T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GÜÇ AKIŞ ANALİZİNDE COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİNİN KULLANILMASI

FARUK AYDIN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ELEKTRİK TESİSLERİ PROGRAMI

DANIŞMAN
YRD. DOÇ. DR. BORA ACARKAN

İSTANBUL, 2014

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GÜÇ AKIŞ ANALİZİNDE COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİNİN KULLANILMASI

Faruk AYDIN tarafından hazırlanan tez çalışması 25.06.2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Yrd. Doç. Dr. Bora ACARKAN

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Yrd. Doç. Dr. Bora ACARKAN

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Yrd. Doç. Dr. Altuğ BOZKURT

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Yrd. Doç. Dr. Serkan KURT

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

ÖNSÖZ

Güç akış analizinde coğrafi bilgi sistemlerinin kullanılmasının ele alındığı bu çalışmada bana olan yardım ve katkılarından dolayı sayın hocam Yrd. Doç. Dr. Bora ACARKAN'a, TEİAŞ'tan gerçek sistem değerlerinin alınmasında yardımlarını esirgemeyen Elektrik Mühendisi Nusret KOMAN'a ve değerli dostum Elektrik Mühendisi Yasin ÇOKSÜRER'e, her zaman bana destek olan çalışma arkadaşlarıma, aileme, özelikle de her türlü fedakârlığı gösteren sevgili eşim Melek AYDIN'a teşekkürü bir borç bilirim.

Mayıs, 2014

Faruk AYDIN

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ vi

KISALTMA LİSTESİ vii

ŞEKİL LİSTESİ viiviii

ÇİZELGE LİSTESİ x

ÖZET xi

ABSTRACT xii

BÖLÜM 1

GİRİŞ 1

1.1 Literatür Özeti 1
1.2 Tezin Amacı 3
1.3 Hipotez 3

BÖLÜM 2

GÜÇ AKIŞI ANALİZLERİ 4

2.1 Güç Akışı Analizi 5
2.1.1 Bara Tipleri 5
2.1.2 İterasyon Yöntemleri 6
2.1.2.1 Gauss-Seidel Yöntemi 6
2.1.2.2 Newton-Raphson Yöntemi 10
2.2 Güç Akışı Analizinde Kullanılan İterasyon Yöntemlerinin Karşılaştırılması 13
2.3 Güç Akışı Analizlerinin Kullanıldığı Alanlar 13
2.3.1 Güç Sisteminin Planlanması 14
2.3.2 Genel Ağ Şebeke (Enterkonnekte) Sistemi 16
2.3.3 Güç Sistemi Kontrol Merkezi ve Uç Birim Yapıları 18
2.4 Güç Akışı Problemleri ve Karşılaşılan Zorluklar 19
2.5 Güç Akış Analizlerinde Kullanılan Yazılımlar 20

BÖLÜM 3

GÜÇ AKIŞ ANALİZLERİNİN GÖRSELLEŞTİRİLMESİ 22

BÖLÜM 4

COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ 29

4.1 CBS'nin Bileşenleri 29
4.2 CBS'nin Fonksiyonları 34
4.3 CBS'nin Avantajları 36
4.4 CBS'nin Uygulama Alanları 38

BÖLÜM 5

KULLANILAN YAZILIMLARIN TANITILMASI 40

5.1 PSAT Yazılımının Tanıtılması 40
5.2 PSAT Programındaki Veri Kategorilerinin Tanımlanması 42
5.2.1 Bara Verileri 42
5.2.2 Yük Verileri 43
5.2.3 Generatör Verileri 43
5.2.4 Salınım Barası Verileri 44
5.2.5 Hat Verileri 44
5.2.6 Kesici Verileri 45
5.2.7 Ototrafo Verileri 45
5.3 PSAT Yazılımında Kullanılan Güç Akış Yöntemleri 45
5.4 PSAT ve CBS 45
5.5 ArcGIS Yazılımının Tanıtılması 47
5.6 PowerWorld Yazılımının Tanıtılması 49

BÖLÜM 6

SİMÜLASYON ÇALIŞMALARI 51

BÖLÜM 7

SONUÇ VE ÖNERİLER 73

KAYNAKLAR 75

ÖZGEÇMİŞ 80

SİMGE LİSTESİ

B	Süseptans
cosφ	Güç faktörü
C_v	Yakınsama katsayısı
I	Akım şiddeti
J	Jakobyen matris
L	Endüktans
P	Aktif güç
Q	Reaktif güç
R	Reaktans
S	Görünür güç
V	Gerilim
Y_{bara}	Bara admitans matrisi
Z_{bara}	Bara empedans matrisi
θ	Admitans açı değeri
δ	Gerilim faz açısı

KISALTMA LİSTESİ

CBS	Coğrafi Bilgi Sistemi
CPU	Central Processing Unit (Merkezi İşlem Birimi)
ÇED	Çevresel Etki Değerlendirmesi
ESRI	Environmental System Research Institute (Çevre Sistemleri Araştırma Enstitüsü)
FOSS	Free and Open Source Software (Ücretsiz ve Açık Kaynak Yazılım)
GSKM	Güç Sistemi Kontrol Merkezi
GUI	Graphical User Interface (Grafiksel Kullanıcı Arayüzü)
KBA	Kuzeybatı Anadolu
MATLAB	MATrix LABoratory
PSAT	Power System Analysis Toolbox
PST	Power System Toolbox
p.u.	per-unit değer
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition (Gözetleyici Denetim ve Veri Toplama)
SPS	SimPowerSystems
TEİAŞ	Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
TM	Trafo Merkezi
UB	Uç Birim
VST	Voltage Stability Toolbox
XML	Extensible Markup Language (Genişletilebilir İşaretleme Dili)

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 Türkiye yük tevzi merkezleri 17
Şekil 2.2 PowerWorld programıyla güç akış analizinin gerçekleştirilmesi 21
Şekil 3.1 Örnek sistemde bara gerilimlerinin dinamik göstergelerle sunulması 26
Şekil 3.2 Hat yüklenmelerinin dinamik olarak değişen daire grafikleriyle sunulması 28
Şekil 4.1 CBS'nin bileşenleri..... 30
Şekil 4.2 CBS donanım birimleri 31
Şekil 4.3 CBS veri tipleri ve kaynakları..... 32
Şekil 4.4 CBS'nin temel fonksiyonları 36
Şekil 5.1 PSAT programının çalıştırılmasıyla elde edilen analiz sonuçları 42
Şekil 5.2 Topolojik ve nümerik verilerin görselleştirme için bir araya getirilmesi 46
Şekil 5.3 ArcGIS programında örnek sistem için bara ve hatların oluşturulması 47
Şekil 5.4 Tekirdağ iline ait örnek bir sistem üzerinde ArcGIS yazılımı ile yapılan görselleştirme 49
Şekil 5.5 Tekirdağ iline ait örnek bir sistem üzerinde PowerWorld yazılımı ile güç akışı analizinin yapılması..... 50
Şekil 6.1 380 kV-154 kV Trafo merkezlerinde aktif güç değerlerinin karşılaştırılması52
Şekil 6.2 Örnek olarak seçilen 13 iletim hattında güç değerlerinin karşılaştırılması.. 52
Şekil 6.3 Örnek olarak seçilen 13 barada 380 kV gerilim değerlerinin karşılaştırılması 53
Şekil 6.4 Örnek olarak seçilen 13 barada 154 kV gerilim değerlerinin karşılaştırılması 53
Şekil 6.5 Bara gerilimlerinin ArcGIS programında görselleştirilmesi..... 54
Şekil 6.6 Bara gerilimlerinin PowerWorld programında görselleştirilmesi..... 54
Şekil 6.7 Açı değerlerinin ArcGIS programında görselleştirilmesi 55
Şekil 6.8 Açı değerlerinin PowerWorld programında görselleştirilmesi 55
Şekil 6.9 Açı değerlerinin ArcGIS programında kırmızı ve mavi renk tonlarında görselleştirilmesi..... 56
Şekil 6.10 Açı değerlerinin PowerWorld programında kırmızı ve mavi renk tonlarında görselleştirilmesi..... 56
Şekil 6.11 Açı değerlerinin ArcGIS programında kahverengi renk tonlarında görselleştirilmesi..... 57
Şekil 6.12 Açı değerlerinin PowerWorld programında kahverengi renk tonlarında görselleştirilmesi..... 57
Şekil 6.13 Hat yüklenmelerinin ArcGIS programında görselleştirilmesi 58

Şekil 6.14 Hat yüklenmelerinin PowerWorld programında görselleştirilmesi 58
Şekil 6.15 Hat kayıplarının ArcGIS programında yeşil renk tonlarında görselleştirilmesi 59
Şekil 6.16 Hat kayıplarının PowerWorld programında yeşil renk tonlarında görselleştirilmesi 59
Şekil 6.17 Hat kayıplarının ArcGIS programında 10 renkten oluşan skalayla görselleştirilmesi 60
Şekil 6.18 Hat kayıplarının PowerWorld programında 10 renkten oluşan skalayla görselleştirilmesi 60
Şekil 6.19 Hat gerilim seviyelerinin ArcGIS programında görselleştirilmesi 61
Şekil 6.20 Hat gerilim seviyelerinin PowerWorld programında görselleştirilmesi 61
Şekil 6.21 Bara yüklerinin ArcGIS programında görselleştirilmesi 62
Şekil 6.22 Bara yüklerinin PowerWorld programında görselleştirilmesi 62
Şekil 6.23 2005 yılında bara yükleri 63
Şekil 6.24 2005 yılında bara yükleri (iletim hatları olmadan) 63
Şekil 6.25 2006 yılında bara yükleri (iletim hatları olmadan) 64
Şekil 6.26 2007 yılında bara yükleri (iletim hatları olmadan) 64
Şekil 6.27 2008 yılında bara yükleri (iletim hatları olmadan) 64
Şekil 6.28 2009 yılında bara yükleri (iletim hatları olmadan) 65
Şekil 6.29 2010 yılında bara yükleri (iletim hatları olmadan) 65
Şekil 6.30 2011 yılında bara yükleri (iletim hatları olmadan) 65
Şekil 6.31 2012 yılında bara yükleri (iletim hatları olmadan) 66
Şekil 6.32 2023 yılı için öngörülen bara yükleri (iletim hatları olmadan) 66
Şekil 6.33 2012 yılında hat yükleri 67
Şekil 6.34 2023 yılı için öngörülen hat yükleri 67
Şekil 6.35 2012 yılı bara yüklerinin derecelendirilmiş sembollerle gösterimi 68
Şekil 6.36 2012 yılı bara aktif ve reaktif güçlerinin oransal olarak karşılaştırılması 68
Şekil 6.37 2005-2012, 2023 yıllarına ait yüklenmelerin çubuk grafiklerle gösterimi 69
Şekil 6.38 İki farklı değişken kullanılarak örnek sistemin görselleştirilmesi 69
Şekil 6.39 Sisteme yeni eklenen trafo ile bölgesel değişikliğin görselleştirilmesi 70
Şekil 6.40 Sisteme trafo eklenmeden önceki durumun görselleştirilmesi 70
Şekil 6.41 Sisteme trafo eklendikten sonraki durumun görselleştirilmesi 70
Şekil 6.42 Sisteme hat eklenmeden önce örnek durumunun görselleştirilmesi 71
Şekil 6.43 Sisteme yeni eklenen hat ile bölgesel değişikliğin görselleştirilmesi 71
Şekil 6.44 Sisteme hat eklenmeden önceki durumun görselleştirilmesi 72
Şekil 6.45 Sisteme hat eklendikten sonraki durumun görselleştirilmesi 72

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 Sistem baralarının sınıflandırılması 6
Çizelge 4.1 CBS kullanım alanları 38

ÖZET

GÜÇ AKIŞ ANALİZİNDE COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİNİN KULLANILMASI

Faruk AYDIN

Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Bora ACARKAN

Bu çalışmada, 380 ve 154 kV'luk 66 baralı örnek bir şebeke üzerinde açık kaynak kod kullanılarak ve gerçek sistem değerleriyle yapılan güç akış analizi sonuçlarının coğrafi bilgi sistemlerinde kullanılması gösterilmiştir. Yapılan çalışmalar, görselleştirmede ArcGIS, güç akışı için MATLAB'ın PSAT (Power System Analysis Toolbox) yazılımı ve PowerWorld simülasyon programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Bara gerilim ve açı değerleri, hat ve bara yüklenme durumları düzey haritasıyla gösterilmiş, yeni hat veya bara eklenmesi gibi durumlarda sistemde ne gibi değişikliklerin olacağı görselleştirilmiş, mevcut sistemin 10 yıl sonrası için öngörülerde bulunulmuş, CBS'nin özellikleri de kullanılarak aynı anda iki farklı elektriksel büyüklüğün görüntülenmesi sağlanmış ve sonuçların hem analiz hem görselleştirme yapabilen gelişmiş lisanslı yazılımlarla yakın olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Güç Akış Analizi, CBS, PSAT, ArcGIS, PowerWorld

ABSTRACT

POWER FLOW ANALYSIS USING GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEMS

Faruk AYDIN

Department of Electrical Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Dr. Bora ACARKAN

In this study, the application of the power flow analysis for a sample network of 380 and 154 kV with 66 buses by using an open-source code and performed with actual system values in the geographical information systems has been shown. Studies were realized by using ArcGIS for visualization, MATLAB's PSAT (Power System Analysis Toolbox) software and PowerWorld simulation program for power flow analysis.

The voltage and phase angle values, line and bus status have been indicated with contours and in cases where new lines and buses are added, the possible changes in the system have been visualized and the status of the current system 10 years later predicted; also by using the GIS properties, displaying two different electrical parameters at the same time is ensured and it has been seen that results are very close to original licensed software, performing both the analysis and visualization.

Keywords: Power Flow Analysis, GIS, PSAT, ArcGIS, PowerWorld

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Enerji modern toplumların temel bir unsuru olup ulusların sosyal ve ekonomik gelişmesini doğrudan etkiler. Ekonomik büyüme ve enerji tüketimi ortaklaşa ilerler. Yaşamımızı ve çalışmalarımızı geliştirmek ve daha kaliteli hale getirmek devamlı, yeterli ve ekonomik enerji kaynaklarına doğrudan bağlıdır [1].

Elektrik enerjisi, günümüzde yaygın olarak kullanılan, çok değerli fakat bir o kadar da pahalı bir enerji türüdür. Enerji güç sistem planlayıcıları, minimum maliyet, sarfiyat ve maksimum tasarruf için her türlü araştırma ve geliştirmeyi yapmak zorundadır. Enerji güç sistemleri, sürekli değişen durumlarda çalışan lineer olmayan sistemlerdir. Yükler, generatör çıkışları ve sistem parametreleri sürekli değişir. Son yıllarda, ekonomik ve çevresel şartlar, güç sistemlerinin en verimli işletim şartlarında ve işletme sınırlarına yakın noktalarda çalışmayı mecbur kılmıştır. Buna bağlı olarak; güç akış analizi, güç sistemlerinin işletilmesinde önemli bir kriterdir. Modern güç sistemleri ileri seviyede planlanmış, çok değişkenli, dinamik sistemlerdir [2].

Elektrik şebekesindeki bağlantıların sayısı ve boyutu arttıkça gelecekteki büyümeler için planlama da daha karmaşık hâle gelmektedir. Ekleme ve modifikasyonların artan maliyeti nedeniyle tasarım seçeneklerini hesaba katmak ve detaylı performans çalışmaları yapmak zorunlu hâle gelmiştir. Normal ve olağan dışı çalışma, talebin pik yaptığı ve yoğun olmayan zamanları, şimdi ve gelecekteki çalışma koşulları gibi çok fazla miktarda veri de doğru şekilde toplanıp işlenebilmelidir. Bu nedenle güç sistem planlamalarında bilgisayarlar ve gelişmiş yazılımlar kullanılması gerekmektedir [3].

Güç sistem analiz sonuçlarının görselleştirilmesi ile ilgili ilk çalışmalar doksanların başında başlamış olup Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) verilerinin de kullanılmasıyla büyük ilerlemeler kaydetmiştir. CBS özellikle yenilenebilir enerji ile elektrifikasyon planlamasında ve yeni üretim tesisleri için yer seçiminde çok kriterli (teknolojik, ekonomik, çevresel, sosyal, vb.) karar verme işlemlerinde sunduğu avantajlar nedeniyle sıklıkla kullanılmaktadır [3].

Yenilenebilir enerjiye uygunluk için mekânsal analizler özellikle rüzgâr [4] ve güneş enerjisi (solar radyasyon haritaları) [5] ile ilgili çalışmalarda yoğunlaşmıştır. Elektrik üretiminde stabiliteyi korumak için iki veya daha fazla yenilenebilir enerji sisteminin bir hibrid sistemde birleştirildiği uygulamalar da mevcuttur [6].

Hidroelektrik enerjide, performans özellikleri önemli ölçüde coğrafi ve hidrolojik koşullara bağlı olduğundan doğru yer (konum) analizi özellikle küçük hidroelektrik üretim için çok önemlidir. CBS tabanlı işlemler farklı ülkelerde yerin hidroelektrik potansiyelinin tespiti, üretim tipinin seçimi için kullanılmıştır. İrlanda'da pompaj biriktirmeli, Tayland, ABD ve Brezilyada küçük güçlü nehir tipi hidroelektrik santral projelerinde ve Hindistan, Brezilya, Güney Kore, Güney Afrika'da baraj depolama kapasiteleri için kullanılması örnek gösterilebilir [7],[8],[9],[10].

Sadece rüzgâr veya güneş değil biyokütle, jeotermal ve terkedilmiş endüstri bölgelerindeki yenilenebilir enerji potansiyelinin tespitinde de CBS kullanılmaktadır. Ancak yapılan çalışmalar genellikle uygun yer seçimi ile ilgili olduğundan (birçok alanda uzmanlar coğrafi düşüncenin ve çalışmanın avantajlarının farkına vararak) çevre, inşaat, coğrafya, haritacılık, jeodezi, hidrojeoloji gibi disiplinlerde yoğunlaşmıştır. Elektrik mühendisliğinde ise, CBS özellikle dağıtım sistemlerinin güzergâhlarının tespit edilmesinde sıkça kullanılır. Dinamik programlama tekniği ile CBS'nin olanakları birleştirilerek ekonomik, çevresel, sosyal konulardaki engeller aşılıp minimum maliyet hesapları da kullanılarak optimal güzergâh problemi çözülür. Bu şekildeki planlamayla yeni tesislerin yapım maliyeti, güç kaybı, bakım maliyetinin minimizasyonu ve güvenilirliğin maksimizasyonu sağlanır [11].

İletim hatlarının güzergâh seçimi dışında CBS'nin güç akış analizlerinde kullanılması ile ilgili ise çok az çalışma vardır [12]. Bu temel çalışmalar böyle bir düşüncenin

yapılabilirliğini göstermesi açısından önemli olup, bara gerilim genliğinin düzey haritasıyla gösterimi ve yüklenme durumunun derecelendirilmiş sembollerle gösterimi dışında çok fazla örnek içermez. Bu çalışmada ise bara gerilim ve açı değerleri, hat ve bara yüklenme durumları düzey haritasıyla gösterilmiş, yeni hat veya bara eklenmesi gibi durumlarda sistemde meydana gelecek değişiklikler görselleştirilmiş, mevcut sistemin 10 yıl sonrası için öngörülerde bulunulmuş, CBS'nin özellikleri de kullanılarak aynı anda iki farklı elektriksel büyüklüğün görüntülenmesi sağlanmış ve sonuçların hem analiz hem görselleştirme yapan lisanslı, ücretli yazılımlarla aynı olduğu görülmüştür.

1.2 Tezin Amacı

Bu çalışmada 380 ve 154 kV'luk 66 baralı örnek bir şebeke üzerinde açık kaynak kod kullanılarak ve gerçek sistem değerleriyle yapılan güç akış analizi sonuçlarının CBS'de kullanılması gösterilmiştir. Yapılan çalışmalar, görselleştirmede ArcGIS, güç akışı için MATLAB'ın PSAT (Power System Analysis Toolbox) yazılımı ve PowerWorld simülasyon programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçların hem analiz hem de görselleştirme yapan ancak ücretli olan yazılımlara oldukça yakın olduğu görülmüştür.

1.3 Hipotez

Çalışma sonunda elde edilen sonuçlar şu şekilde sıralanabilir.

- Hem analiz hem görselleştirme yapan programlara çok yakın sonuçlar elde edilmiştir.
- Güç akış analizi ve CBS programları iki ayrı türde yazılım olmasına rağmen verilerin kolay transfer edilebilmesi sayesinde çok büyük sistemlere de kolayca uygulanabilir.
- Açık kaynak yazılımları ücretsizdir bu da çok büyük ekonomik yarar sağlar.
- Farklı görselleştirme seçenekleri sayesinde ücretli yazılımlardaki benzer sonuçlara ulaşılabilir.
- Özellikle operatörlerin sistemin durumunu hızla algılamasını sağlayarak sistem yönetimi ve kontrolünde büyük yarar sağlar.
- Eğitim amaçlı kullanılabilir ve açık kaynak yazılımlar kullanıldığından geliştirilmeye açıktır.

BÖLÜM 2

GÜÇ AKIŞI ANALİZLERİ

Güç sistemi benzetiminde yaygın olarak kullanılan analiz, güç akışı analizidir. Güç akışı problemi, güç sistemlerinin tüm tüketim baralarındaki tüketimi karşılamak amacıyla üretim tesislerinde üretilen enerjinin iletim hatlarında ve transformatörlerdeki akışının analizlerle hesaplanmasıdır. Başka bir ifadeyle güç akışı problemini çözmenin temel amacı, verilen ağ yapısı, üretim ve tüketim değerlerini kullanarak baralar üzerindeki kompleks gerilim değerlerini ve hatlar üzerinde akan kompleks güç değerlerini bulmaktır [13].

Güç sistemlerinde iletim hatlarının ve transformatörlerin aşırı yüklenmemesi, tüm baralardaki gerilimlerin belirli limitler içinde kalması ve generatörlerin reaktif üretimlerinin kabul edilebilir sınırlar içerisinde kalması gereklidir.

Güç akışı analizleri mevcut güç sistemlerinin planlanmasında, kontrolünde ve işletmesinde kullanıldığı gibi güç sistemlerinin uzun dönemdeki planlanmasında da kullanılır.

Güç sistemlerinin sağlıklı bir şekilde işletilebilmesi, yeni üretim ve/veya tüketim tesislerinin sisteme ilavesinin ya da ilave edilen iletim hattının devreye girmeden önce etkilerinin bilinmesine bağlıdır. Güç akışı analizleri ile güç faktörünün ve baralardaki gerilimlerin yükseltilmesi için kapasitörlerin sisteme konulacağı en uygun yerin ve kapasitelerinin belirlenmesi de mümkündür [14].

Güç sistemi işletmesinde, güç akışı analizi ile belirlenen işletme koşulunda sistemdeki aşın yüklenen hatların ve iletim limitlerinin belirlenmesi mümkündür.

2.1 Güç Akışı Analizi

Güç akışı, güç sistemi tasarımı ve analizlerinin temelini oluşturur. Güç sisteminin planlanmasında ve işletilmesinde güç akışı analizleri gereklidir. Güç akışı analizleri için bilinmesi gereken temel veriler aşağıda belirtilmiştir [15], [16].

- İletim hatlarının empedansları ve şarj admitansları
- Transformatör empedansları ve kademe ayar değerleri
- Statik kapasitör veya reaktör gibi şönt bağlı teçhizatların admitansları
- Sistemde bulunan her bir baradaki tüketim (Yük değerleri)
- Her bir generatörün üretim kapasitesi
- Generatör baralarının gerilimi veya generatörlerin reaktif üretimleri
- Generatörlerin maksimum ve minimum reaktif üretim limitleridir.

Yukarıdaki verilerle;

- Sistemdeki her bir baranın bilinmeyen geriliminin genliği
- Her bir baradaki faz gerilimi
- Reaktif üretimi bilinmeyen her generatörün reaktif üretimi
- Her bir iletim hattında ve transformatördeki aktif, reaktif güç akışı ve akımlar hesaplanabilmektedir.

2.1.1 Bara Tipleri

Güç akışı problemlerini çözerken, sistem dengede ve sürekli hal koşulları altında çalıştığı varsayılır ve iletim sistemi elemanlarının pozitif bileşen değerleri kullanılır.

Güç akışı probleminde her bir baradaki dört değişkeni bilmemiz gerekmektedir. Bunlar aktif güç (P), reaktif güç (Q), gerilimin genliği (V), faz açısı (δ)'dır. Problemi çözebilmek için bunlardan ikisini bilmek yeterlidir. Güç akışı uygulaması yaparak diğer iki değişken bulunabilir.

Çizelge 2. 1 Sistem baralarının sınıflandırılması

Bara Tipi	**Bilinen Büyüklükler**	**Bilinmeyen Büyüklükler**
Salınım Barası	V ve δ	P ve Q
Generatör Barası	P ve V	Q ve δ
Yük Barası	P ve Q	V ve δ

Sistem baraları genel olarak üç tipe ayrılır (Çizelge 2.1):

- Salınım (Slack) barası: Güç akışı analizinde referans bara olarak alınan bu barada, $|V|$ ve δ bilinen değişkenlerdir. Diğer değişkenler P ve Q hesaplanır.
- Yük barası: PQ barası olarak da adlandırılan bu barada P ve Q bilinen, $|V|$ ve δ ise bulunmaya çalışılan değişkenlerdir.
- Gerilim kontrollü bara veya generatör barası: Bu tip baralarda P ve V bilinir. Generatör, statik kapasitör vb. sistem elemanlarının bağlı olduğu bu baradaki Q limitleri ile gerilim sabit tutulabilir.

2.1.2 İterasyon Yöntemleri

Güç akışı problemi çok sayıda lineer olmayan denklemlerden oluştuğundan, çözümleri için iterasyon yöntemlerinin kullanılması gerekir. Yaygın olarak kullanılan yöntemler Gauss-Seidel, ve Newton-Raphson yöntemleridir [14].

2.1.2.1 Gauss-Seidel Yöntemi

Bu yöntem ile bilinmeyenlerin başlangıç değerleri tahmin edilir, birinci eşitlikte elde edilen birinci bara gerilim değeri değer V_1, ikinci eşitlikte yerine koyularak ikinci bara gerilimi V_2'nin hesaplanması için kullanılır. Bu işlem, her eşitlik için, yakınsama kriterini sağlayana kadar devam eder [17], [18].

Gauss-Seidel yöntemi ile güç akışı problemi aşağıda anlatıldığı gibi çözülür:

Devreler teorisinden bilinen n baralı sistem için akım gerilim ilişkisi bara admitans matrisiyle aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$I_{bara}=Y_{bara}\ V_{bara} \tag{2.1}$$

Burada I_{bara} akım vektörünü V_{bara} ise gerilim vektörünü temsil eder. Bu eşitlik matris formunda yazılırsa

$$\begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \dots \\ I_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Y_{11} & Y_{12} \dots & Y_{1n} \\ Y_{21} & Y_{22} \dots & Y_{2n} \\ \dots & \dots\dots & \dots \\ Y_{n1} & Y_{n2} \dots & Y_{nn} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \dots \\ V_n \end{pmatrix} \tag{2.2}$$

elde edilir. Y_{ii} self admitans, Y_{ij} ortak (transfer) admitanstır.

(2.1) ve (2.2) eşitliklerinde bilinmeyenlerin [V_{bara}] olduğunu kabul edelim. (2.2) eşitliğinde gerilim değerleri yalnız bırakılırsa, Gauss-Seidel iterasyon denklemleri

$$V_1^{(i+1)} = \frac{1}{Y_{11}} (I_1^{(i)} - Y_{12}V_2^{(i)} - \dots - Y_{1n}V_n^{(i)}) \tag{2.3}$$

$$V_2^{(i+1)} = \frac{1}{Y_{22}} (I_2^{(i)} - Y_{21}V_1^{(i)} - \dots - Y_{2n}V_n^{(i)}) \tag{2.4}$$

$$\vdots \qquad \vdots \qquad \vdots \qquad \vdots$$

$$V_n^{(i+1)} = \frac{1}{Y_{nn}} (I_n - Y_{n1}V_1^{(i+1)} - Y_{n2}V_2^{(i+1)} - \dots - Y_{nn-1}V_{n-1}^{(i+1)}) \tag{2.5}$$

elde edilir. (2.3)-(2.5) eşitliklerindeki I_n yerine,

$$I_n = \frac{P_n - jQ_n}{V_n^*} \tag{2.6}$$

yazılabilir.

(2.5) ve (2.6) ile ifade edilen eşitlikler, sistemdeki tüm yük baraları için uygulanır. Yük baralarında P ve Q değerleri bilindiğinden V değerleri bulunmaya çalışılır. Salınım barasının gerilimi bilindiği için onun geriliminin hesaplanmasına gerek yoktur. Güç sisteminde n bara olması durumunda k. yük barası için Gauss-Seidel iterasyon denklemi aşağıdaki şekilde elde edilir:

$$V_k^{(i+1)} = \frac{1}{Y_{kk}} \left(\frac{P_k - jQ_k}{V_k^{(i)*}} - Y_{n1}V_1^{(i+1)} - Y_{n2}V_2^{(i+1)} - \ldots - Y_{nn-1}V_{n-1}^{(i+1)} \right) \quad (2.7)$$

(2.7) eşitliği i=0'dan başlayarak $V_k^{(1)}$ hesaplanır. Bu işlem

$$|V_k^{(k+1)} - V_k^{(k+1)}| < C_v \quad (2.8)$$

sağlanana kadar devam eder.

(2.8) ile ifade edilen eşitlik gerilim yakınsama kriterini gösterir. Tüm yük baraları için (k+1) ile (k) iterasyonları arasında hesaplanan gerilim değişimini gösterir. C_v değeri 0,001 ile 0,0001 arasında alınır [19].

Bu yöntem ile sistemdeki generatör baraları için güç akışı çözümü farklıdır. Generatör baralarında Q yerine V bilinmektedir. Q değeri generatörün reaktif üretimi ile sınırlıdır ve $Q_{maksimum}$ ile $Q_{minimum}$ arasında bir değerdir. Q'nun hesaplanması gerekir. Bara sayısı n olan bir sistemde m. bara generatör barası seçilirse bu baraya verilen kompleks güç,

$$S_m = V_m I_m^* = P_m + jQ_m \text{'dir.} \quad (2.9)$$

Başka bir ifadeyle,

$$I_m = \frac{P_m - jQ_m}{V_m^*} = Y_{m1}V_1 + Y_{m2}V_2 + Y_{m3}V_3 + \ldots + Y_{mn}V_n \quad (2.10)$$

ya da

$$P_m - jQ_m = V_m^{(i)*} \left(\sum_{j=1}^{n} Y_{mj}V_j^{(i)} \right) \quad (2.11)$$

yazılabilir. (2.11) eşitliğinin sanal kısmı alınırsa

$$Q = -I_m \left(V_m^{(i)*} \left(\sum_{j=1}^{n} Y_{mj}V_j^{(i)} \right) \right) \quad (2.12)$$

elde edilir. Burada tüm gerilim değerleri yerlerine koyularak Q_m değeri bulunur. Bulunan değer $Q_{maksimum}$ değerinden büyükse $Q_m = Q_{maksimum}$, küçükse $Q_m = Q_{minimum}$ değeri alınır. Hesaplanan Q_m, (2.7) eşitliğinde yerine koyularak gerilim hesaplanır.

Hesaplanan gerilimin genlik değeri generatörün maksimum gerilim değerinden büyükse generatörün maksimum gerilimi, küçükse minimum değeri alınır. Her iki durumda da gerilim açı değeri sabit tutulup bir sonraki iterasyonda kullanılır [20].

Yukarıda tüm yük ve generatör baraları için iterasyonlar (2.8) ile gösterilen eşitliği sağladıktan sonra salınım barası için güç akışı şöyle hesaplanır:

i ve *j* barasını bağlayan hattın seri admitansı ve şarj admitansı olursa

$$Y_{ij}= g_{ij}+jb_{ij} \tag{2.13}$$

i barasındaki toplam kompleks güç

$$S_i= P_i+jQ_i= V_i+I_i^* \tag{2.14}$$

şeklinde hesaplanır. Akım ve gerilim yerine

$$I_i^* = \sum_{j=1}^{n} Y_{ij} V_j \tag{2.15}$$

$$V_i = v_i (\cos\delta_i + j\sin\delta_i) \tag{2.16}$$

yazılırsa *i* barasındaki kompleks güç,

$$S_i = v_i \sum_{j=1}^{n} V_j (g_{ij}\cos\delta_{ij} + b_{ij}\sin\delta_{ij}) + j\, v_i \sum_{j=1}^{n} V_j (g_{ij}\sin\delta_{ij} + b_{ij}\cos\delta_{ij}) \quad (i=1,\ldots n) \tag{2.17}$$

şeklinde elde edilir. δ_{ij} *i* ve *j* bara gerilim fazörlerinin açıları arasındaki faz farkıdır. (2.17) eşitliği aktif ve reaktif güç olarak yazılırsa *i*. Baradaki aktif ve reaktif güçler elde edilir.

$$P_i = v_i \sum_{j=1}^{n} v_j (g_{ij}\cos\delta_{ij} + b_{ij}\sin\delta_{ij}) \tag{2.18}$$

$$Q_i = v_i \sum_{j=1}^{n} v_j (g_{ij}\sin\delta_{ij} + b_{ij}\cos\delta_{ij}) \tag{2.19}$$

Salınım barası için aktif ve reaktif güç değerleri hesaplanır.

[Y_{bara}] matrisi kullanılarak hesaplanan güç akışı, çok sayıda bara içeren büyük sistemler için çok sayıda iterasyon gerektirir.

Bu iterasyon sayısını azaltmak için her yük barasına her iterasyonda uygulanan bir düzeltme katsayısı uygulanır. Buna hızlandırma faktörü denir ve genellikle 1 ve 2 arasında bir değerdir [19].

2.1.2.2 Newton-Raphson Yöntemi

Newton-Raphson yönteminde bilinmeyenler için başlangıç değeri tahmin edilir, fonksiyonla ilişkilendirilmiş bağımsız değişkenler için hata düzeltmesi yapılarak fonksiyondaki düzeltme sıfıra götürülür. Hatanın sıfıra gitmesi için, fonksiyon x_0 civarında Taylor serisine açılarak iterasyon ile çözüme ulaşılmaya çalışılır.

$$V_i = |V_i| \angle \delta_i$$

$$V_j = |V_j| \angle \delta_j \tag{2.20}$$

$$V_{ij} = |V_i| \angle \theta_{ij}$$

$$P_i = \sum_{j=1}^{n} |V_i||V_j||Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \tag{2.21}$$

$$Q_i = -\sum_{j=1}^{n} |V_i||V_j||Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \tag{2.22}$$

Bu yöntemi güç akışı problemi çözümünde uygulamak için, *n* baralı güç sistemindeki herhangi bir *i* barasına akan kompleks güç yukarıdaki (2.21) ve (2.22) eşitliklerindeki gibi ifade edilebilir. Bara gerilimleri ve bara empedans matrisi polar koordinatlarda yazılırsa 1 numaralı bara, salınım barası olarak seçilip, 2. ve daha sonraki terimleri ihmal edilirse, (2.21) ve (2.22) eşitlikleri Taylor serisine açıldığında (2.23) eşitliği elde edilir.

$$\begin{pmatrix} \Delta P_2^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta P_n^{(k)} \\ \cdots\cdots\cdots \\ \Delta Q_2^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta Q_n^{(k)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial \delta_2} & \cdots & \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial |V_2|} & \cdots & \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \vdots & & \vdots & \vdots & & \vdots \\ \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial |V_2|} & \cdots & \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial |V_n|} & \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial |V_2|} & \cdots & \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial \delta_2} & \cdots & \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial |V_n|} & \cdots & \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \vdots & & \vdots & \vdots & & \vdots \\ \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial \delta_2} & \cdots & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial |V_2|} & \cdots & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial |V_n|} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta \delta_2^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta \delta_n^{(k)} \\ \cdots\cdots \\ \Delta |V_2^{(k)}| \\ \vdots \\ \Delta |V_n^{(k)}| \end{pmatrix} \tag{2.23}$$

(2.23) eşitliği kısaca

$$\begin{pmatrix} \Delta P \\ \cdots \\ \Delta Q \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} J_1 & \vdots & J_2 \\ \cdots & \cdots & \cdots \\ J_3 & \vdots & J_4 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta \delta \\ \vdots \\ \Delta |V| \end{pmatrix} \tag{2.24}$$

eşitliği ile ifade edilebilir. Burada jakobyen matrisinin J_1, J_2, J_3 ve J_4'ün elemanları (2.21) ve (2.22) eşitliklerinde gösterilen aktif ve reaktif güçlerin $\Delta\delta_i^{(k)}$ ve $\Delta|V_i^{(k)}|$ da hesaplanan kısmi türevleridir.

$$J_{11} = \frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = \sum_{j=1, j\neq 1}^{N} |V_i||y_{i,j}||V_j| \sin(\delta_i - \delta_j - \theta_{i,j}) \tag{2.25}$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_k} = |V_i||y_{i,k}||V_j| \sin(\delta_i - \delta_j - \theta_{i,k}),\ k \neq i$$

$$J_{12} = \frac{\partial Q_i}{\partial |V_i|} = \sum_{j=1, j\neq 1}^{N} |y_{i,j}||V_j| \sin(\delta_i - \delta_j - \theta_{i,j}) + 2|V_i||y_{i,i}| \sin(-\theta_{i,i}) \tag{2.26}$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial |V_i|} = |V_i||y_{i,k}||V_j| \sin(\delta_i - \delta j - \theta_{i,k}),\ k \neq i$$

$$J_{21} = \frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} = \sum_{j=1, j\neq 1}^{N} |y_{i,j}||V_i||V_j| \sin(\delta_i - \delta_j - \theta_{i,j}) \quad (2.27)$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_k} = -|V_i||y_{i,k}||V_j|\cos(\delta_i - \delta_j - \theta_{i,k}),\ k \neq i$$

$$J_{22} = \frac{\partial P_i}{\partial |V_i|} = \sum_{j=1, j\neq 1}^{N} |y_{i,j}||V_j| \cos(\delta_i - \delta_j - \theta_{i,j}) + 2|V_i||y_{i,i}|\cos(-\theta_{i,i}) \quad (2.28)$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_k|} = |V_i||y_{i,k}||V_j|\cos(\delta_i - \delta j - \theta_{i,k}),\ k \neq i$$

Newton-Raphson yöntemiyle güç akışı problemi aşağıdaki adımlar yardımıyla çözülür [21].

(2.21) ve (2.22) eşitliklerinden $P_i^{(k)}$ ve $Q_i^{(k)}$ k. iterasyon için hesaplanır. İterasyona sıfırdan başlanır; gerilim ve faz açılarının başlangıç değerleri kullanılır. Daha sonraki iterasyonlarda en son gerilim ve açı değerleri kullanılır.

(2.29) ve (2.30) eşitliklerinden $\Delta P_i^{(k)}$ hesaplanır.

$$\Delta P_i^{(k)} = P_i^{(verilen)} - P_i^{(k)} \quad (2.29)$$

$$\Delta Q_i^{(k)} = Q_i^{(verilen)} - Q_i^{(k)} \quad (2.30)$$

jakobyen matrisi hesaplanır.

jakobyen matrisinin tersi alınarak $\delta_i^{(k)}$ ve $\Delta|V_i^{(k)}|$ hesaplanır.

$\delta_i^{(k)}$ ve $|V_i^{(k)}|$'nın yeni değerleri aşağıdaki eşitliklerden bulunur.

$$\delta_i^{(k+1)} = \delta_i^{(k)} + \Delta\,\delta_i^{(k)} \quad (2.31)$$

$$|V_i^{(k+1)}| = |V_i^{(k)}| + \Delta|V_i^{(k)}| \quad (2.32)$$

ΔP ve ΔQ ile $\Delta\delta$ ve $\Delta|V|$ için verilen limitlere ulaşıncaya kadar iterasyona devam edilir. Salınım barasındaki *P* ve *Q* ile generatör baralarındaki *Q* (2.21) ve (2.22) eşitlikleri yardımıyla bulunur.

2.2 Güç Akışı Analizinde Kullanılan İterasyon Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Güç akışı analizlerinde kullanılan yöntemler şebekenin ve istenilen çözümün özelliklerine göre değişmektedir. Güç sistemlerinin gittikçe büyümesi ve daha fazla analiz yapma gereksiniminin artması, en kısa zamanda ve en fazla işi yapacak olan yöntemin seçilmesi zorunluluğunu getirmektedir. Bazı durumlarda birkaç yöntem kullanılarak çözüme ulaşılabilmektedir.

Örneğin, başlangıç olarak seçilen tahmini gerilim değerleri çözümden uzak ise öncelikle Gauss-Seidel yönteminin daha sonra Newton-Raphson yönteminin kullanılması sonuca ulaşmayı hızlandırmaktadır.

Gauss-Seidel yöntemi ile güç akışı problemini çözmek için genellikle başlangıç gerilimleri tüm generatör baralarında V_i^0= 1 p.u. ve açıları da δ_i^0= 0 kabul edilir. Her iterasyonda elde edilen değerler bir önceki iterasyona göre sabit kalmaktadır. Bu durum sonuca ulaşmak için çok sayıda iterasyon gerektirmektedir.

Newton-Raphson yönteminde Gauss-Seidel yöntemine göre daha fazla hesaba gerek vardır. Çünkü her iterasyonda jakobyen matrisinin hesaplanması ve lineer denklemlerin çözülmesi gerekir. Newton-Raphson yöntemi gerçeğe yakın çözüme Gauss-Seidel yöntemine göre daha az iterasyonla ulaşır.

2.3 Güç Akışı Analizlerinin Kullanıldığı Alanlar

Güç akışı analizleri, güç sistemi planlanması ve işletilmesinde kullanılır. Sistem planlanmasında amaç, tüm tüketim tesislerine yeterli, güvenilir, kaliteli, ekonomik ve sürekli enerji sağlamaktır. Güç sisteminin planlanması, iletim sistemi planlanma (iletim tesislerinin tasarımını, analizini ve iletim sisteminin gelişimini), güç sistemleri arasında enerji alışverişini, üretimin yeterli çalışmasını ve sisteme yeni ilavelerin fayda-maliyet analizlerini içerir. Üretim planlaması da güç sisteminin planlanmasının bir parçasıdır.

Güç akışı analizlerinin yaygın olarak kullanıldığı alan iletim sistemi planlamasıdır. İletim sisteminin gelecekte alacağı modeller hazırlanarak örneğin puant yük koşullarında oluşturulan modeller ile güç akışı analizleri yapılır. Bu analizlerle iletim sisteminde kullanılacak elemanların (iletkenlerin tipi ve kesiti, transformatörler, kapasitörler, vb.) karakteristik özellikleri belirlenir.

Güç akışı analizleri ile iletim hatlarının yüklenme durumları, baralarda limitler dışında kalan gerilimler, üretim tesislerinde üretilen reaktif büyüklükler ve işletmede karşılaşılabilecek diğer parametreler belirlenir. Puant yük koşulları yaygın olarak kullanılsa da bazen minimum yük koşullarında da güç akışı analizlerinin yapılması gerekir zira minimum yük koşullarında, puant yük koşulunda belirlenemeyen gerilim yükselmeleri olabilmektedir.

2.3.1 Güç Sisteminin Planlanması

Enerji iletim sisteminin üç temel fonksiyonu vardır; üretim sisteminde üretilen enerjiyi iletim sistemine aktarmak, dağıtım sistemine iletmek ve diğer sistemlerle enerji alışverişini uygun hale getirmektir. İletim sisteminin güvenilir olarak temel fonksiyonları yerine getirebilmesi, planlama kriterleri ve prensipleri ile mümkündür [22].

Sistem güvenilirliği, kısa süre güvenilirlik ve uzun süre güvenilirlik olarak iki açıdan değerlendirilebilir. İletim sistemi işletmecisi öncelikle kısa süre sistem güvenilirliği ile örneğin birkaç dakika, saat, gün ve ay olarak belirli bir işletme koşulunda sistemin kesintisiz olarak işletilmesi ile ilgilenir. İletim sistemi planlayıcısı ise sistemin kısa süre sistem güvenilirliği ile birlikte uzun süre örneğin 25 veya daha uzun yıllar süresince yeterli ve güvenilir olması ile ilgilidir.

İletim hatlarının tesis edilmesi için uzun zaman gereklidir. Gerekli olduklarında devrede olacak şekilde önceden planlama yapılması gerekir. Gelecekte olası bir işletme koşulu değişikliğinde örneğin belli bir bölgedeki öngörülmemiş yük artışı ve üretim sistemindeki değişiklik gibi belirsizlikler, iletim sistemi planlayıcısının en ekonomik çözümü sağlamak için birkaç alternatifi dikkate alarak planlama yapmasını gerektirir.

İletim hatlarının planlanmasına başlamadan önce, uzun dönem yük tahminleri ve üretim tahminleri tamamlanmalıdır. Uzun dönem yük tahminleri, iletim sisteminin her bölgesindeki mevcut durum dikkate alınarak 25 yılı kapsayacak şekilde maksimum ve minimum yüklerin yıllık olarak belirlenmesi gerekir. Yük tahminleri, mevcut ve geçmişte gerçekleşen yük eğilimleri, nüfus artışı ve ekonomik göstergeler baz alınarak yapılır. Üretim planlamasında, tüketim tesisleri için ekonomik, yeterli kalitede ve güvenilir yedek kapasiteli üretim kaynakları seçilir. Yeni üretim kaynaklarının tesis edilmesi veya

mevcut tesislerin kapasitelerinin artırılması, öngörülen yükleri karşılayacak ve belirlenen zamanda devrede olacak şekilde planlanmalıdır.

Uzun dönem yük tahminleri ve üretim planlaması sonucunda iletim sistemi için temel fonksiyonlarını yapacak şekilde uzun dönemde alacağı durum tasarlanır. İletim sistemi planlamasında aşağıdakilerin belirlenmesi gerekir:

- Yeni hatların güzergâhı
- Hatların devre sayısı
- Gerilim seviyesi
- Hatların taşıma kapasitesi
- Trafo Merkezi (TM) sayısı ve yeri
- Bara ve kesici konfigürasyonu
- Kesici kapasiteleri
- Transformatörlerin sayısı, yeri, gerilimi ve kapasiteleri

Güç sisteminin planlanmasında, temel prensiplerle, bir veya birkaç elemana bağımlı kalmayacak şekilde sistem elemanlarının dengeli ve eşit oranda kullanılması planlanmalıdır. Güç sistemi planlaması ile ilgili prensipler aşağıda tanımlanmıştır:

- Yükün büyüklüğü üretim ünitesi ve üretim tesisi büyüklüğü bir veya birkaç iletim hattı ile iletilen enerji miktarı ve diğer sistemlerle olan bağlantı kapasitesi temel alınarak güç sistemi elemanlarında dengeli bir yüklenme sağlanmalıdır. Bu işlem bir noktada veya bir bölgede gereğinden fazla kapasiteli üretim ünitesinin veya üretim tesisinin olmasından kaçınarak, bir transformatör, herhangi hat, devre, direk veya herhangi bir TM ile gereğinden fazla enerji iletmekten kaçınarak ve diğer güç sistemleri ile üretim ünitelerini, üretim tesislerini ve sistem yüklerini eşit oranda paylaşacak kapasitede enterkonnekte hatların sağlanması.
- Kısıtlılık hallerinde sorun yaşamayacak şekilde ve işletmede sağlayacağı rahatlık dikkate alınarak normal yük koşullarında iletilecek enerjiden daha fazla taşıma kapasiteli hatların tesis edilmesi.

- Tüm sistem elemanlarının tasarlanmış yüklenme sınırları içerisinde kalacak şekilde güç sisteminin işletilmesi.
- Plansız ve kontrolsüz enerji kesintisine sebep olmadan sistem elemanlarının bakımının yapılması ve sistemin etkili olarak işletilmesi herhangi bir arıza esnasında arızalı kısmı diğer sistemden en kısa sürede ayırarak ve sistemde devre dışı olan bölümü kısa sürede devreye alabilecek şekilde planlanması.

İletim sistemi elemanlarının yüklenme kriteri, elemanlarının taşıma kapasitelerine dayandırılır. İletim sistemi elemanlarının normal ve acil durumlarda taşıma kapasiteleri belirlenir. İletim elemanlarının acil durumlardaki taşıma kapasitesi, iletim sisteminde meydana gelen bir arızadan sonra bu elemanın tamiri süresince veya işletme değişikliği yapabilmek için gerekli süre içerisinde normal olarak işlevini yapabilmesidir. Acil durumların süresi, örneğin büyük güçte bir üretim tesisinin kaybedilmesinden sonra veya iletim sisteminde meydana gelen bir arızadan sonra başka bir üretim tesisinin devreye girmesi için bu süre iki saat olabilir. Bir iletim hattının tamir edilmesi 2-10 gün, transformatörün değiştirilmesi ise bir ay süre alabilir. Böyle acil durumlarda iletim sistemi elemanlarının sorunsuz olarak işlevini yapması beklenebilir. Bulundukları ortam göz önüne alınarak, iletim hatlarının acil durumlarda normal taşıma kapasitelerinin %10-%20 üzerinde, transformatörlerin ise normal taşma kapasitelerinin %30-%50 oranında yüklenmeleri kabul edilebilir [22], [23].

2.3.2 Genel Ağ Şebeke (Enterkonnekte) Sistemi

Enerji sektöründeki gelişmelere bağlı olarak her bir bölge için üretilen elektrik enerjisinin tüketim için uygun olmadığı görülmüştür. Buna bağlı olarak üretim için kurulan santrallerinin yerleri ve üretimde kullandıkları yer altı kaynaklarının ekonomik olması istenmektedir. Bu nedenle su santralleri için su kuvvetinin ve inşaatının en müsait durum arz eden yere, termik santrallerin ise kömürün çıkarıldığı yere kurulması gerekir. Aynı şekilde taşkömürü, doğalgaz, petrol, rüzgâr ve jeotermal santralleri için de benzer durumlar veya özelliklerine göre farklılıklar bulunmaktadır.

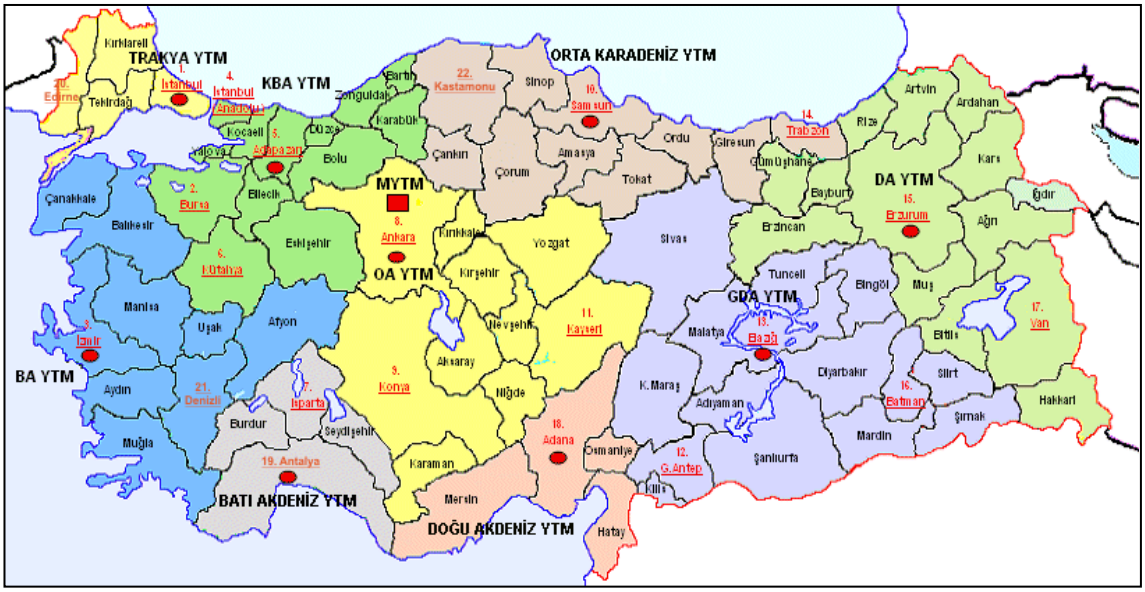
Elektrik santralleri en müsait yerlerde, muhtelif tip ve kapasitelerde kurulur. Bunlar bir birlerine yüksek veya çok yüksek gerilim grubuna dâhil olan gerilimlere sahip enerji

nakil hatları ile birleştirilerek mevcut bölgelerin elektrikle beslenmesi gerçekleştirilir. Böylece enerji nakil hatları, bütün bölgenin elektriklendirilmesini temin edecek şekilde tertip ve tesis edilirler.

Bir memleketin tamamının veya belli bölgelerinin elektrik enerji ihtiyacını karşılayacak üretim ve tüketim merkezleri arasındaki enerji alışverişini temine yarayan enerji nakil hatlarının teşkil ettiği sisteme genel ağ sistemi (enterkonnekte sistem) denir. Genel ağ sistemini besleyen santraller, muhtelif tip ve kapasitede termik, taşkömürü, doğalgaz, petrol, rüzgâr, jeotermal ve hidroelektrik santraller olabilirler.

Santrallerde üretilen elektrik enerjisi yükseltici trafo yardımıyla 154 kV'luk genel ağ şebekesine bağlanarak, alçaltıcı trafolar vasıtasıyla elektriklendirilen bölgeleri beslemektedir. Her bölgedeki enerji dağıtımı yukarıda izah edildiği şekilde yapılır. Belli bir yerdeki santral 154 kV 'luk genel ağ sistemini beslemekten başka, bir de kendi bara sistemleri üzerinden bulundukları bölgeyi de doğrudan doğruya besleyebilirler. Buna benzer durumlar 380 kV ve 66 kV 'luk gerilimli şebekelerde de geçerlidir [24], [25].

Genel ağ şebeke sistemin üretim ve tüketim yönünden emniyetli, kaliteli ve ekonomik olarak işletilmesine devamlı olarak nezaret eden, işletme manevralarının koordinasyon ve kumandasını yapan işletme merkezine, yük tevzi merkezi adı verilir. Şekil 2.1'de Türkiye'deki yük tevzi merkezleri görülmektedir [24].



Şekil 2.1 Türkiye yük tevzi merkezleri

2.3.3 Güç Sistemi Kontrol Merkezi ve Uç Birim Yapıları

Güç sisteminde hat, istasyon, transformatör, kesici ve benzeri yapıların hızla çoğalması çalışmanın karmaşasını artırmış ve tüm sistemin bir merkezden, diğer adı ile "güç sistemi kontrol merkezinden" (energy control center) kontrolünü gerekli kılmıştır. Böyle bir merkeze ihtiyaç duyulmasının iki önemli nedeni güvenirlik ve ekonomik üretim yapma ihtiyacıdır [20].

Güç Sistemi Kontrol Merkezinde (GSKM) hem normal çalışmada hem de acil çalışma koşullarında sistem elemanlarından gelen durum bildirimleri incelenir ve değerlendirilir. GSKM'yi besleyen bilgilerin kaynağı sistemin algılayıcıları olan uç birimlerdir (UB). Bu birimler (remote terminal units) sistemin parmak uçları, reseptörleridir. UB'ler alt istasyonlara monte edilir; görevi ise konulduğu alt istasyona ilişkin akım, gerilim, güç akışı ve çeşitli durumları merkezi bilgisayara iletmektir. UB'ler aynı zamanda merkezden gelen emirleri de uygulamakla görevlidirler. Bunlar algıladıkları analog değerleri örnekler ve elde edilen işareti dijital forma çevirerek modem sistemi yardımı ile GSKM'ne gönderirler. UB'ler GSMK'ler tarafından sorgulama protokolleri yardımı ile belirli aralıklarla sorgulanırlar. GSKM gerek normal koşullarda gerekse acil durumlarda sistem elemanlarından gelen cevapları koordine eder, değerlendirir. Normal çalışma şartlarında asıl yoğunluk bilgisayardadır. Sistem içindeki anormallikleri arama ve operatörü uyarma yazılımın görevidir. Bu uyarı ışık, zil ve bilgisayar ekranı yardımı ile olur. Düşük seviyeli anormallikler doğrudan bilgisayar denetimi ile giderilebilir.

Örneğin bir generatörün limit değerleri aşılıyorsa GSMK artan yükün diğer generatörler tarafından paylaşımını sağlayabilir. Fakat çok ciddi durumlar karşısında nihai kontrol işareti operatör (dispatcher)tarafından verilir. Bilgisayarın bu durumdaki görevi gelen bilgi akışını değerlendirip arıza teşhisi yapmak ve operatöre yardımcı olmaktır. Sistemi kararlı duruma getirme ve düzeltme adımları operatörün sorumluluğuna bırakılmıştır.
Acil durumlarda operatörün algılaması ve en isabetli kararı vermesi gecikme problemini gündeme getirmektedir. Operatörün sistem üretimini izlemek ve kontrol etmek değişen şebeke şartlarını izlemek ve kontrol etmek, hat açmak ve kapamak, sistem işletimine müdahale etmek ve rapor hazırlamak gibi önemli görevleri vardır.

Bu nedenle enterkonnekte sisteme verilen enerjinin üretim, iletim ve dağıtımını kontrol eden cihazların her an optimum çalışma koşullarını arayan, bulan ve kontrol eden bir sistemi içinde çalıştırılması oldukça önemlidir. Danışmalı kontrol ve veri toplama sistemi (Supervisory Control And Data Acquisition) kısaca SCADA, büyüyen ve gittikçe kontrolü zorlaşan enerji sistemleri için vazgeçilmez bir araçtır. Gerek sistem emniyetinin en üst düzeyde temini ve gerekse abone taleplerini istenilen nitelikte ve en makul sürede karşılayabilmenin en az riskli yolu SCADA sistemidir.

2.4 Güç Akışı Problemleri ve Karşılaşılan Zorluklar

Güç akışı probleminin çözümü bilgisayarda matematiksel olarak kesin bir şekilde elde edilebilir. Güç akışı analizinin çözümünde karşılaşılan zorluklar değişik baralar için bilgilerin farklılığından ileri gelmektedir [26],[27]. Güç akışı problemlerinin sayısal çözümleri, bilinmeyen bara gerilimlerine tahmini değerler verip tarif edilen aktif ve reaktif güçler ve baralardaki tahmini değerlerden her bara için yeni bir gerilim değeri hesaplamak suretiyle yapılır. Güç akışı analizinde bir bara hariç diğer tüm baralarda şebekeye giren aktif güç belirlenmelidir. Yükün çektiği güç sisteme giren negatif güç, diğerleri ise generatörler ve sistem üzerinden gelen pozitif ve negatif güçlerdir. Bununla birlikte baralardan sisteme giden reaktif güç ve gerilimin genliği tarif edilmelidir; her barada reaktif güç akışı veya gerilimin genliğinden hangisinin sabit tutulacağına karar verilir. Genel olarak güç akış analizlerinde generatör baralarında gerilimin genliği, yük baralarında ise aktif ve reaktif güçler tanımlanır [28]. Ayrıca, hat tıkanıklığı gibi durumlarda güç sistemlerinin verimli bir şekilde çalışabilmesi için aşırı yüklenmenin engellenmesi ve bu durumun iyi yönetilmesi gerekir [29]. Normal şartlar altında yük sistemleri sabit durumda çalışırlar. Güç akışı hesaplamaları çalışma şartlarının ve sistemin durumunun anlaşılması için gerçekleştirilir. Sistemin muhtemel uzun vadeli değişikliklere dayanıklı olup olmadığı öngörülen yük artışlarına göre yapılacak yeni güç akışı hesaplamalarıyla belirlenir ve bu sonuçlara göre geleceğe yönelik yöntemler belirlenir. Güç akışı hesaplamaları muhtemel problemli, mesela hat kaybı gibi durumlarda alternatif yollar bulmakta kullanılır [30].

2.5 Güç Akış Analizlerinde Kullanılan Yazılımlar

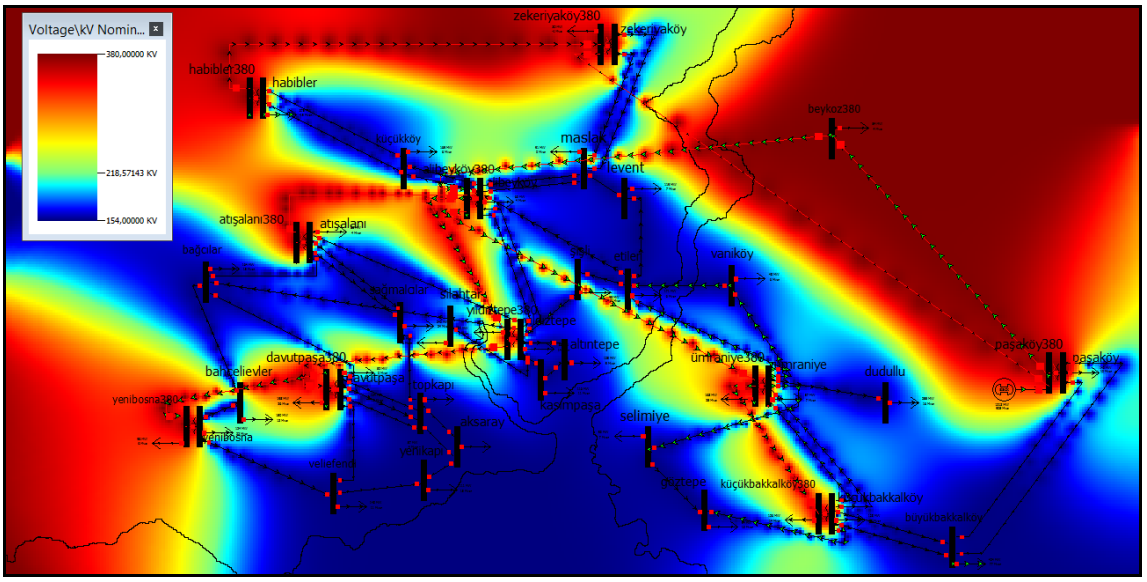
Güç akış yazılımları bir akış için gerilimin genliğini, faz açısını ve iletimi hattındaki güç akışını kararlı hâl çalışma koşulları altında hesaplar. Günümüzde bilgisayarlar 100000 bara ve 150000 iletim hattı içeren şebekeler için etkili güç akış çözümlerini yeterli depolama ve hıza sahip olarak sunabilmektedir. Ayrıca interaktif güç akış programları aracıyla analiz sonuçlarının bir tek hat şeması şeklinde bilgisayar ekranında görüntülenebilmesi ve hızlı ve kolay bir şekilde yapılan değişikliklerin sonuçlarının görselleştirilebilmesi mümkündür [31].

Güç akış analizleri iletim ve dağıtım güç sistemlerinde derinlemesine çalışmaların ayrılmaz bir parçasıdır. Güç akış analizleriyle enerji üretim, iletim ve dağıtım sistemlerinin tasarımından önce performans ve güvenlik gereklilikleri gerçek zamanlı olarak belirlenmektedir. Bilgisayar destekli güç akış analizlerinin var olmasından bu yana daha hızlı ve gelişmiş algoritma ve benzetim teknikleri geliştirilmiştir [32].

Güç akışı çalışmaları güç sisteminde gelecekteki büyümenin planlaması için olduğu gibi ayrıca sistemin en iyi çalışma koşullarının da belirlenmesi açısından önemlidir [33]. Özellikle son yıllarda çoğu ülkede meydana gelen sistem çökmeleri nedeniyle hem mühendislik uygulamaları, hem de ekonomik hesaplama ve beklenmedik olası durumların analizleri için güç sistem yazılımlarının kullanılması zorunlu hale gelmiştir [34].

Power System Toolbox (PST), MatPower, Voltage Stability Toolbox (VST) ve SimPowerSystems (SPS) gibi özellikle kararlı hâl ve geçici hâl simülasyonu yapan, MATLAB/Simulink tabanlı, ücretsiz veya ticari, eğitim ve araştırma amaçlı güç sistem araç ve yazılımları mevcuttur. Bunların yanında DIgSILENT/PowerFactory, PSS/E, PSCAD, NEPLAN, PSS SINCAL, EUROSTAG, SIMPOW, PowerWorld [35] diğer çok yaygın güç sistem simülasyon araçlarıdır [36].

Şekil 2.2'de PowerWorld programı kullanılarak 41 baralı örnek bir sistem üzerinde güç akış analizi yapılarak iletim hatlarının 380 kV ve 154 kV gerilim seviyeleri dikkat çekici şekilde görselleştirilmiştir.



Şekil 2.2 PowerWorld programıyla güç akış analizinin gerçekleştirilmesi

Gerçek hayatta bir tasarım mühendisi çok geniş bir yelpazede (var olan hatların kapasitesinin arttırılması, yeni hatlar yapılması, yeni generatör ünitelerinin eklenmesi, dağıtım sistemindeki değişikliklerle trafoların yüklerinin kaydırılması vb.) farklı tasarımlar sunabilmelidir [37]. Yapılan analiz sayesinde yüksek yüklü ve yakınındaki düşük yüklü trafo merkezleri beraber görülebilmekte bu sayede yük atma ihtimali olan trafo merkezleri önceden belirlenebilir. Elde edilen sonuçlar iletim sistemi planlama çalışmaları için önemli fikirler vermekle birlikte, örneğin çok önceden karar verilmesi gereken kamulaştırma gibi bir yatırım faaliyetinin zamanında başlatılması söz konusu olduğundan önceden yapılacak analiz son derece önemlidir [38].

BÖLÜM 3

GÜÇ AKIŞ ANALİZLERİNİN GÖRSELLEŞTİRİLMESİ

Güç sistemlerinin işletilmesinin etkili bir biçimde yapılabilmesi için güç sistem mühendisleri ve operatörleri çok fazla miktarda bilgiyi analiz etmelidir. Binlerce baranın olduğu bir sistemde yetkili teknik personelin öngörüde bulunması ve hızlı bir şekilde sistemin durumunu belirlemesi için elde edilen verilerin algılanmasının ve yorumlanmasının kolay olduğu bir biçimde sunulması önemli bir sorundur. Bilgisayarlı görselleştirmenin amacı binlerce kelimeyle anlatılabilecek veya elektrik sisteminde binlerce sayıyla ifade edilebilen verinin bilgisayarda hazırlanmış görüntülerle anlatılmasıdır [39].

Güç sistemleri gün geçtikçe büyümektedir. Bu da izlemek ve kontrol etmek için daha fazla bara ve diğer cihazlar olacağı anlamına gelmektedir. Bir iletim sisteminin durumunu anlamanın kilit noktası, güç akışı ve çeşitli iletim hatlarının yüzde olarak yüklenmelerinin bilinmesidir. Bu işlem özellikle büyük sistemler için hayli zordur. İletim sistemindeki güç akışını temsil etmek için kullanılan en yaygın yöntem tek hat diyagramıdır [40]. Geleneksel olarak güç sistemlerine ilişkin bilgiler tek hat diyagramında nümerik alanlarda gösterilir. Buna ek olarak kontrol merkezlerinde statik bir harita ekran üzerinde çeşitli renkteki ışıklarla dinamik olarak gösterim de mevcuttur [41]. Geleneksel olarak hatlardaki MW/MVAr/MVA akışları dijital alanlarda gösterilir. Bu tek bir hattaki değer için tam doğru sonucu verir ve iyi çalışan bir yöntemdir. Tipik enerji yönetim sistemlerinde tehlikeli sınırlara dikkat çekmek için bu gösteriş alarmlarla güçlendirilmiştir [40].

Güç akış sonuçları genellikle tablo, çubuk grafiği şeklinde veya .txt formatında olup görsellikten uzaktır. Bu gösterimler, analizlerin çözümlenmesini zorlaştırmakla beraber, gereken müdahale ve yatırımın anlaşılmasını geciktirmektedir [42]. Bu şekildeki gösterimlerde sistem topolojisi hakkında sonuç çıkarmak mümkün değildir. Tüm bilgiler bulunmasına rağmen ilk bakışta sistemin neresinde önemli bir güç akış sorunu olduğunun tespit edilmesi oldukça zordur. Bunun üstesinden gelmek için güç sistem kontrol merkezlerindeki görevliler genellikle bara gerilimlerini ve güç akışlarını içeren topolojik şemalar kullanır. Ancak ilgili teknik görevli hâlâ bazı bölgelerde sorun olup olmadığını anlamak için gerilim ve hatlardaki akış değerlerini okumak zorundadır [43]. Bu durum harita üzerinde bara ve hat bulunan her yerde sayısal verileri içeren metinlerin bulunması anlamına gelmektedir. Harita üzerinde çok fazla metnin bulunması durumunda haritanın genel görünümünde veya sistemin geniş bir bölgesinin görüntülenmesi durumunda bu değerlerin okunması mümkün olamamaktadır ve önemli bir sorun oluşturmaktadır.

Enterkonnekte elektrik şebekelerinin büyüklüğü ve karmaşıklığı sistem operatörleri için de önemli sorunlar oluşturmaktadır. Değişik koşullar altında son derece karmaşık bir ortamda operatörlerin olası sorunları tespit etmesi ve doğru çözümleri belirlemesi için hızlı yanıt verebilecek yardımcı araçlar gereklidir. Tek hat diyagramları kontrol alanının tamamının durumunu gösterebilir ancak ölçüm sayıları her bölge için okunaklı olması gerektiği için sınırlıdır. Örneğin bir iletim hattının yüklenmesi ile ilgili MW, MVAr, MVA gibi ölçüm değerleri hattın bir tarafında veya her iki tarafında olabilir. Aynı şekilde hattın sonunda her iki tarafta da gerilim değeri olabilir. Bu durumda geniş bir alana yayılan iletim sisteminde tüm bu verileri bulundurma imkânı vardır ancak çok fazla miktardaki verinin görüntülenmesi operatöre aşırı işlem yükü getirmektedir. Bu sorunun genel çözümü, baraların sayısal verilerinin ayrı ekranlarda sunulması, tek hat diyagramlarında çok az veya hiç veri gösterilmemesidir. Görüntüler yığılmayı en aza indirmek için ve sadece önemli ayrıntılara dikkat çekmek için akıllıca tasarlanmış ise basit metinler ve geleneksel vektör tabanlı tek hat diyagramlarından çok daha çarpıcı bir şekilde bilgi aktarımı mümkün olabilir [44].

Önceleri görselleştirme teknikleri hat gerilimleri, bara gerilimleri gibi tek tip belirli bir mekâna odaklı veriler için oldukça yararlıydı. Ancak enerji yönetim sistemlerinde

genellikle çok miktarda çok değişkenli veri ile karşılaşılır. Örneğin ilgilenilen veri, bara gerilim genlikleri, iletim hattı yüklenmeleri, generatör aktif ve reaktif üretim miktarı, bölgelere arası planlanan ve fiili akış miktarları gibi potansiyel olarak bağımlı ve bağımsız değişkenlerden oluşan büyük bir liste içerebilir. Elektrik enerji sisteminin yeniden yapılanmasında büyük miktardaki sistem verisinin yenilikçi yöntemlerle sunulması gerekmektedir. Bu nedenle son yıllarda bir dizi görselleştirme tekniği ve kullanıcıya çeşitli verileri kolay okunur ve görsel olarak çekici hale getirmek için görselleştirme teknikleri ve yazılımları geliştirilmiştir [45].

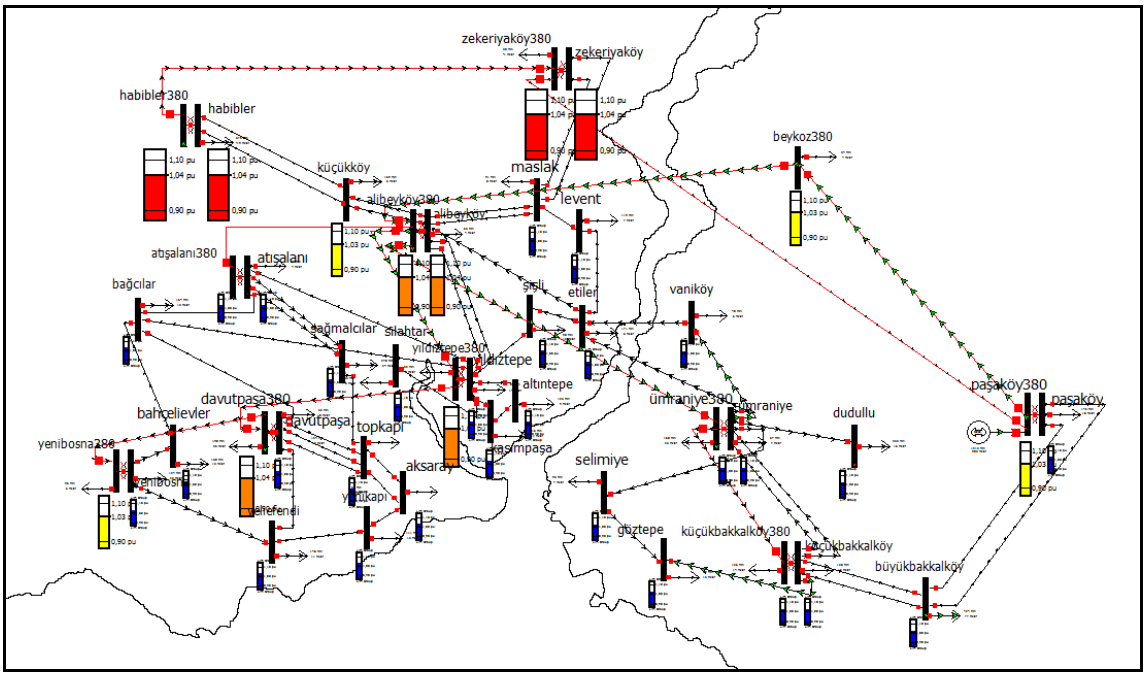
Sistem görselleştirme analizlerinden önce tam olarak sistem davranışını anlamak için ağ topolojisi hakkında bilgi edinmek gerekir. Diğer bir deyişle sistemin tam olarak resmini görebilmek için geleneksel iki boyutlu görselleştirme nispeten yüksek seviyede teorik bilgi gerektirir. Enerji kontrol merkezleri hem normal işletme koşullarında hem de tehlikeli durumlarda sistem elemanlarının tepkisini koordine etme fonksiyonunu yerine getirir. Normal koşullarda tekrarlayan çalışmalar için bilgisayarlar kullanılırken seçici izleme denilen beli bir bölgeye yoğunlaşarak yapılan çalışmalarda operatörler kullanılır [46]. Güç sistemlerinin güvenliği alanında çalışan personeller sürekli olarak doğru ve tam sistem bilgilerine erişebilmeli ve bu bilgileri uygun bir biçimde yorumlayabilmelidir [45]. Görselleştirme yazılımları çok büyük miktarda bilginin tek bir bilgisayar tarafından oluşturulan görüntü içine yerleştirilmesini sağlar ve bunu izleyenlerin daha önceden olmadığı kadar hızlı ve doğru yorum yapabilmesine olanak verir. Elektrik şebekeleri giderek daha geniş alanlara yayıldıkça, iletim ve üretim rekabetçi pazarlar haline geldikçe, işlem sayısı ve karmaşıklığı büyüdükçe bu tür yazılımlar gün geçtikçe daha kullanışlı olmaya başlamıştır. Bu tür araçlar kullanılarak uzun vadede darboğaz yönetimi, power trading (enerji alışverişi), pazar organizasyonu ve yatırım planlaması karar verme süreci hızlandırılır [47].

Görselleştirme uygulamalarının bir diğer yararı da belirli özellikleri sistemin tamamının gerçek zamanlı modellemesine ihtiyaç duymadan gösterilebilmesidir. Büyük ölçekli güç sistemlerinin izlenmesinin en büyük avantajlarından biri gerçek bir coğrafi tabanlı düzendeki şebekeyle sistemin tek hat diyagramı arasında ilişki kurmaya olanak sağlamasıdır. Bu diyagramlar binlerce iletim hattını içermekte olup, görselleştirme operatörün çabuk bir şekilde transfer ve dağıtımdaki güç akışının etkilerini, aşırı yüklü

elemanları, sistem kısıtlamalarını ve kontrol bölgelerini gözlemleyebilmesine olanak sağlar. Yakınlaştırma ve görüntüyü döndürme gibi çeşitli özellikler sayesinde yapılan çalışma diyagram veya tablo şeklindeki bir gösterime kıyasla çok daha anlaşılır olur [48].

Bu çalışmada kullanılan görüntüleme yöntemi geniş bölge görüntüleme olarak tanımlanabilecek, operatörlerin aşinalığı nedeniyle nispeten daha çok kullanılan 2-boyutlu tek hat şeması gösterimidir. Sistem bileşenleri ile coğrafi konum arasındaki ilişkiyi en doğru ve kolay şekilde veren görüntüleme şeklidir. Çünkü sistem genelindeki özellikleri yorumlamak için bir bağlantı görevi görür. Bir sistemin haritasını tasarlamak için her elemanın coğrafi koordinatları gereklidir. Özellikle küresel konumlandırma sistemlerinde kullanılmak üzere bileşenlerin yerini gösteren ayrıntılı veri tabanları önceden oluşturulduğu için coğrafi koordinat bilgileri hazır olarak elde edilebilir. Geliştirilen bir uygulamayla tesis bileşenlerinin coğrafi koordinatlarının verilerini içeren bir metin dosyası oluşturulabilir. Harita üzerinde sistem bileşenlerini konumlandırmak için bu dosya kullanılabilir. Bu sayede çok geniş bir alana yayılı enerji tesislerinin harita üzerinde değişik ölçeklerle gösterimi mümkün hale gelebilmektedir. Ayrıca güç akış analizi sonuçlarıyla sistem karakteristikleri, eğilimleri ve olası problemler görselleştirilebilir [49].

Tek hat diyagramlarının görselleştirilmesi ile ilgili olarak ilk yapılan çalışmalarda her bir baranın yanında termometre benzeri göstergeler kullanılmıştır. Daha sonra bu şekildeki sunum biraz daha geliştirilmiş ve kritik değerlerde göstergelerin boyutu büyüyüp, rengi değişecek şekilde daha dinamik bir görüntü elde edilmiştir ancak yine de büyük sistemlerdeki karışıklık tam olarak giderilememiştir. Şekil 3.1'de bu duruma örnek olarak Poweworld programında oluşturulan bir görüntü verilmiştir. Uzun yıllardır tek hat diyagramları sayısal görüntülemeyle her baranın yanına yerleştirilerek sunulmuştur. Bunun avantajı sonuçların yüksek doğrulukta olması ve baranın yakınında herhangi bir yere yerleştirilebilmesidir. Dezavantajı ise birinin çok fazla bara ile ilgili değerlere ihtiyaç duyması halinde kullanışlı olmaması ve istenen değeri bulmanın çok fazla zaman almasıdır. Bunun üstesinden gelmek için düzey haritası (contour) yöntemi geliştirilmiştir [40].



Şekil 3.1 Örnek sistemde bara gerilimlerinin dinamik göstergelerle sunulması

Düzey haritası yüzey üzerinde farklı alanlara dağılmış sürekli verilerin görüntülenmesi için yaygın olarak kullanılmaktadır Güç sistem verilerini düzey haritası ile görüntülemedeki problem bunun mekânsal olarak devam etmemesidir. Örneğin gerilim genliği sadece baralarda var olan bir şeydir. Bu nedenle iki boyutlu düzey bölgeleri arasında uzatılan sanal değerler oluşturulmalıdır. Sanal değer tüm veri noktalarındaki farklı sonuçlar veren farklı ortalama fonksiyonlarının ağırlıklı ortalamasıdır. Bu sanal değerler bir kere hesaplanınca ekranda gösterilen renklerle nümerik sanal değerler arasında ilişki kuran bir renk haritası elde edilir. Baralar ve hatlar arasındaki alan düzey haritasında boşluk olarak değil devamlı eğimler olarak görünür [47].

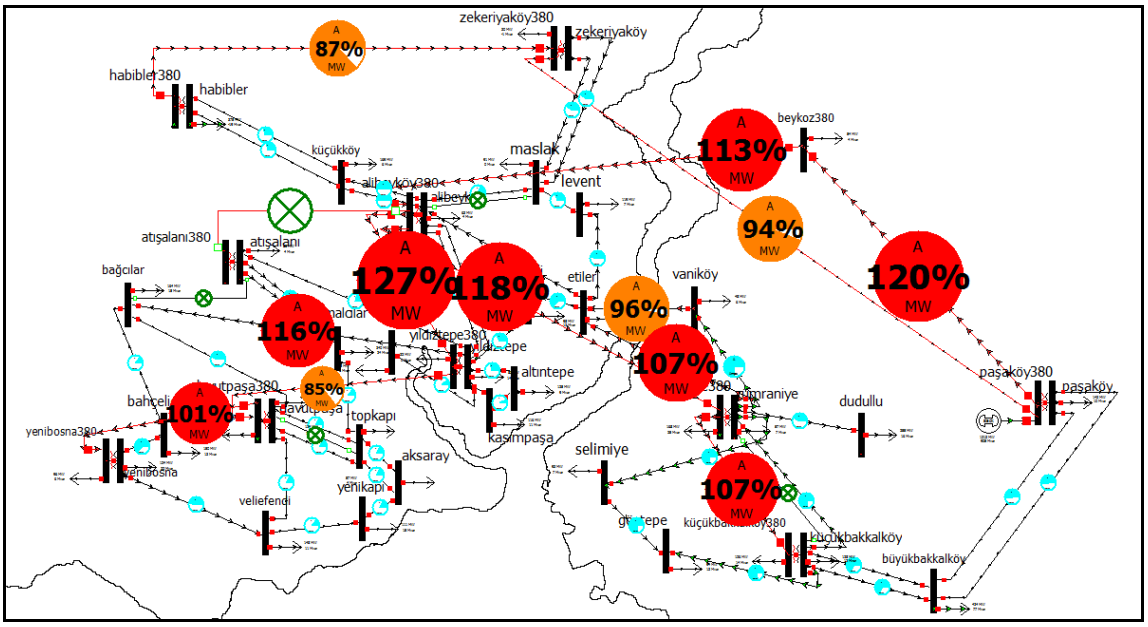
Düzey haritası yöntemi çok kullanışlı bir görselleştirme tekniğidir ve belirli özelliklerin çok değişik şekillerde yüzeysel görünüşüne imkân verir. Şekillendirme kullanıcı ile çok büyük miktardaki bilgi arasında çok çabuk şekilde iletişimi sağlar. Zira kullanıcıya diyagram içindeki istisnai değerleri kolayca tarayabilme imkânı vermektedir. Örneğin yüksek veya düşük gerilimler, renklendirme sayesinde kolayca ayırt edilebilir. Baraların, hatların veya herhangi bir bölgenin görselleştirilmesi yapılabilir. En yaygın kullanılanı bara p.u. gerilim değerleri, faz açıları, hatlardaki güç akışı değerleridir. Renkli haritalardaki eşdeğer çizgilerin aralıkları, renk kontrastı, doygunluğu, diğer bazı ayarlar

kullanıcı tarafından kolaylıkla uygulanabilir [48]. Bu sayede hangi büyüklüğe odaklanılacağı, hangi büyüklüğün arka planda kalacağı veya nesnelerin önemli/önemsiz görünmesi sağlanabilir [50].

Bir düzey haritasının temel amacı düğümler ve hatlar arasındaki karmaşık yapay alanlardan ziyade verideki eğilimleri göstermektir. Değerler sadece bara ve hatlarda kesindir. Renkler veri noktalarına yakın bir ağırlıklı ortalama temsil etmek için kullanılırlar. Bu renk dereceleri veri ile yüzeysel ilişkiyi sağlar [47]. Ayrıca düzey haritası herhangi bir niceliğin bölgeye göre nasıl değiştiğini göstermektedir. Özellikle geniş bölge görüntüleme sistem elemanlarının coğrafi tertibini yansıttığı için düzey haritası çizimi bara geriliminin (veya hat yüklenmesinin) sistem boyunca nasıl değiştiği gibi bilgileri resmedebilmektedir. Bu görselleştirme operatörün sistemi kuşbakışı bir bütün halinde izlerken ilgi çekecek özel bölgelerin tam olarak tespit edilmesine izin verir [45].

Düzey haritası sistem güvenliği ile ilgili bilgiler için kullanılabileceği gibi güç piyasası bilgileri için de kullanılabilir [51]. Düzey haritası tekniği hatlardaki güç akışı, bölgesel marjinal fiyatlar, transfer kapasitesi, beklenmedik olası durumların analizi gibi çeşitli verilerin görselleştirilmesi için daha da geliştirilmiştir [43]. Renkli düzey haritaları kullanıldığında, kullanıcı bir rengin hangi gerilim değerini sunduğunu renkler arasındaki farkı gözeterek anlayabilir. Çünkü kullanılan renkler bir değer veya anlam ifade eder [41]. Düzey haritaları kendini çok kısa sürede yenileyebilecek şekilde tasarlanır. Örneğin gerilim dağılımını tanımlayan bir uygulamada veri sunucusundan yeni değerler elde edildiği zaman düzey haritasının kolayca ve çok çabuk güncellenmesi sağlanır. Yapılan çalışmalar göstermektedir ki düzey haritası kullanımı kullanıcının dikkatini sistemin belirli bir bölgesine odaklaması açısından oldukça etkili bir yöntemdir [44].

Güç akış analizlerinin bir diğer görselleştirme yöntemi daire grafiktir. Bu tarz gösterim hangi iletim hattı veya trafonun sınırlarına yaklaştığını, sınırlarını aştığını veya servis dışı olduğunu göstermek için kullanılır [52]. Daire grafiğin boyutu ve rengi yüklenme belirli bir eşiğin üzerine çıktığında dinamik şekilde değişir. Bu yöntem gelecekteki muhtemel kesinti (çökme) riskini azaltmada operatörlere hızlı değişen sistemin durumunu değerlendirip düzeltici kontrol eylemlerini formüle etmesine yardımcı olarak çok önemli bir rol oynar [53]. Şekil 3.2'de bu duruma örnek olarak PowerWorld programında oluşturulan bir görüntü verilmiştir.



Şekil 3.2 Hat yüklenmelerinin dinamik olarak değişen daire grafikleriyle sunulması

BÖLÜM 4

COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ

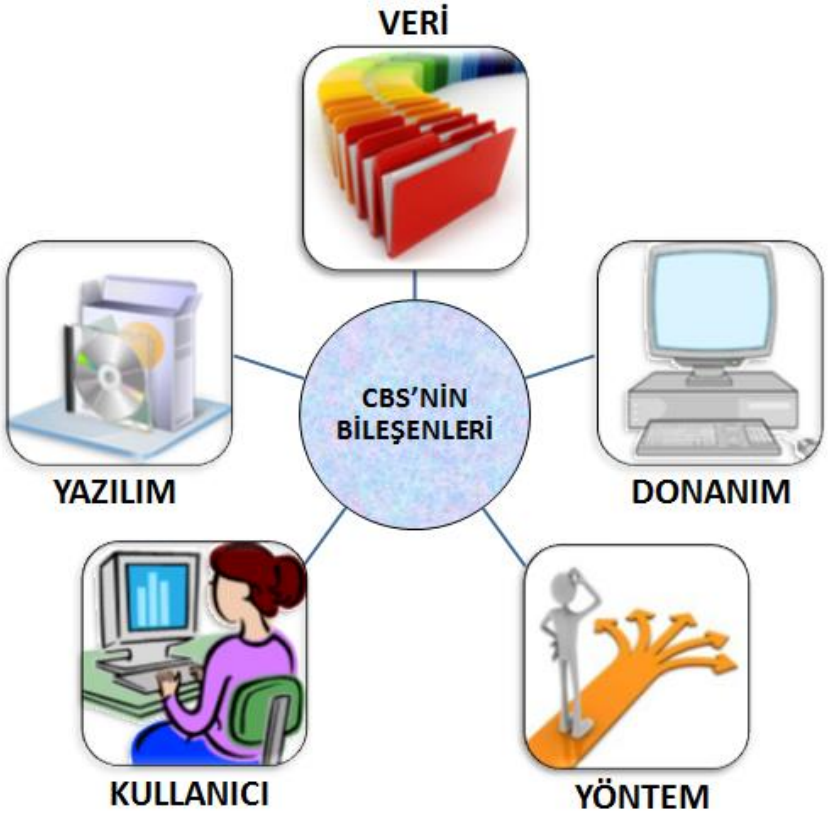
ESRI (Environmental System Research Institute)'ye göre CBS coğrafi referanslı her türlü bilginin yönetilmesi, analiz edilmesi ve görüntülenmesi için yazılım, donanım ve veriyi entegre eder. Kısaca Coğrafi Bilgi Sistemleri verilerle coğrafi konumlar arasında bağlantı kurarak görselleştirme, dijital hale getirme ve analiz için kullanılır [12].

4.1 CBS'nin Bileşenleri

Coğrafi bilgi sistemlerinin temel fonksiyonlarını yerine getirebilmesi için Şekil 4.1'deki gibi en az beş ana unsurun bir arada olması gerekir. Bunlar CBS'nin bileşenleri olarak isimlendirilen, donanım, yazılım, veri, kullanıcı ve yöntemdir [54], [55], [56].

Donanım: CBS'nin işlemesini mümkün kılan bilgisayar ve buna bağlanan ürünlerin bütünü donanım olarak adlandırılır. Bütün sistem içerisinde en önemli araç olarak gözüken bilgisayar yanında yan donanımlara da ihtiyaç vardır. Örneğin, yazıcı, tarayıcı, sayısallaştırıcı, veri kayıt üniteleri gibi cihazlar bilgi teknolojisi araçları olarak CBS için önemli sayılabilecek donanımlardır. Şekil 4.2'de donanım birimleri gösterilmektedir.

Yazılım: Yazılım, coğrafi bilgileri depolamak, analiz etmek ve görüntülemek gibi ihtiyaç ve fonksiyonları kullanıcıya sağlamak üzere, yüksek düzeyli programlama dilleriyle gerçekleştirilen algoritmalardır. Yazılımların pek çoğu ticari amaçlı firmalarca geliştirilip üretilmesi yanında üniversite ve benzeri araştırma kurumlarınca da eğitim ve araştırmaya yönelik geliştirilmiş yazılımlar da mevcuttur.

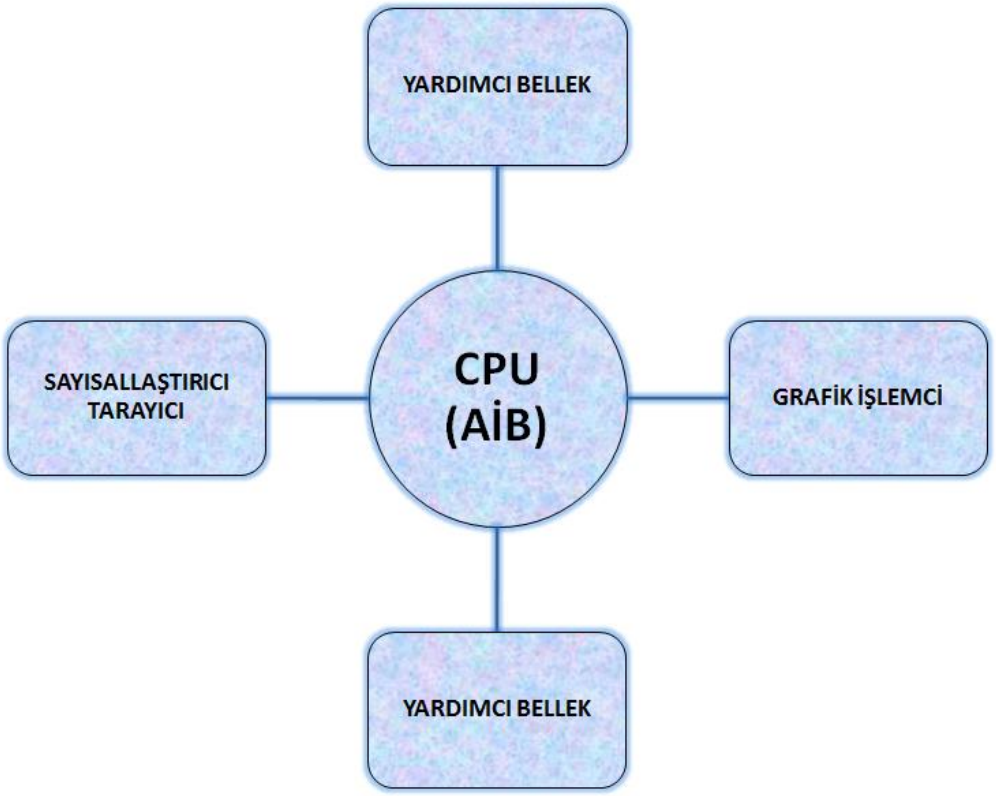


Şekil 4.1 CBS'nin bileşenleri

Dünyadaki CBS pazarının önemli bir kısmı yazılım geliştiren firmaların elindedir. Bu bakımdan günümüzde CBS bu tür yazılımlarla neredeyse özdeşleşmiş durumdadır. En popüler CBS yazılımlarına örnek olarak ArcInfo, ArcView, Intergraph, MapInfo, SmallWorld, Genesis, Idrisi, Grass, vb. verilebilir.

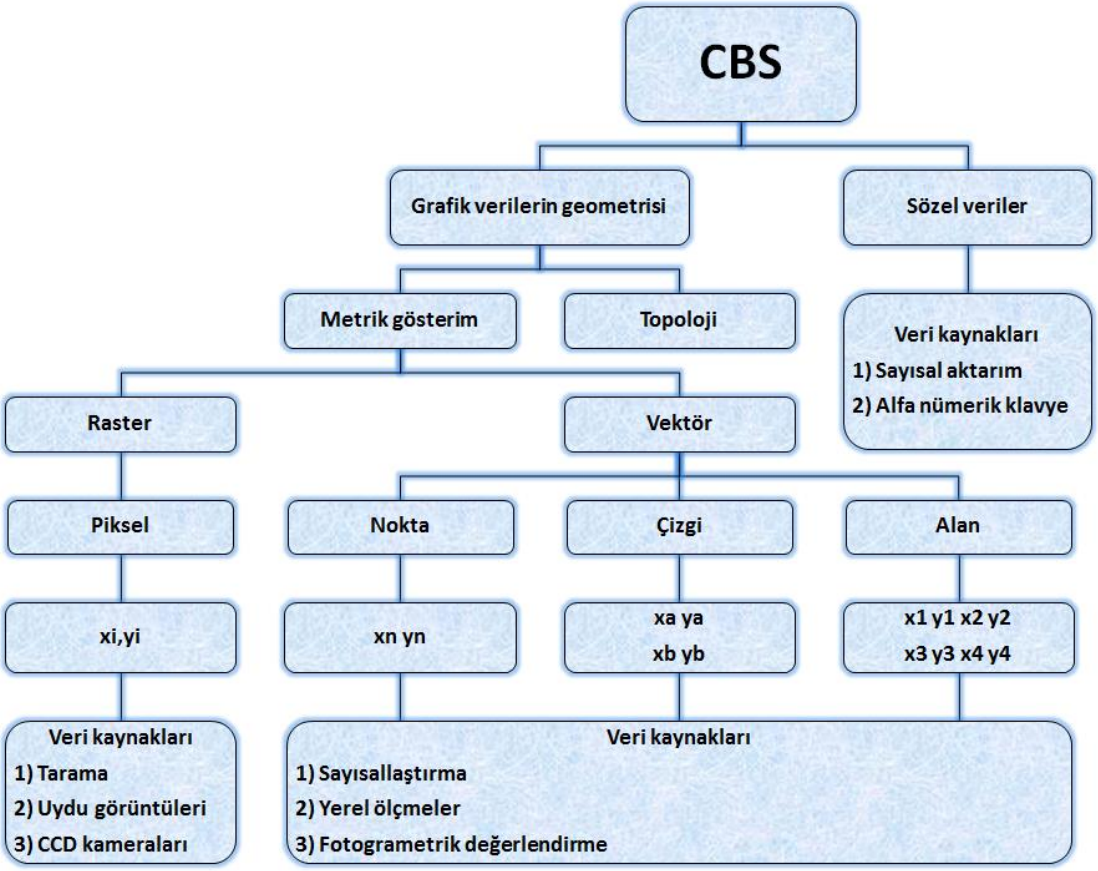
Gelişen teknoloji ve artan ihtiyaçlara cevap verebilmek için geliştirilmiş yüzlerce GIS yazılımı mevcuttur Ancak en çok tanınan ve kullanılan yazılımlar şunlardır [57];

- ArcInfo yazılımı Unix ortamında çalışan oldukça güçlü bir programdır. CBS'nin her dalına hizmet edebilecek modülleri vardır. Kişisel bilgisayarların güçlenmesi ile birlikte çeşitli versiyonları da çıkarılmıştır. Verileri topolojik bir altyapı içinde saklamaktadır. Ancak yazılım son kullanıcı için oldukça kompleks ve zor olduğu için üniversitelerde ve araştırma kurumları dışında başarılı bir kullanımı olmamıştır.
- ArcView yazılımı kişisel bilgisayarların donanım piyasasında büyümesi ile birlikte, bu pazardaki müşteriler için geliştirilmiştir. Kullanıcı ön yüzü ile birlikte hiçbir programlama bilgisi gerektirmeden kullanıcıya veri analizi ve çıktı hazırlama imkânı sunar.



Şekil 4.2 CBS donanım birimleri

Veri: CBS'nin en önemli bileşenlerinde biri de veridir. Grafik yapıdaki coğrafi veriler ile tanımlayıcı nitelikteki öznitelik veya tablo verileri gerekli kaynaklardan toplanabileceği gibi, piyasada bulunan hazır haldeki veriler de satın alınabilir. **CBS konumsal veriyi diğer veri kaynaklarıyla birleştirebilir.** Böylece birçok kurum ve kuruluşa ait veriler organize edilerek konumsal veriler bütünleştirilmektedir. Veri, uzmanlarca CBS için temel öğe olarak kabul edilirken elde edilmesi en zor bileşen olarak da görülmektedir. Veri kaynaklarının dağınıklığı, çokluğu ve farklı yapılarda olmaları, bu verilerin toplanması için büyük zaman ve maliyet gerektirmektedir. Nitekim CBS'ne yönelik kurulması tasarlanan bir sistem için harcanacak zaman ve maliyetin yaklaşık %50'den fazlası veri toplamak için gerekmektedir. Coğrafi bilgi sistemi uygulamalarında gerçek dünyanın somut ve coğrafi varlıkları, grafik ve grafik olmayan verilerle belirlenir. Grafik veriler çeşitli kaynaklardan vektör ve raster (hücresel) formunda elde edilirler. Uygulama alanlarına ve mevcut veri kaynaklarına göre her iki grafik veri formu da kullanılabilir. Bir sayısallaştırıcı veya fotogrametrik değerlendirme sisteminde noktasal ve çizgisel olarak elde edilen grafik veriler vektör formundadır [58].



Şekil 4.3 CBS veri tipleri ve kaynakları

CCD kameraları, uydu görüntüleri ve tarayıcılardan en küçük resim elemanlarının (piksel) büyüklüğü olarak elde edilen sayısal görüntüler raster formundadır. Ayrıca grafik coğrafi verileri tanımlayan ve konuma bağlı olmayan öznitelik değerleri (sözel veriler) de CBS'ler için önemlidir. Başka bir deyişle, CBS uygulamalarında gerçek dünyanın coğrafi varlıkları (nesneleri) geometrileri ve sözel verileriyle birlikte depolanır. Şekil 4.3'de CBS veri tipleri ve kaynakları gösterilmiştir.

Veri, modelleme çalışmasının çatısını oluşturan en temel bileşendir. Modellemenin mevcudiyeti veri bileşeni üzerine oturtulmuştur. İlgilenilen veri kitlesi konuya yönelik olarak ne kadar doğru ve ne kadar duyarlı ise yapılan çalışmalar da gerçeğe o kadar yakın olacaktır [59].

Modelleme çalışmasına altlık olarak ihtiyaç duyulan veriler genellikle nesnenin nasıl tasarlanması gerektiği konusunda bilgi veren detaylardır. Örneğin; şekil, boyut, konum, yansıtma, doku gibi özelliklere modelleme esnasında ihtiyaç duyulmaktadır.

Verilerin gösterimi genel olarak basit yapılardan daha karmaşık veri yapılarına doğru gitmektedir. Bu yapılar her yazılımda farklılık gösterebilmektedir. Bu yüzden de kullanılacak veri yapısı ve yazılım uygun olarak seçilmelidir.

Temelde mekâna ait veriler nokta, çizgi, alan, ayrıntılar ve yazı olarak bilgisayar ortamına aktarılır ve saklanır. Ayrıntıların belli bir sistemde koordinatları, özellikleri veya satır/sütun numaraları ile girilen değerleri bilgisayar ortamında çeşitli tekniklere göre depolanır. Bu teknikler temelde vektör ve raster veri depolama yöntemleridir.

Vektör veri, coğrafi özelliklerin x,y koordinat değerlerine sahip nokta, çizgi ve poligonlar biçiminde temsil edildiği veri modelidir. Vektör veri modeli, coğrafi ayrıntıları, haritalara benzer şekilde gösterirler. Noktalar çizgi veya alan olarak gösterilemeyecek kadar küçük ayrıntıları ifade etmek için kullanılırken, çizgiler alan olarak algılanamayacak şekilde dar olan detayları temsil ederler. Bir alan ise aynı özelliklere sahip coğrafi ayrıntıları belirtmek için kullanılır.

Vektör veri yapısı nesnelerin düzlemsel özellikleriyle gösterildiği sunum şeklidir. Çizgisel nesneler, düzlemsel yapıların sınırları ve konumları olarak gösterilmektedir. Vektör veri yapısı ayrıntıları koordinat değerleriyle kodlayarak depolamaktadır.

Raster veri yapısı, görüntüleri konu almaktadır. Raster görüntü birbirine komşu ağ yapıdaki eşit boyutlara sahip hücrelerin bir araya gelmesiyle oluşmaktadır. Hücrelerin her biri piksel olarak da bilinmektedir. Fotoğraf görüntüsü özelliğine sahip raster modeller genellikle fotoğraf ya da haritaların taranması ile veya sayısal kameralar kullanılmasıyla elde edilmektedir. Bu veri yapısında her fotoğraf, görüntü matrisiyle ifade edilmektedir.

Raster yapıdaki veriler, modellemede özellikle görselleştirme işlemlerinde kullanılmaktadır. Render ve fotoğrafik gerçeklik çalışmalarında bu tür verilere ihtiyaç duyulmaktadır [60].

Kullanıcı: CBS teknolojisi insanlar olmadan sınırlı bir yapıda olurdu. Çünkü insanlar gerçek dünyadaki problemleri uygulamak üzere gerekli sistemleri yönetir ve gelişme planları hazırlar. CBS kullanıcıları, sistemleri tasarlayan ve koruyan uzman teknisyenlerden günlük işlerindeki performanslarını arttırmak için bu sistemleri kullanan kişilerden oluşan geniş bir kitledir. Dolayısıyla coğrafi bilgi sistemlerinde

insanların istekleri ve yine insanların bu istekleri karşılamaları gibi bir süreç yaşanır. CBS'nin gelişmesi mutlak suretle insanların yani kullanıcıların ona sahip çıkmalarına ve konuma bağlı her türlü analiz için CBS'yi kullanabilme yeteneklerini artırmalarına ve değişik disiplinlere yine CBS'nin üstünlüklerini uygulamakla mümkün olabilecektir.

Yöntem: Başarılı bir CBS, çok iyi tasarlanmış plan ve iş kurallarına göre işler. Bu tür işlevler her kuruma özgü model ve uygulamalar şeklindedir. CBS'nin kurumlar içerisindeki birimler veya kurumlar arasındaki konumsal bilgi akışının verimli bir şekilde sağlanabilmesi için gerekli kuralların yani yöntemlerin geliştirilerek uygulanıyor olması gerekir. Konuma dayalı verilerin elde edilerek kullanıcı talebine göre üretilmesi ve sunulması mutlaka belli standartlar yani kurallar çerçevesinde gerçekleşir. Genellikle standartların tespiti şeklinde olan bu uygulamalar bir bakıma kurumun yapısal organizasyonu ile doğrudan ilgilidir. Bu amaçla yasal düzenlemelere gidilerek gerekli yönetmelikler hazırlanarak ilkeler tespit edilir.

CBS yazılımları sahip oldukları büyük verileri yönetebilme ve bilgi ekranı kabiliyeti sayesinde pek çok alanda kullanılmaktadır [61]. Bilgi sistemlerinin temel fonksiyonu karar verme işlemini kolaylaştırmak ve bu süreci kısaltmaktır. CBS'nin bilgi sistemlerinden farkı, sistemin değişik nesnelere ait öznitelik bilgilerine ilave olarak konum bilgilerini de içermesidir [62].

CBS katmanlı yapısı sayesinde şebeke bileşenlerinin coğrafi ilişkilerini göstermek için esnek bir ortam sağlar. Bu özellik güç sistem planlamacılarına gerçek bir şebeke temsili üzerinde çalışma olanağı sağlar. Görselleştirmenin önemi, algıda seçicilik oluşturarak bir alandaki sayılar, rakamlar, vb. unsurlar arasında kolaylıkla ilişki kurulabilmesine imkân vermesidir [63].

Bununla birlikte güç sistemlerinin optimal işletilmesi ve gelişmiş kontrol uygulamalarını ayrıntılı şekilde ifade etmek için CBS uygulamaları kullanılır. Örneğin görsel bir veri tabanı yönetim ortamı içinde kontrolü daha da kolaylaştırmak için bir SCADA sistemi ile CBS arasında iletişim kurulabilir [64].

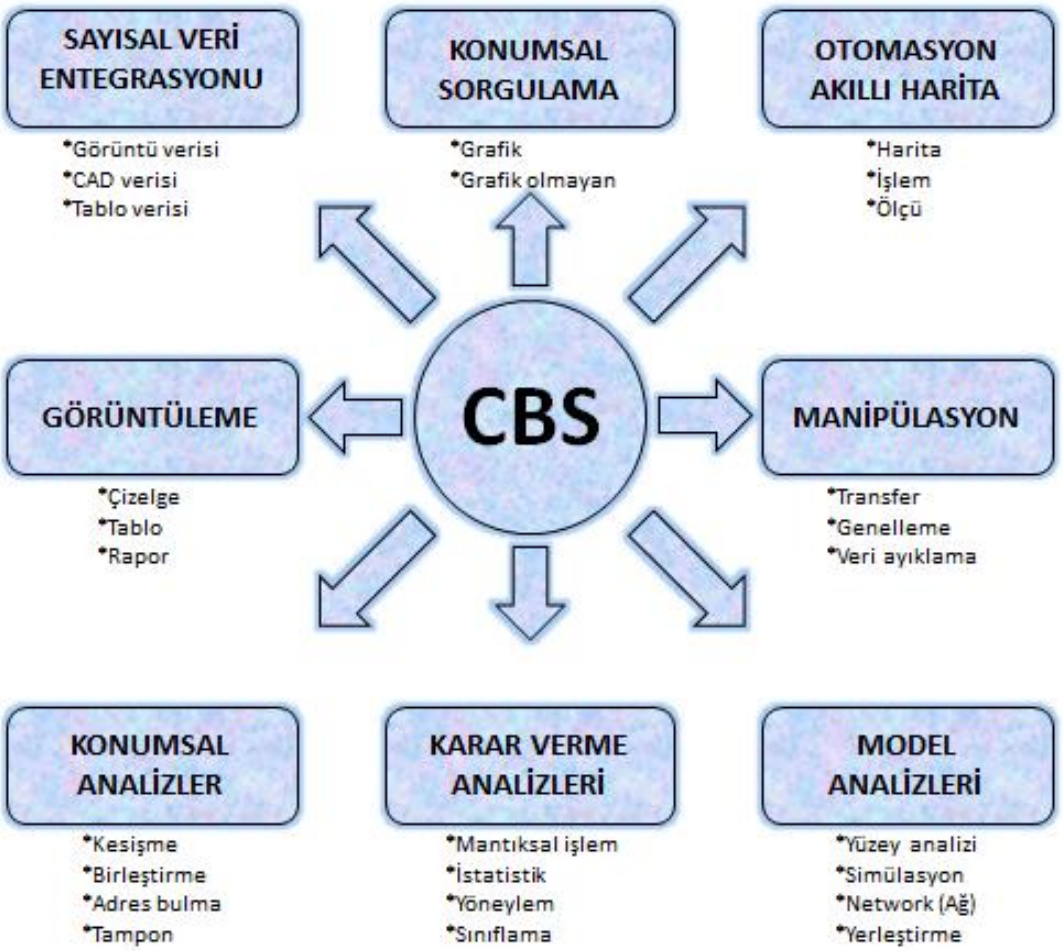
4.2 CBS'nin Fonksiyonları

Coğrafi bilgi sistemleri, yeryüzü şekillerini ve yeryüzünde gelişen olayları haritaya dönüştürmek ve bunları analiz etmek için gerekli olan bilgisayar destekli araçlardan

oluşan bir sistem olarak algılanmaktadır. **CBS teknolojisi ortak veri tabanlarını birleştirme özelliğine sahiptir.** Örneğin, haritaların sağladığı görsel ve coğrafi analiz avantajları, sorgulama ve istatistiksel analizler olarak kullanıcıya sunulur. Bu özelliği bakımından CBS, diğer bilgi sistemlerinden farklıdır. Bunun bir sonucu olarak CBS, hizmet alanındaki olayların tanımlanmasında ve ileriye dönük tahminlerde bulunarak stratejik planların yapılmasında kamu ve özel sektör tarafından oldukça yoğun bir şekilde kullanılmaktadır [56].

Her ne kadar harita yapım ve coğrafi verilerin analizi yeni bir işlem değilse de, CBS bu tür işlemleri olduğundan daha iyi ve hızlı yapabilmektedir. Coğrafi bilgi sistemlerindeki teknolojik gelişmelerden önce sadece belli alanlarda çalışanlar coğrafi bilgiyi, karar verme ve problem çözmede kullanmaya ihtiyaç duymuştu. Oysa bugün, CBS bütün dünyada, büyük yatırımlara konu olmakta, yan mesleki kuruluşlarda bilhassa endüstri alanında birçok kişiyi iş sahibi yapmakta; bu alanda temel eğitim veren okullarda, üniversite ve özel sektör kuruluşlarında hatta gerektiğinde özel kurslarla da öğretilmektedir. Dolayısıyla konum bilgisi kullanan kişilerin coğrafi bilgiye olan ilgileri ve konumsal verilerle çalışmaları her geçen gün daha fazla olmaktadır. Tüm bu gelişmelerin temelinde coğrafi bilgi sistemlerinin diğer sistemlerden farklı olarak sahip olduğu fonksiyonlar vardır. Şekil 4.4'de belirtilen bu fonksiyonlar aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

- Sayısal veri entegrasyonu
- Konumsal sorgulama
- Otomasyon, akıllı harita
- Görüntüleme
- Manipülasyon
- Konumsal analizler
- Karar verme analizleri
- Model analizleri



Şekil 4.4 CBS'nin temel fonksiyonları

4.3 CBS'nin Avantajları

CBS sistemlerinin klasik kullanıcılara getirdiği avantajlar ise şöyle açıklanabilir [65]:

- **CBS statik haritaları dinamik hâle getirir.** CBS sayesinde kullanıcılar bilgisayar içindeki harita verilerinin istedikleri kısmını istedikleri açıdan ve istedikleri yakınlık ölçüsünde görsel olarak kullanabilirler. Ayrıca haritadaki nesnelere ait sembolleri çalışma anındaki amaçlarına uygun olarak (renk, tip, doku gibi) istedikleri şekilde değiştirebilirler. CBS sahip olduğu özellikler sayesinde çalışma anında istedikleri kadar harita bilgisini bir araya getirip yine çalışma anında artık ihtiyaç duymadıkları nesnelere ait bilgileri diğerinden ayırıp ekrandan kaldırabilirler.
- **Haritacılıkla ilgili çok zengin fonksiyonlara sahiptir.** Haritalar yeryüzündeki nesneleri ifade eden bilgiler oldukları için neticede her harita üç boyutlu yeryüzünün iki boyutlu düzlemsel bir yüzeyde modellenmesidir. Bu işlem yapılırken

bir haritada bulunması gereken temel belli başlı özellikler vardır. Bunlar projeksiyon bilgisi, koordinat sistemi bilgisi ve ölçek bilgisi gibi temel bilgilerdir. Bu bilgiler klasik haritalarda her harita için sabit olmak zorunda iken CBS sistemi içerisinde aynı harita için değişik projeksiyon sistemleri, koordinat sistemleri veya ölçeklerdeki haritaları üretmek ve kullanmak çok kolaydır.

- **CBS haritalarındaki nesneler grafik olarak modellenir.** CBS içerisinde gösterilen harita bilgileri bilgisayarda grafik nesneler olarak modellenirler. Bu modeller yapılırken gerçek dünyadaki nesneler bilgisayar ortamında kullanım amacına uygun olarak nokta, çizgi, çokgen, sembol ve yazı olarak modellenirler.

- **CBS grafik nesnelerle bunlara ait nitelik ve nicelik bilgilerini ilişkilendirir.** CBS haritalardaki nesnelerin modellendiği grafik nesneler ile ilişkili olarak bu nesnelere ait nitelik ve nicelik bilgilerini birbirleriyle ilişkili olarak saklar. Bu sayede grafik nesnelerle ilgili olarak görülen bilgi haricindeki diğer bilgilere de rahatlıkla ulaşılabilir. Bu bilgiler kullanılarak grafik nesnelere ait semboller değiştirilebilir. İstendiği takdirde nitelik ve nicelik bilgileri bilinen grafik nesnelere de harita içinde yapılacak sorgulamalarla ulaşılabilir. Nesnelere ait bilgiler nesnelerle ilişkili bir şekilde veri tabanında saklanır.

- **CBS içerisindeki harita bilgileri katmanlar olarak saklanır.** Katmanlar grafik nesnelerin ve bu nesnelere ait nitelik ve nicelik bilgilerin mantıksal bir süzgeçle kullanımı amaçlarına uygun olarak sınıflandırılması ile elde edilirler. Çalışma anında görsel olarak açılıp kapanabilirler, yani istenilirse ekranda görünür yapılabilir istenilirse görünmez yapılabilirler. Buradaki belirleyici kriter çalışma ölçeği veya çalışma amacı olabilir.

- **CBS istenen harita nesnelerine ulaşmak için grafik ve veri tabanlı sorgulama kabiliyetine sahiptir.** CBS içerisinde sahip olunan sorgulama araçları ile istendiği takdirde grafik nesneler kullanılarak doğrudan istenilen harita bilgilerine ulaşılabildiği gibi nesnelere ait nitelik ve nicelik bilgileri üzerinde yapılacak sorgulamalar ile de istenilen özellikleri taşıyan grafik nesnelere de ulaşılabilir.

- **CBS zengin analiz kabiliyetine sahiptir.** CBS sistemleri harita nesnelerinin sınıflandırılması, birbiriyle ve diğer verilerle karşılaştırılması, birbiriyle kesişen

nesnelerin incelenmesi, nesnelerle ilgili sınır genişletme işlemleri, aynı konumu paylaşan değişik nesnelerin birbiriyle çakıştırılması ve bir bölgedeki coğrafi nitelikli olayların modellenmesi gibi çok zengin analiz araçlarını kullanıcılarına sunarlar.

- **CBS haritaların sunulmasını kolaylaştırır.** CBS içerisindeki harita nesneleri için istenilen özelliklerdeki haritalar kolayca hazırlanabildiği gibi istenirse harita bulunan nesnelere ait nitelik ve nicelik bilgileri de kullanılarak aynı nesneler için raporlar ve grafikler de hazırlanabilir.

4.4 CBS'nin Uygulama Alanları

Coğrafi bilgi sistemlerinin çok geniş uygulama alanlarına sahiptir. Çizelge 4.1'de CBS'nin kullanıldığı alanlar gösterilmektedir [66].

Çizelge 4.1 CBS kullanım alanları

Çevre Yönetimi	Çevre düzeni planları, Çevre koruma alanları, ÇED raporu hazırlama, Göller, Göletler, Sulak alanların tespiti, Çevresel izleme, Hava ve gürültü kirliliği, Kıyı yönetimi, Meteoroloji, Hidroloji
Doğal Kaynak Yönetimi	Arazi yapısı, Su kaynakları, Akarsular, Havza analizleri, Yabani hayat, Yer altı ve yerüstü doğal kaynak yönetimi, Madenler, Petrol kaynakları
Mülkiyet İdari Yönetim	Tapu-kadastro, Vergilendirme, Seçmen tespiti, Nüfus, Kentler, Beldeler, Kıyı sınırları, İdari sınırlar, Tapu bilgileri, Mücavir alan dışında kalan alanlar, Uygulama imar planları
Bayındırlık Hizmetleri	İmar faaliyetleri, Otoyollar, Devlet yolları, Demiryolları ön etütleri, Deprem bölgeleri, Afet yönetimi, Bina hasar tespitleri, Binaların cinslerine göre dağılımları, Bölgesel kalkınma dağılımı
Eğitim	Araştırma-inceleme, Eğitim kurumlarının kapasiteleri ve bölgesel dağılımları, Okuma-yazma oranları, Öğrenci ve eğitmen sayıları, Planlama
Sağlık Yönetimi	Sağılık-coğrafya ilişkisi, Sağlık birimlerinin dağılımı, Personel yönetimi, Hastane vb. birimlerin kapasiteleri, Bölgesel hastalık analizleri, Sağlık tarama faaliyetleri, Ambulans hizmetleri

Çizelge 4.1 CBS kullanım alanları (Devam)

Belediye Faaliyetleri	Kentsel faaliyetler, İmar, Emlak vergisi toplama, İmar düzenlemeleri, Çevre, Park bahçeler, Fen işleri, Su-kanalizasyon-doğalgaz tesis işleri, TV kablolama, Uygulama imar planları, Nazım imar planları, Hâlihazır haritalar, Altyapı, Ulaştırma planı toplu taşımacılık, Belediye yolları ve tesisleri
Ulaşım Planlaması	Kara-hava-deniz ulaşım ağları, Doğal gaz boru hatları, İletişim istasyonları, Yer seçimi, Enerji nakil hatları, Ulaşım haritaları
Turizm	Turizm bölgeleri, Turizm alanları ve merkezleri, Turizm amaçlı uygulama imar planları, Turizm tesisleri ve kapasiteleri, Arkeoloji çalışmaları
Orman ve Tarım	Eğim-bakı hesapları, Orman amenajman haritaları, Orman sınırlar, Peyzaj planlaması, Milli parklar, Orman kadastrosu, Arazi örtüsü, Toprak haritaları
Ticaret ve Sanayi	Sanayi alanları, Organize sanayi bölgeleri, Serbest bölgeler, Bankacılık, Pazarlama, Sigorta, Risk yönetimi, Abone yönetimi, Adres yönetimi
Savunma ve Güvenlik	Askeri tesisler, Tatbikat ve atış alanları, Yasak bölgeler, Sivil savunma, Emniyet, Suç analizleri, Suç haritaları, Araç takip sistemleri, Trafik sistemleri

BÖLÜM 5

KULLANILAN YAZILIMLARIN TANITILMASI

5.1 PSAT Yazılımının Tanıtılması

Elektrik enerjisi şebekeleri insan eliyle üretilmiş en büyük sistemler arasında yer alır. Bir güç sisteminin uygulanabilir olması için sağlam, güvenilir ve ekonomik olması gerekir. Bu nedenle bir elektrik sisteminin tasarımı ve işletilmesi için birçok analiz gerçekleştirilmelidir [67]. Tüm fiziksel sistemlerde mühendisler, bilim adamları ve daha birçok alanda çalışan kişiler sistemin karmaşık davranışlarını anlamak ve tahmin etmek için matematiksel modeller oluşturur. Günümüzde güç sistem planlamacıları da güvenilir sonuçlara ulaşmak için modeller oluşturmakta ve bilgisayar yardımıyla analizler yapmaktadır [68]. Güç sistem analizinde kullanılan programlar basit olarak ikiye ayrılabilir: ticari olanlar ve eğitim/araştırma amaçlı olanlar. Ticari olanlar piyasada bulunan PSSE, EUROSTAG, SIMPOW, PowerWorld gibi iyi test edilmiş paket programlar ve hesaplama yönünden etkili yazılımlardır. MATLAB tabanlı ticari, araştırma ve güç sistem eğitimi için kullanılan programlar ise Power System Toolbox (PST), MatPower, Voltage Stability Toolbox (VST) ve SimPowerSystems (SPS)'dir. Bunlar arasında sadece MatPower ve VST açık kaynak yazılımdır ve ücretsiz indirilebilmektedir [69].

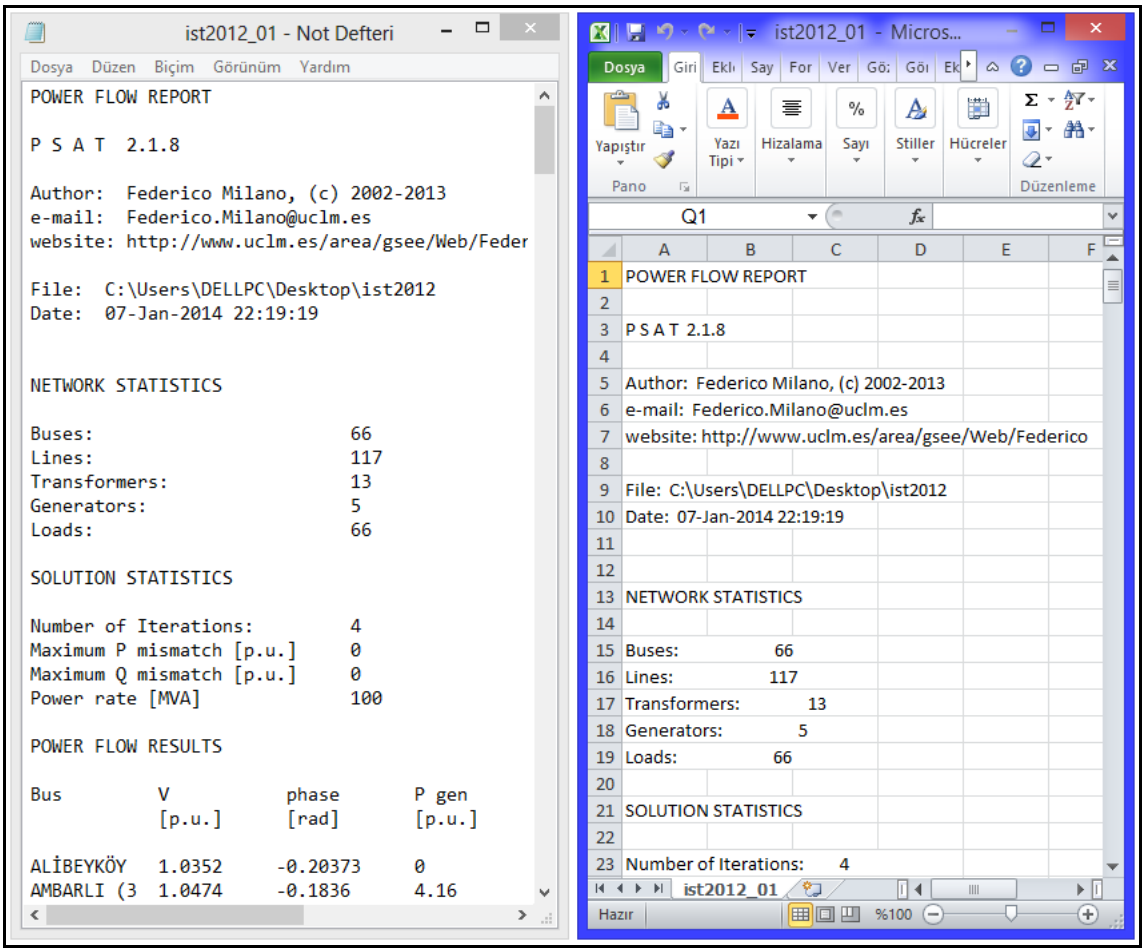
Power System Analysis Toolbox (PSAT) yazılımı elektrik güç sistemleri analizi ve benzetimini yapan ve birçok iletim sisteminde çalışan MATLAB uygulamasıdır. Yazılım komut satırından girilen komutlarla kullanılabilmektedir. Programın yapabildiği ana işler, güç akışı, optimal güç akışı, küçük işaret (sürekli hal) kararlılık analizi, zaman domeni benzetimi, fazör ölçüm birimi yerleşimi, esnek alternatif akım iletim sistem

modelleri, rüzgâr türbini modelleri, bazı formatlardaki verilerin çevrimi, program sonuç raporlamasıdır. Kullanıcıya kolaylık sağlamak için Simulink gibi bir grafik araç kutusu kullanılabilir ve şematik bloklarla çizim yapılıp bir güç sisteminin değişik bileşenleri oluşturulabilir. PSAT FOSS (Free and Open-Source Software) denilen bir güç sistem çalışmasıdır. Mevcut MATLAB tabanlı güç sistem yazılımları arasında statik ve dinamik analizler için en eksiksiz algoritmaları PSAT sunmaktadır [69].

PSAT şu anda birçok üniversitede lisans, lisansüstü eğitim ve araştırmalarında kullanılmaktadır. MATLAB tarafından sağlanamayan araç kutularından dolayı bu program tarafından gerçekleştirilemeyen görevler ise arıza analizi, topraklama sistemleri, harmonik analizi, koruma analizi ve koordinasyonudur [70].

Bu tezdeki çalışmalar MATLAB [71] tabanlı bir yazılım olan PSAT ile yapılmıştır [72]. Şekil 5.1'de PSAT programının çalıştırılmasıyla örnek sistemde elde edilen analiz sonuçları verilmiştir. Programın Simulink kısmı da vardır ve Simulink kısmına CBS gibi başka bir topolojik veri kaynağı entegre edilebilir [43]. Programın Simulink kısmı dinamik sistemlerin benzetim, analiz ve modellenebilmesi için bir dizi araç sunmaktadır. Bu özellikler programı güç sistemlerinin araştırma ve eğitiminde cazip bir seçenek haline getirmektedir [73]. Programın Simulink kısmı görsel olarak avantajlar sunmasına rağmen her eleman sembolünün tek tek seçilip içine girilerek değerleri girileceği için PSAT'ın kodla analiz özelliği kullanılmıştır. Bunun için MATLAB editör ortamında hazırlanan basit bir .m file kullanılmıştır. Hat, bara, kesici, vb. bileşenlerin her biri için bir satır kod yazıldığından bu satırı kopyalayıp sadece değişen parametreleri işleyerek sistemin geri kalanı kolayca modellenebilir. İşlem kolaylığı ve zaman kazandırması nedeniyle çalışmada bu yöntem kullanılmıştır.

Söz konusu program Türkiye elektrik iletim sisteminden alınan örnek bir bölge için uygulanmış, PowerWorld programı ve gerçek değerlerle benzer sonuçların alındığı görülmüştür. Mevcut küçük farklar ise çoğunlukla trafo merkezlerinden alınan değerlerde her zaman muhtemel olan ölçü ve okuma hatalarından ve toleranslarından kaynaklanmaktadır. Örnek sistemimizde frekans olarak 50 Hz, baz güç değeri 100 MVA, başlangıç zamanı 0. saniye bitiş zamanı ise 20. saniye olarak belirlenmiştir. Ancak yine de hem güç akış analizinin yapılma süresinde hem de elde edilen sonuçlarda bir tolerans değeri olduğu ortadadır.



Şekil 5.1 PSAT programının çalıştırılmasıyla elde edilen analiz sonuçları

5.2 PSAT Programındaki Veri Kategorilerinin Tanımlanması

PSAT 2.1.8 versiyonu için gerekli veri kategorileri aşağıda özetlenmiştir [74].

5.2.1 Bara Verileri

Bu kategoride baralarla ilgili veriler tanımlanmıştır.

- Bara numarası
- Bara gerilimi
- Bara gerilim genliğinin tahmini başlangıç değeri (p.u. cinsinden)
- Faz geriliminin tahmini başlangıç değeri (radyan cinsinden)
- Bölge numarası

5.2.2 Yük Verileri

Bu kategoride yüklerle ilgili veriler tanımlanmıştır.

- Bara numarası
- Bara gücü (MVA)
- Bara gerilimi (kV)
- Aktif yük (p.u. cinsinden)
- Reaktif yük (p.u. cinsinden)
- Maksimum gerilim (p.u. cinsinden)
- Minimum gerilim (p.u. cinsinden)
- Bağlantı durumu

5.2.3 Generatör Verileri

Bu kategoride generatörlerle ilgili veriler tanımlanmıştır. Örnek sistemde tüm kayıpların salınım barasından karşılandığı kabul edilmiştir. Bu nedenle üretim baralarında kayıp katılma katsayısı değeri 0 alınmıştır.

- Bara numarası
- Generatör gücü (MVA)
- Bara gerilimi (kV)
- Aktif güç (p.u. cinsinden)
- Gerilim büyüklüğü (p.u. cinsinden)
- Maksimum reaktif güç (p.u. cinsinden)
- Minimum reaktif güç (p.u. cinsinden)
- Maksimum gerilim genliği (p.u. cinsinden)
- Minimum gerilim genliği (p.u. cinsinden)
- Kayıp katılma katsayısı

5.2.4 Salınım Barası Verileri

Bu kategoride salınım barası ile ilgili veriler tanımlanmıştır. Sistemdeki tüm kayıpların salınım barasından karşılandığı kabul edildiğinden kayıp katılma katsayısı 1 alınmıştır.

- Bara numarası
- Bara gücü (MVA)
- Bara gerilimi (kV)
- Gerilim büyüklüğü (p.u. cinsinden)
- Referans açısı (radyan cinsinden)
- Maksimum reaktif güç (p.u. cinsinden)
- Minimum reaktif güç (p.u. cinsinden)
- Maksimum gerilim genliği (p.u. cinsinden)
- Minimum gerilim genliği (p.u. cinsinden)
- Tahmini aktif güç (p.u. cinsinden)
- Kayıp katılma katsayısı

5.2.5 Hat Verileri

Bu kategoride hatlarla ilgili veriler tanımlanmıştır. Hatların empedansları 100 MVA p.u. bazında girilmiştir.

- Baradan, baraya (hattın bağlı olduğu bara numaraları)
- Hat gücü (MVA)
- Bara gerilimi (kV)
- Frekansı
- Hattın rezistansı, reaktansı ve suseptansı (p.u. cinsinden)
- Hattın maksimum gerilim genliği (p.u. cinsinden)
- Hattın minimum gerilim genliği (p.u. cinsinden)

5.2.6 Kesici Verileri

Bu kategoride kesicilerle ilgili veriler tanımlanmıştır.

- Baradan, baraya (hattın bağlı olduğu bara numaraları)
- Kesici gücü (MVA)
- Bara gerilimi (kV)
- Frekansı
- Bağlantı durumu
- Kesici açma süresi (s)

5.2.7 Ototrafo Verileri

Bu kategoride ototrafolar kısa hatlar gibi tanımlanmıştır.

5.3 PSAT Yazılımında Kullanılan Güç Akış Yöntemleri

PSAT'da güç akışı problemini çözmek için aşağıdaki iterasyon yöntemleri kullanılır [75];

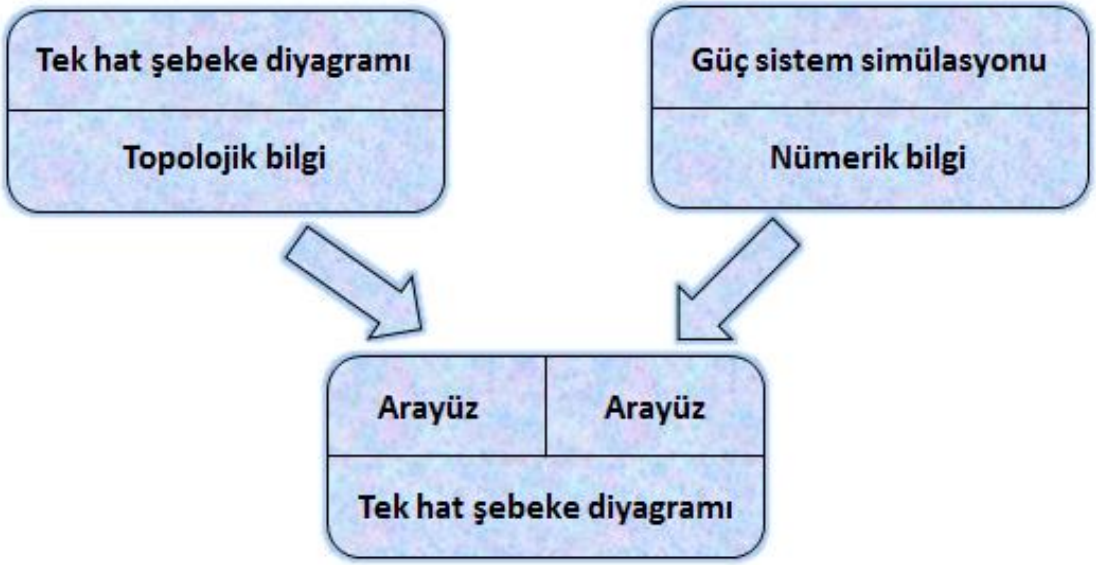
- Newton-Raphson yöntemi
- XB fast decoupled yöntemi
- BX fast decoupled yöntemi
- Runge Kutta yöntemi
- Iwamoto yöntemi
- Simple robust yöntemi

Örnek sistemdeki güç akışı analizinde daha az iterasyon ile çözüm elde edildiğinden Newton-Raphson yöntemi tercih edilmiştir.

5.4 PSAT ve CBS

Görselleştirmede iki kaynağa ihtiyaç duyulur. Bunlar topolojik veri ve nümerik verilerdir. Bu iki kaynak bağımsızdır ve aynı yazılımın birer parçası olması gerekmez [43]. Şekil 5.2'de gösterildiği gibi kullanıcı tarafından oluşturulabilecek ara

yüzler de kullanılarak görselleştirmenin yapılacağı tek hat şebeke diyagramında bir araya getirilir.

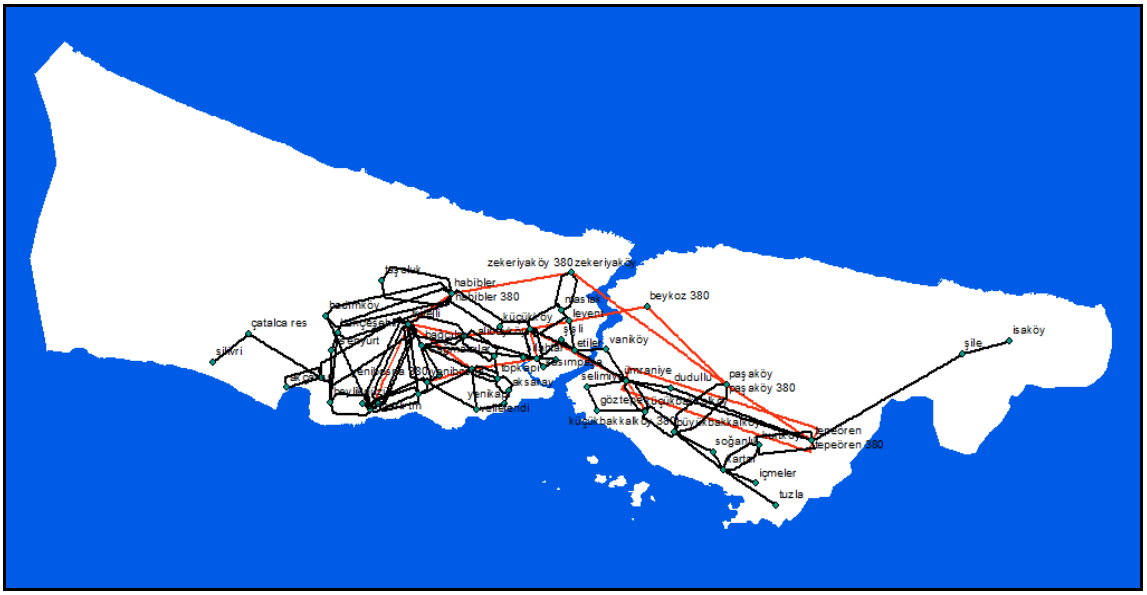


Şekil 5.2 Topolojik ve nümerik verilerin görselleştirme için bir araya getirilmesi

MATLAB'da CBS mimarisi oluşturmak teoride mümkün gözükse de çok büyük programlama yeteneği gerektirmektedir. CBS'ye veri tanıtmak için ara yüz oluşturma ve CBS veri yapısını tanımlama basit bir işlem değildir. Bu nedenle CBS'yi PSAT gibi bir programla birleştirmek için coğrafi haritayı başka bir program kullanarak yapmak daha sonra CBS içine PSAT verilerini almak en çabuk yöntemdir. CBS ve PSAT arasında köprü oluşturmak için CBS uygulamasının da kullanıcı tanımlı veri oluşturma, PSAT'a veri aktarıp veri alma fonksiyonlarını sağlaması gerekir ki çoğu açık yazılımlar da bunu sağlar. Örnek olarak Şekil 5.3'de ArcGIS [76] programında örnek sistem için bara ve hatların oluşturulması gösterilmiştir. ArcGIS ücretli bir yazılım olmasına rağmen ESRI internet sitesinden temin edilen program 2 aylık sürelerle yeniden aktif edilerek kullanılabilir. Yapılan işlemlerde hiçbir kısıtlama getirmediği için bu çalışmada ArcGIS programı kullanılmıştır. CBS uygulamaları içinde diğer programlara oranla daha fazla ayrıntı, kolaylık ve görsellik sağlayan, performans açısından piyasada bulunan en güçlü yazılım olduğundan çok geniş bir kullanım alanına sahiptir. Ülkemizde de Türkiye Milli Güç Kalitesi Projesi için yapılan çalışmalarda, trafo merkezlerinin küresel konumlama sistemi tabanlı konumları ve coğrafi pozisyonlarını (sınırları) gösteren harita

katmanlarının oluşturulmasında, ArcGIS uygulama programlama arabirimi "harita tabanlı izleme arabirimi olarak" seçilmiştir [77].

Python tabanlı PSAT deneme sürümü kolayca XML dosyalarını dışarıdan alıp güç akış analizini gerçekleştirip sonuçta sıcaklık haritalarını çizebilmektedir. Kısaca topolojik veri ile elektriksel nicelikleri birleştirebilmektedir [12].



Şekil 5.3 ArcGIS programında örnek sistem için bara ve hatların oluşturulması

5.5 ArcGIS Yazılımının Tanıtılması

ArcGIS entegre bir coğrafi bilgi sistemi yazılımıdır. CBS yazılım bileşenlerinin ortak kütüphanesi ArcObjects üzerine kurulmuş bir sistemdir. ArcGIS programı aşağıdaki anahtar bölümleri içerir [78].

ArcGIS Desktop: İleri düzeyde CBS uygulamalarının bütünüdür. ArcGIS, masaüstü ve sunucu tarafında, tek veya çok kullanıcılı ortamlarda CBS uygulamaları için ölçeklendirilebilir bir altyapı sağlar. ArcGIS Desktop (ArcView, ArcEditor ve ArcInfo) içerisinde bütünleşik olarak gelen ArcMap, ArcCatalog, ArcToolbox, ArcGlobe ve Model Builder ara yüzleri ile, haritalama, coğrafi analizler, veri düzenleme, veri yönetimi ve görüntüleme işlemlerinin gerçekleştirilebileceği entegre bir coğrafi bilgi sistemi yazılımıdır. ArcGIS Desktop çok çeşitli kullanıcı tiplerinin gereksinimlerini yerine getirebilmek amacıyla çeşitli modüllerle ölçeklenebilir.

ArcView: Çok kapsamlı veri kullanımı, haritalama ve analizler üzerine odaklanmıştır. ArcView profesyonel CBS kullanıcıları için anahtar bir veri kullanım aracıdır. ArcView, ArcMap, ArcCatalog, ArcToolbox ve ModelBuilder uygulamalarının bir bütünüdür. Ayrıca ArcView haritalama, raporlama ve harita bazlı analizler için güçlü bir araçtır.

ArcEditor: ArcView yazılım özelliklerine ek olarak, gelişmiş coğrafi düzenleme ve veri üretimi sağlar. ArcEditor, geodatabase, shapefile ve diğer coğrafi bilgi formatlarını yapılandırma için CBS veri otomasyonu ve derleme ortamıdır. ArcEditor, topoloji, subtype, domain ve geometrik network gibi geodatabase davranışlarını oluşturma yeteneklerine sahiptir. Ayrıca, tanım bilgisi oluşumu, coğrafi veri inceleme, analiz ve haritalama araçları da içermektedir. ArcView içinde bulunan bütün özelliklere sahiptir.

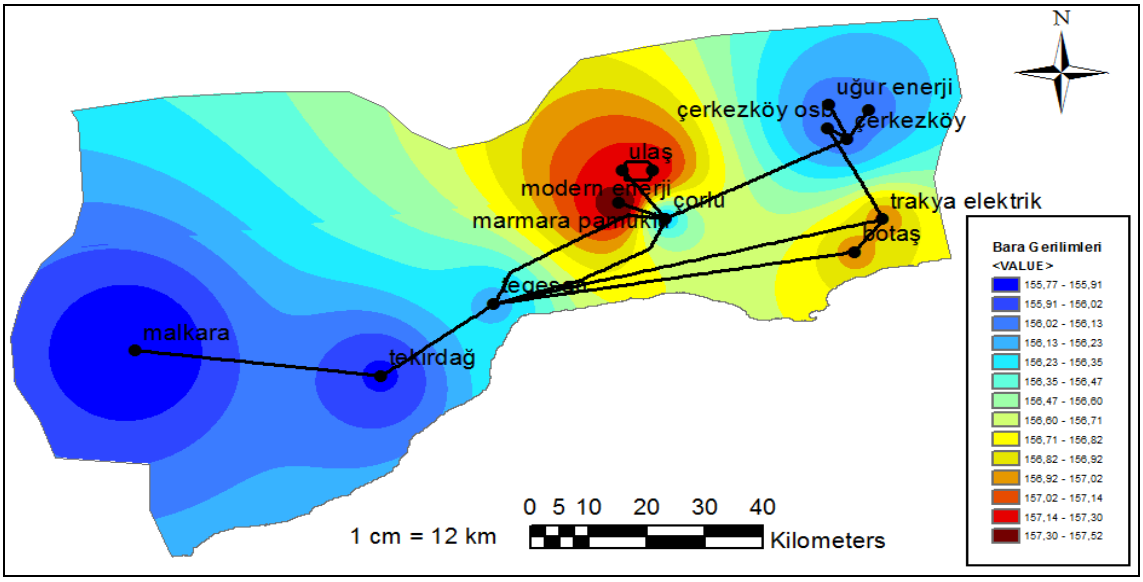
ArcInfo: Çok kapsamlı CBS fonksiyonları ve çok zengin coğrafi işlemler içeren profesyonel bir yazılımdır. ArcInfo, ArcGIS'in fonksiyon olarak en zengin istemcisidir. ArcInfo, bütün ArcView ve ArcEditor yeteneklerini sağlar. ArcInfo, CBS'nin veri üretimi, güncelleme, sorgulama, haritalama ve analiz sisteminin bütünüdür. ArcGIS Desktop Extensions (Modüller) kullanılarak bütün yazılımlara yeni yetenekler eklenebilir. Kullanıcılar ArcObjects (ArcGIS yazılım bileşenleri kütüphanesi) kullanarak kendilerine özel modüller geliştirebilirler. Ayrıca, Visual Basic, .NET, Java, Visual C++ gibi standart programlama ara yüzleri kullanılarak yeni modüller ve özel araçlar da geliştirilebilir.

ArcCatalog: Grafik ve sözel verileri tanımlama, gözden geçirme, yönetme ve organize etme işlemlerini üstlenmiş olan uygulamadır. Bu uygulama ArcGIS Desktop yazılımlarının (ArcInfo, ArcEditor ve ArcView) içerisinde bütünleşik olarak kullanıcıya sunulur.

ArcMap: ArcMap'de mevcut grafik ve sözel verilerin görüntülenmesi, veri düzenleme, sorgulama ve analiz, grafikleme ve raporlama araçları ile yüksek kalitede kartografik üretim fonksiyonları bulunmaktadır. ArcGIS Desktop yazılımlarının (ArcInfo, ArcEditor ve ArcView) içerisinde bütünleşik olarak gelen ArcMap uygulaması, CBS verileri ile ilgili başlıca şu fonksiyonları yerine getirir:

- Haritalama
- Düzenleme
- Sorgulama
- Analiz
- Grafikleme
- Raporlama

Şekil 5.4'de ArcGIS programının ArcMap özelliği kullanılarak Tekirdağ iline ait örnek bir sistem üzerinde güç akışı analiz sonuçlarının görselleştirilmesi verilmiştir.



Şekil 5.4 Tekirdağ iline ait örnek bir sistem üzerinde ArcGIS yazılımı ile yapılan görselleştirme

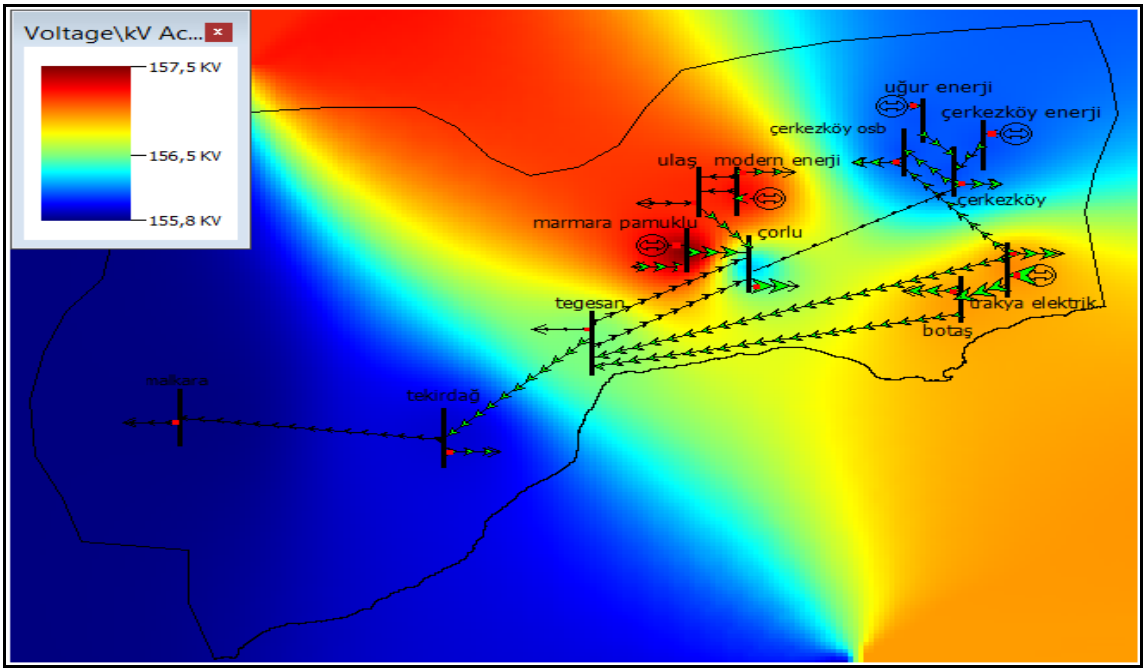
5.6 PowerWorld Yazılımının Tanıtılması

PowerWorld benzetim programı kullanılarak farklı güç sistemleri için hesaplamalar yapılabilir. Güç akışı hesaplanmak istenilen sistem ilk önce çizilerek gerekli giriş bilgileri girilir. Daha sonra bu bilgiler doğrultusunda program güç akışını hesaplar. Ayrıca oluşturulan bara, iletim hattı, reaktör, generatör, hat kayıpları, vb. için tablolar halinde kullanıcıya sunulmaktadır. Programın özellikleri şu şekilde sıralanabilir;

- Her bir hattaki MW ve MVAr güç akışlarını hesaplar.
- Statik kapasitör ve reaktörlerden akan yükleri hesaplar.

- İstenirse generatörlerin reaktif MVAr gücü sınırlandırılabilir.
- İstenilen bara salınım barası olarak alınabilir.
- Her hat için aktif ve reaktif kayıplar ile sistemdeki toplam kayıplar hesaplanır [79].

PowerWorld programı da tıpkı PSAT gibi elektrik güç sistemleri analizi yapan ve birçok işletim sisteminde çalışan bir programdır. Ancak PSAT gibi komutlarla değil kullanılacak elemanın seçilip sayfaya aktarılması yoluyla çalışır. Bu nedenle görsel açıdan daha kullanışlıdır. PowerWorld programının yapabildiği ana işlemler, güç akışı, optimal güç akışı, seri kapasitör, paralel kapasitör, kısa devre analizleri ve PV-QV eğrilerinin elde edilmesidir [80]. Program 100000 baranın kullanılmasına izin vermektedir ancak demo versiyonu en fazla 41 baraya izin verdiğinden bu çalışmadaki örnek sistem bu kısıtlamaya göre oluşturulmuştur. Tüm örneklerde S_{baz} = 100 MVA alınmıştır. PowerWorld programında da Newton-Raphson yöntemi kullanılmıştır. Şekil 5.5'de gerçek değerlerinin kullanıldığı Tekirdağ iline ait örnek bir sistem üzerinde güç akışı analizinin gerçekleştirilmesi verilmiştir [81].



Şekil 5.5 Tekirdağ iline ait örnek bir sistem üzerinde PowerWorld yazılımı ile güç akışı analizinin yapılması

BÖLÜM 6

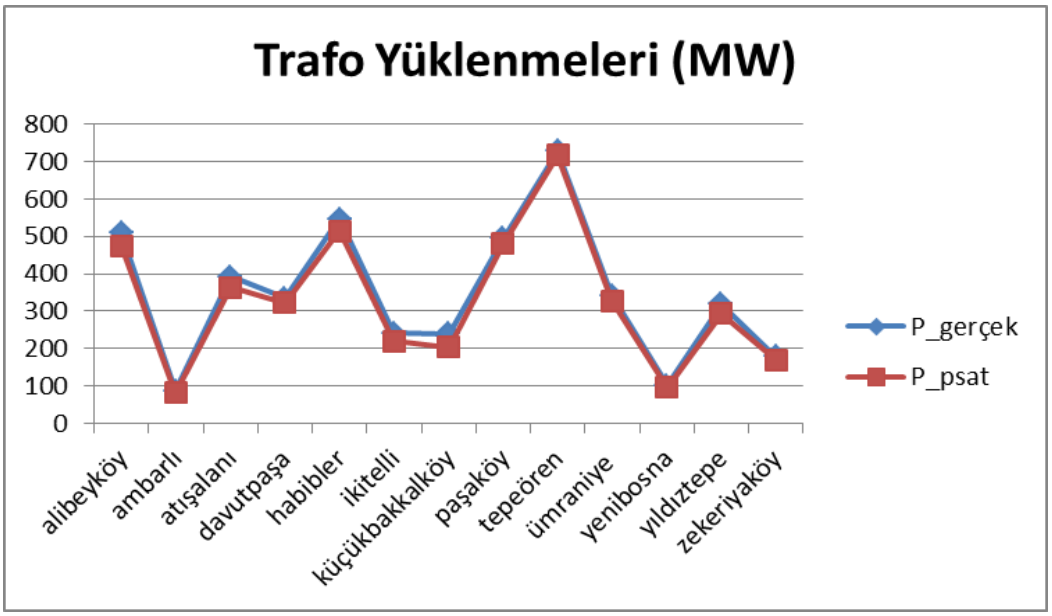
SİMÜLASYON ÇALIŞMALARI

Çalışma yapılacak örnek sistem, gerçek şebeke değerlerinin kullanıldığı İstanbul ilinde bulunan 380 kV-154 kV'luk bara ve enerji iletim hatlarından oluşmaktadır. Türkiye'nin kuzeybatısında $41^{o}00'16"$ kuzey enlemi ve $28^{o}58'59"$ doğu boylamında yer alan İstanbul şehri, üretilen elektrik enerjisinin %17'sini kullanan, toplamda 51 il kadar elektrik tüketen ve ülke sanayisiyle üretiminin merkezi olması nedeniyle seçilmiştir. Ayrıca coğrafi açıdan enerji nakil hatlarının çok özel konularından olan boğaz atlayışlarının önemli üç örneği de (Boğaz Atlama I-II-III) burada bulunmaktadır.

İstanbul ili Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi (TEİAŞ) Trakya ve Kuzeybatı Anadolu (KBA) Yük Tevzi ve 1. ve 4. İletim Tesis ve İşletme grubuna bağlı, sınırları içerisinde 14 adet 380 kV ve 52 adet 154 kV'luk trafo merkezi bulunmaktadır. Bu 66 baranın 4 adedi üretim geri kalanları ise yük barasıdır. Orta gerilim seviyesinden sisteme bağlı olan otoprodüktör ve serbest üretim santrallerine yer verilmemiştir. Örnek sistemde 13 adet 380 kV/154 kV trafo ile 17 adet 380 kV ve 100 adet 154 kV olmak üzere toplam 117 iletim hattı bulunmaktadır.

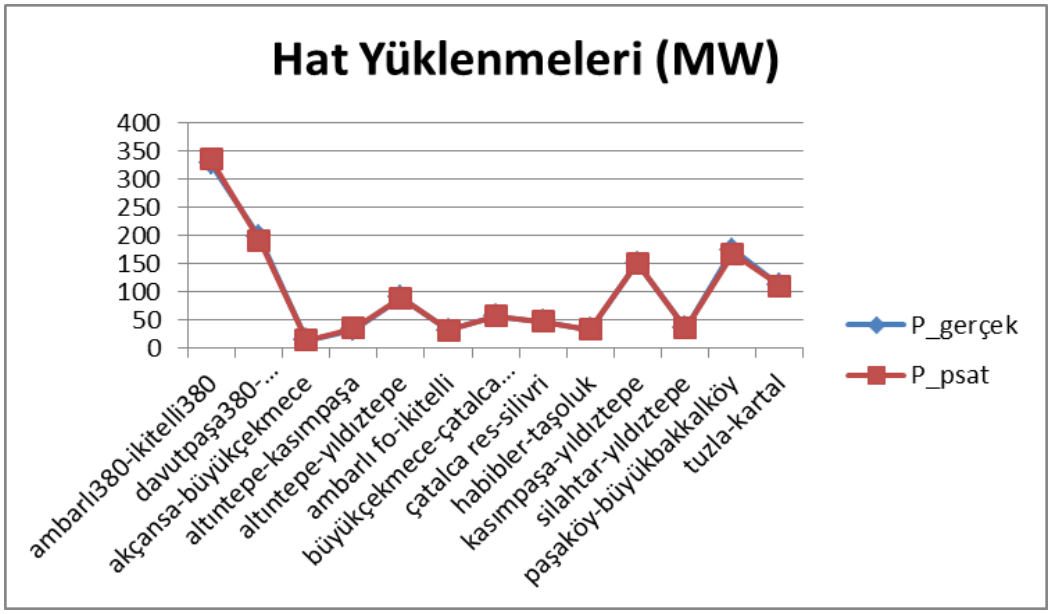
Tepeören trafo merkezi salınım barası olarak seçilmiş ve iletim kayıplarının bu baradan sağlandığı kabul edilmiştir. Sisteme ait hat verileri için gerçek değerler kullanılmıştır. 100 MVA baz gücünde p.u. sistem için Newton-Raphson yöntemi kullanılarak PSAT yazılımı çalıştırılmış ve nominal değerlerdeki güç akışı, gerilim ve faz açısı değerleri bulunmuştur. Bulunan sonuçlar gerçek sistem değerleriyle karşılaştırıldığında sonuçların çok yakın olduğu görülmektedir.

Şekil 6.1'de 13 adet 380 kV-154 kV Trafo merkezlerindeki aktif güç değerlerinin karşılaştırılması verilmiştir.



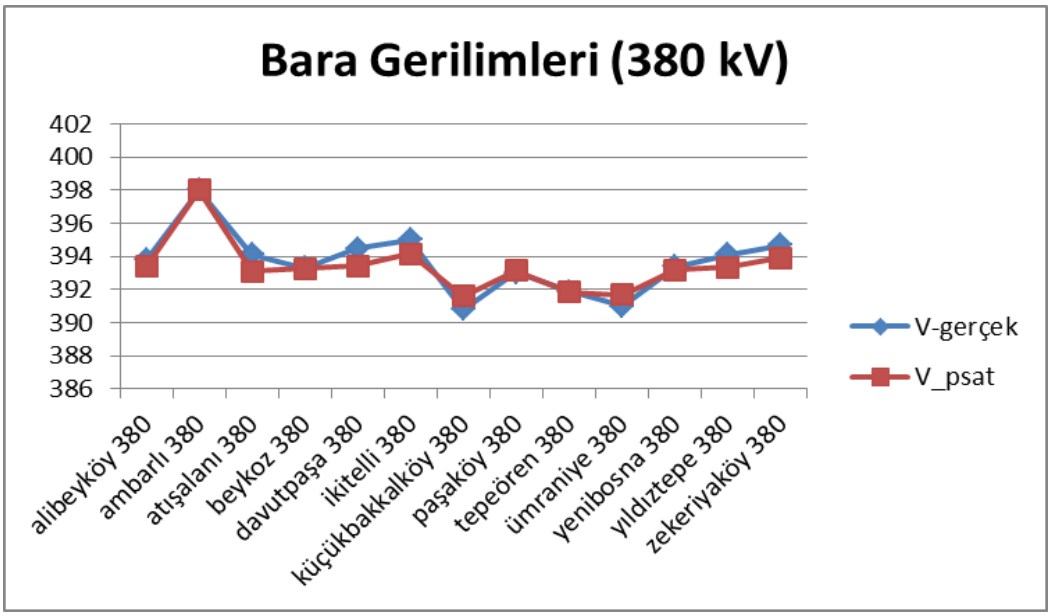
Şekil 6.1 380 kV-154 kV Trafo merkezlerinde aktif güç değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 6.2'de örnek olarak seçilen 13 iletim hattındaki aktif güç değerlerinin karşılaştırılması verilmiştir.



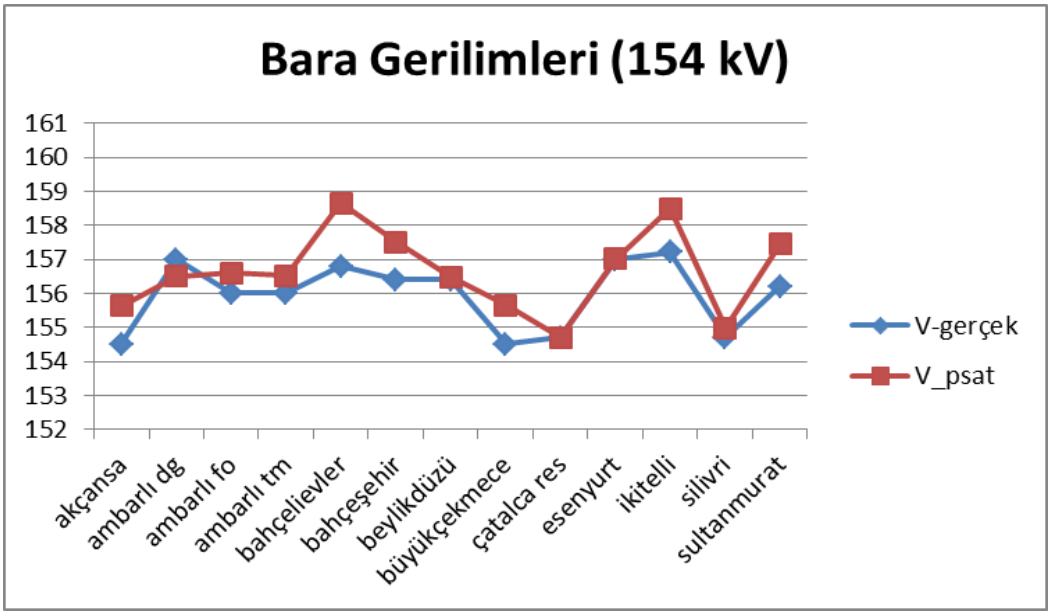
Şekil 6.2 Örnek olarak seçilen 13 iletim hattında güç değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 6.3'de örnek olarak seçilen 13 baradaki 380 kV gerilim değerlerinin karşılaştırılması verilmiştir.



Şekil 6.3 Örnek olarak seçilen 13 barada 380 kV gerilim değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 6.4'de örnek olarak seçilen 13 baradaki 154 kV gerilim değerlerinin karşılaştırılması verilmiştir.



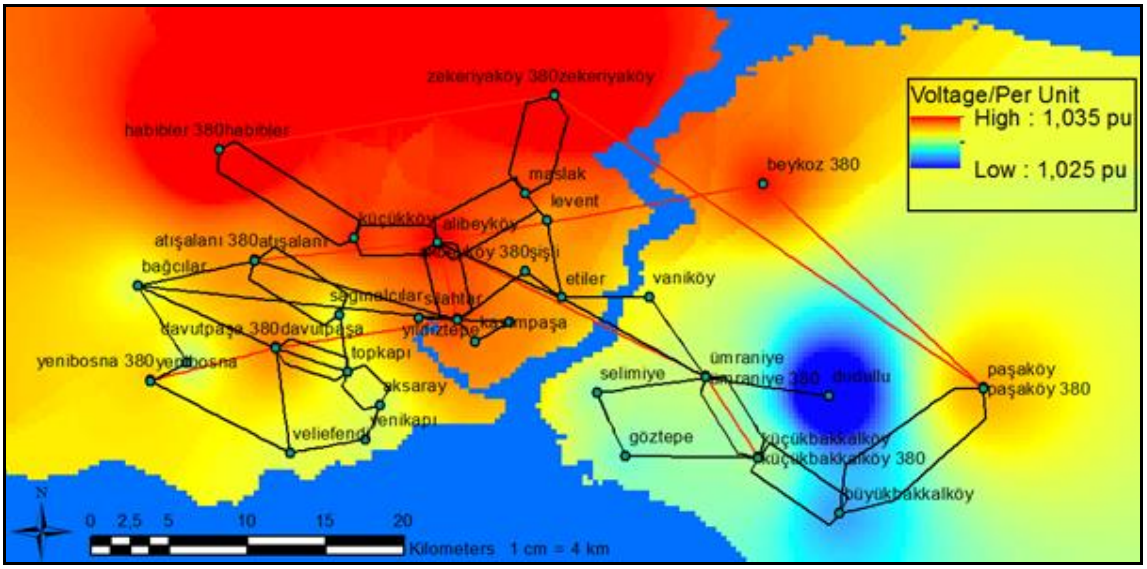
Şekil 6.4 Örnek olarak seçilen 13 barada 154 kV gerilim değerlerinin karşılaştırılması

Elde edilen analiz değerlerinin sonuçları ArcGIS yazılımında .shp uzantılı harita üzerinde daha önceden oluşturulan hatlara ve baralara atanarak 1/750000 ölçeğinde çeşitli görselleştirme çalışmaları yapılmıştır. Çalışmalarda sadece trafo merkezlerinin güncel

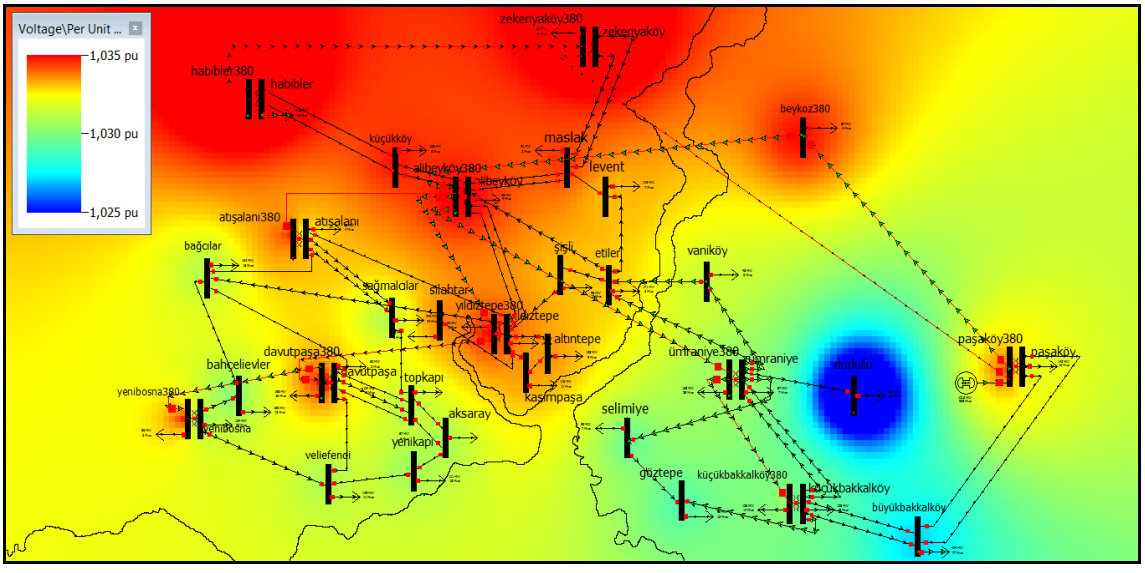
koordinatları bulunmaktadır ve iletim hatları kuş uçuşu olarak gösterilmiştir. Ancak uzun vadede iletim sistemindeki hat ve kabloların koordinatları, Türkiye'de yapılacak çalışmalar sonucunda elde edilebilirse bunlar da veri tabanına eklenerek coğrafi görünüm geliştirilebilir.

PowerWorld programının kısıtlı kullanıma izin vermesi nedeniyle çalışmaların bir bölümü örnek sistemin 41 baralık daha küçük bir bölümünde yapılmıştır.

Şekil 6.5 ve Şekil 6.6'da p.u. olarak bara gerilimlerinin görselleştirilmesi verilmiştir.

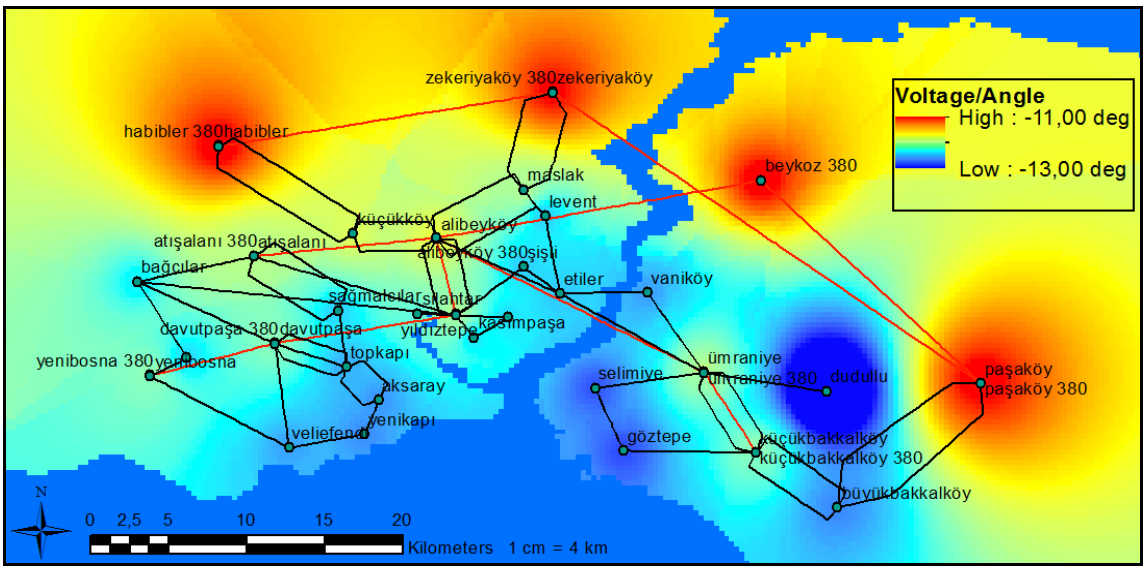


Şekil 6.5 Bara gerilimlerinin ArcGIS programında görselleştirilmesi

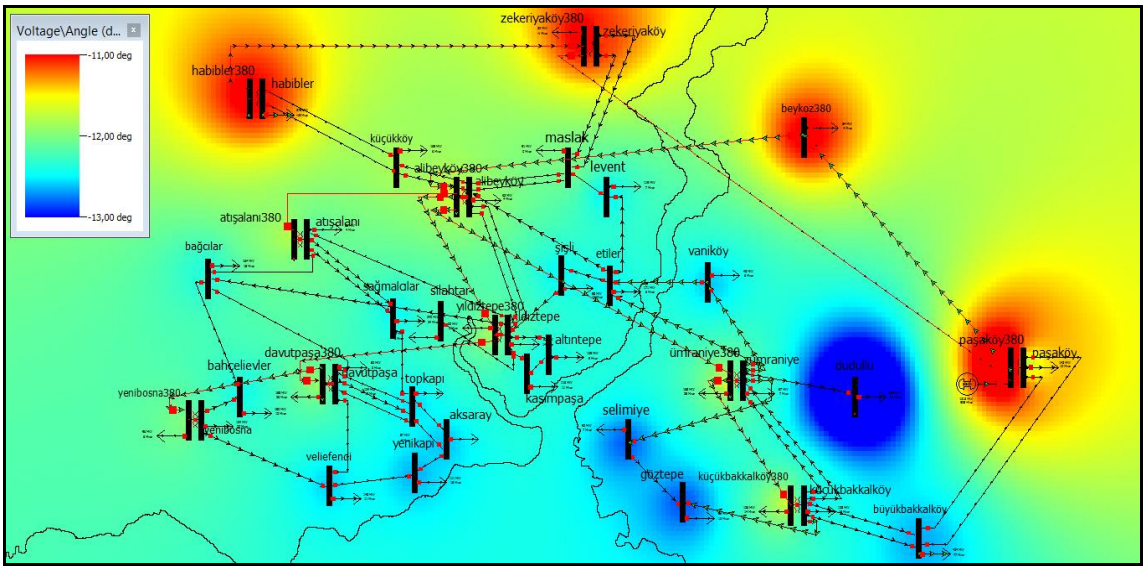


Şekil 6.6 Bara gerilimlerinin PowerWorld programında görselleştirilmesi

Şekil 6.7 ve Şekil 6.8'de bara gerilimlerinin açı değerlerinin görselleştirilmesi verilmiştir.

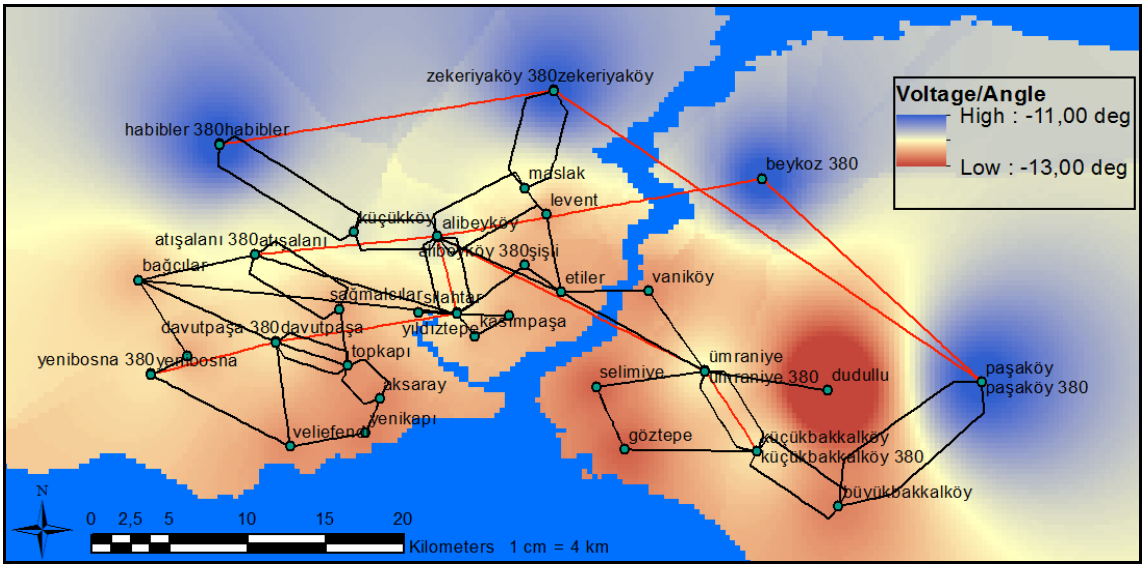


Şekil 6.7 Açı değerlerinin ArcGIS programında görselleştirilmesi

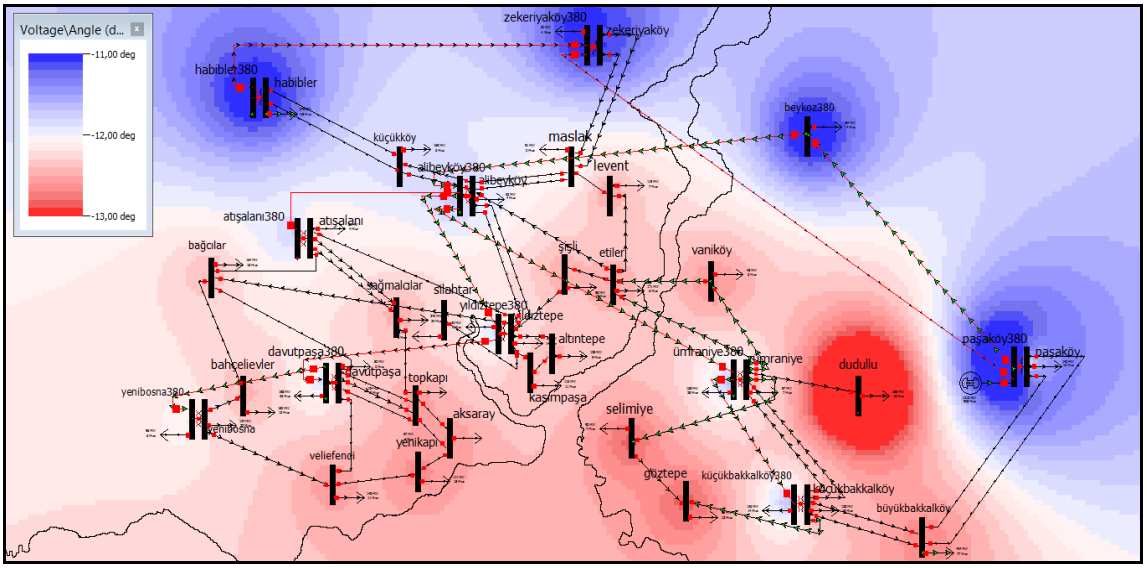


Şekil 6.8 Açı değerlerinin PowerWorld programında görselleştirilmesi

Aynı bara gerilimlerinin açı değerleri farklı görselleştirme seçenekleriyle Şekil 6.9 ve Şekil 6.10'da sunulmuştur.

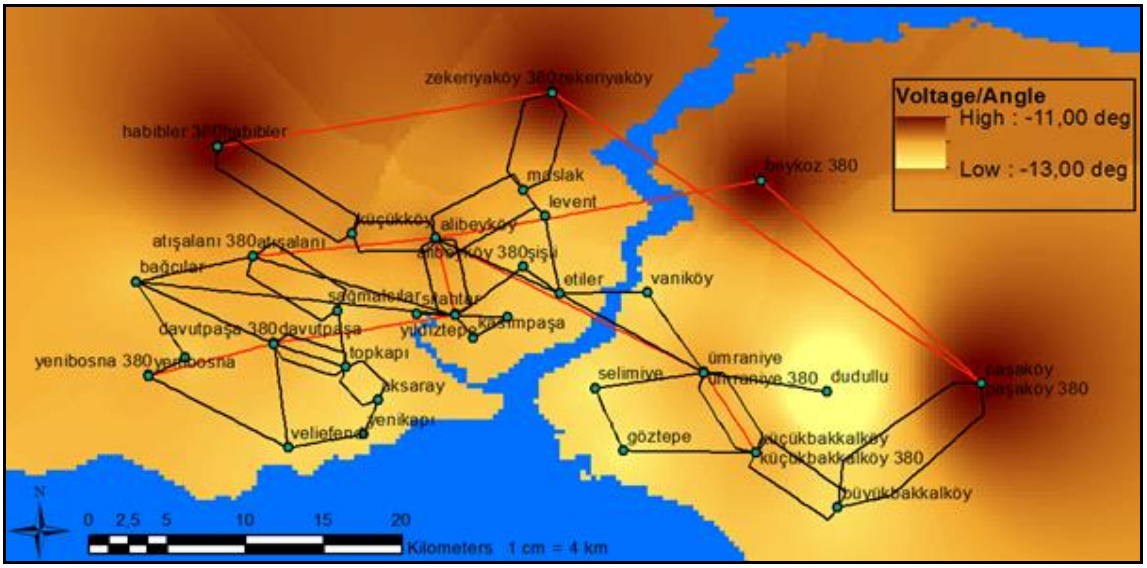


Şekil 6.9 Açı değerlerinin ArcGIS programında kırmızı ve mavi renk tonlarında görselleştirilmesi

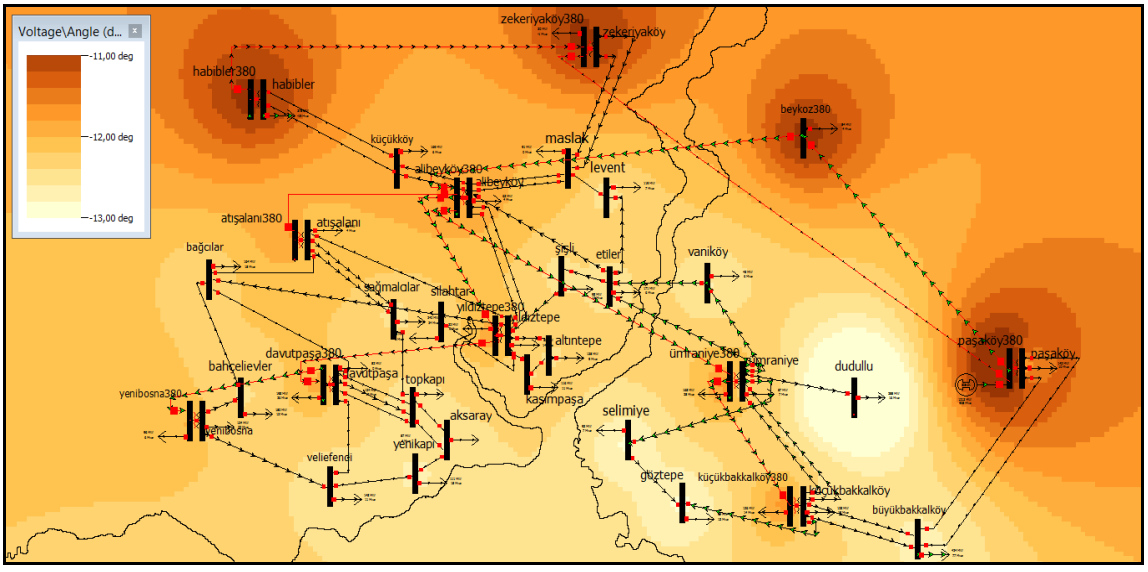


Şekil 6.10 Açı değerlerinin PowerWorld programında kırmızı ve mavi renk tonlarında görselleştirilmesi

Aynı bara gerilimlerinin açı değerleri farklı görselleştirme seçenekleriyle Şekil 6.11 ve Şekil 6.12'de sunulmuştur. Burada dikkat edilmesi gereken husus hem analiz hem görselleştirme yapan Powerworld programında hazır halde sunulan görselleştirme seçeneklerinin, bu çalışmada yapılan uygulamalarda kullanılan ArcGIS programıyla da benzer biçimde elde edilebilmesidir.

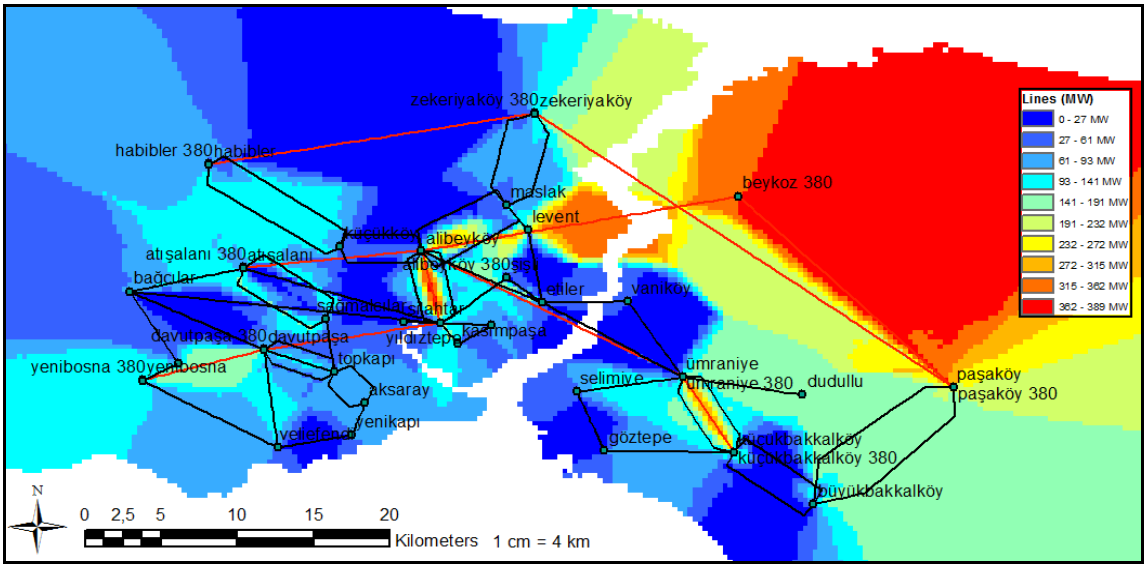


Şekil 6.11 Açı değerlerinin ArcGIS programında kahverengi renk tonlarında görselleştirilmesi

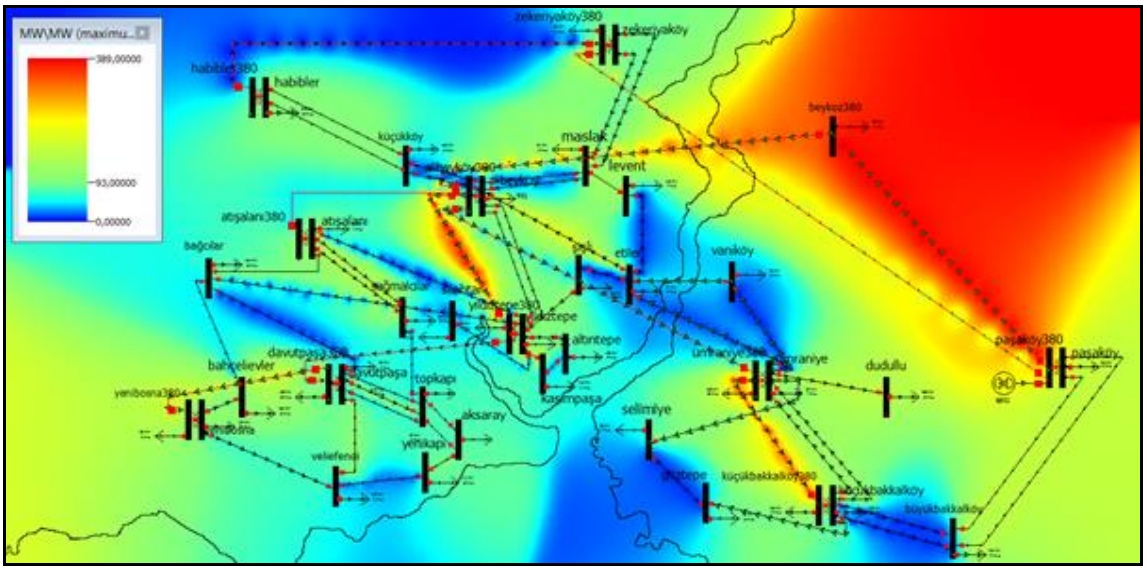


Şekil 6.12 Açı değerlerinin PowerWorld programında kahverengi renk tonlarında görselleştirilmesi

Şekil 6.13 ve Şekil 6.14'de hatlarda akan aktif güç değerlerinin ArcGIS ve PowerWorld programları kullanılarak görselleştirilmesi verilmiştir.

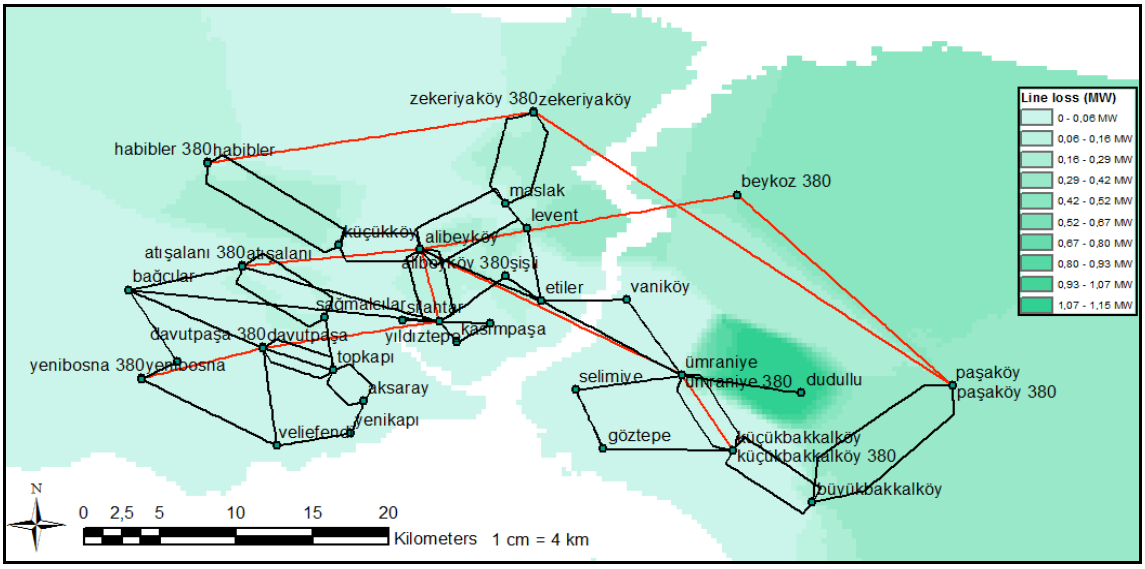


Şekil 6.13 Hat yüklenmelerinin ArcGIS programında görselleştirilmesi

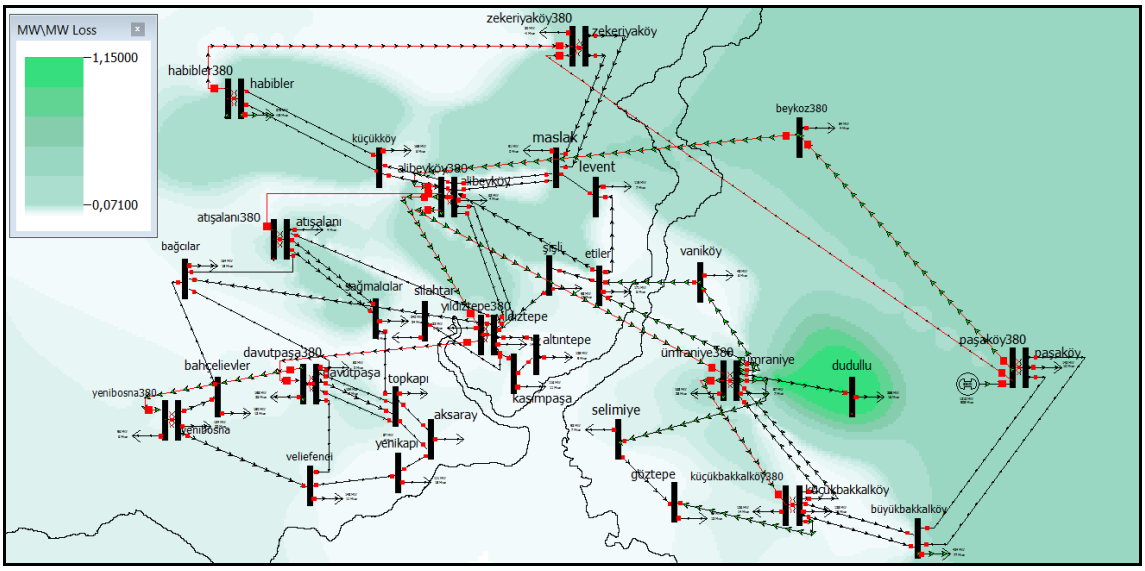


Şekil 6.14 Hat yüklenmelerinin PowerWorld programında görselleştirilmesi

Şekil 6.15. ve Şekil 6.16'da hatlardaki aktif güç kayıplarının görselleştirilmesi verilmiştir.

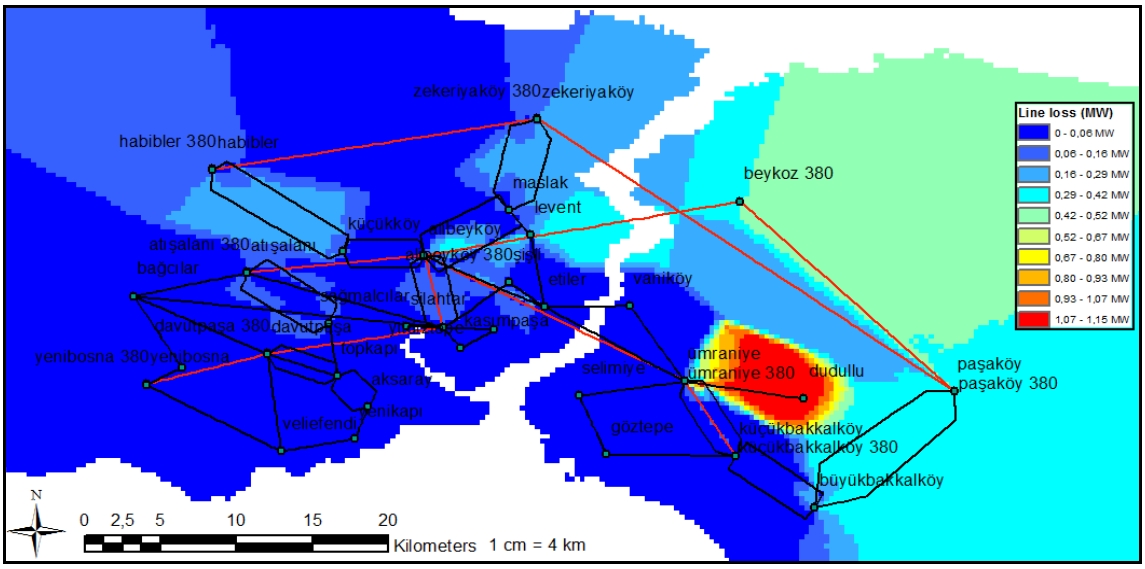


Şekil 6.15 Hat kayıplarının ArcGIS programında yeşil renk tonlarında görselleştirilmesi

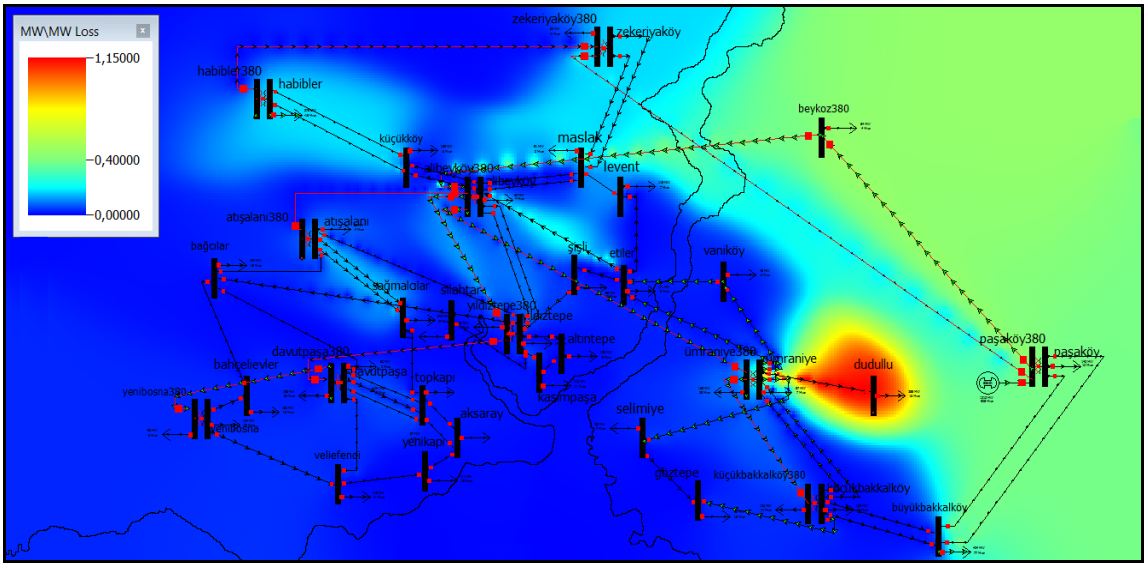


Şekil 6.16 Hat kayıplarının PowerWorld programında yeşil renk tonlarında görselleştirilmesi

Hatlardaki aktif güç kayıpları farklı görselleştirme seçenekleriyle de Şekil 6.17 ve Şekil 6.18'de sunulmuştur.

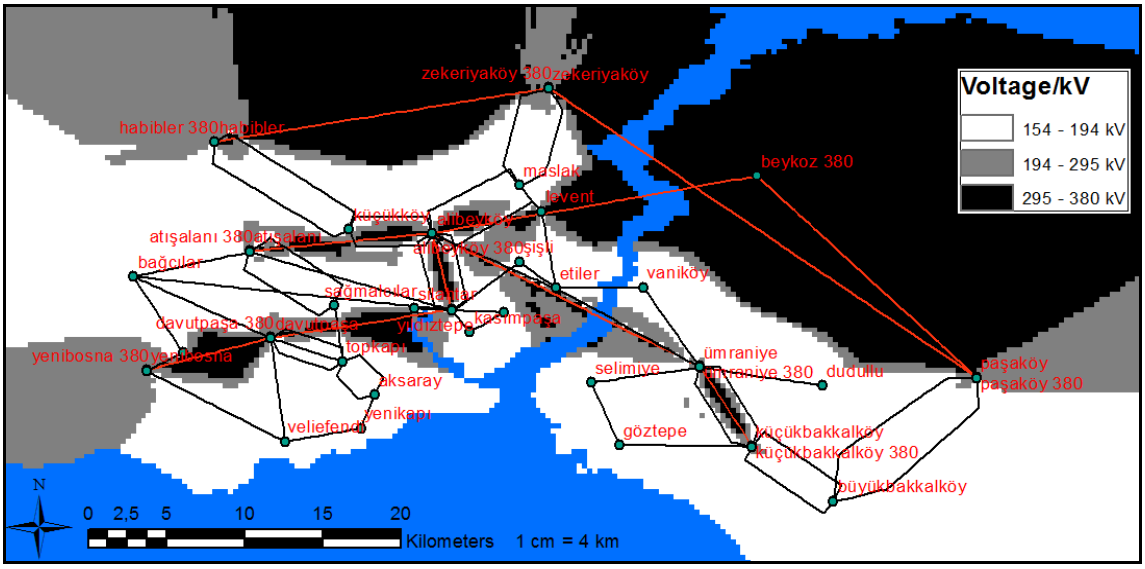


Şekil 6.17 Hat kayıplarının ArcGIS programında 10 renkten oluşan skalayla görselleştirilmesi

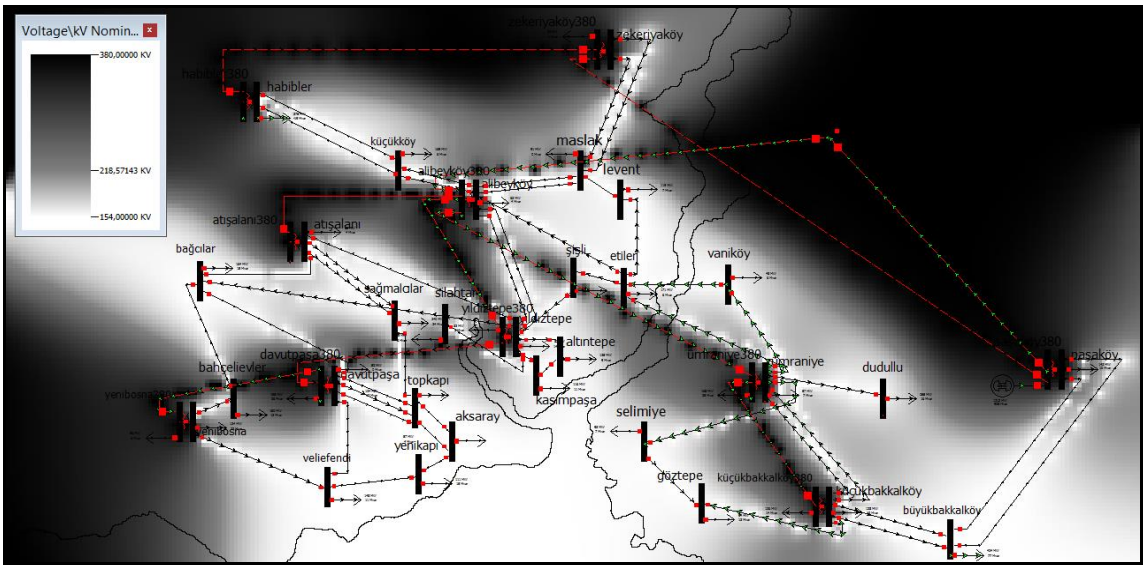


Şekil 6.18 Hat kayıplarının PowerWorld programında 10 renkten oluşan skalayla görselleştirilmesi

İletim hatlarının gerilim seviyeleri birbirine kontrast oluşturacak renk tonlarında seçilerek Şekil 6.19 ve Şekil 6.20'de verilmiştir. Bu durumun bir diğer örnek (koyu kırmızı-koyu mavi renk ölçekli) gösterimi de Şekil 2.2'de sunulmuştur.

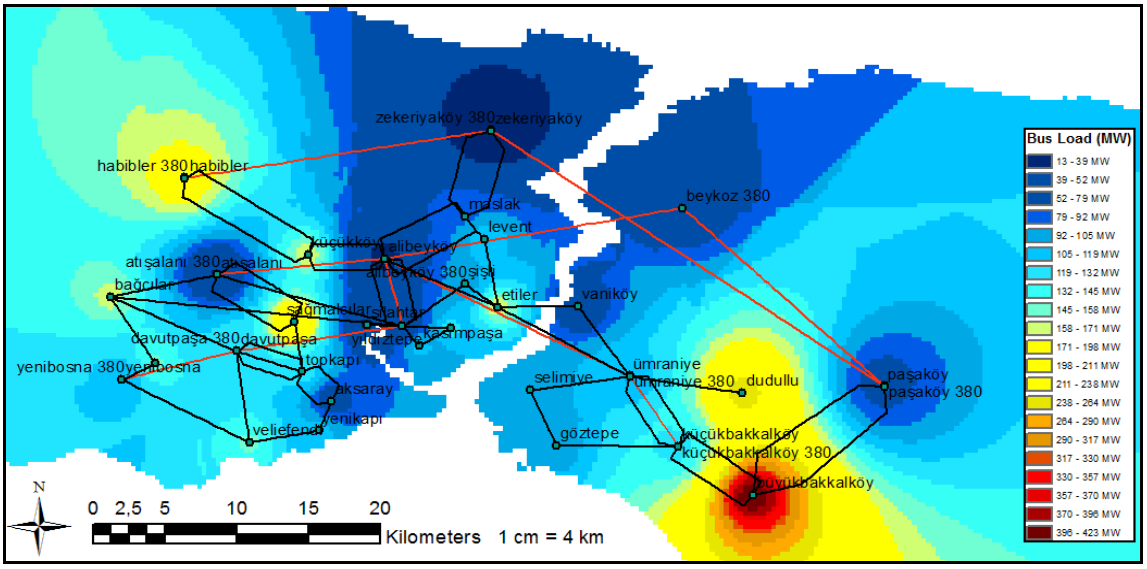


Şekil 6.19 Hat gerilim seviyelerinin ArcGIS programında görselleştirilmesi

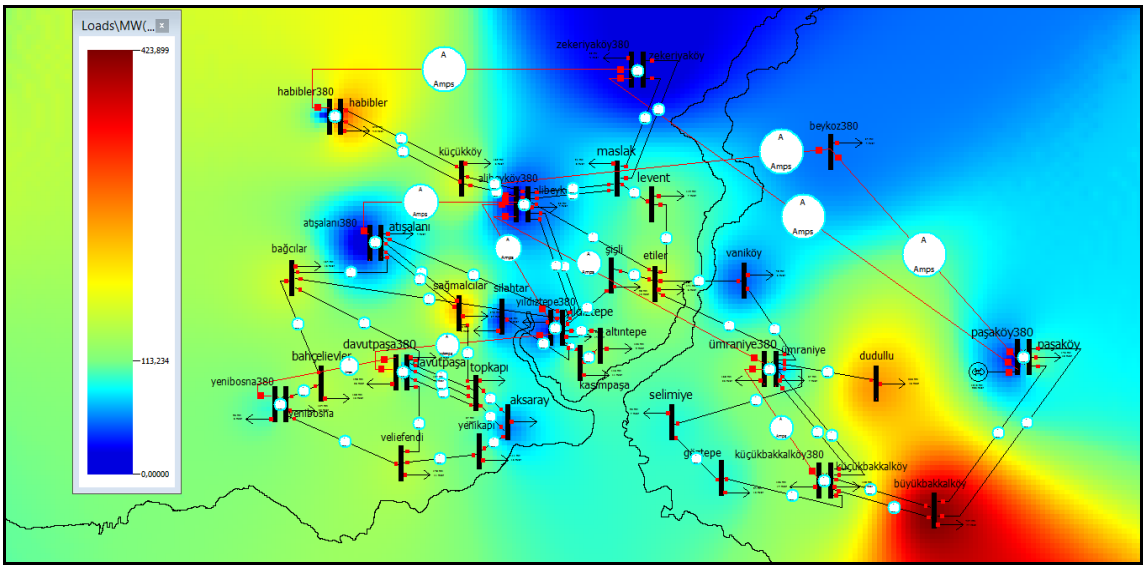


Şekil 6.20 Hat gerilim seviyelerinin PowerWorld programında görselleştirilmesi

Şekil 6.21 ve Şekil 6.22'de bara yüklerinin görselleştirilmesi verilmiştir. Yüksek yüklü baralar kırmızı tonlarında renklendirilirken düşük yüklü baralar mavi tonlarında renklendirilmiştir.



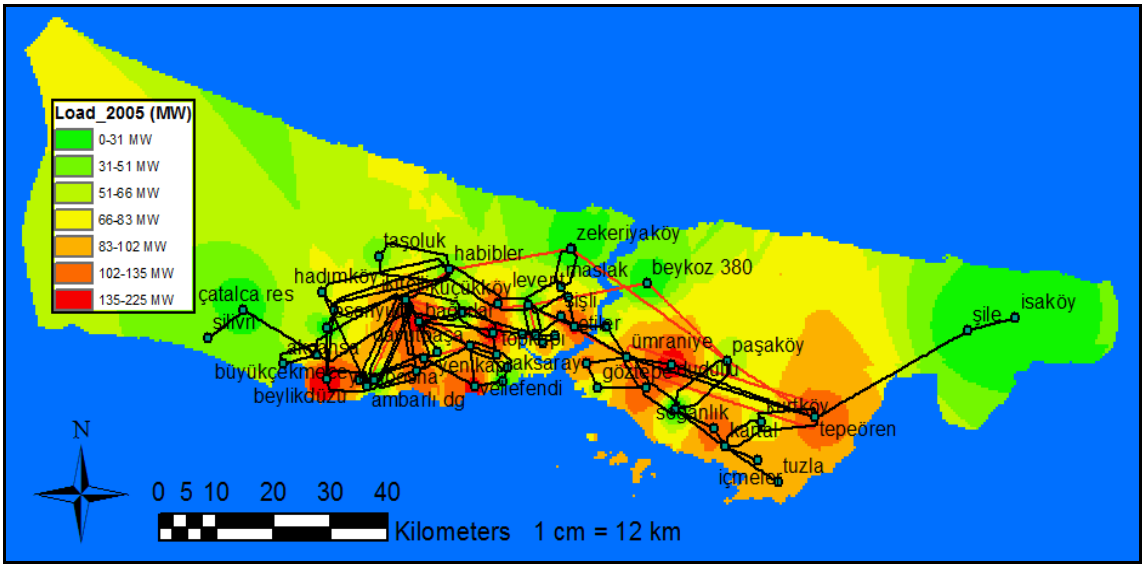
Şekil 6.21 Bara yüklerinin ArcGIS programında görselleştirilmesi



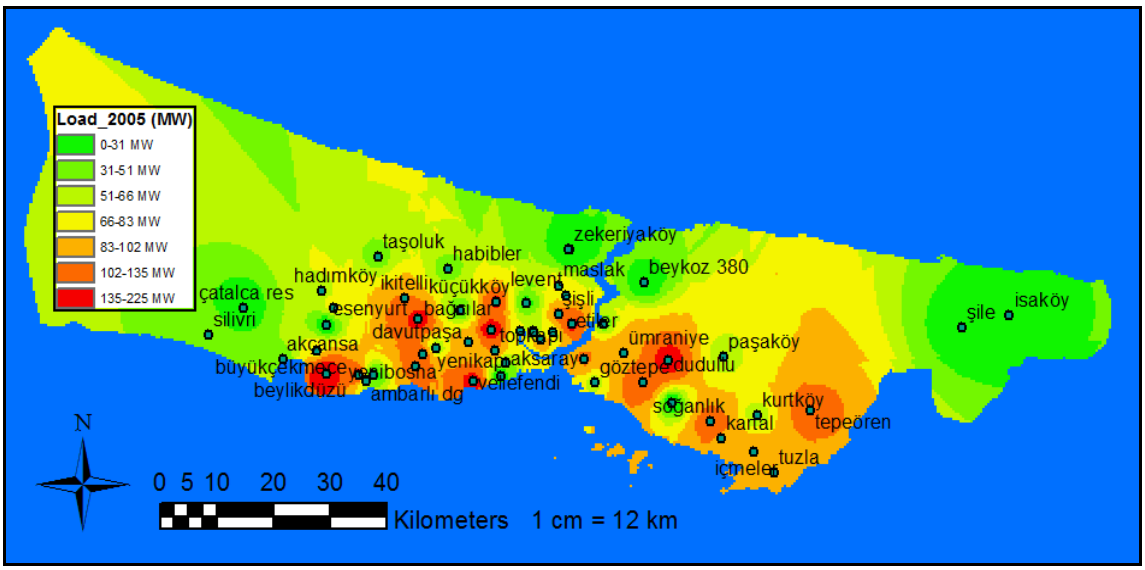
Şekil 6.22 Bara yüklerinin PowerWorld programında görselleştirilmesi

Buraya kadar elde edilen tüm görüntülerin hem analiz hem görselleştirme yapan PowerWorld programından elde edilen sonuçlarla birbirine çok yakın olduğu görülmektedir.

Şekil 6.23 – Şekil 6.31'de örnek sistemde tüm hat ve baraların bulunması durumunda, 2005-2012 yılları arası baraların yüklenme durumları skala sabit kalacak şekilde gösterilmiştir (bu çalışmanın yapıldığı sırada 2013 yılına ait kış puant değerleri açıklanmamıştır, bu nedenle 2012 yılına kadar olan değerler alınmıştır).

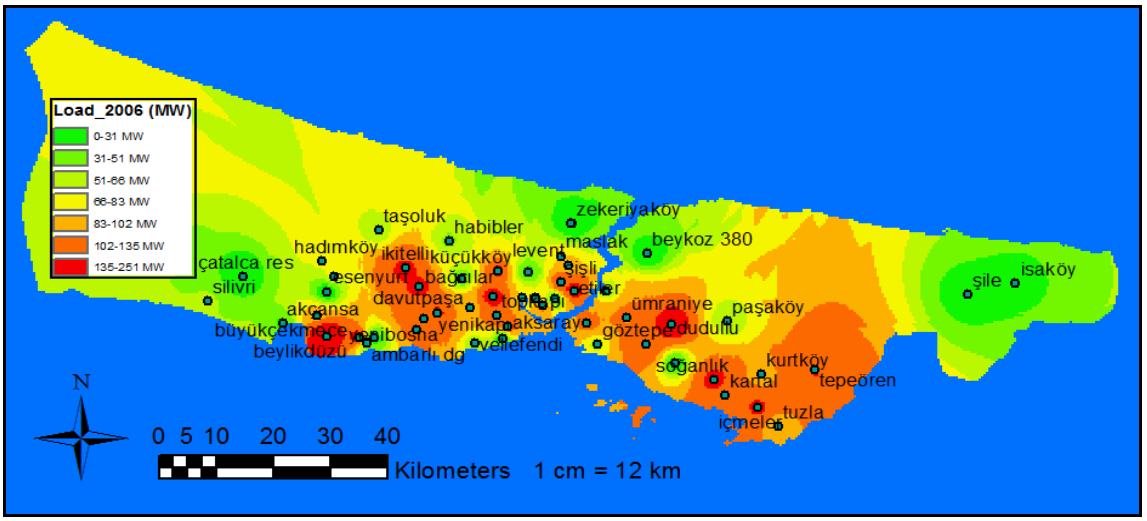


Şekil 6.23 2005 yılında bara yükleri

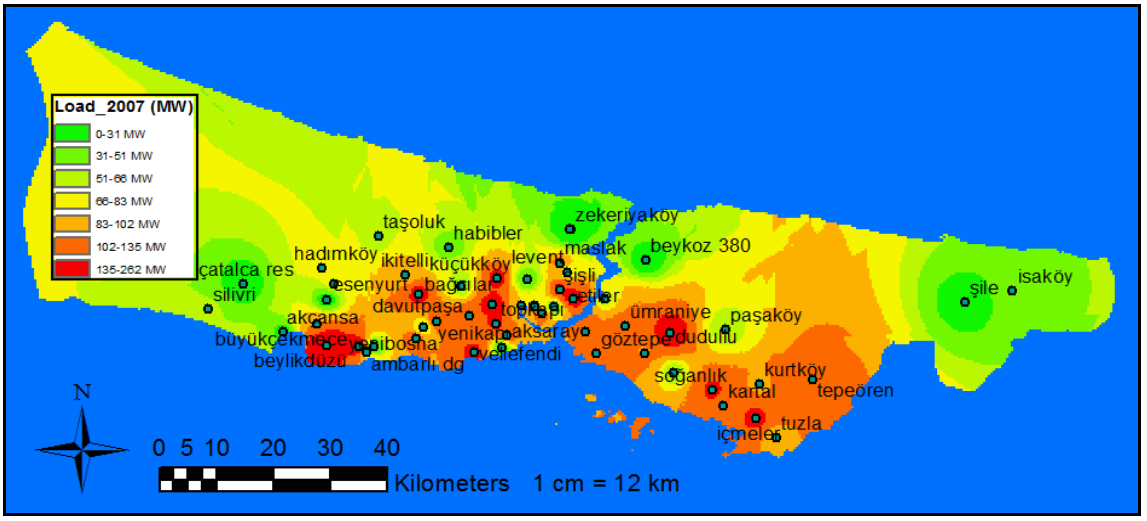


Şekil 6.24 2005 yılında bara yükleri (iletim hatları olmadan)

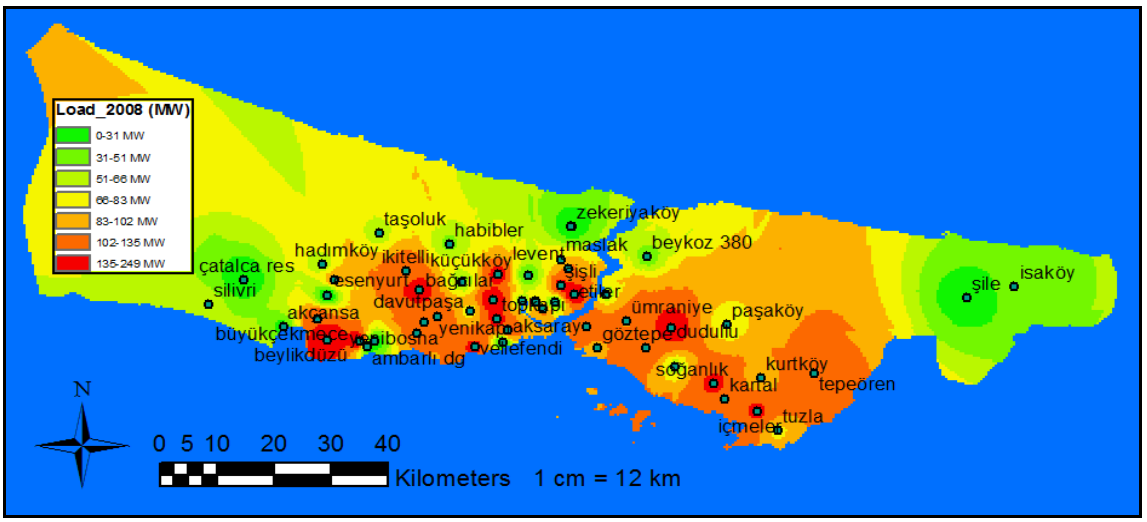
Şekil 6.24'de 2005 yılına ait bara yüklenmelerinin daha net görüntülenebilmesi için iletim hatları kaldırılmıştır. 2006-2012 yıllarına ait görsellerştirmelerde de aynı uygulama yapılmıştır. Yüksek yüklü baralar kırmızı tonlarında renklendirilirken düşük yüklü baralar yeşil tonlarında renklendirilmiştir.



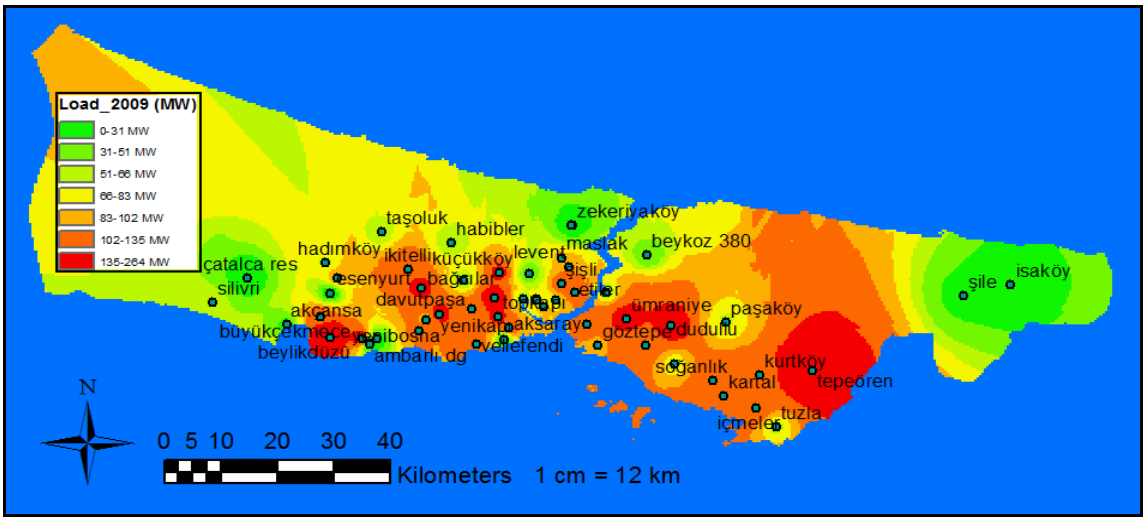
Şekil 6.25 2006 yılında bara yükleri (iletim hatları olmadan)



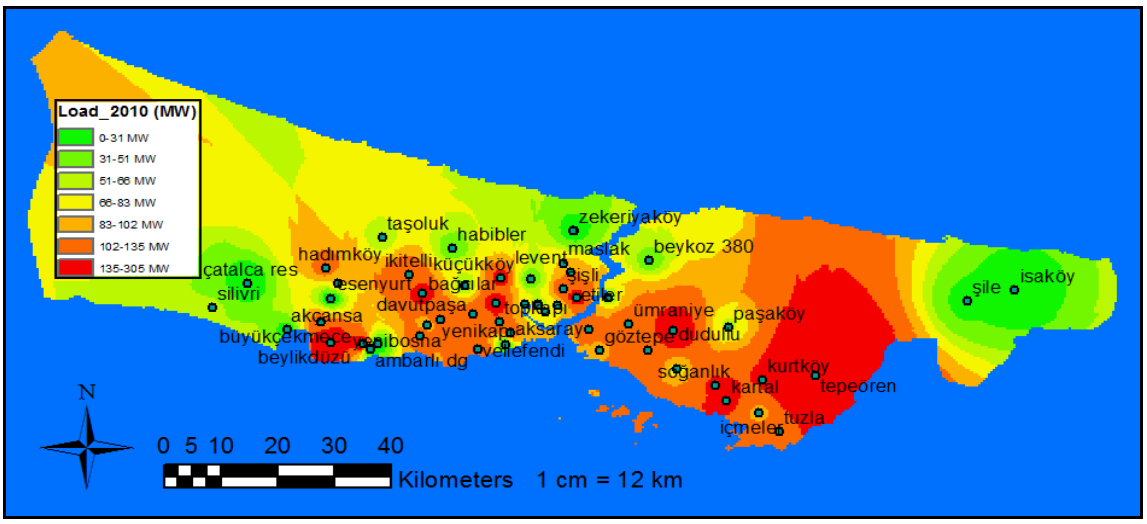
Şekil 6.26 2007 yılında bara yükleri (iletim hatları olmadan)



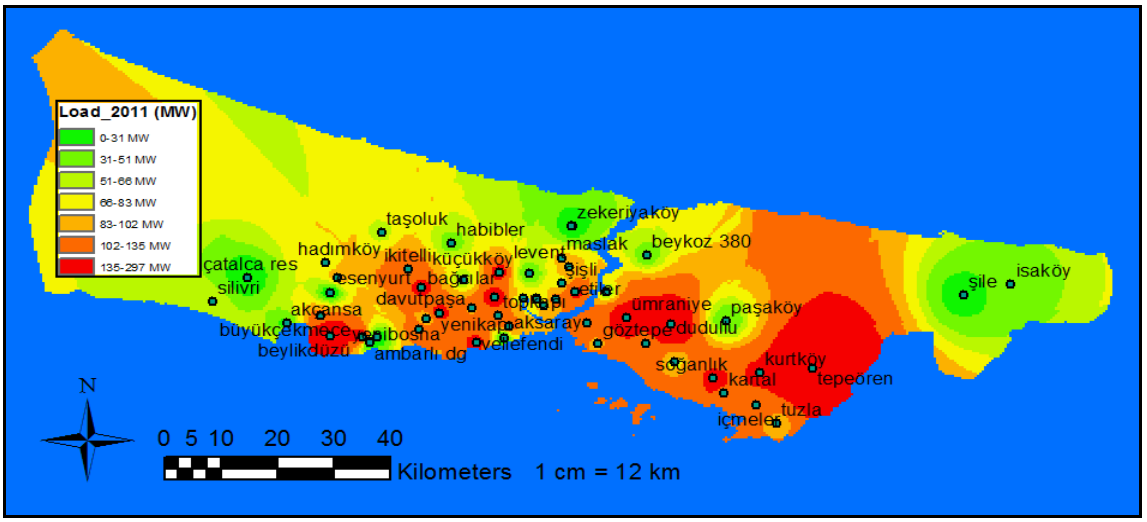
Şekil 6.27 2008 yılında bara yükleri (iletim hatları olmadan)



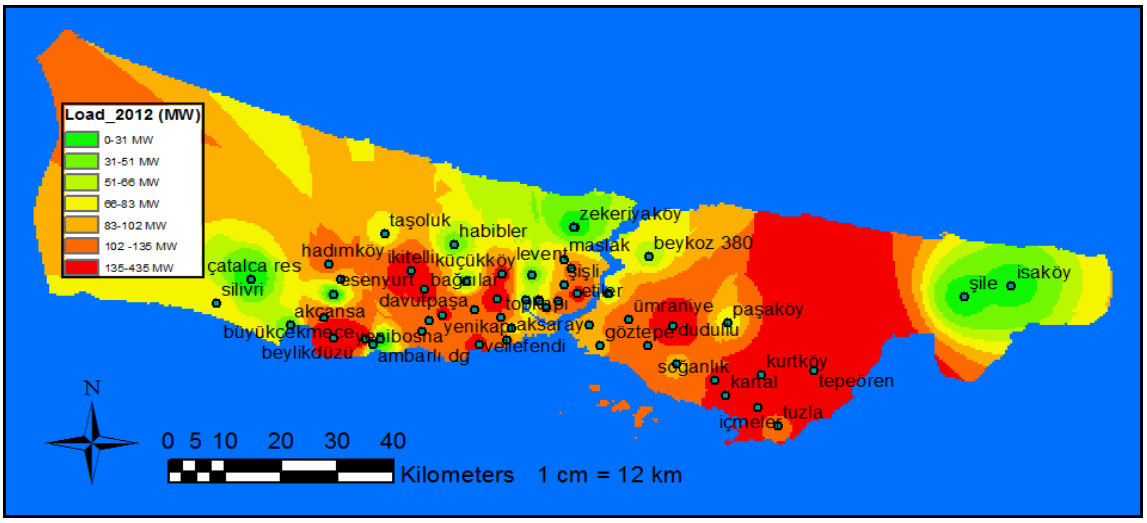
Şekil 6.28 2009 yılında bara yükleri (iletim hatları olmadan)



Şekil 6.29 2010 yılında bara yükleri (iletim hatları olmadan)

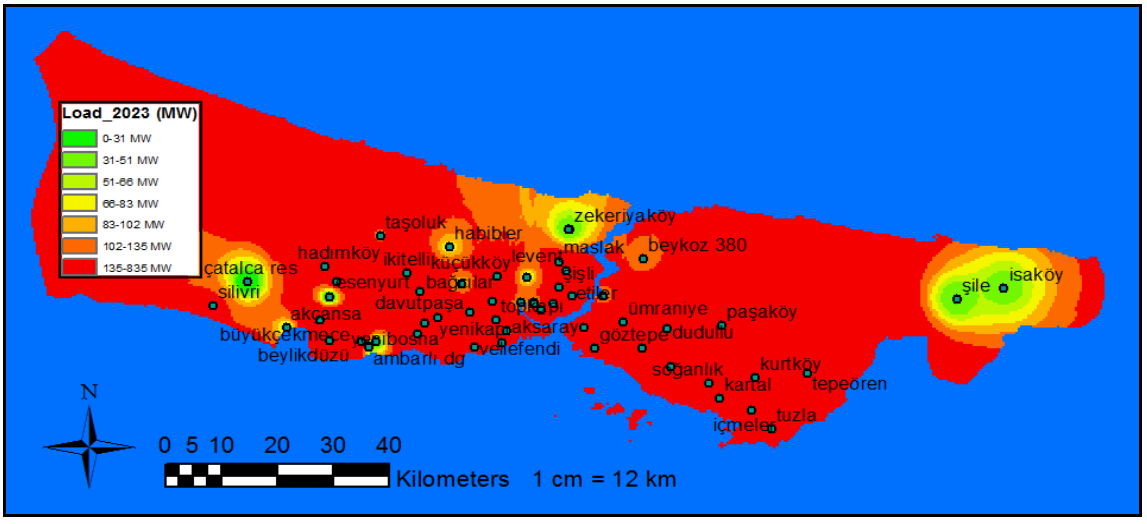


Şekil 6.30 2011 yılında bara yükleri (iletim hatları olmadan)



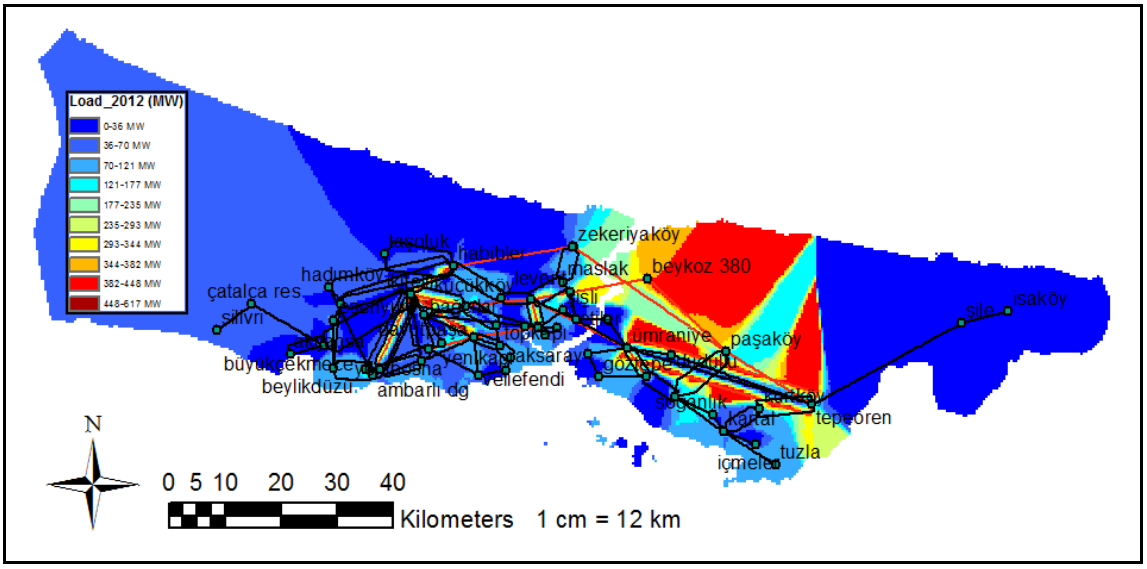
Şekil 6.31 2012 yılında bara yükleri (iletim hatları olmadan)

Türkiye'de yapılan talep tahmin çalışmaları neticesinde 2013-2017 yılları arasında %7,5; 2018-2023 yılları arasında %5 artış olacağı tahmin edilmektedir [38]. Bu durumda 2023 yılında olması beklenen baraların yüklenme durumları skala sabit kalmak koşuluyla Şekil 6.32'de gösterilmiştir.

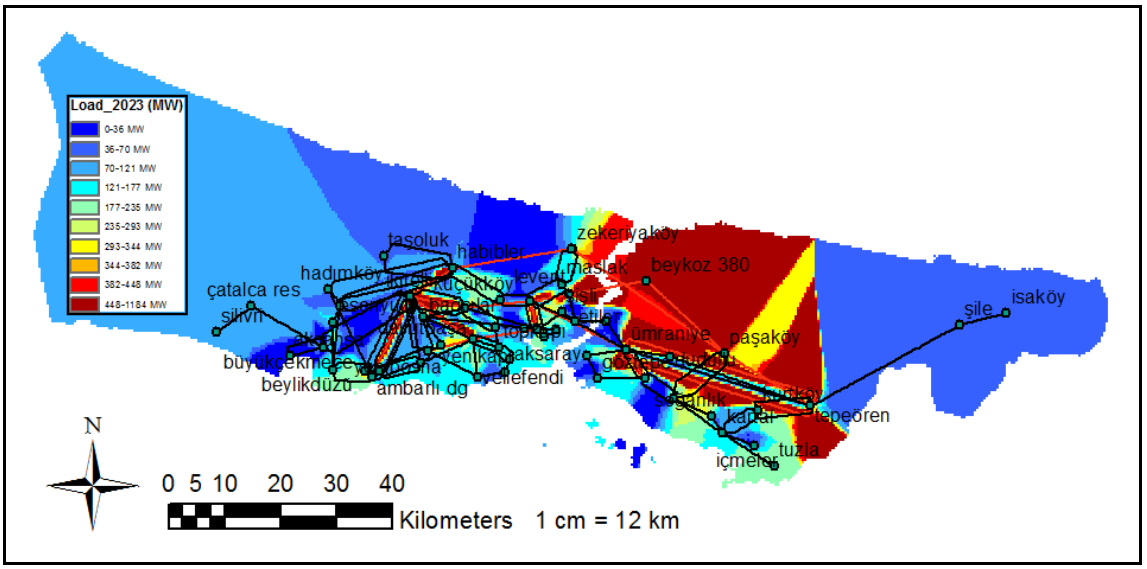


Şekil 6.32 2023 yılı için öngörülen bara yükleri (iletim hatları olmadan)

Aynı şekilde 2012 yılında hatların mevcut yüklenme durumu ile 2023 yılında öngörülen hat yüklenmeleri Şekil 6.33 ve Şekil 6.34'de verilmiştir.

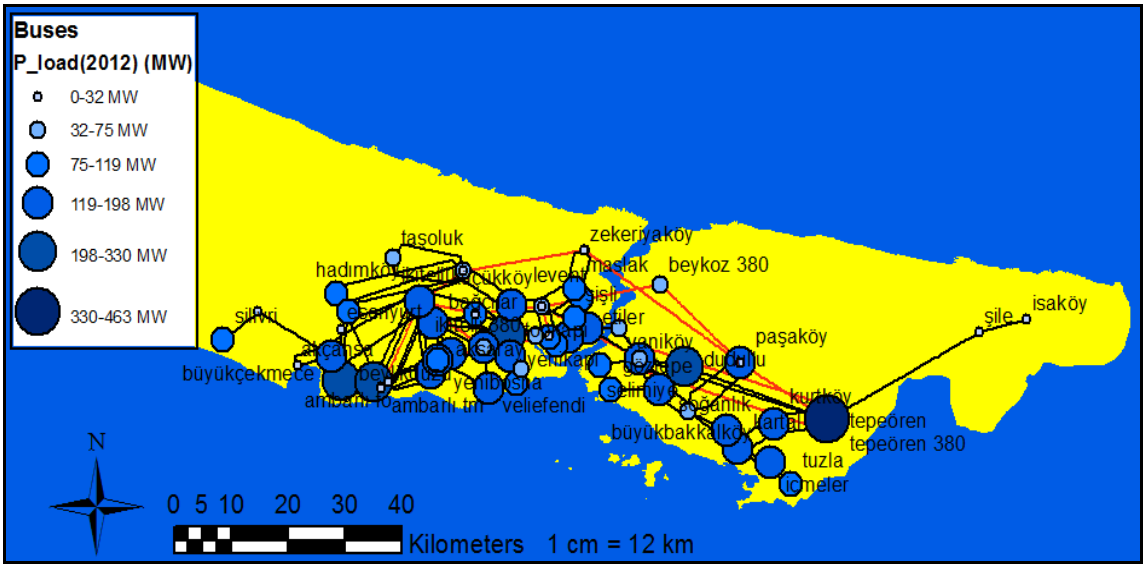


Şekil 6.33 2012 yılında hat yükleri



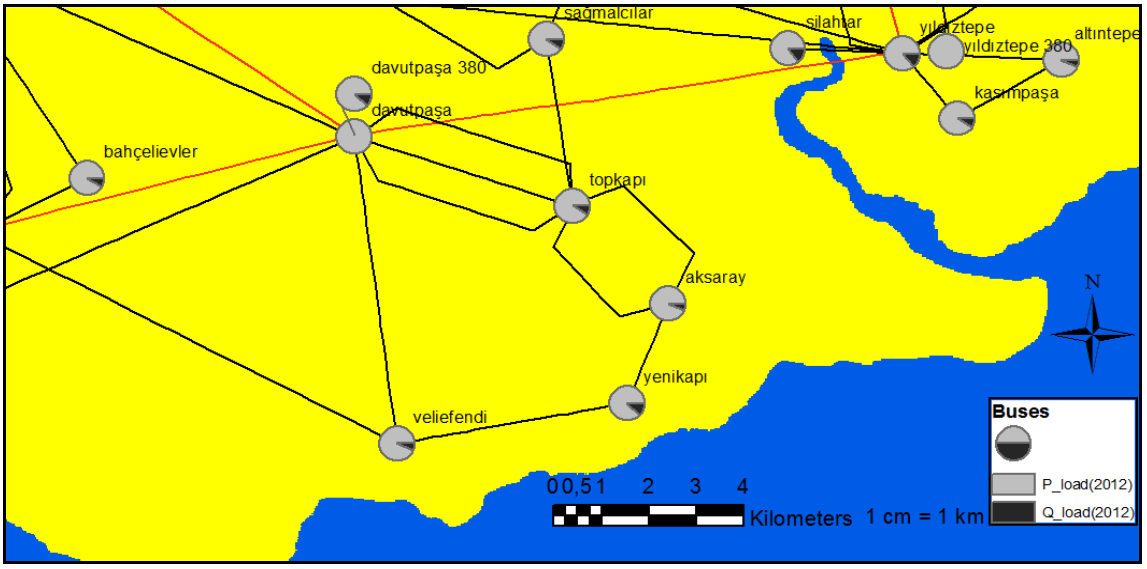
Şekil 6.34 2023 yılı için öngörülen hat yükleri

ArcGIS yazılımının kendi özellikleri kullanılarak farklı tasarımlar da yapılabilir. Örneğin Şekil 6.35'de 2012 yılına ait bara yükleri derecelendirilmiş sembollerle gösterilmiştir.



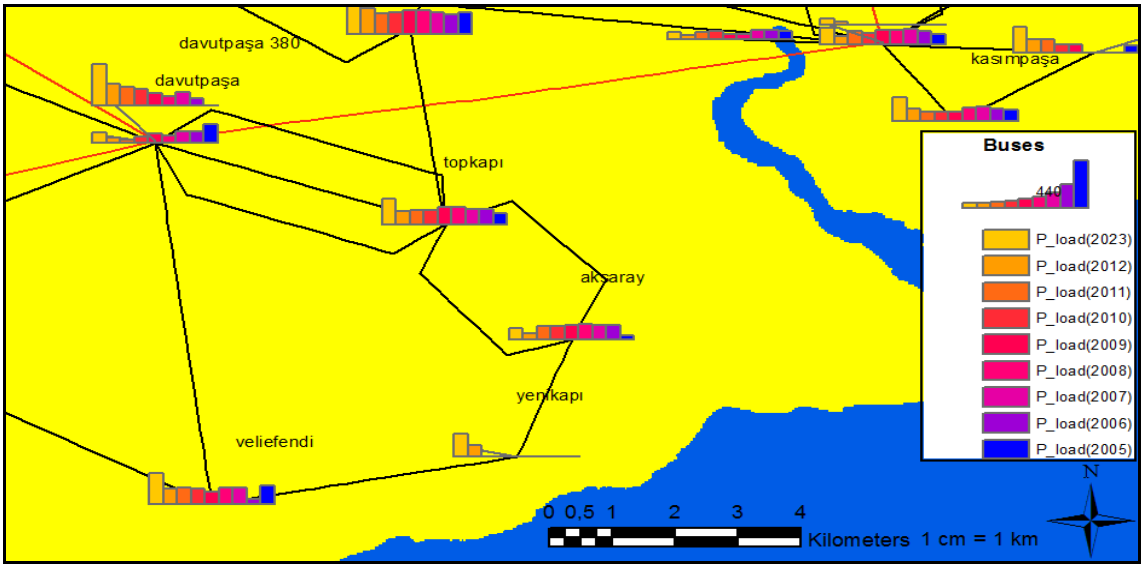
Şekil 6.35 2012 yılı bara yüklerinin derecelendirilmiş sembollerle gösterimi

Şekil 6.36'da bara aktif ve reaktif güçlerinin orantısal olarak karşılaştırılması daire grafikle sunulmuştur.

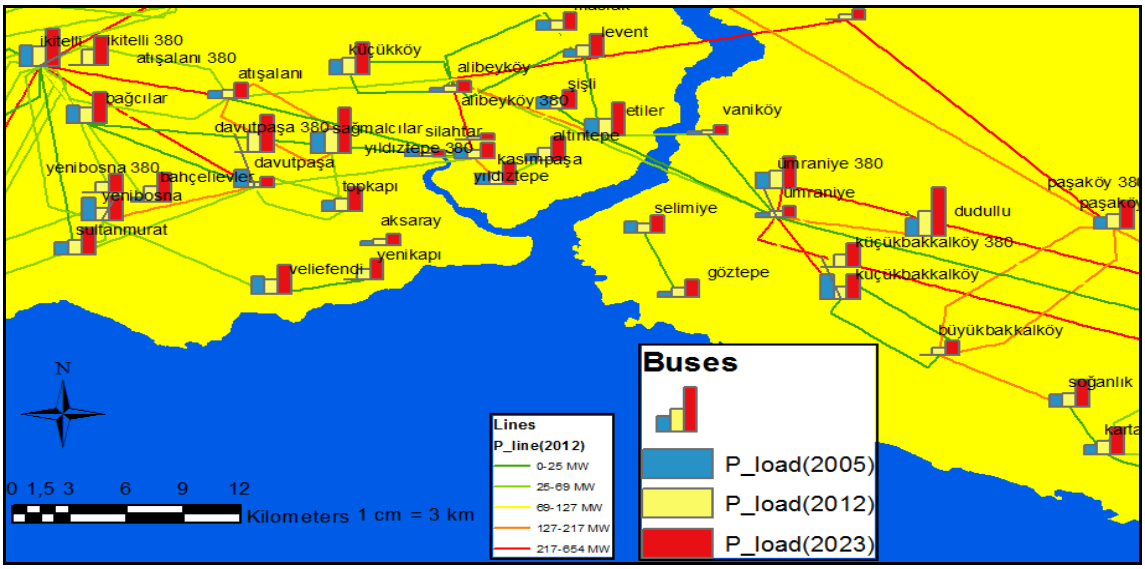


Şekil 6.36 2012 yılı bara aktif ve reaktif güçlerinin oransal olarak karşılaştırılması

Şekil 6.37'de 2005-2012 ve 2023 yılına ait bara yüklenmeleri çubuk grafiklerle sunulmuştur. Şekil 6.38'de 2005, 2012 ve 2023 yılına ait bara yükleri çubuk grafikle sunulurken, 2012 yılına ait hat yüklenmeleri de derecelendirilmiş çizgilerle gösterilmiştir. Böylece hem analiz hem görselleştirme yapan programlarda bulunmayan birden fazla değişkenle çalışma yapma imkânına da sahip olunmaktadır.

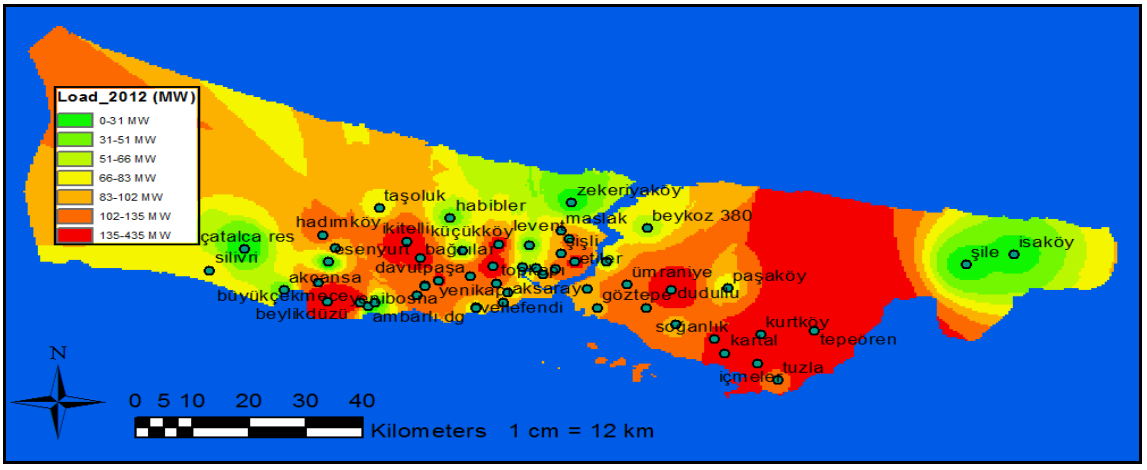


Şekil 6.37 2005-2012, 2023 yıllarına ait yüklenmelerin çubuk grafiklerle gösterimi

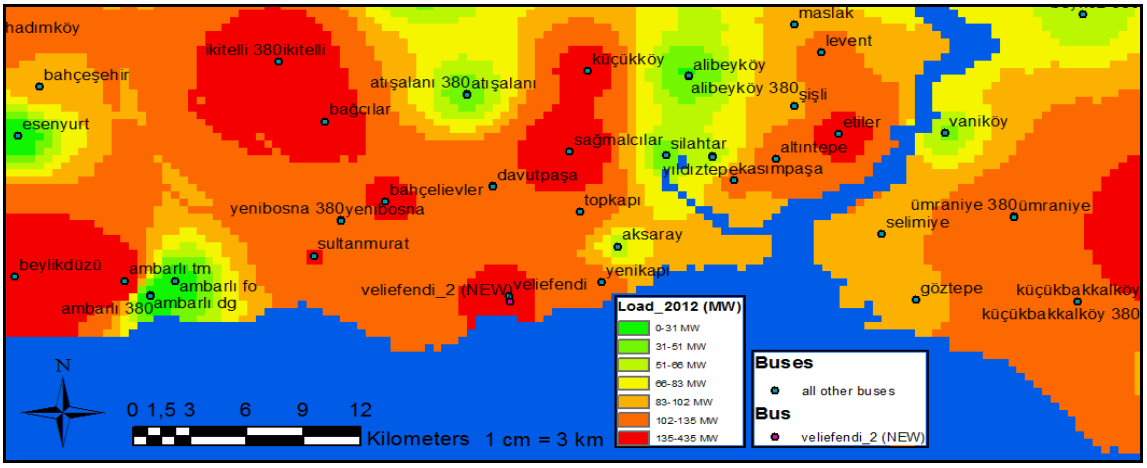


Şekil 6.38 İki farklı değişken kullanılarak örnek sistemin görselleştirilmesi

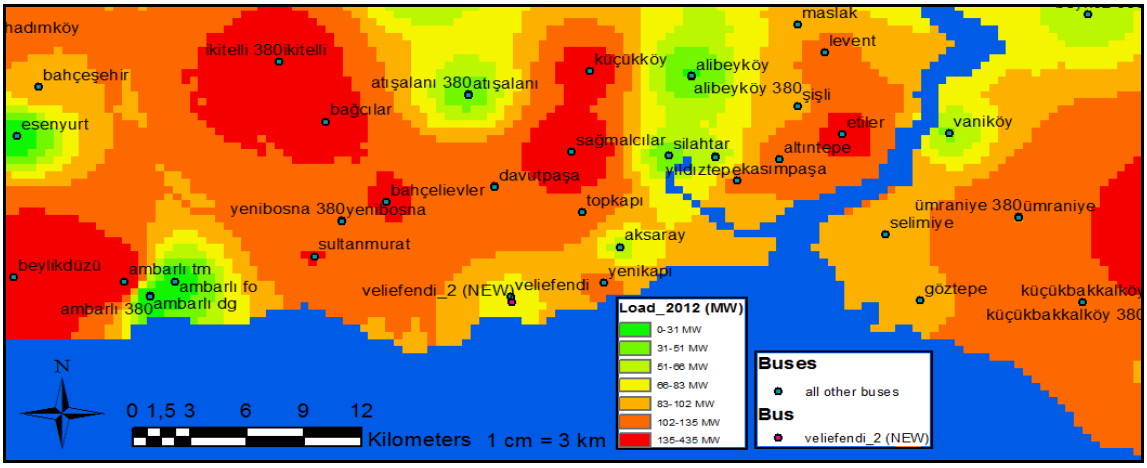
Şekil 6.39‘da yeni eklenen (veya kapasitesi arttırılan) bir trafo merkeziyle yüklü bir baradaki değişiklik görülmektedir. Sisteme trafo eklenmeden önceki yüklenme durumu Şekil 6.31’de verilmiştir. Detaylı görüntüler Şekil 6.40 ve Şekil 6.41’de verilmiştir.



Şekil 6.39 Sisteme yeni eklenen trafo ile bölgesel değişikliğin görselleştirilmesi

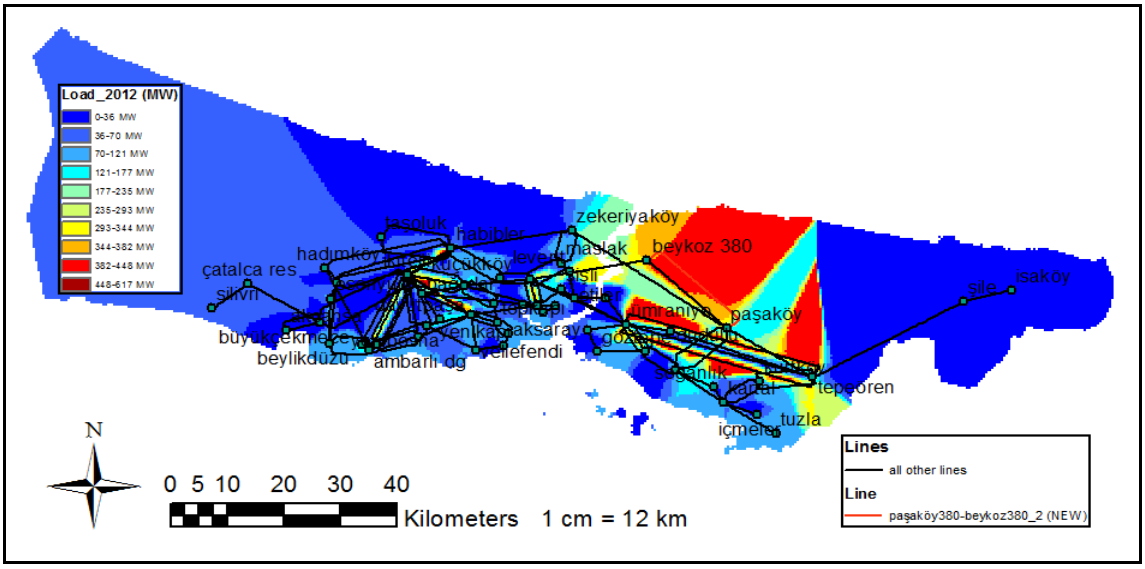


Şekil 6.40 Sisteme trafo eklenmeden önceki durumun görselleştirilmesi

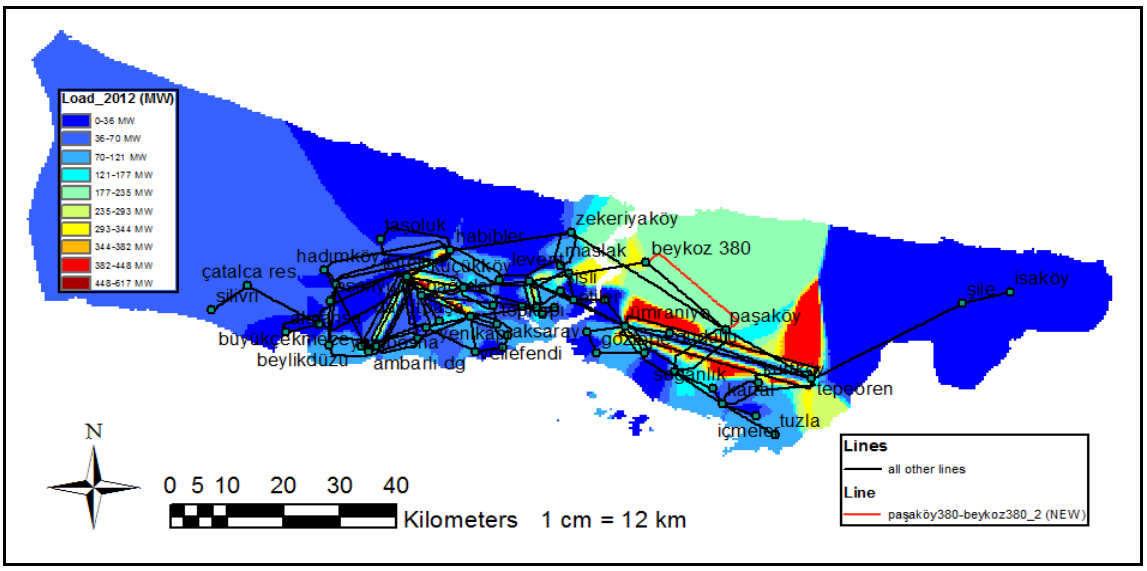


Şekil 6.41 Sisteme trafo eklendikten sonraki durumun görselleştirilmesi

Şekil 6.42 ve Şekil 6.43'de yüklü bir iletim hattına aynı özellikte paralel ikinci bir hat eklendiğinde oluşan değişiklik görülmektedir.

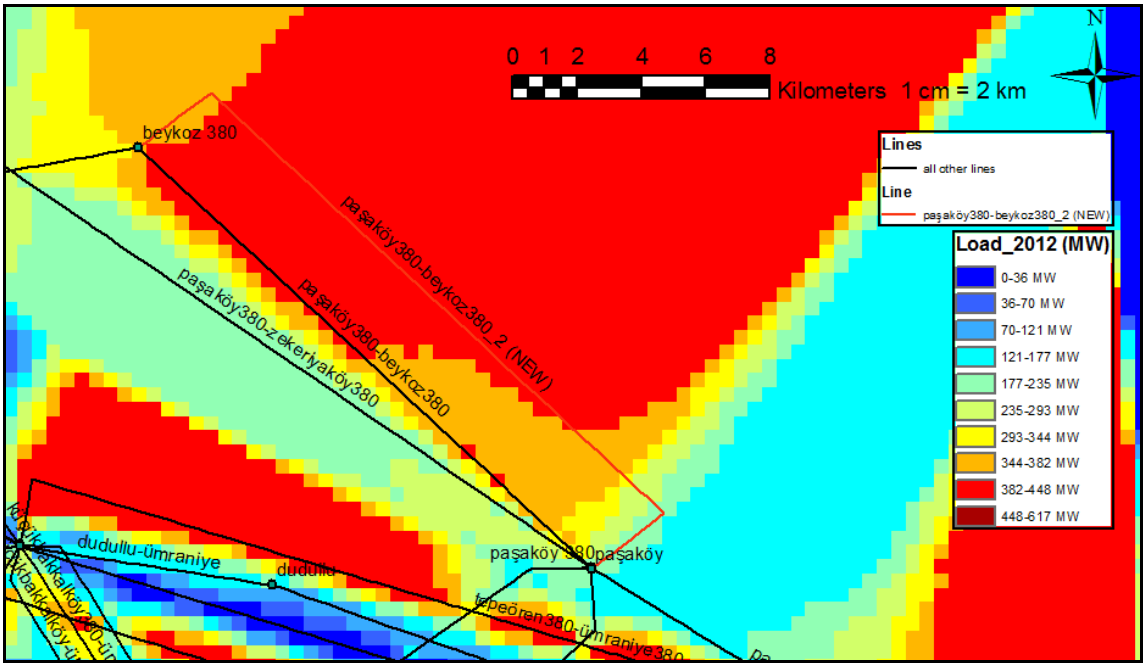


Şekil 6.42 Sisteme hat eklenmeden önce örnek durumunun görselleştirilmesi

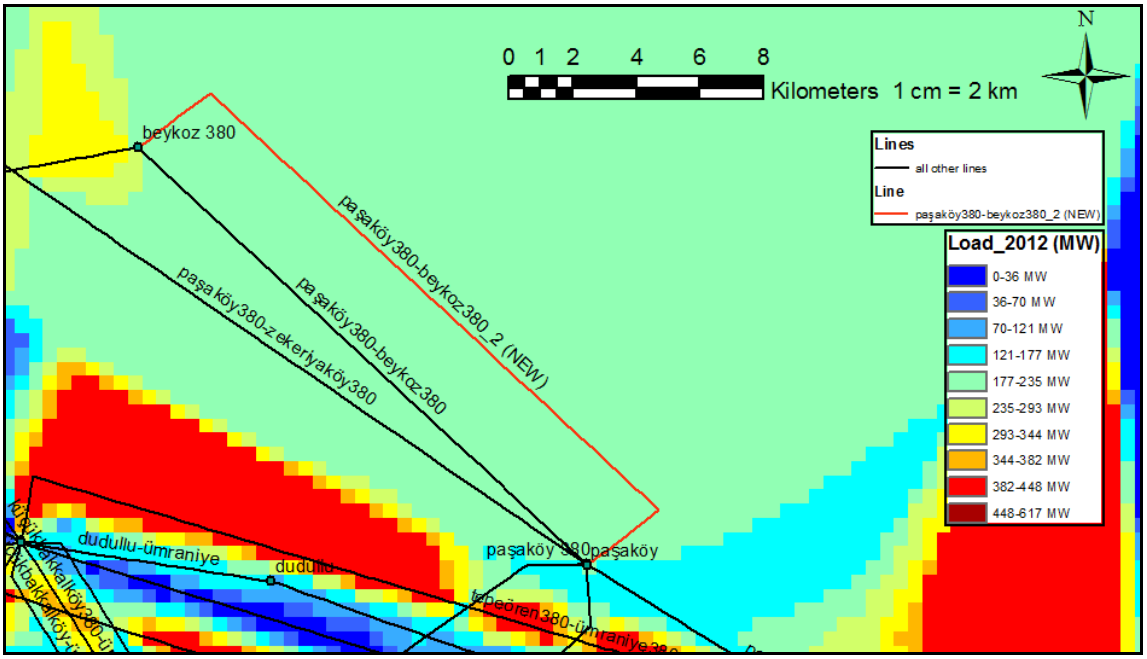


Şekil 6.43 Sisteme yeni eklenen hat ile bölgesel değişikliğin görselleştirilmesi

Sisteme yeni eklenen iletim hattıyla ilgili daha detaylı görüntüler Şekil 6.44 ve Şekil 6.45'de verilmiştir. Bu tarz çalışmalar olası bir yatırım faaliyetine girişilmeden önce fikir vermesi açısından önemlidir.



Şekil 6.44 Sisteme hat eklenmeden önceki durumun görselleştirilmesi



Şekil 6.45 Sisteme hat eklendikten sonraki durumun görselleştirilmesi

BÖLÜM 7

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, 380 kV ve 154 kV'luk 66 baralı örnek bir şebeke üzerinde gerçek sistem değerleriyle yapılan güç akış analizi sonuçlarının coğrafi bilgi sistemlerinde kullanılması gösterilmiştir. Şekil 6.1 - Şekil 6.4'den de görüleceği gibi programların analiz sonuçları ile gerçek güç akış değerleri birbirine çok yakındır. Simülasyon sonuçları gerçek sistem değerleriyle karşılaştırıldığında trafo merkezlerinin yüklenme değerleri arasında ortalama %5-%7, iletim hatlarının yüklenme değerleri arasında %1-%2, 380 kV'luk bara gerilimleri arasında %0,1-%0,2; 154 kV'luk bara gerilimleri arasında %0,7-%0,8 civarında bir hata olduğu görülmüştür. Gerçek sistem ile programlardan elde edilen değerler arasındaki küçük farklar ise trafo merkezlerinden alınan okuma ve ölçme hataları ile programlardaki iterasyon yöntemlerinden kaynaklanır. PSAT programın ArcGIS programına entegre edilmesiyle elde edilen sonuçların hem analiz hem de görselleştirme yapabilen ancak ücretli olan yazılımlarda elde edilenlere çok yakın olduğu görülmüştür (Şekil 6.5 - Şekil 6.22). Açık kaynak kod kullanan ve ücretsiz olan yazılımlar kullanılarak da aynı sonuçların rahatlıkla elde edilebileceği gösterilmiştir (Şekil 6.5 - Şekil 6.22).

Güç akış analizlerinde yapılacak görselleştirme çalışmalarıyla sistemin yönetimi ve kontrolü konusunda çalışanların mevcut durumu kolayca algılayıp hızlı bir şekilde müdahale etmeleri sağlanabilir. Bu sayede olası beklenmedik durumların önceden tahmin edilip muhtemel kesintilerin, güç sistem arızalarının (kısa devre, hat kopması, aşırı yüklenme, dengesizlik vb.) önlenmesine katkıda bulunulabilir.

Görselleştirme çalışmalarının bir diğer faydası da enerji sistemleri konusunda eğitim alan öğrencilerin sistemde kolayca değişiklik yapıp bu değişikliklerin etkisini zaman kaybetmeden görebilmesidir.

Örnek çalışmada ele alınan görselleştirme yazılımları, güçlü bir altyapı ve büyük yatırım maliyeti gerektirmemesi, kolaylıkla çok büyük sistemlere de uygulanabilmesi sayesinde ücretli yazılımlara oranla çok daha ekonomiktir. Mevcut enerji sisteminde yapılacak değişikliklerin yazılımlara kolayca ilave edilmesiyle çalışma yapılan alanda güncel analiz sonuçlarının elde edilmesi sağlanabilir.

Görselleştirme teknikleri, güç sistemleri konusunda profesyonel olarak çalışanların yanında öğrencilerin hatta konuyla ilgili bilgisi olmayanlar tarafından bile bu sistemlerin çalışmasının ve durumunun anlaşılmasını sağlamaktadır. Görselleştirme çalışmalarının güç sistemi operatörleri için çok yararlı olduğu kanıtlanmıştır.

İleride yapılacak çalışmalarda tüm hatların teknik özellikleri CBS'ye kaydedilerek hatların taşıma kapasitesine göre yüklenme durumları görselleştirilebilir. Ayrıca yazılımların kendi özelliklerini kullanarak sayısal yükseklik modeli veya 3 boyutlu düzey haritaları oluşturulabilir, animasyonlar eklenip sistemin görsel olarak sunumu ve algının güçlendirilmesi çalışmaları yapılabilir. Bunların yanında bileşen (TM, hatlar, generatör, kesici, ayırıcı, kapasitör, reaktör, vb.) düzeyinde görselleştirme, geliştirilen görsel üzerinde insan faktörüyle (örneğin anormal değerlerin, arızaların, sistem kısıtlamalarının daha hızlı algılanması, müdahale edilmesi, denetimi, vb.) ilgili deney ve analizlerin yapılması üzerinde çalışılabilecek konulardır. Ayrıca üzerinde çalışma yapılan İstanbul ili için düşünülen ve büyük miktarda enerjiye ihtiyaç duyulacak projeler (uydu kentler gibi yeni yerleşim birimleri, 3. Havaalanı, Kanal İstanbul, vb.) için projeksiyon çalışmaları yapılabilir.

KAYNAKLAR

[1] Exposito, A.G., Conejo, A.J. ve Canizares, C., (2009). Electric Energy Systems Analysis and Operation, Crc Press.

[2] Demircioğlu, S.B., (2006). Enerji Sistemlerinde Gerilim Kararlılığı Sınırlarının Yerel Bara Parametreleri Kullanılarak Gerçek Zamanlı Değerlendirilmesi Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi FBE, Sakarya.

[3] Omitaomu, O.A., Blevins, B.R., Jochem, W.C., Mays, G.T., Belles, R., Hadley, S.W., Harrison, T.J., Bhaduri, B.L., Neish, B.S. ve Rose, A. N., (2012). "Adapting a GIS-Based Multicriteria Decision Analysis Approach for Evaluating New Power Generating Sites", Applied Energy, 96: 292–301.

[4] Van Haaren, R. ve Fthenakis, V., (2011). "GIS-Based Wind Farm Site Selection Using Spatial Multi-Criteria Analysis (SMCA): Evaluating the Case For New York State", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15: 3332– 3340.

[5] Gastli, A. ve Charabi, Y., (2010). "Solar Electricity Prospects in Oman Using GIS-Based Solar Radiation Maps", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14: 790-797.

[6] Aydın, N.Y., Kentel, E. ve Düzgün, H.S., (2013). "GIS-Based Site Selection Methodology for Hybrid Renewable Energy Systems: A Case Study from Western Turkey", Energy Conversion and Management, 70: 90–106.

[7] Yi, C.S., Lee, J.H. ve Shim, M.P., (2010). "Site Location Analysis for Small Hydropower Using Geo-Spatial Information System", Renewable Energy, 35: 852–861.

[8] Rojanamon, P. ve Bureekul, T., (2009). "Application of Geographical Information System to Site Selection of Small Run-of-River Hydropower Project by Considering Engineering/Economic/Environmental Criteria and Social Impact", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 13: 2336–2348.

[9] Larentis, D.G., Collischonn, W., Olivera, F. ve Tucci, C.E.M., (2010). "Gis-Based Procedures for Hydropower Potential Spotting", Energy, 35: 4237-4243.

[10] Fitzgerald, N. ve Leahy, P., (2012). "A GIS-Based Model to Calculate the Potential for Transforming Conventional Hydropower Schemes and Non-Hydro Reservoirs to Pumped Hydropower Schemes", Energy, 41:483-490.

[11] Monteiro, C., Rosado, I.J., Miranda, V., Santamaría, P.J., García-Garrido, E. ve Fernández-Jiménez L.A., (2005). "GIS Spatial Analysis Applied to Electric Line Routing Optimization", IEEE Transactıons on Power Delivery, Vol. 20, No. 2.

[12] Stifter, M. ve Milano, F., (2009). "An Example of İntegrating Open Source Modelling Frameworks: The Integration of GIS in PSAT", IEEE PES'09.

[13] Esen, M., (2006). Bulanık Mantık Destekli Güç Akış Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

[14] James, A.M., (2001). Electric Power System Applications of Optimization, Marcel Dekker Inc., NewYork.

[15] Milano F., (2008). Quick Reference Manual for Psat Version 2.1.2., Genova

[16] Milano F., (2008). PSAT Program Operation Manuel, Power Tech. Inc., Genova.

[17] Weedy, B.M., (1979). Electric Power Systems, Third Edition, John Wiley and Sons, Great Britain.

[18] Weedy, B.M. ve Cory , B.J., (1998). Electric Power Systems, Fourth Edition, John Wiley and Sons, West Sussex.

[19] Pai, M.A., (1979). Computer Techniques in Power System Analysis, McGraw-Hill, NewDelhi.

[20] Arifoğlu, U., (2009). Güç Sistemlerinin Bilgisayar Destekli Analizi, Alfa, İstanbul.

[21] William, D. ve Stevenson, J.R., (1982). Elements of Power Systems Analysis Fourth Edition, McGraw-Hill, Singapore.

[22] Grigsby, L.L., Hanson A.P., Schlueter R.A. ve Alemadi N., (2000). The Electrical Engineering Handbook, CRC Press, USA.

[23] Kiose, O.C., (2006). KKTC Elektrik Üretim İletim Sistemi'nde Yük Akışı ve Gelişim Planı (2006-2010), Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi FBE, Ankara.

[24] Soysal, S., (2008). Bolu - Düzce Bölgesi 154 kV / 34,5 kV İletim ve Dağıtım Şebekesinin Bilgisayar Ortamında Modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi FBE, Sakarya.

[25] Uçku, K., (1974). Elektrikle Enerji Dağıtımı ve Projesi, Devlet Mühendislik ve Mimarlık Akademisi M.M.Y.O., Tisa Matbaacılık Sanayi, Ankara.

[26] Harman, Z., (2010). Trakya Bölgesi Yük Akışı Analizinin Farklı Yazılımlarla Gerçekleştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi FBE, Düzce.

[27] Tosun, İ., (2008). Güç Sistemleri Eğitimi İçin Matlab GUI Tabanlı Bir Yük Akış Simülatörü, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi FBE, Elazığ.

[28] Eminoğlu, U., (2007). Dağıtım Sistemleri İçin Yeni Bir Güç Akışı Algoritmasının Geliştirilmesi, Doktora Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü FBE, Kocaeli.

[29] Güner, S., (2009). Analysis of Transmission Congestion Using Power-Flow Solutions, Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi FBE, İstanbul.

[30] Hocaoğlu, M.H., Güç Sistemleri Analizi (Analiz 1 Ders Notları), https://obs.bilecik.edu.tr/dosyalar/DersMateryal/g%C3%BC%C3%A7sistemleri.pdf, 4 Mayıs 2014.

[31] Glover D., Sarma M.S., Overbye T.J., (2008). Power System Analysis and Design, Thomson, USA.

[32] Ghosh, S., Saha, A. ve Mou N.I., (2010). "Load Flow Simulation of Western Grid of Bangladesh Power System Using Psat and Performance-Based Comparison with PowerWorld", ISMS 2010.

[33] Singh, L.P., (2012). Advanced Power System Analysis and Dynamics, 6th Edition, New Academic Science.

[34] Sarussi, D. ve Rabinovici, R. (2008). "Developing and Analysis Of Power Systems Using Psat Software", IEEE 25th Convention of EEEI.

[35] PowerWorld, http://www.powerworld.com, 4 Mayıs 2014.

[36] Strasser, T., Stifter, M., Andren, F., De Castro, D.B. ve Hribernik, W., (2011). "Applying Open Standards and Open Source Software for Smart Grid Applications: Simulation of Distributed Intelligent Control of Power Systems", IEEE Power And Energy Society General Meeting.

[37] Overbye, T.J., (2003). "Fostering Intuitive Minds for Power System Design", IEEE Power and Energy Magazine.

[38] Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi (TEİAŞ), 2013-2022 Yılları Türkiye İletim Sistemi Bölgesel Talep Tahmin ve Şebeke Analiz Çalışması http://www.teias.gov.tr/Dosyalar/T%C3%BCrkiyeB%C3%B6lgeselTalepTahminPlaniv3.pdf, 4 Mayıs 2014.

[39] Overbye, T.J., Meliopoulos, A.P., Wiegmann, D.A. ve Cokkinides G.J., (2005). "Visualization of Power Systems and Components", Final Project Report, Power Systems Engineering Research Center.

[40] Overbye, T.J. ve Weber, J.D., (2000). "Visualization of Power System Data", 33rd Hawaii International Conference on System Sciences.

[41] Overbye, T.J., Wiegmann, D.A., Rich, A.M. ve Sun, Y., (2003). Human Factors Aspects of Power System Voltage Contour Visualizations, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 18, No. 1.

[42] Demircioğlu, M., Eren, S., Çetinay, H., Ünlüer, C. ve Cebeci, E., (2013). Güç Sistemleri Planlaması İçin Elektrik Şebekelerinin Coğrafi Haritalar Üzerinde Görselleştirilmesi, Akıllı Şebekeler Sempozyumu.

[43] Milano, F., (2009). "Three-Dimensional Visualization and Animation for Power Systems Analysis", Electric Power Systems Research, 79:1638–1647.

[44] Klump, R.P., Schooley, D., Overbye, T.J., (2002). "An Advanced Visualization Platform for Real-Time Power System Operations", 14th PSCC, Sevilla.

[45] Klump, R., Wu, W. ve Dooley, G., (2003). "Displaying Aggregate Data Interrelated Quantities and Data Trends in Electric Power Systems", 36th ICSS.

[46] Kusic, G.L., (2009). Computer-Aided Power Systems Analysis, Crc Press.

[47] Overbye, T.J. ve Weber, J.D., (2001). "Visualizing the Electric Grid", IEEE Spectrum.

[48] Grijalva, S., (2005). "Visualization and Study Mode Architectures for Real-Time Power System Control", Industrial Electronics and Control Applications.

[49] Sun, Y., Overbye, T.J., (2004). "Visualizations for Power System Contingency Analysis Data, IEEE Transactions on Power Systems", Vol. 19, No. 4.

[50] Wang, L., Chen, D., Deng, Z. ve Huang, F., (2011). "Large Scale Distributed Visualization on Computational Grids: A Review", Computers and Electrical Engineering, 37: 403–416.

[51] Klump, R.P. ve Weber, J.D., (2002). "Real-Time Data Retrieval and New Visualization Techniques for the Energy Industry", 35th ICSS.

[52] Overbye, T.J., Meliopoulos, S. ve Cokkinides, G., (2008). "Effective Power System Control Center Visualization", Final Project Report, Power Systems Engineering Research Center.

[53] Overbye, T.J. ve Wiegmann, D.A., (2005). "Reducing The Risk of Major Blackouts Through Improved Power System Visualization", 15th PSCC, Liege.

[54] Velioğlu, A., (2005). Planning of Electricity Distribution Systems Based on Geographical Information Systems (GIS), Yüksek Lisans Tezi, Gaziantep Üniversitesi FBE, Gaziantep.

[55] Demircan, S., (2009). Çoklu Etmenler Kullanılarak Enerji Nakil Hattı Güzergâh Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi FBE, Konya.

[56] Yomralıoğlu, T., (2000). "Coğrafi Bilgi Sistemleri: Temel Kavramlar ve Uygulamaları", Akademi Kitabevi.

[57] Küçükpehlivan, T., (1999)., Elektirk Dağıtım Sistemlerinde Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Kullanımı, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi FBE, Ankara.

[58] CBS, http://www.hkmo.org.tr/resimler/ekler/KOTM_588e674d3f0faf9_ek.pdf, 4 Mayıs 2014.

[59] Özdemir, D.T., (2011). Davutpaşa Kampüsü'ndeki Binaların Üç Boyutlu Modellenmesi ve Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Sunulması, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ FBE, İstanbul.

[60] Emem, O., (2002). Üç Boyutlu Kent Modelleme Tasarım ve Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ FBE, İstanbul.

[61] Nga, D.V., Quang, D.N., Xuen, C.Y., Chee, L.L. ve See, O.H., (2012). "Open Source GIS-Based System for Displaying Data in Smart Grid, CSIT, 45: 17-21.

[62] Pamuk, N., (2013). "Enerji İletim Hatlarının Optimal Güzergah Seçiminde Coğrafi Bilgi Sistemlerinin (CBS) Kullanımı", Akademik Bilişim-2013.

[63] Shin, H.S. ve Feuerborn, S.A., (2004). "Power System Analysis in GIS: A New Tool for Interfacing With Geographic Information", Techbriefs, No. 2.

[64] Taha, A.E., (2013). “Integrated GIS and SCADA System Model for Alexandria Electricity Distribution Company”, 22nd ICEED, Stockholm.

[65] Tümay, A., (2001). Güvenli Karayolu Ulaşımı İçin Coğrafi Bilgi Sistemleri Tabanlı Karayolu Güzergâh Tespit Metodu, Doktora Tezi, Gazi Üni. FBE, Ankara.

[66] CBS’nin Uyguama Alanları, http://www.gislab.ktu.edu.tr/?gis_cbs, 4 Mayıs 2014.

[67] Saadat, H., (2010). Power System Analysis, 3th Edition, Psa Publishing.

[68] Grigsby, L.L., (2012). The Electric Power Engineering Handbook, 3th Edition, Crc Press.

[69] Milano, F., (2005). “An Open Source Power System Analysis Toolbox”, IEEE Transactions on Power Systems, Vol:20, No:3.

[70] Pamuk, N., (2010). “Power Generation and Load Change to Stability Effects in Northwest Anatolia Transmission System”, ELECO 2010, Bursa.

[71] MATLAB, http://www.mathworks.com/products/matlab, 4 Mayıs 2014.

[72] PSAT, http://faraday1.ucd.ie/psat.html, 4 Mayıs 2014.

[73] Haidar, A.M.A., Mohamed, A. ve Milano, F., (2010). “A Computational Intelligence-Based Suite for Vulnerability Assessment of Electrical Power Systems”, Simulation Modelling Practice and Theory, 18: 533–546.

[74] Milano, F., PSAT, www.power.uwaterloo.ca/~fmilano/psat.htm, 4 Mayıs 2014.

[75] Pamuk, N., (2009). 380 Ve 154 kV’luk Kuzeybatı Anadolu Şebekesi Güç Akışı Benzetimleri, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi FBE, Sakarya.

[76] ArcGIS, https://www.arcgis.com, 4 Mayıs 2014.

[77] Demirci, T., Kalaycıoğlu, A., Küçük, D., Salor, Ö., Güder, M., Pakhuylu, S., Atalik, T., İnan, T., Çadırcı, İ., Akkaya, Y., Bilgen, S., Ermiş, M., (2011). “Elektrik İletim Sistemi Elektriksel Büyüklükleri Gerçek Zamanlı İzleme Sistemi”, IET Generation Transmission Distribution, 5: 540 — 550.

[78] ArcGIS, http://www.islem.com.tr/ISLEM/DOKUMAN/ArcGIS_9x_Nedir.pdf, 4 Mayıs 2014.

[79] İnan, A., PowerWorld Simülatör Programı Kullanımı Ders Notları, http://www.yildiz.edu.tr/~inan/LU_Hesap/Power_World_Simulator_Programi_Kisa_Anlatim.doc, 4 Mayıs 2014.

[80] Aydın, F., Uyaroğlu, Y. ve Yalçın, M.A. (2009). “Enerji İletim Sistemlerinde Seri Kapasitörlerin Gerilim Karalılığı Açısından Sistem Büyümelerine Etkileri” 3. Enerji Verimliliği Ve Kalitesi Sempozyumu EVK’2009, Kocaeli.

[81] Aydın, F., ve Acarkan, B., (2013). “Güç Akış Analizlerinde Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Kullanılması”, 3. Elektrik Tesisat Ulusal Kongre ve Sergisi, İzmir.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı	:Faruk AYDIN
Doğum Tarihi ve Yeri	:26.07.1986 - Aydın
Yabancı Dili	:İngilizce
E-posta	:faruk.aydin@sanayi.gov.tr

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	**Alan**	**Okul/Üniversite**	**Mezuniyet Yılı**
Y. Lisans	Elektrik Tesisleri	Yıldız Teknik Üniversitesi	2014
Lisans	Elektrik-Elektronik Mühendisliği	Sakarya Üniversitesi	2009
Lise	Fen Bilimleri	Pertevniyal Lisesi	2004

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	**Firma/Kurum**	**Görevi**
2011	Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı	Elektrik-Elektronik Mühendisi
2010	Elumatec Makina Yapı Elemanları San. Tic. Ltd. Şti.	Elektrik-Elektronik Mühendisi

YAYINLARI

Bildiri

1. Aydın, F., ve Acarkan B., (2013). “Güç Akış Analizlerinde Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Kullanılması”, 3. Elektrik Tesisat Ulusal Kongre ve Sergisi, Güç ve Enerji Sistemleri Sempozyumu, 21-24 Kasım 2013, İzmir.

2. Aydın, F., Uyaroğlu Y. ve Yalçın M.A., (2009). “Enerji İletim Sistemlerinde Seri Kapasitörlerin Gerilim Karalılığı Açısından Sistem Büyümelerine Etkileri”, EVK’2009, 3. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu, 21-22 Mayıs 2009, Kocaeli.