlenmelidir.

PV farkındalığının yaratılması: Kamunun hem küçük hem de büyük yatırımcıları hedef alan bilgilendirmeler yapması gerekmektedir. Bilgilendirmeler konunun çevresel boyutu ve potansiyel getirisini içerebilir. Bunun dışında GENSED (Güneş Enerjisi Sanayicileri ve Endüstrisi Derneği), UFTP (Ulusal Fotovoltaik Teknoloji Platformu) gibi güneş enerjisi gelişimini kendilerine görev edinmiş dernekler desteklenmelidir.

Kaynaklar

- Dalla Valle, A., and Furlan, C., (2011). Forecasting accuracy of wind power technology diffusion models across countries, *International Journal of Forecasting*, **27**, 592 – 601.
- Guidolin, M., and Mortarino, C., (2010). Cross-country diffusion of photovoltaic systems: Modeling choices and forecasts for national adoption patterns, *Technological Forecasting & Social Change*, **77**, 279 – 296.
- Hubbert, M.K., (1962). *Energy Resources: Report to the Committee on Natural Resources' Publication 1000-D*, National Academy of Sciences and National Research Council, Washington, USA.
- Rao, K. U. and Kishore, V. V. N., (2010). A review of technology diffusion models with special reference to renewable energy technologies, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **14**, 1070 – 1078.
-
- BMU., (2007). The Renewable Energy Sources Act: The Success Story of Sustainable Policies for Germany. <http://www.bmu.de>, (15.04.2011)
- EPIA., (2010). Unlocking sunbelt potential of photovoltaics. <http://www.epia.org/publications/epia-publications.html>, (15.04.2011).
- EPIA., (2011). Global Market Outlook for Photovoltaics until 2015. <http://www.epia.org/publications/epia-publications.html>, (15.04.2011).