

BİR KESİNTİNİN ÖYKÜSÜ : 1977. NEW YORK KESİNTİSİ

Derleyen : METİN BEYNAM
TEK Araştırma Dairesi Başkanlığı

ÖZET:

13 Temmuz 1977 gecesi, dünyanın en büyük kentlerinden biri olan New York'ta elektrikler kesildi ve 25 saat süreyle 9 milyon kişi elektriksiz kaldı. Hesaplanabilen zarar miktarı, 350 milyon doları aştı. Bu yazıda olayın dakikası dakikasına gelişmesi anlatılmaktadır. Elektrik enerji sistemleriyle uğraşan herkes için, bu olaydan alınacak ilginç dersler vardır.

GİRİŞ :

Çağımızda, elektrik enerji sistemlerinin korunması ve güvenliği, elektrik mühendisliğinin en önemli uğraş alanlarından birisidir. Binlerce, onbinlerce megawattlık (MW) tüketim ve istemi karşılayabilmek için, ülkeler, modern teknolojinin bütün olanaklarını kullanmak zorundadırlar. Bu arada, tüketim yükünü en ucuz ve en güvenilir bir biçimde karşılayabilmek konusunda, bilgisayarlara önemli görevler düşmektedir.

Sorunun bir bölümü, üretilen elektrik enerjisinin depolanamamasından ve üretildiği anda tüketilme zorunluluğundan kaynaklanmaktadır. Son yıllarda birkaç MW depolayabilen kayıt hücreleri geliştirilmişse de, bunlar henüz yeterli bir düzeye gelebilmiş olmaktan uzaktır. Bu nedenle, en ucuz enerji üretimi ve iletiminin yanı sıra, üretim ve tüketimin sürekli bir şekilde dengede tutulması da önemli bir sorun oluşturmaktadır.

Enerji sistemlerinin giderek artan karmaşıklığını denetleyebilmek için, dünyanın her yerinde bilgisayarlar, çok hızlı bir biçimde diğer sistem denetim mekanizmalarıyla bütünleştirilmişlerdir. Ancak sorunun karmaşıklığı ve boyutları öyle bir düzeydedir ki, teknolojinin en son olanaklarını kullanan ve her bakımdan güvencede sanılan sistemlerde bile, sistem oturması ve elektrik kesintisi tehlikesi um olarak ortadan kaldırılamamaktadır. 13 Temmuz 1977 gecesi New York Kenti'nin uğradığı kesinti, bunun en iyi örneklerinden biridir.

O tarihe kadar, böyle bir kesintinin olabileceğini kim söylemiş olsa ve gerçekten yer alan olayların bir senaryosunu sunmuş olsa, ciddiye alınmayacağı muhakkaktı. New York, artık dünyanın en kalabalık kenti değildir ama, çağdaş teknolojinin simgesi haline gelmiş olan Amerika'nın en büyük ve en bayındır kentidir. Denilebilir ki Türkiye için İstanbul ne ise, Amerika için de New York odur. Elektrik enerjisi, çağdaş yaşamın o denli ayrılmaz bir parçası haline gelmiştir ki, bir anlık bir kesinti bile böyle bir kentte önemli aksamalara neden olur. Bunun

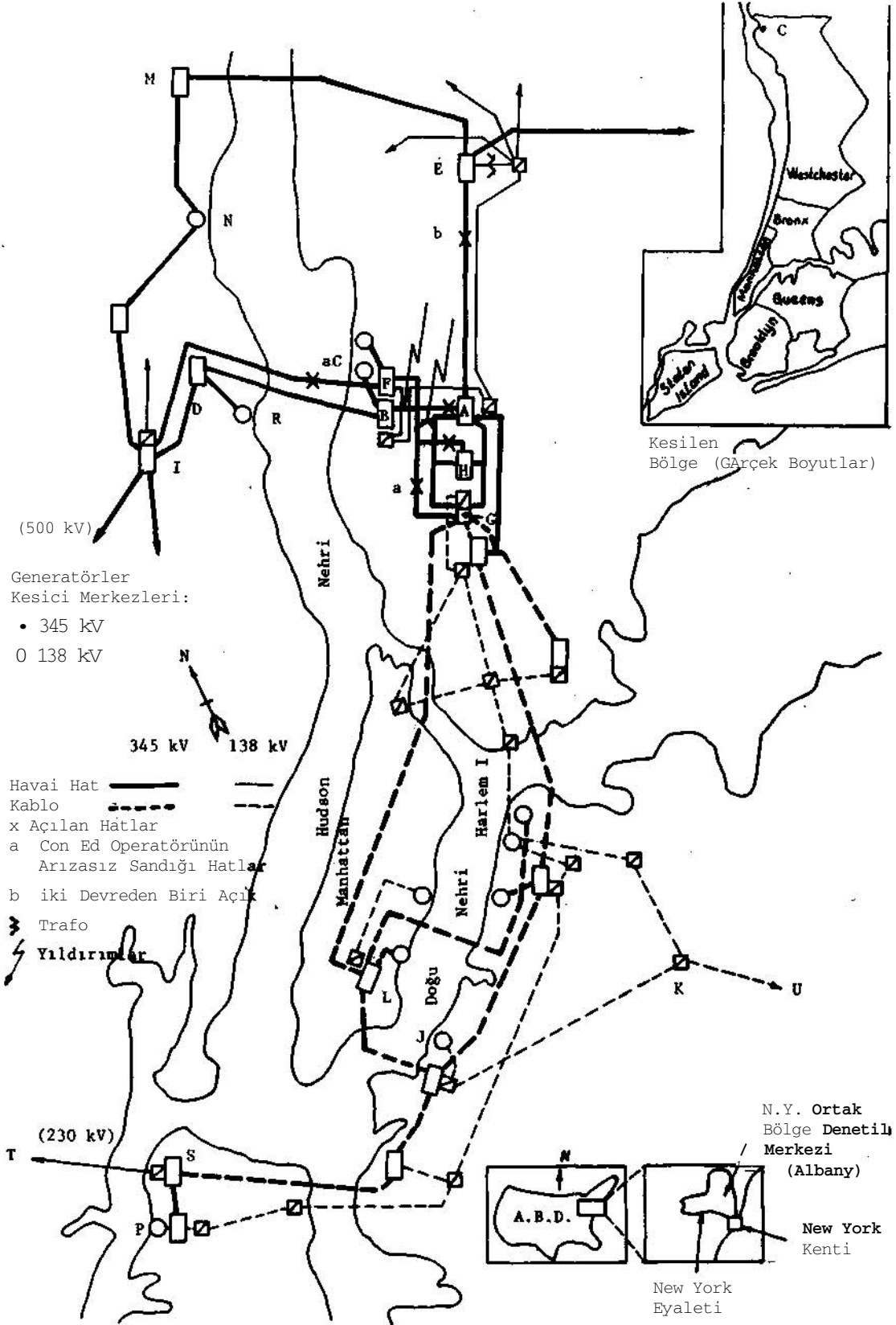
bilincinde olan elektrik üreticileri, tüm olanakları kullanarak, elektriğin kesintisiz olarak verilebilmesi için her türlü çabayı harcamışlardır. Bütün bunlara rağmen, doğal etkenler, koruma aygıtlarının yanlış çalışması, sistem operatörüne yetersiz bilgi sunumu ve iletişim güçlükleri akıl almaz bir biçimde üstüste binerek, o gece New York'un karanlığa gömülmesine neden oldular, üstelik bu olay, ilk kez de olmuyordu: 9 Kasım 1965 akşamı, hava güzel olduğu halde, içinde New York da bulunmak üzere ABD'nin kuzeydoğusundaki sekiz eyalet ile Kanada'nın doğusu, binlerce fabrikayı ve milyonlarca evi onaltı saate kadar varan süreler için karanlıkta bırakan dev bir kesintiye hedef olmuştur. Oysa o zaman da, normal çalışma koşullarında ve hava durumu önem taşımadığı takdirde, varolan denetim ve acil koruma sistemlerinin herhangi bir kesintiyi, küçük bir bölgeye ve birkaç dakikaya sınırlamaya yeteceği sanılmıştı.

1965 kesintisinin nedeni, Ontario'daki bir kesicinin geçici bir aşırı yüklenme anında açması olarak saptandı. Kesiciye kumanda eden bir yardımcı koruma rölesi ayar düzeyinin üzerinde yüklenince, normal biçimde çalışarak arızasız bir hattı açmış, ondaki yükü devralan dört başka hat da aşırı yüklenerek açmışlardı. Bunun ardından açmalar, bir zincirleme reaksiyon şeklini almış ve oniki dakika gibi kısa bir süre içinde, 200 bin km² lik bir alanda yaşayan 25 milyon insan karanlıkta kalmıştı.

Koruma gereçlerinin sistemi değil, onun parçalarını korudukları anlaşılınca, bölgenin tümü üzerinde etkin bir sistem çözümlenmesi yapıldı ve bunun sonucu olarak, bilgisayarların baş rolü oynadığı bir dizi izleme ve denetim sistemi kuruldu. Artık hiçbir etkenin, bu sistemi ya da onun bir bölümünü oturtamayacağını düşünmek için elde yeterli nedenler varmış gibi görünüyordu. 12 yıl sonra New York'ta meydana gelen kesinti, uygulanan teknoloji ve yapılan masraf ne kadar üst düzeyde olursa olsun, elektrik enerji sistemlerinin güvenliğine garanti gözüyle bakılamayacağını ortaya koydu.

NEW YORK KENTİ

Dünyanın en kalabalık kentlerinden biri olan New York, bünyesinde dünyanın bütün ülkelerinden gelen insanlar barındırır; bütün dünya toplumlarının aynı potada eridiği bir Babil Kulesi'dir. Etnik niteliğine paralel bir biçimde, dünya ticaretinin ve siyasasının kalbi, ABD'nin başkenti olmamasına karşın bu kentte atar. Ülkelerin ekonomik, kimi zaman siyasal geleceklarini belirleyen kararlar, dünyanın en büyük bankalarının kapalı kapıları ardında alınır; bu kapılar New York'tadır. New York Ticaret Borsası, dünya ticaretinin odak noktalarından biridir. Dünya ülkelerinin temsilcilerinin bir araya geldikleri Birleşmiş Milletler Genel Merkezi, bu kenttedir. Gene hiçbir kent, içinde yaşayanlara New York'unkinden daha zengin kültürel gelişme olanakları sağlamaz. Dünyanın alacağı televizyon kültürü de bu kentteki dev televizyon şirketlerinin belirlenir. New York, tüm dünyadaki kentleşmeler için bir model oluşturur; toplumbilimci Peter Berger'in deyişiyle, bir "evrensel kent prototipi"dir. Bütün bu yönleriyle New York, sanki dünyanın "taçsız başkenti" gi-



Şekil -1 : Haritada 9 milyonluk bir yerleşim bölgesine hizmet veren Con Ed Şebekesi görülmektedir. Şebekenin arızalanması ile 13 Temmuz 1977 gecesi, New York kentini oluşturan Manhattan, Bronx, Brooklyn, Queens ve Staten Island'da yaşayan 8 milyon kişi ile, Westchester ilçesinde 1 milyon insan, elektriksiz kaldılar.

bidir. En aşırı zıtlıkların bir karışımıdır New York : zenginlik ve yoksulluğun, görkem ve sefaletin, uygarlık ve ilkeliliğin bu derece yoğun olarak bir araya geldiği bir başka kent yok gibidir.

Kişi, uzun yıllar dünyanın en yüksek binası olma niteliğini korumuş olan "Empire State" binasının 105. kattaki terasından gece vakti kente bakacak olursa, ufka kadar uzanan bir ışık okyanusuyla karşılaşır. Birkaç kilometre uzakta, dünyanın en yüksek binası olan Dünya Ticaret Merkezi, iki sütun halinde yükselmektedir : Bu binanın elektrik üretimi, küçük bir şehrinkinden fazladır. Durum böyle olunca, otuz-kırk katlık binaların önemsenmediği bu kentteki elektrik tüketiminin, Türkiye'nin toplam üretimi ile boy ölçüşmesine şaşılmaz. Böylece inceleyeceğimiz sistem, Türkiye Enerji Sistemi'nin tek bir kent sınırları içine indirilmiş durumuna benzetilebilir.

KENTİN ELEKTRİK DÜZENİ

ABD'de elektrik enerjisi, özel şirketler tarafından üretilir. Bu şirketler üretimlerini, Ortak Enerji Bölgeleri halinde birleştirmişlerdir ve duruma göre şirketler, bağlı oldukları Ortak Bölge ile, ya da farklı Ortak Bölgeler birbirleri arasında enerji alışverişinde bulunurlar. New York eyaletine hizmet veren şirketlerin arasındaki bir anlaşma sonucu, üretim, New York Ortak Enerji Bölgesi denetim merkezindeki bilgisayarlar aracılığı ile yönetilir. Bizzat kentin elektriği ise, ABD'nin en büyük elektrik şirketi olan "Consolidated Edison" (Con Ed) şirketi tarafından sağlanır. Con Ed sisteminde 15 santral ve üçte ikisi yeraltı kablolarından oluşan 193 bin km'lik hat vardır. Kent içi elektrik üretimi konusunda, Con Ed firması ile kent belediyesi arasında bir uzlaşmaya varılmıştır. Kentsel yoğunlaşma nedeniyle, yük merkezi yakınında daha fazla üretim birimi kurulmasının çevresel etkileri göz önünde bulundurulmak zorundadır: Con Ed, belediyenin kentin içine daha fazla birim kurulmaması konusundaki isteğine uymuştur ve bu nedenle, kuzey ve batıdan gelen iletim desteğine muhtaçtır. Ancak, kuzeyde hat geçirme hak ve olanağı çok kısıtlı olduğundan, sistemde çift (ve bir durumda dört) devre taşımak için tek direkli yapılar kullanılır. Her ne kadar yıldırım olasılığına karşı elden gelen önlemler alınmışsa da, kayalık arazinin oldukça yüksek olan toprak direnci, mümkün olan korumayı azaltmaktadır. Böylece kentin en önemli üretim desteği, dar koridorlar üzerinden kuzeyden sağlanmaktadır. Türkiye sistemiyle benzeştirilecek olursa inceleyeceğimiz olay, Keban hatlarının tüm Batı bölgesini beslemesi ile benzerlik gösterir.

Kentin içinde ise havai yüksek gerilim hatları kullanılmayacağından, iletim ve dağıtım yeraltı kabloları ile yapılır. Toprağa çok yakın olmaları nedeniyle bu kablolar da, havai hatlarda olduğundan daha yüksek şönt kapasitans ve daha düşük seri reaktans oluşur. Yalıtımı sağlamak için toprak ile iletkenin arası, dielektrik sabiti boşluğunun altı katı olan bir madde ile doldurulmuştur. Böylece, hafif yük koşullarında bir kabloda oluşan, güç akışı yönündeki gerilim artışı, benzer bir havai hattakinden daha fazladır. Gerilim regülasyonu, sistemin çeşitli

yerlerine yerleştirilmiş olan şönt reaktörlerle sağlanır; bunlar, yükün hafif olduğu erken saatlerde gerilim artışını önleyebilmek için devreye alınır, yükün arttığı akşam saatlerinde ise devreden çıkartılırlar.

Gerek havai hatlar, gerekse yeraltı kabloları, 345 kV ve 138 kV'luk sistemler içinde bütünleştirilmiştir.

ENERJİ DENETİM MERKEZİ

Con Ed şirketinin Manhattan'daki Enerji Denetim Merkezi, 1962 yılında kurulmuş olup, hem Con Ed sistemi içindeki hatlara, hem de dışarıya ile olan bağlantılara ait bilgileri işler. Bütün kesici açma-kapamaları ve bağlantı hatlarının durumu hakkındaki bilgiler, telemetri yöntemleri ile kerkeze gönderilir. Bilgisayarlarca işlenen bu bilgiler, renkli video gösterim ekranlarında sistem operatörlerine sunulur. Bir operatör bu suretle herhangi bir kesici merkezindeki kesici ve teçhizat durumunu denetleyebilir. Ayrıca aşırı yüklenen hatlar, ekranlardan sistem operatörüne otomatik olarak yansıtılır.

Operatör, denetim merkezinin kapsadığı sistemdeki bütün büyük üretim ve iletim öğelerinin işleyişini ve bakımını koordine eden kimsedir. Sistem operatörünün görevlerinden biri de, New York Ortak Enerji Bölgesi aracılığı ile, sisteme bağlanan diğer şirketlerle günlük ve saatlik enerji alım-satımlarında bulunmaktır. Enerji Denetim Merkezi'nde sistem operatörüne yardımcı olmak üzere, yöresel operatörlerle enerji dağıtımçıları bulunur. Enerji Denetim Merkezi'nin kuruluşundan bu yana, sisteme yapılan önemli ilavelere ait, teleme tr i ile gönderilen bilgiler, merkezin gösterimle ilgili bilgi bankalarında bütünleştirilmişlerse de, bu bilgiler her zaman en ideal noktada gösterime sunulmamıştır. Böylece inceleyeceğimiz olayda, kesici durumları ait oldukları yöresel operatörüne bildirildikleri halde, bitişik odada bulunan sistem operatörüne gösterilmemişlerdir.

Con Ed denetim merkezinin tersine, Albany'deki New York Ortak Bölge denetim merkezinde kesici ve iletim hattı durumları, kesicilerle üretim ve iletim hatlarını temsil eden ışıklı çizgiler halinde, zaman-değişimli olarak gösterilir. Ortak Bölge, New York eyaletindeki önemli kesiciler, teçhizat ve iletim hatlarından olduğu gibi, dışarıya ile olan bağlantılardan da gelen telemetri bilgilerini işler. Böylece Ortak Bölge operatörü, açılan bütün kesici ve hatlardan tamamen haberli olur.

OLAYIN BAŞLANGICI

13 Temmuz 1977 akşam, şiddetli yağmurlar ve rüzgâr eşliğinde yoğun bir elektrik fırtınası, New York eyaleti üzerinden güneydoğuya doğru ilerlemekteydi. Saat 20.37 dolaylarında Con Ed sistemine ait iki iletim merkezi arasındaki bir direğe yıldırım düştü. Aradan 20 dakika geçmemişti ki, başka direklere ikinci bir yıldırım darbesi indi. Bu iki darbe, New York kentinin tüm elektriğinin kesilmesiyle sonuçlanan olaylar zincirini başlattılar.

O akşam saat 20.30 sularında Con Ed sistemi, müşterilerine aşağı yukarı 5860 MW elektrik enerjisi sağlamaktay-

di. Bu yükün 3000 MW'lık kısmı, şehir içindeki üretim tarafından karşılanıyordu. Geri kalan enerji ise New York kenti dışından sağlanmakta idi. Bunun 870 MVV'lık bölümü, kentin kuzeyindeki bir nükleer santralde üretilmekteydi. 1200 MW'ı New York eyaletinin kuzeyinden ve Kanada'dan gelmekteydi. Ayrıca Con Ed sistemi için, güneybatıdaki bir şirkete 240 MW ve kuzeydoğudaki bir Ortak Bölge'den, güneybatıdaki başka bir Ortak Bölge'ye 200 MW enerji akıyordu. Con Ed'e sağlanan enerjinin büyük bir bölümü, kuzeyden gelen beş tane 345 kV'luk besleme hattı üzerinden sağlanmaktaydı ve direkler, birden fazla devre taşımakta idiler.

İLK YILDIRIM

20.37 Şekil T de görülen A ve B kesici merkezleri arasındaki bir iletim direğine yıldırım isabet ediyor. (*) Bu direklerdeki 345 kV'luk devreler, C, N ve R'deki santrallerden kente 1200 MW güç sağlamaktadırlar. Direğin düşük empedansından yüksek bir akımın geçmesi, direk geriliminin yükselmesine neden oluyor ve faz iletkenlerini destekleyen izolatörlerin yalıtım kapasiteleri aşılığından, o direğin taşıdığı her iki 345 kV'luk devrenin faz iletkenleriyle toprak arasında kısa devre meydana geliyor. A ve B'deki kesiciler, arızayı sistemden soyutlamak için derhal açıyorlar. Bu işlem C'deki 900 MW'lık nükleer santralin bağlantısını kestiği için, santralin üretimi, gerektiği gibi otomatik bir biçimde durduruluyor.

Normal koşullar altında, açılan kesiciler, izolatörler üzerindeki kısa devre sönmüldikten sonra otomatik olarak tekrar kapanırlar. Fakat kesicilerin hatalı çalışması olasılığına karşı, bir de yardımcı koruma sistemi vardır. Zaman gecikmeli bir röle, arıza anından itibaren saniyeleri saymağa başlar ve belli bir zaman süresi sonunda kesiciler çalışmamışsa, otomatik olarak devreyi açar.

O sıralarda, yeni kesici denetim rölelerinin tesis edilebilmesi için, B'Deki kesicilerden birinin otomatik tekrar kapama yeteneği kısıtlanmıştır. Bu nedenle AB arasındaki çift devre, yeniden iletme geçemiyor. Ayrıca B'deki bir koruma devresinin hatalı tasarlanması sonucu, D'deki bir zaman rölesi BD hattını açıyor ve tek devreye sahip 345 kV'luk BD hattı da açık kalıyor.

Birçok şirketlerin iletim hatlarının yük taşıma kapasiteleri, sistem stabilitesi ile sınırlıdır. Con Ed sistemindeki hat ve kablolar ise, iletkenlerin I^2R ısınma limitiyle sınırlıdır. A ile E'yi birleştiren hat, normal koşullarda 825 Amper taşır ve zaman sınırlaması olmadan iletim sağlar. 960 Amper taşırken hat, ısınmaya üç saat dayanabilir ve buna, Uzun Dönem Acil Durum (UDAD) süresi denir, 1000 Amper ve daha yüksek akımlara ise hat, ancak 20 dakika dayanabilir; bu da Kısa Dönem Acil Durum (KDD) süresidir.

Hatların açılması ve C santralının devreden çıkması sonucu, AE hattındaki akım artıyor, fakat UDAD sınırı içinde kalıyor.

(*) Olaylar dizisinin daha kolay anlaşılabilmesi için, santral, merkez ve semt isimleri büyük harflerle kodlanmıştır. Yazının sonundaki ekte, bu kodlamanın anahtarları verilmektedir.

Con Ed'in Enerji Denetim Merkezi'ndeki sistem operatörü, BD hattının açık olduğunu görünce, kent içi yedek üretimin devreye girmesi için komut veriyor.

20.55 Kent içi üretim 550 MW artmıştır. AE hattından başka hiçbir hatta normalin üzerinde akım yoktur, fakat sistemin güvenilirliği zayıflamıştır. Kent içi kısa dönem ek üretim yeteneği, Con Ed'e bildirilmiş olandan 341 MW daha azdır.

İKİNCİ YILDIRIM

20.56 Hem FG, hem de AG arasındaki 345 kV hatlarını taşıyan bir direğe yıldırım düşüyor. Her iki devrenin ortak fazı ile toprak arasında kısa devre oluşuyor. F, A, G ve H'deki kesiciler açarak arızayı gideriyorlar. A ve G kesicileri otomatik olarak kapanıp AG hattını enerjilendiriyorlar. FG hattındaki G kesicisi de kapanıyor, fakat F kesicisi açık kalıyor.

Termik santrallerdeki türbin-generatör millerinde rastlanan ilginç bir sorun vardır: Sistemde bir arıza olduğu zaman, generatör rotorundaki elektromanyetik burulma kuvveti (tork), birdenbire azalır ve türbin birimleri arasındaki millerin bütün doğal burulma frekanslarını uyur. Bunun sonucu olarak birimler arasında salınımlar oluşur. Eğer bu salınımlar yeterince sönmüdenmeden generatör tekrar devreye alınır ve elektromanyetik burulma kuvveti yükselirse, millerde ve kuplaj sisteminde oluşan burulma salınımları milleri parçalayabilir ve generatöre zarar verebilirler. Bu nedenle bazı generatör yapımcıları, ötedenberi gelenekleşmiş olan hızlı kesici kapama işlemine karşı çıkmışlardır. Hem Con Ed, hem de başka şirketler, bazı generatörleri bu mil burulma salınımlarına karşı korumak için, çalışma biçimlerini değiştirmişlerdir, özellikle B ve F'deki kesiciler, kesicinin iki tarafındaki gerilim açıları bazı belli sınırlar içinde kalmadıkça kapama yapamayacak şekilde değiştirilmişlerdir. Bu değişiklik C'deki bir generatör birimini korumak için yapılmıştı, ama bu birim o sırada zaten serviste değildi. Daha önce D'deki kesicinin açılmış olması, gerilim açılarını normal sınırlar dışına taşıdığından, F kesicisi açık kaldı.

FG hattı yitirilince, AE hattında oluşan akımların büyüklüğü, A'daki aşırı akım rölesini çalıştırdı. Aslında A noktası, birbirine seri bağlı bir yönlü mesafe rölesi ile sözü edilen aşırı akım rölesi tarafından korunuyor ve hat, ancak her iki röle de çalışırsa açılıyordu. Sonradan yapılan inceleme, yönlü mesafe rölesinin kontaktlarının tahrip edilmiş olduğunu ve kapalı konumunda eğilmiş olduklarını ortaya koydu. Böylece, bu röle sürekli olarak arıza gösteriyor, fakat aşırı akım rölesinden sinyal gelmeyişi, koruma sistemindeki mantık devrelerini uyarmasını önüyordu. Oluşan akımlar aşırı akım rölesini de tetikleyince, koruma devreleri arıza tanısı koydular ve E'den A'ya enerji taşıyan iki devreden birindeki A kesicisi, F kesicisinin açık kalmasından yarım saniye sonra açtı. Kesici

yarım saniye sonra tekrar kapandı, derhal açtı ve bu konumda kilitlendi. Diğer devredeki aşırı akım rölesi de tetiklenmekle birlikte, yönlü mesafe rölesi normal çalıştığı için, kesicisi çalışmadı ve bu hat, devrede kaldı. Birinci

mesafe rölesindeki kontaktların eğiliş nedeni hiçbir zaman anlaşılamadı.

Bu aşamaya gelindiğinde, kenti kuzey ve batıdan besleyen beş hattın dördü açılmış bulunuyordu; geriye iki kuzey devresinden biri kalmıştı. AE hattı açınca KU hattındaki yük, 192 MW'dan sıfıra düştü. Açık olan FG hattındaki wattmetre, bu hattaki güç akışının da sıfır olduğunu gösteriyordu, fakat genellikle bu hattaki akışlar çok düşük olduğundan, Con Ed Enerji Denetim Merkezi'ndeki sistem operatörü, onu serviste sandı.

Bu sırada yöre operatörü, çeşitli kesici merkezlerindeki operatörlerden bilgi alarak, bu bilgileri sistem operatörüne aktarıyordu. F'deki kesicinin durumu da yöre operatörüne video ekranda yansıtıldı, fakat bu yoğun bilgi alışverişi sırasında yöre operatörü, yan odada bulunan sistem operatörüne, F kesicisinin açık olduğunu söylemeyi unuttu. Sistem operatörünün video ekranında kesicinin durumu görünmediği için de, operatör durumu öğrenemedi; kendisi IFG hattının işletmede olduğunu, fakat çok az enerji taşıdığını sanıyordu. Bu noktadan itibaren olayların akışı, birdenbire hız kazandı.

OLAYLAR HIZLANIYOR

20.55 - 20.57 New York Ortak Enerji Bölgesi'nin ana dağıtımıcısı, Con Ed'e telefon ederek, güneybatı besleyen 230 kV'luk ST hattındaki yükü azaltmasını bildiriyor. Bunun üzerine Con Ed, AE hattındaki yükü azaltmak için Bölge'den yardım istiyor, fakat kendisine, Bölge'nin ancak kuzeyden üretim sağlama konusunda yardımcı olabileceği, kendi sistemi içinde "birşeyler yapması" gerektiği söyleniyor. Con Ed güç dağıtımıcısı, kentin güneyindeki endüstriyel gaz türbinlerinin harekete geçirilmesini emrediyor; ancak bu birimlerin tam üretime geçebilmeleeri, yarım saat alacaktır.

20.58 Con Ed sistem operatörüne 138 kV'luk JK hattının açtığı, ayrıca L'Deki bir birimin de devre dışı olduğu bildiriliyor. Birim, bir brülör borusundaki patlak nedeniyle devreden çıkmıştır.

20.59 Ortak Bölge dağıtımıcısı, Con Ed'e 400 MW yük atmasını, aksi halde "herşeyi yitireceğini" söylüyor. Ayrıca eğer birşeyler yapmazsa, T sistemindeki operatörün 230 kV'luk hattı açacağını bildiriyor. Buradaki yüklenme, o anda 833 MW'dır ve hattın KDAD kapasitesinin çok üzerindedir.

21.00 İlk yıldırım darbesinden bu yana kent içi üretim, 600 MW artmıştır. Bununla birlikte, birkaç yerde birden oluşan sorunlar nedeniyle, kent-içi üretim olanağı azalmıştır.

21.01 Con Ed sistem operatörü, JK hattının yeniden devreye alınması için komut veriyor ve 230 kV'luk ST hattındaki yüklenmeyi azaltmak için, enerji akışını denetlemeğe yarayan S'deki faz açısı düzenleyicisini ayarlıyor.

21.02 Operatör Ortak Bölge'ye telefon ederek, AE besleyicisinin yükünü azaltma konusundaki yardım isteğini tekrarlıyor. Bölge dağıtımıcısı, kendisinin birşey yapamayacağını ve yardımın güneyden gelmesi gerektiğini söylüyor.

cağını ve yardımın güneyden gelmesi gerektiğini söylüyor.

Con Ed, Ortak Bölge'den yardım isteğini birkaç kez tekrarlar, aslında N'deki generatörlerin yükünün azaltılmasını, bu yükün Bölge içindeki başka birimlerce devralınmasını ve AE hattındaki yükün hafifletilmesi için MNIF yoluyla enerji gönderilmesini istiyordu. Bu hattın Bölge'den Con Ed sistemine, rahatlıkla yeterli enerji taşıyabileceğini biliyordu. Bilmediği şey, F'deki kesicinin açık olduğu idi. Konuşmalar, işin özüne dokunulmaksızın hep bu nokta etrafında döndü. Bölge, Con Ed'in 400 MW yük atması önerisini yineleyerek, U'daki şirketten, Con Ed'e yardım etmek için üretimini arttırmasını isteyeceğini bildirdi.

21.04 Bölge dağıtımıcısı U'daki şirkete, elindeki bütün üretimi harekete geçirmesini söylüyor. Bu şirketin K noktasına gönderdiği enerji artmaya başlıyor.

21.05 Hâlâ IFG hattının serviste ve yüksüz olduğunu saanan sistem operatörü, maksimum üretim için alarm çağırısı çıkarıyor ve Bölge ile, aşırı yüklenmenin AE hattına zarar vermemesi için bu hattı açma konusunu görüşüyor. Bölge bunun daha çok sorun yaratacağını söyleyerek, yük atma önerisini tekrarlıyor. Con Ed, yükün AE hattından IFG hattına artırılabilmesi amacıyla, Bölge'den N'deki yükün azaltılmasını istiyor. Bölge bunu yapabileceğini, fakat bunun bir yararının olmayacağını, kuzey bağlantılarının ancak güneyden gelecek destekle hafifletilebileceğini söylüyor.

21.06 Con Ed enerji dağıtımıcısı, kentteki diğer gaz türbinlerinin çalıştırılmasını emrediyor. Birinciler gibi, bu ünitelerin de tam yüke gelebilmesi için yarım saat gereklidir.

21.08 Sistem operatörü, baş sistem operatörünü telefonla evinden arıyor. Ayrıntılar görüşüldükten sonra baş operatör, FG hattının beslenmesinde bir sorun olduğu sonucuna varıyor. Operatörler, faz açısı düzenleyicisindeki ayarlama nedeniyle yükü 440 MW'a düşmüş olan ST hattından, sisteme enerji getirilmesi konusunda anlaşmaya varıyorlar.

Bölge, U şirketine sistem gerilimini % 5 azaltması ve oraya ait gaz türbinlerinin çalıştırılması için komut veriyor. Con Ed baş operatörü de sistem operatörüne, bütün merkezlerde % 5'lik gerilim azaltılmasına geçilmesini söylüyor. Enerji dağıtımıcısına ise; U'dan daha fazla yardım istemesini ve dağıtım haralarına sahip bütün üretim merkezlerinde % 5'lik gerilim düşümüne gitmesini emrediyor.

Bu arada AE hattı, KDAD düzeyinden 300 MW fazla enerji taşımaktadır ve bu limiti asalı da 15 dakikadır KDAD limitinden 100 MW fazla enerji taşımaktadır. I²R ısınmasının önemli ölçüde artması, iletkenlerin boyunu uzatıyor ve hatlar, yere doğru giderek daha fazla şarkıyorlar.

21.15 21.08 de devreye alınan iki gaz türbini, uyarılarını sağlayan besleyici yitirildiği için devreden çıkıyorlar. Sistem operatörüne T'deki şirketin, 230 kV hattın-

daki yükü 500 MW ile sınırlamış olduğu bildiriliyor. Operatör, bu hattın faz açısı düzenleyicisini, bu akışı sağla-yacak şekilde ayarlıyor.

21.18 Yüğü daha da azaltmak için Con Ed, % 8'lik gerilim düşümüne geçiyor. U'daki şirket Ortak Bölge'ye, kendisine bağlı başka bir hat aşırı yüklendiği için, yük atma-ya başlayacağını bildiriyor. Bölge bunu yapmasını, aksi halde Con Ed sisteminden kopmasını söylüyor.

21.03'ten 21.18'e kadar birkaç gaz türbini çalıştırılmıştı ve senkron hıza yaklaşılmaktaydılar. Bunlar normal olarak, hızları ve fazları sistemine uyduğunda, otomatik aygıtlarla devreye alınırlar. Ancak sistemin gerilimi artık, otomatik senkron lama için önceden yapılan ayarlara uy-madığından dolayı, sisteme alınamadılar.

21.19 23 dakika süreyle KADAD düzeylerinin üstünde yüklendikten sonra, 345 kV'luk AE ve EM hatları yitirili-yor. Isınmadan doğan sarkma nedeniyle EM hattındaki bir iletken, bir ağaç ya da başka nesneye değerek top-raklanıyor ve arıza oluşuyor. Hattın iki ucundaki kesiciler açıyor. Kesiciler otomatik olarak kapanıyor, fakat arıza devam ettiği için tekrar açarak bu konumda kilitle-niyorlar.

Bu hattaki yükün büyük bölümü, E'deki trafo üzerinden 138 kV sistemine akmağa başlıyor. Aşırı yüklenen trafo, zararı önlemek için otomatik olarak açıyor. Kuzeyle olan son 345 kV bağlantısının da kopmasıyla ST hattına binen ani yük artışı, onu KADAD düzeyinin çok üstüne zorluyor, KU hattını da KADAD düzeyinin yarısı olan 250 MW'a kadar yüklüyor.

21.21 Sistem operatörü, ST bağlantısındaki yüklenmeyi, faz açısı düzenleyicisi aracılığıyla azaltmağa çalışıyor. Aynı anda Bölge, Con Ed'in yük dağıtımına 1000 MW yük atmasını söylüyor.

Sistem operatörünün ST bağlantısında yük azaltma çaba-ları ve U'daki şirketin yük atması sonucunda, U'daki yük, K'daki 138 kV'luk bağlantı üzerinden Con Ed sistemine akmağa başlıyor. Bu besleyici UDAD sınırını aşarak, 500 MW olan KADAD sınırına doğru tırmanmağa başlıyor.

21.22 U şirketi Bölge'ye, Con Ed'le olan bağlantısını aç-mak zorunda kalacağını söylüyor ve öyle yapıyor. Ne şirket, ne de Bölge, bu eylemi Con Ed operatörüne bildir-miyorlar. Operatör, yönlü röledeki eğik kontaklar nede-niyle 20.55'te açmış olan AE besleyicisini, üst-düzey de-netleyicileriyle sisteme almağa ve Con Ed sistemindeki aşırı yüklenmeyi hafifletmeğe çalışıyor, fakat başarılı olamıyor.

21.23 Operatör, sistem yükünün % 25'e kadirini atabil-en elle kumandalı yük atma panosunun başına geçiyor. Bu el denetimi aygıtlar, bir kon tak t ya da şalterin yanlış kullanımı sonucu yanlış yük atımını önlemek amacıyla, atılacak her yük için bir dizi şalterin ve düğmenin koor-dine bir biçimde kapanmasını gerektirir. Operatör gerekli işlemleri uygularken, ST bağlantısının, KADAD sınırının 500 MW üstünde yüklenmiş olduğunu fark ediyor.

21.27 Operatör, 4 kV baralarındaki yükü atmak için ge-rekli işlemleri tamamlıyor, fakat bunun herhangi bir et-

kisini görmediği için işlemleri yeniden uygulamaya başlı-yor.

Olay sonradan incelendiğinde, el kumandasıyla yük atıl-mamış olduğu, fakat sınırdıklarında yük atma aygıtları-nın doğru çalıştığı saptanıyor. Operatörün işlemleri, doğ-ru çalıştığı saptanıyor. Operatörün işlemleri, doğru ola-rak uygulamamış olabileceği anlaşılıyor.

21.29 S'deki faz açısı düzenleyici trafo, aşırı yüklenme nedeniyle arızalanıyor. ST bağlantısı, koruma rölelerinin kesicilere kumanda etmesiyle iki ucundan otomatik ola-rak açılıyor.

Con Ed sistemi artık, dış dünyadan tamamen soyutlan-mak üzeredir. Dışarıyla olan son bağlantı, A'dan kuzeye giden 138 kV'luk çift devreli hattır. Bu zayıf devrelerle oluşan aşırı akışlar, hat empedanslarını, empedans ölçen mesafe rölelerinin tetiklenme sınırı içine sokuyor ve röle-ler tarafından arıza tanısı konuluyor. Koruma sistemleri, gerektiği gibi çalışıyor ve Con Ed'in, dış dünya ile son bağlantısı da kesiliyor.

Sisteme bu son darbe de inince, üretimle tüketim arasın-daki 1700 MW'lık açığı kapatmak için tek çare kalıyor: kent içi generatör ve türbin millerinden kinetik enerji kaybı, generatörler, enerji yitirdikçe yavaşlıyorlar. Nor-malde 60 Hertz olan sistem frekansı düşmeğe başlıyor, otomatik yük atma basamaklarından geçiyor ve müşteri yükleri, büyük bloklar halinde otomatik olarak atılıyor, önce kuzeydeki nispeten tenha yerleşim merkezleri dev-renden çıkıyor, fakat sonra sıra, can alıcı önemdeki hasta-ne, metro, asansör ve benzeri hizmetlere geliyor. Son bağ-lantının kopmasından iki saniye sonra frekans, 58.3 Hz'in altına düşerek, üçüncü yük bloğunun atılmasına sebep oluyor. Bu noktada sistemdeki üretim, sisteme bağlı yük-ten fazla duruma geçiyor. Rotorlar hızlanıyorlar ve fre-kans, tekrar yükselmeğe başlıyor.

Sistem yükü bloklar halinde atıldıkça, hafif yükte yeral-tı kablolarında oluşan kapasitif etki nedeniyle, kablolar -daki gerilim yükseliyor. Bu etki, çeşitli generatörlerdeki otomatik gerilim regülatörleri tarafından algılanıyor ve regülatörler derhal, generatörlerin rotor sargılarında ge-çen alan akımlarını azaltmağa başlıyorlar. Bağlı olduğu 345 kV'luk kablo sistemindeki gerilim artışını karşıla-mak için, O'daki 1000 MW'lık generatörün uyarım siste-mi de rotor alan akımını azaltıyor.

Generatörler, bir elektrik enerji sisteminde iki temel pa-rametreyi denetlerler: Frekans isterlerini karşılamak için aktif güç, gerilim isterlerini karşılamak için de reaktif güç denetlenir. Gerilim denetimi (reaktif güç), bir gene-ratörün rotor sargısına verilen alan akımı ile belirlenir. Bir izleme sistemi, gerilimi ölçer ve onu istenen bir dü-zeyde sabit tutmak için, alan akımını otomatik olarak ayarlar.

Eğer alan akımının kaynağı arızalanır ya da alan sargısın-da kısa devre olursa, generatörün gerilim denetleme ye-teneği yitirilir ve aktif güç verme yeteneği büyük ölçüde kısıtlanır. Bu koşullar altında generatör sistemden çıkar-ılmazsa, bulunduğu yerde şiddetli bir gerilim düşüşü ya-ratılır. Sistem, generatör uyarımını sürdürebilmek için,

başka kaynaklardan generatöre reaktif güç akıtmak zorunda kalır.

Bununla birlikte birçok durumlarda, bir generatör uyarım kaynağını yitirse bile, bir endüksiyon makinası olarak çalışmak suretiyle güç vermeğe devam edebilir. Bu koşullarda generatör, sistem frekansına karşılık gelen hızından biraz daha hızlı çalışmaktadır. Bu nedenle rotorunun demir bloku, aşırı ısınmaya uğrayabilir. Bu ısınmayı önlemek için makinanın uçlarına bir aygıt bağlanmıştır. Alan kaybı ya da uyarım kaybı rölesi denen bu aygıt, alan akımı ya da uyarım kaybını, generatöre yoğun reaktif güç girişini ölçmek suretiyle hisseder. Generatör dışarıdan yoğun reaktif güç almağa başlarsa, onu devreden çıkartır.

O'daki generatörün alan akımının azalması, bu generatöre yoğun biçimde reaktif güç akmasına yol açıyor. Generatörün uçlarına bağlı olan alan kaybı rölesi çalışıyor ve generatör, 850 MW yük taşıdığı bir sırada devreden çıkıyor.

21.33 0 generatörünün kaybı gene üretim yetersizliğine yol açıyor ve frekans, yeniden düşmeğe başlıyor. Frekans 57.8 Hz'ten geçerken son yük bölümü de otomatik olarak atılıyor, fakat bu, tamamen soyutlanmış sistemdeki üretim yetersizliğini karşılamağa yetmiyor. Frekans birkaç dakika boyunca düşmeğe devam ediyor. Sonra P'deki merkez operatörü, 6 voltluk mantık denetim sistemi çalışmaz hale gelince, buradaki generatörü de devreden çıkartıyor. Frekans düşmeğe devam ettikçe sistem, normal çalışma koşullarını sürdürme yeteneğini tamamen yitiriyor. Teçhizatın tamamen tahrip olmasını önlemek için generatörler, personel tarafından el kumandasıyla ya da aygıtların otomatik açmasıyla, peşpeşe devreden çıkarılıyorlar.

21.36 İkinci yıldırımın düşmesinden 40 dakika sonra, New York kenti karanlığa gömülüyor.

... VE SONRASI

Gökdelenlerin tüm ışıkları sönüyor. Duran asansörlerde birçok, istasyonlar arasında duran 7 metro treninde 1000 kişi mahsur kalıyor. Binlercesi ile duraklarda boşuna bekliyorlar. 10 binden fazla trafik lambasının sönmesiyle trafik duruyor; benzinsiz kalan şoförlər, elektrikli benzin pompaları çalışmadığı için yakıt alamıyorlar. Su pompalarının durmasıyla sular kesiliyor, tuvaletler tıkanıyor. Kitle taşımacılığı donuyor. Havaalanları kapatılıyor; Kennedy Uluslararası Hava Limanı'ndan ertesi sabah 5.34'e kadar uçak kalkamıyor. Posta hizmetleri duruyor. Bilgisayar bellekleri siliniyor. Klima cihazları duruyor. Ticari faaliyet duruyor. Televizyon ekranları kararıyor. Duran buzdolaplarında ve soğuk hava depolarında yiyecekler bozuluyor. Kanalizasyon işleme tesisleri durunca işlenmemiş lağım artıkları, limanları ve plajları dolduruyor.

Hastanelerde yedek generatörler olduğu için hizmetler aksamıyor, fakat kan bankalarının, morgların ve besin depolarının acil sisteme bağlanmamış olmasından doğan

çeşitli aksaklıklara rastlanıyor. Acil generatörü çalışmayan bir hastanede can alıcı noktalara bataryalarla elektrik sağlanıyor. Bir ameliyat mum ışığında, bir doğum olayı el feneri ışığında gerçekleştiriliyor. Evlerinde ve bakım evlerinde yaşamlarını sürdürmek için respiratör, çelik ciğer ve böbrek makinalarına muhtaç olanlara acilen portatif generatörler sağlanıyor.

Bütün bunlar, kendisi modern teknolojiye, teknolojsi de elektrik enerjisine dayanan her çağdaş kentte olabilecek şeylerdir. Bunların yanı sıra, her kentte (hiç değilse bu ;apta) rastlanmayacak olaylar da görülüyor. Başlangıçta bir eğlence anlayışı esiyor ve kişiler, normalin üstünde bir yardımlaşma havasına giriyorlar. Fakat saatler uzayıp karanlık devam ettikçe, zencilerin ve İspanyol kökenlilerin öncülüğünde kamu düzeni, şiddetli bir biçimde bozuluyor. Beyazlar da dahil olmak üzere daha önceden sabıka kaydı bulunmayan binlerce genç ve yetişkin, hatta kadınlar ve çocuklar, büyük çapta hırsızlık, soygun ve kundaklamalara girişiyorlar. Sonradan bildirilen sayılara göre, hırsızlıktan 1809 yer zarar görüyor. 60'ı büyük olmak üzere, 1037 yangın (normalin altı katı) çıkartılıyor. Bazı binalarda yangın itfaiye tarafından söndürüldüğü halde, ardarda birkaç kez kundaklanıyor ve binalar tamamen harabe haline gelene kadar sürüyor. (New York'ta her yıl 30 bin konut, kira ücretinden çok sigorta tazminatı alması garantili ev sahipleriyle anlaşılan kiracılar tarafından kundaklanır.) Süpermarketler, ticari kuruluşlar ve büyük giyim mağazaları yağma edilip ateşe veriliyor. Olaylar sırasında iki soyguncu ölüyor; 406 polis, 204 sivil ve 80 itfaiyece yaralanıyor.

1965 kesintisi, serin bir sonbahar akşamında olmuş, topu topu 96 kişi tutuklanmıştı. Buna karşılık 1977 kesintisi, işsizliğin en yoğun bir dönemine ve o yazın en şiddetli sıcak dalgasına rastgeldi. Olaylarla başa çıkamayan polis, 3000'e yakın tutuklamadan sonra ipin ucunu bıraktı. İdeolojik olmayan bir anarşinin pençesine düşen New York'ta, belediye başkanının deyimiyile, tam bir "dehşet gecesi" yaşandı.

ALINAN DERSLER

Düşen yıldırımların doğurduğu arızalar, yüzlerce enter-Konnekte koruma aygıtı tarafından hissedilen büyük akım sıçramaları yarattı. Bu aygıtların büyük çoğunluğu doğru biçimde çalıştılar. Bazı aygıtların yanlış çalışması, sisteme monte edilmiş olan teçhizatın daha sıkı test edilmesi gereğini ortaya-koydu. Bazı gereçlerin yanlış çalışması ile diğerlerinin doğru çalışması, birbirlerine destek olarak elbirliği ile olayı oluşturdular. Böylece sistem, 1965'ten sonra benzer bir olayın yinelenmesini önlemek için monte edilen koruma aygıtları sayesinde çöktü.

Sistemin, fırtınanın etkilerine dayanamamasının başlıca nedenleri şunlardı:

1. Con Ed'in tasarım isterleri arasında, kuzeyden gelen bütün ana iletim hatlarının açması hesaba katılmamıştı. Sistem bu destekten yoksun kalınca çöktü. Kuzeyle ve batıyla daha fazla sayıda bağlantı olmaksızın, frekans düşümünden bağımsız otomatik yük atma cihazları bulun-

maksızın, ya da daha fazla kent içi üretim kurulmaksızın, sistem, kuzey hatlarının yitirilmesine dayanamazdı.

2. Kent içi üretim, operatöre önceden bildirilmiş olan düzeye ulaşmayı başaramadı. Bu üretimin karşılama yeteneğinin artırılması gerekiyordu. Ayrıca reaktif güç akışının, yük atma nedeniyle oluşan gerilim düşüşleri sonucunda, teçhizatın yanlış çalışmasını önleyecek şekilde tasarlanması gerekirdi.

3. Enerji Denetim Merkezi'nde, kilit enerji verilerini açık bir biçimde operatöre yansıtan bir gösterim düzeni yoktu. Durum hakkında doğru tanı koyabilmek için yeterli bilgi Merkez'de fazlasıyla vardı, fakat bu bilgi etkin bir biçimde sunulamamış ve operatör, gereksiz ayrıntılara boğulmuştu.

Bu etkenlerin toplam sonucu olarak operatör, geçmiş deneyimlerinin ve yetişmesinin ışığında, kuzeyden gelen iletim desteğinin yitirilmesiyle ortaya çıkan acil durumu karşılayabilecek yanıtı veremedi. Böylece işin insansa! yönünden de, sistem simülatörleri ve başka yollarla, hızlı gelişen acil durumlara daha çabuk tepki gösterebilen operatörlerin yetiştirilmesi gereği anlaşılmalı oldu.

OLAYIN BİLANÇOSU

ABD Enerji Bakanlığı için hazırlanan bir raporda, olayın kente ve içinde yaşayanlara 350 milyon doların üzerinde zarar verdiği saptandı. Bu faturanın 155 milyon dolar tutan yarıya yakın bir kısmı, hırsızlık ve kundaklamaların sonucuydu. Buna karşılık 1965 kesintisi çok daha büyük bir bölgede yer aldığı halde, yağma ve kundakçılık olmadığı için, zarar 80 milyon doların pek üstüne çıkmamıştı. Con Ed aleyhinde, toplamları on milyar doları bulan 118 tazminat davası açıldı.

Böyle bir olayın tüm etkilerini hesabedebilmenin ise, olanağı yoktur, örneğin, olaydan sonra New York bankacıları, bazı bilgisayar tesislerini Con Ed'in hizmet verdiği bölgenin dışına taşıma kararı aldılar. 1965 kesintisinde, kesintiden 9 ay sonra, etki altında kalmış olan bölgenin hastanelerinde doğum sayısı, ani bir sıçrama gösterdi ("kesinti bebekleri" deyimi o tarihlerden kalmadır).

Bu gibi etkilerin tüm yönlerini ve topluma nasıl yansıklarını hesabedebilmek olanaksızdır. Böylece yukarıda belirtilen sayılar, aslında olayın tam ekonomik faturasını değil, ancak alt sınırını belirlemektedir.

SONUÇ

13 Temmuz 1977 tarihinde New York'ta ortaya çıkan ve 9 milyon insanı 25 saat süreyle elektriksiz bırakan kesinti, ağır üretim ve iletim kısıtlamaları altında çalışan gereç ve personelin, hızlı gelişen acil durumlara karşı gereken tepkiyi gösteremediğini ortaya koymuştur.

Yüzyılın başında önemsiz bir lüks sayılan elektrik kullanımı, bugün toplumun en temel gereksinimlerini karşılamak için zorunlu bir kaynak haline gelmiştir, özellikle herhangi bir büyük kentte, elektrik kaynağının güvenliği ve güvenilirliği, çok sıkı istekleri karşılayabilmek zorun-

dadır. Başka hiçbir enerji türü, dönüşüm, iletim ve dağıtım isteklerini anında karşılamak zorunda değildir. Elektrik enerjisinin depolanabilmesi için araştırmalar sürmektedir. Bu tür sistemler geliştirilene ve piyasaya sürülene kadar, elektrik enerjisi gereksinimleri, varolan teknolojik ve ekonomik olanakların elverdiği ölçüde, anında karşılanmağa devam edecektir.

Sistemler giderek daha fazla karmaşıklaştıkça, onların rizikosuz denetimi de o ölçüde zorlaşmaktadır. Bir noktanın ötesinde, sistemin en mükemmel biçimde çalışması için monte edilen teçhizat, bilinmeyen etkenlerin sayısını, hesaplanabilirliğin ötesinde çoğaltmakta ve sistem bir anlamda, kendi ağırlığı altında ezilmektedir. Dün New York'ta olanlar, başka bir biçim ya da olaylar zinciri içinde, yarın başka herhangi bir kentin başına gelebilir.

EK : KODLAMA ANAHTARI

Şekil 1'de kullanılan kodlamadaki semt, merkez, santral ve şirket isimleri aşağıda verilmiştir.

- A - Millwood West
- B - Buchanan South
- C - Indian Point (PASNY, Con Ed)
- D - Ladentown
- E - PleasantValley
- F - Buchanan North
- G - Sprain Brook
- H - Eastview
- I - Ramapo
- J - Hodson Avenue
- K - Jamaica
- L - EastRiver
- M - Leed?
- N - Roseton
- O - Ravenswood
- P - ArthurKill
- R - Bowline
- S - Goethals
- T - Linden (PSE and G)
- U - Valley Stream (LILCO)

KAYNAKLAR

Bu yazı, aşağıdaki kaynaklardan derlenmiştir. (En önemli kaynak birincisidir.)

1. G.L.Wikon, P.Zarakas, "Anatomy of a Blackout", IEEE Spectrum, C. 15, No. 2 (February 1978), S. 38-46.
2. R. Sugarman, "New York City's Blackout: A \$ 350 Mülion Drain", IEEE Spectrum, C. 15, No. 11 (November 1978), S. 44-46.
3. Time, July 25, 1977, S. 18-26, 31, 33-34, 48-49.
4. Newsweek, July 25, 1977, S. 22-28, 33-37.
5. G. D. Friedlander, "The Northeast Power Failure : A Blanket of Darkness", IEEE Spectrum, C. 3, No. 2 (February 1966), S. 54-73.
6. "Comments on the Northeast Power Failure", IEEE Spectrum, C 3, No. 5 (May 1966) S. 84-90.
7. Time, November 19, 1965, S. 20-25.
8. NeWweek, November 22, 1965, S. 17-22.