

SUNUM ADI: V2G'nin Türkiye'de Depolama Kapasitesi ve Şebeke Esnekliğine Katkısı: Duyarlılık Analizi

Sunumu Yapan Kişi İsim: Büşra NERGİZ ERDEM
Unvan: ETK Uzman Yardımcısı

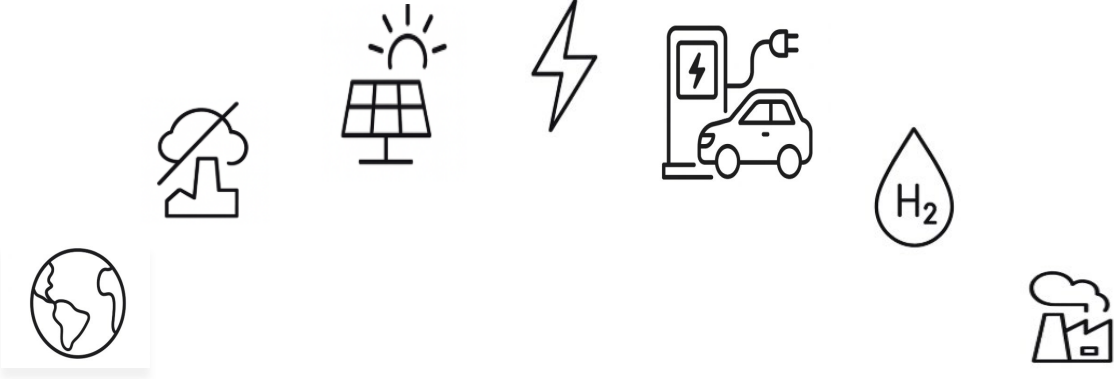
Bildiri ID Numarası: 0189

Giriş ve Motivasyon

Enerji Dönüşümü ve Şebeke Esnekliği

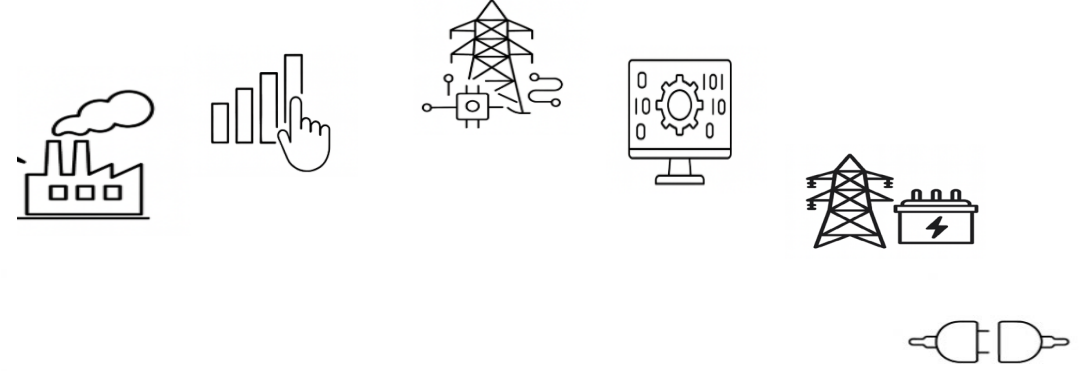
➤ Enerji dönüşümü, üretimden tüketime kadar sistemin iklim dostu ve sürdürülebilir kaynaklara yönelmesini ifade etmektedir.

Temel Unsurlar



➤ Şebeke esnekliği, değişken koşullara hızlı ve güvenli yanıt verebilen enerji altyapısını ifade etmektedir.

Temel Unsurlar



Elektrikli Araçların Enerji Dönüşümündeki Rolü ve V2G Kavramı



Elektrikli Araçlar

Elektrikli araçlar, enerji dönüşümünde sadece ulaşım sektörünün değil tüm enerji sisteminin dönüşümünde rol oynamaktadır.

- Karbon Azaltımı
- Ulaşımın Elektrifikasyonu
- Mobil depolama ve Esneklik

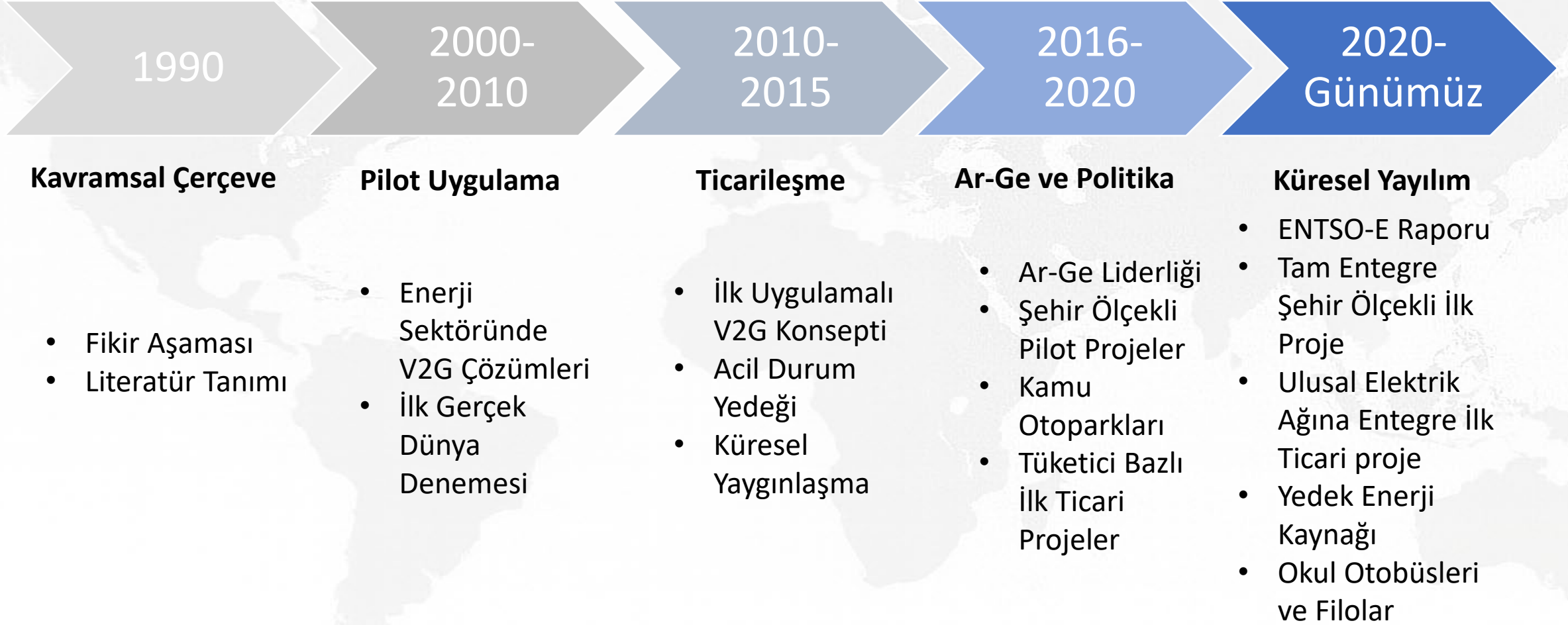
V2G

Vehicle-to-Grid (V2G), elektrikli araçlar ile şebeke arasında çift yönlü enerji akışı sağlayan bir teknolojidir.

- Pik yük yönetimi
- Yenilenebilir enerji entegrasyonu
- Arz- talep dengesi (Enerji güvenliği)

Elektrikli araçlar sadece bir ulaşım aracı değil, depolama birimi olarak dönüşümün aktif birer bileşenidir.

V2G'nin Küresel Gelişimi ve Uygulamaları



V2G, yaklaşık 30 yılda akademik bir kavramdan şebeke esneklik aracına dönüşmüştür.

V2G'nin Türkiye'deki Durumu ve Potansiyeli

Mevcut Durum



Yasal Çerçeve



EPDK Düzenlemeleri



Şarj Hizmeti Yönetmeliği
(19. Madde)



DUY Yönetmeliği

Potansiyel



Elektrikli Araç Sayısı



Şarj Altyapısı



Yerli Teknoloji Geliştirme
(Ar-Ge)



Akademik ve Pilot Çalışmalar

V2G Sistem Gereksinimleri ve Enerji Akışı

V2G, çift yönlü güç elektroniği ve uygun bir şebeke altyapısı gerektirmektedir. Enerji akışı; V2G uyumlu elektrikli araçlar ve şarj istasyonları ile şebeke arasında gerçekleşmektedir. V2G için 2 çeşit yaklaşım bulunmaktadır.

AA V2G

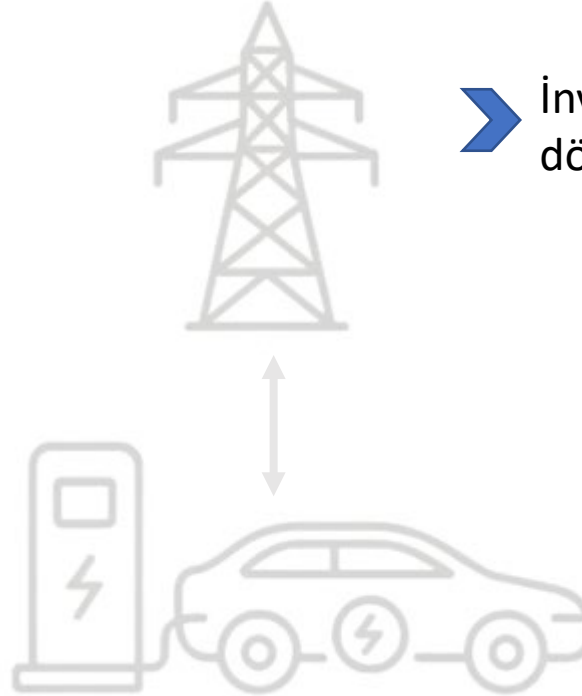
➤ İnvörtör araçta bulunur güç dönüşümü araç üzerinde gerçekleşir.

DA V2G

➤ İnvörtör şarj istasyonlarında bulunur güç dönüşümü istasyon üzerinden gerçekleşir.

Donanımsal Gereksinimler

Çift Yönlü İnvörtörler
Şarj İstasyonları
Koruma Elemanları
Ölçüm ve İzleme Sistemleri
Bağlantı ve Konnektörler



Yazılımsal Gereksinimler

Enerji Yönetim Sistemi
Batarya Yönetim Sistemi
Dağıtım Yönetim Sistemi
Agregatör Platformu
İletişim Protokolleri

V2G Standartları ve İletişim Protokolleri

Güç ve Bağlantı Standartları

- DA V2G: IEC 61851-23/61851-24
 - AA V2G: IEEE 1547/1547.1
 - UL 1741
 - SAE J3072

Haberleşme ve İletişim Standartları

- IEEE 2030.5
- ISO 15118-20
- OCPP 2.0.1
- IEC 61850-90-8

V2G Uyumlu Şarj Standartları

- CHAdeMO
- CCS/CCS2

V2G sisteminin güvenli, senkron ve esnek çalışabilmesi için standartların uyumlu ve birlikte uygulanabilirliği kritiktir.

Türkiye’de elektrikli araç ve V2G altyapısı, TS EN IEC 61851 ve TS EN 62196 serisi donanım standartları ile EPDK Şarj Hizmeti Yönetmeliği (2022) çerçevesinde şekillenmiştir. AC şarjda Tip-2 (TS EN 62196-2), DC şarjda ise CCS2 (TS EN 62196-3) bağlantı tipi zorunlu hale getirilmiştir. Haberleşmede OCPP 1.6 / 2.0.1 protokolü fiilen sektör standardıdır. ISO 15118-20 ve IEC 61850-90-8 ile tanımlanan çift yönlü enerji aktarımı (V2G) iletişim standartları Türkiye’de henüz mevzuatlaşmamış olmakla birlikte TÜBİTAK ve OEDAŞ destekli pilot projelerde uygulanmaktadır. Böylece Türkiye, uluslararası IEC–ISO–OCPP standardizasyonu ile uyumlu, ancak V2G geri besleme ve tarifelendirme süreçlerinde geliştirme aşamasında olan bir altyapıya sahiptir.

V2G'nin Temel Zorlukları ve Faydaları

Temel Zorluklar

Batarya Yaşam Döngüsü
Altyapı ve Ekipman Maliyeti
Şebeke Kısıtları ve Eşzamanlılık
Standart Uyuşmazlığı
Regülasyonlar ve Veri Güvenliği
Kullanıcı Katılımı

V2G'nin sistem çapında güvenli ve ekonomik ölçeklenmesi; batarya sağlığı odaklı kontrol, şebeke kısıtlarına duyarlı planlama, birlikte çalışabilir standartların olgunlaştırılması ve kapsayıcı düzenleyici çerçevelerin eşzamanlı geliştirilmesi gereklidir.

Temel Faydalar

Şebeke Esnekliği
Yenilenebilir Enerji Entegrasyonu
Frekans ve Gerilim Regülasyonu
Acil Durum / Kriz Desteği
Ekonomik Katkı
Çevresel Faydalar

V2G, yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonunu güçlendirir, şebeke kararlılığını artırır ve acil durumlarda mobil enerji kaynağı olarak hizmet ederek enerji sistemlerine hem teknik hem ekonomik esneklik kazandırır.

Metodoloji ve Veri Kaynakları

- Bu çalışmanın temel amacı, EPDK'nın 2030 yılı *Elektrikli Araç ve Şarj Altyapısı Projeksiyonu* esas alınarak Türkiye'deki elektrikli araçların batarya kapasiteleri üzerinden V2G teknolojisiyle şebekeye sağlayabileceği depolama ve esneklik katkısının çeşitli parametreler üzerinden nicel olarak hesaplanmasıdır.
- Çalışmada senaryo tabanlı duyarlılık analizi yöntemi benimsenmiştir.
- Analizde α (eşzamanlılık katsayısı) ve β (V2G uyumlu soket oranı) değerlerinin değişimiyle (0-1) araç bazlı ve soket bazlı güç katkısı hesaplanmıştır.
- Parametrelerin kombinasyonlarıyla elde edilen sonuçlar, ısı haritaları ve anlık güç grafikleri şeklinde görselleştirilmiştir.
- Sonuçların değerlendirilmesi için TEİAŞ'ın 2025-2034 Talep Tahmin Raporu'ndan 2030 baz senaryoda puant yük ve elektrik tüketim tahmini esas alınmıştır. Ayrıca aylık elektrikli araç elektrik tüketimi için EPDK'nın yayımladığı *Şarj Hizmeti Piyasası Aylık İstatistikleri* esas alınmıştır.

Yıl	EA Sayısı		
	Düşük Senaryo	Orta Senaryo	Yüksek Senaryo
2025	202.030	269.154	361.893
2030	776.362	1.321.932	1.679.600
2035	1.779.488	3.307.577	4.214.273

Yıl	Şarj Noktası Sayısı AA (Orta Senaryo)	Şarj Noktası Sayısı DA (Orta Senaryo)	Şarj Noktası Sayısı Toplam (Orta Senaryo)
2025	33.476	12.594	46.070
2030	100.187	42.637	142.824
2035	186.152	86.924	273.076

- Mevcut durumda ise EPDK'nın yayımladığı *Şarj Hizmeti Piyasası Aylık İstatistikleri* Ağustos 2025 için Türkiye'de toplamda 310.668 elektrikli araç 33.592 adet şarj noktası bulunmaktadır.

Kullanılan Parametreler

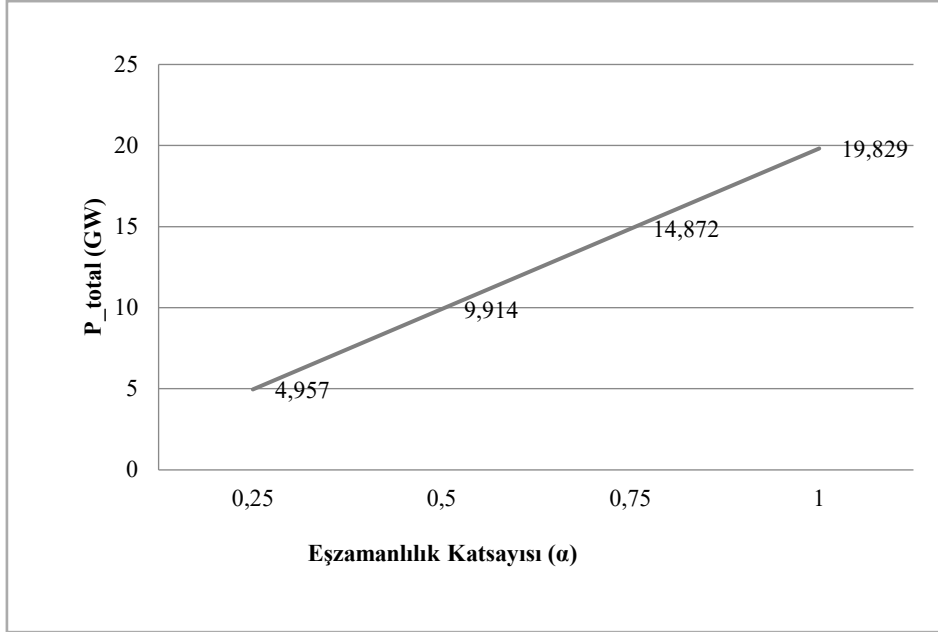
Parametre	Açıklama	Varsayılan Değer
N_{EA}	Toplam EA sayısı (2030 tahmini)	1.321.932
C_{bat}	Araç başı ortalama batarya kapasitesi	60 kWh
f_{SoC}	Kullanılabilir batarya oranı (%SoC)	0.8
P_{dis}	Araç başı anlık deşarj gücü	15 kW
α	Eşzamanlılık (kullanılabilirlik katsayısı)	1 (senaryo bazlı)
N_{AA}	AA soket sayısı (2030 tahmini)	100.187
N_{DA}	DA soket sayısı	42.637
P_{AA}	Soket başı AA çıkış gücü	7.4 kW
P_{DA}	Soket başı DA çıkış gücü	50 kW
β	V2G uyumlu soket oranı	1 (senaryo bazlı)
t_{V2G}	Günlük aktif V2G süresi	2 saat

Denklemler
$E_{total} = N_{EA} \times C_{bat}$
$E_{V2G} = E_{total} \times f_{SoC}$
$P_{total} = N_{EA} \times P_{dis} \times \alpha$
$P_{ACtotal} = N_{DC} \times P_{AC} \times \beta$
$P_{DCtotal} = N_{DC} \times P_{DC} \times \beta$
$P_{totalsocket} = P_{ACtotal} + P_{DCtotal}$
$E_{day} = P_{totalsocket} \times t_{V2G}$

Bu veriler, literatürdeki V2G enerji analiz modelleri (Das ve ark., 2023; Kumar ve ark., 2025; Heider ve ark., 2025) ile uyumlu formüller üzerinden Türkiye koşullarına uyarlanmıştır.

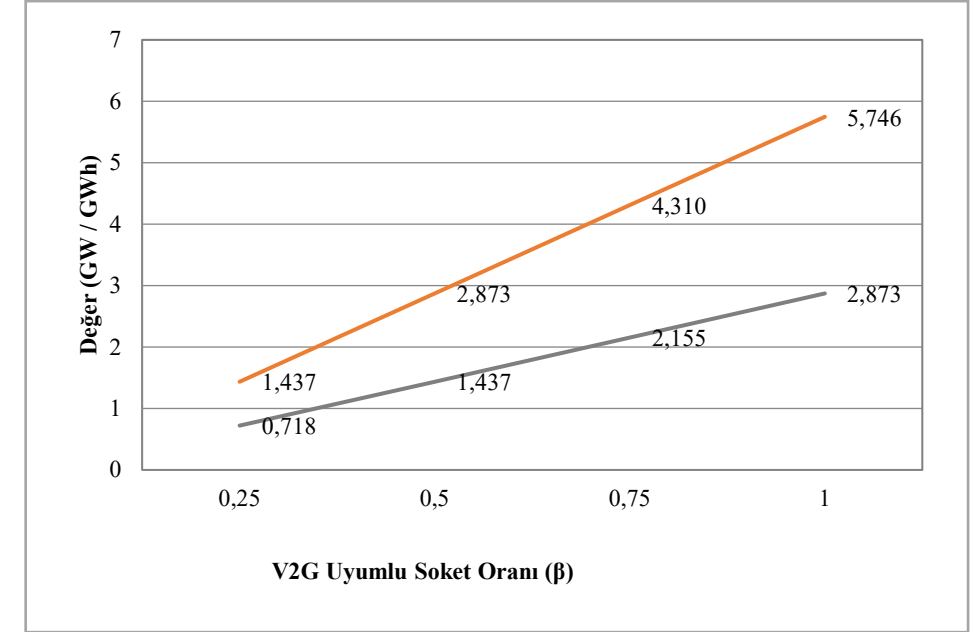
Araç ve Soket Bazlı Sonuçlar

Araç Bazlı Esneklik Katkısı



Toplam batarya kapasitesi 79,3 GWh ve batarya kapasitesinin %80'inin kullanılabileceği durumda V2G için kullanılabilir enerji miktarı ise 63,45 GWh olarak hesaplanmıştır. Araç bazlı 15 kW deşarj gücü ve eşzamanlılık katsayı 1 düşünüldüğünde 19,83 GW anlık güç esnekliği sağlamaktadır.

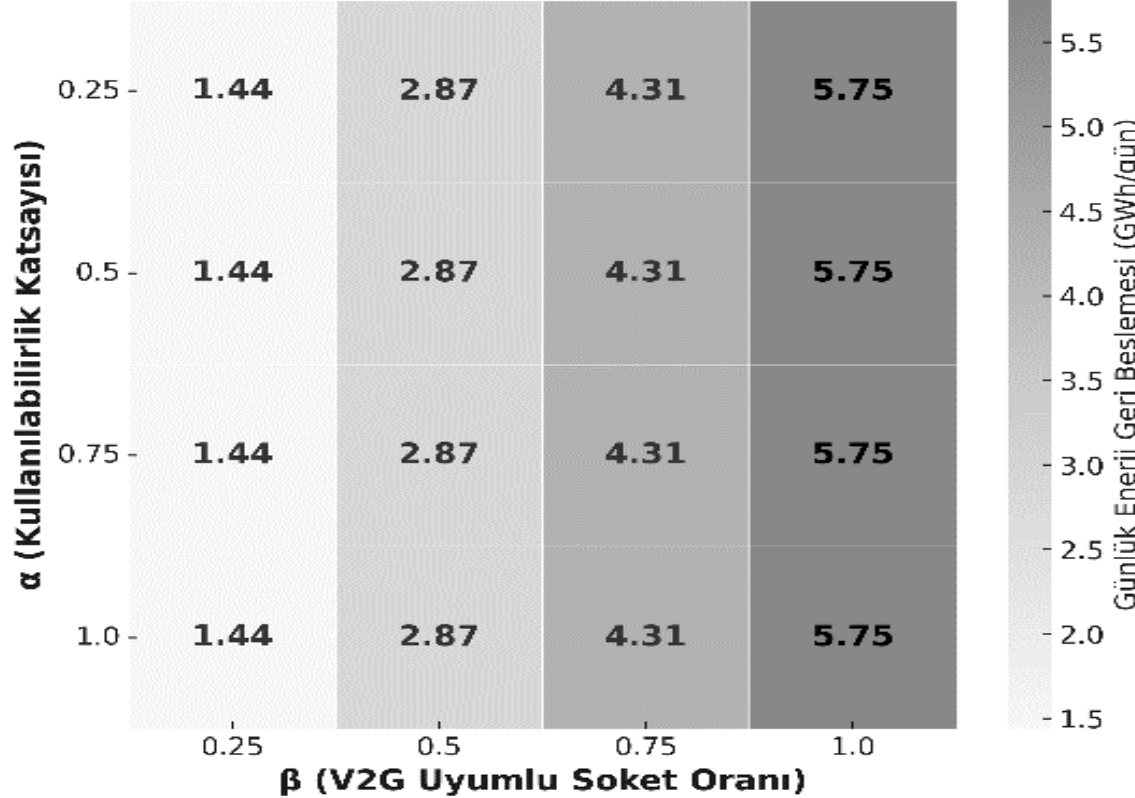
Soket Bazlı Esneklik Katkısı



Soket bazlı ise 2.873 MW geri besleme gücü hesaplanmıştır. Bu değer 2030 yılında öngörülen 70.451 MW'lık ani puant gücünün yaklaşık %4,1'ine denk gelmektedir. Günlük 2 saat geri besleme yapılabileceği varsayıldığında 5,75 GWh/gün, yıllık 2,1 TWh/yıl geri besleme gücüne karşılık gelmektedir.

Duyarlılık Analizi

α ve β Parametrelerine Göre Günlük Enerji Geri Besleme Isı Haritası



α ve β değerleri 0-1 (0,25, 0,5, 0,75, 1) arasında belirli değerler alarak, batarya kapasitesi 60 kW ve toplam elektrikli araç sayısı 1.321.932 olacak şekilde sabit tutulmuştur.

- $\beta \downarrow$ (V2G uyum oranı azaldıkça): şebeke altyapısının çift yönlü enerji desteği düşmekte ve toplam sistem esnekliği %40'a kadar azalmaktadır.
- $\alpha \downarrow$ (eşzamanlılık azaldıkça): araçların aynı anda şebekeye güç verebilme oranı düşmekte, toplam geri besleme gücü doğrusal biçimde azalmaktadır.

Sonuçların Değerlendirilmesi

- 2030 yılı projeksiyonlarına göre toplam EA batarya kapasitesi **79,3 GWh**
- Kullanılabilir enerji miktarı (%80 SoC) → **63,45 GWh**
- Araç bazlı toplam güç esnekliği: **19,83 GW**
- Soket bazlı güç katkısı: **2.873 MW**
- Günlük 2 saatlik geri besleme ile **5,75 GWh/gün** $\approx$ **2,1 TWh/yıl**
- Türkiye 2030 elektrik tüketiminin **yaklaşık %0,46'sına** denk gelmektedir.

Öneriler

Teknik / Operasyonel

- Şarj istasyonlarında ISO 15118-20 ve OCPP 2.0.1 protokolleri zorunlu olmalı, V2G uyumlu donanım ve sayaç altyapısı standartlaştırılmalı, Batarya ömrü için deşarj derinliği ve C-oranı sınırları belirlenmeli.

Mevzuat / Piyasa

- Toplayıcılık düzenlemeleri, elektrikli araçları kapsayacak şekilde genişletilmeli, Gelir paylaşımı ve dinamik fiyatlandırma modelleri uygulanmalı, Vergi, ölçüm ve lisanslama süreçleri V2G'ye uygun hale getirilmeli.

Politika / Uygulama

- Pilot bölgelerde V2G uygulamaları başlatılmalı, Yerli üretici ve Ar-Ge teşvikleri oluşturulmalı, Zamana dayalı tarifeler ile kullanıcı katılımı desteklenmeli.

GÜÇ SİSTEMLERİ KONFERANSI IV



Dinlediğiniz için Teşekkür Ederim..

Sunumu Yapan Kişi İsim: Büşra NERGİZ ERDEM
Unvan: ETK Uzman Yardımcısı

Bildiri ID Numarası: 0189