



T.C.
NİĞDE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

NİĞDE BÖLGESİ ELEKTRİK DAĞITIM SİSTEMLERİNİN
GÜVENİLİRLİK AÇISINDAN ANALİZ EDİLMESİ

Rıdvan UYAN

Temmuz 2011

T.C.
NİĞDE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

NİĞDE BÖLGESİ ELEKTRİK DAĞITIM SİSTEMLERİNİN
GÜVENİLİRLİK AÇISINDAN ANALİZ EDİLMESİ

RIDVAN UYAN

Yüksek Lisans Tezi

Danışman

Yrd. Doç. Dr. Ulaş EMİNOĞLU

Temmuz 2011

Rıdvan UYAN tarafından Yrd. Doç. Dr. Ulaş EMİNOĞLU danışmanlığında hazırlanan "Niğde Bölgesi Elektrik Dağıtım Sistemlerinin Güvenilirlik Açısından Analiz Edilmesi" adlı bu çalışma jürimiz tarafından Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : 

Prof. Dr. Tankut YALÇINÖZ, Melikşah Üniversitesi

Üye : 

Doç. Dr. Saffet AYASUN, Niğde Üniversitesi

Üye : 

Yrd. Doç. Dr. Ulaş EMİNOĞLU, Niğde Üniversitesi

ONAY:

Bu tez, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca belirlenmiş olan yukarıdaki jüri üyeleri tarafından/...../20.... tarihinde uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu'nun/...../20.... tarih ve sayılı kararıyla kabul edilmiştir.

...../...../20...

Doç. Dr. Nurettin ACIR

MÜDÜR

ÖZET

NIĞDE BÖLGESİ ELEKTRİK DAĞITIM SİSTEMLERİNİN GÜVENİLİRLİK AÇISINDAN ANALİZ EDİLMESİ

UYAN, Rıdvan

Niğde Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman

:Yrd. Doç. Dr. Ulaş EMİNOĞLU

Temmuz 2011, 49 sayfa

Bu çalışmada Niğde bölgesi elektrik dağıtım şebekesinin güvenilirlik analizi yapılmaktadır. Güvenirlik analizi analitik yöntem ve Monte Carlo metodu kullanılarak geliştirilen yeni bir algoritma ile gerçekleştirilmiştir. Güvenirlik analizi için kullanılan arıza sayısı, kesinti süresi, tamir süresi, abone sayısı, ortalama yük ve tek hat şemaları 2009 yılı için MEDAŞ Niğde Bölge İşletme Müdürlüğünden alınmıştır. Alınan bu bilgiler kullanılarak Ulukışla, Çamardı ve Altunhisar fiderlerinin ve bu fiderlerin beslediği bölgelerin güvenilirlik analizi yapılmıştır. Bölgelerin ve fiderlerin güvenilirlik indisleri hesaplanırken orta gerilim seviyesinde, analitik yöntem ve Monte Carlo metodu kullanılmıştır. Analizler Matlab ortamında gerçekleştirilmiştir. Alçak gerilim seviyesinde ise güvenilirlik indislerini belirlemek için sadece analitik yöntem kullanılmıştır. Sistemin (bölgenin yada fiderin) güvenilirliğinin belirlenmesinde etkin üç temel indis hesaplanmıştır. Bu indisler ortalama kesinti sıklığı indisi, (SAIFI) ortalama kesinti süresi indisi (SAIDI) ve müşteri ortalama kesinti süresi (CAIDI) indisidir. Yapılan analizler sonucunda Ulukışla fiderinin güvenilirliğinin diğer fiderlere nazaran zayıf olduğu saptanmıştır.

Anahtar sözcükler: Dağıtım sistemleri, Monte Carlo, SAIFI, SAIDI, Matlab

SUMMARY

ANALYSIS OF ELECTRIC DISTRIBUTION SYSTEM OF NIGDE REGION FOR RELIABILITY

UYAN, Rıdvan

Nigde University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Electric-Electronic Engineering

Supervisor : Assistant Professor Dr. Ulaş EMİNOĞLU

July 2011, 49 pages

In this study, the reliability analysis of electricity distribution network in Nigde region is performed. The reliability is performed by analytically and the developed algorithm by using Monte Carlo method. The failure number, downtime, repair time, the number of subscribers, average load, and single line diagrams used for reliability analysis was taken from MEDAS Nigde Region Operations Management for the year of 2009. Using these received information, the reliability analysis of Ulukışla Camardi and Altunhisar feeders and the regions supplied by these feeders was performed. Calculating the reliability indices of the regions and the feeders at the medium voltage level, the analytical method and Monte Carlo method is used. Analyses was performed in Matlab environment. For the low voltage level, only analytical method was used to determine the reliability indices. To determine the reliability of the system (region or feeder), three effective reliability index was calculated. These indices are the average interruption frequency index, (SAIFI), the average interruption duration index (SAIDI) and customer average interruption duration index (CAID). After the analyses, it was observed that the reliability of Ulukışla feeder is poor when compared with the other feeders of the electricity network of Nigde region.

Keywords: Distribution Systems, Monte Carlo, SAIFI, SAIDI, Matlab

TEŞEKKÜR

Niğde Üniversitesi Mühendislik Fakóltesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nde 2010-2011 EĐitim-ÖĐretim yılında hazırlanan bu tez çalıŐmamda, bana her konuda yardımcı olan danışmanım Yrd. Doç. Dr. Ulaş EMİNOĞLU'na, Niğde Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği bölümündeki değerli hocalarıma, maddi ve manevi destekleriyle her zaman yanımda olan aileme teŐekkürü borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iii
SUMMARY	iv
TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	vi
TABLolar DİZİNİ.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
KISALTMA VE SİMGELER	x
BÖLÜM I. GİRİŞ	1
BÖLÜM II. DAĞITIM SİSTEMLERİNİN YAPISI	3
2.1 Giriş	3
2.2 Dağıtım Sistemlerinin Yapısı.....	3
2.3 Pratikte Kullanılan Dağıtım Şebekelerinin Genel Özellikleri	4
2.4 Dağıtım Sistemlerinde Şebeke Çeşitleri	4
2.4.1 Radyal (dal – budak) şebeke.....	4
2.4.2 Gözlü şebeke.....	5
2.4.3 Ağ (ring) şebeke.....	5
2.5 Dağıtım Sistemleri Elemanlarının Modellenmesi.....	6
BÖLÜM III. DAĞITIM SİSTEMLERİNİN GÜVENİRLİĞİNİN İRDELENMESİ.....	7
3.1 Tarihsel Gelişim.....	7
3.2 Güvenilirliğin Tanımı ve İndisleri	8
3.3 Sistem Güvenilirlik Analizleri	10
3.4 Güvenilirlik ve Ekonomi	11
BÖLÜM IV. GÜVENİLİRLİK İNDİSLERİ.....	13
4.1 Giriş	13
4.2 Sistem Ortalama Kesinti Sıklığı İndisi	13
4.3 Sistem Ortalama Kesinti Süresi İndisi	14
4.4 Müşteri Ortalama Kesinti Süresi İndisi	15
4.5 Müşteri Ortalama Toplam Kesinti Süresi İndisi.....	15
4.6 Müşteri Ortalama Kesinti Sıklığı İndisi.....	16
4.7 Ortalama Hizmet Kullanılabilirlik İndisi.....	16
4.8 Ortalama Sistem Kesinti Sıklık İndisi	17
4.9 Ortalama Sistem Kesinti Süresi İndisi.....	17

4.10 Ortalama Geçici Kesinti Sıklığı İndisi	18
4.11 Fider Bazında İndislerin Hesaplanması	19
BÖLÜM V. MONTE CARLO YÖNTEMİ İLE GÜVENİRLİK ANALİZİ.....	20
5.1 Giriş	20
5.2 Monte Carlo Modeli.....	20
5.2.1 Monte Carlo yöntemi ile integral hesabı.....	21
5.2.2 Monte Carlo yöntemi ile kısa devre analizi	23
5.3 Monte Carlo Yöntemi ile Güvenirlilik İndislerinin Belirlenmesi	26
5.4 Sonuç	30
BÖLÜM VI. NIĞDE BÖLGESİNİN GÜVENİRLİK ANALİZİ	31
6.1 Giriş	31
6.2 Ulukışla Bölgesinin (Fiderinin) Güvenilirliğinin İncelenmesi	31
6.3 Çamardı Bölgesinin (Fiderinin) Güvenilirliğinin İncelenmesi	36
6.4 Altunhisar Bölgesinin (Fiderinin) Güvenilirliğinin İncelenmesi.....	40
6.5 Güvenirlilik İndislerinin Monte Carlo Yöntemi ile Belirlenmesi	44
6.6 Sonuç	48
BÖLÜM VII. SONUÇ	49
KAYNAKLAR	50

TABLolar DİZİNİ

Tablo 6.1 Ulukışla fideri için orta gerilimde güvenilirlik parametreleri ve hesaplanan performans indis değerleri	33
Tablo 6.2 Ulukışla fideri için alçak gerilimde güvenilirlik parametreleri ve hesaplanan performans indis değerleri	35
Tablo 6.3 Çamardı fideri için orta gerilimde güvenilirlik parametreleri ve hesaplanan performans indis değerleri	38
Tablo 6.4 Çamardı fideri için alçak gerilimde güvenilirlik parametreleri ve hesaplanan performans indis değerleri	39
Tablo 6.5 Altunhisar fideri için orta gerilimde güvenilirlik parametreleri ve hesaplanan performans indis değerleri	42
Tablo 6.6 Altunhisar fideri için alçak gerilimde güvenilirlik parametreleri ve hesaplanan performans indis değerleri	43
Tablo 6.7 Bölgelerin güvenilirlik indis değerleri	44

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Radyal şebeke	5
Şekil 2.2 Gözlü Şebeke	5
Şekil 2.3 Ağ Şebeke	6
Şekil 3.1 Sistem güvenilirlik analizi blok şeması	11
Şekil 3.2 Yatırım maliyeti ve güvenilirlik	12
Şekil 3.3 Toplam maliyet ve güvenilirlik	12
Şekil 5.1 Geleneksel yöntem	22
Şekil 5.2 Monte Carlo yöntemi	22
Şekil 5.3 Monte Carlo yöntemiyle kısa devre analizi çözüm algoritması	24
Şekil 5.4 Örnek sistem	25
Şekil 5.5 Örnek sistemde 1' nolu baradan geçen arıza akımının olasılık dağılımı	26
Şekil 5.6 Monte Carlo simülasyon yöntemi akış şeması	28
Şekil 6.1 Ulukışla fideri elektrik dağıtım tek hat şeması	32
Şekil 6.2 Fiderin beslediği bölgelere ait güvenilirlik indisleri	33
Şekil 6.3 Fiderin beslediği bölgelere ait güvenilirlik indisleri	35
Şekil 6.4 Çamardı fideri elektrik dağıtım tek hat şeması	37
Şekil 6.5 Fiderin beslediği bölgelere ait güvenilirlik indisleri	38
Şekil 6.6 Fiderin beslediği bölgelere ait güvenilirlik indisleri	39
Şekil 6.7 Altunhisar fideri elektrik dağıtım tek hat şeması	41
Şekil 6.8 Fiderin beslediği bölgelere ait güvenilirlik indisleri	42
Şekil 6.9 Fiderin beslediği bölgelere ait güvenilirlik indisleri	43
Şekil 6.10 Uygulama sayısı ile SAIFI indisinin değişimi	46
Şekil 6.11 Uygulama sayısı ile SAIDI indisinin değişimi	46
Şekil 6.12 Uygulama sayısı ile CAIDI indisinin değişimi	47

KISALTMA VE SİMGELER

KISALTMA/SİMGE

N_i	Kesintiye uğrayan müşteri sayısı
N_T	Hizmet verilen bölgedeki toplam müşteri sayısı
λ_i	Kesinti sayısı
U_i	Kesintinin giderilme süresi
L_a	Ortalama yük
ε	Bağlı hata
V	Volt
r	Sistemin devre dışı kalma süresi
As	Arıza sayısı
Ea	Etkilenen abone sayısı
Ta	Toplam abone sayısı
Ks	Kesinti süresi
MC	Monte Carlo yöntemi
AG	Alçak gerilim
OG	Orta gerilim
SAIFI	Sistem ortalama kesinti sıklığı indisi
SAIDI	Sistem ortalama kesinti süresi indisi
CAIDI	Müşteri ortalama kesinti süresi indisi
ASAI	Ortalama hizmet kullanılabilirlik indisi

BÖLÜM I

GİRİŞ

Çağlar boyunca insanlık her alanda güvenilirlik ve süreklilik arayışı içinde olmuştur. Güvenilirlik, pek çok alanda bu derece önemli bir kavram olmasına karşın, ölçülmesi çok zor olan bir büyüklüktür. Örneğin güvenilir bir kişi ile güvenilir olmayan bir kişi arasındaki ayırım 3 ile 4 arasındaki fark kadar kesinlik taşımaz. Ancak bağlı bir fark söz konusudur.

Güvenilirliği mühendislik bazında ele alacak olursak; modern toplumumuzda mühendislerin sorumluluğunda olan muhtelif ürünlerin veya sistemlerin planlanması, üretimi ve işletimi konularını içeren bir tanımlama yapmamız gerekir. Bu ürünlerden ve sistemlerden yararlanan kullanıcılar öncelikle bunların güvenilir olmasını isterler. Bu anlamda güvenilirliği bir karşılaştırma kavramı olarak kullanırlar. Dolayısıyla lojik olarak güvenilir veya güvenilirmez nitelermeleri büyük bir anlam taşımaz. Önemli olan "ne derece güvenilir?" sorusunun yanıtıdır. Böyle bir sorunun yanıtı ise (güvenilirliğin derecesi) 0.0 ile 1.0 (veya % 0 ile %100) arasındaki gerçek sayılarla verilir ve güvenilirliğin bedeli ile birlikte bu dersin temel konusunu oluşturur.

Elektrik güç sisteminin temel görevi tüketicilere ekonomik, kaliteli kabul edilebilir derecede güvenilir enerji sağlamaktır. Sistemin işletme süresi boyunca, kendinden beklenen bu görevi yerine getirebilme yeteneği güvenilirlik olarak adlandırılır. Elektrik güç sisteminin güvenilirlik analizi üç seviyede gerçekleştirilmektedir[1]. Üretim bölgesini içeren seviyede güvenilirlik analizi sistemin üretilen gücün toplam sistem karşılayıp karşılamayacağını belirlemek amacıyla yapılmaktadır. Üretim ve iletim bölgelerini kapsayan seviye büyük yük noktalarında yük ihtiyacının karşılanmasına ilişkin sistemin değerlendirilmesidir.

Bu çalışmada Niğde bölgesi elektrik dağıtım şebekesinin güvenilirlik analizi yapılmaktadır. Güvenirlik analizi analitik yöntem ve geliştirilen yeni bir algoritma, Monte Carlo simülasyonu için kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Güvenirlik analizi için kullanılan arıza sayısı, kesinti süresi, tamir süresi, abone sayısı, ortalama yük ve tek hat şemaları 2009 yılı için MEDAŞ Niğde Bölge İşletme Müdürlüğünden alınmıştır.

Alınan bu bilgiler kullanılarak Ulukışla, Çamardı ve Altunhisar bölgelerinin ve bu bölgeleri besleyen fiderlerin güvenilirlik analizi yapılmıştır. Bölgelerin ve fiderlerin güvenilirlik indisleri hesaplanırken orta gerilim seviyesinde, analitik yöntem ve Monte Carlo simülasyonu için geliştirilen yeni bir algoritma kullanılmıştır. Bu algoritma Matlab ortamında gerçekleştirilmiştir. Alçak gerilim seviyesinde ise güvenilirlik indislerini belirlemek için sadece analitik yöntem kullanılmıştır. Analizlerde sistemin (bölgenin yada fiderin) güvenilirliğinin belirlenmesinde etkin üç temel indis hesaplanmıştır. Bu indisler ortalama kesinti sıklığı indisi, (SAIFI) ortalama kesinti süresi indisi (SAIDI) ve müşteri ortalama kesinti süresi (CAIDI) indisidir. Bu indisler ilk başta bölgeler ve fiderler için analitik yöntemle belirlenmiş daha sonra geliştirilen yeni bir algoritma Monte Carlo yöntemine uygulanarak, Matlab ortamında simülasyon edilerek belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar sunulularak tartışılmıştır.

BÖLÜM II

DAĞITIM SİSTEMLERİNİN YAPISI

2.1 Giriş

Bir dağıtım sistemi genel olarak; jeneratör, trafo, dağıtım hattı ve yükten oluşur. Jeneratörde üç fazlı olarak üretilen güç, iki ve tek fazlı olarak da dağıtılabilmektedir. Trafo merkezlerinden veya iletim hatlarından gelen yüksek seviyedeki gerilim (10,5-34,5 kV), 400 V gibi küçük değerlere düşürülerek dağıtım hatlarına aktarılır. Beslenen yükler, değişik karakterde olabildiği gibi tek faz veya iki fazlı beslemelerden dolayı dengesiz yüklenme durumları sorun olarak daima meydana gelmektedir. Ayrıca dağıtım hatlarında yer altı kabloları da kullanıldığından direnç empedans oranları değişmektedir. Bu gibi özelliklerden dolayı dağıtım sistemleri, iletim sistemlerinden farklı özelliklere sahiptir. Dolayısı ile dağıtım sistemlerinin analizleri de iletim sistemleri analizlerinden farklılık göstermekte olup analizlerde bu durum göz önünde bulundurulmaktadır [2-3].

2.2 Dağıtım Sistemlerinin Yapısı

Bir dağıtım sistemi (şebekesi) genel anlamda; bölge indirici transformatör merkezleri ile tüketiciler arasında kalan kısım olup dört bölümden oluşmaktadır.

- Bölge indirici transformatör merkezleri
- Orta gerilim hatları
- Dağıtım transformatör merkezleri (postaları)
- Tüketicileri besleyen alçak gerilim hatları

Dolayısıyla dağıtım şebekeleri;

- Orta gerilim dağıtım şebekesi(Bölge indirici transformatör merkezleri ve orta gerilim hatları)
- Alçak gerilim dağıtım şebekesi (Dağıtım transformatör merkezleri, tüketicileri besleyen alçak gerilim hatları)

olmak üzere iki bölüme indirgenmektedir. Bu şebekelerinde gerilim kademelerine alçak gerilim dağıtım şebekesi için 1 kV'tun altında, orta gerilim dağıtım şebekelerinde ise 1 - 34,5 kV gerilim seviyeleri arasında olup bunlar;

- Beslediği y¼ke g¼re (Aydınlatma, kuvvet tesisi),
 - İletken sayısına g¼re (2-3-4 iletkenli Őebekeler),
 - Hat malzemesine g¼re (Hava hattı, yer altı kablo Şebekeleri),
- Şeklindedir.

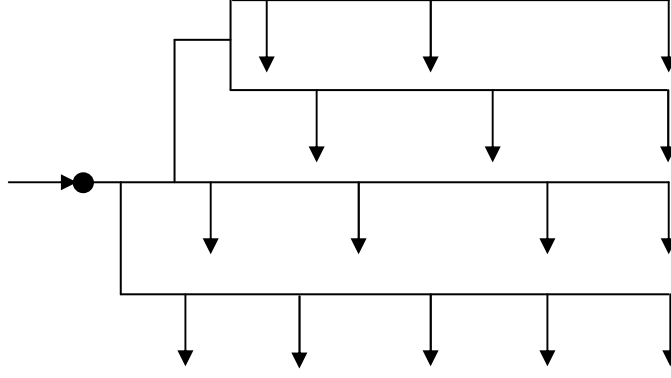
2.3 Pratikte Kullanılan Dağıtım Őebekelerin Genel ¼zellikleri

Uygulamada dağıtım Şebekelerinin genel ¼zelliklerini; kullanılan hat, trafo merkezleri ve koruma elemanları aÇısından aşağıdaki Şekilde ¼zetlemek m¼mk¼nd¼r. Hatların hemen hemen tamamı havai hat olup, yalnızca Őehir merkezlerinde sınırlı miktarda kablo bulunmaktadır. Sistem alÇak gerilimde ¼ç faz olup gerilim 220/380 V'tur. Transformat¼rlerin b¼y¼k bir b¼l¼m¼ direk tipi transformat¼rlerdir. Transformat¼rlerden alınan g¼ç ¼nce direk altındaki dağıtım panosuna aktarılmakta oradan da havai hatlar ile en k¼¼k m¼Őterilere kadar ulaŐtırılmaktadır. Hat korumaları klasik koruma sisteminde tesis edilmiştir. Kırsalda indirici merkez fider ŐıkıŐlarında ve k¼klerde, Őehir merkezlerinde ise yine fider baŐlarındadır. Bazı bina tipi merkezlerde aşırı akım ve kısa devre korumaları mevcuttur. Genellikle transformat¼rlerde, bina tipi merkezlerde sekonder veya primer koruma, direk tipi olanlarında ise sigortalı koruma yapılmaktadır. AlÇak gerilimde fiderler bıŐaklı sigorta ile korunmakta olup bazı transformat¼r merkezlerinde termik manyetik Őalterler kullanılmaktadır.

2.4 Dağıtım Sistemlerinde Şebeke ŐeŐitleri

2.4.1 Radyal (dal-budak) Şebeke

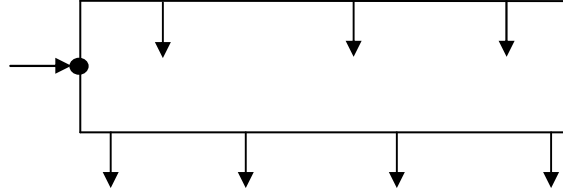
Geniş bir alana kurulmuŐ iletim sistemlerinin aksine, dağıtım sistemleri daha Çok radyaldır. Radyal bir sistemde g¼ç akıŐı tek bir y¼ne doğrudur. Yani sistemdeki bir Çok fider tek bir g¼ç kaynağı ile beslenir. Bu durumda herhangi bir yerde Őıkacak arıza, dağıtımın olduğu t¼m m¼Őterilerde bir kesinti oluşturur. Bu yapı Çok g¼venilir olmamasına rağmen, ekonomik olması ve iŐletiminin kolay olması nedeniyle tercih edilmektedir. ¼rnek bir radyal Şebeke modeli Şekil 2.1'de verilmektedir.



Şekil 2.1 Radyal şebeke

2.4.2 Gözlü şebeke

İki kol şebekenin hat sonunda birbirine bağlanarak göz oluşturduğu şebeke tipi göz şebekedir. Bu tip şebekelerde paralel kollar son noktalarında birbirlerine bağlanarak birçok göz oluşturabilirler. Gözlü şebekede tek taraflı besleme yapılabildiği gibi iki taraftan da besleme yapılabilir. Şekil 2.2’de örnek bir gözlü şebeke modeli verilmektedir.

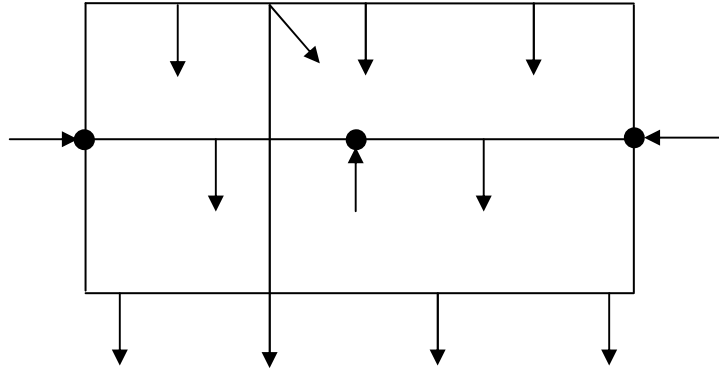


Şekil 2.2 Gözlü şebeke

2.4.3 Ağ (ring) şebeke

Hastaneler ve fabrikalar gibi organizasyonlar, daha yüksek seviyede güvenilirlik gerektirirler. Uygulamadaki herhangi bir hata çok büyük risk taşır. Daha yüksek seviyede güvenilirlik için sistem içinde yedek sistem kurulmaktadır. Bahsedilen bu durum ağ olarak tanımlanır ve düğüm şeklindedir. Bu sistemlerde yük noktaları birçok kaynak noktasına bağlıdır fakat herhangi bir anda; sadece tek bir kaynak tüm yükü besler. Herhangi bir arıza esnasında kesiciler vasıtası ile arıza giderilir. Bu ağlar diğerlerine göre daha karmaşıktır ve büyük yoğunluktadır. Aşırı kritik yükler için, bu tip

çok kaynaklı ve fiderli sistem kombinasyonu kullanılır. Şekil 2.3'de üç kaynaktan beslenen örnek bir ağ şebeke modeli verilmektedir.



Şekil 2.3 Ağ şebeke

2.5 Dağıtım Sistemleri Elemanlarının Modellenmesi

Elektrik güç sistemleri büyük güçlü elektrik santralleri ile üretim, kilometrelerce uzunluktaki hatlarla sağlanan iletim ve genellikle radyal yapıdaki dağıtım sistemlerinden oluşmaktadır. Bu yapı, merkezi üretim sistemi olarak adlandırılır. Dağıtım sistemleri, merkezi üretim sisteminde elektrik enerjisinin tüketiciye aktarıldığı (dağıtıldığı) bölüm olup genel olarak;

- Yerel Enerji Üretim Birimleri (YEÜ)
- Transformatörler
- SVC ve Statcom gibi güç elektroniği elemanlarının kullanıldığı kompanzatorler (FACTS gerilim kontrolörleri)
- Gerilim Regülatörleri
- Dağıtım Hatları
- Reaktif Güç Kompanzatorleri
- Yükler

BÖLÜM III

DAĞITIM SİSTEMLERİNİN GÜVENİRLİĞİNİN İRDELENMESİ

3.1 Tarihsel Gelişim

İnsanoğlunun ilk aleti yapmasıyla birlikte kafasında "sağlamlık" ve "güvenilirlik" kavramları oluşmaya başlamıştır. Yüzyıllar boyunca her alanda "süreklilik" ve "güvenilirlik" arayışı içinde olan insanlık, 2. dünya savaşına dek, daha güvenli ve daha güvenilir üretimlerini ancak arızalar ve kazalarla kazandığı deneyimler temelinde nitel (kalitatif) olarak geliştirebilmiştir.

2. Dünya Savaşı nedeniyle, 1940'lı yıllarda ortaya çıkan füze, savaş uçağı vb. ürünlerle birlikte ilk ciddi nicel (kantitatif) güvenilirlik çalışmaları gündeme gelmeye başlamıştır. Von Braun ve ekibi, füzelerin güvenilirliği konusundaki çalışmalarının ilk sonucunu, "Bir zincir, en zayıf halkasından daha kuvvetli olamaz" şeklinde ortaya koymuşlardır. Sistem ve bileşenleri arasındaki ilişkiyi belirten bu yargıdan hareketle öncelikle füzenin en zayıf bileşenini (noktasını) güçlendirmeye yönelik ekip, zamanla bu yöntemin istenilen güvenilirlik için yetersiz olduğunu görmüş ve tüm bileşenlerin belirli bir kıvama getirilmesi gerektiğini saptamıştır. Aynı yıllarda General Motors (ABD)'de yapılan çalışmalarla, lokomotiflerde kullanılan motorların faydalı ömrü 250.000 mil'den 1.000.000 mil değerine çıkarılmıştır. Diğer taraftan askeri uçak motorları ise 100.000 saatlik uçuşta birden fazla arıza vermeyecek şekilde tasarlanmıştır ki bu değer ilk ciddi güvenilirlik ölçütü olarak kabul edilmektedir.

1950'li yıllar elektrik enerjisinin dağıtım alanındaki güvenilirlik çalışmalarıyla başlamış ve askeri elektronik sanayisinde yoğunlaşmıştır. ABD Milli Savunma Bakanlığı bünyesinde "Advisory Group on Reliability of Electronic Equipment" AGREE isimli ilk ciddi kuruluş oluşturulmuştur. Bu kuruluş yaptığı ilk araştırmalarla, maliyeti 1 \$ olan bir elektronik ürünün, çalışabilmesinin sürekliliği için yılda ortalama 2 \$'lık bir bakım harcaması gerektirdiğini ortaya çıkarmıştır. Bu önemli çelişki sonrası daha pahalı fakat daha az bakım gerektiren ürünlerin tasarımı fikri gelişmiş ve böylece güvenilirlik olgusu tasarımın bir parçası olarak düşünölmeye başlanmıştır. Aynı yıllarda Fransa da haberleşme alanında ilk ciddi güvenilirlik çalışmaları gündeme gelmiştir.

1960'lı yıllardaki çalışmalar, sistem güvenilirlik analizleri için yeni yöntemlerin geliştirilmesi doğrultusunda yoğunlaşmıştır. Bileşenlerde meydana gelen arızaların sisteme ve sonucunda çevreye olan yansıması araştırılmıştır. Havacılık ve uzay araştırmaları alanlarındaki çalışmalar nükleer silahlar, füzeler, haberleşme sistemleri, nükleer santraller ve elektrik enerji sistemleri alanlarında devam etmiş ve bu alanlarda ilk standartlar oluşturulmuştur.

1970'li yıllarda geliştirilen yöntemlerin nükleer güç santrallerine uyarlanmış; üretilen bir dizi arıza senaryolarının olası sonuçları irdelenmiştir. Bu sırada oluşan "3 mil adası kazası" sonrasında tüm çalışmaların yeniden gözden geçirilmesi gerektiği anlaşılmıştır. Aynı yıllarda başta petrol, kimya, otomotiv ve demiryolu taşımacılığı olmak üzere büyüklü küçüklü çeşitli endüstriyel kuruluşlarda güvenilirlik analizleri yapılmaya başlanmış ve yeni standartların oluşturulması yolunda ciddi adımlar atılmıştır. Diğer taraftan, yürütülen analizlerde kullanılacak bilgilerin önemi kavranmaya başlanmış ve istatistiki bilgi kayıtları gündeme gelmiştir. 1980'li yıllarda başlayan ve bugün hala gündemdeki yerini koruyan iki yeni çalışma alanı ise yarıiletken elektroniği ve yazılım güvenilirliğidir [5].

3.2 Güvenilirliğin Tanımı ve İndisleri

Nicel güvenilirlik analizlerinde önce güvenilirliğin ölçütü olabilecek bazı indislerin tanımlanır, daha sonra bu indisler birtakım yöntemlerle hesaplanır. Tüm bu yöntemlerde birimlerin gelecekteki davranışları incelenir. Bu gelecek bir füze örneğinde olduğu gibi birkaç saniye veya bir elektrik enerji sistemi veya bir besleme cihazı örneğindeki gibi 10 yıllar mertebesinde olabilir.

Gelecekteki bu davranış belirgin değil rastlantısaldır. Dolayısıyla güvenilirlik analizleri ancak olasılık hesabı kullanılarak yapılabilir. Diğer taraftan güvenilirlik analizleri birimlere, çalışma koşullarına, arıza türlerine, çevreye vb parametrelere bağlı olarak yapılırlar. Bu nedenle bir mühendislik bilgisine gerek vardır. Bu iki olgu, güvenilirlik analizlerinin ancak iyi olasılık bilgisi ile donatılmış mühendislerce yapılabileceği sonucunu verir.

Güvenilirlik bir ürünün veya sistemin belirli işletme koşulları altında gelecekte belirli bir sürede işlevini uygun bir şekilde yerine getirme olasılığıdır. Bu tanım,

1. olasılık,
2. belirli işletme koşulları,
3. gelecekte belirli bir süre,
4. uygun şekilde,

şeklinde 4 ana unsur içerir. Birincisi, gelecekteki davranışların belirgin olmayışı nedeniyle, güvenilirliğe ilişkin indislerin ancak olasılık yöntemleri kullanılarak değerlendirilmesidir. Tanımdaki diğer üç unsur, mühendislere bağlıdır. Örneğin çalışma koşulları normal koşullar veya olağan dışı ağır koşullar olabilir. Uygun şekil (Adequate Performance) bir mühendislik ve işletme problemidir. Örneğin bir elemanın arızalanması, sistemi tamamen devre dışı bırakabileceği gibi sistemin davranışına hiçbir etkisi de olmayabilir veya sistemin kapasitesinde (performansında) bir düşüşe yol açabilir.

Sürekli çalışan (onarılabilir) birimler için yukarıda verilen güvenilirlik tanımından çok, söz konusu birimin belirli koşullar altında, gelecekte belirli bir anda çalışır durumda olma olasılığı olan kullanılabilirlik kullanılır.

Yukarıda güvenilirlik ve kullanılabilirlik şeklinde tanımlanan olasılıklar güvenilirlik analizlerinin temel büyüklükleridir. Fakat nicel güvenilirlik analizi için bu olasılıklar çoğu kez yeterli değildir. Bunlara ek olarak,

arızaya kadar geçen ortalama süre (ortalama çalışma süresi), MTTF

- onarıma kadar geçen ortalama süre (ortalama arıza süresi), MTTR
- arızalar arası ortalama süre, MTBF
- belirli bir zaman dilimindeki arıza sayısı,
- arızanın bedeli

temel güvenilirlik ölçütleri olarak kullanılırlar. Bunların dışında, her birimin kendine özgü farklı güvenilirlik indisleri de olabilir. Amaca uygun olarak, yukarıda belirtilenlerden biri veya birkaçı güvenilirlik ölçütü olarak kullanılır. Örneğin, garanti süresini veya garanti maliyetini belirlemek isteyen bir beyaz eşya üreticisi için,

- garanti süresi içinde, garanti kapsamındaki arızaların türü ve sayısı,
- ortalama arıza süresi

öncelikle belirlenmesi gereken ölçütlerdir. Sayısal bir değer verecek olursak 2 yıllık bir garanti süresinde oluşan 3 farklı arızanın sayısı, ortalama arıza süresi, arızaların giderilmesi için gerekli donanımın bedeli ve eleman giderleri sırasıyla, K_i , T_i saat, P_i TL ve S_i TL/saat ise, 2 yıllık toplam bakım gideri

$$\text{Gider} = 2 \sum_{i=1}^3 K_i (P_i + T_i + S_i) \quad (3.1)$$

olur. Diğer taraftan elektrik enerjisi kullanan bir işletmede önemli olan güvenilirlik ölçütleri,

- yıllık ortalama kesinti sayısı ve süresi
- kullanılmayan enerji bedeli

sayılabilir.

Bu arada analizlerin doğruluğunun, her şeyden önce sistemin matematiksel modeline bağlı olduğunu belirtmekte de yarar vardır. Bu nedenle, geçmiş deneyimlerden elde edilen veya özel olarak belirlenen verilerin, işlenerek analizler için gerekli bazı büyüklüklerin saptanmasında dikkatli olmak gerekir.

Ayrıca, güvenilirlik analizlerinin tasarım aşamasında, üretimin bir parçası olarak düşünülmesi gerektiğini de vurgulamak gerekir. Tasarım sonrası sistem güvenilirliğinin artırılması genelde pek ekonomik değildir. Kalite kontrol ise, tasarımda öngörülen güvenilirlik hedefinin sağlanmasını amaçlar. Mükemmel bir kalite kontrolün erişebileceği üst sınır tasarımda öngörülen hedefdir. Ayrıca kalite kontrol, güvenilirlik analizleri için bir veri tabanı oluşturur [6].

3.3 Sistem Güvenilirlik Analizleri

Fiziksel sistemlerin güvenilirlik analizlerinden:

güvenilirlik ölçütlerinin belirlenmesi ve değerlendirilmesi;

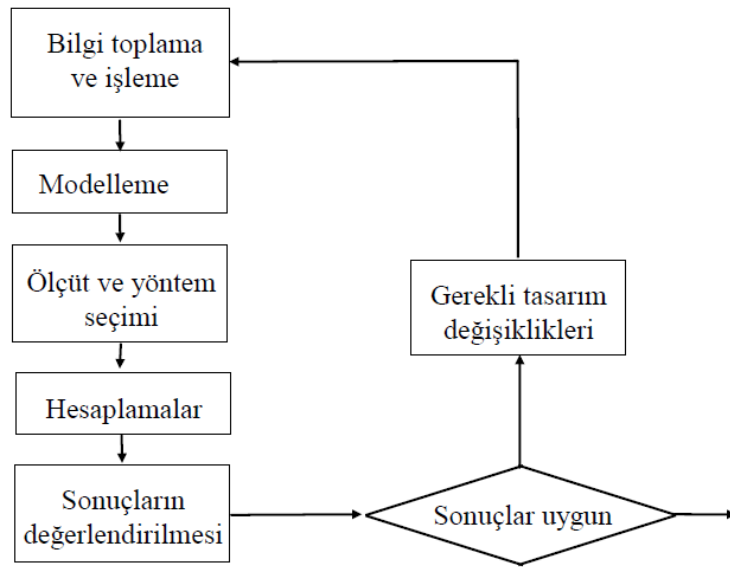
ölçütlerin öngörülen düzeye çıkarılması için sistemin zayıf halkalarının saptanması,

- sistemin gereksiz fazlalıklardan arındırılması,
- farklı tasarım seçeneklerinin karşılaştırılması,
- gerekli ek koruma ve gözetim donanımının saptanması,
- koruyucu bakım ve ölçmelerin periyodunun belirlenmesi,

amaçlarından biri veya birkaçına yönelik olup, genel ilkesi Şekil 3.1’de gösterilmiştir. İlk aşamada sistemin işlevleri ve varsa öncelik sıraları belirlenir. Sistemi oluşturan birimler hakkında bilgiler toplanır ve gerekirse işlenerek analizlere uygun hale getirilir. Arıza modları, bağlantıları ve etkileşimleri araştırılır.

- Sistemin çalışma ve arıza modları saptanır.
- Gözleme ve bakım bilgileri alınır.
- Analizlerin sınırları dışındaki çevre ile sistemin etkileşimi alınır.

Daha sonra edinilen bilgiler ışığında birimler modellenir. Üçüncü aşamada sisteme uygun güvenilirlik ölçütleri ve bu ölçütleri hesaplama yöntemleri saptanır. Son aşamada, saptanan yöntemlerle güvenilirlik ölçütleri hesaplanır. Daha sonra sonuçlar değerlendirilir ve gerekiyorsa sistemde bazı yapısal değişiklikler veya iyileştirmeler yapılarak aynı işlemler yinelenir.



Şekil 3.1 Sistem güvenilirlik analizi blok şeması

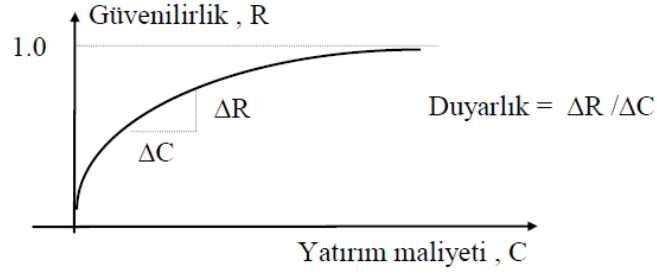
3.4 Güvenilirlik ve Ekonomi

Sistem güvenilirliğini artırmanın başlıca yolları,

- bileşen güvenilirliğini artırmak,
- bileşenleri yedeklemek,
- koruyucu bakım periyodunu küçültmek,

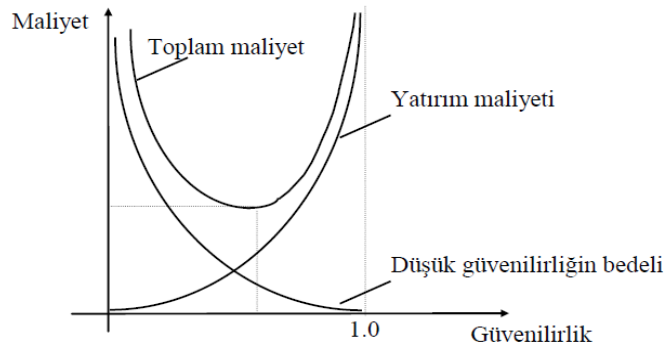
- ölçme ve gözetim olanaklarını artırmak ve sıklaştırmak

gibi tümü belirli bir ek yatırım harcamasını gerektiren işlemlerdir. Güvenilirlik analizlerinin karar verme aşamasında, tutulacak yolun ekonomik yönü ağırlık kazanır. Bu süreçte ilk bakışta güvenilirliğin maliyeti veya birim güvenilirlik artışının maliyeti (duyarlılık) dikkate alınır. Güvenilirliğin maliyete karşı duyarlılığı belirli bir değerden sonra azalır, yani yatırımla orantılı bir güvenilirlik artışı elde edilemez.



Şekil 3.2 Yatırım maliyeti ve güvenilirlik

Olayın bu şekilde ortaya konması doğru olmaz. Çünkü böyle bir değerlendirmede, yetersiz güvenilirliğin kişiye veya topluma olan maliyeti (bedeli) dikkate alınmamaktadır. Gerçek bir değerlendirme her iki maliyetin birlikte göz önüne alınması ile yapılabilir. Şekilden de görüleceği gibi bu durumda bir optimum nokta yakalanabilir. Fakat gerçek yaşamda düşük güvenilirliğin bedelini sayısal olarak doğru ifade edebilmek her zaman mümkün değildir. Çünkü bu olgu çoğu kez subjektiftir. Dolayısıyla optimal nokta bakış açısına göre belirli bir bölge içerisinde değişir [6].



Şekil 3.3 Toplam maliyet ve güvenilirlik

BÖLÜM IV

GÜVENİLİRLİK İNDİSLERİ

4.1 Giriş

Sistem güvenilirliğini ölçmek için kesin göstergeler kullanılır. Bu bölümde en çok kullanılan ölçütlerin bazıları tanımlanmıştır. Göstergeler iki kategoride toplanır.

- Sisteme dayalı indisler
- Müşteri indisleri

Modellerden birincisi; tüm sistem performansının içyüzünü kavramak için kullanılırken, diğeri daha spesifiktir ve bireysel müşteri deneyimlerini yansıtır. Bunlar ayrıca kesintilere bağlı sürekli veya anlık olarak da sınıflandırılır.

4.2 Sistem Ortalama Kesinti Sıklığı İndisi

Literatürde System Average Interruption Frequency Index *olarak* geçer ve SAIFI kısaltması kullanılır [4].

$$SAIFI = \frac{\sum \text{Kesintiye ugrayan müşteri sayısı}}{\text{Hizmet verilen toplam müşteri sayısı}} \quad (4.1)$$

İndis belirli bir zamanda müşteri tarafından görülen sürekli kesintilerin ortalama sayısını göstermektedir. Tanımlanan alan çok değişkendir çünkü müşteri sayısına, kesintilerden etkilenmesine ve kapsadığı alanı tanımlamasına bağlıdır.

Bu indisi hesaplamak için bir yılda meydana gelen her bir sürekli kesintinin datası gereklidir. Her bir kesinti datası, kesintiden etkilenen müşteri sayısını içeren müşteri kesintilerinin bilgisi bulunur.

$$SAIFI = \frac{\sum \lambda_i N_i}{N_T} \quad (4.2)$$

Burada N_i kesintiye uğrayan müşteri sayısı, N_T hizmet verilen bölgedeki toplam müşteri sayısı, λ_i ise kesinti sayısıdır.

SAIFI seviyesini geliştirmek için kullanılacak metot, görülen sürekli kesintilerin sayısı azaltılmalıdır. Buda sistemdeki bileşenlere bakım-onarım yapılması, otomasyon sisteminin kullanılması, koruyucu ekipmanların kullanılması ve sürekli kesinti meydana gelmeden hatanın temizlenmesiyle başarılabilir.

4.3 Sistem Ortalama Kesinti Süresi İndisi

Literatürde System Average Interruption Duration Index olarak geçer ve SAIDI kısaltması kullanılır [4].

$$SAIDI = \frac{\sum \text{Müşteri kesinti süreleri}}{\text{Hizmet verilen toplam müşteri sayısı}} \quad (4.3)$$

İndis bir yıl içinde müşterinin kesintiye uğradığı ortalama süreyi belirler. Genellikle müşteri dakika/yıl, müşteri saat/yıl olarak ölçülür. SAIDI kesinti sayısını azaltarak veya kesinti sürelerini azaltarak düzeltilebilir. Kırsal alanlar ve uzaktaki fiderler için, etkilenen bölgeye ulaşmak onarım süresinden daha uzun sürmektedir. Böyle durumlar için SAIDI, onarım ekipleri kırsal kesimlere yerleştirilerek düşürülebilir. Otomasyon kullanımını SAIDI'deki gelişmeleri başarabilmek için kullanılabilir bir diğer metottur.

Verilen bir bölge için;

$$SAIDI = \frac{\sum U_i N_i}{N_T} \quad (4.4)$$

Burada N_i kesintiye uğrayan müşteri sayısı, N_T hizmet verilen bölgedeki toplam müşteri sayısı, U_i kesintinin giderilme süresidir.

İndisi hesaplamak için kesintiye uğrayan müşteri sayısını ve kesintinin giderilme süresinin bilinmesi gerekmektedir. Kesintinin giderilme süresi, kesintinin olduğu

bilgisinin alınması, kesintinin olduğu bölgeye gidilmesi ve kesintinin giderilmesinin aldığı vakti içerir.

4.4 Müşteri Ortalama Kesinti Süresi İndisi

Literatürde Customer Average Interruption Duration Index olarak geçer ve CAIDI kısaltması kullanılır [4].

$$CAIDI = \frac{\sum \text{Müşteri kesinti süreleri}}{\text{Toplam müşteri kesinti sayısı}} \quad (4.5)$$

İndis SAIDI'nin SAIFI'ye oranıdır. Sürekli bir kesinti görüldüğünde onarım yapmak için harcanan zamanı gösterir. CAIDI hızlı ekip müdahalesi ve hızlı onarımla kesinti süresini azaltarak geliştirilebilir.

$$CAIDI = \frac{\sum U_i N_i}{\sum \lambda_i N_i} = \frac{SAIDI}{SAIFI} \quad (4.6)$$

Burada N_i her bir kesintide kesintiye uğrayan müşteri sayısı, U_i kesintinin giderilme süresi, λ_i ise kesinti sayısıdır.

4.5 Müşteri Ortalama Toplam Kesinti Süresi İndisi

Literatürde Customer Total Average Interruption Duration Index olarak geçer ve CTAIDI kısaltması kullanılır [4].

$$CTAIDI = \frac{\sum \text{Müşteri kesinti süreleri}}{\text{Kesintiye uğrayan toplam müşteri sayısı}} \quad (4.7)$$

İndis, güçsüz geçirilen kesintilerle yüzleşen müşterinin geçirdiği ortalama süredir. CAIDI'den farklı olarak, sadece kesintiye uğrayan müşteri sayısı indisinin hesaplanmasında kullanıldı. CTAIDI'nin hesaplanmasında, kesintiye uğrayan müşteriler sadece bir kez sayılır ve raporlanan süre boyunca kesinti sayıları göz önüne alınmadı.

CAIDI ve CTAIDI arasındaki farka dikkat edilmelidir. CAIDI toplam müşteri kesinti sayısını kullanır, CTAIDI ise kesintiye uğrayan müşteri sayısını kullanır.

$$CTAIDI = \frac{\sum r_i N_i}{CN} \quad (4.8)$$

Burada CN, kesintiye uğrayan toplam müşteri sayısıdır. Kesintiye uğrayan toplam müşteri sayısı tüm bölgede sayılan müşteri sayısı kadar olabilir.

4.6 Müşteri Ortalama Kesinti Sıklığı İndisi

Literatürde Customer Average Interruption Frequency Index olarak geçer ve CAIFI kısaltması kullanılır [4].

$$CAIFI = \frac{\text{Toplam müşteri kesinti sayısı}}{\text{Kesintiye uğrayan toplam müşteri sayısı}} \quad (4.9)$$

Bu indis kesintiye uğrayan müşterilerdeki sürekli kesintilerin ortalama sıklığını gösterir. SAIFI müşteri tarafından görülen ortalama kesinti sıklığıdır ve kesintiye uğramayan müşteriyi de içerir. Fakat CAIFI'nin hesabı en azından 1 kesintiye uğramış müşteri sayısını kullanır. Ayrıca müşteri kaç kez kesintiye uğrarsa uğrasın sadece bir kez hesaplanır.

$$CAIFI = \frac{\sum N_i}{CN} \quad (4.10)$$

4.7 Ortalama Hizmet Kullanılabilirlik İndisi

Literatürde Average Service Availability Index olarak geçer ve ASAI kısaltması kullanılır.

$$ASAI = \frac{\text{Müşterinin hizmet saat kullanılabilirliği}}{\text{Müşterinin toplam talep zamanı}} \quad (4.11)$$

Raporlanan süre içerisinde müşterinin sahip olduğu güç/zaman oranını verir. Yüksek ASAI değerleri güvenilirliğin yüksek seviyede olduğunu gösterir. ASAI'yi hesaplamak için aşağıdaki formül kullanılır.

$$ASAI = \frac{N_T \cdot 8760 - \sum U_i N_i}{N_T \cdot 8760} \quad (4.12)$$

4.8 Ortalama Sistem Kesinti Sıklık İndisi

Literatürde Average System Interruption Duration Index olarak geçer ve ASIFI kısaltması kullanılır [4].

$$ASAI = \frac{\text{Kesintiye Ugrayan Toplam kVA yük}}{\text{Hizmet verilen kVA yükü}} \quad (4.13)$$

SAIFI'nin aksine ASIFI kesintiye uğrayan müşteri sayısını değil, yükü kullanır. Böylece yükün belirli bir zaman aralığında beklenen kesilme sayısı ölçülür.

$$ASIFI = \frac{\sum L_i}{L_T} \quad (4.14)$$

ASIFI yukarıdaki formül kullanılarak hesaplanabilir. Burada L_i , her bir arızada kesintiye uğrayan yük, L_T , sisteme bağlı toplam yükü ifade eder. Eğer toplam yük her bir müşteriye eşit olarak dağıtıldığında ASIFI ile SAIFI değerleri eşitlenir.

4.9 Ortalama Sistem Kesinti Süresi İndisi

Literatürde Average System Interruption Duration Index olarak geçer ve ASIDI kısaltması kullanılır [4].

$$ASIDI = \frac{\sum \text{Toplam kVA yük kesinti süresi}}{\text{Hizmet verilen toplam kVA yük}} \quad (4.15)$$

ASIFI'ye benzer şekilde, ASIDI yük temelli ve sürekli bir kesinti ortaya çıktığında kesintiye uğrayan yük için ortalama süreyi hesaplar. ASIDI aşağıdaki formülle hesaplanır;

$$ASIDI = \frac{\sum r_i L_i}{L_T} \quad (4.16)$$

Toplam yük sistemde müşterilere eşit dağıtıldığında, ASIDI'nin SAIDI'ye eşit olduğu görülür. ASIDI için kullanılan birim saat veya dakikadır.

4.10 Ortalama Geçici Kesinti Sıklığı İndisi

Literatürde Momentary Average Interruption Frequency Index olarak geçer ve MAIFI kısaltması kullanılır.

$$MAIFI = \frac{\text{Toplam gecici müşteri kesinti sayısı}}{\text{Hizmet verilen toplam kVA yük}} \quad (4.17)$$

Bu indis müşteri tarafından görülen anlık kesilmelerin sıklığını gösterir. Aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$MAIFI = \frac{\sum ID_i N_i}{N_T} \quad (4.18)$$

Buraya kadar sistemin incelenen geniş indisler sistemin ortalama performansını ölçmede kullanılır. Yüksek güvenilirliğe ihtiyaç duyan müşteriler için, tüm indislerin kullanılması doğru olmayabilir. Böyle durumlarda müşteri seviye indislerinin kullanımı servis güvenilirliğini hesaplamak için kullanılır.

4.11 Fider Bazında İndislerin Hesaplanması

Denklem 4.1’de verilen sistemin ortalama kesinti sıklığı indisi, Denklem 4.3’de verilen sistem ortalama kesinti indisi, Denklem 4.5’de verilen müşteri ortalama kesinti indisi ve Denklem 4.11’de verilen ortalama hizmet kullanılrlık indisi fider bazında aşağıdaki formüllerle hesaplanmaktadır.

- As: Arıza sayısı
- Ea: Arızadan etkilenen abone sayısı
- Ta: Toplam abone sayısı
- Ks: Kesinti süresi

$$SAIFI_{FIDER} = \frac{(As_1 \times Ea_1) + (As_2 \times Ea_2) \dots + (As_n \times Ea_n)}{Ta_1 + Ta_2 \dots + Ta_n} \quad (4.19)$$

$$SAIDI_{FIDER} = \frac{(Ks_1 \times Ea_1) + (Ks_2 \times Ea_2) \dots + (Ks_n \times Ea_n)}{Ta_1 + Ta_2 \dots + Ta_n} \quad (4.20)$$

$$CAIDI_{FIDER} = \frac{SAIDI}{SAIFI} \quad (4.21)$$

$$ASAI_{FIDER} = \frac{(Ta \times 8760) - [(Ks_1 \times Ea_1) + (Ks_2 \times Ea_2) \dots + (Ks_n \times Ea_n)]}{(Ta \times 8760)} \quad (4.22)$$

BÖLÜM V

MONTE CARLO YÖNTEMİ İLE GÜVENİRLİK ANALİZİ

5.1 Giriş

Enerji sistemlerinin güvenilirlik analizinde günümüzde bir çok yöntem kullanılmaktadır. Bunlardan bir çoğu yüksek matematik bilgisi gerektiren analitik yöntemlerdir. Bu yöntemlerin yanı sıra, özellikle bilgisayarların gelişmesi ile Monte Carlo yöntemi kullanılmaya başlanmıştır. Monte Carlo, rastgele değişkenlerin simülasyonu ile matematiksel problemlerin çözümünde kullanılan nümerik bir metottur [7]. Başlangıçta elle yapılan rastgele sayı üretimi bilgisayarların gelişmesi ile bilgisayarlarla yapılmaya başlanmıştır. Bu gelişme Monte Carlo metodunun bir çok alanda uygulanmasına imkan vermiştir. Güvenilirlik analizi için en basit ve temel sistem seri sistemlerdir. Seri sistemlerde sistemin güvenilirliği elemanların güvenilirlik değerlerinin çarpımına eşittir [8-9]. Monte Carlo yöntemine dayalı bir çok güç sistemlerinin, güvenilirlik çalışması referans [10]'da yer almaktadır. Roy Billinton test sisteminde güvenilirlik analizi, beş baralı dağıtım sistemi için Monte Carlo simülasyonu kullanılarak, yük noktasındaki güvenilirlik indislerini ve sistem performans indisleri belirlenmektedir [10]. [11]'de, dağıtım sistemlerinin güvenilirlik analizi için iki yeni indis; ortalama kesinti sıklığı indisi (DGIFI) ve ortalama kesinti süresi indisi (DGIDI) Yerel Enerji Üretim birimlerine sahip dağıtım sistemleri için geliştirilerek güvenilirlik analizi yapılmıştır. Sistem yapısının güvenilirliğini tahmin etmek için Monte Carlo tabanlı bir yöntem [12]'de geliştirilmiştir. Bu çalışmada sistemin güvenilirliğinin hata olma olasılığının oranı ifade edilerek Monte Carlo simülasyon yöntemi ile güvenilirlik analizi yapılmıştır.

5.2 Monte Carlo Modeli

Monte Carlo yönteminde her eleman için rastgele sayılar üretilmektedir ve üretilen rastgele sayılar için sistemin sağlanıp sağlanmadığı incelenmektedir. Rastgele sayıların üretimi için çeşitli matematiksel yöntemler olduğu gibi elle uygulanabilen pratik yöntemler de vardır. Çözümlenecek sistemin durumuna göre, Monte Carlo isminden de anlaşılacağı üzere, zar atma, yazı tura, tombala uygulanabilecek pratik yöntemlerden

birkaç tanesidir. Metodun daha anlaşılır olabilmesi açısından farklı alanlarda uygulamaları ayrı ayrı verilmektedir.

5.2.1 Monte Carlo yöntemi ile integral alan hesabı

Geleneksel olarak verilen bir $f(x)$ fonksiyonunun integrali aşağıdaki gibidir.

$$I = \int_a^b f(x) dx \quad (5.1)$$

Uzayın integral alınan kısmını bölerek I 'yi her zaman aşağıdaki gibi yazabiliriz.

$$I = \sum_{i=1}^{N-1} \int_{x_i}^{x_{i+1}} f(x) dx \quad (5.2)$$

$F(x)$ fonksiyonu Şekil 5.1'de verildiği gibi değişsin. I fonksiyonunun $[a,b]$ aralığında, altında kalan alandır. Bu alan Şekil 5.1'de görülen dikdörtgenlerin alanları toplamı olarak yazılabilir. $[a,b]$ aralığı N nokta ile $N+1$ parçaya şekildeki gibi bölünmesi sonucunda yaklaşık olarak aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$I \approx \sum_{i=1}^N f(x_i) \Delta x_i \quad (5.3)$$

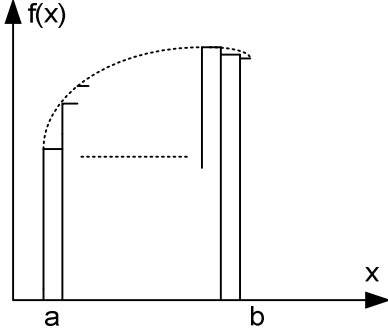
Buradaki Δx_i , i . aralığın genişliğidir. Trapezoid yaklaşımı ve Simpson yaklaşımı da aynı temele dayanır. Trapezoid yaklaşımında $f(x)$ 'in $[x_i, x_{i+1}]$ aralığındaki kısmına birinci derece polinomlar (doğrular) ile, Simpson yaklaşımında ise ikinci dereceden polinomlarla yaklaşılır. Dolayısıyla Şekil 5.1'deki dikdörtgenler, trapezoid yaklaşımında trapezoidler olacaktır.

$$I = \int_a^b f(x) dx = \sum_{i=1}^{N-1} \int_i^{x_{i+1}} f(x) dx = \sum_{i=1}^{N-1} \frac{\Delta x_i}{2} [f(x_{i+1}) + f(x_i)] \quad (5.4)$$

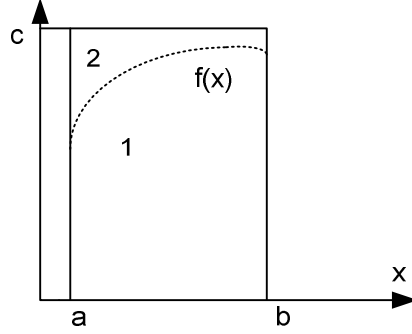
Simpson yaklaşımında ise;

$$I = \int_a^b f(x)dx = \sum_{i=1}^{(N-1)/2} \int_{x_{2i-1}}^{x_{2i+1}} f(x)dx = \sum_{i=1}^{N-1} \frac{\Delta x_i}{3} [f(x_{2i-1}) + 4f(x_{2i}) + f(x_{2i+1})] \quad (5.5)$$

Tüm bu yöntemlerde hata $N^{\alpha/d}$ şeklinde ölçeklendirilir. α , ilk yaklaşım için 1, trapezoid yaklaşımı için 2, Simpson yaklaşımı için 4'dür.



Şekil 5.1 Geleneksel yöntem



Şekil 5.2 Monte Carlo yöntemi

Şekil 5.2'de gösterilen Monte Carlo yöntemi en temel haliyle şu şekilde hesaplanır:

- $F(x)$, alanı bilinen bir bölgenin içinde kalacak şekilde $[a,b]$ aralığında Şekil 5.2'deki gibi çevrelenir. Bu bilinen alan $c(b-a)$ 'dır.
- $a \leq x_i \leq b$ ve $0 \leq y_i \leq c$ olacak şekilde N tane x_i, y_i sayı çifti üretilir.
- $F(x)$ 'in altında kalan alan yani 1 bölgesinin alanıdır. Üretilen sayı çiftlerinin hangi bölgede olduğu (1 yada 2) olduğu kontrol edilir.
 - x_i, y_i sayı çifti için, $y_i < f(x_i)$ ise bu çift 1 bölgesinde kalacaktır. Bu durumda N_1 1 artırılır.
 - Aksi durumda sayı çifti 2 bölgesindedir. Bu durumda N_2 1 artırılır.
 - Rastgele sayılar seçilirken $a \leq x_i \leq b$ ve $0 \leq y_i \leq c$ koşulunun kullanılıyor olması $N_1 + N_2 = N$ olmasını garantiler.

Sayı çiftlerinden N_1 tanesi 1 bölgesinde ve N_2 tanesi 2 bölgesinde ise, 1 bölgesinin alanı yaklaşık olarak aşağıdaki gibi olacaktır.

$$I \approx \frac{N_1}{N} c(b-a) \quad (5.6)$$

5.2.2 Monte Carlo yöntemi ile kısa devre analizi

Elektrik enerji sistemlerinin tasarımında önemli bir büyüklük olan kısa devre akımını etkileyen başlıca büyüklükler şunlardır;

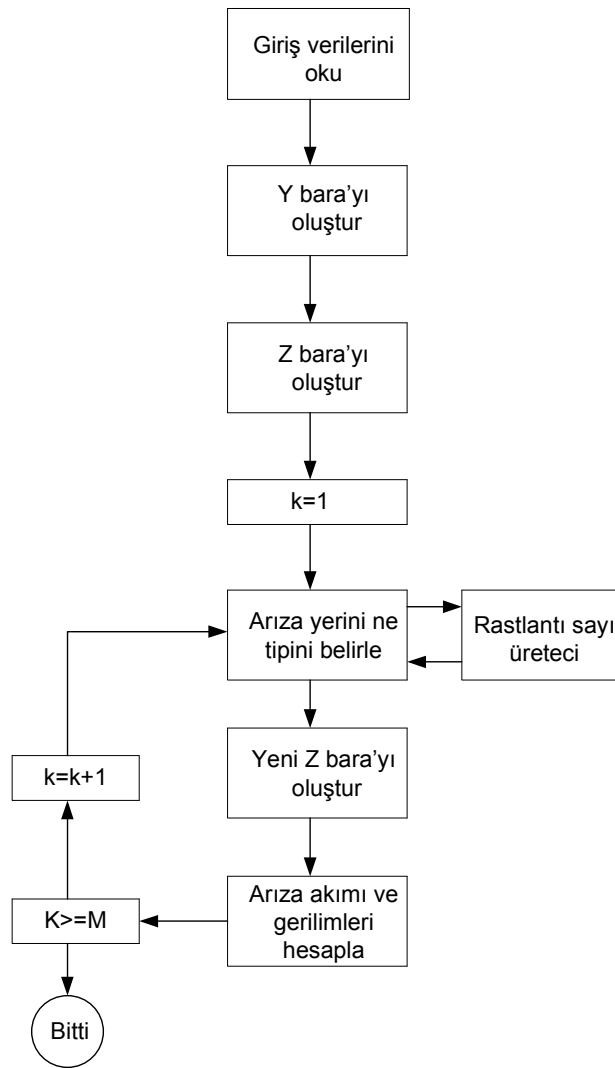
- Yapısal sistem karakteristikleri
- İletişim sistemi karakteristikleri
- Arıza koşulları

Yapısal değerler genellikle sabittir. Fakat işletim karakteristikleri istatistiksel olarak değişebilir. Arıza koşullarında rastlantısaldır. Rastgele olmayan kısa devre analizinde bu büyüklüklerin değişkenliğini göz ardı eder ve en kötü koşullar kullanılmaktadır. Elde edilen sonuçlar anahtarlama bölgesindeki kesicilerin kesme kapasitelerinin belirlenmesinde, arızayı algılayıp seçici anahtarlama sistemini çalıştıran rölelerin seçiminde kullanılmaktadır. Olasılığa bağlı kısa devre analizi, ilgilenilen bölgede ya da barada kısa devre akımlarının olasılık dağılımlarının elde edilmesine dayanmaktadır. Kısa devre akımlarının olasılık dağılımlarının belirlenmesinde iki yöntem kullanılmaktadır. Bunlar Monte Carlo yöntemi ve analitik yöntemlerdir.

Sayısal bir benzetim yöntemi olan Monte Carlo yönteminde sisteme rastlantısal zaman ve yerlerde arızalar atanmaktadır. Analizde hat tipi ya da bara tipi arızalar göz önüne alınmaktadır. Üç tip arıza akımı histogramı hesaplanabilmektedir. İlk tipte, ilgilenilen bir bara da arıza akımı bulunmaktadır. Arıza akımı, barada yada baraya bağlı hatlardan birinde arıza olduğunda baranın (baranın bir kısmının) taşıdığı akımdır. Arızalar, rastlantısal olarak ilgilenilen baranın bulunduğu bölgeye ya da baraya bağlı hatlara ve baralara atanmaktadır. Elde edilen istatistiksel bilgiler, baranın tasarımında ve ilgili malzemelerin seçiminde kullanılmaktadır. İkinci tipte şebekenin belli bir parçasında yeri rastlantısal olarak seçilen arızalar atanmaktadır. Elde edilen arıza akımı histogramları kısa devre akımlarının düzeyi hakkında genel bir bilgi vermektedir. Üçüncü tipte iletim hatlarının tasarım kriterlerinde kullanılmak üzere belirli hatlardan geçen kısa devre akımlarının olasılık dağılımları elde edilmektedir.

Monte Carlo yönteminin uygulanmasında her durum için bir benzetim yapılmaktadır. İlgilenilen bir bara da arıza akımının olasılık dağılımının bulunması için her benzetimde

sistem modellendirilir ve bara empedans matrisi oluşturulmaktadır. Arıza yeri ve tipi rastlantı sayı üreticileriyle belirlenmektedir. Arıza yerine yardımcı bir bara eklenmekte ve bara empedans matrisi değiştirilmektedir. Klasik kısa devre analiz denklemleri ve varsayımları kullanılarak kısa devre hat akımları bulunarak, ilgilenilen baradaki arıza akımı hesaplanmaktadır. Yeterli sayıda benzetim sonucu arıza akımının olasılık dağılımı bulunmaktadır. Şekil 5.3’de Monte Carlo yöntemiyle kısa devre analizinin algoritması verilmektedir. Bu algorithmada sayısal uygulama için istatistiksel veri eksikliğinden sistem durumu sabit olmaktadır.



Şekil 5.3 Monte Carlo yöntemiyle kısa devre analizi çözüm algoritması

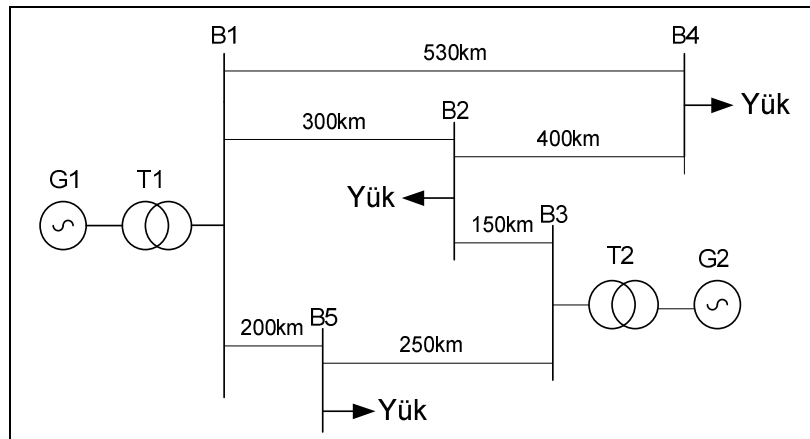
Bu işlem için gerekli sistem ve arıza koşullarının modellenmesi aşağıda açıklanmaktadır. Güç sistemlerinin arıza koşullarındaki rastlantısallık sistem

parametrelerinde, elemanların etkinliğinde ve yüklerdeki değişimler göz önüne alınarak şekillendirilmektedir.

Üretim: Kısa devre analizinde yükler ihmal edilse de yük durumuna bağlı üretimin gösterilmesi için yük değişimleri bilinmektedir. Belirli bir yıl için arızalar rastlantısal olarak alınır, yıllık yük tahminine dayalı aylık yük eğrisi işletmedeki üretim birimlerinin belirlenmesinde kullanılarak bakıma alınacak üretim birimleri günlük ortalama yük tahminine göre planlanmaktadır. Üretimin rastlantısallığı değişik üretim birimlerinin verilere dayalı, zorunlu devre dışı kalma oranlarıyla tanımlanmaktadır.

İletim: İletim sisteminde şebeke modelini etkileyecek rastlantısal değişimler olmaktadır. İletim faaliyetlerindeki rastlantısal değişimler, şebekedeki değişik hatların zorunlu devre dışı kalma durumlarıyla verilmekte, yıl boyunca devreden çıkan ve devreye giren hatlar sistem modelinde gösterilmektedir.

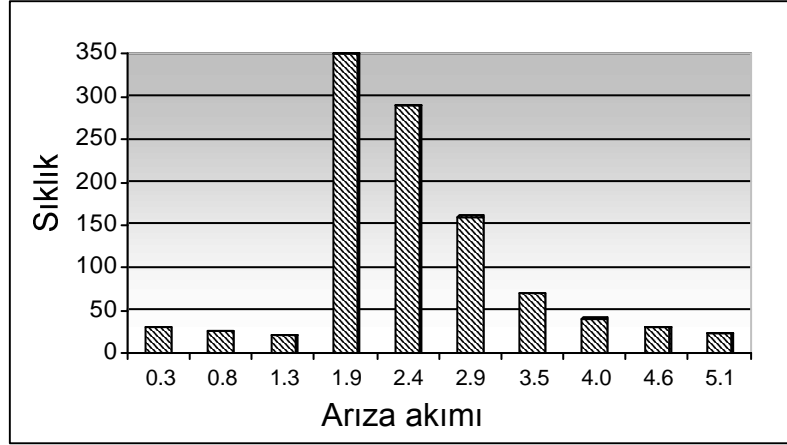
Arıza koşulları: Arıza koşullarındaki rastlantısal arıza zamanı, yeri ve tipidir. Yıl boyunca aylara dağılmış arıza sayısını veren histogramlardan arıza zamanı Monte Carlo yönteminde rastlantı sayısı şeklinde üretilmektedir. Arıza yeri de hatlardan ya da baralardan olmak üzere yine istatistiksel verilere dayalı olarak seçilmektedir.



Şekil 5.4 Örnek sistem

Şekil 5.4'deki örnek sistemde Şekil 5.3'de verilen algoritmaya uygun olarak 1 numaralı baradan geçen arıza akımının olasılık dağılımı 1000 benzetim sonucu histogram biçiminde Şekil 5.5'de verilmiştir. İstatistiksel veri eksikliğinden sistem parametreleri

sabit tutulmakta, arıza yeri ve tipi rastlantısal olarak atanmaktadır. Arızalı hat, hat uzunluğuyla orantılı olarak seçilmiş ve hat boyunca arıza olasılıkları eşit kabul edilmiştir. Arıza tipi de genel verilere göre % 80 olasılıkla bir faz toprak ve % 20 olasılıkla diğer arıza türleri düşünülerek seçilmiştir.



Şekil 5.5 Örnek sistemde 1'nolu baradan geçen arıza akımının olasılık dağılımı

5.3 Monte Carlo Modeli ile Güvenilirlik İndislerinin Belirlenmesi

Güvenilirlik analizinde kullanılan indislerin hesaplanması, analitik yöntemle nasıl yapıldığı Bölüm 4'de anlatılmaktadır. Bu bölümde ise analitik yöntemlerden yola çıkılarak Monte Carlo simülasyonu ile gerçekleştirilebilecek yeni bir algoritma geliştirilmiştir. Bu algoritma bölgelere ve fidere uygulanacak biçimde dizayn edilmiştir. Algoritmanın nasıl gerçekleştirildiği adımlar halinde aşağıda verilmekte, aynı zamanda akış diyagramı Şekil 5.6'da gösterilmektedir.

Adım 1: Analiz için bölgenin güvenilirlik parametrelerini giriniz.

- Arıza sayısı (A_s) = ?
- Arızadan etkilenen abone sayısı (E_a) = ?
- Toplam abone sayısı (T_a) = ?
- Kesinti süresi (K_s) = ?

Adım 2: Toplam abone sayısı kadar rastgele (random) sayı üreterek toplam sayı kümesini oluştur.

- $F[T_a, 1] = ?$

Adım 3: Toplam sayı kümesi elemanlarının büyüklüğünü $f(i)$ etkilenen abone sayısı (Ea) ile karşılaştır. Eğer;

- $f(i) \leq Ea$ ise $a = a+1$
- $f(i) > Ea$ ise $c = c+1$

olarak sayı kümesinin bütün elemanlarını Ea ile karşılaştır.

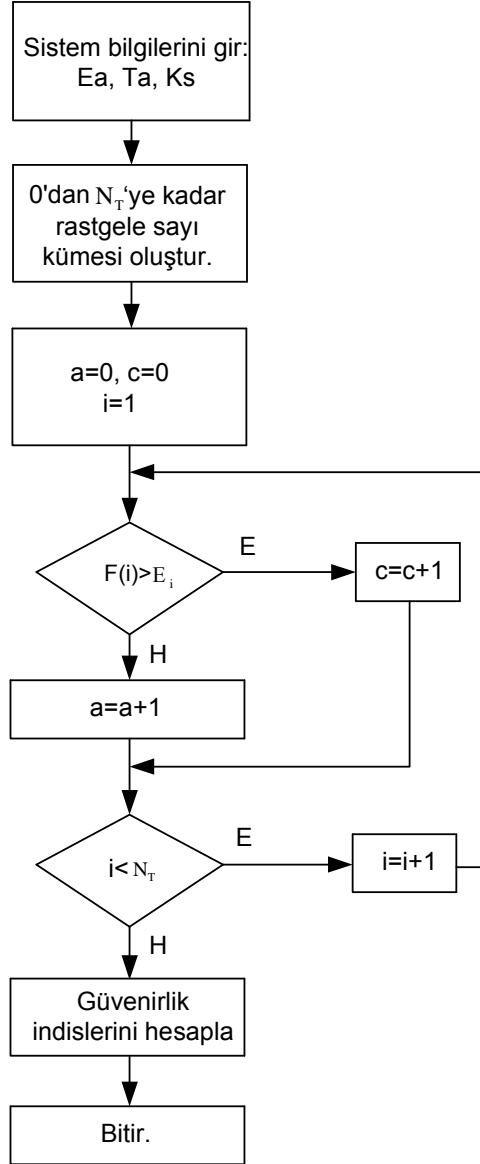
Adım 4: Karşılaştırma sonrasında elde edilen c parametresi kullanarak indis değerini aşağıdaki formüllerle hesapla;

$$SAIFI = \frac{\text{Arıza Sayısı} \times c}{\text{Toplam Abone Sayısı}} = \frac{As \times c}{Ta} \quad (5.7)$$

$$SAIDI = \frac{\text{Kesinti Süresi} \times c}{\text{Toplam Abone Sayısı}} = \frac{Ks \times c}{Ta} \quad (5.8)$$

$$CAIDI = \frac{SAIDI}{SAIFI} \quad (5.9)$$

Adım 5: Hesaplamayı sonlandır.



Şekil 5.6 Monte Carlo simülasyon yöntemi akış şeması

Geliştirilen algoritma Monte Carlo yönteminde kullanılarak, fiderden beslenen herhangi bir bölgenin güvenirlık indislerinin hesaplanmasına olanak sağlamaktadır. Fiderlerin güvenirlık indislerinin hesaplanması ise, Bölüm 4.11'de verilen fider güvenirlık indis ifadeleri genişletilerek aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$SAIFI_{FIDER} = \frac{(As_1 \times Ea_1) + (As_2 \times Ea_2) \dots + (As_n \times Ea_n)}{Ta_1 + Ta_2 \dots + Ta_n} \quad (5.10)$$

$$SAIFI_{FIDER} = \frac{\frac{(As_1 \times Ea_1)}{Ta_1} \times Ta_1 + \frac{(As_2 \times Ea_2)}{Ta_2} \times Ta_2 \dots + \frac{(As_n \times Ea_n)}{Ta_n} \times Ta_n}{Ta_1 + Ta_2 \dots + Ta_n} \quad (5.11)$$

$$SAIFI_{FIDER} = \frac{(Ta_1 \times SAIFI_1) + (Ta_2 \times SAIFI_2) \dots + (Ta_n \times SAIFI_n)}{Ta_1 + Ta_2 \dots + Ta_n} \quad (5.12)$$

Şeklinde yazılabilir. Böylece fiderin güvenilirlik indisi, bölgenin toplam abone sayısı ve Monte Carlo algoritması kullanılarak hesaplanabilir. Yukarıdaki denklemler diğer indisler için de uygulanacak olursa;

$$SAIDI_{FIDER} = \frac{(Ta_1 \times SAIDI_1) + (Ta_2 \times SAIDI_2) \dots + (Ta_n \times SAIDI_n)}{Ta_1 + Ta_2 \dots + Ta_n} \quad (5.13)$$

$$CAIDI_{FIDER} = \frac{SAIDI_{FIDER}}{SAIFI_{FIDER}} \quad (5.14)$$

şeklinde edilmiş olur.

5.4 Sonuç

Bu b6l6mde Monte Carlo y6ntemiyle yapılan çalışmalar literat6rde verilerek, Monte Carlo y6ntemiyle gerçekleştirilen integral alan hesabı ve g6 sistemlerinin kısa devre analizi anlatılmıştır. Daha sonra sistemin g6venirliği hakkında bilgi veren performans indislerinin Monte Carlo sim6lasyonu ile hesaplanabilmesi için yeni bir algoritma geliştirilmiştir. Geliştirilen bu algoritma hem b6lgenin hem de fiderin g6venirlik indislerinin hesaplanabilmesi için dizayn edilmiştir.

BÖLÜM VI

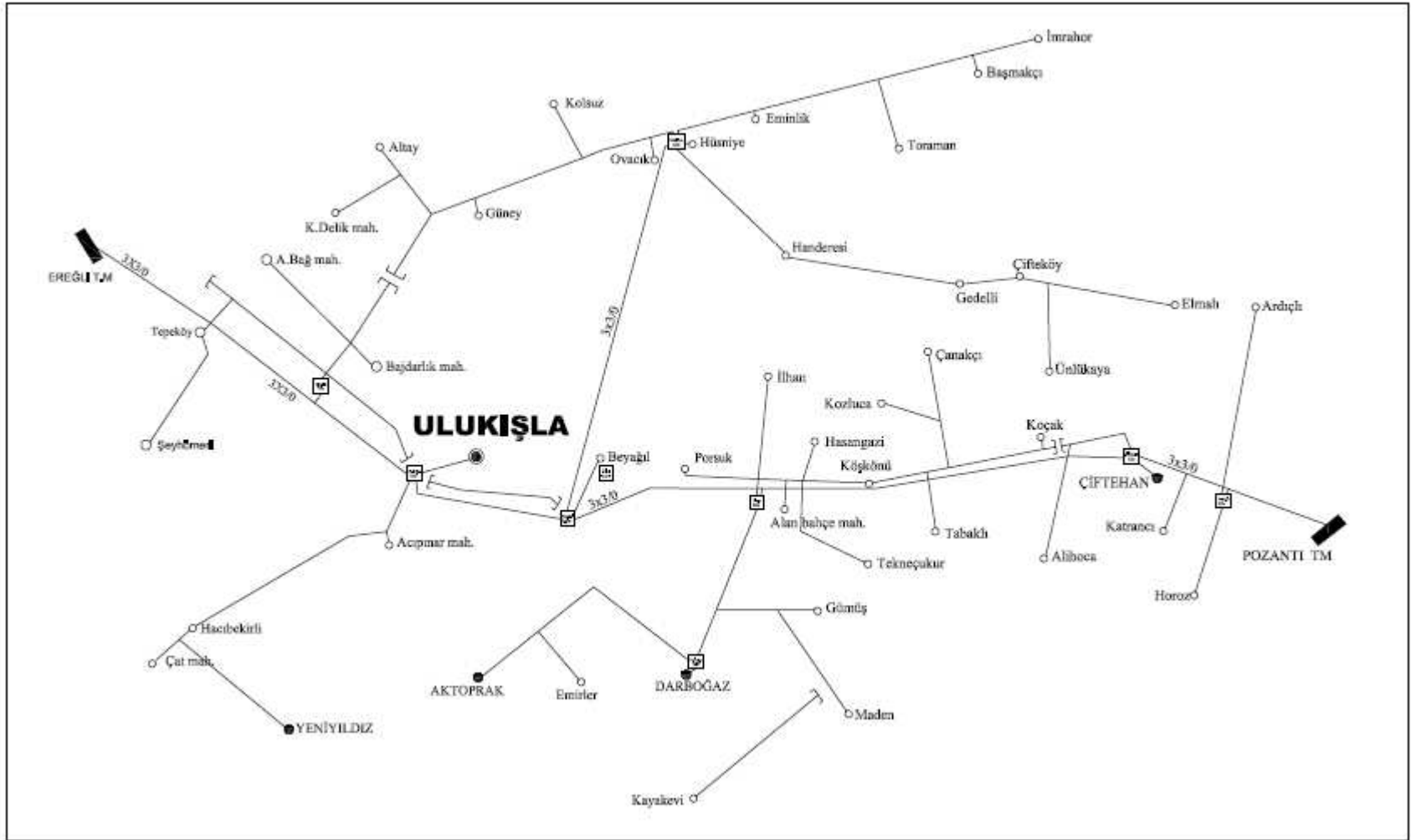
NIĞDE BÖLGESİNİN GÜVENİLİRLİK ANALİZİ

6.1 Giriş

Bu bölümde Niğde bölgesinin kurulu gücünün büyük bir kısmını oluşturan üç fiderin ve bu fiderlerin beslediği bölgelerin güvenilirlik analizi yapılmıştır. Bu bölgeler Ulukışla bölgesi, Çamardı bölgesi ve Altunhisar bölgesidir. Güvenirlik analizi hem analitik yöntemle hem de Bölüm 5’de geliştirilen algoritma kullanılarak, Monte Carlo simülasyonu ile yapılmıştır. Bu üç bölgeyi besleyen fiderler hava hattı 3x1/0 swallow olup yerleşim merkezlerine enerji sağlamaktadırlar. Her yük noktasındaki tüketici sayısı, o yük noktasındaki trafodan enerji alan abonelerin, orta ve alçak gerilim arızaları ve bu arızalardan etkilenen tüketicilerin sayısı bulunarak güvenilirlik analizi yapılmaktadır. Güvenirlik analiz sonuçlarına bağlı olarak hangi bölgelerin ne kadar güvenli olup olmadı tespit edilerek, bu bölgelerin güvenilirliğini artırmak için neler yapılması gerektiği öngörülmüştür.

6.2 Ulukışla Bölgesinin (Fiderinin) Güvenilirliğinin İncelenmesi

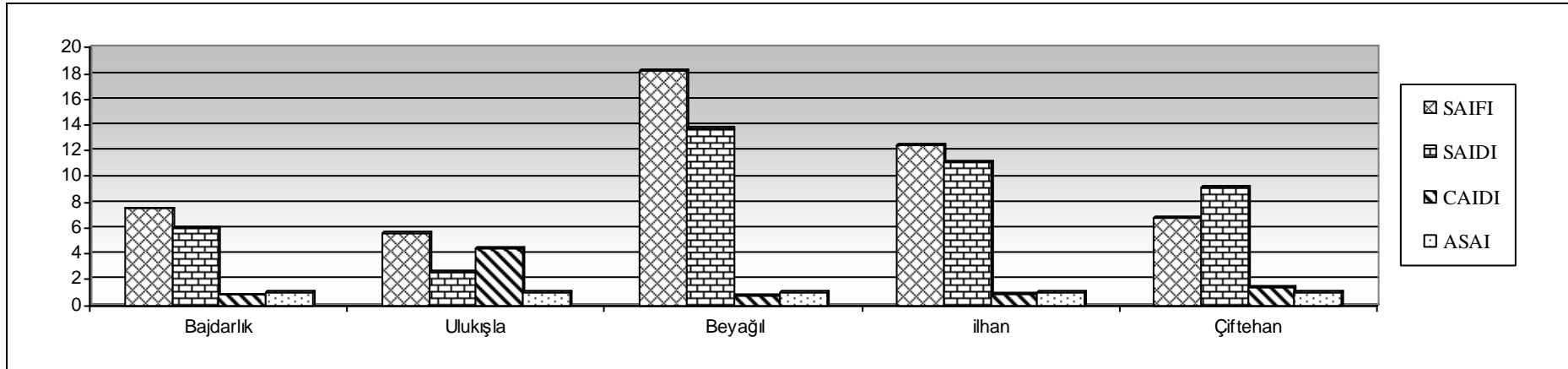
Şekil 6.1’de tek hat şeması verilen 31,5 kV’luk Ulukışla fiderinde, 5 adet yük noktası mevcuttur. Her bir yük noktasındaki branşman hatlar (Dallanma noktaları) tek bir yük olarak değerlendirilerek orta gerilimde güvenilirlik analizi yapılmıştır. Sistemin güvenilirlik indislerinin hesaplanmasında analitik yöntem kullanılarak performans indisleri hesaplanmıştır. Bu yöntemde üç temel güvenilirlik parametresi olan, ortalama arıza oranı, ortalama tamir süresi ve ortalama yıllık devre dışı kalma süresi Tablo 6.1’de verilmiştir. Bu veriler Niğde Medaş arıza servisinin kayıtlarından alınan değerler ile oluşturulmuştur.



Şekil 6.1 Ulukışla fideri elektrik dağıtım tek hat şeması

Tablo 6.1 Ulukışla fideri için orta gerilimde güvenilirlik parametreleri ve hesaplanan performans indis değerleri

YÜK NOKTASI	λ_L (Arıza/Yıl)	r (saat)	U_L (Saat /Yıl)	Tüketici Sayısı	Ortalama Yük, La (KW)	Yük Noktasındaki Toplam Müşteri Sayısı	SAIFI	SAIDI	CAIDI	ASAI
BAJDARLIK	29	0,793	23,00	209	550	808	7,500	5,940	0,793	0,9993
ULUKIŞLA	98	0,472	46,25	310	4063	5477	5,540	2,610	0,471	0,9997
BEYAĞIL	111	0,756	83,90	597	2760	3637	18,22	13,77	0,756	0,9984
İLHAN	127	0,900	114,3	732	4343	7484	12,42	11,18	0,900	0,9987
ÇİFTEHAN	43	1,350	58,00	258	1349	1633	6,790	9,160	1,340	0,9989
FİDER							10,86	8,816	0,811	0,9989



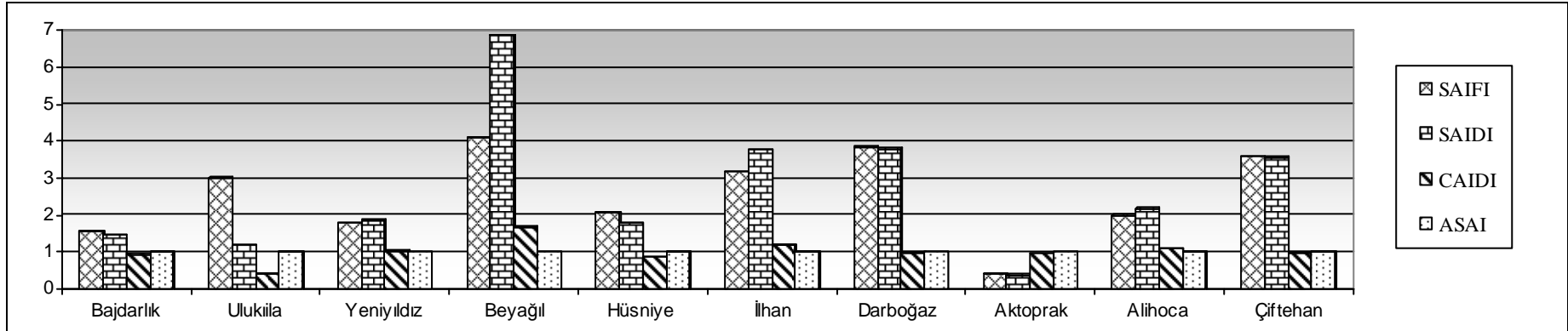
Şekil 6.2 Fiderin beslediği bölgelere ait güvenilirlik indisleri

Bölgelerin orta gerilimde güvenilirliğinin değerlendirilmesinde, Tablo 6.1 ve Şekil 6.2’de verilen SAIFI sistemin ortalama kesinti sıklığını, SAIDI sistemin ortalama kesinti süresini, CAIDI müşteri ortalama kesinti süresini, ASAI ise ortalama hizmet kullanılabilirliğini göstermektedir. Bölgelerin güvenilirliğini kendi aralarında değerlendirecek olursak, arızanın en çok olduğu bölge 5,54 indis değeriyle Beyağıl bölgesi, kesinti süresi bakımından en çok devre dışı kalan bölge 2,61 indis değeriyle yine Beyağıl bölgesidir. Ortalama tamir süresinin en yüksek olduğu bölge 4,47 indis değeriyle Ulukışla bölgesidir. Bölgelerin güvenilirliğinin düşük olması, o bölgeyi besleyen fiderinde güvenilirliğinin düşük olduğunu göstermektedir. Güvenirliğin yükseltilmesi için bölgelere bakım yapılmalı, bakım yapılırken de kaliteli malzeme kullanılmalıdır. Ayrıca enerji nakil hatlarına Scada sistemi uygulanarak, sistemde meydana gelen arızalar daha kısa sürede tespit edilerek, sistemi daha kısa süre devre dışı bırakılmış olur.

Şekil 6.1’de verilen tek hat şemasındaki Ereğli dağıtım merkezi çıkışlı 31,5 kV’luk Ulukışla fiderinin 5 adet ana yük noktası bulunmaktadır. Bu yük noktasından enerji alan kasaba ve beldeler nüfus yoğunluğuna göre değerlendirilerek, 10 adet yük noktası belirlenmiştir. Bu yük noktaları Bajdarlık, Ulukışla, Yeniyıldız, Hüsniye, Beyağıl, Aktoprak, Darboğaz, İlhan, Alihoca ve Çiftahan’dır. Yük noktalarında tek bir trafo ile alçak gerilimde dağıtım yapıldığı varsayılarak, yük noktasındaki tüketici sayısı, o yük noktasındaki trafodan enerji alan abonelerin, alçak gerilim arızaları ve bu arızalardan etkilenen tüketicilerin sayısı bulunarak alçak gerilimde güvenilirlik analizi yapılmıştır. Analiz sonuçları Tablo 6.2 ve Şekil 6.3’de verilmiştir. Bölgeleri kendi arasında değerlendirirsek, arızanın en çok olduğu bölge 4,11 indis değeriyle Beyağıl bölgesidir. Kesinti süresi bakımından en çok devre dışı kalan bölge 6,87 indis değeriyle Beyağıl bölgesidir. Ortalama tamir süresi en yüksek olan 1,67 indis değeriyle yine Beyağıl bölgesidir. Sonuç olarak alçak gerilimde güvenilirliği en düşük bölge Beyağıl bölgesidir. AG ve OG arızaları birbirleriyle bağlantılı olduğundan güvenilirlik sonuçlarını karşılaştırdığımızda elde edilen sonuçların doğru olduğu anlaşılmaktadır.

Tablo 6.2 Ulukışla fideri için alçak gerilimde güvenilirlik parametreleri ve hesaplanan performans indis değerleri

YÜK NOKTASI	λ_L (Arıza/Yıl)	r (saat)	U_L (Saat /Yıl)	Tüketici Sayısı	Ortalama Yük, La (KW)	Yük Noktasındaki Toplam Müşteri Sayısı	SAIFI	SAIDI	CAIDI	ASAI
BAJDARLIK	20	0,94	18,90	63	550	808	1,56	1,47	0,94	0,99983
YENİYILDIZ	20	1,03	20,60	58	693	643	1,80	1,85	1,03	0,99978
ULUKIŞLA	114	0,4	45,60	128	4150	4834	3,01	1,20	0,4	0,99986
HÜSİNİYE	88	0,86	76,29	72	2400	3053	2,07	1,79	0,86	0,99979
BEYAĞIL	33	1,67	55,11	125	620	1002	4,11	6,87	1,67	0,99921
İLHAN	109	1,19	129,7	93	1480	3189	3,17	3,78	1,19	0,99956
DARBOĞAZ	58	0,99	57,42	189	1033	2852	3,84	3,80	0,99	0,99956
AKTOPRAK	11	0,95	10,45	53	2630	1476	0,39	0,37	0,95	0,99995
ALİHOCA	12	1,09	13,08	97	263	581	2,00	2,18	1,09	0,99975
ÇİFTEHAN	43	0,99	42,57	88	1086	1052	3,59	3,56	0,99	0,99959

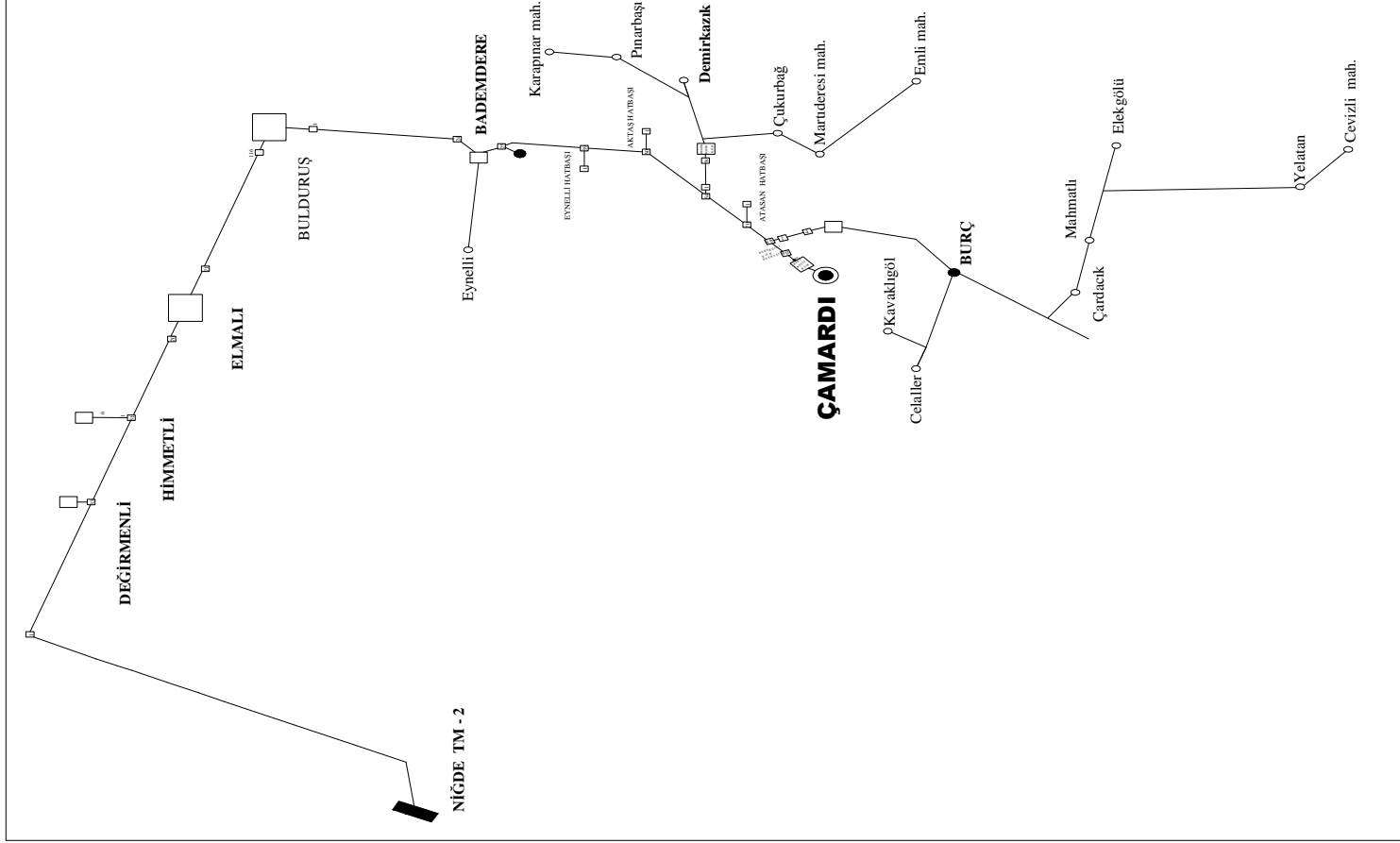


Şekil 6.3 Fiderin beslediği bölgelere ait güvenilirlik indisleri

6.3 Çamardı Bölgesinin (Fiderinin) Güvenilirliğinin İncelenmesi

Şekil 6.4’de verilen Çamardı fideri, Değirmenli, Himmetli, Elmalı, Bademdere, Demirkazık, Çamardı, Burç bölgeleri başta olmak üzere, bu yük noktalarına bağlı köy ve kasabalara elektrik enerjisi sağlayan Niğde TM-2 (trafo merkezi) çıkışlı 31,5 kV’luk 8 nolu fiderinin (Çamardı fideri) ve bu yük noktalarının orta gerilimde güvenilirlik analizi yapılmıştır. 31,5 kV’luk Çamardı fiderinde, 7 adet yük noktası mevcuttur. Her bir yük noktasındaki branşman hatlar (Dallanma noktaları) tek bir yük olarak kabul edilmiştir. Sistemin güvenilirlik indislerinin hesaplanmasında analitik yöntem kullanılmıştır. Bu yöntemde üç temel güvenilirlik parametresi olan, ortalama arıza oranı, ortalama tamir süresi ve ortalama yıllık devre dışı kalma süresi Şekil 6.4’deki tek hat şeması için Tablo 6.3’de verilmiştir. Tablo 6.3 ve Şekil 6.5’den görüleceği üzere bölgeler arasında güvenilirliği arıza bakımından en yüksek olan bölge 6,2 indis değeriyle Çamardı bölgesidir. Kesinti süresi bakımından güvenilirliği en yüksek bölge 1,22 indis değeriyle Burç bölgesidir. Ortalama tamir süresi bakımından güvenilirliği en yüksek bölge 0,14 indis değeriyle Burç bölgesidir. Bölgeler arasında güvenilirliği arıza bakımından en düşük olan bölge 13,16 indis değeriyle Demirkazık bölgesidir. Kesinti süresi bakımından güvenilirliği en düşük bölge 9,14 indis değeriyle Himmetli bölgesidir. Ortalama tamir süresi bakımından ise güvenilirliği en düşük bölge 0,88 indis değeriyle yine Himmetli bölgesidir.

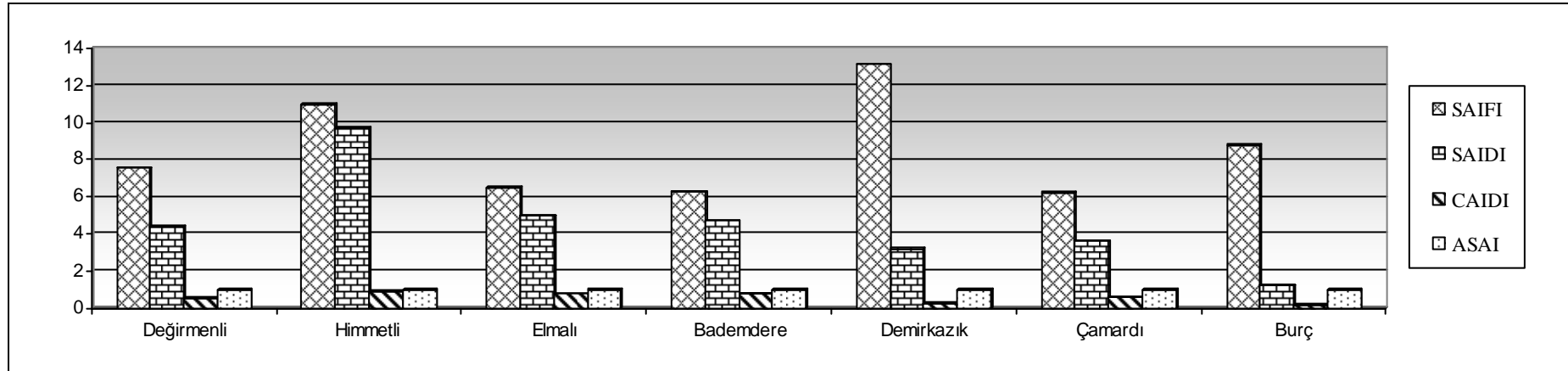
Alçak gerilimde bölgelerin güvenilirliğinin değerlendirilmesinde ise, bir bölgede meydana gelen arızanın diğer bir bölgeyi etkilemediği göz önünde bulundurularak değerlendirme yapılmıştır. Tablo 6.4 ve Şekil 6.6’dan görüleceği üzere sistemin güvenilirliğini üç ana indis ile değerlendirebiliriz. Bu indisler SAIFI sistemin ortalama kesinti sıklığı indis, SAIDI sistemin ortalama kesinti süresi indis, CAIDI müşteri ortalama kesinti süresi indisidir. Bu indis sonuçlarına göre sistem kesinti sıklığı bakımından en güvenilir bölge 3,53 indis değeriyle Çamardı bölgesi, sistem kesinti süresi bakımından en güvenli bölge 1,83 indis değeriyle Değirmenli bölgesi, müşteri ortalama kesinti süresi bakımından en güvenilir bölge 0,44 indis değeriyle Değirmenli bölgesidir. Genel olarak güvenilirlik indislerinin yüksek olduğu ve bölgelerin güvenilirliğinin düşük olduğu görülmektedir.



Şekil 6.4 Çamardı fideri elektrik dağıtım tek hat şeması

Tablo 6.3 Çamardı fideri için orta gerilimde güvenilirlik parametreleri ve hesaplanan performans indis değerleri

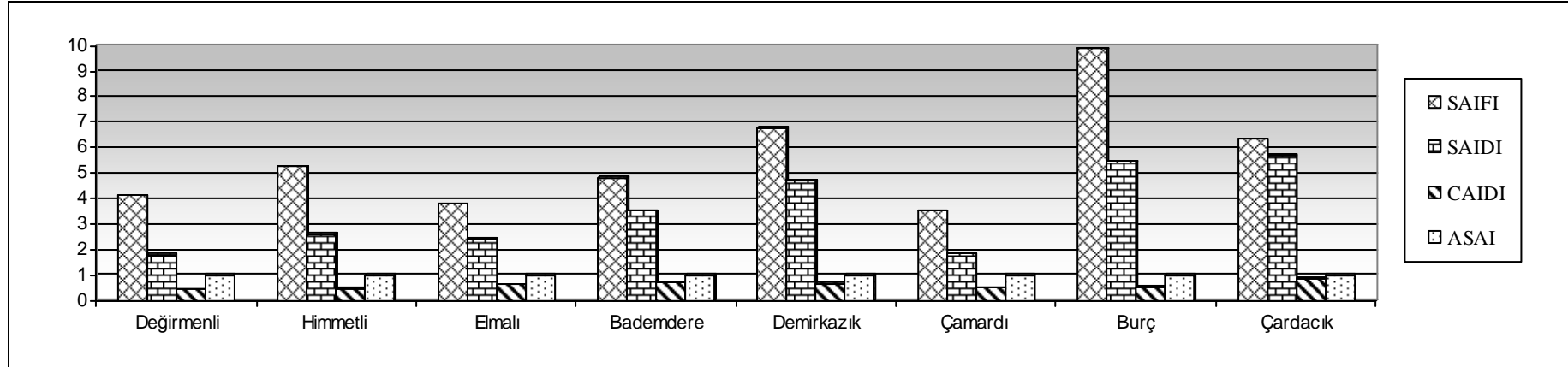
YÜK NOKTASI	λ_L (Arıza/Yıl)	r (saat)	U_L (Saat /Yıl)	Tüketici Sayısı	Ortalama Yük, La (KW)	Yük Noktasındaki Toplam Müşteri Sayısı	SAIFI	SAIDI	CAIDI	ASAI
DEĞİRMENLİ	23	0,521	12,00	321	1900	878	8,400	4,38	0,52	0,99949
HİMMETLİ	20	0,887	17,74	250	300	455	10,98	9,74	0,88	0,99888
ELMALI	17	0,764	13,00	280	1160	730	6,520	4,98	0,76	0,99943
BADEMDERE	24	0,750	18,00	342	860	1311	6,260	4,69	0,75	0,99946
DEMİRKAZIK	47	0,242	11,37	211	786	753	13,16	3,18	0,24	0,99963
ÇAMARDI	31	0,580	17,98	488	1320	2440	6,200	3,59	0,58	0,99958
BURÇ	66	0,140	9,240	441	1813	3093	9,410	1,31	0,14	0,99985
FİDER							8,230	3,45	0,41	0,99960



Şekil 6.5 Fiderin beslediği bölgelere ait güvenilirlik indisleri

Tablo 6.4 Çamardı fideri için alçak gerilimde güvenilirlik parametreleri ve hesaplanan performans indis değerleri

YÜK NOKTASI	λ_L (Arıza/Yıl)	r (saat)	U_L (Saat /Yıl)	Tüketici Sayısı	Ortalama Yük, La (KW)	Yük Noktasındaki Toplam Müşteri Sayısı	SAIFI	SAIDI	CAIDI	ASAI
DEĞİRMENLİ	29	0,445	12,90	125	1900	878	4,12	1,83	0,44	0,99979
HİMMETLİ	16	0,500	8,000	150	300	455	5,27	2,63	0,50	0,99969
ELMALI	19	0,592	11,24	146	1160	730	3,80	2,44	0,64	0,99972
BADEMDERE	39	0,732	28,54	163	860	1311	4,84	3,54	0,73	0,99959
DEMİRKAZIK	68	0,700	47,60	75	786	753	6,77	4,74	0,70	0,99945
ÇAMARDI	39	0,525	20,47	221	1320	2440	3,53	1,85	0,52	0,99978
BURÇ	89	0,554	49,30	174	970	1566	9,88	5,47	0,55	0,99937
ÇARDACIK	57	0,900	51,30	170	843	1527	6,34	5,71	0,90	0,99934



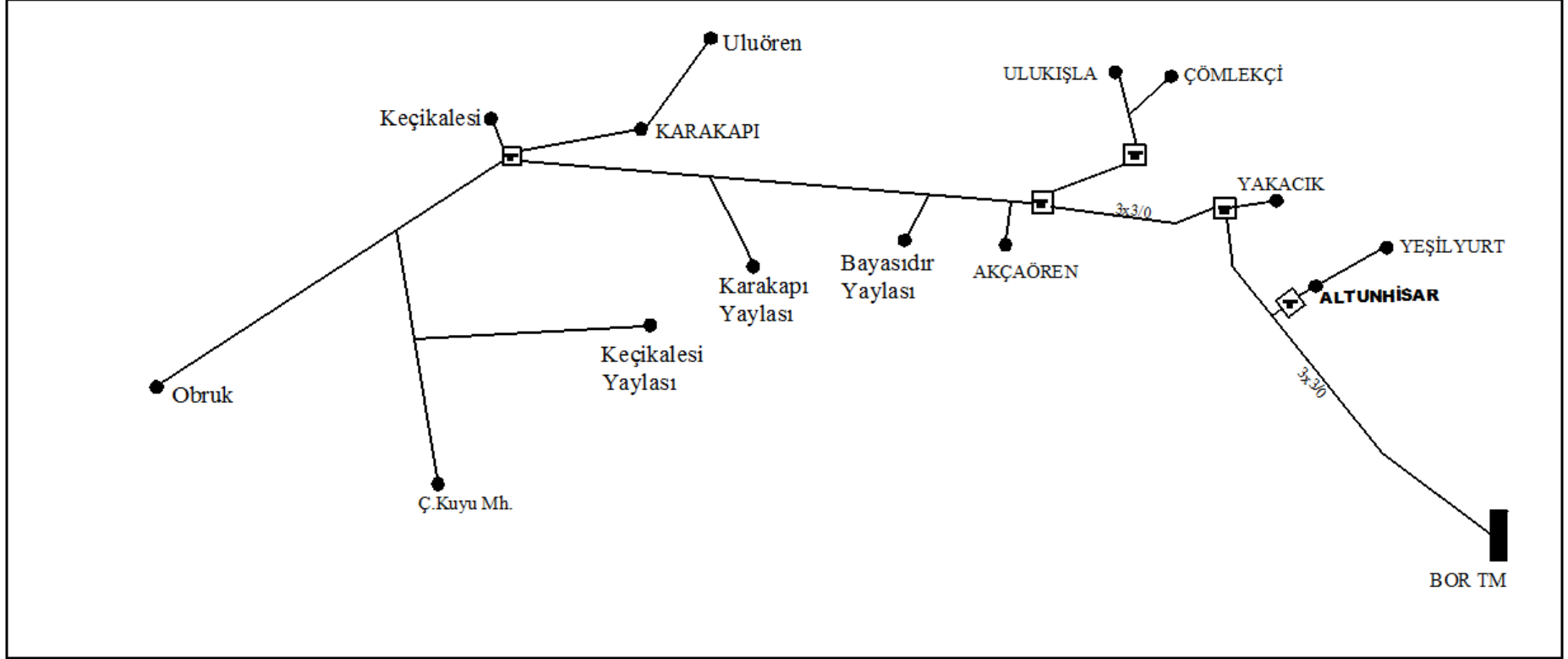
Şekil 6.6 Fiderin beslediği bölgelere ait güvenilirlik indisleri

6.4 Altunhisar Bölgesinin (Fiderinin) Güvenilirliğinin İncelenmesi

Bor TM çıkışlı Altunhisar fideri, Keçikalesi, Akcaören, Çönlekçi, Yakacık bölgeleri başta olmak üzere, bu yük noktalarına bağlı köy ve kasabalara elektrik enerjisi sağlayan 31,5 kV'luk fiderin (Altunhisar fideri) ve bu yük noktalarının orta ve alçak gerilimde güvenilirlik analizi analitik yöntemle yapılmıştır. Bu bölgeler nüfus yoğunluğuna göre değerlendirilerek beş adet yük noktası belirlenmiştir. Bu yük noktalarında tek bir trafo ile alçak gerilim ile dağıtım yapıldığı varsayılmıştır. Her yük noktasındaki tüketici o yük noktasındaki trafodan enerji aldığı varsayılmıştır.

Orta gerilimde bölgelerin güvenilirliğinin değerlendirilmesinde Tablo 6.5 ve Şekil 6.8'den de görüldüğü üzere bölgeler arasında güvenilirliği arıza bakımından en yüksek olan bölge 3,83 indis değeriyle Yakacık bölgesidir. Kesinti süresi bakımından güvenilirliği en yüksek bölge 1,375 indis değeriyle Yakacık bölgesidir. Ortalama tamir süresi bakımından güvenilirliği en yüksek bölge 0,358 indis değeriyle Yakacık bölgesidir. Bölgeler arasında güvenilirliği arıza bakımından en düşük olan bölge 7,09 indis değeriyle Keçikalesi bölgesidir. Kesinti süresi bakımından güvenilirliği en düşük bölge 6,27 indis değeriyle Keçikalesi bölgesidir. Ortalama tamir süresi bakımından ise güvenilirliği en düşük bölge 0,88 indis değeriyle yine Keçikalesi bölgesidir. Bu bölgelerde güvenilirliği artırmak için arıza sayısı azaltılmalı ve arızanın giderilme süresi kısaltılmalıdır. Bunu yapabilmek içinde trafo ve enerji nakil hatlarının bakımı düzenli yapılmalı, arızayı onaracak ekibin deneyimli ve yeterli donanıma sahip olması gerekmektedir.

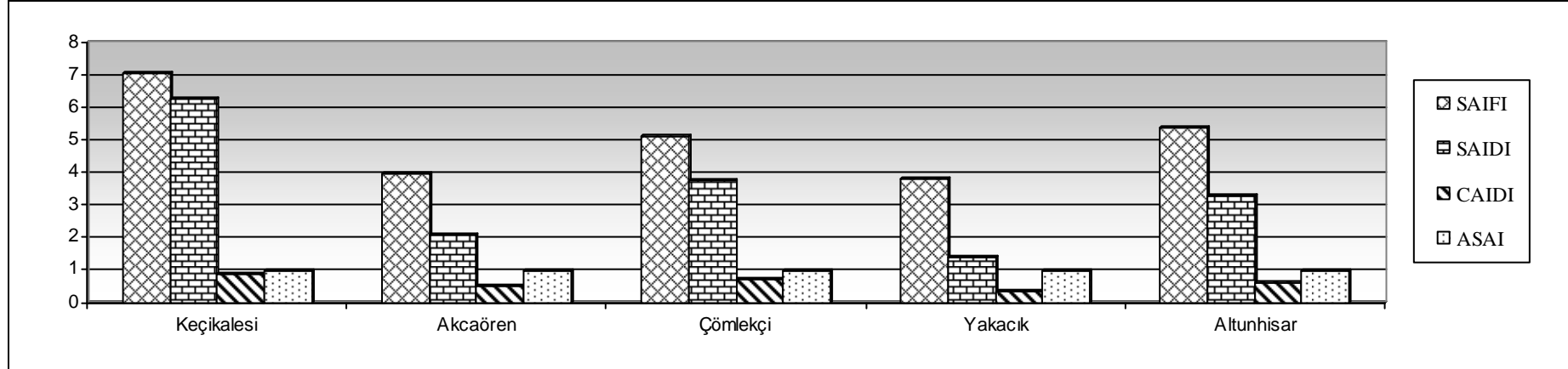
Alçak gerilimde bölgelerin güvenilirliğinin değerlendirilmesinde, bir bölgede meydana gelen arızanın diğer bir bölgeyi etkilemediği göz önünde bulundurularak değerlendirme yapılmıştır. Tablo 6.6 ve Şekil 6.9'dan anlaşılacağı üzere, sistem kesintisi bakımından en güvenilir bölge 1,03 indis değeriyle Çömlekçi bölgesi, sistem kesinti süresi bakımından en güvenli bölge 0,634 indis değeriyle Çömlekçi bölgesi, müşteri ortalama kesinti süresi bakımından en güvenilir bölge 0,5 indis değeriyle Akcaören bölgesidir. Sistemin güvenilirliğini artırmak için abone bağlantıları tek faz yerine üç fazlı yapılmalı, böylece dengesiz yük dağılımı önlenmiş olup, arıza sayısının düşmesine katkıda bulunacaktır. Ayrıca abone bağlantıları hatta direk bağlantı yapılmamalı, fiziki irtibat klemensle yapılmalıdır.



Şekil 6.7 Altunhisar fideri elektrik dağıtım tek hat şeması

Tablo 6.5 Altunhisar fideri için orta gerilimde güvenilirlik parametreleri ve hesaplanan performans indis değerleri

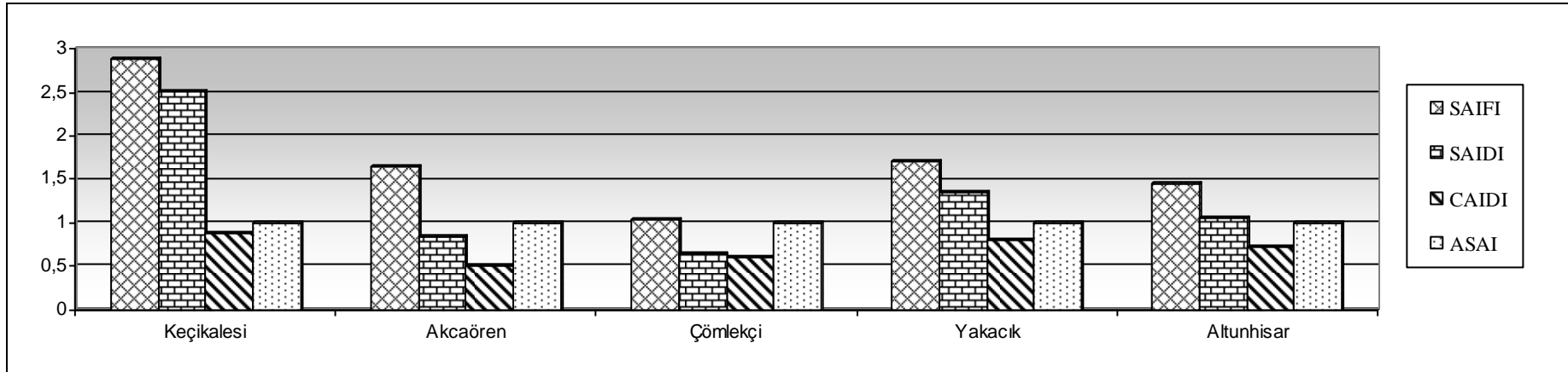
YÜK NOKTASI	λ_L (Arıza/Yıl)	r (saat)	U_L (Saat /Yıl)	Tüketici Sayısı	Ortalama Yük, La (KW)	Yük Noktasındaki Toplam Müşteri Sayısı	SAIFI	SAIDI	CAIDI	ASAI
KEÇİKALESİ	41	0,844	36,25	190	1920	1098	7,09	6,27	0,88	0,99928
AKCAÖREN	12	0,520	6,250	162	360	488	3,98	2,07	0,52	0,99976
ÇÖMLEKÇİ	24	0,732	17,58	173	1320	811	5,11	3,75	0,73	0,99957
YAKACIK	23	0,358	8,250	142	990	852	3,83	1,37	0,35	0,99984
ALTUNHİSAR	54	0,614	33,16	214	2800	2146	5,38	3,30	0,61	0,99960
FİDER							5,32	3,56	0,66	0,99950



Şekil 6.8 Fiderin beslediği bölgelere ait güvenilirlik indisleri

Tablo 6.6 Altunhisar fideri için alçak gerilimde güvenilirlik parametreleri ve hesaplanan performans indis değerleri

YÜK NOKTASI	λ_L (Arıza/Yıl)	r (saat)	U_L (Saat /Yıl)	Tüketici Sayısı	Ortalama Yük, La (KW)	Yük Noktasındaki Toplam Müşteri Sayısı	SAIFI	SAIDI	CAIDI	ASAI
KEÇİKALESİ	49	0,871	42,66	65	1920	1098	2,90	2,52	0,87	0,99971
AKCAÖREN	15	0,500	7,580	54	360	488	1,65	0,83	0,50	0,99999
ÇÖMLEKÇİ	20	0,612	12,25	42	1320	811	1,03	0,63	0,61	0,99992
YAKACIK	31	0,798	24,75	47	990	852	1,71	1,36	0,79	0,99984
ALTUNHİSAR	38	0,719	27,30	83	2800	2146	1,46	1,05	0,72	0,99987



Şekil 6.9 Fiderin beslediği bölgelere ait güvenilirlik indisleri

6.5 Güvenirlik İndislerinin Monte Carlo Yöntemi ile Belirlenmesi

Monte Carlo yöntemi, rastgele sayıları kullanan genel bir olasılıksal simülasyondur. Monte Carlo yönteminde bir sisteme ait parametrelerin örneksel olarak çözümlemek ve örnek sayısını artırarak gerçek çözüme yaklaşmak esastır. Yöntem üç temel aşamada gerçekleştirilmektedir. Birincisi düzgün rastgele değerler kümesinin oluşturması, sonra bu değerleri istenen olasılık dağılımına göre dağıtılması, daha sonra da bu işlemler yeterli sayıda tekrarlanarak sonucun elde edilmesi sağlanmıştır. Niğde iline ait Ulukışla, Çamardı ve Altunhisar bölgelerinin (fiderlerinin) güvenirlilik analizi önceki bölümlerde analitik yöntemlerle yapılmıştır. Bu bölümde ise bölgelerin (fiderlerin) güvenirlilik analizi, Bölüm 5’de geliştirilen algoritma kullanılarak Monte Carlo simülasyonu ile gerçekleştirilmiş olup bu iki yöntem kıyaslanmaktadır. Tablo 6.7’de bölgelere ait güvenirlilik indis değerlerinin analitik ve Monte Carlo simülasyonu ile elde edilen sonuçlar verilmiştir.

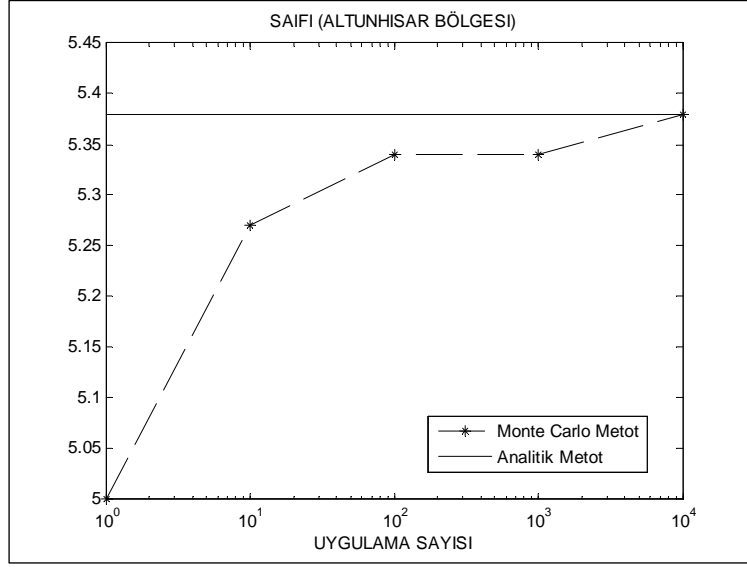
Tablo 6.7 Bölgelerin güvenirlilik indis değerleri

BÖLGELER	SAIFI		SAIDI		CAIDI	
	MC	Analitik	MC	Analitik	MC	Analitik
Bajdarlık	6,630	7,500	5,260	5,940	0,793	0,793
Ulukışla	5,420	5,540	2,550	2,610	0,471	0,471
Beyağıl	18,15	18,22	13,72	13,77	0,755	0,756
İlhan	12,23	12,42	11,01	11,18	0,900	0,900
Çiftehan	6,390	6,790	8,630	9,160	1,340	1,340
Fider	10,66	10,86	8,650	8,816	0,810	0,811
Değirmenli	8,930	8,400	4,660	4,380	0,520	0,520
Himmetli	11,16	10,98	9,900	9,740	0,880	0,880
Elmalı	6,520	6,520	4,980	4,980	0,760	0,760
Bademdere	6,130	6,260	4,590	4,690	0,750	0,750
Demirkazık	14,04	13,16	3,390	3,180	0,240	0,240
Çamardı	6,080	6,200	3,520	3,590	0,580	0,580
Burç	8,980	9,410	1,250	1,310	0,140	0,140
Fider	8,170	8,230	3,450	3,450	0,420	0,410
Keçikalesi	6,980	7,090	6,170	6,270	0,880	0,880
Akcaören	4,100	3,980	2,130	2,070	0,520	0,520
Çömlekçi	5,060	5,110	3,700	3,750	0,730	0,730
Yakacık	3,720	3,830	1,330	1,370	0,350	0,350
Altunhisar	4,880	5,380	2,990	3,300	0,610	0,610
Fider	5,080	5,320	3,410	3,560	0,670	0,660

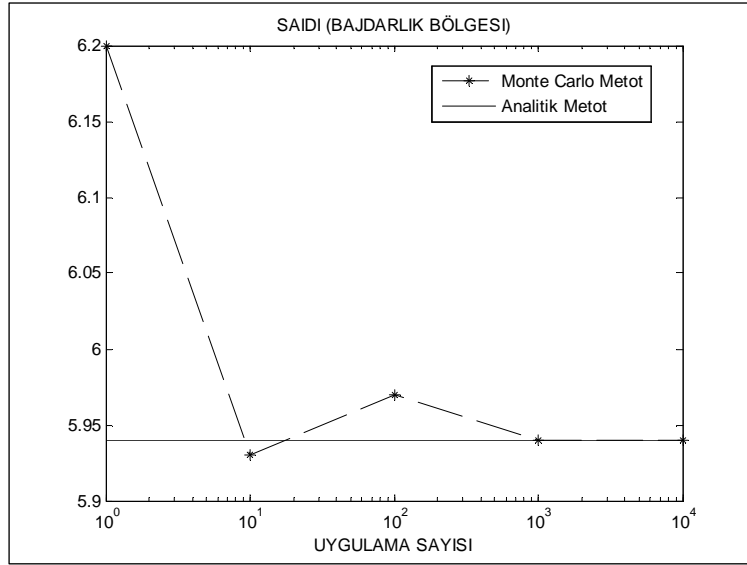
Tablo 6.7’de verilen analitik yöntem ve Monte Carlo metodu ile elde edilen indis sonuçları karşılaştırıldığında, Matlab ortamında simülasyon yapılarak elde edilen sonuçların analitik değerlere yaklaştığı görülmektedir. Ancak aralarında küçük de olsa bir fark vardır. Bu fark aşağıdaki yüzde bağıl hata formülü kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\% \varepsilon = \left| \frac{\text{Analitik deger} - \text{Hesaplanan deger}}{\text{Analitik deger}} \right| \times 100 \quad (6.1)$$

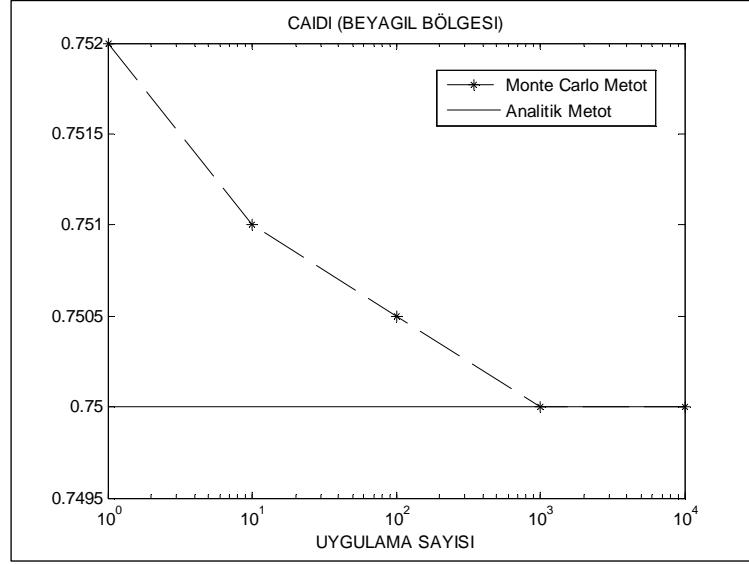
Bölgeler kendi aralarında değerlendirilerek, SAIFI (ortalama kesinti sıklığı indisi), SAIDI (ortalama kesinti süresi indisi) ve CAIDI (müşteri ortalama kesinti süresi indisi) indislerinin yüzde bağıl hatalarının en yüksek olduğu bölgeler belirlenmiştir. SAIFI indisi için en yüksek yüzde bağıl hata 9,29 değeriyle Altunhisar bölgesinde, SAIDI indisi için en yüksek yüzde bağıl hata 11,44 değeriyle Bajdarlık bölgesinde, CAIDI indisi içinse en yüksek yüzde bağıl hata 0,13 değeriyle Beyağıl bölgesinde olduğu tespit edilmiştir. Bu hata değerlerinin küçültülebilmesi için Matlab ortamında gerçekleştirilen Monte Carlo simülasyonunda birden fazla uygulama yapılarak, elde edilen sonuçların aritmetik ortalaması alınması sonucunda indis değerleri belirlenmiştir. Aşağıdaki şekillerden görüleceği üzere Monte Carlo simülasyonu ile elde edilen indis değerlerinin uygulama sayısına göre, logaritmik olarak değişimi analitik değeri ile birlikte gösterilmektedir. Uygulama sayısı ise 1-10000 arasında değişmektedir. Şekilden görüleceği üzere hata, uygulama sayısı arttıkça azalmakta ve sonuçlar analitik sonuçlar ile tamamen örtüşmektedir. Dolayısıyla geliştirilen Monte Carlo algoritmanın güvenilir olduğunu söylemek mümkündür. Ayrıca uygulama açısından kolay olması nedeniyle sistemlerin güvenilirlik analizi için uygun olduğunu söylemek mümkündür.



Şekil 6.10 Uygulama sayısı ile SAIFI indisinin değişimi



Şekil 6.11 Uygulama sayısı ile SAIDI indisinin değişimi



Şekil 6.12 Uygulama sayısı ile CAIDI indisinin değişimi

6.6 Sonuç

Bu bölümde Niğde bölgesinin kurulu gücünün büyük bir kısmını oluşturan üç bölgenin (fiderin) güvenilirlik analizi yapılmıştır. Bu bölgeler (fiderler) Ulukışla, Çamardı ve Altunhisar bölgeleridir. Bölgelerin güvenilirlik indislerinin hesaplanmasında kullanılan arza sayısı, arıza süresi, abone sayısı, trafo güçleri vb. bilgiler 2009 yılı için Niğde MEDAŞ İşletme Müdürlüğünden alınmıştır. Bölgelerin (fiderlerin) güvenilirlik indislerinin hesaplanmasında analitik yöntem ve geliştirilen yeni bir algoritmayla Monte Carlo simülasyonu kullanılmıştır. Analitik yöntemle orta ve alçak gerilimde bölgelerin (fiderlerin) güvenilirlik indisleri hesaplanmıştır. Monte Carlo simülasyonu ile orta gerilimde bölgelerin (fiderlerin) güvenilirlik indisleri hesaplanmıştır. Her iki yöntemde elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak, Monte Carlo simülasyon sonuçlarının gerçek değerlere yaklaştığı, aradaki farkın ise uygulama sayısı artırılarak bağıl hatanın minimize edildiği görülmüştür.

Bölgeler arasında ortalama kesinti sıklığı indisi (SAIFI) bakımından güvenilirliği en düşük bölge Beyağıl bölgesi, ortalama kesinti süresi indisi (SAIDI) bakımından güvenilirliği en düşük bölge yine Beyağıl bölgesi, müşteri ortalama kesinti süresi indisi (CAIDI) bakımından güvenilirliği en düşük bölge Çiftehan bölgesi olduğu görülmektedir. Fiderleri kendi aralarında değerlendirecek olursak, güvenilirliği en düşük fiderin Ulukışla fideri olduğu görülmektedir. Sonuç olarak bir fiderden enerji alan bölgelerin güvenilirliği aynı zamanda fiderin güvenilirliğidir. Sistemin güvenilirliğini yükseltmek için gerekli bakımların düzenli yapılması, kaliteli malzeme kullanılması, deneyimli ve koordineli çalışabilecek ekiplerin oluşturulması ve Scada sisteminin uygulanması gerektiği sonucuna varılmıştır.

BÖLÜM VII

SONUÇ

Elektrik dağıtım sistemlerinin güvenilirliği bir çok faktöre bağlı kalmaktadır. Dağıtım sistemlerindeki gerilim seviyeleri, sistemin tasarımı, otomasyon, hattın çeşidi (hava hattı, kablo hattı) sistemdeki değişiklikler, çevre koşulları, personel nitelikleri ve sistemde kullanılan elemanların hepsi bir bütün olarak sistemin güvenilirliğini etkilediği görülmüştür. Bu çalışmada Niğde bölgesinin kurulu gücünün büyük bir kısmını oluşturan üç bölgenin (fiderin) güvenilirlik analizi yapılmıştır. Bu bölgeler (fiderler) Ulukışla, Çamardı ve Altunhisar bölgeleridir. Bölgelerin güvenilirlik indislerinin hesaplanmasında kullanılan arıza sayısı, arıza süresi, abone sayısı, trafo güçleri vb. bilgiler 2009 yılı için Niğde MEDAŞ İşletme Müdürlüğünden alınmıştır.

Bölgelerin güvenilirliğinin değerlendirilmesinde üç temel indis kullanılmıştır. Bu indisler, SAIFI; müşteri başına düşen ortalama kesintiyi, SAIDI; müşteri başına düşen kesinti saatini, CAIDI ise bir arızanın ortalama tamir süresi hakkında bilgi vermektedir. Bölgelerin güvenilirliğinin değerlendirilmesinde orta ve alçak gerilim seviyelerinde üç bölge kendi aralarında değerlendirilmiştir. Bölgeler arasında SAIFI indisi bakımından güvenilirliği en düşük bölge Beyağıl bölgesi, SAIDI indisi bakımından güvenilirliği en düşük bölge yine Beyağıl bölgesi, CAIDI indisi bakımından güvenilirliği en düşük bölge ise Çiftahan bölgesi olduğu görülmektedir. Sistemin güvenilirliğini yükseltmek için gerekli bakımların düzenli yapılması, kaliteli malzeme kullanılması, deneyimli ve koordineli çalışabilecek ekiplerin oluşturulması ve Scada sisteminin uygulanması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Bölgelerin (fiderlerin) güvenilirlik indislerinin hesaplanmasında analitik yöntem ve geliştirilen yeni bir algoritmayla Monte Carlo simülasyonu kullanılmıştır. Her iki yöntemde elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak, Monte Carlo simülasyon sonuçlarının gerçek değerlere yaklaştığı, aradaki farkın ise uygulama sayısı artırılarak hatanın minimize edildiği görülmüştür. Bu durumda bir bölgenin (fiderin) güvenilirlik indislerinin Matlab ortamında simülasyon yapılarak rahatlıkla hesaplanacağı sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] Reliability Evaluation of Engineering System R. Billinton., R.N. Allan, Press, New York & London, 1992
- [2] Tripathy SC, Prasad GD, Malik OP, and Hope GS, Load flow solutions for ill conditioned power systems by a Newton-like method, IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, Vol.PAS-101 (10), pp. 3648-3657, 1982.
- [3] Iwamoto S, Tamura Y, A load flow calculation method for ill-conditioned power systems, IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, Vol.PAS-100(4), pp. 1736-1743, 1981.
- [4] IEEE Guide for Electric Power Distribution Reliability Indices, IEEE Standard 1366, 2003 Edition
- [5] Muhammed V Rumeli, "Elektrik Dağıtım Şebekelerinde Güvenilirlik Analizi", 2004.
- [6] Elektrik Dağıtım Sistemlerinde Güvenilirlik Analizi, Nurşen Dünder, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Ens., 2002
- [7] Sobol Ilya M., A Primer for the Monte Carlo Method, CRC Press, 1994, London
- [8] Özbey Ş., Demir Z., Elektrik İletim ve Dağıtım Sistemlerine Güvenilirlik, Sakarya Üniversitesi Yayınları, 1996, Sakarya
- [9] Yanıkoğlu E., Enerji Sistemlerinde Güvenilirlik Analizi Ders notları, 2002, Sakarya
- [10] L. Goel, Monte Carlo simulation-based reliability studies of a distribution test system, Electric Power Systems Research, Vol.54, pp.55–65, 2000.
- [11] G. Yasser, A. M. Hegazy Mostafa, Reliability Indices of Electrical Distributed Generation Systems, Proceedings of the 5th WSEAS Int. Conf. on Power Systems and Electromagnetic Compatibility, pp.436-441, August 23-25, 2005, Greece.
- [12] A. Naess, B.J. Leira, O. Batsevych, System reliability analysis by enhanced Monte Carlo simulation, Structural Safety, Vol. 31, pp.349–355, 2009.

