

# Elektrik Kesintisi Maliyetlerinin (EKM) Bölgesel Faktörler ve Müşteri Kategorilerine Göre Hesaplanması ve Şebeke Güvenilirliği ile İlişkiselliğinin Analizi

## Calculation of Power Outage Costs (VOLL) by Regional Factors and Customer Categories and Examining its Relation with Grid Reliability

Necati Keskin<sup>1</sup>, Sude Kozalioğlu<sup>2</sup>, Oğuzhan Elbil<sup>3</sup>, Andaç Kılıç<sup>4</sup>, Hasan Çelik<sup>5</sup>, Deniz Esin Emer<sup>6</sup>,  
Dr. Adnan Kaya<sup>7</sup>, Eda Erden<sup>8</sup>

<sup>1,2,3,4,5,8</sup>ADM Elektrik Dağıtım A.Ş., Ar-Ge Müdürlüğü

necati.keskin@admelektrik.com.tr, sude.kozalioğlu@admelektrik.com.tr, oğuzhan.elbil@admelektrik.com.tr,  
andac.kilic@admelektrik.com.tr, hasan.celik@admelektrik.com.tr, eda.erden@admelektrik.com.tr

MRC Türkiye, Yönetici Danışmanlığı

esin.emer@mrc-tr.com

<sup>7</sup> Elektrik Elektronik Mühendisliği, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İzmir Kâtip Çelebi  
Üniversitesi

adnan.kaya@ikcu.edu.tr

### Özet

Elektrik dağıtım sistemlerinde meydana gelen elektrik kesintileri, oluştuğu zaman dilimi, süresi, sayısı, etkilediği müşteri türü ve satılmayan elektrik maliyeti gibi parametrelere bağlı olarak ülke ekonomisinde kayıplara sebebiyet vermektedir. Şebeke yatırım maliyetleri ile arz güvenilirliği arasındaki denge noktasının kestirilmesi için kesinti maliyetlerinin hesaplanması gerekmektedir. Yapılan bu çalışma ile Türkiye'deki dağıtım şirketleri için elektrik kesinti maliyetlerinin bölgesel faktörler ve müşteri kategorisine göre hesaplanması yapılmıştır. Türkiye'de 3 bölgede 4 farklı kategoride anket bazlı çalışmalar yapılmış ve bu 3 bölge için optimum kesinti süresi hesaplanmıştır. Bu çalışma sonucunda ADM EDAŞ çalışma bölgesi için optimum kesinti süresi meskenler için 4 saat 53 dakika, KOBİ'ler için 4 saat 59 dakika ve büyük işletmeler için 5 saat 36 dakika olarak elde edilmiştir. Bu çalışma ile benzer şekilde GDZ EDAŞ ve TREDAS çalışmaları için de optimum kesinti süreleri hesaplanmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Kesinti Maliyeti, Ödeme İstekliliği, Sağlanamayan Enerji, Şebeke Güvenilirliği, Kabullenme İstekliliği.

### Abstract

Power outages that occur in electricity distribution systems cause losses in the country's economy depending on parameters such as the time period, duration, number of customers affected, and the cost of unsold electricity. In order to estimate the balance point between network investment costs and supply reliability, interruption costs need to be calculated. In this study, electricity outage costs for distribution companies in Turkey were calculated according to regional factors and customer category. Survey-based studies were conducted in 4 different categories in 3 regions in Turkey and optimum outage time was calculated for these 3 regions. As a result of this study, the optimum outage time for ADM EDAŞ work region was 4 hours 53 minutes for residences, 4 hours 59 minutes for SMEs and 5 hours 36 minutes for large enterprises. Similar to these results, optimum outage time were calculated also for the GDZ EDAŞ and TREDAS work regions.

**Keywords:** Value of Lost Load (VOLL), Willingness to Pay (WTP), Energy Not Supplied, Network Reliability, Willingness to Accept (WTA).

### 1. Giriş

Dağıtım sistemlerinde yapılan şebeke yenileme ve yeni yatırım çalışmaları sonucunda tedarik sürekliliğinde iyileştirme sağlanmaktadır. Ancak bu iyileştirme, sistemin doğası gereği sürekli olamamakta, elektrik kesintileri tam olarak ortadan kaldırılamamaktadır. Bu elektrik kesintileri, oluştuğu zaman dilimi, süresi, sayısı, etkilediği müşteri türü, satılmayan elektrik maliyeti vb. parametrelere bağlı olarak ülke ekonomisinde değişken finansal ve sosyal kayıplara neden olmaktadır. Bu sebeple, şebeke yatırım maliyetleri ile arz güvenilirliği arasındaki denge noktasının kestirilmesi için kesinti maliyetlerinin hesaplanması gerekmektedir.

Ek olarak, kesinti maliyeti verisi; dağıtım şirketlerine hizmet alanı içerisindeki faaliyetlerini önceliklendirme imkânı oluşturmakta, Ar-Ge ve akıllı şebeke teknolojik yatırımlarının değerlendirilmesi ve yaygınlaştırılması için sayısal değer sağlamak ve bildirimli kesintilerin optimum şekilde planlanması için yol gösterici niteliği taşımaktadır. Ayrıca geniş alanlı kesintilerin ardından yük atma senaryoları, talep tarafı katılımı için teşvik belirleme ve diğer yeni iş ve piyasa modellerinin geliştirilmesi için bu verinin kullanılması beklenmektedir.

Belirtilen hedefleri gerçekleştirmek için çeşitli metodolojiler kullanılarak farklı coğrafyalarda Kesinti Maliyeti hesaplama çalışmaları yürütülmektedir. Avrupa Enerji Piyasası Düzenleme Kurumları Konseyi (Council of European Energy Regulators) 2010 yılında yayımladığı "Kesinti Maliyeti Tahmin Kılavuzu" 'nda bu konuya ilişkin ülke bazında çalışmaların yapılmasını önermiştir [1] ve Kesinti Maliyeti çalışmalarının temel kullanım alanlarını aşağıdaki şekilde tanımlamıştır:

- Tedarik sürekliliği ile kesintileri azaltmak için yapılan yatırımların maliyetleri arasındaki optimum noktanın bulunması,
- Piyasa düzenleme kurumları tarafından dağıtım şirketlerine verilecek performans bazlı teşviklerin (tedarik sürekliliği) seviyesi belirlenirken müşterilerin kesinti kaynaklı finansal kayıplarının bilinmesi.

İtalya'da Elektrik, Gaz ve Su Piyasası Düzenleme Kurumu (Autorità per l'energia elettrica e il gas) 2003 yılında kesinti maliyetlerinin belirlenmesi için toplam 4100 adet mesken, ticari

ve endüstriyel aboneye anket düzenlemiştir [2]. London Economics tarafından yapılan çalışmada, kesinti maliyeti değerinin dengeleme piyasası mekanizmasında kullanılabileceği ifade edilmiştir [3]. Bu bağlamda, büyük çaplı plansız kesintilere karşı sistem işletmecisinin Kesinti Maliyeti değerini düşürerek ya yüksek fiyattan enerji tedarikini sağlamayı ya da kesintiyi kabul etmeyi tercih edebileceği belirtilmektedir. ABD Enerji Bakanlığı tarafından finanse edilen bir çalışmada, ortalama kesinti maliyetlerinin hesaplanması için web tabanlı yazılım oluşturulmuştur [4]. Bu uygulama örneklerinin yanı sıra Büyük Britanya’da hizmet veren Electricity Northwest dağıtım şirketi, OFGEM ve DCC tarafından verilen fon desteği ile VOLL projesi yürütmektedir [5].

Kesinti maliyeti verisi, aşağıda sıralanan çalışma alanları için referans oluşturmaktadır; kesinti maliyeti verisi temel alınarak yapılacak bu çalışmalar son kullanıcıdan başlayarak ülke ekonomisine uzanan ölçekte fayda sağlamaktadır.

- İletim veya dağıtım operatörleri tarafından gerçekleştirilmesi planlanan şebeke iyileştirme, şebeke yenileme ve akıllı şebeke yatırımlarına ilişkin fayda-maliyet analizlerinin yapılması,
- Optimum tedarik sürekliliği seviyesinin belirlenmesi,

- Kapasite piyasalarının tasarımında VOLL değerinin kullanılması, böylece üretim hacimleri ile fiyat arasındaki ilişkinin belirlenmesi,
- Dengeleme ve yedek kapasite hizmetleri için (Oturana Sistemin Toparlanması vb.) tedarik edilecek miktarların tespit edilmesi,
- Talep tarafı katılımı uygulamalarında müşterilere verilecek teşvik miktarlarının hesaplanması,
- Dağıtım şirketlerine uygulanan tedarik sürekliliği bazı teşvik kriterlerinin oluşturulması,
- Yük atma prosedürlerinin ülke ekonomisinde en az zararı oluşturacak şekilde yürütülmesi,
- Son kullanıcılara ödenecek tazminat tutarlarının belirlenmesinde Kesinti Maliyeti değerinin göz önünde bulundurulması,
- Zamana göre değişen Kesinti Maliyeti değerinin kullanımı ile optimum bildirimli kesinti planlamaları.

## 2. Materyal Metot

Literatür ve sektör uygulamalarına dair yayınların ve raporların değerlendirilme sonuçları Tablo 1’de sunulmuştur

**Tablo 1.** Sektör ve Literatürde Yapılan Kesinti Maliyeti Sonuçları

Çalışma	Ülke/ Bölge	Baz Yılı	Yöntem/Senaryo	Tüketiciler/ Sektörler	Maliyet Tahmini Değeri
Sektör Sullivan vd.(2009)	ABD	2008	WTP/WTA yöntemleri kullanılmıştır.	Küçük T&S	373,1 \$/kWh
				Orta ve büyük T&S	25 \$/kWh
				Mesken	2,6 \$/kWh
Sektör Sullivan vd.(2015)	ABD	2015	2009’daki çalışmanın doğruluğunu artırmak için veri havuzuna 6000 adet mesken ve KOBİ, 310 adet büyük sanayi tüketicisi anketi eklenmiştir.	Küçük T&S	295 \$/kWh
				Orta ve büyük T&S	21,8 \$/ kWh
				Mesken	3\$/kWh
Sektör London Economics (2013)	UK	2011	Britanya bölgesi için toplam 2 bin adedi aşkın anket kullanılmıştır.  Meskenlere internet üzerinden, KOBİ’lere CATI yoluyla anket düzenlenmiştir. Çoktan seçmeli WTA ve WTP yöntemi uygulanmıştır.  Sanayi ve ticari için brüt katma değer/VAR yaklaşımı kullanılmıştır.	Mesken	10.289 £/MWh
				KOBİ	35.488 £/MWh
				Sanayi ve ticari	1.400 £/MWh
				Ağırlıklı Ort. (San. Hariç)	16.940 £/MWh
Sektör ARERA	İtalya	2004	Toplam 2600 adet görüşme için yüz yüze anket düzenlenmiştir. EDAŞ’ların performans bazlı ceza/teşvik mekanizmaları için VOLL değeri, (WTA+WTP)/2 ile WTP arasında belirlenmiştir.	Mesken	10,8 €/kWh
				İş Sektörü	21,6 €/kWh
Sektör Te Mana Hiko	Y. Zelanda	2013	33 adet sanayi müşterisine mülakat ile doğrudan değerlendirilmiştir.  Mesken ve mesken harici müşterilere gönderilen 13 bin anketin yaklaşık 3 binine yanıt	Mesken	15 NZD
				Mesken Harici	200-250 NZD

			alınmıştır. Anket tasarımlarda CE yöntemi tercih edilmiştir.		
<b>Literatür</b> <b>Chowdhury vd.(2004)</b>	ABD/ Orta Batı Bölgesi	2002	Meskenler için ödeme istekliliği  Ticari, sanayi ve kurumsal tüketiciler için 5 ayrı senaryoya göre doğrudan değerlendirme yöntemi kullanılmıştır.	Mesken	0,53 \$/kWh
				Ticari	37,52 \$/kWh
				Sanayi	23,41 \$/kWh
				Kurumsal	21,10 \$/kWh
				Toplam	19,68 \$/kWh
<b>Literatür</b> <b>de Nooij vd.(2006)</b>	Hollanda	2001	Üretim fonksiyonu yöntemi kullanılmıştır.	Sanayi	6,0 €/kWh
				Mesken	16,38 €/kWh
				Kamu	33,50 €/kWh
				Ortalama	8,6 €/kWh
<b>Literatür</b> <b>Reichl vd. (2013)</b>	Avusturya	2009	Mesken için WTP, mesken dışındaki tüm sektörler için makroekonomik (katma değer) yöntem kullanılmıştır.	Mesken	1,2 €/kWh
				Diğerleri	5,7 €/kWh
<b>Literatür</b> <b>Abbas (2016)</b>	Pakistan/Penca p	2012	Pencap'ta yerleşik küçük ölçekli sanayi tesisleri için doğrudan değerlendirme yöntemi kullanılmıştır.	KOBİ	41 Rupı/kWh

Bu yapılan çalışmalardan maliyet tahminlerinin tüketici türlerine göre her bölgede farklılıklar gösterdiği gözlemlenmiştir. Elektrik kesinti maliyetinin hesaplanmasına yönelik literatürde yapılan çalışmalar aşağıdaki tabloda gruplandırılmıştır (Tablo 2) [6],[7],[8].

**Tablo 2.** Kesinti Maliyeti Hesaplama Yöntemleri

<b>Dolaylı (Analitik) Çalışmalar</b>	<b><u>Makroekonomik Yaklaşımlar</u></b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Üretim Fonksiyonu Yöntemi</li> <li>• Hanehalkı Geliri Yöntemi</li> </ul>
<b>Doğrudan (Anket) Çalışmalar</b>	<b><u>Hazırlık Eylemi Yöntemi</u></b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Marjinal Maliyet Yöntemi</li> <li>• Tam Olmayan Önlem</li> <li>• Subjektif Değerlendirme Yöntemi</li> </ul>
<b>Doğrudan (Anket) Çalışmalar</b>	<b><u>Vaka Bazlı (Case/Blackout) Çalışmalar</u></b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b><u>Mikro Bazlı (Anket) Çalışmalar</u></b></li> <li>• Doğrudan Değerleme Yöntemi</li> <li>• Koşullu Değerleme Yöntemi</li> <li>• Tercih Deneyi/Konjoint Analizi Yöntemi</li> </ul>

Tablo 2’de gösterildiği şekilde kesinti maliyeti çalışmalarında doğrudan ve dolaylı yöntemler kullanılmaktadır. Doğrudan yöntemlerde “Vaka Bazlı” ve “Anket Çalışmaları” olarak ele alınmaktadır. Aşağıda sıralanan avantajları nedeni ile kesinti maliyeti çalışmasında anket yöntemi kullanılmıştır.

- Planlama açısından daha doğru, çok yönlü ve yeterli veri sağlar.
- Özellikle kısa süreli kesintiler için daha doğru ve daha az yanlı tahminlere ulaşılabilir.
- Birçok coğrafi alana ve kesinti senaryosuna uygulanabilir.

Anket yönteminden elde edilecek verilerin uygulanacağı ekonometrik model belirlenirken öncelikli olarak tüketici maliyet fonksiyonu oluşturulmuştur. Tüketici maliyet

fonksiyonu; kesinti maliyetlerinin kesinti türleri, tüketici karakteristikleri ve çevresel özellikler gibi değişkenlere bağlı açıklanması olarak tanımlanmaktadır. Fonksiyon oluşturulurken sıradan “En Küçük Kareler (OLS)” ve “İki Aşamalı Regresyon (TPR)” gibi farklı metotlar incelenmiştir [9].

Tüketici maliyet fonksiyonunun tahmin edilmesinde genellikle karşılaşılan benzer tipli sorunlar olduğu gözlemlenmiştir. Anketlerden çıkarılan ve tüketicilerin kesinti maliyetleri konusundaki cevaplarını içeren veri seti normal bir dağılım göstermemektedir. Bu nedenle tüketici maliyet fonksiyonunun tahmin edilmesinde "Sıradan En Küçük Kareler (OLS)" metodu kullanılması tercih edilmemektedir. Uluslararası literatürde söz konusu modeli uygulayan çalışmalar olmasına karşın [9], kesinti maliyetleri veri seti genellikle normal dağılım özelliği göstermediği için sonuçların güvenilirliği tartışmalıdır. Bu nedenle müşterilerin kesinti maliyetlerini hesaplamada kullanılacak fonksiyonu elde etmek için iki-aşamalı regresyon (two-part regression) modeli kullanılmıştır. Aşağıda kullanılan iki aşamalı modelin matematiksel gösterimi sunulmaktadır.

**Birinci Aşama:**

$$\Pr(C_i > 0) = F(Z_i' \gamma, u_i) \quad (1)$$

$$\hat{P}_i = F(Z_i' \hat{\gamma}) \quad (2)$$

**İkinci Aşama:**

$$C_i = f(X_i \beta, \varepsilon_i), \quad C_i > 0 \quad (3)$$

$$\hat{C}_i = f(X_i, \hat{\beta}) \quad \text{tüm } i' \text{leri için} \quad (4)$$

**Birinci ve İkinci Aşama Sonuçların Çarpımı:**

$$\tilde{C}_i = \hat{P}_i \times \hat{C}_i \quad (5)$$

Yukarıdaki modele göre  $C_i$ ,  $i$ 'ninci müşterinin kesinti maliyetini göstermektedir.  $Z_i$  ve  $X_i$ , sırasıyla  $i$ 'ninci tüketicinin karakteristikleri ve bu tüketiciye ilişkin kesinti senaryosu parametrelerini (kesinti türü ve çevresel özellik değişkenleri

için) temsil eden vektörlerdir.  $\beta$  ve  $\gamma$  katsayı vektörlerini;  $u_i$  ve  $\varepsilon_i$  ise hata terimlerini ifade etmektedir. İki aşamalı regresyon modelinin matematiksel gösteriminde görüldüğü üzere, birinci aşamada bir probit model kullanılarak her tüketici için  $C_i$ 'nin sıfırdan büyük bir değer alma olasılığı tahmin edilir. Bu modelde  $C_i$ , sadece tüketici karakteristiklerinin ve hata teriminin ( $Z_i'\gamma, u_i$ ) bir fonksiyonudur. İkinci aşama ise GLM modeli sadece  $C_i > 0$  koşulunu sağlayan tüketiciler için uygulanır. Bu modelde ise  $C_i$  sadece kesinti senaryosu parametrelerinin (kesinti türü ve çevresel özellik değişkenleri için) ve hata teriminin ( $X_i\beta$ ) bir fonksiyonudur. Tüketici karakteristikleri bu fonksiyonda bulunmaz. Nihai analizde ise, birinci aşamada tahmin edilen  $\hat{P}_i$  olasılıkları ile ikinci aşamada tahmin edilen kesinti maliyetleri ( $\hat{C}_i$ ) birbirleriyle çarpılarak, gerçek kesinti maliyetlerine ( $\tilde{C}_i$ ) ulaşılır. GLM modelleri OLS tahmin edicileri yerine "En Yüksek Olabilirlik (ML)" tahmin edicilerini kullanırlar. Bu nedenle kesinti maliyetleri veri setinin özel durumundan dolayı tüketici maliyet fonksiyonunun tahmin edilmesi için daha uygundur [10]. Çünkü GLM modelleri kesinti maliyeti ile bağımsız değişkenler arasında doğrusal bir ilişki olduğu varsayımını yapmazlar. Bunun yerine, dönüştürülmüş ya da genelde logaritması alınmış kesinti maliyeti ile bağımsız değişkenler arasında doğrusal bir ilişki olduğu varsayımından hareket ederler.

Bu çalışmada kullanılan anket tekniğinde örnekleme yapmak için üç hedef değerlendirilmiştir; tahmin parametrelerinde sapmasızlık sağlanması, tahminlerin istatistiki olarak kesinliğinin sağlanması ve örneklemin tabakalandırılmasıdır. Çalışma kapsamında sapmazlığın sağlanması için belirlenen örneklem sayısı üzerinden anket yapılmış kişiler rastgele belirlenmiştir. Yapılan kullanıcı tabakalandırılması çalışmalarında (alt türlerinin seçimi) ise kesinti maliyetlerinde belirgin farklılıkların gözlemlenebileceğinden dolayı aşağıdaki gruplandırma yapılmıştır;

1. Büyük ölçekli kullanıcı,
2. Küçük ve orta ölçekli kullanıcı,
3. Mesken,
4. Üretici.

Yukarıda belirlenen gruplar üzerinde hazırlanan anketlerle pilot uygulama sonrasında, örneklem için belirlenen kullanıcılarla anket çalışmalarının son hali gerçekleştirilmiş ve bu şekilde maliyet analizi için gerekli veri kümesi toplanmıştır. Verilerin toplanmasının ardından oluşturulan modeller ile kullanıcı ve üretici türünün ve bölgesel faktörlerin kesinti maliyet üzerindeki etkilerinin belirlenmiş ve değişken kesinti maliyetleri hesaplanmıştır. Yine anket cevapları kullanılarak doğrusal regresyon modeli ile optimal kesinti süre ve sayıları modellenmiştir.

### 2.1. Kesinti Maliyeti Çalışmasında Kullanılan Veri Seti ve Tabakalandırma Yaklaşımı

Veri ihtiyacının ön çalışmalarla belirlenmesi, veri kalitesinin sonuçları doğrudan etkilediği çalışmalarda önem taşımaktadır. Bu nedenle kesinti maliyetinin hesaplanmasında ortaya çıkan veri ihtiyaçları, kesinti maliyetine ilişkin literatürde ve ulusal/uluslararası ölçekte yapılmış çalışmalar da değerlendirilerek belirlenmiştir.

Bu kapsamda ele alınmış ve veri ile doğrudan ilişkili süreçler aşağıdaki şekilde gösterilmektedir.



Şekil 1. Veri İlişkili Süreçler

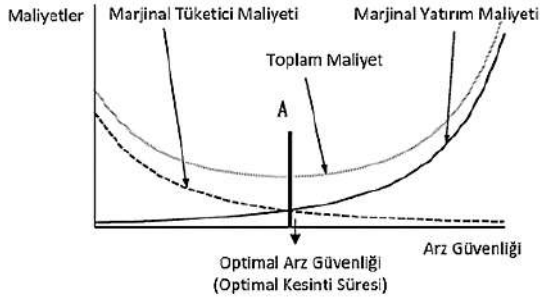
Anket yapılacak popülasyonun alt grupları belirgin bir varyasyon gösteriyorlarsa bu durumda tabakalandırma uygulanmaktadır. Bu nedenle; hem tüketici grupları içinde, hem de aynı tüketici grubunun içindeki sektörlerde belirgin farklılıkların gözlemlendiği elektrik kesinti maliyetlerinde de tabakalandırma uygulanması gerekmektedir. Üretici ve tüketici alt türlerinin seçilmesi, yani tabakalandırma aşaması iki nedenle önemlidir. Birincisi; popülasyonun tabakalandırılması tahminin istatistiksel kesinliğini artırır [11]. İkincisi; araştırmada ilgi duyulan alt gruplara ilişkin istatistiki bilgi edinilmesini sağlar.

Kesinti maliyeti çalışmalarında popülasyonun tabakalandırılması için öncelikle tipik bir tüketiciye göre elektrik kesintisi maliyeti belirgin şekilde yüksek veya düşük olabilecek alt gruplar belirlenmektedir. Bu alt gruplar çalışmanın ilgi alanına göre; tüketici tipi (mesken, küçük ve orta boy işletmeler, büyük işletmeler), coğrafi bölge ya da sektör bazında olabilir. Sonrasında kesinti maliyetlerine göre bir proxy değişken yardımıyla alt grupların örneklem büyüklüklerine ulaşılmaktadır.

### 3. Değerlendirme ve Analiz Sonuçlar

Elektrik dağıtımında tam bir arz güvenliği sağlamak (%100 tedarik sürekliliği) her zaman optimum çözümü sağlamamaktadır. Elektrik kesintilerinin sayısının ve süresinin azaltılması ancak yatırımların artırılması ve dolayısıyla belirli maliyetlere katlanmasıyla mümkündür [12]. Bu açıdan; arz güvenliğini sağlayacak yatırımlar, ancak bu yatırımların marjinal maliyeti beklenen elektrik kesintilerinin marjinal maliyetine eşit olduğu noktaya kadar devam etmelidir. Bununla birlikte; kesintileri azaltmak için yapılan yatırımların maliyeti, kesintilerin ortaya çıkaracağı maliyetten daha yüksek hesaplanmaktadır.

Söz konusu durum Şekil 2 üzerinde gösterilmiştir. Arz güvenliği arttıkça tüketicilerin elektrik kesintileri nedeniyle katlandıkları marjinal maliyetler de giderek azalmaktadır. Buna karşın, arz güvenliğini artırmak için yapılan yatırımlar her seferinde şirketin sermaye, işletme ve bakım/onarım maliyetlerini daha da artırmaktadır. Tüketicinin marjinal maliyet eğrisi ile yatırımların marjinal maliyet eğrisi "A" noktasında kesişmektedir. Bu noktada arz güvenliğini bir birim arttırmanın (ya da elektrik kesintilerini 1 dakika daha azaltmanın) marjinal tüketici maliyeti ile marjinal yatırım maliyeti eşitlenmektedir. Bu noktada tüketicilerin ve yatırımların maliyetlerinin toplamı da minimum seviyede gerçekleşir [13]. "A" noktasının sağ tarafında, arz güvenliğini sağlamak için yapılacak her yatırımın marjinal maliyeti tüketicinin marjinal maliyetinden yüksektir. Ayrıca, "A" noktasının sağ tarafında toplam maliyetlerde yükselmektedir.



**Şekil 2.** Maliyetler ve Optimal Arz Güvenliği

Sonuç olarak; bu çalışmada, optimal kesinti süresi, elektrik kesintilerini önlemek için katlanılan yatırımların marjinal maliyetinin elektrik kesintilerinin ortaya çıkardığı marjinal maliyete eşit olduğu noktalarda analizler yapılmıştır.

### 3.1. Optimum Kesinti Süresinin Hesaplanması

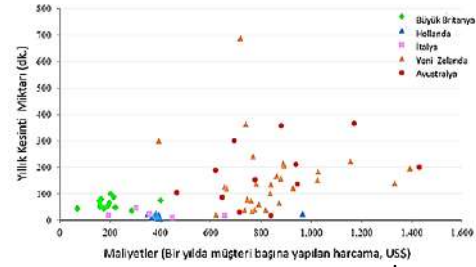
Bu aşamada, yukarıda açıklanan optimal kesinti süresi teorisinin uygulamada karşılık bulup bulmadığı konusuna kısaca değinmek gerekmektedir. Söz konusu teori, elektriğin üretim aşamasında sıklıkla uygulama alanı bulmakta ve özellikle elektrik üretiminde yedek kapasite (reserve margin) optimizasyonunda sıklıkla kullanılmaktadır [14]. Ancak iletim ve dağıtım aşamasında, şirketlerin maliyetleri ile arz güvenliği arasındaki ilişki konusunda bir muğlaklık söz konusudur. Regülatörler, elektrik dağıtımında arz güvenliği azaldıkça (arz güvenliğine ilişkin yatırım harcamaları azaldıkça) tüketici maliyetlerinin arttığı konusunda genel olarak görüş birliği içerisinde bulunmaktadır. Nitekim birçok ülkede gerçekleştirilen kesinti maliyeti çalışmaları da söz konusu görüşü destekler niteliktedir. Ancak, yatırımların maliyeti ile arz güvenliği arasında anlamlı bir ilişkinin bulunup bulunmadığı konusunda şüpheler mevcuttur. Bununla birlikte yatırım harcamaları arttıkça, kesinti sürelerinin azalması azalmadığı yönünde belirsizlikler vardır.

2012 yılında The Brattle Group tarafından hazırlanan ve elektrik dağıtımında arz güvenliğine ilişkin dünyada uygulanan standartların incelendiği raporda, dağıtım şirketlerinin yatırım harcamaları ile arz güvenliği arasında en azından inceleme konusu yapılan ülkelerde bir ilişkinin olmadığı sonucuna varılmıştır [15]. Büyük Britanya, Hollanda, İtalya, Yeni Zelanda ve Avustralya'daki elektrik dağıtım şirketlerinin müşteri başına yaptıkları sermaye ve işletme maliyetleri ile bu şirketlerin yıllık kesinti miktarları karşılaştırılmıştır. Şekildeki noktaların her biri farklı bir dağıtım şirketini temsil etmektedir. Maliyetler; amortisman, vergi ve diğer harcamaları içermemektedir (Şekil 3).

Şekil 3'den görüldüğü üzere, maliyetler ile arz güvenliği arasında açık bir ilişki bulunmamaktadır. Tam tersine yüksek maliyet harcayan dağıtım şirketleri, daha düşük arz güvenliğine sahip olma eğilimindedirler. Bu noktada en makul açıklama, yüksek maliyetli şirketlerin daha düşük bir müşteri yoğunluğuna sahip oldukları ve bu nedenle yüksek bir arz güvenliği sağlamalarının çok daha zor olduğudur. Şekil 3'de firmaların genelde ortalama maliyetler etrafında toplandıkları ve çok değişken arz güvenliklerine sahip oldukları gösterilmiştir. Çünkü üretim şirketlerinin aksine dağıtım şirketlerinde, arz güvenliği dışında birçok (şebeke genişlemesi kaynaklı arıza ihtimalinin artması vb.) başka faktör maliyetleri etkilemektedir.

Bu çalışmada, yüksek maliyetlerin yüksek arz güvenliği sağladığı ya da düşük maliyetlerin düşük arz güvenliği sağladığı şeklinde bir yaklaşımın her zaman doğru olmadığı değerlendirilmiştir. Ancak, yukarıdaki analizin en büyük eksikliği zamanın belli bir noktasında şirketlerin maliyetleri ile

arz güvenlikleri arasındaki ilişkiye odaklanmasındır. Tek bir şirketin maliyetlerindeki zamansal değişimle aynı şirketin arz güvenliğindeki zamansal değişim arasındaki ilişkiyi incelemek farklı sonuçlar verebilmektedir.



**Şekil 3.** Maliyetler ve Arz Güvenliği İlişkisi

Yukarıda kısaca değinilen uygulamadaki sorunlar ve tartışmalar bir tarafa bırakılırsa, optimal kesinti süresinin hesaplanması, ne kadarlık bir kesinti süresinin hem şirketler hem de tüketiciler açısından makul olduğu konusunda bir standart ortaya koymaktadır [16]. Örneğin, Yeni Zelanda Elektrik Düzenleme Otoritesi (Te Mana Hiko) son yaptığı çalışmada arz güvenliği konusunda uyguladığı "60'da 1" standardının (elektrik kesintilerinin cari elektrik tüketimine oranını gösteren standart) elektrik şirketleri için ulaşılması zor ve maliyet etkin bir standart olmadığı konusunda hem fikir olmuşlardır. Bunun yerine optimal kesinti miktarının "20'de 1" olduğu ve bunun arz güvenliğinde bir standart olarak kullanılması gerektiği değerlendirilmektedir [17].

Bu çalışmalar kapsamında, elektrik kesintilerinin ekonomik maliyetlerinin analiz edilip hesaplanması amacıyla; 4 ana abone grubuna ve belirli alt sektörlerle, kapsamlı senaryoları da içeren anketler tasarlanmış, anket sonuçları ile ekonometrik modeller kurulmuş, modeller ile kesinti maliyetleri ve optimal kesinti sayısı-süresi hesaplanmıştır.

**Tablo 3.** Meskenler için Optimal Kesinti Sayısı ve Süresi

Çalışma Yapılan EDAŞ	Haftalık optimal 3 dakika ve daha az süreli kesinti sayısı (adet)	Yıllık optimal toplam kesinti süresi (saat)
TREDAŞ	1,79	4,75
ADM	1,86	4,89
GDZ	1,84	4,83

**Tablo 4.** KOBİ'ler için Optimal Kesinti Sayısı ve Süresi

Çalışma Yapılan EDAŞ	Haftalık optimal 3 dakika ve daha az süreli kesinti sayısı (adet)	Yıllık optimal toplam kesinti süresi (saat)
TREDAŞ	2,04	5,10
ADM	1,91	4,98
GDZ	1,95	4,96

**Tablo 5.** Büyük İşletmeler için Optimal Kesinti Sayısı ve Süresi

Çalışma Yapılan EDAŞ	Haftalık optimal 3 dakika ve daha az süreli kesinti sayısı (adet)	Yıllık optimal toplam kesinti süresi (saat)
TREDAŞ	2,38	5,74
ADM	2,32	5,60
GDZ	1,76	4,30

Çalışmada sunulan yukarıdaki tablolarda yer alan optimal kesinti süreleri toplumsal refahın maksimizasyonu için gerekli optimal elektrik kesintisi sürelerini göstermekte ve aynı zamanda dağıtım şirketleri açısından şebeke güvenilirliğini

sağlamak için yapılacak yatırımların optimal miktarını da belirlemektedir. Tahmin edilen sürelerin üzerinde gerçekleşen elektrik kesintileri; tüketicilerin kesinti maliyetini (mesken tüketicilerinin boş zaman maliyeti, işletmelerin üretim kaybı vs.), kesintinin olmaması için yapılan yatırımların maliyetinin üzerine çıkarmakta ve toplumsal refah azalmaktadır. Elektrik kesintilerinin tahmin edilen optimal sürenin altında gerçekleşmesi de benzer şekilde toplumsal refahı azaltmaktadır. Çünkü bu durumda, kesintinin olmaması için yapılan yatırımların maliyeti tüketicilerin kesinti maliyetinin üzerine çıkmaktadır. Dolayısıyla, EPDK ve EDAŞ'ların yatırım kararları doğrudan optimal kesinti süresini hedeflemelidir.

#### 4. Sonuçlar

Türkiye'de elektrik dağıtım sektöründeki kesinti maliyetinin ekonometrik modeller kullanılarak hesaplandığı önemli çalışmalardan biri olarak, aşağıda sıralanan olası kullanım alanları için de kesinti maliyeti verileri hesaplanmıştır;

- Dağıtım şirketlerinin yatırım ve işletme karar süreçleri
- Akıllı şebeke ve Ar-Ge projelerinin fayda-maliyet analizleri
- Geniş alanlı kesintilerin ardından yük atma senaryoları
- Bildirimli kesintilerin optimum planlanması
- Yeni tarife ve iş modelleri

Türkiye'de Güney Ege, Kuzey Ege ve Trakya bölgesi olmak üzere üç farklı bölge için VOLL çalışması yürütülmüştür. Meskenler için yıllık optimum kesinti süresi TREDAS çalışma bölgesi için 4 saat 45 dakika, GDZ EDAŞ çalışma bölgesi için 4 saat 50 dakika ve ADM EDAŞ çalışma bölgesi için 4 saat 53 dakika olarak, KOBİ'ler için yıllık optimum kesinti süresi TREDAS çalışma bölgesi için 5 saat 6 dakika, GDZ EDAŞ çalışma bölgesi için 4 saat 57 dakika ve ADM EDAŞ çalışma bölgesi için 4 saat 59 dakika olarak ve büyük işletmeler için yıllık optimum kesinti süresi TREDAS çalışma bölgesi için 5 saat 44 dakika, GDZ EDAŞ çalışma bölgesi için 4 saat 18 dakika ve ADM EDAŞ çalışma bölgesi için 5 saat 36 dakika olarak hesaplanmıştır. Meskenler hariç her üç bölgenin ödeme istekliliği değerleri karşılaştırıldığında, en yüksek rakama Trakya bölgesinde ulaşılmaktadır. Bu çalışma sonucunda, AB için yapılan çalışmalarla da uyumlu bir şekilde, daha kuzey olan bölgelerde, ödeme istekliliği değerlerinin daha yüksek olduğu gösterilmiştir. Benzer şekilde, kabullenme istekliliği değerleri Trakya bölgesinde daha yüksektir. Elektrik dağıtım şirketlerinin yatırım planlamalarında önemli katkılar sağlayacaktır.

#### 5. Teşekkür

Bu çalışma EPDK tarafından 15.03.2018 tarihli 01/18/11 kabul numarası ile desteklenen ve ADM EDAŞ, GDZ EDAŞ ve TREDAS elektrik dağıtım bölgelerinde gerçekleştirilen "Elektrik Kesintisi Maliyetlerinin (VOLL) Bölgesel Faktörler ve Müşteri Kategorilerine Göre Hesaplanması ve Şebeke Güvenilirliği ile İlişkililiğinin İrdelenmesi" Ar-Ge projesi kapsamında desteklenmiştir.

#### 6. Kaynaklar

- [1] "Guidelines of Good Practice on Estimation of Costs due to Electricity Interruptions and Voltage Disturbances", Council of European Energy Regulators, 2010.
- [2] Bertazzi, A., Fumagalli, E. ve Schiavo, L., L., "The Use of Customer Outage Surveys in Policy Decision-Making: The Italian Experience in Regulating Quality of Electricity Supply", 18th International Conference on Electricity Distribution, 2005.

- [3] London Economics (LE), The Value of Lost Load (VoLL) for Electricity in Great Britain, Final Report for Ofgem and DECC, 2013.
- [4] <https://icecalculator.com/home>
- [5] Electricity North West, The Value of Lost Load, 2018.
- [6] Schröder, T. ve W. Kuckshinrichs (2015), "Value of Lost Load: An efficient economic indicator for Power Supply Security? A Literature Review", Frontiers in Energy Research.
- [7] Küfeoğlu, S. (2015), "Economic Impacts of Electric Power Outages and Evaluation of Customer Interruption Costs", Doktora Tezi, Aalto University School of Electrical Engineering, Finlandiya.
- [8] Growitsch, C., R.Malischek, S. Nick ve H. Wetzel (2013), "The Costs of Power Interruptions in Germany - an Assessment in the Light of the Energiewende", EWI Working Paper, No 13/07.
- [9] Tiedemann, K. H., & Hydro, B. C. (2015, April). Modelling Residential and Commercial Demand for Electricity Using Autoregressive Distributed Lag Models. In *Modelling, Identification and Control/827: Computational Intelligence*. ACTA Press.
- [10] Dobson, A.,J. (2002). An introduction to Generalized Linear Models, Florida, Chapman & Hall CRC
- [11] Sullivan, M. J. & Keane, D. M., 1995. Outage Cost Estimation Guidebook, Palo Alto, CA: Electric Power Research Institute.
- [12] Christian Winzer, "Quantifying Security of Supply", Electricity Policy Research Group, University of Cambridge
- [13] Chowdhury, A.A., Mielnik, T.C., Lawton, L.E., Sullivan M.J. and Katz, A. (2004) "Reliability Worth Assessment in Electric Power Delivery Systems", IEEE Power Engineering Society.
- [14] Samuel A. Newell, Kathleen Spees, Johannes P. Pfeifenberger, Ioanna Karkatsouli (2014) Estimating the Economically Optimal Reserve Margin in ERCOT
- [15] Serena Hesmondhalgh, William Zarakas, Toby Brown (2012), Approaches to setting electric distribution reliability standards and outcomes, The Brattle Group.
- [16] Nick Wintermantel, Kevin Carden (2015), Expected Unserved Energy and Reserve Margin Implications of Various Reliability Standards.
- [17] Electricity Security of Supply Policy Review (2007) Consultation Paper for the Electricity Commission, Castalia Advisory Group.