

# Ulusal Elektrik Şebekelerinin Avrupa Kıtası Odaklı Entegrasyonu Kapsamında Karşılaşılan Büyük Ölçekli Sistem Sorunları

Alper Bulut<sup>1</sup>

Nazif Hülâgu Sohtaoğlu<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Elektrik Mühendisliği Programı, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, Maslak, 34469 İstanbul

<sup>2</sup> Elektrik Mühendisliği Bölümü, Elektrik-Elektronik Fakültesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Maslak, 34469 İstanbul

<sup>1</sup>e-posta: [abulut@gmail.com](mailto:abulut@gmail.com)

<sup>2</sup>e-posta: [nazif@elk.itu.edu.tr](mailto:nazif@elk.itu.edu.tr)

## Özetçe

Küreselleşme süreci ile birlikte ulusal elektrik şebekelerinin birbirlerine bağlanmasıyla, büyük ve karmaşık sistemler ortaya çıkmaktadır. Avrupa Birliği, mevcut enterkonekte sistemini genişletmek ve ortak şebeke içinde oluşturulan elektrik piyasasını geliştirmek, derinleştirmek amacı doğrultusunda çeşitli politikalar uygulamaktadır. Enterkonekte enerji sistemleri, hem arz güvenliğinin sağlanması hem de maliyetlerin düşürülmesi yönünde, ülkelere farklı düzeylerde yararlar sağlayabilmektedir. Ancak, enterkonekte sistemlerin büyümesine paralel olarak yük akışının ve tüketici sayısının artması bir takım sorunları beraberinde getirmektedir. Elektrik enerjisinin karakteristik özelliklerinden dolayı, şebekeler büyüdükçe sistemlerin zayıf yönleri belirgin olarak ortaya çıkmakta, meydana gelen sistem sorunları çok geniş alanları ve büyük kitleleri etkileyebilmektedir. Bu çalışma kapsamında, AB'nin elektrik enterkonekte şebeke politikaları, UCTE'nin bugünkü durumu ve gelişimi hakkında bilgiler verilmiş, enterkonekte sistemlerin boyutlarının büyümesine bağlı olarak şebekelerde karşılaşılan sorunlar vurgulanmış, 28 Eylül 2003 tarihindeki İtalya sistem çökmesi ve 4 Kasım 2006 tarihinde gerçekleşen UCTE elektrik kesintisini kapsayan örnek olaylar ayrıntılı incelenmiş, gözlenen zayıflıkların iyileştirilmesi ve/veya olası bir sistem çökmesinin etkilerini azaltmak için alınması zorunlu önlemler açıklanmıştır.

## 1. Giriş

Sanayi ve hizmet sektörlerini ulusal ve uluslararası rekabet ortamında sekteye uğratmamak, toplumsal refahı sürdürülebilir kılmak için kesintisiz elektrik enerjisi arzı sağlanmalıdır. Elektrik üretim birimleri, iletim sistemi veya koruma elemanlarında oluşan sorunlar ve/veya arızalar ile elektrik arzının talebi karşılayamaması durumunda, büyük kitleleri etkileyen elektrik enerji sistemi çökmeleri, yani arz kesintisi yaşanabilmektedir. Elektrik enerji sistemi çökmeleri, şebekelerin ilk olarak yerel üretim ve tüketim yapısında kurulmaya başlandığı yıllardan, günümüzde uluslararası entegre sistem yapısının hakim olduğu sürece kadar devam etmiştir.

Elektrik enerji şebekelerinin ilk kuruluş evresinde, birbirinden ayrıık yerel üretim ve dağıtım sistem yapısı mevcutken, elektrik tüketiminin artması ile birlikte bu yapıdan kaynaklanan, arz-talep dengesi, maliyet ve verimlilik gibi elektrik şebekelerinin işletilmesinde büyük öneme sahip

olan etmenleri iyileştirebilmek için ulusal entegre sistem yapısına geçilmiştir. Küreselleşme süreci ile birlikte, özellikle gelişmiş ülkelerin elektrik şebekeleri birbirine bağlanarak büyük ve karmaşık sistemler ortaya çıkmış, elektrik alışverişleri büyük boyutlara ulaşmıştır. Uluslararası enterkonekte şebekeler, özellikle Kuzey Amerika ve Avrupa'da, çok büyük boyutlara ulaşmıştır. Avrupa Birliği (AB), mevcut enterkonekte sisteme Baltık ülkeleri ile Akdeniz havzasını da ekleyerek daha da genişletmek ve oluşturulmuş olan ortak pazarı daha da geliştirmek amacı doğrultusunda değişik girişimlerde bulunmaktadır.

Elektrik enerji sistemlerinin entegrasyonu ile iklimsel ve mevsimsel etmenlerden kaynaklanan talep artışına arz olarak cevap verebilmek, elektrik arzında enerji çeşitliliğini sağlamak, sistem operatörlerinin müşterek desteği ile sistem güvenilirliğini sürdürülebilir kılmak, rüzgar-güneş-hidrolik gibi birincil enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretiminde kullanımını yaygınlaştırarak, ticaretini mümkün kılmak, rezervleri paylaşarak kurulu güç gereksinimini azaltmak, elektrik piyasasında rekabetçi bir ortamın yaratılabilmesi hedeflenmektedir.

Uluslararası enterkonekte sistemlerin kurulmasıyla birlikte arz güvenliği artmış ve şebekelerde sık sık meydana gelen elektriksel dalgalanmalara daha etkin müdahale edilerek elektrik enerjisinin kalitesi artırılmıştır. Her ne kadar uluslararası entegre sistemlerin gelişmesiyle birlikte meydana gelen çökme olayları azalmış olsa da, tüketici sayısının artması ve günümüzde elektrik enerjisinin hayatın her alanına girmiş olması, meydana gelen sistem çökmelerinin daha geniş alanları etkilemesine ve bağlı olarak büyük ekonomik kayıplara yol açmaktadır. Sistemin yapısı büyüdükçe, güç transferlerinin artması, yük akışında uzun iletim hatlarının kullanılması, iletim hatlarının fazla yüklenmesi, artan talebi karşılamak için yedek rezervlerin sürekli işletmede kalmaları, şebekenin kararlılık limitleri içinde işletilmesi ve operatörler arası koordinasyon eksikliği enterkonekte sistemleri zayıflatan etkenlerin başında gelmektedir.

Tarihsel süreçte geniş coğrafyaları etkileyen, ekonomik ve sosyal maliyetleri çok yüksek olan enterkonekte sistem çökmeleri yaşanmıştır. Örneğin, 14 Ağustos 2003 tarihinde 50 milyon insanın etkilendiği Kuzey Amerika sistem çökmesinin ekonomiye maliyetinin 4-10 milyar USD arasında olduğu tahmin edilmektedir. Buna ilaveten, Amerika ile enterkonekte olan Kanada'da ise, üretim kaybı 2,3

milyar CAD civarındadır. 23 Eylül 2003 tarihinde, 4 milyon insanın etkilendiği İsveç-Danimarka sistem çökmesinin ekonomiye maliyeti 310 milyon USD iken, farklı bölgelerden 55 milyon kişinin etkilendiği 28 Eylül 2003 tarihinde İtalya'da meydana gelen sistem çökmesinin ekonomik maliyeti yaklaşık olarak 139 milyon USD'dir. 4 Kasım 2006 tarihinde Almanya merkezli oluşan dalgalanmalarda tüm UCTE etkilenmiş ve şebekeye bağlı pek çok ülkede 15 milyon insan elektrik kesintileri yaşamıştır [1,2].

## 2. AB kapsamında elektrik piyasalarının entegrasyonu

Avrupa Birliği kapsamında enterkonekte şebekelerin kurulma amacı, bölgedeki farklı birincil enerji kaynaklarıyla, ülkelerin elektrik üretiminin kaynak çeşitliliğine olanak sağlaması, iklimsel veya dönemsel olarak değişiklikler gösterebilecek olan kaynakların çeşitlendirilerek, elektrik enerjisinde arz güvenliğinin artırılması, bölgenin ihtiyacı olan toplam elektrik kapasitesinin, ülkeler ayrımındaki toplamından daha düşük olması sebebi ile elektrik kurulu güç gereksiniminin düşürülmesi, piyasayı devletin tekel olduğu konumdan, yatırımcı sayısının fazla olduğu ve rekabet kurallarının uygulandığı piyasaya dönüştürerek, elektrik fiyatlarının düşmesinin sağlanmasıdır [3]. AB içinde enterkonekte şebekelerin gelişimini sürdürülebilir kılmak için Avrupa Parlamentosu (AP) ve Konseyi yıllardır değişik yönergeler yayınlamış ve düzenlemeler getirmiştir.

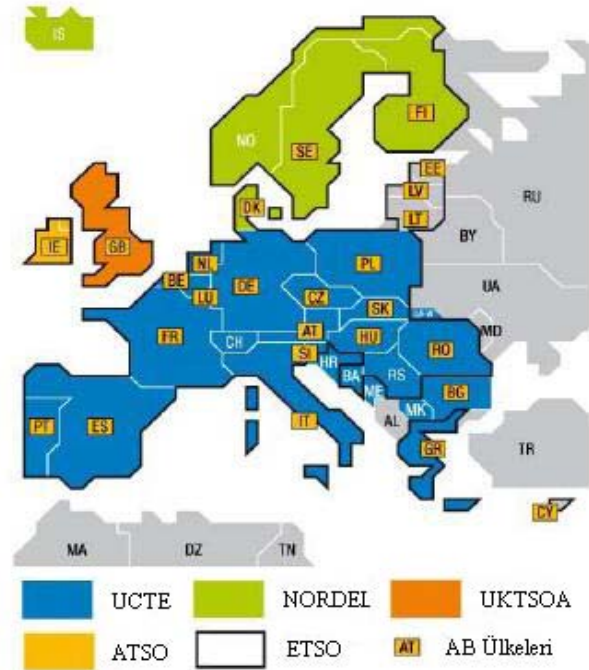
Avrupa Parlamentosu'nun 26 Haziran 2003 tarihli 2003/54/EC yönergesi ile elektrik iç pazarına ilişkin ortak kurallar konmuştur. Bu yönerge, elektrik üretim, iletim ve dağıtım için genel kuralları belirlemektedir. Bu kapsamda elektrik sektörünün yapısal organizasyonu ve işlevi, pazara giriş, yatırımcıların ilgisini artırmak için uygulanabilir ölçütler ve işlemler ile sistemin işletilmesi ile ilgili kuralları açıklamaktadır. Yönerge ile hedeflenen, rekabetçi, güvenli ve çevresel olarak sürdürülebilir elektrik piyasası meydana getirmektir. Bu amaç doğrultusunda üye ülkelerde, kamu sektörü yükümlülüklerinin belirlenmesi ve tüketicinin korunması, yeni kapasiteler için yapılması gereken yatırım, iletim ve dağıtım sistemi operatörlerinin belirlenmesi ve sorumlulukları ile operatörlerin serbestliğini korumak için uygulanması gereken asgari ölçütler irdelenmiştir [4].

AB içinde sınır ötesi elektrik alışverişlerinde şebekeye erişim koşullarını belirlemek için AP 16 Haziran 2003 tarihli, 1228/2003 sayılı düzenlemeyi hazırlamıştır. Düzenlemenin amacı, üçüncü ülkeler üzerinden doğrudan elektrik akışı için dengeleme mekanizmasını kurmak, sınır ötesi iletim ücretlerinde uyum sağlamış prensipler ortaya koyarak ve erişime hazır enterkonekte kapasitenin ulusal iletim sistemlerinde dağıtımını sağlayarak sınır ötesi elektrik alışverişlerini harekete geçirmektir. İletim sistem operatörleri arasındaki denge, koordinasyon ve bilgi değişimi mekanizması, kısıt yönetimi genel prensipleri, yeni enterkonekte bağlantılara ilişkin koşullar, üye ülkelerin ve düzenleyici otoritelerin komisyona bilgi sunması ve bu bilginin gizliliğinin sağlanması, düzenlemenin ihlali durumunda uygulanması gereken yaptırımların ve yürütmeyi garanti altına almak için gerekli önlemlerin alınması bu düzenlemede belirtilmiştir [5].

Ayrıca, AB Enerji Denetleme Kurumu'nun elektrik ve doğal gaz için de oluşturulmasına yönelik 11 Kasım 2003 tarihindeki kararı (2003/796/EC), gaz ve elektrik iç pazarının yürütülmesine ilişkin rapor (Com(2004)863), AP'nin 26 Haziran 2003 tarihli elektrik iç pazarı kurallarını içeren 2003/54/EC yönergesi, kojenerasyona yönelik teşvik için AP'nin 11 şubat 2004 tarihli 2004/8/EC yönergesi, AP'nin 27 Eylül 2001 tarihli yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimini teşviğe ilişkin 2001/77/EC yönergesi de, enterkonekte şebekelerin gelişimini sürdürülebilir kılmak için AB politikaları doğrultusunda hazırlanmıştır [4-6].

## 3. Avrupa'daki enterkonekte şebekeler ve UCTE

Avrupa'daki enterkonekte şebekeler başlangıçta, Batı Avrupa'da, Union pour la Coordination de la Production et Transport d'Electricite (UCPTE) (1999 yılında liberizasyon sürecinde üretim faaliyetleri ayrıldığı için UCTE), Doğu Avrupa'da ise Integrated Power System (IPS) / Unified Power System (UPS) olmak üzere 2 bölgede oluşturulmuştur. Daha sonra, İskandinav ülkelerini kapsayan NORDEL kurulmuştur. [3]. Günümüzde bu şebekeler bütün olarak işletilmektedir. Avrupa'da yer alan enterkonekte sistemler Şekil 1'de gösterilmiştir [7].

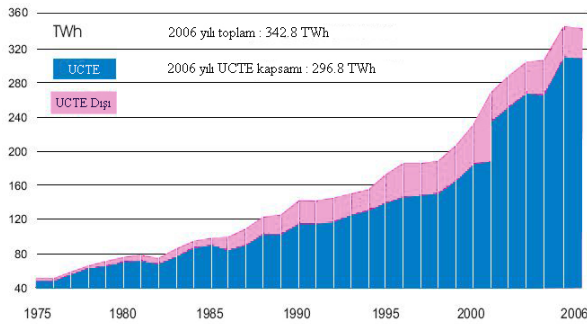


Şekil 1: Avrupa bölgesindeki enterkonekte sistemler.

Avrupa bölgesi içinde yer alan bu enterkonekte sistemler arasında en çok kullanıcıya ulaşan elektrik sistemi UCTE'dir. 210.000 km yüksek gerilim kablosu ile 24 ülkeyi birbirine bağlayan UCTE'nin senkronizasyonunda 34 iletim sistemi operatörü görevlidir. 530 GW kurulu güce sahip olan UCTE'de yıllık elektrik tüketimi 2300 TWh, ülkeler arası yıllık elektrik ticareti ise 270 TWh'dir [8]. UCTE'nin senkron elektrik şebekesini genişletmek için yaptığı iki büyük proje bulunmaktadır. Bunlardan ilki Baltık ringini, diğeri ise Akdeniz

ringini tamamlamaktır. Bu amaçla, Avrupa Komisyonu'nun 26 Haziran 2003 tarihli ve 1229/2003/EC sayılı kararı doğrultusunda, TEN-E öncelikli projelerini belirtmiştir. Bu projeler, dokuzu elektrik ve altısı gaz olmak üzere, toplam 15 projeden oluşmakta ve önümüzdeki 5-10 yıl içerisinde tamamlanması planlanmaktadır. Elektrik projelerinin genel amacı, mevcut bağlantıları kuvvetlendirmek, iç pazarı desteklemek, yeni üyelerin şebekeye bağlanmasını sağlamak, enterkonekte şebekenin içine Akdeniz havzasını ve Baltık ülkelerini alarak genişletmek ve yenilenebilir enerjinin kullanımını yaygınlaştırmaktır [3,9].

UCTE'nin gelişimine bağlı olarak 1975 yılından 2006 yılına kadar şebeke içindeki elektrik alışverişi ve UCTE'nin üçüncü ülkeler ile olan elektrik transferi, Şekil 2'de verilmiştir [10]. UCTE tarafından yayınlanan yıllık raporlarda rezerv gücün UCTE tarafından belirlenen sınırlar içinde kaldığı belirtilmiştir. Ancak, 2007-2020 yılına ait UCTE tarafından yapılan projeksiyonlarda, dinamiklerin devam etmesi ve planlanmış olan yatırımların gerçekleşmesi halinde, 2015 yılında üretim potansiyelinin yetersiz kalmaya başlayacağı ve 2020 yılında güvenli olarak kullanılabilir kapasitenin, talebi karşılayamayacağı öngörülmüştür. Yeterli üretim kapasitesini sağlayabilmek için, planlanan yatırımlara ek olarak toplam 50 GW'lık yeni üretim tesislerinin devreye sokulması gerekliliği belirtilmiştir [7]. Halen, üretim kapasitesi ve rezerv güç UCTE güvenlik sınırları içinde olsa da, genişleme ve gelişme sürecinde ek yatırımlar yapılmadığı takdirde bu sınırların aşılması beklenmektedir. Bu sınırların aşılması, enterkonekte şebekeyi tartışmasız zayıflatacak, bağlı olarak büyük alanları etkileyen sistem çökmeleri daha sık yaşanabilecektir.



Şekil 2: UCTE kapsamında elektrik alışverişleri.

#### 4. UCTE kapsamında örnek olaylar

Enterkonekte sistemlerin boyutunun büyümesine paralel olarak talep edilen güç miktarı, iletim hattı uzunlukları, iletilen güç miktarı, sistem operatör sayısı ve sistemlerin karmaşıklığı artmış, daha önce nispeten kararlı ve yük dağılımı tahmin edilebilir şebeke kullanımı pek çok yönden yerini, tahmin edilebilmesi zor yük kullanımı, daha fazla kısa süreli güç akışı ve uzun iletim hatlarının hakim olduğu yapıya bırakmıştır. Daha entegre ve dinamik şebeke modellerinin oluşması ile birlikte iletim sistemlerinin daha güvenilir ve güvenli işletilmesine yönelik sorunlara yenileri eklenmiştir. Talep edilen güç miktarı artarken, bu talebin karşılanmasında yedek rezervlerin devreye sokulması, uzun mesafeli iletim hatlarında elektrik alışverişinin zorlaşması, iletilen güç miktarının artması ile birlikte iletim hatlarına ilişkin termal sınırların zorlanması, farklı bölgelerdeki operatörler arasında

koordinasyonun sağlanamaması, karmaşık bir topolojiye sahip olan sistemlerin izlenmesinde ve üretim-iletim ekipmanları için sınır değerlerin belirlenmesinde karşılaşılan güçlükler, enterkonekte sistemleri zayıflatmaktadır ve şebekede meydana gelen bozucu etkilerin büyük kitleleri etkileyen sistem çökmelerine neden olma olasılığını artırmaktadır. UCTE kapsamında gerçekleşen, geniş alanları ve büyük kitleleri etkileyerek enterkonekte sistemin zayıflığını gösteren, sistem çökmesi ile sistem dalgalanmasını içeren, örnek iki olay aşağıda incelenmiştir.

##### 4.1. Sistem çökmesi, 28 Eylül 2003

28 Eylül 2003 tarihinde İsviçre'deki 380 kV'luk Metten-Lavorgo iletim hattında meydana gelen arızanın tetiklediği olaylar zinciri sonucunda, İtalya elektrik enerji şebekesinin UCTE ile enterkonekte bağlantısı kopmuş, oluşan kararsız işletme koşullarından dolayı ulusal üretim ve iletim sisteminin devre dışı kalmasıyla birlikte, 55 milyon insanın etkilendiği geniş ölçekli bir sistem çökmesi yaşanmıştır.

Olayları tetikleyen iletim hattında oluşan arızanın nedeni, maksimum kapasitesinin % 86 seviyesinde yüklenmiş olan hattın ısınma sonucu sarkması ve rüzgarın etkisiyle altında bulunan ağaçlarla olan mesafenin azalmasından dolayı gerçekleşen elektrik atlamasıdır. Oluşan arızanın ardından, iletim hattının tek fazını otomatik olarak kapatma girişimleri başarısız olmuş, koruma ekipmanlarının devreye girmesiyle hat devre dışı kalmıştır.

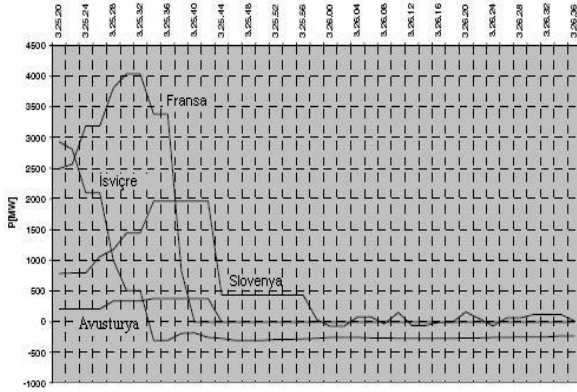
ETRANS (İsviçre yüksek gerilim iletim sistemi koordinatörü) devre dışı kalan hattı manuel olarak işletmeye geri almaya çalışsa da, arızanın etkisiyle İtalya yönüne doğru yüksek yük akışından dolayı gerilim faz açısı farkının çok fazla olması sonucunda, oluşan geçici dalgalanmaların generatörlere zarar vermesini ve/veya arıza oluşturmasını engellemek için devreye giren koruma ekipmanları, bu manevranın gerçekleşmesine izin vermemiştir.

Olay esnasında, daha önce belirlenmiş olan yük akışından 300 MW daha fazla güç çeken İtalya'nın, İsviçre'de meydana gelen aşırı yüklenmenin hafifletilmesi ve sistemin güvenli seviyeye geri getirilmesine yardımcı olması için talebini 300 MW azaltmasına yönelik ETRANS ve GRITN (İtalya iletim sistemi operatörü) arasında görüşme yapılmıştır. 10 dakika içinde İtalya devreye soktuğu önlemler sayesinde, talebini 300 MW azaltarak belirlenmiş olan yük akışını yakalamış olsa da, bu girişim İsviçre sisteminin aşırı yüklenmesini hafifletmek için yetersiz kalmıştır.

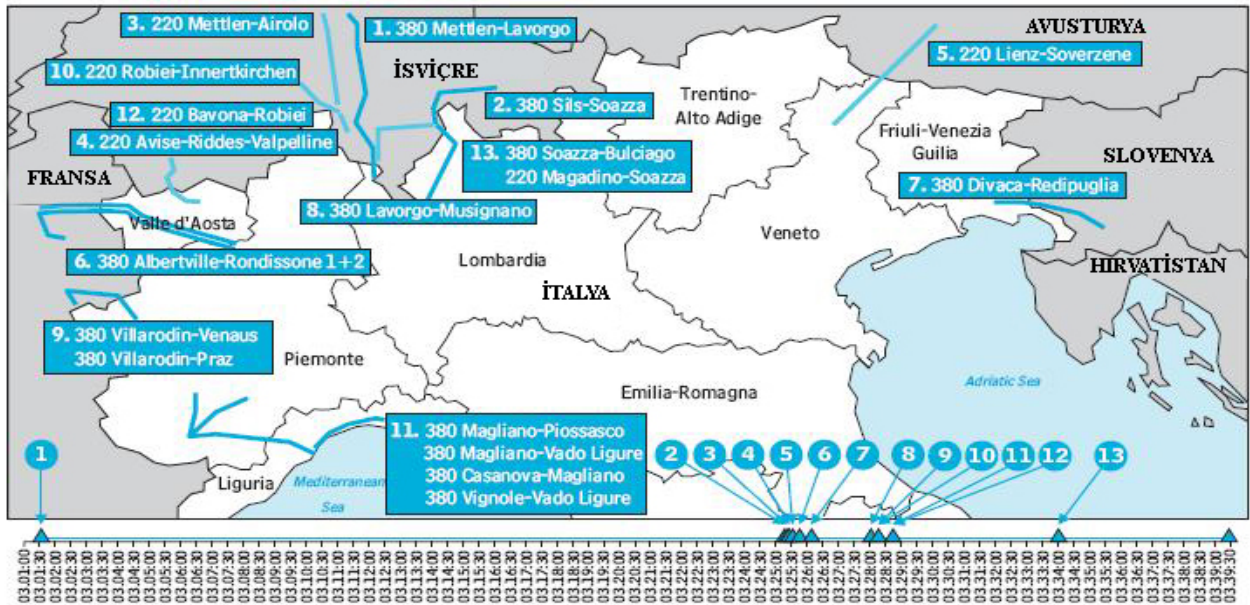
Metten-Lavorgo iletim hattının devre dışı kalması ile birlikte, buradan akan yükün paralel iletim hatları tarafından taşınması, iletim hatlarının yükünü artırmıştır. Özellikle 380 kV'luk Sils-Soazza (İsviçre) iletim hattı nominal kapasitesinin % 110'u seviyesinde yüklenmiştir. UCTE işletme standartlarına göre yüklenme seviyesi, acil durumlarda iletkenin ısınma sürecine bağlı olarak sınırlı zaman aralığında kabul edilmektedir (belirtilen iletim hattı için 15 dakika). Aşırı yüklenmeyi en kısa zamanda hafifletmek için farklı manevralar ve önlemler uygulamaya konulmuş olsa da, 24 dakika sonra bu iletim hattı da ısınarak sarkmış ve rüzgardan dolayı altında bulunan bir ağaç ile kısa devre oluşturmuş, koruma ekipmanlarının tepkisiyle devre dışı kalmıştır.

İki önemli iletim hattının açmasıyla birlikte, bu iletim hatlarından talep edilen yükü bölgedeki diğer hatlar karşılamaya başlamış ve aşırı yüklenmeden dolayı koruma ekipmanlarının devreye girmesi ile birlikte bu hatlar da devre dışı kalarak İsviçre'nin Kuzey bölgesinin, ulusal şebekeden kopmasına neden olmuştur.

İsviçre-İtalya arasında bağlantının kopması ile birlikte, talep edilen yük İtalya-Fransa, İtalya-Slovenya, İtalya-Avusturya enterkonekte sisteminden karşılanmaya çalışılmıştır. Bunun sonucunda bölgedeki diğer iletim hatlarının aşırı yüklenmesi ve devre dışı kalan hatların enterkonekte şebekede dalgalanmalar oluşturmaya bağlı olarak koruma ekipmanları devreye girmiş ve iletim hatları servis dışı kalmıştır. Özellikle 380 kV'luk Albertville-La Coche-Praz (Fransa) iletim hattının açmasıyla birlikte, İtalya elektrik şebekesi UCTE sistemi ile senkronizasyonu kaybetmiş, geriye kalan tüm bağlantılar da koruma ekipmanları tarafından devre dışı bırakılarak, İtalya'yı UCTE'den tamamen ayırmıştır. Komşu şebekelerden talep edilen güç miktarının zaman ile değişimi Şekil 3'de [1], Enterkonekte sistemde devre dışı kalan iletim hatlarına ilişkin zaman akış bilgisi Şekil 4'de [1] verilmiştir.

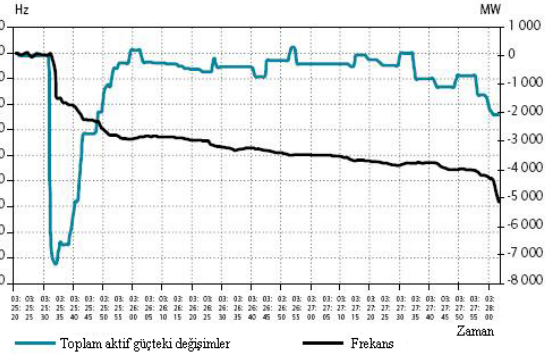


Şekil 3: Elektrik ithalatı (Yunanistan DC hattı hariç).



Şekil 4: İletim hatlarının devre dışı kalma süreci.

UCTE enterkonekte şebekesinden ayrılma sonucunda ortaya çıkan 6.650 MW'lık üretim açığı beraberinde İtalya ulusal elektrik sisteminde hızlı frekans düşümünü getirmiştir. GRTN, düşük frekans yük atımı planını otomatik olarak devreye soksa da, olayın gerçekleştiği anda yükün gösterdiği karakteristik ve zaman limitinin kısıtlı olmasının yanı sıra, düşük frekans rölelerinin ve gaz türbin koruma ekipmanlarının da devreye girmesiyle İtalya ulusal sisteminde pek çok generatör devre dışı kalmıştır. Yük atımı belli bir noktaya kadar gerçekleşmiş olsa da, frekans düşmeye devam etmiş ve UCTE şebekesinden ayrıldıktan 2 dakika 30 saniye sonra, frekans 47,5 Hz iken İtalya elektrik enerji sistemi tamamen çökmüştür. Frekans ve aktif güç dengesizliğindeki değişimler Şekil 5'de gösterilmiştir [1].



Şekil 5: Frekans ile toplam aktif güçteki değişimler.

Sistem çökmesi sadece İtalya ve İsviçre'yi etkilemekle sınırlı kalmamış, enterkonekte şebekeye bağlı olan Fransa, Almanya, Slovenya ve Macaristan'da da elektrik kesintileri, gerilim değişimleri ve dalgalanmalar görülmüştür. 55 milyon insanın etkilendiği bu kesintide İtalya'da 340'dan fazla üretim tesisi devre dışı kalmış, 20.500 MW'lık yerel üretim kesintiye uğramıştır. 6.600 MW'lık ithal edilen elektrik enerjisinde kesintiye uğraması ile birlikte sistem çökmesi esnasında 27.000 MW'lık güç devre dışı kalmıştır.

177 GWh'lik enerji tüketicilere ulaştırılmamışken, sistemin tekrar enerjilendirilmesi 13,5 saat, tüm kullanıcıların elektriğe kavuşması ise 18 saat sürmüştür. Elektrik enerji sistem çökmesinin ekonomiye maliyeti ise 139 milyon USD olmuştur [1,11,12].

#### 4.2. Sistem dalgalanması, 4 Kasım 2006

4 Kasım 2006 tarihinde, Avrupa enterkonekte sistemi 3 elektriksel adaya bölünmüş, bazı bölgelerde 15 milyon insanın etkilendiği elektrik kesintileri yaşanmıştır. Enerji sistemini dalgalanmaya götüren olayların tetikleyicisi, Norwegian-Pearl gemisinin Ems nehrinden güvenli bir şekilde geçebilmesi için 380 kV'luk Conneforde-Diele (Almanya) iletim hattının E.ON Netz (Almanya elektrik iletim sistemi operatörü) tarafından devre dışı bırakılması olmuştur.

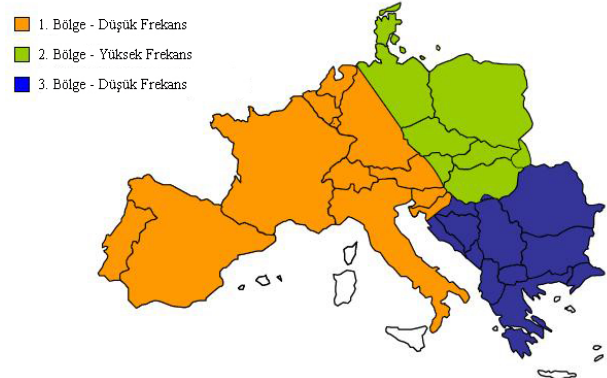
Belirtilen iletim hattının devre dışı kalması durumunda, şebekedeki değişimlerin analizi standart plan verileri kullanılarak yapılmıştır. Yapılan analizler, iletim hattının devre dışı kalmasının N-1 güvenlik kriterini ihlal etmediğini göstermiştir. E.ON Netz 4 Kasım 2006 saat 01:00'da oluşacak bu geçici duruma karşı, kendi sistemlerinde N-1 güvenlik kriteri analizi yapmaları için TenneT (Hollanda elektrik sistemi operatörü) ve RWE Transportnets Storm'u bilgilendirmiştir. Tüm operatörler tarafından yapılan analizlerde şebekenin aşırı yükleneceği fakat, güvenli olacağı teyit edilmiştir. İletim hattı devre dışı kaldığında, diğerlerinde meydana gelen aşırı yüklenmeyi hafifletmek için TenneT ve E.ON Netz, 00:00-06:00 saatlerinde iki şebeke arasındaki elektrik transferinin 350 MW azaltılmasında görüş birliğine varmışlardır.

3 Kasım 2006 tarihinde iletim hattının devreden çıkma zamanı gemi işletmecisinin talebi üzerine E.ON Netz tarafından 3 saat geriye alınmıştır. Bu saatteki tahmini yükün daha uygun olduğu düşünüldüğünden herhangi bir N-1 güvenlik analizi veya simülasyonu yapılmamıştır. TennT ve RWE Transportnets Storm, 4 Kasım 2006 günü 18:00-19:00 saatleri arasında, iletim hattının yeni açma zamanı hakkında bilgilendirilmişlerdir. TennT, günlük elektrik işlemlerinin pazar kapanmadan önce belirlendiğini, yeni belirlenen saatte sınır ötesi elektrik alışverişinin düşürülmesinin elektrik işlemleri kurallarını bozacağını ifade etmiş ve saat 00:00'dan önce yük akışının 350 MW azaltılmasının imkansız olduğunu belirtmiştir.

TenneT, E.ON Netz ve RWE Transportnets Storm, Conneforde-Diele iletim hattının devre dışı kalması ile birlikte Meeden (TenneT)-Diele iletim hattında beklenen yüksek akışı azaltmak için Meeden'deki faz kaydırıcının elektriksel bağlantı pozisyonunu değiştirmeye yönelik karar almışlar ve 19:33'te TenneT, faz kaydırıcının pozisyonunu değiştirmiştir. 21:38'de E.ON Netz'in Ems nehrinden geçen iletim hattının ilk devresini açmasıyla birlikte doğu bölgesinden batı bölgesine olan yük akışı güney bölgesindeki hatlara yüklenmiştir. Açma işleminden hemen sonra Elsen-Twistetal ve Elsen-Bechterdissen iletim hatlarında yüksek yük akışı olduğuna dair pek çok uyarı mesajı gelmeye başlamıştır. Saat 22:05'den hemen sonra, E.ON Netz ve RWE Transportnets Storm'a göre nedeni bilinmeyen bir nedenden dolayı 380 kV'luk Landesbergen-Wehrendorf iletim hattında 100 MW'lık yük artışı

gerçekleşmiş ve hattaki akım tehlike sınırı olan 1800 A'ı geçerek 1900 A'e yükselmiştir. Tehlike seviyesine ulaşan sistemi tekrar güvenli işletme koşullarına getirmek için, E.ON Netz şebeke kontrol merkezindeki personel, RWE Transportnets Storm ile koordinasyon sağlamadan, yük akışı analizi ve N-1 güvenlik kriteri için doğrulama yapmadan Landesbergen dağıtım merkezindeki baraları birleştirmiştir. Manevredan 2 saniye sonra koruma ekipmanlarının otomatik olarak devreye girmesiyle birlikte Landesbergen-Wehrendorf iletim hattı devreden çıkmış ve oluşan yük sapsmaları 220 kV'luk Bielefeld-Gütersloh iletim hattını da devreden çıkarmıştır. İletim hatlarının kaybindan dolayı oluşan aşırı yüklenme ve şebekedeki dalgalanmaya koruma ekipmanlarının tepki göstermesi sonucunda Almanya, Avusturya, Hırvatistan, Macaristan ve bölgedeki diğer ülkelerde iletim hatları açmıştır.

Ulusal şebekeleri enterkonekte olarak birbirine bağlayan iletim hatlarının devre dışı kalması ile birlikte Avrupa iletim şebekesi; Kuzeydoğu, Batı ve Güneydoğu olmak üzere 3 elektriksel adaya bölünmüştür. Farklı frekans seviyelerinde bulunan elektriksel adalar, Şekil 6'da gösterilmiştir [2].



Şekil 6: Farklı frekans düzeylerine göre oluşan adalar.

4 Kasım 2006 tarihinde 15 milyon insanın etkilendiği Almanya merkezli, enerji sistemi dalgalanması sonucunda Fransa, İtalya, İspanya ve Avusturya şebekelerinde elektrik kesintileri yaşanmış; Belçika, Hollanda ve Hırvatistan enerji sistemleri bu kesintiden etkilenmiştir [2].

## 5. Sonuçlar

Enterkonekte sistemlerin arz güvenliğine, elektrik piyasasında rekabet ortamının sağlanmasına ve elektrik enerjisinin kalitesinin artmasına olumlu etkilerine bağlı olarak, Kuzey Amerika ve Avrupa'daki gibi ülkeler arası entegre elektrik şebekelerinin Dünya'nın diğer bölgelerinde de yaygınlaşması beklenmelidir. Enterkonekte sistemler, meydana gelen çökmelerin sayısını azaltmasına rağmen, şebekenin büyüklüğüne paralel olarak kesintilerin boyut ve etkileri çok büyük olmaktadır. Bundan dolayı enterkonekte sistemlerin işletilmesi daha önemli hale gelmektedir. Elektrik enerji sistemlerini daha kararlı ve güvenli kılmak için pek çok önlem alınabilir. Uluslararası çapta büyük enterkonekte sistemlerde görülen zayıflıkları iyileştirmeye ve/veya sistem çökmesi meydana geldiği zaman, bunun etkilerini azaltmaya yönelik tespitler aşağıda sıralanmıştır.

Operatörler ve koordinatörler elektrik enerji sistemlerinin işletilmesinde anahtar görev üstlenmektedirler. Kritik pozisyondaki bu kişilerin eğitilmesi ve işletme sırasında karşılaşılan sorunlara çözüm getirebilmesi çok önemlidir. Kontrol merkezlerinde operatörler arasında çevrimiçi, anlık bilgi alışverişinin sağlanması, bu operatörlerin koordinasyon ve iletişim sorunu çekmemesi, sistemdeki beklenmedik yük akışlarına doğru şekilde müdahale edebilmeleri, elektrik enerji sistemini muhtemel arızalardan koruyabilmeleri için teknolojinin geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması sağlanmalıdır. Bu şekilde operatörlerin yük akışı üzerindeki kontrolü artacaktır.

Elektrik enerji piyasalarının yeniden yapılandırılması ile birlikte yatırımların çok büyük bir kısmı, artan talebi karşılayabilmek için üretim tesislerine odaklanmıştır. Yapılan yatırımların, sistemin bütününe uygun dağılmasını sağlamak için, liberalleşen piyasalar üzerinde bir kontrol mekanizması oluşturulmalıdır.

Enterkonekte elektrik enerji sistemleri kurulmadan önce büyük ölçekte araştırmalar yapılmalı, kısa ve uzun vadeli planlar oluşturulmalıdır. Elektrik enerji sistemi işletmeye alındıktan sonra arz-talep arasındaki dengeyi sağlamak amacıyla kısa ve uzun vadeli planlar sürekli gözden geçirilmeli, gerekli değişiklikler yapılmalıdır. İletim hatları kapasitesinin üstünde yüklenmeye başladığı zaman, alternatif yollar belirlenmeli, uzun vadeli projeksiyonlara göre gerekli yatırımlar iletim sistemi sınır değerlerine ulaşmadan yapılmalıdır.

Elektrik enerji sistemlerini çökmeye götüren en önemli nedenlerin başında, arz-talep arasında oluşan dengesizlikler gelmektedir. Talebe arz olarak cevap verebilecek kurulu gücün olmaması, üretim merkezlerindeki jeneratörlerin senkronizasyondan çıkmasına, iletim sisteminde akım-gerilim-frekans dalgalanmaları oluşmasına yol açmaktadır. Sistemdeki ani talep artışına cevap verebilmek veya üretim tesislerinde bulunan jeneratörlerin yerel arızadan dolayı devreden çıkması veya bakıma alınması sonucu artan talep/arz oranını dengeye getirebilmek için üretim tesislerinde yedek kapasiteye ve boşta çalışan rezervlere ihtiyaç vardır. Elektrik enerji sistemlerinin genişlemesi ile birlikte talebin artmasıyla yedek kapasitenin artırılmaması ve rezervlerin sürekli işletme haline alınması sistemin güvenliğini azaltacaktır. Enterkonekte elektrik enerji sistemlerinin büyümesine paralel olarak, üretim tesislerindeki yedek kapasite de artırılmalı, rezerv gücü sürekli işletme halinde

değil, dengesizlik durumunda frekans, gerilim dengesini sağlamak için yedek olarak boşta işletilmelidir.

## 6. Kaynakça

- [1] International Energy Agency (IEA), "Learning from the Blackouts," OECD/IEA, Paris, 2005.
- [2] UCTE, "Final Report on the Disturbances of 4 November 2006," <http://www.ucte.org/pdf/Publications/2007/Final-Report-20070130.pdf> (Erişim tarihi: 03.06.2007)
- [3] Erol, S. ve Sohtağlu, N. H., "Gelişmiş Ülkeler Arasında Gerçekleştirilen Elektrik Enerjisi Ticaretindeki Eğilimler ve Kurulu Güç Verimliliği," II. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu, EVK'2007, Bildiriler Kitabı, 17-18 Mayıs 2007, Kocaeli.
- [4] The European Union On-Line, "Internal Market for Energy: Common Rules for the Internal Market in Electricity" <http://europa.eu/scadplus/leg/en/lvb/l27005.htm> (Erişim tarihi: 03.06.2007)
- [5] The European Union On-Line, "Conditions for Access to the Network for Cross-border Exchanges in Electricity" <http://europa.eu/scadplus/leg/en/lvb/l27041.htm> (Erişim tarihi: 03.06.2007)
- [6] The European Union On-Line, "Electricity Supply and Infrastructure Investment" <http://europa.eu/scadplus/leg/en/lvb/l27016.htm> (Erişim tarihi: 03.06.2007)
- [7] UCTE, "System Adequacy Forecast 2007-2020," [http://www.ucte.org/statistics/ucte\\_power\\_balance/e\\_defau lt.asp](http://www.ucte.org/statistics/ucte_power_balance/e_defau lt.asp) (Erişim tarihi: 03.07.2007)
- [8] Union for the Co-ordination of Transmission of Electricity <http://www.ucte.org> (Erişim tarihi: 03.06.2007)
- [9] European Commission (EC), "Trans-European Projects, TEN-E Priority Projects," Luxemburg, 2004.
- [10] UCTE, "Sum of Exchanges of the UCTE 1975-2006," [http://www.ucte.org/pdf/statistics/Exchange/e\\_exchanges.pdf](http://www.ucte.org/pdf/statistics/Exchange/e_exchanges.pdf) (Erişim tarihi: 04.08.2007)
- [11] Berizzi, A., "The Italian 2003 Blackout," IEEE Power Engineering Society General Meeting, 6-10 June 2004, Vol. 2, pp. 1673-1679.
- [12] Corsi, S. and Sabelli, C., "General Blackout in Italy, Sunday September 28, 2003, h. 03.28.00," IEEE Power Engineering Society General Meeting, 6-10 June 2004, Vol. 2, pp. 1691-1702.