SHURA
Enerji Dönüşümü Merkezi

Rüzgâr ve güneşin şebekeye entegrasyonu için sektör eşleştirme

SHURA Enerji Dönüşümü Merkezi Hakkında
Avrupa İklim Vakfı (ECF), Agora Energiewende ve İstanbul Politikalar Merkezi (IPC) tarafından Sabancı Üniversitesi'nde kurulan SHURA Enerji Dönüşümü Merkezi, yenilikçi bir enerji dönüşümü platformu aracılığı ile enerji sektörünün karbonsuzlaşmasına katkıda bulunmaktadır. Türkiye enerji sektörünün teknolojik, ekonomik ve politik boyutlarının tartışılması için sürdürülebilir ve geniş çapta tanınan bir platform ihtiyacını karşılamak için çalışmaktadır. SHURA, gerçeklere dayalı analizleri ve bulunabilen en doğru verileri kullanarak enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji vasıtasıyla düşük karbonlu bir enerji sistemine geçiş üzerindeki tartışmaları desteklemektedir. Birçok paydaşın konuya ilişkin bütün bakış açılarını dikkate alarak bu geçişin ekonomik potansiyeli, teknik fizibilitesi ve ilgili politika araçlarına yönelik bir anlayışın oluşturulmasına katkıda bulunmaktadır.

Yazarlar
Fiona Hughes, Michael Joos, Sam Foster ve Shane Slater (Element Energy), Ahmet Acar (SHURA Enerji Dönüşümü Merkezi), Mathis Rogner (Agora Energiewende)

Teşekkürler
Çalışmanın hazırlanmasında genel yönlendirme ve değerlendirme SHURA Enerji Dönüşümü Merkezi direktörü Dr. Değer Saygın tarafından yapılmıştır. Raporun hazırlanması esnasında çok değerli görüş, inceleme ve yorumlarını sunan Alexandra Langenheld, Mathis Rogner ve Philipp Godron (Agora Energiewende), Bülent Cindil ve Harald Flohr (GIZ), Mert Kekevi (Energy Pool), Onur Günduru (Onur Enerji) ve Hasan Aksoy'a (SHURA Enerji Dönüşümü Merkezi) teşekkür ederiz.

SHURA Enerji Dönüşümü Merkezi, GIZ tarafından sağlanan ve bu çalışmaya temel oluşturan yenilenebilir enerji ve enerji verimliliği fonuna müteşekkirdir.

Bu rapor, www.shura.org.tr sitesinden indirilebilir.
Daha ayrıntılı bilgi almak veya geri bildirimde bulunmak için info@shura.org.tr adresinden SHURA ekibiyle temasa geçiniz.

Tasarım
Tasarımhane Tanıtım Ltd. Şti.

Telif Hakkı © 2021 Sabancı Üniversitesi

ISBN 978-625-7329-15-6

Sorumluluk Reddi
Bu rapor ve içeriği, çalışma kapsamında göz önünde bulundurulan kabuller, senaryolar ve 2019 yıl sonu itibarıyla mevcut olan piyasa koşulları doğrultusunda hazırlanmıştır. Bu kabullerin, senaryolar ve piyasa koşullarının değişime açık olması nedeniyle, rapor kapsamındaki gelecek dönem öngörülerinin, gerçekleşecek sonuçlarla aynı olacağı garanti edilemez. Bu raporun hazırlanmasına katkı yapan kurum ya da kişiler, raporda sunulan öngörülerin gerçekleşmemesi ya da farklı şekilde gerçekleşmesinden dolayı oluşabilecek ticari kazanç ya da kayıplardan sorumlu tutulamazlar.

elementenergy

Rüzgâr ve güneşin şebekeye entegrasyonu için sektör eşleştirme

İÇİNDEKİLER

Şekiller listesi 4

Tablolar listesi 6

Kısaltmalar listesi 7

Ana mesajlar 8

Yönetici özeti 9

1. Giriş 15
   1.1 Yenilenebilir enerjinin elektrik sistemine entegrasyonu – esneklik ihtiyacı 15
   1.2 Türkiye'nin elektrik sistemi ve sektör eşleştirme 17
   1.3 Türkiye'de talep tarafı katılımı 18
   1.4 Türkiye'deki talep tarafı katılımı potansiyelinin değerlendirilmesine yaklaşım 19
   1.5 Senaryo geliştirme 20
   1.6 Raporun çerçevesi 22

2. 2030 elektrik talebinin sektör bazında değerlendirmesi 25
   2.1 Yöntem: Binaların 2030 talebinin belirlenmesi 25
      2.1.1 Örnek model 25
      2.1.2 Binalar için senaryo varsayımları 28
   2.2 Sonuçlar: Binaların elektrik talebi 31
   2.3 Sanayi elektrik talebi 32
   2.4 Ulaştırmada elektrifikasyon 34
   2.5 Toplam elektrik talebi 34

3. Talep tarafı katılımı potansiyelinin değerlendirmesi 37
   3.1 Yöntem: Binalarda esnek talebin değerlendirmesi 37
      3.1.1 Gün içindeki elektrik talebi 37
      3.1.2 Yıl içindeki elektrik talebi 38
      3.1.3 Alan ısıtma, soğutma, sıcak su ve havalandırma için esneklik kısıtları 39
   3.2 Sonuçlar: Alan ısıtma ve soğutma, sıcak su ve havalandırma için esnek talep 41
      3.2.1 Esnek sistemlerin oranı 41
      3.2.2 Esnek elektrik talebinin oranı 42
   3.3 Sanayi elektrik talebi 43
      3.3.1 Yük kaydırmaya karşı yük azaltma 43
      3.3.2 Sanayi sektörlerinin yük azaltma veya yük kaydırma sağlama kabiliyetleri 44
      3.3.3 Esnek sanayi talebi tüketim profilleri 45
      3.3.4 Sanayi talep tarafı katılımı için mevcut kapasite 45
         3.3.4.1 Maliyet varsayımları 46
   3.4 Ulaştırma elektrifikasyonunda esneklik 47
      3.4.1 Akıllı elektrikli araç şarjı prensipleri 47
      3.4.2 Elektrikli araç şarjının kırılımı 47
      3.4.3 Pasif bağlanma profilleri ve bağlanma zamanları 48
      3.4.4 Akıllı elektrikli araç şarjı esnekliği 49

3.5 Yıl içindeki toplam elektrik talebi 49
3.6 Türkiye'de talep tarafı katılımı sektörlerinin teknik potansiyeli 51

4. Sektör eşleştirme yapılmış enerji sistemi modellemesi ve maliyet-fayda analizi 53
4.1 Değişken yenilenebilir enerji kaynak hedefine talep tarafı katılımı katkısı sağlama yöntemi 53
4.2 Talep tarafı katılımının sistem maliyetlerini azaltması 53
4.3 Baz (esnek olmayan) sistem sonuçları 54
4.4 Talep tarafı katılımı esnekliğini görselleştiren örnekler 55
4.5 Talep tarafı katılımı maliyetleri ve devreye girme sırası 56
4.5.1 Seviyelendirilmiş katılım maliyeti (LCOR) 56
4.5.2 LCOR belirlemek için kullanım tahminleri 57
4.5.3 Talep tarafı katılımı devreye girme sırası ve marjinal değer 58
4.6 Talep tarafı esneklikle sistem performansı 59
4.7 Talep tarafı katılımının kümülatif net sistem etkisi 62

5. Türkiye için talep tarafı katılımı stratejisi ve öneriler 65
5.1 Talep tarafı katılımı değerlendirme sonuçları 65
5.2 Talep tarafı katılımı etkinleştirme için önkoşullar 67
5.2.1 Gereklilikler 67
5.2.2 Zorluklar (talep tarafı katılımı sektörü/müşteri odaklı) 68
5.3 Rüzgâr ve güneş entegrasyonunu desteklemek için talep tarafı katılımını yaygınlaştırmak 69

Referanslar 71

Ek 74
Esnek sanayi üretimi 74
Elektrikli araçlar 75
Baz elektrik talebi 76
Entegre arz ve talep modeli (ISDM) 80
Örnek talep tarafı katılımı dinamikleri 81

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1: Talep tarafı katılımı yapan her sektörün peak santrallerin azalan yakıt maliyetlerine bağlı yarattıkları yıllık tasarrufların karşılaştırılması 11
Şekil 2: Talep tarafı katılımı yapan her sektörün YAL/YAT talimatlarındaki azaltıma bağlı yarattıkları yıllık tasarrufların karşılaştırılması 11
Şekil 3: Her talep tarafı katılımı sektörünün azaltılan net puant talep vasıtasıyla sistem kapasite tasarrufuna katkısı 12
Şekil 4: Kümülatif talep tarafı katılımı maliyetleri ve sistem faydaları 12
Şekil 5: Bu çalışmada incelenen senaryolar 22
Şekil 6: Sektör modelleme süreci şematiği 26
Şekil 7: Örnek modelinde iklim çeşitliliğini yansıtmak için Türkiye TS 825'e uygun olarak 4 iklim bölgesine ayrılmıştır 27
Şekil 8: 2017 Türkiye bina stoku 28
Şekil 9: İklim bölgelerinde 2030 klima kullanımı 29
Şekil 10: Verimli senaryo ve ısıtma talebi 30
Şekil 11: Elektriklendirilmiş senaryoda ısı pompası kullanımı 31
Şekil 12: Senaryo bazında 2030'da ısıtma, soğutma, sıcak su ve havalandırma için elektrik talebi 32
Şekil 13: Türkiye'de 2018 sanayi elektrik talebinin kırılımı, her sektörün GWh cinsinden tüketimi 33
Şekil 14: Türkiye elektrik sisteminin ENTSO-E modellemesinden ve bu çalışmadaki ana talep sektörleri modellemesinden toplam sistem talebi sentezi 35
Şekil 15: İncelenen dört senaryoda 2030 toplam elektrik talebinin kırılımı 36
Şekil 16: Alan ısıtma, sıcak su, alan soğutma ve havalandırma için konut ve konut dışı talep profilleri 38
Şekil 17: Binalarda ısıtma, soğutma ve havalandırma için puant elektrik talebi 39
Şekil 18: Talep tarafı katılımı teknolojinin ve kurulduğu binanın fiziki karakteristiklerine göre zaman ve büyüklükle kısıtlanmıştır 40
Şekil 19: Esnek ısıtma ve soğutma oranları 42
Şekil 20: Senaryo bazında 2030'daki binaların toplam esnek ve esnek olmayan elektrik talebi 43
Şekil 21: Elektrikli araçların ev, yavaş kamusal şarj istasyonları pasif şarj ve iş akıllı şarj karşılaştırması 47
Şekil 22: Pasif (kontrolsüz) elektrikli araç şarjının sabah ve akşam talep puant talebini gösteren tipik günlük profili 48
Şekil 23: İncelenen dört senaryoda yıl içindeki toplam elektrik talebi 50
Şekil 24: Sistem puant talebinin kırılımı, puant yazın gün ortasında ortaya çıkmaktadır 51
Şekil 25: Türkiye'de konut alan ısıtmanın yedi günü 56
Şekil 26: Her talep tarafı katılımı sektörünün, talebi puant zamanların dışına kaydırarak santral yakıt kullanımını azaltmaya katkısı 59
Şekil 27: Her talep tarafı katılımı sektörünün termik santral YAL/YAT azaltmasına bağlı yıllık yakıt tasarrufları 59
Şekil 28: Her talep tarafı katılımı sektörünün net puant talebin azaltılmasına katkısı 60
Şekil 29: Talep sektörlerinin en yüksek 20 sistem talep saatine katkısı 61
Şekil 30: Puant sistem talebinde talep tarafı katılımı etkinleşmesine bağlı kümülatif azalma 61
Şekil 31: Kümülatif talep tarafı katılımı maliyetleri ve sistem tasarrufları 63

Şekil 32: Akıllı elektrikli araç şarjı ve akıllı alan ısıtma ile 550 milyon €'ya varan kümülatif sistem tasarrufları mümkündü 63
Şekil 33: Almanya'da 2018'de her hafta satın alınan yük kesinti kapasitesi 75
Şekil 34: Evde, işyerinde ve kamusal şarj cihazlarında elektrikli araç bağlanma profilleri 75
Şekil 35: Elektrikli araçların gün içinde değişik zamanlarda bağlanma süresi üzerine varsayımlar elektrikli araç şarj esnekliğini belirlemektedir 76
Şekil 36: 34 iklim yılının üç örnek yıla eşleştirilmesi 77
Şekil 37: ENTSO-E 2018 TYNDP'nin üç farklı iklim yılı bazındaki Dağıtık Üretim senaryosunda Türkiye'nin 2030 toplam elektrik talebinin yıllık profilleri 78
Şekil 38: 1982, 1984 ve 2007'de Türkiye'de aylık ortalama sıcaklıklar 78
Şekil 39: ENTSO-E talep profili, binaların ENTSO-E profilinde yer alan ısıtma ve soğutma talebinin Element Energy tarafından yaklaştırılmış biçimleri ve ikisinin farkı 79
Şekil 40: ISDM'de termik santral YAL/YAT üç bileşeni 81
Şekil 41: SHURA Üç Kat senaryosunda (üstte) 25. hafta için esnek soğutma bulunabilirliği ve sonuçtaki esnek soğutma kullanımı (altta), sistem puant taleplerine yakın talebin azaltılmasını göstermektedir 82

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1: Farklı talep sektörleri için toplam maliyet, kullanım ve seviyelendirilmiş katılım maliyeti 10
Tablo 2: Örnek model kategorileri 27
Tablo 3: Binalar için 2030 senaryo varsayımlarının özeti 31
Tablo 4: Türkiye'de 2018 ve 2030 için varsayılan elektrikli araç stoku ile elektrik tüketimleri 34
Tablo 5: Türkiye'de enerji yoğun sektörlerin maksimum yük azaltma ve artırması (2030) 46
Tablo 6: Talep tarafı katılımı maliyet varsayımları 46
Tablo 7: Her talep tarafı katılımı sektörünün, her birisi talep esnekliğinin tek kaynağı olarak kullanıldığındaki maksimum teknik potansiyelleri 51
Tablo 8: Sistem esneklik maliyetleri 54
Tablo9: Baz sistem performansı 54
Tablo 10: Farklı talep sektörleri için toplam maliyet, kullanım ve LCOR 58
Tablo 11: 2018 için bildirilen ve 2030 için tahmin edilen sanayi elektrik talebi (baz) 74

KISALTMALAR LİSTESİ

BİT	bilgi ve iletişim teknolojileri
CAPEX	yatırım harcamaları
CO_2	karbon dioksit
ENTSO-E	Avrupa Elektrik İletim Sistemi İşleticileri Ağı
ETKB	Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
EUROSTAT	Avrupa Birliği İstatistik Ofisi
FV	fotovoltaik
GIZ	Alman Uluslararası İşbirliği Kurumu
GW/GWh	gigavat/gigavat-saat
IP	ısı pompası
kW	kilovat
MW/MWh	megavat/megavat-saat
OPEX	işletme harcamaları
SHURA	SHURA Enerji Dönüşümü Merkezi
TWh	teravat-saat
TYNDP	On Yıllık Şebeke Gelişim Planı
YAL/YAT	yük alma/yük atma

Ana mesajlar

- Elektrik sisteminde üretimle ısıtma ve ulaştırma sektörlerinin elektrifikasyon yoluyla eşleştirilmesi, 2030 yılında Türkiye'nin toplam elektrik üretiminde rüzgâr ve güneş enerjisi payını %30 seviyelerine getirerek, elektrik sisteminin daha güçlü, güvenilir ve esnek bir hale getirilmesini sağlayabilir.
- Talep tarafı katılımı, elektrifikasyonun körüklediği puant talep artışını karşılamak için gerekli olan potansiyelin, ilave üretim ve dağıtım şebeke yatırımına ihtiyaç duyulmadan hayata geçirilmesinde önemli rol oynayabilir. Türkiye'de talep tarafı katılımı seçeneklerinin tüm teknik ve ekonomik potansiyeliyle hayata geçirilmesi 2030'da puant talebi 10 gigavat (GW) azaltabilir ve puant talepteki net azalmanın yaklaşık 6 GW'ı esnek alan ısıtma ve akıllı elektrikli araç şarjından gelebilir.
- Talep tarafı katılımının etkinleştirilmesiyle, elektrik santrallerinin yakıt tüketiminin ve yük alma/yük atma gerekliliklerinin azaltılması yoluyla işletme verimliliğinde yılda 122 milyon €'ya kadar tasarruf sağlanabilir. Üretim ve dağıtım şebekelerinin kapasite artırımının önlenmesiyle elde edilen tasarruflar yılda yaklaşık 500 milyon €'ya ulaşabilir. Bu öngörüye göre, 2030'da toplam maliyetler yılda 72 milyon €, net kazanç ise 550 milyon € olabilir.
- Bu tasarrufların elde edilmesi, sistemin esnek hale getirilmesi ve talep tarafı katılımı hizmetlerinin stratejik bir yaklaşımla planlandığı, yeni iş modellerinin belirlenerek yatırımcı için cazip hale getirildiği yeni piyasa düzenlemeleri ile mümkün olacaktır. Türkiye'nin, daha yüksek rüzgâr ve güneş enerjisi payı elde etmek için elektrifikasyon ve sektör eşleştirmeyi de kapsayan mevcut elektrik sistemi stratejisini geliştirmeye ihtiyacı vardır. Talep tarafı katılımını sağlayacak yeterli altyapı ve elektrik piyasalarını talep tarafı katılımı için daha elverişli hale getirecek uygulamaların hayata geçirilmesi gerekecektir.

Yönetici özeti

Isıtma ve ulaştırma gibi enerjiyi son tüketen sektörlerin elektrifikasyonu Türkiye'nin enerji dönüşümü stratejisinin hayati bir bileşenidir. Elektrifikasyon sistem verimliliğini artırmaya olanak verir ve ihtiyaç duyulan elektriğin yenilenebilir kaynaklardan sağlanması koşuluyla enerjiyi son tüketen sektörlerde yenilenebilir enerji payını yükseltir. Ancak, elektrifikasyon sonucu artan elektrik tüketimi yönetilemezse, puant talebi önemli ölçüde artırarak hem elektrik üretim hem de şebeke altyapısında ilave yatırımlara sebep olabilir. Puant talepteki artış ayrıca, toptan elektrik fiyatlarında ani yükselişlere neden olarak, düşük verimlilikle çalışan fosil yakıt bazlı elektrik santrallerinin daha yüksek kullanım oranlarından kaynaklanan karbon yoğunluğu artışlarına yol açabilecektir. Böylece, elektrik üreticilerinin maliyetlerinin artmasına sebep olarak elektrik tarifelerini ve tüketici maliyetlerini artırabilecektir.

Elektrifikasyonu daha "akıllı" hale getirme potansiyeline sahip olan talep tarafı katılımı, elektrik sisteminde ilave yatırımları önleyebilir, elektrik üretim verimliliğini yükseltebilir ve değişken yenilenebilir enerji kaynaklarının sistem tarafından yüksek yaygınlıkta temin edilme gücünü artırabilir. Bu çalışmanın bulgularına göre binalarda esnek ısıtma ve soğutma ile akıllı elektrikli araç şarjı, çoklu tarife kullanım zamanlarını kaydırarak 2030 yılında Türkiye'nin elektrik sisteminde toplam elektrik üretiminin %30'unun rüzgâr ve güneşten sağlanmasını destekleyebilecek şekilde, yaz ve kış puant taleplerini 10 GW'a kadar azaltabilir.

Raporda yer verilen analiz, SHURA Enerji Dönüşümü Merkezi'nin önceki çalışmalarına dayanarak Türkiye'de 2030'da 1,9 milyon ısı pompasından alan ısıtma ve konut sıcak su, binalardaki klimaların %80'inden alan soğutma ve 2,5 milyon elektrikli aracın akıllı şarjını içeren talep tarafı katılımı teknolojilerinin esneklik potansiyelini araştırmaktadır. Çalışma aynı zamanda, kâğıt, çimento ve çelik sanayilerini de kapsayan birçok enerji yoğun sanayinin talep tarafı katılımı potansiyelini de diğer ülkelerdeki örnekleri dikkate alarak değerlendirmektedir.

Diğer ülkelerde daha önce yapılan talep tarafı katılımı potansiyeli değerlendirmelerinde toplam sektörel talebin sabit bir yüzdesi benimsenirken, bu çalışmada yüksek değişken yenilenebilir enerji kaynak paylarına ve önemli ölçüde elektrifikasyona sahip bir elektrik sisteminin tam zamansal (saatlikten sezonluğa) dalgalanmasını yansıtan gelişkin ve tümevarım temelli bir modelleme yaklaşımı kullanılmıştır. Yaklaşım bina, ulaştırma ve sanayi sektörlerinin her biri için, elektrik talebinin saatlik temsili ve buna tekabül eden esneklik kapasitesiyle birlikte, ayrıntılı talep tarafı katılımı potansiyelini belirlemektedir. Bu potansiyelin Türkiye elektrik sistemi modelinin bütününe dahil edilmesi, önlenen kapasite artırımları, ertelenen ilave şebeke yatırımları ve sistem işletim tasarrufları sayesinde talep tarafı katılımının etkinleştirilmesinden sağlanan net sistem kazançlarının değerlendirilmesine olanak vermektedir. Bu rapor için kullanılan Türkiye verileri SHURA'nın önceki çalışmalarına ve diğer istatistiksel bilgilere dayanmaktadır. Ulusal verilere erişilemeyen durumlarda, elektrik sistemi modeli için gereken bilgileri tamamlamak amacıyla kıyaslanabilir uluslararası veriler kullanılmıştır.

2030'da 6 GW'ın üzerinde net puant talep azalması yaratan esnek alan ısıtma ve akıllı elektrikli araç şarjının talep tarafı katılımı sağlayan yüksek teknik potansiyele sahip olduğu görülmektedir. Bunun nedeni, esnek şekilde yanıt verilebilen toplam puant kapasitesi ve yüksek yıllık kullanım seviyeleri, yani yıl içinde kaydırılabilen toplam enerji miktarıdır. Akıllı elektrikli araç şarjının sistem ihtiyaçlarına yanıt verme ve net

sistem kazançları sağlama potansiyeli, SHURA'nın 2019 tarihli bir çalışmasındaki 2,5 milyon elektrikli aracın Türkiye'nin dağıtım şebekesine entegrasyonunun hem teknik olarak yapılabilir hem de ekonomik olarak tercih edilir olduğu bulgusunu teyit etmektedir.

Elektrik yoğun sanayilerden çimento ve kâğıt sektörleri en büyük esneklik katılımını göstermektedir. Çimento üretiminin esnek işletimi 2030'da her yıl 900 gigavatsaatin (GWh) üzerinde fayda sağlayabilirken, kâğıt fabrikaları 2030'da yaklaşık 400 GWh talep tarafı katılımı sağlayabilmektedir.

Esnek alan soğutmanın teknik potansiyeli daha azdır, ancak sanayiyle kıyaslanabilir düzeydedir. Alan soğutma yazın puant talebi 5 GW'ın üzerinde azaltma potansiyeline sahipken, kullanım seviyesi düşüktür. Esnek soğutma kullanım seviyesinin 2030'da, yılda 5.000 GWh olan ısıtmaya kıyasla, yılda 1.000 GWh'in biraz üzerinde olduğu hesaplanmaktadır. Basitçe ifade etmek gerekirse, kış aylarında ısıtma talebini esnek hale getirme olanağı, yazın gerçekleşen soğutma talebine kıyasla çok daha yüksektir.

Ekonomik olarak uygulanabilir olması için, talep tarafı katılımını etkinleştirme maliyetinin, talep tarafı katılımı kullanımıyla artan esneklik ve azalan puant talepten kaynaklanan sistem kazançları tarafından telafi edilmesi gerekir. Genel olarak, dağıtım şebekelerine bağlı olan talep tarafı katılımı seçeneklerinden esnek alan ısıtma ve soğutma ile elektrikli araç şarjı için işletim giderleri sermaye maliyetlerine kıyasla düşüktür. Talep tarafı katılımı sağlamanın sermaye yatırımı (donanım ve iletişim sistemi), saatlerce yüksek kullanım süresine yayıldığında ekonomik hale gelir. Alan ısıtma ve sıcak su, megavatsaat (MWh) başına 39 ila 51 € arasında (2020 değerleri) maliyet ile talep tarafı katılımı sağlamanın en ekonomik yöntemleridir.

Tablo 1: *Farklı talep sektörleri için toplam maliyet, kullanım ve seviyelendirilmiş katılım maliyeti*

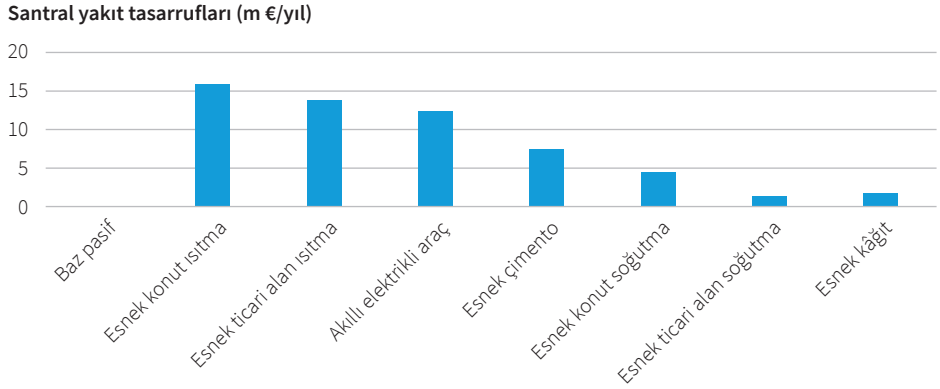
Sektör	CAPEX (m €)	Eşleştirme maliyeti (m €/yıl)	OPEX (m €/yıl)	Kullanım (GWh/yıl)	Kullanım (%)	LCOR* (€/MWh)
Ticari ısıtma	440	42	11	2.348	%21	39
Konut ısıtma	449	58	13	2.829	%26	51
İş elektrikli araç	97	19	0	615	%68	53
Ev elektrikli araç	194	39	0	1.231	%68	57
Çimento	1	0	100	906	%5	110
Kâğıt	1	0	58	385	%6	150
Ticari soğutma	460	44	9	254	%19	368
Konut soğutma	1.325	170	28	903	%34	458
Beyaz eşya	172	206	0	300	%5	780
Havalandırma	1.160	110	23	74	%1	3.161
Demir dışı metaller	0	0	0	0	%0	6.000
Çelik	0	0	0	0	%0	6.000

** Sisteme bir birim esnek enerji sağlamanın seviyelendirilmiş minimum maliyetidir (seviyelendirilme hesabında konutlar için %10, ticari uygulamalarda ise %6 iskonto oranı varsayılmıştır).*

Sistem esnekliği sağlamak için etkinleştiğinde, talep tarafı katılımı sistem işletim verimini artıran (santral yakıt kullanımını ve yük alma/yük atmayı (YAL/YAT) azaltan) birçok mekanizma vasıtasıyla sistem maliyetlerini azaltabilir ve üretim ve elektrik dağıtım altyapısı için ilave kapasite yatırımlarını önleyebilir.

Yüklerin puant zamanların dışına kaydırılması daha verimli termik santraller tarafından daha fazla elektrik üretilmesine olanak vererek konut alan ısıtma, ticari alan ısıtma ve akıllı elektrikli araç şarjının her birinden yılda 10-15 milyon € tasarruf sağlar. Katılımcı çimento üretimi ise yılda yaklaşık 7 milyon € tasarruf sağlar (Şekil 1).

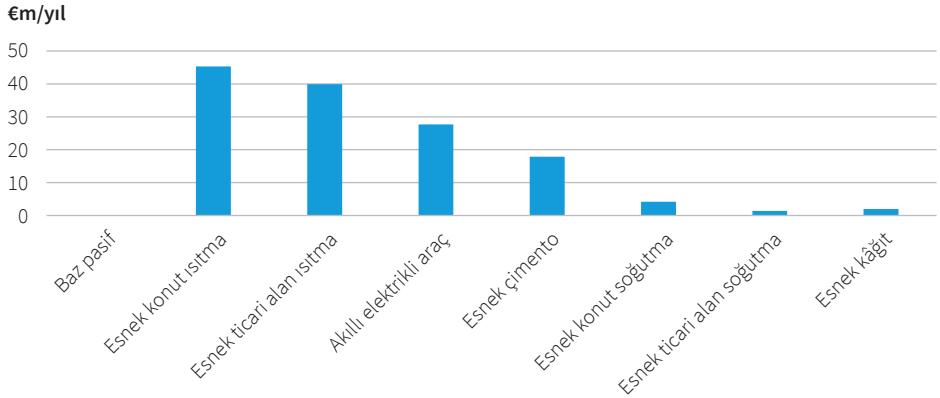
Şekil 1: *Talep tarafı katılımı yapan her sektörün peak santrallerin azalan yakıt maliyetlerine bağlı yarattıkları yıllık tasarrufların karşılaştırılması*



Not: kümülatif tasarruflar parçaların toplamından büyük olabilir.

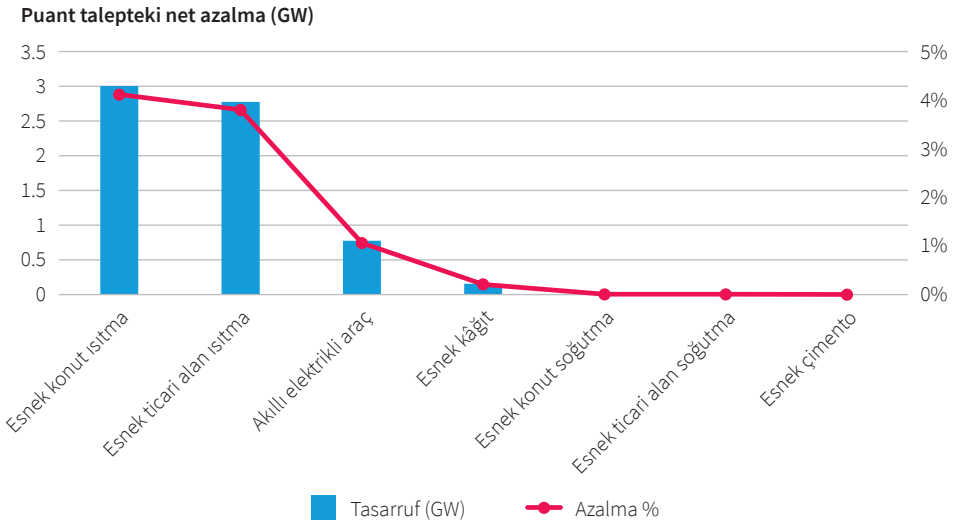
Termik santrallerde YAL/YAT talimatlarını azaltmak esnek alan ısıtma ile yılda 80-85 milyon € tasarruf sağlarken, akıllı elektrikli araç şarjı ile yılda yaklaşık 30 milyon € tasarruf sağlamaktadır (Şekil 2).

Şekil 2: *Talep tarafı katılımı yapan her sektörün YAL/YAT talimatlarındaki azaltıma bağlı yarattıkları yıllık tasarrufların karşılaştırılması*



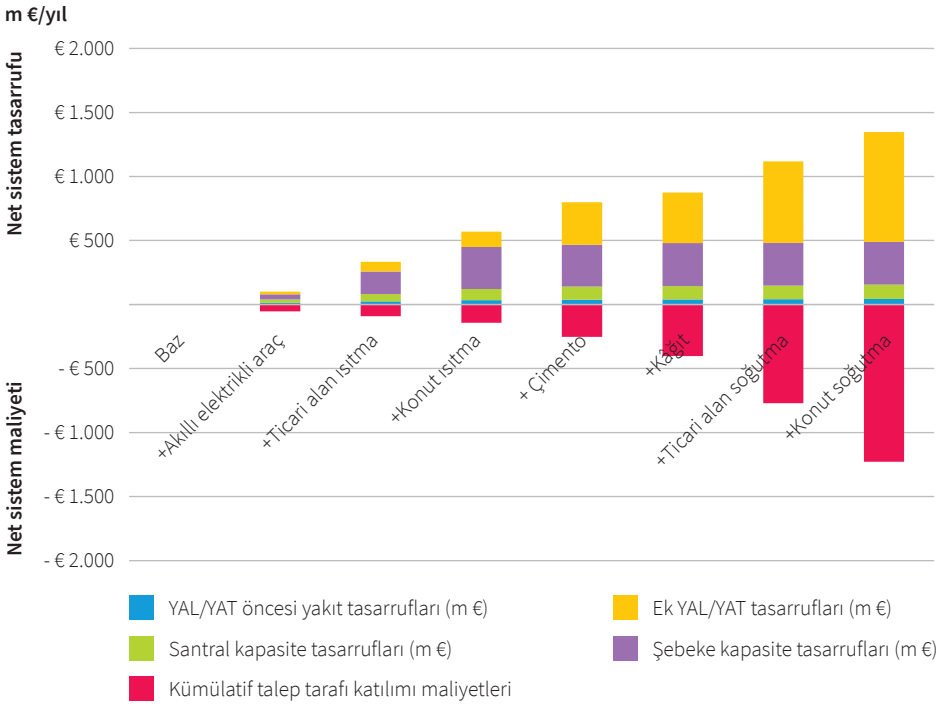
Ancak, en büyük sistem tasarrufu üretim ve elektrik dağıtım şebekelerinde *ilave kapasite yatırımlarının ötelenmesinden* gelmekte, buna en büyük katkıyı ise esnek ısıtma ve akıllı elektrikli araç şarjı sağlamaktadır. Bunun sebebi kısmen her iki sektörün de pasif olarak çalıştıklarında (talep tarafı katılımı yokken) puant talebi artırmalarıdır. Elektrikli araçların elektrik talebi ısıtmaya kıyasla çok daha az olmasına rağmen, elektrikli araçların şarjı puant saatlerden kaydırılabileceği için, puant talepte göreceli olarak büyük bir azalma sağlama potansiyeline sahiptir (Şekil 3).

Şekil 3: *Her talep tarafı katılımı sektörünün azaltılan net puant talep vasıtasıyla sistem kapasite tasarrufuna katkısı*



Talep tarafı katılımının etkinleştirilmesiyle birlikte, santral yakıt tüketiminin azaltılması ve YAL/YAT talimatlarındaki düşüş yoluyla işletme verimliliğinde yılda 122 milyon €'ya kadar tasarruf sağlanabilirken, üretim ve elektrik dağıtım şebekelerinin kapasite artırımının önlenmesiyle elde edilen tasarruflar yılda yaklaşık 500 milyon €'ya ulaşabilmektedir. Düşük katılım maliyetleri, büyük sektör ölçekleri ve yüksek kullanım potansiyelleri nedeniyle, esnek ısıtma ve akıllı elektrikli araç şarjı en yüksek net sistem faydasını sağlayarak bu sektörlerde talep tarafı katılımını etkinleştirme maliyetlerinin diğer sektörlere kıyasla daha düşük olduğunu göstermektedir. Çimento ve kâğıt sanayilerinin talep tarafı katılımı da net bir fayda sağlarken, esnek soğutmanın sağladığı net fayda çok daha düşüktür (Şekil 4). Sistem maliyetleri son noktada tüketiciler tarafından üstlenildiği için, tüketici elektrik faturalarında bu sektörler önemli tasarruf imkanları sunmaktadır.

Şekil 4: *Kümülatif talep tarafı katılımı maliyetleri ve sistem faydaları*



Bu çalışmada gerçekleştirilen analiz, talep tarafı katılımının Türkiye'nin daha yüksek rüzgâr ve güneş payıyla çalıştırıldığında ihtiyaç duyulan esneklikle gelecekteki elektrik sistemine önemli bir teknik değer katabileceğini ve bu esnekliğin bir bölümünün, üretilen daha geniş sistem faydalarından çok daha düşük maliyetlerle satın alınabileceğini göstermektedir. Yine de, talep tarafı katılımının tam potansiyelinin açığa çıkması kapsayıcı piyasa şartlarına, teknik standartlara ve yenilikçi bilgi ve iletişim teknolojilerine olanak sağlayan entegre stratejik yaklaşımlar gerektirecektir.

Türkiye, talep tarafı katılımı ile ilgili birçok yasa ve yönetmelik üzerinde çalışmaktadır. Talep tarafı katılımının rolü Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı'nda ortaya konmuş (Eylem E10 - Talep Tarafı Katılımı için Piyasa Altyapısının Oluşturulması), böylelikle talep tarafı katılımının çoklu rolünün Türkiye elektrik sisteminin dönüşümüne katkıda bulunabileceği vurgulanmıştır. Türkiye'nin 11. Kalkınma Planı'nda da (2019-2023) elektrik sisteminde talep tarafı katılımını sağlamak için bir piyasa altyapısının oluşturulmasından söz edilmektedir. Bu nedenle, aşağıda bahsedilen öneriler Türkiye'nin elektrik sisteminde talep tarafı katılımının hayata geçmesi için ayrıca yararlı olabilir.

Yüksek rüzgâr ve güneş enerji kaynağı paylarını elektrik sistemine entegre eden stratejik yaklaşımlar, talep tarafı katılımı potansiyelinin harekete geçirilmesiyle çok daha önemli hale gelecektir.

- Talep tarafı katılımı talebi rüzgâr ve güneş elektrik santrallerinin birlikte çalışmasını teşvik etmeyi içerebilir. Talep tarafı katılımının değişken yenilenebilir enerji kaynaklarını dengeleme kabiliyeti şebeke kapasitesi ile sınırlıdır.
- Talebin elektrifikasyonu ve 'akıllılığının' paralel olarak yaygınlaşmasını sağlamak ani sistem talep yükselişlerini azaltarak sistemde ek esneklik ortaya çıkaracaktır.

Piyasa tasarımları ve teşviklerin devreye sokulması talep tarafı katılımı seçeneklerinin tüm ekonomik faydalarını açığa çıkarabilecek yeni iş modellerini teşvik edecektir.

- Talep tarafı katılımının yaygınlaşmasından kaynaklanan sistem faydalarının büyük kısmı ilave kapasite yatırımlarının ötelenmesinden geldiği için, bu faydayı etkin şekilde ekonomik hale getirecek mekanizmalara ihtiyaç vardır.
- Öte yandan, elektrik sisteminin daha verimli işletimiyle sağlanan tasarrufların ekonomik hale getirilmesi görece daha kolaydır, çünkü bu maliyetler tasarrufların dinamik veya statik çoklu tarife kullanımları aracılığıyla talep tarafı katılımı sağlayıcısına devredildiği toptan piyasalar vasıtasıyla geri alınabilir.
- Yerel esneklik sağlama ve şebeke yük aşımının önlenmesi için piyasaların geliştirilmesi mevcut dağıtım şebekelerinin verimliliğinin maksimize edilmesine yardım edecek ve ilave şebeke yatırımlarını önleyecektir.

Minimum teknik standartlar, talep tarafı katılımı gelişimini desteklemek için sistem altyapısı önkoşullarının yürürlükte olmasını sağlayabilir.

- Binaların akıllı sayaçlar kullanması istenecek, bir yandan da enerji tüketimi alt sınırının düşürülmesiyle elektrik tüketimini azaltacak yeni fırsatların tanımlanmasına olanak verilebilecektir.
- Sistem güvenliğini sağlayarak tüketici verileri gizliliğinin temin edilmesi için veri edinme ve yönetimine ilişkin standartlara ihtiyaç duyulacaktır.

- Hükümetçe desteklenen elektrikli araç şarj altyapı genişletmelerinin sağlanması için akıllı şarj teknolojilerinin etkinleşmesi gerekecektir.

Binalar ve elektrikli araç şarjı katılımı potansiyelinin büyük bölümü kilovat ölçeğindeki taleplerden gelecek ve ağırlıklı olarak dağıtım şebekelerine en düşük voltaj seviyesinde bağlanacaktır. Kümeleyiciler, esneklik hizmetlerini maksimize etmek amacıyla, bu küçük talep tarafı katılımı araçlarını diğer küçük ölçekli esneklik araçlarıyla eşleştirmek ve kontrol ederek dağıtmak için büyük umut vermektedir.

- Kümeleyiciler, ticarileşme yolunda henüz başlangıç aşamasında olan bir model olup, uygulamalarının tam anlamıyla gelişmesi için daha fazla desteğe ihtiyaç duymaktadırlar.
- Çok sayıdaki dağıtık talep tarafı katılımı aracını yönetmek ve kontrol etmek için güvenilir ve hızlı bir iletişim sistemi gerekecektir.
- Kümeleyicilerin her talep tarafı katılımı varlığının gerekliliklerini bir ölçüye kadar anlama ve birincil hizmetlerin sağlanmasını garanti etme kabiliyetine sahip olmaları gerekecektir.

Son olarak, Türkiye'de konut ve ticari binalarda akıllı alan ısıtmasının sisteme yarattığı net fayda göz önüne alınarak, esnek ısıtmanın etkinleştirilmesine öncelik verilmelidir. Akıllı ev teknolojilerinin hızlı yükselişi, tüketicilerin azalan elektrik faturalarından faydalanmak için ısıtma hizmetlerinin kontrolünü üçüncü taraflara bırakmak istediğini şimdiden göstermektedir.

1. Giriş

1.1 Yenilenebilir enerjinin elektrik sistemine entegrasyonu – esneklik ihtiyacı

Her geçen gün yaygınlaşan yenilenebilir enerji kaynaklarını elektrik şebekesine entegre etmekte bazı zorluklar yaşanması muhtemeldir. Rüzgâr ve güneş gibi değişken yenilenebilir enerji kaynakları kesintisiz değildir ve üretilen elektrik miktarı hava koşulları ile günün ve yılın zamanı tarafından belirlenen kaynak kalitesine bağlıdır. Elektrik sisteminde giderek artan değişken yenilenebilir enerji kaynak payı bu nedenle, eğer gerekli esneklik sağlanmazsa, talep ile arzın dengelenmesini daha da zorlaştırabilir.

SHURA şebeke (SHURA, 2018) ve esneklik (SHURA, 2019 b) çalışmalarına göre, rüzgâr ve güneş enerjisi kurulu kapasitelerinin iletim sisteminde ilave yatırım yapmadan ikiye katlanarak 40 GW'a çıkarılması mümkündür. Kurulu kapasitenin üçe katlanarak 2026'ya kadar 60 GW'a çıkarılması güneş ve rüzgârı Türkiye'de elektrik üretiminin toplam %31 pay ile en büyük kaynakları haline getirebilir ve artan esneklik gerekliliklerine yol açabilir. SHURA tarafından yakın tarihte yayınlanan bir çalışmaya göre (SHURA, 2020 b), rüzgâr ve güneşin toplam üretimdeki %15-%20 baz payına kıyasla, eğer gerekli esneklik sağlanırsa, %30 değişken yenilenebilir enerji kaynak payı (63,6 GW kurulu kapasite) mümkün ve maliyet etkindir. SHURA enerji verimliliği çalışması (SHURA, 2020 d) elektrik talebindeki %10 ek azalmanın, neredeyse hepsi maliyet etkin olan çeşitli enerji verimliliği seçenekleriyle mümkün olduğunu da ortaya koymaktadır. Bu çalışmalarda gösterildiği gibi, bir esneklik önlemleri portföyünün uygulamaya konması daha yüksek güneş ve rüzgâr paylarını entegre etme zorluklarını hafifletecektir. Esneklik, depolama (2 GW pompajlı hidro ve batarya enerji depolaması modellenmiştir) ve modernize edilmiş termik santraller ile talep tarafı katılımı mekanizmaları vasıtasıyla sağlanabilir. Türkiye'de halen kurulu 23 GW hidroelektrik rezervi bulunmaktadır ve yeterli derecede kullanılması halinde sisteme önemli esneklik hizmeti sağlayabilir. Sağlanan ek esnekliğin, yüksek rüzgar ve güneş enerjili senaryoda hem rüzgâr hem de güneş için %1'in epey altındaki seviyelerle zaten düşük olan kesintilerde pozitif ama küçük bir etkisi olacaktır (SHURA, 2019 b).

Elektrik sisteminde artan değişken yenilenebilir enerji kaynakları, yeterli esneklik sağlanmazsa arz ve talep dengesini zorlaştırabilir.

Teknik esneklik sistemin fiziki yapısıyla yakından ilgilidir. Teknik esneklik elektrik sisteminde herhangi bir yerde 1) arzın net yükteki hızlı değişimleri izleme kabiliyetini, 2) puant talep zamanlarının (şebekenin faydası için) veya net puant talep zamanlarının (santral için) ötelenmesini, 3) talebin arzdaki hızlı değişimleri izleme kabiliyetini, 4) enerji depolamanın tüm zaman ölçeklerinde arz ve talep arasındaki uyumsuzlukları dengeleme kabiliyetini ve 5) her zaman en düşük maliyetli arzın talebe ulaşmasına izin veren yeterli şebeke altyapısını belirleyen teknolojilerin kombinasyonunu ifade etmektedir (IRENA, 2018).

Esnek bir santral, üretimi hızla artırabilen veya azaltabilen, düşük minimum çalışma seviyesine sahip olan santraldir. Örneğin, hidroelektrik santralleri ve açık çevrim gaz türbinleri en esnek geleneksel üretim santral tipleri arasında kabul edilirken, termik santrallerdekiler gibi büyük buhar türbinleri genellikle yelpazenin en az esnek tarafında yer almaktadır. Yerli linyit rezervlerinin düşük kalorifik değerlere sahip olması ve çok kapsamlı madencilik işlemleri gerektirmesi, daha faydalı esneklik seçeneklerine yönelmeyi zorunlu hale getirmektedir. Ancak, halen sistem esnekliğine verilen önem nedeniyle, modern tasarımlar özellikle kömür teknolojileri için gelişmiş performans sunmaktadır.

Batarya depolama sistemleri esas olarak elektriği değeri en düşük iken depolamak ve değeri en yüksek iken kullanmak suretiyle elektrik arzının zamanlamasını kaydırmak amacıyla kullanılmıştır. Böyle bir uygulamada elektriğin değeri daha pahalı santrallerin

çalışmasının önlenmesi ve genel üretim maliyetlerindeki düşüşlerden gelmektedir. Değişken yenilenebilir enerji kaynaklarının şebeke operasyonları üzerindeki dalgalı etkisini azaltarak yüksek değişken yenilenebilir enerji kaynak paylarını kolaylaştırmak amacıyla depolama kullanılabilir.

Türkiye'de batarya depolamanın rolü yıllardır tartışılmaktadır. 2021 yılında kamuoyu görüşünün alınması için enerji depolama hakkında bir yasa taslağı yayınlanmıştır. Buna ek olarak, enerji şirketleri batarya depolama teknolojileri ile bunları işletecek iş modellerine yatırım yapma seçeneklerini incelemektedir. Enerji depolama, TÜBİTAK ve Cumhurbaşkanlığı Yatırım Ofisinin öncülüğünde yürütülenler de dahil, çeşitli AR-GE inisiyatifleri ve Türkiye elektrikli araç projesi (TOGG) ile gelişmekte ve enerji sektörüyle sinerji yaratmaktadır. Enerji Enstitüsü Batarya Teknolojileri Laboratuvarı çeşitli AR-GE projelerindeki batarya üretiminin tüm süreç adımlarını kapsayan çalışmalar yapmaktadır (TÜBİTAK, 2020). Konu büyük ilgi çekerken, yatırımların hangi alanlara yönlendirilmesi gerektiğini ve depolama kapasitesinin ne ölçüde kurulması gerektiğini daha iyi anlamaya ihtiyaç vardır (SHURA, 2019 b).

Pompajlı hidro, basınçlı hava enerji depolama, hidrojen, uzun ömürlü bataryalar ve termal depolama gibi teknolojiler daha uzun süreyle esneklik sağlamaktadır. Kısa ve orta vadede pompajlı hidroya ilaveten, bataryalar potansiyel olarak aynı anda çoklu yan hizmetler sağlamak; elektrikli araçlara takıldığında fosil yakıtların yerini almak, mini şebekelerde yüksek yenilenebilir kaynak paylarına olanak sağlamak ve çatı üstü güneş enerjisinin öz tüketimini desteklemek gibi daha geniş bir hizmet yelpazesi sunabilir. Depolama teknolojileri SHURA'nın batarya teknolojileri raporunda (SHURA, 2019 c) kapsamlı şekilde değerlendirilmiştir.

Türkiye, halen trafikte bulunan yaklaşık 2.000 elektrikli araç ile artık kendi elektrikli araç sektörünü geliştirmeye başlamıştır. Artan otomobil sahipliği ve büyüyen nüfusla birlikte, ülkede elektrikli araç kullanımını artırmak için önemli bir potansiyel bulunmaktadır. Elektrikli araçların şarjı doğru yönetilmediğinde dağıtım şebekelerinin çalışmasında olumsuz etkiler yaratabildiği için, bu araçların elektrik sistemine entegrasyonu önemli bir konudur. Olumsuz etkileri sınırlandırmak ve elektrikli araçların ek elektrik yükünü yönetebilmek amacıyla, elektrikli araç kullanıcıları için maliyet etkin şarjı destekleyen ve daha verimli şebeke kullanımını teşvik eden akıllı şarj konseptleri ve iş modelleri geliştirilmektedir. Elektrikli araçları konu alan yakın tarihli SHURA raporuna (SHURA, 2019 a) göre, 2030'a kadar yıllık 4 TWh elektrik talebi getirecek 2,5 milyon elektrikli aracın, Türkiye'nin akıllı şarja olanak sağlayan stratejiler gerektiren dağıtım şebekesine entegrasyonu için önemli bir potansiyel bulunmaktadır. Öte yandan, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) 2030'da Türkiye yollarında 1 milyon elektrikli araç bulunmasının beklendiğini duyurmuştur (AA, 2019). Bu nedenle, SHURA çalışması optimal sistem yapılandırmasını belirlerken elektrikli araç şarjını bir esneklik kaynağı olarak kabul etmiştir.

Şebeke esnekliği arz ve talebi geniş ölçekte dengelemek için güçlü bir iletim şebekesinin varlığını, aynı zamanda ulusal veya diğer yetki alanları arasında esneklik takasına olanak veren sınır ötesi ağları (eğer pazar buna izin veriyorsa) ifade etmektedir (IRENA, 2018). Bu analiz, %30 rüzgâr ve güneş entegrasyonu için, %10'a varan ilave iletim hattı yatırımına ihtiyaç duyulacağını belirlemektedir. Ancak, mevcut altyapı ve koşullar göz önüne alındığında, Türkiye için şebeke optimizasyonu tam yeterli bir çözüm sunmamakta ve diğer esneklik seçeneklerinin değerlendirilmesini gerektirmektedir.

1.2 Türkiye'nin elektrik sistemi ve sektör eşleştirme

2019'da nihai enerji tüketiminin %31'i sanayi sektöründe, %21'i binalarda ve %25'i de ulaştırma sektöründe gerçekleşmiştir. 2019 yılında Türkiye'nin toplam elektrik üretimi yılda yaklaşık 305 teravat-saate (TWh) ulaşmıştır. Sınır ötesi elektrik ticaretinin ihmal edilebilir düzeyde olması nedeniyle, ülkenin toplam elektrik üretiminin neredeyse tamamı son kullanıcılara yönlendirilmektedir. Binalarda tüketilen elektriğin payı toplam tüketimin %45'ine tekabül ederken, sanayi elektrik talebinin payı %40 civarındadır. Kalan %15'lik payın büyük bölümü elektrik santrallerinin kendi tüketimleri ile iletim ve dağıtım şebekelerindeki kayıplar nedeniyle son kullanıcıya ulaşamamaktadır. 2019'da üretilen toplam 305 teravat-saat elektrikte kömürün payı %37, hidroelektrik %29, doğal gaz %19, rüzgâr, güneş, jeotermal ve diğer yenilenebilir kaynaklar ise %15 olmuştur. Türkiye'nin konut, ticari ve sanayi elektrik talebi ciddi bir hızla artmaktadır. Demir, çelik ve çimento gibi enerji yoğun sanayiler toplam elektrik talebinin önemli paylarını oluşturmaktadır. Artan otomobil sahipliği ve büyüyen nüfus, ülkede elektrikli araç kullanımı artışında önemli bir potansiyel doğurmaktadır. Bu yükler kısmen esnektir, ancak bunların esneklik mertebesinin ayrıntılı bir değerlendirmesi halen mevcut değildir (SHURA, 2020 d).

Sektör eşleştirme enerjiyi son tüketen sektörleri – binalar (ısıtma ve soğutma), ulaştırma ve sanayi – elektrik sektörü ile entegre etme fikrini ifade etmektedir.

Enerjiyi son tüketen sektörlerde artan elektrik sistemi esneklik ihtiyacı 'sektör eşleştirme' fikrinin anlaşılmasını gerektirmektedir. Sektör eşleştirme enerjiyi son tüketen sektörleri – binalar (ısıtma ve soğutma), ulaştırma ve sanayi – elektrik sektörü ile birbirine bağlama veya entegre etme fikrini ifade etmektedir. Daha yüksek yenilenebilir enerji ve özellikle değişken yenilenebilir enerji kaynak payları elde etmek için, bu farklı son enerji tüketici sektörlerin birbirine bağlılığını artırma gerekliliği giderek daha fazla kabul görmektedir.

Enerji sistemini daha verimli ve yenilenebilir tabanlı bir sisteme dönüştürmekte sinerji yaratmak için sektörleri eşleştirmek, Türkiye'nin enerji stratejisinin temel bir parçası haline gelmektedir. Çabalar özellikle talep tarafı katılımının nasıl sistemdeki yenilenebilir enerji fazlası ile ilişkilendirilebileceğine (örn. sistemdeki mevcut arzın daha yüksek ve üretim marjinal maliyetlerinin daha düşük olduğu çok rüzgârlı ve güneşli günlerde yükleri etkinleştirmek) odaklanmıştır. Termal yükler (klima, alan ve su ısıtma) ve diğer yükler giderek daha fazla elektriklendirildiği ve elektrikli araç şarjından gelen talep artmaya devam ettiği için, talep tarafı kaynaklarının daha akıllı ve gerçek zamanlı yönetimi için potansiyel büyümekte, daha yüksek değişken yenilenebilir enerji kaynak payları elde etme fırsatını artırmaktadır (Münster et al, 2020).

Sektör eşleştirme, geniş anlamda, dönüştürülen enerjinin (dönüştürme kayıplarından sonra kalan) farklı sektörlerde kullanılabileceği bir enerji dönüşüm sürecidir. Bu tür enerji dönüşümleri, enerjinin elektrik sisteminde daha kolayca depolanabileceği ve kaydırılan zamanda başarılı şekilde tekrar elektriğe dönüştürülebildiği anlamına gelmektedir. Eğer elektrik diğer enerji kaynaklarından daha ucuz ve/veya daha temizse, başka bir sektörde tüketilebilir. Bazı durumlarda ısı, gaz veya sıvı olarak nakledilebilir. Geçiş maddelerini taşıma altyapısı, elektrik iletim ve dağıtım altyapısından daha verimli olabilir. Ayrıca, ısı pompaları ısıtma sektörünü elektrik tabanlı enerji sistemine entegre etmek için önemli bir teknoloji olarak kabul edilmektedir. Isı kaybının daha az olmasını, ısı pompası büyüklüğünün optimize edilmesini ve bütün sektörün daha verimli hale gelmesini sağlamak için, ısı pompalarının kurulumu binaların yalıtımıyla el ele yürümelidir. Farklı sektörlerin entegrasyonu ve eşleştirilmesi, arz ve talebi daha iyi senkronize etmek için birçok sürecin dijitalleştirilmesini gerektirecektir (Münster et al, 2020).

Sektör eşleştirmenin birçok olası kombinasyonu, karbonsuzlaştırma hedefleri, sisteme özgü sınır şartları ve işletim kısıtları göz önüne alındığında, yatırım ve işletme harcamalarını (CAPEX+OPEX) minimize etme amacı nedeniyle çok değişkenli, karmaşık bir optimizasyon ihtiyacı doğurmaktadır. Sektör eşleştirme potansiyelini talep tarafı katılımı açısından artırarak resmin bütününü etkileyen bir başka unsur da sektörlerin elektrifikasyonudur.

1.3 Türkiye'de talep tarafı katılımı

Talep tarafı katılımı, elektrik arzına daha iyi uyum sağlamak için talebin kaydırıldığı veya azaltıldığı özel talep tarafı yönetim programlarını ifade etmektedir.

Talep tarafı katılımı, elektrik arzına daha iyi uyum sağlamak için talep eğiliminin kaydırıldığı veya azaltıldığı özel talep tarafı yönetim programlarını ifade etmektedir. Talep tarafı katılımı, tüketicilere fiyat sinyallerine veya uzun vadeli doğrudan kontrol sözleşmelerine tabi olan elektrik tüketimlerini ayarlayarak şebekenin işletiminde rol oynama fırsatı veren etkili bir yöntemdir. Talep tarafı katılımı, büyük ölçekli ve dağıtık yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik sistemine entegrasyonu, elektrik sistemi verimliliğinin artırılması ve ısıtma ve ulaşımın elektrifikasyonunu en düşük maliyetle sağlamaya katkısı ile elektrik sistemi için önemli rol oynamaktadır. Değişken yenilenebilir enerji kaynak kesintilerini daha da düşürmek için talep tarafı katılımı enerji depolamayla birlikte kullanılabilmektedir.

Birçok ülkede yürürlükte olan çok sayıda talep tarafı katılımı uygulama örneği, Türkiye'nin talep tarafı katılımı stratejisi için tavsiye niteliğindedir. Fransa'daki kapasite mekanizması talep tarafı katılımına açıktır ve piyasa katılımcılarının kendi aralarında doğrudan anlaşma yaptıkları bir 'merkezi olmayan piyasaya' dayanmaktadır. Belçika yan hizmetlerini ürün gerekliliklerindeki bir dizi değişiklik yoluyla talep tarafı katılımına açmak için önemli adımlar atmıştır. Talep tarafı katılımı birincil, ikincil ve üçüncül rezervlere, ayrıca kesintili sözleşmeler programına katılabilir[1]. Kore'de Nisan 2014'te talep tarafı katılımının toptan kapasite piyasasına katılımına izin veren bir yasa geçirilmiştir. Kore güvenilirliği sağlamak, rekabeti teşvik etmek ve IT tabanlı enerji işlerinin bir ekosistemini geliştirmek için, talep tarafı katılımını aktif olarak desteklemektedir (SHURA, 2020 d).

Talep tarafı katılımı sağlayıcılar (özellikle sanayi yükleri), organize piyasalar dışındaki iki taraflı sözleşmeler aracılığı ile enerji tedarikçileri gibi dengeden sorumlu taraflara YAL/YAT sunabilirler. Ancak, taraflar arasındaki bu hizmet için dalgalanmalar ve fiyat belirleme zorluğu nedeniyle bu yöntem nadiren uygulanmaktadır. Eşleştirme için hem yan hizmetlerde hem de spot elektrik piyasalarında talep tarafı bulunabilirliği vasıtasıyla genel sistem maliyetlerini düşürmeye yardım eden bir düzenleyici çerçeve Türkiye'de henüz etkin değildir (SHURA, 2020 d).

Türkiye'de politik tartışmalarda uzun yıllardır dikkate alındığı halde, talep tarafı katılımı henüz ayrıntılı şekilde araştırılmamış ve hayata geçmemiştir. Türkiye'nin 11. Kalkınma Planına göre, yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimi artırılacak ve depolama teknolojileri de dahil, yenilenebilir enerji üretiminin güvenli şekilde şebekeye entegrasyonunu sağlamak için gerekli planlama ve yatırımlar hayata geçirilecektir (Onbirinci Kalkınma Planı, 2019). 2018'de yürürlüğe giren Elektrik Piyasası Yan Hizmetler Yönetmeliği'nde talep tarafı katılımı altyapısının şartları tanımlanmıştır. Türkiye Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı (2017-2023) kısa vadede talep tarafı katılımı sağlayacak teknik ve düzenleyici bir çevrenin uygulanmasını gerektirmektedir. Plana

[1] Bir perakende elektrik tedarikçisi tarafından piyasaya sunulan kesilebilir elektrik kontratları, verilen elektriğin fiyatında genel bir indirim veya kesilme zamanında maddi tazminat karşılığında elektrik hizmetinde kesintilere olanak verir.

göre, gerekli yasal çerçeve 2018-2019'da geliştirilecek, kurumsal altyapı 2020 ve 2021'de tamamlanacak ve uygulama 2022'de başlayacaktır (UEVEP, 2017).

Dağıtık enerji sistemlerindeki mevcut büyük potansiyel ve hükümetin bu alandaki çalışmaları ile Türkiye'de talep tarafı katılımı geliştirme ihtiyacı kısa vadede daha büyük olacaktır. SHURA'nın çatı üstü güneş enerjisi potansiyeli raporunda (SHURA, 2020 a) belirtildiği üzere, Türkiye'nin farklı iklim bölgeleri ve bina tiplerinden 15 GW elektrik üretme potansiyeli mevcuttur. Elektrik üretimi giderek merkezi olmaktan uzaklaşacağı için, yerinde üretim ile elektrik sistemi arasında arz ve talebi dengeleyecek akıllı operasyonlar ihtiyacı, esnek ve dirençli bir elektrik şebekesi kurmanın anahtarı olacaktır.

Yukarıda sözü edilen bütün bilgiler girdi olarak kabul edildiğinde, farklı son enerji tüketici sektörleri ve bunların yüksek rüzgâr ve güneş payına sahip bir elektrik sistemini destekleyecek talep tarafı katılımı potansiyelini değerlendirmek açısından Türkiye'nin atması gereken adımlar vardır. Bu rapor Türkiye'de, özellikle binalara odaklanarak birçok sektör için talep tarafı katılımı seçeneklerini araştırmaktadır. Çalışma, talep tarafı katılımı potansiyelini ve bunun nasıl 2030'da faaliyete geçirileceğini göstermeyi, daha yüksek yenilenebilir enerji entegrasyonuna katkıda bulunmayı ve elektrikli araçlar, ısı pompaları ve dağıtık enerji kaynakları gibi elektrifikasyon seçeneklerinin yaygınlaşmasını desteklemeyi amaçlamaktadır. Değerlendirme farklı sektörlerin talep tarafı katılımı potansiyelini ve talep tarafı katılımının yenilenebilir enerji entegrasyonu ile birlikte elektrik sistemi yatırımları ve işletme maliyetleri üzerindeki etkisini nicelemektedir.

1.4 Türkiye'deki talep tarafı katılımı potansiyelinin değerlendirilmesine yaklaşım

Sanayi sektörü dünyanın farklı ülkelerinde talep tarafı katılımı sağlama açısından halen en etkili sektör iken, konutlarda talep tarafı katılımı henüz büyük ölçekte hayata geçmemiştir (UK Parlamento Bilim ve Teknoloji Ofisi, 2014). Sanayi sektörü yüksek elektrik tüketimi yapan geniş sanayi bölgelerinde yük azaltma yoluyla büyük ölçüde talep tarafı katılımı sağlamaktadır.[2] Ancak bu tür yük azaltmalar, üretim kayıpları nedeniyle yüksek kullanım maliyetleri doğurabilmektedir (Umweltbundesamt, 2015). Mevcut piyasa çerçevesinde, yük azaltmadan kaynaklanan yüksek kesinti maliyetleri nedeniyle, bu tür sanayi talep tarafı katılımları bir elektrik hattı veya jeneratör arızası durumunda olduğu gibi, yüksek sistem gerilimi zamanlarında nadiren uygulanmaktadır.

Tek haneli konutlar ve enerji dışı yoğun işlerin yükleri elektrik sisteminin toplam yüküne kıyasla küçük olabilirken, büyük kümülatif oluşturmak üzere birleştirilebilirler. Talep tarafı katılımı sağlamak için birleştirilmiş konut ve ticari yükler, özellikle konut ve işyerlerinin elektrik tüketimini önemli ölçüde artırma olasılığı çok yüksek olan ısıtma ve ulaştırmanın elektrifikasyonu söz konusu olduğunda muazzam büyüklüktedir (IRENA, 2019).

Birleştirilmiş potansiyele karşın, talep tarafı katılımının yaygınlaşması ve büyümesi için birçok engel bulunmaktadır. Birleştirilen yüklerin her birisinde akıllı bilgi ve iletişim teknolojileri (BİT) için önemli miktarda sermaye yatırımı gerektiğinden,

[2] Bazı bölgeler, yerinde enerji depolama veya elektrik üretimi bulunması nedeniyle talep tarafı katılımı sağlama kabiliyetine sahiptir. Ancak, sanayi bölgelerinden bu şekilde katılım bu raporda daha fazla incelenmeyecektir, çünkü bunlar temelde farklı teknolojileri, diğer bir deyişle esnek üretim ve enerji depolama hakkındadır.

halen maliyetler cazip düzeyde değildir (Nursimulu, 2016). Ayrıca, potansiyel gelirler (yüksek CAPEX'i destekleyebilecek) belirlenmemiştir. Birleştirilmiş yükler yeni çeşit piyasa katılımcıları anlamına geldiğinden, beklenen kullanım düzeyleri son derecede belirsizdir. Birleştirilmiş talep tarafı katılımı ekonomisini belirlemek kullanım düzeyinin anlaşılmasını gerektirmektedir, fakat talep tarafı katılımlı elektrik sistemleri konusunda yapılmış sistem seviyesinde değerlendirme çok sınırlıdır.

Müşteri için uygunluk ve konforun üzerindeki her türlü olumsuz etki minimize edilmelidir ve katılım sadece müşteri tercihleri ve ihtiyaçları doğrultusundaki kısıtlar çerçevesinde yürüyebilecektir. Talep tarafı katılımı uygulaması sadece günün belirli saatlerinde veya yılın belirli zamanlarında mevcut olabilir. Bu durum talep tarafı katılımı uygulaması üzerinde, bir batarya depolama aygıtı gibi sadece enerji hizmeti sunan bir araca kıyasla, ek bir kısıtı temsil etmektedir. Konut ve ticari talep tarafı katılımını ekonomik hale getirmek, yatırım maliyetlerinin düşük, kullanımın ise yüksek tutulmasını gerektirecektir.

Konut ve ticari talep tarafı katılımı artışının önündeki bir zorluk da ek esneklik araçlarının sistem seviyesinde azalan marjinal faydasıdır. Daha yüksek talep tarafı katılımı uygulama seviyeleri araç başına faydanın daha düşük seviyelerde olmasına ve sağlanan hizmetlerde azalan getiriye (diğer tüm koşullar sabitken) yol açacaktır. Bu durum daha önce proaktif piyasalarda görülmüştür; Birleşik Krallık'ta bataryalar toptan elektrik piyasalarına (örn. gün öncesi ve vadeli işlem piyasaları) göre çok küçük olan bu yan piyasada maliyetli duruma geldiği için, katılım düzeyi 3 yılda üçte iki oranında azalmıştır. Aynı dinamik (kuşkusuz çok daha büyük) toptan enerji piyasası için de geçerlidir. Birleştirilmiş talep tarafı katılımlarının 2030'a kadar faaliyete geçmesi, yeterli bir düzenleyici çerçeve sağlamak için, teknoloji ve iş modellerinde olduğu kadar politikalarda da önemli yenilikler gerektirecektir (BEIS, 2017).

Bu çalışma, talep tarafı katılımı zorluklarını elektrik sisteminin yapılanması, talep tarafı katılımı uygunluğu, tüketici davranışları ve talep tarafı katılımı uygulama düzeyinin ekonomisi açısından irdelemektedir. Yüksek seviyede değişken yenilenebilir enerji kaynak entegrasyonu en düşük maliyetle hayata geçerken, talep tarafı katılımı uygulamalarının elektrik sisteminde mevcut esneklik seçeneklerinin yanı sıra yaygınlaşmasının ekonomik değerlendirmesiyle, Türkiye'deki talep tarafı katılımı potansiyelinin yeni bir teknik değerlendirmesini birleştirmektedir.

Aşağıdaki bölüm, farklı elektrifikasyon derecelerini ve talep tarafı katılımı uygulamalarını içeren 2030 Türkiye elektrik sisteminin olası durumlarını ifade etmek için kullanılan senaryoların geliştirilmesindeki motivasyonu açıklamaktadır.

1.5 Senaryo geliştirme

Bu değerlendirmenin başlangıç noktası, SHURA şebeke (SHURA, 2018) ve esneklik (SHURA, 2019 b) çalışmalarında ortaya konulduğu gibi, 2026'da Türkiye'nin elektrik talebinin %30'unu karşılayan toplam 60 GW kapasiteli rüzgâr ve güneş enerjisini içeren Üç Kat senaryosudur. Bu senaryo, rüzgâr ve güneş enerjisi yayılımının 2030'da Türkiye elektrik talebinin %30'unu temsilen 63,6 GW'a ulaştığı, Türkiye'de optimal kapasite karmasını konu alan yakın tarihli SHURA raporundaki (SHURA, 2020 b) Dengeli Politika senaryosuyla da yakın ilişki içindedir.

Dünyadaki birçok elektrik sistemi yüksek değişken yenilenebilir enerji kaynak seviyelerini sağlamak için çalışmaktadır. Arz ve talebi dengelemek, elektrik puant taleplerini sınırlamak ve yenilenebilir enerji kesintisini azaltmak için, sistemde esneklik araçlarının yayılmasının gerektiği konusunda fikir birliği vardır. Talep tarafı katılımı araçlarının bu entegrasyon zorluğuyla başa çıkmaya katkı sağlama kapasitesi dikkate alındığında, iki önemli boyut ortaya çıkmaktadır:

Verimli binalar elektrik sisteminin ihtiyaçlarına yanıt olarak enerji talebini ayarlamak için daha fazla esnekliğe sahiptir.

Talep tarafının esneklik sağlama kabiliyeti: Isıtma ve ulaştırmanın elektrifikasyonundaki artış, talep esnekliği sağlama potansiyelini artırmaktadır. Bunun nedeni birçok alan ısıtma (ve soğutma) talebinin termal kütle nedeniyle bir öz esneklik seviyesine sahip olması, çoğu elektrikli araç şarjının esneklik sağlamak için kaydırılabilmesi/ertelenebilmesidir.

Maliyet etkin karbonsuzlaştırma için hayati önemdeki enerji verimliliği de esnekliğe destek olabilir. Daha verimli binalar ısıyı daha uzun süre muhafaza edebilir ve ısıtma amacıyla ısı pompası kullanılıyorsa, bu binalar elektrik sisteminin ihtiyaçlarına yanıt olarak enerji talebini ayarlamak için daha fazla esnekliğe sahiptir. Elektrifikasyon ve verimlilik kazançlarının sebebi olan talep tarafı ayarları 2. bölümde açıklanmıştır.

Esneklik kaynağı – arz veya talep tarafı: Geleneksel olarak, elektrik sistemleri neredeyse tüm esnekliklerini arz tarafından elde ederler: kısmen yüklü termik santraller, pompajlı hidro depolama, enterkonnektörler, vd[3]. Bazı sanayi sektörleri talep kesintileri yoluyla esneklik sağlayabilir, fakat bunlar maliyetli olduğu için sadece çok kritik durumlarda ve yılda sınırlı saatlerde kullanılmaktadır[4]. Elektrik sisteminde zaten mevcut olan esneklik kaynaklarının kapasitesi ve tipi, sisteme esneklik sağlayan talep tarafı araçları için teknik ve ekonomik fırsatların belirlenmesinde önemlidir.

Dolayısıyla, başlangıç noktamız elektrik sistemini 2030'da beklenen arz tarafı esneklik araçlarıyla ifade etmektir. Bunlar, SHURA çalışmasındaki (SHURA, 2018) esneklik olmayan Üç Kat senaryosunda (YAL/YAT'ın toplam elektrik talebindeki payının iki kat fazla olduğu, kesintilerin arttığı ve şebeke yatırımlarının baz senaryoya göre %40 fazla olduğu) belirtilenlerle uyumludur ve sistem dostu yenilenebilir enerji kapasitesi, depolama, termik santral esnekliğinin artırılması ve talep tarafı katılımının etkinleştirilmesini kapsamaktadır.
Mevcut çalışmanın derinlemesine talep tarafı katılımı incelemesi bu arz tarafı çözümler için bir tamamlayıcı teknik ve ekonomik seçenek olarak görülebilir. Arz tarafı esnek üretim araçları hakkında daha fazla bilgi 4. bölümde verilmektedir.
Şekil 5 bu değerlendirmede incelenen senaryoların gelişimini yukarıda tanımlanan boyutlarıyla göstermektedir.

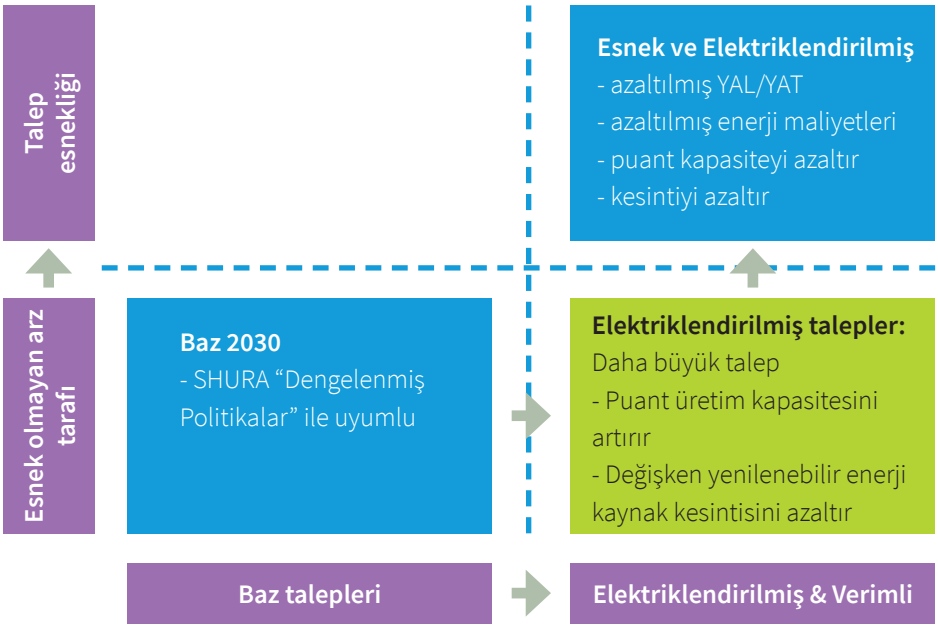
- Baz 2030 senaryosu 2030'a kadar %30 değişken yenilenebilir enerji kaynak entegrasyonuna ulaşmanın sistem maliyetlerini ortaya koymaktadır.
- Elektriklendirilmiş Talep senaryosu talep tarafındaki değişikliklerin değişken yenilenebilir enerji kaynak payını nasıl destekleyebileceğini ve entegrasyonun sistem maliyetlerini nasıl azaltabileceğini ortaya koymaktadır.

[3] Kullanım ölçeğinde depolama ve enterkonneksiyonlar, talep tarafıyla bir etkileşimleri olmadığı için arz tarafına dahil edilmiştir.
[4] Örneğin, 2018'de Almanya'da demir ve çelik üreticileri gibi büyük sanayi tüketicilerinde 15 gün, 15 dakikadan 8 saate kadar kesinti olmuş, toplam 574 TWh elektrik talebine kıyasla yaklaşık 5 GWh kullanım gerçekleşmiştir (Bundesnetzagentur, 2019).

- Esnek ve Elektriklendirilmiş senaryo %30 değişken yenilenebilir enerji kaynak payına ulaşılırken talep tarafı katılımının genel sistem maliyetlerini nasıl düşürebileceğini göstermek için talep tarafı katılımını teknik ve ekonomik eşiğine kadar faaliyete geçirmektedir.

Bu senaryoların analizi Türkiye elektrik sisteminde değişken yenilenebilir enerji kaynak entegrasyonunu artırmanın yanı sıra, ısıtma ve ulaştırmada elektrifikasyonu da artırmak için en düşük maliyet yaklaşımını tanımlamaya yardımcı olmayı amaçlamaktadır. Ana senaryolar Baz (alt solda) ve Esnek & Elektriklendirilmiştir (üst sağda).

Şekil 5: *Çalışmada incelenen senaryolar*

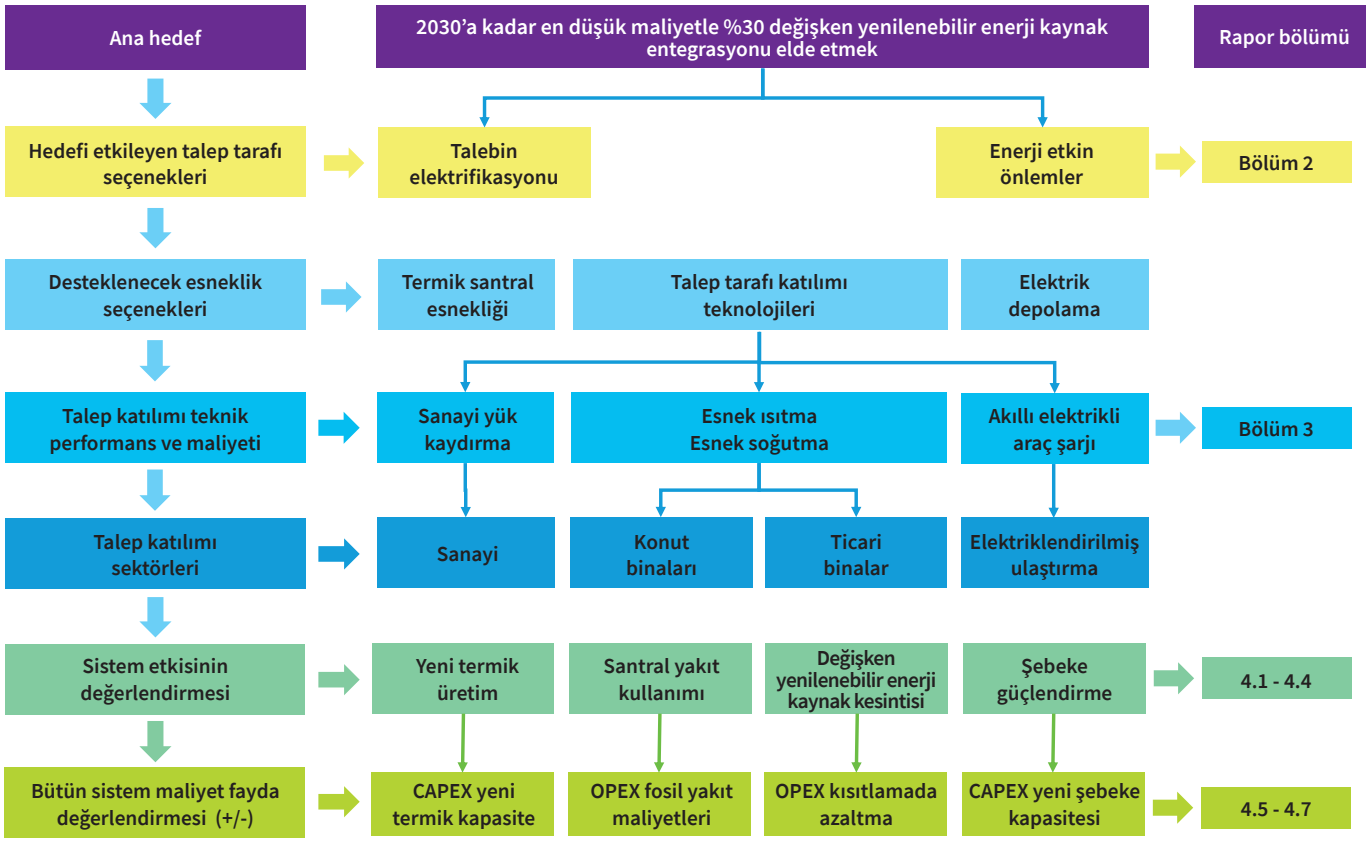


1.6 Raporun çerçevesi

Bu çalışma, Türkiye elektrik sisteminde 2030'a kadar %30 değişken yenilenebilir enerji kaynak payının elde edilmesinin ve bunun en düşük sistem maliyetiyle yapılmasının yollarını araştırmaktadır. Buradaki diyagram talep tarafı katılımının değişken yenilenebilir enerji kaynaklarını destekleme ve sistem tasarrufları sağlama potansiyelini belirlemek için kullanılan süreci göstermektedir.

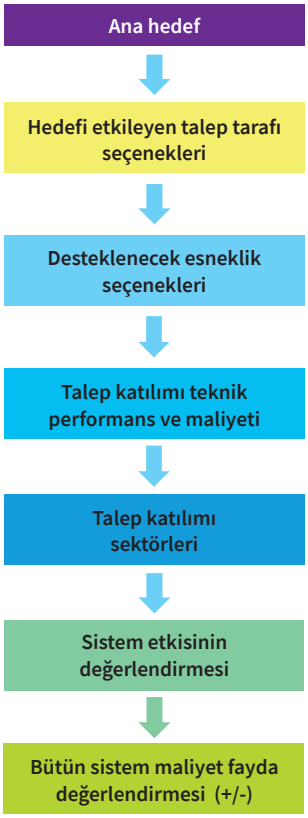
- Karbonsuzlaştırma talepte daha fazla elektrifikasyonu tetiklediği için, artan talep değişken yenilenebilir enerji kaynak kesintilerini azaltabilir. Buna ek olarak, yeni elektrifikasyon talepleri esneklik potansiyelini artırmaktadır. Enerji verimliliği önlemleri maliyet etkin CO_2 azaltımı için önemlidir, fakat talebi düşürmektedir. Daha önceki çalışmalarda sıklıkla talep tarafı katılımı kapasitesi için talebin %5 veya %10'unun esnek olduğu varsayımları yapılmıştır. Bu tahminler ne sistemin ihtiyacı olan zamanlardaki fiili talep tarafı katılımı uygunluğunu ne de sermaye ve işletim maliyetlerini yansıtmaktadır. Bu nedenle politikayı belirleyenlerin yüksek performanslı talep tarafı katılımı sektörlerini hedeflemek ve buna odaklanmak için ihtiyaç duyduğu yeterli kanıtları sağlamamaktadır. Ana talep sektörlerindeki esneklik potansiyelini değerlendirmenin ilk adımı, 2. bölümde yapıldığı üzere, bunların gelecekteki taleplerini hesaplamaktır.

- Değişken yenilenebilir enerji kaynaklarını entegre etmek için daha büyük sistem esnekliği gereklidir. Mevcut çalışma tümevarımcı bir yaklaşım kullanarak talep tarafı katılımı kaynaklarının gün içinde ve farklı sezonlarda uygunluğunun değişkenliğini yansıtmaktadır. Bu yaklaşım tüketilen elektriğin ne kadarının enerji sistemini dengelemek için yararlı olan zamanlarla bağlantısı olduğuna dair kanıt ortaya koymaktadır. Çeşitli son enerji tüketici sektörlerin talep tarafı katılımı sağlama potansiyeli 3. bölümde değerlendirilmiştir.
- Talep tarafı katılımı, değişken yenilenebilir enerji kaynak kesintilerinin azaltılması, santral yakıt tüketiminin azaltılması ve ek YAL/YAT santral kapasitesi ya da ek şebeke kapasitesi ihtiyacının azaltılması kaynaklı tasarrufları sağlarken değişken yenilenebilir enerji kaynaklarını destekleme potansiyeline sahiptir. Talep tarafı katılımı araçları, eğer kullanılmaları diğer elektrik sistemi esnekliklerine kıyasla daha pahalıysa, elektrik sistemi tarafından hiçbir zaman kullanılmayabilir. Talep tarafı katılımı kullanımındaki teknik ve ekonomik fırsatı tam olarak ifade edebilmek için, talep tarafı katılımı araçları arz tarafı esnekliğine sahip bütün bir elektrik sistemi modeli içinde ortaya konmaktadır. Bu maliyet ve faydaları belirlemek için, bir bütün sistem modeli yaklaşımı kullanılmış ve bu 4. bölümde anlatılmıştır.
- Çalışma bunun da ötesinde, talep tarafı katılımı artışını mümkün kılmak için gereken teknik, düzenleyici ve ticari gelişme önceliklerini 5. bölümde belirlemektedir.



Ana bölümlerin başlangıcında, bölümün hangi süreçle ilişkili olduğu tanımlanmıştır.

2. 2030 elektrik talebinin sektör bazında değerlendirmesi



Bu bölüm, talep tarafı katılımı için odak noktası olan elektrik kullanan sektörleri tanımlamakta ve alan ısıtma ile ulaştırmada elektrifikasyonun artışını yansıtmak amacıyla her birisi için baz çizgiyi belirleyerek 2030'daki yıllık enerji talebini hesaplamaktadır. Ardından, her talep sektöründe hangi oranın sisteme esneklik sağlayabileceğini (örneğin ısı enerjisini binanın yapısında ve dokusunda depolayarak ısıtma sistemi kapatıldığı halde hâlâ kabul edilebilir bir dahili sıcaklık sağlamasına (bir süre için) olanak veren binalarda) belirlemektedir. Bu bölümün ilk kısımları binalar (2.1 ve 2.2), sanayi (2.3) ve ulaştırma (2.4) sektörlerinin elektrik talebi gelişimini ele almaktadır. Bu sektörlerde esneklik sağlama modellemesinin 3. bölümde açıklandığı dikkate alınmalıdır. Son kısım (2.5) toplam elektrik talebinin gelişimini konu etmektedir.

2.1 Yöntem: Binaların 2030 talebinin belirlenmesi

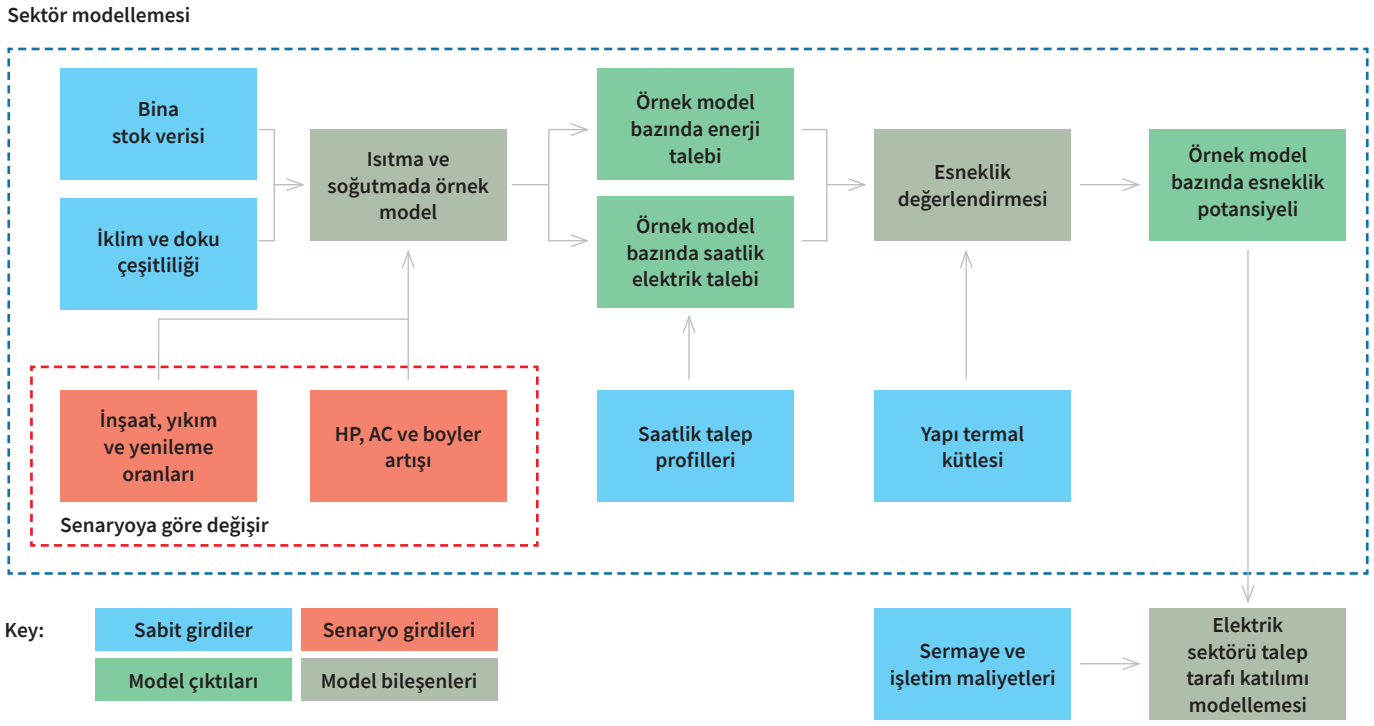
Binaların elektrik talebinin doğru modellenmesi, talep tarafı katılımı potansiyelini tahmin etmek için önemlidir. Alan ısıtma, sıcak su, alan soğutma ve havalandırma esnek olma ve elektrik sistemine değer katma potansiyeline sahiptir. Bu sektörler için, Türkiye'nin binalarının ele alınması ile mevcut talep seviyelerine (SHURA, 2020 a) ve talebin Bölüm 1.6'da tanımlanan senaryolar kapsamında nasıl değişebileceğine dayanan bir talep modeli geliştirilmiştir. Bina sektörünün talebi Elektriklendirilmiş & Verimli senaryoda toplam enerji tüketiminin %7'sine karşın, toplam elektrik talebinin %13'ünü oluşturmaktadır. Bu sektörler ayrıca iklime bağımlı olma nedeniyle, toplam elektrik talebindeki mevsimsel değişkenliği de artırmaktadır. Gerçekten de, alan ısıtma ve soğutma sırasıyla kışın ve yazın yıllık sistem puant taleplerinden sorumludur ve bu nedenle gerekli elektrik üretim kapasitesinin boyutlandırılmasında belirleyici etkenlerdir.

Diğer elektrik talepleri arasında aydınlatma, elektrikli aletler ve elektrikli pişirme yer almaktadır. Bunların maliyet etkin esneklik sağlama potansiyelleri düşük olduğu için alan ısıtma, sıcak su, alan soğutma ve havalandırma ile aynı ayrıntıda modellenmemiştir. Diğer elektrik talebi içinde kalan bu sektörlerin esnek olmadığı varsayılmıştır (Bölüm 2.5).

2.1.1 Örnek modeli

Türkiye'de binalarda talep tarafı katılımı potansiyelini tahmin etmek için, bir örnek model kullanılarak Türkiye bina stoku çapında alan ısıtma, sıcak su, alan soğutma ve havalandırmanın elektrik talebi ayrıntılı olarak ve yüksek saatlik çözünürlükte modellenmiştir. Şekil 6 modelleme sürecinin bir şematiğini göstermektedir.

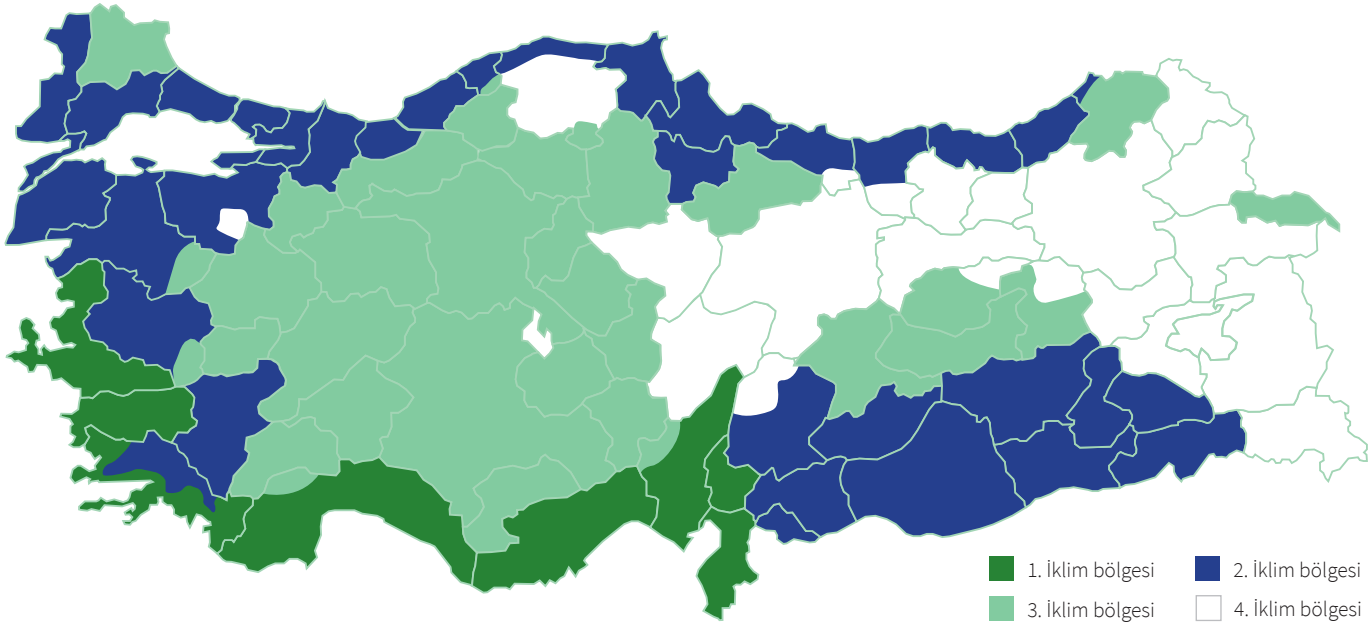
Şekil 6: *Sektör modelleme süreci şematiği*



Çok çeşitlilik gösteren Türkiye bina stokunu ve alan ısıtma, sıcak su, alan soğutma ve havalandırma için enerji talebini (ve bunun esnek kısmını) doğru yansıtmak amacıyla örnek model yaklaşımı kullanıldı. Örnek model bina stoku içindeki talep farklılıklarını üç ana boyutuyla kapsamaktadır: bina tipi, bina yaşı ve iklim bölgesi.

Türkiye geniş bir iklim yelpazesinde birçok farklı coğrafyaya sahip geniş bir ülkedir. Bu nedenle bu farklılıkları yansıtmak, özellikle daha monoton iklimlere sahip küçük ülkelere kıyasla önemlidir. Türkiye'nin binaları, TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları'nda (Türk Standartları Enstitüsü, 2008) tanımlanan ve Şekil 7'de gösterilen dört iklim bölgesine bölünmüştür. 1. bölge sıcak Akdeniz iklimine, 2. bölge yıl boyunca yağmur alan ılıman iklime, 3. ve 4. bölgeler ise karasal iklime sahiptir, ancak 4. bölge 3. bölgeden önemli ölçüde daha soğuktur. 4. bölgenin ısıtma talebi 1. bölgenin iki katından fazla ve bunun tersine, 1. bölgenin soğutma talebi 4. bölgeden önemli ölçüde fazladır (SHURA, 2020 a). Dört iklim bölgesinin ısıtma ve soğutma talebi Ek'te sunulmuştur.

Şekil 7: *Örnek modelinde iklim çeşitliliğini yansıtmak için Türkiye TS 825'e uygun olarak 4 iklim bölgesine ayrılmıştır*



Bina tipi ve bina yaşı da binaların enerji talebini çok etkilemektedir. Tek haneli konutlar mesken başına çok haneli konutlardan daha fazla enerji tüketmektedir ve konut dışı bina tipleri arasında büyük bir tüketim aralığı vardır. Örneğin, sağlık sektöründe zemin alanı başına enerji talebi ticaret ve eğitim sektörlerinin yaklaşık iki katıdır (SHURA, 2020 a). Bina yaşı ısıl verim seviyesini göstermek için kullanılmıştır. Düşük enerji verimliliğine sahip en eski binaların yeni ve verimli binaların üç katına kadar ısıtma ve soğutma talepleri olabilmektedir (ENTRANZE Project, 2013). Türkiye'de enerji verimliliği standartları ilk olarak 2000'de ortaya konmuş ve 2008'de güncellenmiştir (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2008). Bina enerji verimliliği ve yaşı üzerindeki varsayımlar ile ısıtma ve soğutma talebi üzerindeki etkisi Ek'te ele alınmıştır.

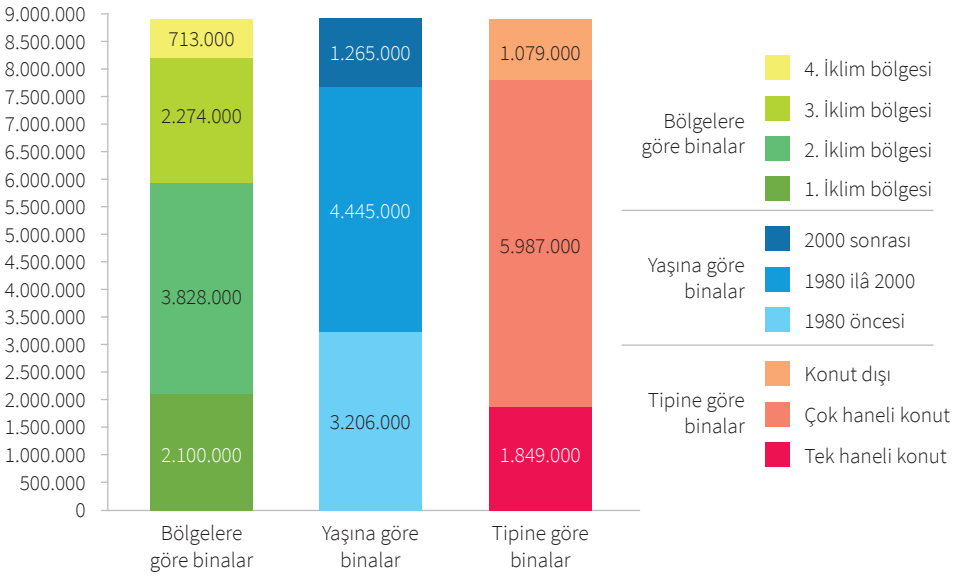
Örnek model Türkiye'nin bina stokunu toplam 160 model için, Tablo 2'de gösterilen kategorilere bölmüştür. Isıtılmayan örnekler dikkate alınmamış, böylece analiz 140 örnek üzerinden yapılmıştır.

Tablo 2: *Örnek model kategorileri*

Bina tipi	Yaşı	İklim Bölgesi
Tek haneli konut	1980 öncesi	1
Çok haneli konut	1980 ilâ 2000	2
Sağlık	2000 sonrası	3
Eğitim	Yeni inşaat	4
Otel	Yenilenmiş	
Ticari ve diğer		
Kamu		
Isıtılmayan		

Örnek modeller 2017 Türkiye bina stoku veritabanı kullanılarak oluşturulmuştur (bkz. Şekil 8). Her örnekte alan ısıtma, sıcak su, alan soğutma ve havalandırma için talep, her bina tipi ve her bölgedeki toplam enerji tüketimi verileri kullanılarak geliştirilmiştir (SHURA, 2020 a). Her sektör için talebi, kullanılan nihai enerji miktarından hesaplamak için sistem verimlilikleri ve tüketim oranları kullanılmıştır. Bina verimliliğinin yaşa göre değişimine ilişkin Türkiye'ye özgü veri bulunmadığı için, Tablo 2'de gösterilen yaş kategorilerindeki binaların ısıtma ve soğutma talepleri arasındaki farkı tahmin etmek amacıyla her iklim bölgesine uygun şekilde seçilen başka ülkelere ait veriler kullanılmıştır. Örnek modelin geliştirilmesine ilişkin daha fazla ayrıntı Ek'te verilmiştir.

Şekil 8: *2017 Türkiye bina stoku*



Kaynak: (SHURA, 2020 a)

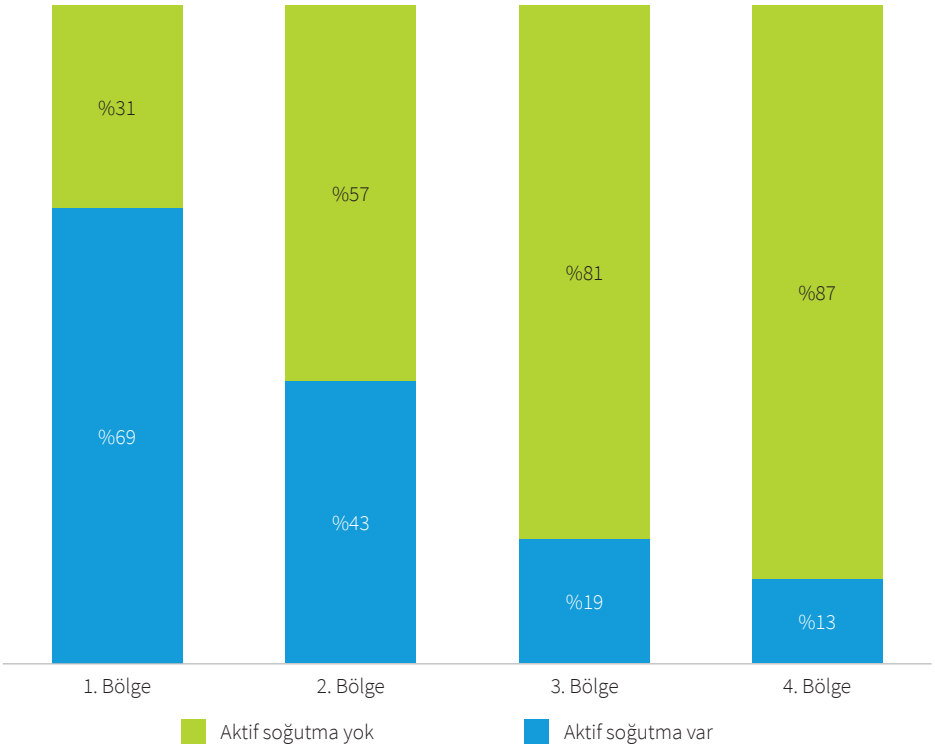
2.1.2 Binalar için senaryo varsayımları

1. bölümde özetlendiği üzere, artan enerji verimliliği ve daha yüksek elektrifikasyon önlemlerinin etkisi, 2030 için Baz senaryoda bir ayarlama olarak belirlenmiştir. Bina yalıtımı verimlilik yenileme ve teknoloji kullanım oranları, her senaryonun alan ısıtma ve soğutma için elektrik talebi üzerindeki etkisini yansıtacak şekilde değişmektedir. Senaryolar arasında sıcak su ve havalandırma için talepler değişmemektedir.

Baz senaryo

2030'daki bina stokunu tahmin etmek için inşaat, yıkım ve yenileme oranları kullanılarak 2017 bina stoku ayarlanmıştır. Tüm senaryolarda yıllık %3,5 inşaat (SHURA, 2020 a) ve yıllık %1,5 yıkım oranı (Ecofys, 2016) uygulanmıştır. Baz senaryo, Türkiye'nin halihazırdaki verimlilik yenileme oranına paralel olarak, yıllık %0,45 bina yenileme oranını esas almıştır (Ecofys, 2016).

Şekil 9: *İklim bölgelerinde 2030 klima kullanımı*



2030'da aktif elektrikli ısıtma ve soğutma sistemlerinin sayı ve tipinin her senaryo için öngörülmesi gereklidir. Baz senaryoda, elektrikli ısıtmanın payı, 2017'deki seviyesinde sabit tutulmuştur. Isı pompalarının kullanımında yavaş fakat istikrarlı artış varsayılmıştır. 2017'de toplam 30.000 olan mevcut ısı pompası sayısı (GIZ ve Türkiye Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2018) 2030'da katlanarak 60.000'e çıkmaktadır. Bunlar mevcut dağılımı yansıtarak 1. ve 2. iklim bölgelerinde yoğunlaşmaktadır.

Aktif soğutma bulunan bina payının tüm iklim bölgelerinde Şekil 9'da gösterilen seviyelere çıkacağı öngörülmüştür (SHURA, 2020 d). Tüm senaryolarda konut dışı binaların %80'inde mekanik havalandırma sistemleri bulunduğu varsayılmıştır.

Verimli senaryo

Verimliliğin etkilerini elektrifikasyonunkilerden ayırmak için, aşağıdaki Elektriklendirilmiş & Verimli senaryoda birleştirilmeden önce her birisi tek başına ele alınmıştır. Verimli senaryo, binanın termal performansını artıran enerji verimliliği yenilemelerini daha yüksek oranda kullanmaktadır. Oran, bina verimlilik yenilemelerinde uluslararası öncülere uygun olarak (Yeni İklim Enstitüsü ve İklim Analitikleri, 2019), yıllık mevcut bina stokunun %2'sine (SHURA, 2020 d) çıkarılmıştır. Bu yenileme oranı 2030'da yenilenmiş bina sayısını Baz senaryodaki bina stokunun %3'ünden %14'üne çıkarmaktadır (Şekil 10, sol).

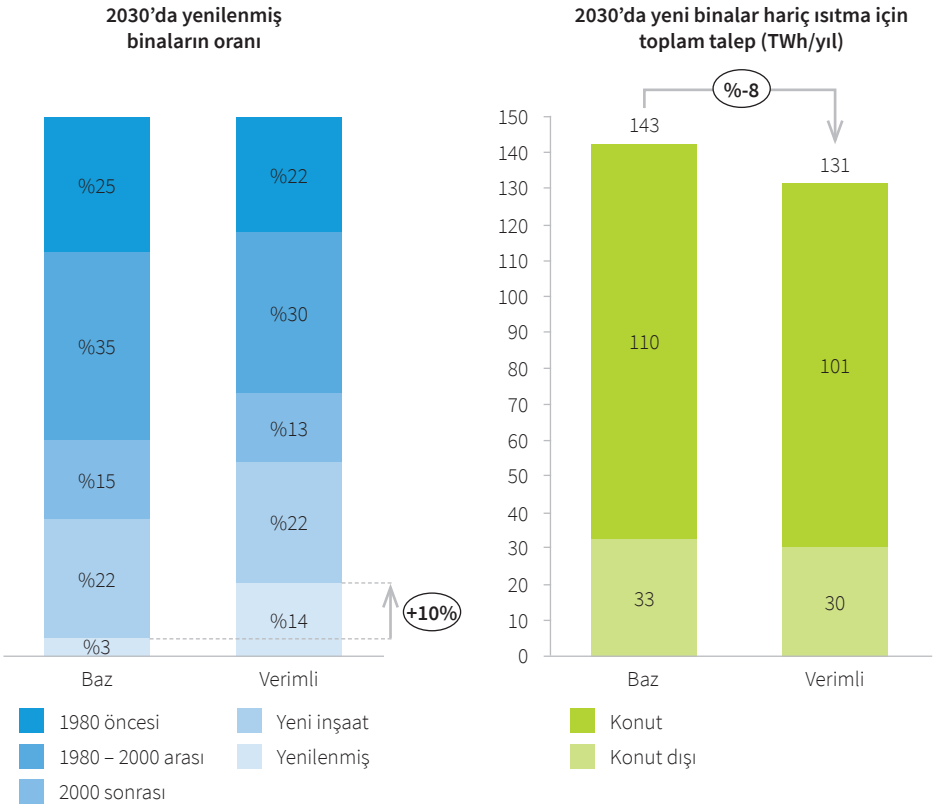
Yenilenmiş binaların ısıl verimi yeni binalarda kullanılan TS 825 standardına uygun olarak artırılmış, sonuçta alan ısıtma ve soğutma talebinde mevcut ortalama binalara kıyasla %50 civarında azalma elde edilmiştir (bkz. Ek). Artırılan yenileme oranı 2030'da tüm binaların ısıtma talebinde, Şekil 10'da gösterildiği üzere[5], Baz senaryoya göre %8 azalmayla 143 TWh'den 131 TWh'e düşüşe yol açmıştır. Türkiye'de binalar 2015'te

[5] Bunun faydalı ısı talebi olduğuna, kullanılan ısıtma teknolojisi ve yakıta göre değişebilecek nihai enerji tüketimi için olmadığına dikkat edilmelidir.

ısıtma için 158 TWh tüketmiştir. Mevcut ısıtma sistemleri karmasının %80 ile %90 arasında ortalama verim sağladığı dikkate alınırsa, bu ısıtma için yaklaşık 140 TWh faydalı enerji talebi gerekmektedir (SHURA ve BPIE, 2019). Bina stokunda varsayılan artış dikkate alındığında, bu 2030 için tahmin edilen değerlerle tutarlıdır.

Bu yenileme oranının 2030 sonrasında devam etmesi, 2050'de fayda birikimine ve talepte önemli ölçüde düşüşe yol açacaktır. Şekil 10'da (sağ) gösterilen ısıtma talebinin mevcut bina stokunun tamamı için olduğuna dikkat edilmelidir; aşağıdaki analizde sadece elektrikli ısıtmaya sahip binalar dikkate alınmıştır. Verimli senaryoda yenilenmiş bina stokunda %10 artış vardır, bu mevcut stok için termal ısıtma talebinde %8 düşüşe tekabül etmektedir.

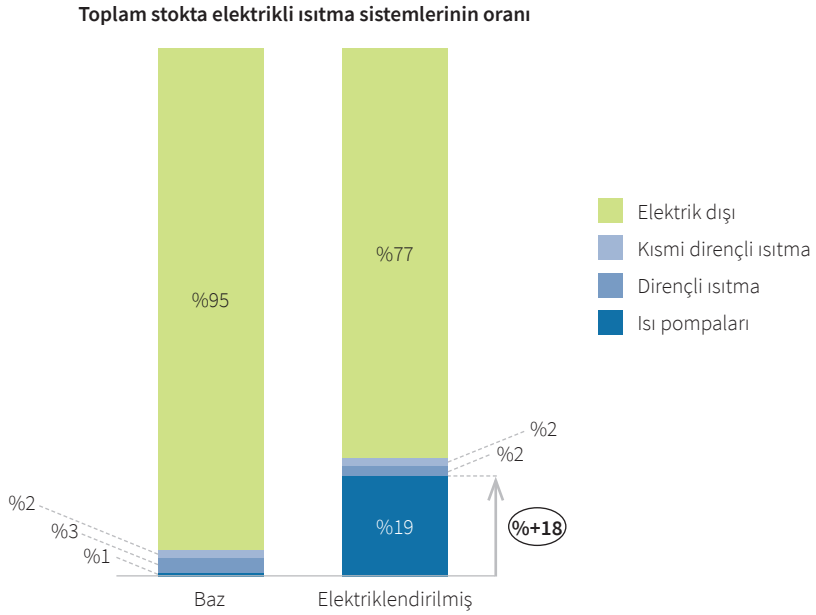
Şekil 10: *Verimli senaryo ve ısıtma talebi*



Elektriklendirilmiş senaryo

Elektriklendirilmiş senaryoda ısı pompalarının kullanım oranı artırılmıştır. Bütün iklim bölgelerinde, yeni binaların %50'si ve mevcut stokun %10'u ısı pompası kullanmaktadır. Bu senaryoda Türkiye çapında yayılmış yaklaşık 1,9 milyon ısı pompası bulunmakta (SHURA, 2020 d), böylece 2030'da ısı pompalarının payını stokun %1'inden %19'una yükseltmektedir (Şekil 11). Elektrikli araçların kullanımındaki artış Bölüm 2.4'te ele alınmıştır. Elektriklendirilmiş senaryoda ısı pompası kullanımında başlangıca göre %18 artış vardır.

Şekil 11: *Elektriklendirilmiş senaryo*



Elektriklendirilmiş & Verimli senaryo

Elektriklendirilmiş & Verimli senaryo, Verimli senaryodaki artırılmış yenileme oranı ile Elektriklendirilmiş senaryodaki artırılmış ısı pompası kullanım oranını birleştirmektedir. Bu senaryo aşağıdaki bölümlerde yer alan sistem çapında analizde kullanılmıştır.

Binalar için senaryo varsayımları Tablo 3'te özetlenmiş ve tüm senaryolarda alan ısıtma ve sıcak su ile alan soğutma ve havalandırma için elektrik talebi Şekil 12'de gösterilmiştir.

Tablo 3: *Binalar için 2030 senaryo varsayımlarının özeti*

	Baz	Verimli	Elektriklendirilmiş	Elektriklendirilmiş & Verimli
İnşaat oranı	%3,5			
Yıkım oranı	%1,5			
Ticari aktif havalandırma	Stokun %80'i			
Enerji verimli yenileme oranı	%0,45	%2	%0,45	%2
2030 HP kullanımı	60.000	60.000	1,9 milyon	1,9 milyon
2030 AC kullanımı	Bkz. Şekil 9			

2.2 Sonuçlar: Binaların elektrik talebi

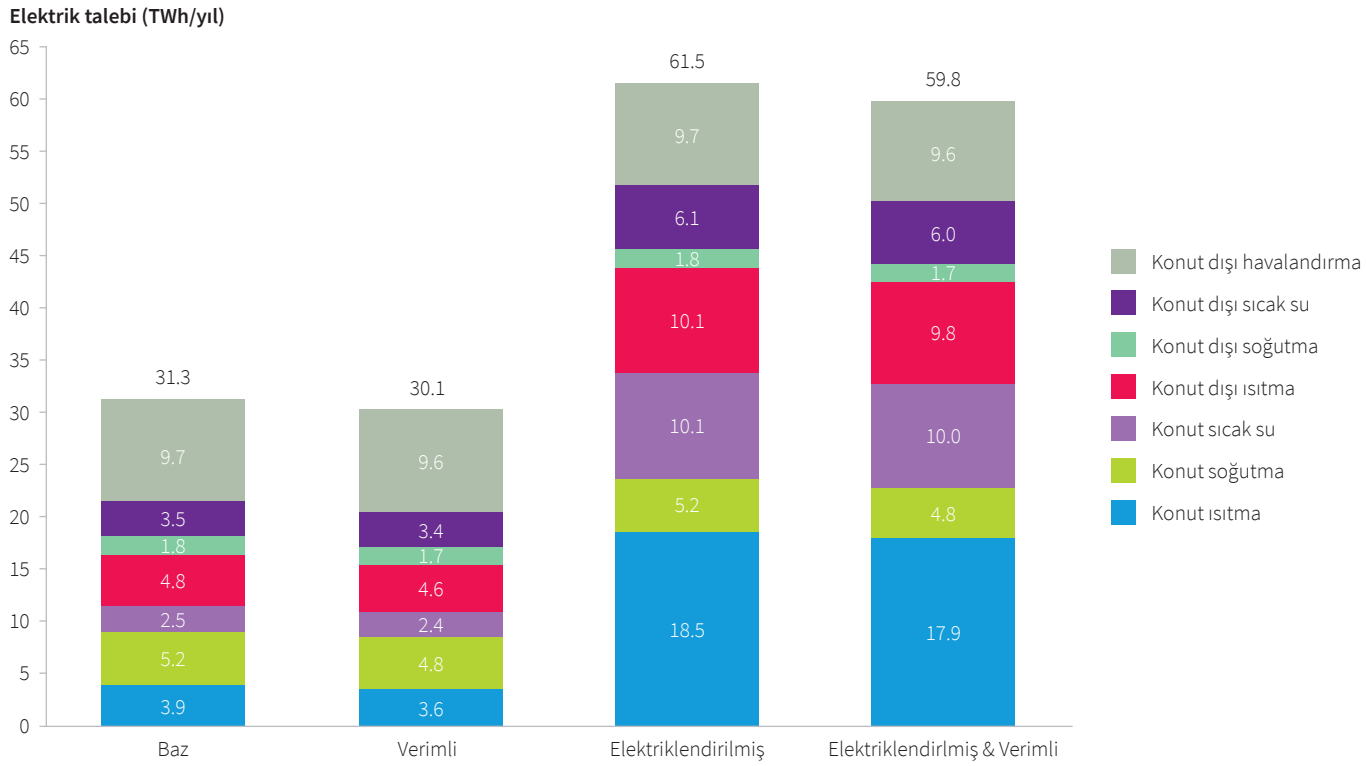
Örnek modelde konut ve konut dışı binalarda alan ısıtma, sıcak su, alan soğutma ve havalandırma için hesaplanan talepler gelecekteki elektrik talebini hesaplamak amacıyla, her senaryodaki yenileme ve sistem kullanım oranları ile birleştirilmiş ve Şekil 12'de gösterilmiştir. Burada dikkate alınan tüketimler, Baz senaryoda 2030 Türkiye elektrik talebine yılda yaklaşık 30 TWh katkıda bulunmaktadır (2020'de 27 TWh (SHURA, 2020 d)). Bu tüketim sektörleri Elektriklendirilmiş & Verimli senaryoda yılda yaklaşık 60 TWh elektrik talep etmektedir. Baz senaryo ile Elektriklendirilmiş & Verimli senaryoda alan ısıtma, sıcak su, alan soğutma ve havalandırma için talepler 2030 Türkiye'sinde toplam yıllık elektrik talebinin sırasıyla, %7 ve %13'ünü teşkil etmektedir. Burada sözü

geçen talebin sadece elektrikli ısıtma sistemlerine (ısı pompaları ve elektrikli ısıtma) sahip binalar için olduğuna dikkat edilmelidir. Ana ısıtma yakıtı olarak diğer yakıt kaynaklarını kullanan binalarda sıcak su için ek elektrik talebi vardır (Aydın, 2018). Bu ek talep 2030 Türkiye ulusal talebine dahil edilmiştir (bkz. Bölüm 2.5).

Bu analizde, baz senaryoya göre 2030 elektrik talebindeki artış SHURA'nın enerji verimliliğinin elektrik sistemindeki rolü üzerine yapılan önceki araştırmasındaki (SHURA, 2020 d) artıştan üç kat daha fazladır (yılda 30 TWh'e karşılık 8 TWh). Elektrifikasyonun talep tarafı katılımı potansiyeli üzerindeki etkisini değerlendirmek amacıyla, düşük elektrifikasyon seviyelerinde talep tarafı katılımı etkisi önemsiz olacağı için, daha yüksek elektrifikasyon oranı modelde kullanılmıştır.

Şekil 12'den de anlaşılacağı üzere, Elektriklendirilmiş senaryonun eklenmesi yıllık talep üzerinde Verimli senaryodan daha büyük bir etkiye sahiptir. Elektriklendirilmiş senaryoda artırılmış ısı pompası kullanımı elektrik talebiyle doğrudan orantılıyken, Verimli senaryoda kullanılan artırılmış verimlilik önlemleri tüm stoka uygulanmış ve elektrikli ısıtma olmayan binalarda da talep düşürülmüştür. Buna ek olarak, Elektriklendirilmiş senaryoda ısı pompalarının büyük bölümü, verimlilik seviyesi seçiminden etkilenmeyen yeni binalarda bulunmaktadır. Bu talebin yıl içindeki zamansal profili, talep tarafı katılımı potansiyeliyle birlikte Bölüm 3.1'de ele alınmıştır. Isıtmanın elektriklendirilmesi nedeniyle talepteki değişim ölçeği, stok verimliliğindeki artışa bağlı değişimden daha önemlidir.

Şekil 12: *Senaryo bazında 2030'da ısıtma, soğutma, sıcak su ve havalandırma için elektrik talebi*



2.3 Sanayi elektrik talebi

Binaların ısıtma ve soğutma için elektrik talebine ek olarak, sanayi elektrik talebi de talep tarafı katılımı için önemli bir potansiyel kaynak olarak değerlendirilmiştir. Türkiye'de ekonomik sektör bazında yıllık elektrik tüketimine ait ayrıntılı veriler

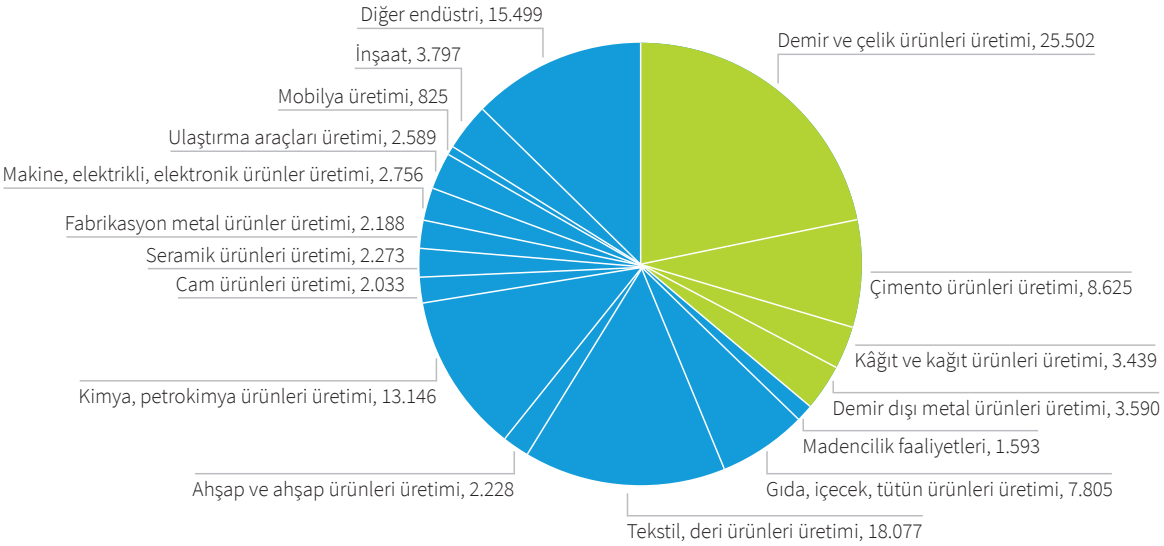
yayınlanmaktadır (Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, 2019). 2030 sanayi elektrik talebi, SHURA enerji verimliliği raporuyla (SHURA, 2020 d) paralel olan ve Dünya Bankası tarafından yayınlanan 2009-2018 sanayi bazında katma değer ortalama büyüme oranı (Dünya Bankası, 2020) kullanılarak 2018 sanayi talebinden çıkarımla tahmin edilmiştir.[6] Sanayideki talebin sektörlere göre kırılımı Şekil 13'te gösterilmiştir.

Burada daha fazla talep tarafı katılımı sağlayacak yüksek teknik ve ekonomik potansiyele sahip sanayi sektörleri incelenmiştir. Bunlar tesis başına yüksek elektrik tüketimi olan enerji yoğun sektörlerdir. Bu tür tesisler, ilke olarak çoklu araçlar çapında birleştirilmiş BİT kurma ihtiyacı duymadan, önemli miktarlarda elektrik tüketimini ayarlama kabiliyetine sahiptir. Öte yandan, enerji yoğun olmayan sanayilerde sistemle ilgili elektrik talep miktarını elde etmek için, çoklu araçlar ve tesisler çapında eşleştirme gerekli olabilir. Eşleştirmeyi yönetmek için BİT kurulum ve işletimi bu durumlarda önemli maliyetler doğurabilir.

Talep tarafı katılımına en uygun sanayi sektörleri çelik, demir dışı metal ürünler, çimento ve kâğıttır.

Sanayi talep tarafı katılımı üzerine ana teknik ve ekonomik varsayımlar, talep tarafı katılımı üzerine kapsamlı çalışmalar olan (Gils, 2014), (Gils, 2016) ve (Umweltbundesamt, 2015)'den alınmıştır. Türkiye'de tüm sanayi sektörleri tarafından tüketilen elektriğin büyük bölümü elektrikli motor sistemleri için kullanılmaktadır[7]. Talep tarafı katılımı kabiliyetine sahip olarak tanımlanan, amaca en uygun sanayi sektörleri çelik (elektrikli ark ocağı yoluyla), demir dışı metal ürünler (alüminyum, çinko ve bakır), çimento ve kâğıttır. Bu esnek sanayi süreçleri tüm sanayi elektrik talebinin yaklaşık %35'ini oluşturmaktadır (aşağıdaki şekilde turuncu bölüm). Türkiye'nin demir-çelik ve çimento sektörleri dünya çapında en büyükler arasındadır ve bu dört sektörün talebinin %83'ünü oluşturmaktadır. Esneklik bu sanayi sektörleri tarafından, bölüm 3.3.1'de ele alındığı gibi iki şekilde sağlanabilir. Çelik, demir dışı metal ürünler, çimento ve kâğıt sektörlerinin 2030'daki yıllık elektrik tüketimleri sırasıyla, 51,4 TWh, 7,2 TWh, 17,4 TWh ve 6,9 TWh olarak tahmin edilmiştir, bunların toplamı 83,0 TWh olmaktadır. 2030 sanayi elektrik talebinin tam kırılımı Ek'te bulunabilir.

Şekil 13: *Türkiye'de 2018 sanayi elektrik talebinin kırılımı, her sektörün GWh cinsinden tüketimi*



Kaynak: Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, 2019

[6] Sanayi enerji talebinin elektrifikasyonu bu çalışmanın temel konusu olmadığı için, sanayi enerji talebi incelenen dört talep senaryosu için de aynıdır.
[7] Sanayi elektrik talebinin süreçler bazında kırılımı için SHURA enerji verimliliği raporundaki (SHURA, 2020 d) Tablo 6'ya bakınız.

2.4 Ulaştırmada elektrifikasyon

Ulaştırmanın elektrifikasyonu elektrik sistemine önemli miktarda yeni yük ekleyecektir ve bunu esnek hale getirmek için büyük bir potansiyel mevcuttur. Bunun başlıca nedeni birçok aracın genellikle atıl durumda olmasıdır. Bu durum, elektrikli araçların evde veya işyerinde şarj olmak için gerekenden çok daha uzun süre prizde kalabilmesini sağlar. Böylece, araçların şarjı sistem için en faydalı olan saatlere, örneğin yüksek güneş enerjisi üretimi olan veya toplam elektrik talebinin düşük olduğu saatlere kaydırılabilir. Bu tür akıllı elektrikli araç şarjı rüzgâr ve güneş gibi değişken yenilenebilir enerji kaynak entegrasyonuna önemli katkı sağlayabilir.

Elektrifikasyon senaryolarında Türkiye'deki elektrikli araçların (%100 bataryalı elektrikli araç ve plug-in hibrit elektrikli araç) yaygınlaşması ve bunların elektrik tüketimleri üzerine varsayımlar 2019 SHURA raporundan (SHURA, 2019 a) alınmıştır. Rapor doğrultusunda, elektrikli araçların yılda 10.000 km yaptığı ve her 100 km'de 17 kWh elektrik tükettiği kabul edilmiştir. Ayrıca, plug-in hibrit elektrikli araçların yılda yaptıkları kilometrenin yarısını elektrikle kat ettikleri varsayılmıştır. 2030 için Türkiye'deki elektrikli araç sayısı varsayımı, SHURA raporunun 2030 araç satışlarında elektrikli araç ve hibrit elektrikli araç (fosil yakıtlı ana motoru destekleyen bir elektrik motoru bulunan, fakat elektrikli motoru şebekeye bağlanarak şarj edilmeyen araçlar) payını %65 olarak tahmin eden Yüksek Büyüme senaryosuna dayanmaktadır. Bu senaryoda hibrit araçlar 2030'daki elektrikli araç ve hibrit satışlarının %15'ini, bataryalı elektrikli araçlar %55'ini ve plug-in hibrit elektrikli araçlar da %30'unu oluşturmaktadır. 2030 için varsayılan elektrikli araç (bataryalı elektrikli araç + plug-in hibrit elektrikli araç) stoku ve elektrik tüketimleri, 2018 için bunlara karşılık gelen değerlerle birlikte Tablo 4'te listelenmiştir.

Tablo 4: *Türkiye'de 2018 ve 2030 için varsayılan elektrikli araç stoku ile elektrik tüketimleri*

Elektrikli araç kategorisi	Yıl	Stok	Yıllık elektrik tüketimi (GWh)
Bataryalı elektrikli araç	2018	657	1,3
Plug-in hibrit elektrikli araç	2018	250	0,2
Elektrikli araç toplam	2018	907	1,5
Bataryalı elektrikli araç	2030	1.675.955	2.849
Plug-in hibrit elektrikli araç	2030	908.887	773
Elektrikli araç toplam	2030	2.584.843	3.622

Kaynak: (SHURA, 2019 a)

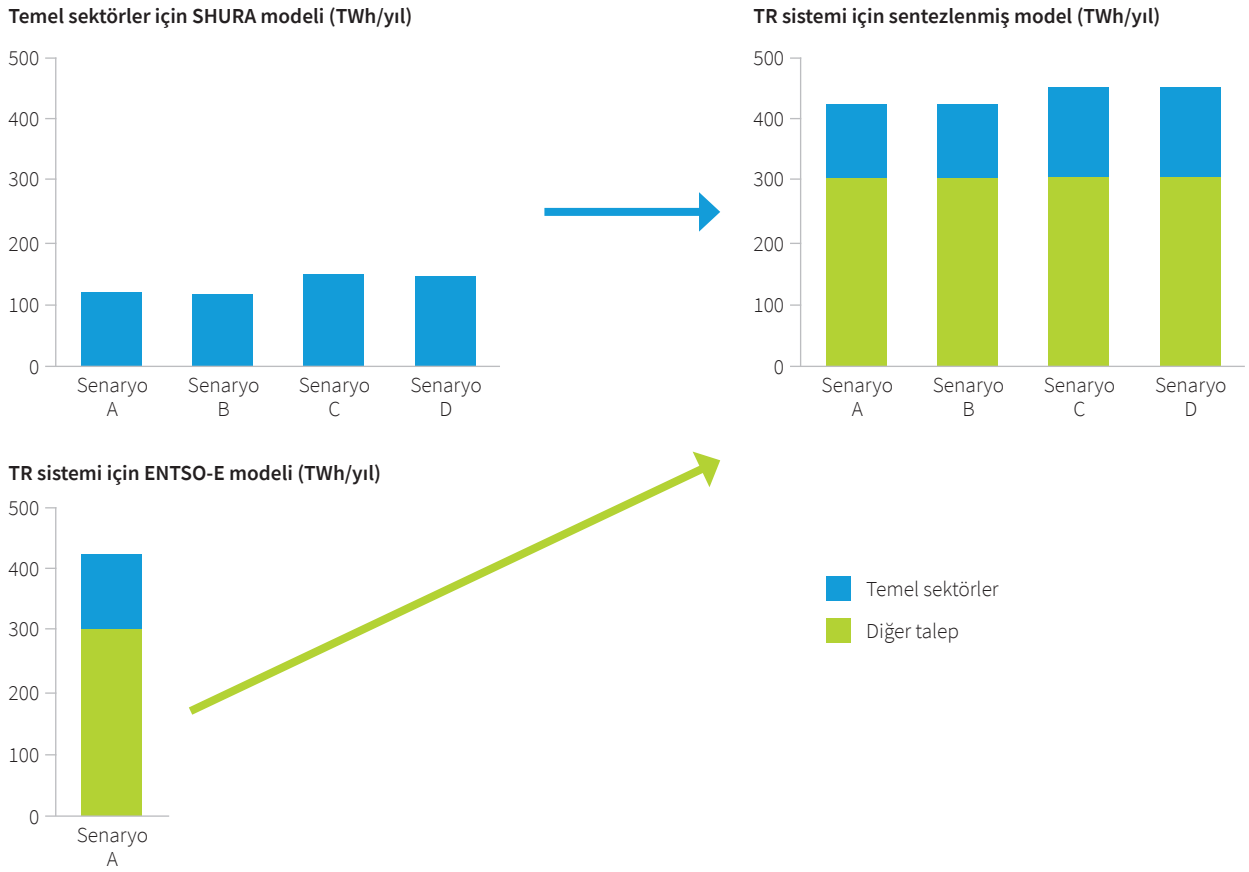
2.5 Toplam elektrik talebi

Türkiye'nin 2030'daki toplam elektrik talebini tahmin etmek için önceki bölümlerde açıklanan ısıtma ve soğutma, elektrikli araçlar ve talep tarafı katılımı potansiyeline sahip enerji yoğun sanayilerin (çelik, demir dışı metaller, çimento, kâğıt) tahmin edilen talepleri toplanmış ve kalan elektrik talebi buna eklenmiştir. Bu kalan elektrik talebi, ısıtma dışındaki ticari ve konut talepleri (örn. aydınlatma, elektrikli aletler, pişirme) ile enerji yoğun olmayan sanayileri kapsamaktadır.

Bu kalan elektrik talebi için tahminimiz ENTSO-E 2018 TYNDP'nin 2030 Dağıtık Üretim senaryosuna dayanmaktadır (ENTSO-E, 2019). Bu senaryo, Türkiye toplam elektrik talebi ve bunun saatlik profili açısından SHURA Üç Kat senaryosu ile paraleldir. Elektrik talebini ısıtma, soğutma, elektrikli araçlar ve enerji yoğun sanayi için talebi dışarıda tutarak elde etmek için, bu sektörlerin talebi ENTSO-E senaryosundan çıkartılmıştır.

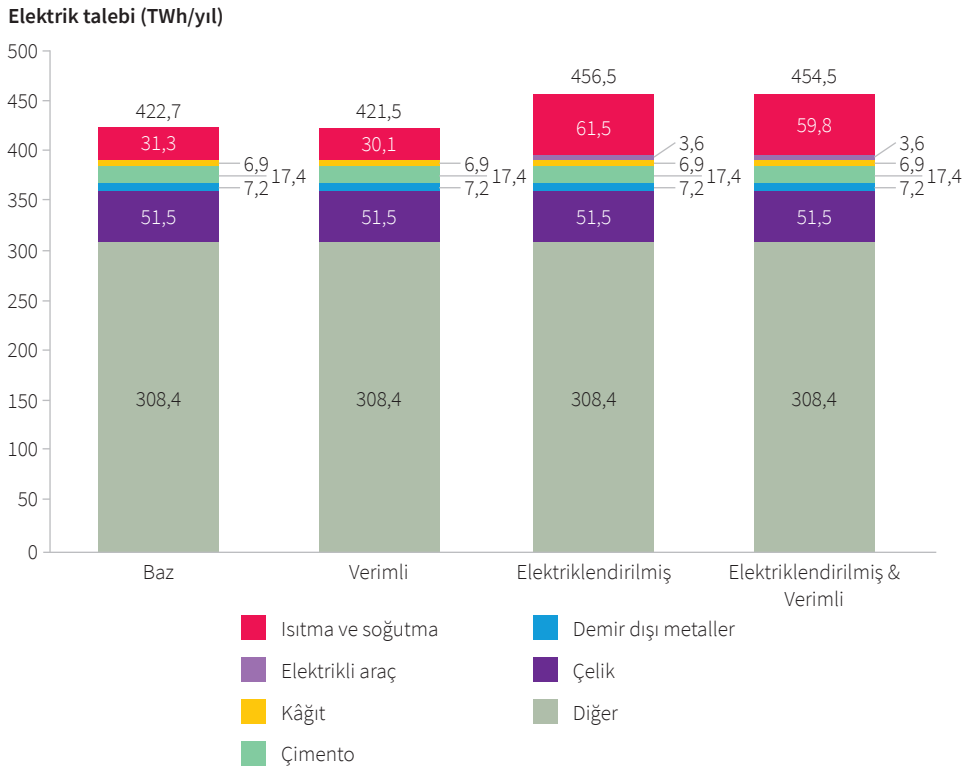
Bu sektörlerin modellemesinden türetilen kendi tahminimiz eklenerek, Türkiye'deki toplam elektrik talebi için bir projeksiyon elde edilmiştir. Bu süreç Şekil 14'te gösterilmiştir.

Şekil 14: *Türkiye elektrik sisteminin ENTSO-E modellemesinden ve bu çalışmadaki ana talep sektörleri modellemesinden toplam sistem talebi sentezi*



Şekil 15 incelenen dört talep senaryosundaki toplam yıllık elektrik talebini göstermektedir (bölüm 2.1.2 ile karşılaştırınız). Diğer talep, ısıtma, soğutma, elektrikli araçlar ve enerji yoğun sanayi dışındaki talebi ifade etmektedir. Isıtma ve soğutma için talep senaryolara göre farklılık gösterirken, diğer talep bileşenleri sabit tutulmuştur. Bundan dolayı, toplam elektrik talebi senaryolar kapsamında 422 TWh ile 457 TWh arasında değişmektedir. Bu, SHURA'nın Türkiye'de elektrik talebinin 421 ile 461 TWh arasında değiştiği optimal kapasite karması raporundaki senaryolarla (SHURA, 2020 b) paraleldir. Ayrıca, 2030'da yıllık toplam 440 TWh talep varsayımı yapan SHURA esneklik raporuyla (SHURA, 2019 b) ve SHURA elektrikli araçlar raporuyla (SHURA, 2019 a) da bağlantılıdır.

Şekil 15: *İncelenen dört senaryoda 2030 toplam elektrik talebinin kırılımı*



3. Talep tarafı katılımı potansiyelinin değerlendirmesi

2. bölümde Elektriklendirilmiş & Verimli senaryoda Türkiye için 2030 esnek sektörlerinin büyüklüğü belirlenmişti. Bu bölümde ise bu esnek talep sektörlerinin her birisinin, 2030'da elektrik sistemi üzerindeki etkisini belirlemek için gereken saatlik profil seviyesinde nasıl temsil edildiği özetlenmektedir. Yüksek değişken yenilenebilir enerji kaynaklı bir elektrik sisteminde değişkenlik ve arz/talep dengesizliği yüksektir ve her gün ve yıl içinde sıklıkla meydana gelebilir. Esnek alan ısıtma talep tarafı katılımı kapasitesi kışın en yüksek, fakat yazın ihmal edilebilir düzeyde olacaktır; alan ısıtmanın kışın rüzgâr değişkenliğini dengelemek için yüksek kapasitede olması beklenir, ancak yazın güneş enerjisine ilişkin değişkenlik puant taleplerini dengelemek için kapasite sınırlı olacaktır.

Talep tarafı katılımı üzerine daha önce yapılan birçok çalışma, talebin sabit bir yüzdesinin esnek olabileceğini ve bu yüzdenin herhangi bir zamanda elektrik sistemi için esneklik formunda mevcut olduğunu varsaymaktadır. Bu çalışma ise talep tarafı katılımı bulunabilirliğinin tümevarımsal bir ifadesini geliştirerek, önceki çalışmalara göre önemli bir ilerleme sağlamaktadır. Talep tarafı katılımının değişken yenilenebilir enerji kaynak entegrasyonuna ne ölçüde katkıda bulunabileceğini belirlemek için, elektrik sistemi ve talep tarafı katılımı esnekliği saatlik bazda modellenmiştir. Bu bölümde her sektörün esneklik sağlama teknik potansiyelinin belirlendiğine dikkat edilmelidir. Bu potansiyelin gerçekten kullanılıp kullanılmadığı, talep tarafı katılımının diğer esneklik seçeneklerine kıyasla ekonomik rekabetçiliğine bağlıdır, bu husus 4. bölümde değerlendirilmiştir.

3.1 Yöntem: Binalarda esnek talebin değerlendirmesi

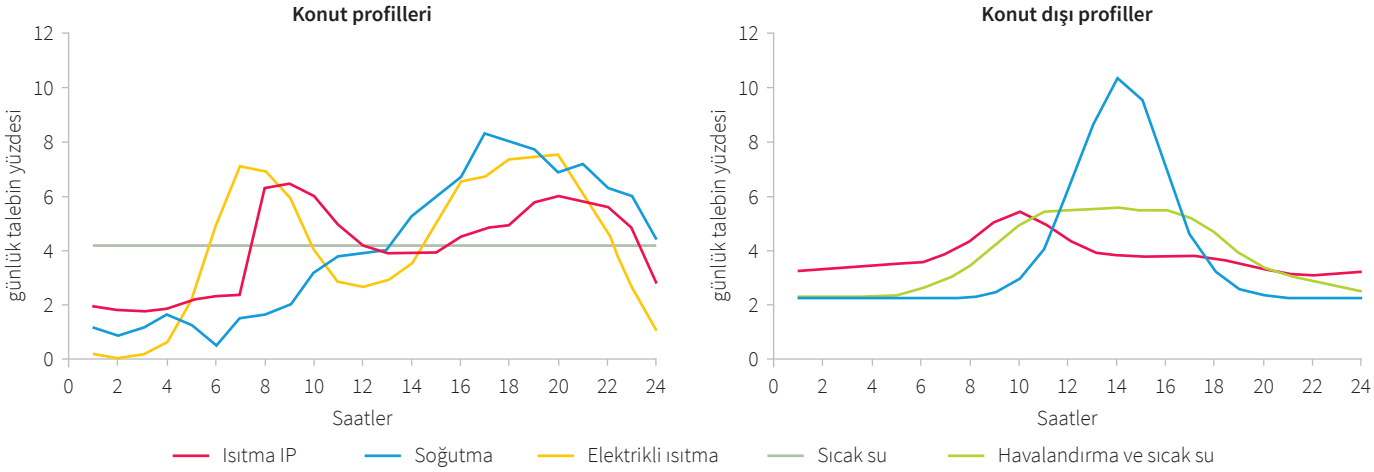
Bölüm 2.1'de alan ısıtma, sıcak su, alan soğutma ve havalandırma için yıllık elektrik talepleri ortaya konulmuştu. Burada ise bu talebin yıl içinde nasıl değişkenlik gösterdiği ve bu değişkenliğin sektörün esneklik potansiyelini nasıl etkilediği ele alınmaktadır. Bu bölümde alan ısıtma, soğutma ve sıcak su esnekliğinin değerlendirildiği dikkate alınmalıdır.

3.1.1 Gün içindeki elektrik talebi

Alan ısıtma, alan soğutma ve havalandırma için talep günün saatlerine göre değişmektedir. Bu günlük değişim pasif elektrik talebini ve talep tarafı katılımı hizmetlerini sağlamak için ısıtma ve soğutma araçlarının potansiyel bulunabilirliğini etkilemektedir. Her sektör için günlük talep profilleri Şekil 16'da grafikle gösterilmiştir. Farklı ısıtma sistemlerinin saatlik tüketimleri hakkındaki veriler çok sınırlıdır. Burada kullanılan profiller temel olarak ısı pompası deneme projeleri sırasında tüm elektrikli ısıtma sistemleri için toplanan verilere dayanmaktadır. Talep profilinin 2030'a kadar tutarlı olacağı beklenmektedir. Talep profillerine ilişkin daha fazla bilgi Ek'te verilmiştir.

Konut ısıtma profillerinin sabah ve akşam olmak üzere iki karakteristik puant noktası olurken, ev içi sıcaklıklar gün içinde arttığı ve insanlar işten geldiğinde sıcak bir eve girdiği için, konut soğutma gün içinde artmaktadır. Konut sıcak suyu, sıcak su için elektrik talebinin gün boyunca sabit tutulmasına olanak veren bir sıcak su tankı (boyler) aracılığıyla temin edilmektedir. Konut dışı ısıtma, soğutma ve havalandırma iş saatleri içinde yoğunlaşmaktadır.

Şekil 16: *Alan ısıtma, sıcak su, alan soğutma ve havalandırma için konut ve konut dışı talep profilleri*



Konut alan ısıtma profilleri, konut dışı profillerinde bulunmayan karakteristik bir çift puant biçimine sahiptir – bu, konut ısıtmada her gün iki talep tarafı katılımı potansiyeli oluşturmaktadır.

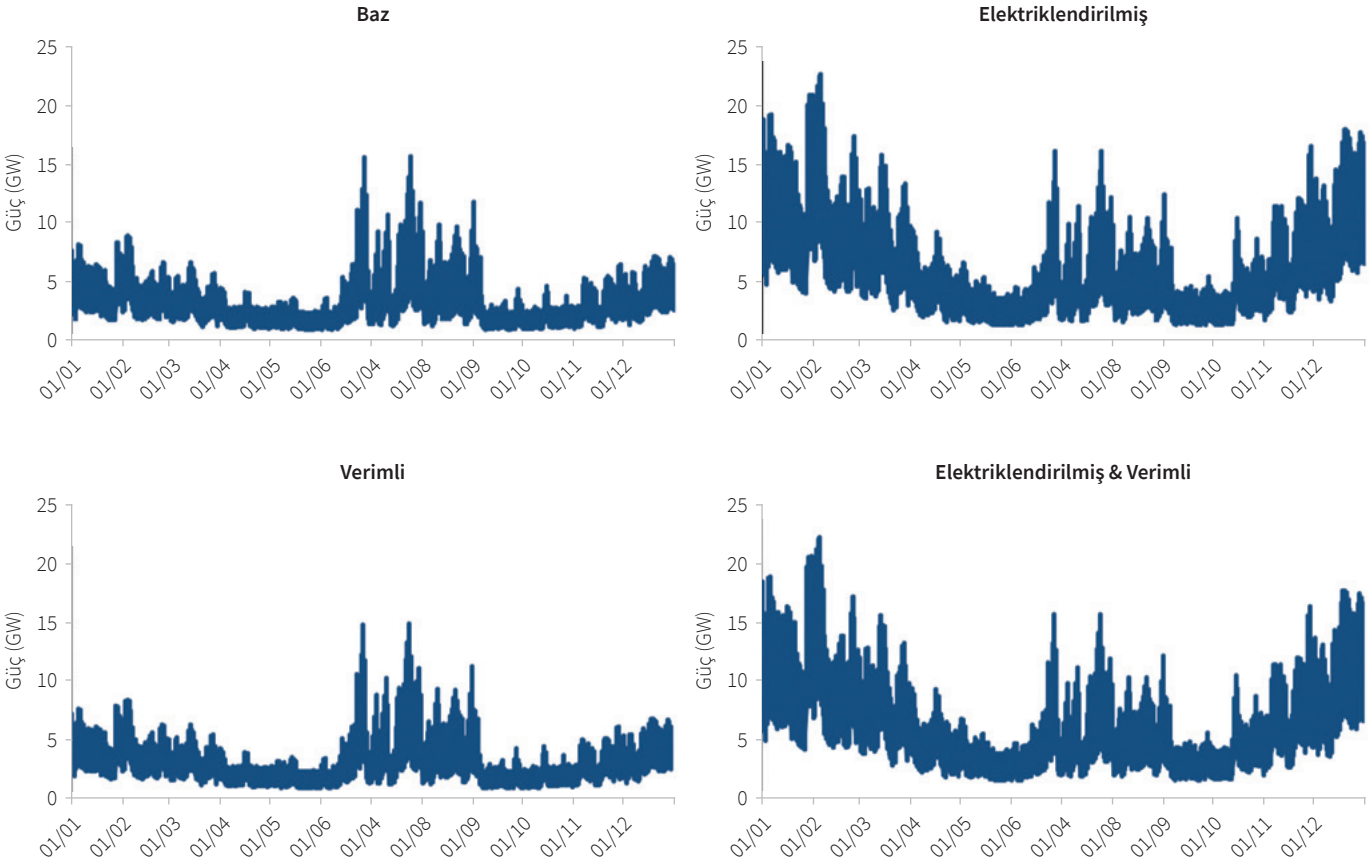
3.1.2 Yıl içindeki elektrik talebi

Alan ısıtma ve alan soğutma için günlük talepler, her iklim bölgesinde bir tipik yıl içindeki hava koşullarına dayanarak hesaplanmıştır. Bu, ısıtma ve soğutmada yüksek ve düşük sıcaklıkların neden olduğu puant taleplerin modelde yansıtılmasına olanak vermektedir. Türkiye'nin 2030 enerji talebini ayarlamak için ENTSO-E 2018 TYNDP kullanılmıştır ve bu model 2007 iklim yılına dayanmaktadır. Ayrıntılı ısıtma ve soğutma tahminleri aynı iklim yılı verileriyle paralel hale getirilmiştir. Yıllık talebi yılın her gününe paylaştırmak amacıyla, her gün için ısıtma ve soğutma derece günleri kullanılmıştır (Gelaro, 2017). Sıcak su ve havalandırma için taleplerin yıl içindeki günlerde sabit olduğu varsayılmıştır.

Ardından alan ısıtma, soğutma, sıcak su ve havalandırma için günlük talepler yukarıda gösterilen profillere göre gün içine bölünmüştür. Şekil 17 incelenen dört senaryoda tüketim sektörleri için elektrik talebini GW cinsinden vermektedir. Gösterilen talep farklı bina tipleri, yaşları ve iklim bölgelerini kapsayan bina örneklerinin tam setini içermektedir.

Bütün senaryolarda güçlü bir yaz puant talebi görülürken, Elektriklendirilmiş ile Elektriklendirilmiş & Verimli senaryolarda büyük bir kış puant talebi de mevcuttur. Yaklaşık 15 GW'lık yaz puant talebi Baz ve Verimli senaryolarda baskındır. Elektriklendirilmiş senaryoda ısı pompaları kullanımının daha fazla artması, kış puant talebini 20 GW üzerine çıkarmaktadır. Yazın yüksek talep ortaya çıkmasının nedeni, özellikle 1. ve 2. iklim bölgelerinde, soğutma için talebin Temmuz ve Ağustostaki görece az sayıdaki yaz günlerinde yoğunlaşmasıdır. Kış ısıtma talebi, ısı pompası kullanım artışının daha fazla olduğu senaryolarda Kasım'dan Şubat'a kadar görülen, yaz maksimumundan daha yüksek puant talepler ile yaklaşık dört aya yayılmaktadır. Böylece, yıllık puant talebin hem zamanlaması hem de büyüklüğü ısıtmada elektrifikasyon derecesine bağlı olmaktadır. Binalarda ısıtma, soğutma ve havalandırma için puant elektrik talebinin zamanlaması elektrifikasyon derecesine bağlı olarak, yazdan (soğutma) kışa (ısıtma) kaydırılabilir (2030 için 2007 hava modellerine dayanan tahmin).

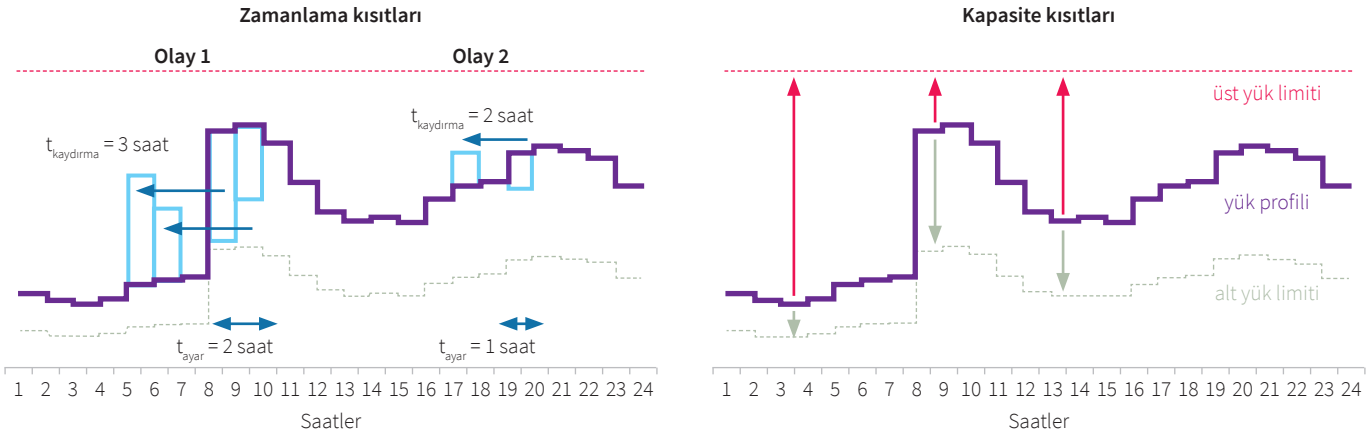
Şekil 17: *Binalarda ısıtma, soğutma ve havalandırma için puant elektrik talebi*



3.1.3 Alan ısıtma, soğutma, sıcak su ve havalandırma için esneklik kısıtları

Bir bina talep tarafı katılımı hizmetleri sağladığında, Şekil 17'de gösterilen pasif profiller değişir. Profillerin ayarlanması talep tarafı katılımı sağlayan sistemin tipine (ısıtma, soğutma vd.) bağlı olarak birçok kısıta uymalıdır. Isıtma ve soğutma sistemleri kullanımda değilken bir binanın konforlu iç mekân koşullarını ne kadar süreyle koruyabileceği tarafından belirlenen zaman bazlı kısıtlar vardır. Uzunluğu t_{adjust} olan bir zaman aralığı içindeki talep t_{shift} saat sayısı kadar daha erkene kaydırılabilir. Her gün kaç talep tarafı katılımı kesintisi olacağı hakkında bir kısıt yoktur, fakat hiçbir talep tarafı katılımı talebi başka bir talep tarafı katılımının ayar süresine kaydırılamaz.

Şekil 18: *Talep tarafı katılımı teknolojinin ve kurulduğu binanın fiziki karakteristiklerine göre zaman ve büyüklükle kısıtlanmıştır*



Ayrıca, talebin artırılabilecek veya azaltılabilecek miktarını sınırlayan kapasite kısıtları da vardır. Üst sınır talep tarafı katılımı sağlayan sistemin kurulu kapasitesi tarafından belirlenir. Düşük yük sınırı ise mevcut yükün bir bölümüdür ve sıfıra eşit olabilir. Bu sınırlar ayrıklaştırılmış günlük ısı pompası profili kullanılarak Şekil 18'de gösterilmiştir.

Isıtma, soğutma ve sıcak su talep tarafı katılımı kısıtları

Alan ısıtma ve soğutmanın talep tarafı katılımı sağlaması için bir binanın, ısıtma ve soğutma sistemleri kullanımda değilken, talep tarafı katılımı süreleri içinde konforlu iç mekân koşullarını koruması için yeterli ısıl verimliliğe sahip olması gereklidir. Bina sakinlerinin 1^0C sıcaklık düşmesi veya yükselmesine tolerans göstereceği varsayılmaktadır. Bu, ısıtma ve soğutma sistemlerinin kullanımının kaydırılabileceği zaman miktarına, yani ne kadar talep tarafı katılımı sağlanabileceğine bir sınırlama getirmektedir. Binanın iç sıcaklığının 1^0C düşmesi veya yükselmesi için gereken süre, ısıl verimliliğe ve bina malzemeleri ile geometrisi için varsayımlara dayanarak, her örnek için tahmin edilmiştir.

Alan ısıtma ve alan soğutma bu zaman kısıtı ile modellenmiş ve her ikisinin de enerji talebini daha erken zamana kaydırması sınırlanmıştır. Örneğin bir bina, sakinleri ısıl konfora ihtiyaç duymadan önce ısıtılabilir veya soğutulabilir, fakat sistemlerin çalışmasını geciktiremez ve istendiğinde ısıl konfor sağlamasına engel olamaz. Her iki zaman kısıtı t_{adjust} ve t_{shift}, sıcak su, ısıtma ve soğutma talep profillerinin biçimine dayanarak 4 saat olarak belirlenmiştir (bkz. Şekil 16 ve Şekil 18). Her profildeki puant talep sabah ve akşam 4 saatlik aralıklar içinde meydana gelmekte ve bu uzunluktaki bir zaman kısıtı o puant taleplerin düşürülmesine olanak vermektedir. Bu nedenle, enerji kullanımlarını en az 4 saat kaydırabilen binalar talep tarafı katılımı sağlamak için uygun olarak kabul edilmiştir.

Talep tarafı katılımı sağlama kabiliyeti daha önce sunulan bina örneklerine göre değişmektedir. Daha verimli binalar, ısıtma ve soğutma sistemlerini çalıştırmadan, konforlu koşulları 4 saat eşiğinden daha uzun sürelerle koruyabilmektedir. Daha uzun bir kısıt süresi daha fazla esnekliğe olanak verebildiği halde, katılım için daha az sayıda bina eşiğe uyabilmekte ve toplam esnek talep düşmektedir. Ayarlanabilir ardışık talep saatlerinin maksimum sayısı 4 olarak belirlenmiştir ve her talep saati 4 saate kadar erkene kaydırılabilir. Elektrikli sıcak su tankları daha esnek şekilde çalıştırılabilir, fakat sıcak sudan gelen sistem faydasının büyük bölümünün bu kaydırma ile elde edildiğine karar verilmiştir. Elektriklendirilmiş & Verimli senaryoya göre 2030'da Türkiye'de yaklaşık 2 milyon elektrikli sıcak su tankı vardır.

Bir talep tarafı katılımı sırasında güç kurulu kapasitenin üzerine çıkarılamaz ve eğer istenirse sıfıra düşürülebilir (bkz. Şekil 18).

Havalandırma talep tarafı katılımı kısıtları

Konut dışı havalandırma esnekliği üzerindeki kısıtlar (Gils, 2014) izlenerek alınmıştır. Bir saatlik talep 1 saat erkene veya geçe kaydırılabilir. Güç havalandırma sisteminin kurulu kapasitesinin üzerine çıkarılamaz ve başlangıçtaki gücün %70'inden aşağı düşürülemez. Gösterileceği üzere bu kısıtlar konut dışı havalandırmayı, binaların diğer esneklik kaynaklarına göre MWh başına önemli ölçüde daha pahalı hale getirmektedir. Bu durum, konut dışı sektörde kesintili havalandırmayı yaygınlaştırma projelerinin eksikliği ile kanıtlanmıştır.

3.2 Sonuçlar: Alan ısıtma ve soğutma, sıcak su ve havalandırma için esnek talep

3.2.1 Esnek sistemlerin oranı

Şekil 12 alan ısıtma, sıcak su, alan soğutma ve havalandırma için toplam elektrik talebini ortaya koymuştu. Ancak, bu talebin sadece bir miktarı talep tarafı katılımına katılmak için yeteri kadar esnektir.

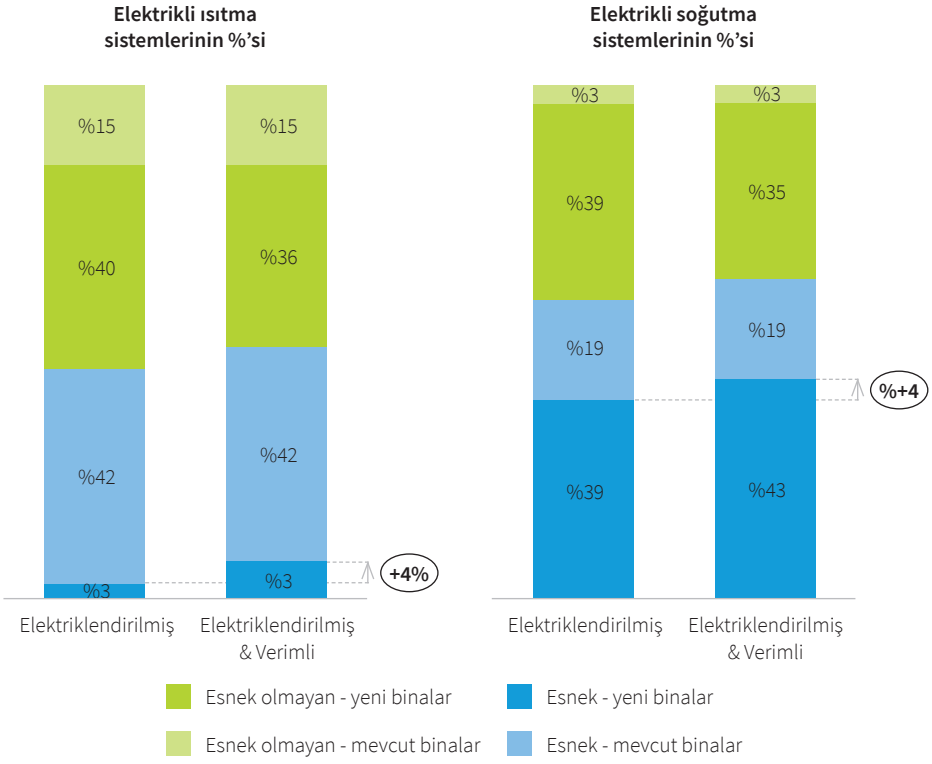
Kaydırılabilir ardışık talep saatleri maksimum 4 olarak belirlenmiştir ve her talep saati 4 saate kadar erkene kaydırılabilir.

Elektriklendirilmiş senaryo ile Elektriklendirilmiş & Verimli senaryoda, 2030'da Türkiye'de talep tarafı katılımı hizmetleri sağlamak için esnek olarak çalıştırılabilecek elektrikli ısıtma ve soğutma sistemlerinin oranı Şekil 19'da gösterilmiştir. Elektriklendirilmiş senaryoda, mevcut binalarda kurulu elektrikli ısıtma sistemlerinin sadece %3'ü talep tarafı katılımı için bir değer ifade etmektedir. Bu, Elektriklendirilmiş & Verimli senaryoda artan yenileme oranı nedeniyle %7'ye çıkmaktadır ve eğer yüksek yenileme oranı korunacak olursa 2050'de daha da artacaktır. Yenileme oranı 4 kat artmasına rağmen, yenilenen binaların bazıları daha soğuk iklim bölgelerinde bulunmaları nedeniyle, ısı talebini 4 saat kaydırma kabiliyetine sahip olmadıkları için alan ısıtma talep tarafı katılımı için uygun olmamaya devam etmektedir.

İç ve dış sıcaklıklar arasındaki farkın soğutmada ısıtmaya göre daha düşük olması, binalarda sıcaklığın 1^0C artmasının daha uzun zaman alacağı anlamına gelmektedir. Bu nedenle mevcut stokun önemli bir bölümü, enerji verimli yenileme olsun olmasın, esnek (yani, soğutma için talebi en az 4 saat kaydırma kabiliyetine sahip) olarak nitelendirilebilmektedir. Esnek elektrikli ısıtma sistemleri olan tüm binalarda, alan ısıtmaya ilaveten sıcak suyun esnek olarak elde edilmesine olanak veren boyler bulunduğu varsayılmıştır.

Konut dışı binalardaki mekanik havalandırma sistemlerinin %70'inin, önceki bölümde tanımlanan kısıtlara tabi olarak, esnek şekilde çalıştırılabileceği varsayılmıştır.

Şekil 19: *Esnek ısıtma ve soğutma oranları*



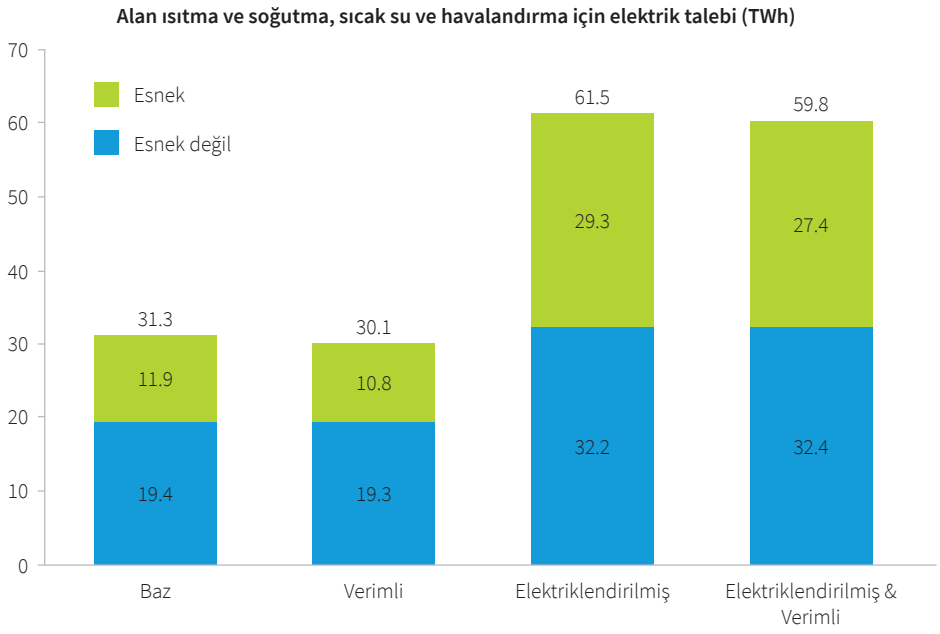
Verimlilik yenilemeleri Türkiye'nin mevcut stokundaki elektrik sistemlerinin daha büyük bir bölümünün talep tarafı katılımı içinde yer almasına olanak vermektedir. Gösterilen her iki senaryoda da Türkiye'de yaklaşık 2 milyon elektrikli ısıtma sistemi ve yaklaşık 4 milyon elektrikli soğutma sistemi bulunmaktadır.

3.2.2 Esnek elektrik talebinin oranı

Şekil 20 dört senaryonun her birinde esnek olarak çalıştırılabilen alan ısıtma, sıcak su, alan soğutma ve havalandırmanın elektrik talebine oranını göstermektedir. Esnek talep miktarı elektrifikasyonla artmasına rağmen, esnek oran toplamın bir bölümü olarak azalmaktadır. Bunun nedeni, ısıl verimi ısı pompasının esnek çalışmasını sağlamaya yeterli olmayan binalarda ısı pompası kullanımının artışıdır.

Burada ele alınan binalarda elektrik talebinin yılda yaklaşık 19 TWh'i Baz ve Verimli senaryolarda esnektir, bu oran Elektriklendirilmiş ve Elektriklendirilmiş & Verimli senaryolarda yaklaşık 32 TWh'e çıkmaktadır.

Şekil 20: *Senaryo bazında 2030'daki binaların toplam esnek ve esnek olmayan elektrik talebi*



3.3 Sanayi elektrik talebi

3.3.1 Yük kaydırmaya karşı yük azaltma

Sanayi tesisleri bir dereceye kadar talep tarafı katılımı sağlamaktadır. Talep tarafı katılımı potansiyeli süreçlerin karakteristiğine bağlıdır. **Yük kaydırma** ile **yük azaltma** arasında ayrım yapmak şarttır.

Yük kaydırma durumunda, zamanın bir noktasında yükün azaltılması (artırılması) zamanın daha sonraki bir noktasında yükün artırılması (azaltılması) ile telafi edilir. Yük azaltma durumunda ise yük daha sonraki bir yük artışı ile telafi edilmeden azaltılır.

Birçok sanayi yüksek kapasitede ve yılın çoğu saatinde işletildiği için – bunların birçoğu yıl içindeki saatlerin %90'dan fazlasında çalışır (Umweltbundesamt, 2015) - yüklerini artırma kabiliyetleri sınırlıdır ve bu yüzden bu tür süreçler sadece yük azaltma şeklinde talep tarafı katılımı sağlayabilirler. Yük azaltma daha çok sayıda tesis, özellikle elektrikli ark ocağı ile çelik üretim tesisleri gibi büyük kontrol edilebilir yükleri olan tesisler tarafından sağlanabildiği için, Almanya'da sanayide yük azaltma (büyük ölçüde yük atma yoluyla) için büyükçe bir pazar vardır, fakat yük artışları için kıyaslanabilir bir pazar mevcut değildir. Halen, haftalık ihalelerde yaklaşık 30 sanayi tesisinin oluşturduğu bir havuzdan toplam 1 GW civarında yük kesintisi satın alınmaktadır (Bundesnetzagentur, 2019).

Dikkate alınması gereken bir nokta sanayi tesislerinde yük azaltmanın çoğu durumda, ürün kaybı ve ikincil etkiler (daha yüksek personel ve bakım giderleri, daha düşük ürün kalitesi, azaltılmış elektrik tüketimi ile süreçlerin yaklaşık optimal oluşumu) ile süreçlerde önemli aksamalar nedeniyle yüksek değişken işletim maliyetlerine yol açmasıdır. Bu nedenle, yük azaltma çok nadiren ve sadece olağan dışı durumlarda, 6.000 €/MWh seviyesine kadar çıkabilen çok yüksek fiyatlarla kullanılmaktadır (Bundesnetzagentur, 2019)[8].

[8] Azaltılabilir yükler programının toplam maliyetleri (bulunabilirlik ve kullanım ödemeleri) 28 milyon € olurken, kullanılan toplam yük azaltma yaklaşık 5 GWh olmuştur.

Bunun aksine, tesisin ürettiği üretim çıktısı üzerinde bir etkisi olmadığı için, yük kaydırmanın daha düşük bir değişken işletim maliyeti olmaktadır. Böylece, yük kaydırma daha sık kullanılabilmektedir. Gelecekte, değişken yenilenebilir enerji kaynak verimini yönetebilmek için elektrik sistemlerinde talep tarafı katılımının günlük bazda kullanılması gerekecektir. Bu nedenle, yük kaydırma yük azaltmadan daha önemli bir rol oynayacaktır.

3.3.2 Sanayi sektörlerinin yük azaltma veya yük kaydırma sağlama kabiliyetleri

Umweltbundesamt (2015) ve Gils (2014) doğrultusunda, çelik ve demir dışı metal ürünleri sadece yük azaltma kabiliyetine sahip olarak modellenirken, kâğıt ve çimento yük kaydırma sağlayabilmektedir. Bu, SHURA enerji verimliliği raporundaki (SHURA, 2020 d) varsayımlarla da uyum içindedir.

Bunun nedeni kâğıt ve çimento üretiminde kalitesi bozulmadan daha uzun sürelerle kolayca depolanabilen ara veya nihai ürünler üretiminin yer almasıdır. Bu durum esneklik potansiyelini artırmaktadır. Bu tür ara ürünler kâğıt üretiminde ağaç veya geri dönüştürülmüş kâğıttan üretilen kâğıt hamuru; çimento üretiminde ise öğütülmüş çakıl ve farin (değirmenlenmiş çakıl) ile çimento tozudur (Umweltbundesamt, 2015; DENA, 2013; Heidelberg Cement, 2020).

Öte yandan, alüminyum ve elektrikli çelik üretiminde en elektrik yoğun üretim aşamalarından sonraki ara ürünler sıvı alüminyum ve çeliktir. Her ikisi de oda sıcaklığına maruz kalınca sertleştiğinden, uzun süre depolanamaz (DENA, 2013; BMWi, 2020). Bu nedenle, hemen işlenmeleri gerekir. Bu, her iki durumda da esneklik potansiyelini sınırlamaktadır. Dahası, alüminyum üretim tesisleri tipik olarak çok yüksek kullanımda çalışır ve bu yüzden yük artışları için sınırlı kabiliyetleri vardır. Elektrikli ark ocağı (EAF) yoluyla çelik üretimi durumunda, EAF'de eritme işleminden sonraki döküm işleminin değişmezliği de esnekliği sınırlayan bir başka etkendir (Umweltbundesamt, 2015).

Talep tarafı katılımı potansiyeline sahip enerji yoğun sektörlerde esneklik kaynakları hakkında daha fazla ayrıntı bilgi kutusunda bulunabilir.

Enerji yoğun sektörlerde esneklik kaynakları

- Çimento: Üretim ara ve nihai ürünlerin depolanma kapasiteleri nedeniyle elektrik yoğun ve esnek olan birçok kırma, öğütme ve yakma işlemleri içermektedir. Bu, günümüzde bir ölçüye kadar kullanılmaktadır, örn. Almanya'da çimento üretim tesisleri, üretimin sadece geceleri, elektrik fiyatlarının düşük olduğu zamanlarda yapılmasına olanak verecek şekilde boyutlandırılmıştır.
- Kâğıt: Üretim süreci atık kâğıtların geri dönüştürülmesiyle veya ağacın doğrudan işlenmesiyle bir ara ürün olarak elde edilen elyaf süspansiyonu (kâğıt hamuru) üretimi ile kâğıt hamurunun işlenmesiyle elde edilen nihai kâğıt ürününe ayrılabilir. Ağaçtan kâğıt hamuru üretimi de kimyasal kâğıt hamuru üretimi ve mekanik kâğıt hamuru üretimi olarak ayrılmaktadır. Kâğıt hamuru üretimi kâğıt üretim tesisinin toplam elektrik gereksiniminin yaklaşık %30-50'sini oluşturmaktadır. Mekanik kâğıt hamuru üretiminde her bir ton kâğıt için elektrik tüketimi kimyasal kâğıt hamuru üretimindekinden çok daha yüksektir. Ancak, her iki durumda da, kâğıt hamuru depolama bulunabilirliği nedeniyle elektrik tüketiminde esneklik potansiyeli sağlamaktadır.
- Çelik: Elektrikli çelik üretiminde esnek elektrik tüketimi hurda çeliği eritmek için kullanılan elektrik ark ocakları tarafından sağlanmaktadır. İkincil etkiler, fabrikanın potansiyel tam kapanması, tipik olarak yüksek üretim ekipmanı kullanımı ve ara ürünler için düşük depolama kapasiteleri nedeniyle, esneklik potansiyeli sınırlıdır.
- Demir dışı metaller: Birincil alüminyum üretiminde, alüminyum oksit elektroliz yoluyla alüminyuma indirgenmektedir. Elektrolit ve metal karışımının katılaşmasını veya taşmasını önlemek amacıyla, elektrolit fırınlarında ısı ve manyetik alanların mümkün olduğu kadar sabit tutulması gerekmektedir (Norddeutsche Energiewende, 2018; BMWi, 2020). Bu, elektrik tüketiminin esnekliğini sınırlar . Eğer düzen durumu veya alüminyumun piyasadan alınması nedeniyle tesisler tam kullanılmıyorsa, yük azaltma sağlanabilir. Alüminyumla aynı şekilde çinko ve bakır da elektroliz kullanılarak üretilmektedir. Bu modellemenin amacı için, SHURA enerji verimliliği raporuna (SHURA, 2020 d) paralel olarak alüminyum elektroliziyle aynı esneklik potansiyeli varsayılmıştır.

3.3.3 Esnek sanayi talebi tüketim profilleri

Çelik, demir dışı metal ve kâğıt tesisleri sabit elektrik tüketim profiline sahip yerler olarak modellenmiştir. Bu, sanayi esnekliği çalışmasına (Gils, 2014) dayanmaktadır ve SHURA enerji verimliliği raporuyla (SHURA, 2020 d) paraleldir. Çimento tesislerinin, kış aylarında (Aralık – Şubat) azalan inşaat faaliyetleri nedeniyle, önemli ölçüde daha düşük seviyede çalıştıkları varsayılmıştır (Umweltbundesamt, 2015; Gils, 2014). Kalan aylarda sabit bir tüketim profiliyle çalıştıkları kabul edilmiştir.

Halen çimento tesislerinin düşük elektrik fiyatlarından faydalanmak için elektrik tüketimlerini geceye kaydırmalarına rağmen, temel durumda gelecekte sabit bir profilde çalışacakları varsayılmıştır. Bunun nedeni şudur: gelecekte güneş enerjisi artışının gündüz elektrik fiyatlarını baskılama olasılığı çok yüksekken, rüzgâr çıkışı genellikle geceleri daha yüksektir. Sabit bir profilde çalışmak, fabrikanın yüksek yenilenebilir çıkış sayesinde düşük fiyat periyodlarından faydalanma kabiliyetini maksimize edecektir.

3.3.4 Sanayi talep tarafı katılımı için mevcut kapasite

Tablo 5, incelenen dört enerji yoğun sektörün yıllık tüketimlerine ve daha önce açıklanan profil varsayımlarına dayanarak, 2030 için tahmin edilen puant taleplerini özetlemektedir. Bu tahminler SHURA enerji verimliliği raporundaki (SHURA, 2020 d) puant talep varsayımlarıyla çok yakından bağlantılıdır. EAF yoluyla elektrikli çelik üretimi açık farkla en yüksek elektrik tüketimine sahiptir, arkasından çimento gelirken, kâğıt ve demir dışı metallerin tüketimleri önemli ölçüde daha düşüktür.

Tablo ayrıca, puant talebe ilişkin Umweltbundesamt (2015) ve Gils (2016)'de tahmin edilen yük azaltma ve artırma potansiyelini de göstermektedir. İlgili sektörlerin 2030 puant talepleri dikkate alınarak maksimum yük azaltma ve artırmaları da listelenmiştir. 2030'da kâğıt ve çimentodan yük kaydırma yoluyla yaklaşık maksimum 1.500 MW yük azaltma sağlanabilecektir. Çelik ve demir dışı metaller yük azaltma yoluyla ek 1.550 MW sağlayabilecektir.

Tablo 5: *Türkiye'de enerji yoğun sektörlerin maksimum yük azaltma ve artırması (2030)*

	Yük kaydırma		Yük azaltma		Toplam
	Kâğıt	Çimento	Demir dışı metaller	Çelik	
Maks. yük azaltma (yükün %'si)	%20	%50	%19	%24	-
Maks. yük artırma (yükün %'si)	%6	%18	-	-	-
Puant talep 2030 (MW)	792	2.648	827	5.873	10.140
Maks. yük azaltma 2030 (MW)	162	1.324	157	1.391	3.033
Maks. yük artırma 2030 (MW)	47	477	-	-	523

3.3.4.1 Maliyet varsayımları

Tablo 6'da sanayi talep tarafı katılımı maliyet varsayımları listelenmiştir. Kâğıt ve çimento için maliyetler Umweltbundesamt (2015) ve Steurer (2017)'ye dayandırılmıştır. Alüminyum ve çelik içinse, halen Almanya'da yük kesintileri için büyük sanayi tesislerine ödenen bedellere dayanarak (Bundesnetzagentur, 2019), 6.000 €/MWh değişken OPEX varsayılmıştır. Her durumda maliyet değişken OPEX hakimiyetindedir. Değişken maliyet, ekipman standart altı referans değerleriyle çalıştırıldığında ortaya çıkan daha yüksek elektrik ve ısı gereksinimlerini, azaltılan üretim seviyelerini telafi etmek için yapılan ek üretimin daha yüksek personel maliyetlerini ve yük azaltma durumunda ürün kaybı maliyetlerini kapsamaktadır. Ürün kaybı genellikle talep tarafı katılımı sağlamanın diğer etkilerinden önemli ölçüde daha yüksek maliyetlere yol açmaktadır. Talep tarafı katılımı sağlamanın maliyeti, bunun için üretim birimlerinin, önemli teknik, organizasyon ve personel çabası anlamına gelen, saatlerce tam kapatılmasını gerektiren durumlarda çok yüksek olabilmektedir (Umweltbundesamt, 2015). Bu, talep tarafı katılımının kullanılan her MWh'i için maliyetlerin bu sektörlerden sağlanan talep tarafı katılımı kullanımının artmasıyla azalmadığı anlamına gelmektedir.

Tablo 6: *Talep tarafı katılımı maliyet varsayımları*

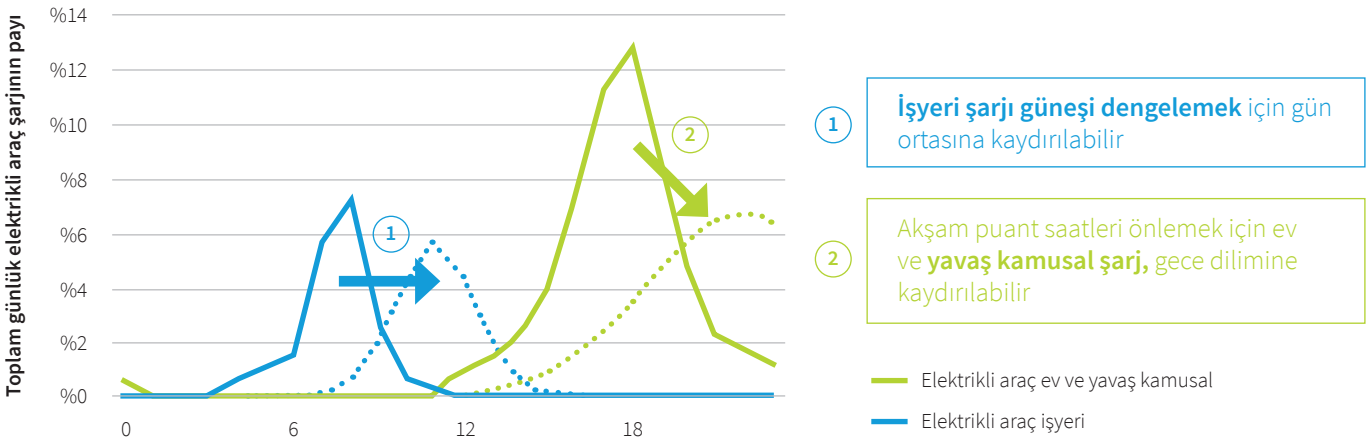
Talep tipi	CAPEX (€/MW)	Sabit yıllık OPEX (€/MW/yıl)	Sabit günlük OPEX (€/MW/gün)	Değişken OPEX (€/MWh)
Kâğıt	4.387	869	-	150
Çimento	1.505	9.579	23	100
Demir dışı metaller				6.000
Çelik				6.000

3.4 Ulaştırma elektrifikasyonunda esneklik

3.4.1 Akıllı elektrikli araç şarjı prensipleri

Bölüm 2.4'te belirtildiği üzere, elektrikli araç şarjının esnekliği elektrikli araçların günlük şarjları için gerekenden daha uzun süre prize bağlı kaldıkları olgusundan gelmektedir. Bir elektrikli araç şarj profilinin akıllı şarj yoluyla tipik bir ayarı Şekil 21'de gösterilmiştir.

Şekil 21: *Elektrikli araçların ev, yavaş kamusal şarj istasyonları pasif şarj ve iş akıllı şarj karşılaştırması*



Kaynak: Element Energy

Elektrikli araçların sabah işyerinde şarjları güneşten elektrik üretiminin yüksek olduğu gün ortasına ve erken öğleden sonraya kaydırılabilir. Akşamları prize bağlanan elektrikli araçlar ya kendi şarj cihazlarında, ya da eğer yolda park yerine erişimleri yoksa, evlerine yakın yavaş kamusal şarj istasyonlarında şarj edilecektir. Elektrikli araçların akşamları prize bağlanmaları, birçok ülkede akşamın erken saatlerinde elektrik sisteminde artan puant talebi önlemek ve şarj talebini gece boyunca daha ucuz olan saatlere almak için geceye kaydırılabilir. Akıllı şarjın bu faydaları, SHURA'nın, elektrikli araç şarjının Türkiye'nin dağıtım şebekeleri üzerindeki etkilerinin ayrıntılı analizini de içeren Türkiye'de ulaştırmanın elektrifikasyonu raporunda (SHURA, 2019 a) da açıklanmıştır.

Prize bağlanma profilleri ve zamanları elektrikli araç şarjının esneklik sınırlarını belirlemektedir. Bunlar farklı elektrikli araç şarj tiplerine göre değiştiği için, her birinin açıklanması gerekmektedir. Bunlar hakkındaki varsayımlar aşağıdaki bölümlerde ayrıntılı olarak verilmiştir.

3.4.2 Elektrikli araç şarjının kırılımı

Şarj tipi esneklik potansiyelini belirlediği için önemlidir. Evde ve işte şarjın esnek olması beklenirken, hızlı kamusal şarj esneklik sağlamamaktadır. (SHURA, 2019 a)'daki evde şarj desteği ile paralel olarak, toplam elektrikli araç elektrik tüketimi kırılımının %25 evde şarj, %25 işte şarj ve %50 kamusal şarj şeklinde olduğu varsayılmıştır. Ayrıca, kamusal şarjın %25 yavaş kamusal şarj, %25 hızlı kamusal şarj olarak bölündüğü kabul edilmiştir. Türkiye'de şehirleşme oranı yüksek olduğu ve nüfusun büyük bölümü yol dışı park yerine erişimi bulunmayan çok haneli konutlarda yaşadığı için, evde şarjın payı diğer ülkelere kıyasla düşüktür (SHURA, 2019 a).

Hızlı kamusal şarj bir enerji talebi olarak modele dahil edilmiştir fakat esnek değildir, yani sistem ihtiyacına göre ayarlanamaz.

Hızlı kamusal şarjın hızlı olduğu ama esnek olmadığı varsayılmıştır. Hızlı kamusal şarj bir enerji talebi olarak modele dahil edilmiştir fakat esnek değildir, yani sistem ihtiyacına göre ayarlanamaz. Tampon bataryalı hızlı/süper şarj cihazlarının hizmet sağlayabildiğine, fakat bunların şebeke seviyesi depolama ve elektrikli araç esnekliği kapsamının dışında olarak değerlendirildiğine dikkat edilmelidir.

Denemeler örneğin, süpermarket veya sinemalar gibi yerlerde yavaş kamusal şarjın (prize bağlanma uzunluğu 1-2 saat) ihmal edilebilir düzeyde olduğunu göstermiştir. Konut alanlarındaki cadde üstü istasyonlarda yavaş kamusal şarj, modelleme amaçları için evde şarj (çoğunlukla geceleri) ile eşdeğer kabul edilmiştir. Ev, iş ve yavaş kamusal şarj cihazlarının 7 kW şarj kapasitesine sahip olduğu kabul edilirken, hızlı kamusal şarj cihazlarının 150 kW şarj kapasitesi olduğu varsayılmıştır[9].

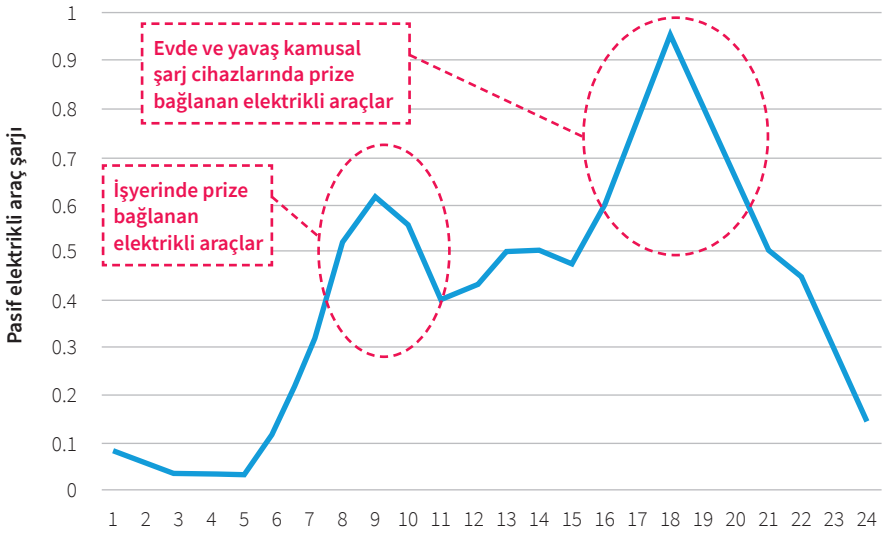
Şarjın ev/iş/yavaş ve hızlı kamusal şarj olarak kırılımı, elektrikli araç talep tarafı katılımı potansiyeli ve dinamiklerinin belirlenmesinde en önemli özelliklerdir. Elektrikli araçlar gün ortası veya gece dilimine kaydırılabilen enerji akışlarını belirler. Sistem karakteristiklerine (örn. yüksek güneş girişi / düşük gece talebi) bağlı olarak, talebin gün ortasına veya geceye kaydırılması daha yüksek değer sağlayabilir.

3.4.3 Pasif bağlanma profilleri ve bağlanma zamanları

Analizin başlangıç noktası akıllı şarj yokluğunda beklenen yönetilmeyen veya pasif olan şarj profilleridir. Evde, işte ve hızlı kamusal şarj cihazlarında bağlanma profilleri, Birleşik Krallık Elektrik Şebekeleri için yapılan çok geniş kapsamlı ve ayrıntılı elektrikli araç kullanım profilleri kaynak taramasındaki yakın tarihli bulgulara dayanmaktadır (Element Energy, 2018).

Şarj talebinde bir miktar mevsimsellik olmakla birlikte, bu modelleme çalışmasının amacı için elektrikli araçların günlük elektrik tüketimi yıl boyunca sabit tutulmuştur. Esnek olmayan hızlı şarjı içeren pasif elektrikli araç şarj profili, Şekil 22'de gösterilen bağlanma profilleri ve şarj cihazı kapasiteleri varsayımlarına dayanmaktadır.

Şekil 22: *Pasif (kontrolsüz) elektrikli araç şarjının sabah ve akşam talep puant talebini gösteren tipik günlük profili*



[9] Bireysel elektrikli araç şarjı ister 7 kW ister 3 kW olsun, sistem perspektifinden bakıldığında gün içinde görülen birleştirilmiş talep paterninin pratikte ideal olduğu dikkate alınmalıdır.

3.4.4 Akıllı elektrikli araç şarjı esnekliği

Evde, işyerinde ve yavaş kamusal cihazlarda şarjın esnek olduğu ve böylece bunların pasif şarjının sistem ihtiyaçlarına göre akıllı bir profile adapte edilebileceği varsayılmıştır. Evde, işyerinde ve yavaş kamusal cihazlarda şarj, toplam elektrikli araç şarjının %75'ine tekabül etmektedir. Elektrikli araç şarjının esneklik derecesi büyük ölçüde elektrikli araçların şarj cihazlarına bağlı kaldığı süreyle belirlenmektedir. Elektrikli araçların bağlanma süresi üzerine, (Deporter & Assimon, 2011) doğrultusunda aşağıdaki varsayımlar yapılmıştır.

- Gece şarj edilen elektrikli araçlar, yani evde ve yavaş kamusal şarj cihazlarında şarj edilen elektrikli araçlar, eğer 18:00 ile 00:00 arasında bağlanmışlarsa 07:00'ye kadar, aksi takdirde 8 saat bağlı kalmaktadır.
- İş elektrikli araçları, eğer 8:00 ile 13:00 arasında bağlanmışlarsa 17:00'ye kadar, aksi takdirde 4 saat bağlı kalmaktadır.
- Dağıtım modelinin akıllı şarj algoritması tüm araçların kendi bağlanma süreleri sonunda tam şarj olmasını sağlamaktadır.

3.5 Yıl içindeki toplam elektrik talebi

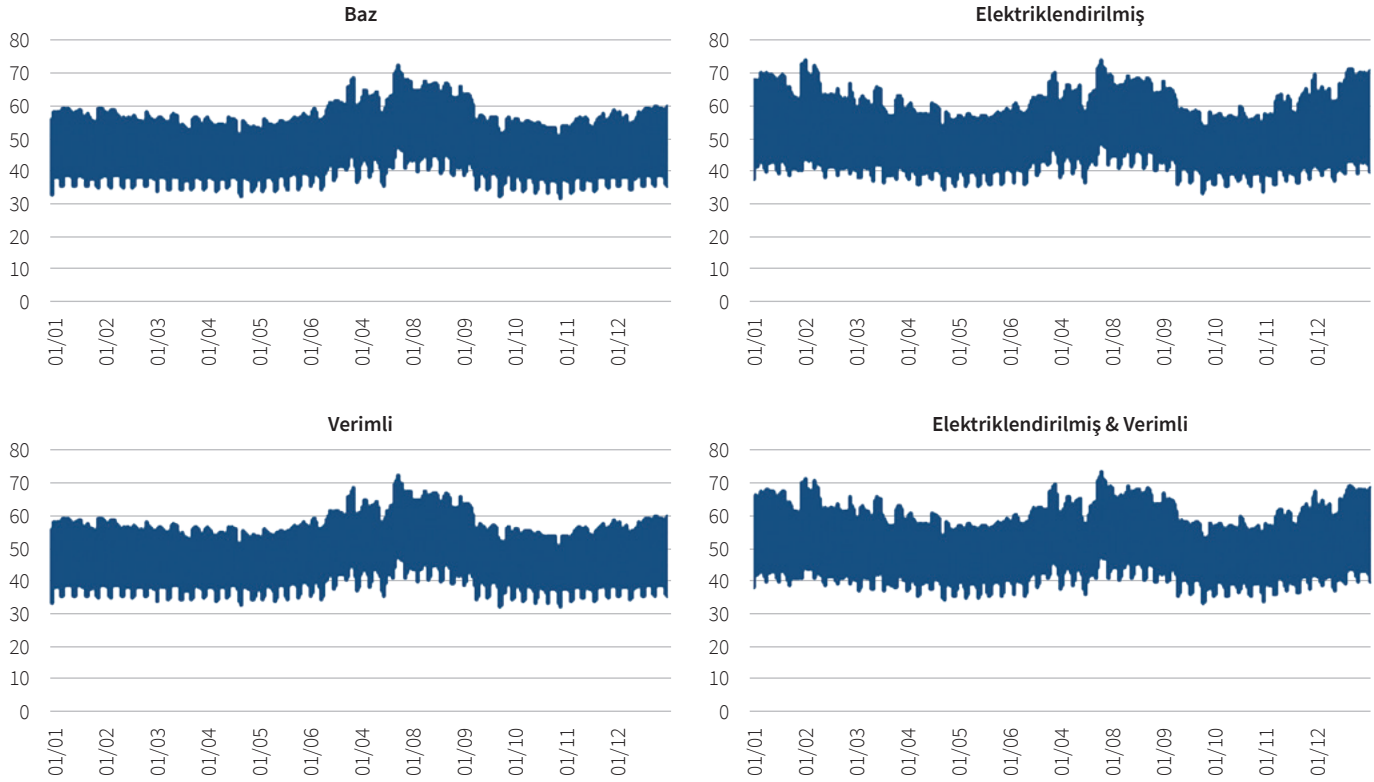
Toplam elektrik talebinin saatlik profilinin yapısı, Şekil 17'de gösterilen toplam yıllık elektrik talebinin saatlik profilinin yapısına benzer. Yüksek talep tarafı katılımı potansiyeline sahip bina ısıtma ve soğutma, elektrikli araçlar ve enerji yoğun sanayi sektörlerinin saatlik profillerini çıkarmak için, bu sektörlere ilişkin kendi özel modellerimiz kullanılmıştır.

Kalan talebin (aydınlatma, elektrikli aletler, konut ve ticari tesislerde yemek pişirme gibi) saatlik profili, ENTSO-E 2018 TYNDP'de yer alan yüksek talep tarafı katılımı potansiyeline sahip sektörlerin profilleri, yine ENTSO-E 2018 TYNDP'deki Türkiye toplam elektrik talebinden çıkartılarak elde edilmiştir.

Kalan talebin saatlik profili, modellerimizden elde edilen yüksek talep tarafı katılımı potansiyeline sahip sektörlerin profillerine eklenerek, Türkiye toplam elektrik talebinin saatlik profili elde edilmiştir.

Şekil 23, incelenen dört senaryoda yılın her saati için toplam elektrik talebini GW cinsinden göstermektedir. Tüm senaryolarda toplam puant talep yaz aylarında ortaya çıkmaktadır. Ancak, elektriklendirilmiş senaryolarda kış puant talebi yaz puant talebine çok yaklaşmaktadır (elektriklendirilmiş senaryolarda 73,5 GW'a karşı 73,7 GW). Minimum talep tüm senaryolarda 32 GW üzerindedir ve bu nedenle profilin göreceli değişkenliği tek başına ısıtma ve soğutma durumundakinden daha az göze çarpmaktadır (örn. Elektriklendirilmiş senaryoda profilin 1,6 GW ile 23,0 GW arasında dalgalandığı Şekil 17 ile karşılaştırınız).

Şekil 23: *İncelenen dört senaryoda yıl içindeki toplam elektrik talebi (GW)*

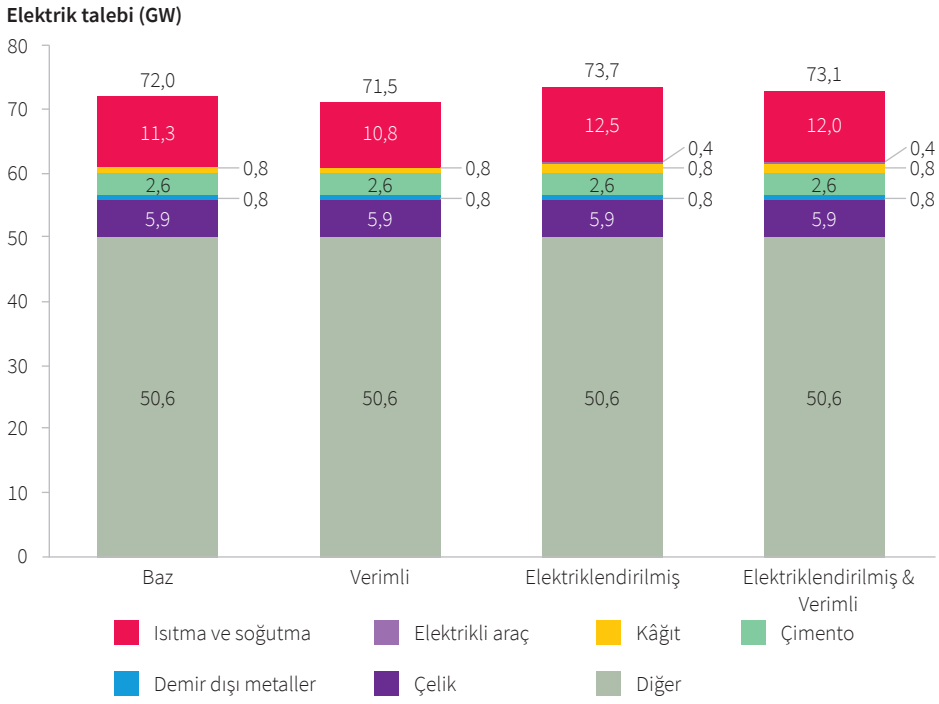


Şekil 24, incelenen dört senaryodaki elektrik puant talebinin son tüketim sektörlerine göre kırılımını göstermektedir. Puant talep yazın (Temmuz) öğlene yakın ortaya çıkmaktadır[10]. Tüm senaryolarda, ısıtma ve soğutma puant talebe önemli ölçüde katkı yapmaktadır. Aslında, ısıtma ve soğutmanın puant talebe katkısı bunların toplam elektrik talebi içindeki paylarından yüksektir (Şekil 19 ile karşılaştırınız).

Elektrifikasyon senaryolarında ısıtma ve soğutma için yıllık elektrik tüketiminin, elektrifikasyon dışı senaryolardaki tüketimin kabaca iki katı olmasına rağmen, puant talebe katkısı sadece %20 kadar daha yüksektir. Bunun nedeni, elektrifikasyon dışı senaryolara kıyasla, elektrifikasyon senaryolarında elektrik tüketiminin çoğunlukla kış aylarında arttığı olgusudur (Şekil 17 ile karşılaştırınız).

[10] Türkiye'de dini tatillerde elektrik tüketimi önemli ölçüde azalmaktadır (SHURA, 2018). Modelde hesaplanan puant talep günü 2030'a kadar programlanmış tatil dönemlerinin dışında kalmaktadır.

Şekil 24: *Sistem puant talebinin kırılımı, puant yazın gün ortasında ortaya çıkmaktadır*



3.6 Türkiye'de talep tarafı katılımı sektörlerinin teknik potansiyeli

Tablo 7 her talep tarafı katılımı sektörünün, elektrik sisteminin Elektriklendirilmiş & Verimli 2030 senaryosuna esneklik sağlama potansiyelini göstermektedir. Örneğin, net puant yükün (değişken yenilenebilir enerji kaynak arzı hesaba katıldıktan sonra kalan talep) azaltılması alan ısıtma ve elektrikli araçlardan elde edilmektedir, fakat alan soğutma buna hiçbir katkı yapmamaktadır. Bunun nedeni, ısıtma sezonunda büyük bir değişken yenilenebilir enerji kaynak arzı olması ve esnek ısıtmanın yenilenebilir girdiyi absorbe etmesi için kullanılabileceğidir. Ayrıca, esnek ısıtma talebi ile değişken yenilenebilir enerji kaynak arzı arasındaki bu bağlantıyla, esnek ısıtma enerjisinin esnek alan soğutmadan çok daha fazla kullanıldığı anlamına geldiği görülmektedir. Çelik ve demir dışı metaller sektörlerinden sıklıkla sağlanan talep tarafı katılımı, mevcut diğer talep tarafı katılımı seçeneklerine ve elde edilen sistem faydasına kıyasla, yanına yaklaşılamayacak kadar pahalıdır (bölüm 3.3.4.1 ile karşılaştırınız). Bu nedenle, bu sektörlerin düzenli talep tarafı katılımı sağlamaları diğer sektörlerde olduğu gibi simüle edilmemiştir.

Tablo 7: *Her talep tarafı katılımı sektörünün, her birisi talep esnekliğinin tek kaynağı olarak kullanıldığındaki maksimum teknik potansiyelleri*

Talep tarafı katılımı sektörü	Net puant talepte azaltma (GW)	Etkinleştirilen TWh/yıl
Konut alan ısıtma	3	2,83
Konut alan soğutma	0	0,9
Ticari alan ısıtma	2,35	2,77
Ticari alan soğutma	0	0,25
Çimento	0,99	0,97
Kâğıt	0,38	0,16
Elektrikli araçlar	0,77	1,84

4. Sektör eşleştirme yapılmış enerji sistemi modellemesi ve maliyet-fayda analizi

4.1 Değişken yenilenebilir enerji kaynak hedefine talep tarafı katılımı katkısı sağlama yöntemi

Talep tarafı katılımının en düşük sistem maliyeti ile değişken yenilenebilir enerji kaynak entegrasyonu hedefine nasıl katkı sağlayabileceğini saptamak için, ilk önce talep tarafı katılımı olmadan çalışan temel enerji sisteminin performansını değerlendirmek gerekir. Bölüm 1.5'te belirtildiği üzere baz çizgisi, yüksek değişken yenilenebilir enerji kaynak entegrasyonunun termik santral, hidroelektrik santrali vd. arz tarafı esnekliği ile elde edildiği esnek olmayan 2030 senaryosu tarafından temsil edilmektedir. Esneklik, kısmi yükte çalışan termik santraller ile yüksek katılım sunan hidroelektrik santralleri tarafından ve gerektiğinde yenilenebilir üretimin şebeke kapasite sınırları veya sistem güvenlik gerekliliklerini sağlamak amacıyla kısılmasından sağlanır.

Ardından, talep tarafı katılımı esnekliği bu senaryoya eklenmiş ve sonuçtaki sistem performansı ve sistem maliyet tasarrufları değerlendirilebilmiştir. Eğer ek talep tarafı katılımı maliyeti sistem faydalarından düşükse, talep tarafı katılımı etkinleştirme yüksek değişken yenilenebilir enerji kaynak entegrasyon seviyelerini kapsayan sistem için net bir faydayı ifade eder.

Sistemin bu karakteristikleri arz ve talep dengesine göre saatten saate değiştiğinden, bu sistem maliyetlerini/tasarruflarını belirlemek için saatlik çözülmeyle çalışan bir bütün sistemin elektrik piyasa modeli kullanılmıştır. Element Energy'nin, ana maliyet ve faydaları elde edebilmek için ilgili bütün sistem dinamiklerini çoğaltma kabiliyetine sahip temel bir model olan, Entegre Arz Talep Modeli (ISDM) kullanılmıştır. Daha fazla ayrıntı Ek'te bulunabilir.

4.2 Talep tarafı katılımının sistem maliyetlerini azaltması

Sistem esneklik maliyetlerinin bileşenleri ve talep tarafı katılımının bunları nasıl azaltabileceği Tablo 8'de gösterilmiştir. Bu maliyetlerin her birinin ister CAPEX ister OPEX olsun, bir enerji müşterisi tarafından ödenmesi gerektiğine dikkat edilmelidir. Bu maliyet unsurlarından yapılacak tasarruflar, en azından kısmen, bu tasarrufları elektrik faturalarında görecek olan müşterilere yansıtılabilir.

Tablo 8: Sistem esneklik maliyetleri

Unsur	Tanımı	TTK katkısı
Santral yakıt tüketimi (OPEX)	Puant elektrik talebi, düşük verimlilikle çalışan puant yük santrallerinde yakıt kullanımının artırılmasını gerektirebilir.	Talep tarafı katılımı, talebi puant zamanların dışına kaydırarak santralin verimsiz kullanımını ve böylece termik santrallerde yakıt tüketimini azaltabilir.
Termik santral YAL/YAT ve kısmi yükle çalışma (OPEX)	Termik santraller (genellikle kömür) arz/talep dengesizliğindeki hızlı değişimlere karşılık verme kabiliyetinde olmayabilir ve esnek santrallerin (genellikle gaz) programlanmasını gerektirebilir, bu da daha yüksek elektrik maliyetleri doğurur.	Talep tarafı katılımı talebin veya net talebin artış oranını azaltabilir (GW/hr). Böylece, talep tarafı katılımı termik santral YAL/YAT enerjisi OPEX maliyetini azaltabilir.
Değişken yenilenebilir enerji kaynak kesintisi (OPEX)	Enerji arz/talebini dengelemek ve güvenlik sınırları içinde tutmak için, değişken yenilenebilir enerji üretiminin kesilmesi gerekebilir.	Azaltma seviyelerini düşürmek için, talep tarafı katılımı talebi yüksek değişken yenilenebilir enerji arzı zamanlarına kaydırabilir.
Azaltılan pik sistem talebi (CAPEX)	Taleplerin artan elektrifikasyonuyla, puant talepleri karşılayabilmek için şebeke kapasitesinin artırılması gerekebilir.	İlave şebeke kapasitesi yatırımlarını sınırlamak veya önlemek için, talep tarafı katılımı yükü puant zamanların dışına kaydırabilir.
Azaltılan sistem net puant talebi (CAPEX)	Yenilenebilir enerji arzı ile enerji talebi arasındaki açığın YAL/YAT (termik) santral ile kapatılması gerekir. Net puant açığı ek puant santral kapasitesi gerektirebilir (bir kapasite piyasasından satın alma yoluyla).	Talep tarafı katılımı talebi net puant talep saatlerinin dışına kaydırarak net açığı azaltabilir, bu da termik santral (puant santrali) kapasitesi için ilave yatırımları azaltabilir veya önleyebilir.

4.3 Baz (esnek olmayan) sistem sonuçları

Baz sistemin performansı Tablo 9'da özetlenmiştir. Tüm rakamlar ISDM elektrik piyasası modelinin çıktılarından alınmıştır.

Tablo 9: Baz sistem performansı

Baz sistem esnekliği	Değer	Birim
Sistem puant talebi	73	GW
Yıllık enerji talebi	423	TWh/yıl
Yıllık santral yakıt maliyetleri	5.071	(m €/yıl)
YAL/YAT hacmi	%8,54	(yıllık talebin)
YAL/YAT santral yakıt maliyetleri	328[11]	(m €/yıl)
Değişken yenilenebilir enerji kesintisi	3	GWh/yıl

[11] Üretim teknolojilerinin kısa vadeli marjinal maliyet aralığı varsayımları SHURA Üç Kat senaryosundakilerle paraleldir (SHURA, 2019 b).

Santral YAL/YAT hacimleri ve yakıt maliyetleri SHURA esneklik çalışması ile paraleldir (SHURA, 2018). ISDM iki modda çalışabilir; termik santral çıktısında saatten saate kısıtların olmadığı durum ve bu kısıtların aktif olduğu durum. İki durum arasındaki santral yakıt maliyetleri farkı YAL/YAT maliyetidir (daha fazla ayrıntı için Ek'e bakınız). Ekonomik sıralama ile YAL/YAT maliyeti yılda 328 milyon € olarak tahmin edilmiştir, bu tutar talep tarafı katılımı ile düşürülebilir.

Elektriklendirilmiş & Verimli senaryodaki sistem puant talebinin 73 GW olduğu dikkate alınmalıdır. Bu, yukarıdaki SHURA çalışmasında varsayılan puant yükten daha yüksektir ve nedeni esnek olmayan baz durumda (talep tarafı katılımı olmayan) puant talebi yaklaşık 2 GW artıran ısıtma, soğutma ve ulaştırmadaki ek elektrifikasyondur. Bu ek kapasitenin sistem maliyeti çok büyüktür. Örneğin, eğer bütün bu ek elektrik talebini karşılamak için yeni üretim kapasitesi gerekseydi[12], ısıtma ve ulaştırmanın elektrifikasyonundan doğan yeni ek kapasite gereklilikleri nedeniyle maliyeti 140 milyon €/yıl olacaktı. Talep tarafı katılımı, talebi bu puant zamanların dışına kaydırarak ek kapasite gerekliliklerini azaltmaya çalışabilir.

4.4 Talep tarafı katılımı esnekliğini görselleştiren örnekler

Talep tarafı katılımı, talebi puant zamanların dışına kaydırarak ek kapasite gerekliliklerini azaltabilir.

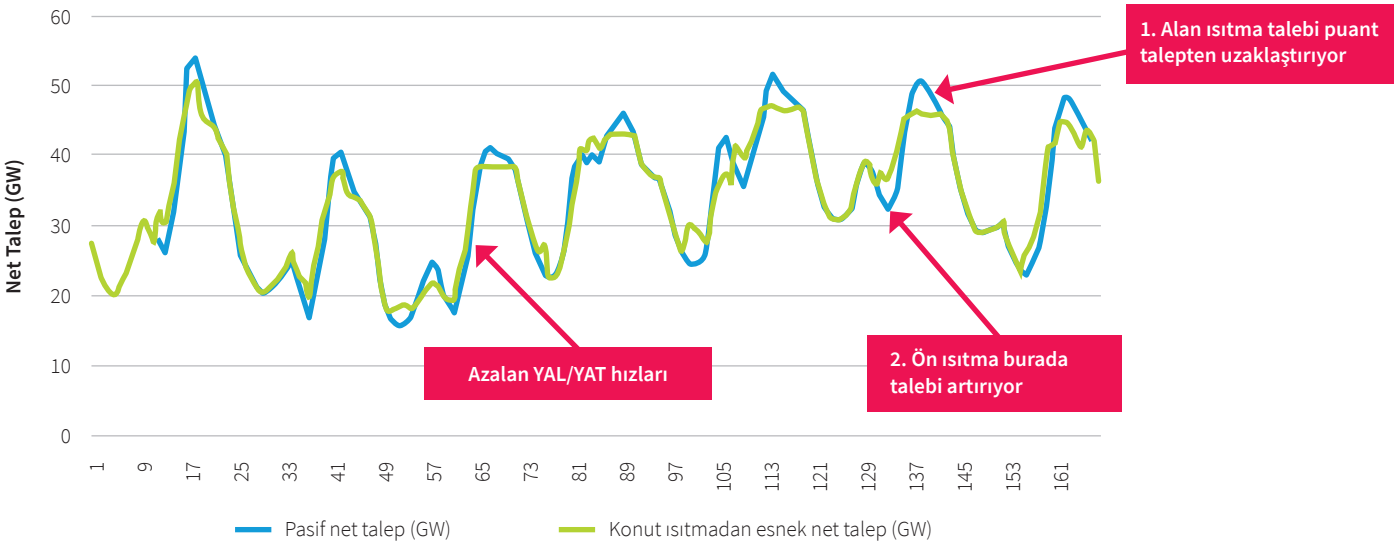
Performans veri tabloları elde edilen talep tarafı katılımı performansını özetlemek için hayati önem taşımalarına rağmen, yorumlamak için talep tarafı katılımının işlediği bir dönemin grafiksel bir örneği yararlı olabilir. Bu aynı zamanda, bu boyutları yansıtmak için saatlik modelleme yaklaşımı kullanmanın ne kadar önemli olduğunu da göstermektedir.

Şekil 25 esnek modda çalışan alan ısıtmanın bir haftasını göstermekte, alan ısıtmanın nasıl elektrik sistemine yarar sağladığını ortaya koymaktadır. Şekil, bu iki haftalık hipotetik dönemde bu varlığın sistem maliyetlerini azalttığı üç farklı yolu göstermektedir:

1. Sistem üzerindeki puant talepler (veya net talepler) alanlarda ön ısıtma yapılarak ve ısıtma talebi puant zamanların dışına kaydırılarak azaltılır. Termik santrallerin artık net talep kapasitesi sağlamaları gerektiği için, net talepte bir azaltma sistemde gerekli olan kapasiteyi düşürür. Ayrıca, şebeke genişletme/güçlendirme için gereken her türlü ilave yatırımı da azaltabilir.
2. Ön ısıtma (ısıtma sistemini programlanandan daha önce açarak ısıtmanın esnekliğini kullanmak) talebi, daha fazla temel yük santralinin elektriği puant ya da orta-faydalı santrallerden daha verimli şekilde ürettiği sistem "boşluklarına" kaydırır. Bu, santralde yakıt tasarrufuna yol açar.
3. Esnek talep, talebin artış oranını da, yani GW/s değişimini de azaltır. Yukarıda değinildiği gibi, santraller talepteki değişimlere cevap olarak arzı artırma veya düşürme için esneklik sağlamalıdır ve bunun sisteme bir maliyeti olacaktır.

[12] Yeni Girişin Net Maliyeti (Net-CONE), satın alınması gereken yeni üretim kapasitesinin maliyetidir. Bu çalışmada 70 €/kWyıl rakamı kullanılmıştır. Yenisinden çok, mevcut kapasite bu kapasite mekanizmalarına etki edebildiği için, kapasite piyasalarının daha düşük bir rakam verebileceği dikkate alınmalıdır (Birleşik Krallık'ta, 20 €/kWyıl civarında).

Şekil 25: *Türkiye'de konut alan ısıtmanın yedi günü*



Mavi çizgi esnek olmayan alan ısıtmada toplam sistem net talebini ifade etmektedir. Turuncu çizgi esnek alan ısıtmada sistem net talebini göstermektedir. Ön ısıtma ile talep tarafı katılımı otomatik olarak talebi puant taleplerden uzaklaştırmakta ve sistemdeki YAL/YAT hızlarını düşürmektedir.

4.5 Talep tarafı katılımı maliyetleri ve devreye girme sırası

4.5.1 Seviyelendirilmiş katılım maliyeti (LCOR)

Yatırımları elektrik sistemi sınırlarının genellikle dışında olduğu için bedelsiz bir esneklik kaynağı olarak görülmesine rağmen, talep tarafı katılımının hayata geçmesinin maliyeti bulunmaktadır. Isıtma sistemleri esneklik sağlama potansiyeline sahip olduğu halde, bu esnekliği ortaya çıkarmak yatırım gerektirecektir. Örneğin, bir elektrikli aracın akıllı şarjı için bir akıllı şarj noktası gerekebilir (pasif bir şarj cihazına göre daha pahalıdır), bu da ne zaman şarj edileceğini belirlemek için üçüncü bir tarafın (genellikle kümeleyici olarak anılır) kontrolünü gerektirecektir. Aynı şekilde, şebekeye katılan bir ısıtma sistemi evde internete bağlanarak sistemi kontrol eden bazı ek donanımlar gerektirecektir. Akıllı elektrikli araç şarjında olduğu gibi, şebekeye katılan ısıtma da bir kümeleyiciye ihtiyaç duyacak, bu kümeleyici cihaz kontrolü, faturalandırma, vd. hizmetleri için ücret alacaktır.

Yukarıdaki örneklerde donanım CAPEX, kümeleyici hizmeti de OPEX olarak geçmektedir. Bu raporda değerlendirilen yük kaydırma talep tarafı katılımı seçenekleri için CAPEX bileşeni ağır basmaktadır (bkz. Tablo 10).

Bir talep tarafı katılımı varlığının yatırım geri dönüşü için, en azından faydasının talep tarafı katılımı aktivasyon maliyetini aştığı seviyeye kadar kullanılması gereklidir. Eğer yüksek kullanım elde edilirse, sermaye maliyeti birçok kullanım saatine yayılarak her hizmet saati için daha az fatura çıkarılabilir. Fakat nadiren kullanılırsa, ekonomik olmak ve sermaye maliyetini telafi etmek için kullanım saati başına daha yüksek bir bedel alması gerekir.

Sonuçta oluşan €/MWh, seviyelendirilmiş katılım maliyeti (LCOR) olarak adlandırılır ve talep tarafı katılımı araçlarının maliyetini çıkarmanın bir yoludur. LCOR, sisteme bir birim esnek enerji sağlamanın minimum maliyetidir. Eğer bir talep tarafı katılımı işleyişi için LCOR diğer esneklik araçlarından düşükse, ilk olarak kullanılacaktır. Ancak LCOR çok yüksekse, hiçbir zaman kullanılmayabilir.

4.5.2 LCOR belirlemek için kullanım tahminleri

LCOR belirlemek için, kullanımın gerçekçi bir tahmini gereklidir. Birçok talep tarafı katılımı çalışmasının geniş (ve genellikle gerçekçi olmayan) varsayımlar yapma ihtiyacı duyduğu nokta burasıdır. Fakat bu raporda ayrıntılı elektrik sistemi modeli bu kullanım oranlarının, dolayısıyla da LCOR'nin ne olabileceğinin tanımlanmasına yardım edebilir.

Her talep tarafı katılımı varlığının sermaye maliyeti, varlığın ömrü boyunca bu yıllık kullanım oranlarına yayılabilir ve ekonomik indirim oranları kullanılarak, her birim esnek enerjinin sisteme efektif maliyeti hesaplanabilir.

Alan ısıtmada enerjinin %20-%25'i elektrik sistemi tarafından faydalı şekilde kaydırılabilecek zamanlarda bulunmaktadır.

Her talep tarafı katılımı kaynağını teker teker Türkiye'nin baz ISDM modeline ekleyerek, her varlığın kullanım oranı hesaplanabilir ve bunlar aşağıdaki tabloda yer almaktadır. Tablo, alan ısıtmada enerjinin %20-%25'inin elektrik sistemi tarafından faydalı şekilde kaydırılabilecek bir zamanda ortaya çıktığını göstermektedir. Bunun aksine, elektrikli araç şarjında şarj enerjisinin yaklaşık üçte ikisi faydalı şekilde elektrik sistemine kaydırılabilmektedir.

LCOR, sermaye maliyetlerinin tahmin edilmesini de gerektirmektedir. Bu maliyetler daha önceki Element Energy projelerinden, elektrikli araç üreticileriyle yapılan görüşmelerden ve birçok kümeleyiciden alınmıştır. Sanayi için rakamlar, bu raporun başka yerlerinde referans verilen Gils (2014) araştırmalarından alınmıştır. Ticari ve sanayi uygulamalarında talep tarafı katılımı donanımı için, 20 yıllık bir kullanım ömrü varsayılmıştır. Konut uygulamalarında ise 10 yıl kullanım ömrü varsayılmıştır. Ayrıca, konut uygulamalarında sermaye yatırımlarını yıllık baza indirgemek için faiz oranı %10 olarak kabul edilirken, ticari ve sanayi uygulamalarında %6 oranı kullanılmıştır.

Bu göreceli yüksek kullanım oranları ile düşük CAPEX kombinasyonu, alan ısıtma ve elektrikli araç şarjı için en düşük LCOR'yi vermektedir (50 €/MWh seviyesine kadar). Bunu, 100-150 €/MWh LCOR ile çimento ve kâğıt izlemektedir. Alan soğutma sektöründen esnek katılımın maliyeti, soğutma için yıllık enerji kullanımı ısıtmaya kıyasla daha az olduğundan, yaklaşık 350-450 €/MWh olmaktadır.

Tablo 10: *Farklı talep sektörleri için toplam maliyet, kullanım ve LCOR*

Sektör	CAPEX (m €)	Toplama maliyeti (m €/yıl)	OPEX (m €/yıl)	Kullanım (GWh/yıl)	Kullanım (%)	LCOR (€/MWh)
Ticari ısıtma	440	42	11	2.348	%21	39
Konut ısıtma	449	58	13	2.829	%26	51
İş elektrikli araç	97	19	0	615	%68	53
Ev elektrikli araç	194	39	0	1.231	%68	57
Çimento	1	0	100	906	%5	110
Kâğıt	1	0	58	385	%6	150
Ticari soğutma	460	44	9	254	%19	368
Konut soğutma	1.325	170	28	903	%34	458
Beyaz eşyalar	172	206	0	300	%5	780
Ticari havalandırma	1.160	110	23	74	%1	3.161
Demir dışı metaller	0	0	0	0	%0	6.000
Çelik	0	0	0	0	%0	6.000

4.5.3 Talep tarafı katılımı devreye girme sırası ve marjinal değer

En düşük LCOR'den en yükseğe doğru sıralanmış yukarıdaki tablo, her talep tarafı katılımı sektörü tarafından temsil edilen ekonomik teklifin bir göstergesini vermektedir. Gelecekteki talep tarafı katılımı araçlarının diğer esneklik kaynakları ile rekabet içinde olacağı varsayıldığında, en düşük maliyetli araçlar en önce yerleştirilecek, bunu daha pahalı araçlar izleyecektir.

Esneklik piyasası arz ve talep dinamikleri ile sınırlı büyüklükte olduğu için, ekonomik talep tarafı katılımı etkinleştirmenin sırası önemlidir. Talep tarafı katılımının sisteme sokulması puant yükler, YAL/YAT, vd. ile ilgili problemleri ve bu da talep tarafı katılımı için marjinal talebi azaltır. Marjinal değer azalmasının, enterkonnektörler veya bataryaların vd. kapasite fazlalarının fiyatları baskılayabildiği diğer esneklik kaynaklarında da görüldüğü dikkate alınmalıdır.

Düşük maliyetli ve sisteme esneklik sağlamada daha etkili olan talep tarafı katılımı sektörlerinin ilk olarak etkinleştirilmesi beklenmelidir.

Uygulanması göreceli olarak daha düşük maliyetli ve sisteme esneklik sağlamada etkili talep tarafı katılımı sektörlerinin ilk olarak yerleştirilmesi beklenmelidir. Bunun sonucunda, sistemin kalan (marjinal) esneklik ihtiyaçları daha düşüktür ve bu durum arkadan gelen talep tarafı katılımı sektörlerinin yerleştirilmesinin ekonomik uygulanabilirliğini olumsuz etkileyebilir.

Bu marjinal değer etkisini göstermek için, her talep tarafı katılımı sektörü, en ucuzdan en pahalıya doğru, teker teker yerleştirilmiştir. Sonra, bir sonraki talep tarafı katılımı araç tipi sistem modeline eklenmiştir. Sırayla tüm talep tarafı katılımı kaynakları devreden geçirilerek art arda elektrik sistemi modeline eklenmiştir. Her talep tarafı katılımı varlığının maliyeti ve sistem faydası her adımda hesaplanmış ve bu şekilde her talep tarafı katılımının devreye girme marjinal değeri elde edilmiştir.

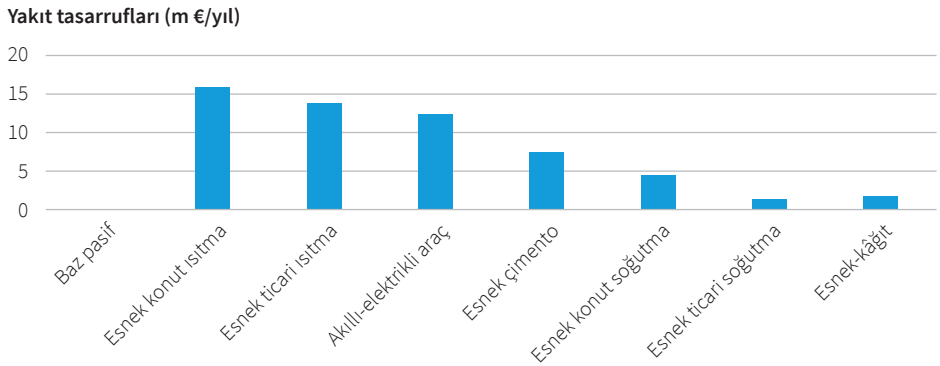
Talep tarafı katılımı sektörleri arasında karşılıklı etkileşimin (bir talep tarafı katılımı kaynağının kullanımını azaltma etkisi yapabilir) göreceli olarak düşük göründüğü dikkate alınmalıdır. Isıtmanın çoğu sabah olurken, şarjın çoğu akşam olmaktadır. Ayrıca, ısıtma ve soğutma aynı anda nadiren gerektiğinden, bunlar arasındaki karşılıklı etkileşim çok sınırlıdır.

4.6 Talep tarafı esneklikle sistem performansı

Santral yakıt tasarrufları

Talep tarafı katılımı, yükü puant zamanların dışına kaydırarak düşük verimlilikle çalışan termik santrallerin kullanımını ve dolayısıyla da santral yakıt kullanımını azaltabilir. Her talep tarafı katılımı sektörünün, talebi puant zamanların dışına kaydırarak santral yakıt kullanımını azaltmaya yaptığı katkı aşağıda gösterilmiştir. Azaltılan yakıt kullanımıyla esnek alan ısıtma 30 milyon €/yıl tasarruf sağlayabilirken, akıllı elektrikli araç şarjı 10 milyon €/yıl üzerinde tasarruf sağlayabilir. Bu tasarrufların, her sektörün tek başına etkinleştirilmesiyle sağlanan tasarruflar olduğu ve kümülatif tasarrufların parçaların toplamından daha az olabileceği dikkate alınmalıdır. Bu karşılıklı etkileşim literatürde doğrudan araştırılmamış, fakat bu çalışmada kullanılan bütüncül sistem yaklaşımına dahil edilmiştir (kümülatif etki, bkz. bölüm 4.7).

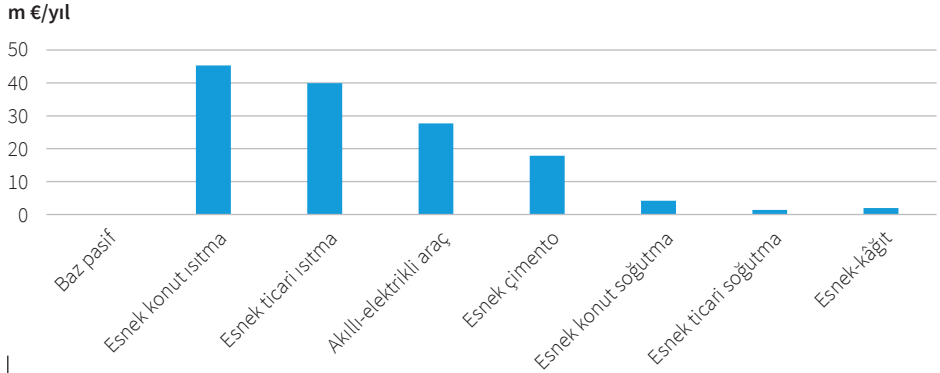
Şekil 26: *Her talep tarafı katılımı sektörünün, talebi puant zamanların dışına kaydırarak santral yakıt kullanımını azaltmaya katkısı*



YAL/YAT tasarrufları

Talep tarafı katılımı talebin YAL/YAT hızlarını azaltarak, YAL/YAT maliyetlerini düşürebilir. Her talep tarafı katılımı sektörünün yıllık YAL/YAT hacimlerini azaltma kabiliyeti aşağıdaki şekilde gösterilmiştir. Örneğin, en yüksek performansı gösteren talep tarafı katılımı sektörü esnek alan ısıtmadır. Bu tek başına 85 milyon €/yıl üzerinde santral yakıt tasarrufu sağlayabilir.

Şekil 27: *Her talep tarafı katılımı sektörünün termik santral YAL/YAT azaltmasına bağlı yıllık yakıt tasarrufları*



Talep tarafı katılımı araçları puant talepleri azaltmak için elektrik sistemine esneklik sağlayarak kapasite gereksinimlerini azaltabilir.

Sistem kapasite tasarrufları

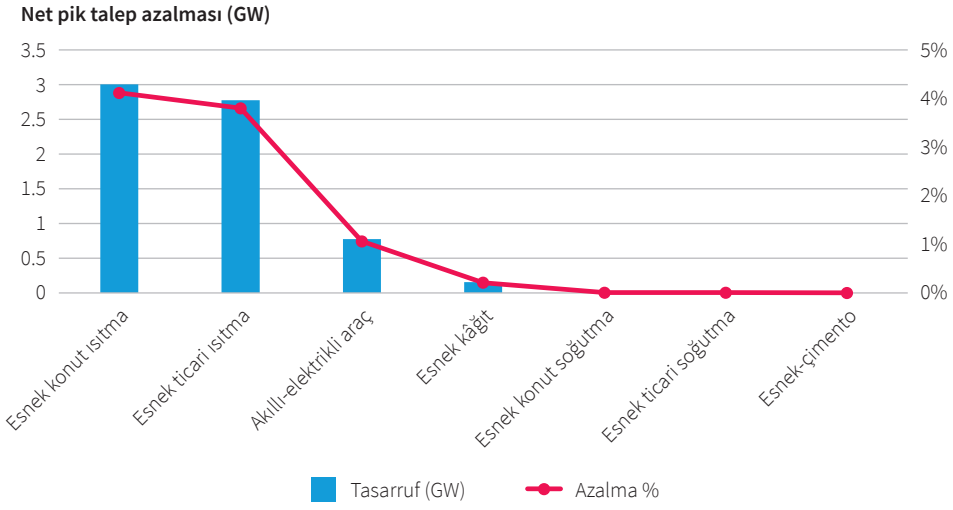
Talep tarafı katılımı araçları puant talepleri azaltmak için elektrik sistemine esneklik sağlayarak, kapasite gereksinimlerini azaltabilir. Talep tarafı katılımı iki yolla sistem tasarrufu sağlayabilir ve bunlar sıklıkla örtüştüğü halde, özdeş değildir.

Yüksek miktarda değişken yenilenebilir enerji kaynağı bulunan bir elektrik sisteminde, bir elektrik kaynağı tarafından net talep temin edilmelidir. Eğer bir talep tarafı katılımı varlığı net puant talebi azaltabiliyorsa, bu sistemin gerek duyduğu puant elektrikte bir azalmaya dönüşür. Bundan ayrı olarak, eğer talep tarafı katılımı sistem üzerindeki puant talebi azaltabiliyorsa, azaltılan kapasite genişletme (şebeke güçlendirme) yoluyla, ilave şebeke yatırımlarının azaltılmasına katkıda bulunabilir.

Üretim kapasitesinin azaltılması (net talebi azaltma)

Aşağıdaki grafik her esnek talep sektörünün net puant kapasiteyi azaltarak üretim gereksinimlerini azaltmak için potansiyel katkısını göstermektedir. Sadece alan ısıtma ve akıllı elektrikli araç şarjının herhangi bir formda önemli katkı yaptığı dikkate değerdir. Bunun nedeni, bu talep sektörlerinin pasif olarak çalışırken puant talebi attırmaları ve bu talebi puant zamanların dışına kaydırma kapasiteleri olmasıdır. Bu durum özellikle akıllı elektrikli araç şarjında görülmektedir; elektrikli araç şarjında alan ısıtmaya kıyasla görece düşük bir miktar yıllık enerji söz konusu olmasına rağmen, elektrikli araç şarjının daha büyük esnekliği, elektrikli araç talebinin neredeyse tamamının puant zamanlardan kaydırılabileceği anlamına gelmektedir.

Şekil 28: *Her talep tarafı katılımı sektörünün net puant talebin azaltılmasına katkısı*



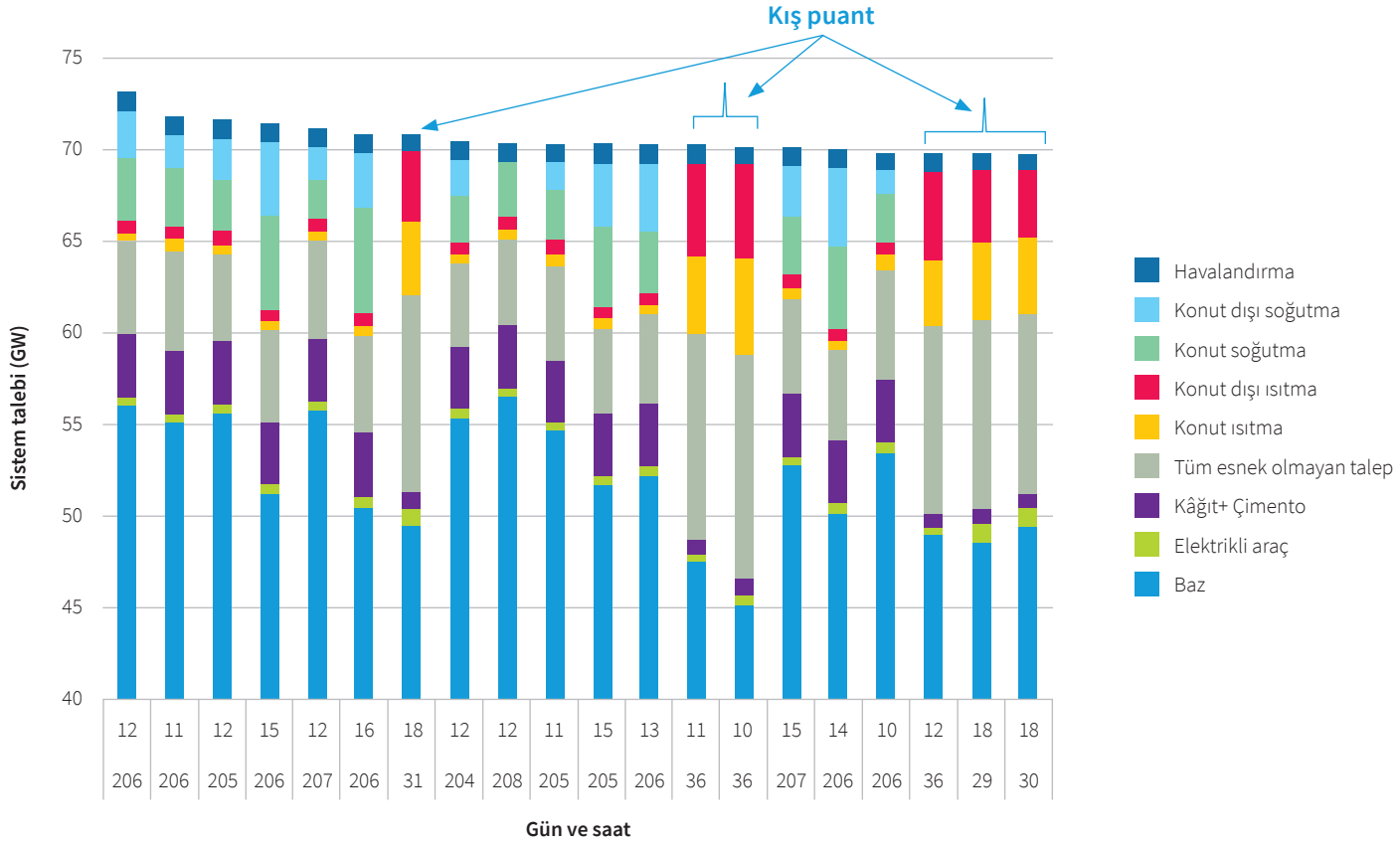
Sistem puant talebinde azaltma (azaltılmış şebeke güçlendirme)

Her talep tarafı katılımı sektörünün puant talebi azaltmaya ne kadar katkıda bulunabileceğini belirlemek için, aşağıda yılın en yüksek 20 talep saati ile her sektörün o talebe katkısı gösterilmiştir. Araçların sıralamasının rasgele olduğu ve anlaşılırlık için grafiğin 40 GW'da başladığı dikkate alınmalıdır.

Puant günün yazın (73 GW, gün 206) ve puant saatlerden altısının yaz saatinde olduğu görülmektedir. Esnek alan soğutma (açık mavi renkler) bu puant zamanlarda 10 GW üzerinde tasarruf sağlayabilirken, sistem puant talebi kışın (Ocak sonu) ısıtma taleplerine bağlı olarak yüksek kalmaktadır. Esnek alan soğutmadan tam fayda elde etmek için esnek alan ısıtmayla birleştirmek gerekmektedir, böylece puant talepler bütün günlerde aşağıya çekilebilir. Aynı şey elektrikli araç şarjı gibi diğer esnek sektörler

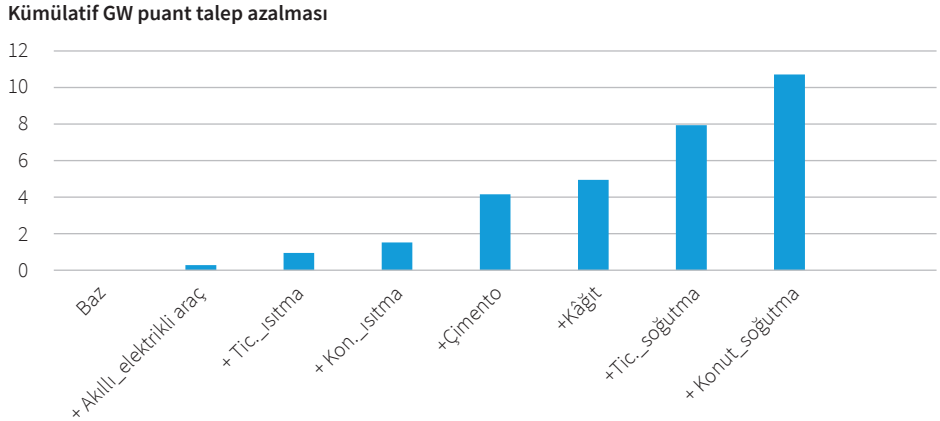
için de geçerlidir: bir esnek sektörü bağımsız olarak etkinleştirmek puant talepte azalma sağlayabilir, fakat tam tasarrufları gerçekleştirmek için, diğer teknolojilerle birlikte yerleştirilmesi gerekir.

Şekil 29: *Talep sektörlerinin en yüksek 20 sistem talep saatine katkısı*



Sistem puant talebindeki kümülatif azalma aşağıdaki grafikte gösterilmiştir. Her adımdaki azaltmanın tüm talep tarafı katılımı teknolojilerinin o noktaya kadar uygulanmasının sonucu olduğuna dikkat edilmesi önemlidir. Örneğin, esnek alan ısıtma tek başına 2 GW tasarruf sağlıyor gibi görünebilir, ancak gerçekte esneklik potansiyelinin daha fazlası esnek alan soğutma yerleştirildiğinde açığa çıkmaktadır. Çeşitli talep sektörleri puant talebe katkıda bulunduğundan, en büyük etki saatler içinde puant talepleri azaltmak için teknolojilerin uyum içinde çalışan bir birleşimi ile elde edilmektedir. Soğutma eklendiğinde ortaya çıkan etkileyici performansın nedeni sadece tek başına soğutma değil, soğutma, ısıtma ve akıllı elektrikli araç şarjının birleşimidir.

Şekil 30: *Puant sistem talebinde talep tarafı katılımı etkinleşmesine bağlı kümülatif azalma (GW)*



Tasarrufların kümülatif olduğu dikkate alınmalıdır. Örneğin, soğutma yerleştirildiğinde ortaya çıkan tasarruflar, esas olarak gerçekleşen soğutma, ısıtma ve elektrikli araç şarjının gizli potansiyeli nedeniyledir.

4.7 Talep tarafı katılımının kümülatif net sistem etkisi

Talep tarafı katılımının en düşük sistem maliyetiyle değişken yenilenebilir enerji kaynağı sağlamaya katkısı Şekil 31'de gösterilmiştir.

Grafik, kümülatif talep tarafı katılımı etkinleşmeden (pozitif y-ekseni) kaynaklanan ve yerleştirilen talep tarafı katılımı sektörlerinin kümülatif maliyetleri (negatif y-ekseni) tarafından dengelenen kümülatif bütün sistem tasarruflarını göstermektedir. Yukarıda açıklandığı üzere, sistem tasarrufları elektrik üretim verimliliği ve değişken yenilenebilir enerji kaynak kesintisinde azaltma (işletim tasarrufları) ile önlenen şebeke ve santral kapasitesi artırımına bağlı tasarrufların bir kombinasyonundan oluşmaktadır. Talep tarafı katılımı maliyeti LCOR ile ifade edilir.

Grafik, esnek alan ısıtma, sıcak su ve akıllı elektrikli araç şarjı yerleştirildiğinde sistem faydasının önemli ölçüde arttığını ve bu talep tarafı katılımı sektörlerini etkinleştirme maliyetinin sistem değerinden düşük olduğunu, bu nedenle bu sektörleri etkinleştirmenin net bir ekonomik faydası olduğunu göstermektedir.

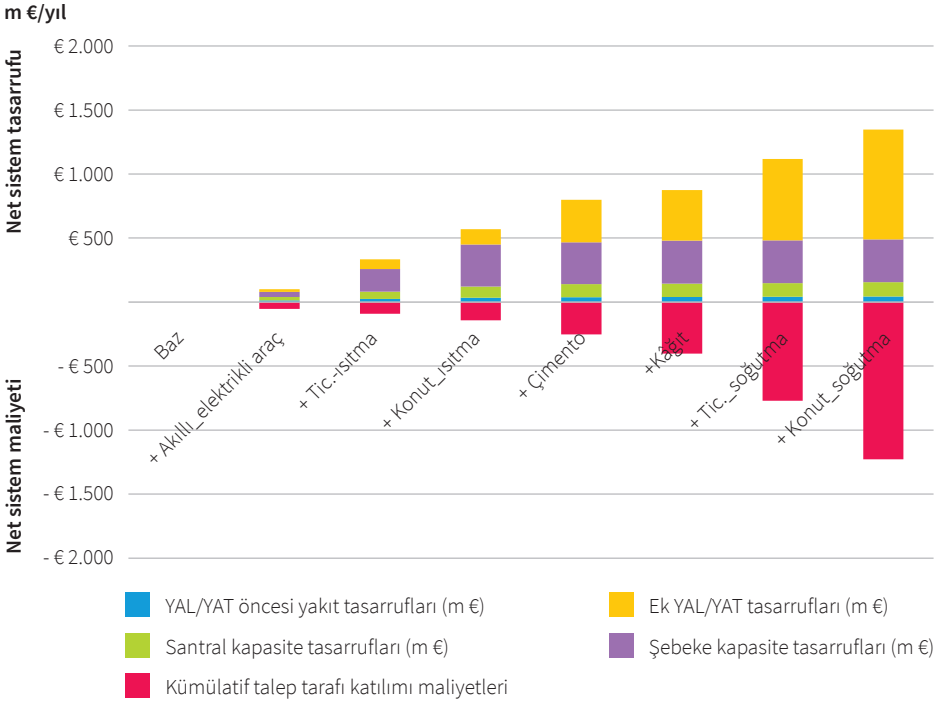
Isıtma, sıcak su ve elektrikli araçlardan sonra, çimento ve kâğıt da özellikle önlenen şebeke kapasitesi artırımında tasarruf sağlayabilir. Ancak, diğer alanlardaki sistem tasarrufları çok düşüktür – bu kümülatif talep tarafı katılımı etkinleştirmenin azalan marjinal değerini göstermektedir.

Kâğıttan sonra, akıllı soğutmanın yerleştirilmesi de sistem faydaları (önlenen şebeke kapasite artışı) getirmektedir, fakat maliyeti yüksektir. Akıllı soğutmanın sistem faydaları akıllı soğutmanın maliyetlerine baskın değildir.

Talep tarafı katılımının sistem değerinin büyük kısmı kapasiteye ilişkin faydalardan gelir.

Sonuçlar grafiğinden gözlenecek önemli bir nokta, sistem değerinin çoğunun hem üretim hem de dağıtım altyapısı için ilave kapasite yatırımlarının ötelenmesinden kaynaklandığıdır. Ayrıca, azalan santral yakıt kullanımı ve santral YAL/YAT maliyetlerinden de tasarruflar vardır, fakat bunlar potansiyel kapasite faydalarına kıyasla küçüktür. Grafikten görüleceği üzere, kapasiteye ilişkin bu faydalar talep tarafı katılımı için sistem değerinin büyük çoğunluğunu oluşturmaktadır. Eğer bu sistem kapasite faydaları talep tarafı katılımı sahibi/işletmecisine ulaşmazsa, herhangi bir talep tarafı katılımı yatırımının ekonomik olarak uygulanabilirliği en iyi ihtimalle marjinal olacak ve tipik olarak talep tarafı katılımı etkinleştirmenin araç sahibi/işletmecisi için ekonomik olmadığı anlamına gelecektir. Bu tür küçük (kW) ölçekli talep tarafı katılımı araçları için, kapasite ve tıkanmayı önleme piyasalarına adil ve ayrımcı olmayan erişim sağlayan mekanizmaların bulunmasını sağlamak önemlidir. Sistem tasarrufları pozitif (x-ekseninin üzerinde) iken, maliyetler negatif (x-ekseninin altında) olarak gösterilmiştir.

Şekil 31: *Kümülatif talep tarafı katılımı maliyetleri ve sistem tasarrufları*

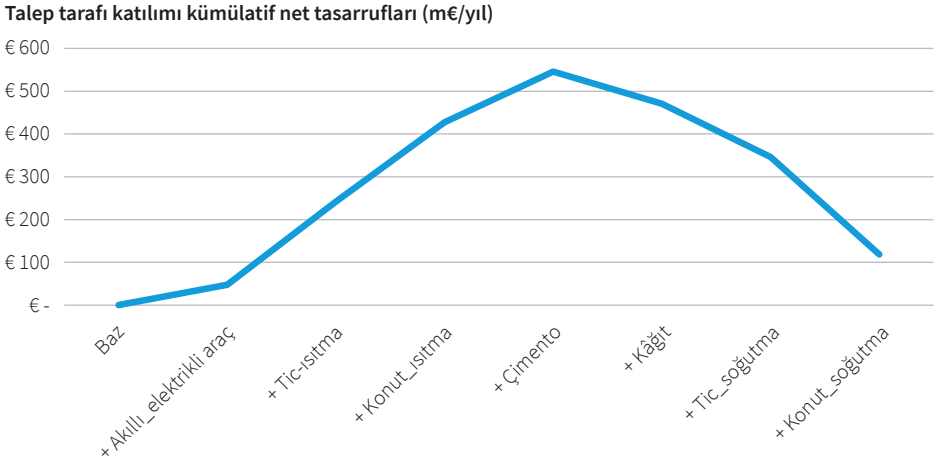


Not: Şebeke ve üretim kapasite yatırım maliyetleri, Avrupa ortalama değerlerini kullanan Element Energy modeline dayanmaktadır.

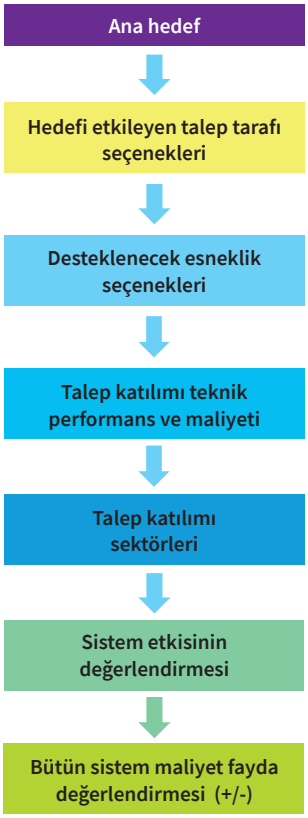
Şekil 32 talep tarafı katılımı etkinleştirmeden kaynaklanan kümülatif net maliyet/tasarrufları göstermektedir. Maksimum net sistem tasarrufu, akıllı elektrikli araç, esnek alan ısıtma ve esnek çimento nedeniyle 550 milyon €/yıl'a çıkabilmektedir. Bunun ardından gelen etkinleştirmeler de sistem tasarrufları sağlamakta, fakat maliyetleri daha yüksek olduğu için net fayda düşmektedir.

Kullanılan maliyet tahminlerinin ılımlı olduğu dikkate alınmalıdır. Özellikle halihazırda akıllı ısıtma altyapısı bulunan konut veya binalarda esnek soğutmanın düşük sermaye maliyetiyle aktive edilmesi mümkün olabilir. Bu tasarruflar sistem faydaları sağlarken akıllı soğutmanın ek maliyetlerini azaltabilir veya ortadan kaldırabilir.

Şekil 32: *Akıllı elektrikli araç şarjı ve akıllı alan ısıtma ile 550 milyon €'ya varan kümülatif sistem tasarrufları mümkündür*



5. Türkiye için talep tarafı katılımı stratejisi ve öneriler



5.1 Talep tarafı katılımı değerlendirme sonuçları

Türkiye'de talep tarafı katılımının teknik kapasitesi

Alan ısıtma ve ulaştırma gibi talep sektörlerinin elektrifikasyonu, Türkiye'nin karbonsuzlaştırma stratejisinin önemli bir bileşeni olacaktır. Ancak, kontrolsüz elektrifikasyonun etkisi puant talebi 2030'a kadar önemli ölçüde artırabilir. Bu durum, puant santral ve dağıtım şebekesi (iletim hatları, trafolar) ile düşük verimlilikle çalışan puant santrallerin elektrik üretim kapasitesinde bir genişleme ihtiyacı doğurabilir. Puant talep artışının o saatlerdeki toptan elektrik fiyatlarını ve ayrıca düşük verimlilikle çalışan puant santrallerin kullanımı nedeniyle, CO_2 yoğunluğunu artırması beklenir. Bu da tedarikçi maliyetlerini artıracak ve müşterilere uygulanan tarifeler ve elektrik fiyatlarını etkileyecektir.

Talep tarafı katılımı bu elektrifikasyonu "akıllı" hale getirme potansiyeline sahiptir, bu da elektrik sisteminde ilave yatırımları (üretimden dağıtıma kadar) önleyebilir, elektrik üretiminin verimliliğini ve sistemin yüksek değişken yenilenebilir enerji kaynağı penetrasyon seviyeleri sağlama kabiliyetini artırabilir. Bu çalışmanın bulgularına göre, alan ısıtma, alan soğutma ve akıllı elektrikli araç şarjının birleştirilmesi 2030'a kadar yazın ve kışın puant talepleri 10 GW'a kadar azaltabilecektir.

Analiz, alan ısıtma ve konut sıcak suyu (1,9 milyon ısı pompası), alan soğutma (binaların %80'inde klima) ve 2,5 milyon otomobilin akıllı elektrikli araç şarjının esneklik potansiyelini ayrıntılı şekilde incelemiştir. Buna ek olarak, çimento, kâğıt ve çelik gibi birçok esnek sanayi de değerlendirilmiştir. Alan ısıtma ve akıllı elektrikli araç şarjının 2030'a kadar daha esnek bir elektrik sistemini desteklemek için, puant talepte 6 GW'ın üzerinde bir net azaltma potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. Bunun nedeni, büyük sektör ölçeği (talebi kaydırmak için puant GW'de yansıtılan) ile yıllık kullanım seviyesinin (talep tarafı katılımı yoluyla kaydırılan yıllık enerji miktarında yansıtılan) bir kombinasyonudur. Özellikle, akıllı elektrikli araç şarjı sisteme yüksek seviyede esneklik sağlamak suretiyle, şarj talebinin sistem ihtiyaçlarına cevap vermesine olanak tanıyarak SHURA'nın Aralık 2019 tarihli çalışmasındaki 2,5 milyon elektrikli aracın Türkiye'nin dağıtım şebekesine entegrasyonunun teknik ve ekonomik olarak yapılabilir olduğu bulgusunu doğrular. Alan ısıtma ve elektrikli araç şarjı potansiyelinin arkasından, çimentonun elektrik yoğun üretim sürecindeki esneklik potansiyeli – 900 GWh/yıl (1 GW'a eşdeğer) üzerinde durulabilir. Esnek alan soğutmanın teknik potansiyeli daha marjinaldir: alan ısıtmayla birlikte puant talepleri azaltmak için yüksek potansiyele sahiptir (7 GW üzerinde talep azaltma), fakat sisteme sunulan ticari kullanım (her yıl için enerji miktarı) düşüktür. Esnek ısıtma için 2000 GWh/yıl üzerindeki kullanıma kıyasla, esnek soğutma için kullanım 200 GWh/yıl'dır.

Türkiye'de 2030'a kadar talep tarafı katılımı etkinleştirmenin maliyet ve faydaları

Ekonomik olarak uygulanabilir olması için, talep tarafı katılımı maliyetinin talep tarafı katılımı etkinleştirmeden doğan sistem tasarrufları tarafından telafi edilmesi gereklidir. Alan ısıtma, sıcak su, alan soğutma ve akıllı şarj gibi dağıtım bağlantılı talep tarafı katılımlarının işletim maliyetlerinin sermaye maliyetlerine göre küçük olduğu görülmektedir. Talep tarafı katılımı için yapılacak sermaye yatırımı, ancak çok fazla saat kullanıma (2000 GWh/yıl üzerine eşdeğer) yayıldığında ekonomik olmaktadır ve bu çalışmada alan ısıtma ve sıcak suyun 40-60 €/MWh maliyetle esneklik sağlama potansiyeline sahip olduğu bulunmuştur. Bu, talep tarafı katılımını mümkün kılmak için bu unsurların en ucuz kaynaklar olduğu anlamına gelmektedir.

Sisteme esneklik sağlamak üzere uygulandığında talep tarafı katılımı, işletim ve yatırım (üretim ve dağıtım altyapısı için gereken ilave kapasitenin azaltılması) verimliliğini içeren birçok mekanizma yoluyla sistem maliyetlerini azaltabilir. Türkiye için 2030 talep tarafı katılımı sistem modellemesinde, talep tarafı katılımının ekonomik olarak:

- *Yükleri puant zamanların dışına kaydırarak,* verimli temel yük santralleri tarafından daha fazla elektrik üretilmesine olanak vermek suretiyle, konut alan ısıtma, ticari alan ısıtma, akıllı elektrikli araç şarjı ve katılımcı çimento üretiminin her birisinden 10-15 milyon €/yıl tasarruf sağlayabileceği;
- *Termik santrallerin YAL/YAT ile* konut alan ısıtma, ticari alan ısıtma, akıllı elektrikli araç şarjının her birisinden 35-45 milyon €/yıl tasarruf sağlayabileceği;
- *Aşağıdaki kapasite yatırımlarını (üretimde ve dağıtım şebekesinde) önleyerek*,
  - o Akıllı elektrikli araç şarjından yaklaşık 100 milyon €/yıl tasarruf,
  - o Konut alan ısıtma ve ticari alan ısıtmadan yaklaşık 300-400 milyon €/yıl tasarruf

sağlayabileceği görülmektedir.

Talep tarafı katılımı, birleştirilmiş alan ısıtma ve akıllı elektrikli araç şarjından toplamda 122 milyon €/yıl verimlilik tasarrufu sağlayabilirken, yaklaşık 500 milyon €/yıl kapasite önleme tasarrufu sağlayabilmektedir. Toplam tasarruflar 622 milyon €/yıl olmaktadır, bunlar net tasarruflar değildir. Talep tarafı katılımının yatırım maliyeti 72 milyon €/yıl, net tasarrufları ise böylece 550 milyon €/yıl olmaktadır. Tüm sistem maliyetleri (toptan piyasalar üzerinden emtia maliyetleri ve tarifeler üzerinden şebeke ve üretim kapasite yatırımları gibi emtia dışı maliyetler) son tahlilde tüketici tarafından üstlenildiği için, bu tüketicinin faturasında önemli bir düşüşü temsil etmektedir.

Akıllı şarj, alan ısıtma ve çimento sektöründe esnekliğin etkinleştirilmesinden toplamda 550 milyon €/yılın üzerinde net sistem faydası elde edilebilmektedir.

Türkiye'de talep tarafı katılımının teknik ve ekonomik uygulanabilirliği için öneriler

Akıllı şarj, alan ısıtma ve çimento sektöründe esnekliğin etkinleştirilmesinden toplamda 550 milyon €/yıl üzerinde net sistem faydası elde edilebilmektedir. Diğer sektörlerde esneklik aşırı maliyetli olmakta, marjinal sistem faydaları talep tarafı katılımı kullanma maliyetinden daha düşük kalmaktadır.

Esnek alan ısıtma ve akıllı elektrikli araç sektörlerinin yüksek performanslarının nedeni, puant zamanlarda talebin azaltılmasına ve önlenen üretim kapasite artışından gelen sistem tasarruflarına katkıda bulunma kabiliyetleridir. Alan soğutma gibi diğer sektörlerle esnek şekilde birleştirildiğinde, ötelenen ilave şebeke yatırımlarından gelen ek sistem tasarrufları da önemlidir.

Sistem kapasite faydalarını ekonomize etmeden, talep tarafı katılımı net faydası sıfıra yakındır (yani, talep tarafı katılımı etkinleştirmeden doğan verimlilik tasarrufları talep tarafı katılımı aktivasyon maliyetleri tarafından eksiltilmektedir). Talep tarafı katılımının ekonomik yapılabilirliğini desteklemek, kapasite önlemenin sistem değerini nakde çevirmek için hayati önemdedir. Kapasite önleme mekanizmaları arasında Birleşik Krallık'taki kapasite piyasaları ile sanal elektrik santralleri ve ABD'deki PJM (bölgesel bir iletim kuruluşu) bulunmaktadır. YAL/YAT gibi işletim verimliliği tasarruflarının ekonomize edilmesi daha kolaydır, çünkü bunlar enerji tedarikçisinin bu tasarrufları çoklu zaman tarifeleri üzerinden talep tarafı katılımı sağlayıcısına (son kullanıcı veya bir kümeleyici) aktarmasıyla, toptan piyasalar yoluyla geri alınabilmektedir.

5.2 Talep tarafı katılımı etkinleştirme için önkoşullar

Bu çalışmada sunulan analiz, talep tarafı katılımının esneklik gerektiren bir elektrik sistemine önemli teknik değer katabileceğini ve bu esnekliğin bir kısmının, talep tarafı katılımı maliyetlerinin yarattıkları sistem değerinden çok daha az olması nedeniyle, ekonomik olarak sağlanabileceğini göstermektedir.

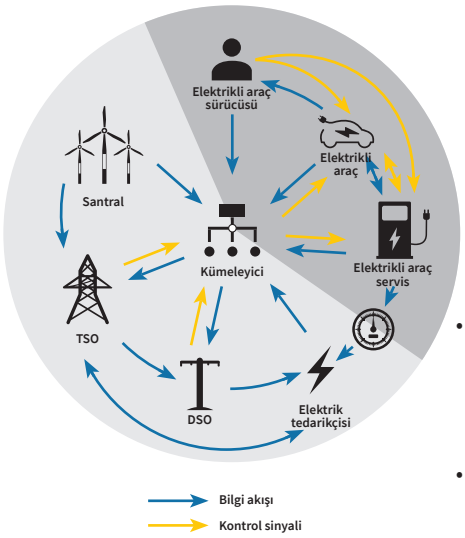
Bu araçlara rağmen, büyük ölçekli talep tarafı katılımının gelecekte Türkiye'deki karbonsuzlaştırılmış bir elektrik şebekesine esneklik sağlayabileceğinin garantisi yoktur ve bu yeni oluşmaya başlayan sektörün gelişmesine destek olmak için yürürlüğe konulması önerilen birçok gereklilik vardır. Bunlar aşağıda ortaya konulmuştur.

5.2.1 Gereklilikler

Güvenilir ve hızlı bir iletişim sistemi YAL/YAT veya kontrol talimatlarını enerji sistemindeki esnek varlıklara göndermek için gereklidir.

Talep tarafı katılımını sisteme fayda sağlamak için etkinleştirmek, özellikle bu tür talepler küçükse (kW ölçeğinde) ve sisteme en düşük voltaj seviyesinde bağlanmışsa, elektrik sistemini yönetmek için yeni bir yaklaşımdır. Bu işi yapmak için çeşitli net bileşenler gereklidir:

- Güvenilir ve hızlı bir iletişim sistemi: Bu, bir paydaştan (TSO, DSO tedarikçisi veya bir ara kümeleyici) gelen YAL/YAT veya kontrol talimatlarını enerji sistemindeki esnek varlığa göndermek için, ayrıca talimatlara uygun şekilde aksiyon alındığını doğrulamak ve faturalandırmayı desteklemek amacıyla, elektrik veya enerji ölçümü gibi verileri göndermek için gereklidir. Veri aktarma frekansı sağlanan sistem hizmetinin teknik gerekliliklerini karşılamalıdır. Bu rapor 15-, 30-, veya 60- dakikalık raporlama aralıkları gerektirebilecek enerji ve puant elektrik/tıkanma hizmetlerini odağa almıştır. Yan hizmetlerin ve sonunda frekans yanıtının sağlanması ölçüm ve veri aktarımı için en yüksek gerekliliği teşkil eder ve birçok TSO bu tür hizmetlerin pratikte nasıl sağlanabileceğini teknik bazda değerlendirmektedir (Smarter Networks, 2019).
- Talep profilini yeniden çıkarmaya karşılık olarak saatlik/yarım saatlik çözünürlükte akıllı ölçüm altyapısı: Elektrik ölçümü talep tarafı katılımı varlığının gönderilen talimata göre "esnetildiğini" doğrulamak için gereklidir. Yukarıda sözü edildiği gibi, enerji piyasaları ve kapasiteye ilişkin hizmetler için tipik olarak saatlik veya yarım saatlik çözünürlük yeterliyken, yan hizmetlerin sağlanması daha yüksek ölçüm tanımlaması gerektirecektir.
- Türkiye'nin binaları: Bunların akıllı sayaçlar kullanmaları ve akıllı sayaç takma şartı için elektrik tüketim alt sınırlarını düşürmeleri istenebilir, bu elektrik tüketimini azaltmak için fırsatlar sağlamaya yarayacaktır (SHURA, 2020 d). Gizlilik ve veri analitikleri için standartların tanımlanması da güvenli bir altyapı kurmak için önemlidir.
- Referans değer sorununun çözümü: Bir talimat geldiğinde talep tarafı katılımı varlığının talepteki değişikliğe karşılık vermesi gerektiğinden, kesintiye uğramadan beklenen tüketimi yansıtan bir referans talep profili belirlemesi önemlidir. Henüz talep araçları üzerine büyük veri setleri bulunmadığı için, bu zorlu bir problem olarak ortaya çıkmaktadır.
- YAL/YAT ve kontrol için etkin kümeleyici hizmeti: Bir aracıdan her talep tarafı katılımı varlığından hangi aksiyonun beklendiğini belirlemesi ve her araçla veri alışverişi yapması istenir.



Küçük (kW) ölçekli araçlara gitmek kontrol altındaki araçların sayısında büyük bir artış anlamına geldiği için, portföydeki tüm araçların konumunu programlama ve onlarla etkin şekilde iletişim kurma kabiliyeti önemli bir fonksiyondur. Bu yeni bir gerekliliktir ve bu nedenle kümeleyicinin rolü sistemde önemli ve yeni bir kolaylaştırıcı rol olarak ortaya çıkmıştır. Başarılı kümeleyiciler araçların hizmet sağlama gerekliliklerini ve enerji piyasalarını anlarlar, piyasa fiyatlarını, araç kullanımını, sıcaklıkları, vd. öngörme kabiliyetleri ve hizmet verdikleri piyasalara sözleşmeli erişimleri vardır.

- Tüketici ve kümeleyicilerin mevzuatta piyasa paydaşları olarak tanımlanması: Paydaşların piyasaya katılımı için özel ruhsatlandırma gerekmektedir. Talep tarafı katılımı mekanizmalarının kümeleyiciler vasıtasıyla rezervleri dengeleme ve kapasite piyasalarına katılımı için uygunluk kriterleri de tanımlanmalıdır.
- Teşvik mekanizması: Müşteri veya talep tarafı katılımı varlığı sahibinin sisteme esneklik sağlamak için özendirilmesi gereklidir. Uygun bir elektrik tarifesi varlığın kullanımını sistem faydasına bağlayabilir, örneğin:
  - Puant talepleri önlemek ve arz puant talepleri sırasında talebi artırmak için, basit bir statik çoklu tarife zamanı kullanılabilir. Etkin olması için bu puant taleplerin düzenli olarak meydana gelmesi gereklidir.
  - Dinamik bir çoklu zaman tarifesi tüketime anlık net talep bazında bir bedel verebilir, bu yüksek değişken yenilenebilir enerji kaynak payına sahip şebekelerde amaca daha uygundur.
  - Şebeke katılım tarifeleri, bazı iletim şebekesi tarifelerinde olduğu gibi şebekeler üzerinde yüksek yük faktörlerine sahip olabilir; ayrıca bazı dağıtım şirketleri tarafından belirlendiği gibi tıkanmayı da önleyebilir.

Talep tarafı katılımı kullanıcıları sisteme esneklik sağlamak için ekonomik olarak teşvik edilmelidir.

Bu çalışma, talep tarafı katılımı kapasite faydalarını oldukça değerli olarak tanımlamaktadır. Talep tarafı katılımı müşterileri bu gelir akışına erişmek isteyecektir. Kapasite genellikle sözleşmeli olduğu ama her zaman kullanılmadığı için, tarife veya müşteriye yapılacak ödemenin, araç başına yıllık ödeme gibi, bunu yansıtması gerekir.

Bu çalışmada, sistem üretim kapasitesi faydaları, temsil edici nitelikteki CONE (yeni katılımcı maliyeti) değerlerinden türetilmiştir. Eğer mevcut bir üretimin arz fazlası varsa, bu en düşük maliyetle kullanılabilir ve talep tarafı katılımı tedarikçileri için mevcut kapasite değerlerine aşağı yönlü baskı yapabilir.

5.2.2 Zorluklar (talep tarafı katılımı sektörü/müşteri odaklı)

Küçük ölçekli talep tarafı katılımı yeni oluşmaya başlayan bir sektördür fakat değişken yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik şebekelerine yüksek penetrasyonu için önemli bir kolaylaştırıcı olarak gelişmektedir. Talep tarafı katılımının daha da yaygınlaşmasını teşvik etmek için üstesinden gelinmesi gereken bazı zorluklar vardır:

- Pasif talebi azaltmak için mevzuat: Akıllı şarjın değeri ve pasif elektrikli araç şarjının sistem cezası giderek daha iyi anlaşılmaktadır. Bazı yetki alanlarında pasif (yönetilmeyen) şarj araçlarının satışı caydırıcıdır. Bu tür adımlar akıllı şarj altyapısının "akıllıca" kullanılacağını garanti etmemekte, sadece akıllı şarjın yasalarca benimsenme ihtiyacı ve yönetilmeyen pasif elektrifikasyonun sorunlu kapasitesini önlemek için daha fazla onaylama olduğunu göstermektedir. Böyle bir mevzuat aynı zamanda talep tarafı katılımı kuralları için bir çerçeve de sağlayarak, referans oluşturma gibi zorluklar için potansiyel çözüm sunar. Türkiye enerjinin verimli kullanımına ilişkin yönergelerde yapılan revizyonlarla bu sorun üzerinde çalışmaktadır ve 11. Kalkınma Planı'nda (Onbirinci Kalkınma Planı, 2019) buna yer verilmiştir.

- Tüketicileri ekipman kurmaya teşvik etmek: Elektrik sistemine hizmet sağlamak şimdiye kadar talebin elektrifikasyonun birincil nedeni olmamıştır. Müşteriler arasında, esnek çalışmanın enerji hizmetinin sağlanmasına (bir evi gerekli sıcaklıkta tutmak veya bir elektrikli aracın şarjlı ve hazır bulunmasını sağlamak gibi) zarar getirmeyeceğine dair düşünceler vardır. Termostatlar gibi akıllı ev teknolojilerinin (bunların masrafını müşteriler karşılamaktadır) daha fazla yayılması, daha fazla müşterinin bu tür temel fonksiyonların kontrolünü üçüncü taraflara bırakmaya istekli olduğunu göstermektedir. Bu tür teknolojiler yaygınlaştıkça bunlara olan aşinalığın artması, hızlanan yayılmanın şebeke etkisini destekleyecektir (Smart Energy, 2020).
- Talep tarafı katılımı gelirlerinde şeffaflık: Talep tarafı katılımının salt ekonomiye dayanarak uygulanması zordur, çünkü araçların kullanım oranları özünde şeffaf değildir. Yine de, sisteme sunulabilecek talep tarafı katılımının fiyatını belirlemek için kullanım önemlidir. Bu engeli aşmak için, müşterilerin düşük kullanımın olumsuzluklarına karşı, yatırımın telafisini garanti eden bir çeşit taban fiyat ile korunduğu büyük ölçekli denemeler gerekecektir. Bu maliyetlerin tedarikçilere yüklenmesi, müşterileri araçların maksimum kullanımı için teşvik edebilir. Yenilikçi elektrik tedarikçileri de müşterilere bu tür açık garantiler sunulmasındaki değeri akıllı talebin, markalaşmanın ve sisteme yeni müşteriler katmanın teşvik edici bir yolu olarak görmektedir.

5.3 Rüzgâr ve güneş entegrasyonunu desteklemek için talep tarafı katılımını yaygınlaştırmak

Artan akıllı ev teknolojileri giderek daha fazla kullanıcının yönetimi üçüncü taraflara bırakma isteğini göstermektedir.

Bu çalışmanın sonuçları, Türkiye'de daha yüksek oranda değişken yenilenebilir enerji kaynağı sağlanması için önemli bir talep tarafı katılımı potansiyeli bulunduğunu göstermektedir. Talep tarafı katılımının rolü Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı – Eylem E10 – Talep Tarafı Katılımı için Bir Piyasa Altyapısı Kurulması kapsamında zaten tanımlanmış, böylece talep tarafı katılımının Türkiye'nin enerji sisteminin dönüştürülmesine sağlayabileceği çok yönlü katkı vurgulanmıştır.

Talep tarafı katılımının yaygınlaşmasıyla mümkün kılınacak sinerjistik bir ulusal rüzgâr ve güneş enerjisi entegrasyon stratejisi hayati önemdedir: Daha yüksek seviyelerde değişken yenilenebilir enerjiyi hayata geçirmek, eğer ekonomik olmayan seviyelerdeki enerji kesintileri önlenecekse, daha esnek ve faal bir iletim ve dağıtım şebekesi gerektirecektir. Talep tarafı katılımı bu esnekliğe ekonomik şekilde katkıda bulunabilir ve rüzgâr ve güneş enerjisi entegrasyonunu destekleyebilir. Buna ek olarak, talep tarafı katılımı daha yüksek seviyelerde yayıldıkça marjinal değerin aşınmasını önlemek için değişken yenilenebilir enerji kaynak yayılımını artırmaya devam ederek sistemin esneklik talebini korumak önemlidir. Gerekli olan şey, elektrik sisteminde talep tarafı katılımı sağlamak için bir piyasa altyapısının kurulmasına değinen Türkiye 11. Kalkınma Planı'na (2019-2023) dayanan sinerjistik bir değişken yenilenebilir enerji kaynağı ve talep tarafı katılımı stratejisi ile talep tarafı katılımının yayılmasıdır.

Rüzgâr ve güneş enerjisi entegrasyonu ile talep tarafı katılımının birlikte uygulanması teşvik edilmelidir: Talep tarafı katılımının rüzgâr ve güneş enerjisi yayılımıyla uyum sağlama ve bunu destekleme kabiliyeti, ikisi arasındaki şebekenin kapasitesi ile sınırlıdır. Rüzgâr ve güneş enerjisi arzı ile esnek talebin birlikte uygulanması, mümkün olan yerlerde teşvik edilmelidir. Birlikte uygulama örnekleri aşağıdakileri kapsamalıdır:

- Yazın soğutma talebinin en az 15 GW toplam potansiyele sahip çatı üstü güneş sistemleri ile telafi edilmesi (SHURA, 2020 a).
- Puant güneş enerjisi üretiminin, 2030'a kadar 2,5 milyon elektrikli aracın gün içinde (işyeri) şarjı ile telafi edilmesi (SHURA, 2019 a).

Akıllı elektrik satın alma sözleşmeleri geliştirme: Güneş elektrik üreticileri enerjilerinin değerini üretim zamanı ile tüketim zamanını eşleştirerek artırabilirler. Elektrik satın alma sözleşmeleri arz ve talebin bağlantısını artıran esnek müşteriler ile ilgilidir. Enerji için yerel piyasalar (güneş için) geliştirilmesi önemlidir.

Dinamik çoklu kullanım zamanı tarifeleri: Rüzgâr ve güneş enerjisi entegrasyonu nedeniyle günlük dalgalanma artacağı ve net talep daha değişken hale geleceği için, tüketimle rüzgâr ve güneş enerjisi arzı arasında bağlantı kuran dinamik çoklu zaman tarifelerine erişimin artırılması gereklidir.

Türkiye'de talep tarafı katılımı ve sektör eşleştirme için düzenleyici bir çerçeve gereklidir: Kısa vadede, tıkanmaları çözmek için talep tarafı katılımının yan hizmetler piyasasına katılımına izin verilmeli, bunu gün içi ve gün öncesi piyasalar izlemelidir. Öte yandan, piyasa tamamen serbestleşene kadar dinamik fiyatlandırma uygulanmalıdır. Bunun için ilk adım Türkiye'de hem statik hem de dinamik çoklu zaman tarifelerini birlikte oluşturmak olabilir. Sanayi yüklerine ek olarak, ticari ve konut yükleri de Türkiye'de talep tarafı katılımı uygulaması için iyi bir geliştirme noktası olabilir. Bu daha sonra daha düşük yük seviyelerine genişletilebilir.

Referanslar

AA, 2019. Aşağıdaki adreste bulunabilir: https://www.aa.com.tr/en/economy/turkey-expects-1-million-electric-cars-on-roads-by-2030/1704467

Aydın, E., 2018. An Assessment of Residential Energy Efficiency in Turkey. IICEC Energy And Climate Research Paper.

BEIS, 2017. Realising the Potential of DSR to 2025. [Online]

Aşağıdaki adreste bulunabilir: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/657140/DSR_ressearch_Executive_Summary.pdf

BMWi, 2020. Industrie als Partner der Energiewende. [Online]

Aşağıdaki adreste bulunabilir:

https://www.bmwi-energiewende.de/EWD/Redaktion/Newsletter/2020/02/Meldung/News1.html

Bundesnetzagentur, 2019. Monitoring Report 2019. [Online]

Aşağıdaki adreste bulunabilir: https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen_Institutionen/DatenaustauschundMonitoring/Monitoring/Monitoringberichte/Monitoring_Berichte_node.html

DENA, 2013. Handbuch Lastmanagement. [Online]

Aşağıdaki adreste bulunabilir: https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Pdf/1408_Lastmanagement_Handbuch.pdf

Deporter, S. & Assimon, P. M., 2011. Les Véhicules Electriques en Perspective. [Online]

Aşağıdaki adreste bulunabilir: https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/43/001/43001305.pdf

Ecofys, 2016. U-value Maps Turkey. s.l.: s.n.

Element Energy, 2018. Charger Use Study - Recharge The Future. [Online]

Aşağıdaki adreste bulunabilir: http://www.element-energy.co.uk/wordpress/wp-content/uploads/2019/02/20180921_UKPN-Recharge-the-Future_Charger-Use-Study_FINAL.pdf

Energy Affairs General Directorate, 2019. Balance Chart 2018. [Online]

Aşağıdaki adreste bulunabilir: https://www.eigm.gov.tr/tr-TR/Denge-Tablolari/Denge-Tablolari

ENTRANZE Project, 2013. Data Mapping Tool. [Online]

Aşağıdaki adreste bulunabilir: https://entranze.enerdata.net/

ENTSO-E, 2019. 2018 TYNDP Data and Expertise as Key Ingredients. [Online]

Aşağıdaki adreste bulunabilir: https://eepublicdownloads.blob.core.windows.net/public-cdn-container/clean-documents/tyndp-documents/TYNDP2018/consultation/Technical/DataExpertise.pdf

Gelaro, R., 2017. The Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications. Version 2 (MERRA-2). Journal of Climate.

Gils, H. C., 2014. Assessment of the Theoretical DSR Potential in Europe. Energy.

Gils, H. C., 2016. Economic Potential for Future DSR in Germany – Modeling. Applied Energy, pp. 401-415.

GIZ and Turkish Ministry of Environment and Urbanisation, 2018. Energy Efficiency Technology Atlas: Executive summary. s.l.: s.n.

Heidelberg Cement, 2020. Herstellung von Zement. [Online]

Aşağıdaki adreste bulunabilir: https://www.heidelbergcement.com/de/herstellung-von-zement

IRENA, 2018. Power System Flexibility. [Online]

Aşağıdaki adreste bulunabilir: https://www.irena.org//media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Nov/IRENA_Power_system_flexibility_1_2018.pdf

IRENA, 2019. Demand-side Flexibility for Power Sector Transformation. [Online]

Aşağıdaki adreste bulunabilir: https://www.irena.org/publications/2019/Dec/Demand-side-flexibility-for-power-sector-transformation

Ministry of Energy and Natural Resources, 2008. National Standard for Thermal Insulation Requirements for Buildings. s.l.: s.n.

Münster et al, 2020. Sector Coupling State of the Art and Perspectives. [Online] Aşağıdaki adreste bulunabilir: https://www.researchgate.net/publication/339365854_Sector_Coupling_Concepts_State-of-the-art_and_Perspectives

New Climate Institute and Climate Analytics, 2019. Scaling up Climate Action: Turkey. s.l.: s.n.

Norddeutsche Energiewende, 2018. Trimet investiert in Flexibilisierung. [Online]

Aşağıdaki adreste bulunabilir: https://new4-0.erneuerbare-energien-hamburg.de/de/new-40-blog/details/trimet-investiert-in-flexibilisierung.html

Nursimulu, A., 2016. Demand-Side Flexibility for Energy Transitions: Policy Recommendations for Developing. [Online]

Aşağıdaki adreste bulunabilir: https://irgc.org/wp-content/uploads/2018/09/Demand-side-Flexibility-for-Energy-Transitions-Policy-Brief-2016.pdf

Onbirinci Kalkınma Planı, 2019. TC. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı. [Online] Aşağıdaki adreste bulunabilir: https://sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2020/06/Eleventh_Development_Plan-2019-2023.pdf

SHURA and BPIE, 2019. Enhancing Turkey's Policy Framework for Energy Efficiency of Buildings. and Recommendations for the Way Forward Based on International Experiences. s.l.: s.n.

SHURA, 2018. Increasing the Share of Renewables in Turkey's Power System: Options for Transmission Expansion and Flexibility. [Online]

Aşağıdaki adreste bulunabilir: https://www.agora-energiewende.de/fileadmin2/Partnerpublikationen/2018/SHURA_Partnerpublikationen/SHURA_Increasing-the-Share-of-Renewables-in-Turkeys-Power-System_Report.pdf

SHURA, 2019 a. Transport Sector Transformation: Integrating Electric Vehicles into Turkey's Distribution Grids. s.l.: s.n. Aşağıdaki adreste bulunabilir: https://www.shura.org.tr/wp-content/uploads/2019/12/Transport-sector-transformation.Integrating-electric-vehicles-into-Turkey%E2%80%

SHURA, 2019 b. Costs and Benefits of Options to Increase System Flexibility. [Online]

Aşağıdaki adreste bulunabilir: https://www.agora-energiewende.de/fileadmin2/Partnerpublikationen/2019/SHURA_Partnerpublikationen/SHURA_Costs-and-benefits-of-options-to-increase-system-flexibility.pdf

SHURA, 2019 c. Enerji ve Ulaştırma Sektörleri Dönüşümünde Batarya Teknolojilerinin Rolü: Eğilimler. Fırsatlar ve Yenilikçi Uygulamalar. [Online]

Aşağıdaki adreste bulunabilir: https://www.shura.org.tr/wp-content/uploads/2020/01/Enerji-ve-Ulastirma-Sektorleri-Donusumunde-Batarya-Teknolojilerinin-Rolu-Egilimler-Firsatlar-ve-Yenilikci-Uygulamalar-.pdf

SHURA, 2020 a. The Potential for Rooftop PV Systems in Buildings in Turkey – Necessary Financing Models and Policies for the Implementation of Rooftop PV Systems. s.l.: s.n.

SHURA, 2020 b. Optimum Electricity Generation Capacity Mix for Turkey towards 2030. [Online]

Aşağıdaki adreste bulunabilir: https://www.shura.org.tr/wp-content/uploads/2020/08/ExecutiveSum.pdf

SHURA, 2020 c. The Role of Energy Efficiency in Turkey's Energy Transition. [Online]

Aşağıdaki adreste bulunabilir: https://www.shura.org.tr/wp-content/uploads/2020/10/SHURA_Ana-Rapor-1.pdf

SHURA, 2020 d. Türkiye Elektrik Sistemi için En Ekonomik Katkı: Enerji Verimliliği ve Yeni İş Modelleri. [Online]

Aşağıdaki adreste bulunabilir: https://www.shura.org.tr/turkiye-elektrik-sistemi-icin-en-ekonomik-katki-enerji-verimliligi-ve-yeni-is-modelleri/

Smart Energy, 2020. [Online]

Aşağıdaki adreste bulunabilir: https://www.smart-energy.com/industry-sectors/iot/smart-thermostats-dominate-european-connected-home-market/

Steurer, M., 2017. Analysis of Demand Side Integration for an Efficient and Environmentally Friendly Energy Supply. [Online]

Aşağıdaki adreste bulunabilir: https://elib.uni-stuttgart.de/handle/11682/9198

Technology, P. 2014. Electricity DSR. [Online]

Aşağıdaki adreste bulunabilir: http://researchbriefings.files.parliament.uk/documents/POST-PN-452/POST-PN-452.pdf

Turkish Standards Institute, 2008. TS 825 Thermal Insulation Requirements for Buildings. Ankara: s.n.

TÜBİTAK, 2020. Technology Office. Aşağıdaki adreste bulunabilir: https://ee.mam.tubitak.gov.tr/en/laboratories/batteryenergy-storage-technologies-laboratory

UEVEP, 2017. Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı 2017-2023. [Online] Aşağıdaki adreste bulunabilir: https://policy.asiapacificenergy.org/sites/default/files/National%20Energy%20Efficiency%20Action%20Plan%20

%28NEEAP%29%202017-2023%20%28EN%29.pdf

UK Parliamentary Office of Science & Technology, 2014. Electricity DSR. [Online]

Aşağıdaki adreste bulunabilir: http://researchbriefings.files.parliament.uk/documents/POST-PN-452/POST-PN-452.pdf

Umweltbundesamt, 2015. Potentiale Regelbarer Lasten in Einem Energieversorgungssystem mit Wachsendem Anteil Erneuerbarer Energien. s.l.: s.n.

World Bank, 2020. Country Profile Turkey. [Online]

Aşağıdaki adreste bulunabilir: https://data.worldbank.org/country/turkey

Esnek sanayi üretimi

2018 için bildirilen (Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, 2019) ve 2030 için 2.3'te açıklanan yöntemi kullanarak tahmin edilen elektrik talebi Tablo 11'de verilmiştir.

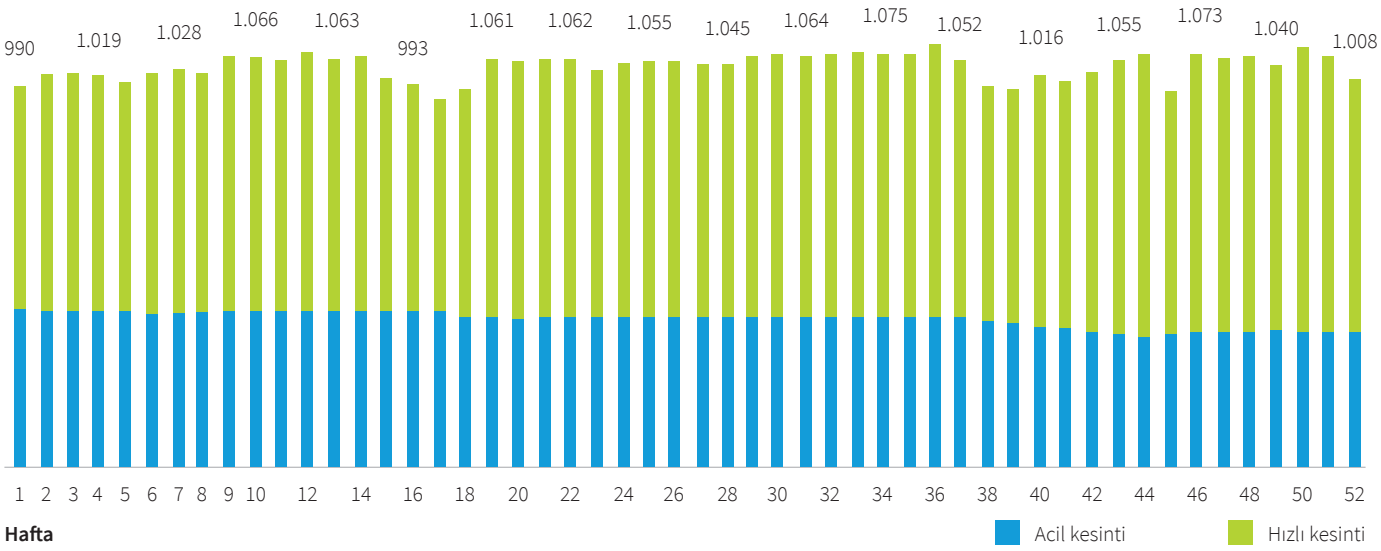
Tablo 11: *2018 için bildirilen ve 2030 için tahmin edilen sanayi elektrik talebi (baz)*

Sanayi sektörü	Elektrik talebi 2018 (GWh)	Elektrik talebi 2030 (GWh)
Kâğıt ve kâğıt ürünleri üretimi	3.439	6.938
Demir ve çelik ürünleri üretimi	25.502	51.445
Demir dışı metal ürünleri üretimi	3.590	7.242
Fabrikasyon metal ürünleri üretimi	2.188	4.413
Çimento ürünleri üretimi	8.625	17.398
Cam ürünleri üretimi	2.033	4.102
Seramik ürünleri üretimi	2.273	4.585
Gıda, içecek, tütün ürünleri üretimi	7.805	15.744
Tekstil, deri ürünleri üretimi	18.077	36.466
Ahşap ve ahşap ürünleri üretimi	2.228	4.495
Kimya, petro-kimya ürünleri üretimi	13.146	26.519
Makine, elektrikli, elektronik ürünler üretimi	2.756	5.559
Ulaşım araçları üretimi	2.589	5.224
Mobilya üretimi	825	1.663
İnşaat	3.797	7.659
Diğer sanayi	15.499	31.266

Almanya'da halen uygulanan sanayi yük azaltma

- Almanya'da sanayi talep tarafı katılımından azaltılan 1 GW yük, 30 sanayi tesisinden oluşan bir havuzdan haftalık açık artırmalarda TSO'lar tarafından satın alınmaktadır (Aşağıdaki grafikle karşılaştırınız).
- Ancak bu talep tarafı katılımı 2018'de sadece 13 gün kullanılarak toplam 5 GWh kullanılmış talep azalması sağlamıştır.
- Tesislere bulunabilirlik ve kullanım ödemeleri yapılmıştır.
- 5 GWh of kullanılmış talep tarafı katılımı, 2018'deki kullanılmış talep tarafı katılımının her MWh'i için 6.000 €/MWh maliyete tekabül etmektedir.
- Bu tip nadir olaylar, değişken yenilenebilir enerji kaynak çıktısını yönetmek için günlük bazda talep tarafı katılımı gerektiren sistemlerdeki talep tarafı katılımı biçiminden farklıdır.

Şekil 33: *Almanya'da 2018'de her hafta satın alınan yük kesinti kapasitesi (MW)*



Sanayi ve konut talep tarafı katılımı maliyeti karşılaştırması

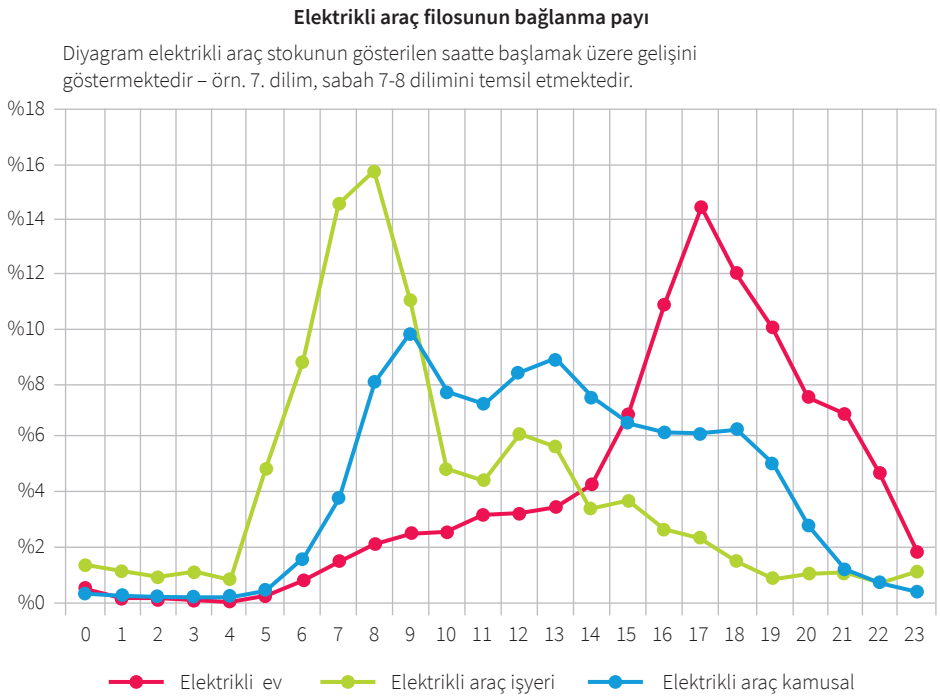
Belirtildiği gibi, enerji yoğun süreçler, eşleştirme BİT altyapısında sermaye yatırımı olmadan talep tarafı katılımı sağlanmasına olanak vermekte, ancak bu tür talep tarafı katılımlarının kullanımı yüksek değişken maliyet doğurmaktadır.

Elektrikli araçlar

Elektrikli araç bağlanma profilleri

Varsayılan profiller, elektrikli araç kullanım profilleri üzerine UKPN için yapılan geniş kapsamlı kaynak taramasından (Element Energy, 2018) alınan yakın tarihli bulgulara dayanmakta ve Şekil 34'te gösterilmektedir. Konut yerleşim alanlarındaki yavaş cadde üstü kamusal şarj cihazları, modelleme amaçlarımız için evde şarja (çoğunlukla gece boyunca) eşdeğer kabul edilmiş ve böylece 'evde şarj' kategorisine dahil edilmiştir.

Şekil 34: *: Evde, işyerinde ve kamusal şarj cihazlarında elektrikli araç bağlanma profilleri*



Şarj kapasitelerinin arka planı

- Ev: Birleşik Krallıkta en yaygın olarak 3 kW ve 7 kW bulunmaktadır. Gece boyu şarj için 3 kW yeterli olduğu halde, gelecekte sık hızlı şarj ihtiyacı nedeniyle insanların 7 kW tercih edecekleri beklenmektedir.
- İş: İşyerinde şarj için halen 7 kW ve 22 kW en yaygın kapasitelerdir. Ancak, şimdilik sadece Renault ZOE 22 kW'de şarj edilebilmekte, çoğu elektrikli araç şarjı 22 kW altındaki kapasitelere, örneğin Tesla 11 kW'a ve birçok elektrikli araç 7 kW'a sınırlamaktadır (Smart Home, 2020).
- Yavaş kamusal şarj: Halen Birleşik Krallıktaki en yaygın kamusal şarj noktaları 7 kW şarj noktalarıdır.
- Hızlı kamusal şarj: Günümüzde 150 kW zaten mevcuttur ve Almanya hükümeti için hazırlanan bir IRENA raporuna (IRENA, 2019) göre, daha büyük batarya kapasiteleriyle birlikte daha yüksek kapasiteli hızlı şarj cihazlarına (350 kW ve belki daha yüksek) doğru bir trend vardır. 150 kW, 2030 için iyi bir ortalama değerdir.

Bağlanma süresi

(Deporter & Assimon, 2011) ile aynı doğrultudaki aşağıdaki varsayımlar, elektrikli araçların prize bağlanma süreleri için yapılmıştır.

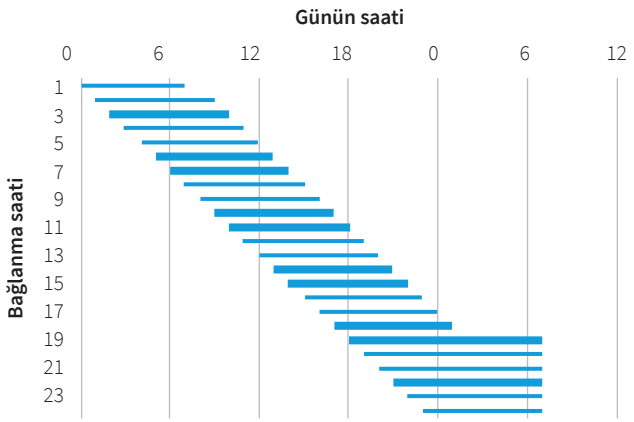
- Gece boyu elektrikli araç şarjı, yani evde, işyerinde ve yavaş kamusal şarj cihazlarında şarj edilen elektrikli araçlar, eğer 18:00 ile 00:00 arasında bağlanmışlarsa 7:00'ye kadar, aksi halde 8 saat bağlı kalmaktadır.
- İşyerinde şarj edilen elektrikli araçlar, eğer 8:00 ile 13:00 arasında bağlanmışlarsa 17:00'ye kadar, aksi halde 4 saat bağlı kalmaktadır.

Bu varsayımlar Şekil 35'te gösterilmiştir.

Şekil 35: *Elektrikli araçların gün içinde değişik zamanlarda bağlanma süresi üzerine varsayımlar elektrikli araç şarj esnekliğini belirlemektedir*

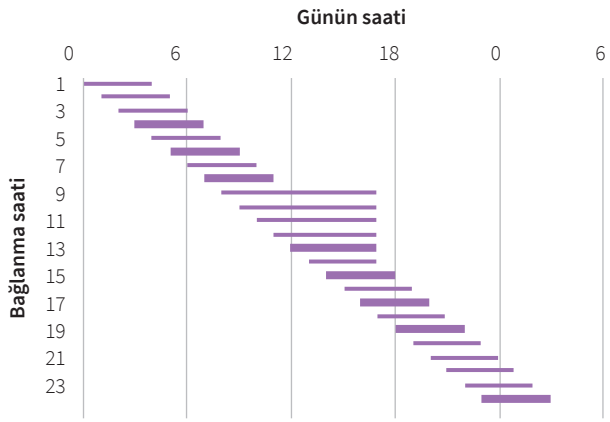
Evde elektrikli araç prize bağlanma süresi

Evde elektrikli araçların, eğer 18:00 ile 00:00 arasında prize bağlanmışlarsa 7:00'ye kadar, aksi halde 8 saat bağlı kaldıkları varsayılmıştır.



İşte elektrikli araç prize bağlanma süresi

Modellememiz işyerinde elektrikli araçların, eğer 8:00 ile 13:00 bağlanmışlarsa 17:00'ye kadar, aksi halde 4 saat bağlı kaldıklarını varsaymaktadır.



Baz elektrik talebi

Baz elektrik talebi için ısıtma ve soğutma, elektrikli araçlar ve enerji yoğun sanayinin yanı sıra tüm elektrik talebini kapsayan tahmin, ENTSO-E 2018 TYNDP'nin talep

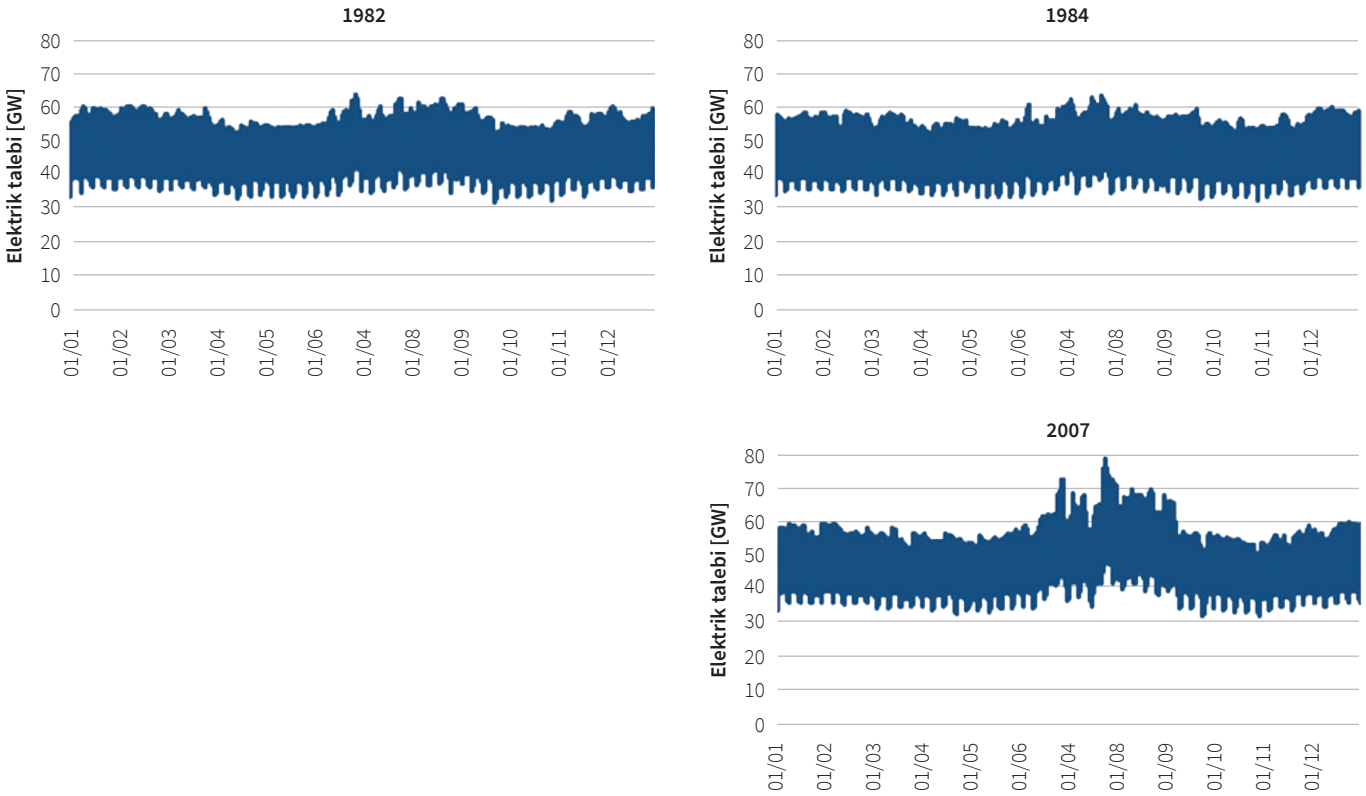
verilerine dayanmaktadır. Isıtma ve soğutma, elektrikli araçlar ve enerji yoğun sanayi talebini Türkiye'nin ENTSO-E 2018 TYNDP 2030 Dağıtık Üretim senaryosundaki elektrik talebinden ayırarak tahmin edilmiştir.

ENTSO-E TYNDP, tüm ENTSO-E ülkeleri için toplam talebin saatlik çözünürlükte üç farklı yıllık profilini kapsamaktadır. Üç farklı profil, 1982'den 2015'e kadarki 34 yıllık dönemi sıcaklıklar, rüzgâr ve güneş kaynakları gibi birçok karakteristikler açısından temsil eden hava durumu verilerine dayanmaktadır. Şekil 36 Türkiye için üç talep profilini göstermektedir. Bütün durumlarda puant talep yazın oluşmaktadır, fakat 2007 hava verilerine dayanan profilde diğer durumlara kıyasla çok daha yüksektir (79 GW'a karşın 64 GW). Bu büyük olasılıkla, 2007 yazındaki 1982 ve 1984'e kıyasla çok yüksek sıcaklıklarla ilgilidir. 34 yıllık dönemi ve bu dönemin ikinci yarısını, dolayısıyla da potansiyel olarak uzun dönem akımını en iyi temsil eden yıl olduğu için, sistem operasyonunu 2007 iklim verilerine dayanarak modelleme tercih edilmiştir.

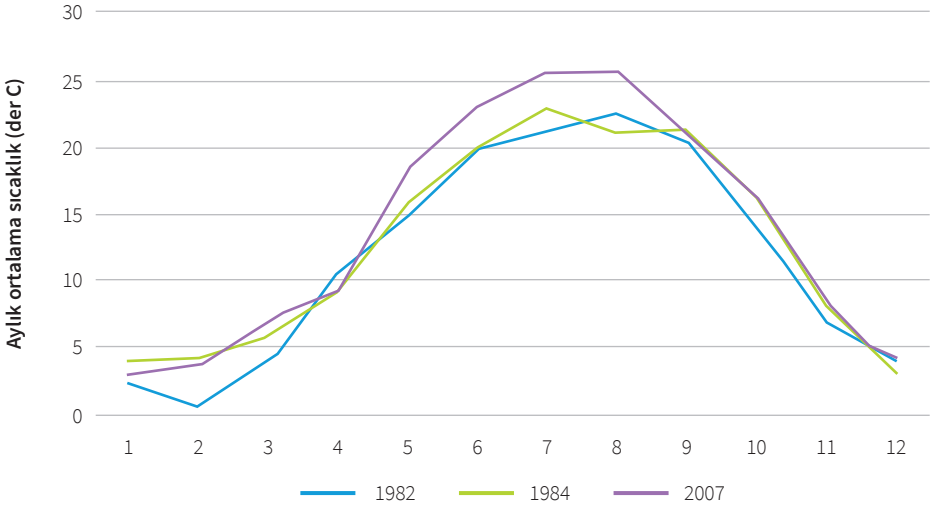
Şekil 36: *34 iklim yılının üç örnek yıla eşleştirilmesi*

Kaynak: ENTSO-E 2018 TYNDP

Şekil 37: *ENTSO-E 2018 TYNDP'nin üç farklı iklim yılı bazındaki Dağıtık Üretim senaryosunda Türkiye'nin 2030 toplam elektrik talebinin yıllık profilleri*



Şekil 38: *1982, 1984 ve 2007'de Türkiye'de aylık ortalama sıcaklıklar*



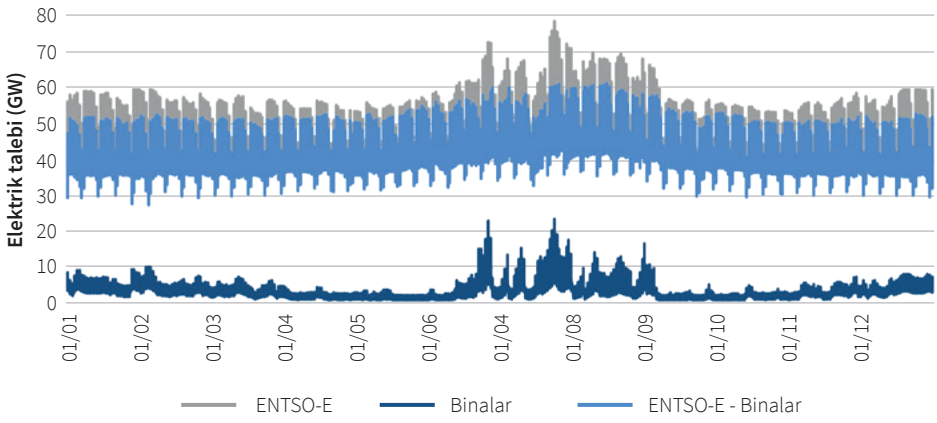
Binalarda ısıtma ve soğutma talebini kaldırmak

ENTSO-E profilinde yer alan ısıtma ve soğutma talep profilini hesaplamak için, ENTSO-E Dağıtık Üretim senaryosunda verilen varsayımlarla, binaların ısıtma ve soğutma talebi modelimiz uygulanmıştır. TYNDP dokümantasyonu ısı pompalarının sayısını belirtmektedir, fakat ısıtma ve soğutma varsayımları üzerine daha fazla bilgi bulunamamıştır. Bu nedenle, ENTSO-E profiline dahil olan aktif soğutma üzerine varsayımlarda bulunmak gerekmektedir. 1982 ve 1984 verilerine kıyasla daha yüksek olan 2007 sıcaklık verilerine dayanan önemli ölçüde daha yüksek yaz puant talebi, aktif soğutmada agresif bir artışa işaret etmektedir. Soğutma ve ısıtma sıcaklığa duyarlı ana elektrik yükleri olduğu için (Gils, 2014), büyük olasılıkla daha yüksek puant talebin de sorumlusudur. Bu nedenle, modelde aktif soğutma entegrasyonu için aşağıdaki agresif fakat akla yatkın varsayımlar kullanılmıştır:

- Otel ve sağlık tesislerinin %80'i aktif soğutma kullanmaktadır (referanstaki gibi)
- Diğer tüm bina tipleri için (tek haneli konut, çok haneli konut, ticari, kamusal) artışın referans çizgisi varsayımlarına göre %30 daha yükseldiği, fakat %80'i asla geçmediği kabul edilmiştir. Bu, 4 iklim bölgesi içinde aşağıdaki artışlara yol açmaktadır:
  - 1. Bölge: %80 (referanstaki %69'a karşın)
  - 2. Bölge: %73 (referanstaki %43'e karşın)
  - 3. Bölge: %49 (referanstaki %19'a karşın)
  - 4. Bölge: %43 (referanstaki %13'e karşın)

Şekil 39 binalar modelinin, bu varsayımları kullanırken oldukça doğru bir şekilde yaklaştırma kabiliyetine sahip olduğunu göstermektedir. Binaların modellenmiş ısıtma ve soğutma talebini ENTSO-E profilinden çıkartırken, sonuçta çıkan profil biçimin (Şekil 39'daki açık mavi grafik) daha düzgündür ve daha az sıcak olan 1982 ve 1984 yıllarına dayanan talep profillerine daha çok benzemektedir. Bu da ısıtma ve soğutma için taleplerin dışında kalan elektrik talebinin beklenen profil biçimidir. Isıtma ve soğutma sıcaklığa duyarlı ana elektrik talepleri olduğundan, bunlar haricindeki elektrik talebi yıl boyunca oldukça düzgündür.

Şekil 39: *ENTSO-E talep profili, binaların ENTSO-E profilinde yer alan ısıtma ve soğutma talebinin Element Energy tarafından yaklaştırılmış biçimleri ve ikisinin farkı*

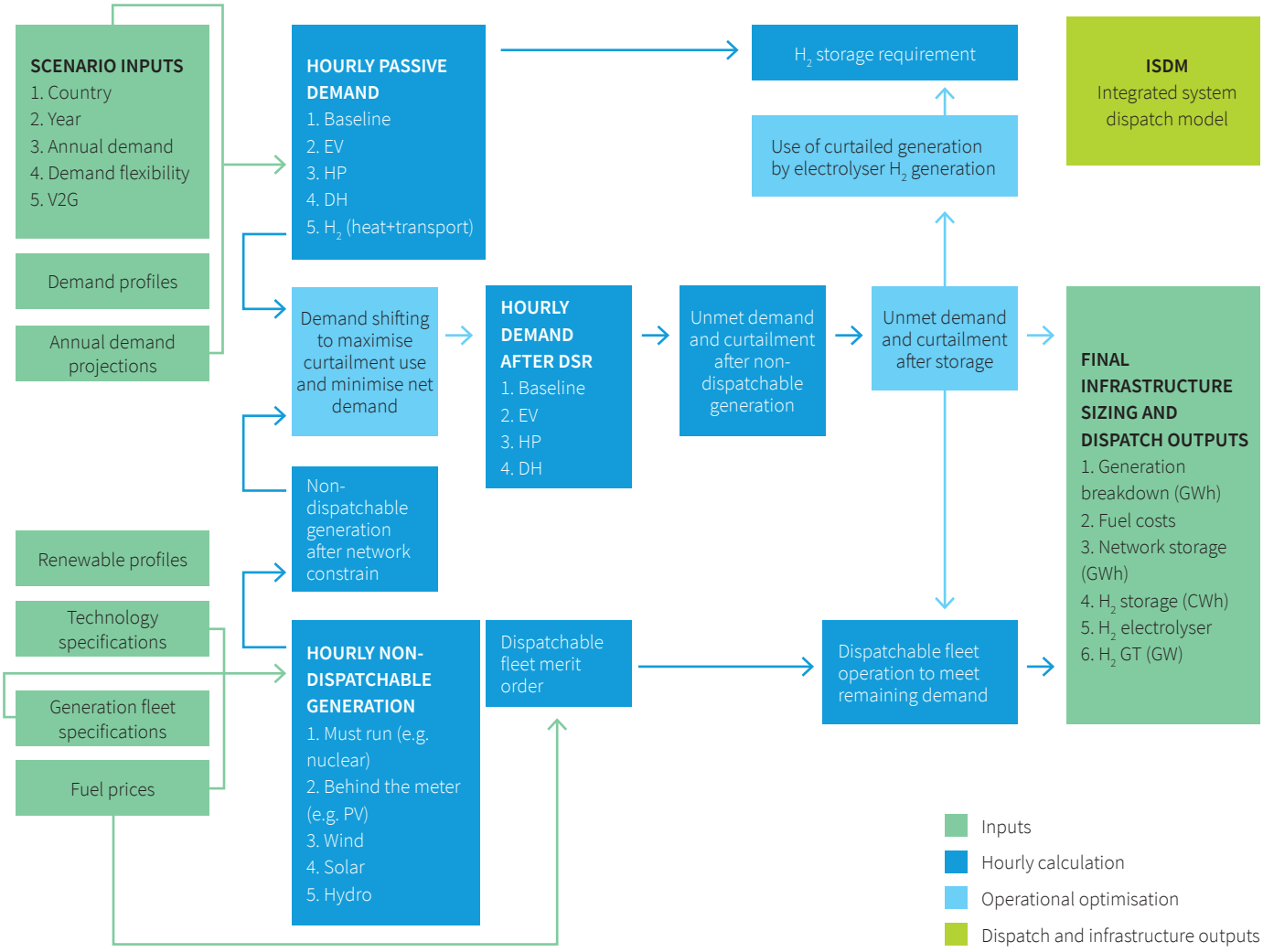


Elektrikli araçlar ve enerji yoğun sanayi talebini kaldırmak

2018 TYNDP'nin Dağıtık Üretim senaryosu 2030'da Türkiye'de elektrikli araç olacağını öngörmemiştir. Bu nedenle, ENTSO-E profilinden çıkarılması gereken bir elektrikli araç elektrik tüketimi bulunmamaktadır.

TYNDP dokümantasyonunda enerji yoğun sanayinin yıllık elektrik tüketimi ve tüketim profilleri hakkında daha fazla bilgi bulunamadığı için, enerji yoğun sanayi elektrik tüketiminin, yaklaşımımızda olduğu gibi ENTSO-E profiliyle aynı şekilde modellendiği kabul edilmiştir. Bu yüzden, enerji yoğun sanayi tüketim profili sanayi modülümüzde modellendiği gibi çıkartılmıştır.

Entegre arz ve talep modeli (ISDM)

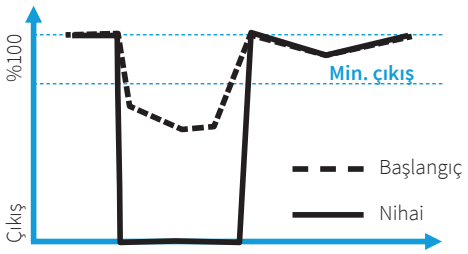


Özet özellikler ve anahtar sonuçlar

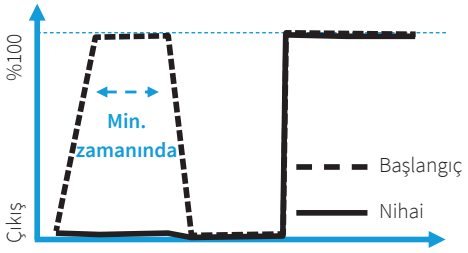
- ISDM, Element Energy tarafından düşük/sıfır karbonlu elektrik sistemlerinin taleplerini karşılamak için geliştirdiği bir kurum içi dağıtım modelidir.
- Model, gerekli sistem esnekliğini en düşük maliyetle elde etmek için hem talep tarafını hem de arz tarafını dağıtmaya eşit vurgu yapmaktadır.
- Ayrıca, saatlikten termik santral YAL/YAT'a kadar çeşitli sürelerle depolama için optimizasyon modelleri vardır.

Şekil 40: *ISDM'de termik santral yük alma/atmanın üç bileşeni*

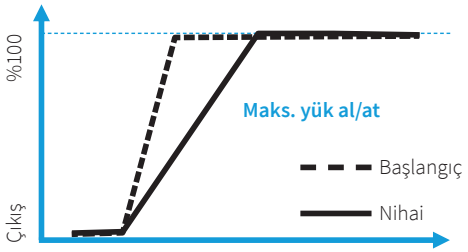
1. Minimum eşiğin altında üretim yok



2. Minimum eşiğin altında santral açık kapalı zamanları
(Ayrıca, bir minimum kapalı zaman kısıtı vardır)



3. Santral YAL/YAT limitleri

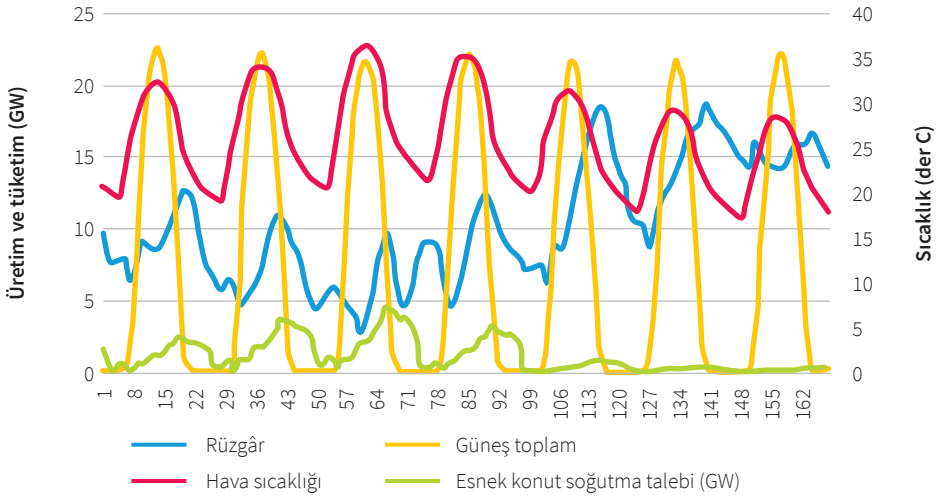


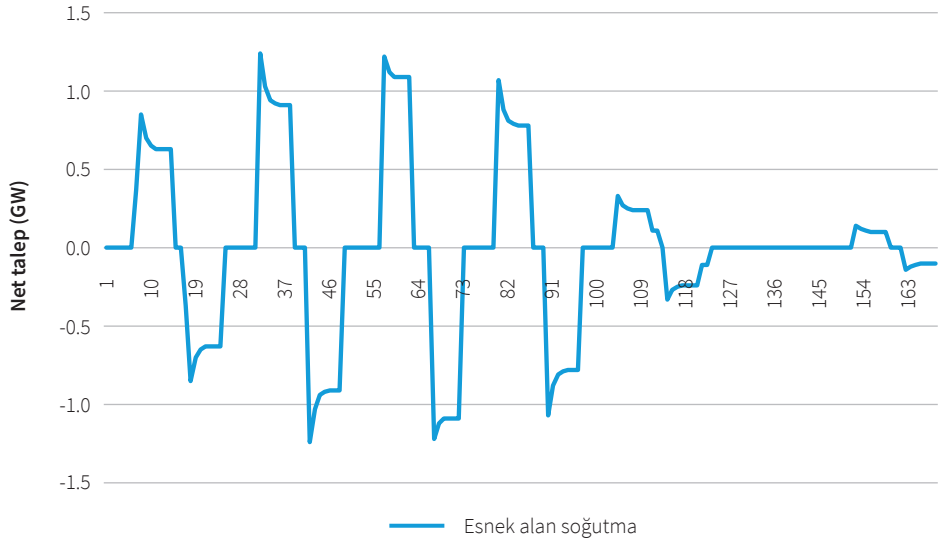
Örnek talep tarafı katılımı dinamikleri

Buradaki amaç talep tarafı katılımı uygulamamızın yüksek çözünürlüğünü ve dinamiklerini sergilemektir. Daha önceki çalışmalara göre gerçek talep tarafı katılımı davranışına yaklaştığı için önerilerimizi desteklemektedir.

Esnek soğutma örneği. Yüksek hava sıcaklıkları ve düşük rüzgâr nedeniyle başlangıçta yüksek, fakat sonra soğutma talebi düşüyor.

Şekil 41: *SHURA Üç Kat senaryosunda (üstte) 25. hafta için esnek soğutma bulunabilirliği ve sonuçtaki esnek soğutma kullanımı (altta), sistem puant taleplerine yakın talebin azaltılmasını göstermektedir*





NOTLAR

NOTLAR

İstanbul Politikalar Merkezi

İstanbul Politikalar Merkez (İPM) demokratikleşmeden iklim değişikliğine, transatlantik ilişkilerden çatışma analizi ve çözümüne kadar, önemli siyasal ve sosyal konularda uzmanlığa sahip, çalışmalarını küresel düzeyde sürdüren bir politika araştırma kuruluşudur. İPM araştırma çalışmalarını üç ana başlık altında yürütmektedir: İPM-Sabancı Üniversitesi-Stiftung Mercator Girişimi, Demokratikleşme ve Kurumsal Reform, Çatışma Çözümü ve Arabuluculuk. 2001 yılından bu yana İPM, karar alıcılara, kanaat önderlerine ve paydaşlara uzmanlık alanına giren konularda tarafsız analiz ve yenilikçi politika önerilerinde bulunmaktadır.

European Climate Foundation

European Climate Foundation (ECF) Avrupa'nın düşük karbonlu bir toplum haline gelmesine yardımcı olabilmek ve iklim değişikliğiyle mücadelede uluslararası alanda güçlü bir lider rolü oynayabilmek amacıyla kurulmuştur. ECF, her türlü ideolojiden uzak kalarak düşük karbonlu bir topluma geçişin "nasıl" olacağı konusunu odağına alır. Ortaklarıyla yaptığı iş birliği kapsamında ECF, bu geçişte kilit rol oynayacak patikaları ve farklı alternatiflerin sonuçlarını ortaya çıkararak bu tartışmalara katkı sağlamayı hedefler.

Agora Energiewende

Agora Energiewende; Özellikle Almanya ve Avrupa olmak üzere tüm dünyada temiz enerjiye başarılı bir geçiş yapılmasını sağlamak amacıyla veri odaklı, politik açıdan uygulanabilir stratejiler geliştirir. Bir düşünce kuruluşu ve politika laboratuvarı olan Agora; yapıcı bir fikir alışverişi sağlarken siyaset, iş ve akademi dünyasından paydaşlarla da bilgi birikimini paylaşmayı hedefler. Kâr amacı gütmeyen ve bağışlarla finanse edilen Agora, kendini kurumsal ve siyasi çıkarlara değil, iklim değişikliğiyle mücadeleye adamıştır.

SHURA
Enerji Dönüşümü Merkezi

Bankalar Caddesi,
Minerva Han, No:2, Kat:3
34420 Karaköy / İstanbul
Tel: +90 212 292 49 51
E-mail: info@shura.org.tr
www.shura.org.tr

SHURA Kurucu Ortakları:

İPM | IPC İSTANBUL POLİTİKALAR MERKEZİ
SABANCI ÜNİVERSİTESİ KAMPÜSÜ
İSTANBUL POLICY CENTER
AT SABANCI UNIVERSITY

European Climate Foundation

Agora Energiewende

/company/shura @shuraedm SHURAEDM