

HİDRO-TERMİK ÜRETİM SİSTEMLERİNDE ÜRETİM PLANLAMA VE OPTİMİZASYON

Engin AKSU
Kıdemli Danışman
Deloitte Danışmanlık A.Ş.

ÖZET

Serbestleşmenin eşiğindeki Türkiye elektrik piyasasında her geçen gün yeni projeler ortaya çıkmakta, yeni yatırımlar gündeme gelmektedir. Piyasanın gelişmesi ile birlikte rekabetçi bir ortamda faaliyet gösterecek piyasa oyuncuları, üretim portföylerini çeşitlendirmek, böylece çeşitli risklerden korunmak ve çeşitli fırsatlar yakalamak isteyeceklerdir. Bunun yanı sıra dünya piyasalarında örneği görüldüğü üzere pek çok birleşme ve satın almalar ortaya çıkacak, piyasa oyuncularının portföy çeşitliliği artacaktır. Bu kapsamda, hidrolik, termik ve hatta rüzgar santrallerinin optimum bir şekilde işletilmesi, minimum maliyetli işletme ya da piyasadan maksimum gelir elde edilmesini sağlayacaktır.

Dünya piyasalarında pek çok örneği olmakla birlikte, Türkiye piyasasında uygulama imkanı bulmuş bilimsel ve pratik modellerden biri de uzun vadeli üretim planlama ve optimizasyon için kullanılan SDDP'dir (Stokastik Dual Dinamik Programlama). Bugün dünyada pek çok üretim şirketi, yatırım grubu, sistem işletmecisi ve bankalar tarafından kullanılan SDDP, tüm ülke sisteminin tanımlanması halinde piyasa fiyatının tahmin edilmesi amacıyla da kullanılmaktadır.

Bu bildiri; dünyada ve Türkiye'de uygulama alanı bulmuş ve dünya çapında başarısı test edilmiş bilimsel ve pratik bir modelin, ülkemiz elektrik enerjisi sektörü açısından yatırımcılara ve üretim, toptan satış şirketlerine sağlayabileceği faydaların irdelenmesini kapsamaktadır.

1. GİRİŞ

Türkiye elektrik enerjisi sektörü özellikle son yıllarda hızlanan bir serbestleşme ve gelişme süreci içindedir. Bu kapsamda elektrik enerjisi değer zincirinde kamu payı yavaş ta olsa son yıllarda giderek azalmakta ve serbest tüketici limiti hızla düşmektedir. Elektrik üretim kapasitesinde 2001 yılında %78 olan kamu payı, 2008 yılında %57'ye gerilerken özel sektör payı %22'den %43'e yükselmiştir [1]. İletim sistemi tamamen TEİAŞ işletmesinde devam ederken, toptan satış piyasasında 2001 yılında %100 kamunun kontrolünde olan piyasa yapısı, 2008 yılında %20'si arz ve talep dengesini yansıtan ve üreticilerin fiyat tekliflerinden piyasa fiyatının belirlendiği dengeleme piyasasında işlem görmesiyle kabuk değiştirmiş ve sağlıklı fiyat mekanizmasına ilk adım atılmıştır. Serbest tüketici limiti 2009 yılında 480 MWh/yıl olarak EPDK tarafından belirlenmiştir.

Ülkemizde elektrik piyasasında yaşanan son gelişmeler irdelendiğinde 2009 yılının pek çok köklü değişikliğe sahne olduğu görülmektedir. Başta Nisan 2009'da yürürlüğe giren yeni "Dengeleme ve Uzlaştırma Yönetmeliği" (DUY) ve Mayıs 2009'da yayımlanan "Elektrik Enerjisi Piyasası ve Arz Güvenliği Strateji Belgesi" olmak üzere; elektrik piyasasını yakından ilgilendiren yeni "Yan Hizmetler Yönetmeliği", "Profil Uygulamasına İlişkin Usul ve Esaslar", yeni piyasa yapısına geçişle birlikte ortaya çıkacak olan "Bankalar Üzerinden Ödeme Sistemi ve Teminat Mekanizması" gibi pek çok yenilik, piyasa katılımcılarını adapte olmaları gereken yeni uygulamalarla karşı karşıya bırakmaktadır.

Yukarıda adı geçen tüm bu yeniliklerin ışığında, yeni "Strateji Belgesi"nde de vurgu yapılan *arz güvenliği bakımından gerekli yatırımların yapılmasını sağlayacak yatırım ortamının oluşturulması* ve *kaynak çeşitliliğinin sağlanması* hususları, ve yeni "DUY" ile 1 Ocak 2011'de devreye girmesi beklenen "*Gün Öncesi Piyasası*" kapsamında *piyasa katılımcılarının kendi portföylerini dengelemeleri esasına dayanan piyasaya katılım modeli* kapsamında "portföy çeşitliliğinin" önem kazanacağı ortaya çıkmaktadır. Piyasada rekabetçi ortamın gelişmesi ile birlikte oluşması beklenen yeni piyasa yapısı içinde; "İkili Anlaşmalar Piyasası", "Finansal Piyasalar", "Gün Öncesi Piyasası", "Dengeleme Güç Piyasası", "Yan Hizmetler Piyasası" gibi farklı platformlarda üretim ve ticaret açısından maksimum değer yaratılması için ölçülebilen risklerden

korunabilmek gerekecektir. Yine bu durum, portföy çeşitliliğinin önemini arttırmaktadır.

Hidro-termik portföy çeşitliliği kapsamında değerlendirildiğinde yukarıda bahsedilen farklı piyasalarda faaliyet gösterecek üreticiler açısından; hidrolik santrallerin termik üretim tesisleri ile birlikte modellenenebilmesi, kaskat yapısı da dikkate alınarak su gelirlerindeki belirsizliğin, yakıt fiyatları ve talepteki volatilité ile birlikte değerlendirilebilmesi ve uzun-kısa vadeli üretim planlamanın bu kapsamda yapılabilmesi büyük önem taşımaktadır. Hızla gelişen Türkiye elektrik piyasasında rekabetçi bir rol üstlenmek isteyen tüm üreticilerin portföylerini uzun ve kısa vadede optimum bir şekilde işletebilmeleri gerekmektedir.

2. HİDRO-TERMİK ÜRETİM PLANLAMA

Gelişen piyasa yapısı kapsamında rekabetçi pozisyon almak isteyen üretim şirketleri açısından birtakım yeni iş süreçleri ortaya çıkmaktadır. Sırasıyla talep tahmininden başlayıp, uzlaştırma ve faturalamaya kadar uzanan bu yeni süreçler kapsamında oluşturulması gereken süreç bazlı organizasyonel yapılanma, ilgili karar destek sistemleri ile etkin bir şekilde desteklenmelidir [2,3]. Bu yeni iş süreçlerinin her biri kapsamlı bir şekilde irdelenmeli ve her bir şirketin kapasitesi, konumu, stratejik hedefleri kapsamında önceliklendirilmeli ve hayata geçirilmelidir.



Kaynak: Deloitte Danışmanlık

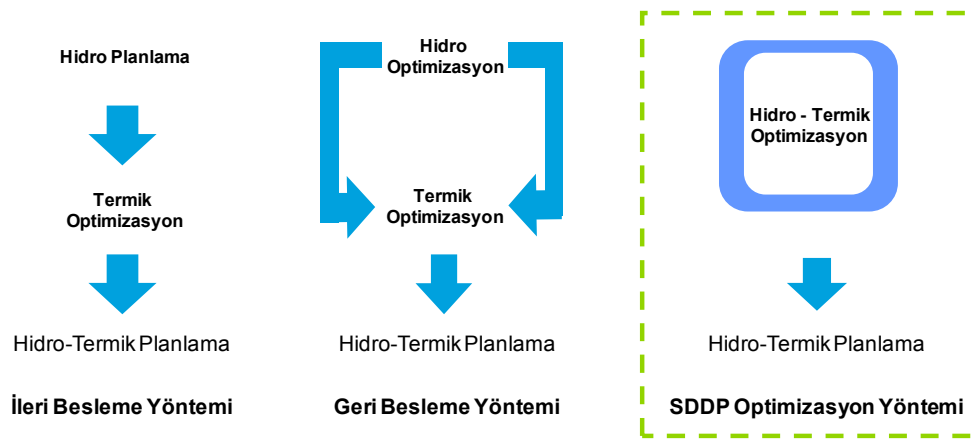
Şekil 1. Yeni İş Süreçleri

Liberalleşen piyasa yapısında üretim planlama ve optimizasyon, üretim şirketinin teknik yapısı, maliyetleri, mevcut satış ve/veya alış sözleşmeleri ile piyasaya ilişkin veri ve öngörülere göre yapılır. Piyasada varlık göstermek isteyen her üretim şirketi için kritik bir nokta olan üretim planlama ve optimizasyon çalışmaları kısa, orta ve uzun vadede farklılıklar göstermekte ve bakım ve yatırım başta olmak üzere pek çok karar noktasında kritik bir önem taşımaktadır.

Bu makalenin kapsamına giren “Üretim Planlama” süreci ışığında hidro-termik planlama yöntemlerindeki gelişim Şekil 2’de gösterilmektedir. Hidro-termik sistemlerde geçmişte yaygın olarak kullanılan yöntem, hidrolik santrallerin portföyden ayrı olarak değerlendirildiği ve bu kapsamda hesaplanan üretim planına göre termik santrallerin üretim planlamasının yapıldığı “İleri Besleme Yöntemi”dir. Bu yöntemde hidrolik planlama termik planlamadan tamamen bağımsız bir şekilde yapılmaktadır. Halen kullanılmakta olan havza optimizasyon sistemleri de bu yöntem kapsamına girmekte ve belirli bir havzanın optimum bir şekilde işletilebilmesini sağlamakla birlikte, kalan portföyle olan bağlantının olmaması global bir optimizasyon yapılabilmesini önlemektedir.

Bir diğer planlama yöntemi ise “Geri Besleme Yöntemi”dir. Bu yöntem sayesinde hidrolik santrallere ait ekonomik değerin planlama açısından değerlendirilmesi az da olsa mümkün olmaktadır. İteratif bir şekilde hidrolik ve termik optimizasyon sonucunda ortaya çıkan sonuçların sürekli olarak beslenmesi yoluyla optimum üretim planına ulaşılması hedefleniyorsa bile, kompleks hidro-termik sistemlerde optimizasyon probleminde yakınsama sağlamak çoğu zaman mümkün olamamaktadır.

Son ve en güncel yöntem ise, hidrolik ve termik santrallerin bir arada ve aynı anda optimize edildiği hidro-termik optimizasyon yöntemidir. Bu şekilde tüm üretim portföyü için optimum işletme politikası hesaplanabilmekte ve özellikle detaylı hidrolik parametreler ve kaskat yapısı kapsamında hesaplanan su değeri üzerinden marjinal fiyatlandırma yapılabilir.



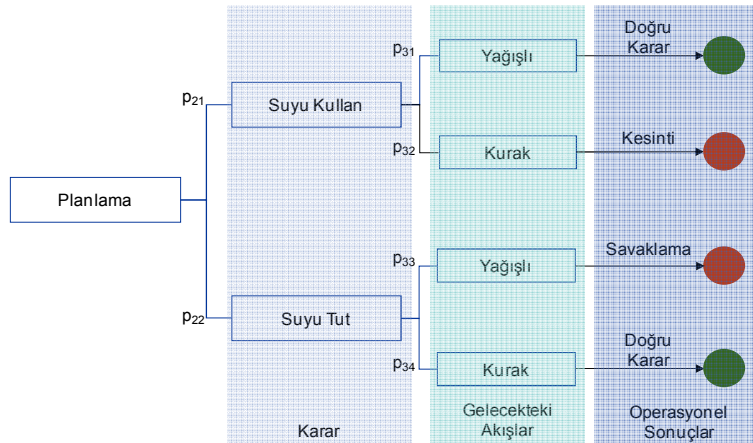
Kaynak: Deloitte Danışmanlık, Global Energy Decisions

Şekil 2. Hidro-Termik Planlama Yöntemleri

3. SDDP (STOKASTİK DUAL DİNAMİK PROGRAMLAMA)

Hidro-termik üretim planlama çok karmaşık bir optimizasyon (maliyet minimizasyonu ya da gelir maksimizasyonu) problemidir. Optimize edilmesi istenen santral sayısının ve optimizasyon ufkunun (planlama süresi) artması ile birlikte deterministik/lineer yöntemlerle üretilen çözümler çoğu zaman yetersizdir. Hidrotermik planlamanın amacı, planlama süreci boyunca beklenen termik işletme maliyetlerini minimize edecek hidro üretim sırasının belirlenmesidir [4,5]. Bu kapsamda hidro-termik üretim planlamada önemli olan nokta, suyu şimdi (anında kazanç) ya da yarın (gelecekte kazanç) kullanma kararının verilmesidir.

Hidro-termik üretim problemi aşağıda gösterilen hidro karar ağacı ile tanımlanabilir. Bugün verilen kararların gelecekteki su geliri ile birlikte ne gibi operasyonel sonuçlar doğuracağı Şekil 3'te görülebilmektedir [6]. Suyu kullan kararı sonrasında gelen yağışlı bir mevsim rezervuarların tekrar doldurulabilmesi ile doğru bir karar olarak ortaya çıkmakta, aynı karar sonrasında kurak bir mevsim yaşanması ise rezervuarların boşalması ve üretim yükümlülüklerinin yerine getirilememesi sonucunu doğurmaktadır. Aynı şekilde suyu tut kararı sonrasında yaşanan yağışlı bir mevsim, rezervuarların taşmasına ve savaklamaya sebep olacak, yine aynı karar sonrasında kurak bir mevsim yaşanması ise rezervuarların dolu olması sebebiyle doğru bir karar olarak karşımıza çıkacaktır.



Kaynak: Deloitte Danışmanlık, PSR

Şekil 3. Hidro Karar Ağacı

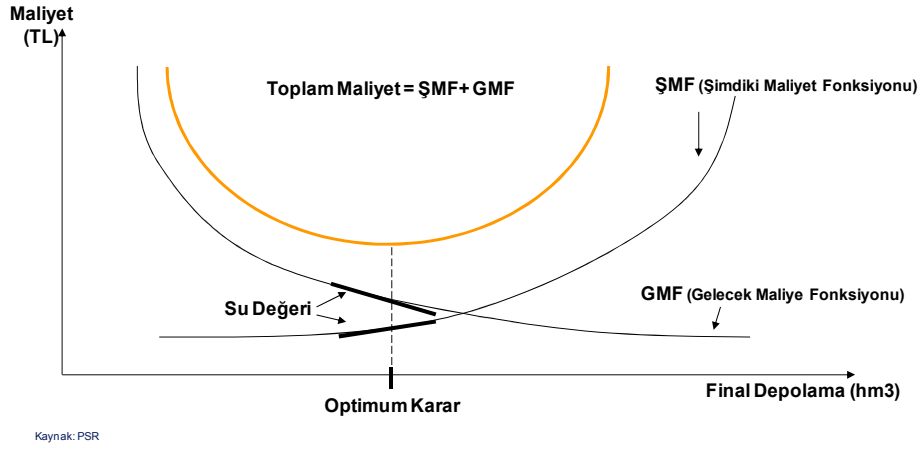
Görüldüğü gibi hidro-termik sistemlerde bugün verilen karar gelecekte telafisi mümkün olmayan sonuçlar doğurabilmektedir. İşletme açısından bugün, mevcut

bilgiler ışığında en doğru kararın verilmesi gerekmektedir, ancak bu karar gelecekteki su gelirinin bilinmemesinde dolayı “belirsizlik altında” verilecektir. Hidro-termik planlamanın stokastik doğası işte tam da bu noktada ortaya çıkmaktadır.

Stokastik hidro-termik planlama; “su dengesi, depolama ve çıkış akımı gibi pek çok kısıta tabi olarak verilen her bir karar ve su gelirinin şartlı olasılıkları (ör: p_{31}) dahilinde toplam maliyetin minimize edilmesi”ni kapsamaktadır, ki bu hidro üretim maliyetini vermektedir. Buna ek olarak termik işletme maliyetlerinin dahil olduğu tamamlayıcı bir fonksiyon daha tanımlanmalıdır.

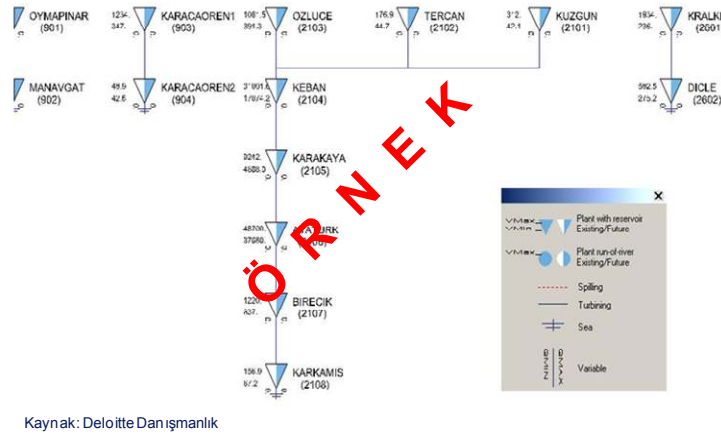
Yukarıda da belirtildiği üzere son derece sofistike olan bu optimizasyon probleminin çözülebilmesi için 1989 yılında Brezilyalı PSR (Power Systems Research) firmasının da kurucusu olan Dr. Mario Pereira tarafından SDDP (Stokastik Dual Dinamik Programlama) algoritması geliştirilmiştir. Model kabaca problemin pek çok küçük problemciğe ayrılması ve çözülmesi esasına dayanmaktadır. SDDP algoritmasında hedef fonksiyon şimdiki ve gelecekteki toplam sistem (portföy) maliyetinin minimize edilmesidir. Şekil 4, bugün verilen depolama kararına göre şimdiki (Şimdiki Maliyet Fonksiyonu: ŞMF) ve gelecekteki maliyetlerin (Gelecek Maliyet Fonksiyonu: GMF) nasıl değiştiğini göstermektedir. Suyun tutulması ile artacak depolama seviyesi şimdiki üretimin daha çok termik santraller ile yapılmasını ve dolayısıyla şimdiki maliyetin yüksek olmasını, gelecekteki maliyetin ise mevcut depolama seviyesi nedeniyle düşük olmasını sağlayacaktır.

Yukarıda da belirtildiği gibi hedef, şimdiki ve gelecekteki toplam sistem maliyetlerini (Toplam Maliyet Fonksiyonu) minimize edecek işletme politikasının hesaplanmasıdır. Şekilde görülen Toplam Maliyet Fonksiyonunun minimum olduğu nokta, tüm sistemdeki rezervuarlar için çoklu uzayda ayrı ayrı hesaplanan bir optimum depolama seviyesine (optimum karar) denk gelmektedir. Her bir rezervuar için optimum karar GMF ve ŞMF’nin depolamaya göre olan türevlerinin mutlak değeri olarak aynı olduğu noktadır (Su Değeri).



Şekil 4. Şimdiki, Gelecekteki ve Toplam Maliyet Fonksiyonları

SDDP bünyesinde hidrolik santraller için kaskattaki su dengesi (Şekil 5) , filtrasyon (sızma), değişken düşü, buharlaşma, sulama, hedef seviye ve üretim, rezerv kapasite, üretim kısıtları gibi pek çok farklı parametre ve senaryo tanımlanabilmektedir.

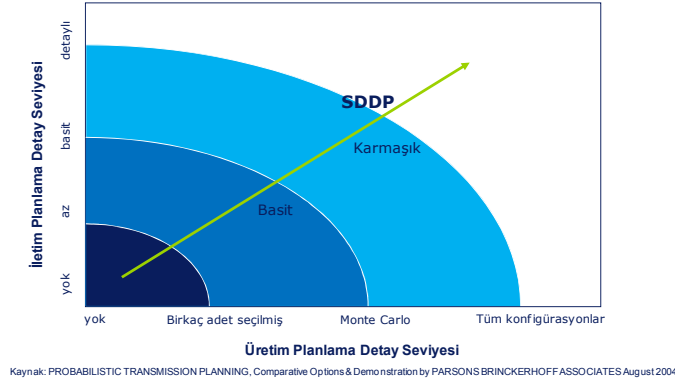


Şekil 5. Örnek Kaskat Gösterimi

Termik santraller içinse çoklu yakıtlar, kombine çevrim konfigürasyonları, termik verim, start-up maliyetleri, hedef üretim, üretim kısıtları ve rezerv kapasite başta olmak üzere pek çok özellik tanımlanabilmektedir.

Özetle SDDP, mevcut planlama modelleri arasında sahip olduğu stokastik modelleme kapasitesi, hidrolik ve termik santrallerin detaylı bir şekilde tanımlanabilme imkanı sağlaması, tarihsel su geliri bilgisine dayanarak oto regresif su

geliri tahmini yapabilmesi ve toplam portföy maliyetlerini minimize edecek¹ şekilde orta-uzun vadeli üretim planlama kapasitesi ile öne çıkmaktadır. İletim sisteminin de modellenebilmesi ile sistem kısıtları dahilinde planlama yapılabilmesini de sağlayan SDDP halen Türkiye ve dünyada pek çok üretim şirketi tarafından kullanılmaktadır.



Şekil 6. SDDP Üretim-İletim Detay Seviyesi

SDDP, optimum işletme politikası hesaplamasının yanı sıra bara marjinal maliyetleri, sistem sıkışıklık gelirleri, su değerleri, sistem marjinal maliyeti gibi pek çok ekonomik indeksi de hesaplayabilmektedir.

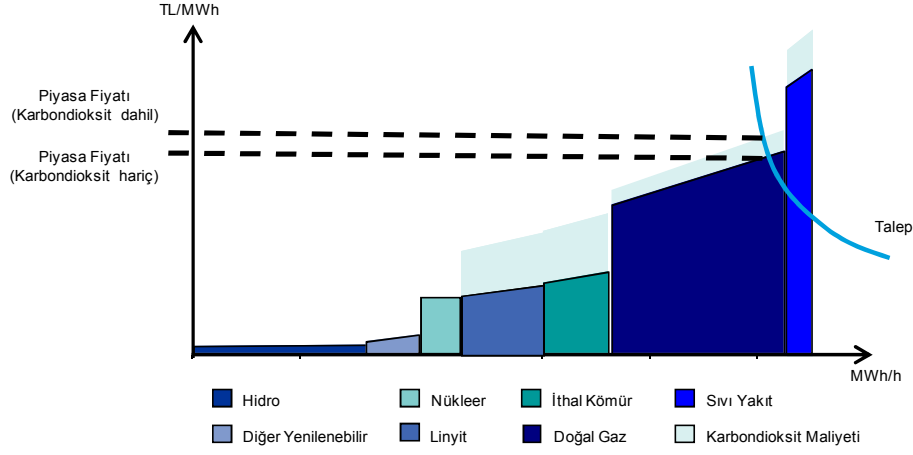
4. SDDP VE KARBON

14 Şubat 2009 tarihinde resmi gazetede yayımlanarak yürürlüğe giren “Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesine Yönelik Kyoto Protokolüne Katılmamızın Uygun Bulunduğuna Dair Kanun” ile Türkiye, uluslararası gündemin en öncelikli sorunlarından biri hâline gelen iklim değişikliğiyle mücadele konusundaki kararlılığını uluslararası topluma göstermesi ve 2012 sonrasına ilişkin müzakerelerde ağırlığını arttırması hususunda önemli bir adım atmıştır.

Karbon piyasalarının Türkiye elektrik enerjisi piyasasına etkisi; 2009 yılında Kopenhag’da yapılacak 2012 sonrası görüşmelerin sonucu ülkemizde uygulanacak karbon mekanizması, ülke tahsisat programı, sektörel dağılım, santral bazında dağılım ve ihale yöntemlerine ilişkin yasal düzenlemelerin yapılması ile belli olacaktır.

¹ Hedef fonksiyonun “toplam geliri maksimize et” şeklinde tanımlandığı bir SDDP versiyonu daha mevcuttur.

Karbon maliyetinin doğrudan elektrik fiyatına yansıtılması durumunda elektrik fiyatlarında artış olacağı ve artış miktarının karbon fiyatına bağlı olacağı aşağıdaki şekilde görülmektedir.



Kaynak: Deloitte Danışmanlık

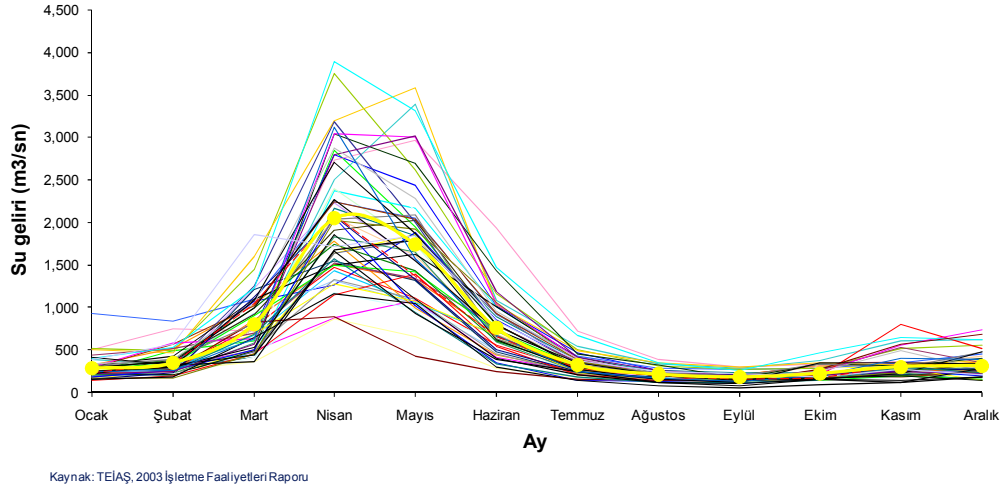
Şekil 7. Piyasa Fiyatı ve Karbon Maliyetleri

İleride ülkemizde de oluşması muhtemel karbon salınımı maliyetlerinin SDDP’de teknoloji bazlı modellenmesi mümkündür. Böylelikle orta ve uzun vadede çeşitli karbon fiyatı senaryoları dahilinde pek çok farklı analizin yapılması ve muhtemel maliyet artışlarının toplam üretim portföyü içerisindeki etkilerinin izlenmesi mümkün olacaktır.

5. ÜLKEMİZDEKİ SDDP UYGULAMALARI VE PİYASA FİYAT TAHMİNİ ÇALIŞMALARI

SDDP halihazırda 30’dan fazla ülkede pek çok üretim, toptan satış, yatırımcı ve kreditor şirket tarafından çeşitli analiz ve planlama çalışmaları amacıyla kullanılmaktadır. Ülkemizde ise son 2 yıldır belli başlı kamu ve özel sektör şirketleri tarafından kullanılmaya başlanmıştır. Uzun vadeli planlama ve su geliri tahmini kabiliyetleri 2007 ve 2008 seneleri için gerçekleşmiş değerler ile kontrol edilmiş ve gerek planlama, gerekse su geliri tahmini açısından tatmin edici sonuçlar alınmış ve böylece model Türkiye elektrik piyasası dinamikleri içinde test ve kalibrasyon imkanı bulmuştur. Ülkemiz elektrik sistemi mevcut durumda yaklaşık %30’luk hidrolik kurulu gücü, 26 farklı havza karakteristiği ve alım garantili kontratları gibi pek çok kendine

özgü şarta sahiptir. Özellikle hidroloji açısından, her ne kadar havza bazlı karakteristik özellikler sergilense de, su gelirlerindeki belirsizliklerin oluşturduğu planlama açısından güçlük, ancak sağlam temellere dayanan topolojik ve hidrolojik modeller vasıtasıyla bertaraf edilebilir. Aşağıdaki şekil, Fırat havzasının kaskat başı rezervuarı olarak kabul edebileceğimiz Keban HES'in 1950-2003 yılları arasındaki tarihsel su gelirini göstermektedir [7]. Şekilden de görüleceği üzere su geliri yıldan yıla büyük değişim gösterebilmektedir. Hiçbir su geliri tahmin modeli gelecekle ilgili kesin sonuçlar üretemez, önemli olan husus tarihsel veri baz alınarak oluşturulan ve matematiksel olarak sağlam temellere oturan olasılıksal modeller vasıtasıyla belirsizlik altında en uygun kararın verilebilmesidir.



Şekil 8. Keban HES Tarihsel Su Geliri (1950-2003)

SDDP günümüzde sadece üretim planlama çalışmaları için değil, dünyada ve Türkiye’de pek çok üretim şirketi, banka, finans kurumu ve toptan satış şirketi tarafından piyasa fiyat tahmini ve yatırım analizi çalışmaları amacıyla da kullanılmaktadır. SDDP, tüm ülke sisteminin tanımlanması durumunda marjinal maliyet kavramına göre çalışan piyasalarda aylık olarak piyasada oluşacak fiyatın senaryo bazlı olasılık dağılımı bazında hesaplanabilmesini sağlamaktadır.

Model tarafından geleceğe yönelik farklı senaryolar olarak hesaplanan rezervuar bazlı su gelirinin yanı sıra, yakıt fiyatları ve talep gelişimi gibi belirsizliklerin kullanıcı tarafından senaryo bazlı olarak modellenmesi vasıtasıyla gelecekte oluşması muhtemel pek çok farklı durum simüle edilebilmektedir. SDDP bünyesinde

oluşturulan farklı su geliri senaryoları, ileride gerçekleşmesi muhtemel farklı hidrolojik durumların piyasa fiyatı üzerindeki etkilerinin analiz edilmesinde kullanılabilir.

Uzun vade (aylık bazda, genelde 1 ila 10 yıllık süreler için) alışmaları için kullanılan SDDP, Türkiye elektrik piyasasının önemli aktörlerinden biri olacak olan toptan satış şirketleri için planlama, yatırım ve sözleşme stratejileri açısından son derece önemli olan fiyat tahmini çalışmaları için kullanılabilir. Aynı durum, Türkiye elektrik piyasasının gelişiminde aktif rol oynamak isteyen kreditor kurumlar açısından da geçerli olup, fiyat tahmin çalışmaları stratejik ve sağlam temellere dayanan borç yapılandırma ve bu kapsamda strateji belirleme çalışmalarının bel kemiğini oluşturacaktır.

6. SONUÇ

Her geçen gün gelişen ve giderek rekabetçi bir hal alması beklenen Türkiye elektrik piyasasında faaliyet gösterecek üretim şirketleri açısından portföy çeşitliliği büyük önem kazanacaktır. Bu kapsamda hidro-termik sistemlerin (portföylerin) optimum bir şekilde işletilmesi, minimum maliyetli işletme ya da piyasadaki maksimum gelir elde edilmesini sağlayacaktır.

Son yıllarda ülkemizde de uygulama, test ve kalibre edilme imkanı bulmuş olan ve dünya çapında başarısı test edilmiş bilimsel ve pratik bir model olan SDDP, ülkemiz elektrik enerjisi sektörü açısından yatırımcılar, üretim ve toptan satış şirketleri ile kreditor kurumlar açısından önemli faydalar sağlama potansiyeline sahiptir. Bu ve buna benzer pek çok bilimsel modelin ülkemiz şartlarında test edilmesi ve uygulanması, gelişmekte olan elektrik sektörümüze önemli katkı sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

[1] TEİAŞ Yük Tevzi Raporları, www.teias.gov.tr

[2] Deloitte Danışmanlık A.Ş., Türkiye Elektrik Enerjisi Piyasası, Beklentiler ve Gelişmeler 2007 Raporu, 2006

[3] **Sandalkhan, B. ve Güneş, C.**, Elektrik Piyasalarında Ticari Uygulamalar, CE-KA Yayınları, 2005

[4] **Fleten, S.E.**, Portfolio Management Emphasizing Electricity Market Applications, A Stochastic Programming Approach, PhD Thesis, 2000

[5] **Maceira, M. E. P., Damázio, J. M.**, Use of the PAR(p) Model in the Stochastic Dual Dynamic Programming Optimization Scheme Used in the Operation Planning of the Brazilian Hydropower System, 2006

[6] **PSR**, SDDP Kullanıcı El Kitabı

[7] **TEİAŞ**, 2003 İşletme Faaliyetleri Raporu