



Dinamik Tüketici Talep Yönetimi Yapabilen Blokzincir/Kripto Para Tabanlı Elektrik Piyasası İşletme Modeli

Alper Özpınar¹,

¹ İstanbul Ticaret Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0003-1250-5949)

(Bu yayın 26-27 Haziran 2020 tarihinde HORA-2020 kongresinde sözlü olarak sunulmuştur.)

(DOI: 10.31590/ejosat.780683)

ATIF/REFERENCE: Özpınar, A. (2020). Dinamik Tüketici Talep Yönetimi Yapabilen Blokzincir/Kripto Para Tabanlı Elektrik Piyasası İşletme Modeli. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Special Issue), 434-441.

Öz

Günümüzde elektrik enerjisi piyasası, en genel ve ideal tanımlaması ile tüketiciler ve üreticiler arasındaki arz-talep dengesinin oluşturulması, en uygun fiyatlandırmanın yapılarak piyasaya sunulması ve tüketilmesi ve enerji kaynaklarının hem üretimde hem de tüketimde farklı kontrol ve denetim araçları ile kontrol edilmesiyle oluşmaktadır. Bu piyasalara ülkelere göre serbest piyasa koşullarının oluşması için gerekli hukuki düzenlemeler yapılmaktadır. Bu düzenlemelerde temel amaç, elektrik enerjisi gibi insan yaşamındaki toplumsal yaşam zamanlarına bağlı tüketim ve sanayi elektrik kullanımı ile ilgili genel bir denge kurulmasının sağlanarak enerjinin en verimli şekilde tüketilmesini sağlamaktır. Özellikle fosil yakıtlara dayalı enerji üretimi yerine yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı temiz enerji üretimi için tüketici tarafındaki enerji talebini kontrol edebilmek ve bu talebe yönelik olarak en uygun üretim senaryolarını ve fiyatlandırma optimizasyonunu yapmak çok önemli bir konu haline gelmiştir. Özellikle 2020 yılı içerisinde tüm dünyayı etkileyen pandemi süreci ile birlikte geleneksel tüketici davranışları ev tipi ve sanayi tipi tüketimin trendlerinin değişmesine neden olmuştur. Bu makalede tüketicilerin taleplerini bireysel ve tüketim senaryolarına göre segmente ederek dinamik fiyatlandırma yapan ama bunu toplu olarak merkezi sistemde düzenleyerek talep tarafındaki dalgalanmaları en aza indirerek Gün İçi, Gün Öncesi ve Dengeleme Güç Piyasalarına yönelik yeni nesil piyasa işletme modeli ve bu modelin işletilmesinde kullanılacak olan blokzincir tabanlı teklif güvenliği ve tüketicilerin çift taraflı enerji kullanımlarına yönelik önerilen kripto para kWhCoin anlatılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Talep Tarafı Yönetimi, Talep Katılımı, Blokzincir, Elektrik Piyasası, Grup Tarifesi, kWhCoin.

Blockchain / Crypto Money Based Electricity Market Business Model with Dynamic Consumer Demand Side Management

Abstract

The electricity market is formed by establishing the supply-demand balance between consumers and producers, by making the most appropriate pricing and controlling the energy sources with different control and supervision tools in both production and consumption. Nowadays, necessary legal arrangements are made in different countries to create free market conditions. In these arrangements, the main purpose is to provide a general balance regarding consumption and industrial electricity usage related to community life time zones in order to consume energy in the most efficient way. It has become a very important issue to control the energy demand on the consumer side and to optimize the most suitable production scenarios and pricing for this demand, especially for clean energy production based on renewable energy sources in order to replace energy production based on fossil fuels. Especially with the pandemic process affecting the whole world in 2020, traditional consumer behavior caused changes in domestic and industrial consumption trends. In this article, a new generation market operating model for the Intraday, Day-Ahead and Balancing Power Markets and blockchain-based to be used in the operation of this model by making dynamic pricing by segmenting the demands of the consumers according to individual and consumption scenarios, but by organizing this collectively in the central

¹ Sorumlu Yazar: İstanbul Ticaret Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, ORCID: 0000-0003-1250-5949, aozpinar@ticaret.edu.tr

system, minimizing the fluctuations on the demand side. The recommended cryptocurrency kWhCoin for bid security and consumer two-way energy usage is described.

Keywords: Demand Side Management, Demand Response, Blockchain, Cryptomoney, Electricity Market, Group Tariff, kWhCoin.

1. Giriş

Enerji günümüzde insanoğlunun ulaştığı teknoloji ve refah seviyesinin en önemli girdilerinden biridir. Bu nedenle enerjiye olan talebin her geçen gün artmasına rağmen, talep tarafında ise olabildiğince temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı üretimin yapılması hedeflenmekte ve bu amaçla talebin kontrol edilmesi ve dengelenebilmesi için çeşitli tarife ve fiyatlandırma modelleri kullanılmaktadır.

Literatürde enerji tüketimi modellenmesine yönelik bir çok çalışma bulunmaktadır, bu çalışmaların bir kısmı istatistikî yöntemlerle çalışırken (Sanquist, Orr, Shui, & Bittner, 2012; Weron, 2007; Zeifman & Roth, 2012), bir kısım çalışmada zaman serileri, regresyon gibi yaklaşımlar kullanılmıştır. (Bianco, Manca, & Nardini, 2009; Kumar & Jain, 2010; McLoughlin, Duffy, & Conlon, 2013; Wolde-Rufael, 2006) Son yıllarda ise verilerin artması ve hesaplama güçlerinin bulut bilişim, GPU'lu özel hesaplama makinaları, yüksek performanslı hesaplama sistemlerinin sağladığı hesaplama gücü ile makine öğrenmesi ve derin öğrenme gibi yapay sinir ağları kullanarak yapılan birçok çalışma bulunmaktadır. (Berges, Goldman, Matthews, & Soibelman, 2009; Dong, Li, Rahman, & Vega, 2016; Hamzaçebi, 2007; Kaytez, Taplamacioglu, Cam, & Hardalac, 2015; Rahman, Srikumar, & Smith, 2018; Toros & Aydın, 2018)

Ancak bu yapılan çalışmaların büyük çoğunluğu mevcut ve geçmiş verileri kullanarak tahmin yapma ve model oluşturma üzerine kurgulanmıştır. Fiyatlandırma politikaları ve farklı tarife modelleri ile ilgili olarak da yine benzer şekilde yapılmış birçok araştırma ve çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalar hem gelişmekte olan Afrika ülkelerinde, belli bir refah seviyesindeki ve toplumsal öncelikleri temiz enerji verimli enerji olan AB ülkeleri hem de Çin gibi dünyadaki enerji üretimi ve tüketiminin zirvesinde olan ülkeler için o ülkelerdeki tüketim modellerine ve verilerine göre yapılmıştır. (del Río González, 2008; Lin & Liu, 2013; MacPherson & Lange, 2013; Nguyen, 2008)

Türkiye'de ise 2001 yılında bu alanda faaliyet gösteren kurumların faaliyetlerini, hak ve yükümlülüklerinin tanımlanması ve lisansların verilmesi amacıyla kurulmuştur. Yıllar içerisinde elektrik enerjisi, doğal gaz, petrol ve sıvılaştırılmış petrol gazları gibi temel enerji kalemleri ile ilgili düzenlemeleri yapmaktadır.

Türkiye'de tarife ve ev tipi tüketimle ilgili olarak yapılan çalışmalarda anlatıldığı gibi piyasanın serbestleşme süreci 2008 yılında Elektrik Piyasası Kanununun 2008 yılında revize edilmesini takiben hızlanmıştır. (Çetinkaya, Başaran, & Bağdadioglu, 2015) . Avrupa Birliğine uyum süreçleri kapsamında yapılan çalışmalar, aynı zamanda üreticilerin Nisan 2014 itibariyle Türkiye Ulusal Elektrik şebekesini Avrupa kıtasına tamamen ve kalıcı olarak entegre edilmesi ile özelleşme süreçleri de başlamıştır. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının elektrik enerjisi için kullanımına yönelik yapılan kanuni düzenlemeler, teşvik ve satın alma konusunda verilen destek ve garantiler ile iyi bir yatırımcı potansiyeline ulaşan sistem 2005 senesinden sonra çok ciddi bir büyüme ivmesi yakalamıştır. Bu ivme öncelikle Rüzgar Enerjisi Santrallerinde gözlenmiş sonrasında Küçük HES'ler ve son yıllarda üretim maliyetlerinin azalması ve teknolojik gelişmeleri PV panellerindeki verimliliklerindeki yatırım geri dönüş zamanını kısaltması ile büyük bir ilerleme kaydetmiştir. (Acar, Selcuk, & Dastan, 2019; Köksal & Ardiyok, 2018)

Enerji fiyatlarının uluslararası kurlar bazında fiyatlandırılması, fosil yakıtları açısından yeterince doğal kaynakları bulunmayan Türkiye gibi ülkeler için tüketiciler doğal gaz, benzin ve elektrik enerjisi fiyatlarının yükselmesi ile karşı karşıya kalmışlardır. Bu konuda yapılan güncel bir çalışmada tüketici davranışlarına yönelik eğilimler ve bu konuda dünyada yapılan çalışmalar değerlendirilmiş, tüketicilerin hem yükselen fiyatlar hem de küresel ısınma iklim değişikliği konulara olan düşünceleri aktarılmıştır. (Ediger, Kirkil, Çelebi, Ucal, & Kentmen-Çin, 2018) Yine hem AB ülkeleri, hem Türkiye hem de Kanada'da geleceğin tüketicileri olan üniversite öğrencilerinde bu konuda yapılan bir çalışmada gençlerin tüketim konusundaki bilinç düzeyleri aktarılmıştır. (Ozil, Ugursal, Akbulut, & Ozpinar, 2008)

19 Haziran 2020 tarihli 31160 sayılı Resmî Gazete'de Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) tarafından Elektrik Piyasası Tarifeler Yönetmeliği yayımlanmıştır. ("Elektrik Piyasası Tarifeler Yönetmeliği," 2020) Bu yönetmelik ile iletim ve dağıtım tarife planlamalarına ve tarife önerileri hazırlanmasına yönelik gerekli hukuki düzenlemeler yapılmış ve farklı sistemlerin kurgulanabilmesi için hukuki altyapı da sağlanmıştır.

Bu yönetmelik ile tüketicilere yapılacak tarife önerileri kapsamında farklı fiyat uygulamasına tabi tutulacak yeni kullanıcı grupları, bunların nasıl tanımlanmaları gerektiği, şebeke kullanımına ve genişletilmesine ilişkin maliyet miktarlarının belirlenmesi gerekmektedir. Ayrıca iletimi ve/veya dağıtımını yapılan ve yapılması planlanan elektrik enerjisi miktarı ve sunulan hizmetin standardının mevcut ve gelecekteki maliyetlere etkisinin incelenmiş olması da gerekmektedir.

Bu makalede önce talep yönetimi, talep katılımı, mevcut tarife ve piyasa modelleri anlatılmış sonrasında önerilen piyasa modelinin serbest piyasa koşullarının ve hem güvenli hem de değiştirilemez teklif verme ve alma teknik altyapısı için kullanılacak olan blokzincir mimarisi anlatılmış, sonrasında tüketicilerin uygun tarife modeline göre davranabilmeleri için kullanabilecekleri hızlı kredi ve ödeme modeli için kullanılacak olan kWhCoin kripto parası anlatılmıştır. Sonraki bölümlerde sistemin teknik ve işlevsel mimarisi ve nasıl çalışacağına ilişkin gereksinimler ve altyapı modelleri anlatılmıştır.

2. Elektrik Enerjisi Piyasaları, Tüketiciye Yönelik Modeller ve Tarife Modelleri

Bu bölümde makalenin ilerleyen bölümlerinde anlatılacak olan modelde kullanılacak olan kavramların tanımlamaları ve modele ilişkin etkileşimleri anlatılacaktır.

2.1. Piyasalar

Türkiye’de Enerji Piyasaları kontrolü; Enerji Piyasaları İşletme Anonim Şirketi (EPIAŞ), 14.03.2013 tarihli ve 6446 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu ile 6102 sayılı Türk Ticaret Kanunu ile, 18 Mart 2015 tarihinde tescillenmiş ve 01 Eylül 2015 tarihinde, Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu’ndan (EPDK) piyasa işletim lisansını alarak faaliyete geçmiştir. (“EPIAS Web Sitesi,” 2020)

2.1.1. Gün Öncesi Piyasası (GÖP)

Elektrik piyasalarının üretici sayısındaki artış ve Avrupa Birliği uyum süreçlerine uygun olarak üreticilerin fiyatlarını bir gün öncesinden tanımlayabildikleri ve bunun üzerinden işlem yapabildikleri yerli gün öncesi projesi geliştirilmiş ve bu proje kapsamında yazılımları ve sağlanan ortam ile elektrik referans fiyatının yani Piyasa Takas Fiyatını (PTF) belirlenmektedir. Arz ve talebin kesiştiği ve saatlik bazda oluşan bir fiyattır. (“EPIAS Web Sitesi,” 2020)

2.1.1. Dengeleme Güç Piyasası (DGPYS)

Gerçek zamanlı dengeleme; yan hizmetler ve dengeleme güç piyasalarından oluşmaktadır. Dengeleme güç piyasası, Sistem İşletmecisine (MYTM) gerçek zamanlı dengeleme için en fazla 15 dakika içinde devreye girebilecek yedek kapasiteyi sağlanmasını hedeflemektedir. Tüm operasyonel teknolojiler olarak adlandırılan OT ağında scada ve PLC sistemleri ile frekans kontrolü ve talep kontrolü hizmetleri sağlanır. Gün içerisinde yaşanan beklenmedik olaylar, büyük bir talebin oluşması, anlık tüketimlerin üretime yada endüstriyel proseslere bağlı olarak devreye girmesi yada üretimde olan bir planlı üretim yapan enerji santralinin devre dışı kalması sonucunda bozulan dengeyi korumak için MYTM dengeyi sağlamak için Dengeleme Güç Piyasası’na sunulmuş teklifleri SMF (Sistem Marjinal Fiyatı) kullanarak, sistem dengesini sağlamaya çalışmaktadır. Bu proje kapsamında önerilen model ile DGPYS piyasasının daha düzenli ve kontrollü olabilmesi hedeflenmektedir. Özellikle tüketici tarafında oluşabilecek anlık artışların oluşturulacak mikro tüketim grupları içerisinde dengelenecek şekilde Mikro bir Dengeleme Güç Talebi yapısı oluşturulacaktır. (“EPIAS Web Sitesi,” 2020)

2.1.1. Gün İçi Piyasası (GİP)

Yukarıda aktarılmış olan Gün Öncesi, Yan Hizmetler ve Dengeleme Güç Piyasalarına ek olarak devreye alınan Gün İçi Piyasası ile gerçek zamana yakın anlık ve dinamik serbest piyasa koşullarında üreticilerin ticaret yapabilmesi sağlayabilmektedir. Üreticilerin kısa vadede planladıkları portföylerinde yaşanacak dalgalanmaları dengelemeyebilmelerine imkân sağlayacaktır. Yine önerilen model ile desteklenecek olan Gün İçi Piyasası, Gün Öncesi Piyasası ile Dengeleme Güç piyasası arasında köprü görevi görecek, bu özelliği ile de Elektrik Piyasasının dengelenmesine ve sorunsuz bir şekilde hizmetin verilmesini sağlayacaktır.

Böylelikle beklenmeyen ve anlık oluşabilecek santral arızaları devre dışı kalmalar, hava ve iklim koşullarına bağlı yenilenebilir enerji kaynaklarının üretimlerindeki değişimler ve talep tarafında müşterilerin yaratabileceği tüketim miktarındaki öngörülemezlikler gibi dengesizliğe yol açacak unsurlar gerçek zamana daha yakın bir zamanda ortadan kaldırılabilecek, katılımcılara gün içinde yaşayabilecekleri pozitif veya negatif dengesizliklerin optimize edilmesi sağlanacaktır. (“EPIAS Web Sitesi,” 2020)

2.2. Talep Tarafı Yönetimi ve Talep Katılımı

Tüketicilerin ihtiyaç duydukları enerjiyi kullanımlarına yönelik yapılan çalışmalar Talep Tarafı Yönetimi başlığı altında toplanmaktadır. Bu konuda çok uzun süredir enerji verimliliği konusunda tüketici tarafında yapılan tarife planları, ekipman ve cihaz değişimi, ev tipi kullanımda enerji verimli cihazlar, ampuller gibi konuları kapsamaktadır. Sanayii elektriğine yönelik çalışmalarda ise yüksek enerji tüketimi yapan ısıtıcılar, soğutucular ve motorların yenilenmesi enerji verimliliklerini artıracak önlemler, şebeke modernizasyonu ve proses iyileştirmeleri kapsayan faaliyetler olarak yapılmaktadır.(Atzeni, Ordóñez, Scutari, Palomar, & Fonollosa, 2012; Palensky & Dietrich, 2011)

Talep katılımı konusu ise talep yönetimindeki yapılan anlık tüketim faaliyetlerinin fiyat veya farklı tetikleyiciler ile değişimini sağlayan sistemleri kapsamaktadır.(Albadi & El-Saadany, 2007, 2008; Palensky & Dietrich, 2011) Farklı fiyatlandırma tarifleri kullanımı genel olarak yüksek talep olan yoğun saatlerde elektrik fiyatlarının artırılması diğer saatlerde ise daha uygun fiyatlandırma yapılması olarak örneklendirilebilir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı olan üretim santrallerinde anca kısa zamanlı ve kapasiteli saklamalar yapılabilmektedir, rüzgar enerjisi günün saatlerine göre belli bir ortalama trend izlerken, güneş enerjisi mevsimlere ve günün saatlerine göre değişmektedir, nehir tipi olan HES’lerde ise genelde yenilenebilir olarak tanımlanabilmeleri için kapasitelerinin küçük olması ve büyük barajlar gibi doğayı değiştirmeden küçük havzalar ile üretim yapabildiklerinden özellikle yaz aylarında suyu biriktir kullan mantığı ile çalışmaktadırlar. Bu tip bir modelde gün boyu suyu biriktirmek ve yüksek satış fiyatlarının olduğu saatlerde üretim yapmak ekonomik olarak daha yüksek gelir sağlamaktadır. Ancak tüm bu sistemlerde yine de dinamik bir şekilde talep katılımının yapılabilecek olması hava durumu, rüzgâr, güneşlenme ve akış tahmin modelleri ile birleştirildiğinde daha iyi bir planlama yapılabilmektedir.

Genel olarak talep tarafı yönetimi yatırım ve mevcut sistemlerin değişimini de kapsadığından daha uzun vadeli planlamalar olarak düşünülürken, talep katılımı aktif sistemin yeteneklerine göre yapılacak değişimler ve planlar ile kısa dönem planlamalar ve faaliyetler olarak düşünülebilir. (Aghajani, Shayanfar, & Shayeghi, 2017; Siano, 2014)

Bu makalede önerilen model çalışma ve teklif alma verme ve kabul yapısı ile talep katılımı olarak tanımlanmaktadır. Ancak iki yönlü sayaçların kullanımı, uzaktan kontrol edilebilen akıllı ev aletleri gibi sistemlerin eklenebilmesi gibi konular açısından da talep tarafı yönetimi alanına da girmektedir.

3. Blokzincir ve Kripto Para Kullanımı

Çok kullanıcısı ve katılımcısı olan sistemlerin güvenliği ve şeffaflığı konusunda günümüzde globalleşen ve sınırları kaldırarak merkezi kontrol ve takip sistemlerinden uzaklaşarak dağıtık kontrollü sistemlerin kullanılmasına olan talebi artırmıştır. Özellikle dünya ekonomisindeki dalgalanmalar, ülkeler ve toplumlar arası yaşanan politik ve ekonomik krizler genel bir güven problemini de beraberinde getirmiştir. Açık kaynak kodlu yazılımlar, sosyal medyanın kullanımı, anonim paylaşımlar, takip edilemeyen para ve dosya transferleri gibi ihtiyaçları ve bunlara yönelik çözümleri de oluşturmaktadır.

Blokzincir aslında dağıtık bir kayıt veritabanı yada yetkisi olan tüm katılımcılarına açık bir kayıt defteri olarak düşünülebilir. Defterdeki yada veri tabanındaki her bir işlem kaydı tüm katılımcılar tarafından kayıt altına alınır. Bu kayıt işlemi sırasında arkasına ekleneceği bloğun bilgileri de alarak bir zincir oluşturur. Dolayısı ile bu zincir içerisinde herhangi bir kaydın değiştirilebilmesi için o kayda kadar olan tüm kayıtların da değiştirilmesi gerekecektir. Dağıtık bir mimari olan bu sistemde, blokzincir sunucuları tüm kayıtları anonim olarak saklarken herhangi bir anlaşmazlık ve kayıt uyumsuzluğu durumunda doğru olan kayıt sistemdeki tüm blokzincir sunucularından kontrol edilerek oybirliği ile doğrulanarak validasyon ve kontrolü yapılmış olur. Tüm bu aşamalarda kullanılan blokzincir algoritmasına göre kayıtlar ve işlemler kriptolu olarak saklanabilmektedir. (Crosby, Pattanayak, Verma, & Kalyanaraman, 2016; Pilkington, 2016; Swan, 2015; Zheng, Xie, Dai, Chen, & Wang, 2018) Bu sayede kayıtların değiştirilmesine yönelik yapılabilecek olan bir siber saldırıdan tek bir sunucunun ele geçirilmesini bir güvenlik riski yaratmayacaktır. Ayrıca sunucuların anonim olması toplu ve planlı bir saldırı yapılmasının önüne geçmektedir.

Blokzincir kullanarak yapılabilecek olan çözümler ve bu çözümlerin klasik ya da alışılmış olan çözümlere karşı avantaj ve dezavantajları son yıllarda bir çok çalışmada yer almaktadır. (Aydar & Çetin, 2020; Mustafaoğlu, 2018; Ünsal & Kocaoğlu, 2018) Ayrıca ulusal araştırmalarda öncelikli desteklenecek konular arasında da blokzincir ile dağıtık sistemlerin kullanılması, finans teknolojileri (fintek), sağlık ve eğitim alanında olası kullanımları da teşvik edilmektedir.

Önerilen blokzincir mimari sürecindeki enerji üretimi yapan ve piyasada bulunan firmalar ve gereken durumlarda resmi kurumlarda bu sistemin bir parçası olarak dağıtık denetim yapabileceklerdir. Kayıtların bu şekilde dağıtık olarak tutulması serbest piyasa koşullarında tüm tarafların şeffaf bir şekilde süreçleri takip edebilmesini sağlamaktadır.

Blokzincir mimarisi ve bu mimariye dayanarak ortaya çıkarılan sana para Bitcoin 2008 yılında Satoshi Nakamoto adındaki kişi yada grup tarafından yayınlanan bir teknik yazı ile dünya gündemine girmiştir. (Nakamoto, 2019) Sistemin ilk temel yapıtaşı olarak adlandırılan Genesis Bloğu oluşturulmuş ve 50 Bitcoin üretilmiştir. Sonrasında üretilen kripto paraların yani blokzincirlerinin nasıl oluşturulacağına yönelik bir matematiksel madencilik modeli oluşturulmuştur. Daha sonraki yıllar içerisinde daha güncel ve hızlı algoritmalar üretilmiş olsa da sanal bir para olan Bitcoin dünya üzerinde kabul gören bir dijital kavram haline gelmiştir.

İlerleyen yıllar içerisinde çok farklı kripto para mimarileri ve modelleri ortaya çıkmış büyük bir kısmı açık kaynak kodlu olarak kullanıma açılmıştır. Kripto bir para birimi yaratmak için gerekli olan açık kaynak kodlu olan blokzincir algoritmalarından bir tanesini seçerek onun üzerine Genesis Blok oluşturarak kuralları belirlemektedir.

3.1. Blokzincir Çerçeve Modelleri

Bu makalede öngörülen modelde iki tip blokzincir kullanılacaktır, bunlar teklif ve piyasa işlemlerinin saklandığı Kayıt Blokzinciri ile piyasa içindeki aktörler olan üreticiler ve tüketiciler tarafından kullanılacak olan kWhCoin mimarisinin saklanacağı Kripto Para Blokzinciridir. Bu blokzincirler için literatürde yaygın olarak kullanılmakta olan iki çerçeve model bulunmaktadır. (Badr, Horrocks, & Wu, 2018; Sajana, Sindhu, & Sethumadhavan, 2018; Valenta & Sandner, 2017)

Blokzincir tiplerine bakıldığında verilerin yazılması ve okunması sonrasında da bir anlaşmazlık olduğunda nasıl ortak bir karar verileceği yani mutabakat yapısına göre ayrışmaktadırlar. Eğer blokzincir ağında yapılacak işlemlerin yetki seviyelerine göre uygulamalar ve çerçeve sistemleri değişebilmektedir. Bu sistemi kullanacak olan kullanıcıların blokzincire bağlanarak okuma, yazma ve mutabakat yapabilmeleri "İzin Gerektirmeyen Ağlar" olarak tanımlanırken ;sisteme girerek dağıtık olan kayıt defterlerinden daha önce kaydedilmiş olan verileri okumak için izin alınması gerekiyorsa ancak yeni bloklar eklemek ve sonrasında mutabakat sürecine katılabilmek için ek izin gerekmiyorsa, bu tarz ağlara "Kısmen İzin Gerektiren Ağlar" ;benzer bir tanımlama ile verileri okumak, yeni

bloklar eklemek ve mutabakat sürecine katılabilmek için izin gerekiyorsa, bu tarz ağlara “Bütünüyle İzin Gerektiren Ağlar” adı verilmektedir.

3.1.1. Ethereum

Ethereum'un B2C uygulamaları geliştirmek için daha uygun olan genel veya izinsiz bir blokzinciridir. (Wood, 2014) Kısmi izinli, açık yada özel olarak kurgulanabilir. Solidty gibi bir yazılım mimarisi ile kodlanabilmektedir. Sisteme Tüketici tarafındaki işlemler ve kayıt için Ethereum mimarisi kullanılacaktır.

3.1.2. Hyperledger Fabric

Hyperledger Fabric, B2B iş uygulamaları için tasarlanmış özel veya izin verilen bir blokzincir protokolüdür (Androulaki et al., 2018; Cachin, 2016) Özel ve izin gerektiren bir mimarisi vardır. Genel kullanıma açık değildir. Java ile uygulama geliştirilebilmektedir. Verilecek teklifler ve kurumlar arası piyasa koşullarının yürütülmesi için kullanılacaktır.

3.2. Kripto Para - kWhCoin

Piyasa modelinde kullanıcıların yapmış oldukları tercihler ve kullandıkları elektrik enerjisine karşılık dinamik olarak cihazlar arasında haberleşme yapabilecek bir kripto para gerekmektedir. Bunun en önemli amacı kullanıcılar, üreticiler ve dağıtıcılar arasındaki anlık dengelemeler için gerekli piyasa modelinin oluşturulabilmesidir. Bu işlemlerde anlık ve çok hızlı olabileceği gibi miktar olarak çok cüzi miktarlarda olabilecektir. Bu tip bir finansman hareketliliği için Hyperledger Fabric gibi birçok işlemi saklayabilecek yüksek kapasiteli ve güvenilir bir çerçeve model olması gerekecektir. Geleneksel bankacılık sistemi üzerinde bu tip bir akışın sağlanabilmesi çok mümkün olmadığı gibi yaratacağı iş yükü ve komisyonlar sistemin gerçekçi olarak kullanılabilmesinin önünde bir engeldir.

4. Önerilen Sistem Bileşenleri ve Piyasa İşletme Modeli

4.1. Sistem Donanımsal Bileşenleri

Önerilen sistemin çalışabilmesi için tüketicilerin otomatik ya da uzaktan talep katılımı yapabilecekleri akıllı ev sistemlerin sahip olmaları gerekmektedir. Bu amaçlar internet bağlantısı olan ev tipi bir haberleşme hub cihazının bulunması gerekmektedir. Bu cihazda işletim sisteminden bağımsız olarak hem haberleşme, hem mutabakat hem de planlama yapılabilmesi için esnek olan Konteyner mimarisi ile Docker sisteminin kullanılması planlanmıştır. Bu şekilde sistemin dağıtılması ve güncellenmesi rahatlıklar yapılabilir. Ayrıca mevcut internet altyapısı üzerinden kullanıcılar evlerindeki bu güvenli ve şifrelenmiş hub sayesinde evlerindeki cihazları kontrol edebilecek ve planlı işlemler yapabileceklerdir. Bu sistem genel ev otomasyonundaki standart protokolleri, WiFi ve BLE altyapılarını destekleyecek endüstriyel uygulamalarda ise IIoT cihazları olarak çalışabilecektir. Dengeleme Güç Piyasası ve Gün İçi Piyasası için mikro düzeyde kontrol ve planlamaların yapılabilmesine imkan sağlayacak cihazlardan oluşmalıdır.

4.1.1. Programlanabilir Akıllı Prizler ve Kontaklar

Sistemin planlı görevler için otomatik olarak devreye girebilmesi aynı zamanda planlanmış görevlerin ilgili cihazlar ile uygun protokoller üzerinden haberleşebilmelerini sağlayacak olan akıllı prizler, röleler ve yazılım tabanlı kontrol kartlarından oluşmaktadır. Bu altyapılar yeni nesil IIoT cihazlar ve standart olan ev içi cihaz haberleşmeleri ve akıllı ev haberleşme ağını kullanacaklardır. Yeni nesil sistemlerde ZigBee, BLE ve WiFi gibi haberleşme altyapıları ile cihazların kontrolü takip edilmesi ve bağlantıları açık sistemler ile yapılabilmektedir.

4.1.2. Yenilenebilir Enerji Entegrasyonu ve İki Yönlü İşlemler

Önerilen sistem içerisinde elektrik enerjisinin yakın bir fiziksel alan içerisinde aynı trafo merkezinde paylaşılabilmesi, saklanabilmesi için gerekli olan güneş panelleri, ev tipi bataryalar, küçük rüzgâr türbinleri gibi sistemlerden oluşan modüllerdir. Bu sayede tüketiciler istedikleri taktirde kendi evlerine bağlı mikro üretici durumunda çalışabilmekte ama tüm büyük sisteme ticari olarak bağlanmaya ihtiyaç duymadan sistemde gün içi mikro dengeleme yapabileceklerdir.

4.2. Sistem Yazılım Mimarisi

Sistemde çok fazla sayıda yazılım bileşeni ve buna destek verecek sunucular, mikro servisler, konteyner sanallaştırmaları ve bunları yönetebilecek orkestrasyon ve senkronizasyon sistemleri bulunmaktadır. Bu sistemler günümüzdeki bilgi teknolojileri altyapıları ile standart hale gelmiş güncel uygulamalardır. Bunlar kavramsal olarak Şekil 1'den görülebilir.

4.2.1. Merkez Piyasa Sunucusu

Bulut bilişim altyapısı üzerinde sanallaştırılmış olarak çalışacak olan bu sunucu tüm piyasanın verilerin toplandığı sunucu olacaktır. Mikro Servisler ve web servisler ile güvenli olarak haberleşebilecektir. Bulut bilişim üzerinde yerleştirilmiş olması sistemin ilk gün çalışması için gerekli minimum maliyetle devreye alınmasını yine aynı şekilde sistem içerisinde Piyasa Servislerini hizmet olarak sunabilme yapısı ile de ilerleyen zamanlarda büyük tüketici kitlelerine ölçeklenebilir hizmet vermesini sağlayacaktır. Kullandıkça öde hizmetleri yapısı sayesinde tüm taraflar için en uygun dağıtılmış maliyetler oluşacaktır.

4.2.2. Blokzincir ve Kripto Para kWhCoin Sunucuları

Sisteme dahil olan piyasa oyuncuları ve sistemin bütünü için gerekli olan dağıtık kayıt sisteminin sunucuları farklı lokasyonlar da olacak ve sistemin dağıtık mimarisinin destekleyecektir. Bu sistem için Ethereum ve Hyperledger Fabric sunucuları ayrı ayrı konumlandırılacak ve her biri için sıfırncı Genesis blokları sistem tarafından oluşturulacaktır. Gereken mutabakat ve kontrol işlemleri yine tanımlı mimari koşullar üzerinden yönetmelikler çerçevesinde olacaktır.

4.2.3 İlişkisel Veritabanı Sunucuları

Sisteme dahil olan tüm tüketici ve üreticilerin bilgilerini, fatura ve fiyat tekliflerinin KKP sistemlerine entegre edilebilmesi için aynı zamanda web ve mobil uygulamaların ihtiyacı olan anlık verilerin tutulması için kullanılacak olan sunuculardır. Bu sistemlerin sistemin geleneksel KKP yazılımları, e-devlet sistemleri ve faturalandırma yazılımları ile entegrasyonunda kolaylıkla senkronize olmasını ve kullanımını sağlayacaktır. İlişkisel veritabanı sunucusu olarak açık kaynak kodlu olan ve aynı zamanda zaman damgalamasını da kullanabilen PostgreSQL kullanılacaktır.

4.2.4. Hava Durumu ve Genel Bilgi Servisleri

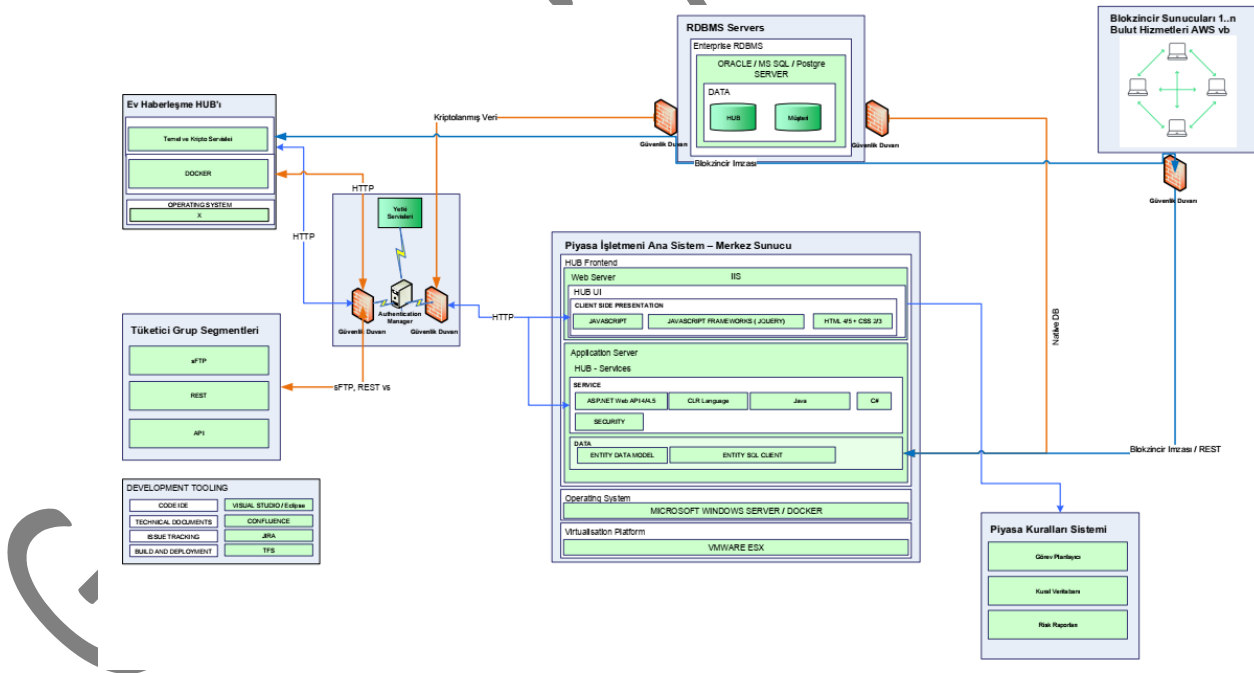
Tüketici tarafında kullanılabilir olan iki yönlü sayaçlar ve yerel enerji depolama altyapıları Sisteme dahil olan piyasa oyuncuları ve sistemin bütünü için gerekli olan dağıtık kayıt sisteminin sunucuları farklı lokasyonlar da olacak ve sistemin dağıtık mimarisinin destekleyecektir. Ayrıca tüketicilerin planlarını oluşturabilmeleri için gerekli olabilecek ek faydalı bilgiler bu servisler üzerinden mobil uygulama ve kullanıcı ekranlarına aktarılabilir. Yine aynı mikro tüketici grup segmenti içerisinde oluşabilecek işlemlere yönelik bilgiler de bu genel bilgi servisleri üzerinden alınabilir.

4.2.5. Tüketici Davranışları ve Pandemi Servisleri

Özellikle Pandemi süreci ile birlikte ortaya çıkan insanların evden çalışma, işe gitmeme ya da gidememe, sokağa çıkma yasakları sonrasında evdeki fırın, buzdolabı, klima gibi sistemlerin normal sürecin dışında kullanılmasını takip edebilecek ya da bilgilerin girilmesini sağlayabilecek olan ara yüz servisleridir. Bu servisler anormal ya da geleneksel alışkanlıklar dışındaki çalışmaları sisteme entegre edebilecek yapılarıdır.

4.2.6. Planlı Hedefler Servisleri

Bir grup tüketicinin bir araya gelerek tüketim alışkanlıklarına bağlı olarak dengeli ve planlı bir enerji tüketimini ve belli bir oranda kendi içlerinde mikro düzeyde enerji üretip dağıtabilmelerini sağlayabilecek planlı hedeflerini girebilecekleri ve bu şekilde üreticiler ile toplu ve indirimli fiyat alabilecekleri servislerdir. Bu servislerin tüm işlemleri blokzincir kayıtları olarak aynı zamanda ilişkisel veri tabanlarına da kaydedilecektir.



Şekil 1. Sistem Bileşenleri ve Yazılım Mimarisi

4.3. Dinamik Tüketici Talep Yönetimi Modeli

Yukarıda verilen yazılım ve donanım sistemleri sayesinde tüketiciler bir araya gelerek bir ortak tüketim profili ve taahhütü oluşturabileceklerdir. Bu oluşturdukları tüketim profiline göre üretici firmalardan teklif alabileceklerdir. Sistem iki yönlü çalışabileceği için verilen taahhütlere göre en uygun fiyatı veren üretici ile çalışabileceklerdir. Sistemin verimli çalışabilmesi için tüketim tarafının olabildiğince dengeli ve mümkün olabilecek esneklikte olması gerekmektedir. Tüketim profillerinin anlık olarak kaydırılabilmesine yönelik planlama da sistem içerisinde yapılabilir. Böylelikle bir tüketici grubu için toplam yük, ortalama yük ve anlık yük planlaması yapılabilir. Tüketiciler planlı olan elektrik tüketimleri için esnek tüketim saatleri girebilecekler aynı

zamanda alternatif planlara ne kadar katkıda bulunabileceklerini, evlerindeki ev tipi bataryalar ve yenilenebilir enerji üretimin segment içinde nasıl kullanılabileceklerini tanımlayabileceklerdir. Tüm bu işlemler sırasında ev tipi hublar segment içerisindeki diğer cihazlar ile kripto para ile kapalı bir market oluşturacaklar, isteyen tüketiciler daha avantajlı tarife kullanımlarını yapabileceklerdir. Ancak bu sistem bir apartman, site ya da aynı trafoya bağlı olan tüketiciler arasında olacağı için iletim ve dağıtım tarafında köklü değişiklikler yapılmasına gerek olmayacaktır.

4. Sonuç

Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) tarafından Elektrik Piyasası Tarifeler Yönetmeliği ile makalede anlatılan modelin uygulanabilmesi için gerekli olan tanımlar da yapılarak önerilen modelin hayata geçebilmesi ve uygulanabilmesi teoriden pratiğe aktarılabilir. Ayrıca tedarik faaliyetindeki tarife önerilerinin her bir tüketici grubu ve maliyet unsuru için etkilerinin incelenmesi, mevcut ve gelecekteki maliyetlerin tüketici grupları bazında dağıtılarak fiyatlandırmanın yapılması gerekecektir. Önerilen model ile tüketiciler tüketim hedeflerini sisteme aktarabileceklerinden bu bilgilerin elde edilmesi çok daha etkin ve gerçekçi olarak yapılabilecektir.

Bu makalede Talep Tarafı Yönetimi ve Talep Katılımı modellerine uygun dinamik bir piyasa modeli önerisinde bulunulmuştur. Bu model yeni yönetmelik ve teknolojilere uygun olarak geliştirilmiş ve anlatılmıştır.

Kaynakça

- Acar, B., Selcuk, O., & Dastan, S. A. (2019). The merit order effect of wind and river type hydroelectricity generation on Turkish electricity prices. *Energy Policy*, 132, 1298–1319. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.07.006>
- Aghajani, G. R., Shayanfar, H. A., & Shayeghi, H. (2017). Demand side management in a smart micro-grid in the presence of renewable generation and demand response. *Energy*, 126, 622–637.
- Albadi, M. H., & El-Saadany, E. F. (2007). Demand response in electricity markets: An overview. *2007 IEEE Power Engineering Society General Meeting*, 1–5. IEEE.
- Albadi, M. H., & El-Saadany, E. F. (2008). A summary of demand response in electricity markets. *Electric Power Systems Research*, 78(11), 1989–1996.
- Androulaki, E., Barger, A., Bortnikov, V., Cachin, C., Christidis, K., De Caro, A., ... Manevich, Y. (2018). Hyperledger fabric: a distributed operating system for permissioned blockchains. *Proceedings of the Thirteenth EuroSys Conference*, 1–15.
- Atzeni, I., Ordóñez, L. G., Scutari, G., Palomar, D. P., & Fonollosa, J. R. (2012). Demand-side management via distributed energy generation and storage optimization. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 4(2), 866–876.
- Aydar, M., & Çetin, S. (2020). Blokzincir Teknolojisinin Sağlık Bilgi Sistemlerinde Kullanımı. *European Journal of Science and Technology*, (19), 533–538. <https://doi.org/10.31590/ejosat.735052>
- Badr, B., Horrocks, R., & Wu, X. B. (2018). *Blockchain By Example: A developer's guide to creating decentralized applications using Bitcoin, Ethereum, and Hyperledger*. Packt Publishing Ltd.
- Berges, M., Goldman, E., Matthews, H. S., & Soibelman, L. (2009). Learning systems for electric consumption of buildings. In *Computing in Civil Engineering (2009)* (pp. 1–10).
- Bianco, V., Manca, O., & Nardini, S. (2009). Electricity consumption forecasting in Italy using linear regression models. *Energy*, 34(9), 1413–1421.
- Cachin, C. (2016). Architecture of the hyperledger blockchain fabric. *Workshop on Distributed Cryptocurrencies and Consensus Ledgers*, 310(4).
- Çetinkaya, M., Başaran, A. A., & Bağdadioğlu, N. (2015). Electricity reform, tariff and household elasticity in Turkey. *Utilities Policy*, 37, 79–85. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jup.2015.06.003>
- Crosby, M., Pattanayak, P., Verma, S., & Kalyanaraman, V. (2016). Blockchain technology: Beyond bitcoin. *Applied Innovation*, 2(6–10), 71.
- del Río González, P. (2008). Ten years of renewable electricity policies in Spain: An analysis of successive feed-in tariff reforms. *Energy Policy*, 36(8), 2917–2929.
- Dong, B., Li, Z., Rahman, S. M. M., & Vega, R. (2016). A hybrid model approach for forecasting future residential electricity consumption. *Energy and Buildings*, 117, 341–351.
- Ediger, V. Ş., Kirkil, G., Çelebi, E., Ucal, M., & Kentmen-Çin, Ç. (2018). Turkish public preferences for energy. *Energy Policy*, 120, 492–502. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.05.043>
- Elektrik Piyasası Tarifeler Yönetmeliği. (2020). *Resmi Gazete*, 31160, 28. Retrieved from <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2020/06/20200619-4.htm>
- EPIAS Web Sitesi. (2020). Retrieved June 6, 2020, from <https://www.epias.com.tr/>
- Hamzaçebi, C. (2007). Forecasting of Turkey's net electricity energy consumption on sectoral bases. *Energy Policy*, 35(3), 2009–2016.
- Kaytez, F., Taplamacioglu, M. C., Cam, E., & Hardalac, F. (2015). Forecasting electricity consumption: A comparison of regression analysis, neural networks and least squares support vector machines. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 67, 431–438.
- Köksal, E., & Ardiyok, Ş. (2018). Regulatory and market disharmony in the Turkish electricity industry. *Utilities Policy*, 55, 90–98. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jup.2018.10.001>
- Kumar, U., & Jain, V. K. (2010). Time series models (Grey-Markov, Grey Model with rolling mechanism and singular spectrum analysis) to forecast energy consumption in India. *Energy*, 35(4), 1709–1716.

- Lin, B., & Liu, X. (2013). Electricity tariff reform and rebound effect of residential electricity consumption in China. *Energy*, 59, 240–247.
- MacPherson, R., & Lange, I. (2013). Determinants of green electricity tariff uptake in the UK. *Energy Policy*, 62, 920–933.
- McLoughlin, F., Duffy, A., & Conlon, M. (2013). Evaluation of time series techniques to characterise domestic electricity demand. *Energy*, 50, 120–130.
- Mustaçoğlu, A. F. (2018). Blockchain-Based Data Sharing and Decentralizing Privacy. *European Journal of Science and Technology*, (14), 235–240. <https://doi.org/10.31590/ejosat.440049>
- Nakamoto, S. (2019). *Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system*. Manubot.
- Nguyen, K. Q. (2008). Impacts of a rise in electricity tariff on prices of other products in Vietnam. *Energy Policy*, 36(8), 3145–3149.
- Ozil, E., Ugursal, V. I., Akbulut, U., & Ozpinar, A. (2008). Renewable Energy and Environmental Awareness and Opinions: A Survey of University Students in Canada, Romania, and Turkey. *International Journal of Green Energy*, 5(3), 174–188. <https://doi.org/10.1080/15435070802107025>
- Palensky, P., & Dietrich, D. (2011). Demand side management: Demand response, intelligent energy systems, and smart loads. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 7(3), 381–388.
- Pilkington, M. (2016). Blockchain technology: principles and applications. In *Research handbook on digital transformations*. Edward Elgar Publishing.
- Rahman, A., Srikumar, V., & Smith, A. D. (2018). Predicting electricity consumption for commercial and residential buildings using deep recurrent neural networks. *Applied Energy*, 212, 372–385.
- Sajana, P., Sindhu, M., & Sethumadhavan, M. (2018). On blockchain applications: hyperledger fabric and ethereum. *International Journal of Pure and Applied Mathematics*, 118(18), 2965–2970.
- Sanquist, T. F., Orr, H., Shui, B., & Bittner, A. C. (2012). Lifestyle factors in US residential electricity consumption. *Energy Policy*, 42, 354–364.
- Siano, P. (2014). Demand response and smart grids—A survey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 30, 461–478.
- Swan, M. (2015). *Blockchain: Blueprint for a new economy*. “O’Reilly Media, Inc.”
- Toros, H., & Aydın, D. (2018). Kısa Vadeli Elektrik Tüketiminin Sıcaklığa Bağlı Yapay Sinir Ağları ile Tahmini. *European Journal of Science and Technology*, (14), 393–398. <https://doi.org/10.31590/ejosat.407229>
- Ünsal, E., & Kocaoğlu, Ö. (2018). Blokzinciri Teknolojisi: Kullanım Alanları, Açık Noktaları ve Gelecek Beklentileri. *European Journal of Science and Technology*, (13), 54–64. <https://doi.org/10.31590/ejosat.423676>
- Valenta, M., & Sandner, P. (2017). Comparison of ethereum, hyperledger fabric and corda. *No. June*, 1–8.
- Weron, R. (2007). *Modeling and forecasting electricity loads and prices: A statistical approach* (Vol. 403). John Wiley & Sons.
- Wolde-Rufael, Y. (2006). Electricity consumption and economic growth: a time series experience for 17 African countries. *Energy Policy*, 34(10), 1106–1114.
- Wood, G. (2014). Ethereum: A secure decentralised generalised transaction ledger. *Ethereum Project Yellow Paper*, 151(2014), 1–32.
- Zeifman, M., & Roth, K. (2012). Disaggregation of home energy display data using probabilistic approach. *2012 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE)*, 630–631. IEEE.
- Zheng, Z., Xie, S., Dai, H.-N., Chen, X., & Wang, H. (2018). Blockchain challenges and opportunities: A survey. *International Journal of Web and Grid Services*, 14(4), 352–375.