

YENİ MODEL ELEKTRİK GÜÇ SİSTEMLERİNİN İNCELENMESİ VE YENİ BİR YÜK DAĞITIMI ALGORİTMASI

Nurettin Çetinkaya¹ Abdullah Ürkmez² İsmet Erkmen³

^{1,2} Selçuk Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü - Konya

³ ODTÜ Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü - Ankara

¹n_cetinkaya@yahoo.com ²aburkmez@selcuk.edu.tr ³erkmen@metu.edu.tr

Anahtar kelimeler: Deregulated power systems, spot price, cost minimization, power system management.

ABSTRACT

This paper presents a new algorithm for solving economic load dispatch in deregulated power systems which are partly applied in The European Union and our country. An independent system operator (ISO) manages deregulated power systems (DPS). ISO aims to obtain minimum cost for entire power system. But each participant aims to work by minimum cost for only themselves. Each participant in DPS shares expensive operating and upkeep costs. The proposed algorithm considers price / power bids, generating / demand balance and generating units constraints. The results are shown on the standart test system which have 15 generating units.

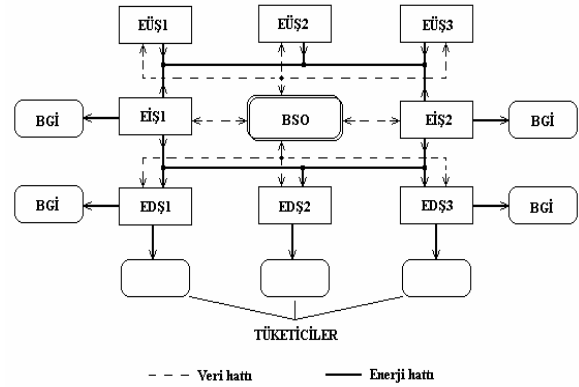
ÖZET

Bu yayının amacı özellikle Avrupa Birliği ülkelerinde olduğu gibi ülkemizde de kısmen uygulanmaya başlanan serbest üretici ve serbest tüketicili yeni model elektrik güç sistemlerinin ülkemiz açısından incelenerek bu güç sistemlerine uygun yeni bir yük dağıtım algoritmasının gerçekleştirilmesidir. Yeni model güç sistemlerini yöneten bağımsız bir sistem operatörü (BSO) sistemin tümünde maliyeti minimum yapmaya çalışırken, her iştirakçi sadece kendi maliyetini minimum yapacak olan işletme şartlarını belirlemeye çalışır. Bu tür güç sistemlerinde yüksek olan işletme ve bakım maliyetleri iştirakçiler arasında bölünmüş olur. Bu yayında iştirakçilerin verdikleri fiyat / enerji miktarı tekliflerine göre, iştirakçilerin fiziksel durumlarını da göz önünde bulunduran ve güç sisteminin üretim - yük dengesini sürekli sağlayacak şekilde çalışan yeni bir yük dağıtım algoritması yazılmıştır. Elde edilen sonuçlar, 15 üretim grubu içeren standart bir test sistemi üzerinde gösterilmiştir.

1. GİRİŞ

Son yıllarda birçok ülkenin elektrik piyasasında serbestleşme yönünde değişim yaşanmaktadır [1,2,3]. Bu değişimle birlikte elektrik sisteminin yapısında

bulunan kuruluşlar da farklı şekillerde yeni model güç sistemlerinde yer almaktadır. Yeni model güç sistemlerinin genel yapısı Şekil-1'de görülmektedir.



Şekil-1 Yeni model güç sistemi genel yapısı

Yeni model güç sistemlerinde yer alan bazı kavramları aşağıdaki gibi özetleyebiliriz:

Sistemin yapısında bulunan kuruluşlar:

- Elektrik Üretim Şirketleri - EÜŞ
- Elektrik İletim Şirketleri - EİŞ
- Büyük Güçlü İştirakçiler - BGİ
- Elektrik Dağıtım Şirketleri - EDŞ
- Perakende Satış Şirketleri - PSS
- Elektrik Servis Şirketleri - ESS
- Bağımsız Sistem Operatörü - BSO

Sistemin yönetilmesi ile ilgili kavramlar [4]:

Teklif verme : Güç sistemine elektrik enerjisi veren enerji üreticileri ve satıcıları, birim enerji fiyatı ve miktarı için teklif verirler.

Yüklenme : BSO yapılan teklifleri göz önüne alarak hangi iştirakçinin bir sonraki periyotta enerji alacağını veya satacağını belirler. Fakat bu durum ülkemiz için söz konusu değildir. Çünkü bu kadar serbest bir işlem için yeteri kadar arz fazlasının bulunması gereklidir.

Yük dağıtım : BSO teklif bilgilerini kullanarak bir sonraki periyotta iletim sisteminin minimum

maliyetle işletilmesini sağlayacak yük dağıtımını ve her iştirakçi veya bölge için spot fiyatı hesaplar.

Ödemeler : Bütün generatörler veya iştirakçiler spot fiyat üzerinden verdikleri enerji kadar ücret alırlar; bütün müşteriler spot fiyat üzerinden tükettikleri enerji kadar ödeme yaparlar. Bundan başka, iştirakçiler bazı durumlarda indirim yapabilir.

Dengelemeler : Gerçek üretim ve tüketim ile yük dağıtımındaki fark, finansal uzlaşma dönemleri sonunda hesaplanır. Bu hesaplamalara göre taraflar arasındaki ödemeler gerçekleştirilir.

2. YENİ MODEL GÜÇ SİSTEMLERİNDE YÜK DAĞITIMI

Tek merkezden yönetilen güç sistemlerinde üretim kaynakları da merkezi olarak kontrol edilir ve üretim maliyetini minimum yapan güç dağıtım yapıdır. Uygun üretim kaynaklarının daha verimli kullanılması ve yeni teknolojilere yatırım yapılması için elektrik endüstrisindeki rekabet teşvik edilir. Enerji kaynakları daha verimli kullanılır ve enerji fiyatı, maliyetleri yansıtacak şekilde belirlenir. Yeni model güç sisteminde bulunan iştirakçiler, bağımsız güç üreticileri, dağıtım şirketleri vb.'dir. Yükün beslenmesi için yapılan teklifler güç sisteminde bulunan bütün iştirakçilerin birbirini etkilemesine neden olur. Bağımsız sistem operatörü tarafından fiyat teklifleri alınır. En ucuz teklif veren iştirakçiden başlanarak belli bir sırayla (Yükü besleyebilmek için gerekli üretim sağlanacak şekilde) dağıtım yapılır. Buna göre, aşağıda belirtilen sınır şartlarına uyacak şekilde üretim gruplarının güçleri belirlenir.

$$\min \sum_{j=1}^m F_j(P_j) \quad (\text{Üretim maliyetleri})$$

$$\sum_{j=1}^m P_j - \sum_{i=1}^l P_{Bi} - P_L = 0 \quad (\text{Yük dengesi})$$

$$P_{j,\min} \leq P_j \leq P_{j,\max} \quad (\text{Aktif güç üretim sınırları})$$

$$P_f \leq P_{f,\max} \quad (\text{Hatlardaki yük akış sınırları})$$

Birçok ülkede uygulanan yönetim anlayışında her iştirakçi kendi içindeki yük dağıtımını kendi yapar. Diğer yükleri beslemek için bağımsız sistem operatörüne teklif gönderir. BSO teklifleri değerlendirir ve güç talebini minimum maliyetle sağlayacak şekilde iştirakçiler arasındaki işlemlere karar verir. Verilen hizmetlerin ücretleri spot fiyatta üretim yapılmış gibi hesaplanır.

BSO tarafından belirlenen spot fiyat, güç sisteminde bulunan üretim gruplarının ve iletim hatlarının durumlarına göre değişir [5]. Spot fiyat iştirakçinin

teklifinden daha düşükse bu durumda iştirakçi güç ithal edecektir. Spot fiyat tekliften daha büyükse güç satacaktır. İştirakçilerin bu serbestliğinin olması için arz fazlasının olması gereklidir. Bu yüzden ülkemizde spot fiyat uygulaması yapılamamaktadır.

Yeni model güç sistemlerinde iştirakçilerin maliyet fonksiyonlarının gizli olduğu göz önünde bulundurulmalıdır. BSO bütün yükün beslenmesini sağlamak zorundadır. Toplam yük iştirakçilerin önerdiği tekliften daha fazla ise spot fiyat artacaktır. Ters şekilde teklif edilen güç, sistemin yükünden daha büyükse spot fiyat düşecektir. Bu durum 'Gerçek zamanlı kapalı döngü kontrol kuralı' şeklinde isimlendirilir [6].

İyi bir rekabet için; elektrik şebekesinin büyüklüğü ile karşılaştırıldığında her alıcının ve satıcının çok küçük olması gerekir. Mevcut olan spot fiyata bu durum fazla etki yapmaz. İyi bir rekabet için spot fiyat, bölgesel üretimin bir fonksiyonu değildir. Bir iştirakçinin kârının max. olması durumunun, marjinal maliyetin spot fiyata eşit olduğu zaman gerçekleştiği söylenebilir [7].

Ülkemizde uygulamaya konulan 20 Şubat 2001 tarihli ve 4628 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu'na göre yük dağıtımını ile ilgili aşağıda belirtilen hususlar incelenmiştir:

Uzlaştırma dönemleri 06:00-17:00; 17:00-22:00 ve 22:00-06:00 saatleri arasında 3 dönem olarak belirlenmiştir. Bir gün içinde sadece üç uzlaştırma döneminin olmasının birtakım dezavantajları vardır. Termik santraller MKÜS altında olup olmadıklarına ve FDB'ye göre ikişer tane YAL ve YAT vermek zorunda kalmaktadırlar. FDB, belli bir uzlaştırma döneminde üretim tesisinin hangi kapasite ile üretim yaptığını gösterir. Oysa uzlaştırma dönemleri günün her saat dilimi için olsa bu durumda termik bir üretim grubu için birer tane YAL ve YAT teklifi almak yeterli olacaktır. Çünkü üretim şirketi o zaman dilimi içindeki üretim maliyetine göre teklif vermek durumundadır.

Uzlaştırma dönemleri birkaç saati aşacak şekilde uzun süreli olduğunda bu zaman dilimleri içinde aynı üretim tesisleri çalıştırılmadığı için üretim maliyeti de sürekli değişecektir. Oysa tüketiciye bir zaman dilimi içinde bir fiyat verilmektedir. Bu durumda bir uzlaştırma döneminin belli bir saatinde enerji harcayan tüketici, aynı uzlaştırma döneminin farklı saatlerinde üretim yapan farklı üreticilerin maliyetlerini karşılamak zorunda kalmaktadır. Bu yüzden her saat dilimi, bir uzlaştırma dönemi olmalıdır.

Üretici teklifleri ve yük talebi dikkate alınarak, günün her saati için yük alabilecek üreticiler; sistem dengesi

bozulmadan, yük akış sınırlarına uyararak ve en ekonomik olacak şekilde belirlenir.

İkili anlaşmalarla belirlenen enerji miktarları ile ölçülen enerji miktarları birbirini tutmayan katılımcılar dengesiz katılımcı olarak kabul edilir. Dengeleme kurumunun belirlediği enerji alışı ve satış fiyatları üzerinden alışveriş yapmak zorunda kalırlar.

Referans [8]'de, "Ölçme-iletişim-kontrol altyapısının gerektirdiği çok zaman dilimli ölçüm yapabilen elektronik sayaçların, Kurum tarafından yayımlanan ilgili tebliğe uygun olarak tesis edilmesi zorunludur."¹ "Yeterli derecede ölçüm yapılamadığı durumlarda ise tüketim miktarlarının tahmini bir profilden hareketle hesaplanması gerekecektir."² ifadeleri bulunmaktadır. Bu ifadeler hem birbiri ile çelişmekte hem de çeşitli anlaşmazlıklara zemin hazırlamaktadır. Bu yüzden bir an önce yeni uygulamaya uygun olan çok zaman dilimli sayaçların kullanılması sağlanmalıdır.

3. EKONOMİK YÜK DAĞITIMI İÇİN YENİ BİR ALGORİTMA

Geliştirilen bu yeni algoritmada uygulanan yük dağıtım modeli, sistem kısıtları ve üretim gruplarına ait kısıtlar ile birlikte verilen teklifleri değerlendirerek üretim gruplarının çıkış güçlerini belirler.

Buna göre önerilen yeni yük dağıtım algoritması aşağıda verilmiştir:

- B 1 - Başla. Bölgesel talepleri gir. (P_{Bi})
 B 2 - Üretim şirketlerinin; FDB, YAL ve YAT bilgilerini gir.
 B 3 - Üretim gruplarının kısıtlarını gir. (max., min üretim sınırları, yasaklanmış bölgeleri)
 B 4 - Ulusal talep gücünü hesapla. ($P_U = \sum_{i=1}^l P_{Bi}$)
 B 5 - Toplam FDB'yi hesapla. ($P_{TFDB} = \sum_{j=1}^m P_{FDBj}$)
 B 6 - P_U ile P_{TFDB} 'yi karşılaştır.
 $P_U > P_{TFDB} \Rightarrow$ Yük alma programına geç. B7.
 $P_U = P_{TFDB} \Rightarrow$ Tüm üretim grupları P_{FDB} ile çalıştırılır. B13'e git.
 $P_U < P_{TFDB} \Rightarrow$ Yük atma programına geç. B10.
 B 7 - Yük alma programı. $P_{UE} = P_U - P_{TFDB}$
 B 8 - En ucuz tekliften başlanarak teklif miktarlarını eksik olan enerji miktarı ile karşılaştır.
 $P_{UE} - P_{T1} > 0$ ve $P_{FDBj} + P_{T1} \leq P_{j,max} \Rightarrow$ T1 teklifi kabul edilecek. $P_{UE} = P_{UE} - P_{T1}$ yap.
 T2 teklifine geç.
 $P_{UE} - P_{T1} = 0$ ve $P_{FDBj} + P_{T1} \leq P_{j,max} \Rightarrow$ Yük alma programını bitir.
 $P_{UE} - P_{T1} < 0$ ve $P_{FDBj} + P_{UE} \leq P_{j,max} \Rightarrow$ Teklifin P_{UE} kadarını kabul et.
 B 9 - P_{UE} tamamlanana kadar teklifleri tara.

B10 - Yük atma programı. $P_{UF} = P_{TFDB} - P_U$

B11 - En pahalı tekliften başlanarak teklif miktarlarını fazla olan enerji miktarı ile karşılaştır.

$P_{UF} - P_{S1} > 0$ ve $P_{FDBj} - P_{S1} \geq P_{j,min} \Rightarrow$ S1 teklifi kabul edilecek. $P_{UF} = P_{UF} - P_{S1}$ yap.
 S2 teklifine geç.

$P_{UF} - P_{S1} = 0$ ve $P_{FDBj} - P_{S1} \geq P_{j,min} \Rightarrow$ Yük atma programını bitir.

$P_{UF} - P_{S1} < 0$ ve $P_{FDBj} - P_{UF} \geq P_{j,min} \Rightarrow$ Teklifin P_{UF} kadarını kabul et.

B12 - P_{UF} tamamlanana kadar teklifleri tara.

B13 - Dur.

Bölgesel talep güçlerinin yük akış analizlerinin yapılarak bağlantı hatlarının yük taşıma kapasitelerine uygun olup olmadığı da kontrol edilmelidir. Uygun olmayan durumlar için tekrar yük dağıtım gerçekleştirilir. Önerilen bu algoritmada; üretim gruplarının max., min. üretim sınırları, yasaklanmış bölgeleri, ulusal talep dengesi ve iştirakçilerin teklifleri gözönüne alınarak işlem yapılmıştır.

4. TEST SONUÇLARI

Testler sırasında kullanılan güç sisteminin üretim gruplarına ait max., min. güç üretim değerleri ile bir uzlaştırma dönemine ait YAL ve YAT fiyat/enerji miktarı teklifleri Tablo-1'de verilmiştir. Örnek test sistemine ait $P_{j,min}$, $P_{j,max}$ değerleri referans [9]'dan alınmıştır.

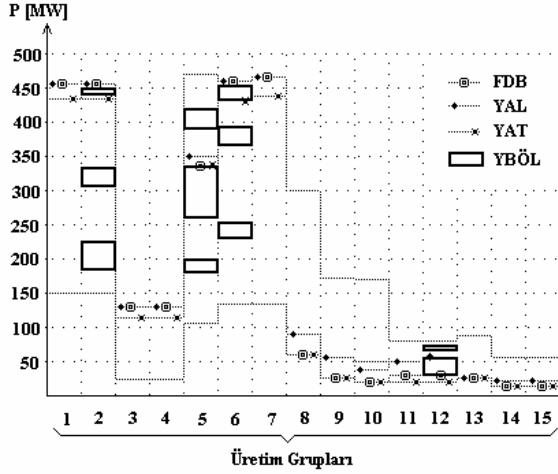
Tablo-1. Test sisteminin özellikleri ve teklifler

Grup	$P_{j,min}$	$P_{j,max}$	P_{YAL}	F_{YAL}	P_{YAT}	F_{YAT}
1	150	455	15	11,5	20	3
2	150	455	15	11,5	20	3
3	20	130	20	9,5	15	2,5
4	20	130	20	9,5	15	2,5
5	105	470	15	11	25	2,7
6	135	460	20	11	30	2,7
7	135	465	35	10,5	35	2
8	60	300	30	12	15	2,5
9	25	162	30	12	10	3
10	20	160	20	11,5	25	2,2
11	20	80	20	11,5	15	2,3
12	20	80	25	11	10	2
13	25	85	15	13,5	25	2,5
14	15	55	20	13	15	2,4
15	15	55	20	13	20	2,4

Test sisteminde bulunan bazı üretim gruplarına ait yasaklanmış bölgelerin sınırları da Tablo-2’de yer almaktadır.

Tablo-2 Yasaklanmış bölgesi bulunan gruplar

Üretim grubu	Yasaklanmış bölgeler (YBÖL)		
	Bölge 1	Bölge 2	Bölge 3
2	185 - 225	305 - 335	440 - 450
5	180 - 200	260 - 335	390 - 420
6	230 - 255	365 - 395	430 - 455
12	30 - 55	65 - 75	



Şekil-2 Üretim sınırları, YAL VE YAT sonuçları

Tablo-3 Yük alma ve yük atma sonuçları

Grup	FDB	YAL	YAT
1	455	455	435
2	455	455	435
3	130	130	115
4	130	130	115
5	335	350	335
6	460	460	430
7	465	465	435
8	60	90	60
9	25	55	25
10	20	40	20
11	30	50	20
12	30	55	20
13	25	25	25
14	15	20	15
15	15	20	15
	2650	2800	2500

Tablo-1 ve Tablo-2’de bilgileri verilen standart bir test sisteminin 2650 MW gücünde çalışırken talep gücünün 2800 MW, 2500 MW olması durumlarında

üretim gruplarının hangi miktarlarda yük alıp verecekleri önerilen algoritmaya göre çözülmüştür. Bulunan değerler, Tablo-3’te yer almaktadır. Bütün üretim gruplarına ait güç kısıtları ile yük dağıtım sonuçları Şekil-2’de gösterilmiştir.

Örnek verilen problem için, önerilen algoritma Delphi programlama dili ile çalıştırıldığında yük alma problemi 0,13 s., yük atma problemi de 0,13 s.’de çözülmüştür. Uzlaştırma dönemi sayısı arttıkça çözüm süresi de uzayacaktır. Örneğin 24 farklı durum için yaklaşık 3,12 saniyede çözüm yapılacaktır.

5. SONUÇLAR

Bu yayında yeni model enerji sistemlerinde ekonomik yük dağıtım yapan yeni bir algoritma sunulmuştur. Önerilen algoritma ekonomik yük dağıtım yaparken sistem kısıtlarına ve üretim gruplarının kısıtlarına uyarak çalıştırılmıştır. Ülkemizde de kısmen uygulanmaya başlanan yeni model güç sistemlerinin işletilmesine bazı önerilerde bulunarak en ekonomik şekilde güç sisteminin işletilmesi düşünülmüştür. Önerilen algoritma ile 15 üretim grubu bulunan standart bir test sistemi üzerinde yük alma ve yük atma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen değerlere göre önerilen algoritmanın uygulanabilir olduğu gözlenmektedir.

6. SEMBOLLER, KISALTMALAR

- i : Bölge numarası
- j : Üretim grubu numarası
- l : Bölge sayısı
- m : Üretim grubu sayısı
- $F_j(P_j)$: j. üretim grubunun üretim maliyeti [\$/h]
- P_L : Şebekenin toplam aktif güç kaybı
- P_U : Ulusal talep gücü
- P_{Bi} : i. bölgenin talep gücü
- P_{FDBj} : j. üretim grubunun FDB’si
- P_{TFDB} : Toplam FDB
- P_{UE} : Ulusal talebin eksik gücü
- P_{UF} : Ulusal talebin fazla gücü
- P_{Tj} : j. üretim grubunun yük alma teklifi
- P_{Sj} : j. üretim grubunun yük atma teklifi
- P_f : f. iletim hattındaki aktif güç
- YAL : Yük alma
- YAT : Yük atma
- MKÜS : Minimum kararlı üretim seviyesi
- FDB : Fiziksel durum bildirimi
- F_{YAL}, F_{YAT} : Yük alma ve atma teklifleri [\$/MWh]
- P_{YAL}, P_{YAT} : Yük alma ve atma teklifleri [MW]
- $P_{j,min}, P_{j,max}$: j. grubun aktif güç üretim sınırları

KAYNAKLAR

- [1] Kai Xie, Y.H. Song, J. Stonham, E. Yu, G. Liu; Decomposition model and interior point methods for optimal spot pricing of electricity in deregulation environments, IEEE Transaction on Power Systems, Vol.15 No.1; February 2000, pp:39-50.
- [2] Jerry J. Ancona; A bid solicitation and selection method for developing a competitive spot priced electric market, IEEE Transaction on Power Systems, Vol.12 No.2; May 1997, pp:743-748.
- [3] R.W. Ferrero, S.M. Shahidehpour, V.C. Ramesh; Transaction analysis in deregulated power systems using game theory, IEEE Transaction on Power Systems, Vol.12 No.3; August 1997, pp:1340-1345.
- [4] John D. Finney, Hisham A. Othman, W.L. Rutz; Evaluating transmission congestion constraints in system planning, IEEE Transaction on Power Systems, Vol.12 No.3; August 1997, pp:1143-1148.
- [5] Martin L Baughman, Walter W. Lee; A Monte Carlo model for calculating spot market prices for electricity, IEEE Transaction on Power Systems, Vol.7 No.2; May 1992, pp:584-590.
- [6] M.C. Caramanis, R.H. Bohn and F.C. Schweppe, Optimal price practice and theory, IEEE Trans. PAS, PAS-101 (9), 1982, 3234-3245.
- [7] R.W. Ferrero, S.M. Shahidehpour, Optimality conditions in power transaction in deregulated power pools, Electrical Power System Research 42, 1997, 209-214
- [8] Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK), Elektrik Piyasası Uygulama El Kitabı, Nisan 2003, 50s.
- [9] S.O. Orero, M.R. Irving; Economic dispatch of generators with prohibited operation zones: a genetic algorithm approach, IEE Proc. Gener. Transm. Distrib. November 1996, Vol.143 No.6; pp:529-534.