

Dağıtım Sistemlerinde Enerji Restorasyonu : Kocaeli İlinde Bir Durum Çalışması

Ayşeğül Kurtulan, Uğur Hasırcı, Abdulkadir Balıkçı

Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Elektronik Mühendisliği Bölümü, 41400, Gebze, KOCAELİ.
{ akurtulan,uhasirci,a.balikci }@gyte.edu.tr

ÖZET

Elektrik kesintilerinin çoğu dağıtım sistemlerinde oluşan problemler nedeniyle ortaya çıkmaktadır. Uzun süreli kesintilerden sonra dağıtım sisteminin tekrar enerjilendirilmesi şebeke için önemli bir problemdir. Müşterilerin kullandığı cihazları kontrol etmek mümkün olmadığından şebeke en kötü kalkış şartlarına hazır olarak kurulmalıdır. Tekrar enerjilendirme, normal güç gereksiniminin 2-5 kat daha fazlasına ihtiyaç duyar. Kalkış anında yüksek kalkınma akımları cihaz gerilimini, minimum başlangıç geriliminin altında bir değere indirir. Bu şartlar altında yük, gerilimi düşük tutan yüksek kalkınma akımını çekmeye devam edecektir. Bu çalışmada, kalkış anında başarılı bir restorasyon için kalkınma akımının büyüklüğünü ve kalkış yükünün güvenli boşluğunu tahmin etmek için gereken detaylar incelenmiştir. Bunun yanı sıra Kocaeli İli'ne ait bir bölgenin yük araştırması yapılmış, yük araştırmasında bulunan sonuçlara göre simülasyonlar yapılarak yük karakteristik grafikleri sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler : Enerji Restorasyonu, Güç Sistemleri.

1. GİRİŞ

Enerji restorasyonu, uzun kesintilerden sonra şebeke tekrar enerjilendirilirken karşılaşılan yüksek akım sorunlarını ifade etmektedir. Elektrik kesintilerinden sonra şebekeye tekrar enerji verilmesi sırasında sistem normal gereksiniminden 2-5 kat daha fazla akım çekecek ve indirici merkezlerde yeterli transformatör kapasitesinin bulunmaması halinde restorasyon sorunu oluşacaktır. Bu yüksek kalkınma akımı cihazların çalışmasını engelleyecek bir seviyeye kadar gerilimi düşürebilmekte ve tekrar enerjilendirme boyunca sürmektedir. Müşterilerin cihazlarını ve şebeke ekipmanlarını korumak için tekrar enerjilendirme süresince şebekenin vereceği karşılığı bilmek gerekmektedir. Bu çalışmanın amacı, güvenli bir kalkış için başlangıç periyoduna dayanacak şebeke fiderlerinin seçiminde kalkınma akımının genlik ve süresini bulmaktır. Aynı zamanda transformatör merkezlerindeki yük kademe değiştiricileri başlangıç ve çalışma gerilimlerinde güvenli boşluk oluşturmak için tekrar enerjilendirmeden önce kurulur. Kalkınma akımları yüksekken transformatör kademe

değiştiricileri yüksek kurulmalıdır ve sonra akım normal çalışma değerine düşerken azaltılmalıdır [1-3].

Dağıtım sistemini normal çalışmaya mümkün olduğunca hızlı dönüştürecek prosedürler, sistemin restorasyon kapasitesi ve dağıtım sistemi deneyleri enerji restorasyonunun hatasız olmasını sağlayacak durumlardır. Enerji restorasyonunun hatasız olması sistem güvenilirliğinin artmasının yanı sıra müşterilere elektrik enerjisinin hızlı restorasyonunu ve müşteri kesinti sürelerindeki azalmaları sağlar. Bu nedenle enerji restorasyonu süresince yük davranışlarının iyi modellenmesi önemlidir [4]. Enerji restorasyonunun tekrar enerjilendirme çalışmasında şebekenin başlangıcını simüle etmek için 3 temel adım kullanılır [1]. Birinci adım, "Yük Araştırması" olarak adlandırılabilir ve bu aşama tekrar enerjilendirme olduğunda yükün tipini belirleyecek verilerin toplandığı aşamadır. İlk olarak şebekedeki elektrikli cihazların tanımlanması gereklidir. İkinci adımda, tekrar enerjilendirmedeki cihazların tanımlanmasından sonra laboratuardaki her bir tipik yük örneğini test etmek veya bölgedeki yüklerin kalkıştaki dinamik davranışlarını bulmak gereklidir. Bu nedenle 2.adım "Test Fazı" olarak adlandırılabilir. Bu adımda cihazlar test edilecek ve kalkınma akımı boyunca karakteristiklerini simüle etmek için dinamik empedans eğrileri çizilecektir. Dinamik empedans eğrileri her cihazın başlangıç karakteristiğini tanımlamakta temel noktadır. Üçüncü adım "Bilgisayar Simülasyonu" olarak adlandırılabilir. Kalkış yükünün şeklini belirleyen birinci adımdaki veriler ve kalkış boyunca yük birimlerinin her bir tipinin dinamik davranışını belirleyen ikinci adımdaki veriler sistem tek hat eşdeğeriyle birleştirilir.

Konuyla ilgili literatürdeki mevcut çalışmalar incelendiğinde, General Elektrik firmasının 1979'da Amerikan Enerji Departmanının anlaşması altında yük modelleme metodolojileri üzerine çalışmalar yaptığı görülmektedir [5]. Güç sistemi muhtemel yük modeli, bu çalışmalar altında geliştirilmiştir. Bu çalışmada pratik yük modellemenin iki anahtar gerekliliği, yük model deneylerini ve veri miktarını en aza indirmektir. Enerji restorasyon simülasyonunun genel metodları test edilmiştir. Ana fikir, ev içindeki detaylar olmaksızın termostatlı bir evin termal karakteristiklerini bulmaktır. Bazı çeşitlendirilmiş ihtiyaç verilerinin ek bilgi olarak kullanılmasıyla, evsel yük dinamiklerini tek bir parametre ile göstermede ve alan ısıtma yük modellemesini yapmada başarılı olmuşlardır. Los Angeles Su ve Güç Departmanı, tekrar enerjilendirilme zamanını

minimize etmek için düşük gerilim kullanarak güç sistemlerinin restorasyon problemlerini incelemişlerdir [6]. Bu çalışmada, amaca ulaşmak için anahtarlama operasyonlarının sayısı minimize edilmeye çalışılmıştır. Asıl mesele, uzun kesintilerden sonra güç iletim sistemlerinin tekrar enerjilendirilmesi anındaki güç akışıdır. Zaman, elektrik güç sistemlerinin restorasyonunda önemli bir etkidir. Simülasyon sisteminin sonuçlarını, güç akış çalışmalarıyla karşılaştırmışlardır. Bu testleri, servis alanı içine yerleştirilmiş güç iletim sistemlerinin mümkün olduğunca geniş kısmının, uzun kesintilerden sonra enerjilendirilmesi ile oluşan düşük gerilimin kullanılmasını durumunu incelemek için yapmışlardır. Akgün, [1]'de elektrik kesintileri sonrasında devrede olan yükleri test ederek bu yükler için dinamik empedans eğrilerinin bir çiftini yani aktif ve reaktif kısımlarını (α_r ve α_x) elde etmiştir. Bu eğriler, yük empedanslarının zaman ve gerilimle nasıl değiştiğini gösterir. Tüm cihazlar için α eğri verilerinin kalkınma akımı süresince her bir zaman artışında yük blok empedanslarının hesaplanmasını sağlayan kaydırma programına girilmesiyle her cihaz için α eğri setlerinin aynı kırılma noktasına sahip olup olmadığı incelenmiştir. Gerilim seviyesi düşerken α eğrisinin bölümlerine karşılık gelen eğimler küçülür. Eğer cihazın herhangi bir tipi için α eğrisinin seti bu şartları sağlamazsa bir problem söz konusudur.

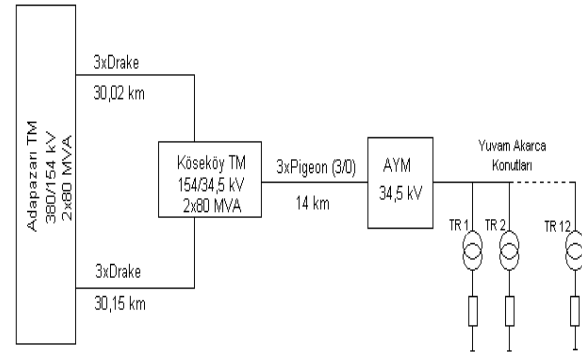
Çalışmanın geri kalanı şu şekilde düzenlenmiştir : İkinci bölümde, kısaca simülasyon algoritmasından bahsedildikten sonra ekte yük özellikleri verilen İzmit Yuvam-Akarca konutlarına ilişkin simülasyon çalışmaları ve elde edilen grafikler sunulmuş, son bölümde ise sonuçlar tartışılmıştır.

2. SİMÜLASYON ÇALIŞMALARI

Bu çalışmanın ekinde, şebekedeki yük tipleri ve bu tiplere ait cihazlar sınıflandırılarak incelendiğimiz bölgelere ilişkin cihazların yüzdeleri oranları ve simülasyona ilişkin veriler sunulmuştur. Çalışmanın bu aşamasında ise, [1]'de sunulan algoritmanın bu çalışma için seçilen örnek bölgeye uygulanması gösterilmiş, dinamik empedans modeli ve kaydırma işleminin grafiksel metodu açıklanmaya çalışılmıştır. Seçilen bölge (Yuvam-Akarca konutları) evsel yerleşimin olduğu ve gelişmeye açık bir bölgedir. Bu bölgeye ait enerji akış diyagramları hazırlanmış, bölgede kullanılan yük tipleri ve miktarları için araştırmalar yapılmıştır. Ayrıca bu bölgelerdeki trafo ve hat karakteristikleri belirlenerek kullanılacak olan bilgisayar programı için gerekli veriler tamamlanmıştır. Yük tip testleri daha önceki çalışmalardan alınmış ve ülkemizde kullanılan gerilim seviyesine (0,4/0,23 kV) göre uyarlanmıştır. Bu bilgiler doğrultusunda mevcut durumlar için simülasyon sonuçları elde edilmiş, ayrıca olması muhtemel yük tip ve kapasite durumlarına göre tasarlanan modeller için bilgisayar programı uygulanarak elde edilen simülasyon sonuçları mevcut

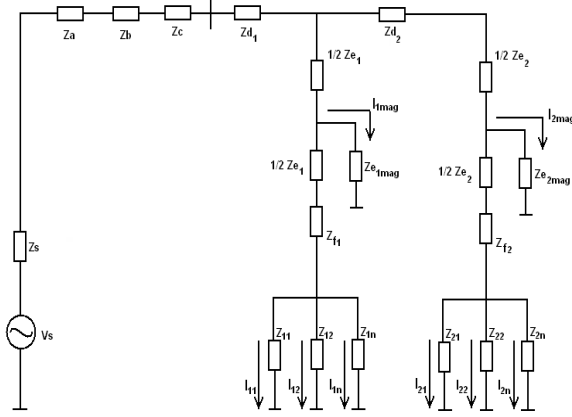
durum sonuçları ile karşılaştırılarak yük tip ve kapasitelerin şebekeye olan etkileri incelenmiştir.

Şebeke modellemesinin sağlanabilmesi için şebekenin tek hat eşdeğeri ile gösterilmesine gerek duyulur. Ayrıca müşterilere ait cihazların bilinmesine ihtiyaç vardır. Modelleme için, kalkınma akımı süresince şebekenin dinamik davranışı cihazların bir empedans olarak gösterilmesiyle simüle edilebilir. Bu yolla, eşdeğer fider boyunca gerilim ve akım profili belirlenebilir. Pilot bölge olarak seçilen İzmit Yuvam Akarca Konutları bölgesinde 12 adet 1000 kVA gücünde trafo mevcuttur, trafolar arası bağlantılar 3(1x95/16) mm² XLPE kablo ile yapılmıştır. Bu bölgeye enerji akışı Adapazarı'nda bulunan 380/154 kV ana indirici merkezden başlamaktadır. Enerji buradan çift devre Drake iletenli hatla Kocaeli Köseköy bölgesinde bulunan 154/34,5 kV'lık indirici merkeze iletilmektedir. 34,5 kV gerilim ile Yuvam Akarca Konutları girişinde yer alan beton köşke gelmektedir. Buradan da Yuvam Akarca Konutları içindeki trafo binalarına dağıtılmaktadır. Bu iletim ve dağıtımına ilişkin tek hat şeması Şekil 2.1'de görülmektedir. Ayrıca simülasyon için gerekli hat empedans hesapları yapılmıştır. Bölgede yapılan küçük bir anket ile evlerde kullanılan elektrikli aletlerin neler olduğu tespit edilmiştir. Kesinti sonrası otomatik olarak devreye giren bu cihazların toplam yüke oranları; %18,5 flüoresan lamba, %1,2 bilgisayar ve ekipmanları, %51 klima vb. motorlar, %29,3 ise diğer elektrikli ev aletleridir. Elde edilen bu değerler ekte sunulan Tablo 1'de verilen değerlerle örtüşmekte olduğundan simülasyonlar yapılırken Tablo 1 göz önüne alınmıştır. Sistemin tek hat şeması Şekil 2.1'de sunulmuştur.



Şekil 2.1. Sistemin tek hat şeması.

Çalışmanın bu aşamasında kısaca, yukarıda açıklanan pilot bölge için yapılan simülasyon algoritmasından bahsedilmiştir. Şekil 2.2, simülasyon için kullanılan radyal hat dağıtım şebekesinin tek hat eşdeğerini göstermektedir. Burada V_s ve Z_s sırasıyla sistemin eşdeğer kaynak gerilimini ve empedansını, Z_a , Z_c ve Z_e sırasıyla otomatik, yüzey ve hat transformatör empedanslarını, Z_{mag} hat transformatör dinamik empedansını, Z_f , Z_d ve Z_b radyal hat ve şebeke fideri empedanslarını, Z_1, Z_2, \dots, Z_n ise bloklardaki cihaz ve ekipmanların empedansını göstermektedir.



Şekil 2.2. Simülasyon için Radyal Hat Dağıtım Sisteminde Kullanılan Tek Hat Eşdeğeri[1].

Şekil 2.2'den görüleceği üzere, terminal gerilimi yük bloklarındaki her cihaz için aynıdır. Fakat fider empedansları dolayısıyla bir bloktan diğerine fark eder. Tekrar enerji verme problemini çözmek için aşağıdaki 3 adım göz önünde bulundurulmalıdır :

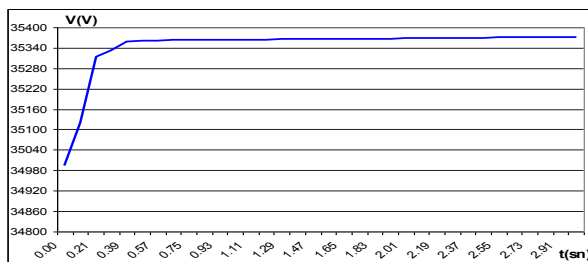
Adım 1 : Tekrar enerjilendirilecek şebeke, tek hat eşdeğeri ile gösterilmelidir.

Adım 2 : Eşitlikler, Kirşof Gerilim Kanunları kullanılarak yazılmalıdır. Her eşitlik, Şekil 2.2'deki devrede tek çevreyi göstermelidir. Elde edilen lineer eş-zamanlı denklemler, bir bilgisayar programı yardımıyla çözümler.

Adım 3: Bu aşamada tekrar enerjilendirme simülasyonunu tamamlamak için kaydırma işlemi olarak adlandırılan bu son adım zamanla dinamik empedansların değişimini simüle eder. Mekanik zaman sabitleri elektrik zaman sabitlerinden daha büyüktür. Bu duruma göre cihaz ve ekipmanların empedansı her küçük zaman artışının (yaklaşık 30 ms.) sonunda değişir ~~fakat bunu sabit olarak kabul edebiliriz~~. Dinamik empedans modeli ile simülasyonun her bir zaman aralığında direnç (R) ve endüktans (X) parametrelerinin karşılıklı değişimini ifade eden α_r ve α_x parametrelerinin hesaplanmasına ilişkin detaylı bir analiz [7]'de sunulmuştur.

2.1. Zaman ve Diğer Değişkenlere Göre Mevcut Sistem Simülasyon Sonuçları :

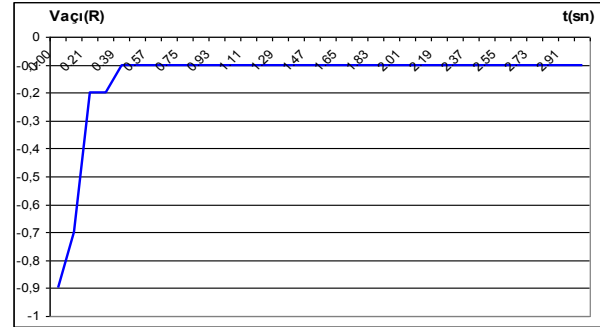
Yuvam Akarca Konutları mevcut sistemi evsel yüküdür. Bu şebekenin toplam gücü 1,02 MVA olup 12 MVA'lık trafo kapasitesine sahiptir. Burada mevcut sistemin gerilim, akım, güç ve diğer değişkenlerinin zamana bağlı grafikleri çizdirilmiştir.



Şekil 2.3. Trafo Merkezi Gerilimi – Zaman Grafiği

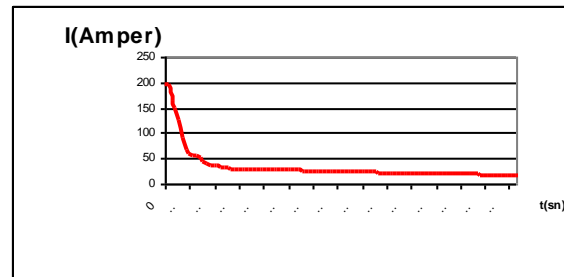
Şekil 2.3'deki trafo merkez gerilimi 0,21. sn'ye kadar hızlı bir şekilde yükselmiş bu süreden sonra 0,39. sn'ye kadar daha yavaş yükselip kararlı hale geçmeye başlamıştır. Trafo merkezi gerilimi ile şebeke gerilimi aynı noktalara kadar hızlı artış göstermekte ve 2,82. sn'de kararlı hale geçmektedir.

Şekil 2.4'de trafo merkezine ait gerilim açısı görülmektedir. Gerilim açısı $-0,2 R$ 'a kadar hızlı bir yükseliş göstermekte $-0,2 R$ 'da 0,21. sn'den 0,3. sn'ye kadar aynı derecede kalmıştır. Yükselme 0,39. sn'de kararlı hale geçmeye başladığı anda $-0,1 R$ 'da sabitlenmiştir.



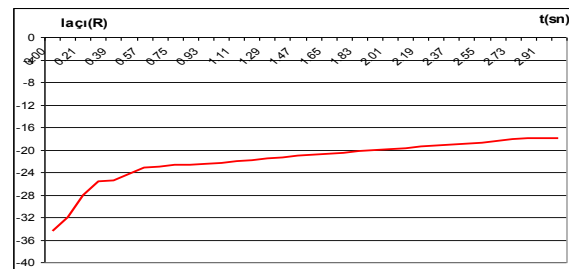
Şekil 2.4. Trafo Merkezi Gerilim Açısı–Zaman Grafiği

Şekil 2.5'de şebekenin akım zaman grafiği görülmektedir. Akım grafiği, gerilimin tam tersine 0,21. sn'ye kadar hızlı bir şekilde düşüş göstermekte bu süreden sonra 0,39. sn'ye kadar daha yavaş bir düşüşle kararlı hale geçmeye başlamaktadır. Akım değeri de 2,82. sn.de kararlı hale geçmektedir. Bu grafikten şebekenin kalkınma akımının 196,2 A olduğu görülmektedir.

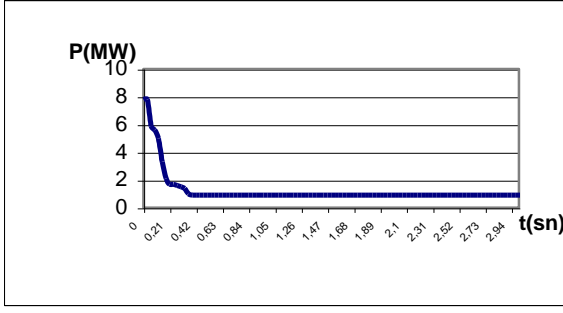


Şekil 2.5. Akım-Zaman Grafiği

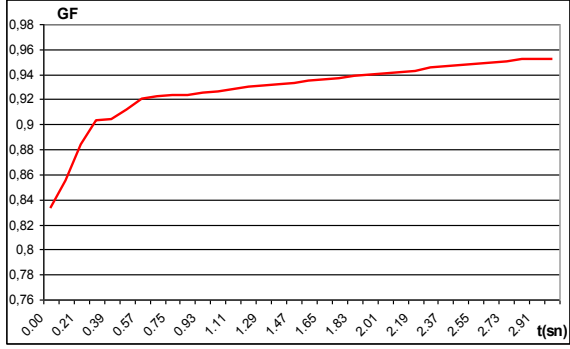
Şekil 2.6'da akım açısı zaman grafiği, 2,7'de güç zaman grafiği ve 2,8'de güç faktörü zaman grafiği görülmektedir.



Şekil 2.6. Akım açısı-Zaman Grafiği



Şekil 2.7. Güç-Zaman Grafiği

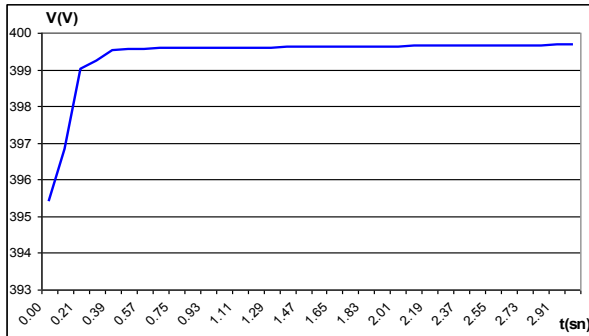


Şekil 2.8. Güç Faktörü-Zaman Grafiği

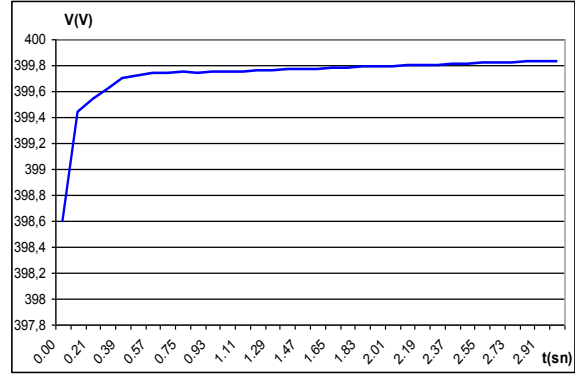
Yukarıdaki grafikler bize restorasyon sırasında milisaniyeler süresince de olsa şebekenin ne kadar zorlandığını göstermektedir. Şebeke akımının kararlı hal süresindeki değeri 180 A olmasına karşılık, kalkış anında 1428 A çekmektedir. Akım artışı nedeniyle devrenin açmaması için röle ayarları tahmin edilen bu değerlere göre yapılmalıdır. Akımın bu denli artması gerilim düşümüne ve şebekeye bağlı cihazların hasara uğramasına sebep olacaktır. Bu nedenle trafolarla gerilim kademe ayarları yapılırken görülebilecek olan en düşük gerilimler göz önüne alınmalıdır.

2.2. Çeşitli Yük Karakteristiklerine Göre Simülasyon Sonuçları

Yuvam Akarca Konutları mevcut sistemi evsel yüküdür. Burada mevcut yükün evsel, ticari, endüstriyel olduğu varsayılan yük karakteristiklerine sahip olduğu farz edilerek simülasyonlar yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Şekil 2.9'da evsel yük için, 2.10'da ise ticari yük için gerilim-zaman grafikleri görülmektedir.

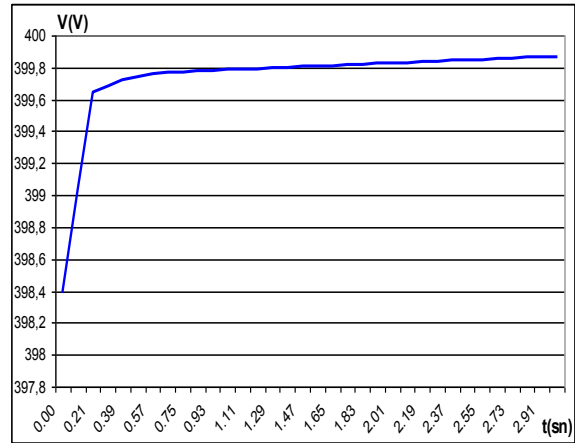


Şekil 2.9. Evsel Yük Gerilim-Zaman Grafiği



Şekil 2.10. Ticari Yük için Gerilim-Zaman Grafiği.

Şekil 2.9'deki sistemin başlangıç gerilimi 395,4 V'tur. Sistem 0,21. sn.'ye kadar hızlı bir yükseliş göstermekte olup 0,39. sn.'ye kadarda daha yavaş bir eğim sürdürerek kararlı hale geçmeye başlamakta ve 2,82. sn.'de 399,6 V gerilimde tam olarak kararlı hale geçmektedir. Şebekenin kalkınma akımı 1428 A olarak hesaplanmıştır. Şekil 2.10'da evsel yükün, ticari yük olduğu varsayılarak incelendiğinde başlangıç geriliminin 398,6 V olduğu görülmektedir. Bu sistemde de 0,39. sn.'de geçici durum sonlanmaya başlamış 2,91. sn.'de 399,8 V gerilimde tam olarak kararlı hale geçmiştir. Şebekenin kalkınma akımı 475,4 A olarak hesaplanmıştır. Şekil 2.11'da ise aynı sistemin endüstriyel yüklü olduğu varsayılarak inceleme yapılmış, başlangıç geriliminin 398,4 V olduğu görülmüştür. Bu sistemde 0,21. sn.'de kararlı hale geçmeye başlamakta ve 2,91. sn.'de 399,8 V gerilimde tam olarak kararlı hale geçmektedir. Şebekenin kalkınma akımı 460,1 A olarak hesaplanmıştır.



Şekil 2.11. Endüstriyel Yük için Gerilim-Zaman Grafiği.

3. SONUÇLAR

Simülasyon yoluyla elde edilen sonuçlara göre, evsel yüklerin ilk kalkışta ticari ve endüstriyel yüklere göre daha çok akım çekerek daha çok gerilim düşümüne sebep olduğu gözlenmektedir. Bunun dışında kararlı hale geçme süreleri eşit olmasına rağmen, evsel yükler daha az gerilim dalgalanmaları göstermekte, ticari ve endüstriyel yükler ise uzun süre dikkat çekici gerilim dalgalanmalarına sebep olmaktadır. Akım ve gerilim grafikleri birbirinin zıttı yönde aynı noktalarda kırılmalar göstermektedir.

Evsel yükler ticari ve endüstriyel yüklere oranla daha fazla klima ve buzdolabı yüküne sahiptir. Aynı zamanda endüstriyel yüklerde de ticari yüklere oranla daha fazla aydınlatma ve klima yükü vardır. Ticari yükler ise aydınlatma ve rezistif yük oranlarıyla dikkat çekmektedir. Bunların yanı sıra kompresörlerde ticari yükler içinde yer almaktadır. Endüstriyel ve ticari yükleri kıyasladığımızda aydınlatma oranının endüstriyel yüklerde daha fazla olduğunu görmekteyiz. Ayrıca endüstriyel yükler arasında yer alan klima oranı da oldukça önemli bir seviyededir. Fakat ticari yükler, endüstriyel yüklerden daha fazla akım çekmektedirler. Buna göre, ticari yükler arasında yer alan rezistif yükün, kalkınma akımına etkisinin diğer sayılan yüklerden daha fazla olduğu söylenebilir.

Kaynaklar

- [1] Akgün, C.; “Cold Load Pickup of Large Secondary Network Distribution Systems”, (Doktora Tezi), Polytechnic Institute of Technology, New York, 1983.
- [2] Balıkcı, A., Wang, D., Huang, H., Zabar, Z., Czarkowski, D.; “Restoration of Power to Large Secondary Network Distribution Systems After a Blackout”, pp.153-157, December 10-12, 2003.
- [3] Uçak, C.; “Distribution System Restoration After Prolonged Outages”, Journal of Engineering and Natural Sciences Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, Haziran 14, 2005.
- [4] Lawhead, L. and Horak, J. Basler Electric, Madani, V. and Vaziri, M. Pasific Gas and Electric; “Cold Load Pick-Up – Theory and Industry Practices”, 60th Annual Georgia Tech Protective Relay Conference, Atlanta GA, May 3-5, 2006.
- [5] Ihara, S. and Schweppe, F.C.; “Physically Based Modelling of Cold Load Pick-Up”, IEEE Power Engineering Society, Winter Meeting, February 1-6, 1981.
- [6] Simburger, E.J. and Hubert, F.J.; “Low Voltage Bulk Power System Restoration Simulation”, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-100, No:11, pp.4479-84, November, 1981.
- [7] Simburger, E.J. and Hubert, F.J.; “Low Voltage Bulk Power System Restoration Simulation”, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-100, No:11, pp.4479-84, November, 1981.

EK

Tablo 1. Simülasyonda Kullanılan Yük Bloklarına ait Cihazların Yüzelik Oranları [1].

	Evsel Yük	Ticari Yük	Endüstriyel Yük
Flüoresan Ayd.	2,8	46,2	61,4
Enkandesan Ayd.	15,7	12	-
Bilgisayar / Monitör	1	5,7	-
Dizüstü Bilgisayar	0,1	1	-
Yazıcı/ Fax	0,1	0,5	-
Televizyon	1,2	1,3	-
Buzdolabı/ Dondurucu	18,9	6,1	1,5
Klima	32	-	30,7
Fan	6,9	2,5	2
Rezistif Yük	3,2	21,5	-
Kompresör/ Pompa	-	3,2	-
Küçük AC Motor	18,1	-	4,4