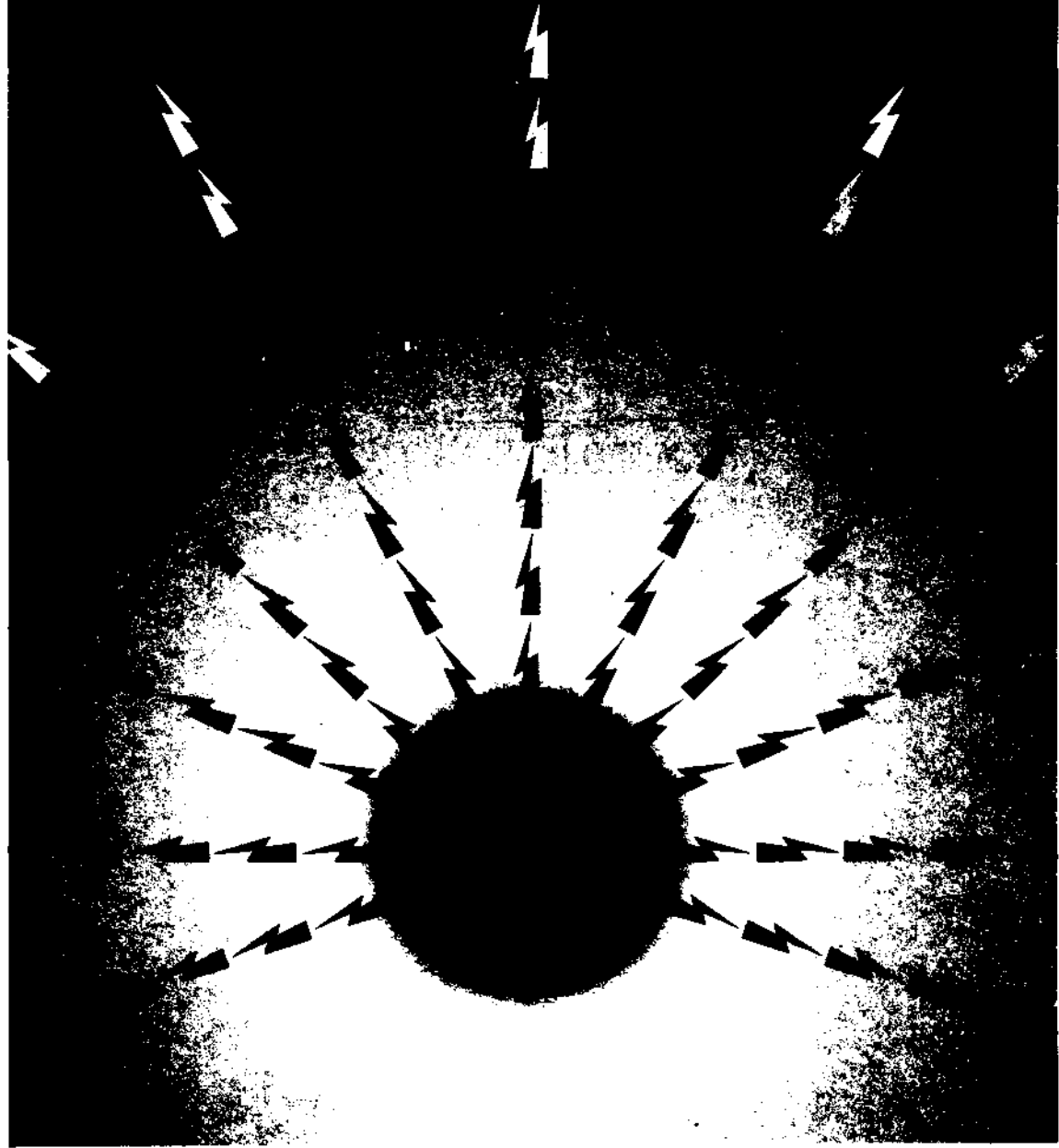


TMMOB ELEKTRİK MÜHENDİSLERİ ODASI

ELEKTRİK - ELEKTRONİK BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ 7. ULUSAL KONGRESİ



TMMOB
ELEKTRİK MÜHENDİSLERİ ODASI
ANKARA ŞUBESİ



ODTÜ
ELEKTRİK -ELEKTRONİK
MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ



TÜBİTAK

ÖNSÖZ

TBMMO Elektrik Mühendisleri Odası Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği 7. Ulusal Kongresini ve Sergisini Orta Doğu Teknik Üniversitesi'nde gerçekleştirmiş olmaktan onur ve sevinç duymaktayız. Üniversite olarak kongreye ikinci kez evsahipliği yapmamız bizi fazlasıyla mutlu etmiştir, ama mutluluğumuz asıl geçen süre içinde Odamızın, meslek yaşamımızın ve Üniversitemizin ne kadar gelişmiş olduğunu gözlemekten kaynaklanmaktadır.

Gerçekten de ilgi alanlarımızın çeşitlenmesi, bu alanlarda belli bir beceriye ulaşılmış olması, eskiden güçlü olduğumuz dallarda da gücümüzün sürmesi Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Mühendislerimizin ülke genelinde giderek daha fazla söz sahibi olmaları olgusunu yaratmaktadır. Bireysel başarılarımızın kurumlarımızı da ülke ekonomisi ve gelişmesi bakımından güçlendirmekte olduğu açıktır. Nitekim bu sektörlerde faaliyet gösteren kuruluş sayısı hızla artmaktadır. Bu sayısal gelişmenin nitelik bakımından da aynı hızla sürdüğünü görmek sevindiricidir. Kongremiz ve sergimiz bunun en somut kanıtını oluşturmaktadır.

2000'li yılların Türkiye'sinin ihtiyaçlarını yakalayabilmek için daha çok şeyler yapılması gerekmektedir. Endüstri-Eğitim Kurumları ve Meslek Odaları arasındaki iletişim ve karşılıklı etkileşimi güçlendirmek gerekmektedir. Bu geçmişe oranla daha sevindirici bir düzeyde sürüyor da olsa henüz gelişmiş ülkelerdeki başarı örneklerinin uzağındadır. Önümüzdeki yıllarda bu konuda daha fazla çabaya ihtiyaç vardır.

Tüm katılımcılara Kongre ve Sergimize vermiş oldukları güç için teşekkür ediyorum. Sizleri Üniversitemizde görmenin kıvançıyla selamlıyor saygılarımı sunuyorum.

Prof. Dr. Fatik Canatan
Yürütme Kurulu Başkanı

ELEKTRİK-ELEKTRONİK-BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ
7. ULUSAL KONGRESİ

YÜRÜTME KURULU

Fatih CANATAN (Başkan, ODTÜ)

M. Mete BULUT (ODTÜ)
Cengiz BEŞİKÇİ (ODTÜ)
Gönül SAYAN (ODTÜ)
Cemil ARIKAN (TÜBİTAK)
M. Hacim KAMOY (ASELSAN)
Hüseyin ARABUL (BARMEK)
Aydın GÜRPINAR (ENERSİS)

M. Asım RASAN (EMO)
Cengiz GÖLTAŞ (EMO)
H. Ali YİĞİT (EMO)
Kubilay ÖZBEK (EMO)
M. Sıtkı Çiğdem (EMO)
Funda BAŞARAN (EMO)
Mustafa ÖZTÜRK (EMO)

EDİTÖRLER

Fatih CANATAN

Mehmet Mete BULUT

ELEKTRİK SEKTÖRÜNDE YATIRIM VE FİNANSMAN SORUNLARI

Na'if Hülâgü SOHTAOĞLU

İstanbul Elektrik-Elektronik Fakültesi
Elektrik Mühendisliği Bölümü
80626 Maslak - İSTANBUL

ABSTRACT: *In this study, the problems arising in the investing and the financing of electric power sector are presented. One of the main problems in both public sector and private sector utilities in this sector is that the investment programs necessitate the external sources. The shares of external sources. in other words, debts in asset financing and the short-term and long-term debt structures of the public and the private utilities in Turkish power sector are analyzed, in order to illustrate the structural problems.*

1. GİRİŞ

Elektrik enerji sistemlerinde bulunan çeşitli niteliklerdeki tüketicilerin gereksinim duyacakları elektrik enerjisinin kaliteli, yeterli, sürekli ve güvenilir olarak sağlanmasının ekonomik ve sosyal yaşam üzerindeki büyük etkileri, tüm ülkelerde ulusal yatırımların önemli bir bölümünün elektrik enerjisi sektörüne ayrılmasını gerektirmektedir. Buna karşın elektrik sektörünün temel sorunlarının başında, sektörün kendi öz kaynakları ile finanse edilmesi mümkün olmayan, büyük boyutlardaki yatırım programlarının iç ve dış borçlanma yoluyla karşılanması ve sürdürülmesi zorunluluğu gelmektedir.

Elektrik enerjisi diğer sanayi ürünlerinden farklı olarak gereksinim duyulduğu yerde ve anda, gerekli miktarlarda üretilmek ve tüketilmek zorundadır. Elektrik enerjisi sunumunun sürekliliğini sağlamak için yatırım, üretim, iletim, dağıtım ve hizmet olarak sıralanabilecek unsurların birbirleri ile farklı düzeylerdeki ilişkileri, planlama, organizasyon, koordinasyon ve denetimi, diğer sektörler gibi çok daha önemli kılmaktadır. Elektrik sistemlerine ilişkin planlama ve yatırım kararlarını kuşatan belirsizlik ve risklerin düzeyleri oldukça yüksektir. Belirsizlik ve risk ile planlama ve yatırım süreçlerinin değişik evrelerinde, farklı düzeylerde karşılaşılabilmektedir. Belirsizliğin tam olarak ortadan kaldırılamamasına karşın, risk yönetilebilmektedir [1,2,3]. Özellikle gelişmekte olan ülkelerde, her ülkenin kendine özgü koşulları, sosyal, siyasal, ekonomik ve toplumsal yapıları, planlama ve yatırım kararları üzerinde etkili ve belirleyici olabilmektedir. Elektrik sektörünün gerektirdiği yatırımlar toplam «yatırımlar içinde önemli büyüklüklere ulaştığından, makro düzeydeki politikadaki istikrarsızlıkların, yapısal sorunlar çözülmeden girilen ve sürdürülen, zamansız, doğruluğu tartışmalı yatırımların faturaları büyük olmakta, ekonominin bütünü üzerinde etkileri uzun yıllar sürecek, olumsuz sonuçlar yaratabilmektedir.

2. YATIRIMLAR VE FİNANSMAN GEREKSİNİMİ

Dünya Enerji Konseyi'nin araştırmalarına göre; bir ülkenin enerji yatırımlarının, toplam yatırımlarının yüzde 15-20'si veya GSMH'nin yüzde 3-4'ü düzeyinde olduğu belirlenmiştir. Gelişmiş ülkelerde elektrik sektörüne yönelik yatırımlar, toplam enerji yatırımlarının yaklaşık üçte ikisi düzeyinde bulunmaktadır [4]. Dünyanın büyük bir bölümünde olduğu gibi ülkemizde de elektrik enerjisi talebi, genel enerji talebinden daha hızlı artmaktadır [5].

Türkiye, 1970'li yılları elektrik kısıntı ve kesintileri ile geçirmiş, 1980'li yıllara gelindiğinde dış finansman sorununun hafiflemesi sonucu, 1970'li yıllardan kalan tüm üretim yatırımları tamamlanmış ve yeni yatırımlara girilmiştir. Böylece sistemin kurulu gücü talebin iki katını bulan değerlere ulaşarak, elektrik ekonomisi ilkelerinin dışına çıkmış, aşırı kapasite yaratılmıştır. 1980'li yılların ikinci yarısında ortaya çıkan bu durum, daha sonra yetkilileri uzun bir süre iyimserliğe yöneltmiştir. Anılan dönemde kamu yatırımları aşağıya çekilmiş, planların, gereksinimin üzerinde oluşmuş yüksek kurulu gücün gölgesinde ve yap-işlet-devret modeli ile özel sektöre çok bel bağlayan bir tutumun ümidi içinde rahat olunmuştur [5]. 1990 yılı sonrasında gerçekleştirilen yatırımlar, gereksinimin artmasına karşın, 1977-1987 döneminde gerçekleştirilen yatırımların yarısı düzeyine inmiştir.

1990-2020 arasındaki otuz yıllık dönemde, dünyadaki elektrik yatırımlarının toplam finansman gereksinimi 8500 milyar dolar olarak hesaplanmakta; ülkelerin bu gereksinimin yüzde seksenini iç finansman olanakları ile karşılayacakları ve kalan yüzde yirmilik kısım için dış finansman çevrelerine başvurmak zorunda kalacakları öngörülmektedir. Bu değerlerden hareket edilerek, Türkiye'nin elektrik üretiminin dünyada üretilen elektriğin yüzde 0.77'si düzeyinde olmasına karşılık, yıllık elektrik yatırımlarının dünyadaki elektrik yatırımlarının yüzde 1.8'ini bulduğu ve her yıl uluslararası finansman çevrelerinden, bütün ülkelerin gereksinimi olan toplam dış finansmanın yüzde 6.7'sini talep edeceği kaydedilmektedir [4]. Elektrik sektörüne ilişkin yatırım programlarının finansman yükünü hafifletmek amacıyla, kamu otoritelerinin özel niteliklerdeki yatırımları harekete geçirmek yönünde çeşitli etkinlikleri söz konusudur. 1996-2010 arasında Türk elektrik sektörünün yatırım gereksiniminin üçte ikisinin kamu kesimince, kalan üçte birlik bölümünün yap-işlet-devret ve/veya yap-işlet finansman modeli ile ve çoğunlukla yabancılardan oluşan özel kuruluşlar tarafından finanse edilmesi hedeflenmektedir.

3. SEKTÖRÜN KAYNAK YAPISI

Bu bölümde, Türk elektrik sektöründe faaliyet gösteren kamu ve özel kesimlerin kaynak yapılarına ilişkin analizlerin sonuçları verilmiştir. Kaynaklar; öz kaynaklar ile yabancı kaynaklardan, yani borçlardan oluşmaktadır. Elektrik sektörünün kamu kesimi ile özel kesiminde kaynak yapılarının analizi amacıyla, tanımları aşağıda verilen yüzde cinsinden oranlar [6,7,8,9] kullanılmıştır.

Yabancı kaynaklar/Toplam kaynaklar oranı, yabancı kaynakların varlık finansmanındaki payını başka bir deyişle, kurumların varlıklarını ne ölçüde işletme dışı kaynaklarla fonladıklarını göstermektedir. Oranın küçülmesi, yabancı kaynak oranının varlık finansmanındaki yerinin azalması anlamına gelmekte ve sektörde faaliyette bulunan kurumların mali yapılarını güçlendirdikleri anlaşılmaktadır. Öz kaynaklar/Toplam kaynaklar oranı, öz kaynakların varlık finansmanındaki payını göstermektedir. Oranın büyümesi, yabancı kaynak oranının varlık finansmanındaki yerinin azalması anlamına gelmekte ve sektörde faaliyet gösteren kurumların mali yapılarını öz kaynaklarını artırarak güçlendirdikleri anlaşılmaktadır. Yabancı kaynaklar/Öz kaynaklar oranının yükselmesi, finans yapısının bozulduğunu, finansmanda öz kaynakların payı azalırken kurum dışı kaynakların, yani borçların payının arttığını ortaya koymaktadır. Oranın küçülmesi ise, kurum dışı kaynaklara yani borçlara yönelmenin azaldığını göstermektedir.

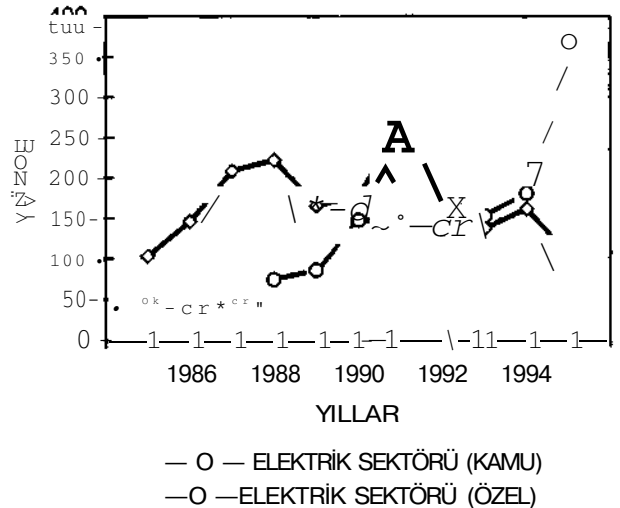
Yabancı kaynaklar/Toplam kaynaklar, Öz kaynaklar/Toplam kaynaklar ve Yabancı kaynaklar/öz kaynaklar oranlarının 1985-1995 dönemindeki değişimleri, elektrik sektörünün kamu ve özel kesimleri için hesaplanmış, sırasıyla Tablo 1 ve Tablo 2'de verilmiştir. 1985-1995 döneminde Yabancı kaynaklar/Toplam kaynaklar, Öz kaynaklar/Toplam kaynaklar ve Yabancı kaynaklar/öz kaynaklar oranları; elektrik sektörü kamu kesiminde ortalama yüzde 61.94, yüzde 38.06 ve yüzde 170.80, elektrik sektörü özel kesiminde ortalama yüzde 51.89, yüzde 48.11 ve yüzde 131.43 olarak gerçekleşmiştir. Yabancı kaynaklar/Toplam kaynaklar oranı en yüksek değerlerine; elektrik sektörü kamu kesiminde yüzde 72.29 ile 1991 yılında ve elektrik sektörü özel kesiminde yüzde 78.64 ile 1995 yılında ulaşmıştır. En düşük değerler ise, elektrik sektörü kamu kesiminde yüzde 50.65 ile 1985 yılında ve elektrik sektörü özel kesiminde yüzde 28.73 ile 1986 yılında gerçekleşmiştir. Yabancı kaynaklar/öz kaynaklar oranı en yüksek değerlerine; elektrik sektörü kamu kesiminde yüzde 260.87 ile 1991 yılında ve elektrik sektörü özel kesiminde yüzde 368.23 ile 1995 yılında ulaşmıştır. En düşük değerler ise, elektrik sektörü kamu kesiminde yüzde 102.62 ile 1985 yılında ve elektrik sektörü özel kesiminde yüzde 40.31 ile 1986 yılında gerçekleşmiştir. 1985-1995 döneminde elektrik sektörünün kamu ve özel kesimlerinde, Yabancı kaynaklar/öz kaynaklar oranının yıllar itibariyle değişimleri, Şekil 1'de gösterilmiştir. Yabancı kaynak kullanımında, özel kesimde belirgin artışlar kaydedilmektedir.

Tablo 1. 1985-1995 döneminde, elektrik sektörü kamu kesiminde kaynak yapısının gelişimi.

Yıllar	Y.K./T.K.	Ö.K./T.K.	Y.K./Ö.K.
1985	50.65	49.35	102.62
1986	59.17	40.83	144.91
1987	67.56	32.44	208.26
1988	68.85	31.15	221.01
1989	62.28	37.72	165.13
1990	63.94	36.06	177.29
1991	72.29	27.71	260.87
1992	66.42	33.58	197.77
1993	57.68	42.32	136.29
1994	61.74	38.26	161.34
1995	50.83	49.17	103.36
Ortalama	61.94	38.06	170.80

Tablo 2. 1985-1995 döneminde, elektrik sektörü özel kesiminde kaynak yapısının gelişimi.

Yıllar	Y.K./T.K.	Ö.K./T.K.	Y.K./Ö.K.
1985	36.51	63.49	57.50
1986	28.73	71.27	40.31
1987	37.34	62.66	59.59
1988	42.34	57.66	73.42
1989	46.12	53.88	85.60
1990	59.45	40.55	146.59
1991	59.34	40.66	145.95
1992	57.68	42.32	136.32
1993	60.31	39.69	151.93
1994	64.32	35.68	180.29
1995	78.64	21.36	368.23
Ortalama	51.89	48.11	131.43



Şekil 1. 1985-1995 döneminde, kamu ve özel kesimin borçlanma oranlarındaki gelişmeler.

4. SEKTÖRÜN YABANCI KAYNAK YAPISI

1985-1995 arasında, sektörün kamu kesiminin borçlanma gereksinimi yıllar itibariyle değişiklikler göstermekle birlikte aynı oranlarda kalmış, buna karşın özel kesimin borçlanma gereksinimi oldukça yüksek oranlarda artış göstermiştir. Bu bölümde, sektörün yabancı kaynak kullanımının gelişimi ve vade yapıları, kamu ve özel kesimler itibariyle irdelenmiştir. Elektrik sektöründe, sektörün kamu ve özel kesimlerinde 1990-1995 dönemindeki yabancı kaynak yapıları [9,10,11,12,13,14] analiz edildiğinde, kısa süreli yabancı kaynakların uzun süreli yabancı kaynaklara oranının ortalaması, sektörde yüzde 56.0, sektörün kamu kesiminde yüzde 56.3 ve sektörün özel kesiminde yüzde 43.5 olarak belirlenmiştir.

Varlık finansmanında kısa süreli yabancı kaynakların payları, elektrik sektörü toplamında ortalama yüzde 21.6, sektörün kamu kesiminde yüzde 21.7 ve özel kesiminde yüzde 18.6 olarak gerçekleşmiştir, özel kesim ortalamasının düşük olmasına karşın, yıllar itibariyle varlık finansmanında kısa süreli yabancı kaynakların payının giderek arttığı belirlenmektedir. Sonuçlar toplu olarak, Tablo 3'de verilmiştir.

Varlık finansmanında uzun süreli yabancı kaynakların payları, elektrik sektörü toplamında ortalama yüzde 40.6, sektörün kamu kesiminde yüzde 40.5 ve özel kesiminde yüzde 44.7 olarak gerçekleşmiştir. Kamu kesimindeki oranların özel kesime oranla daha kararlı geliştiği görülmektedir. Sonuçlar, Tablo 4'de verilmiştir.

1990-1995 döneminde kısa süreli yabancı kaynakların yabancı kaynaklar toplamı içindeki payları, elektrik sektöründe ortalama yüzde 35.1, sektörün kamu ve özel kesimlerinde ise, sırasıyla yüzde 35.2 ve yüzde 28.2 olarak gerçekleşmiştir, özel kesim ortalamasının kamu kesimine oranla daha düşük olmasına karşın, yıllar itibariyle yabancı kaynaklar toplamı içinde kısa süreli yabancı kaynakların payının giderek arttığı belirlenmektedir. Sonuçlar toplu olarak, Tablo 5'de verilmiştir.

1990-1995 döneminde uzun süreli yabancı kaynakların yabancı kaynaklar toplamı içindeki payları, elektrik sektöründe ortalama yüzde 64.9, sektörün kamu ve özel kesimlerinde ise, sırasıyla yüzde 64.8 ve yüzde 71.8 olarak gerçekleşmiştir, özel kesim ortalamasının kamu kesime oranla daha yüksek olmasına karşın, yıllar itibariyle yabancı kaynaklar toplamı içinde uzun süreli yabancı kaynakların payının giderek azaldığı belirlenmektedir. Sonuçlar, Tablo 6'da verilmiştir.

Elektrik sektörünün varlıkları içinde duran varlıklar payının dönen varlıklara oranla daha yüksek olması, yabancı kaynaklar içinde uzun süreli yabana kaynakların payının yüksek olmasını gerektirmektedir. Buna karşın, sektörün her iki kesiminde de yabancı kaynakların vade yapıları büyük oranlı sayılabilecek değişimler göstermiş, kısa süreli yabancı kaynakların payları artmıştır.

Tablo 3. 1990-1995 döneminde kısa süreli yabancı kaynakların toplam kaynaklar içindeki payları.

Yıllar	Kamu	Özel	Toplam
1990	20.6	14.2	20.4
1991	19.6	8.4	19.2
1992	20.4	11.3	20.0
1993	21.0	14.3	20.7
1994	29.9	27.2	29.9
1995	18.5	35.9	19.5
Ortalama	21.7	18.6	21.6

Tablo 4. 1990-1995 döneminde uzun süreli yabancı kaynakların toplam kaynaklar içindeki payları.

Yıllar	Kamu	Özel	Toplam
1990	43.3	45.2	43.4
1991	52.7	50.9	52.6
1992	46.1	46.4	46.1
1993	36.7	46.0	37.1
1994	31.8	37.1	31.8
1995	32.3	42.7	32.8
Ortalama	40.5	44.7	40.6

Tablo 5. 1990-1995 döneminde kısa süreli yabancı kaynakların, yabancı kaynaklar toplamı içindeki payları.

Yıllar	Kamu	Özel	Toplam
1990	32.3	24.0	32.0
1991	27.2	14.2	26.8
1992	30.7	19.6	30.3
1993	36.3	23.7	35.8
1994	48.5	42.3	48.5
1995	36.5	45.7	37.2
Ortalama	35.2	28.2	35.1

Tablo 6. 1990-1995 döneminde uzun süreli yabancı kaynakların, yabancı kaynaklar toplamı içindeki payları.

Yıllar	Kamu	Özel	Toplam
1990	67.7	76.0	68.0
1991	72.8	85.8	73.2
1992	69.3	80.4	69.7
1993	63.7	76.3	64.2
1994	51.5	57.7	51.5
1995	63.5	54.3	62.8
Ortalama	64.8	71.8	64.9

5. SONUÇLAR

Elektrik enerji sektörü ekonomiyi, toplumsal yaşamı, ulusal güvenliği vb. dolaysız ve dolaylı yollardan, çeşitli boyutlarda etkileyen bir sektördür. Buna karşın, Türk elektrik sektöründe veya genel olarak enerji sektöründe, ulusal politikaların varlığından söz etmek güç olduğundan, planlama ve yatırım uygulamalarında çeşitli sorunlarla karşılaşılacaktır. Bu bağlamda, geleneksel enerji hammaddeleri ve teknolojileri yönünden ithal kaynaklara bağımlılığı giderek artan ülkemizde, uzun dönemdeki enerji sunum güvenliğinin sağlanmasına yönelik seçeneklerin oluşturulduğu, uzun dönem perspektifine sahip, tutarlı, dengeli, sektördeki tarafların en geniş tabanlı katılımının sağlandığı, ulusal iradeyi arkasına almış, ulusal ve uluslararası ekonomik, siyasi değişimlerden en az düzeyde etkilenen politik ve stratejilerin geliştirilmesi zorunludur.

Enerji sektöründe yeniden yapılanmanın gerekliliği, diğer alanlarda da olduğu gibi, genel kabul görmekle birlikte sorunun çözümüne yönelik yaklaşımlar büyük ayrıklar gösterebilmektedir. Sektörün yapısal sorunları çözülmeden önce, belli bir kesimi öne çıkaran yaklaşımların yararları tartışmalıdır. Osmanlı döneminde ve Cumhuriyetin ilk yıllarında ulaşım, enerji vb. alanlarda verilen imtiyazlarla, günümüzde önerilen yap-işlet modeli ve benzeri modellerle yatırım sorunlarının çözülemediği görülmektedir. Enerji sorununun çözümü için her ülkede geçerli olabilecek modellerin kurulması, yapı ve uygulamaların üretilebilmesi mümkün değildir, öncelikle sektörün temelindeki yapısal sorunlarının çözülmesi ve gerekli hukuki düzenlemelerin ortaya konulması ile kamu ve özel kesimin bir arada faaliyet gösterebilecekleri bir yapının oluşturulması, kesimler arası ilişkilerin sağlıklı yürütülebilmesine yönelik düzenlemelerin yapılması, gittikçe artan yatırım gereksiniminin karşılanmasında salt kamu veya özel kesimi öne çıkaran yaklaşımların terk edilmesi, özel kesimin de katkısının sağlanacağı politika ve uygulamalara geçilmesi gerekmektedir. Sektörün yapısı gereği karşılaşılan kaynak sorunları, kamu ve özel kesimlerde benzer niteliklerdedir. Son yıllarda yabancı kaynaklar toplamı içinde kısa süreli borçların payları önemli oranlarda artışlar göstermiştir. Bu durum, işletme finansmanı için kısa süreli borçlara başvurulduğunu akla getirmektedir.

1980'lerde neoliberal politikaları benimseyen iktidarların işbaşına gelmesi ile birlikte uluslararası sermayenin önündeki kontroller kaldırılmış, piyasalar serbestleştirilmiş, özelleştirme gündeme getirilerek teşvik ve finanse edilmiştir. Anılan uygulamaların yarattığı ortamda, Dünya Bankası ve Uluslararası Para Fonu ile ilgili kuruluşlarının özellikle dış finansman gereksinimi büyük boyutlara ulaşan az gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelere dayatmalarıyla yaygınlık kazan yapısal uyum programları ile küreselleşme süreci hızlanmış. Anılan dönemde ülkemizdeki yatırımlarda da hızlı artışlar kaydedilmiş fakat, sürekli kılınamamıştır.

Küreselleşme sürecinin öncüsü uluslararası mali sermayenin küresel ekonomide dayattığı kurallar ile ulusal ekonomi çıkarlarının uyumlaştırılmasında çok çeşitli güçlükler söz konusu olabilmektedir. Dünya koşullarının dayattığı küreselleşme sürecini önlemek ya da yok saymak mümkün olmadığından, sektörün gerektirdiği büyük boyutlardaki yatırımların gerçekleştirilmesinde yabancı kaynak katkısının önemi de dikkate alınarak, ulusal koşullarla uyumun sağlanması amaçlanmalıdır. Bu kapsamda hazır reçetelerle çözüme ulaşılmadığı, beklenen katkıların sağlanamadığı ve sağlanamayacağı unutulmamalı, dünyadaki çeşitli yapısal değişim ve dönüşüm politikalarının bilimsel analizleri yapılmalı, ülkemize uygun modeller geliştirilmeli ve uygulanmalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] CROUSILLAT, E.O., DORFNER, P., ALVARADO, P., and MERRILL, H.M., "Conflicting Objectives and Risk in Power System Planning", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 8, No. 3, August 1993, pp. 887-893.
- [2] BHAVARAJU, M.P., HEBSON, J.D., and WOOD, W., "Emerging Issues in Power System Planning", Proceedings of the IEEE, Vol. 77, No. 6, June 1989, pp. 891-898.
- [3] STOLL, H.G., (Edited by), "Least-Cost Electric Utility Planning", John Wiley & Sons, Inc., New York, 1989.
- [4] YÜCEL, B., "Elektrik Sektöründe Yatırımların Finansman İhtiyacının Karşlanması", Kaynak Elektrik, Sayı. 98, s. 49-52, Nisan 1997.
- [5] YÜCEL, B., "Arz Güvenliği Sağlanmaz ise Elektrik Yetersizliği Süreklilik Kazanacak", Kaynak Elektrik, Sayı. 97, s. 39-41, Mart 1997.
- [6] SHARPE, W.F., "Investments", Third Edition, Prentice-Hall, Inc., New Jersey, 1985.
- [7] BLANK, L.T. and TARO.UIN, A.J., "Engineering Economy", Third Edition, McGraw-Hill, Inc., New York, 1989.
- [8] AKGÜÇ, ö., "Finansal Yönetim", 5. Bası, Avcıol Matbaası, İstanbul, 1989.
- [9] İSO, "Türkiye'nin 500 Büyük Sanayi Kuruluşu, Özel Sayı", İstanbul Sanayi Odası Dergisi, Yıl: 26, Sayı: 306, Ağustos 1991.
- [10] İSO, "Türkiye'nin 500 Büyük Sanayi Kuruluşu, özel Sayı", İstanbul Sanayi Odası Dergisi, Yıl: 27, Sayı: 318, Ağustos 1992.
- [11] İSO, "Türkiye'nin 500 Büyük Sanayi Kuruluşu, özel Sayı", İstanbul Sanayi Odası Dergisi, Yıl: 28, Sayı: 330, Eylül 1993.
- [12] İSO, "Türkiye'nin 500 Büyük Sanayi Kuruluşu, özel Sayı", İstanbul Sanayi Odası Dergisi, Yıl: 29, Sayı: 342, Eylül 1994.
- [13] İSO, "Türkiye'nin 500 Büyük Sanayi Kuruluşu, Özel Sayı", İstanbul Sanayi Odası Dergisi, Yıl: 30, Sayı: 354, Eylül 1995.
- [14] İSO, "Türkiye'nin 500 Büyük Sanayi Kuruluşu, Özel Sayı", İstanbul Sanayi Odası Dergisi, Yıl: 31, Sayı: 366, Eylül 1996

NON-LİNEER PARAMETRE YAKLAŞIMIYLA YAPAY SİNİR AĞLARI DESTEKLİ OLARAK BÖLGESEL TALEBİN BELİRLENMESİ

O. KILIÇ, S. AY
Yıldız Teknik Üniversitesi
Elektrik Mühendisliği Bölümü
80750-İSTANBUL

ABSTRACT

The demand to electrical energy increases day by day. It is very important to reflect this increasing demand accurately to powerplant planning. ANN technique can be effectively used in load forecasting. In this paper, ANN load forecasting is performed by using some non-linear input parameters such as temperature, humidity, rain conditions. Real electrical data obtained for the national grid and meteorological parameters are used in the presented application.

- YSA öğretilen bir algoritmadır
- Parametre ilavesine son derece uygundur; sürekli test imkanı vardır
- önceden bilinmeyen veya bağıntı kurulamayan veriler arasında ilişki kurma ve değerlendirme imkanı sağlar.
- Hata oranının düşürülmesi için çeşitli seçenekler mevcuttur.
- Çözümleme kabul edilebilir bir zaman diliminde elde edilebilmektedir.
- Gelişen bilgi işlem teknolojisine son derece uygundur.

1. GİRİŞ

Geleneksel enerji talep tahmini analizleri istatistiksel yöntemlere dayanır. Bu yöntemler kullanılarak hazırlanmış çeşitli paket programlarda;

- Hangi zaman dilimi için talep tahmini yapılacağı,
- Hangi parametrelerin dikkate alınacağı,
- Bölgesel karakteristik bilgiler,
- Geçmişe dönük bilgilerin doğruluğu ve uyum içinde kullanılması,

göz önünde bulundurularak tüm parametre ve büyüklükler uygun şekilde birleştirilerek optimum kestirime gidilmektedir.

Yapay Sinir Ağları (YSA) tekniği kullanılarak talep tahmini yapılmasının çeşitli üstün yanları vardır:

Yapay sinir ağlarının güç sistemleri uygulamasında çeşitli uygulamaları vardır; talep tahmini için de öngörülen değişik yaklaşımlar literatürde yer almıştır [1-5].

Bu çalışmada, haftanın günlerini özelliklerine göre ayırtıran ve sıcaklık, yağış miktarı, nem vb. parametreleri dikkate alan bir yaklaşım yardımıyla YSA destekli talep tahmini yapılmıştır.

2. YAPAY SİNİR AĞLARI İLE TALEP TAHMİNİ ANALİZİ

YSA algoritması ile etkin bir talep analizinin yapılabilmesi için, aşağıdaki seçeneklerin ve parametrelerin belirlenmesi gerekir:

- Bölgenin yapısal durumu, nüfus hareketleri, sanayileşme hızı, ticaret yollarının konumu vb. göz önüne alınarak öngörülen süreçte yapılacak talep tahmininin hangi hata (sapma) sınırında kalması gerektiğine karar verilmelidir.
- YSA destekli analizde modelleme sırasında, hangi büyüklüklerin "Parametre" olarak alınacağı saptanmalıdır.
- Yıllık analizde, mevsim dönüşlerinin, tatil günlerinin, özel günlerin vb. ne şekilde dikkate alınacağı da belirlenmiş olmalıdır.
- Tahmin sonuçlarının doğruluk payının artırılması bakımından alınan DATA'nın sık ve güvenilir nitelikte olması büyük önem taşımaktadır.
- Analiz sırasında, kullanılacak algoritmanın seçiminin ardından, öğrenme işleminin iyileştirilmesi amacıyla alınacak önlemler doğrudan deneme ile belirlenmelidir ve uygulamaya sokulmalıdır.
- Tahmin sonuçlarındaki hata payının öngörülenden büyük olması durumunda, parametreler ve giriş değerleri yeniden gözden geçirilerek sorun çözülmelidir.

YSA kullanımında amaç; sınıflandırma, veri değerlendirmesi, örnek tanıma ve giriş-çıkış büyüklükleri arasında ilişki kurarak tahmin yapmaktır [6-8]. x girişleri ve y çıkışları arasındaki temel ilişki

$$s = \sum_{i=1}^n w_i x_i + b \quad (D)$$

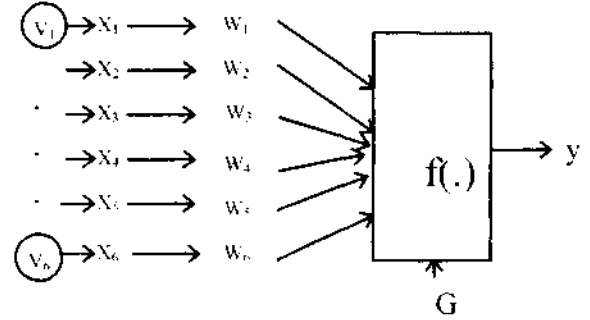
ağırlıkların toplamı olmak üzere,

$$Y = f(s) \quad (2)$$

yazılabilir. Burada b sabit giriş ağırlığını göstermektedir.

Şekil 1. de "geriye yayılma algoritması-back propagation algorithm" kullanılarak gerçekleştirilen talep tahmini modeli şematik olarak gösterilmiştir.

Burada, x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 ve x_6 giriş parametreleri sırasıyla yağış miktarını, rüzgar hızını, ortam sıcaklığını, ölçüm değerleri alınan transformatörün kazan sıcaklığını, nem miktarını ve mevsim dönüşlerinin etkisini göstermektedir. "G" gürültü enjeksiyonudur.



Şekil 1. YSA destekli analizin şematik gösterimi (VL V_2, \dots, V_6 veri toplama merkezlerini işaret etmektedir.)

Analizde fonksiyon türü olarak "sigmoid" kullanılmıştır, öğrenme algoritması için "geriye yayılma algoritması" seçilmiştir; böylelikle tahmin yeteneğinin artırılması ve SCADA'ya uygun olma gibi özellikler bir araya toplanmıştır.

Sisteme ilişkin günlük elektriksel büyüklükler; faz akımı (A), fazlararası gerilim (kV) ve çekilen puant güç (MVA) değerlendirir.

Analiz sonucunda çeşitli % eğitime oranı altında gürültü ekli ve gürültüsüz tahmin değerleri elde edilebilmektedir; çıkışlar tablo veya çubuk-grafik şeklinde alınabilmektedir.

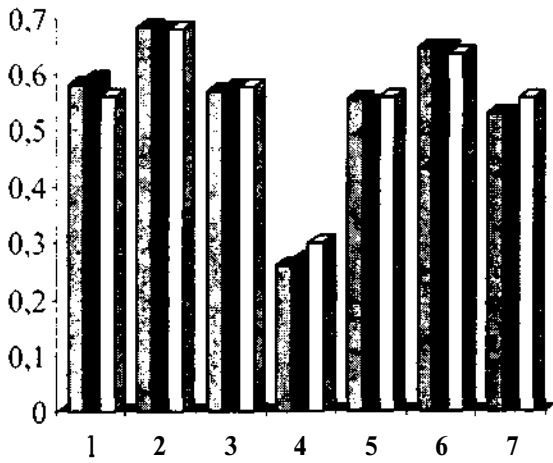
3. SAYISAL UYGULAMA

Yılın 12 ayında günlük yüklenme değerlerinin yanısıra diğer elektriksel büyüklüklerin de alındığı

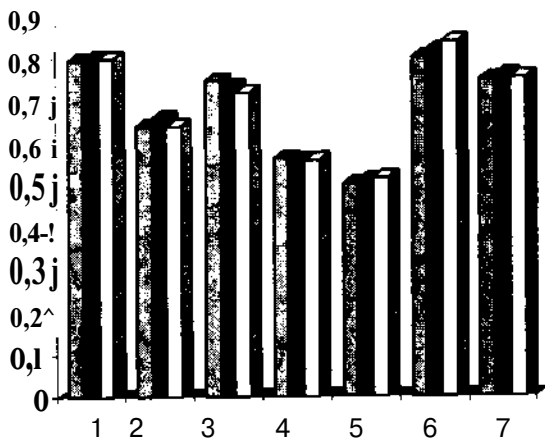
TEAŞ 154/34.5 kV merkezi ile iklim koşullarına ilişkin verilerin toplandığı Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü sayısal uygulamanın giriş/işleme değerlerinin kaynağını oluşturmaktadır [9].

2. Bölümde açıklanan modelleme çerçevesinde "geriye yayılma algoritması" kullanılarak yapılan analiz için uygun yazılım programı kullanılmıştır.

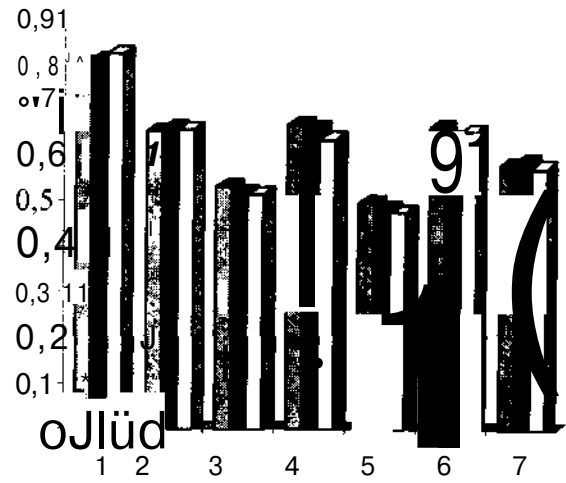
Bütün aylara ait "gerçek" ve "tahmin" değerleri topluca elde edilmesine karşılık, burada yaz aylarına (Haziran, Temmuz, Ağustos) ait çıkış değerleri verilmiştir (Şekil 2., Şekil 3., Şekil 4.).



Şekil 2. Haziran ayına ait talep tahmini



Şekil 3. Temmuz ayına ait talep tahmini



Şekil 4. Ağustos ayına ait talep tahmini

4. SONUÇ

Yapay sinir ağları kullanılarak yapılan talep tahmininin sağladığı yararlar şu şekilde özetlenebilir:

- Fiziksel parametrelerin doğrudan kullanımı, değiştirilmesi veya ilave edilmesi mümkündür.
- Tahmin işleminin doğruluk derecesi sürekli denetlenir.
- Diğer kontrol donanımı ile uyumlu çalışma sağlanabilir.
- Yük trendine bağlı olarak enterpolasyon analizleri başarılıdır.
- Veri işlenmesi kolay ve işlem hızı yüksektir; bilgisayar kapasitesi arttıkça bu özellik daha belirgin hale gelir.
- Analiz, bölgesel yük tahmininin yanısıra daha büyük çapta ulusal talebin tahmini için de kullanılabilir, ölçüm/veri değerlerinin fazla oluşu nedeniyle adım-adım hesaplama gerekebilir.
- YSA arşiv fonksiyonları içinde uygun fonksiyon biçiminin (sigmoid, lineer vb.) belirlenmesi, uygun algoritmanın seçilmesi, eklenecek moment ve

gürültü miktarları, öğrenme katsayısı ile katman sayısı için uygun değerler, problemin karakteri ve DATA'ya da bağlı olarak "yazılım" üzerinde uygulama sonunda tespit edilebilir.

[9] Kılıç, O., "Enerji iletim Sistemlerinde Yük Tahmininin Gerçekleştirilmesinde Yeni Bir Yaklaşım", Doktora Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 1996.

KAYNAKLAR

- [1] Dillon, T.S., Sistito, S., Leung, S. "An Adaptive Neural Networks in Load Forecasting in a Power Systems", Proceedings of the First International Forum on Application of Neural Networks to Power Systems, Seattle, WA, July 1991, pp 17-21.
- [2] Ay, S., Kılıç, O. "Hidro-elektrik ve Termik Santrallerin Optimal Büyüklüklerin Belirlenmesi" DSİ Teknik Bülteni Sayı 70, s. 43-49, 1991.
- [3] Brace, M.C., Schmidt, J., Hadlin M. "Comparison of the Forecasting Accuracy of Neural Networks with other Established Techniques", Proceedings of the First International Forum on Applications of Neural Networks to Power Systems, Seattle, WA, pp. 31-35, 1991.
- [4] Bacha, H., Meyer, W., "A Neural Network Architecture for Load Forecasting.", Proc. of the 1992 International Joint Conference on Neural Networks Vol. 2, pp. 442-447, 1992.
- [5] Anders, J.H., Palmer R.G., "Introduction to The Theory of Neural Computation" Addison-Wesley Publishing Company, 1994.
- [6] Fausett, L. "Fundamentals of Neural Networks", Prentice Hall, 1994.
- [7] Harvey R. L. "Neural Network Principles" Prentice-Hall International, 1994.
- [8] Mohammed, O., et al., "Practical Experiences with an Adaptive Neural Network Short-Term Load Forecasting System". Paper 94 WM 210-5 PWRS presented at the IEEE/PES 1994 Winter Meeting.

YÜK ASİMETRİSİ BULUNDURAN VE HARMONİK İÇEREN ALÇAK GERİLİM TESİSLERİNDE KAYIP MİNİMİZASYONU

F.ATTAR, S.AY
Yıldız Teknik Üniversitesi
Elektrik Mühendisliği Bölümü
80750- İSTANBUL

ASBTRACT

The increasing use of solid-state power conversion equipment and other power electronic-type devices on power systems is causing Utilities to become much more concerned about harmonic levels on these systems. Harmonic losses depending on $I_n/1$, ratio, maximum harmonic order, circuit topology, unbalanced operation, annual loading curve are analysed with reference to variable cost. In order to illustrate these losses, a numerical example is given.

1. GİRİŞ

Yarıiletken kontrol elemanlarının endüstride yaygın olarak kullanılması sonucu, daha önce metal ergitme tesislerinde gözlenen akım (yük) harmonikleri, günümüzde hemen hemen tüm orta-büyük ölçekli işletmelerde de ortaya çıkabilmektedir. Harmoniklerin mertebesi (maksimum harmonik mertebesi, harmonik bileşenlerinin temel bileşene oranları, tek ve çift harmoniklerin olması vb.) yükün/yüklerin karakteristiğine bağlıdır; günlük yüklenme (işletme) programı da diğer bir kriterdir. Metal ergitme tesisleri dışındaki işletmeler, mevcut yönetmelik ve teknik şartnameler çerçevesinde harmonik tayini, denetimi ve harmoniklerin süzülmesi konusunda bir zorunlulukla karşı karşıya olmadıklarından, çoğunlukla birer harmonik üreticisi konumunda bulunmaktadır.

Bu tip işletmeler, kendi iç problemlerinin olması halinde harmonik ölçümü yoluna gitmekte ve gerek gördükleri zaman da filtre tesisi kurmaktadır; bunun dışında harmoniklerin süzülmesi söz konusu olmamaktadır, işletmelerin bir fazlı ve üç fazlı tüketici gruplarının bulundurmaları sonucu, dağıtım şebekesinin dengesiz (asimetrik) akımlarla yüklenmesi kaçınılmazdır. Bir fazlı tüketici grupları, tasarım sırasında dengeli akım çekecek şekilde planlansa da eşzamanlı işleme olmayacağı için akım dengesizlikleri ortaya çıkabilmektedir. Günlük işletme programı, her program (zaman dilimi) için faz akımlarının asimetrisi, işletmenin yıldız noktasının toprakla ilişkisi gibi etkenlere bağlı olarak dengesiz yüklenmenin önemi de artmaktadır.

Harmoniklerin elektrik şebekeleri üzerinde istenmeyen ve mutlaka sınırlandırılması gereken çeşitli etkileri bulunmaktadır. Bunlar, teknik kökenli (ölçme hataları, rezonans, gerilimde distorsiyon) ve ekonomik kökenli (ek kayıplar) olarak düşünülebilir. Ekonomik kökenli olumsuz etkiler, TL/kWh birim enerji maliyeti cinsinden hesap edilecek "ek kayıp enerji"dir. Adı geçen kayıp enerji;

- Harmonik mertebesine, yükün gücüne, günlük işletme programına yakından bağlıdır [1, 2].
- Fazlardaki dengesizlik ile artış göstermektedir [3].

Ek kayıp enerji;

- Harmonik akımların geçtiği tüm iletken kısımlarda ve toprak yolu elemanlarında
- Transformatörlerin sargılarında (varsa yıldız noktasını toprağa bağlayan direnç üzerinde) oluşmaktadır [4, 5].

Gerek harmoniklerin oluşumundan gerekse faz dengesizliğinin varlığından ortaya çıkacak "ek kayıp enerji"nin ekonomik boyutu üç sebepten önem taşır;

1. İşletmenin bağlı bulunduğu ulusal şebeke ağına dengesiz ve harmonikli akımların geçmesi durumunda, "ek kayıp enerji"nin varlığı daha büyük olacaktır. Örneğin orta gerilim fiderleri için de ayrıca kayıp enerjinin katkısı hesap edilecektir.
2. İşletmenin elektrik idaresinden aldığı enerji için iç bünyesinde dağıttığı fiderlerde "ek kayıp enerji" ortaya çıkacaktır ki, bu da işletme için ek değişken maliyet anlamına gelecektir.
3. İşletmenin enerji ihtiyacını kendi karşılaması durumunda, iç fiderlerinde oluşacak "ek kayıp enerji" dolayısıyla daha fazla enerji üretimine gerek olacaktır; bu ise kullanılan enerjinin birim maliyetini (TUKvWh) artırıcı rol oynayacaktır.

2. HARMONİK AKIMLARIN YOL AÇTIĞI EK MALİYETİN ANALİZİ

Harmonik akımların yol açtığı ek maliyet analizi için;

- Şebeke gerilim harmoniklerinin ihmal edilebilir olduğu,
 - Şebeke elemanlarının lineer özellikte bulunduğu,
 - Faz iletkenlerindeki deri etkisinin de ihmal edilebilir olduğu,
- şeklinde ön kabuller yapılmıştır.

Harmonikli bir şebekede n. harmonik için maliyet fonksiyonu

$$M_n = f_{onk}(M_o, q_n, AP_n) \quad (1)$$

biçiminde yazılabilir. Burada M_o tesisin sabit maliyetini, AP ise hat kayıplarını göstermektedir. Toplamsallık teoremi yardımıyla, "n. harmoniği de içine alan maliyet fonksiyonu" matris biçiminde

$$\begin{bmatrix} M_1 \\ M_2 \\ \dots \\ M_n \end{bmatrix} = M_o \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ \dots \\ 0 \end{bmatrix} + M_q \begin{bmatrix} q \\ 0 \\ \dots \\ 0 \end{bmatrix} + M_j \begin{bmatrix} AP_1 \\ AP_2 \\ \dots \\ AP_n \end{bmatrix} \quad (2)$$

yazılabilir. Burada $q = \text{fonk}(I_1, I_2, \dots, I_n)$ ve j akım akım yoğunluğu olmak üzere

$$q = I' / j \quad (3)$$

olarak tanımlanmıştır. M, yıllık faiz, enerji satış tarifesi, yıllık yüklenme oranı ve süresi gibi parametreleri içine alır ve harmoniklerden kaynaklanan ek kayıplar da

$$AP_{ek} = \sum_{n=2}^N AP_n \quad (4)$$

alacaktır. N, maksimum harmonik mertebesidir.

Dengesiz yüklenme halinde, (2) bağıntısı her faz için ayrı ifade edilecektir. Örneğin R- fazı için

$$\begin{bmatrix} M_{1R} \\ M_{2R} \\ \dots \\ M_{nR} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} M_o \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ \dots \\ 0 \end{bmatrix} + \frac{1}{3} M_q \begin{bmatrix} q \\ 0 \\ \dots \\ 0 \end{bmatrix} + M_j \begin{bmatrix} AP_{1R} \\ AP_{2R} \\ \dots \\ AP_{nR} \end{bmatrix} \quad (5)$$

bağıntısı geçerli olur.

n. harmoniğin süzülmesi sonucu yıllık net tasarruf

$$A M_n = M_n - M_{F > n} \quad (6)$$

olup M_{Fn} sabit ve değişken maliyet bileşenlerini içeren filtre maliyet fonksiyonudur [2, 3].

Bir elektrik şebekesinde harmonik (ek) kayıpların belirlenmesi aşamasında izlenecek işlem sırası şöyledir:

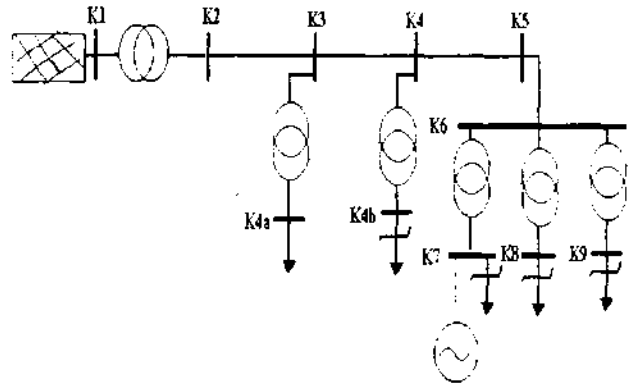
1. Enerji sistemi üzerinde harmonik güç akışı (veya harmonik akım dağılımı) gerçekleştirilir.
2. Her baradaki harmonik gerilim spektrumu elde edilir.
3. Enerji sisteminde her baradan baraya geçen harmonik akım dağılımları belirlenir.
4. Enerji sisteminin günlük (veya aylık) yüklenme eğrisi yardımıyla, analiz edilecek her işletme

dilimi için "yüklenme oranları" ile "dengesiz yüklenme oranları" belirlenir

5. Söz konusu yüklenme eğrisi yardımıyla sinüsoidal Dengeli, non-sinüsoidal dengeli, non-sinüsoidal dengesiz yüklenme periyotları ortaya konulur.
6. Analizin yapılacağı zaman sürecinde, enerji tarifeleri her zaman dilimi için ayrı ayrı belirlenir.
7. Ek (harmonik) işletme kayıplarının simülasyonu için 1-6. Adımlar topluca listelenir ve sayısal analizde DATA olarak yararlanılır.

3. SAYISAL UYGULAMA

Harmonikli yük akımlarını içeren bir enerji sistemi üzerinde (Şekil.1) sayısal uygulama gerçekleştirilmiştir. 154 kV luk ulusal enerji ağından beslenen enerji sistemi, 154/15 kV luk indirici transformatörleri bulundurmaktadır. K4a, K7, K8 ve K9 haralarından harmonikli yükler çekilmektedir (n: 5,7,11,13,17,19,23). ilgili hat parametreleri, güç değerleri, transformatör verileri fiziksel değerleriyle tanımlanmıştır [6].



Şekil 1 .Sayısal uygulama için göz önüne alınan enerji sistemi

K9 barasında 5. ve 7. harmonikleri süzmek üzere iki ayrı filtre devresinin yerleştirilmesi öngörülmüştür. Diğer taraftan K3a, K4a, K7 ve K8 baralarında da şönt kapasitör gruplarının yerleştirilmesi söz konusudur.

Tablo 1. Sayısal uygulamaya ilişkin öngörülen kümeler

İşletme Kodu	Kapasitörler	Filtre(ler)
I	1	1
II	1	0
III	0	1
IV	0	0

Diğer tarafından K2-K3 arasındaki hat için üç ayrı dengesiz yüklenme durumu göz önüne alınmıştır. Hattan dengeli yüklenmeye ilişkin anma akımı 1.00

per-unit olmak üzere, R-S-T faz akımlarının üç ayrı kümesi dikkate alınmıştır.

Tablo 2. Öngörülen dengesiz akım kümeleri

İşletme Kodu	(I _R , I _S , I _T) p.u.
A	(1.0, 0.9, 1.1)
B	(0.8, 1.0, 1.2)
C	(1.3, 0.7, 1.0)

Çeşitli işletme kodları için yapılan analizde harmonik yük akışı yapan bir yazılım programı kullanılmıştır.

Tablo 3. İşletme kodu III için hesaplanan hat kayıpları

Harmonik Mertebesi	Kayıplar [W]
5	145.76
7	72.54
11	56.33
13	41.77
17	40.69
19	48.66
23	155.06
Temel frekans	66000

Tablo 4. Dengesiz çalışmada işletme kodu II için hesaplanan hat kayıpları.

Harmonik Mertebesi	Kayıplar [W]		
	A	B	C
5	2937.1	2995.60	3092.86
7	7.6	7.30	7.53
11	10.88	11.09	11.44
13	11.33	11.55	11.93
17	24.00	24.48	25.28
19	50.37	51.37	53.04
23	38.54	39.30	40.57
Temel fekans	53360	68286	56176

4. SONUÇ

Sayısal uygulama sonuçlarından aşağıdaki değerlendirmeler yapılabilir:

- Temel yük akışı açısından minimum hat kayıpları kod-I de, maksimum hat kayıpları ise kod-IV'de ortaya çıkmaktadır.
- Ulusal şebekeye en yakın bara olan K1 deki gerilim referans alındığında; toplam harmonik distorsiyonu (THD) için minimum değer kod-I'de maksimum değer ise kod-IV'de ortaya çıkmaktadır.

- Filtrelerin bulunması halinde harmonik gerilimleri düşmektedir. Örneğin filtreler devrede iken V_s = 9.205 volt değerini almaktadır.
- Dengesiz yüklenmede, minimum kayıplar ise C-kodunda oluşmaktadır.
- Akım harmonikleri hat kayıplarına benzer şekilde transformatörlerin sargı kayıplarını da artırıcı rol oynamaktadır.
- Yıllık harmonik kayıpları ile filtre tesis maliyetlerinin, "Şimdiki Değer Analizi" ile "Gelecek Değer Analizi" yardımıyla değerlendirilerek ekonomik katkının ortaya konması mümkündür.

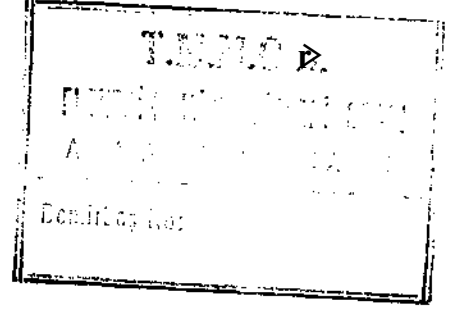
KAYNAKLAR

- [1] IEEE Working Group on Power System Harmonics, "Power System Harmonic an Overview", IEEE Trans. on Power Appar. And Systems, vol. 102, pp. 2455- 2460, 1983.
- [2] ARRILLAGA, J., "Power System Harmonics", John Wiley, 1985.
- [3] AY, S., ATTAR, F., "Non- Sinüsoidal Yüklerin Elektrik Enerjisi Kayıpları Üzerindeki Etkinlikler ve Kayıp Minimizasyonu", Energy with AN Aspects in 21 st Century Symposium, Apr. 28-30,1994, İstanbul pp. 744-751.
- [4] AY,S., "Analysis of Earth Path Losses in Power Systems Resuting from Unbalanced Loading", Int. Conference-Signals and Systems, Jan. 29-31, 1990, All-Ain UAE, pp. 235-245.
- [5] HWANG, MS. et al., "Distribution ansformer Winding Losses due to Nonsinüsoidal Currents", IEEE Trans. on Power Delivery, PWRD-2, pp. 40-146, 1987.
- [6] ATTAR, F., "Non-linear Yükleri İçeren Elektrik Enerji Sistemlerinin işleminde Harmoniklerin Etkinlikleri ve Kayıp Analizi", Doktora Tezi, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 1994.
- [7] DlgSILENT Data Systems "Integrated Electrical Engineering Program", Version9.1.

SANTRALDA GRUPLAR ARASINDA EKONOMİK YÜK DAĞITIMI

Belgin Turkey

İstanbul Teknik Üniversitesi
Elektrik-Elektronik Fakültesi
Elektrik Mühendisliği Bölümü
80626 Maslak/ İstanbul



ABSTRACT

In this paper we consider the important problem of economic operation of power systems: how to operate a power system (to supply all loads at minimum cost. Here we assume that we have some flexibility in adjusting the power delivered by each generator. Of course, if we have a "peak" demand for power which is so large that all the available generator capacity must be used, there are no options. But usually the total load is less than the available generator capacity and there are many possible generation assignments. In this case it is important to consider the cost of generating power, and to pick the P_{gi} to minimize these production costs while satisfying the loads and the losses in the transmission links. In this work, we consider the problem of minimization of instantaneous production costs; this is called the economic dispatch problem.

GİRİŞ

Yapılan çalışmada, güç sistemlerinin ekonomik işletme problemi incelenmiştir. Bir güç sisteminin verimli çalışmasını sağlayan faktörlerden bazıları; tüketicilerin talebi ne olursa olsun yükü karşılayacak sürekli ve kullanışlı güce sahip olması ve tüketiciye sağlanan gerilimin nominal değerinde veya ona yakın bir değerde tutulmasıdır.

Çalışmada, tüm kompleks yükleri minimum maliyetle besleyebilmek için güç sisteminin işletme koşulları belirlenmiştir. Burada, her generatörden sağlanan güçü ayarlama biraz esnekliğimizin olduğu kabulü yapılmıştır. Santraldan çekilen yük, generatörlerin nominal güçlerinin toplamına eşitse bu durumda doğal olarak ekonomik yük dağıtımından söz edilemez. Fakat genellikle yükün tamamı kullanıma hazır generatörlerin kapasitelerinden daha azdır. Böylece üretim maliyeti minimum olacak şekilde toplam talebi karşılamak koşuluyla generatörlerden çekilecek olan optimum yükleri belirlemek mümkün olur. İncelenen problemde hangi generatörün çalışmakta olduğu ve yükün ne kadarlık kısmını karşılanmakta olduğu bilinmektedir. Dolayısıyla yoğunlaşılan alan bu tür generatörlerdeki üretim maliyetlerini indirme problemi. 24 saatin üzerinde bir güç talebi karşısında bilinen bazı ayrıcalıklarla karşılaşılan

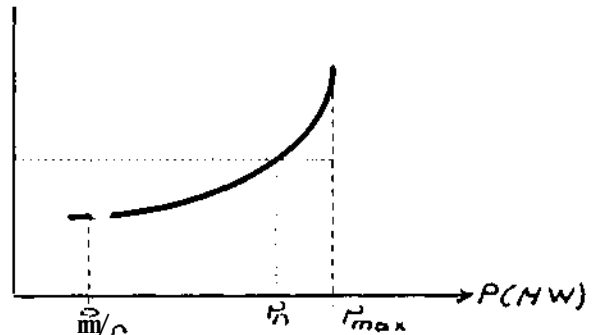
devreye girme ve devreden çıkma durumlarında ki generatörlerin programlarıyla ilgili problemin üzerinde ayrıntılı olarak durulmamıştır. Güç talebinde karşılaşılan küçük farklılıklar, generatörlerin bilgisayar sisteminde ayarlanarak kontrol altına alınabilir. Prensipte olarak daha büyük farklılıklar, yükler arttığında üretim gruplarını çalıştırarak, yükler azaldığında ise grupları devreden çıkartarak uyumlu hale sokulabilir.

TERMİK GRUPLARIN KARAKTERİSTİKLERİ

Güç Sistemlerinin işletimi ile ilgili analiz problemlerinde ilgilenilmesi gereken bir çok parametre vardır. Generator çıkışında elde edilen güç hem talebi karşılar hem de iç ihtiyaç tesislerini besler. Genellikle santralin iç ihtiyaç gücü %2-%6 arasındadır. Gruplara ilişkin karakteristikler tanımlanırken brüt girişin net çıkışa göre değişiminden bahsedilmektedir. Brüt giriş elektrik gücünü üretmek için gerekli olan yakıt maliyeti, net çıkış ise şebekeye verilen güç miktarıdır. Gruplara ilişkin karakteristiklerin tanımlanmasında kullanılan terimler IM :

$H(kcal/h)$: Bir saate gruba giren kcal olarak ısı miktarı
 $F(TU/h)$: Bir saate harcanan yakıt fiyatı.

Şekil 1.'de termik gruba ilişkin ideal giriş-çıkış karakteristiği görülmektedir. Grubun y ekseninde gösterilen girişi ısı enerji gereksinimi veya yakıt maliyetidir. Çıkış ise elektriksel güçtür.



Şekil 1. Giriş-çıkış karakteristiği

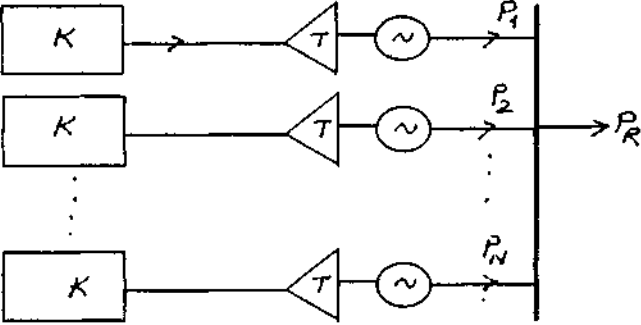
Karakteristik, Şekil 1'de de görüldüğü gibi düzgün ve konveks bir eğridir. Karakteristikleri çizmek için gerekli dotalar ısı-oran testlerinden elde edilebilir. Gruba

ilişkin artımsal ısı-oran karakteristiği (AH/AP veya AF/AP) ve ısı oran karakteristiği (H/P oranının P 'ye göre değişimi) giriş -çıkış karakteristiğinden yararlanarak bulunabilir.

GRUPLAR ARASINDA EKONOMİK YÜK DAĞITIMI

Genel olarak maliyetler sabit ve değişken maliyetler olarak ikiye ayrılır. Sabit maliyetler; sermaye yatırımı, işçilik, sigorta, vergiler ve güç sistemindeki yüklemeye bağlı olmayarak devam eden diğer maliyetler olarak ifade edilebilir. Değişken maliyetler, değişik yakıt ve su oranlarında çalışan üretim gruplarının yükleme biçiminden, kayıplardan oluşan maliyetlerdir. Bu çalışmada amaç, minimum yakıt maliyetini gerçekleştiren optimum grup güçlerini bulmak olduğu için değişken maliyet olarak sadece yakıt masrafları ele alınmıştır. Yakıt maliyeti olarak generatörün güç üretimi sırasında her saat için sarfedilen yakıt miktarını alır /1/, 121.

Şekil 2'de verilen N gruplu ve P_R yükünü besleyen bir santralde ekonomik yük dağıtımını belirlemek için matematiksel modeli kuralım. Her bir grubun girişi F , olarak gösterilen yakıt maliyeti, çıkış ise P_i elektriksel güçtür. Doğal olarak santraldaki toplam yakıt maliyeti her bir grup maliyetlerinin toplamıdır. Sistemin ekonomik işletilmesindeki en önemli sınır çıkış gücünün santraldan çekilen toplam yüke eşit olma zorunluluğudur/1/.



Şekil 2. Grup sayısı N olan bir santral

Amaç, toplam yakıt maliyetini santral P_R gücünü karşılayacak şekilde üretim yaparken minimize etmektir. N gruplu santral için optimum yük dağıtımının hesaplanmasında kullanılan matematiksel model:

$$\text{Min} F_T = F_1 + F_2 + F_3 + \dots + F_N = \sum_{i=1}^N F_i(P_i)$$

$$\phi = 0 = P_R - \sum_{i=1}^N P_i$$

Bulunan sınırlı optimizasyon problemi LaGrange Çarpınları Yöntemi ile çözülebilir. LaGrange fonksiyonu:

$$L = F_T + X \phi$$

LaGrange çarpınları yöntemi ile optimum değerleri bulabilmek için LaGrange fonksiyonunun bütün değişkenlere göre türevleri alınıp sıfıra eşitlenir. LaGrange Fonksiyonunun çıkış gücüne göre türevi alınıp sıfıra eşitlenir ise;

$$\frac{\partial L}{\partial P_i} = \frac{dF_i(P_i)}{dP_i} - \lambda = 0$$

$$0 = - \frac{dF_i}{dP_i} - X$$

Sonuç olarak, minimum maliyetli işletme koşulu artımsal maliyet oranının bütün gruplar için değeri belirli olmayan X 'ya eşit olmalıdır. Gerçekçi bir sonuç elde edebilmek için bu gerek koşula ilave olarak, üretilen güç değerlerinin toplamının santraldan çekilen toplam yüke eşit olma koşulu da konulmalıdır. Ayrıca, grubun çıkış gücü müsaade edilen minimum güç değerinden büyük ya da ona eşit olmalı ve müsaade edilen maksimum güç değerinden küçük ya da ona eşit olmalıdır. Bütün bu sınır denklemleri modele yerleştirildiğinde, optimizasyon sonucunda bulunan optimum güç değerleri gerçekçi sonuçlar verir. Bu koşullar ve eşitsizlikler aşağıdaki denklem takımı ile özetlenebilir/1/./2/, 121.

$$\frac{dF_i}{dP_i} = \lambda \quad N \text{ denklem}$$

$$P < p < p \quad 2N \text{ denklem}$$

$$\sum_{i=1}^N P_i = P_R \quad 1 \text{ denklem}$$

Gerek koşullar aşağıdaki şekilde genişletilebilir.

$$\frac{dF_i}{dR_i} = \lambda \quad P_{i,\min} < P_i < P_{i,\max}$$

$$\frac{dF_i}{dP_i} \leq \lambda \quad P_i = P_{i,\max}$$

$$\frac{dF_i}{dR_i} \geq \lambda \quad P_i = P_{i,\min}$$

AMBARLI SANTRALINDA GRUPLAR ARASINDAKİ EKONOMİK YÜK DAĞITIMI

Çalışmada, ekonomik yük dağıtımını için gerekli olan, Ambarlı santralından alınan datalar değerlendirilip gruplara ait giriş-çıkış karakteristikleri çizilmiştir. i) Birinci grubun nominal gücü 110 MW, maksimum güç değeri 130 MW ve minimum güç değeri ise 55 MW dir. Birinci grubun ısı enerjisinin çıkış gücüne

göre değişimi Şekil 3'de verilmiştir. Karakteristiğın matematiksel ifadesi

$$H_1(\text{kcal/h}) = -22600000000 + 2524717 P_1 + 4023,639 P_1^2$$

dır.

ii) İkinci grubun nominal gücü 110 MW, maksimum güç değeri 130 MW ve minimum güç değeri ise 55 MW dir. Isı enerjisinin çıkış gücüne göre değişimi Şekil 4'de verilen gruba ait karakteristiğın matematiksel ifadesi

$$H_2(\text{kcal/h}) = -23900000000 + 4092,312 P_2 + 3910,007 P_2^2$$

dır

iii) Üçüncü grubun nominal gücü 110 MW, maksimum güç değeri 130 MW ve minimum güç değeri ise 55 MW dir. Isı enerjisinin çıkış gücüne göre değişimi

$$H_3(\text{kcal/h}) = 9,12 \cdot 10^{10} + 929529,9 P_3 + 14,97 P_3^2$$

olarak elde edilmiştir. Şekil 5'de verilen karakteristiğın değişimi görülmektedir.

iv) Dördüncü grubun nominal gücü 150 MW, maksimum güç değeri 160 MW ve minimum güç değeri ise 75 MW dir. Isı enerjisinin çıkış gücüne göre değişimi Şekil 6'de verilen gruba ait karakteristiğın matematiksel ifadesi

$$H_4(\text{kcal/h}) = 1,63 \cdot 10^{11} - 567447 P_4 + 25849,55 P_4^2$$

olarak bulunmuştur.

v) Beşinci grubun nominal gücü 150 MW, maksimum güç değeri 160 MW ve minimum güç değeri ise 75 MW dir. Isı enerjisinin çıkış gücüne göre değişimi

$$H_5(\text{kcal/h}) = 2,39 \cdot 10^{13} - 223376 P_5 + 21,04 P_5^2$$

olarak elde edilmiştir. Şekil 7'de verilen karakteristiğın değişimi görülmektedir

Ambarlı Santralında gruplar arasında ekonomik yük dağıtımı için geliştirilen matematiksel model:

Amaç Fonksiyonu;

$$\min H = -22600000000 + 2524717 P_1 + 4023,639 P_1^2 + -23900000000 + 4092,312 P_2 + 3910,007 P_2^2 + 9,12 \cdot 10^{10} + 929529,9 P_3 + 14,97 P_3^2 + 1,63 \cdot 10^{11} - 567447 P_4 + 25849,55 P_4^2 + 2,39 \cdot 10^{13} - 223376 P_5 + 21,04 P_5^2$$

Sınır Denklemleri

$$1) P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 = 500 \text{ MW}$$

$$55 \text{ MW} < P_1 < 130 \text{ MW}$$

$$55 \text{ MW} < P_2 \leq 130 \text{ MW}$$

$$55 \text{ MW} < P_3 \leq 130 \text{ MW}$$

$$2) 160 \text{ MW} \leq P_4 < 160 \text{ MW}$$

$$160 \text{ MW} \leq P_5 < 160 \text{ MW}$$

Model nonlinear eşitsizlik sınırlamaları olan bir optimizasyon problemidir. Model gevşek değişkenlerin ilavesi ile eşitlik sınırlamaları olan bir optimizasyon problemine dönüştürülüp LaGrange çarpanları yöntemi ile çözülmüştür. Denklem takımının çözümünden gruplara ilişkin optimum güç değerleri

$$P_1^* = 88 \text{ MW}$$

$$P_2^* = 92 \text{ MW}$$

$$P_3^* = 100 \text{ MW}$$

$$P_4^* = 110 \text{ MW}$$

$$P_5^* = 110 \text{ MW}$$

olarak bulunmuştur.

SONUÇLAR:

Çalışmada, yakıt maliyeti minimum olacak şekilde toplam yük talebini karşılamak koşulu ile generatörlerden çekilen optimum yükleri belirleyebilmek için matematiksel model oluşturulmuş ve model gevşek değişken formülasyonu ile çözümlenerek gruplara ilişkin optimum yük dağıtımı belirlenmiştir. Ambarlı santralından alınan data lar değerlendirilip gruplara ait çıkış gücünün giriş ısı enerjisine göre değişimini gösteren giriş-çıkış karakteristikleri çizilmiştir. Gruplara ait giriş-çıkış karakteristikleri kullanılarak santrale ilişkin toplam yakıt maliyeti bulunmuştur.

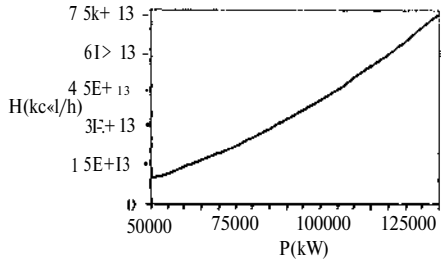
Santralde ekonomik yük dağıtımını elde edebilmek için geliştirilen model, lineer olmayan eşitsizlik sınırlamaları olan bir optimizasyon problemidir. Problemin çözümünden elde edilen optimum güç değerleri santraldan alınan gerçek değerler ile karşılaştırıldıklarında aralarında uyum olduğu görülmüştür.

KAYNAKLAR

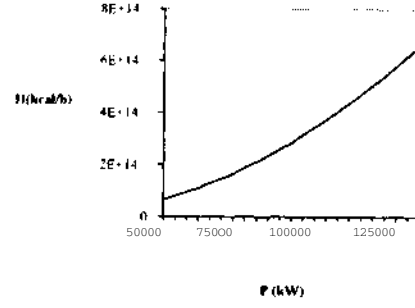
İM Ailen J. Wood, Bruce F. Wollenberg, " Power Generation, Operation and Control", John Wiley and Sons.

121 Arthur R. Bergen, " Power System Analysis" Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1986.

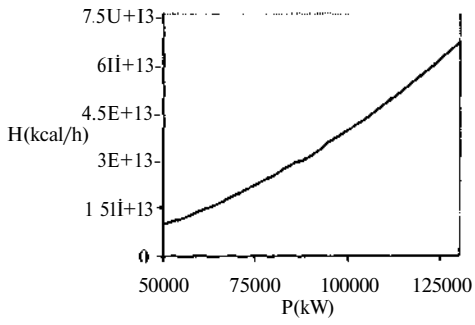
131 George L. Kusic, " Computer-aided Power Systems Analysis" Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1986.



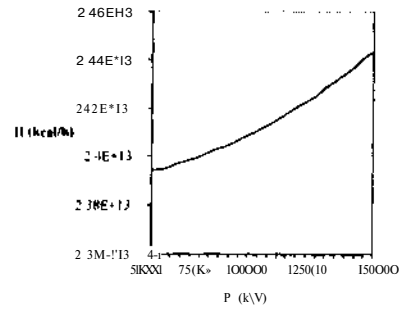
Şekil 3. Ambarlı Santralı birinci gruba ilişkin giriş-çıkış karakteristiği



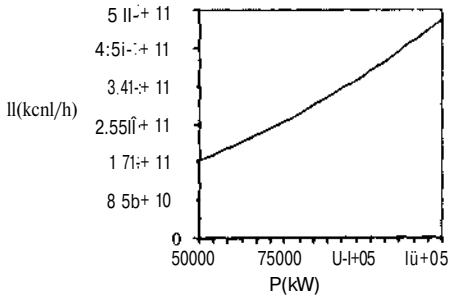
Şekil 6. Ambarlı Santralı dördüncü gruba ilişkin giriş-çıkış karakteristiği



Şekil 4. Ambarlı Santralı ikinci gruba ilişkin giriş-çıkış karakteristiği



Şekil 7. Ambarlı Santralı beşinci gruba ilişkin giriş-çıkış karakteristiği



Şekil 5. Ambarlı Santralı üçüncü gruba ilişkin giriş-çıkış karakteristiği

KISA DEVRE AKIMLARININ IEC 909 STANDARDI VE EMTP YARDIMI İLE HESAPLANMASI

"Belgin TÜRKAY

"Alper ÖZDEMİR

"İstanbul Teknik Üniversitesi
Elektrik-Elektronik Fakültesi
Elektrik Mühendisliği Bölümü
80626 Maslak/ İstanbul

"Schneider Elektrik A.Ş:
Tütüncü Mehmet Efendi cad.
81080 Göztepe/İstanbul

ABSTRACT

It has taken a very long time for the Standard Committees, the VDE followed by IEC, to complete their work on a Standard for the unambiguous and conventionally correct determination of the characteristic values which identify the short Circuit current in low-medium and high-voltage systems. The present-day availability of reliable and reasonably priced calculation software for the study of the dynamic behavior of electric energy systems has suggested a comparison between the results of calculations in accordance with IEC 909 and those using dynamic simulation dealt with under well-known code EMTP. The comparison shows a good measure of agreement between the two methods.

GİRİŞ

Elektrik güç sistemlerinin planlanması, tasarımı ve çalışması, sistemin işleyişini, güvenilirliğini ve güvenliğini görmek ve değerlendirmek bakımından birçok çalışma gerektirir. Bu çalışmaların bazıları ; yük akışı, kısa devre, motor yol verme, kararlılık, koruyucu cihaz koordinasyonu, güvenilirlik analizidir. Belirtilen hesaplamaların hepsi bir projenin ön aşamasında gerekli değildir ve doğrulukları bu noktada daha ileri aşamalardan daha az kesin olabilir. Kısa devre akımı incelemeleri bunun tipik bir örneğidir. Bunlar hem sistem tasarımında hem de ekipman boyutlarının belirlenmesinde ve seçiminde gerekli olan incelemelerdir. Doğrulukları oldukça farklı olabilir; sistem bileşenlerinin dinamik davranışını gösteren çok detaylı modelleri ele alıp dinamik simülasyonu temel kabul edebilirler veya sistem bileşenlerinin yarı-kalıcı haldeki temsiliyle basitleştirilmiş yaklaşımlardan faydalanabilirler.

Kısa devre akımının hesaplanması için basitleştirilmiş prosedürler uzun süredir Uluslararası Organizasyonlar tarafından öneriliyordu. Dinamik simülasyonun benimsenmesi ise daha yenidir ve daha geniş bir bilgi birikiminin varlığına ve

standartların geliştirilmesini takiben güçlü bilgisayar ve yazılım araçlarının bulunmasına bağlıdır.

Kısa devre akımının hesaplanmasında yaygın olarak kullanılan standartlar:

- i) VDE 0102 standardı : Bu Standard 1971 ve 1975 tarihlerinde yayınlandı ve iki kısımdan oluşmaktadır,
- ii) Amerikan Uluslararası standardı olan ANSI/IEEE C 37.010 : 1980 yılında yayınlanmış olup yüksek gerilimli AC sistemleri ile sınırlıdır,
- iii) IEC 909 : 1988 yılında yayınlandı
- iv) IEC 781 : 1988 yılında yayınlandı ve IEC 909 ile alçak gerilimli dallı şebekelerdekı kısa devre akımı hesaplanmasına açıklama getirdi [1].

Bu çalışmada incelenen konu temelde statik ve dinamik hesap yöntemlerinin ayrıntılı analizi ve birbirleriyle karşılaştırılmasıdır. Bu yapılırken statik hesap yöntemi olarak uluslararası standartlardan IEC 909 ele alınmış, dinamik hesap yöntemi olarak ise geçici olay analizlerinde verdiği çözümler uluslararası kabul edilmiş bir program olan EMTP kullanılmıştır[2]. İki hesap yöntemi üç farklı şebeke üzerinde uygulanarak bulunan sonuçlar karşılaştırılmıştır

IEC 909 STANDARDI

IEC 909 Standardı genel olarak iki kısımdan oluşur:

- i) Generatörden uzak kısa devre
 - ii) Generatör yakını kısa devre
- Generatör yakınındaki kısa devrede alternatif kısa devre akımı, başlangıç alternatif kısa devre akımından sürekli kısa devre akımına düşer. Generatörden uzaktaki kısa devrede alternatif kısa devre akımı bütün kısa devre süreci boyunca yaklaşık olarak sabit kalır. Böylece başlangıç alternatif kısa devre akımı sürekli kısa devre akımına eşittir [1], [2], [3].

Kısa devre akımı : Kısa devre süresince hata yeri üzerinden geçen akımdır. Kısa devre akımı genel olarak önce sıfır çizgisine göre dengeli olmayarak değişir ve alternatif kısa devre akımı ile bir doğru akım içerir Doğru akım zamanla sıfır değerine düşer.

Bunun gidişi osilogramın üst ve alt zarf eğrisi arasındaki orta çizgiye karşı gelir.

Alternatif kısa devre akımı: Kısa devre akımının işletme frekansındaki kısmıdır.

Alternatif kısa devre akımının zamana bağlı olarak değişken olabilen efektif değeri, belirli bir an için bir osilogramdan elde edilebilir; bu amaçla, akım değişiminin alt ve üst zarf eğrileri arasında söz konusu an için ölçülen aralık, $2\sqrt{2}$ ile bölünür ve akım ölçüğü ile çarpılır.

I'_k başlangıç alternatif kısa devre akımı, kısa devre için uygulanan $c \cdot U_n / \sqrt{3}$ gerilimi ile Z_k şebeke empedansından hesaplanır:

$$I'_k = \frac{E''}{Z_k} = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_k^2 + X_k^2}}$$

Burada;

E'' başlangıç gerilimi,
 C uygulanan gerilim ile şebeke işletme gerilimi arasındaki farkı göz önünde tutmaya yarayan katsayı,

U^{\wedge} şebeke işletme gerilimi,

R^{\wedge} hattın omik direnci,

X_k hattın reaktansı,

Z^{\wedge} şebeke empedansı,

dir.

En büyük kısa devre akımlarının elde edilmesi için generatör yakını ve generatörden uzak kısa devrelerde denklemde $c \cdot U^{\wedge}$ için bildirilen şart hariç tutularak, 1,1 u_n değeri alınabilir.

KISA DEVRE AKIMININ DİNAMİK SİMÜLASYONU

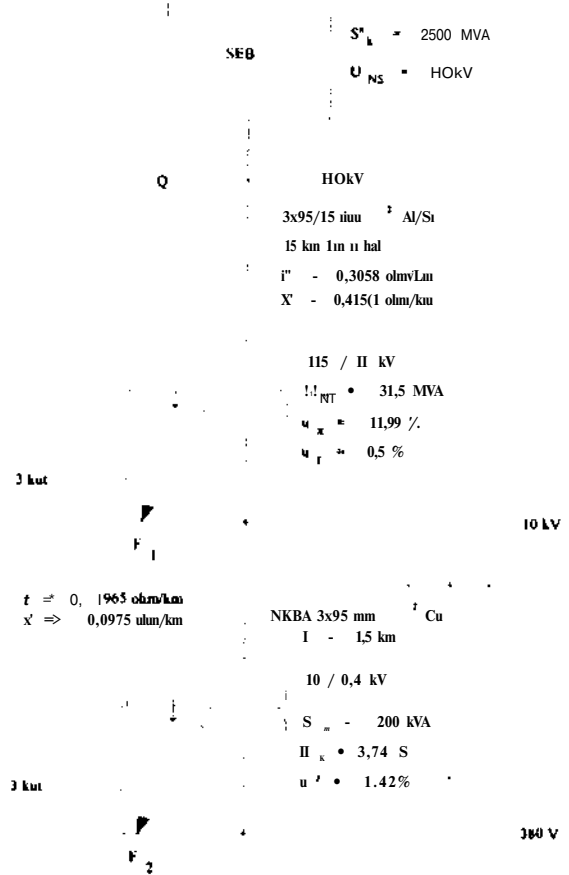
Bilgisayar teknolojisinin hızla gelişmesi, elektrik mühendislerine, kısa devre hesaplamaları için statik hesap yöntemlerinden farklı bir alternatif de beraberinde getirmiştir. Çeşitli tip bilgisayarlar yardımıyla, hata noktasındaki kısa devre akımının değeri, sistemin dinamik cevabı da göz önünde bulundurulur hesaplanabilmektedir. Sistemin tüm zaman sabitleri her hata noktası için hesaplanabilmekte, yük akışı çalışmaları yardımıyla hata öncesi gerilimler dikkate alınabilmektedir. Doğru hesap için atalet sabitlerinin ve regülatörlerin etkisi de göz önüne alınabilmektedir. Eğer bu yapılsa algoritma oldukça karmaşık bir hal alır ki, yapılan çalışma bir kısa devre analizinden çok, bir dinamik kararlılık analizi olarak dikkate alınmak zorundadır. Tahmin edileceği gibi kısa devre akımlarının dinamik hesap yöntemi oldukça fazla veri gerektirir. Dolayısıyla bu yaklaşımın uygulanabilirliği, belirli yazılım paketlerinin, çok ayrıntılı makina ve sistem parametrelerini depolayıp işleyebilmesinde kolaylığa bağlıdır. Açık ki, alçak gerilim motorları gibi sıklıkla kullanılan cihazların tipik parametreleri de bu yöntem için gereklidir.

ÖRNEK ŞEBEKELERDE KISA DEVRENİN DİNAMİK SİMÜLASYONU

Çalışmada üç adet devrenin uluslararası kabul görmüş bir program olan EMTP (Electromagnetic transient program) ile dinamik simülasyonu yapıp bunlardan elde edilen R' ve i_p değerleri, IEC standartından elde edilenlerle kıyaslanmıştır [6],

1. Örnek 1

Şekil 1'deki 10kV/380Vluk şebekede iki farklı kısa devre için, EMTP'de dinamik simülasyon sonucu elde edilen sonuçlar ile IEC 909 standartından bulunan sonuçlarla Tablo.1'de karşılaştırılmıştır.



Şekil 1. örnek 1

F1 ve F2 hatalarında kısa devre akımının zamana göre değişimi Şekil 2 ve Şekil 3' de verilmiştir.

Tablo.1 Karşılaştırma tablosu 1

HATA YERİ	IEC		EMTP	
	i'_k (kA)	i_p (kA)	i'_k (kA)	i_p (kA)
F1	11,15	27,12	10,66	24,45
F2	6,95	13,07	7,10	13,05

Tablo 1'deki karşılaştırma değerleri incelendiğinde sonuçların birbirlerine oldukça yakın oldukları görülmektedir.

2. Örnek 2

Şekil 4'de verilen yüksek gerilim şebekesinde yapılan kısa devre sonucunda, EMTP'de dinamik simülasyon yapılması ile elde edilen sonuçlar IEC 909 standartından bulunan sonuçlarla Tablo 2'de karşılaştırılmıştır [6].

S/-2500 MVA	$S_{N0} = 70$ MVA
SI-U $U_{M'} = 115$ kV	$U_{N0} = 11$ kV
	$U_{N1} \sim 0,27$ p.u.
	11/115 kV
	$S_{NT} = 31,5$ MVA
	$u_x = 11,99$ %
	$u_r = 0,5$ %
	115 kV
	3x95/15 mm ² Al/St
	15 km havai hat
	$r' = 0,1058$ Ohm/km
	$x' = 0,4150$ Ohm/km

F 3 kut

Şekil 4. örnek 2

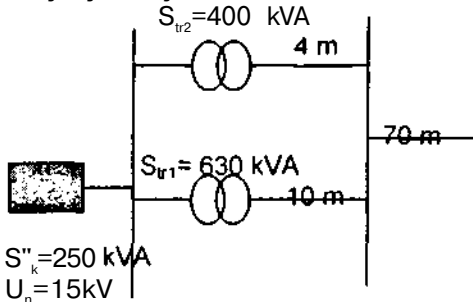
Tablo.2 Karşılaştırma tablosu 2

HATA YERİ	IEC		EMTP	
	I''_k (kA)	I_p (kA)	I''_k (kA)	I_p (kA)
Şebeke	5,67	8,98	4,64	9,06
Generatör	0,57	1,61	0,50	1,41
F	6,24	10,60	5,48	9,55

örnek 2' deki F hatasında kısa devre akımının zamana göre değişimi Şekil 5'de verilmiştir.

3. Örnek 3

Şekil 6'da verilen alçak gerilim şebekesi üç farklı nokta için kısa devre edilmiş, EMTP'de dinamik simülasyon sonucu elde edilen sonuçlar IEC 909 standartından elde edilen sonuçlarla Tablo 3'de karşılaştırılmıştır.



Şekil 6. örnek 3

Tablo.3 Karşılaştırma tablosu 3

HATA YERİ	IEC		EMTP	
	I''_k (kA)	I_p (kA)	I''_k (kA)	I_p (kA)
F1	3297	67 71	33.1	67.51
F2	3251	65.94	3271	65.64
F3	6.71	9.99	6.73	9.55

örnek 3' deki F1 ve F2 hatalarında kısa devre akımının zamana göre değişimi Şekil 7 ve Şekil 8'de verilmiştir.'de verilmiştir.

SONUÇLAR

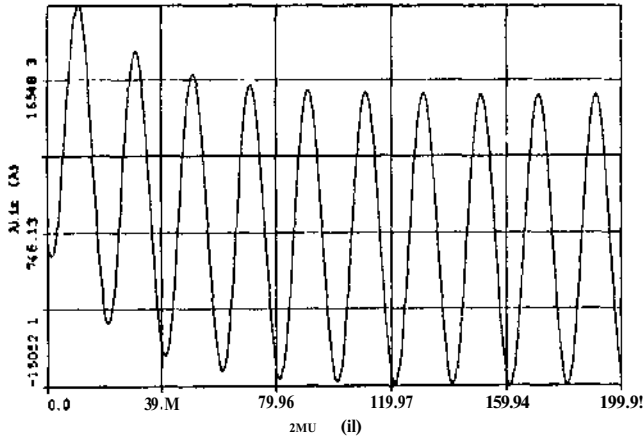
Dinamik kısa devre analizi, elektrik mühendislerini yeni ve çok sağlam temeller üzerine kurulu bir yöntemle karşı karşıya bırakmaktadır. Bilgisayar teknolojisinin her geçen gün gelişmesi, doğruluk derecesinin yöntemden çok kullanılan verilere bağlı olduğu hesap yöntemlerini de beraberinde getirmektedir. Bunun sonucu olarak mühendisler, sistemdeki ekipman hakkında daha doğru ve tanımlayıcı veriler elde etme zorunluluğuyla başbaşıdırlar. Bu şekilde bilgiler bir kez elde edildiğinde veri tabanı şeklinde depolanarak data dosyalarında kullanılabilir. Deneyimler göstermiştir ki dinamik simülasyonun ihtiyaç duyduğu bu karmaşık ve çok yönlü veriler elde edilebilmekte ve bu andan sonra sonuçların elde edilmesi için harcanan zaman standartlara oranla çok daha kısa olmaktadır. Kısaca yapılan çalışma sonucunda;

- EMTP'den bulunan sonuçlar ile IEC 909 Standardından hesaplar sonuçlar arasında memnuniyet verici bir uyum olduğu,
- Büyük şebekelerde kısa devre akımını elle hesaplamak yerine EMTP yardımıyla hesaplamak daha kolay olduğu,
- EMTP ile kısa devre akımının hesaplanması sonucunda, akımın geçici olay sırasındaki davranışını gözlemek mümkün olduğu,
- EMTP ile yapılan hesaplamalarda gözlü şebekelerde asenkron motor katkılarının ve dal akımlarının elde edilmesi standartlara oranla çok daha kolaydır.

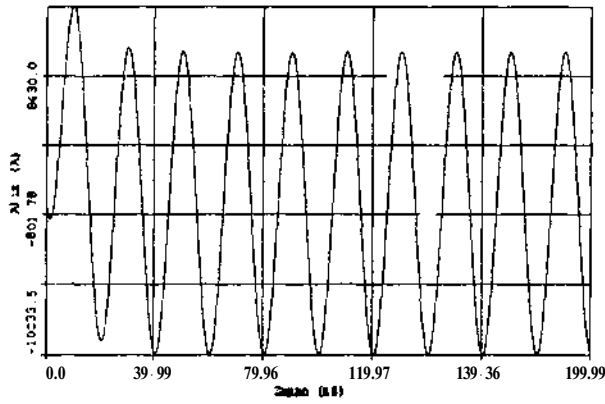
KAYNAKLAR

- CASTELLI-DEZZA, F., ve dig. The IEC Standard and Dynamic Simulation of Short Circuit Currents, ETEP, Vol. 4, No. 3, pp 213-221, (1994)
- EMPEREUR, G., EMTP Rule Book, K.U.Leuven EMTP Center Heverlee, (1991)
- BERIZZI, A., ve dig. Short-Circuit Current Calculation: A Comparison between Methods of IEC and ANSI Standards Using Dynamic Simulation as Reference, IEEE Trans. Ind. App., Vol. 30, No. 4, pp 1099-1106, (1994)
- OLAF, ER., EFTHYMIADIS, A.E., A Comparison of Static and Dynamic Short Circuit Analysis Procedures, IEEE Trans. Ind. App., Vol. 26, No. 3, pp 463-475, (1990)

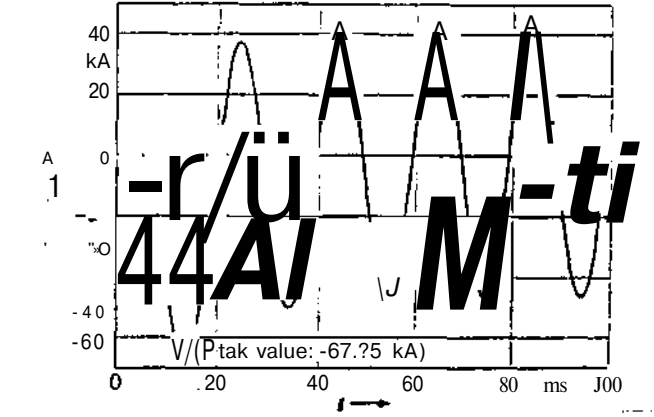
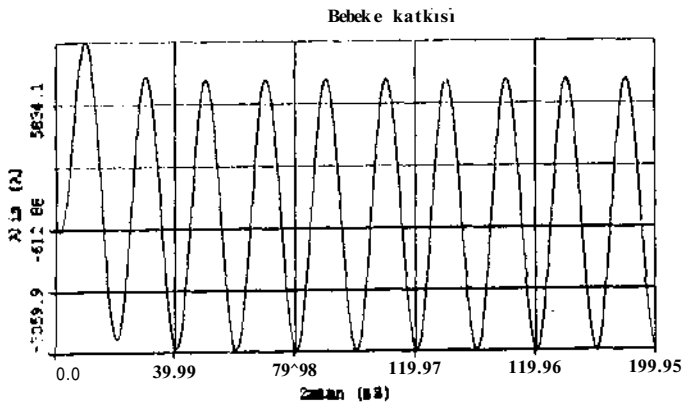
- [5] CONRAD, R.ST.P., Sample System for Three Phase Short Circuit Calculations, IEEE Trans. Ind. App., Vol.26, No. 2, pp 204-211, (1990)
 [6] ÖZDEMİR, A., Dinamik Kısa Devre Analizi, Yüksek Lisans Tezi, (1997).



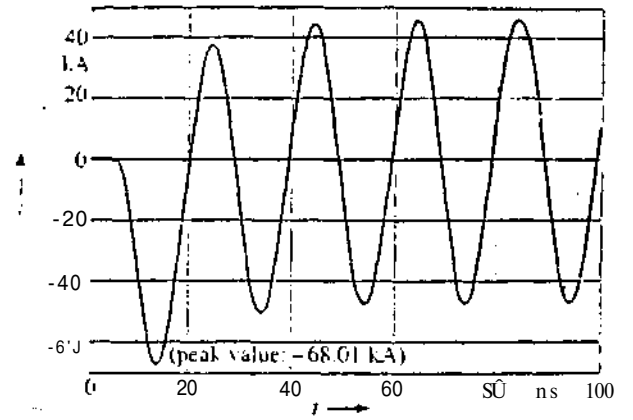
Şekil 2. F1 noktasında kısa devrenin zamana bağlı değişimi



Şekil 3. F2 noktasında kısa devrenin zamana bağlı değişimi



Şekil 7. F1 noktasındaki kısıdevreye şebeke katkısının zamanla değişimi



Şekil 8. F2 noktasındaki kısıdevreye şebeke katkısının zamanla değişimi

Şekil 5. F noktasındaki kısıdevreye şebeke katkısının zamanla değişimi

İLETİM HATLARI GEÇİCİ REJİMLERİNİN HIZLI TERS LAPLACE DÖNÜŞÜMÜ İLE ANALİZİ

M. Salih MAMİŞ ve Muhammet KOKSAL
İnönü Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Müh. Böl.
44100-MALATYA

ABSTRACT: *In this paper, transmission line energization transients are computed by using Fast Inverse Laplace Transform. s-domain transfer function of the system is calculated by using distributed parameter representation of transmission line. For the frequency to time domain conversion Fast Inverse Laplace Transform (FILT) is applied. Comparisons are made between the results obtained by FILT and conventional methods such as conventional Laplace transform and Electromagnetic Transients Program (EMTP).*

1. GİRİŞ

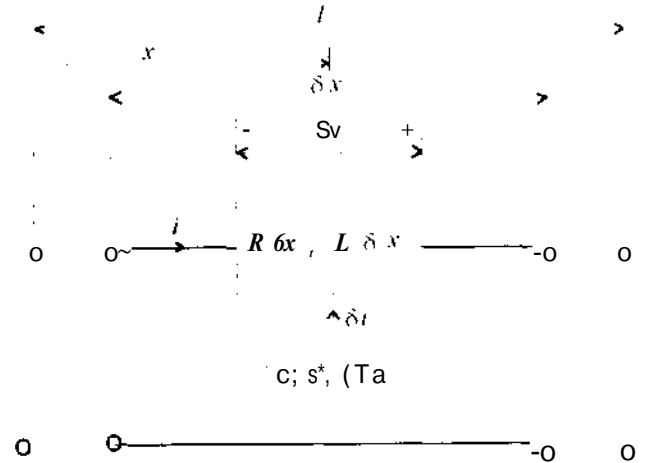
Enerji iletim hatları elektrik sistemlerinin en önemli kısımlarından biridir. Enerji iletim hatlarında, geçici olaylar karşısında oluşan aşırı akım veya gerilimlerin bilinmesi kesicilerin tasarımı, yalıtım derecesinin belirlenmesi ve sistem aygıtlarının korunması için gereklidir.

Enerji tüketimindeki büyüme, iletim geriliminin seviyesini de arttırmayı gerektirmektedir. Bu artışa paralel olarak, enerji iletim sistemlerindeki çeşitli açma-kapama ve arıza ile yıldırım düşmesi durumunda meydana gelen aşırı akım ve gerilimler ile ilgili çalışmalar daha da önemli hale gelmektedir, iletim hatları geçici rejimlerinin analitik olarak hesaplanması sınırlı durumlar için mümkündür. Bilgisayarların yaygınlaşması ile zaman bölgesinde [1,2] ve frekans bölgesinde [3,4] çözüm yapan nümerik metotlar geliştirilmiştir. Ancak, kullanılan nümerik metoda göre değişen çeşitli sınırlamalar mevcuttur. Frekans bölgesi çözümlerinin en önemli özelliği, frekans bağımlı hat parametrelerinin analize dahil edilebilmesidir. Günümüzde bilgisayarların işlem hacmi, hızları ve bellek miktarları hızla artmakta ve bu durum yeni metotların gelişimine olanak sağlamaktadır.

Bu çalışmada enerji iletim hatları geçici rejimlerinin analizi için hızlı ters Laplace dönüşümünün uygulanması üzerinde durulmuştur. Frekans bölgesinden zaman bölgesine geçiş için alışlagelmiş dönüşüm teknikleri kullanılacak olursa, yeterli hassasiyette sonuçların elde edilmesi için geniş bir frekans aralığında ve yüksek sayıda örnekleme ile hesaplama yapmak gerekir. Bu durum bilgisayar zamanının harcanmasına yol açmaktadır. Bu nedenle, yeterli hassasiyeti sağlamak koşulu ile bilgisayar zamanını azaltmak için hızlı dönüşüm tekniği kullanılmıştır.

2. İLETİM HATTI UÇ DENKLEMLERİ VE HIZLI TERS LAPLACE DÖNÜŞÜMÜ

İletim hatları dağıtık parametrelili sistemlerdir. Hattın elektriksel parametreleri r , l , g ve c (direnc, endüktans, geçirgenlik ve kapasite) hat üzerinde homojen olarak dağılmışlardır. İletim hattına ait bir bölüm Şekil 1'de görülmektedir. Bu şekilde R , L , G ve C birim boya düşen r , l , g ve c 'nin değerleridir.



ŞEKİL 1: İletim hattı.

Tek fazlı iletim hattının kalıcı durumdaki akım ve gerilim ilişkisini sağlayan kısmi diferansiyel eşitlikleri

$$-\frac{dv}{dx} = zi \quad (1a)$$

$$-\frac{di}{dx} = yv \quad (1b)$$

şeklinde. Burada $z=R+sL$ birim uzunluktaki seri empedansı ve $y=G+sC$ de birim uzunluktaki şönt admitansı ifade etmektedir. (1.a) ve (1.b)'nin x'e göre türevleri alınır

$$\frac{d^2v}{dx^2} = zyv \quad (2a)$$

$$\frac{d^2i}{dx^2} = yzi \quad (2b)$$

elde edilir. Bu eşitliklerin uç gerilim ve akımları için s-domeynindeki çözümü [5]

$$V_s = V_R \cosh \gamma l + I_R Z_0 \sinh \gamma l, \quad (3a)$$

$$I_s = I_R \cosh \gamma l + V_R Z_0^{-1} \sinh \gamma l, \quad (3b)$$

şeklinde. (3)'de ki R ve S hattın alıcı ve gönderici uçlarını temsil ederler. $Z_0 = \sqrt{yz} / y$

karakteristik empedans ve $y = \hat{\gamma} / zy$ de propogasyon sabiti olarak tanımlanmıştır, iletim hattı çok fazlı ise, (1)'deki z ve y, sırayla seri empedans matrisi Z ve şönt admitans matrisi Y ile değiştirilir. Fazlar arasındaki bağımlılık simetrik bileşenler kullanılarak kaldırıldıktan sonra [6] her bileşen için tek fazdaki gibi ayrı çözüm yapılır.

Nümerik ters Laplace dönüşümü için Hosono tarafından geliştirilen FILT (Fast Inverse Laplace Transform) kullanılmıştır [7]. Genel olarak bu teknik ile F(s)'in ters Laplace dönüşümü olan f(t)'nin hesaplanması için

$$f^{kp}(t,a) = (e^a/t) \left[\sum_{n=1}^{k-1} F_n + (1/2^{p+1}) \sum_{n=0}^p A_{pn} E_{k-n} \right] \quad (4)$$

eşitliği kullanılır. Bu denklemde F_n ve A_{pn} ,

$$F_n = (-1)^n \text{Im} F \{ [a + Xn - (.5)7\bar{u}] / t \} \quad (5)$$

$$A_{pp} = 1, \quad A_{pn-1} = A_{pn} + \binom{p+1}{n} \quad (6)$$

şeklinde tanımlanmış olup $a \gg 1$ 'dir. FILT ile ilgili ayrıntılar [7]'de bulunmaktadır.

3. UYGULAMA

Örnek 1- Bu örnekte tek fazlı bir iletim hattına birim basamak gerilimi uygulandıktan sonra hat sonu gerilimleri alışlagelmiş FILT ve Laplace dönüşümü ile hesaplanmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Hat, 50 mH değere sahip bir endüktans ile sonlandırılmış olup, her iki yöntem kullanılarak hesaplanan hat sonu gerilimleri Şekil 2'de görülmektedir. FILT için (4)'deki denklemde $a=6$, $k=100$ ve $p=20$ olarak alınmıştır. Alışlagelmiş Laplace dönüşümü için $m_{\max}=200000$ rad/s ve örnekleme frekansı $\omega=50$ rad/s olarak alınmıştır.

Bu sonuçları elde etmek için harcanan bilgisayar zamanları Tablo 1'de verilmiştir. FILT'in alışlagelmiş Laplace dönüşümüne oranla yaklaşık 15 kat daha hızlı olduğu görülmektedir.

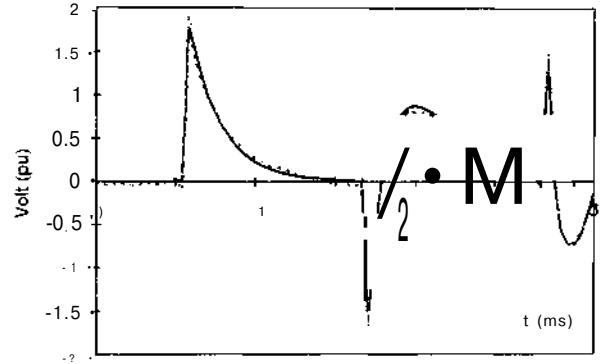
Örnek 2- Bu örnekte, uygulama olarak 3 fazlı, 380 kV'luk [8] bir iletim hattına enerji verilmesi durumunda meydana gelen geçici gerilimler incelenmiştir. Sinüzoidal kaynağın 50 mH seri endüktansa sahip olduğu varsayılmıştır. FILT kullanılarak elde edilen hat başı ve hat sonu gerilimleri Şekil 3'te görülmektedir. Aynı örnek EMTP (Electromagnetic Transients Program) ile çalışılmış ve elde edilen sonuçların A fazı geriliminin karşılaştırılması Şekil 4'te gösterilmiştir. Bu sonuçları her iki metotla elde etmek için harcanan bilgisayar zamanları Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1: Bilgisayar hesaplama zamanları.

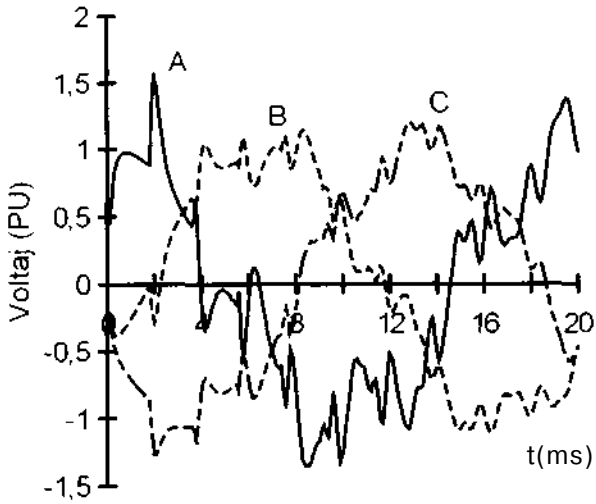
Metot	Hesaplama Zamanları
Alışlagelmiş Laplace dönüşümü	2.56 dak.
FILT	12 s.

Tablo 2: Bilgisayar hesaplama zamanları.

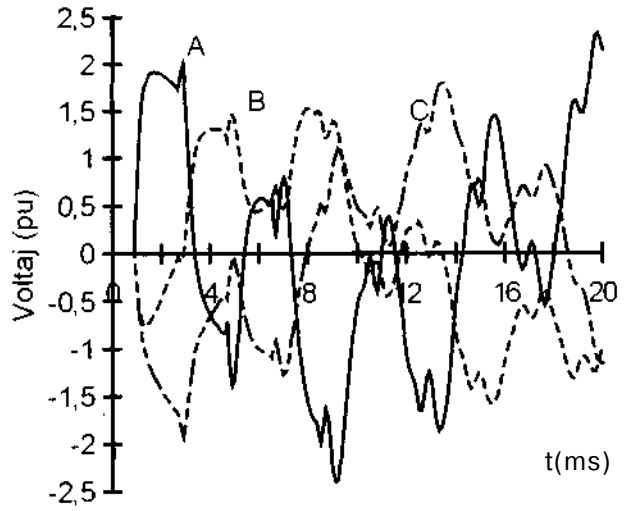
Metot	Hesaplama Zamanları (s)
EMTP	13.0
FILT	10.3



ŞEKİL 2: İletim hattının birim basamak fonksiyonu cevabı:
 —:FILT,
 - - - - : Alışlagelmiş Laplace dönüşümü sonuçları.

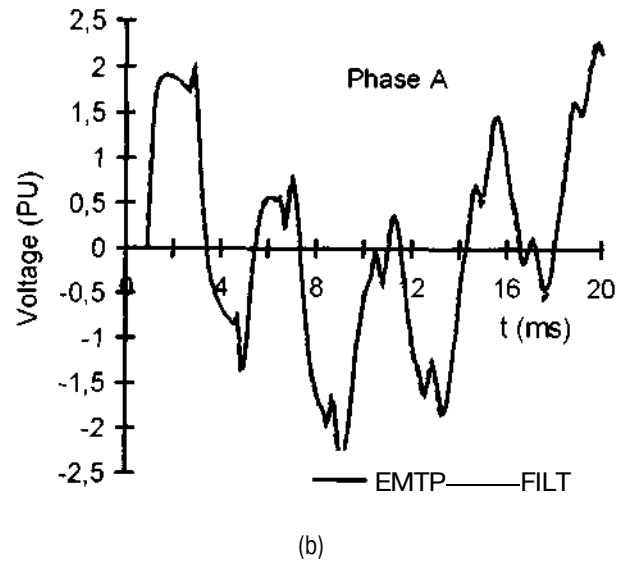
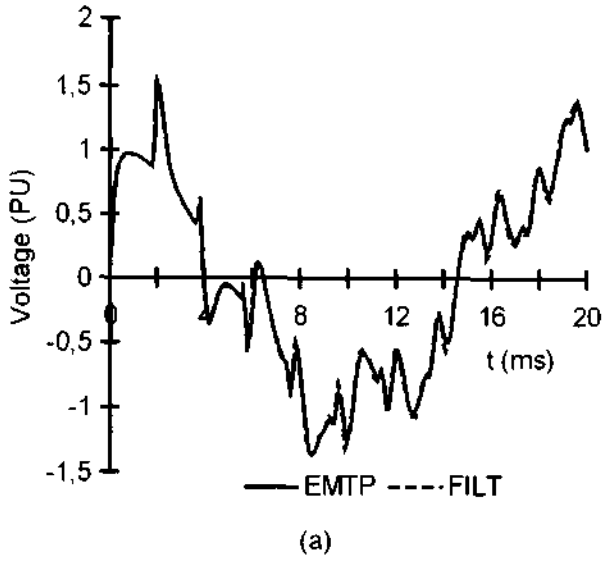


(a)



(b)

ŞEKİL 3: Üç fazlı iletim hattına enerji verilmesi; a) hat başı, b) hat sonu geçici gerilimleri.



ŞEKİL 4: A fazı için EMTP ve FILT sonuçlarının karşılaştırması; a) hat başı, b) hat sonu gerilimleri.

4. SONUÇ

Enerji iletim hatlarına enerji verilmesi esnasında meydana gelen geçici gerilimlerin hesaplanması için hızlı ters Laplace dönüşümü (FILT) uygulanmıştır. FILT ile alışlagelmiş Laplace dönüşümü ve EMTP ile elde edilen sonuçlar arasında yapılan karşılaştırmada, FILT'in bilgisayar zamanı açısından ve doğruluk derecesi yönünden elverişli olduğu tespit edilmiştir. Hat parametrelerinin frekans bağımlılığının analize dahil edilmesi gelecek çalışması olarak düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] H. W Dommel. "Digital Computer Solution of Electromagnetic Transients in Single and Multiphase Networks", *IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems*, Vol. PAS-88, No. 4, pp. 388-399, 1969.
- [2] M. S. Mamiş and M. Koksal, "Some Renovations in Transient Analysis of Transmission Lines by State-Space Techniques", *Mathematical and Computational Applications*, Vol. 1, No. 1, pp. 181-190, 1996.
- [3] P. Moreno, R. Rosa, and J. L. Naredo, "Frequency Domain Computation of Transmission Line Closing Transients", *IEEE Trans. on Power Delivery*, Vol. 6, No. 1, pp. 275-281, 1991.
- [4] A. S. Al Fuhaid, and M. M. Saied, "A Method for the Computation of Fault Transients in Transmission Lines", *IEEE Trans. on Power Delivery*, Vol. 3, No. 1, pp. 288-297, 1988.
- [5] A. Greenwood, *Electrical Transients in Power Systems*, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1971.
- [6] D. E. Hedman, "Propagation on Overhead Transmission Lines I-Theory of Modal Analysis", *IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems*, Vol. PAS-84, pp. 200-205, 1965.
- [7] T. Hosono, "Numerical Inversion of Laplace-Transform and Some Applications to Wave Optics", *Radio Science*, Vol. 16, pp. 1015-1019, 1981.
- [8] F. Iliceto, E. Cinieri and A. Di Vita, "Overvoltages due to Open-Phase Occurrence in Reactor Compensated EHV Lines", *IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems*, Vol. PAS-103, No. 3, pp. 474-482, March 1984.

FREKANS BAĞIMLI İLETİM HATLARI İÇİN TOPLU PARAMETRELİ BİR MODEL

M. Salih MAMİŞ ve Muhammet KOKSAL
İnönü Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Müh. Böl.
44100-MALATYA

ABSTRACT: *An equivalent lumped parameter model for frequency dependent transmission lines is developed. The frequency dependent parameter r (series resistance per unit length of power transmission line) is represented by an equivalent circuit. This resistance model is used in the representation of transmission line constructed by lumped parameter L-sections. Developed model makes it available the computation of transients on frequency dependent transmission lines by computer programs such as PSPICE or EMTP.*

1. GİRİŞ

İletim hatlarının seri parametreleri yüksek oranda frekans bağımlı olduğundan, geçici rejimlerin hassas olarak hesaplanması için, bu parametrelerin frekans bağımlılığının da analize dahil edilmesi gerekir. Laplace ve Fourier dönüşümü gibi frekans bölgesi metotlarında frekans bağımlılığı doğrudan hesaplamalara dahil edilebilmekle beraber [1,2], zaman bölgesi metotlarının anahtarlama durumları ve lineer olmayan elemanların bulunduğu sistemlerdeki geçici rejimlerin analizindeki üstünlerinden dolayı [3,4], hatların frekans bağımlılığının zaman domeninde modellenmesi her zaman önem arz etmektedir [5-9].

Önerilen teknik, hattın seri direncinin diğer parametrelerden ayrı olarak düşünülüp, frekans bağımlılığının toplu parametreler ile modellenmesi temeline dayanmaktadır. Kullanılan hat direnci modeli, Al-Ghuwainem tarafından EMTP için

uyarlanmış olup [9], iletim hattının parçalara bölünerek aralara bu direncin eşdeğer devresinin yerleştirilmesinden oluşmaktadır. Burada yapılan çalışmada ise, dağınık parametrelili iletim hattı yerine toplu parametrelerden oluşan eşdeğer devreler kullanılmıştır. Modelin tamamen toplu parametrelerden oluşması, hattın PSPICE ve EMTP gibi toplu parametrelili devrelerde çözüm yapabilen programlar ile analizini sağlamaktadır.

2. FREKANS BAĞIMLI İLETİM HATTI MODELİ

Üç fazlı dengeli bir enerji iletim hattının temel bileşenlerine ayrıldıktan sonra, düşük ve orta frekanslarda, yalnızca sıfır bileşenin seri parametreleri frekans bağımlıdır.

Toprağın iletim hattı empedansına olan etkisi kompleks derinlik

$$P = \frac{1}{\sqrt{j\omega\mu_0k}} \quad (1)$$

tanımı kullanılarak yazılabilmektedir [10]. Faz empedans matrisinin elemanları

$$Z_{ii} = R_i + \frac{j\omega\mu_0}{2\pi} \ln \frac{2(h_i - j\xi)}{r_e} \quad a/m, \quad (2)$$

$$Z_{ij} = \frac{j\omega\mu_0}{2\pi} \ln \frac{\sqrt{(h_i + h_j + 2p)^2 + d_{ij}^2}}{\sqrt{(h_i - h_j)^2 + d_{ij}^2}} \quad 12/m, \quad (3)$$

şeklinde tanımlanmış olup; h_1 ve h_2 iletkenlerin topraktan yüksekliği, d_{12} iletkenler arasındaki yatay uzaklık ve r_e iletkenin dış yarıçapıdır.

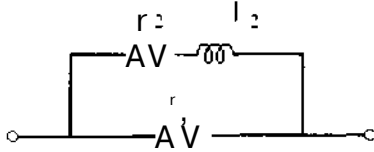
Simetrik bir sistemde sıfır bileşeni

$$Z_{01} = Z_s + 2Z_M \quad (4)$$

eşitliği ile ifade edilir ve burada Z_s şelf empedans, Z_M 'de kuplaj empedansdır.

iletim hattının seri empedansının seri hat direnci (r) ve endüktans (l) frekans bağımlıdır. Ancak r 'nin frekans bağımlılığı daha etkindir. Paralel kapasitans c normal olarak sabittir ve dielektrik kayıp g birçok pratik uygulama için ihmal edilebilir sevedir.

l ve c 'nin sabit olduğu varsayılarak, frekans bağımlı hat direnci yerine basit bir r , l devresi kullanılmıştır. Frekans bağımlı hat direnci yerine kullanılan eşdeğer devre Şekil 1'de görülmektedir. Devre basit olup, bir çok iletim hattı geçici rejimlerinin hesabı için kullanılabilir.



ŞEKİL 1. Frekans bağımlı direnç eşdeğer devresi.

Şekil 1'deki modelin birim uzunluk eşdeğer seri direnci

$$r_m(\omega) = \frac{r_1 r_2 (r_1 + r_2) + r_1^2 \omega^2 l_2^2}{(r_1 + r_2)^2 + \omega^2 l_2^2} = \frac{a + b\omega^2}{c + d\omega^2} \quad (5)$$

ile bulunur. $r(r_1)$, ω 'nın ayırık değerleri için alışlagelen metotlar ile hesaplandıktan sonra, enküçük kareler yaklaşımı veya asimtotik yaklaşım

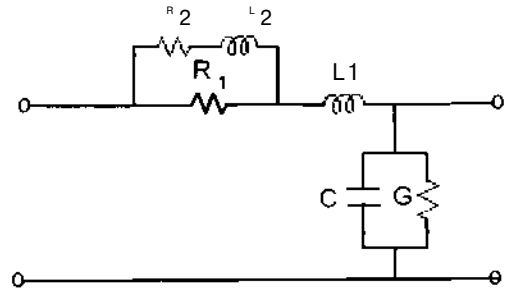
teknikleri kullanılarak (5)'deki rasyonel fonksiyondaki a, b, c ve d katsayıları bulunur.

Şekil 1'deki modelin eşdeğer seri endüktansı

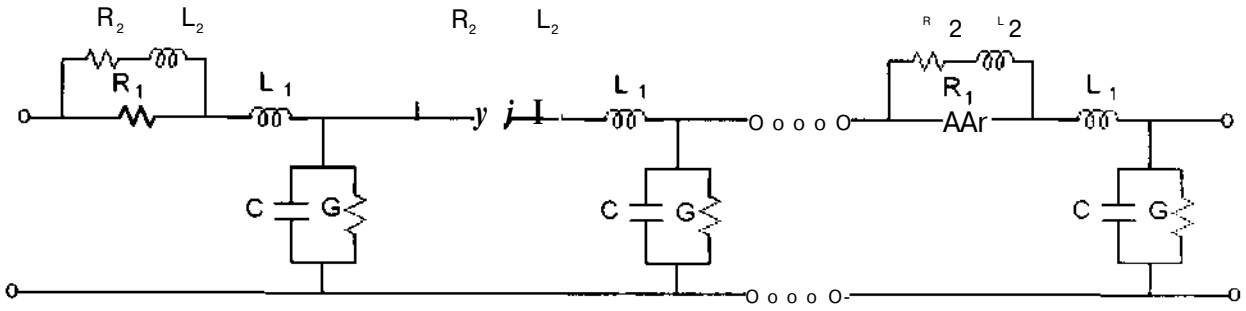
$$l(\omega) = \frac{l_2 r_1^2}{(r_1 + r_2)^2 + \omega^2 l_2^2} \quad (6)$$

olup, l ile karşılaştırıldığında küçük olduğundan ve ω 'nın özellikle büyük değerlerinde ihmal edilebildiğinden yaklaşık olarak $l_2 r_1^2 / (r_1 + r_2)^2$ ile değiştirilip l ile birleştirilebilir.

iletim hattı gerçekte dağılık parametrelidir olduğundan, hattı toplu parametreler ile modellemek için çok sayıda toplu parametrelidir eşdeğer devreyi kaskad olarak bağlamak gerekir. Bu eşdeğer devreler alışlagelmiş T, n veya L şeklinde olabilir [4]. Bir eşdeğer devrenin frekans bağımlılığını ifade etmek için, hattın dağılık parametreliliğini ifade etmekte kullanılan alışlagelmiş eşdeğer devredeki direnç yerine Şekil 1'de görülen devre bağlanmıştır. Şekil 2'de bir eşdeğer devreye ait L-modeli görülmektedir. L-eşdeğer devresi kullanılarak oluşturulan iletim hattı modeli de Şekil 3'de görülmektedir. Benzer şekilde T ve pi eşdeğer devreler kullanılarak değişik iletim hattı modelleri elde edilebilir.



ŞEKİL 2. İletim hattı frekans bağımlı L-modeli.



ŞEKİL 3: L-model ile oluşturulan frekans bağımlı iletim hattı eşdeğer devresi.

3. UYGULAMA

Örnek olarak 100 km uzunluğunda 3-fazlı 500 kV'luk bir sistem ele alınmış ve hattın sıfır bileşeninin birim basamak alıcı uç gerilimleri hesaplanmıştır. Hızlı ters Laplace dönüşümü FILT [11] ile hattın sabit 60 Hz parametreleri kullanılarak hesaplanan hat sonu gerilimi Şekil 4'te verilmiştir.

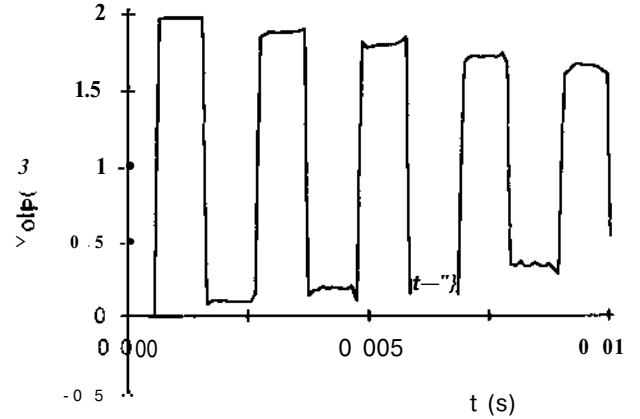
Aynı örnekte hat sonu gerilimleri hattın frekans bağımlılığı da hesaba katılarak önerilen hat modeli ile PSPICE kullanılarak çözülmüştür. Bu hat için, $1^{\wedge} = 17$ U/km, $R_2=0.466$ a/km ve $L_2=1.44$ mH/km olarak hesaplanmış olup, hattı toplu parametreler ile temsil etmek için kullanılan eşdeğer L-devresi sayısı 16'dır. Elde edilen sonuçları karşılaştırmak için aynı örnek FILT ile de çalışılmıştır; bu metotta kullanılan hat modeli dağınık parametrelidir olup, hattın hem direnç hem de endüktansı frekans bağımlıdır. Her iki metoda ait sonuçların karşılaştırılması Şekil 5'de görülmektedir. Önerilen teknikte bulunan sonuçlardaki hassasiyet, toplu parametre modelinde kullanılan eşdeğer devre sayısı yükseltilecek daha da artırılabilir.

Yukarıdaki bulguların karşılaştırılması sonucunda;

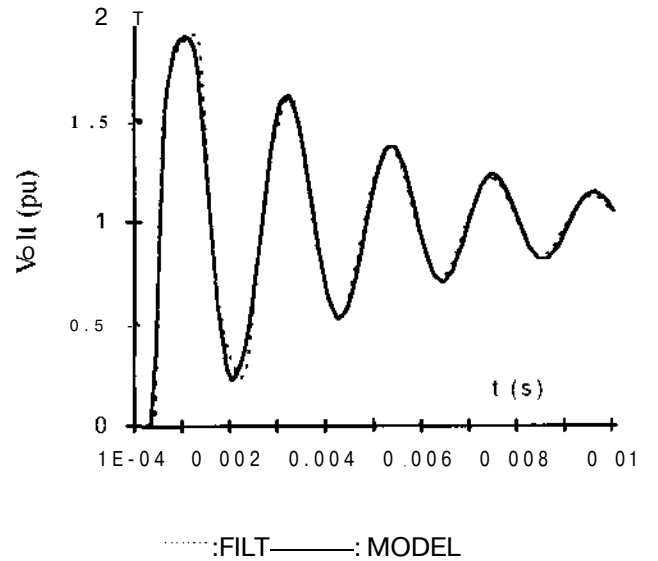
- Sadece seri direncin frekans bağımlılığı göz önüne alındığında ve önerilen eşdeğer devre kullanıldığında bulunan sonuçlar ile hem seri direncin hem de seri endüktansın dikkate alındığı durumlar arasında önemli bir fark olmadığı

- Seri direnç için kullanılan eşdeğer devrenin, toplu parametreler yöntemi ile hattın analizi için de yeterince hassas ve doğru sonuçlar veren bir gösterim olduğu

- Dolayısıyla toplu parametreler yönteminin hat parametrelerinin frekans bağımlı olmaları durumları için de rahatlıkla kullanılabileceği ortaya çıkmaktadır.



ŞEKİL 4: Sabit parametreler kullanılarak hesaplanan birim basamak cevabı (hat sonu gerilimi).



ŞEKİL 5: Geliştirilen model kullanılarak PSPICE ve FILT ile hesaplanan sonuçların karşılaştırması.

4. SONUÇ

Sonuç olarak, enerji iletim hattının frekans bağımlı seri direnci yerine r-l eşdeğer devresi kullanılarak, frekans bağımlı enerji iletim hatları için toplu parametrelerden oluşan bir model geliştirilmiştir. Geliştirilen model tamamen toplu parametrelerden oluşturulduğundan, durum uzayı tekniklerini kullanan metotlar ile PSPICE ve EMTP gibi programlarda geçici rejimleri hassas olarak hesaplamak mümkün olmaktadır. Frekans bağımlı hat endüktansının benzer şekilde modellenerek, önerilen modele uyarlanması üzerindeki çalışmaları halen devam etmektedir.

Ayrıca lineer ve frekans bağımlı parametreler içermeyen iletim hatları için toplu parametreler metodunu kullanarak geliştirilmiş durum ve çıkış denklemlerini ve çözümlerini hattın global parametrelerinden ve bölüntü sayısından doğrudan hesaplayan ve kullanıcıya önemli kolaylıklar sağlayan LPTLAP [12] programının, burada anlatılan frekans bağımlı modelini kullanarak doğrudan -frekans bağımlı hatların analizi için de kullanılabilmesi ortaya çıkmıştır. Bu yöndeki çalışmalar da bu sununun bir devamı olarak yürütülecektir.

KAYNAKLAR

- [1] P. Moreno, R. Rosa, and J. L. Naredo, "Frequency Domain Computation of Transmission Line Closing Transients", *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 6, No. 1, pp. 275-281, 1991.
- [2] J. P. Bickford, J. V. H. Sanderson, M. M. Abdelsalem, and S. E. T. Mohamed, "Developments in the Calculations of Waveforms and Frequency Spectra for Transient Fault Currents and Voltages", *IEE Proc*, Vol. 127, No. 3, pp. 145-152, May 1980.
- [3] H. W. Dommel, "Digital Computer Solution of Electromagnetic Transients in Single and Multiphase Networks", *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, Vol. PAS-88, No. 4, pp. 388-399, 1969.

- [4] M. S. Mamiş, and M. Köksal, "Some Renovations in Transient Analysis of Transmission Lines by State-Space Techniques", *Mathematical and Computational Applications*, Vol. 1, No. 1, pp. 181-190, 1996.
- [5] A. Budner, "Introduction of Frequency Dependent Line Parameters into an Electromagnetic Transients Program", *IEEE Trans.*, PAS-89, pp. 88-97, 1970.
- [6] J. R. Marti, "Accurate Modelling of Frequency-Dependent Transmission Lines in Electromagnetic Transient Simulation", *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, Vol. PAS-101, No. 1, pp. 147-157, Jan. 1982.
- [7] L. Marti, "Low-Order Approximation of Transmission Line Parameters for Frequency-Dependent Models", *IEEE Trans. Power Apparatus and Systems*, Vol. PAS-102, pp. 3582-3589, 1983.
- [8] A. Semlyen and A. Deri, "Time-Domain Modelling of Frequency-Dependent Three-Phase Transmission Line Impedance", *IEEE Trans. Power Apparatus and Systems*, Vol. PAS-104, pp. 1549-1555, 1986.
- [9] S. M. Al-Ghuwainem, "Time-Domain Modelling of Frequency-Dependent Three-Phase Transmission Line Resistance", *Electric Machines and Power Systems*. Vol. 19, No. 1, pp. 115-124, 1991
- [10] A. Deri, et al., "The complex Ground Return Plane, A Simplified Model for Homogeneous and Multi-Layer Earth Return", *IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems*, Vol. PAS-100, No. 8, pp. 3686-3693, August 1981.
- [11] T. Hosono, "Numerical Inversion of Laplace-Transform and Some Applications to Wave Optics", *Radio Science*, Vol. 16, pp. 1015-1019, 1981.
- [12] M. S. Mamiş, Steady-State and Transient Analysis of Power Transmission Lines by Using State-Space Techniques, A Ph. D. Thesis, University of Gaziantep, Gaziantep, March 1997.