

Mikro Şebeke Dizaynı, Geliştirilmesi Ve Gösterilmesi

Program Kodu: Uluslararası ERANET-MED

Proje No: 215E373

Proje Yürütücüsü:
Doç. Dr. Ahmet ÖNEN

Araştırmacı(lar):
Doç. Dr. Bora ALBOYACI
Prof. Dr. İrfan ALAN

Ocak 2020
KAYSERİ

Önsöz

Bu projede Malta da bulunan MCAST (ve daha sonra eklenen Yunanistan da bulunan CERTH araştırma merkezi kampüsünün) üniversitesinin elektrik şebekesini mikro şebeke olarak çalıştırılması konusunda yapılan simülasyonlar ve bu simülasyonların şebekede ki sonuçları gösterilmektedir. Proje de sekonder ve tersiyer kontrol metotları geliştirilerek mikro şebeke optimum işletilmesi amaçlanmıştır. Bu metotlar şebeke bağlantı modundan ada moda geçişlerin başarılı bir şekilde yapılmasından, işletme maliyetini minimuma indirilmesine ve yan hizmetler için gerçekleştirilen çalışmalar bu raporda sunulmuştur. Bulunan sonuçlar ile 1 adet SCI makale yayınlanmış olup, 2 tane makale hakem değerlendirilmesinde olup, 2 tanede makale hazırlık aşamasındadır. 8 adet uluslararası konferansta sözlü bildiri basılmış, 2 adet uluslararası konferansta sözlü bildiri 2020 yılı içinde sunulmak üzere kabul edilmiş ve 2 tane de sözlü bildiri hazırlık aşamasındadır. Ayrıca bu proje desteği ile 1 öğrencinin (Mustafa Çağatay Koçer) yüksek lisans tezi tamamlanmıştır, 1 öğrencinin (Levent Yavuz) doktora çalışmaları için 1 yıl desteklendikten sonra üniversitemizde bölüm asistanı olunca projeden ayrılmıştır, ayrıca üniversitemizde bölümde asistan olarak çalışan 1 öğrencinin (Yeliz Yoldaş) de doktora tezindeki çalışmalar bu proje kapsamında devam etmektedir. Ayrıca bu proje deki çalışmalarımıza destek olmak için de Türkiye Bursluları derneğinden destek alıp aramıza katılan post-doc araştırmacı (Dr. Rayhane Koubaa) da bu proje ye destek olmaktadır ve şuan da hakem değerlendirmelerinde ki sözlü bildiri ve 2 makale de post-doc araştırmacıya aittir. Bu projede ki fikirlerden oluşan yeni bir fikir ile de hem patent başvurusu hemde Tübitak 1001 projesine başvuru yapılmış ve şuan da değerlendirilme aşamasındadır. Proje kapsamında projede ki ortaklarımız ile işbirlikleri imzalanmış olup, bölümümüz ile University of Seville Elektrik mühendisliği ve MCAST University Elektrik mühendisliği bölümleri arasında da Erasmus+ anlaşmaları yapılarak hem akademik kadro hem de lisans/yüksek lisans öğrencilerimize değişim imkânı sağlanmıştır.

Bu proje Uluslararası ERANET başlığı altında TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir. Başta destek sağlayan kurum olarak TÜBİTAK'a daha sonra da emeği geçenlere ve değerlendirenlere teşekkür ederiz.

İçindekiler

İçindekiler.....	iii
Tablo ve Şekil Listeleri.....	iv
Özet.....	vii
Abstract.....	viii
1. Giriş	1
2. Literatür Özeti	2
3. Gereç ve Yöntem	5
3.1 Mikro Şebeke Pilot Çalışmasının yapılacağı Malta College of Arts Science and Technology (MCAST) Üniversitesine ait bilgiler	5
3.1.a. Mikro Şebekede Yer alan Paydaşlar ve Görevleri.....	9
3.1.b. Mikro Şebeke Sisteminin Mimarisi.....	10
3.1.c. Mikro Şebekede Fonksiyonel ve Fonksiyonel Olmayan Gereksinimler.....	16
3.2 Mikro Şebekenin Modellenmesi, Kontrolü ve Optimizasyon.....	33
3.2.a. Mikro Şebekenin İzlenmesi ve Kontrolü için SCADA sistemi alt Yapısı Tasarımı	39
3.2.b. Dinamik ve Stokastik Optimizasyonun Mikro Şebekede Uygulanması için Kontrolcü Tasarımı	45
3.2.c. Yardımcı Hizmetlerin Sağlanması için Stokastik ve Deterministik Optimizasyon Yaklaşımı.....	49
3.2.d. Ajan Dengeleme (Agent Balance) Optimizasyonun Modellenmesi.....	54
3.2.e. Önemli Performans İndikatörleri (Key Performance Indicator – KPIs).....	58
4. Bulgular	62
4.1 Proje Kapsamında ki Mikro Şebekelerin Detay Analizleri	62
4.1.a. MCAST Pilot Devresi	62
4.1.b. CERTH Pilot Devresi	63
4.2 Mikro Şebekelerin Simülasyon Sonuçları.....	64
4.2.a. MCAST Simülasyonları.....	64
4.2.b. CERTH Simülasyonları.....	65
4.3 Pilot mikro şebekelerin gerçekleştirilmesi sonuçları.....	70
4.3.a. MCAST Pilot Devresi Sonuçlar.....	70
4.3.b. CERTH Pilot Devresi Sonuçlar	77
5. Tartışma/Sonuç.....	88
Kaynaklar	91
EK.....	92

Tablo ve Şekil Listeleri

Tablo 3.1. Seçilen pilot binalar.....	8
Tablo 3.2. Pilot binalar için trafolar	8
Tablo 3.3. Trafo merkezlerine bağlı kablolar	9
Tablo 3.4. Volere gereksinim metodolojisine göre 3D mikro şebeke gereksinim şablonu	16
Tablo 3.5. Verilere erişmek için güvenli giriş erişimi	17
Tablo 3.6. Yönetici kullanıcılar için uzaktan kontrol fonksiyonları	17
Tablo 3.7. Sistemin verdiği mesajları kolay ve açık şekilde anlamak	18
Tablo 3.8. Kullanıcı dostu & Uyarlanabilir kullanıcı arayüzleri	18
Tablo 3.9. Seçilen pilot binalar.....	19
Tablo 3. 9. Büyük miktarda veri kullanma.....	19
Tablo 3. 10. Sistemi geri çağırma /kurtarma.....	19
Tablo 3. 11. Verilerin korunması.....	20
Tablo 3. 12. Uygulanan kontrol stratejileri ile ilgili bildirim sorunu.....	20
Tablo 3. 13. Mikro şebekeye ait geçmiş verilere ulaşma ve görüntüleme.....	21
Tablo 3. 14. Enerji tüketimini izleme.....	21
Tablo 3. 15. Enerji kaynaklarını izleme.....	22
Tablo 3. 16. Mikro şebeke topolojilerini izleme ve bileşenlerin durumu.....	22
Tablo 3. 17. PCC'de güç akışını izleme.....	23
Tablo 3. 18. Gerçek zamanlı çalışmada mikro şebeke gerilimini izleme.....	23
Tablo 3. 19. Gerçek zamanlı çalışmada mikro şebeke frekans izleme.....	24
Tablo 3. 20. Hava durumu tahmini bilgisini sağlama.....	24
Tablo 3. 21. Ortam koşullarını izleme.....	25
Tablo 3. 22. Ortak bilgi alışverişi modelinin kullanımı.....	25
Tablo 3. 23. SCADA, Çok algılı şebeke ile gerçek zamanlı haberleşme.....	26
Tablo 3. 24. Hesaplanan özellikler/değerler/parametrelerin geçmiş bilgi olarak depolanması.....	26
Tablo 3. 25. Ada modunda mikro şebeke gerilim kontrolü.....	26
Tablo 3. 26. Ada modunda mikro şebeke frekans kontrolü.....	27
Tablo 3. 27. Ada modunda kararlı durumda optimize edilmiş güç akışı kontrolü.....	27
Tablo 3. 28. Şebeke bağlantılı modda kararlı durumda optimize edilmiş güç akışı kontrolü.....	28
Tablo 3. 29. Türlerine göre desteklenen dağıtık enerji kaynaklarının ve enerji depolama sistemlerinin kontrolü.....	29
Tablo 3. 30. Şebekeye destek olan yardımcı servisler.....	29
Tablo 3. 31. Şebeke bağlantılı moddan ada moduna geçiş ve tam tersi geçiş.....	30
Tablo 3. 32. Mikro şebeke gün öncesi dağıtım (dispatch) optimizasyonu.....	30
Tablo 3. 33. Mikro şebeke bileşen bölme.....	31
Tablo 3. 34. Otomatik kontrol eylemlerini atlamak.....	31
Tablo 3. 35. Merkezi kontrolörden otomatik gerçek zamanlı karar verme.....	32
Tablo 3. 36. Birincil kontrol seviyesinde ölçeklenebilirlik için modülerlik.....	32
Tablo 3.37. MCAST kampüs binalarından 5 dakikalık alınan veriler.....	35
Tablo 3.38. Setler, Parametreler ve Değişkenler Listesi.....	56
Tablo 3.39. Literatürdeki KPIs.....	59
Tablo 3.40. Literatürdeki KPIs kampüslerdeki Uygulaması.....	60
Tablo 4.1. MCAST kampüsünde binaların ve trafo merkezlerinin tanımı.....	62
Tablo 4.2. CERTH/ITI akıllı ev mikro şebekesinde gözlemlenen yıllık KPI'lar	81
Şekil 3.1. MCAST kampüs binalarının ve trafo merkezlerinin dağılımları	5
Şekil 3.2. 11 kV'lık elektrik şebekesi	6

Şekil 3.3. Pilot binalar için MCAST kampüsünün mevcut elektrik şebekesinin dağılımı	7
Şekil 3.4. 3D mikro şebeke projesi için pilot binalar için MCAST kampüsünün elektrik şebekesinin dağılımı (2019).....	7
Şekil 3.5. 3D mikro şebeke sisteminin mimarisi	10
Şekil 3.6. MCAST kampüsü elektrik şemasının sembolük gösterimi	34
Şekil 3.7. MCAST kampüsünün elektriksel çizimi	35
Şekil 3.8. MCAST kampüs binalarının yüklerinin matematiksel SİMULİNK Modeli	3
6	
Şekil 3.9. MCAST kampüs binalarının yüklerinin görsel modeli	36
Şekil 3.10. MCAST kampüs PV değerleri oluşturacak SİMULİNK Modeli	37
Şekil 3.11. MCAST kampüs PV görsel SİMULİNK Modeli	37
Şekil 3.12. MCAST kampüs Depolama görsel SİMULİNK Modeli	37
Şekil 3.13. MCAST kampüs Dizel Jeneratör SİMULİNK Modeli	38
Şekil 3.14. MCAST Kampüsünün Elektriksel SİMULİNK Modeli Görünümü	39
Şekil 3.15. Mikro Şebeke de Kullanılmak Üzere Tasarladığımız Kontrol Mimari	4
0	
Şekil 3.16. JADE platformu iç mimarisi	41
Şekil 3.17. JADE platformu iletişim gösterimi.....	42
Şekil 3.18. Senaryo 1 in görsel anlatımı.....	43
Şekil 3.19. Senaryo 1 için JADE platformu çıktısı.....	43
Şekil 3.20. Senaryo 2 nin görsel anlatımı.....	44
Şekil 3.21. Haberleşme bağlantısı yapıldığına dair gösterge.....	44
Şekil 3.22. MGCC ve Sunucu haberleşme ve bilgi transferi çıktısı.....	45
Şekil 3.23. Tepe Öteleme Kontrolcüsünün gösterimi.....	46
Şekil 3.24. Tepe Öteleme sonuçları.....	47
Şekil 3.25. Sabit P modu Kontrolcüsünün gösterimi.....	48
Şekil 3.26. Sabit P modu sonuçları.....	49
Şekil 3.27. Talep Senaryoları.....	51
Şekil 3.28. Fotovoltaik Üretim Senaryoları.....	52
Şekil 3.29. Saatlik Enerji Fiyat Senaryoları.....	52
Şekil 4.1. MCAST pilot binalarının havadan görünüşü.....	62
Şekil 4.2. MCAST Kampüs Sahası – Elektrik Şebekesi.....	63
Şekil 4.3. CERTH/ITI Akıllı Ev.	64
Şekil 4.4. Döngü ortamında donanım altında MCAST mikro şebekesinin çalışmasını incelemek için dijital ikizin uygulanması	64
Şekil 4.5. Akıllı Ev Mikro Şebeke Simülasyon Sonuçları.....	67
Şekil 4.6. MGCC ajanı yokken işlem döngüsü.....	69
Şekil 4.7. 3DMicroGrid platformu ile MCAST gerçek zamanlı veri	71
Şekil 4.8. AC Okumaları içe aktarmak için kod.....	72
Şekil 4.9. Ölçümü içe aktarmak için kod.....	73
Şekil 4.10. Gerçek zamanlı veriler ile MCAST sahasının GIS Modeli	73
Şekil 4.11. J binasının ayrıntı düzeyi (A)	74
Şekil 4.12. J binasının ayrıntı düzeyi (B)	74
Şekil 4.13. MCAST mikro şebeke için Web Scene.....	75
Şekil 4.14. J binasının gerçek zamanlı sıcaklığı.....	75
Şekil 4.15. J binasının sıcaklık eğiliminin genel görünümü	76
Şekil 4.16. J binasının sıcaklık eğiliminin genel görünümü (detaylı)	76
Şekil 4.17. İkinci katın sıcaklık eğilimi	77
Şekil 4.18. Zemin kattaki konferans salonu G1' in sıcaklık eğilimi	77
Şekil 4.19. MG operatörünün gerçek zamanlı çalışması.....	78
Şekil 4.20. Gerçek zamanlı ölçümlerden öngörülen yük tüketiminin sapması.....	79

Şekil 4.21. RES üretimi için öngörülen üretimin doğruluğu	79
Şekil 4.22. RES penetrasyonu yüzdesi.....	80
Şekil 4.23. Mikro şebekenin çalışma frekansının sınırları.....	80
Şekil 4.24. Mikro şebekenin çalışma geriliminin sınırları.....	81
Şekil 4.25. Aşırı asimetrik yük şarjı.....	81
Şekil 4.26. Karşılaştırmalı Performans Grafikleri: (a) MG Başarısı, (b) Göreceli Günlük Maliyet Azaltma.....	83
Şekil 4.27. import/export ve şarj / deşarj özelliklerini kullanarak gün öncesi planlama.....	84
Şekil 4.28. nZEB akıllı evin 3D modeli.....	84
Şekil 4.29. Akıllı evin iç alanının detayı	85
Şekil 4.30. nZeb Smart Home Kontrol paneli (sekme 1)	85
Şekil 4.31. nZeb Smart Home (Kat 2)	86
Şekil 4.32. nZeb Smart Home (Kat 2 – yatak odaları)	86
Şekil 4.33. 3DMG Kontrol Paneli ile nZeb Smart Home	87

Özet

Bu projede Malta da bulunan MCAST (ve daha sonra eklenen Yunanistan da bulunan CERTH araştırma merkezi kampüsünün) üniversitesinin elektrik şebekesini mikro şebeke olarak çalıştırılması konusunda yapılan simülasyonlar ve bu simülasyonların şebekede ki sonuçları gösterilmektedir. Proje de sekonder ve tersiyer kontrol metotları geliştirilerek mikro şebeke optimum işletilmesi amaçlanmıştır. Bu metotlar şebeke bağlantı modundan ada moda geçişlerin başarılı bir şekilde yapılmasından, işletme maliyetini minimuma indirilmesine ve yan hizmetlere sunulan faydaları içermektedir. Bu metodlar geliştirilirken mikro şebekenin davranışı analiz edilmiş ve kesikli ve belirsiz PV entegrasyonuna göre adepte edilerek güncellenmiştir. Pv lerin kesikli ve belirsiz davranışı depolama sistemlerinin durumu, dizel jeneratörlerin varlığı, yüklerin kontrol edilebilir/edilemez olması gibi birçok değişken de dikkate alınarak reel zamanda cevap veren kontrolcülerin geliştirildiği bir çalışma olmuştur. Reel zaman da çalışabilen kontrolcü tasarımında hem MATLAB araçları geliştirilmiş hemde GAMS ortamında da optimizasyon sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Bu projenin gerek ülkemiz için gerekse tüm mikro şebeke geliştiricilere örnek olacağı düşünülmektedir. Proje kapsamında bir yüksek lisans tezi, bir tam ve bir de kısmi doktora öğrencisi desteklemesi ve birde post-doc araştırmacı için ise temel teşkil etmesi açısından da akademik boyutta istenilen hedeflere ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Akıllı mikro şebekeler, enerji yönetim sistemleri, Yapay zeka ve optimizasyon

Abstract

This Project represent the results of MCAST and CERTH (that is recently added to Project) electrical network as a micro grid concept and also represents all simulation requires to be able to provide reliable micro grid simulation results. One of the aim is to develop controllers for secondary and tertiary control to be able to run micro grid in an optimal manner. These methods are composed of the studies such as transmitting from grid connected mode to islanded mode or vice versa, keep operational cost as a minimum, and auxiliary services that micro grid can provide. When these controllers are developed, they are updated based on analyzing the behavior of MG for different intermittent scenarios of PV generation in real-time. In which MG has faced several challenges in real-time operation, such as uncertainty of PV, states of storage, availability of diesel generators, availability of controllable/uncontrollable loads are taken into account to mainly maintain a stable and reliable operation of small-scale power systems. The real-time simulation has been conducted using a special software package named GAMS simulator which has been made available through the 3DMicrogrid project. GAMS simulation results are compared to MATLAB tools results for developing controller stages. This Project can be a sample Project for developing micro grid in our country or all people who will develop micro grid. With the concept of Project, there is one master's thesis, one partial and one full PhD thesis, and one post-doc researcher worked to be able to make this Project academically effective and productive.

Keywords: Smart Micro Grid, Energy Management Systems, Artificial Intelligence and Optimizations

1. Giriş

Projenin temel amacı gerçek verileri ışığında kendi kendini yönetebilen ve dinamik olarak değişen yük ve üretim değerlerine rağmen mikro şebeke olarak çalışabilen ve bunu da gerçek bir mikro şebeke de uygulamaktır. Bu proje de hedeflenen ve geliştirilen sistem altyapı gereksinimi nedeniyle ve uluslararası proje olması hasebiyle Malta ve Yunanistan da ki iki üniversite kampüsünde gerçekleştirilmektedir. Günümüz de bu denli kendi kendini yönetebilen ve hem akademik hem de ticari olarak kurulan mikro şebekeler çok nadir olarak bulunmaktadır ve her birinin amaç fonksiyonları birbirlerinde farklıdır. Bu yüzden bu projede geliştirilmeye açık, tam işlevli bir mikro şebeke altyapısı kurulmuş olup, geliştirilen yazılım ve donanım altyapısı ile amaç fonksiyonu değiştirilerek ihtiyaca yönelik bir mikro şebeke de işletmesi de önermek mümkündür.

Projenin başarılı olabilmesi için ulaşılmak istenen hedefler:

- (i) **Dinamik yükler olduğu durumlarda da voltaj kontroölünü sağlayabilmek**
- (ii) **Akıllı mikro şebeke altyapısı geliştirmek**
- (iii) **Modüler mikro şebeke fonksiyonları tasarlamak**
- (iv) **Kararlı ve otomatik akıllı şebekeler oluşturmak**

Hedeflenen çalışmalar tamamlanmış olup güzel bir mikro şebeke altyapısı ile yönetilen bir kampüs elde edilmiştir. Gerçekleştirilen simülasyon çalışmaları bir çok yüksek etki faktörlü dergide basılmış yada değerlendirilme aşamasındadır. Bu proje de 11 farklı paydaş (GJU (Jordan), MCAST (Malta), UCY (Cyprus), AGU (Turkey), CERTH (Greece), GeoSYS (Malta), UoS (Spain), Energynautics (Germany), ENPORan (Algeria), ESDL (Malta)) ile birçok çalışma yapılmış ve projemiz için oluşturulan web sayfamızda (<https://www.3dmicrogrid.com/>) bu çalışmaların detayından bahsedilmiştir.

Geliştirilen **akıllı şebeke fonksiyonları sayesinde mikro şebeke kendi kendini yönetebilen, belirsizlikler ile başa çıkabilen ve performans indeksleri (KPI) üretebilen bir alt yapıda geliştirilmiştir**. Projenin gereç ve yöntem kısmında projede elde edilen akademik çalışmalar, geliştirilen simülasyonlar, mikro şebeke kurumu için geliştirilen altyapısal faaliyetler bir bütün olarak sunulurken, ileri de yapılacak mikro şebeke uygulamaları için bir yol haritası olma niteliğini de sahiptir.

Proje kapsamında binaların içindeki kontrol sistemlerinden, binaların sıcaklık haritalarına kadar birçok detay düşünülüp, ısıtma ve soğutma verileri ve bunların şebekeden talep edecekleri yüklerle kadar bir çok farklı disiplinlerden çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Bu raporda gereç ve yöntem kısmı ile ve bulgular kısmında farklı alanlarda yapılan çalışmalara da ayrı ayrı yer verilmiştir. Ayrıca ekip olarak gerçekteştirdiğimiz yayınlarda her bir disiplin ile ilgili çalışmalar yer almaktadır.

2. Literatür Özeti

Mikro şebeke konsepti küçük çaptaki birçok dağıtık enerji kaynaklarının müşteriilere yakın yerlere depolama sistemleri ile birlikte kullanılması konularını kapsamaktadır. CIGRE (International Council on Large Electric Systems) tarafından yapılan tanıma göre;

Mikro şebekeler gerek şebeke bağlantılı modda ya da ada modu modunda yüklerin, dağıtık enerji kaynaklarının kontrollü bir biçimde kullanılabilirdiği ve koordine edilebildiği elektrik dağıtım sistemleridir.

“Microgrids are electricity distribution systems containing loads and distributed energy resources, (such as distributed generators, storage devices, or controllable loads) that can be operated in a controlled, coordinated way either while connected to the main power network or while islanded.”

Mikro şebekeler hem geleneksek elektrik kaynaklarının hemde kapalı çevrim ısı güç birimlerinin, yenilenebilir enerji kaynaklarının ve yüklerin şebekeye bağlantısında tek nokta yükü ya da üretimi olarak düşünülebilir. Mikro şebekeler hem ada hem de şebeke bağlantılı modda çalışabilen küçük ölçekli şebekelerdir. Mikro şebekenin boyutu birkaç evi besleyen mikro şebeke olabileceği gibi alışveriş merkezleri, kampüsler ya da bazen de tüm bir bölgeyi besleyebilen boyutta olabilir.

2.1. Mikro Şebeke Ekipmanları

Mikro şebekeyi oluşturan ekipmanların başında dağıtık enerji kaynakları ve yükler vardır. Dağıtık enerji kaynakları da genel olarak müşteriilen olduğu kısma bağlanmakta ve 2 kategoride adlandırılmaktadır: Dağıtık Üretim (DÜ) birimleri ve Enerji Depolama Sistemleri (EDS). Bu cihazların yanında bir mikro şebeke de aynı zamanda koruma sistemleri, akıllı sayaçlar, anahtarlama elemanları ve kontrolçerde bulunabilmektedir.

Lokal Dağıtık Üretimler (LDÜ) müşterilerin alanında bulunan enerji üretim teknolojilerinin genel ismidir. Bu üretim sistemleri dizel jeneratörden gas jeneratörüne, fotovoltaik (FV) panellerden, mikro tribünlere, yakıt hücrelerine kadar birçok üretim birimini

kapsamaktadır. DÜ üretimlerde dağıtım yapabilen ve yapamayan olmak üzere iki ayrı kategoriye ayrılabilir. Dağıtım yapabilen DÜ mikro şebeke tarafından bir kontrolcü beraberinde çalışan sistemlerdir, bunlara en iyi örnek dizel jeneratörler verilebilmektedir. Dağıtım yapamayan DÜ ler ise genelde FV, mikro-tribünler sınıfına girmektedir ki bunlardaki üretim mikro kontrolcü tarafından kontrol edilememektedir. Bu tipteki DÜ lerin kesik ve belirsiz üretim profillerinden dolayı genellikle depolama sistemleri ile birlikte kullanılması verim açısından avantajlıdır. Modern mikro şebekeler her iki tipteki DÜ kaynaklarında bulundurarak kontrolcü sayesinde üretim-tüketim dengesi dağıtım yapabilen DÜ in artırılıp azaltılması ile sağlanmaktadır.

Enerji depolama sistemleri son yıllarda ki uygulamaları ile mikro şebekelerde hayati rol oynamaya başlamıştır. Özellikle mikro şebeke ada moduna geçtiğinde içinde depolama sistemi bulunan mikro şebekeler esnekliğe sahip olup enerji yönetimini daha kolay yapabilmektedirler. Şebeke bağlantılı modda bir depolama sistemleri sayesinde şebekeden çekilecek elektrik azaltılarak şebekede ki kayıpların azaltılmasına yardımcı olmaktadır. Mikro şebekelerde kullanılan depolama sistemleri üç ayrı kategoride kullanılmaktadır: batarya sistemleri, süper kapasitörler ve volant (flywheels) depolama sistemleridir. Bu depolama sistemleri farklı amaçlar için değişik uygulamalar da kullanılması mikro şebeke enerji yönetim sistemi için avantajlar sunmaktadır.

2.2. Micro şebeke Çalışma Modları

Mikro şebekeler çalışma modu olarak: şebeke bağlantılı ya da ada modunda çalışabilmektedir. Şebeke bağlantı modunda, mikro şebeke şebekeye elektrik satabildiği gibi şebekeden elektrik de satın alabilmektedir. Şebeke bağlantılı modda mikro şebeke şebekeye bağlantısının yumuşak ve diğer cihazlara zarar vermeyecek şekilde yapılması gerekmektedir. Bu proje kapsamında bu geçişler ile alakalı birçok uygulama gerçekleştirilmiştir.

Şebeke bağlantılı mikro şebekelerin aksine, ada modunda çalışan mikro şebekeler tamamen şebekeden bağımsız çalışabilmektedirler. Bu modda, mikro şebeke içinde üretim kaynaklarından bütün yükler şebekeden bağımsız olarak dengelenmektedir. Bu modda aynı zamanda pik zamanlarda yük öteleme ya da tepe traşlama alternatifleri de düşünülmektedir.

2.3. Mikro Şebekelerin Sınıflandırması

Mikro şebekeler aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir;

2.3.1. Enstitüler için Mikroşebekeler

Enstitü tabanlı mikro şebekeler de, her bir bina farklı bir yük profiline ve güç kalitesine ihtiyaç duymaktadır. Mikro şebeke kampüste için tasarlandığında tüm binaların yükleri tek bir kontrolcüye bağlanarak kontrolcülerin işini kolaylaştırmaktadır.

2.3.2. Endüstriyel ya da Ticari İşletmeler için Mikroşebekeler

Bu tip mikro şebekeler kampüs için üretilen mikro şebekelere çok benzemektedir. Bu mikro şebekeler müşterinin ihtiyacına göre tasarlanmaktadır. Bu mikro şebekelerde yük değişimleri zamanla değişebileceği için tasarım esnasında bu göze ardı edilmemelidir.

2.3.4. Şebekeden Uzak Bölgeler için oluşturulan Mikroşebekeler

Bu tip mikro şebekeler genellikle ana şebekenin gidemediği uç noktalarda, köylerde vb ada modda çalışan mikro şebekelerdir. Mikro şebekelerin büyük bir çoğunluğu bu kategoridedir ve ada modunda çalışırlar. Özellikle endonazyaya gibi 20 bşnin üzerinde ada dan oluşan ülkelerde bu tip ana şebekeden bağımsız yapıları sıklıkla görmek mümkündür. Bu tip mikro şebekeler de üretim birçok değişik üretim kaynağından üretildiği için yük-üretim dengesini tutturmak içinde gerekli hesaplamaların yapılması gerekmektedir.

2.3.5. Askeriye tabanlı Mikroşebekeler

Son zamanlarda yaygınlaşan bir mikro şebeke uygulamasıdır. Buradaki amaç mikro şebeke yapılacak bölgenin hem fiziksel hemde siber saldırılara maruz kalması bu şekilde engellenmiş olacaktır. Güvenilirlik burada ana gayedir. Burada yenilebilir enerji ve geleneksel üretim kaynakları sıklıkla kullanılmaktadır.

Bu çalışmada yukarıda bahsedilen mikro şebeke ekipmanları ve tipleri de temel alınarak mikro şebeke oluşturulup değişik amaçlar için simülasyon çalışmaları yapılmaktadır.

3. Gereç ve Yöntem

Bu kısımda proje ile ilgili hazırlanan simülasyonlar ve geliştirilen yöntemlerin teorik açıklamaları ile simülasyon sonuçları verilecektir.

3.1 Mikro Şebeke Pilot Çalışmasının Yapılacağı Malta College of Arts Science and Technology (MCAST) Üniversitesine ait bilgiler

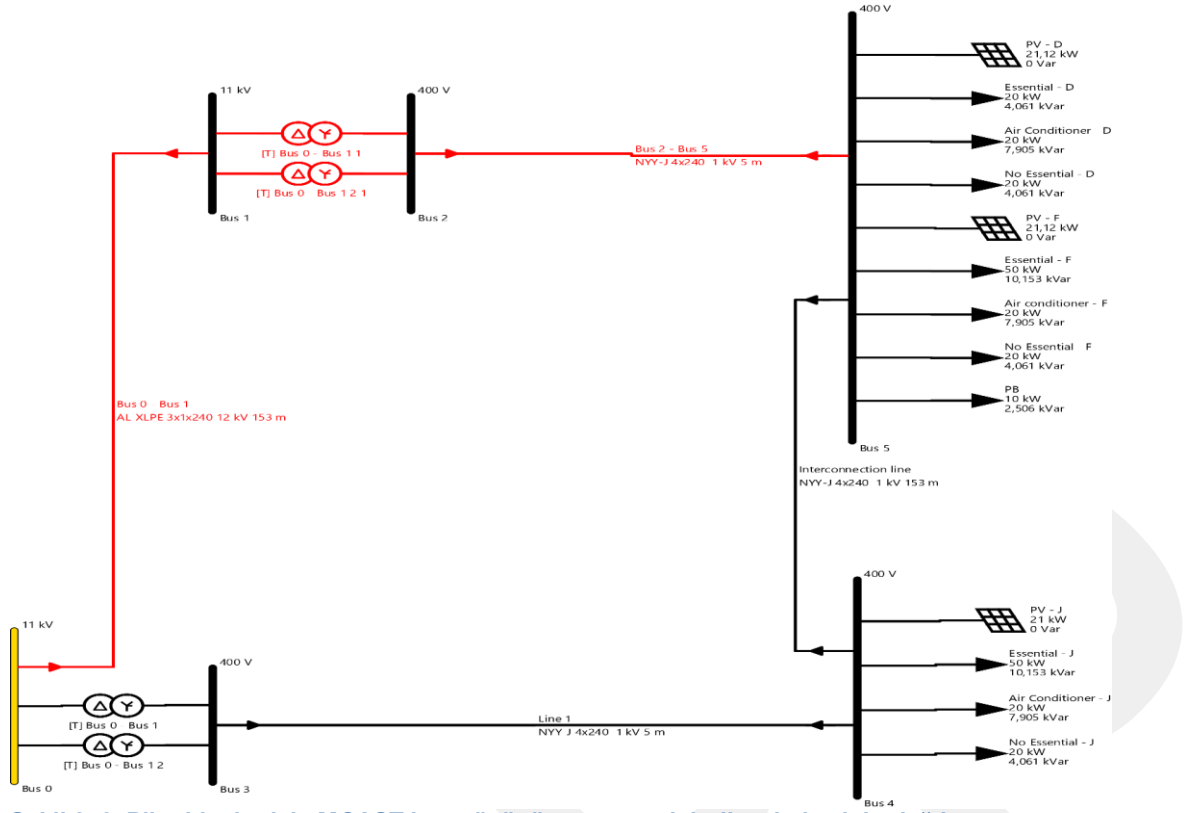
Mikro şebeke pilot çalışması Şekil 5'te görüldüğü gibi MCAST kampüsünün toplam inşaat alanı 34257 m² olan 4 binasından (BLK J, BLK F, BLK D(IBAC) ve BLK F, BLK D(IBAC) ve BLK PB bloklarının altında bulunan yeraltı otoparkından ve ayrıca yeni yapılan 5763 m² lik alana sahip NB binasından oluşan bir alan kapsayacaktır. Şu anki MCAST pilot bölgesinin elektrik şebekesi 2 trafo merkezinden (SS1 ve SS2) oluşmaktadır. Her bir trafo merkezi iki bölümden oluşan kapalı bir oda içindedir: biri yüksek gerilim (YG) (11kV) şalt sahası ve şebekeye ait trafolar için, diğeri alçak gerilim (AG) (400V) şalt sahası için.



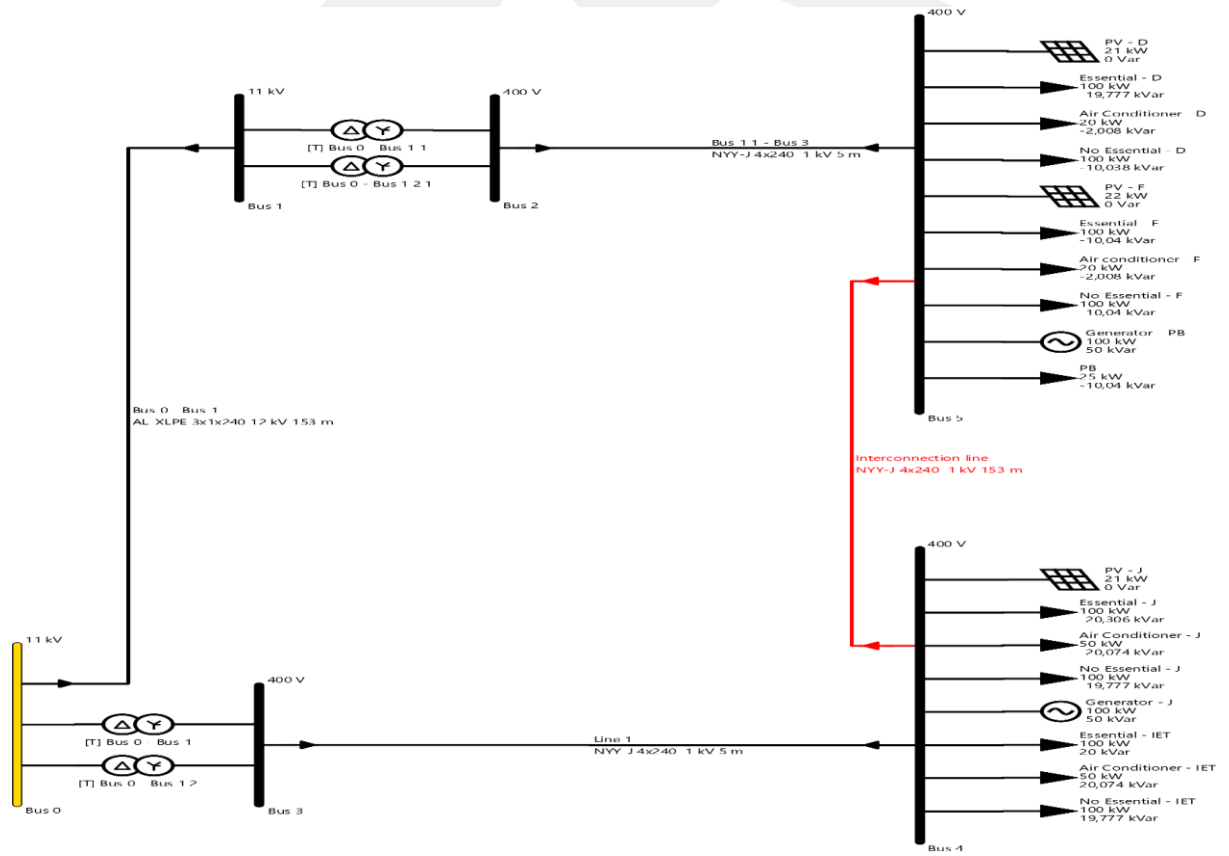
Şekil 3. 1. MCAST kampüs binalarının ve trafo merkezlerinin dağılımları

3 bina üzerinde kurulu (BLK J, BLK F ve BLK D(IBAC)) 63.24 kWp'lık fotovoltaik (FV) sistem vardır. Şimdiye kadar sadece BLK J üzerindeki 21.12 kW'lık FV sistem SS1'deki AG şalt sahasıyla bağlanmıştır. BLK D(IBAC) ve BLK F üzerinde bulunan 21.12 kWp and 21 kWp'lık sistem yakın zamanda SS2'ye bağlanacaktır.

Şekil 3.2 de Enemalta PLC'ye ait YG şebekesini göstermektedir. Sarı renk ile vurgulananlar SS1 ve SS2'yi göstermektedir. Bu nedenle, şebeke bağlantısı SS1 için ring, SS2 için radyal bağlantıdır ve 11 kV'da birden fazla bağlantı noktası vardır.



Şekil 3. 3. Pilot binalar için MCAST kampüsünün mevcut elektrik şebekesinin dağılımı



Şekil 3. 4. 3D mikro şebeke projesi için pilot binalar için MCAST kampüsünün elektrik şebekesinin dağılımı (2019)

Yeni bina enerji yönetim sistemi TREND IQ4E kontrolör tabanlıdır. Sonuç olarak her bina görüntüleme ve kontrol için bu bina yönetim sistemine (BMS) bağlı olacaktır. Fakat başlangıçta 2019 yılına kadar bu sadece BLK NB'de olacaktır, ayrıca diğer binalardan ve sistemlerden ortak bir platforma bir ara yüz gerektirecektir. Seçilen pilot binalara, pilot binalar için trafolar ve trafo merkezlerine bağlı kablolarla ait bilgiler Tablo 3.1-3.3 'de verilmiştir:

Tablo 3. 1. Seçilen pilot binalar

Pilot Konumu	Malta College of Arts, Science and Technology (MCAST)		
Yüksek Düzey Kullanım Şekli	MCAST Kampüsü		
Bina Tipi	Bina I – IAS BLK J (Ofisler, Derslikler, Konferans Salonları, Laboratuvarlar) Bina II – Öğrenci Evleri BLK F (Ofisler, Konferans Salonları, Derslikler, Kantin)) Bina III – IBAC BLK D (Ofisler, Derslikler, Konferans Salonları, Laboratuvarlar) Bina IV – PB (Park Yerleri) Bina V – IET NB (Ofisler, Derslikler, Konferans Salonları, Laboratuvarlar)		
Toplam Kaplanan Alan	Derslikler	4847 m ²	
	Ofisler	2118 m ²	
	Laboratuvarlar	556 m ²	
	Konferans Salonları	434 m ²	
	Diğerleri	12 421 m ²	
	Kantin	644 m ²	
	Park Yerleri	19 000 m ²	
	Toplam:	40 020 m²	
Bu Alanları Kullanan Kişiler ve Sayıları	Akademik personel	250	
	Öğrenciler	3000	
	İdari personel	70	
	Toplam:	3320	
Enerji Kullanımı Çeşidi	Isıtma	Elektrik	
	Isıtma (sıcak su)	Güneş kolektörü	
	Soğutma	Elektrik	
	Havalandırma	Elektrik	
	Aydınlatma	Elektrik	
	Takılı (Plug-in) Cihazlar	Elektrik	
Mevcut Üretim	Fotovoltaik	63.24 kWp	SCADA sisteme bağlı
	Dizel Jeneratörler	-	-
	Toplam Enerji Üretim Kapasitesi (kWh)	63.24 kWp	
	Bataryalar	-	-
	Pilot Toplam:	Toplam	Depolama
	Toplam Enerji Tüketim kWh/ m² yıl	Kapasitesi (kWh)	

Tablo 3. 2. Pilot binalar için trafolar

Pilot Konumu	Malta College of Arts, Science and Technology (MCAST)
--------------	---

Yüksek Kullanım Şekli	Düzy	MCAST Kampüsü	
BLK J		TX1	TX2
	Marka	MATELEC	MATELEC
	KVA	1600	1600
	Geriilm Değeri	11kV/433	11kV/433
	Üretim Yılı	2013	2013
BLK D		TX1	TX2
	Marka	MATELEC	MATELEC
	KVA	1600	1600
	Geriilm Değeri	11kV/433	11kV/433
	Üretim Yılı	2013	2013

MCAST BLK D'de bulunan trafolar şu anda devrede değildir ve BLK J de bulunan trafoların her ikisi enerjilidir (Şekil 3.3).

Tablo 3. 3 Trafo merkezlerine bağlı kablolar

Pilot Konumu	Malta College of Arts, Science and Technology (MCAST)			
Yüksek Kullanım Şekli	MCAST Kampüsü			
Blok arlarındaki bağlantı	SS1	SS2	Toplam kablo uzunluğu	Kablo segmentleri
	BLK J	BLK D	153 m	240AI - 153m
Kablo empedansları	Kablo segmentleri	R (Ω /km)	X (Ω /km)	
	240AI	0.129	0.0785	

3.1.a. Mikro Şebekede Yer alan Paydaşlar ve Görevleri

3.1.a.1. Dağıtım Sistemi Operatörü (DSO) / Dengeden Sorumlu Gruplar (BRP) / Toplayıcı (Aggregator) (DSO: distribution system operator, BRP: Balance Responsible Parties)

3D mikro şebeke genellikle mikro şebeke tarafından bileşenlerin tasarlanması ve uygulanması amacına yönelik olsa da, şebeke ile iletişim, aktif ve otomatikleştirilmiş bir mikro şebeke yönetiminin en önemli unsurlarından biridir. Dolayısıyla, 3D mikro şebeke çerçevesi, bilgi alışverişini şebekeden veya enerji piyasasından sağlanan veya talep edilen hizmetler şeklinde entegre ederek şebeke ile iletişim konusunda oldukça basit bir yaklaşımı destekleyecektir. Bu tür hizmetler, DSO, Toplayıcı' lar veya BRP' ler gibi paydaşlardan kaynaklanır ve mikro şebekeden akıllı şebekedeki enerji şebekesinin genel kararlılığını / verimliliğini iyileştirmeye yönelik enerji ve finansal talepleri içerir. Bu paydaşlar yalnızca şebekeye bağlı senaryolarda yer alacaktır.

3.1.a.2. Mikro Şebeke Operatörü

Hem şebeke bağlantılı hem de ada modlarında (islanded mode) mikro şebekenin tüm yönetimi, mikro şebeke operatörü (MO) tarafından yönetilecektir. MO, 3D mikro şebeke platformunun izlenmesinden sorumlu olacaktır ve yalnızca gerektiğinde etkileşime girecektir. 3D mikro şebekenin ajanlarının yerleştirilmesi ve düzenlenmesi MO tarafından üstlenilirken ana

bileşenlerin optimum konfigürasyonu operatörün sorumlulukları içinde olacaktır. Önerilen sistem, otomatik bir aktif mikro şebeke yönetimini işaret ediyor olmasına rağmen, kapsam dışında kalan veya başka türdeki iletişim / etkinliklere ihtiyaç duyan konuları idare edebilecek bir yöneticinin bulunması zorunludur.

3.1.a.3. Tesis Yöneticisi

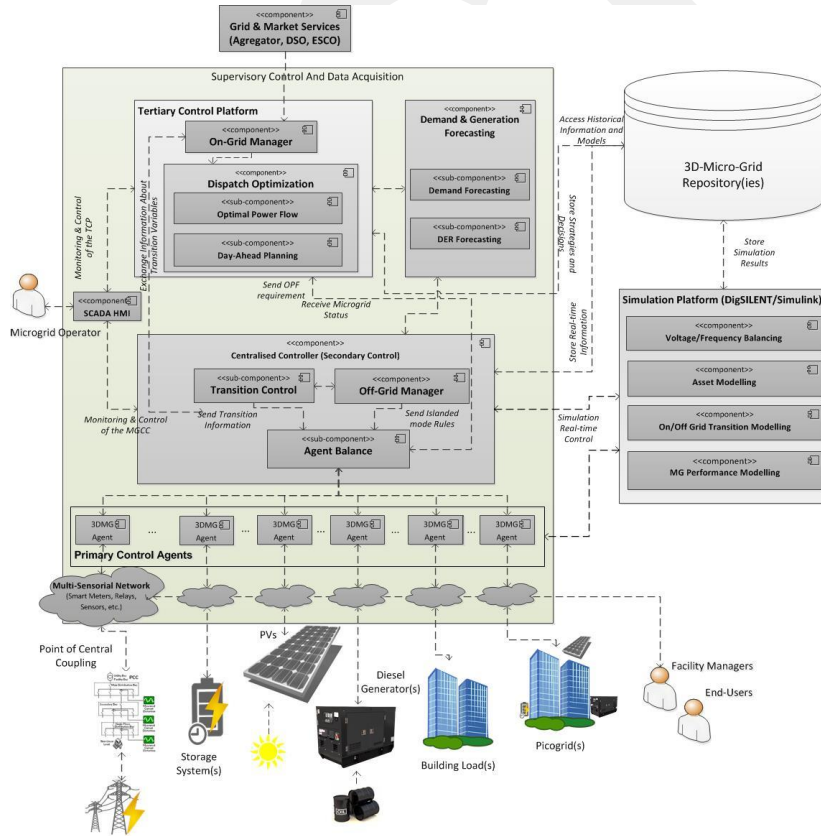
Bireysel bir bileşenin (bina yükü, FV parkı, vb.) veya bir bileşen kümesinin ev sahibi olarak mikro şebeke içindeki her bir tesisin kendi içinde yönetimi vardır. Tesis yöneticisi, işletme, bakım ve bileşenlerin perspektifinden mikro şebeke ile iletişim açısından her tesiste kurulan ekipmanların sorumlusudur.

3.1.a.4. Son Kullanıcılar

Son Kullanıcılar, mikro şebekenin çalışma fonksiyonlarına müdahale etmeden mikro şebeke bileşenleriyle ilgilenen kişiler olarak kabul edilir. Bu kullanıcılar bina sakinleri, bakım grupları, tesis personeli vb. kişilerden oluşur. 3D mikro şebeke projesi için son kullanıcılar normalde üniversite kampüslerini veya araştırma olanakları kullanan akademik personel, öğrenciler, bilgi işlem personeli vb. olarak düşünülebilir.

3.1.b. Mikro Şebeke Sisteminin Mimarisi

3D mikro şebeke üst seviye sistem mimarisinin ilk versiyonu Şekil 3.5'de gösterildiği gibidir.



Şekil 3. 5. 3D mikro şebeke sisteminin mimarisi

Önerilen 3D mikro şebeke çerçevesinin tüm görüntüleme ve kontrolü projenin hedeflerini gerçekleştirmeye yönelik en uygun biçimde mikro şebekeyi desteklemek için çeşitli elemanları içerecek olan “Merkezi kontrol ve veri toplama (SCADA)” sistemi ile yapılacaktır. Bu mimarinin ardındaki temel fikir; birincil, ikincil ve üçüncül kontrol seviyeleri ve modüler/ölçeklenebilir ajan temelli yaklaşım (agent-based approach) ile bu kontrol seviyelerinin birleşiminden oluşan hiyerarşik bir yapı türü olan mevcut gelişmiş kontrol stratejilerini izlemektir. Kontrol seviyeleri çeşitli olayların (ör: frekans kontrolü, gün öncesi planlama vs) zaman ölçeği gerekliliklerine dayalı olarak tanımlanmaktadır.

SCADA sisteminin baştan sona tasarlanması ve geliştirilmesi çok fazla çaba gerektirdiğinden 3D mikro şebeke SCADA, açık kaynak platforma (ör. <http://rapidscada.org/>, <https://sourceforge.net/projects/indigoscada/>, <http://openscada.org/>, <http://jade.tilab.com/>) dayalı olacaktır. Bu platform önerilen aktif mikro şebeke çalışmasını en iyi şekilde tanımlayacak ve icra edecek SCADA sisteminin optimum tanımına ve konfigürasyonuna izin verecektir.

3.1.b.1. Şebeke & Piyasa Hizmetleri

3D mikro-şebeke, şebekeden kaynaklanan (ortak bağlantı noktasında (PCC) gerilim seviyeleri ve güç akışı sinyalleri gibi) ve piyasadaki kaynaklanan (piyasa fiyatları gibi) bilgilere sahip olacaktır. Bu bilgiler mikro şebeke ve dağıtım şebekesi arasında enerji ticaretini verimli bir şekilde sürdürmek için gereklidir. Güç akışı bilgisi PCC’de çok sensörlü/algılı şebeke (multi-sensorial network) aracılığıyla sağlanırken şebeke hizmetleri, şebeke yöneticisi aracılığıyla şebekeden doğrudan sağlanacaktır. Bu şebeke hizmetleri bileşeni PCC ile fiziksel olarak bulunmayan bilgilerle ilgili olarak şebeke içi bir çalışmanın ihtiyaçlarını karşılamak için gerekli olan şebeke paydaşlarının basit bir betimlemesini sağlayacaktır.

3.1.b.2. Üçüncül Kontrol Platformu

Bu platform kontrolün üçüncül seviyesinde bilgi işlemeyi kapsar. Çoğunlukla operasyonel planlama yönleri bu seviyede gerçekleştirilecektir ve bunun sonucunda tüm mikro şebekeye yansıyan ve kontrolün alt seviyelerine (birincil ve ikincil) aktarılan bir enerji stratejisi sunulacaktır ve ayrıca şebekeden kaynaklanan finansal faktörler de (ör: fiyatlandırma) mevcut olacaktır. Bu seviye için zaman aralığı gün öncesi planlamaya göre (24 saat) dakikalık ölçekte olacaktır. Üçüncül kontrol platformu 2 bileşenden oluşur:

- Şebekeye Bağlı Yönetici (On-grid Manager)

Bu yazılım modülü diğer alt bileşenlerin nominal çalışmasını engellemek için Üçüncül Kontrol Platformu (TCP) ve Şebeke & Piyasa Hizmetleri arasındaki iletişimi sağlamakla

sorumlu olacaktır. Bir sinyal/hizmet şebekeden alındığında uygun olarak biçimlenecek ve doğrudan ya dağıtma (Dispatch) optimizasyon modülüne gönderilecek ya da diğer bileşenlerden erişilebilecek olan veri havuzunda (ör: önceki bilgiyi güncelleme) depolanacaktır.

- **Dağıtma (Dispatch) Optimizasyonu**

3D mikro şebekenin kısa vadeli ve orta vadeli çalışması, gerçek-zamanlı koşulları ve optimum kontrol eylemlerini uygulamaya yönelik simülasyon platformundan elde edilecek olan sonuçları değerlendirecek olan bir dizi araçlar tarafından ele alınacaktır. Bu uygulamanın alt bileşenleri:

- a. **Optimum Güç Akışı:** Optimum Güç Akışı (OPF) modülü mikro şebeke tarafından belli bir eylemin (PCC'de gerilimin yükselmesi/alçalması ve/veya aktif & reaktif güç tüketimi) DSO/ESCO gereksinimlerine cevap vermesi için mikro şebeke cihazlarının düzeltici eylemlerini hesaplayacaktır. Bunun yanı sıra OPF, SCADA tarafından tespit edilen herhangi bir dâhili teknik problemi (gerilim problemi, trafonun/hattın aşırı yüklenmesi) çözmek için düzeltici eylemlerini hesaplayacaktır.
- b. **Gün öncesi planlama:** Aktif bir akıllı şebeke için kontrol stratejileri yük, üretim tahmini, fiyat ve piyasa özelliklerinin yanı sıra ileriye dönük planlamayı dikkate almak zorundadır. Gün öncesi planlama (DAP) modülü girdi olarak enerji talebi ve yenilenebilir üretim tahminlerinin yanı sıra elektrik fiyatlarını veya harici ajan (external agent) tarafından (ESCO) hesaplanan saatlik üretim programını alır ve 24 saatlik bir zaman diliminde (gün öncesi planlama) farklı mikro şebeke kaynaklarının optimum bir şekilde planlamasını sağlar.

3.1.b.3. Merkezi Kontrolör (İkincil Kontrol Platformu)

İkincil kontrol eylemleri mikro şebeke merkezi kontrolöre (MGCC) dâhil edilecektir ve bu da birincil kontrol seviyesinde ilgili ajana gönderilen belli ayar noktaları ile kontrol eylemlerinin uygulanmasının yanı sıra maliyet, veri gecikmesi ve ölçüm ihtiyaçları açısından iletişim altyapısından sorumlu olacaktır. Çevresel ve kişileştirilmiş kullanıcı arayüzü mikro şebekenin durumu hakkında kullanıcıları bilgilendirmek için geliştirilecektir.

3D mikro şebeke projesi hem merkezi hem de merkezi olmayan ilkeleri bir araya getiren hibrit bir çözüm ortaya koyar. Önerilen modülerlik basit planlara kıyasla önemli yararlar sağlayabilirken birincil kontrol için ajan temelli altyapı (agent-based) ve ikincil kontrolden sorumlu MGCC ile her iki yaklaşımın faydalarını tek bir çözüm olarak sunan optimum bir denge elde edilebilir.

MGCC, TCP tarafından sağlanan stratejinin mikro şebeke baraları üzerindeki her bir düğümden sorumlu ajana (yerel denetleyici) iletilebilecek kuralların (ör: %5 enerji azaltımı, $\pm\%3$ gerilim sapması, $\pm\%1,5$ frekans sapması vb.) uygulanmasından sorumlu olacaktır. Maksimum birkaç dakika içinde ele alınması gereken kullanım durumları (use case) MGCC tarafından ele alınacaktır.

Merkezi kontrolör aşağıda belirtildiği gibi bir dizi elemandan oluşacaktır:

- **Şebekeden Bağımsız Yönetici (*Off-Grid Manager*) (Ada Modu)**

Bu eleman ada modunda çalışırken izlenilmesi gereken kuralları ve bunların etkilerini tanımlayacaktır. Ajan Dengeleme (*Agent Balance*) alt bileşenlerine bunları bir girdi olarak sağlayarak şebeke kararlılığını ve güvenilirliğini sağlamaya yardım edecek her bir ajana bazı zorlu kısıtlamalar (gerekirse SCADA insan-makina arayüzü (HMI) ile ayarlanabilir) getirmek mümkündür. Ajanların koordinasyonu yerel iletişim ve iş birliği sağlanamaması veya mikro şebeke operatörü tarafından seçilen topolojinin izin verilmemesi durumunda MGCC tarafından ele alınacaktır. Ayrıca ada modunda çalışma, teknik problemler (OPF) veya birkaç saat ya da gün boyunca (DAP) ada çalışmasının uzatılması durumunda TCP müdahalesi gerektirebilir.

- **Geçiş Kontrolü**

MGCC'nin bir parçası olarak, bu modül şebekeye bağlı moddan ada moduna (ve tam tersi durum için) geçiş koşullarını değerlendirmek için şebekeye bağlı yönetici (on-grid manager) ve şebekeden bağımsız yönetici (off-grid manager) ile iletişimde olacaktır. Rölelerin ve bileşenlerin gerçek zamanlı durumunu değerlendirerek, geçiş kontrolü alt bileşeni geçiş yapmanın uygun olup olmadığı konusunda diğer sistemleri bilgilendirecektir. Daha sonra, bu geçişi gerçekleştirirken hangi değişkenlerin (rölelerin sırası, önemli bileşenler) dikkate alınması gerektiğini değerlendirecektir. Bu bilgiye sahip olan MGCC, gerilim ve frekans kararlılığını korurken, bağımsız şebekeye bağlı çalışma arasında uygun olarak geçiş yapabilecektir ve aktif yükler, jeneratörlere ve depolama sistemlerine doğru ayar noktaları gönderebilecektir.

- **Ajan Dengeleme (*Agent Balance*)**

TCP tarafında sağlanan stratejiye dayanarak, Ajan dengeleme alt bileşeni MGCC'ye bağlı tüm ajanların çalışmasını koordine etmekle yükümlüdür. Tüm mikro şebeke enerji ağının kararlılığı ve güvenilirliği göz önüne alındığında, Ajan dengeleme bileşenleri ajanlar tarafından uygulanan kuralları mikro şebeke çalışmasında sıkça karşılaşılan sorunları öngören bir şekilde değiştirecektir. Tüm sisteme yeterli ve verimli denge uygulanamaması durumunda merkezi kontrolör mevcut sorunları en iyi tanımlayacak gerekli meta verileri sağlayarak uygulanan strateji hakkında güncelleme talep eden TCP'yi besleyecektir.

3.1.b.4. Ajanlar (Agents) – Yerel Kontrolörler (Birincil kontrol ajanları)

Her bir bileşen tipi (yük, FV, depolama, vb.) MGCC tarafından tanımlanan belirli kısıtlamalara dayalı kural tabanlı bir yaklaşım izleyerek veya izin verildiği yerlerde diğer ajanlarla iletişim yoluyla enerji (aktif ve reaktif), gerilim ve frekans açısından gerçek zamanlı dengelemeden sorumlu olacak bir Ajan tarafından ele alınacaktır.

Birincil kontrol seviyesi için modüler ve ölçülebilir ajan tabanlı sistemi desteklemek için bir master/slave yaklaşımı ajanlar arasında izlenecektir. Mikro şebeke enerji ağı üzerindeki her bir enerji birleşim düğümüne iletişim kurma yeteneğine sahip olacak bir Master ajan atanacaktır:

- Normal mikro şebeke çalışması altında çoklu Slave ajanları ile (ör: çok bileşenli bir düğüm çoklu ajan gerektirir)
- MGCC ile iletişimin mümkün olmadığı zaman diğer Master ajanlar ile (uzun süreli iletişim sorunları)

Bu yaklaşım ya tamamen merkezi sistem (tüm ajanlar master ve MGCC aktif) olarak ya da tamamen merkezi olmayan sistem (MGCC pasif ve tüm ajanlar master-master ve master-slave iletişim kullanıyor) olarak çalışma yeteneğine sahip olan son derece modüler birincil kontrol seviyesi sağlayacaktır.

Tüm birincil kontrol eylemlerinin milisaniye mertebesinde uygulanması gerektiği göz önüne alındığında, master-slave topolojileri önerilen altyapının yeteneklerini tamamen kapsamaları için çeşitli topolojilerin kullanılması ile detaylı olarak incelenecektir. Master ajan üzerinde bir sorun olduğu saptandığında merkezi olmayan koşullar altında ihtiyaç olacak zamanı karşılamak için, diğer master ajanlara olan iletişim sadece coğrafi yönleri değil ayrıca nominal güç, çevresel koşullar gibi diğer parametreleri de dikkate alacaktır. Örneğin, MGCC'nin devre dışı olduğu ada modu çalışmasında eğer 50kW'lık FV'lere sahip 200kW'lık bir binanın beklenmeyen bir sebepten dolayı 25 kW'lık bir kesintisi olursa, enerjiyi temin etmek için nominal gücü en az 30 kW olan yenilenebilir enerji kaynağı (RES) veya depolama elemanı arayacaktır.

3.1.b.5. Talep & Üretim Tahmini

Mikro şebekenin talep ihtiyacının tahmin edilmesi bu modül içinde gerçekleştirilecektir ve bu modül sistemin gerekeni yapması için gereken potansiyel enerji ihtiyaçlarını karşılayacaktır. Üretim ve talep senaryolarının geçmiş verilere dayalı stokastik tahmin teknikleri bir dizi senaryoların olma ihtimali ile TCP ve MGCC'ye iletilmek için kullanılmalıdır.

3.1.b.6. Çok Algılı Şebeke (multi-sensorial network)

Hem dayanıklı görüntüleme hem de kontrol açısından aktif akıllı mikro şebeke için ihtiyaç duyulan tüm sensörler ve aktüatörler bu seviyede analiz edilecek ve gösterilecektir. Tüketim ve üretim için akıllı sayaçlar, diğer önemli ekipmanlarla birlikte PCC'yi etkili bir biçimde kullanmak için röleler var olan görüntüleme ve kontrol sistemlerini engellemeksizin birlikte çalışabilen ve sağlam iletişim kurabilen mevcut altyapı (BMS- Modbus, BACnet, vb.) ile bağlanacaktır.

3.1.b.7. SCADA İnsan-Makina Arayüzü (HMI)

Mikro şebeke ile etkileşime geçmek için mikro şebeke operatörüne sağlanacak arayüz SCADA sistemi tarafından toplanan ve işlenen tüm bilgiye sahip olacaktır ve çeşitli yönlerden mikro şebekeye kontrol özellikleri de sağlayacaktır. Mikro şebeke tarafından üretilen bilgiyi basitleştirmek ve geliştirmek, mikro şebeke bileşenlerini daha iyi anlamak ve kontrol etmek, bir kullanıcı dostu ortam sağlamak için geliştirilmiş görselleştirme (Visual Analytics) desteklenecektir. 3D mikro şebekenin ana odağı insan kontrolünü minimuma düşürmektir, fakat gerekirse bile tamamen kontrol edilebilir sistemin desteklenmesi önemlidir.

3.1.b.8. 3D Mikro Şebeke Veri Havuzu (Repository)

3D mikro şebeke çerçevesinde üretilen tüm bilgiler (modeller, ham veri, kontrol eylemleri, vb.) ortak bir veri havuzunda depolanacaktır. Veri havuzuna erişim ya doğrudan web tabanlı uygulama programlama arayüzü (API) ile ya da SCADA sistemi ile olacaktır.

3.1.b.9. Simülasyon Platformu (MATLAB/Simulink)

Bir simülasyonda MCAST mikro şebeke performansının değerlendirilmesi önemli bir husustur ve gerçek bir alanda uygulanmasından önce önerilen mikro şebekenin etkisini göstermesi beklenir. Bu amaçla, bir simülasyon bileşeni/platformu farklı çalışma koşulları ve değişik durumlar çerçevesinde oluşan çeşitli senaryoları optimum düzeyde çalıştırmak için doğru ve dinamik bilgilerle gerçek zamanlı ve geçmiş bilgileri analiz edecektir.

Simülasyon platformu aşağıda verildiği gibi bir dizi bileşenlerden oluşur:

- Bileşen (Asset) Modelleme

MCAST mikro şebekesinin tüm bileşenleri (dizel jeneratörler, FV sistemler, rüzgar gücü sistemleri, kablolar vb.) için modeller uygulanacaktır ve stokastik modelleme gibi çeşitli teknikler kullanılarak hem yük talebini hem de RES üretimi tahminlerini, yük, depolama ve üretim kaynaklarının optimum kullanımını ve uygun yerleşimini en iyi şekilde tanımlayacak

hibrit modellerin (zamana ve olaya bağılı) sağlanması yönünde kullanılacaktır. Her bir bileşenin mimarisi ve kontrolcüsü bileşenin doğru çalışmasını sağlamak için modellenecektir.

- **Gerilim & Frekans Dengeleme/Kararlılığı**

Mikro şebekenin gerilim ve frekans kararlılığı testi için tüm gerekli teknikler ve algoritmalar bu alt-bileşende bulunacaktır. Her simülasyon gerilim ve frekans kararlılığını etkilemeyecek çözümler sunabileceklerdir.

- **Şebekeye bağlı olma/olmama geçişinin modellenmesi (on/off grid transition modelling)**

Mikro şebekenin güvenilir ve kararlı çalışması için çok önemli bir husus ada modu ve şebekeye bağlı mod arasındaki (veya tam tersi) düzgün geçiştir. Bu sebeple, iki çalışma modu arasındaki pürüzsüz geçiş için ihtiyaç duyulan gerekli tüm çalışma adımlarını belirlemek için bir strateji tanımlanmalıdır.

- **Mikro şebeke performansının modellenmesi**

3D mikro şebekenin performansını tanımlayacak tüm modeller bu bileşen ile uygulanacak ve sunulacaktır. Bileşen modelleme, stokastik modelleme ve pilot alanındaki bilgileri dikkate alacak bir dizi model otomatik olarak mikro şebeke performansı ile ilgili bilgilerin çıkarılmasına izin verecektir.

3.1.c. Mikro Şebekede Fonksiyonel ve Fonksiyonel Olmayan Gereksinimler

JIRA platformu gereksinimlerin yönetimine yönelik yapılandırılmıştır ve 3D mikro şebeke çalışma senaryolarına ilişkin fonksiyonel ve fonksiyonel olmayan gereksinimlerin ilk listesi “Volere Metodolojisi” temelli oluşturulmuştur.

Bu bölüm 3D mikro şebeke teknik (fonksiyonel ve fonksiyonel olmayan) gereksinimleri sunar. JIRA veri tabanında bulunan 34 gereksinim vardır. Aşağıdaki Volere gereksinim şablonunda bulunan bazı önemli bölümler ve bunların tanımları verilmiştir:

Tablo 3. 4 Volere gereksinim metodolojisine göre 3D mikro şebeke gereksinim şablonu

[MG-X] Başlık			
Tanım:	Gereksinimin amacıyla alakalı kısa bir tanım		
Bileşenler:	Mimariye dayalı bileşenler		
Tür:	Volere Gereksinimi	Öncelik:	Ne kadar önemli? '1' en düşük, '5' en yüksek
Çözüm:	Uygulamadığı durumda diğer çözümler nelerdir?		
Gerekçe:	Bu gereksinimin neden önemli olduğunun gerekçesi. Bu gereksinimin çözümünün getireceği yararları belirtmelidir.		

Uyum Kriteri:	Orijinal gereksinimin çözüme uygun olup olmadığını objektif olarak test etmek mümkündür		
Gereksinim Tipi:	Fonksiyonel, Fonksiyonel olmayan, diğerleri?		
Uygulamanın Testi:	Simülasyon ve/veya Pilot		
Müşteri Memnuniyeti:	<i>Bu gereksinim başarılı bir şekilde çözüme ulaştırıldığında müşterinin 1'den 5'e kadar bir ölçekte memnuniyeti</i>	Müşteri memnuniyetsizliği:	<i>Bu gereksinim başarılı bir şekilde çözüme ulaştırıldığında müşterinin 1'den 5'e kadar bir ölçekte memnuniyetsizliği</i>

1. Fonksiyonel Olmayan Gereksinimler

Tablo 3. 5 Verilere erişmek için güvenli giriş erişimi

[MG-1] Verilere erişmek için güvenli giriş erişimi			
Tanım:	Tüm 3D mikro şebeke paydaşları farklı güvenlik seviyelerinde 3D mikro şebeke kullanıcı arayüzleri ile mikro şebeke bilgilerine erişmelidir.		
Bileşenler:	SCADA HMI		
Tür:	Volere Gereksinimi	Öncelik:	Orta
Gerekçe:	Her bir mikro şebeke kullanıcısı, kullanıcı gizliliğine ve veri güvenliğine uyarak giriş yetkisi ve kimlik doğrulama mekanizması ile kişisel bilgilerine erişebilmelidir.		
Uyum Kriteri:	3D mikro şebekenin her bir paydaşı, kişileştirilmiş erişim için özel bir kullanıcı adına ve şifreye ihtiyaç olacaktır. Kullanıcı gruplarına göre (mikro şebeke operatörü, tesis yöneticileri, son kullanıcılar) 3D mikro şebeke çerçevesine erişim farklı seviyelerde olacaktır.		
Gereksinim Tipi:	Fonksiyonel olmayan (Performans)		
Uygulamanın Testi:	Simülasyon ve Pilot		
Müşteri memnuniyeti:	4	Müşteri memnuniyetsizliği:	4

Tablo 3. 6. Yönetici kullanıcılar için uzaktan kontrol fonksiyonları

[MG-2] Yönetici kullanıcılar için uzaktan kontrol fonksiyonları	
Tanım:	Yöneticilere (mikro şebeke operatörü & tesis yöneticileri) mevcut daha fazla özellikler ile uzaktan görüntüleme/kontrol işlevselliği sunan arayüzlerle sağlanmalıdır.
Bileşenler:	SCADA HMI, Çok Algılı Şebeke (<i>Multi-Sensorial Network</i>)

Tür:	Volere Gereksinimi	Öncelik:	En yüksek
Gerekçe:	Yönetici kullanıcılar ilgili kullanıcı arayüzlerine giriş yaparken kimlik doğrulama ayrıcalıkları ile bileşenleri kontrol etme yetkisine sahip olacaktır.		
Uyum Kriteri:	Kullanıcı arayüzleri ile bileşenlerin uzaktan kontrolü kullanıcının rolüne göre (ör. tesis yöneticisi) verilecektir.		
Gereksinim Tipi:	Fonksiyonel olmayan (Kullanılabilirlik)		
Uygulamanın Testi:	<u>Simülasyon ve Pilot</u>		
Müşteri memnuniyeti:	5	Müşteri memnuniyetsizliği:	5

Tablo 3. 7. Sistemin verdiği mesajları kolay ve açık şekilde anlamak

[MG-3] Sistemin verdiği mesajları kolay ve açık şekilde anlamak			
Tanım:	3D mikro şebekenin çalışması, mevcut durumu ve uygulanan kontrol hareketleri hakkında bilginin 3D mikro şebeke kullanıcılarına açık ve anlaşılır bir şekilde sağlanmalıdır.		
Bileşenler:	SCADA HMI		
Tür:	Volere Gereksinimi	Öncelik:	Yüksek
Gerekçe:	Mikro şebeke paydaşları, mesajları kolayca anlaması için görüntüleme ve çalışma durumlarını onlara sağlayan bir arayüze ihtiyaç duyacaktır.		
Uyum Kriteri:	Kullanıcı arayüzleri ile gönderilen mesajların içeriği her mikro şebeke paydaşlarının ihtiyaçları ile ilgili olacaktır.		
Gereksinim Tipi:	Fonksiyonel olmayan (Kullanılabilirlik)		
Uygulamanın Testi:	<u>Simülasyon ve Pilot</u>		
Müşteri memnuniyeti:	5	Müşteri memnuniyetsizliği:	5

Tablo 3. 8. Kullanıcı dostu & Uyarlanabilir kullanıcı arayüzleri

[MG-4] Kullanıcı dostu & Uyarlanabilir kullanıcı arayüzleri			
Tanım:	Kullanıcı arayüzleri, tamamen farklı paydaşların ihtiyaçlarına göre uyarlanmış kullanıcı dostu bir görünüme sahip olmalıdır.		
Bileşenler:	SCADA HMI		
Tür:	Volere Gereksinimi	Öncelik:	Orta

Gerekçe:	En iyi verimliliği sağlamak için tüm kullanıcı arayüzleri sistem yöneticileri ve son kullanıcılar tarafından kolayca ayarlanabilir olmasının yanı sıra anlaşılması ve kullanılması kolay olmalıdır.		
Uyum Kriteri:	Tüm kullanıcı arayüzleri kolaylıkla ayarlanabilir ve kullanıcı dostu bir yaklaşım olarak uygulanmalıdır.		
Gereksinim Tipi:	Fonksiyonel olmayan (Kullanılabilirlik)		
Uygulamanın Testi:	<u>Simülasyon ve Pilot</u>		
Müşteri memnuniyeti:	5	Müşteri memnuniyetsizliği:	5

Tablo 3. 9. Büyük miktarda veri kullanma

[MG-5] Büyük miktarda veri kullanma			
Tanım:	Bütün yazılım sistemi büyük miktarda veri depolayabilmeli ve alabilmelidir.		
Bileşenler:	Ajan Dengeleme (<i>Agent Balance</i>), Veri havuzu (<i>Repository</i>), Simülasyon Platformu		
Tür:	Volere Gereksinimi	Öncelik:	En yüksek
Çözüm:	Çözülmemiş		
Gerekçe:	Çoklu bileşenlerden elde edilen bilgiler gerçek zamanda toplanacak ve büyük bir veri topluluğuna yol açacaktır. Zaman geçtikçe verinin miktarı katlanarak artacak ve doğru olarak ele alınmazsa ciddi sorunlara yol açacaktır.		
Uyum Kriteri:	Gecikmeler ve kesintiler olmaksızın gerçek zamanlı büyük verilerin işlenmesinin desteklenmesi için uzman veri tabanları / cihazlar seçilecektir.		
Gereksinim Tipi:	Fonksiyonel olmayan (Performans)		
Uygulamanın Testi:	<u>Simülasyon ve Pilot</u>		
Müşteri memnuniyeti:	5	Müşteri memnuniyetsizliği:	5

Tablo 3. 10. Sistemi geri çağırma /kurtarma

[MG-6] Sistemi geri çağırma /kurtarma			
Tanım:	Planlanmış ve planlanmamış arızadan sonra sistem online duruma gelirse, kullanıcılar istedikleri her şeyi görebilmeli/yapabilmelidir.		
Bileşenler:	Şebekeden bağımsız Yönetici (<i>Off-Grid Manager</i>), Ajan Dengeleme		
Tür:	Volere Gereksinimi	Öncelik:	En yüksek

Gerekçe:	Herhangi ek bir çaba gerektirmeden planlanmış ve planlanmamış arızadan sonra sistem kurtarılabilir. Bu, sistem yöneticisinin olmadığı yerlerde tüm mevcut özelliklerin kullanıma hazır ve tamamen erişilebilir olmasını sağlayacaktır.		
Uyum Kriteri:	Planlanmış ve planlanmamış arızanın (sistemin yeniden başlaması, güç yetersizliği, kesintisiz güç kaynağının arızalanması) sistem yöneticisinin olmadığı durumlarda (tatiller, hafta sonları, vb.) sistem online olur olmaz tüm yeteneklerini yeniden kazanacaktır. Restorasyon işlemi, planlanmış kapanmaların bakımı durumunda ciddi problemlerden kaçınmak için mikro şebeke operatörü tarafından kontrol edilecektir.		
Gereksinim Tipi:	Fonksiyonel olmayan - Güvenilirlik		
Uygulamanın Testi:	<u>Simülasyon ve Pilot</u>		
Müşteri memnuniyeti:	5	Müşteri memnuniyetsizliği:	5

Tablo 3. 11. Verilerin korunması

[MG-7] Verilerin korunması			
Tanım:	Verilerin depolanması, iletilmesi ve erişimi sistem içinde korunmalıdır.		
Bileşenler:	SCADA HMI, Üçüncül Kontrol Platformu, Merkezi Kontrolör, 3D Mikro Şebeke Ajanları, Çok Algılı Şebeke (<i>Multi-Sensorial Network</i>), Veri Havuzu (<i>Repository</i>), Simülasyon Platformu		
Tür:	Volere Gereksinimi	Öncelik:	En yüksek
Gerekçe:	Mikro şebeke ile ilgili görüntüleme ve kontrol süreçleri potansiyel tehditlere ve dış saldırılara karşı korunmalıdır.		
Uyum Kriteri:	Yetkilendirme & Kimlik Doğrulama mikro şebeke ile ilgili verileri korumak için yöntem olarak kullanılacaktır.		
Gereksinim Tipi:	Fonksiyonel olmayan - Gizlilik		
Uygulamanın Testi:	<u>Simülasyon ve Pilot</u>		
Müşteri memnuniyeti:	5	Müşteri memnuniyetsizliği:	5

2. Fonksiyonel Gereksinimler

Tablo 3. 12. Uygulanan kontrol stratejileri ile ilgili bildirim sorunu

[MG-8] Uygulanan kontrol stratejileri ile ilgili bildirim sorunu	
Tanım:	Sistem bir kontrol stratejisi değerlendirip uyguladığında mikro şebeke operatörü ve tesis yöneticileri bu hareketin niteliği hakkında bilgilendirilmelidir.
Bileşenler:	SCADA HMI

Tür:	Volere Gereksinimi	Öncelik:	Yüksek
Gerekçe:	Kontrol stratejileri ve eylemlerin bilgisi mikro şebekenin çalışmasının daha iyi denetlenmesi için mikro şebeke operatörü ve tesis yöneticisi tarafından kullanılabilir olmalıdır.		
Uyum Kriteri:	HMI yapılan bir değişikliğin ardından veya istendiğinde çalışan mikro şebeke sisteminin modunu gösterecektir ve buna karşılık gelen ayar noktalarını ve tekrar okumaları (performans göstergesi) bildirecektir.		
Gereksinim Tipi:	Fonksiyonel		
Uygulamanın Testi:	<u>Simülasyon ve Pilot</u>		
Müşteri memnuniyeti:	4	Müşteri memnuniyetsizliği:	4

Tablo 3. 13. Mikro şebekeye ait geçmiş verilere ulaşma ve görüntüleme

[MG-9] Mikro şebekeye ait geçmiş verilere ulaşma ve görüntüleme			
Tanım:	Mikro şebeke operatörü mikro şebekeye ait geçmiş verilere ulaşmalıdır.		
Bileşenler:	SCADA HMI, Veri Havuzu (<i>Repository</i>)		
Tür:	Volere Gereksinimi	Öncelik:	En yüksek
Gerekçe:	Geçmiş bilgiler mikro şebekenin şimdiki ve gelecekteki performansını değerlendirmek için gereklidir.		
Uyum Kriteri:	Bu verilere erişmek için geçmiş veri tabanı ilgili arayüzler ile birlikte sağlanacaktır.		
Gereksinim Tipi:	Fonksiyonel		
Uygulamanın Testi:	<u>Simülasyon ve Pilot</u>		
Müşteri memnuniyeti:	5	Müşteri memnuniyetsizliği:	5

Tablo 3. 14. Enerji tüketimini izleme

[MG-10] Enerji tüketimini izleme			
Tanım:	Gerçek zamanlı enerji tüketim verileri mikro şebeke operatörü ve mikro şebeke kullanıcıları tarafından ulaşılabilir olmalıdır. Mikro şebekenin tümü ve ana mikro şebeke yükleri (binalar) için şarj modunda çalışırken enerji depolama sistemlerinin tüketimi ile birlikte gerçek zamanlı enerji tüketiminin ölçümü yapılmalıdır. Ayrıca, alt düzeye (ör: HVAC, ışıklar, vb.) ait diğer bilgiler eğer gerekli elemanlar yüklenirse sağlanmalıdır.		
Bileşenler:	Çok Algılı Şebeke (<i>Multi-Sensorial Network</i>), SCADA HMI		
Tür:	Volere Gereksinimi	Öncelik:	En yüksek
Gerekçe:	Enerji izleme, mikro şebeke performans değerlendirmesini mümkün kılmalıdır.		

Uyum Kriteri:	Tüketim verileri aşağıda belirtilen zaman aralıklarında elde edilecektir. 3 sn //60 sn// 15 dk // saatlik // haftalık Ayrıca, sistemdeki her belirli yüke bağlı olarak iletilecektir.		
Gereksinim Tipi:	Fonksiyonel		
Uygulamanın Testi:	<u>Simülasyon ve Pilot</u>		
Müşteri memnuniyeti:	5	Müşteri memnuniyetsizliği:	5

Tablo 3. 15. Enerji kaynaklarını izleme

[MG-11] Enerji kaynaklarını izleme			
Tanım:	Gerçek zamanlı enerji üretimi mikro şebeke tesis yöneticisi ve mikro şebeke kullanıcıları tarafından erişilebilir olmalıdır. Ortam arayüzleri son kullanıcıların verileri görüntüleyebilmesi için kullanılmalıdır.		
Bileşenler:	Çok Algılı Şebeke (<i>Multi-Sensorial Network</i>), SCADA HMI		
Tür:	Volere Gereksinimi	Öncelik:	En yüksek
Gerekçe:	Enerji kaynağını izleme, mikro şebekenin performans değerlendirmesini mümkün kılacaktır.		
Uyum Kriteri:	Kaynak verileri aşağıda belirtilen zaman aralıklarında elde edilecektir. 3 sn //60 sn// 15 dk // saatlik // haftalık Ayrıca, sistemdeki her bir dağıtık enerji kaynağına bağlı olarak iletilecektir.		
Gereksinim Tipi:	Fonksiyonel		
Uygulamanın Testi:	<u>Simülasyon ve Pilot</u>		
Müşteri memnuniyeti:	5	Müşteri memnuniyetsizliği:	5

Tablo 3. 16. Mikro şebeke topolojilerini izleme ve bileşenlerin durumu

[MG-12] Mikro şebeke topolojilerini izleme ve bileşenlerin durumu			
Tanım:	Mikro şebeke operatörleri, mikro şebeke topolojileri ve tesiste bulunan her bir belli cihazla ilgili veriler hakkında bilgilendirilmelidir.		
Bileşenler:	Çok Algılı Şebeke (<i>Multi-Sensorial Network</i>), SCADA HMI		
Tür:	Volere Gereksinimi	Öncelik:	En yüksek
Gerekçe:	Cihaza ait veriler daha iyi performans sağlamak için sistemin mikro şebeke operatörlerine dağıtılmalıdır. Ayrıca, mikro şebeke içindeki cihazlar hakkında bilgiye sahip olmadan herhangi bir kontrol sistemi olamaz.		

Uyum Kriteri:	Bir konfigürasyon şeması (XML veya JSON) mikro şebeke operatörüne dağıtık enerji kaynakları, enerji depolama sistemleri, kablolar, anahtarlar, iletişim kanalları vb. hakkındaki verileri içeren topolojik bilgi sağlayacaktır.		
Gereksinim Tipi:	Fonksiyonel		
Uygulamanın Testi:	<u>Simülasyon ve Pilot</u>		
Müşteri memnuniyeti:	5	Müşteri memnuniyetsizliği:	5

Tablo 3. 17. PCC'de güç akışını izleme

[MG-13] PCC'de güç akışını izleme			
Tanım:	PCC aracılığı ile güç akışı hakkında gerçek zamanlı veri mikro şebeke tesis yöneticisi ve mikro şebeke kullanıcıları tarafından erişilebilir olmalıdır. Ortam arayüzleri son kullanıcıların verileri görüntüleyebilmesi için kullanılmalıdır.		
Bileşenler:	Çok Algılı Şebeke (<i>Multi-Sensorial Network</i>), SCADA HMI		
Tür:	Volere Gereksinimi	Öncelik:	En yüksek
Gerekçe:	Mikro şebekenin optimum ekonomik yerleşimi için PCC'deki güç akışını doğru olarak bilmek çok önemlidir. Ayrıca, güç akışındaki herhangi bir çeşit arızalarının saptanması mikro şebekeyi acilen ada moduna geçişi sağlamak için tespit edilmelidir.		
Uyum Kriteri:	PCC güç akışı verileri aşağıda belirtilen zaman aralıklarında elde edilecektir. 3 sn //60 sn// 15 dk // saatlik // haftalık		
Gereksinim Tipi:	Fonksiyonel		
Uygulamanın Testi:	<u>Simülasyon ve Pilot</u>		
Müşteri memnuniyeti:	5	Müşteri memnuniyetsizliği:	5

Tablo 3. 18. Gerçek zamanlı çalışmada mikro şebeke gerilimini izleme

[MG-14] Gerçek zamanlı çalışmada mikro şebeke gerilimini izleme			
Tanım:	Mikro şebeke içerisindeki ilgili her noktada gerilim seviyeleri gerçek zamanda verimli olarak ve sıkıntı çıkarmadan izlenerek tüm kontrol seviyelerini desteleyecektir.		
Bileşenler:	Çok Algılı Şebeke (<i>Multi-Sensorial Network</i>), SCADA HMI		
Tür:	Volere Gereksinimi	Öncelik:	En yüksek
Gerekçe:	Performans değerlendirmesi, SCADA HMI'daki değerleri, geçmiş verileri, gerilim okumalarını göstermek için gerekli olan gerilim izleme ikincil ve üçüncül kontrol seviyelerinde de kullanılabilir.		

Uyum Kriteri:	Gerilim seviyelerini izleme birleşim noktalarının (PCC gibi) yanı sıra tüm mikro şebeke assetleri için mevcut olacaktır.		
Gereksinim Tipi:	Fonksiyonel		
Uygulamanın Testi:	<u>Simülasyon ve Pilot</u>		
Müşteri memnuniyeti:	5	Müşteri memnuniyetsizliği:	5

Tablo 3. 19. Gerçek zamanlı çalışmada mikro şebeke frekans izleme

[MG-15] Gerçek zamanlı çalışmada mikro şebeke frekans izleme			
Tanım:	Mikro şebekedeki frekans seviyesi gerçek zamanlı çalışmada verimli olarak ve sıkıntı çıkarmadan izlenmelidir.		
Bileşenler:	Çok Algılı Şebeke (<i>Multi-Sensorial Network</i>), SCADA HMI		
Tür:	Volere Gereksinimi	Öncelik:	En yüksek
Gerekçe:	Frekans izlemek mikro şebeke çalışmasında kararlılığı ve güvenilirliği korumak için önemlidir ve mikro şebeke çalışmasını değerlendirmesini mümkün kılan araçlar sağlar.		
Uyum Kriteri:	Frekans seviyelerini izleme genellikle yerel frekans kontrolü sağlayabilen bileşenler (ör.inverterler and jeneratörler) dahil olmak üzere ilgili tüm mikro şebeke birleşim noktaları (PCC gibi) için mevcut olacaktır.		
Gereksinim Tipi:	Fonksiyonel		
Uygulamanın Testi:	<u>Simülasyon ve Pilot</u>		
Müşteri memnuniyeti:	5	Müşteri memnuniyetsizliği:	5

Tablo 3. 20. Hava durumu tahmini bilgisini sağlama

[MG-16] Hava durumu tahmini bilgisini sağlama			
Tanım:	Çevre şartlarının bilgisinin tahmini mikro şebeke bileşenleri için mevcut olmalıdır.		
Bileşenler:	Dağıtık Enerji Kaynakları Tahmini, Şebeke & Piyayasa Hizmetleri		
Tür:	Volere Gereksinimi	Öncelik:	Orta
Gerekçe:	Yükün ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kapasitelerini tahmin etmek için çevre koşullarının belirli bir zaman aralığında öngörülmesi gerekir.		
Uyum Kriteri:	Dış ortam çevre koşullarının ilk tahmini mevcut meteorolojik uygulama programlama arayüzleri (API) tarafından sağlanacak ve gerekirse buna göre ayarlanacaktır.		
Gereksinim Tipi:	Fonksiyonel		

Uygulamanın Testi:	<u>Simülasyon ve Pilot</u>		
Müşteri memnuniyeti:	3	Müşteri memnuniyetsizliği:	3

Tablo 3. 21. Ortam koşullarını izleme

[MG-17] Ortam koşullarını izleme			
Tanım:	Çevresel veriler (ör. sıcaklık, nem vb.) mikro şebeke operatörü ve mikro şebeke son kullanıcıları için mevcut olmalıdır.		
Bileşenler:	Çok Algılı Şebeke (<i>Multi-Sensorial Network</i>), SCADA HMI		
Tür:	Volere Gereksinimi	Öncelik:	Orta
Gereççe:	Bağlamsal veri izleme mikro şebeke performans değerlendirmesini destekleyecektir.		
Uyum Kriteri:	Bağlamsal veri ölçülebilecek ve meteoroloji istasyonları tarafından belirli aralıklarla (ör. her 1saat/gün/ay) sağlanacaktır.		
Gereksinim Tipi:	Fonksiyonel		
Uygulamanın Testi:	<u>Simülasyon ve Pilot</u>		
Müşteri memnuniyeti:	3	Müşteri memnuniyetsizliği:	3

Tablo 3. 22. Ortak bilgi alışverişi modelinin kullanımı

[MG-18] Ortak bilgi alışverişi modelinin kullanımı			
Tanım:	Mikro şebeke ortamındaki cihazlar önceden belirlenen standart bir veri yapısı ve formatı kullanarak iletişim kurmalıdır.		
Bileşenler:	Tüm mikro şebeke bileşenleri ve yardımcı sistemler		
Tür:	Volere Gereksinimi	Öncelik:	En yüksek
Gereççe:	Ortak bir veri alışverişi modeli, geliştiricilerin çabasını kolaylaştırır ve iletişim sağlamlılığını artırır.		
Uyum Kriteri:	Gerçek zamanlı olaylar ve statik bilgi bu ortak dil formatı ile tanımlanır. Enerji ile alakalı bilgi sözlüğü tasarlanacaktır ve 3D mikro şebeke çerçevesinin fonksiyonlarını desteklemek için uygulanacaktır.		
Gereksinim Tipi:	Fonksiyonel		
Uygulamanın Testi:	<u>Simülasyon ve Pilot</u>		
Müşteri memnuniyeti:	5	Müşteri memnuniyetsizliği:	5

Tablo 3. 23. SCADA, Çok algılı şebeke ile gerçek zamanlı haberleşme

[MG-20] SCADA, Çok algılı şebeke ile gerçek zamanlı haberleşme			
Tanım:	SCADA ve çok algılı şebekedeki kurulu bileşenlerin arasında görüntüleme ve kontrol için gerçek zamanlı haberleşme		
Bileşenler:	3D Mikro Şebeke Ajanları, Çok Algılı Şebeke (<i>Multi-Sensorial Network</i>)		
Tür:	Volere Gereksinimi	Öncelik:	En yüksek
Gereççe:	SCADA, optimum çalışma tabanlı hesaplamalarını yapmak için sistemden kritik veri istemektedir.		
Uyum Kriteri:	Akıllı sayaçlar ve çeşitli sensörler/aktüatörler gerçek zamanlı veri işleme özelliklerine sahip olacaktır.		
Gereksinim Tipi:	Fonksiyonel		
Uygulamanın Testi:	<u>Simülasyon ve Pilot</u>		
Müşteri memnuniyeti:	5	Müşteri memnuniyetsizliği:	5

Tablo 3. 24. Hesaplanan özellikler/değerler/parametrelerin geçmiş bilgi olarak depolanması

[MG-21] Hesaplanan özellikler/değerler/parametrelerin geçmiş bilgi olarak depolanması			
Tanım:	Gelecekteki erişim için çeşitli sistem bileşenlerinden geçmiş çok ajanlı sistemde (<i>Multi-Agent System</i>) hesaplanan parametrelerine ihtiyaç duyulacaktır.		
Bileşenler:	3D Mikro Şebeke Veri Havuzu (<i>Repository</i>)		
Tür:	Volere Gereksinimi	Öncelik:	Orta
Gereççe:	Sistem değerlendirmesine ve onayına izin verecek kapsamlı raporlar, gerçek zamanlı çalışma boyunca hesaplanacak kapsamlı bilgi gerektirir.		
Uyum Kriteri:	Çok ajanlı sistemden (özellikle simülasyon platformundan) enerji, maliyet, tasarruf, CO ₂ vb hesaplamalar geçmiş veri olarak gelecekteki erişim için depolanacaktır.		
Gereksinim Tipi:	Fonksiyonel		
Uygulamanın Testi:	<u>Simülasyon ve Pilot</u>		
Müşteri memnuniyeti:	5	Müşteri memnuniyetsizliği:	5

Tablo 3. 25. Ada modunda mikro şebeke gerilim kontrolü

[MG-23] Ada modunda mikro şebeke gerilim kontrolü			
Tanım:	Ada modunda çalıştırıldığında mikro şebekedeki ilgili tüm noktalardaki gerilim seviyeleri kontrol edilmelidir.		
Bileşenler:	Çok Algılı Şebeke (<i>Multi-Sensorial Network</i>), 3D-Mikro şebeke ajanları, Ajan Dengeleme, Şebekeden Bağımsız Yönetici		
Tür:	Volere Gereksinimi	Öncelik:	En yüksek
Çözüm:	Çözülmemiş		
Gerekçe:	Gerilim seviyelerini kontrol etmek mikro şebekenin çalışmasında kararlılığı ve güvenilirliği korumak için önemlidir ve mikro şebeke çalışmasını değerlendirmesini mümkün kılan araçlar sağlar.		
Uyum Kriteri:	Mikro şebeke bileşenlerdeki gerilim değerleri nominal gerilimin belirli limit yüzdelerini (ör. $\pm 5\%$) aşmamalıdır.		
Gereksinim Tipi:	Fonksiyonel		
Uygulamanın Testi:	<u>Simülasyon ve Pilot</u>		
Müşteri memnuniyeti:	5	Müşteri memnuniyetsizliği:	5

Tablo 3. 26. Ada modunda mikro şebeke frekans kontrolü

[MG-24] Ada modunda mikro şebeke frekans kontrolü			
Tanım:	Ada modunda çalıştırıldığında mikro şebekenin frekansı kontrol edilmelidir.		
Bileşenler:	Çok Algılı Şebeke (<i>Multi-Sensorial Network</i>), 3D-Mikro şebeke ajanları, Ajan Dengeleme, Şebekeden Bağımsız Yönetici (<i>Off-grid Manager</i>)		
Tür:	Volere Gereksinimi	Öncelik:	En yüksek
Gerekçe:	Frekans seviyelerini kontrol etmek mikro şebeke çalışmasında kararlılığı ve güvenilirliği korumak için önemlidir ve mikro şebeke çalışmasını değerlendirmesini mümkün kılan araçlar sağlar.		
Uyum Kriteri:	Ana şebekedeki frekans değerleri nominal frekansın belirli limit yüzdelerini (ör. $\pm 1\%$) aşmamalıdır.		
Gereksinim Tipi:	Fonksiyonel		
Uygulamanın Testi:	<u>Simülasyon ve Pilot</u>		
Müşteri memnuniyeti:	5	Müşteri memnuniyetsizliği:	5

Tablo 3. 27. Ada modunda kararlı durumda optimize edilmiş güç akışı kontrolü

[MG-25] Ada modunda kararlı durumda optimize edilmiş güç akışı kontrolü			
Tanım:	Ada modunda çalıştırıldığında mikro şebekedeki ilgili tüm noktalardaki güç akışı kontrol edilmelidir.		
Bileşenler:	Çok Algılı Şebeke (<i>Multi-Sensorial Network</i>), 3D Mikro Şebeke Ajanları, Ajan Dengeleme, Şebekeden Bağımsız Yönetici (<i>Off-grid Manager</i>)		
Tür:	Volere Gereksinimi	Öncelik:	En yüksek
Gerekçe:	Güç akışı kontrolünün amacı dağıtık enerji kaynakları, enerji depolama sistemleri ve yükler arasında güç paylaşımını optimize etmektir.		
Uyum Kriteri:	Dağıtık enerji kaynakları tarafından üretilen güç, kablolama gibi fiziksel ekipmanların kısıtlamalarını her zaman dikkate alarak önceden belirlenmiş şemalara (ör. güç elektroniği konvertörlerinin nominal gücü) göre değil kendi gerçek üretimine göre paylaşılacaktır.		
Gereksinim Tipi:	Fonksiyonel		
Uygulamanın Testi:	<u>Simülasyon ve Pilot</u>		
Müşteri memnuniyeti:	5	Müşteri memnuniyetsizliği:	5

Tablo 3. 28. Şebeke bağlantılı modda kararlı durumda optimize edilmiş güç akışı kontrolü

[MG-26] Şebeke bağlantılı modda kararlı durumda optimize edilmiş güç akışı kontrolü			
Tanım:	Şebeke bağlantılı modda çalıştırıldığında mikro şebekedeki ilgili tüm noktalardaki güç akışı kontrol edilmelidir.		
Bileşenler:	Çok Algılı Şebeke (<i>Multi-Sensorial Network</i>), 3D Mikro Şebeke Ajanları, Ajan Dengeleme, Şebekeye Bağlı Yönetici (<i>On-grid Manager</i>), Talep Tahmini		
Tür:	Volere Gereksinimi	Öncelik:	En yüksek
Gerekçe:	Güç akışı kontrolünün amacı, yüksek güç kalitesi, mikro şebekenin optimize edilmiş ekonomik fonksiyonu ve yardımcı servislerin sağlanması açısından şebeke, dağıtık enerji kaynakları, enerji depolama sistemleri ve yükler arasında güç paylaşımını optimize etmektir.		
Uyum Kriteri:	Şebeke tarafından absorbe edilen ya da enjekte edilen güç üçüncül kontrol platformu tarafından tamamen kontrol edilebilir olacaktır. Ayrıca, dağıtık enerji kaynakları tarafından üretilen güç fiziksel ekipmanların kısıtlamalarını her zaman dikkate alarak önceden belirlenmiş şemalara (ör. güç elektroniği konvertörlerinin nominal gücü) göre değil kendi gerçek üretimine göre paylaşılacaktır.		
Gereksinim Tipi:	Fonksiyonel		
Uygulamanın Testi:	<u>Simülasyon ve Pilot</u>		

Müşteri memnuniyeti:	5	Müşteri memnuniyetsizliği:	5
-----------------------------	---	-----------------------------------	---

Tablo 3. 29. Türlerine göre desteklenen dağıtık enerji kaynaklarının ve enerji depolama sistemlerinin kontrolü

[MG-27] Türlerine göre desteklenen dağıtık enerji kaynaklarının ve enerji depolama sistemlerinin kontrolü			
Tanım:	Dağıtık enerji kaynakları ve enerji depolama sistemleri türlerine göre spesifik bir kontrol sistemine sahip olmalıdır.		
Bileşenler:	Çok Algılı Şebeke (<i>Multi-Sensorial Network</i>), 3D Mikro Şebeke Ajanları, Ajan Dengeleme, Şebekeden Bağımsız Yönetici (<i>Off-grid Manager</i>), Şebekeye Bağlı Yönetici (<i>On-grid Manager</i>)		
Tür:	Volere Gereksinimi	Öncelik:	En yüksek
Gerekçe:	Hasat edilen enerjiyi maksimuma çıkarmak, ömrünü uzatmak ve fonksiyonel ve bakım maliyetlerini minimum indirmek için yenilenebilir enerji kaynaklarının ve enerji depolama sistemlerinin türlerine göre kontrol edilmelidir.		
Uyum Kriteri:	Yenilenebilir dağıtık enerji kaynakları uygun olarak kontrol edileceklerdir (ör. FV'ler ve rüzgâr jeneratörleri). Yakıt kökenli dağıtık enerji kaynaklarının varlığında, kontrol sistemi yakıt tüketimini minimum indirmeyi amaçlamalıdır. Ayrıca, planlanan yüklerin tamamı karşılanırken enerji depolama sistemleri şarj ve deşarj oranları ömürlerini uzatmak amacı (ör. Şarj durumu dengelemesi) ile kontrol edilecektir.		
Gereksinim Tipi:	Fonksiyonel		
Uygulamanın Testi:	<u>Simülasyon ve Pilot</u>		
Müşteri memnuniyeti:	5	Müşteri memnuniyetsizliği:	5

Tablo 3. 30. Şebekeye destek olan yardımcı servisler

[MG-28] Şebekeye destek olan yardımcı servisler			
Tanım:	3D mikro şebeke sistemi talep cevabı, 24 saat ön fiyatlandırma gibi belirli hizmetleri destekleyerek enerji piyasasının belirli yönleri ile iletişim/etkileşime katılabilir olmalıdır.		
Bileşenler:	Şebekeye Bağlı Yönetici (<i>On-grid Manager</i>)		
Tür:	Volere Gereksinimi	Öncelik:	En yüksek
Gerekçe:	Akıllı şebeke çalışması açısından mikro şebeke değerleri enerji piyasası ile olan çeşitli iletişim/etkileşimlere katıldığında güçlenir. Bu sebepten, katma değerli hizmetler bu tür imkanları desteklemek için gereklidir.		
Uyum Kriteri:	Aşağıda birkaçı verilen basitleştirilmiş şebeke servislerine yanıt vererek enerji piyasasına aktif bir katılım olacaktır.		

	<ul style="list-style-type: none"> Talep Cevabı (Yük kısıtlaması) 24 saat ön fiyatlandırma Aktif Güç ve Frekans Kontrolü (P-f drop kontrol) Reaktif Güç ve Gerilim Kontrolü (Q-V drop kontrol) 		
Gereksinim Tipi:	Fonksiyonel		
Uygulamanın Testi:	<u>Simülasyon ve Pilot</u>		
Müşteri memnuniyeti:	4	Müşteri memnuniyetsizliği:	3

Tablo 3. 31. Şebeke bağlantılı moddan ada moduna geçiş ve tam tersi geçiş

[MG-29] Şebeke bağlantılı moddan ada moduna geçiş ve tam tersi geçiş			
Tanım:	Şebeke bağlantılıdan ada modu çalışmasına ve ada modundan şebeke bağlantılı çalışma moduna pürüzsüz geçiş ya otomatik olarak ya da manuel olarak mevcuttur.		
Bileşenler:	Geçiş Kontrolü, Şebekeye Bağlı Yönetici (<i>On-grid Manager</i>), Şebekeden Bağımsız Yönetici (<i>Off-grid Manager</i>)		
Tür:	Volere Gereksinimi	Öncelik:	En yüksek
Gerekeçe:	Ada modu çalışması mikro şebekeleri tanımlamak için önemli faktörlerden biridir ve bu moda geçişi tetikleyen kaynakları araştırırken katma değer sağlanır.		
Uyum Kriteri:	İki mod (şebeke bağlantılı ve ada modu) arasındaki geçiş her durumda dikkate alınması gereken belirli özelliklerle (ör. şebeke ile bağlantı kesildiğinde kararlılık ve tekrar online olduğunda senkronizasyon) desteklenecektir.		
Gereksinim Tipi:	Fonksiyonel		
Uygulamanın Testi:	<u>Simülasyon ve Pilot</u>		
Müşteri memnuniyeti:	5	Müşteri memnuniyetsizliği:	5

Tablo 3. 32. Mikro şebeke gün öncesi dağıtım (dispatch) optimizasyonu

[MG-30] Mikro şebeke gün öncesi dağıtım (dispatch) optimizasyonu			
Tanım:	Mikro şebeke kontrol edilebilir bileşenler yerleşimi sonraki günün fiyat koşullarının yanı sıra hava durumu, yük ve üretim tahmini tabanlı optimize edilmelidir.		
Bileşenler:	Gün Öncesi Planlama, Talep Tahmini, Dağıtık Enerji Kaynakları Tahmini		
Tür:	Volere Gereksinimi	Öncelik:	En yüksek
Gerekeçe:	Stratejik optimum planlama mikro şebekenin daha verimli çalışmasına yol açacaktır ve beklenmeyen koşulları (hava değişimleri gibi) daha da etkili bir şekilde sürdürecektir.		

Uyum Kriteri:	Beklenmedik durumlarda uyarlanabilirliği destekleyecek dinamik özellikler ile 24 saat sonraki planlama kullanılacaktır.		
Gereksinim Tipi:	Fonksiyonel		
Uygulamanın Testi:	<u>Simülasyon ve Pilot</u>		
Müşteri memnuniyeti:	5	Müşteri memnuniyetsizliği:	5

Tablo 3. 33. Mikro şebeke bileşen bölme

[MG-31] Mikro şebeke bileşen bölme			
Tanım:	Şebekede bir veya birden fazla bileşen örneğine erişilemiyorsa, sistemde geri kalan bölümler önemli bir sorun olmaksızın çalışmaya devam etmelidir.		
Bileşenler:	3D Mikro Şebeke Ajanları, Ajan Dengeleme, Şebekeden Bağımsız Yönetici (<i>Off-grid Manager</i>), Şebekeye Bağlı Yönetici (<i>On-grid Manager</i>)		
Tür:	Volere Gereksinimi	Öncelik:	En yüksek
Gerekçe:	Çoğu zaman bazı cihazlar dış koşullar veya tüm sistemi devre dışı bırakmayacak cihaz arızaları nedeniyle çevrimdışı hale getirilir		
Uyum Kriteri:	Bileşen yönetimi bölümlere ayrılacaktır, böylece eğer bir bileşen devre dışı olursa sistemin geri kalanı ya geçmiş veri ile (mümkün olduğu durumlarda) ya da sistemin tümünden bileşenleri çıkararak çalışmaya devam edecektir.		
Gereksinim Tipi:	Fonksiyonel olmayan- Güvenilirlik		
Uygulamanın Testi:	<u>Simülasyon ve Pilot</u>		
Müşteri memnuniyeti:	5	Müşteri memnuniyetsizliği:	5

Tablo 3. 34. Otomatik kontrol eylemlerini atlamak

[MG-32] Otomatik kontrol eylemlerini atlamak			
Tanım:	Mikro şebeke tesis yöneticileri ve mikro şebeke operatörü kişisel tercihe bağlı olarak mikro şebeke işletim durumlarını seçerek uygulanan kontrol stratejilerini otomatik olarak erteleyebilir veya atlayabilir.		
Bileşenler:	SCADA HMI		
Tür:	Volere Gereksinimi	Öncelik:	Orta
Gerekçe:	Tesis yöneticileri ve mikro şebeke operatörü gerekirse sistemin çalışmasına müdahale edebilmelidir.		
Uyum Kriteri:	SCADA HMI ile, manuel kontrol eylemleri belirli yetki verilmesi koşuluyla sağlanacak ve etkinleştirilecektir. Bu eylemler:		

	<ul style="list-style-type: none"> - Devre kesicilerinin bağlanması/ayrılması - Sistemdeki dağıtık enerji kaynaklarına göre aktif/reaktif güç ayar noktaları - Mikro şebeke kontrol/planlama stratejilerini gözden geçirerek yeni parametreler belirleme 		
Gereksinim Tipi:	Fonksiyonel		
Uygulamanın Testi:	<u>Simülasyon</u>		
Müşteri memnuniyeti:	4	Müşteri memnuniyetsizliği:	4

Tablo 3. 35. Merkezi kontrolörden otomatik gerçek zamanlı gerçek zamanlı karar verme

[MG-33] Merkezi kontrolörden otomatik gerçek zamanlı gerçek zamanlı karar verme			
Tanım:	Merkezi kontrolör performans optimizasyon mekanizmalarına dayalı olarak kendi kararlarını almalıdır.		
Bileşenler:	Merkezi Kontrolör		
Tür:	Volere Gereksinimi	Öncelik:	En yüksek
Gerekçe:	Mikro şebekenin başarılı çalışması için kontrolörden hızlı ve otomatik eylemler gerekebilir.		
Uyum Kriteri:	Kontrolör SCADA'nın bir parçası olacak, izleme parametrelerini alacak ve kontrol edilebilir mikro şebeke bileşenlerine gönderilecek yeni ayar noktalarını değerlendirecektir.		
Gereksinim Tipi:	Fonksiyonel		
Uygulamanın Testi:	<u>Simülasyon ve Pilot</u>		
Müşteri memnuniyeti:	5	Müşteri memnuniyetsizliği:	5

Tablo 3. 36. Birincil kontrol seviyesinde ölçeklenebilirlik için modülerlik

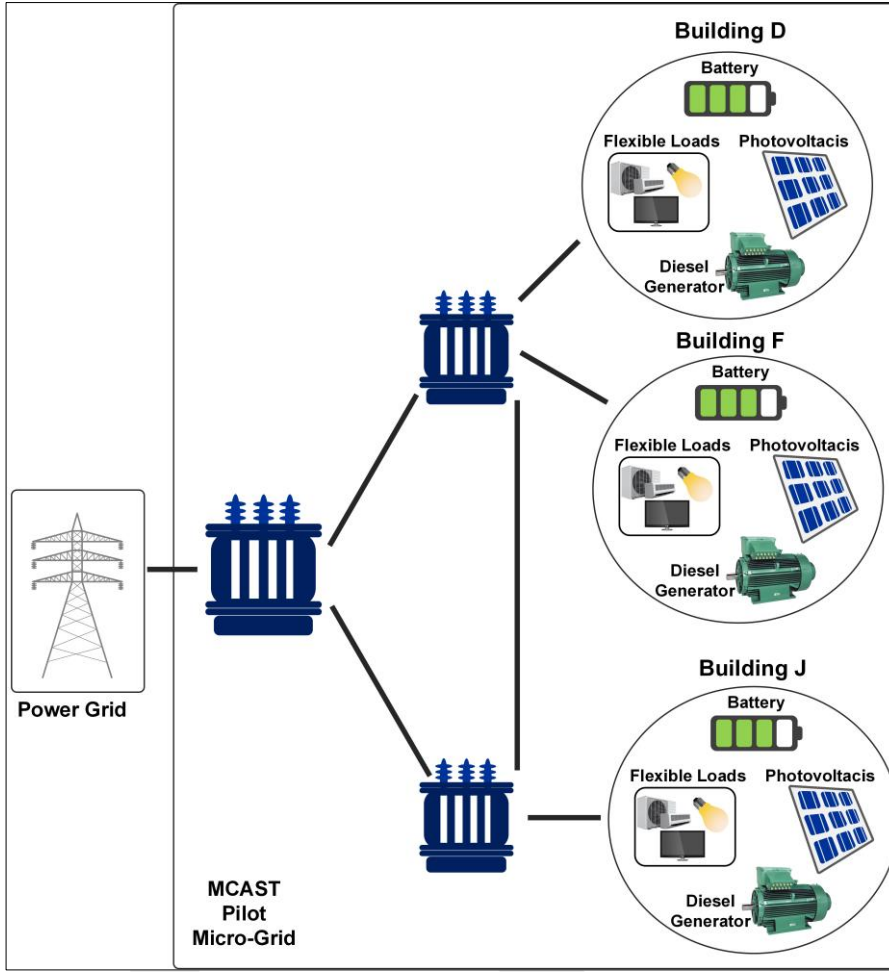
[MG-34] Birincil kontrol seviyesinde ölçeklenebilirlik için modülerlik			
Tanım:	Önerilen sistem 3D mikro şebeke ajanları için birincil kontrolde modülerlik sağlamak.		
Bileşenler:	Ajan Dengeleme, 3D Mikro Şebeke Ajanı		
Tür:	Volere Gereksinimi	Öncelik:	En yüksek
Gerekçe:	3D mikro şebeke çerçevesi bileşenlerin miktarı ve topolojisi açısından mevcut altyapıdan bağımsız kolayca düzenlenmelidir.		
Uyum Kriteri:	3D mikro şebeke ajanları mikro şebeke topolojisinde herhangi bir koşulda çalışabilecek şekilde hem Master hem de Slave işlevlerini desteklemek için konfigüre edilebilir olacaktır. Ajan dengeleme bileşeni X Master Ajanlarla iletişimi destekleyecek ve ajanların genel mikro şebeke Agent topolojisinden kolaylıkla eklenmesini veya kaldırılmasını sağlayacak		

	bir şekilde uygulanacaktır. 3D mikro şebeke ajanının bu modülerlik özelliği, ölçeklenebilir ve yapılandırması kolay bir sistemi destekleyecektir.		
Gereksinim Tipi:	Fonksiyonel		
Uygulamanın Testi:	<u>Simülasyon ve Pilot</u>		
Müşteri memnuniyeti:	5	Müşteri memnuniyetsizliği:	5

3.2. Mikro Şebekenin Modellenmesi, Kontrolü ve Optimizasyon

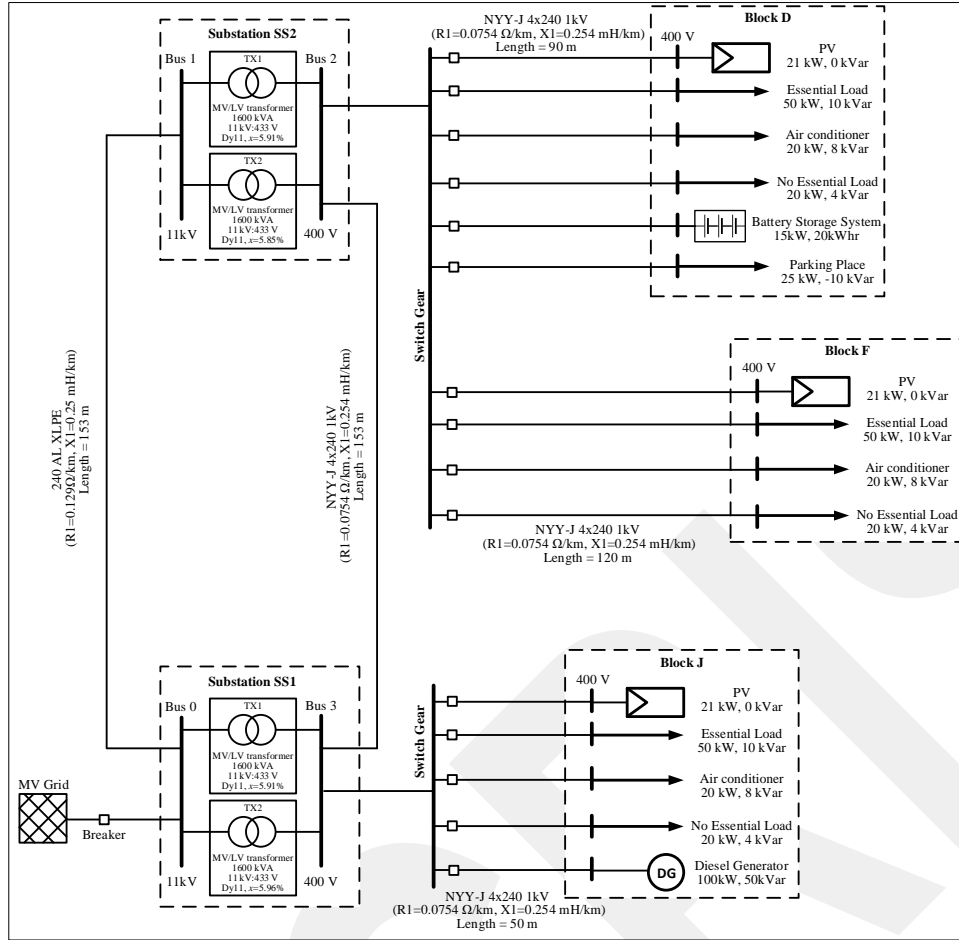
Bu kısımda ise bu dataların bir araya getirilip modelin oluşturulması ve bu model üzerinde almış olduğumuz ilk sonuçlar anlatılacaktır. Burada modelleme yapılırken önce bütün proje ortakların da bulunan MATLAB/SİMULINK yazılımı kullanılması kararlaştırılmış ve daha sonra DigSilent, PSCAD, DEW, PSCAD ve diğer güç sistemleri yazılımları kullanılarak da modelleme yapıp analizler değerlendirileceği kararı da alınmıştır.

Devre şu şekilde modellenmiş: ana şebekeden gelen enerji kampüse 11kV/400V dağıtım trafosu üzerinden dağıtılıyor ve çoğu yer altı kablolarından oluşan sistem in şematik gösterimi şekil 3.6 de gösterilmektedir (Her bir trafo, kablo vb alet edavatla ilgili detaylı bilgi bir önceki raporda belirtildiğinden burada tekrar bahsedilmeyecektir). Dağıtım trafosundan iki büyük şalter üzerinden kampüsdeki 3 büyük binanın elektrik dağıtımı sağlanmaktadır. Bu binalarda elektrik kesintilerine karşın daha önceden yerleştirilen dizel jeneratörler, fotovoltaik piller (PV), depolama sistemi (yakında alınacak), ve yükler ayrı ayrı modellenmiştir. Yüklerden bazıları kontrol edilebilir (on-off) olarak modellenmiştir. Çatılara yerleştirilen PV nin boyutu 21 kVA dır. Depolama sistemi şu an için mevcut sisteme dahil edilmemiş ama yakın zamanda alınıp o da binalarda bulunacaktır. Alınması planlanan batarya 15-20 kWh lik bir sistem olacak şekilde düşünülmektedir ve bu şekilde modellenmiştir.



Şekil 3. 6. MCAST kampüsü elektrik şemasının sembolük gösterimi

Tüm kampüs modelinin autocad üzerinde çizilmiş modeli ise Şekil 3.7 de paylaşılmıştır.



Şekil 3. 7. MCAST kampüsünün elektriksel çizimi

Yüklerin Modellenmesi:

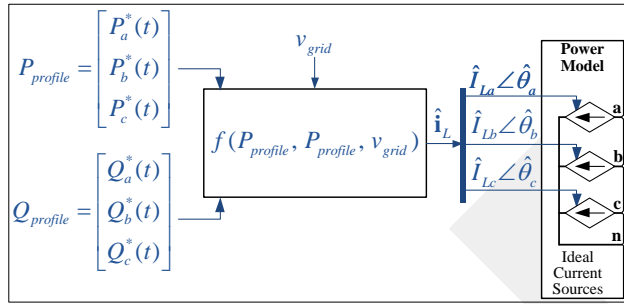
Burada yükler modellenirken kontrol edilebilir ve edilemeyenler şeklinde bir düşünceyle modellenmiştir. Burada MCAST üniversitelerinden alınan yüklerin saatlik gerçek verileri kullanılmış ve 3 fazlı olarak modellenmiştir. MCAST kampüsünden 5 dakikalık yük değişimi için alınan veriler aşağıda Tablo 3.37 da gösterilmiştir.

Tablo 3.37. MCAST kampüs binalarından 5 dakikalık alınan veriler

MCAST dan alınan Bilgiler	MCAST dan alınan Bilgiler
Timestamp	Current A
Apparent Energy (kVAh)	Current B
Real Energy (kWh)	Current C
Reactive Energy (kVARh)	Voltage A-B
Apparent Power Total (kVA)	Voltage B-C
Real Power Total (kW)	Voltage C-A
Reactive Power Total (kVAR)	Voltage A-N

Dmd Real Pwr (kW)	Voltage B-N
Dmd Reactive Pwr (kVAR)	Voltage C-N
Demand Current A	
Demand Current B	
Demand Current C	

Alınan verileri sisteme matematiksel olarak girişini sağlayan modüller dizayn edilmiş ve yük modülü adı altında SİMULİNK modeline entegre edilmiştir. Matematiksel ifadenin şekilsel gösterimi Şekil 3.8 de ve yüklerin görsel olarak gösterimi de Şekil 3.9 da sunulmuştur. Matematiksel modellemelerin anlatıldığı bir makale de şu anda yazım aşamasındadır.



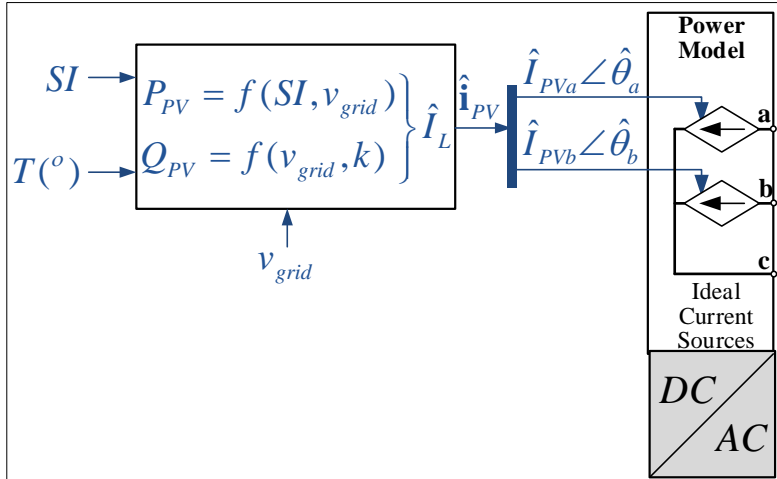
Şekil 3. 8. MCAST kampüs binalarının yüklerinin matematiksel SİMULİNK Modeli



Şekil 3. 9. MCAST kampüs binalarının yüklerinin görsel modeli

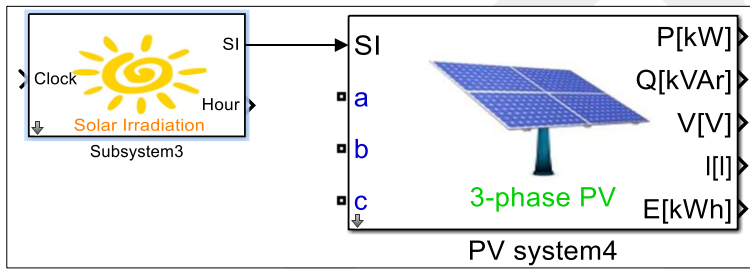
PV lerin Modellenmesi:

Burada PV modellenirken güneş parlaklığına (Solar Irradiation: SI ile burada gösterilmiş) göre bir gün için (24 saatlik) birer saniyelik gerçek veriler Malta için meteorolojik veriler kullanılarak alınmış ve veribankasında tutulmuştur. Aynı zaman da sıcaklık bilgiside (Temperature:T ile burada gösterilecek) alınıp bu ikisinin geçmiş verilerine göre PV nin güç çıkışının SİMULİNK modeli burda oluşturulmuştur ve Şekil 3.10 da gösterilmektedir. Bu model alınan SI ve T değerlerine göre aktif ve reaktif güç çıkışı üretilip sisteme entegre edilmiştir.



Şekil 3. 10. MCAST kampüs PV değerleri oluşturacak SIMULİNK Modeli

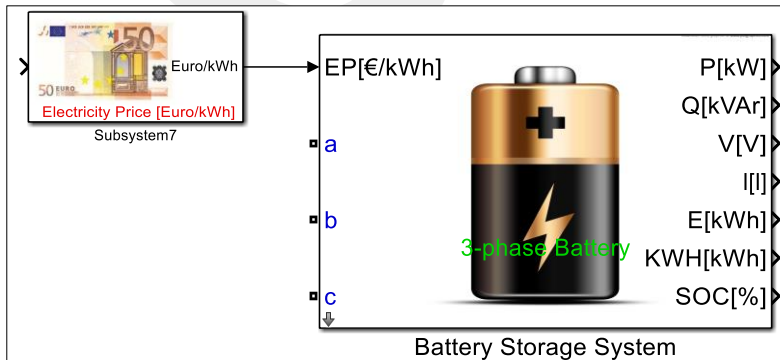
Bu model tüm binalardaki PV ler için ortak kullanılmıştır ve sadece boyut bilgisi değiştirilmiştir. Buradaki modelin görsel olarak gösterimi için ise Şekil 3.11 deki PV modülü oluşturulmuştur.



Şekil 3. 11. MCAST kampüs PV görsel SIMULİNK Modeli

Bataryaların Modellenmesi:

Burada batarya modeli oluşturulurken 3 faz akım ve fiyat verisi de dikkate alınmış ve çıkış olarak da aktif güç, reaktif güç, voltaj, akım, batarya kapasitesi, şarj ve deşarj oranı, şarj edilme yüzdesi gibi modüller modellenmiş ve batarya modülünün içine entegre edilmiştir ve Şekil 3.12 de aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 3. 12. MCAST kampüs Depolama görsel SIMULİNK Modeli

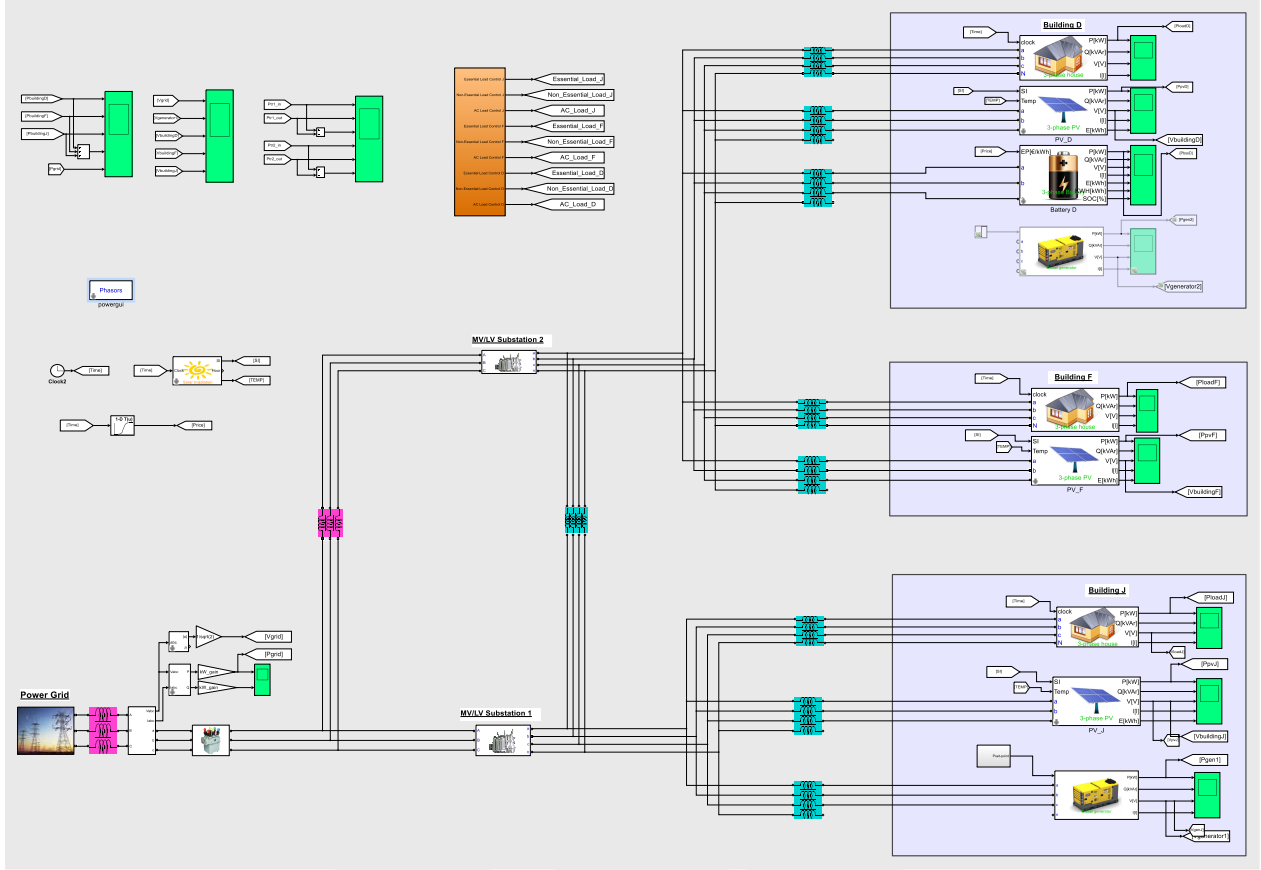
Dizel Jeneratörlerin Modellenmesi:

Burada jeneratör modelleme için 6th dereceden durum uzay modeli kullanılmış (500 kVA). Jeneratörün uyarımı için IEEE AC5A modeli oluşturulmuş, kontrolü için PI kontrolcü kullanılmıştır. Dizel jeneratör mikro şebeke ada moduna geçince master konumunda çalışmaktadır. Oluşturulan jeneratörün görsel gösterimi Şekil 3.13 de gösterilmektedir.



Şekil 3. 13. MCAST kampüs Dizel Jeneratör SİMULİNK Modeli

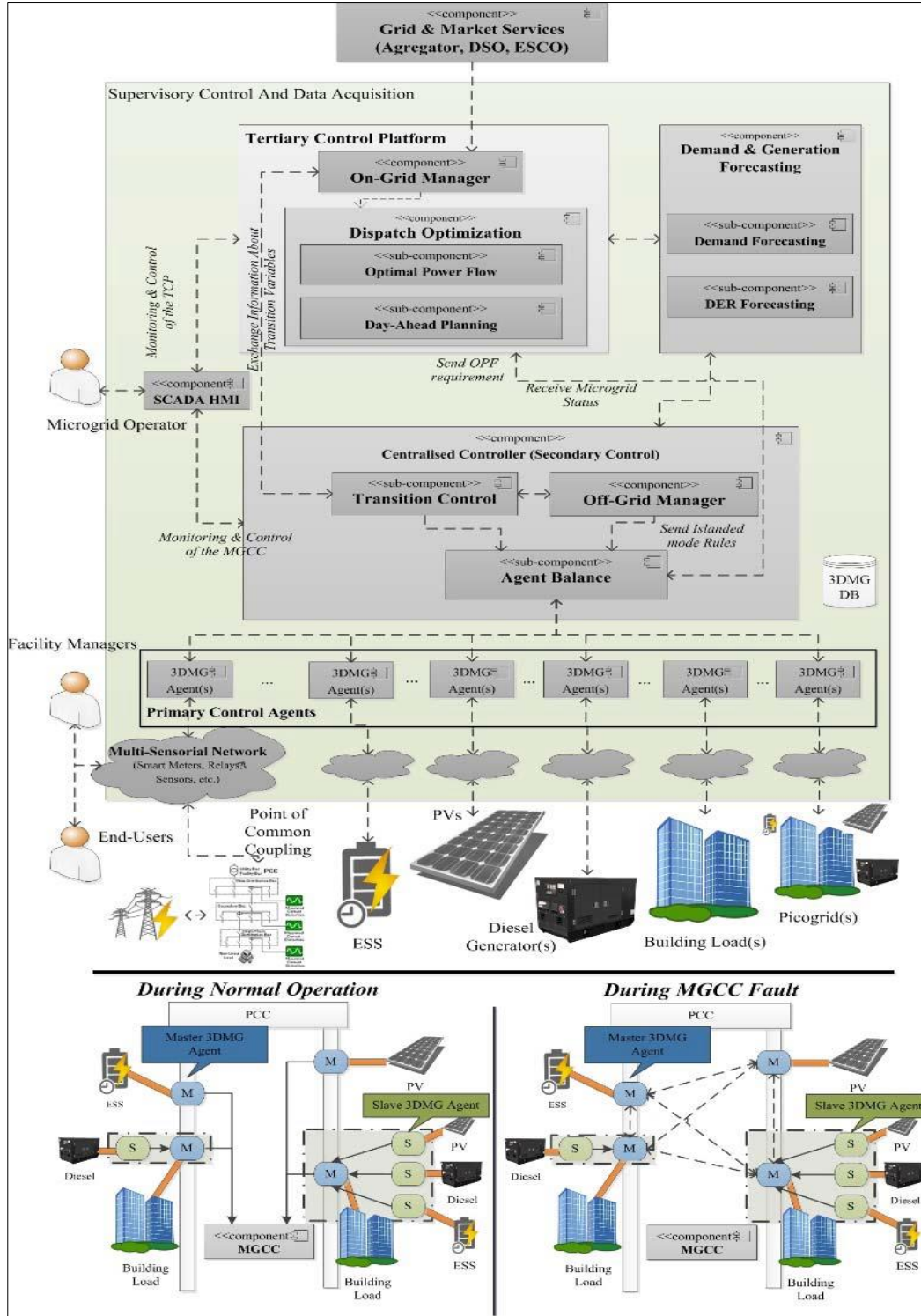
Oluşturulan kampüsün MATLAB/SİMULİNK modelinin görsel gösterimi Şekil 3.14 de gösterilmektedir.



Şekil 3. 14. MCAST Kampüsünün Elektriksel SİMULINK Modeli Görünümü

3.2.a. Mikro Şebekenin İzlenmesi ve Kontrolü için SCADA sistemi alt Yapısı Tasarımı

Bu kısımda mikro şebekenin kontrolünde kullanılacak alt yapı çalışmaları yapılarak, mikro şebekedeki her bir araç (PV, OPF, batarya vb) için haberleşme alt yapısı oluşturulması sağlanacaktır. Bu kısımda kontrolün etkin olarak sağlanabilmesi için kullanılacak SCADA modülü Şekil 3.15 de gösterilmektedir. Kontrolcü ile alakalı 'Novel Hybrid Design for Microgrid Control' adında tam metin bir konferans bildirisi 'The 9th IEEE PES Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference 2017' isimli konferansda 8 Kasım 2017 de sunulmuş ve detaylıca kontrol mimarisi bu çalışmada ele alınmıştır.



Şekil 3. 15. Mikro Şebeke de Kullanılmak Üzere Tasarladığımız Kontrol Mimari

SCADA – Haberleşme Katmanı

- Burada her bir ajanın birbirleri ile olan iletişiminin sağlanması amacı güdülmektedir.
- Her bir kontrol birimi bir ajan olarak dizayn edilecektir (örnek., OPF, yük tahmini, or lokal kontrolcüler – bataryalar, PVs, yükler, vb.)

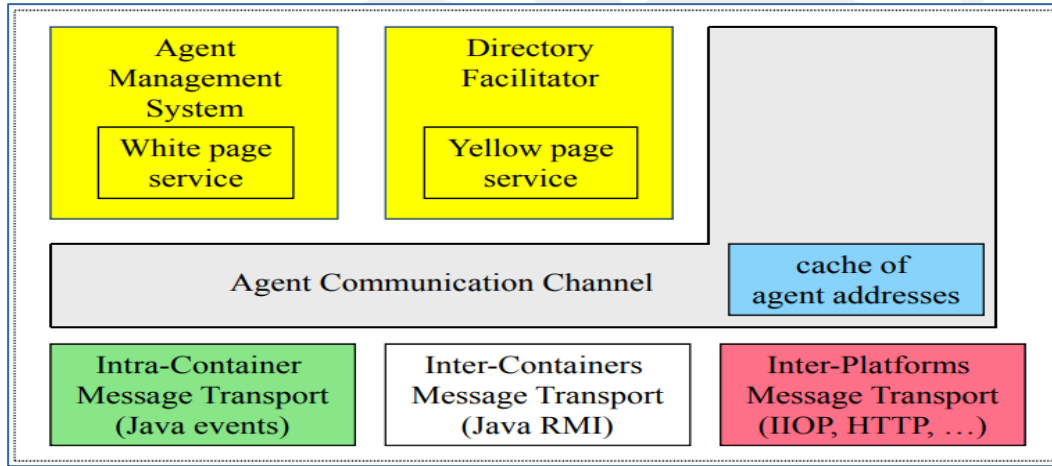
- Bu akıllı ajanların karakteristik özellikleri sayesinde mikro şebekeye fonksiyonel olarak katkıda bulunulacaktır.
- Buradaki amaç güç sistemini daha akılcı ve esnek hale getirmektir.

JADE (Java Agent Development Framework):

- JADE bir çok ajanı JAVA programlama diliyle geliştirme arayüzüdür.
- Çok ajanlı sistemler için mikro şebeke uygulamalarında en çok kullanılan alt yapıdır.
- Son zamanlarda akademi ve endüstriyel organizasyonlar tarafından kullanılmaya başlanmıştır.
- Fiziksel ajan katmanları ile uyumlu temel bir arayüzdür.

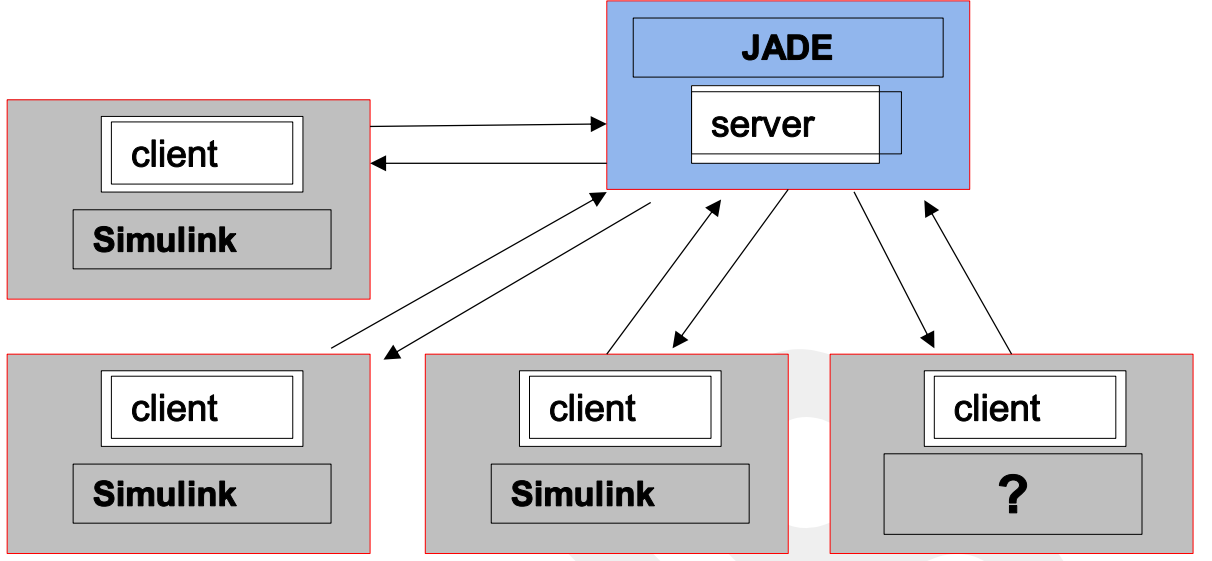
JADE Avantajları:

- Hem basit hemde çok kuvvetli bir görev çalıştırıcısıdır.
- Noktadan noktaya (Peer2Peer) ajan haberleşmesi temelli asenkron mesaj gönderme paradigmasına sahiptir. İç mimarisi ile ilgili detaylı bilgi Şekil 3.16 de gösterilmektedir.



Şekil 3. 16. JADE platformu iç mimarisi

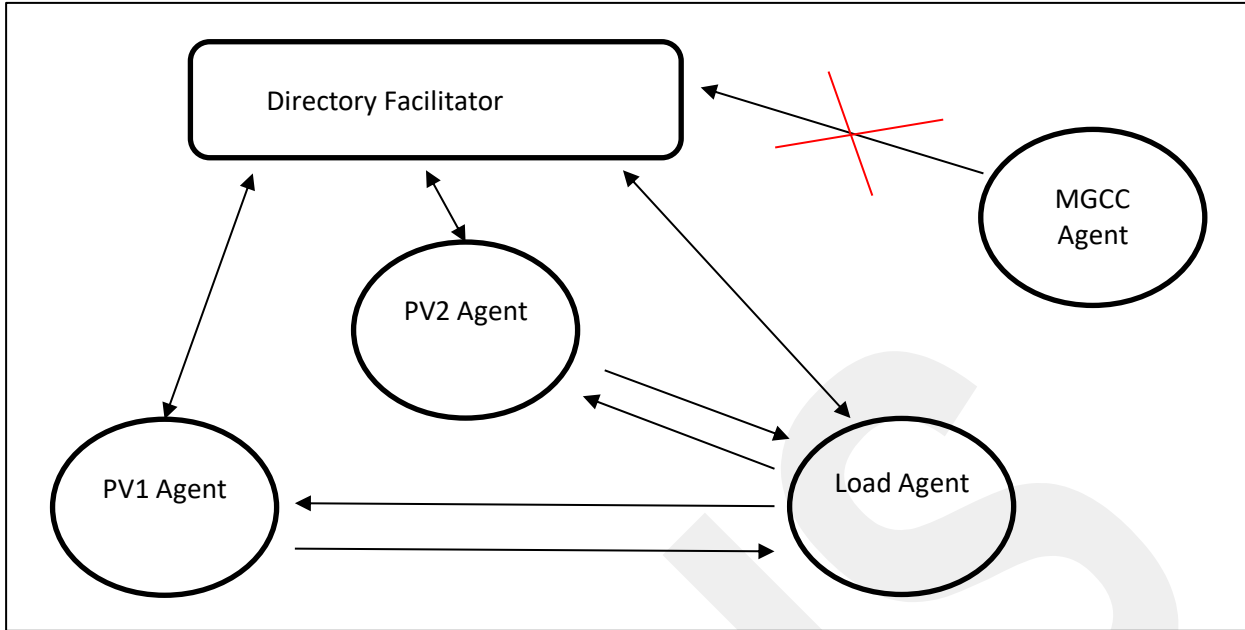
Biz bu platformu kullanırken bu platform projedeki Yunanistan ortağımız olan Centre for Research & Technology - Hellas (CERTH) in daha önce başka bir mikro şebeke projesi için JADE platformunda geliştirmiş olduğu kodların bu proje için adapte edilmesiyle oluşturulmuştur. JADE platformu birçok proje ortağının olduğu çalışmalar da her bir bilgisayar içinde oluşturulmuş ajanların koordineli şekilde haberleşerek, bir bilgisayarda çalışıyormuş gibi gösteren bir alt yapı sunmaktadır. Koordinasyon şeması Şekil 3.17 de aşağıda gösterilmektedir.



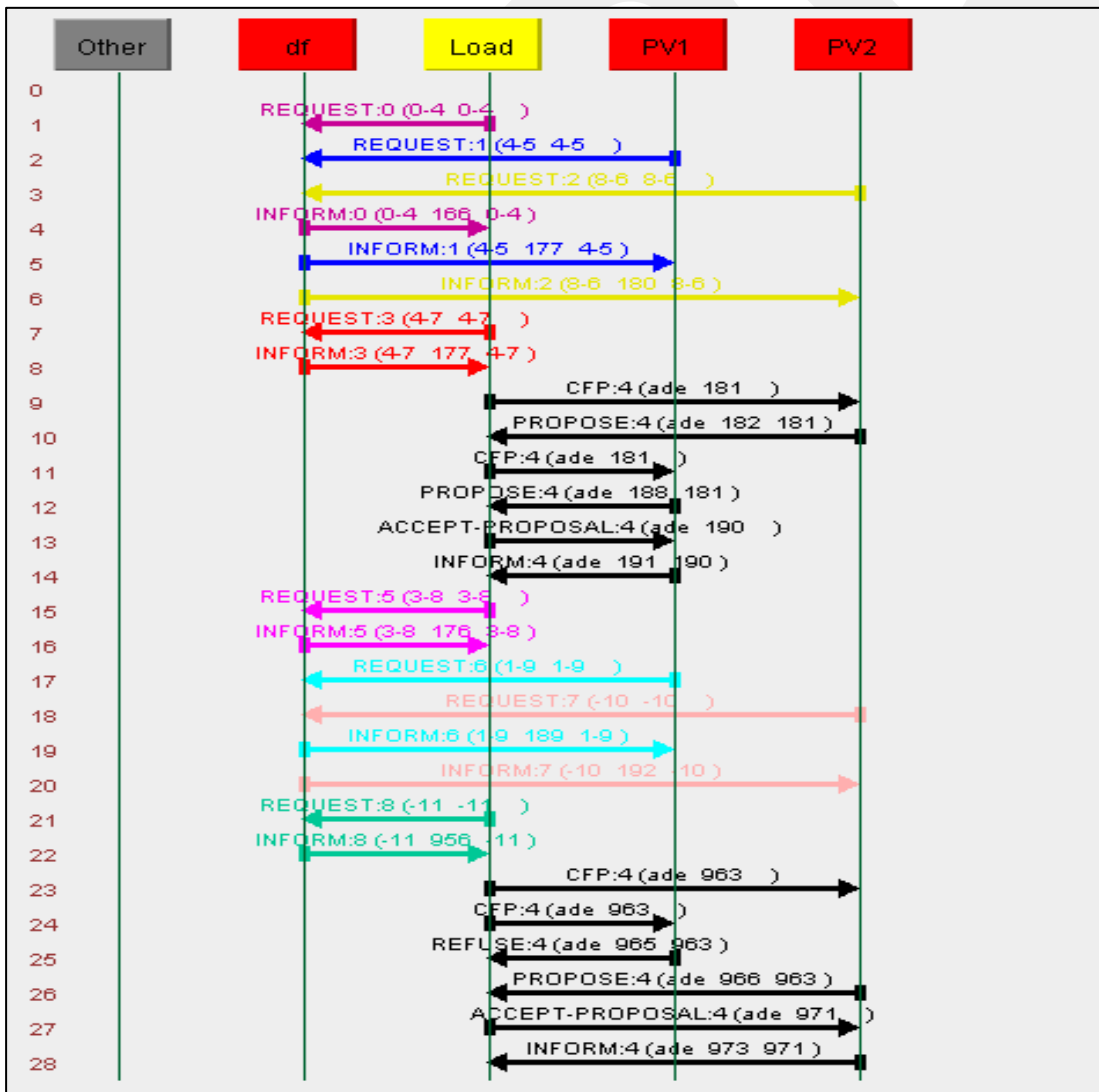
Şekil 3. 17. JADE platformu iletişim gösterimi

Biz burda haberleşme sağlanıp sağlanmadığını denemek için ilk etap da iki senaryo üzerinde durduk.

Senaryo 1: İlk senaryoda mikro şebeke merkezi kontrolcüsü (MGCC) olmadığı durumda ajanlar arası haberleşme sağlanmaya çalışılmış, yük ajanı (load agent) nın güç talebinde olduğu durumda Fotovoltaik ajan-1 (PV 1) ilk olarak devreye girip (PV1 in gücü daha düşük maliyetli) yük ajanının talebini karşılamayı denemiş, bu talebi karşılamayacağı durumda Fotovoltaik ajan- 2 devreye girerek (PV2 in gücü daha yüksek maliyetli) yük talebinin karşılanmasına çalışmıştır, JADE platformunda bu haberleşme ve dijital yük transferini sağlanmıştır. Senaryo 1 deki olayları anlatan şematik gösterim Şekil 3.18 de ve JADE platformunda haberleşme ile sağlanan yük talepleri ve ajanlara dağıtılması da Şekil 3.19 de gösterilmektedir.

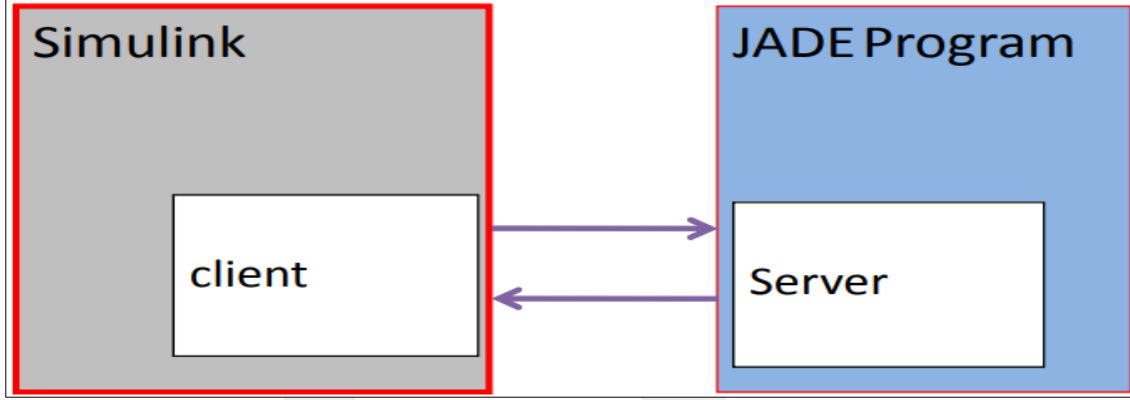


Şekil 3. 18. Senaryo 1 in görsel anlatımı



Şekil 3. 19. Senaryo 1 için JADE platformu çıktısı

Senaryo 2: ikinci senaryoda alınan ölçüm sonuçları (akım, voltaj, frekans) Simulink den JADE platformu üzerinden müşteri- sunucu (client-server) haberleşmesi sağlanmaktadır. Bu durumu anlatan görsel şematik Şekil 3.20 de gösterilmiştir. Burada kısaca mikro şebeke merkezi kontrolcüsü (MGCC) ile sunucu haberleşmesi denenmiş ve bağlantı başarı ile gerçekleşmektedir. Haberleşme bağlantısının yapıldığını gösteren ekran çıktısı Şekil 3.21 ve Şekil 3.22 de gösterilmektedir. Burada MGCC gerekli hesaplamaları yapıp sonucu sunucu üzerinden simulink modeline gönderebilme yeteneği sınanmıştır. Burada MGCC nin ne yaptığı (optimizasyon detayları) kısmı bir dahaki dönem proje raporunda daha detaylıca gösterilecektir.

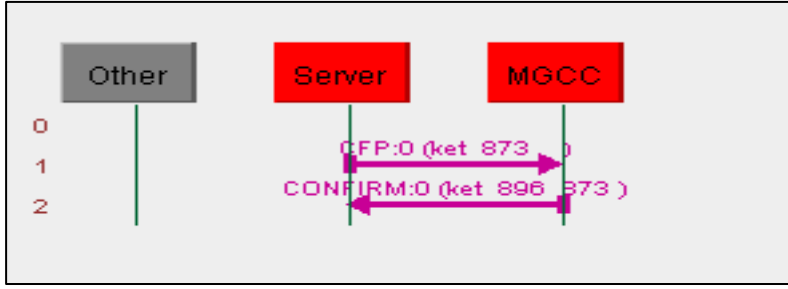


Şekil 3.20. Senaryo 2 nin görsel anlatımı

```
Command Window
Connecting to server...
Client sends:
123/219.1/50.1

Reply:
123/0.90000000/-0.10000000
Connection ended
fx >> |
```

Şekil 3. 21. Haberleşme bağlantısı yapıldığına dair gösterge



Şekil 3. 22. MGCC ve Sunucu haberleşme ve bilgi transferi çıktısı

Burada JADE platformu kullanılarak farklı lokasyonda olan müşteriler arasındaki haberleşme ve SCADA alt yapısı oluşturulmuş, bu farklı lokasyonlar şu an için farklı binalarda denenmiş ve farklı ülkeler için de denenecektir. Üç farklı simulink modelinde geliştirilen ajanlar için bu denenmiş ve başarı sağlanmıştır. Bütün ajanlar modellendikten sonra hepsi için de denemeler yapılacaktır. Burada sunucu bütün müşterilerden gerekli bilgileri toplamış ve almış olduğu kararları da yeni bir bilgi paketi olarak doğru müşterilere iletmeye başlamıştır.

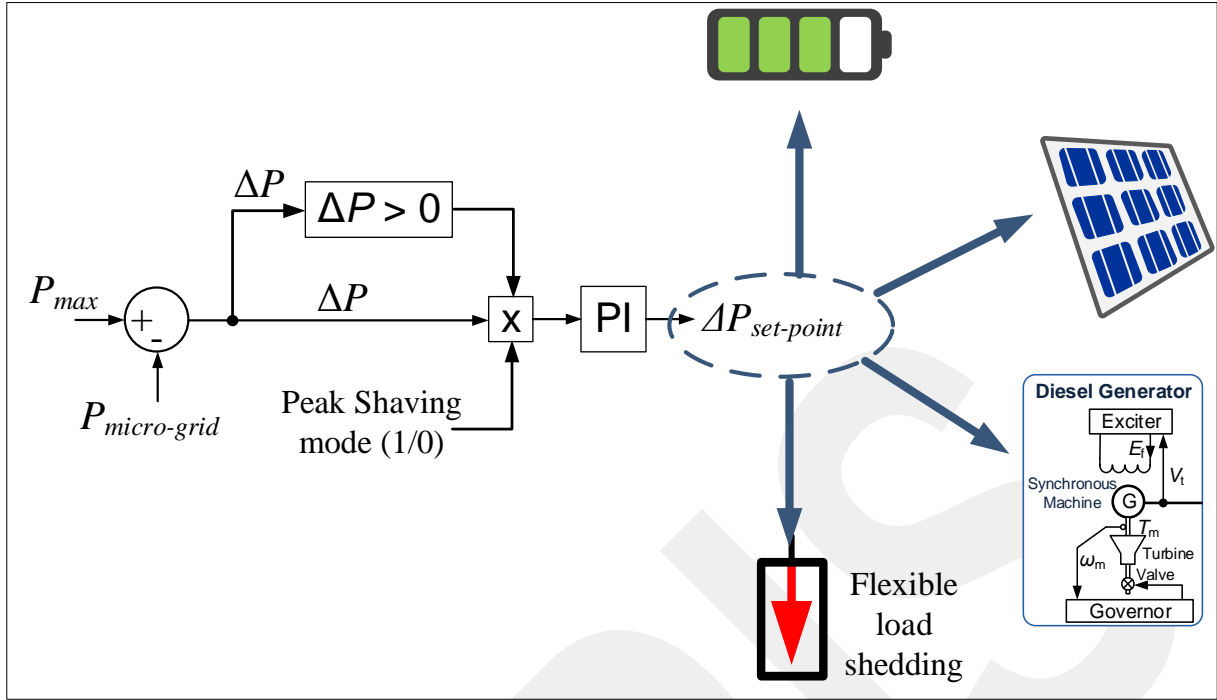
3.2.b. Dinamik ve Stokastik Optimizasyonun Mikro Şebekede Uygulanması için Kontrolcü Tasarımı

Buradaki amaç:

- Ada modu ve şebeke bağlı modda mikro şebeke işletmesini voltaj ve frekans kararlılığında sürdürebilmek
- Aktif yük, PV, dizel jeneratör ve depolamanın kontrolünü sağlamak
- Stokastik ve dinamik optimizasyonlarla kaynak dağılımını sağlamaktır.

Tepe Öteleme (Peak Shaving mode) modu

- İletim ve dağıtım sistemi operatörleri (TSO ve DSO) mikro şebekeden maksimum tüketim talebinde bulunması durumu bu senaryo da incelenecektir.
- Tepe öteleme kontrolcüsü tüketimin limitleri aşmaması için dizayn edilmektedir ve bunun için aşağıdaki parametreler kullanılmaktadır:
 - Dizel Jeneratör
 - Battarya
 - PV kısıtlaması
 - Yük gölgelemesi (shedding)



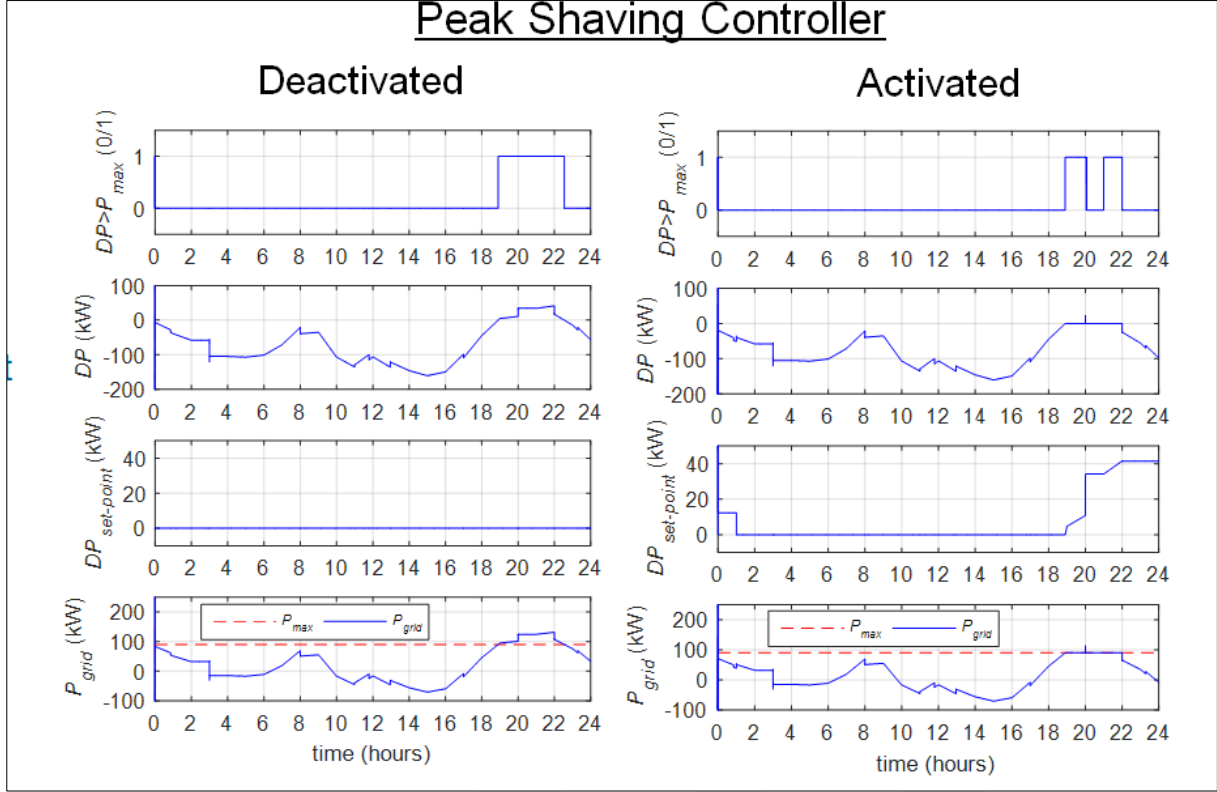
Şekil 3. 23. Tepe Öteleme Kontrolcüsünün gösterimi

Geliştirilen tepe ötele kontrolcüsü Şekil 3.23 de gösterilmektedir ve uyguladığımız senaryolar ise:

- $P_{max} = 90$ kW
- Tepe Öteleme Kontrolcüsü
 - İstenildiğinde pasif (deactivated) edilebilecek
 - İstenildiğinde aktif (activated) edilebilecek
- Tüketim 90 kW limitini aşmayacak
- Tepe Öteleme 18:45 ve 22:00 saatleri arasında aktif olarak çalışacak.

Şekil 3.24 de tepe öteleme kontrolcüsü devre iken senaryonun uygulandığında aldığımız sonuçlar paylaşılmaktadır. DP (demand power = talep gücü) ile kontrolcünün kendini nasıl güncellediği ve maksimum 90 kW seviyesinin altında tutmaya çalıştığı gösterilmektedir.

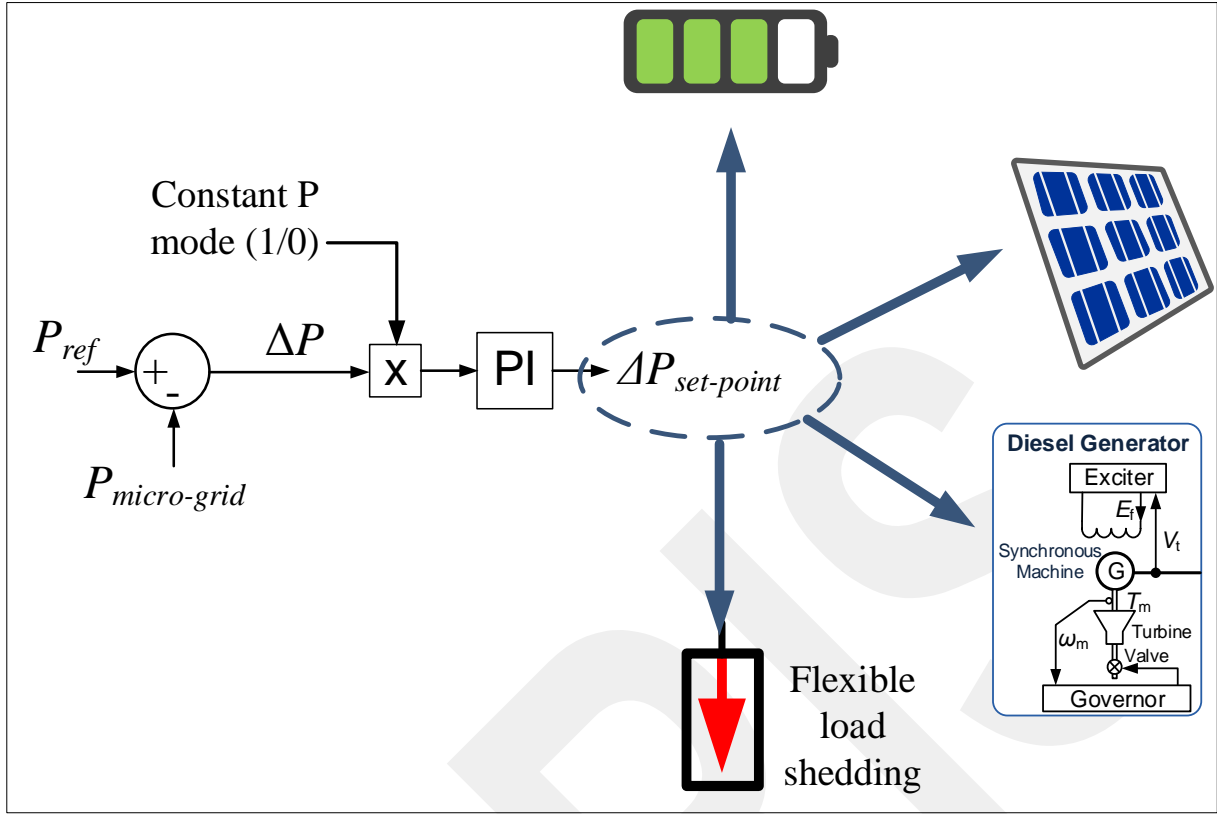
Peak Shaving Controller



Şekil 3. 24. Tepe Öteleme sonuçları

Sabit Aktif Güç Modu (Constant P mode)

- İletim ve dağıtım sistemi operatörleri (TSO ve DSO) şebeke ve mikro şebeke arasında sabit güç transferine ihtiyaç duyması senaryosu burada incelenecektir.
- Sabit güç modunda kontrolcü tüketimin sabit kalması için dizayn edilecektir. Bu dizayn da aşağıdaki parametrelerden faydalanacaktır:
 - Dizel Jeneratör
 - Battarya
 - PV kısıtlaması
 - Yük gölgelemesi (shedding)

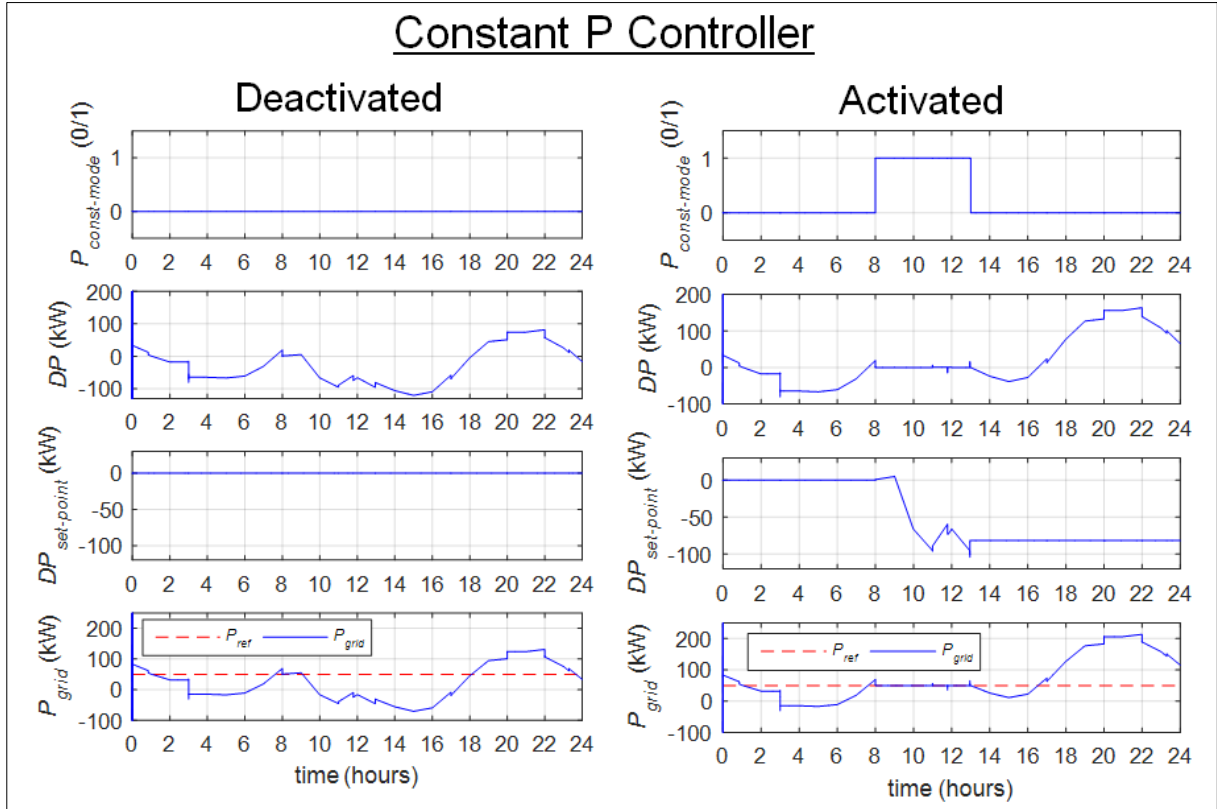


Şekil 3. 25. Sabit P modu Kontrolcüsünün gösterimi

Geliştirilen sabit güç kontrolcüsü Şekil 3.25 da gösterilmektedir ve uyguladığımız senaryolar ise:

- Pref= 50 kW
- Sabit güç kontrolcüsü
 - Tüm gün pasif olabilecek
 - Saat 08:00 den 13:00 a kadar aktif olabilecektir.
 - Şebeke ile mikro şebeke arasındaki güç transferi de saat 08:00 den 13:00 a kadar 50 kW da sabit kalacaktır.

Şekil 3.26 de sabit güç kontrolcüsü devre iken senaryonun uygulandığında aldığımız sonuçlar paylaşılmaktadır. DP (demand power = talep gücü) ile kontrolcünün kendini nasıl güncellediği ve 50 kW seviyesinde sabit tutmaya çalıştığı gösterilmektedir.



Şekil 3. 26. Sabit P modu sonuçları

3.2.c. Yardımcı Hizmetlerin Sağlanması İçin Stokastik ve Deterministik Optimizasyon Yaklaşımı

Bu bölümde üçüncül seviyede gerçekleşen optimizasyon modellemeyi bahsedilecektir. Yardımcı hizmetler güç kalitesinin yanı sıra iletim ve dağıtım sisteminin bütünlüğünü ve kararlılığını korumak amacıyla iletim sistemi operatörü (TSO) veya dağıtım sistemi operatörü (DSO) tarafından gerek duyulan tüm hizmetlerdir. Şebekeye bağlı çalışmada mikro şebeke tarafında sağlanabilen yardımcı hizmetler; frekans kontrol desteği, voltaj kontrol desteği, kısıt yönetimi, şebeke kayıplarının azalması, güç kalitesinin iyileştirilmesidir (Martinez-Ramos vd.(2009) ve Eurelectric, Thermal Working Group (2014)). Yapılan çalışma şebekeye bağlı çalışmada güç sistemine yardımcı hizmetler (frekans kontrolü, voltaj kontrolü ve yük azaltma) sağlamak için farklı kaynaklara referans değerleri belirleyen optimizasyon problemi sunmaktadır.

Şebekeye bağlı mod da yardımcı hizmetlerin sağlanması genellikle TSO (frekans kontrol desteği) veya DSO (voltaj kontrol desteği ve kısıt yönetimi) ile uzun süreli anlaşmalarla sağlanır, ki gerçek zamanlı hizmetler dahil edilebilsin (voltaj & reaktif güç desteği; yük atma ile sıkışıklık yönetimi).

Mikro şebekelerde belirsizlik yönetimi (uncertainty management)

Güç şebekelerinde üretim kaynaklarının kısa vadeli planlaması iki aşamada gerçekleştirilir. İlk aşamada, birimler; jeneratörlerin başlatma ve kapatma maliyetleri, çalışma maliyetleri ve rampa kısıtlarına dayanarak her saat için beklenen yükü karşılamayı taahhüt eder (birim taahhüdü-Unit Commitment). Stokastik birim yüklenme belirsizlik problemleri ile başa çıkmak için kullanılabilir (Zheng vd. (2015)). İkinci aşamada çoğu belirsiz girdiler fark edildikten sonra (uygulamadan dakikalar öncesine kadar) taahhüt edilen elemanların güç çıkışlarının yükü karşılaması için karar verilir (ekonomik dağıtım - Economic Dispatch) (Talari vd. (2015) ve Deckmyn vd. (2017)). Bu iki aşamalı karar süreci, ilgili belirsizlikleri ve üretim kaynakları ile ilgili kısıtları yönetmek için kullanılır.

Mikro şebekelerin çalışma planlaması için mikro şebeke kaynaklarının gün öncesi birim taahhüdü ile başlayan ve kaynakların kısa vadeli ekonomik dağıtımı ile devam eden benzeri iki aşamalı planlama prosedürü kullanır. Belirsizlikle alakalı problemlerle başa çıkmak için Stokastik programlama gün öncesi birim taahhüdünde kullanılır ve deterministik optimizasyon problemi belirsiz parametreler için en iyi tahminle çözümlenen ekonomik dağıtım için kullanılır (Abdi vd. (2017)).

- ✓ **Optimizasyon modeli**
- ✓ **Setler**
- ✓ Planlama süresi
- ✓ Termal jeneratörler
- ✓ Fotovoltaik üretim cihazları
- ✓ Önemli, kesilemez yükler
- ✓ Önemli olmayan, kesilebilir yükler
- ✓ Depolama cihazları
- ✓ Şebekedeki bara sayısı
- ✓ **Belirsiz parametreler**
- ✓ Fiyat senaryoları
- ✓ Fotovoltaik üretim senaryoları
- ✓ Yük senaryoları
- ✓ **Stokastik optimal güç akışı (SOPF)**
- ✓ Amaç fonksiyonu: Enerji maliyetinin (şebekeden tüketilen enerji), iç üretim maliyetinin (dizel jeneratörleri) ve gerekirse yük atmanın maliyetinin beklenen tüm senaryolarının toplamıdır.
- ✓ Kısıtlar:
 - Güç akışı eşitlikleri
 - Voltaj ve dal güç akışları için çalışma limitleri
 - Jeneratör limitleri
 - Bataryada depolanan enerji ve limitleri

SOPF'nin amacı mikro şebekenin beklenen çalışma ve enerji maliyetlerini talebe, PV üretimine ve enerji fiyatlarına bağlı olarak minimize etmektir. Sorun, farklı kaynakların, yani mevcut

jeneratörlerin, depolama cihazlarının ve önemli olmayan yüklerde yük atma işlemlerinin çalışma programlarını sağlar.

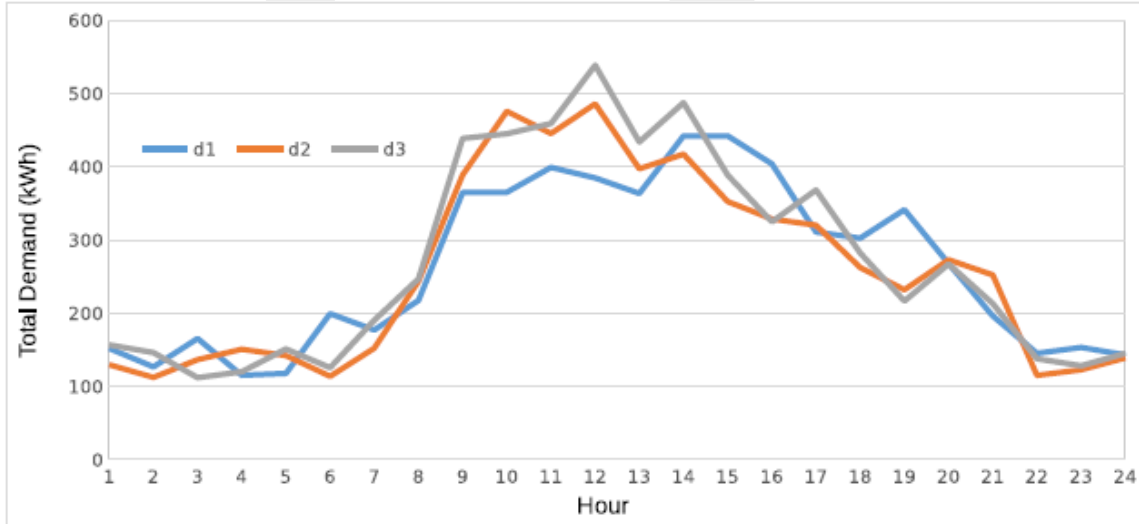
Deterministik optimal güç akışı planlama problemi (DOPF)

Kısa vadede çalışma referans değerlerini belirlemek için kullanılan DOPF probleminin formülasyonu enerji fiyatlarının belirli bir şekilde gerçekleştirilmesi için SOPF'yi, talep ve PV üretiminin değişimi belirleyerek elde edilir. 24 saat önceden enerji fiyatları biliniyor; talep ve PV üretimi için en iyi tahminler değerlendirilir ve DOPF'nin her çözümünden önce kısa vadede belirsizlikleri gidermek için güncellenir.

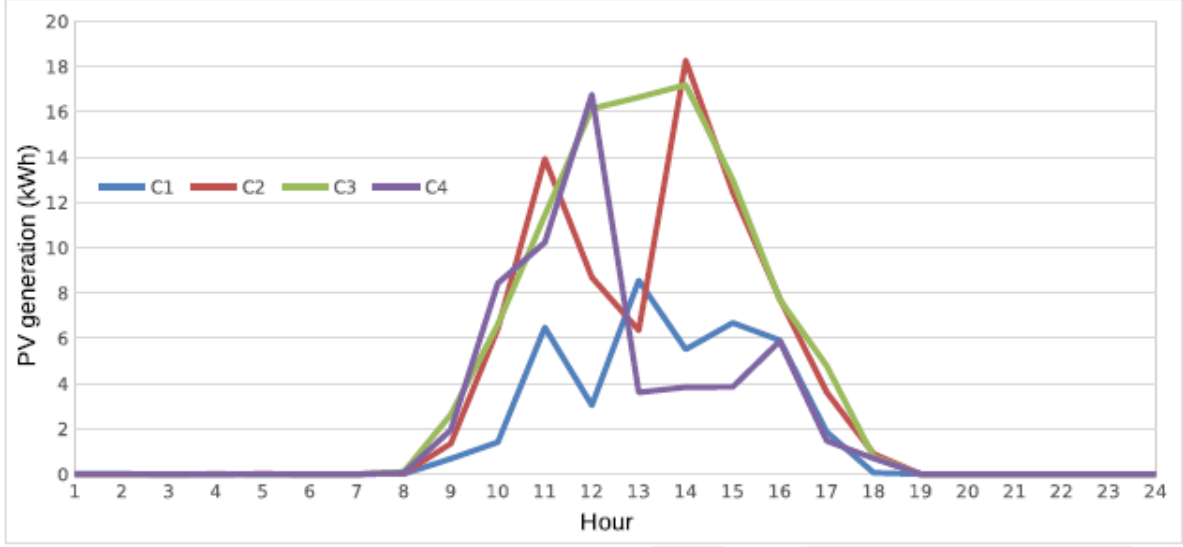
SOPF için sunulan yardımcı hizmetler ile ilgili benzer kısıtlar kısa vadeli DOPF'de uygulanabilir.

Sonuçlar:

PV üretimi ve talep ile ilgili belirsizliği karakterize etmek için hiyerarşik sınıflandırma önceden kaydedilen veriler kullanılarak ilgili modellerin sayısını belirlemek için kullanılır. Daha sonra, her sınıfa farklı zaman dizisi atanması k-ortamlar tabanlı sınıflandırma tekniğinin kullanılmasıyla yapılır. 15 iş günü boyunca kaydedilen yük verisi Şekil 3.27'de verilen sırasıyla 0.4, 0.33 ve 0.27 olasılığa sahip senaryoları elde etmek için kullanılır. Benzer olarak, 26 gün boyunca kaydedilen PV üretimi Şekil 3.28'de verilen 0.154, 0.269, 0.462 ve 0.115 olasılığa sahip 4 PV senaryosunu belirlemek için kullanılır.

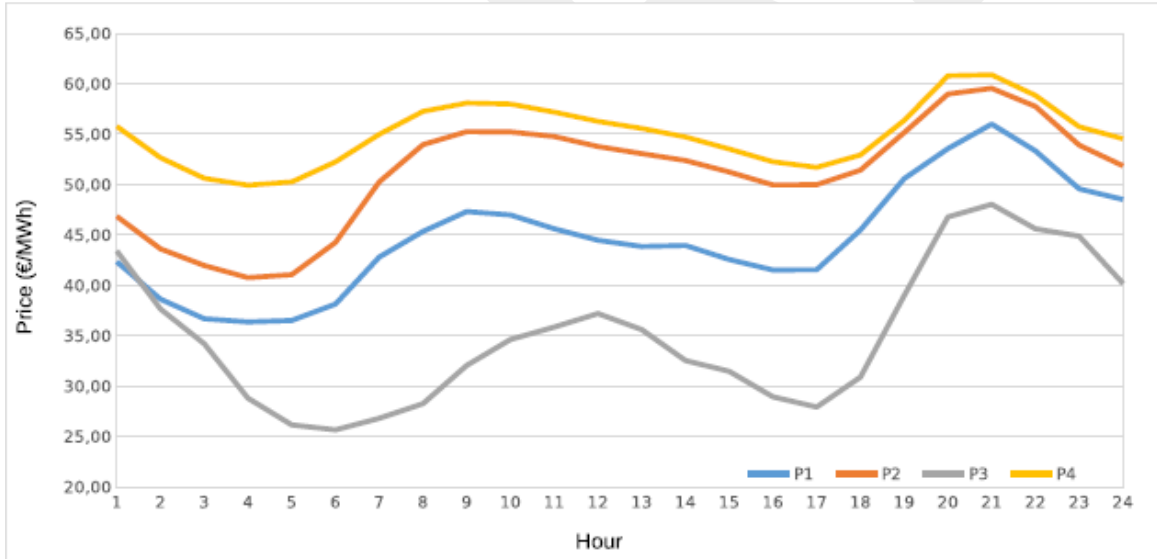


Şekil 3.27. Talep Senaryoları



Şekil 3.28. Fotovoltaik Üretim Senaryoları

Enerji fiyatlarındaki belirsizliği eklemek için Gün-Öncesi Elektrik Piyasasının saatlik enerji fiyatları ilgili senaryoları tanımlamak için kullanılır. 42 iş gününün saatlik fiyatları Şekil 3.29'da verilen 0.214, 0.286, 0.048 ve 0.4524 olasılığa sahip fiyat senaryoları elde etmek için kullanılır.



Şekil 3.29. Saatlik Enerji Fiyat Senaryoları

Gün Öncesi SOPF

Şekil 3.27, 3.28 ve 3.29'da verilen yük, PV üretimi ve fiyat senaryoları tarafından temsil edilen belirsizlikleri hesaba katarak SOPF problemi modellenerek MCAST mikro şebekesinin beklenen işletim maliyeti elde edilmiştir. Dizel yedek jeneratörü için işletim maliyeti 200€/MWh iken, "normal" enerji fiyatları altında yük kesintisinden kaçınmak için yük azaltmaya 300€/MWh enstrümantal maliyet uygulanır. 24 saatlik planlama süresinde beklenen işletim maliyeti

313,5€. Bu maliyet yardımcı hizmetlerin sağlanması da dâhil olmak üzere kapsayan maliyetiyle karşılaştırılan referans işletim maliyetidir

Reaktif güç desteğinin sağlanması:

Çoğu elektrik sistemlerinde, tüketicilerin gece saatlerinde reaktif gücün enjeksiyonunu yasaklayarak güç faktörünü gündüz saatlerinde 0.95 ten büyük (aktif güce göre %33 oranında reaktif güç) tutulması gerekmektedir. Bu kısıtlar yüklerin yerel olarak güç faktörü açısından kompanze edilmesi koşuluyla herhangi bir ilave eyleme gerek kalmadan kolayca yerine getirilir.

Fakat, mikro şebeke gündüz saatlerinde 0.98 üzeri güç faktörü (aktif güce göre %20.3 oranında reaktif güç) sağlamak için bir anlaşmaya varırsa, bazı düşük olasılık durumlarında reaktif güç sağlamak için dizel gruplardan birini çalıştırma ihtiyacından dolayı beklenen maliyette %0.35 gibi bir artış (314.6€ günlük) meydana gelebilir.

Sisteme gündüz saatlerinde aktif güce göre reaktif gücün %10'unu aşmayan reaktif güç tüketimi ile daha büyük bir reaktif güç ihtiyacı duyulursa işletim maliyeti günlük 421.9 € (%34.6 artış) artabilir. Bu artış bazı senaryolarda 9:00-17:00 arasında bir dizel grubunu başlatma ihtiyacından dolayı kaynaklanmaktadır. Ayrıca, bu artış PCC (Point of Common Coupling)'de yeni bir kapasitör bankası veya PV tesislerinin inverterleri tarafından reaktif gücün saptanması gibi yardımcı hizmetlerin sağlanmasında maliyeti düşürecek olan mikro şebekedeki iyileşmeleri gösterebilir.

Frekans kontrolünün sağlanması:

Mikro şebekenin mevcut kaynaklar üzerinden TSO ile (dizel jeneratörler ve bataryalar) ana frekans kontrolünü sağlamak için anlaşmaya vardığını varsayalım. Bu anlaşma sistem frekansındaki değişikliklere tepki vermek için bu cihazlarda minimum güç rezervini sağlaması gerektiğini gösterir. Eğer güç sınırı olarak mikro şebekenin normal çalışma noktasının $\pm 25kW$ limiti uygulanırsa, beklenen maliyet günlük 313.7€ artacaktır. Rezerv olarak bu küçük artış çoğunlukla batarya tarafından sağlanır. 50 MW civarında sisteme güç katkısı gerekiyorsa, jeneratör limitlerinden dolayı bazı senaryolarda gereken rezervleri sağlamanın imkansızlığıyla işletim maliyeti günlük 379.4€ (%21 artış) artabilir.

Kısa Vadeli DOPF

SOPF'teki beklenen işletim maliyetleri ile karşılaştırıldığında DOPF problemi belirsizlik senaryolarının gerçekleşmesi için işletim maliyetlerini elde etmek için kullanılır. Enerji fiyatlarının P4 serileri, yükün D3 serileri ve PV üretiminin C3 serileri ile gösterildiğini

varsayalım. Bu durumda beklenen çalışma maliyeti 24 saatlik çalışma periyodu için 347.5€. Bu maliyet deterministik koşullarda yardımcı hizmetlerin sağlanmasının kapsayan maliyet ile karşılaştırıldığında:

Reaktif güç desteğinin sağlanması:

Mikro şebeke güç faktörünü gündüz saatlerinde 0.95 ten büyük (aktif güce göre %33 oranında reaktif güç) tutabilmelidir. Fakat gündüz saatlerinde 0.98'lik minimum güç faktörü uygulanırsa reaktif güç desteği batarya tarafından sağlanacağı için maliyette herhangi bir artış olmayacaktır. Gündüz saatlerinde aktif güce göre %10'luk bir reaktif güç limiti (0.995 in üzerinde güç faktörü) uygulansaydı, 9.00-17.00 arası bir dizel grubun çalışması gerektiğinden işletim maliyeti günlük 425.1€ artacaktır.

Frekans kontrolünün sağlanması:

Eğer güç sınırı ± 25 kW olsaydı, maliyet günlük 347.6€ artacaktır ve tüm rezerve bakacak olursak bu önemsiz artış batarya tarafından sağlanır. 50MW'lık rezerv sınırı devreye alındığında dizel jeneratörler tarafından uygulanan minimum üretim nedeniyle oluru olmayan bir problemle sonuçlanabilir.

50 MW civarında sisteme güç katkısı gerekiyorsa, jeneratör limitlerinden dolayı bazı senaryolarda gereken rezervleri sağlamanın imkansızlığıyla işletim maliyeti günlük 379.4€ (%21 artış) artabilir. Rezervde yük azaltmanın dahil edilmesi işletim maliyetinde herhangi bir artışa gerek kalmaksızın rezerv sınırını 70 kW üst sınıra ve 35 kW alt sınıra getirecektir.

Not: Burada paylaşılan bilgiler konferanslarda detaylıca sonuçları ile birlikte sunulacaktır. Kasım dönemindeki konferansta sunduktan sonra, makalelerin tamamı sisteme yüklenecektir.

3.2.d. Ajan Dengeleme (Agent Balance) Optimizasyonun Modellenmesi

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kesintili ve değişken doğaları nedeniyle, mikro şebeke sistemleri yenilenebilir enerji kaynaklarının negatif etkilerini azaltmak için enerji yönetimi önemli bir rol oynar. Optimizasyon kararlı ve güvenilir çalışmayı sağlayarak Mikro Şebeke kontrolünü sağlamak için en iyi sonuçlardan biridir (Fathima vd. (2015)).

Ajan dengeleme optimizasyonu gerçek zamanda güç akışını optimize etmek için ikincil kontrol seviyesinde gerçekleşmektedir (Bintoudi vd. (2017)). Merkezi ajan dengeleme, güç ve yükün yönetimi ve her bir bileşenin optimum kullanımını bulmak için optimizasyon problemini çözerek çalışır. Böylece gerilim ve frekans kararlılığı, kendi kendine sürdürülebilirlik ve sistem güvenilirliğini maksimuma çıkarma amaçlanmıştır.

Ajan dengeleme Üçüncül Kontrol Platform (TCP) (şebekeye bağlı mod boyunca) veya Şebekeden bağımsız Yönetici (Off-grid manager) (ada modunda) tarafından sağlanan spesifik ayar noktalarını birincil kontrol seviyesindeki ilgili ajanlara göndermekle sorumludur. Tüm mikro şebekenin kararlılığı ve güvenilirliği dikkate alınarak, ajan dengeleme bileşeni mikro şebeke çalışmasında sıklıkla karşılaşılan sorunları öngörecektir. Yeterli ve etkili dengelemenin olmadığı durumlarda Merkezi Denetleyici (Centralized Controller) eldeki problemleri çözmek için TCP'den veya Off-grid Manager'dan uygulanan stratejiyi güncellemesini isteyecektir.

Çalışma stratejisine göre, ajan dengeleme bileşeni gerçek zamanlı ve planlanmış verileri dikkate alarak 1 dakika zaman aralıklarında mikro şebekenin arz ve talebini dengeler. Hesaplanan hata önerilen ajan dengeleme optimizasyonu modeli ile minimize edilir. Bu optimizasyon modeli yük atımını minimuma indirmek, yük dağıtımını ve güvenilirliği maksimuma çıkarmak, frekans / gerilim kararlılığı ve sürdürülebilirliği sağlamak gibi önerilen amaçları sağlamaktır.

- ✓ **Matematiksel Modelleme**
- ✓ **Amaç fonksiyonu:** Reaktif güç, aktif güç, gerilim sapmasını ve yük atımını minimuma indirmektir.

$$\min \left\{ F = u1 \cdot \sum_{nd} vdif_{nd} + u2 \cdot \sum_{ng} pdif_{ng} + u3 \cdot \sum_{ng} qdif_{ng} + M \cdot \sum_{nl} p_shedding_{nl} \right\}$$

$u1$, $u2$ ve $u3$ amaçların ağırlıklarıdır, M ise yük azaltımını minimize etmek için kullanılan yeterince büyük bir sayıdır.

- ✓ **Kısıtlar:**
- ✓ **Güç akışı eşitlikleri**

$$\sum_{ng} pg_{ng} - \sum_{nl} pl_{nl} + \sum_{nl} p_shedding_{nl} + \sum_{ns} (psd_{ns} - psc_{ns}) + \sum_{npv} pPV_{npv} = \sum_{nb} pf_{nb} + \sum_{nb} ploss_{nb}$$

$$\sum_{ng} qg_{ng} - \sum_{nl} ql_{nl} + \sum_{nl} q_shedding_{nl} + \sum_{npv} qPV_{npv} + \sum_{ns} qsd_{ns} = \sum_{nb} qf_{nb}$$

- ✓ **Dal güç akış eşitlikleri**

$$pf_{nb} = v_{ni}^2 \cdot Gb_{nb} - v_{ni} \cdot v_{nf} \left(Gb_{nb} \cos(d_{ni} - d_{nf}) + Bb_{nb} \cdot \sin(d_{ni} - d_{nf}) \right)$$

$$qf_{nb} = -v_{ni}^2 \cdot Bb_{nb} - v_{ni} \cdot v_{nf} \left(Gb_{nb} \cdot \sin(d_{ni} - d_{nf}) + Bb_{nb} \cdot \cos(d_{ni} - d_{nf}) \right)$$

- ✓ Aktif güç kaybı eşitliği

$$ploss_{nb} = \frac{pf_{nb}^2}{Gb_{nb}}$$

- ✓ Her bir bileşen için güç üretim kısıtları

$$pg_{ng, min} \leq pg_{ng} \leq pg_{ng, max}$$

$$qg_{ng, min} \leq qg_{ng} \leq qg_{ng, max}$$

$$pPV_{npv, min} \leq pPV_{npv} \leq pPV_{npv, max}$$

$$qPV_{npv, min} \leq qPV_{npv} \leq qPV_{npv, max}$$

$$0 \leq psc_{ns} \leq psc_{max}$$

$$0 \leq psd_{ns} \leq psd_{max}$$

$$0 \leq qsd_{ns} \leq qsd_{max}$$

- ✓ Dal güç akış kısıtları

$$pf_{nb, min} \leq pf_{nb} \leq pf_{nb, max}$$

$$qf_{nb, min} \leq qf_{nb} \leq qf_{nb, max}$$

- ✓ Tüm baralar için voltaj kısıtları

$$v_{min} \leq v_{nd} \leq v_{max}$$

- ✓ Tüm baralar için faz açısı kısıtları

$$-pi \leq d_{nd} \leq pi$$

- ✓ Batarya şarj/deşarj kısıtları

$$SOC_{new_{ns}} = SOC_{ns} - \left(\frac{1}{\eta_{d,ns}} \right) \cdot psd_{ns} + \eta_{c,ns} \cdot psc_{ns}$$

$$uc_{ns} + ud_{ns} \leq 1$$

$$soc_{new_{min}} \leq soc_{new_{ns}} \leq soc_{new_{max}}$$

Tablo 3.38'de yukarıda verilen matematiksel modellemede kullanılan set, parameter ve değişkenlerin listesi açıklamalarıyla birlikte listelenmiştir.

Tablo 3.38. Setler, Parametreler ve Değişkenler Listesi

	Tanım
nd, nf, ni	bara sayısı
ng	dizel jeneratör sayısı

nl	yük sayısı
ns	depolama birimi sayısı
npv	FV birim sayısı
nb	dal sayısı
$vdif_{nd}$	nd . bara geriliminin referans gerilim değerinden sapması
$pdif_{ng}$	ng . dizel jeneratörünün planlanan ve hesaplanan aktif güç üretimi arasındaki sapma
$qdif_{ng}$	ng . dizel jeneratörünün planlanan ve hesaplanan reaktif güç üretimi arasındaki sapma
V_{nd}	nd . bara gerilimi
pg_sch_{ng}	ng . dizel jeneratörünün planlanan aktif güç çıkışı
qg_sch_{ng}	ng . dizel jeneratörünün planlanan reaktif güç çıkışı
pg_{ng}	ng . dizel jeneratörünün hesaplanan aktif güç çıkışı
qg_{ng}	ng . dizel jeneratörünün hesaplanan reaktif güç çıkışı
pl_{nl}	aktif güç talebi
ql_{nl}	reaktif güç talebi
psd_{ns}	ns . bataryanın aktif güç deşarjı
psc_{ns}	ns . bataryanın aktif güç şarjı
qsd_{ns}	ns . bataryanın reaktif güç deşarjı
pPV_{npv}	npv . FV ünitesinin aktif güç çıkışı
qPV_{npv}	npv . FV ünitesinin reaktif güç çıkışı
$p_shedding_{nl}$	gerektiğinde yapılması gereken aktif güç yük azaltımı
$q_shedding_{nl}$	gerektiğinde yapılması gereken reaktif güç yük azaltımı
d_{nd}, d_{nf}	baraların faz açısı
$ploss_{nb}$	dallardaki aktif güç kaybı
pf_{nb}	nb . daldaki aktif güç akışı
qf_{nb}	nb . daldaki reaktif güç akışı
Gb_{nb}	nb . dalın seri kondüktansı
Bb_{nb}	nb . dalın seri süseptansı
SOC_new_{ns}	hesaplanan şarj durumu (state of charge – SOC) değeri
SOC_{ns}	önceki zaman aralığındaki SOC değeri
$pg_{ng,min}, pg_{ng,max}$	ng . dizel jeneratörün min ve max aktif güç değerleri
$qg_{ng,min}, qg_{ng,max}$	ng . dizel jeneratörün min ve max reaktif güç değerleri

$pPV_{npv,min}$, $pPV_{npv,max}$	npv . FV ünitesinin min ve max aktif güç değerleri
$qPV_{npv,min}$, $qPV_{npv,max}$	npv . FV ünitesinin min ve max aktif güç değerleri
$pf_{nb,min}$, $pf_{nb,max}$	nb . dalın min ve max aktif güç akışı
$qf_{nb,min}$, $qf_{nb,max}$	nb . dalın min ve max reaktif güç akışı
V_{min} , V_{max}	gerilimin min ve max değerleri
SOC_{newmin} , SOC_{newmax}	bataryanın SOC değerinin min ve max değerleri
psd_{max} , pSC_{max}	bataryanın deşarj/şarj aktif güç çıkışının max değerleri
qsd_{max} , qSC_{max}	bataryanın deşarj/şarj aktif güç çıkışının main değerleri
$\eta_{d,ns}$, $\eta_{c,ns}$	bataryanın deşarj/şarj verimlilik faktörü
uc_{ns} , ud_{ns}	bataryanın şarj/deşarj durumu (1 veya 0)

GAMS ortamında karışık tamsayı doğrusal olmayan programlama (mixed integer nonlinear programming- MINLP) kullanarak, amaç fonksiyonu ve kısıtlar modellenmiştir.

Sonuçlar birincil kontrol seviyesi ile entegre edildikten sonra elde edilecektir.

3.2.e. Önemli Performans İndikatörleri (Key Performance Indicator – KPIs)

Bu bölümde mikro şebekenin performansını gösteren önemli performans indikatörleri (Key Performance Indicators-KPIs) aşağıdaki gibi sıralanmıştır.

- ✓ **Ekonomi:** Bazı seviyelerde güvenilirlik ve verimlilik hem çalışma sırasında hem de tedarik altyapısı, üretim ve depolama tesisleri gibi ekipman harcamalarının dikkate alındığı sadece ekonomik çerçevede karşılanabilir. Bu kısacası hem işletim masraflarının (OPEX) hem de sermaye masraflarının (CAPEX) dikkate alınması gerektiği anlamına gelir. Böylece, ekonomik olarak uygulanabilirlik sorusu mikro şebekenin tasarım aşamasının her zaman bir parçasıdır. Ekonomik değerlendirmenin arkasında yatan esas fikir muhtemel bileşen konfigürasyonları ve çalışma stratejileri matrisini tanımlamak, talep, kaynak kullanılabilirliği ve bileşen fiyatları ile ilgili varsayımları konfigüre etmek ve daha sonra belli bir zaman aralığında çalışmayı simüle edip toplam harcamayı (TOTEX) hesaplamaktır (Yang vd. (2009) ve Lotfi vd. (2016)).
- ✓ **Çevre:** Bu performans indikatörü mikro şebeke çalışmasında yenilenebilir kaynaklarının optimum şekilde kullanılıp kullanılmadığını gösterir. Fosil yakıtlardan, elektrik şebekesinden ve hatta mikro şebekedeki bileşenlerden (dizel jeneratör gibi) üretilen enerjiyi azaltır ve böylelikle mikro şebeke altyapısından kaynaklanan emisyonları minimuma indirir.
- ✓ **Güvenilirlik:** Güvenilirlik, sistemin tüketiciye zamanında ve talep ettiği miktarda elektrik sağlama yeteneğini ifade eder. Normal çalışma koşullarında, işletmeler güvenilirliği kesinti sürelerini, kesinti sıklığını ve bazı farklı metrikler hesaplayarak ölçer. Mikro

şebeke performansını güvenilirlik açısından ele almak için hem sabit hem de dinamik indisler dikkate alınır. Sabit indisler bazı varsayımlara dayanan tahminler iken dinamik indisler dizayn edilen mikro şebekenin çalışma koşulunu betimler (ANSI/IEEE (2003)).

- ✓ **Dayanıklılık:** Sistem dayanıklılığı çeşitli sebepler nedeniyle sistemde oluşan bazı arızalardan sonra kabul edilebilir limitler arasında çalışmaya devam etme yeteneğidir. Genel olarak mikro şebekenin dayanıklılığı dizayn aşaması boyunca iki metrik ölçülerek hesaplanabilir: Sistem Dayanıklılık Faktörü ve Birim Dayanıklılık Faktörü. Bu metriklerin yanı sıra sistem çalışır durumdayken de ölçülmüş dayanıklılık metriklerinin sağlanmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu yüzden listedeki ilk iki KPI statik iken kalan indikatörler dinamik olarak gelişebilir ve Mikro Şebekenin ne kadar dirençli olduğunun daha doğru bir tanımını sağlayabilir.
- ✓ **Güç Kalitesi:** Gerilimin ve frekansın istenen değerlerden sapması, voltaj ve akım dalga formlarının bozulması, faz dengesizliği ve kısa süreli voltaj değişimlerinin çeşitli tiplerinin meydana gelmesi gibi parametreleri tanımlar. Bu parametreler, tüketici ekipmanlarının çalışması için uygun tolerans sınırları içinde olmalıdır. Güç kalitesi EN 50160 standartları kullanılarak analiz edilebilir (CENELEC – EN50160 (2010)).
- ✓ **Verimlilik:** Bu indikatör tüketici taleplerini karşılamak için kaynakların kullanımıyla alakalıdır. Yenilenebilir ve emisyon içermeyen kaynakların kullanımını maksimuma çıkarmak kilit bir nokta iken aynı zamanda ortalama ve maksimum talep azaltımı, doğruluk, esneklik vb. ile birlikte araştırılmalıdır (Guerrero vd. (2014)).
- ✓ **Diğer metrikler:** Önceki kategorilerde listelenemeyen metrikler burada listelenmiştir. Çeşitli komponentlerin doğrulukları, BMS otomasyon şemasına tabanlı yüklerin esnekliği karar verme süreçlerinin cevap süresi bu kategorileri dâhil edilebilecek KPI lara örnektir.

Tablo 3.39’de literatürde genel olarak kullanılan KPI’lar sıralanmıştır. Bir sonraki dönemde KPI hakkında gerçekleştirilen pilot ile birlikte detaylı bilgi sunulacaktır.

Tablo 3.39. Literatürdeki KPIs

#	İsim	Kısaltma	Birim
EKONOMİ			
1	Capital Expenditure	CAPEX	€
2	Maintenance Cost	MAINTEX	€/year
3	Fuel Cost for Energy Generation	FCEGEX	€/year
4	Replacement Cost	REPLEX	€
5	Annual Energy Purchase Expenditure	AEPEX	€/year
6	Annual Energy Selling Income	AESINC	€/year
7	Levelised Cost of Energy for RES	LCoER	€/MWh
8	Levelised Cost of Energy for ESS	LCoES	€/MWh
9	Levelised Cost of Energy for Diesel Generators	LCoEG	€/MWh
ÇEVRE			
10	Reduction of GHG Emissions	GHGRED	% and tons/year
11	Reduction of Carbon Penalties	PNLEX	% and €/year
12	Carbon Penalties to Operational Cost Ratio	PNL2OPEX	%
13	Renewable Energy Penetration	RESPEN	%
GÜVENİLİRLİK			
14	Load Monitoring Coverage	LDCOV	%
15	Flexible Load Integration	LDFFLEX	%
16	Renewable Energy Sources Coverage	RESCOV	%

17	Energy Storage System Autonomy	ESSA	Hours
18	Energy Storage System Autonomy without RES ration	ESSANoRES	%
19	Diesel Generator Coverage	DGCOV	%
20	Load Average Interruption Duration Index	LAIDI	Hours/Load
21	Load Average Interruption Frequency Index	LAIFI	-
22	MicroGrid Average Interruption Duration Index	MGAIDI	Hours
23	MicroGrid Average Interruption Frequency Index	MGAIFI	Interruptions/Load
DAYANIKLILIK			
24	System Resilience Factor	SRF	%
25	Unit Resilience Factor	URF	%
26	Single Point Failure Successful Reaction	SPFSR	%
27	Duration of Operation Whilst Single Point Failure	DUROSPF	%
28	Voltage Deviation from Reference Value	VLTVSPF	%
29	Frequency Deviation from Reference Value	FQDEVSPF	%
30	Active Power Deviation from Reference Value	PDEVSPF	%
31	Reactive Power Deviation from Reference Value	QDEVSPF	%
GÜÇ KALİTESİ			
32	Frequency Range	FQR	Hz
33	Frequency Standard Deviation	FQSTD	Hz
34	Voltage Range	VLTR	V
35	Voltage Standard Deviation	VLSTD	V
36	THD	V_{THD} / I_{THD}	%
37	Excessive Asymmetric Load Charge	EALC	-
VERİMLİLİK			
38	Reduction in Overall Energy Demand	REDOED	%
39	Reduction in Peak Demand	PDRED	%
40	Real-time RES production to Demand Ration	RTRESCOV	%
41	Real-time ESS Autonomy	RTESSA	Hours
42	Divergence from Optimal Operation	DOO	-
DİĞERLERİ			
43	Load Demand Forecasting Accuracy	LDFA	%
44	RES Generation Forecasting Accuracy	RESGFA	%
45	Upward Flexibility	UPFLEX	%

Projenin diğer ortakları tarafından mikro şebeke uygulamasının MCAST kampüsü dışında GJU ve CERTH kampüsüne de uygulanması talebi nedeniyle bu üç saha göz önünde bulundurulacak KPI'lar Tablo 3.40'da verilmiştir.

Tablo 3.40. Literatürdeki KPIs kampüslerdeki Uygulaması

KPI #	MCAST	GJU	CERTH	KPI No	MCAST	GJU	CERTH
1	Y	N	Y	24	N	N	Y
2	N	Y	Y	25	N	N	Y
3	N	Y	N	26	N	N	Y
4	N	N	Y	27	N	N	Y
5	Y	Y	Y	28	Y	Y	Y
6	Y	Y	Y	29	N	Y	Y
7	Y	Y	Y	30	N	Y	Y
8	N	N	Y	31	N	Y	Y
9	N	N	N	32	N	Y	Y
10	Y	Y	Y	33	N	Y	Y
11	N	N	N	34	Y	Y	Y
12	N	N	N	35	Y	Y	Y
13	Y	Y	Y	36	N	N	Y
14	Y	Y	Y	37	N	N	Y
15	N	Y	Y	38	Y	Y	Y
16	Y	Y	Y	39	Y	Y	Y
17	N	N	Y	40	N	N	Y
18	N	N	Y	41	N	N	Y
19	N	Y	Y	42	N	Y	Y
20	Y	N	Y	43	N	N	Y
21	Y	N	Y	44	N	Y	Y
22	N	N	Y	45	N	Y	Y
23	N	N	Y				

MCAST: Malta College of Arts, Science and Technology - Malta

GJU: German-Jordanian University - Ürdün

CERTH: Centre for Research and Technology Hellas – Yunanistan

N: No

Y: Yes

4. Bulgular

4.1 Proje Kapsamında ki Mikro Şebekelerin Detay Analizleri

4.1.a. MCAST Pilot Devresi

Bu çalışma için kullanılan MCAST kampüs planı Şekil 4.1'deki gibidir. SS1 ve SS2 binalarının ilgili trafo merkezlerini gösterirken pilot mikro şebeke Şekil 4.1'deki D, F ve J binaları için önerilmektedir.

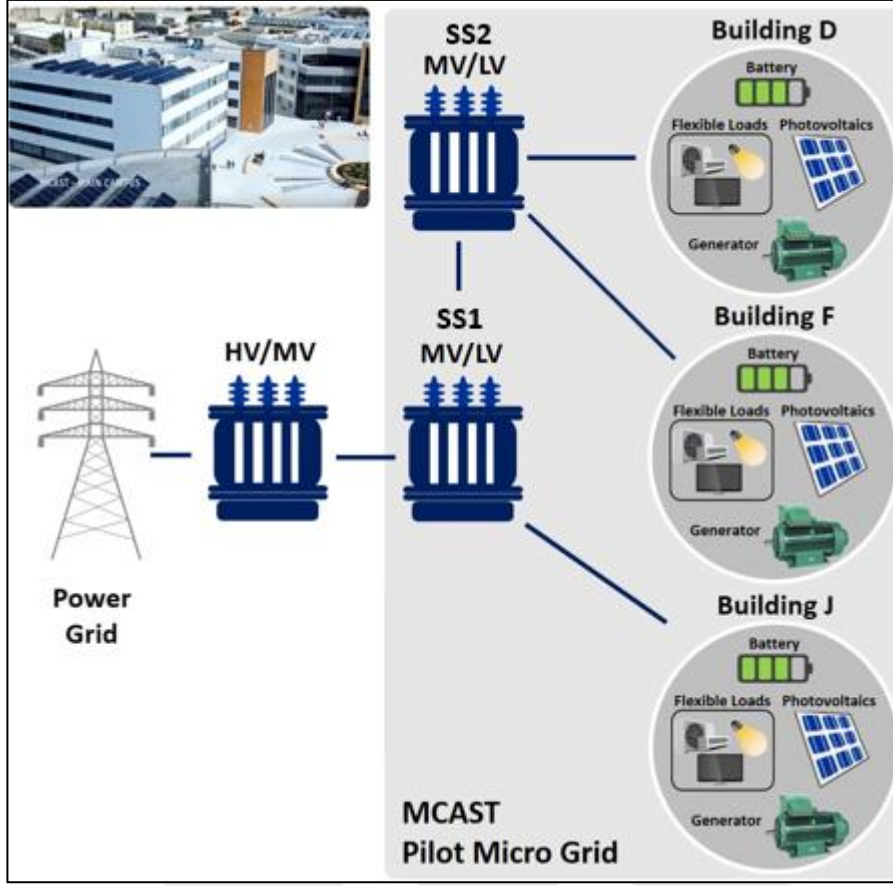


Şekil 4.1. MCAST pilot binalarının havadan görünüşü

Tablo 4.1. MCAST kampüsünde binaların ve trafo merkezlerinin tanımı

Bina D	İşletme Yönetimi ve Ticaret Enstitüsü
Bina F	Öğrenci Evleri
Bina J	Uygulamalı Bilim Enstitüsü
SS1	Trafo Merkezi (TM1)
SS2	Trafo Merkezi (TM2)

D, J, F binaları ve bunların yeraltı otoparklarını hesaba katarsak, önerilen mikro şebeke tüm MCAST kampüsünün yaklaşık 40,000 m²'lik alanını kaplar. TM1'deki ana besleyici, Enemalta PLC tarafından orta gerilim (OG, 11kV) hücreleri ile ana şebekeye bağlanır. Daha sonra gerilim düşürücü trafo (OG/AG transformatör) kullanarak 400V'a indirilir. TM2 daha sonra bir halka konfigürasyonu kullanılarak bir ara bağlantı beslemesi ile SS1'e bağlanır ve gerilim 400V'a düşürülür. Şekil 4.2'de gösterildiği gibi TM1 çoğunlukla J binasını beslerken, TM2 ise D, F binalarını ve yer altı otoparkını beslemektedir.



Şekil 4.2. MCAST Kampüs Sahası – Elektrik Şebekesi

Şu anda sistemin dağıtık üretim kaynakları 63.24 kWp'lik bir PV sisteminden oluşuyor. Bunlar J ve D binalarının her ikisinde 21.12 kWp ve F binasında 21 kWp olacak şekilde dağıtılmıştır. Bunlar bir batarya depolama sistemi ile geliştirilmiştir, böylece sistem bazı zamanlarda kısmen izole olabilecektir.

4.1.b. CERTH Pilot Devresi

CERTH pilot devresi yaklaşık 70 kWp tüketim, 9.57 kWp PV üretimi, and 5kWh Li-on batarya depolama kapasitesine sahiptir. 2 yıllık çalışma göz önüne alındığında, 12-15 kW ortalama tüketim gözlenmiştir. Şebeke bağlı kullanım durumunda, çalışmanın ilk yılı boyunca farklı KPI'lar gözlemlenmiştir. Ayrıca gün öncesi optimum planlama mantığı optimum izleme ve kontrol için yerleştirilmiş SCADA sistemi ile birden fazla asset üzerinde gerçek zamanlı kontrol uygulanır.



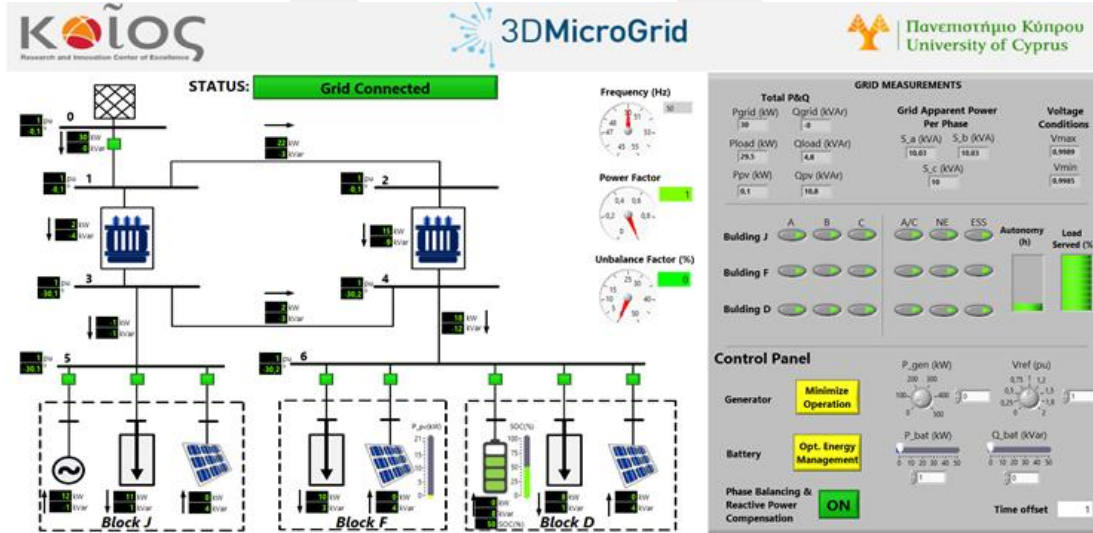
Şekil 4.3. CERTH/ITI Akıllı Ev.

4.2 Mikro Şebekelerin Simülasyon Sonuçları

4.2.a. MCAST Simülasyonları

- SCADA Bağlantısı

Simülasyon ortamının daha iyi işlenmesini sağlamak ve sonuçları daha kolay değerlendirmek için, MCAST simülasyonları için ayrı bir SCADA tasarlanmış ve kullanılmıştır ve burada gösterilmektedir.



Şekil 4.4. Döngü ortamında donanım altında MCAST mikro şebekesinin çalışmasını incelemek için dijital ikizin uygulanması

4.2.b. CERTH Simülasyonları

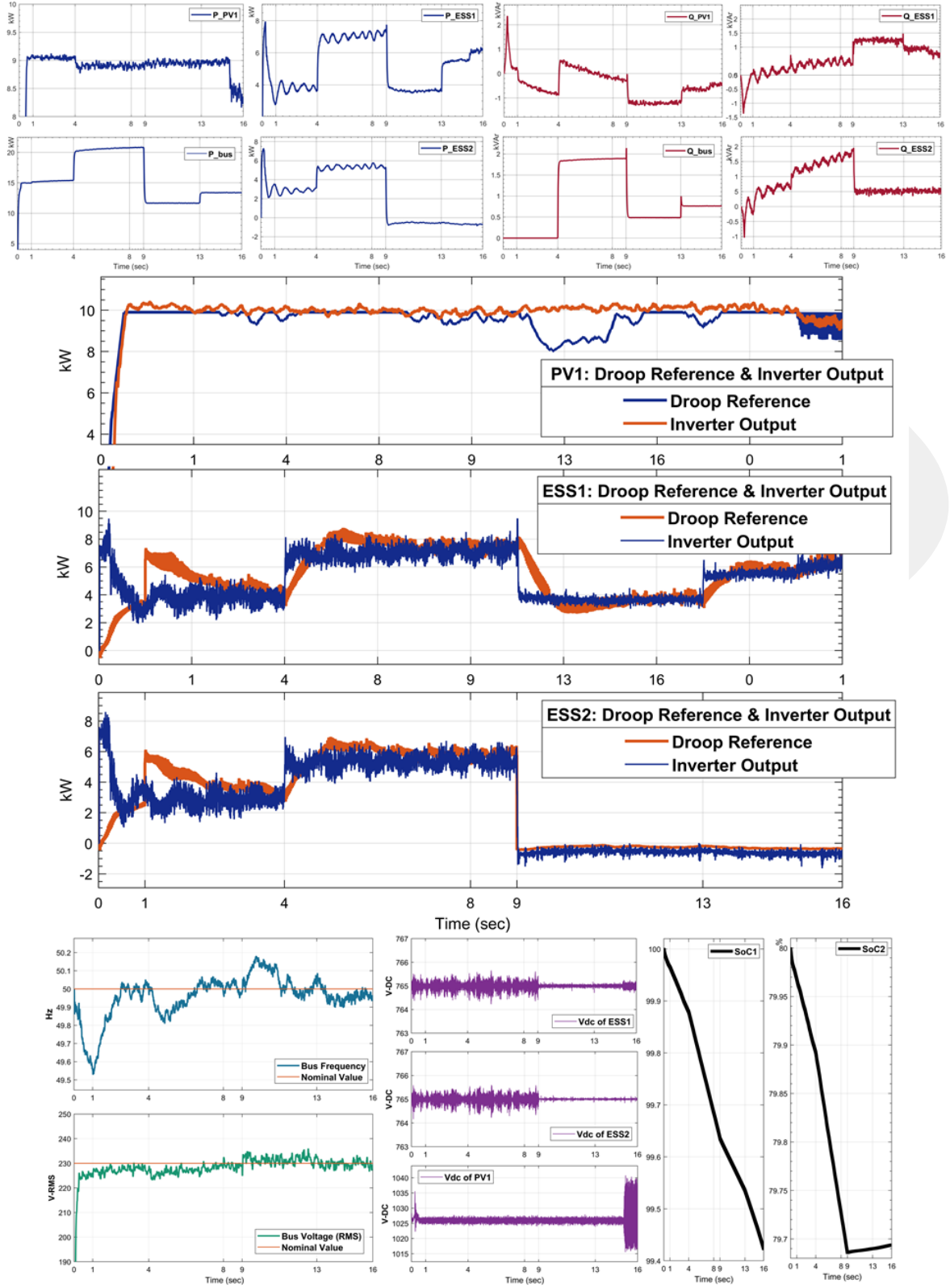
Burada ki özel kontrol döngülerinin dinamik olaylarını simüle etmek için, CERTH/ ITI Akıllı Ev mikro şebekesinin detaylandırılmış simülasyon modeli kurulmuştur. Verilen simülasyon sonuçları birincil ve ikincil kontrol seviyelerinin uygulanması ile elde edilmiştir.

Önerilen hibrit kontrol şemesinin verimliliğini, artırılmış hata toleransını ve ölçeklenebilirliğini göstermek için, 3 adet simülasyon senaryosu yürütülmüştür. İlk iki senaryo (A-konut ve A-endüstriyel olarak isimlendirilir) farklı boyutta ve yük karakteristiğinde 2 farklı mikro şebeke durum çalışmaları üzerinde denetleyicinin performansını göstermektedir. İlk çoğunlukla rezistif pasif yükler ile konut mikro şebekeler için kullanılırken, ikincisi rezistif ve induktif yükler ile orta ölçekli endüstriyel mikro şebekeler için kullanılmaktadır.

Hatırlanacak olursa, simüle edilen mikro şebeke bir adet PV, 2 adet Li-on batarya ve pasif konut yükü ve ortak bir AC baradan oluşur. Aşağıdaki simülasyonlarda kullanılan yükler, 2019 yılının Ocak ayında toplanan gerçek datalarla yapılan ölçümlerdir. Şekil 4.5'te simüle edilen mikro şebekenin bir planı verilmiştir. Simüle edilen senaryo ada modunda çalışacaktır ve mikro şebeke tüm elemanlar bağılıyken ve toplam yük 15 kW / 0 kVAr'a eşitken $t = 0$ sn'de sistem toparlanması (black start) gerçekleştirir. Her iki batarya başlangıçta deşarj modundadır. Birinci batarya (ESS1) başlangıçta %100 SoC değerine sahipken ikinci bataryanın başlangıç SoC değeri %80'dir. Deşarj durumunda deşarj modu ile birlikte aktif güç limitleri (son ölçülen SoC değerine dayalı olarak) önerilen hibrit çoklu ajans sistemi (Multi Agent System = MAS) içinde depolanır ve sonuç olarak deşarj modu (master çalışma) sinyalleri gönderilir. PV ek DC bara desteğine sahip olmadığından, PV Slave olarak kontrol edilir. Şekil 4.5a'da görüldüğü gibi, PV'nin enerji depolama elemanlarının ve daha da önemlisi DC linkteki büyük kapasitörün elektrifikasyonu nedeniyle iki bataryadan çekilen güçte ani bir yükselme gözlenir. Bu ani yükselme kısa bir süre (~0.25 sn) için ESS invertörünün nominal gücünün yaklaşık olarak %170'ine ulaşır. Ticari invertörlerde, bu ani yükselme, güç IGBT'nin devre dışı bırakılmasıyla başlatma (startup) sonrasında çıkarılan DC link kapasitörü ön şarj dirençleri ile seri olarak yerleştirilerek önlenir. Ön şarj dirençleri sistem toparlanması(black start) olayının doğasını değerlendirmek için simülasyon modelinde kullanılmamıştır. Bu olaydan sonra, mikro şebeke önyüklenir ve iki Master ve bir Slave ünitesi arasında ön güç dengesi sağlanır. $t=1$ sn'de dağıtık V, f restorasyonu gerçekleşir ve böylece DÜ ajanları içinde droop ve ters droop katsayılarının dinamik hesaplaması ile optimum P,Q dağıtımı gerçekleşir. Şekil 4.5c'de görüldüğü gibi $t=1$ sn'de, bara frekansı minimum 49.53 Hz'e düşmüştür. Ayrıca bağılı yükler rezistif olduğu için

bara geriliminde önemli bir düşüş veya yükseliş gözlenmemiştir. Bu noktadan sonar istikrarlı bir şekilde bara frekansı nominal değere ulaşmak için yükselmeye başlar.

Paralel olarak, droop / ters droop eğrilerindeki yavaş değişiklikler, aktif güç düşüş referanslarının eğimindeki küçük değişikliklerle tanımlanabilir (Şekil 4.5b). 4. sn'de, büyük klima üniteleri çalıştırılır ve toplam yük 22kW / 1.8kVAr değerine ulaşır. 9. sn'de ve 13. sn'de olmak üzere sırasıyla 11.2kW / 0.5kVAr ve 13.3 kW / 0.8kVAr değerlerinde yük değişimi olur. Tüm yük değişimleri boyunca mikro şebeke kararlı kalır ve yükler normal olarak beslenir. 8. sn'de haberleşme kaybı nedeniyle MGCC arızası simüle edilir ve MAS; P,Q dağılımı ile ilgili gerekli kararlar almak ve gerekli bilgiler toplamak için önceden tanımlanan tam dağıtılmış koordinasyon şemasını anında yeniden yapılandırır. Şekil 4.5a ve Şekil 4.5c den görüldüğü gibi, bu geçişler ne DER'ler ne de yükler tarafından fark edilmez. Sonuç olarak, 9. saniyede meydana gelen yük azalması PV üretimi kapsamında olabileceğinden bu raporda sunulan algoritmik mantığı izleyen ajanlar deşarj modundan şarj moduna en küçük SoC değeri (bu durumda ESS2) ile geçer. Bu iki önemli avantaj sağlar: a) sağlanan güç kalitesini etkileyen çok az bir yük altında şebeke-formlama (grid-forming) işleminden kaçınılır ve b) mikro şebeke güvenilirliği gereksiz yere tüm mikro şebeke bataryalarını tüketmeyerek artırılır.



Şekil 4.5. Akıllı Ev Mikro Şebeke Simülasyon Sonuçları

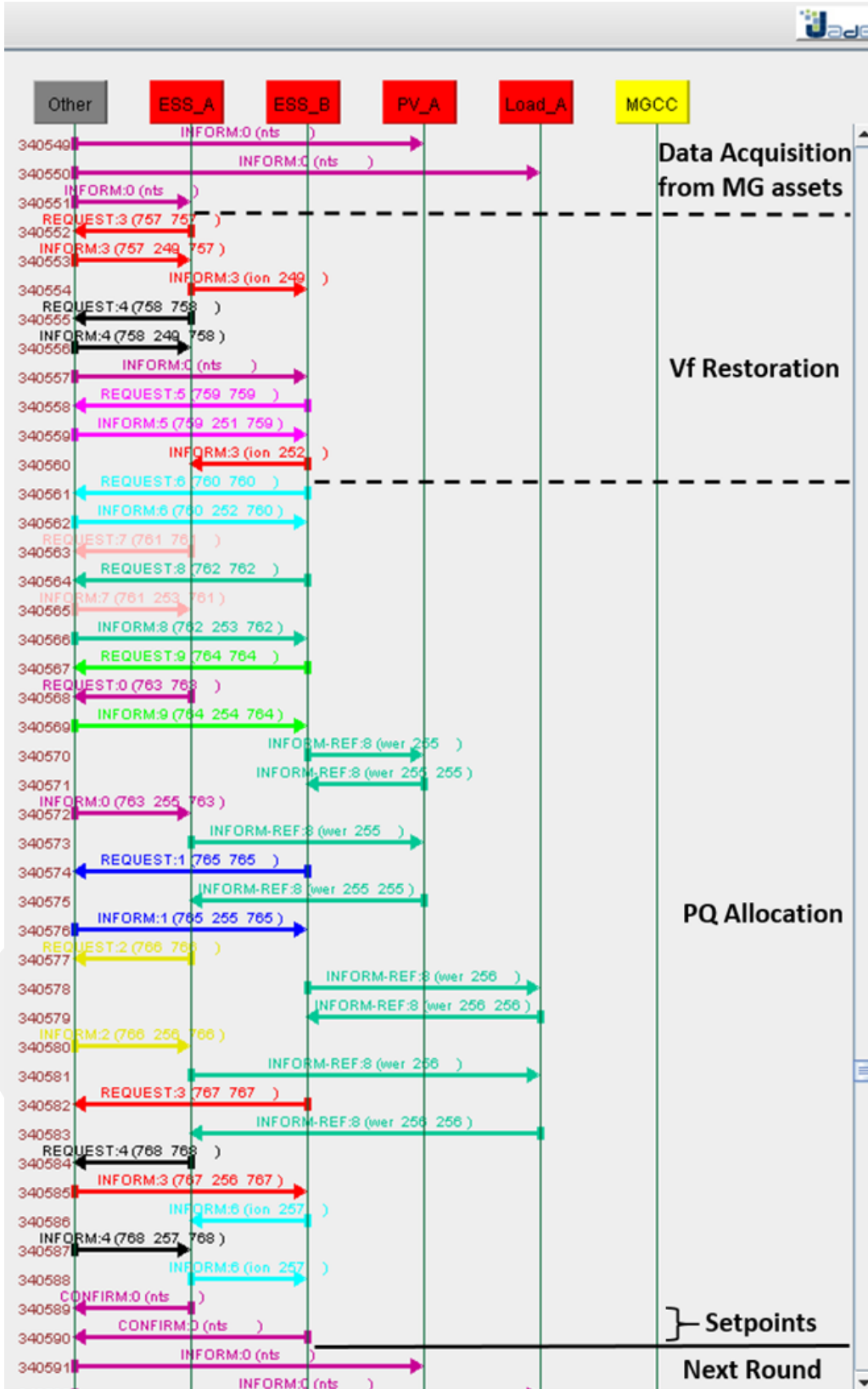
(a) tüm DER lerin ve yüklerin Aktif ve Reaktif Güç, (b) P -f/ f-P Droop frekansları ve DER aktif güç çıkışları, (c) yük barasında Frekans ve gerilim (Sol), DER DC bara gerilimleri (Orta), bataryaların SoC değerleri (Sağ).

Şekil 4.6'da, JADE çerçevesinde uygulandığı gibi 3DMG ajanları arasında alınıp verilen mesajların ekran görüntüsü verilmiştir. MGCC ajanının kaybının etkilerini belirlemek için önemlidir. Aynı zamanda MGCC ajanı olmadan MAS çalışması gösterilir. Görülebileceği gibi, her mikro şebeke assetinin özel bir ajanı varken MGCC ajanı ayrı bir assettir. Diğer gri kutu, MAS konteyneri ve Simulink'teki fiziksel modellerle diğer ajanların gerekli iletişimine karşılık gelir. Bir ajanın operasyonda olup olmadığı onun rengi ile gösterilir: kırmızı fonksiyonel ajanlar, sarı ise aktif olmayan ajanları göstermek içindir. Alınıp verilen mesajların büyüklüğünü hesaplayan formül aşağıdaki gibidir:

$$Mon = 2(NESS + NPV + NLoad) + (NESS - 1)NESS$$

$$Moff = 2(NPV + NLoad)NESS + 2(NESS - 1)NESS$$

Bir işlem döngüsü, yerel ölçümlerin toplanmasından ayar noktalarının (set points) gönderilmesine ve kontrol eylemlerinin mikro şebeke varlıklarına geri dönmesine kadar geçen süre ve dolayısıyla değiştirilen mesajlar olarak tanımlanır.



Şekil 4.6. MGCC ajanı yokken işlem döngüsü

Şekil 4.6'da görüldüğü üzere, mesaj alıp verme dizisi dört alana ayrılabilir:

- **Mikro şebeke assetlerinden veri toplama:** Fiziksel modellerden alınan ölçümler gönderilir ve ilgili asset ajanında geçici olarak depolanır.
- **ESS ajanları ile V, f Restorasyonu:** Her ESS ajanları konteynere diğer ESS ajanlarının aktif olup olmadığını sorar. Eğer cevap pozitif ise, her ajan kendi depoladıkları ölçümleri diğer ESS ajanları ile paylaşır. Daha sonra, her ajan önceki bölümlerde tanımlandığı gibi δf , δV hesabı yapar. Ayrıca bu kısımda, her ESS ajanı MGCC nin faal olup olmadığı konusunda konteynerden bilgi talep eder. Eğer cevap pozitif ise, daha sonra V, f'nin başarılı olarak restore edildiğini gösteren üçüncü aşamaya hazırlanmak için her ESS ajanı kendi lokal ölçümlerini MGCC'ye gönderir. Eğer cevap negative ise, ESS ajanı kendi kendine üçüncü aşamayı gerçekleştirir.
- **P, Q Optimum Dağılımı:** Eğer MGCC faal ise, konteynerden kaç tane ESS, PV ve yük barasının işlemde olduğu ile ilgili bilgi ister. Ardından, droop/ters droop katsayılarını hesaplamak için ve DER lerin kontrol modunu koordine etmek için lokal olarak depolanmış ölçümleri ister. Bu aşamanın sonunda, MGCC ajanı güncellenmiş katsayıları droop edilmiş DER ajanına gönderir. MGCC ajanının aktif olmadığı durumda, her ESS ajanı mevcut PV ve yük barasının sayısı ile alakalı konteynerden bilgi ister ve daha sonra kontrol moduna ve droop/ters droop katsayılarına ilişkin ilgili hesaplamaları yapmak için her bir yerel ölçümleri alır. Son olarak, ESS ajanları hesaplamaların doğru olduğunu doğrulamak için birbirleriyle iletişime geçer.
- **Mikro şebeke assetlerine kontrol sinyallerinin geri gönderilmesi:** Son adım, fiziksel birimlere kontrol aksiyonlarının geri gönderilmesidir. Bu gönderim MGCC ajanı veya tüm ESS ajanlarından konteynera doğrudur.

4.3 Pilot mikro şebekelerin gerçekleştirilmesi sonuçları

4.3.a. MCAST Pilot Devresi Sonuçları

Simülasyon sonuçlarına uygun olarak, 3 saatlik otonom çalışma için, 63 kWp kurulu güce sahip olan PV için 112Ah batarya gerekeceği sonucuna varılmıştır. KPI'ların gerçek zamanlı izlenmesi aşağıdaki sonuçları vermiştir:

- 63 kWp PV kurulumu, 07:30 – 19:00 saatleri arasında 12872,434 kWh güç üretir. Bu da 9,963 ton CO₂ gazına eşdeğer sera gazı emisyonunun azalmasına yol açar. Böylece 75.35 € kar yapılmıştır.
- Standart gerilim ve frekans sapması sırasıyla 3.71V ve 0.52Hz'tir. Bu sapmalar baz gerilimi (400 V) ve frekansa (50 Hz) göre ölçülmüştür.

- SCADA Bağlantısı

MCAST sistemlerinin gerçek zamanlı izlenmesi ve kontrolüne yönelik, 3DMG SCADA sistemi gerçek zamanlı çalışmada verimli izlemenin minimum entegrasyon gereksinimini sağlamak amacıyla kullanılmıştır. Kurulu EMS tarafından sağlanan Modbus TCP/IP son noktasını kullanarak 3DMG SCADA sistemi mevcut tüm assetlere erişim sağlarken, tesis yönetim ekiplerine ileri görüntüleme yetenekleri de sunar (Şekil 4.7).



Şekil 4.7. 3DMicroGrid platformu ile MCAST gerçek zamanlı veri

- BIM and GIS Bağlantısı

Coğrafi bilgi sistemi (GIS) coğrafi verileri toplama, yönetme ve analiz etmek için kullanılan bir sistemdir. GIS birçok çeşit veriyi bir araya getirir. Uzaysal konumu analiz eder ve haritalar ve 3D görüntüyü kullanarak bilgi katmanlarını görseller halinde düzenler. Verinin anlaşılmasını sağlarken, daha iyi kararlar verilmesini sağlar.

Bina bilgi sistemi (BIM); satın alma, planlama ve hatta yapımından sonra assetlerin ortamda nasıl davrandığına dair zengin bir üstveri ile birlikte tasarlanan gerçek dünya assetleri hakkında grafikler içerebilen sağlam bir modelde proje detaylarını yakalamaya çalışan akıllı bir 3D model tabanlı prosestir.

BIM ve GIS entegrasyonu daha iyi karar alma, iletişim ve anlayış için daha derin bir kavrayış sağlar. BIM prosesi süresince oluşturulan modeller, planlar ve detaylı asset bilgileri şebeke kontrolü dahil daha iyi kontrol sağlar. Tasarlanan varlığın ortamı için bağlam olarak kullanılan GIS

bilgileri, BIM kullanıcılarının tasarım ve yapım sırasında daha iyi sonuçlar elde etmelerini sağlar. 3DMicroGrid projesi için bizim görevimiz, konumu hesaba katan ve mevcut BMS'ye bağlayan akıllı bir 3D model ve kontrol paneli oluşturmaktır.

Ana görevler:

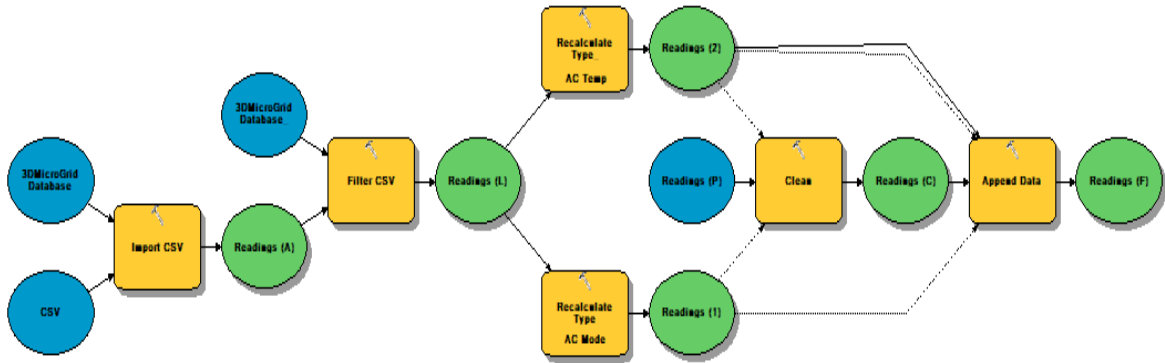
- MCAST binalarından veri toplandı
- MCAST kampüsünün 3D modeli oluşturuldu.
- 3D Web sahnesinde (Web Scene) bir kontrol paneli oluşturuldu.

Dikkatimizi aşağıdakilere odakladık:

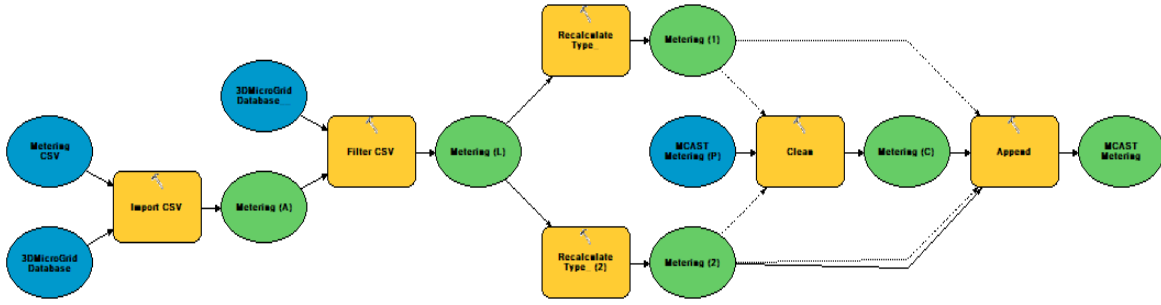
- MCAST kampüsü,
- Bina J - Uygulamalı Bilimler Enstitüsü,
- Bina D – Öğrenci Evi,
- Bina F - İşletme Yönetimi ve Ticaret Enstitüsü

MCAST sunucularından gelen veriler (HAVC ve Ölçüm) CSV formatında API aracılığıyla alınır. Veri filtrelenir ve Python kodu ile bizim RDBMS içine aktarılır

Veriler, sırasıyla Şekil 4.8. ve Şekil 4.9'da gösterildiği gibi, her 15 dakikada bir (HAVC verileri) ve 5 dakikada bir (Ölçüm) çalışan bir Python kodu aracılığıyla RDBMS'de filtrelenir ve içine alınır.



Şekil 4.8. AC Okumaları içe aktarmak için kod.



Şekil 4.9. Ölçümü içe aktarmak için kod.

Tablolar daha sonra bir dizi Veritabanı Görünümü aracılığıyla uzamsal özellik sınıflarıyla birleştirilir ve ArcGIS Server'da yayınlanır.

3DMicroGrid projesinin ilk aşamalarında oluşturulan MCAST modeli, Şekil 4.10'da gösterilen şekilde çevrimiçi olarak geliştirildi ve yayınlandı.



Şekil 4.10. Gerçek zamanlı veriler ile MCAST sahasının GIS Modeli

Model, kampüs ölçeğinden tek bir aydınlatma veya güç noktasına kadar çalışacak şekilde tasarlanmıştır ve bu ölçeklerde herhangi bir arıza kolayca farkedilebilmektedir.

MCAST Kampüsü her bina seviyesi için detaylandırılmıştır. Bina J, Bina D ve Bina F için detay seviyesi, Şekil 4.11 ve Şekil 4.12'de gösterildiği gibi binadan oda Seviyesine kadar gider.



Şekil 4.11. J binasının ayrıntı düzeyi (A)



Şekil 4.12. J binasının ayrıntı düzeyi (B)

MCAST kampüsünün 3D modeli ArcGIS Online üzerinde Web Scene olarak yayınlanmıştır. Web Scene, bir bireyin coğrafi bilgileri sezgisel ve interaktif 3D ortamda görselleştirmesine ve analiz etmesine olanak sağlayan coğrafi mekân içeriğini sembolize eder. Şekil 4.13'te görüldüğü gibi her özelliği kaydırmak, yakınlaştırmak ve arama yapmna mümkündür. Şekil 4.14'teki Web Scene en son okunan sıcaklığı gösterir ve AC modu ve şu anki sıcaklık bilgisi hakkında bilgi veren renk kodlaması mevcuttur.



Şekil 4.13. MCAST mikro şebeke için Web Scene



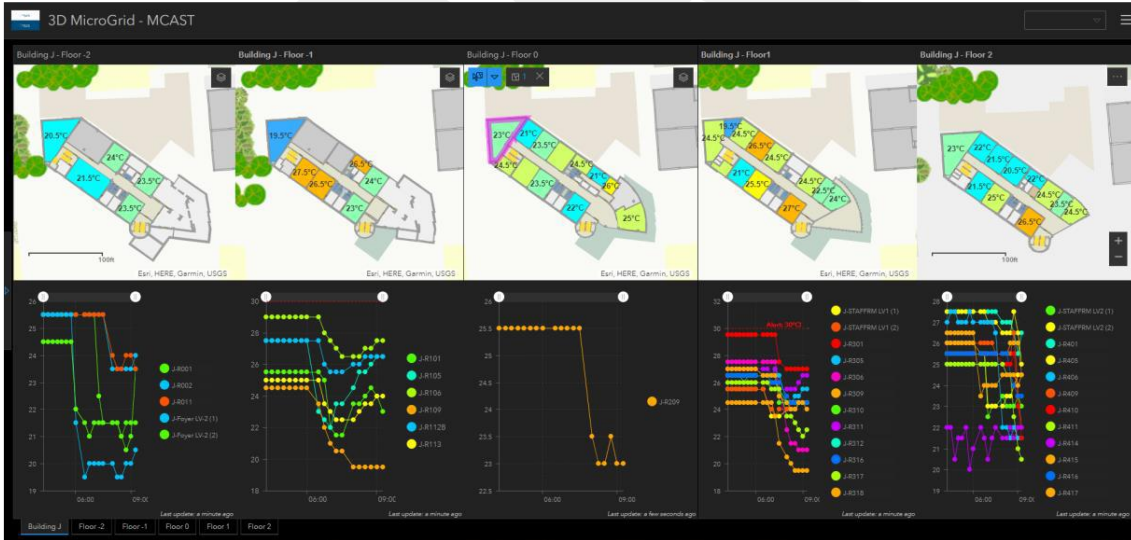
Şekil 4.14. J binasının gerçek zamanlı sıcaklığı

2D MCAST modeli ArcGIS Online üzerinde Operation Dashboard (operasyonel kontrol paneli) olarak yayınlanmıştır. Kontrol paneli, aktiviteleri izlemeye yardımcı olan coğrafi bilginin görüntüsüdür. Tek bir ekran üzerinde beraber çalışan birden çok görüntüyü görüntüleyebiliriz. Kontrol paneli 6 tane sekme sahiptir. Şekil 4.15'te görüldüğü gibi, ilki odaların şu anki sıcaklığının genel bir görünümünü ve son 6 saatin sıcaklık akışına ait bir çizelge gösterir.



Şekil 4.15. J binasının sıcaklık eğiliminin genel görünümü

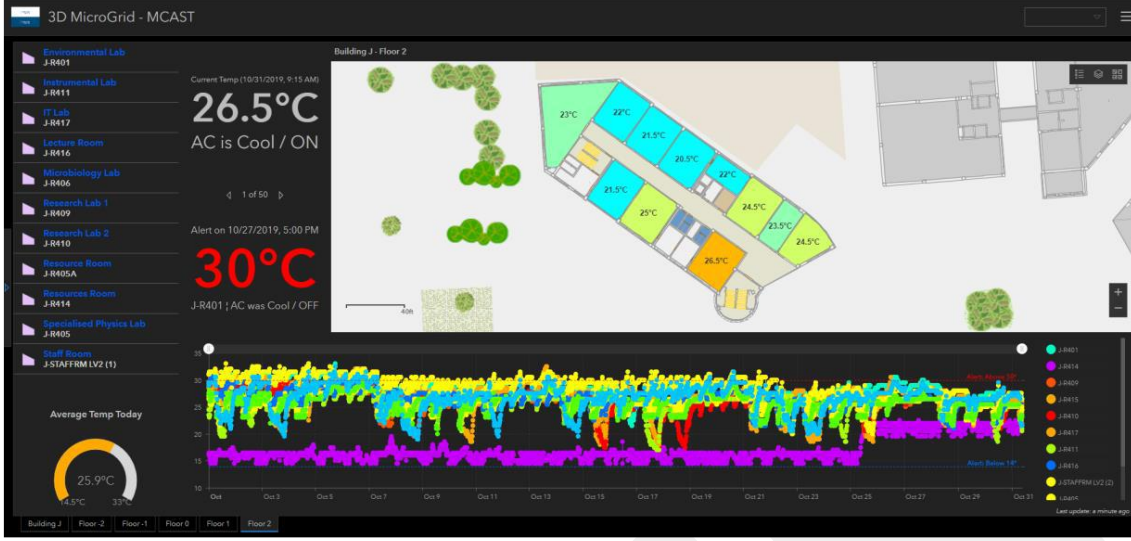
Bir odaya tıklayarak, seçilen odanın detaylı bir grafiğini elde ederiz ve kaydırma çubuğunu kullanarak, zamanda geriye gitmek ve Şekil 4.16'da gösterildiği gibi tarihsel eğilimi görselleştirmek mümkündür.



Şekil 4.16. J binasının sıcaklık eğiliminin genel görünümü (detaylı)

Şekil 4.16'daki 5 sekme her katın detaylı durumunu gösterir.

AC'nin geçmiş sıcaklığını ve bir odadaki anormal sıcaklık artışı, günün ortalama sıcaklığı ve AC'nin mevcut durumu (On/Off) gibi diğer önemli KPI'ları izlemek de mümkündür. İkinci katın geçmiş sıcaklık verisi Şekil 4.17'deki gibidir.



Şekil 4.17. İkinci katın sıcaklık eğilimi

Listede veya haritada tek bir odaya tıklayarak ayrıntılı durumu görmek mümkündür. Zemin kattaki konferans salonunun saatlik sıcaklık eğilimi Şekil 4.18'de verilmiştir.



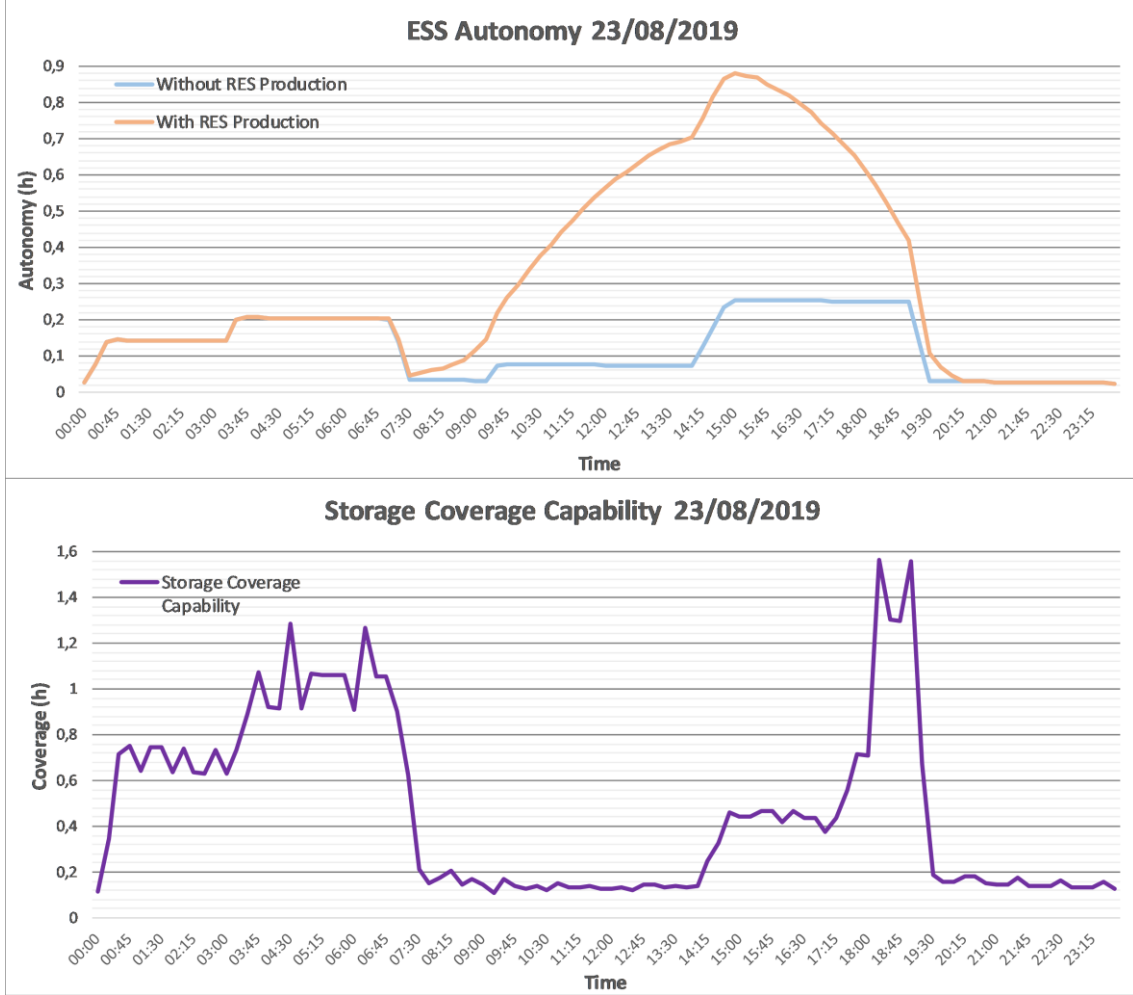
Şekil 4.18. Zemin kattaki konferans salonu G1' in sıcaklık eğilimi

4.3.b. CERTH Pilot Devresi Sonuçları

CERTH/ITI mikro şebekesine verilen her KPI için mümkün olduğunca ölçüm noktaları yerleştirilmiştir. Bu ölçümlerin bazı sonuçları aşağıda verilmiştir.

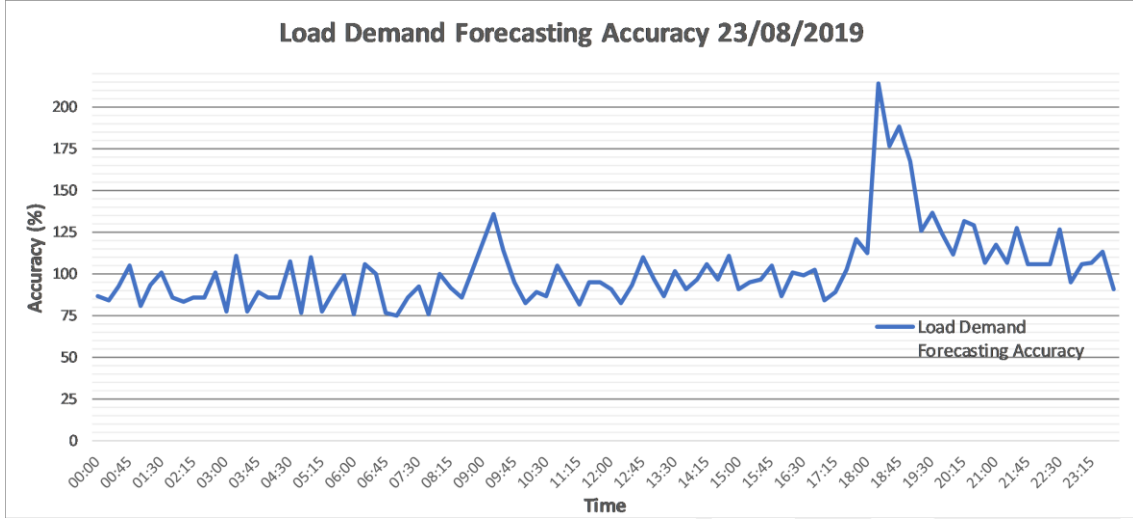
Şekil 4.19'da MG operatörünün gerçek zamanlı olarak (15 dakikalık zaman aralığında) izlenen en önemli KPI'ları göstermektedir.

Mikro şebekenin çalıştığı saatler, mikro şebekenin en yüksek talepte çalıştığı en kötü senaryo için ESS kapasitesine bağlı olarak çalışabileceği saatlerdir. İki çizgi RES üretiminin olup ve olmadığını gösterir.



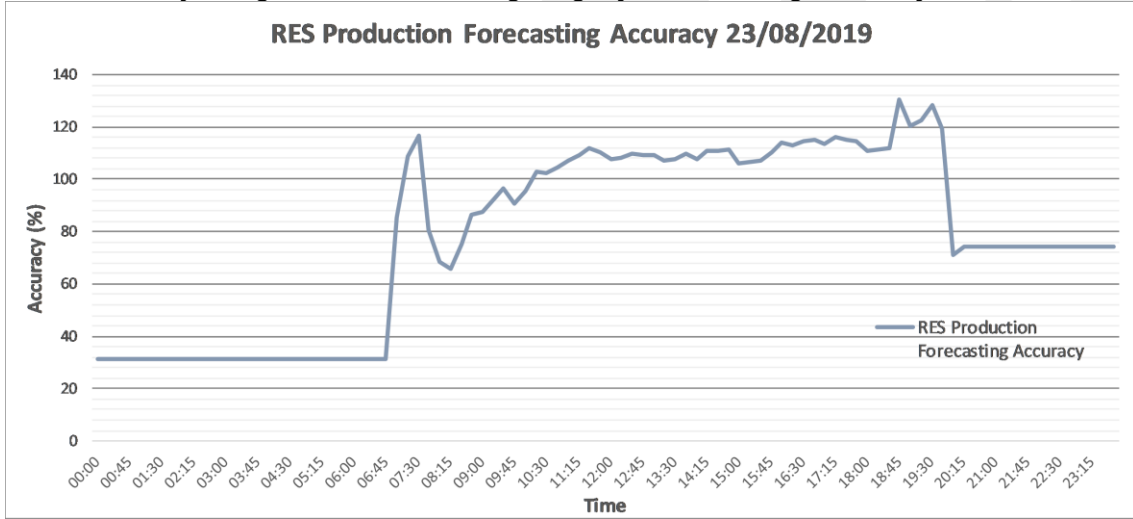
Şekil 4.19. MG operatörünün gerçek zamanlı çalışması

Gerçek zamanlı ölçümlerden öngörülen yük tüketiminin sapması Şekil 4.20'de verilmiştir.



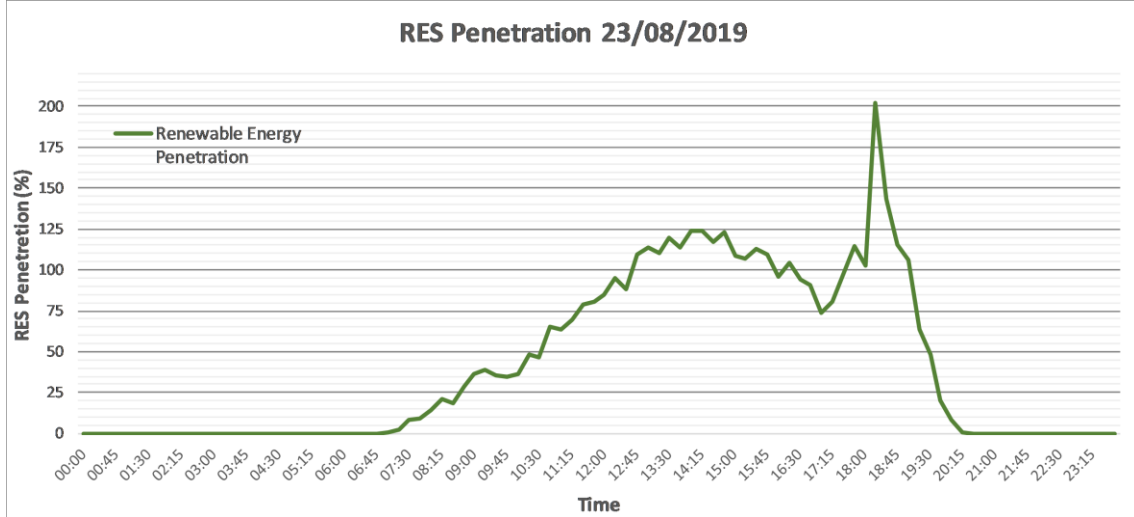
Şekil 4.20. Gerçek zamanlı ölçümlerden öngörülen yük tüketiminin sapması

RES üretimi için öngörülen üretimin doğruluğu Şekil 4.21’de gösterilmiştir.



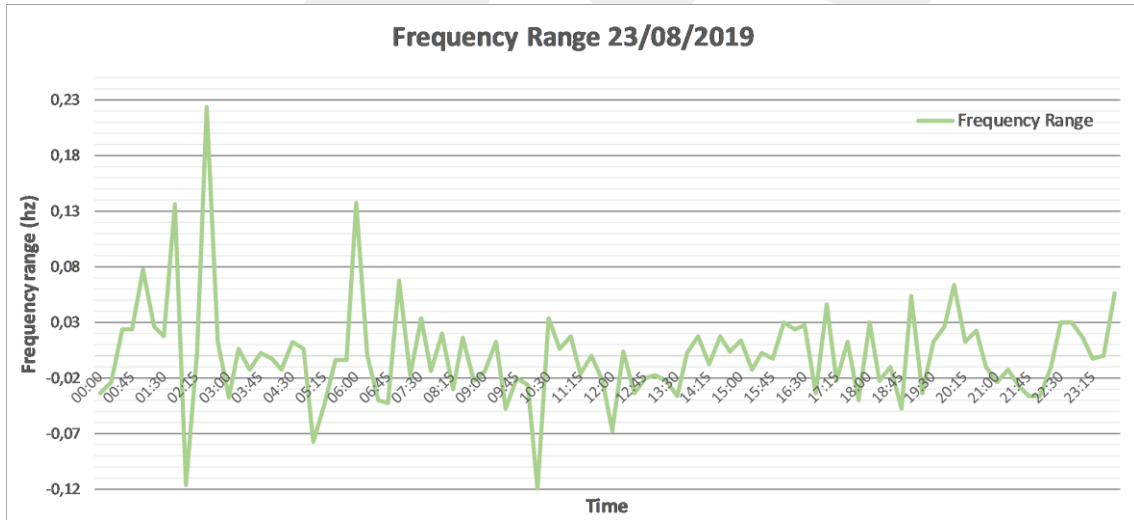
Şekil 4.21. RES üretimi için öngörülen üretimin doğruluğu

Şekil 4.22’de toplam tüketilen enerjiyle kıyasla üretilen yenilenebilir enerji yüzdesini gösteren RES penetrasyonu gösterilmektedir. Ölçüt olarak mikro şebeke “çevre dostu” diyebiliriz. İncelenen mikro şebeke yenilenebilir enerji kaynağı olarak PV dizilerini içerir; bu nedenle RES penetrasyonu gün ışığında artar.



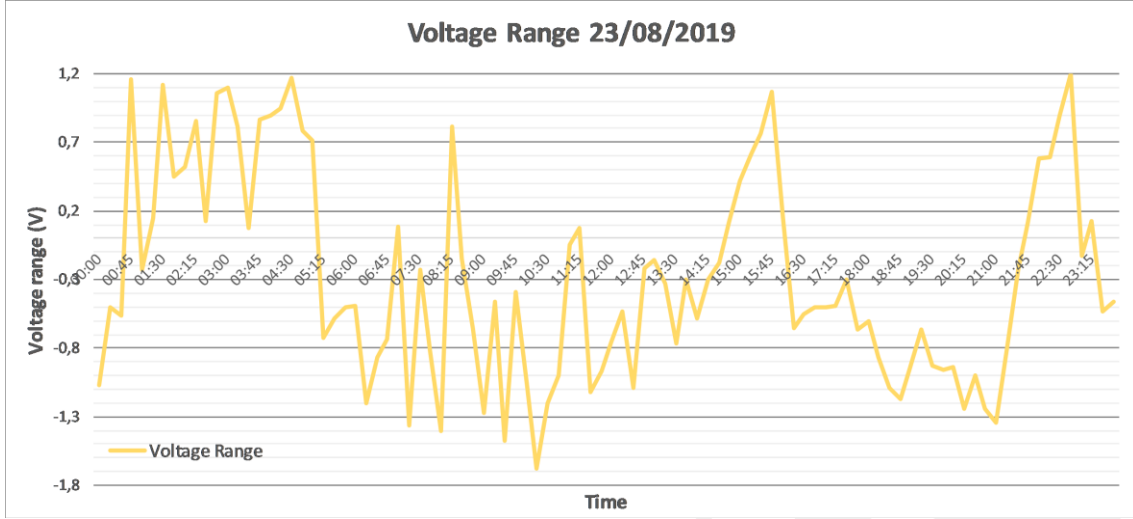
Şekil 4.22. RES penetrasyonu yüzdesi

Frekans aralığı, ölçülen frekansın nominal frekanstan sapmasını ifade eder. Enerji için ulusal düzenleyici otoritenin tanımladığı gibi kabul edilebilir frekans sapması, nominal frekansın $\pm 1\%$ 'i, yani $\pm 0,5$ Hz'dir. Şekil 4.23'ten anlaşılacağı üzere, mikro şebeke izin verilen frekans sınırları içinde çalışır.



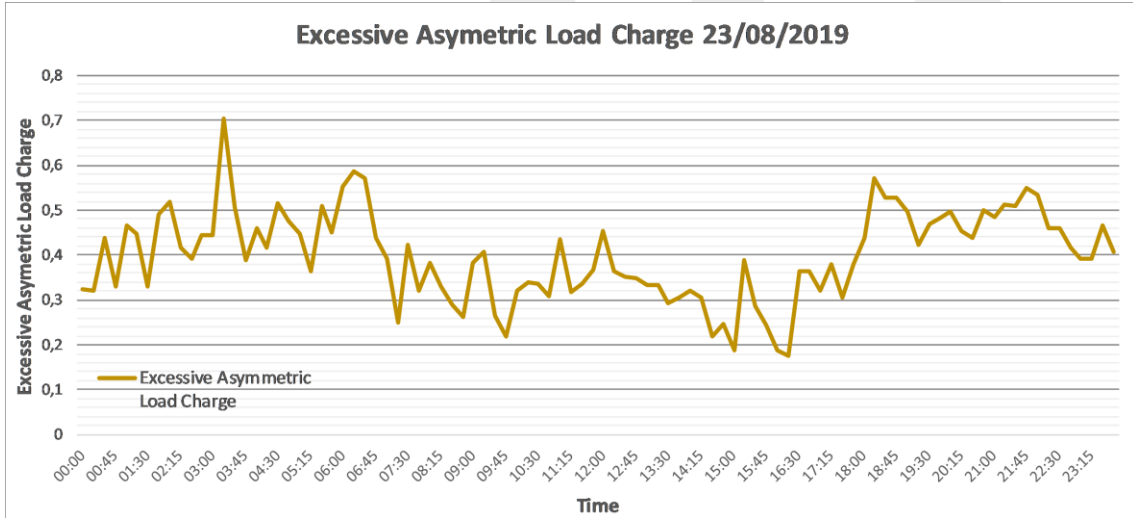
Şekil 4.23. Mikro şebekenin çalışma frekansının sınırları

Buna uygun olarak voltaj aralığı, ölçülen voltajın nominal voltajdan sapmasını ifade eder. Kabul edilebilir voltaj sapması, nominal frekansın $\pm 10\%$ 'u, bu yaklaşık ± 20 V anlamına gelir. MG izin verilenlerle gerilim sınırları içinde çalıştığı Şekil 4.24'te görülmektedir.



Şekil 4.24. Mikro şebekenin çalışma geriliminin sınırları

Şekil 4.25, 3 fazlı MG elektrik sistemindeki dengesizliğin ölçüğünü göstermektedir. Bu değer arttıkça, tüm sistemde güç kalitesiyle ilgili daha büyük sorunlar ortaya çıkar.



Şekil 4.25. Aşırı asimetrik yük şarjı

Yıllık KPI'lar

Yıllık KPI'lar, CERTH tesislerinde küçük ölçekli mikro şebekenin (CERTH/ITI Akıllı Ev) işletilmesinden çıkarılmıştır.

Tablo 4.2. CERTH/ITI akıllı ev mikro şebekesinde gözlemlenen yıllık KPI'lar

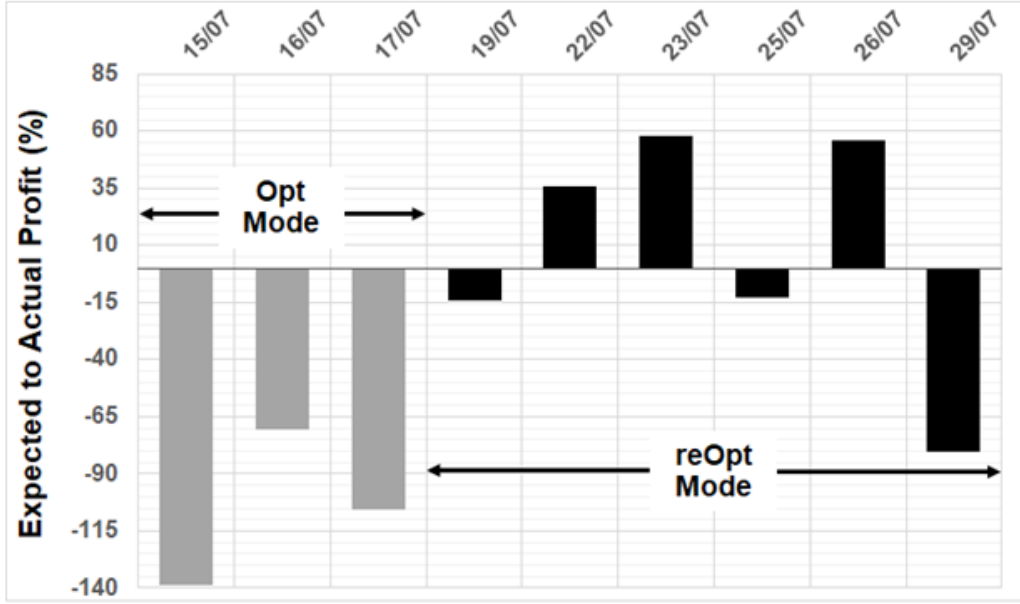
Parametre	Değer
PV üretimi	12872,434 kWh
Sera gazı emisyon azaltımı	9,963 ton CO2

Gerilim Standart Sapması	3,71V
Frekans Standart Sapması	0,52 Hz
Mikro şebeke kârı	75,35 €

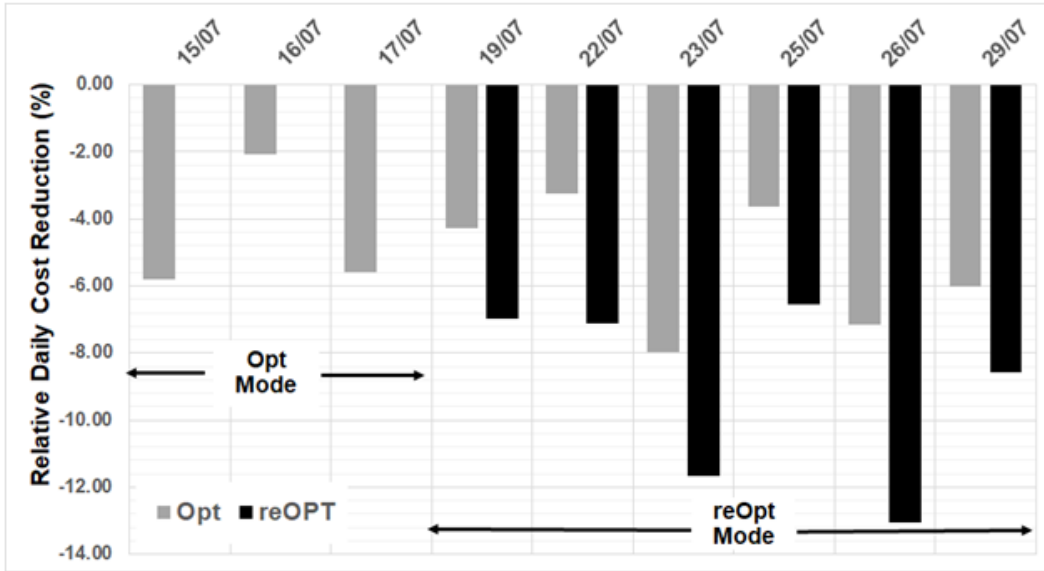
CERTH / ITI akıllı ev mikro şebekesi üzerine yeni bir optimal programlama modeli başarıyla uygulanmıştır. Sistemin aktifleştirilmesi ve ilk testi 4 ay boyunca sürmüştür ve bu süre boyunca mikro şebeke invertörleri ile iletişim ve iki tahmin motorunun (yük ve PV) yeniden eğitilmesi ile ilgili çeşitli parametrelerin ince ayarının yapılması gerçekleşmiştir.

Deneyler boyunca Opt ve reOpt Modlarının genel performansını değerlendirmek için, Şekil 4.26'da, "MG Başarısı" (%) adlı önemli bir performans göstergesi (KPI), temel günlük maliyetlere göre gerçekte beklenen günlük kârlara ulaşmanın göreceli hatası olarak tanımlanır. Gözlemlendiği gibi, MG Opt Modunda çalıştığında, bu KPI her zaman negatiftir, yani plana uyulmadığında zaman aralıkları "kaybolduğundan" başlangıçtaki belirlenen hedefe ulaşmak imkansızdır (MG-AUTO). Aksine, belirli günlerde reOpt Modu, "MG Başarısı" KPI'da pozitif değerlere yol açabilir, bu da gerçekte elde edilen günlük kârın sonunda tahmin edilenden daha büyük olduğu anlamına gelir. Bu, her iki kısa vadeli tahminlerin iyileştirilmiş doğruluğuyla doğrulanan bir gerçektir, çünkü bu durum, gerçek zamanlı ölçümler üzerine yeniden yapılan kalibrasyonlardan kaynaklanmaktadır. Bu gözlem, reOpt Modunun Opt Mode'a göre üstünlüğünü vurgular. Bu ifade, temel günlük maliyete göre günlük maliyet düşüşlerinin analizi ile daha da güçlendirilmiştir (Şekil 4.26). Gerçekten de, hem Opt hem de reOpt modlarında, MG maliyeti herhangi bir optimizasyon olmadan olacağından daha azdır. Özellikle, Opt modu günlük yaklaşık %5.5 oranında azalmaya yol açarken, reOpt modunu kullanarak maliyet azaltma %6 ile %13 arasında değişmekte olup, ortalama %9'luk bir değerdir. Bunu daha da desteklemek için, tüm Senaryo B günleri için, Opt Modunun uygulanıp uygulanmadığından kaynaklanan günlük maliyet azalması karşılaştırma yapmak için hesaplanır.

Örneğin, Senaryo B ile gösterilen gün boyunca günlük kâr 0.198 €'ya (%7.11 göreceli kar) ulaşırken, aynı gün için Senaryo A uygulanırsa, günlük kâr 0.09 €'ya (%3.25 göreceli kar) eşit olacaktır. Genel olarak, Şekil 4.26b'de görüldüğü gibi, reOpt Modu, Opt Moduna kıyasla 1,5 ila 2 kat daha fazla göreceli maliyet azalmasına yol açar.



(a)

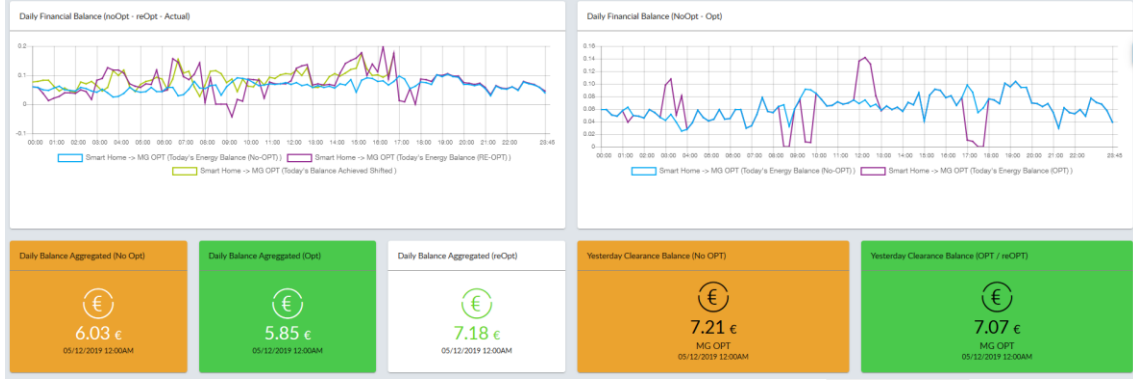


(b)

Şekil 4.26. Karşılaştırmalı Performans Grafikleri: (a) MG Başarısı, (b) Göreceli Günlük Maliyet Azaltma

- SCADA Bağlantısı

MCAST ile benzer şekilde 3DMG SCADA, gelişmiş izleme ve kontrol özellikleri sunan CERTH/ITI mikro şebekesine yerleştirilmiştir. Sunulan örneklerin bazıları aşağıdaki şekillerde gösterilmektedir:



Şekil 4.27. import/export ve şarj / deşarj özelliklerini kullanarak gün öncesi planlama

- BIM and GIS Bağlantısı

Ana görevler

- nZEB Binası'nın 3D modelini oluşturdu
- 3D Web Scene ve kontrol paneli oluşturuldu
- nZEB binasından veri toplandı

CERTH tarafından sağlanan CAD dosyalarından oluşturulan 3D model oluşturuldu. CAD üzerindeki her bir öğe coğrafi referanslıdır ve çoklu eşleme dosyası oluşturulmuştur. Modelde gezinmek ve her özelliği sorgulamak mümkündür.

CERTH'den gelen okuma verileri doğrudan SCADA REST API aracılığıyla işlenir ve ilişkisel bir veritabanı yönetim sistemindedir (RDBMS) içe alınır.



Şekil 4.28. nZEB akıllı evin 3D modeli

nZEB akıllı evin 3D modeli ArcGIS Online üzerinde Web Scene olarak yayınlanmıştır. Web Scene, sezgisel ve interaktif 3D ortamda coğrafi bilgileri görselleştirmeye ve analiz etmeye olanak sağlayan coğrafi mekân içeriğini sembolize eder Şekil 4.29'da görüldüğü gibi her özelliği kaydırmak, yakınlaştırmak ve arama yapmınak mümkündür.



Şekil 4.29. Akıllı evin iç alanının detayı

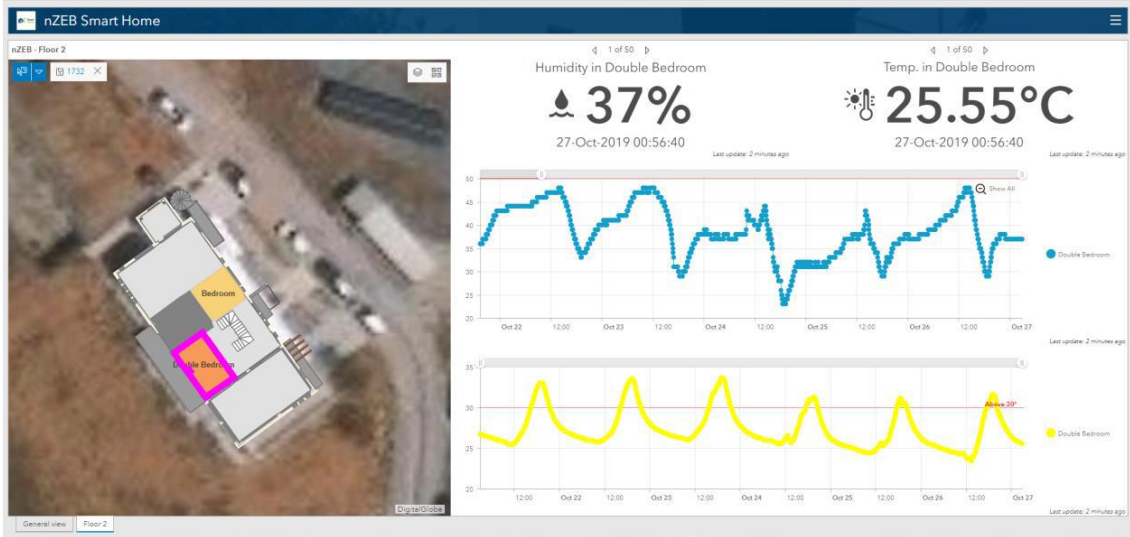
2D Model ile CERTH sunucularından gelen okumaları birleştiren bir kontrol paneli oluşturuldu. Sıcaklık ve nem değerleri etkileşimli bir şekilde gösterilir. Binanın herhangi bir odasına tıklayarak sistemin durumunu izlemek için önemli KPI'lar hakkında bilgiler elde etmek mümkündür. Çeşitli odaların kontrol paneli Şekil 4.30 – 4.32'de gösterildiği gibidir.



Şekil 4.30. nZeb Smart Home Kontrol paneli (sekme 1)

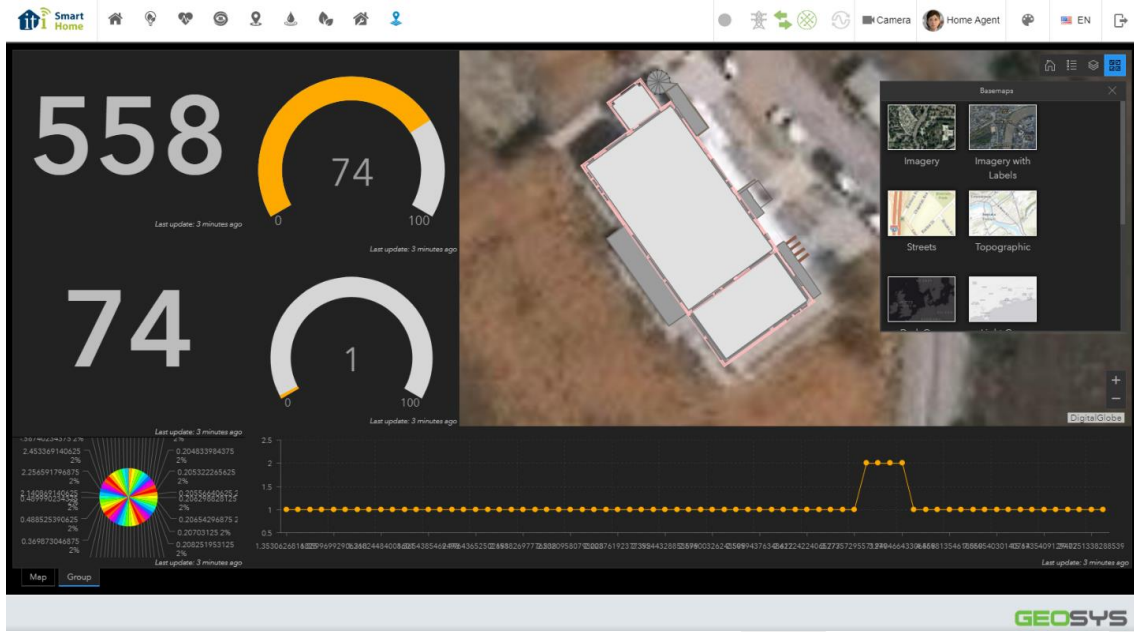


Şekil 4.31. nZeb Smart Home (Kat 2)



Şekil 4.32. nZeb Smart Home (Kat 2 – yatak odaları)

Son olarak, GIS uygulamasının sonuçlarını tek bir biçimde sunmak için, kontrol paneli Şekil 4.33'te görülebileceği gibi 3DMicroGrid kontrol paneline de çerçeve dâhil edilmiştir.



Şekil 4.33. 3DMG Kontrol Paneli ile nZeb Smart Home

5. Tartışma/Sonuç

Şu ana kadar gerçekleştirilen çalışmalar ile gerçek bir mikro şebeke sıfırdan ürün haline gelebilecek düzeyde bilgi birikimine sahip olunmuştur. Burada yapılacak olan ilk iş ekipmanların, yük verilerinin, üretim tahminlerinin, ekipman kapasitelerinin, kontrolcü özelliklerinin detaylı bilgisine ulaşmak ve MATLAB ya da başka bir simülasyon ortamına bu bilgileri aktarabilmektir. Bundan sonra yapılacak ve bizim en çok zamanımızı alan ise MATLAB modelinin sonuçlarının doğrulanması olmuştur ki, bir tane öğrencim (Mustafa Çağatay Koçer) sadece bu problemin gerilim doğrulaması üzerine yüksek lisans tezini bitirmiştir. Gerçek veriler ile bir model oluşturup bunu doğruladıktan sonra ki aşama ise geliştirilecek olan metodları içermektedir.

Bu proje kapsamında diğer iş ortakları ile birçok toplantı/seminer/çalıştay/konferans düzenlenmiş ve bunların detayları ise www.3dmicrogrid.com web sayfasında yayınlanmıştır. Bizi sevindiren bir haber ise Avrupa da ki mikro şebeke geliştiricileri ile yaptığımız toplantılar neticesinde geliştirdiğimiz ürünlerin büyük bir pazara sahip olduğu ve bu ürünlerin şirketleştirilip ticari bir ürün olarak sunulması gerçeğidir. Bu konuda pazarda büyük bir açıklık vardır ve bu konuda uzmanlaşmış bir şirketin oluşması da ülkemiz için önem arz etmektedir. Proje kapsamında mikro şebekelerin gerçekleştirilmesinin Malta ve Yunanistan da ödeneklerin fazla olması sebebiyle tercih edilmiş olması, bu teknolojinin bizim üniversite kampüsünde de uygulanmaması anlamına gelmemektedir. Burada Kayseri ve Civari Elektrik (KÇETAS) ve Aspilsan firmaları ile yapılan görüşmeler neticesinde bu konuda yüksek bütçeli bir TEYDEP projesi yazılması görüşülmüştür.

Bu proje kapsamında ki ortaklarımız ile işbirlikleri imzalanmış olup, bölümümüz ile University of Seville Elektrik mühendisliği ve MCAST University Elektrik mühendisliği bölümleri arasında da Erasmus+ anlaşmaları yapılarak hem akademik kadro hem de lisans/yüksek lisans öğrencilerimize değişim imkânı sağlanmıştır.

Proje ile elde ettiğimiz veriler yeni bilimsel soruları ortaya çıkarmıştır ve farklı projelere teşkil edebilecektir.

Mikro şebeke geliştirilesi ile elde edilen bilgiler/kazanımların detayları raporda açıklanmıştı kısaca özetleyecek olursak:

-Enerji yönetim sistemlerinin mikro şebeke tabanlı bir çalışma için olmazsa olmaz olduğu ve mikro şebekelerin şebekeden bağımsız çalışmasında gerilim ve frekans kararlılığı sağlamanın önemi.

-Gerçek verileri kullanarak bir mikro şebeke geliştirmenin yapılan varsayımlara nazaran ne denli önemli ve gerçek sonuçlara yakın sonuçlar verdiğini.

-Günümüz yapay zeka teknolojilerinin mikro şebekeler de de uygulanıp şebekeye faydalarının olabileceğini.

Proje yapımı aşamasında yeni iş fikirleri oluşmuş ve bu iş fikirlerinin bazıları eylem planımıza alınmıştır.

Projede ortaya çıkan yeni projelere kaynaklık edebilecek sorunlar özetele:

-Proje kapsamında birçok amaç fonksiyonları için simülasyonlar gerçekleştirilmiş fakat birçok farklı ülke şebeke yönetmeliği de dikkate alınarak ülke özeline inilmeli.

-Proje kapsamında FV üretim tahminleri daha çok meteorolojiden ve geçmiş yılların verilerinde dayanılarak yapıldı bundan dolayı FV üretimini mevcut sistemlere göre daha doğru tahmin edebilecek bir sisteme ihtiyaç duyulmaktadır. Bu durumun incelenmesi ayrı bir proje olarak yerinde olur.

-Bu proje kapsamında araştırma laboratuvarımızda olması gereken donanımsal malzemelerin de listesi çıkarılmış ve "Güç Donanımları Çevrimi (Power Hardware in Loop (PHIL)) tarzı araştırma olanakları ile de bu tip projelerin desteklenmesi gerekmektedir.

Bu projenin geliştirilmesi için yapılabilecek bazı öneriler ise üç ana başlıkta değerlendirilecek olursa:

Güvenilirlik: Şebekeden çekilecek enerjinin minimize edilmesi gerekmektedir. Yapılacak güvenilirlik analizleri mikro şebekenin gelecek FV vizyonunun değerlendirilmesine öncelik edecek ve yatırım yapılmasına vesile olacaktır.

Verim: DÜ lerin ve yüklerin kontrolcülere değişik amaçlar içinde geliştirilip mikro şebekenin sadece ekonomik ya da güvenilirliği değil de aynı zamanda birçok amaç için geliştirilmesinin önemi gösterilmelidir.

Güç Kalitesi: FV lerin şebeke entegrasyonunda şebeke gereksinimlerini de dikkate alan invertörler ile şebeke etkileşimi sağlanmalı ki gerilim dengelemesinin önüne daha rahat geçilebilsin ve güç kalitesi problemi bir nebze de ön plana alınmış olsun.

Proje kapsamında 4 adet SCI'da taranan makale hazırlanmıştır (3 tanesi değerlendirmede ve 1 tanesi yayınlanmıştır), 3 adet makale de hazırlık aşamasındadır, 12 adet konferans (3 tanesi yeni kabul edildi ve 1 tanesinde yeni yüklendi değerlendirilme aşamasında) gerçekleştirilmiştir. Bir yüksek lisans öğrencisinin (Mustafa Çağatay Koçer) tezi olup tez (CLOUD INDUCED PV IMPACT ON VOLTAGE PROFILES FOR SMART MICROGRIDS) YÖK sistemine yüklenmiştir.

Ayrıca projemizde bursiyer olarak çalışan doktor öğrencisi (Levent Yavuz) ile birlikte yeni bir proje (TÜBİTAK 1001) de şuan da değerlendirilme aşamasındadır. Ayrıca bu iş fikrini kontrol altına almak içinde patent başvurusu gerçekleştirilmiştir.

Proje bütçesi çoğunlukla toplantı, bilgisayar, yazılım ve öğrenci bursları için kullanılmıştır ve bu olanağın sağlanmasında katkısı olan herkese teşekkürü birborç biliriz. Özellikle ülkemizdeki bilimsel çalışmaları destekleyen, ikili işbirliği anlaşmaları, uluslararası

projelere ülkemizde katılımı için göstermiş olduğu sonsuz çabalardan dolayı TÜBİTAK'ın da bu pasta da payı büyüktür ve ülkemiz akademik gelişimi için TÜBİTAK desteklerinin önemini tartışılmazdır.

Projenin yeni işbirliklerine, lisans bitirme, yüksek lisans doktor öğrencilerinin yetiştirilmesine katkı verecek olması, yeni iş fikirlerine, projelere, makale ve patentlere de kapı açacak olması gerek ülkemiz gerekse bizler için büyük kazanımdır. Projemizin gerçekleştirilmesi esnasında bizden emeğini, desteğini esirgemeyen her kurum ve kişilere bir kez daha teşekkür ederiz.

GCCRIS

Kaynaklar

- A. H. Fathima and K. Palanisamy, 2015. "Optimization in Microgrids with Hybrid Energy Systems - A Review," *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, vol. 45, pp. 431-446.
- A. D. Bintoudi, L. Zyglakis, T. Apostolos, D. Ioannidis, S. Al-Agtash, J. L. Martinez-Ramos, A. Onen, B. Azzopardi, L. Hadjidemetriou, N. Martensen, C. Demoulias, and D. Tzovaras, "Novel Hybrid Design for Microgrid Control," presented at the IEEE PES Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference 2017.
- ANSI/IEEE 1366-2003 - IEEE Guide for Electric Power Distribution Reliability Indices. [Online]. Available: <https://standards.ieee.org/findstds/standard/1366-2003.html> Son erişim tarihi: Belirtilmemiş.
- CENELEC – EN50160 Standard, "Voltage characteristics of electricity supplied by public electricity networks." [Online]. Available: <https://standards.globalspec.com/std/9943573/cenelec-en-50160>. Son erişim tarihi: Belirtilmemiş.
- C. Deckmyn, J. Van de Vyver, T.L. Vandoorn, B. Meersman, J. Desmet, L. Vandeveld, 2017. "Day-ahead unit commitment model for microgrids", *IET Generation, Transmission & Distribution*, vol.11, no. 1, pp. 19.
- Eurelectric, Thermal Working Group (February 2004). Ancillary Services: Unbundling Electricity Products an Emerging Market, Ref: 2003-150-0007.
- H. Abdi, S.D. Beigvand, M. La Scala, 2017. "A review of optimal power flow studies applied to smart grids and microgrids". *Renewable and sustainable Energy Reviews*, 742-766.
- J.L. Martinez-Ramos, V.H. Quintana. 2009, "Optimal and Secure Operation of Transmission Systems", in *Electric Energy Systems: Analysis and Operation*, A. Gmez-Expsito, A.J. Conejo, C. Caizares, Editors. CRC Press, 2009.
- Lotfi, H., and Khodaei, A. (2016, July). Levelized cost of energy calculations for microgrids. In *Power and Energy Society General Meeting (PESGM)*, 2016 (pp. 1-5).
- Personal, E., Guerrero, J. I., Garcia, A., Peña, M., & Leon, C. (2014). Key performance indicators: A useful tool to assess Smart Grid goals. *Energy*, 76, 976-988.
- S. Talari, M. Yazdaninejad, M. Haghifam, "Stochastic-based scheduling of the microgrid operation including wind turbines, photovoltaic cells, energy storages and responsive loads", *IET Generation, Transmission & Distribution*, vol. 9, n12, pp. 1498-1509, 2015.
- Q.P. Zheng, J. Wang, A.L. Liu, 2015. "Stochastic optimization for unit commitment: A review", *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 30, no. 4, pp. 1913-1924, 2015.
- Yang, H., Wei, Z., and Chengzhi, L. (2009). Optimal design and techno-economic analysis of a hybrid solar-wind power generation system. *Applied Energy*, 86(2), 163-169.

EK

Çalışmalarımız sonucunda elde ettiğimiz akademik ve diğer başarıları burada bahsedeceğiz.

Proje Kapsamında Konferans Yayınları

1. Salem Al-Agtash, Mohammad Alhashem, Angelina Bintoudi, Mohanad Batarseh, Apostolos Tsolaki, Martinez-Ramos Jose, **Ahmet Onen**, Brian Azzopardi, Lenos Hadjidemetriou, Lazaros Zacharia, Nis Martensen and Mounir Khia, "Microgrid Environmental Impact", is under review at ENERGYCon 2020.
2. Y. Yoldas, S. Goren, **A. Onen**, "Implementation of Agent Balanced optimization with PV forecasting for a Real Microgrid" is **accepted** at ICEEE2020, Nevsehir, 23-25 Nisan, 2020.
3. R. Koubaa, Y. Yoldas, **A. Onen**, "Demonstration of different charging profile effects on a Real Microgrid" is **accepted** at ICEEE2020, Nevsehir, 23-25 Nisan, 2020.
4. Y. Yoldas, S. Goren, **A. Onen**, "Implementation of Dynamic Energy Management System based on Approximate Dynamic Programming for a Real Microgrid" is **accepted** at SEST2020 Istanbul, 7-9 September, 2020.
5. A.D. Bintoudi, L. Zyglakis, A.C. Tsolakis, D. Ioannidis, S. Al-Agtash, J. L. Martinez-Ramos, A. Onen, B. Azzopardi, L. Hadjidemetriou, N. Martensen, C. Demoulias, and D. Tzouvaras, "Novel hybrid design for microgrid control," 2017 IEEE PES Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference. India, 2017
6. A.D. Bintoudi, L. Zyglakis, A.C. Tsolakis, D. Ioannidis, S. Al-Agtash, J. L. Martinez-Ramos, **A. Onen**, B. Azzopardi, L. Hadjidemetriou, N. Martensen, K. Mounir, N. Borg, N. Fragale, C. Demoulias, D. Tzouvaras "A hybrid agent-based secondary control for microgrids with increased fault-tolerance needs", Mediterranean Conference on Power Generation, Transmission, Distribution and Energy Conversion (MEDPOWER 2018), 2018, Dubrovnik, Croatia, page (7 pp.)
7. N. Martensen, D. Masendorf, P. Gambín Belinchón, S. Al-Agtash, M. Alhashem, M. Batarseh, B. Azzopardi, R. Mikalauskiene, A.C. Tsolakis, A.D. Bintoudi, D. Tzouvaras, D. Ioannidis, **A. Onen**, J. L. Martinez Ramos, M. Khiat, L. Ghomri, K. Mounir, L. Hadjidemetriou, N. Fragale, T. Camilleri, N. Borg, "Framework Design for Smart Micro-Grids", 3rd International Hybrid Power Systems Workshop Spain, 2018
8. N. Martensen, D. Masendorf, P. Gambín Belinchón, S. Al-Agtash, B. Azzopardi, D. Ioannidis, **A. Onen**, J. L. Martinez Ramos, K. Mounir, L. Hadjidemetriou, T. Camilleri, N. Borg, "Active power sharing in microgrids using multiple grid-forming inverters", 4th International Hybrid Power Systems Workshop Greece, 2019
9. L. Zacharia, L. Tziovani, M. Savva, L. Hadjidemetriou, E. Kyriakides, J. L. Martinez-Ramos, A. Marano, B. Azzopardi, N. Martensen, T. Ackermann, M. Khiat, D. Tzouvaras, **A. Onen**, S. Al-Agtash, "Optimal energy management and scheduling of a University Campus Microgrid," in Proc. IEEE SEST, Porto, Portugal, 2019, pp. 1-6.
10. Mustafa Cagatay Kocer, Yeliz Yoldas, Selcuk Goren, **Ahmet Onen**, Irfan Alan, Salem Al-Agtash, Brian Azzopardi, Nis Martensen, Jose L. Martinez-Ramos, Dimitrios Tzouvaras, Lenos Hadjidemetriou, Mounir Khiat, Tim Camilleri, Nicholas Borg, "Cloud Induced PV Transient Analysis for Smart Microgrids in the Mediterranean Area" is at 5th International Symposium on Environment Friendly Energies and Applications, 24-26 September, 2018, Rome, Italy.
11. Selcuk Goren, Yeliz Yoldas, **Onen Ahmet**, Salem Al-Agtash, Brian Azzopardi, Nis Martensen, Jose L. Martinez-Ramos, Tsolakis Apostolos, Lenos Hadjidemetriou, Mounir Khiat, Tim Camilleri, Nicholas Borg, "Real-Time Energy Dispatching in Smart Microgrids" is at 29th European Conference on Operational Research, 8-11 July, 2018, Valencia, Spain.
12. Jose L. Martinez-Ramos, Alejandro Marano-Marcolini, Francisco P. Garcia-Lopez, Fernando Almagro-Yravedra, **Ahmet Onen**, Yeliz Yoldas, Mounir Khiat, Leila Ghomri, Nunziatina Fragale, "Provision of Ancillary Services by a Smart Microgrid: An OPF Approach". Proceedings of the 2018 International Conference on Smart Energy Systems and Technologies Spain, 2018

Proje Kapsamında Makaleler Yayınları

1. Y. Yoldaş, **A. Onen**, S. M. Muyeen, A. V. Vasilakos, I. Alan "Enhancing smart grid with microgrids: Challenges and opportunities" Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2017, 72, 205-214.
2. 1. Y. Yoldaş, S. Goren, **A. Onen**, "Implementation of Agent Balance Optimization for Real Microgrids" is **under review** at Energy Sources Part B: Economics, Planning and Policy.
3. 2. Y. Yoldaş, S. Goren, **A. Onen**, "Dynamic Optimization of Real-Time Operation for a real Microgrid" is **under review** at IEEE Transactions on Smart Grid.
4. 3. R. Koubaa, Y. Yoldaş, A. Onen, "Robust Optimization of Real Micro grid based on different Electrical Vehicle charging profiles." is **under review** at Energy & Environment.

Proje katkısı ile Sunulan Projeler

Proje Yürütücüsü **Ahmet Önen**: "Yüksek Doğruluklu Üretim Tahminlerinin, Görüntü Tanıma Temelli Derin Öğrenme Algoritmaları İle Güneş Enerji Üretim Tesisleri İçin Kamera ve Sensör Entegrasyonu Kullanılarak Elde Edilerek Verimliliğin Artırılması" projesi bu çalışmalar sırasında edinilen bilgi ve tecrübeden dolayı hazırlanmış ve TÜBİTAK 1001 hakem değerlendirmesine gönderilmiştir.

Proje katkısı ile Başvurulan Patent

L. Yavuz, A. Soran, **A. Önen**, PV forecasting based ensemble method with camera ready application" is **under review** at International Patent. (Patent Başvuru No: 2018-GE- 551158)

Proje katkısı olan kişiler

Araştırmacı: Doç.Dr. Bora Alboyacı

Araştırmacı Prof.Dr. İrfan Alan

Yüksek Lisans Bursiyer: Mustafa Çağatay Koçer

Doktora Bursiyer: Levent Yavuz ve Yeliz Yoldaş

Post-Doç Araştırmacı: Dr. Rayhane Koubaa

**TÜBİTAK
PROJE ÖZET BİLGİ FORMU**

Proje Yürütücüsü:	Doç. Dr. AHMET ÖNEN
Proje No:	215E373
Proje Başlığı:	Mikro Şebeke Dizaynı, Geliştirilmesi Ve Gösterilmesi
Proje Türü:	Uluslararası
Proje Süresi:	36
Araştırmacılar:	İRFAN ALAN, BORA ALBOYACI
Danışmanlar:	
Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi:	ABDULLAH GÜL Ü.
Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri:	01/08/2016 - 01/02/2020
Onaylanan Bütçe:	394838.0
Harcanan Bütçe:	256445.29
Öz:	<p>Bu projede gerçek veriler kullanılarak mikro şebeke dizayn edilip geliştirilecek ve yenilenebilir enerji kaynakları ve kampüs yükleri de bu mikro şebeke içine dizayn edilecektir. Ana amaç elde edilmiş yenilenebilir enerji kaynaklarını güç sisteminde optimum olarak kullanılmasının sağlanmasıdır. Bu proje için yenilenebilir enerjinin maksimum kullanımı, karbon gazının kullanımının azaltılması, güç kalitesi ve ekonomik kazanç asıl gayeler arasında olacaktır. Bu mikro şebeke sistemi Malta da ki bir üniversitede (Malta College of Arts, Science and Technology (MCAST)) ki gerçek veriler ışığında çalışılacaktır ve kampüste ki detaylı mevcut enerji senaryoları, enerji tüketimleri, üretim verimi, yükler ve yük sınıfları, tüketim verileri, güç kalitesi ve anahtarlama olayları ve ticari değerlendirmelerde dikkate alınacaktır. Aynı zamanda bu projede sensör, sayaç, donanım, yazılım gibi değişik elemanlarında değerlendirimi ve önerileri sunulacaktır. Arz-talep dengesi, yenilenebilir enerji tahmini, şebekeye entegrasyonu, yük önceliğinin belirlenmesi, depolama sisteminin efektif kullanılması da bu projede denenecektir. Aynı zamanda bu projeye enerji kazancı, frekans desteği ve müşteri yük yönetiminde projeye destek vermesi umulmaktadır.</p>
Anahtar Kelimeler:	Akıllı mikro şebekeler, enerji yönetim sistemleri, Yapay zeka ve optimizasyon
Fikri Ürün Bildirim Formu Sunuldu Mu?:	Hayır
Projeden Yapılan Yayınlar:	1- Enhancing smart grid with microgrids: Challenges and opportunities (Makale - Diğer Hakemli Makale),