

DEĞİŞEN DİNAMİKLER ÇERÇEVESİNDE ELEKTRİK PİYASASINA YÖNELİK MODELLEME YÖNTEMLERİ: BİR LİTERATÜR TARAMASI

Yasemin Asu ÇIRPICI

Yıldız Teknik Üniversitesi

İİBF, İktisat Bölümü

Dr.

ycirpici@yildiz.edu.tr

Serçin ŞAHİN

Yıldız Teknik Üniversitesi

İİBF, İktisat Bölümü

Dr.

sesahin@yildiz.edu.tr

Seçkin SUNAL

Yıldız Teknik Üniversitesi

İİBF, İktisat Bölümü

Yrd. Doç. Dr.

sesunal@yildiz.edu.tr

Ercan EREN

Yıldız Teknik Üniversitesi

İİBF, İktisat Bölümü

Prof. Dr.

eren@yildiz.edu.tr

Özet

Elektrik sektörü dünyada ve Türkiye’de ciddi bir değişim ve gelişim içerisinde. Liberalizasyon hareketiyle birlikte sektör pek çok ajanın bir arada bulunduğu bir sisteme dönüşmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, çevresel kaygılar, piyasa etkinliğinin sağlanabilmesi gibi faktörler piyasanın çok daha kapsamlı incelenmesini gerekli kılmaktadır. Bu değişen düzenin çıktılarını görebilmek ve öngörülerde bulunabilmek adına sektörün modellenmesi önem kazanmaktadır. Bu çalışmada elektrik sektörünün hangi yöntemlerle ve hangi şekillerde modellenebileceği, yapılmış çalışmalardan örnekler sunulmaktadır.

incelenecektir. Bu bağlamda, sistemi açıklamaya en uygun görünen sistem dinamiği ve ajan-bazlı modelleme tekniklerine ayrıntılı olarak yer verilecektir.

Anahtar Kelimeler: *Elektrik piyasası, sistem dinamiği, ajan-bazlı modeller*
Alan Tanımı: İktisat (Enerji İktisadı, İktisadi Modelleme)

MODELING TECHNIQUES FOR ELECTRICITY MARKETS IN THE FRAMEWORK OF CHANGING DYNAMICS: A LITERATURE SURVEY

Abstract

Electricity market around the world is undergoing an extensive restructuring process. Deregulation changes the market into a system with many interacting agents. A comprehensive analysis of the market is required concerning the factors as the use of renewable energy resources, environmental concerns, and achieving market efficiency. It became important to model the market in order to analyze and forecast the outcomes of the new structure. In this study the modeling alternatives for the sector are presented. In this respect, the system dynamics and agent-based modeling techniques are concerned in detail as they are more powerful in analyzing the new system.

Keywords: *Electric Market, system dynamics, agent-based modeling*

JEL Kodu: C60, D40, Q40.

1.GİRİŞ

Elektrik sektörü önemli bir değişim ve gelişim süreci içinde bulunmaktadır. Yeni sistem, sektörün devlet elinden çıkarılıp tam rekabet esasına geçilmesine dayanmaktadır. Elektrik sektörünün yeniden düzenlenmesi deregülasyonun görüldüğü havayolları, telekomünikasyon gibi diğer bazı sektörlerden daha zor olmaktadır. Sektörün kendine has özellikleri belirsizliklerin büyük ölçüde artığı yeni düzenin analizini kompleks hale getirmektedir. Öncelikle aşırı esnek ve değişken arz ve talep söz konusudur. Elektrik depolanamayan bir üründür bu nedenle değişken olan talebin karşılanması için arzın eş anlı değişebilmesi gereklidir. Talebin zirve yaptığı durumları karşılayabilmek için yeterli kapasitenin bulunması gereklidir. Peki kapasite nereye kadar artırılmalıdır? Rekabetçi firmaların pazar paylarından emin olmadan bu kararı vermeleri zorlaşmaktadır. Enerji sıkıntısına girilmemesi adına, arz güvenliği sistemin önceliklerinden biri olmuştur. Bunun yanında ekonomik verimlilik ve çevresel hedefler diğer iki ana

odak noktası olmuştur. Belirsizliklerin yoğun olduğu bir ortamda bu üç hedefe ulaşabilmek için iyi bir planlama şarttır. Bunu yapabilmek için sektörün modellenmesi önem kazanmaktadır. Bir sonraki bölümde elektrik sektörü için çeşitli modelleme alternatifleri değerlendirilecektir.

2. SEKTÖRÜN MODELLENMESİ

Elektrik piyasasının modellenmesine yönelik çalışmaları, piyasa yapılarının evrimine bağlı olarak belli başlı üç safhada özetlemek mümkündür: Optimizasyon, denge ve simülasyon (Ventosa vd., 2005: 898).

Elektrik piyasası modellerinin birinci kuşağını, klasik optimizasyon teknikleri oluşturmaktadır. Bu tip modeller piyasanın öngörülebilir bir trend içinde olduğu tekeli piyasalar için uygundur. İkinci kuşak modelleri piyasa dengesinin hesaplanmasına yönelik çalışmalar karakterize etmektedir. Temel motivasyonları kar maksimizasyonudur. Üçüncü kuşağı ise simülasyon modelleri oluşturmaktadır. Bu tür modellerde temsili aktör varsayımı ortadan kalkmakta, farklı güdü ve bilgi setlerine sahip aktörlerin, tanımlı bir piyasa yapısı içindeki etkileşimi modellenmektedir. Bu son kuşak, özellikle elektrik sektörü gibi çok sayıda ajanın belirlediği, belirsizliklerin fazla olduğu kompleks yapıların incelenmesinde oldukça etkindirler. Elektrik sektörü için iki seçenek ön plana çıkmaktadır. Bunlar, sistem dinamiği (SD) ve ajan-bazlı modellerdir (ABM).

2.1 Sistem Dinamiği

Ford (1997), geribildirimlerin gözlenebilmesi açısından sistem dinamiği yönteminin diğer modelleme tekniklerinin önüne geçtiğini savunmaktadır. Ajanlar arasındaki etkileşimlerin detaylı olarak gösterilebilmesi, çok sayıda ajanın ortaya çıktığı yeni elektrik piyasasının modellenmesinde avantaj sağlamaktadır.

Yapılan çalışmalara baktığımızda kapasite yatırım kararının ve çevresel faktörlerin modellemede ön plana çıkan konular olduğu görülmektedir. Bunlar dışında, Jalal ve Bodger (2010) arz eksikliği durumunu, Vaziri ve Akbarpour (2007) ve Davis ve Durbach (2010) elektrik tüketiminin nasıl azaltılabileceğini değerlendirmişlerdir.

Sanchez v.d. (2007), yeni sistemde üretim planlaması üzerine yapılan çalışmaları üç ana kaynağa bağlamaktadır: Andrew Ford ve ekibi, Derek W. Bunn ve onun London Business School'daki araştırma grubu, A. Botterud ve K. Vogstad.

Ford, bu konuyu değişik yönleriyle ele alan çalışmalar yapmıştır. 1999'daki çalışmasında kapasite fazlası ve eksik kapasite arasında dalgalanmalar gösteren Batı Amerika elektrik sektörü için santral inşaat potansiyelini değerlendirmiştir. Dalgalanmaların olumsuz etkilerini azaltmak için sabit kapasite primi ödemelerinin etkili olabileceğini göstermiştir. 2001 çalışmasında Kaliforniya için yaptığı simülasyonlarla inşaatların sıklıkla talebin gerisinde kaldığını, bunun da yazın yaşanan zirve periodlarda fiyatların beklenmedik şekilde yükselmesine neden olduğunu göstermiştir.

Larsen ve Bunn, çalışmalarını İngiltere ve Galler bölgesinde yoğunlaştırmışlardır. 1992'deki çalışmalarında bölge koşullarına göre üretim kapasitesine yönelik yatırımların nasıl evrileceğini araştırmışlardır.

Botterud ve Vogstad, iki tane daha arkadaşıyla birlikte 2002'de yaptıkları çalışmada rekabetçi piyasanın arz fazlası ve arz eksikliği arasında dalgalanan yapısını modellerine dahil ederek uzun dönemde elektrik sektörünün gelişimini etkileyen faktörleri incelemişlerdir. Modellerini Norveç'e uygulayarak iki senaryo üretmişlerdir. Bunlardan ilkinde yeni bir santral kurulma zamanı ve kullanılacak teknolojinin kararı piyasaya bırakılmış, ikincide ise CO2 vergisinin eklendiği ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelme eğiliminin olduğu bir ortam analiz edilmiştir. Fiyatların arttığı dönemlerde kapasite artırımı yoluna gidildiği ancak gecikmeler nedeniyle genişlemenin fiyat artışlarının gerisinde kaldığını belirlemişlerdir. Yapılan yeni santraller çoğunlukla büyük ölçekli gaz santralleri olmuştur. CO2 vergisi anında fiyatları yukarı çekmiş, bu yeni seviyede fiyatlar dalgalanmayı sürdürmüştür. Küçük ölçekli fakat sayıca daha fazla olan yenilenebilir enerji kullanan santraller sayesinde santral kurulumları daha akıcı (smooth) bir seyir izlemiştir.

Vogstad yaptığı çalışmalarda Kuzey Avrupa ülkeleri için modeller kurarak yenilenebilir enerji konusuna ağırlık vermiştir, fosil yakıtlardan yenilenebilir kaynaklara geçişi (Vodstad, 2002), ticareti yapılabilen yeşil sertifika piyasalarının istikrarını (stability) (Vodsgtad v.d, 2003), kısa ve uzun dönemde doğalgaz santrallerine geçmenin ikame etkisini (Vogstad, 2004) incelemiştir.

Bunların dışında, Arango vd. (2002), Kolombiya için kurdukları modelle farklı simülasyon koşulları altında kapasite yatırım kararlarının ne şekilde değiştiğini incelemişlerdir. Batı Afrika Enerji Havuzu (West African Power Pool, WAPP) için yapılan bir modelleme ile (Gebremicael v.d, 2009) yatırım ve performans arasındaki uzun dönem etkileşim incelenmiştir. Sánchez v.d. (2005), detaylı bir sistem dinamiği modeli ile talebin zirve yaptığı saatler de hesaba katılabilmektedir. Assili v.d. (2007), sabit ve değişken kapasite ödemelerinin piyasa yatırımları üzerindeki etkilerini incelemişlerdir.

CO2 emisyonu vergisi konulması, yeşil sertifika uygulamaları ve bunların piyasalarının varlığı maliyetlerde, dolayısıyla fiyatlar üzerinde etkili olmaktadır. Bu durum şirketlerin yeni santral kurma, kapasite artırımına gitme gibi yatırım kararlarını etkilemektedir. Bu nedenle bunların modellendiği çalışmalara da sıkça rastlanmaktadır. Bunlara örnek olarak Vogstad (2004), Flynn ve Ford (2005), Jäger v.d (2009), Flynn v.d (2010) gösterilebilir.

2.2 Ajan-bazlı Modelleme

Elektrik piyasasını incelemek ve değerlendirmekte kullanılan modelleme yaklaşımlarından biri de ajan-bazlı modelledir. Bu yaklaşım, iktisadi ajanların sınırlı rasyonel olmalarına, davranışları öğrenip adapte etmelerine ve birbirleriyle olan etkileşimlerini modellemeye olanak veren mikro temelli (disaggregate) bir yaklaşımdır. ABM modelleri kullanılarak üreticilerin piyasa gücü, piyasa düzeni, piyasa verimliliği, ajanların kararları ve öğrenme, gibi konular incelenebilmekte, kısa ve uzun dönem simülasyonlar yapılabilmektedir.

Jahangiri v.d.(2012), yakın gelecekte daha yoğun bir biçimde kullanılacak olan akıllı dağıtım ağı ve enerji üreten/tüketen akıllı araçların enerji piyasası üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Thomas v.d.(2012) ise, fiyata duyarlı akıllı klimaların kullanımının toptan ve perakende enerji sektörü üzerindeki etkilerini izlemek üzere, benzer bir model geliştirmişlerdir.

Yatırım kararı konusunda yapılan çalışmalara baktığımızda, Yen v. d. (2000), bir çoklu-ajan sistemi kurarak aynı piyasa içindeki bazı oyunculara (elektrik santrali sahipleri, iletim sistemi sahipleri ve bir grup tüketici gibi) koalisyonlar oluşturmak üzere partner seçimi yapmak konusunda yol göstermeyi hedeflemişlerdir. Bu birleşmeler sayesinde oyuncular uzun dönem çıkarlarını korumayı garantilemeye çalışacaklardır. Czernohous v. d. (2003) ise mümkün olduğunca basit bir model

kurmayı hedeflemiş, iletim sistemlerini modele dahil etmemişlerdir. Çalışmada üç tip ajanın (elektrik üreten şirketler, tüketiciler ve kural koyucu) tanımlandığı bir ajan-bazlı model ile elektrik piyasalarında uzun dönem planlama içinde yatırım kararları modellenmiştir. Wen v.d. (2004), rekabetçi bir piyasada elektrik üretimi için gerekli kapasite artırımı konusunu değerlendirmişlerdir. Çalışmada, kapasite primi veya kapasite piyasası olmadığı bir piyasada talebin tavan yaptığı durumda önemli bir arz eksikliği yaşanabileceğini, bunun da fiyatlarda önemli bir artışa neden olacağını belirtmişlerdir. Bu nedenle sadece piyasa işleyişine güvenmenin ekonomik ve politik açıdan riskli olacağını savunmuşlardır. Lahlou (2007), belirsizlerin olduğu rekabetçi bir elektrik piyasası için üç tane model kurmuştur. Kapasite artırımı ile ilgili oluşturduğu modelde orta ve uzun vadede risk kriterleri ve kar maksimizasyonuna göre yatırım kararları değerlendirilmiştir.

Genoese v.d 2006'da kurdukları modelde gün öncesi piyasa (day-ahead market) ve forward piyasa modülü kullanarak uzun dönem fiyat gelişimlerinin simülasyonu yapmış, aynı zamanda modellerine bir de yatırım kararı modülü eklemişlerdir.

Çevresel kaygılar ajan-bazlı modeller ile de analiz edilmiştir. Bunların bir örneği Sensfuß v.d'nin 2008'de yaptığı çalışmadır. Kurdukları ABM ile yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının fiyatlarda önemli bir düşüş sağladığını göstermiştir. Yine Almanya için Genoese v.d (2005), CO2 emisyonu ticaretinin piyasaya etkilerini analiz etmiştir. Bunlar dışında, Weidlich v.d (2008), Veit v.d (2004) ve Chappin ve Dijkema (2007) bu yöndeki çalışmalara örnek olarak gösterilebilir.

İtalya'da üretici firmalar vadeli sözleşmeler imzalamakta ve buna göre de gün öncesi piyasada fiyat teklifleri vermektedirler. Rastegar v.d (2010), toptan elektrik piyasasını modelleyerek vadeli sözleşmelerin üreticilerin teklif stratejilerini etkilediğini göstermişlerdir. Toptan elektrik piyasası üzerine yapılmış çalışmaların detaylı açıklamalarını Weidlich ve Veit'in 2008 çalışmalarında bulmak mümkündür.

Pfluger (2009), ABM ile Kuzey Avrupa ülkelerinde yenilenebilir enerji kaynaklarıyla üretilen elektriğin İtalya'ya aktarımını analiz etmişlerdir. Beş farklı senaryo incelenmiş, buna göre, güney İtalya'nın, örneğin Napoli'nin bağlanmasının piyasa verimliliğini önemli ölçüde artırdığını görmüşlerdir.

3. SONUÇ

Elektrik sektörünün yeni ve dinamik yapılanması piyasa yapısının analizini ve öngörülerde bulunmayı zorlaştırmaktadır. Bu da sektörün, özellikle modern yöntemler kullanılarak, modellenmesini gerekli kılmaktadır. Bu çalışmada elektrik sektörünün ne şekillerde modellenebileceğini gösteren örneklerle yer verilmiştir. Bunlar içinde yeni kompleks yapıyı anlatmada daha etkin olan sistem dinamiği ve ajan-bazlı modelleme teknikleri detaylı bir şekilde ele alınmıştır.

KAYNAKLAR

Arango Santiago, Ricardo Smith, Isaac Dyner, & Silvia Osorio, “*System Dynamic Model to Analyze Investments In Power Generation In Colombia*”, Proceedings of the 20th International Conference of the System Dynamics Society, 2002, Palermo, Italy.

Assili, Mohsen, M. Hossein Javidi D.B., Reza Ghazi, “*An Improved Mechanism for Capacity Payment Based on System Dynamics Modeling for Investment Planning in Competitive Electricity Environment*” Energy Policy 36, 2008, 3703–3713.

Bagnall, Anthony J. & George D. Smith, “*A Multi-Agent Model of the UK Market in Electricity Generation*”, IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 9:5, 2005, 522-536.

Botterud, A., M. Korpas, K. Vogstad and I. Wangensteen, “*A Dynamic Simulation Model for Long-Term Analysis of the Power Market*”, Proceedings 14th Power Systems Computation Conference 2002, Seville, Spain.

Chappin, Emile.J.L. & Gerard. P.J. Dijkema, “*An Agent Based Model of the System of Electricity Production Systems: Exploring the Impact of CO2 Emission-Trading*”, System of Systems Engineering (SoSE '07) IEEE Uluslararası Konferansı, 16-18 Nisan 2007, 1-5, San Antonio, Teksas, ABD.

Czernohous, Clements, Wolf Fichtner, Daniel J. Veit, Christof Weinhardt, “*Management decision support using long-term market simulation*”, Journal of Information Systems and e-Business Management (ISEB), 1:4, 2003, 405-423.

Davis, Stephen & Ian Durbach, “*Modelling Household Responses To Energy Efficiency Interventions Via System Dynamics and Survey Data*”, ORION, 26:2, 2010, 79-96.

Genoese, Massimo, Dominik Möst, Frank Sensfuß, Otto Rentz, “*An Agent-based Model to Analyse the Long-term Development of the German Electricity System*”, the 29th IAEE International Conference, 7-9 June 2006, Potsdam, Germany.

Hilary Flynn, Dwayne Breger, Andrew Belden, Asmeret Bier , Chad Laurent , Natalie Andrews & Wilson Rickerson, “*System Dynamics Modeling of the Massachusetts SREC Market*”, Sustainability 2:9, 2010, 2746-2761.

Flynn, Hilary & Andrew Ford, “*A System Dynamics Study of Carbon Cycling and Electricity Generation from Energy Crops*”, Proceedings of the 23rd International Conference of the System Dynamics Society, July 17-21, 2005 Boston.

Ford, Andrew, “*Waiting for the boom: a simulation study of power plant construction in California*”, Energy Policy 29, 2001, 847-869.

Ford, Andrew, “*Cycles in competitive electricity markets: a simulation study of the Western US*”, Energy Policy 27, 1999, 627-658.

Ford, Andrew, “*System Dynamics and the Electric Power Industry*”, System Dynamics Review 13:1, Spring 1997, 57–85

M. Gebremicael, H. Yuan and K. Tomsovic, “*Use of System Dynamics for Studying a Restructured West African Power Pool*”, the 2009 IEEE PES General Meeting, Calgary, July 2009.

Genoese, Massimo, Frank Sensfuß, Anke Weidlich, Dominik Möst & Otto Rentz, “*Development of an agent-based model to analyse the effect of renewable energy on electricity markets*”, the 19th international conference informatics for environmental protection (Enviroinfo Brno 2005), 7 – 9 Eylül 2005, 542-547, Masaryk Üniversitesi, Brno, Çek Cumhuriyeti.

T. Jäger, S. Schmidt, U. Karl, “*A System Dynamics Model for The German Electricity Market –Model Development and Application*”, 27th International

Conference of the System Dynamics Society, July 26-30 2009, Albuquerque, New Mexico.

Jahangiri Pedram, Di Wu, Wanning Li, Dionysios C. Aliprantis, Leigh Tesfatsion, “*Development of an Agent-Based Distribution Test Feeder with Smart-Grid Functionality*”, the IEEE Power and Energy Society General Meeting, San Diego, CA, July 22-26, 2012.

Lahlou, Abdelaziz, “*Multi-Agent Modelling of Electricity Markets: Transaction Processes and Generation Capacity Expansion under Competition*”, doktora tezi, EPFL, Tez danışmanı: E. Gnansounou, Lausanne, İsviçre, Eylül 2007.

Jalal, Thahirah S., Pat Bodger, “*The Development of a System Dynamics Model for Electricity Generation Expansion in New Zealand*”, Electricity Engineers' Association (EEA) Conference, 17-18 June 2010, Christchurch, New Zealand.

Pfluger, Benjamin, Frank Sensfuss, Martin Wietschel, “*Agent-based simulation of the effects of an import of electricity from renewable sources in Northern Africa into the Italian power market*”, 6. Internationale Energiewirtschaftstagung an der TU Wien, February 11-13 2009.

Rastegar, Mohammad A., Eric Guerci, and Silvano Cincotti, “*Forward Contract Effects in the Italian Whole-sale Electricity Market*”, içinde: *Handbook of Power Systems II*, (Editörler: Rebennack, S., Pardalos, P.M., Pereira, M.V.F., Iliadis, N.A), Springer, 2010, ss 241-286.

Sanchez, Juan, Julian Barquin, Efraim Centeno & Alvaro Lopez-Pena, “*System Dynamics Models for Generation Expansion Planning in a Competitive Framework: Oligopoly and Market Power Representation*”, the 2007 International Conference of the System Dynamics Society and 50th Anniversary Celebration, July 29-August 2, 2007, Boston, Massachusetts, USA.

Sensfuß, Frank, Mario Ragwitz, Massimo Genoese, “*The merit-order effect: A detailed analysis of the price effect of renewable electricity generation on spot market prices in Germany*”, Energy Policy 36:8, August 2008, 3086– 3094.

Sugianto, Ly-Fie, “*Simulating a Competitive Electricity Market*”, SIG GlobDev Third Annual Workshop, December 12, 2010, Saint Louis, USA.

Vaziri, Hoda & Mohammad Akbarpour, “*An Investigation into Electricity Subsidy Dynamics by a System Dynamics Approach*”, the 2007 International Conference of the System Dynamics Society and 50th Anniversary Celebration, July 29 – August 2, 2007, Boston, Massachusetts, USA.

Veit, Daniel, Wolf Fichtner, Mario Ragwitz, “*Agent-based Computational Economics in Power Markets – Multi-agent Based Simulation as a Tool for Decision Support, Multiple Participant Decision Making*”, in: J. Andrysek, M. Karny, J. Kracik, (Ed) International Series on Advanced Intelligence, cilt 9, 2004, Advanced Knowledge International, Adelaide, Avusturalya.

Ventosa, Mariano, Alvaro Baillo, Andres Ramos ve Michel Rivier. “*Electricity Market Modeling Trends*”, Energy Policy. 33, 2005, 897-913.

Vogstad, K, “*Stochasticity in electricity markets: combining system dynamics with financial economics*”, Proceedings System Dynamics Conference, 2006, Nijmegen, the Netherlands.

Vogstad, K, “*Counterproductive environmental policies: Long term versus short term substitution effects of gas in a liberalised electricity market.*” System Dynamics Conference, 2004, Oxford, UK.

Vogstad, K., I. S. Kristensen and O. Wolfgang. “*Tradable green certificates: The dynamics of coupled electricity markets*”, 2003, Proceedings System Dynamics Conference, New York, USA.

Vogstad, K., A., Botterud, K. M. Maribu & S. Grenaa, “*The transition from a fossil fuelled towards a renewable power supply in a deregulated electricity market*”, Proceedings System Dynamics Conference 2002, Palermo, Italy.

Weidlich, Anke & Daniel, Veit, “*A critical survey of agent-based wholesale electricity market models*”, Energy Economics 30:4, 2008, 1728–1759.

Weidlich, Anke Frank Sensfuß, Massimo Genoese & Dominik Veit, “*Studying the effects of CO2 emissions trading on the electricity market: A multi-agent-based approach*”, in: R. Antes (Ed), Emissions Trading: Institutional Design, Decision Making and Corporate Strategies, NY: Springer, 2008, ss 91-101.

Wen, F.S., Felix F. Wu, Y.X. Ni, “*Generation Capacity Adequacy In The Competitive Electricity Market Environment*”, *Electrical Power and Energy Systems* 26:5, June 2004, 365–372.

Yen, Jerome, Yonghe Yan, Javier Contreras, Pai-Chun Mad, Felix F. Wue, “*Multi-Agent Approach To The Planning Of Power Transmission Expansion*”, *Decision Support Systems*, 28:3, May 2000, 279–290.