

VII. ELEKTRİK TESİSLERİ ULUSAL KONGRE ve SERGİSİ

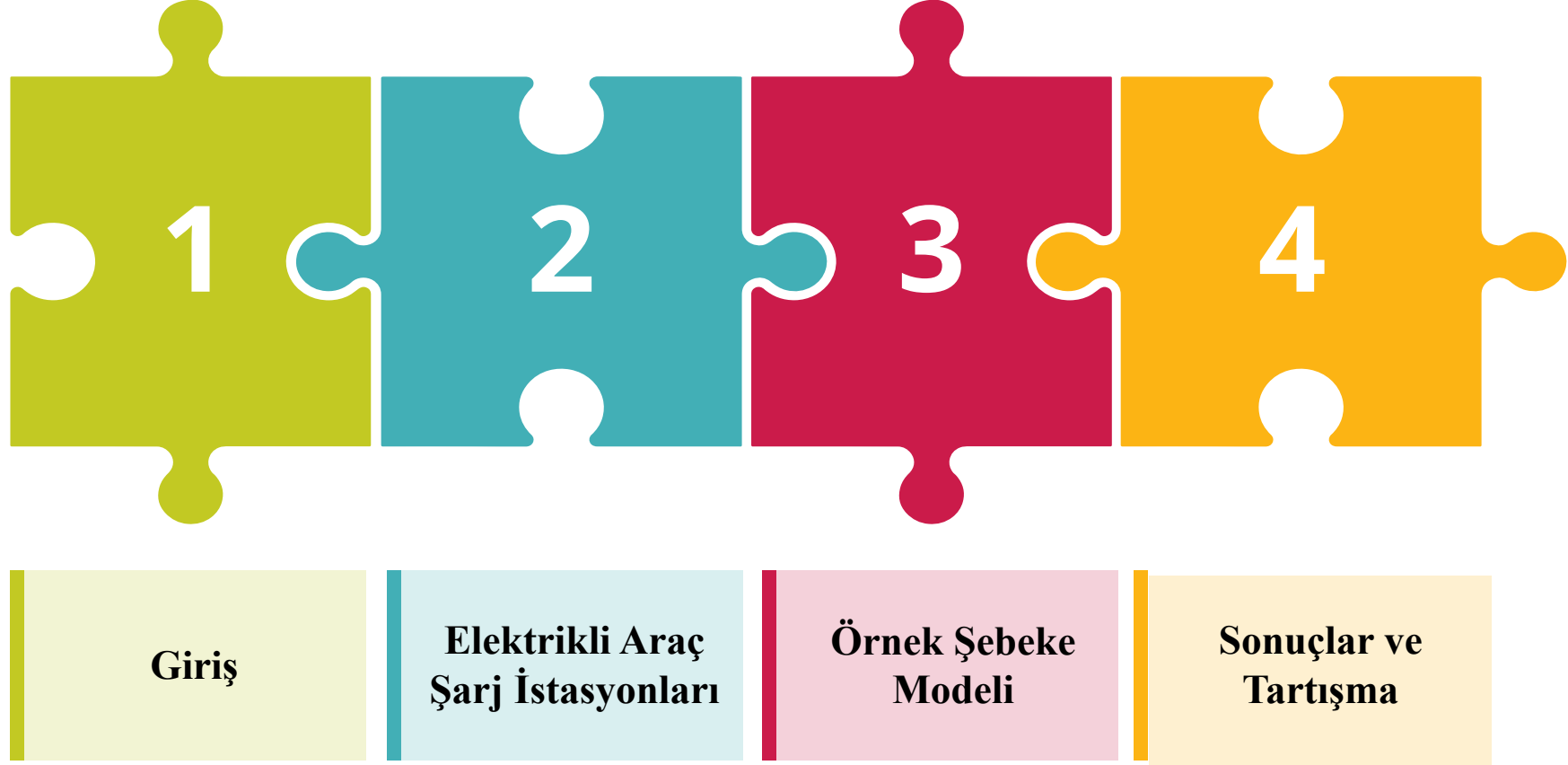


Elektrikli Araç Şarj İstasyonlarının Dağıtım Şebekesi Üzerindeki Etkilerinin Örnek Bir Saha Üzerinde İncelenmesi

Berk TUNÇER, Engin ÇETİN
Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik
Mühendisliği Bölümü, DENİZLİ

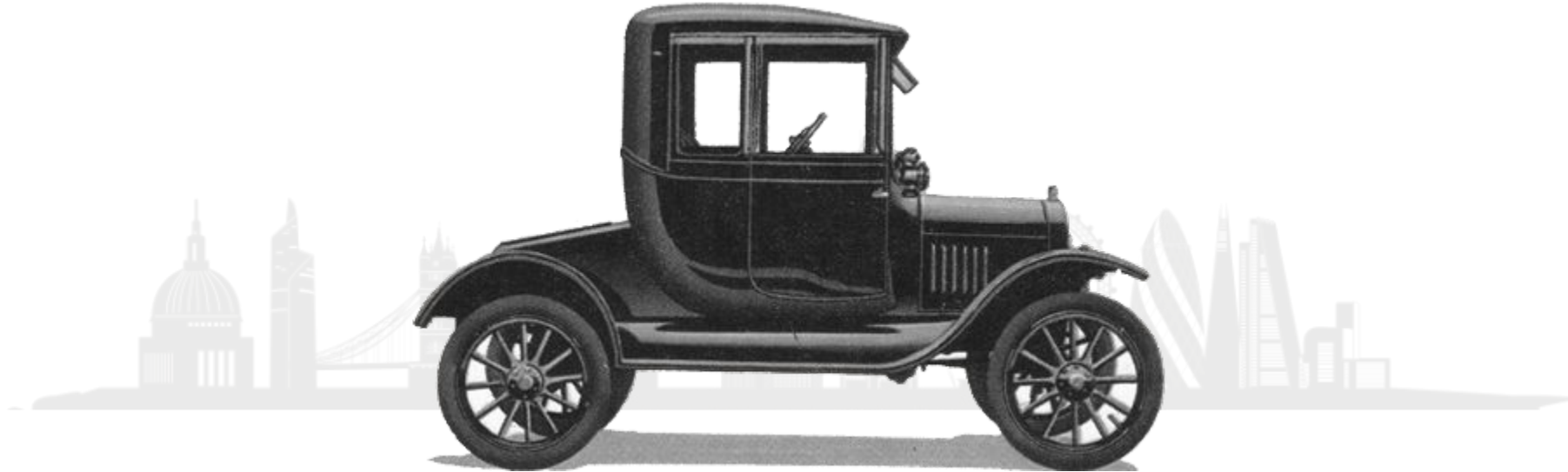


SUNUM PLANI



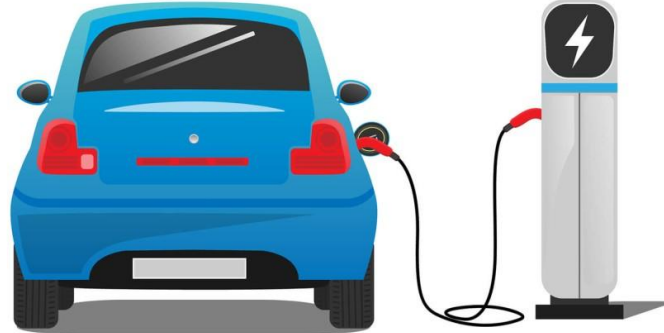
1. Giriş

- ✓ Son yıllarda, dünyada ve ülkemizde gerçekleşen nüfus artışı ile birlikte fosil yakıt kaynaklarının azalması ve fosil yakıt tabanlı araçların çevreye dair olumsuz etkileri, tüm dünyayı ulaşım sektöründe alternatif yollar aramaya itmiştir.
- ✓ Elektrikli araçların tarihçesini dört dönemde incelemek mümkündür:
 - 1- Erken Dönem Denemeleri (1830'lar-1870'ler)
 - 2- Geliştirme Aşamaları (1880'ler-1920'ler)
 - 3- İçten Yanmalı Motorların Yaygınlaşması (1900'ler-1950'ler)
 - 4- Yeniden Yükseliş (2000'lerden itibaren)



1. Giriş

- ✓ Türkiye'nin de üyesi olduğu Uluslararası Enerji Ajansı'nca (IEA), 2021 yılsonu itibariyle, toplam 16,5 milyondan fazla elektrikli aracın aktif olarak yollarda olduğu açıklanmıştır.
- ✓ Elektrikli araç şarj istasyonları sayılarına bakıldığında ise, 2021 yılı sonunda dünyadaki 22 kW güç kapasitesi altındaki AC tip (yavaş şarj) şarj istasyonu sayısının 1,2 milyon, 22 kW üstü güç kapasitesine sahip DC tip (hızlı şarj) şarj istasyonu sayısının ise 560 bin olduğu da bilinmektedir.



1. Giriş

- ✓ Türkiye'deki hibrit olmayan (tam elektrikli) elektrikli araç satışları ile ilgili istatistiklere bakıldığında, Türkiye Elektrikli ve Hibrit Araçlar Derneği'nin (TEHAD) raporuna göre, 2021 yılında 2.849 adet elektrik araç satışı gerçekleşmişken, 2022 yılına gelindiğinde %188'lik artış ile 8.210 adetlik satış sayısına ulaşılmıştır.
- ✓ TEHAD tarafından hazırlanan başka bir rapora göre, Türkiye'de 2022 yılı mayıs ayı itibarıyla toplam ticari elektrikli araç şarj istasyonu sayısı 2.981'dir ve bu istasyonların toplam kurulu gücü de 230 MW'tır.



2. Elektrikli Araç Şarj İstasyonları

- ✓ Elektrikli araçlar ile ilgili standartların belirlenmesi ve altyapının oluşturulması için, üç ana kuruluş faaliyet göstermektedir. Bu kuruluşlar; Uluslararası Elektroteknik Komisyonu (International Electrotechnical Commission, IEC), CHAdeMO Derneği (Charge de Move) ve Otomotiv Mühendisleri Derneği (Society of Automotive Engineers, SAE) şeklinde sıralanabilir.

Tablo 1. Elektrikli araçların şarj seviyelerine göre karşılaştırılması

Özellikler	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	Ultra Hızlı Şarj
Şarj Gücü	1.44 kW-1.9 kW	3.1 kW-19.2 kW	20 kW-350 kW	>350 kW
Akım ve Gerilim	AC 120/230 V 12 A – 16 A	AC 208/240 V 12 A – 80 A	AC 208/240 V DC 300-800 V 250 - 500 A	DC \geq 1000 V \geq 400 A
Standartlar	SAE J1772, IEC 62196-2, IEC 61851-22/23	IEC 61851-22/23, IEC 62196-3	IEC 62196, SAE J2836/2, SAE J2847/2	

Europe	
	
CCS - Combo 2	CHAdeMO
350 kW	50 - 400 kW
200 - 1000 V	50 - 1000 V
500 A	400 A
IEC 61851-23/24 IEC 62196-3 DIN EN 62196-3	IEC 61851-23/4 IEC 62196-3 JEVS G105

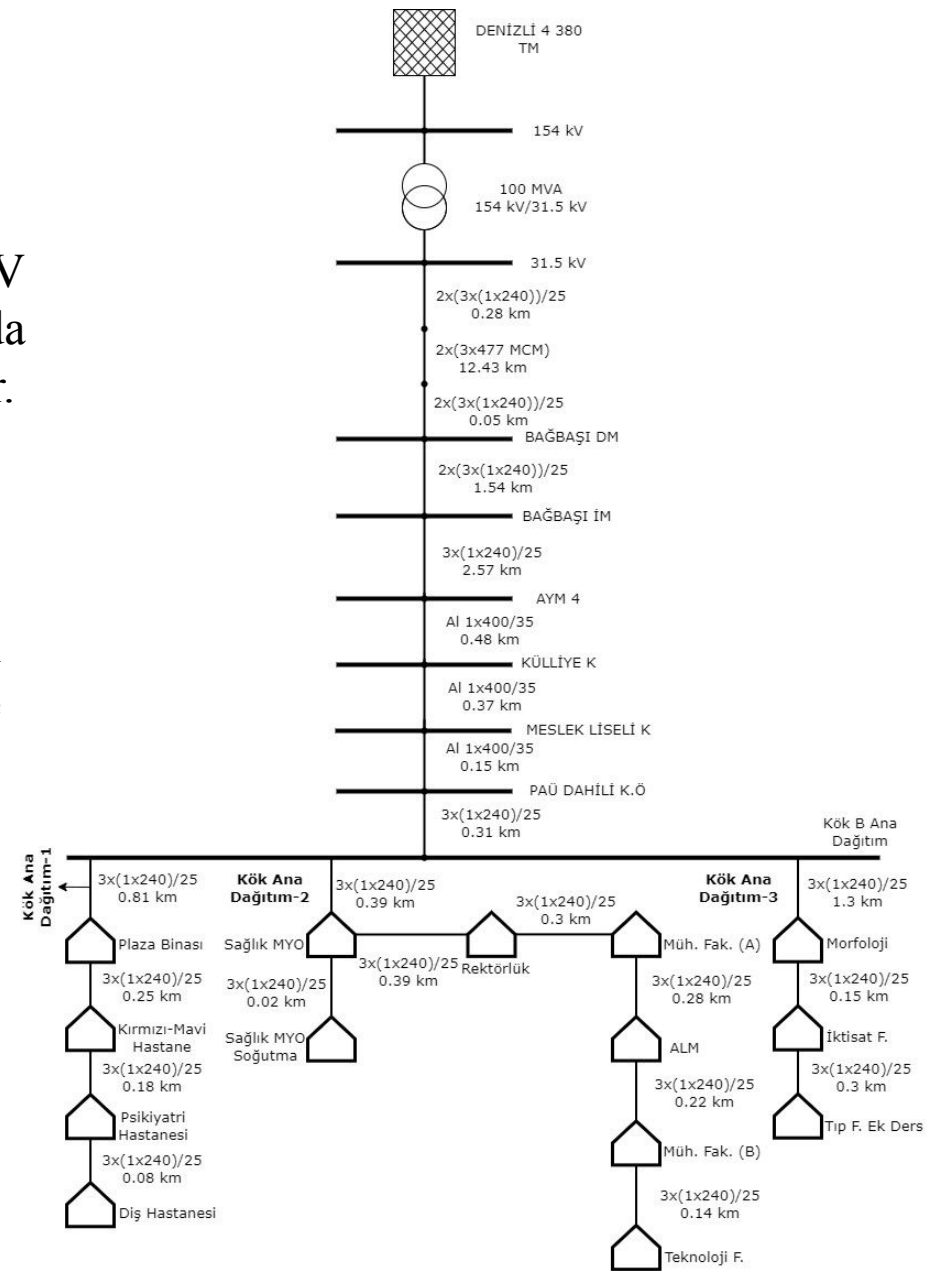
DC Şarj Konnektörleri

2. Elektrikli Araç Şarj İstasyonları

- ✓ İlgili standartlar ve gereksinimler yerine getirilse bile, büyük çaplı dağıtım şebekelerinde elektrikli araç şarj istasyonları tesis edilmesi hususunda özellikle günümüz teknolojisiyle kurulu gücü 400 kW'ı bulan şarj üniteleri, dağıtım şebekelerine büyük yük getirmektedir.
- ✓ Bu hususta, tesis edilecek bölgenin mevcut yük durumları, transformatör ve hat yüklenmeleri, kısa devre akımları ve gerilim düşümü gibi parametreler büyük önem arz etmekte olup, ilgili şebeke noktalarına elektrikli araç şarj istasyonu entegre edilmeden önce, tüm bu elektriksel parametreler baz alınarak şebekenin analiz edilmesi gerekmektedir.
- ✓ Bu hususlar değerlendirilmek suretiyle, bu çalışma kapsamında ele alınan dağıtım bölgesine yönelik elektrikli araç şarj istasyonları için üç farklı tesis noktası belirlenmiştir.

3. Örnek Şebeke Modeli

- ✓ Bu dağıtım bölgesine enerji, Denizli-4 380 TM'den 31,5 kV seviyesinde gelmekte olup, kampüs içerisinde çok sayıda transformatör ile 0,4 kV seviyesine düşürülüp dağıtılmaktadır.
- ✓ Şebekenin modellenmesi, Denizli-4 380 TM'den başlayarak kampüs içerisindeki son yüklere kadar gerçek verilerle yapılmıştır.



Şekil 1. PAÜ Kınıklı Yerleşkesi enerji dağıtımına ait şema

3. Örnek Şebeke Modeli

- ✓ Kampüse enerji giriş noktasında (Kök-B Ana Dağıtım), dağıtım üç kola ayrılmaktadır. Bunlar sırasıyla; Kök Ana Dağıtım-1, Kök Ana Dağıtım-2 ve Kök Ana Dağıtım-3'tür.

	Nom. Güç (kVA)	Nom. Gerilim (kV)	Bağlantı Grubu	Kısa Devre Gerilimi (% u_k)	Bakır Kayıpları (kW)
Kırmızı-Mavi Hastane-1	1600	33/0.4	Dyn11	6	16.5
Kırmızı-Mavi Hastane-2	1600	33/0.4	Dyn11	6	16.5
Plaza Binası-1	1600	33/0.4	Dyn11	6	16.5
Plaza Binası-2	1600	33/0.4	Dyn11	6	16.5
Plaza Binası-3	1600	33/0.4	Dyn11	6	16.5
Plaza Binası-4	1600	33/0.4	Dyn11	6	16.5
Psikiyatri Hastanesi	1000	33/0.4	Dyn11	5.75	9.9
Diş Hastanesi	630	33/0.4	Dyn11	4.28	5.4

Tablo 2. Kök Ana Dağıtım-1 fiderine bağlı transformatörler

	Nom. Güç (kVA)	Nom. Gerilim (kV)	Bağlantı Grubu	Kısa Devre Gerilimi (% u_k)	Bakır Kayıpları (kW)
Morfoloji	2500	33/0.4	Dyn11	6	25
İktisat	1000	33/0.4	Dyn11	6	12.2
Tıp Fak. Ek Ders	1250	33/0.4	Dyn11	6	14

Tablo 3. Kök Ana Dağıtım-3 fiderine bağlı transformatörler

	Nom. Güç (kVA)	Nom. Gerilim (kV)	Bağlantı Grubu	Kısa Devre Gerilimi (% u_k)	Bakır Kayıpları (kW)
Sağlık MYO	1250	33/0.4	Dyn11	6.05	12.9
Sağlık MYO-2	1250	33/0.4	Dyn11	6.05	12.9
Rektörlük	1600	33/0.4	Dyn11	6.03	16.5
Müh. Fak. (A)	1600	33/0.4	Dyn11	6.07	16.3
ALM	1600	33/0.4	Dyn11	5.89	16.9
Müh. Fak. (B)	1600	33/0.4	Dyn11	5.98	16.3
Teknoloji Fak.	1250	33/0.4	Dyn11	5.53	12.9

Tablo 4. Kök Ana Dağıtım-2 fiderine bağlı transformatörler

3. Örnek Şebeke Modeli

Tablo 6. Fiderlere bağlı ilgili TM'lerin maksimum yük değerleri ve yüklenme oranları

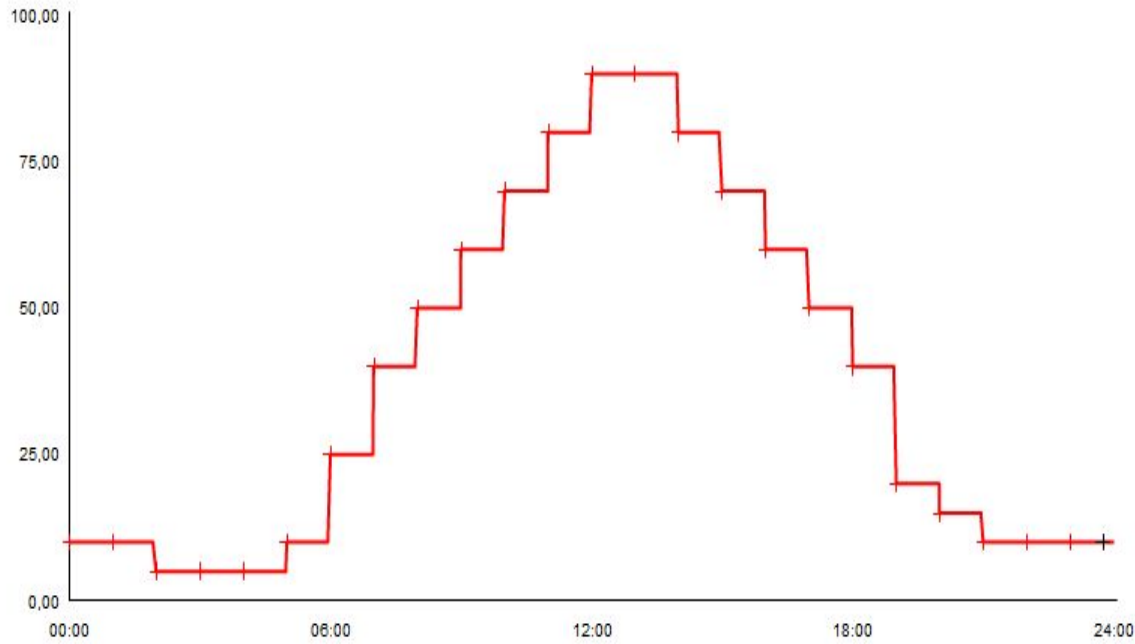
Tablo 5. Kampüs şebekesine kadar olan trafo merkezlerinden beslenen diğer fiderlerin yüklenme durumları

KABİN	Minimum Yüklenme (MW)	Yüklenme Oranı (%)	Maksimum Yüklenme (MW)	Yüklenme Oranı (%)
BAĞBAŞI DM (0.4 MVA)	0.032	8.2	0.1	26.4
BAĞBAŞI İM (49.35 MVA)	3.948	8.3	12.3375	26.4
AYM 4 (32.2 MVA)	2.5767	8.3	8.0525	26.7
KÜLLİYE K (0.63 MVA)	0.0504	8.3	0.1575	26.8
MESLEK LİSESİ K (1 MVA)	0.08	8.3	0.25	26.8

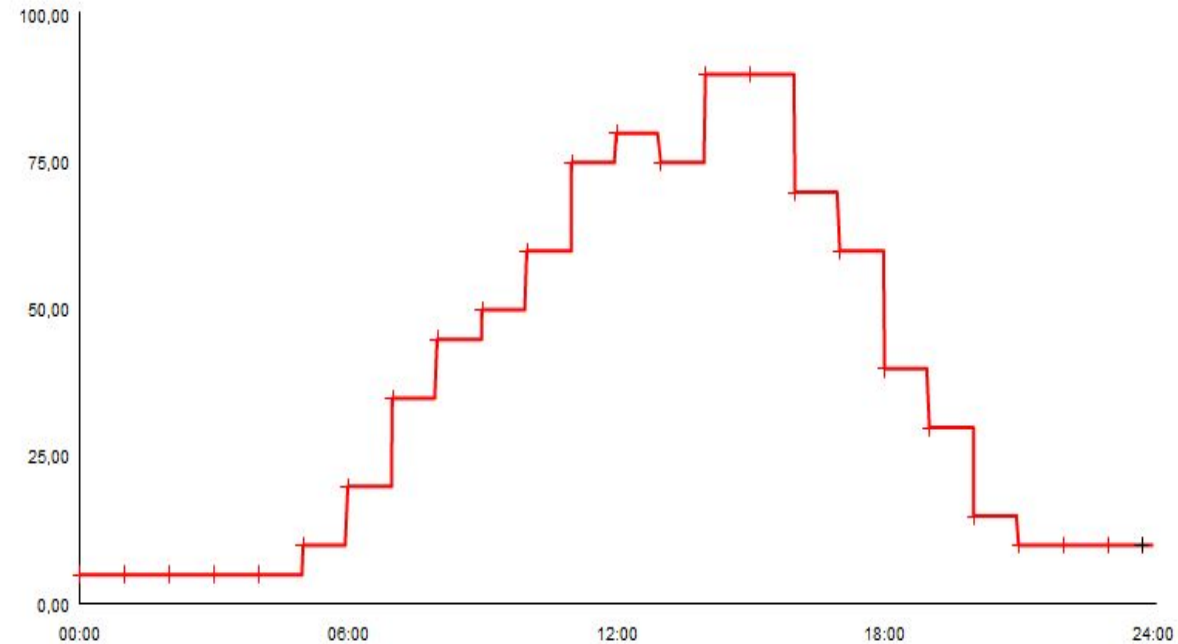
Fider	Transformatör	Maks. Yük (kW)	Yüklenme Oranı (%)
Kök Ana Dağıtım-1	Plaza Binası-1	156.6	10.7
	Plaza Binası-2	156.6	10.7
	Plaza Binası-3	156.6	10.7
	Plaza Binası-4	156.6	10.7
	Kırmızı-Mavi Hastane-1	156.6	10.7
	Kırmızı-Mavi Hastane-2	156.6	10.7
	Psikiyatri Hastanesi	97.8	10.7
	Diş Hastanesi	61.6	10.7
Kök Ana Dağıtım-2	Sağlık MYO	122.3	10.7
	Sağlık MYO Soğutma	122.3	10.7
	Rektörlük	156.6	10.7
	Müh. Fak. (A)	156.6	10.7
	ALM	156.6	10.7
	Müh. Fak. (B)	156.6	10.7
	Teknoloji Fak.	122.3	10.7
Kök Ana Dağıtım-3	Morfoloji	244.6	10.7
	İktisat	97.6	10.7
	Tıp Fak. Ek Ders	122.3	10.7

3. Örnek Şebeke Modeli

- ✓ Benzetim çalışmasında kampüs içerisinde belirlenen üç TM'nin kendi yükleri ile birlikte elektrikli araç yüklerinin de ilavesi ile oluşan yüklenme durumları analiz edilmiştir. Bu üç TM için 24 saatlik yük profilleri oluşturulmuştur. Diğer TM'lerin yüklenme durumu maksimum yük değerlerinde, zaman profili oluşturmadan sabit yük olarak modellenmiştir.

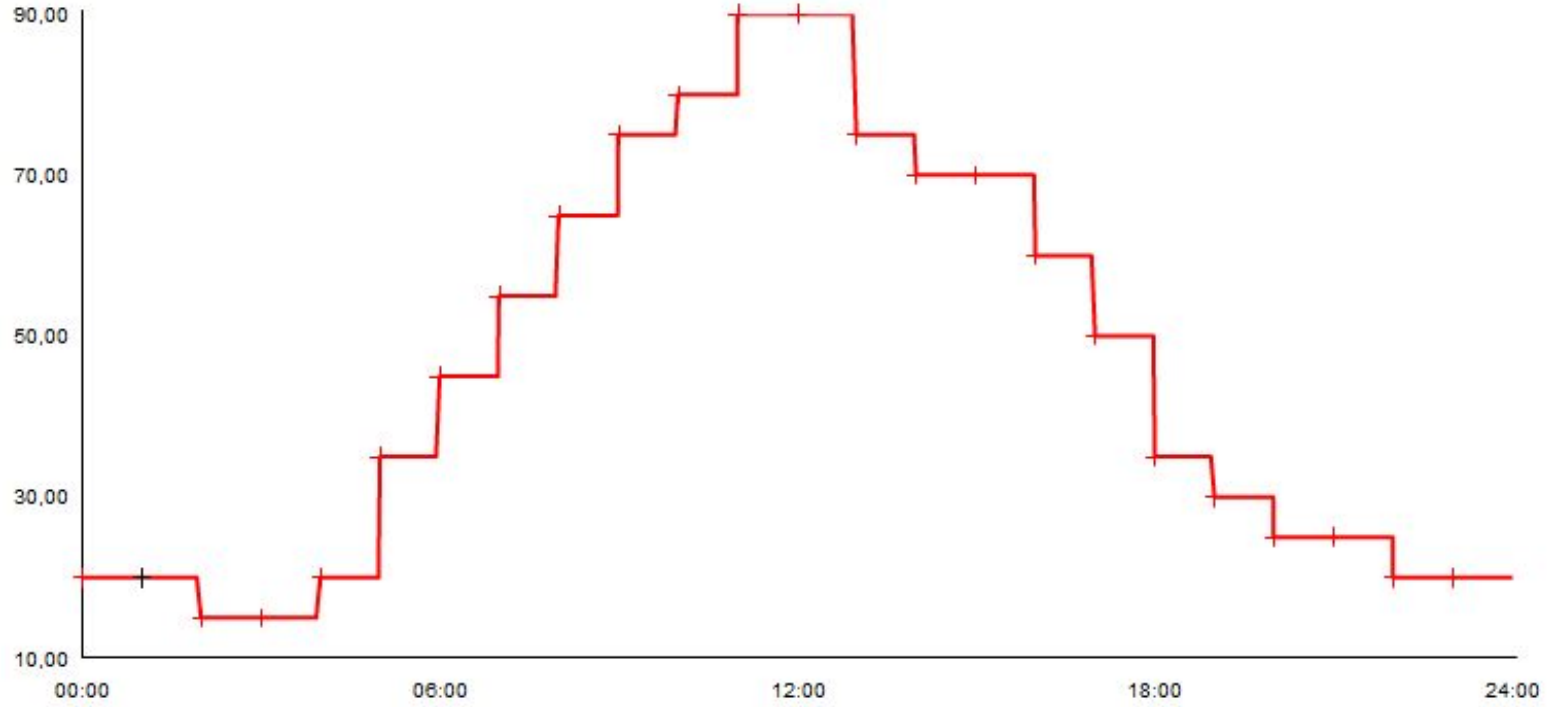


Şekil 2. Müh. Fak. (A) TM'nin 24 saatlik yük profili



Şekil 3. Psikoloji TM'nin 24 saatlik yük profili

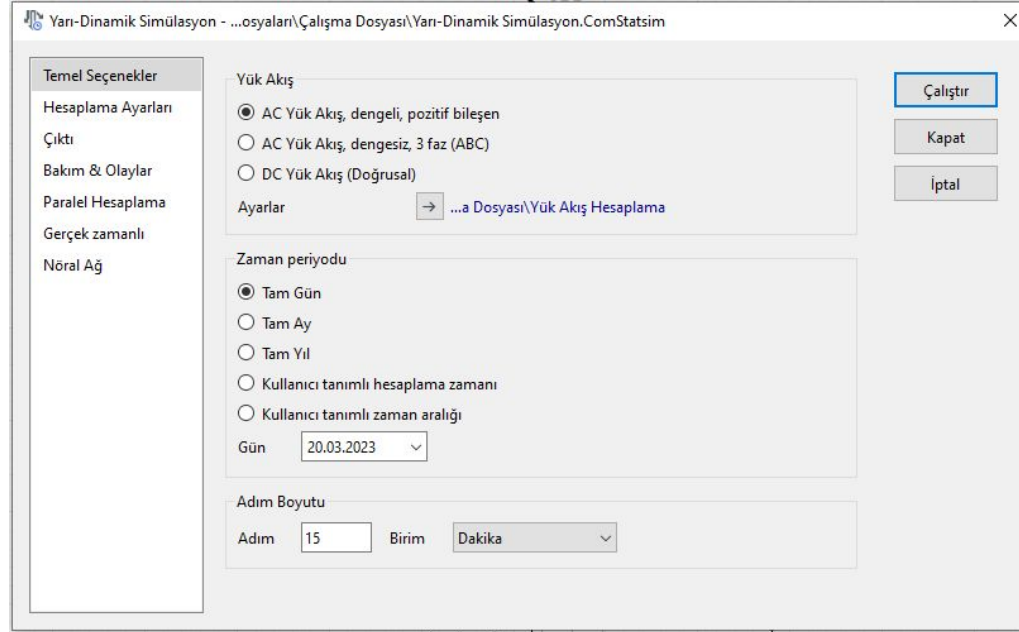
3. Örnek Şebeke Modeli



Şekil 4. Morfoloji TM'nin 24 saatlik yük profili

DIgSILENT Powerfactory Yarı-Dinamik Simülasyon (Quasi-Dynamic Simulation)

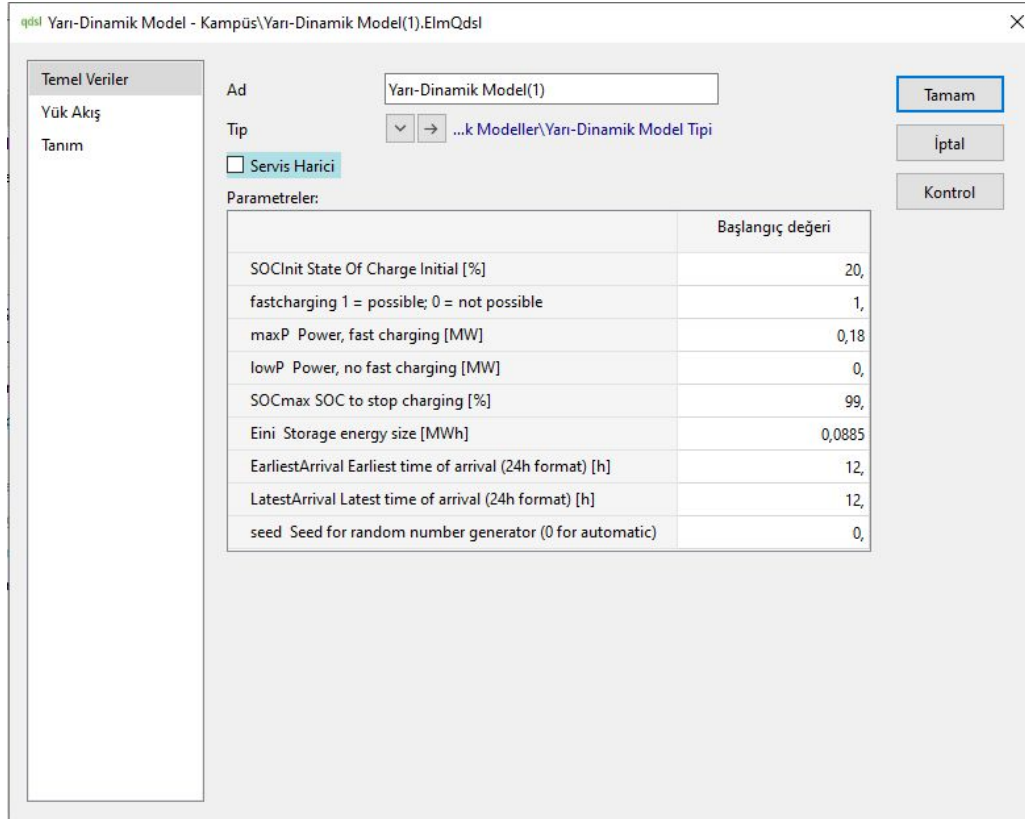
- ✓ Orta ve uzun vadeli simülasyonların yürütülmesi için kullanılır.
- ✓ Kullanıcı tanımlı zaman adımı büyüklükleri ile çoklu yük akışı hesaplamaları gerçekleştirilir.



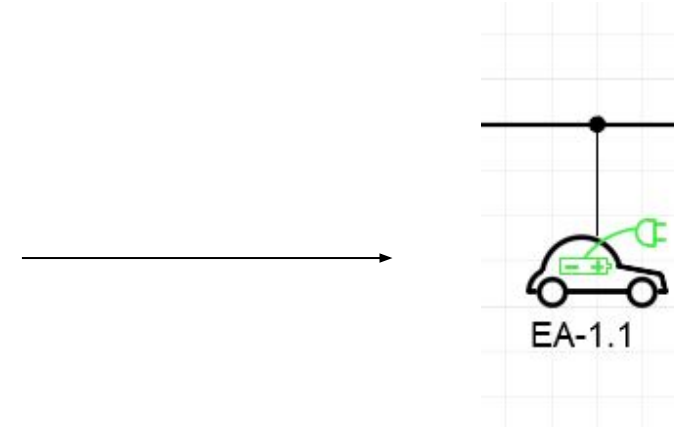
Şekil 5. DIgSILENT Powerfactory, yarı-dinamik simülasyon ekranı

DIgSILENT Powerfactory Yarı-Dinamik (QDSL) EV Modeli

- ✓ Bu model yarı-dinamik simülasyonlarda kullanılmak üzere, bir elektrikli aracın davranışını temsil etmektedir.



Şekil 6. DIgSILENT Powerfactory, Yarı-Dinamik (QDSL) EV modeli

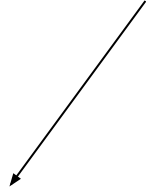


Tablo 7. TOGG “T10X” modeli teknik özellikleri

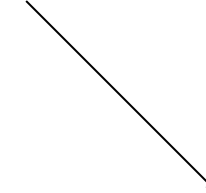
Özellik	Değer
Batarya Kapasitesi	88.5 kWh
Maksimum Menzil	523 km
Enerji Tüketimi	0.169 kWh/km
Şarj Gücü	AC (11 kW)
	DC (180 kW)

3. Örnek Şebeke Modeli

- ✓ Araçların şarj olmaya geldikleri sırada, bataryalarının doluluk oranı (State Of Charge, SOC) %20 olup, araçlar %100 doluluk oranına kadar şarj işlemlerini gerçekleştirip şarj istasyonlarından ayrılmaktadır.
- ✓ Araçların şarj olmaya geldiği saatler, ilgili üç TM'nin yük profillerindeki yüklenme oranlarının fazla olduğu aralıklarda olacak şekilde belirlenmiştir. Buna göre; Müh. Fak. (A) TM için 12:00, Psikiyatri TM için 14:00, Morfoloji TM için ise 11:00 olacak şekilde senaryolar oluşturulmuştur.



**Senaryo-1: EV'lerin
%100 Penetrasyon
Durumu**



**Senaryo-2: EV'lerin
%50 Penetrasyon
Durumu**

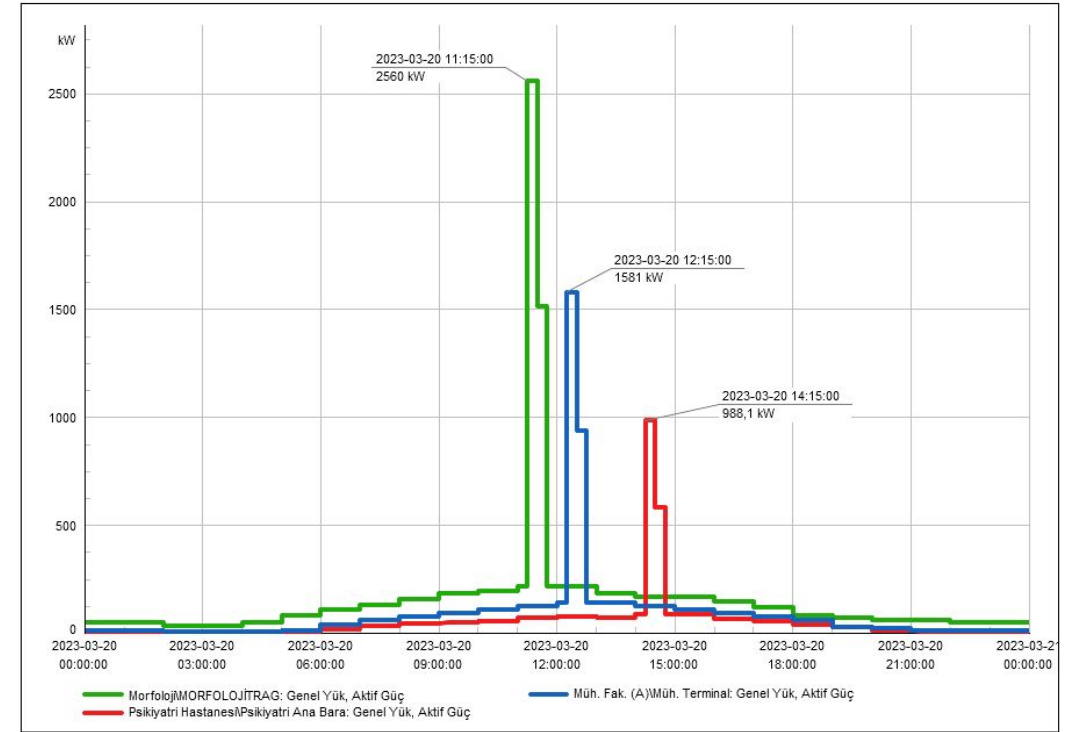
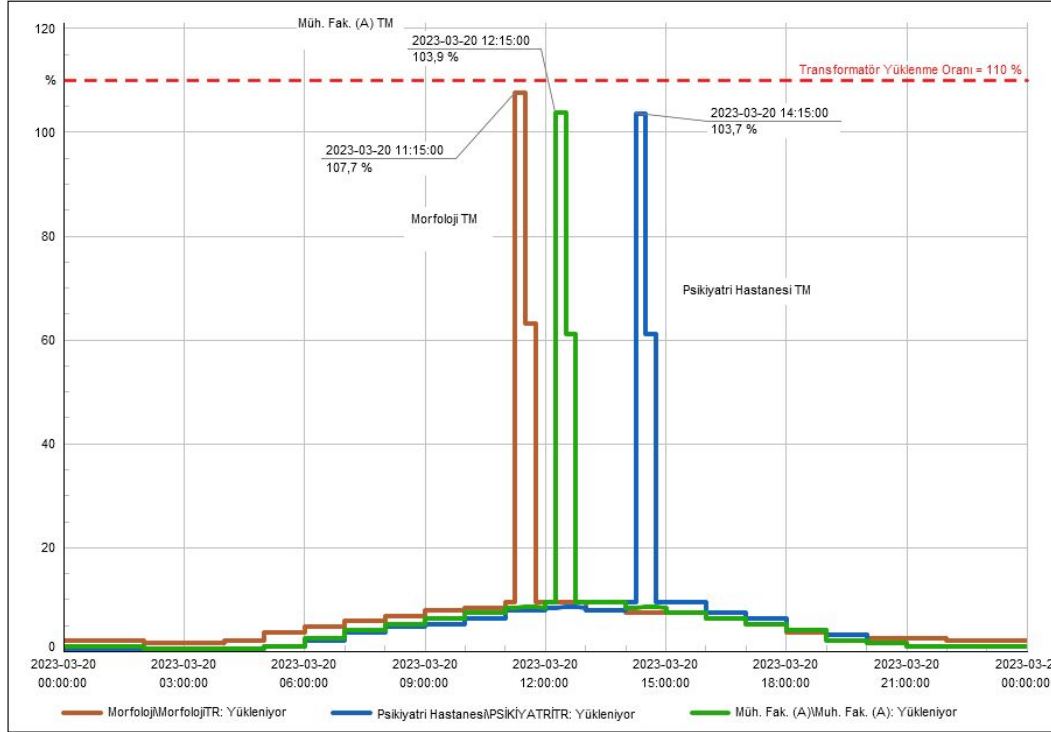
3.1 Senaryo-1 EA'ların %100 penetrasyon durumu

- ✓ İlk senaryoda, Müh. Fak. (A), İktisat ve Morfoloji TM'lerine elektrik araç tesisi yapılmıştır
- ✓ Transformatörler için yüklenme sınırı %110 olarak belirlenmiş olup bu değer, aynı anda şarj olmaya gelecek araç sayısının belirlenmesinde rol oynamıştır.

Tablo 8. İlgili TM'lere ait bağlantı durumları ve elektriksel verileri

TM	Araçların Varış Zamanı	Bağlanan Elektrikli Araç Sayısı	Toplam Şarj Gücü (kW)	Toplam Batarya Kapasitesi (kWh)
Müh. Fak. (A)	12.00	8	1440	707.200
Psikiyatri Hastanesi	14:00	5	900	442.000
Morfoloji	11:00	13	2340	1,149.200

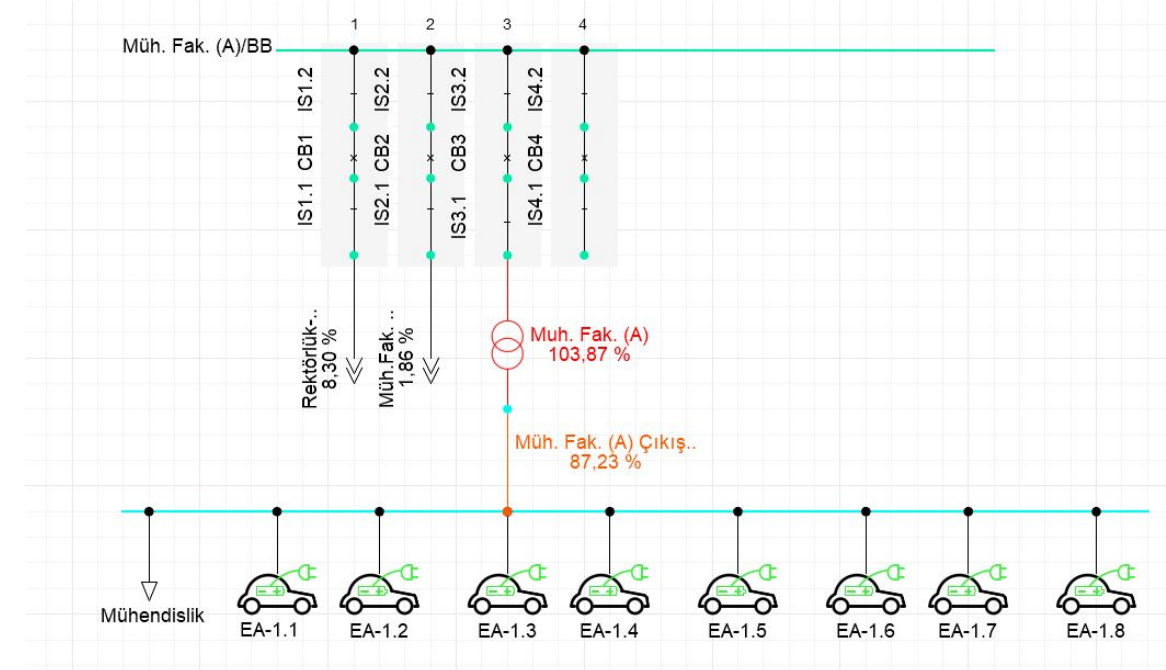
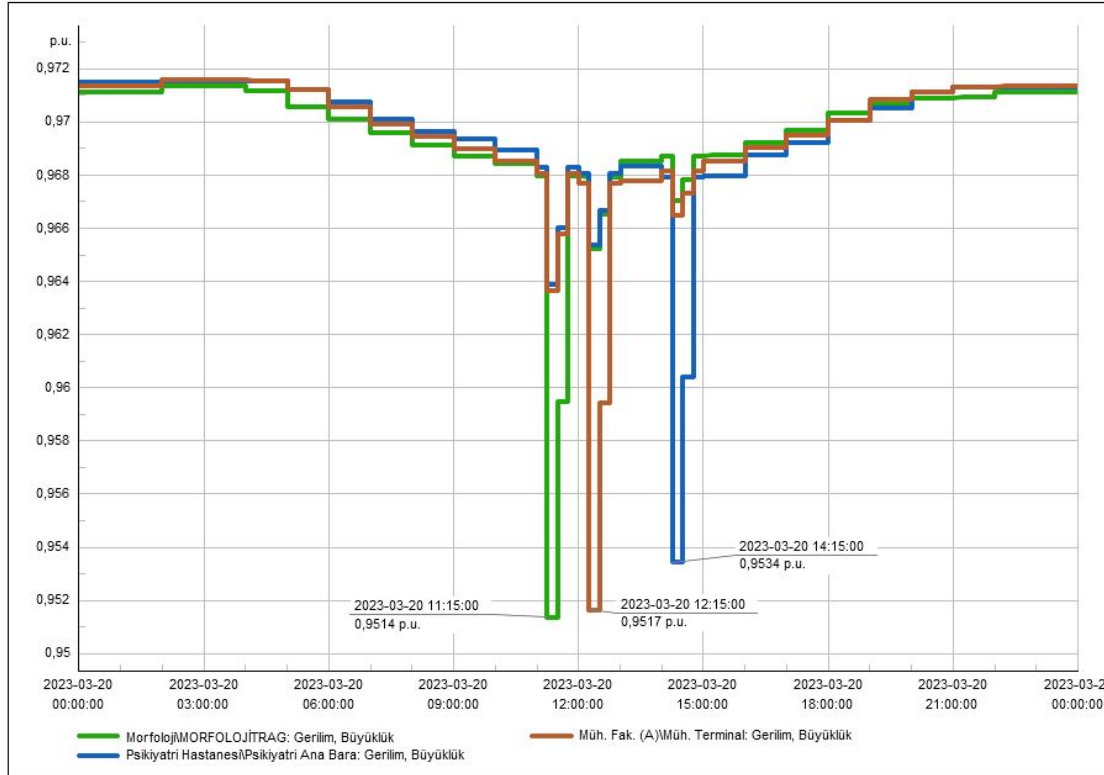
3.1 Senaryo-1 EA'ların %100 penetrasyon durumu



Şekil 7. Senaryo-1 için ilgili TM'lerdeki transformatörlerin yüklenme oranları

Şekil 8. Senaryo-1 için ilgili TM'lerin yük profilleri

3.1 Senaryo-1 EA'ların %100 penetrasyon durumu



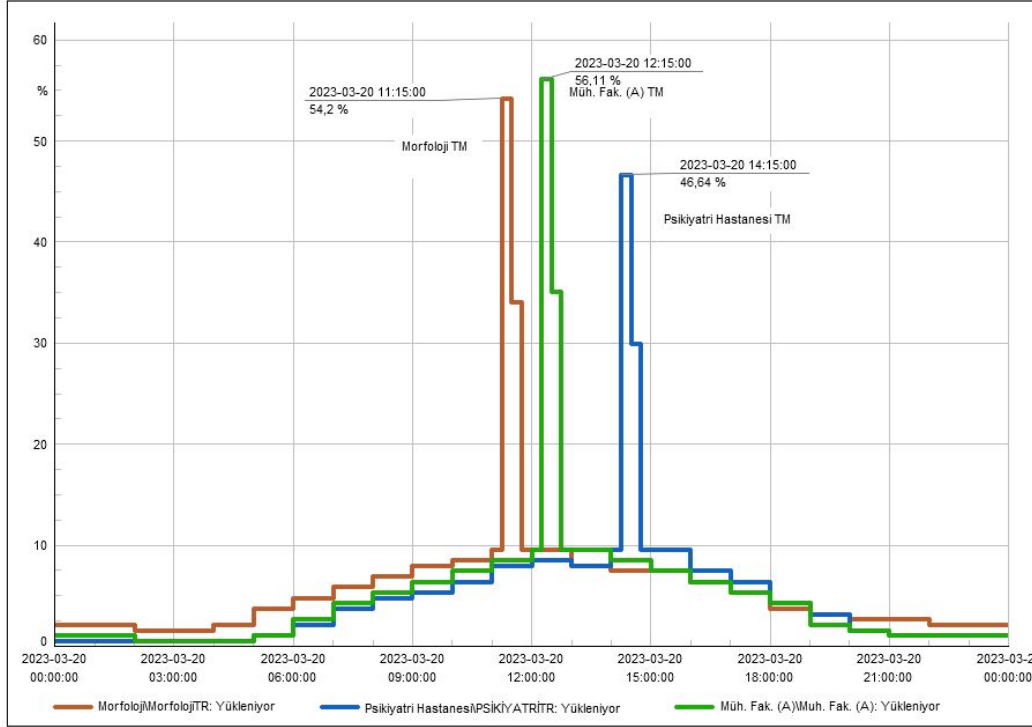
3.2 Senaryo-2 EA'ların %50 penetrasyon durumu

- ✓ İkinci senaryoda, Müh. Fak. (A), İktisat ve Morfoloji TM'lerine ilk senaryodaki araç davranışlarının ve araçların ilk geldiği andaki şarj oranları değiştirilmeden araç sayılarının yaklaşık olarak yarı yarıya azaldığı durum ele alınmıştır.

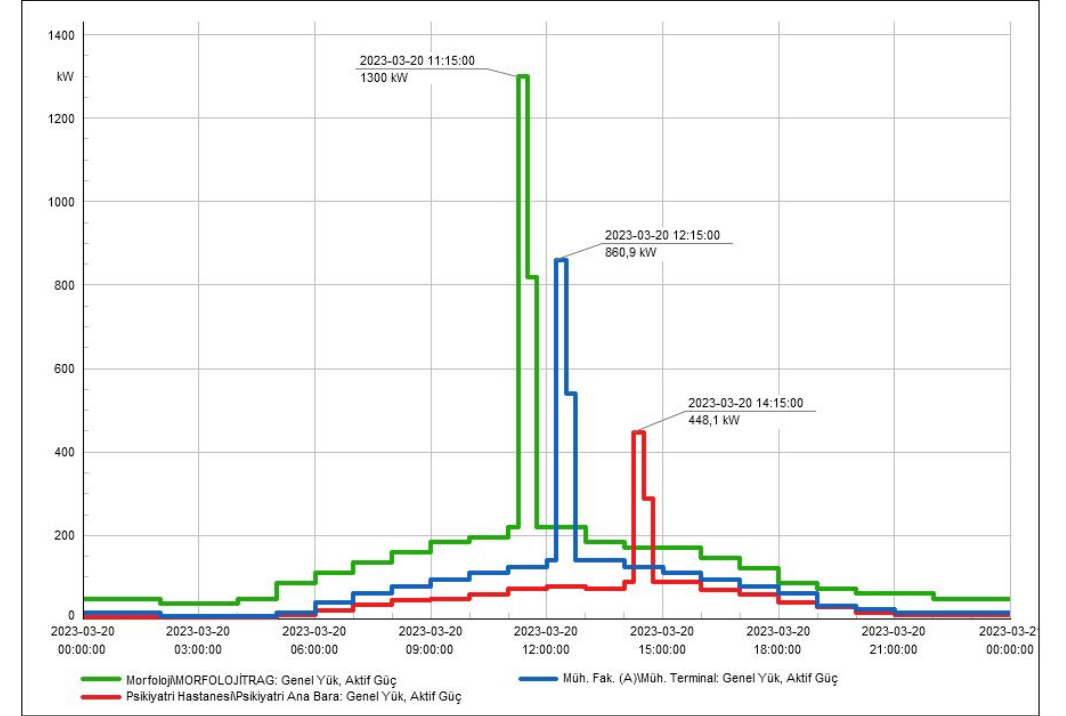
Tablo 9. Senaryo-2 dahilinde ilgili TM'lere ait bağlantı durumları ve elektriksel verileri

TM	Araçların Varış Zamanı	Bağlanan Elektrikli Araç Sayısı	Toplam Şarj Gücü (kW)	Toplam Batarya Kapasitesi (kWh)
Müh. Fak. (A)	12.00	4	720	353.600
Psikiyatri Hastanesi	14:00	2	360	176.800
Morfoloji	11:00	6	1080	530.400

3.2 Senaryo-2 EA'ların %50 penetrasyon durumu

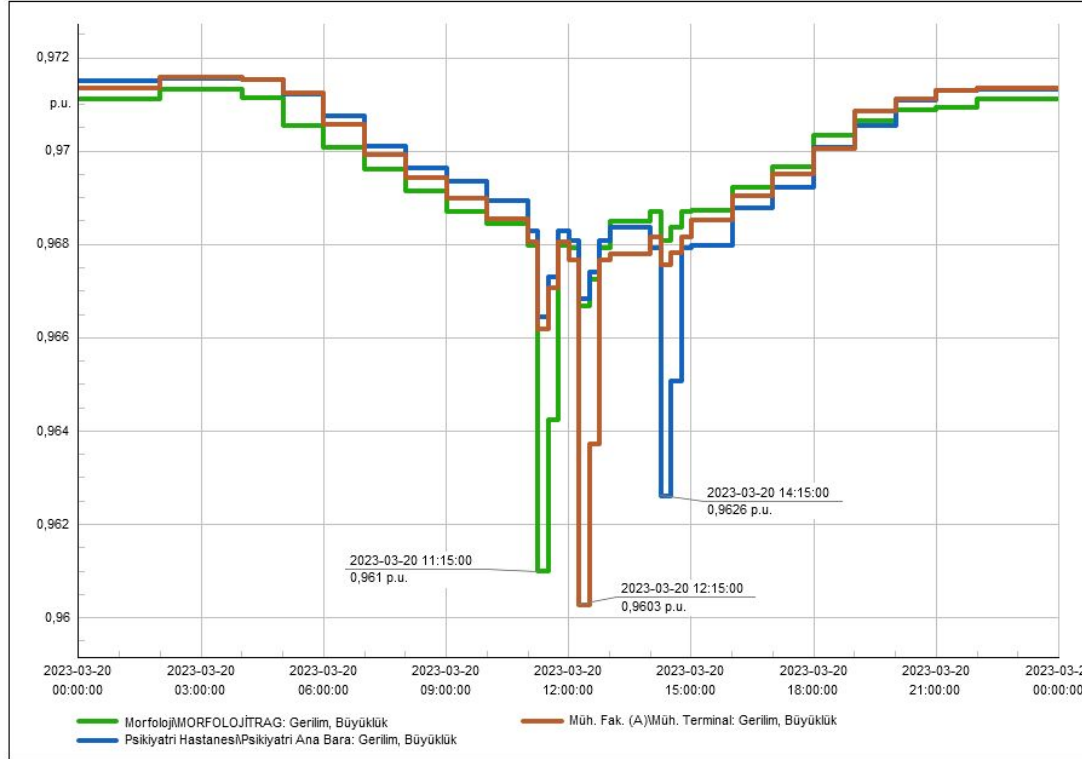


Şekil 11. Senaryo-2 için ilgili TM'lerdeki transformatörlerin yüklenme oranları

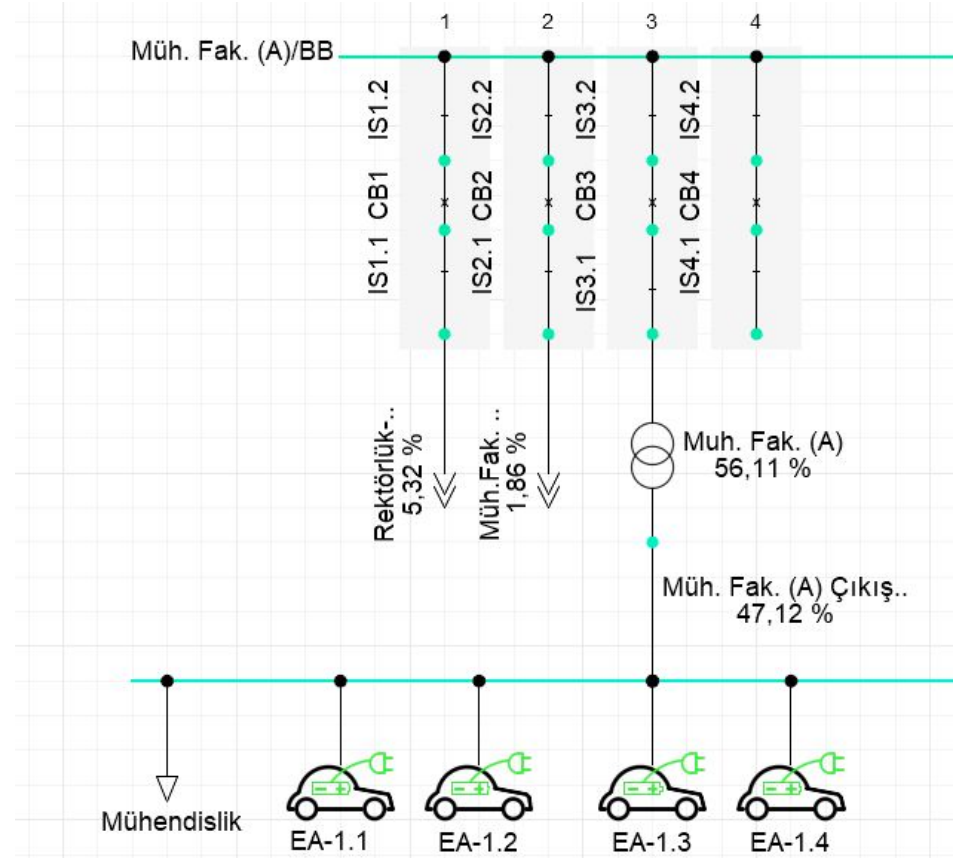


Şekil 12. Senaryo-2 için ilgili TM'lerin yük profilleri

3.2 Senaryo-2 EA'ların %50 penetrasyon durumu



Şekil 13. Senaryo-2 için ilgili TM'lerin gerilim profilleri



Şekil 14. Senaryo-2 için Müh. Fak. (A) TM'e ait yüklerin bağlantı şeması

3.3 Örnek şebekenin kısa devre akımları ve TM çıkış hatlarının akım taşıma kapasitesi yönünden incelenmesi

Tablo 10. İlgili TM'lerin çıkış kesitleri, sekonder noktalarındaki kısa devre akımları ve devre kesicilerin nominal akım değerleri

	Üç Kutuplu Kısa Devre Akımı(kA)	TM Çıkış Kesiti	MCCB Nominal Akım(A)
Müh. Fak. (A)	36	5x(1x240 mm ²) NYY	2.500
Psikiyatri Hastanesi	24,509	3x(1x240 mm ²) NYY	1.600
Morfoloji	54,996	8x(1x240 mm ²) NYY	4.000

$$I_{cu} > I''_{k3}$$

$$I_B \leq I_n \leq I_Z$$

I''_{k3} =maksimum üç kutuplu simetrik kısa devre akımı

I_{cu} =kısa devre kesme kapasitesi

I_B işletme akımı, I_n koruma cihazının nominal akımı ve I_Z ise iletkenin veya kablonun akım taşıma kapasitesidir.

4. Sonuçlar ve Tartışma

- ✓ Senaryo-1 dahilinde, belirlenen üç TM'ye toplamda 26 adet elektrikli araç şarj istasyonu tesisi yapılmıştır. Senaryo-2 de ise, bu sayı 12'ye düşürülmüştür.
- ✓ Yapılan analizler sonucunda; 5x(1x240 mm²) NYY kesitli Müh. Fak. (A) TM çıkış hattı Senaryo-1'de %87,23, Senaryo-2 de ise %47,11 oranında yüklenmiştir. 3x(1x240 mm²) NYY kesitli Psikiyatri Hastanesi TM çıkış hattı Senaryo-1 dahilinde %90,64, Senaryo-2'de ise %40,78 oranında yüklenmiştir. Son olarak, 8x(1x240 mm²) NYY kesitli Morfoloji TM çıkış hattında ise yüklenmeler %88,46'ya %44,48 şeklindedir.

4. Sonuçlar ve Tartışma

- ✓ Gerilim düşümü açısından incelendiğinde, Denizli-4 380 TM'den itibaren 31,5 kV olarak gelen şebeke gerilim değerinin, senaryolar dahilinde Kök B Ana Dağıtım noktasında 30,4 kV gerilim seviyesine düştüğü görülmektedir.
- ✓ Elektrik Kuvvetli Akım Tesisleri Yönetmeliği'nin 58. maddesine göre ; gerilim düşümü indirici trafo merkezlerinin sekonderinden itibaren yüksek gerilim dağıtım şebekelerinde %7'yi aşmamalıdır. Mevcut analiz için bu değer %3,49 olup, ilgili yönetmelik dahilinde elde edilen verinin istenilen düzeyde olduğu söylenebilir.
- ✓ TM'lerin sekonder noktalarında ise 0,97 p.u. olan gerilim değerleri senaryolarda elektrikli araçların şarj olduğu aralıklarda 0,95-0,96 p.u. seviyelerindedir.

4. Sonuçlar ve Tartışma

- ✓ Üç kutuplu kısa devre akımları (I''_{k3}) ve TM ıkış hatlarının akım taşıma kapasitesi yönünden yapılan incelemelerde, TM'lerin çıkış hatlarında kullanılan devre kesicilerin kısa devre kesme kapasitelerinin (I_{cu}), hesaplanan üç kutuplu kısa devre akımlarından büyük olduğu tespit edilmiştir. Yine ıkış hatlarında kullanılan kabloların anma kuralına göre uygunluğu örnek bir TM üzerinden incelenmiş olup, diğer TM'ler için de herhangi bir sorun tespit edilmemiştir.

Öneriler:

- ✓ Böyle bir şarj istasyonu yapısının mevcut sisteme uygulanması durumunda, TM'lerin elektrikli araçlar dışındaki yüklerini sürekli izleyen ve elektrikli araçların şarj olma durumlarını kontrol eden bir SCADA/Yapay Zeka destekli sistem kurulabilir.
- ✓ TM'lerin yüklenme durumlarına göre, özellikle puant yük durumunda transformatör kapasitesine göre, şarj istasyonlarının olduğu bölgede kaç adet aracın aynı anda şarj olabileceğine karar veren ve farklı başlangıç şarj durumlarındaki araçlar için yine şebekeyi zorlamayacak şekilde belirli bir şarj limiti koyabilen kontrol sistemleri tasarlanmalıdır.

VII. ELEKTRİK TESİSLERİ ULUSAL KONGRE ve SERGİSİ



TMMOB
Elektrik Mühendisleri Odası

TEŞEKKÜRLER

