



ENDÜSTRİ 4.0 SÜRECİNDE ELECTRE YÖNTEMİ İLE ENERJİ TESİS YER SEÇİMİNİN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Dursun BALKAN^{1,*}

¹Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Sanayi ve Verimlilik Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye

ÖZET

Endüstri 4.0 sürecinde yaşanan gelişmeler arz ve talep ilişkisini değiştirerek akıllı tesislerin oluşumunu, akıllı ürünün üretimini ve verimliliğin artırılmasını gerekli hale getirmiştir. Akıllı tesislerin kurulumu ve tasarımında doğru yer tespiti, pazarda rekabet avantajını sağlamak, nitelikli işgücünü elde edebilmek ve enerji tasarrufuyla maliyeti çıkarabilmek için önemlidir. Bu amaç doğrultusunda, enerji iletim ve dağıtımında en yüksek faydayı sağlayacak bölgeyi seçebilmek için enerji tesisi yer seçimi problemi ele alınmıştır. Araştırmada, enerji tesisi yer seçimi kararını daha sistematik ve kapsayıcı hale getirmek için kamu sektöründen uzman kişilere anket düzenlenmiş ve karara etkisi olan kriterler ikili logit modelle belirlenmiştir. Belirlenen kriterler Türkiye’de ilk defa bu çalışmada dikkate alınmış, önem derecesine göre sıralanmış ve ağırlıkları tespit edilmiştir. Birden çok kriter göz önünde bulundurularak çok kriterli karar verme yöntemlerinden ELECTRE yöntemi kullanılmış, aday bölgeler oluşturulmuş ve her aday bölge için yedi kriter incelenerek uyum, uyumsuzluk ve eşik matrisleri çözümlenmiştir. Sonuç olarak, beş adet alternatif bölgeden yetkililere enerji tesis kurulumu için ışık tutacak öneride bulunulmuştur.

Anahtar kelimeler: Endüstri 4.0, Tesis yer seçimi, Akıllı tesisler, ELECTRE yöntemi, İkili logit modeli

SELECTION OF ENERGY FACILITY LOCATION BY ELECTRE METHOD IN INDUSTRY 4.0 PROCESS

ABSTRACT

Developments in the Industry 4.0 process changed the relationship between supply and demand, the establishment of smart facilities, the production of smart products and it has made that necessary to increase productivity. The determination of the accurate location for installation and design of smart facilities can provide competitive advantage in the market, obtain qualified workforce, and save energy and cost. For this purpose, energy facility location selection problem for providing the best benefit to producers and consumers has been addressed. In this research, a questionnaire was conducted with experts from the public sector in order to make the decision of energy plant location selection more systematic and inclusive and the criteria affecting the decision were determined in a These Dual Coordinate Descent Method. In this study, the determined criteria were taken into consideration and sorted according to their importance and their weights were determined at first in Turkey. Candidate regions were formed by selecting the Electre Method, which is a multi-criteria decision making method. Seven criteria were examined for each candidate region and the compatibility, discordance and threshold matrix were analyzed. As a result, five alternative regions were proposed to present on the installation of the power plant for the managers of the government authorities.

Keywords: Industry 4.0, Facility location selection, Intelligent facilities, ELECTRE method, Binary logit model

1. GİRİŞ

Endüstri 1.0 denilen kavram 1800’lü yıllarda üretimdeki insan ve hayvan gücünün yerini buhar makinesinin almasıyla başlamıştır. Bununla birlikte tesislerde imalatın artması seri üretime zemin hazırlamış ve elektrik enerjisinin kullanılmasıyla birlikte Endüstri 2.0’a geçilmiştir. 20. yüzyıldan sonra tesislerde yer alan üretim sistemleri analog kullanımdan dijital bir forma geçerek 3. Endüstri devrimini ortaya çıkarmıştır. Bu üç sanayi devrimi üretim tesislerinde mekanik, elektronik ve bilgi teknolojileri iş bölümlerini oluşturmuştur [1]. İlk Endüstri Devrimi dokuma tesislerinde ve demiryolu üretiminde mekanik uzmanlaşma sağlarken [2], İkinci Endüstri Devriminde ise elektrik teknolojileri ilk kez Henry Ford’un geliştirdiği üretim tesis bantlarında kullanılmaya başlanmıştır [3]. Tesislerde üretimin artması, montaj hattı hacminin genişlemesi, maliyetin düşmesini

* Sorumlu yazar / Corresponding author, e-posta / e-mail: dursunbalkan@gmail.com

Geliş / Recieved: 27.08.2019 Kabul / Accepted: 04.12.2019 doi: 10.28948/ngumuh.612066

D. Balkan

etikleyerek fiyatları düşürmüştür [4]. Küresel üretim tesisleri elektronik ve bilgi teknolojilerini birlikte kullanarak programlanabilir makineler ile otomasyona geçmiş Üçüncü Endüstri Devrimini oluşturmuş, ancak bazı sosyal, teknolojik ve çevresel değişimler nedeniyle önemli zorluklarla karşılaşmıştır. Bu zorluklar için üretim tesislerinde araştırma-geliştirme, lojistik, yakın işbirliği ve hızlı adaptasyon bölümleri meydana gelmiştir [5]. Günümüzde var olan Endüstri 4.0 teriminin temelleri Almanya'nın yüksek teknoloji kapsamındaki bir projesinde atılmış, ilk kez 2011'de Hannover şehrindeki bir Endüstri Fuarı'nda dile getirilmiştir [6]. Tesis yer seçimi ve üretimin bilgisayar yardımıyla dijital bir hale dönüştürülmesi ile eski tesis sistemlerindeki problemlerin üstesinden gelebilmek için "akıllı tesisler" inşa edilerek, istendiğinde parçalarına ayrılıp, farklı kısımlar monte edildiğinde uyum sorunu yaşanmayacak sistemler önerilmiştir [7].

Endüstri 4.0 süreci üretim ve tüketim bağlantısını tamamen değiştirerek, tüketicinin anlık değişen ihtiyacını karşılarken, aynı zamanda geri beslemeli iletişim ve koordinasyon sistemini idare etmektedir [8]. Akıllı tesislerde gelişen Endüstri 4.0 küreselleşme sonucunda; akıllı ürünün üretimi, verimliliğin artırılması ve tedarikçi ile müşteri arasında oluşan çok boyutlu lojistik sistemleri içermektedir [9]. Endüstri 4.0 farklı ürünlerin, ekonomik ve sosyal çıktıları görmek ve projelendirmek için kullanılan analitik ağa bağlı alıcılar ve yazılım bağlantısı ile girdilerin tesis üretimi içerisinde döngü hiyerarşisi ve yönetimi derecesi olarak ifade edilmektedir [10]. Endüstri 4.0, tesislerde çeşitli ölçütlerde üretilen ürünlerin ve departmanların dinamik bir şekilde ortak çalışmasını planladığı, optimize olmuş verilerin, esnek uyarlanabilir bir uygulamayla ve öğrenme özellikli, hata payı az, risk yönetimi güçlü teknolojilerin birbiri ile zincir kurarak çalışmasını önermektedir [11]. Endüstri 4.0, akıllı tesisler, hizmet odaklı lojistik firmaları, sürdürülebilir kaynaklar ve müşteriler arasında ortak iletişimi sağlar. Her departman kendi üretim sürecini gerçek zamanlı denetler ve sanal bir fiziksel sistem sayesinde talep olmaksızın iş bölümünü optimize eder [1].

Yeni Endüstri Devrimi genetikten, bilgi işlem teknolojisine kadar birçok iş kolunda ilerleme sağlayacaktır. Bu devriminin getirdiği yeni kavramları anlamayan, bilgi ve donanımdaki yetersiz tesisler; direnç göstermesine rağmen, devrimin farkı olarak gelişmelerden etkilenerek geleneksel sistemi terk edecektir [2]. Büyük kapasiteli tesisler bu dönüşümde istekli olsalar bile üretim artırma probleminde yetersiz kalmaktadır. Yeni süreçler üreticiden tüketiciye bütün ağı barındıran bir çözüm gerektirmektedir. Akıllı tesisler radikal kararlar alınmasını sağlayacak, tüketici taleplerinin farklılaşması durumunda çözümler üretecek, yani geleneksel tesislerin dönüşümünü mecburi kılacaktır. Tedarik zinciri ve tesis planlamasının uyumu sonunda Endüstri 4.0 devrimi gerçekleşmektedir. Yeni Endüstri Devrimi'nin içerisinde yer alan siber teknolojiler, nesnelere interneti gibi sistemler ile akıllı tesislerin alt yapısını oluşturmuştur. Endüstri 4.0'ın tesis sürecinde, tüketici talepleri ve ham madde için bilimsel test sonuçları toplanır, akıllı fabrikalar siber teknoloji yardımıyla muhtemel senaryoları değerlendirerek ürünü süratle imal eder. Üretim tek defaya mahsus değil, çoklu operatöre uyumlu Tanımlama Aparatları ve Radyo Dalgaları kullanarak süreci optimize edecek, yapay zeka kontrolüne yönelen tesisler üretim aşamasındaki ürünü işleme tekrar koyacaktır. Böylece, işletmeci açısından farklı ürünler kısa sürede hatasız işlenebilecektir [12].

Yeni Endüstri Devrimi ile artan müşteri talepleri bilgi teknolojisi ve bu teknolojilerin gerektirdiği analitik ve sayısal yöntemlerin tesis yeri belirlenmesinde kullanılmasını gerekli kılmıştır. Ayrıca, tesis sorumluları için tesisin öğrenme ve değişim kapasitesi, hızlı yatırım kararlarını alma yükümlülüğüne bakılmaksızın zorunlu olan kontrol sistemini kurmak günümüzde hızla gelişen teknoloji sayesinde mümkün olmaktadır [2]. Yeni iş süreçleri üç boyutlu canlandırma, araçların birbiriyle etkileşimi, üç boyutlu makineler gibi bilimsel iletişim, temel veriler aracılığıyla veri entegrasyonunu sağlamakta, yeni fırsatlar yaratmakta ve bu süreç yeni karar verme yöntemlerini de ortaya çıkarmaktadır. Yeni iş süreçleri, uyum ve etkileşim çerçevesinde çözümler sunmakta ve tesisi bu bilgiler doğrultusunda planlamaktadır [13]. Doğru yer tespiti sağlanmış bir tesis, sağladığı nitelikli iş gücü ve enerji tasarrufuyla Endüstri 4.0 kapsamında maliyetlerini kurtarıp ayakta kalabilecektir.

Tesisler; gelişen şartlar, karmaşık analitik problemler için birtakım bulut tabanlı uygulamalar kullanmalarına rağmen, ilerleyen zamanda tesis, tedarikçi ve tüketici arasında daha fazla bilgi paylaşılması gerekecektir. Zamanla tesislerde artan makine sayısına göre veriler, işlevler artacak verileri kontrol edebilmek için paylaşım hızı ve hacmi genişleyerek bulut uygulamasını kullanarak, sistemi daha fazla hizmet sunar hale getirecektir. Süreç takibinde hazırlayan, kontrol eden ve onaylayan sistemlerde bulutta yer alacaktır [14]. Tesis kurulumu ve tasarımı süreçler üç boyutlu simülasyonunda kurgulanmaktadır. Sürekli büyüyen bina kompleksleri, endüstriyel tesis ve oteller için tesis simülasyonlarının yaygınlaşacağı öngörülmektedir. Anlık verilerle hazırlanan sanal şemalar, tesis görünümü ve yeri, fiziksel dünyada sanal gerçekliği oluşturulacaktır. Böylelikle tesis operatörü ürünü gerçekte imal etmeden önce sanal dünyada test edecek, tesisin zayıf ve güçlü yönlerini önceden deneme fırsatı bulacaktır [15]. Ürün pazarında rekabet avantajını ve pazar hakimiyetini hedefleyen geleneksel bir tesis için akıllı tesise dönüşüm veya yeni bir akıllı tesis kurmak çok önemli olacaktır.

Tesis kurulumunda, yer tespiti ve yapının temelini düzenlenmesi için ciddi maddi kaynaklar ve belli bir efor mecburen harcanmaktadır. Bu kısımdan sonra tesisin iç enerji ihtiyacını karşılamak adına geri dönüşüm sistemi kurularak, gerektiği durumda elektrik talebi karşılanabilmesi de önemlidir [16]. Tesis sistemleri ve yönetimi konusunda kaydedilen aşamalar bizleri enerjiyi korumaya yönlendirmektedir. Tesis yeri gibi karmaşık durumları kontrol etmek için etkin otomasyon sistemleri kurulabilmektedir. Tesis yeri seçimi iyi belirlenememiş, enerji merkezlerine uzak olan tesisler için akıllı şebekelerden bağımsız sistem tasarımları ile alternatif enerjiler sağlanabilir. Uzaktan iletim hatları ile enerji sağlanamayan akıllı tesislerde enerji güvenilirliği enerji depolama birimleri tarafından giderilir [17].

ENDÜSTRİ 4.0 SÜRECİNDE ELECTRE YÖNTEMİ İLE ENERJİ TESİS YER SEÇİMİNİN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Tesis yer seçimiyle ilgili literatürde karşılaşılan ilk araştırma Alfred Weber tarafından 1909 yılında yapılmıştır. Üç alternatif arasından en az taşıma maliyeti olacak şekilde hizmet sunan tesis tespit edilmiştir [18]. Hakimi 1964 yılında yapmış olduğu araştırmasında, iletişim verilerinde bulunan ağ içerisinde eş sayıda noktalar belirleyerek iletişimin en verimli şekilde oluşmasını sağlayacak bir model tespit etmiştir. Bu araştırmanın devamında optimum tesis yer seçimiyle ilgili çalışmalar artmıştır [19]. Correia vd. 2009 yılında yapmış olduğu çalışmalarda özel ve kamu kurumlarında tesis yer seçiminin uzun vadeli karara etkisi, rekabetin artmasıyla finansal kararların önemini belirtmiştir [20]. Bastı 2012 yılındaki çalışmasında özel ve kamu kurumlarının halka daha iyi hizmet sunabilmesi için tesis yer seçiminde optimum yerleşke birimlerinin analiz edilerek karar verilebileceğini vurgulamıştır [21]. Akyüz ve Soba 2013 yılındaki çalışmasında, Uşak İlinde oluşturulacak bir tekstil tesisinin yer seçimi için üç seçenek belirlemiş, çok kriterli karar verme analizlerinden ELECTRE yöntemi ile seçenekleri irdelemiştir. Sonuç olarak Uşak Organize Sanayi Bölgesi tespit edilmiştir [22]. Yürük ve Erdoğan 2015 yılındaki araştırmasında Düzce İlinde hayvansal atıkların geri dönüşümü için kullanılacak bir biyogaz tesisinin yer seçiminde K-means yöntemi kullanarak uygun yeri bulmuşlardır [23]. Arslan ve Yıldız 2015 yılındaki araştırmalarında Düzce’de Yaralı Toplanma Tesisinin yer seçimi için maksimum kapsama yöntemi kullanılmıştır [24].

Keleş ve Tunca 2015 yılındaki araştırmalarında, teknokent tesis yer seçiminde ELECTRE Modeli ile ağırlıklar belirlenerek, bölge sıralaması yapılmıştır [25]. Kılıçoğulları vd. 2009 yılındaki araştırmalarında akaryakıt istasyonu yer seçimi için ELECTRE yöntemi ile seçenekler sıralamış, elde edilen veriler neticesinde tesisin maliyeti hesaplanmıştır [26]. Şevkli 2010 yılındaki araştırmasında tedarikçi tesisi yer seçiminde ELECTRE modelini kullanmış veriler karar vericilere aktarılmıştır [27]. Ömürbek ve Mercan 2014 yılındaki araştırmalarında bir imalat tesisi için dokuz seçeneği ELECTRE modeli kullanarak yer seçimini çözümlenmiştir [28]. Durak ve Yıldız 2015 yılındaki araştırmasında gıda tesisinin depolama sorunu için p-medyan yöntemi seçilerek çözümlenmiştir [29]. Şimşek 2016 yılındaki araştırmasında ülkemizdeki tekstil tesislerinin yer seçimi için ELECTRE yöntemi ile altı alternatiften en uygununu belirlemiştir [30]. Arık vd. 2012 yılındaki araştırmasında İstanbul ili Ümraniye ilçesinde mağazaların yer seçimi için Optimum Kapsama Yöntemi üzerinde çalışmıştır [31]. Hacıoğlu vd. 2016 yılındaki araştırmasında hava kalitesi izleme tesislerinin yer seçimi için Analitik Hiyerarşi Yöntemi ve ELECTRE modelini kullanarak verileri karşılaştırmıştır [32]. Sawadago ve Anciaux 2010 yılındaki araştırmalarında Paris ve Marsilya şehirlerinde lojistik konularda problemleri Analitik Hiyerarşi Yöntemi ve ELECTRE modellerini kullanarak elde edilen verilerden taşımacılık alanında yer tespiti yapılmıştır [33]. Karacasu 2007 yılındaki araştırmasında lojistik yatırımlarının çözümlenmesinde ELECTRE modelini değerlendirmiştir [34]. Özkan 2008 yılında araştırmasında katı atık verilerine istinaden tesis yer seçimi için Yaşam Döngüsü Modeli ve ELECTRE modelini uygulamıştır [35]. Yürekli [36] 2008 yılında yapmış olduğu çalışmada taarruz helikopteri değerlendirilmesi için, Baysal ve Tecim 2006 yılında yapmış olduğu çalışmada katı atık alanlarının seçiminde, Akyüz ve Soba 2013 yılında yapmış olduğu çalışmada [37] tesis yeri seçiminde, Bülbül ve Köse 2011 yılında yapmış olduğu çalışmada [38] İMKB’ye bağlı Gıda, İçki ve Tütün Sanayi tesislerinin değerlendirilmesinde ELECTRE yönteminden yararlanmışlardır.

ELECTRE yöntemi nitel bilgilerin olduğu sorunlarda, bu bilgileri nicel şekle getirebilen bir yöntem olarak problemlerin çözümünde fayda sağlamaktadır. Bu yöntem esasen tercih edilen veya edilemeyen seçenekler arasında üstünlük bağı oluşturur [39]. Yöntemin iki ana aşaması vardır [40]: Bunlar: (i) alternatiflerin ikili kıyaslanmaları neticesinde uyum ve uyumsuzluk matrislerinin hesaplanması ve uyum ve uyumsuzluk eşiklerinin oluşturulması ve (ii) alternatifler içerisinde üstünlük bağının kullanılarak uygun alternatifin aktarılmasıdır.

Şimdiye kadar yapılan akademik çalışmalar gözönüne alındığında; enerji tesisi yeri belirlenmesinin nicelik ve nitelik bakımından şartlara uyan alternatiflerin oluşturulması ve seçeneklerin ağırlıklandırılmasının öncelik gösterdiği belirlenmiştir. Bunun yanı sıra aday alternatifler derecelendirilerek sıralamaya sokularak veri tabanında işlenmiş verilere dönüştürülür. İşlenen veriler ÇKKV (Çok Kriterli Karar Verme) yöntemlerine yerleştirilerek incelendiğinde, uygun alternatifler elde edilmesi hususunda yarar sağlayacağı düşünülmektedir.

Çalışmada enerji üreten bir tesisin belirli kriterlerdeki alternatifler arasından optimum faydayı sağlayanını bulabilmek amacıyla kullanılacak olan çok kriterli karar verme yöntemlerinden ELECTRE yöntemi ve ikili logit model yöntemi kullanılmıştır.

2. TESİS YERİ SEÇİMİ

Tesis yeri seçimi sorunu Endüstri 4.0 ile beraber son yıllarda sistem uzmanlarının önem verdiği bir konudur. Günümüzde gelişen lojistik imkanlar, değişen bilişim, sosyal yaşam alanlarındaki park ve saha sıkıntısı, enerji kayıpları gibi çözüm bekleyen değişkenler talepler tesis yeri seçimini revize etmeye mecbur kılmıştır [41]. Özel ve kamu alanlarında yer seçimi sık sık tesis uzmanlarının karşısına gelmekte, tedarikçiyi yeni gereksinimlere itmektedir. Topluma hizmet veren hastane, okul, askeri tesisler gibi kamu kurumları yapım noktalarını iyi konumlandırmaya gayret gösterirken, özel kuruluşlar ise ar-ge merkezleri, üretim tesisleri, satış noktaları ve depo yerlerinde tedarik açısından stratejik seçimler yapmaktadır [42]. Farklı hizmet gösteren tesislerin niteliklerine ve müşteri portföyüne ya da işlemin sınıfına göre tesis yeri seçiminde ayırt edici

D. Balkan

unsurlar bulunmaktadır. Tesis yeri seçimine tesir eden faktörler mali, tabii, toplumsal, ruhsal veya siyasal olabilir [43]. Bu kapsamda oluşturulan tesis yer seçimi faktörleri aşağıda yer almaktadır:

- Bölgesel endüstriyel hava şartları, çevresel kalite
- Nitelikli işgücü performansı
- Ulaşım yöntemleri ve Lojistik ağlar
- Tesisin gelecekte genişletilmesi açısından saha
- Tesis arazisi ve yapım maliyeti
- Mevzuatın belirttiği vergi ücreti, işletme izni
- Katı atık tesisleri ve Elektrik altyapı uygunluğu
- Pazara, talebe, rakiplere, servis sağlayıcılara yakınlık
- Birincil yakıt ve su kaynağı tedariği
- Devlet teşvikleri ve eğitim programları

Tesislerin yer seçimi hususunda aldığı kararlar, bütün tedarik zinciri sistemini etkileyen ve lojistik maliyetlerin azalmasında rol oynayan kriterlerdir. Bundan dolayı tesis yeri belirlenmesi uzun ölçekte tesislerin ürün maliyetlerine finansal açıdan destek sağlayan, çok yönlü analizlerdir. Küreselleşmenin ve pazardaki rekabet savaşının artan ivmesiyle tedarik maliyetlerinin tesis giderleri içerisindeki payının azaltılması günümüzde tesis yeri seçimi belirlenmesini ön plana çıkarmıştır [42]. Artan rekabet savaşları hizmet alanında da belirleyici bir unsurdur. Tüketicinin değişen istek ve taleplerine yapılan geri dönüşler tesise artı puan kazandırmaktadır. Bu hususta tüketiciyle karşılıklı ilişki, hizmet tesisleri için yer seçimini dikkat edilecek bir etken haline getirmiştir [44]. Tesis yeri seçim çözümüleme değişik faktörler ışığında irdelenmektedir. Rekabet edilecek pazara mesafe, kaynak tesisine erişilebilirlik, lojistik ağlar, istihdam sağlama kanalları, altyapı şebekeleri, kamusal düzenleme ve hibe destekler tesis yeri seçimi için en önemli unsurlardır. Bu unsurlardan en iyilerini seçmek uygulanamayacağından, dengeli bir şekilde seçenekler ayarlanabilir. Değişik araştırmalarda farklı derecelerde gösterilmekte; yaygın olarak kullanılan tesis yeri seçiminde sırasıyla ülke, coğrafya, saha ve son aşamada koordinat ilkeleridir. Tesisin pazarda uğraşacağı alan ve kapsama göre tutum ve davranış biçimi revize edilebilir. Küçük ölçütlü tesislerde söz sahibi kişi hükümleri sezgisel doğrultuda alırken; tesis hacmi genişledikçe takip edilen süreç daha biçimsel olmakta ve sezgisel çözümlemeden uzaklaşarak, bilimsel alanlara kaymaktadır [45].

3. ÇOK ÖLÇÜTLÜ KARAR VERME

Yöneylem çalışmasının iki alt sistemi, tesis yeri seçimi sorunu için etkili cevaplar sunmaktadır. İlki; matematiksel süreçtir. Matematiksel süreç; tesis yeri belirlenirken tesisin konumuna ve tüketici portföyüne yoğunlaşır. Belirleyici seçeneklerden en sık kullanılan yöntemdir. Bu modeller, yaygın olarak çeşitli seçenekleri değerlendirerek en uygun adayı sunar [41]. Bu kapsamda, ÇKKV Analizi evreleri altı basamakta meydana gelir. Bunlar;

- 1) Sorun belirlenir,
- 2) Çözüm yolu aranır, seçenekler oluşturulur,
- 3) Seçilebilecek yollar, yöntemler saptanır, en iyi yöntemler seçilir,
- 4) Soruna uygun çözümler sıra gözetilerek tasnif edilir, seçenekler sıralanır,
- 5) Uygun metod seçilir, metodlar türlerine göre kısımlara ayrılır,
- 6) Optimum çözümleme seçimi gerçekleştirilir, belirlenen çözüm alt birimlere ayrılır [46].

ÇKKV yöntemlerinde, belirlenen adayın özelliği; alınan verilerden yapılan doğru analizler ve alternatif çözüm öneri değerlerinin somut ve ulaşılabilir bir hale dönüştürülmesiyle sağlanır. Ancak bu önerilerin bütününe hatasız şekilde ulaşmak çoğunlukla mümkün olmamaktadır. Siyasi ve bürokratik sebeplerde, öneriler tek doğruyu göstermediği gibi, bilgilerde farklılık gösterdiği için, tesis yeri seçimi karmaşık bir hale gelmektedir [41].

ÇKKV, farklı önerilerin kapsadığı etkenlere istinaden uyumlu çözüm kümesinin seçilmesi olarak bahsedilebilir. Tesisin sorunlarında çoğunlukla benzer oranlarda uyuşmayan ve birbirine zıt çözümlerden oluşan, bir bütünün en iyi değerlerini barındırmayan bir nokta tespit edilebilir. Bu tür karmaşık sorunlar genelde uzlaştırıcı kurallar doğrultusunda çözülür [47].

Alışılmış ÇKKV analizinde unsurlar veya seçenekler çözümlenirken kesin anlatım sarf edilir. Fakat uygulamaya yönelik çözümlerde tesis yöneticilerinin etkileyen faktörler bilinmeyen ve kanıtlanmamış ifadeler yer almakta, kesin yargılar kullanılmamaktadır. Bu yargılar; özellikle kantitatif bir bilgi yerine, kısmen eksik, doğruluğu ispatlanamayan ve kararsız bilgiler doğurur [48].

ENDÜSTRİ 4.0 SÜRECİNDE ELECTRE YÖNTEMİ İLE ENERJİ TESİS YER SEÇİMİNİN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Kesin olmayan yargıları çözümlenmek amacıyla değişik parametreler ve bu parametreleri sisteme geçirmek için bulanık mantık/sayıardan yardım alınır [49]. Bu şekilde kullanılan ÇKKV analiz türleri ise şunlardır:

- *Sabit Hedefli Analizler:* Şema Bağlantılı Algoritma, Sanal gerçeklik, Markov aşamaları vb.
- *Otomasyon Hedefli Analizler:* ELECTRE modeli, Delphi, Analitik Üstünlük Süreci, Tercih Çözümü, Giren-Çıkan Çözümü, Hedef Algoritma, Pasif Algoritma, Amaç Algoritması, Aktif Algoritma, Envanter Uygulamaları vb.
- *Bilgi İndirgeme Hedefli Analizler:* Uyum Çözümü, Sorun Çözümü vb.
- *Sınıflama Hedefli Analizler:* Diskriminant Algoritması, Kümeleme Algoritması, Çok Ölçütlü Algoritma vb.
- *Diğer Analizler:* Çok Ölçütlü Varyans Algoritması, Çok Ölçütlü Regresyon Algoritması, Kümelerarası Korelasyon Algoritması vb. [50].

Çok Ölçütlü Karar Verme (ÇÖKV), ÇKKV analizinin alt kısımlarındandır. ÇÖKV, faktörlerin ve seçeneklerin arttığı hallerde birden fazla alternatifin benimsenmesi, derecelendirilmesi, kronolojiye sokulması, departmanlara ayrılması ve sorumluk alma sürecidir. ÇÖKV analizleri 1-Değer/fayda temelli, 2-Üstünlüğe göre sıralama analizler kavramlarından meydana gelir. Değer/ Fayda temelli analiz içerisinde üç; üstünlüğe dayalı analiz de içerisinde iki kısımdan oluşur [51].

3.1. Değer/ Fayda Temelli Yöntem

En yaygın tercih edilen analizdir. Üç kısımdan ilki AHP (Analytic Hierarchy Process) dir. Zorlanılan sorunlarda karşılaşılan karmaşık çözümleri basitleştirir. Saaty'nin oluşturduğu kantitatif ve kalitatif olguda yer alan sorunların; tecrübe, sezgisel ve veri yardımıyla çözümleneyen matematiksel süreçtir. AHP ile hem sanal simülasyon hem de gerçek tesis süreci başlar [52].

Diğer kısım, ANP (Analitik Network Proses) dir. AHP analizinden daha çok kompleks sorunlar yer alır. ANP; tesisin içten ve dıştan koordinelerini ve faktörlerini göz önünde bulundurarak, çözümü yürüten bir süreçtir [52].

Üçüncü analiz Topsis (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) sürecidir. ELECTRE analizine karşı bir seçenek olan Topsis analizi, Hwang ve Yoon sayesinde varlık kazanmıştır. Çözüm önerilerinden en uyumlu seçeneği en az, en uyumsuz seçenektan en uzak kısımların seçildiği bir kümedir [53].

3.2. Üstünlüğe Göre Sıralama Analizi

Üstünlüğe göre sıralama, seçenek diziliminde önemlidir. Bu kısımda yer alan iki analiz Promethee ve ELECTREdir. Promethee (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations) kısmen önceliklendirme konusunda I; tam önceliklendirme konusundaysa Promethee II olarak ayrılır. Bu analizin farkı anlaşılabilir, basit ve net oluşudur. Sayıca fazla seçeneklerden uyumlu olanın tespiti fonksiyonlar yardımıyla bulunur. Hazırlanan matris analizi sıralamaya fikir verir. Oluşan alternatifler ile dizilim gerçekleştirilir [52].

ELECTRE (Elimination and Choice Translating Reality English) bütün faktörler ve seçenekler ikili taranarak ölçülebilen bir analiz algoritmasıdır. Sahip olunan bilgiler, karar matrisi içerisinde uyum setleriyle birlikte üstünlük matrisleri adapte olur. Mutlak üstünlüğü gösteren karar noktalarında belirlenen değerler seçilir [52].

ÇKKV için kullanılan birçok süreç mevcuttur. Belirleyeceğimiz sürecin seçiminde sorunun içeriği, karar veren uzmanın kolay anlayacağı yöntem tipi etkilidir [54]. Bu nedenle araştırmamızda yaygın kullanılan yöntemlerden ELECTRE Yöntemi seçilmiştir.

4. TEORİK METOD

Çalışma teorik method olarak ELECTRE Yöntemi (Elimination and Choice Translating Reality English) kullanılmıştır. Bu yöntemin temel aşamaları şu şekildedir:

Aşama 1: Karar Kriterleri Matrisinin (A) Yapılması

Matrisin satır kısımlarında üstünlük değeri dizilmesi istenen karar yerleri, sütun kısımlarında ise karar vermede etkili olacak, kapsama alınacak faktörler yer alır. Başlangıç matrisi olarak bilinen A matrisi aşağıda gösterilmiştir:

D. Balkan

$$A_{ij} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{pmatrix} \quad (1)$$

A_{ij} matrisinde m kararın sayısal değerini, n değerlendirilen seçeneğin sayısal değerini temsil eder.

Aşama 2: Normalize Edilmiş Belli Kriterlerin Matrisinin (X) Yapılması

Belli Kriterler Matrisi, başlangıç matrisinden faydalanılarak ve aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanır.

$$x_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m a_{kj}^2}} \quad (2)$$

Örneğin X matrisinin x_{11} elemanına bir değer vermek için, A matrisinin a_{11} verisi, matrisin 1 sütun verilerinin kareleri toplamının kareköküne bölünerek tespit edilir. Burada hedef, bir kriter yeriyle ilişkili sürecin faktörü hesaplanırken, diğer kriter yeri ağırlıklandırılmaktır. Süreçler hesaplandıktan sonra X matrisi aşağıdaki gibi bir aşamaya gelir.

$$x_{ij} = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{pmatrix} \quad (3)$$

Aşama 3: Ağırlıklandırılmış Belli Kriter Matrisinin (Y) Yapılması

Hesaplanan verilerin yönetici grubu içerisinde önem derecelerinin farklı olabileceği düşünülmektedir. Bu verileri bir sıralamaya almak için ELECTRE modelinde Y matrisi hesaba dahil edilir. Yönetici grup bu sorunu gidermek için kriterlerin önem ağırlıklarının (W_i) belirlemelidir. Ardından X matrisinin tüm sütunlarındaki verileri W_i sayısı ile çarpılarak Y matrisi hesabı sonuca ulaştırılır. Hesaplanan Y matrisi aşağıda formülize edilmiştir:

$$y_{ij} = \begin{pmatrix} w_1 x_{11} & w_2 x_{12} & \dots & w_n x_{1n} \\ w_1 x_{21} & w_2 x_{22} & \dots & w_n x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_1 x_{m1} & w_2 x_{m2} & \dots & w_n x_{mn} \end{pmatrix} \quad (4)$$

Aşama 4: Uyum (C_{kl}) ve Uyumsuzluk (D_{kl}) Verilerinin Analiz Edilmesi

Uyum verilerinin hesaplanabilmesi için Y matrisine ihtiyaç vardır, kriterlerdeki tesis yerleri karşılaştırılır ve uygun olmayan yerlerin eksikleri tespit edilir, ikili karşılaştırmalar yapılarak farklar gözlemlenir. Veriler belirtilen formül tarafından ilişkilendirilir.

$$C_{kl} = (j, y_{kj} \geq y_{ij}) \quad (5)$$

$$D_{kl} = (j, v_{kj} < v_{ij}) \quad (6)$$

Aşama 5: Uyum (C) ve Uyumsuzluk Tablolarının (D) Yapılması

Uyum tablosunun (C) hesaplanması için uyum kriterlerinden veriler aktarılır. C sayısı $m \times m$ şeklindedir ve $k=1$ olduğunda bir değeri yoktur. C sayısını oluşturan veriler aşağıdaki formül ile belirlenir.

$$C_{kl} = \sum_{j \in C_{kl}} w_j \text{ ve } c \text{ matrisi aşağıda belirtilmiştir.}$$

ENDÜSTRİ 4.0 SÜRECİNDE ELECTRE YÖNTEMİ İLE ENERJİ TESİS YER SEÇİMİNİN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

$$C = \begin{pmatrix} - & c_{12} & c_{13} & c_{1m} \\ c_{21} & - & c_{23} & c_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ c_{m1} & c_{m2} & c_{m3} & - \end{pmatrix} \quad (7)$$

Uyumsuzluk tablosunun (D) sonucu ise aşağıdaki formül yardımıyla bulunur:

$$D_{kl} = \frac{\max_{j \in D_{kl}} [y_{kj} - y_{lj}]}{\max_j [y_{kj} - y_{lj}]} \quad (8)$$

C sayısı gibi D sayısı da mxm şeklindedir ve k=1 olduğunda bir değeri yoktur. D sayısı aşağıda ifade edilmiştir:

$$D = \begin{pmatrix} - & d_{12} & d_{13} & d_{1m} \\ d_{21} & - & d_{23} & d_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ d_{m1} & d_{m2} & d_{m3} & - \end{pmatrix} \quad (9)$$

Aşama 6: Avantajlı Uyum (F) ve Avantajlı Uyumsuzluk (G) Tablolarının Yapılması

Avantajlı uyum tablosu (F) mxm şeklindedir ve tablonun verileri optimum uyum sayısının (\underline{c}) uyum tablosunun verileriyle (c_{kl}) değerlendirilmesiyle oluşturulur. Optimum uyum sayısını (\underline{c}) aşağıda formülize edilmiştir:

$$\underline{c} = \frac{1}{m(m-1)} \sum_{k=1}^m \sum_{l=1}^m c_{kl} \quad (10)$$

Avantajlı uyumsuzluk tablosu (G) de mxm şeklindedir ve F tablosuyla aynı mantıkla yapılır. Avantajlı uyumsuzluk optimum sayısı (\underline{d}) aşağıda formülize edilmiştir:

$$\underline{d} = \frac{1}{m(m-1)} \sum_{k=1}^m \sum_{l=1}^m d_{kl} \quad (11)$$

Aşama 7: Avantajlı Tabloların (E) Yapılması: Üstünlük Tablolarının Belirlenmesi

Avantajlı Tabloların (E) verileri (e_{kl}) f_{kl} ve g_{kl} sayılarının çarpımlarıyla bulunur. Burada E tablosu C ve D tablosuna bağlı olarak mxm şeklindedir, 1 ve 0 olarak kodlanır.

$$g_{kl} = e_{kl} * f_{(kl)} \quad (12)$$

Aşama 8: Karar Yerlerinin Önem Sırasının Oluşturulması: Karar Noktalarının Birbirlerine Göre Üstünlüklerinin Belirlenmesi:

$$E = \begin{bmatrix} - & 0 & 0 \\ 1 & - & 0 \\ 1 & 1 & - \end{bmatrix} \quad (13)$$

Alternatiflerin Sıralanması E tablosu beliren üstünlükleri gösterir. Örneğin E tablosu aşağıdaki gibi bulunmuşsa, $e_{21}=1$ $e_{31}=1$ ve $e_{32}=1$ değerleri verilir. Böyle bir şey hesaplanmışsa ikinci tesis yeri birinci tesis yerine, üçüncü tesis yeri birinci tesis yerine ve üçüncü tesis yerinin de ikinci tesis yerine baskın avantajlı olduğunu ortaya koyar. Bu sonuç uyarınca tesis yerleri A_i ($i=1,2,\dots,m$) şeklinde formülize edilirse, tesis yerlerinin avantajlı ağırlık sırası A_3, A_2, A_1 olmalıdır.

Avantajlı tablolar alternatifler arasından eleme yapılarak sıralanır. Böylece hem uyumluluk hem de uyumsuzluk tabloları incelenir. Tabloda rastgele bir sütununun en az bir kutusu 1'e eşitse, bu sütun ELECTRE modeline göre diğer alternatiflerden baskındır. Bir başka deyişle 1 sayısına eşit olan kısımlar elenebilir. Bu yöntemle optimum veriye ulaşmak mümkün olacaktır.

5. UYGULAMA

Çalışmada, daha fazla enerji üreticisinin kaynaklarını etkin bir şekilde kullanmasına izin verecek şekilde enerji tesisi yer seçimini İkili Logit model ve ELECTRE Yöntemi ile geliştirmeye odaklanarak Türkiye Enerji üretim tesislerinin yer seçimi problemine uygulanmıştır.

ELECTRE analizini uygulamak için tesis seçimi kriterleri belirlenerek önem derecesine göre sayısal bir değer vererek sayısal cetvel ayarlaması yapılır. Kriterlerin sayısal aralıkları belirlenirken tesisin yeri enerji talebine göre seçilebilir ve cetvelin sıralaması öneme göre sıralanarak, kritik değerlere daha büyük puan verilerek yüksek sıralara yerleştirilmesi sağlanır. Böyle bir mantıkla önem değeri en yüksek kriter en yüksek puan ağırlığına sahiptir. Tablo 1’de kriterler ve cetvel puanlaması gösterilmektedir.

Tablo 1. Tesis Seçimi Kriter Derecelendirme

Kriterler	B1	B2	B3	B4	B5	Derece	Ağırlık
İletim	7	5	8	7	6	5-9	2
Dağıtım	7	5	9	7	6	5-9	3
Piyasa	4	5	4	5	4	2-6	1
Talimata Uygunluk	10	1	8	2	1	1-10	6
Güç Verimliliği	7	3	7	5	4	3-7	5
Üretim	6	5	7	4	4	4-8	4

Aşağıda her bir bölge örneklem kümesi ve bu kümelere ait olan yerler bulunmaktadır:

- *B1 Bölgesi Örneklem Kümesi:* Ülkemizin Hidroelektrik Santralleri bakımından zengin bir bölgesi; Doğu Karadeniz (Çoruh Havzası), Doğu Anadolu’da Fırat ve Dicle Nehri etrafı (Fırat-Dicle Havzası), İç Anadolu’da Yeşilirmak ve Kızılırmak Nehri etrafı (Yeşilirmak-Kızılırmak Havzası).
- *B2 Bölgesi Örneklem Kümesi:* Ülkemizin Yenilenebilir Enerji Santralleri bakımından zengin bir bölgesi; Rüzgar için Ege Bölgesi (Çanakkale, Balıkesir, İzmir, Muğla etrafı), Güneş için İç Anadolu ve Kuzey Akdeniz Bölgesi (Ankara, Konya, Karaman etrafı).
- *B3 Bölgesi Örneklem Kümesi:* Ülkemizin Doğalgaz Santralleri bakımından zengin bir bölgesi; Ege Bölgesi (İzmir Limanı etrafı), Marmara Bölgesi (İstanbul, Tekirdağ, Bursa, İzmit etrafı), İç Anadolu Bölgesi (Ankara etrafı).
- *B4 Bölgesi Örneklem Kümesi:* Ülkemizin Doğalgaz Santralleri bakımından zengin bir bölgesi; İç Anadolu Bölgesi (Ankara etrafı).
- *B5 Bölgesi Örneklem Kümesi:* Ülkemizin İthal ve Yerli Kömür Santralleri bakımından zengin bir bölgesi; Akdeniz Bölgesi (İskenderun Limanı, Elbistan Bölgesi).

İletim kriteri ülkemizde bulunan TEİAŞ bölge müdürlükleri göz önünde bulundurularak, enerji iletim hatlarının sağlıklı çalışan şebekeleri ile bunların uzunlukları, adetleri baz alınarak tesis seçiminde yerin önemi değerlendirilmiştir. İletim kriteri oluşturulurken TEİAŞ personellerinden mühendis, uzman ve üst yönetici kadrolarından yardım alınarak kriter ağırlığı belirlenmiş, iletim hatlarının enerji tesisleri yer seçimine etkisi ağırlık puanına yansıtılmıştır.

Dağıtım kriteri TEDAŞ’ın dağıtım bölgelerinde ilgili mevzuat çerçevesinde sistemin tesis edilmesi ve işletilmesini gerçekleştiren 21 dağıtım şirketinde trafo sayıları, kapasiteleri ve kurulu güçleri incelenerek puan verilmiştir. Tesis yeri seçimi dağıtım sisteminde kayıpların azaltılması konusunda karşılaştırılmıştır. Derecelendirme ölçeği hazırlanırken bir devlet kurumu olan TEDAŞ’tan başmühendis, teknik şef kadrolarından yardım alınmıştır.

Piyasa kriteri ise Türkiye’de enerji piyasasında söz sahibi EPDK ve Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı mevzuatları ile elektrik, doğalgaz, petrol, LPG Piyasası Tarifeleri araştırılarak önem derecesi bulunmuştur. Ayrıca Türkiye’nin Enerji Borsası olarak adlandırılan EPIAŞ raporlarının katkısı olmuştur.

Talimata uygunluk kriteri için ise enerjinin arz ve talep dengesini sağlamak için enerji tesislerine verilen yük alma yada yük atma talimat etiket esasları araştırılmıştır. Talimatları önemli hale getiren dengeleme tesislerinin kısıtları, bölge iletim sisteminin kısıtları, arz güvenliği, arz kalitesi ve tahmin edilen talep ile mevcut talep arasındaki bağ olduğu görülmüştür. Arz ve talebin bölgelere göre değişimi tesisin yer seçiminde önemli bir kriter olduğu düşünülmektedir.

Kömüre dayalı termik santrallerde verim ve kapasite kullanım oranının düşüklüğü, doğalgaz santrallerinde hammadde pahalılığı ve yurt dışına bağımlılık, hidroelektrik santrallerin enerji yükleme hızının yetersiz olması ve su doluluğun mevsimsel olarak değişimi, yenilenebilir enerji kaynakları alt yapısının ülkemizde henüz tamamlanmaması gibi durumlar güç verimliliği

ENDÜSTRİ 4.0 SÜRECİNDE ELECTRE YÖNTEMİ İLE ENERJİ TESİS YER SEÇİMİNİN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

kriterinde irdelenmiştir. Bu doğrultuda hangi tür tesisin nerede kurulacağı problemi üzerinde durularak puanlandırma yapılmıştır.

Ülkemizde enerji üretiminin büyük çoğunluğu elinde bulunduran EÜAŞ ve özel sektör kuruluşları üretim kriterinde değerlendirilerek kurum personeli tarafından puanlamaya sunulmuştur. Enerjinin sürekliliği, çevreye duyarlılığı, katılımcılık, etkinlik ve işbirliğine açıklık konuları bu kriterin puanlamasına etki etmiştir.

Puanlama ağırlıkları bahsedilen faktörler değerlendirilerek yapılmıştır. İletim şartları, üretim şartları ile dağıtım şartları puanları eşittir. Böylece üçü de benzer puan ve ağırlıkta olmuştur. Talimata uygunluk şartları direk tesisin yerini, bölgesini oluşturduğu için Güç verimliliği şartı ise tesisin türünü ve buna bağlı olarak yer alması gereken konumu etkilediğinden en yüksek ağırlık puanını almışlardır.

5.1 Matrislerin Oluşturulması

ELECTRE yönteminde sonuca ulaşmak için kullanılan üç matris çeşidi vardır:

1. Uyum Matrisi
2. Uyumsuzluk Matrisi
3. Eşik Matrisi

Uyum matrisi hazırlanırken kriterler karşılaştırılır, birbirlerine üstün ve ya eşit oldukları puanlar alınır. Örneğin B1 ve B3 bölgeleri incelendiğinde yük alma-yük atma talimatına uygunluk konusunda B1 enerji tesisi bölge olarak hidroelektrik enerji tesisine daha elverişli, fiyat bakımından daha uygun görülmektedir. Ancak güç verimliliği şartı ele alındığında B3 bölgesinde seçilecek bir enerji tesisi hammaddeye yakın olduğundan doğalgaz kombine çevrim olacak, dolayısıyla verim açısından B1 bölgesindeki hidroelektrik enerji tesisinden daha yüksek puan almaktadır. İletim kriterinde ise B3 bölgesindeki şebekenin daha güçlü, güvenilir ve frekansının istenilen seviyede sabit kaldığı yüksek puanı ile görülmektedir. B3 bölgesinden kurulacak enerji tesisinin doğalgaz kombine çevrim olması nedeniyle üretimde de üstünlüğü puan olarak yer almaktadır. B1 bölgesi, B3 bölgesinden daha avantajlı veya aynı aldığı puan değeri, toplanmış puan değerlerine orantılanır. B1 bölgesinin B3 bölgesinden uyum üstünlüğü $= (2+3+1+5+4)/21=0,71$ hesaplanır. Sonuç B1 sırasının B3 sırasıyla birleştiği sıraya aktarılır. Seçeneklerin benzer şekilde işlemlerden geçirilmesiyle süreç devam ettirilir ve uyum tablosu hesaplanır. Oluşan uyumluluk matrisi Tablo.2'de gösterilmektedir.

Tablo 2. Uyum Matrisi

	B1	B2	B3	B4	B5
B1	-	0,95	0,57	0,95	0,95
B2	0,04	-	0,04	0,23	0,33
B3	0,71	0,95	-	0,95	1
B4	0,28	0,8	0,04	-	1
B5	0,04	0,76	0,04	0,19	-

Uyumsuzluk matrisi için kriterlerin birbirinden üstün olduğu ağırlıklı puanlar seçilip içerisinden, avantajlı kriterlerin fark verileri aktarılır. Aradaki sayısal eksikler, cetveldeki üstün değerlerin toplamına orantılanır ve uyumsuzluk tablosundaki veriler elde edilir. Örnek olarak B3 bölgesinin B1 bölgesinden üstün olduğu puan (İletim, Dağıtım, Üretim) bu puanlar içinde kriterlerin arasındaki eksik değerler optimum olan veri, Mak $((8-7=1), (9-7=2), (7-6=1))$ olarak dağıtım bulunur. Bu puanın ölçek değeri 9'dur. $2/9=0,22$ değeri B3 bölgesinin B1 bölgesinden en büyük uyumsuzluk tablosu verisi hesaplanır. Tablo aşamasında B1 sırası ile B3 sırasının bulunduğu hücreye uyumsuzluk verisi aktarılır. Alternatif verilerin tablolarda irdelenme süreci uyumsuzluk tablosu tamamen dolana kadar devam eder. Oluşturulan uyumsuzluk matrisi Tablo.3'de gösterilmektedir.

Tablo 3. Uyumsuzluk Matrisi

	B1	B2	B3	B4	B5
B1	-	0,9	0,2	0,8	0,9
B2	0,16	-	0,16	0,125	0,16
B3	0,22	0,7	-	0,6	0,7
B4	0,16	0,28	0,16	-	0,14
B5	0	0,14	0	0	-

Eşik Değeri matrisini oluşturmak için p ve q sayılarına ihtiyaç vardır. Belirlenen p sayısı uyum matrisindeki belirlenen veriden avantajlı veya bu veriye denk olan puan kutularının işaretlenmesi ve belirlenen q sayısı uyumsuzluk matrisinde bu veriden dezavantajlı veya denk sayılan puan kutularının kesişimi ile oluşturulur. P değerinin genel ortalamayı yansıtacak bir

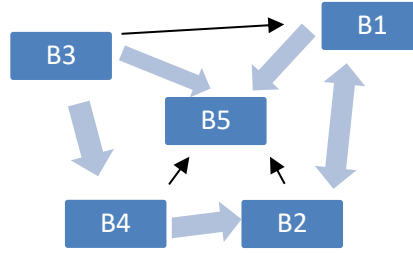
D. Balkan

değer olarak karşımıza çıkması için alt sınırdan yer alan 0,04 değerleri dışarıda tutulduğunda diğer değerlerin ortalaması 0,7'dir. Bu yüzden uyum tablosu için p verisi 0,7 olarak belirlenmiştir. Uyumsuzluk tablosu için q değeri ise 0,2 olarak belirlenmiştir. Uyum tablosunda 0,7 sayısından avantajlı ve denk sayılar tespit edildikten sonra, uyumsuzluk tablosunda ise 0,2 ten dezavantajlı veya denk veriler tespit edilmiştir. Tabloda işaretlenen kutular kıyaslanarak tik işareti konmuş ve Tablo.4'de gösterilmiştir.

Tablo 4. Eşik Matrisi

	B1	B2	B3	B4	B5
B1		✓		✓	✓
B2					
B3	✓	✓		✓	✓
B4		✓			
B5					

Tablo.4'de yer alan ✓ simgesi alternatif yerlerden avantajlı olanları belirtmektedir. Sembolik oklu şemada ok güçlü yerlerden zayıfa doğru ilerlemektedir. Sembolik oklu şemada okun ön tarafı gelmeyen yer seçim yerini belirtmektedir ve Şekil.1'de gösterilmiştir.

**Şekil 1.** Ok Gösterimi**5.2. Logit Model**

İkili logit model anket katılımcılarına ve enerji tesis yöneticilerine kurulum aşamasında isterlerse yol gösteren, alternatif yerler arasında ihtiyaç duyulan yerleri sunabilmektedir. Karar destek mekanizması gibi anketten toplanan bilgileri veri tabanına ekleyen bir tasarımdır. Alternatifleri kriterler doğrultusunda eleme sistemiyle en aza indirir, çünkü bu yöntem kriter yelpazesindeki zayıf noktaları ağırlık derecelerine göre sıralamaya sokmaktadır. Kriter ve derecelendirme veri tablosu basit rastlantısal örneklem modeli ile gerçekleştirilen ankette etkili olmuştur. Araştırmamızda kullanılacak veri tablosu, TEİAŞ, EÜAŞ, TEDAŞ, EPDK, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı kamu kuruluşlarının konuyla alakalı birimler personeline uygulanmıştır. Veri tablosu Enerji Alış-Satış, Elektrik Piyasası, Enerji Verimliliği, Yük Tevzi Daire Başkanlıkları ve Bölge Müdürlüklerinde görev yapan mühendis, başmühendis, teknik şef ve uzman kadrolar ile görüşmeler sonucu elde edilen verilerinden oluşmaktadır. Kriter derecelendirme tablosu oluşturulurken iletim kriteri için TEİAŞ personelinden 50, Dağıtım kriteri için TEDAŞ personelinden 50, Piyasa kriteri için EPDK personelinden 50, Talimat kriteri için TEİAŞ ve TEDAŞ bölge müdürlük personelinin 100, Güç verimliliği kriteri için Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı personelinden 50, Üretim kriteri için EÜAŞ personelinden 50, toplamda 350 personel ile anket çalışması yapılmış ve önem dereceleri tasarlanmıştır. Çalışmada, şimdiye kadar tesis yeri seçimi hakkında literatür kapsamında, daha önceden irdelenmemiş kriterlerin ortaya konulmasını sağlamak ve özellikle bunu bir enerji tesisi yer seçimi üzerinde yürütmek için yapılmış, değerlendirmelerde çeşitli bulgular edinilmiştir.

Kriter derecelendirme verilerini oluşturmak için bir anket formu hazırlanmıştır. Anketin ilk kısmı katılımcıların görev yaptıkları kamu kuruluşlarındaki demografik özelliklerini ortaya çıkaran sorulardan oluşturulmuştur. Anketin ikinci kısmında katılımcılar tesis yeri seçiminde etkili olan kriterleri belirlemiş, belirlenen kriterler ortak gruplara ayrılıp tek başlık altında toplanmış ve ardından derecelendirilmiştir. Derecelendirmede 5'li likert scala sistemi (1: etkisiz, 2: kısmen etkisiz, 3: kararsızım/fikrim yok, 4: etkili, 5: çok etkili) baz alınmıştır. Toplanan ham veriler SPSS v.24.0 bilgisayar çözümlemesi yapılarak analiz edilmiş, sonuçta varolan ikili yöntemin uyum avantajı, yönlü ilişki durumu belirli modeller çerçevesinde

ENDÜSTRİ 4.0 SÜRECİNDE ELECTRE YÖNTEMİ İLE ENERJİ TESİS YER SEÇİMİNİN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

hesaplanmıştır. Araştırmadaki soru ve cevaplardan ulaşılan sonuçlar ikili logit regresyon model bünyesinde incelenmiştir. Lojistik açıdan yeterli görülen hesaplama, bağımlı bir alternatifin kriterlerin gruplandığı süreçte değişiklik gösteren verilerle bağımlı tespit etmede tercih edilir.

Sonuca ulaşmak için uygulanan anketin analizi, anketteki bilgilerden yararlanma şekli ve teknikleri ile ilgili yorumlara araştırmanın bu kısmında değinilecektir. İlk olarak ankete dahil edilen 350 kişinin ünvan ve görevlerine ait verilerin işlenmesi Tablo 5’de gösterilmektedir.

Tablo 5. Ankete Katılan Kişilerin Ünvan Sınıflandırması

	Uzman	Mühendis	Baş mühendis	Teknik şef	Toplam	Yüzde (%)
TEİAŞ	20	20	20	15	75	21,42
EÜAŞ	15	15	10	10	50	14,28
TEDAŞ	35	35	30	25	125	35,71
EPDK	20	25	15	15	50	14,28
ETKB	20	10	10	10	50	14,28

Enerji tesis yer seçimi logit modellemesinde alternatif yerler Ülkemizin stratejik coğrafyası baz alınarak belirlenen faktörlerin oluşturulması açısından zorunlu değişken “Alternatifler arasından hangi coğrafi bölgemizde enerji tesisinin kurulması daha uygundur?” sorusu önceliklidir. Zorunlu değişkene karar kılmak için daima iki seçenek kategorilere ayrılarak karşılaştırılır ve net bir sonuç elde edilir, bu nedenle bu aşamada ikili logit yönteminin en çok fayda sağlayacağı düşünülmüştür. Zorunlu olmayan değişkenler olan iletim, dağıtım, piyasa, talimata uygunluk, güç verimliliği ve üretim amacıyla enerji tesisinin uygun olacağı alternatif yere ekleyeceği fayda ile zorunlu değişken sorusu arasındaki ikili logit model bağlantısı katsayıları ($p \leq 0.05$) Tablo.2’de hesaplanmıştır. Tablodaki lojistik değerler, zorunlu katsayılar, zorunlu olmayan katsayılar ve standart sapmalar, tüm alternatiflerin yöntem faydasını belirler. Bunlar arasında zorunluluğun anlamını açıklayan Wald Ki-Kare oranı, zorunluluğun serbestlik ölçeği, anlam ölçüsü ve zorunlu olmayan değişkenin odds istatistikini ayarlayan B değeri bulunur.

Tablo 6. İkili Logit Modelde Oluşan Kriterler

	DEĞİŞKENLER	B Katsayı	Standart Yanılgı	Wald Oranı	Değişkenlik	Anlam Oranı (p)	B Değeri
İLETİM	-Bölgedeki iletim sistemi için her türlü iletişim ve bilgi sistemini kurmak	-1.375	0.605	3.455	1	0.052	0.246
	-Bölgedeki iletim hattının uzunluğu önemlidir	-1.285	0.726	3.678	1	0.058	0.311
	-Trafo merkezi sayısı ve toplam trafo kapasitesi yeterli olmalıdır	-1.144	0.593	3.128	1	0.069	0.354
	-Bölgenin enerji talep tahmini esas alınarak sistem güvenirliliği korunmalıdır	0.571	0.481	4.068	1	0.047	0.554
	-Bölgesel elektrik dengeleme piyasalarına katılmak	-0.485	0.416	2.798	1	0.035	0.369
	-İletim sistemi işletimi ile ilgili faaliyetleri verimlilik ve kararlılık ilkelerine göre tesisin etüt ve planlanmasını yapmak	1.207	0.756	2.613	1	0.038	0.456
	DAĞITIM	-Dağıtım şebekesinin geriliminin azaltılması ve eksik enerjinin hatta bertaraf edilmesi	-1.375	0.557	3.018	1	0.033

D. Balkan

	-Çevresel duyarlılık geliştirmeye yönelik çalışmalar yönetmek	-0.804	0.472	4.112	1	0.037	0.669
PIYASA	-Şebeke yönetmeliğine uyulup uyulmadığını denetleme	-0.921	0.439	5.049	1	0.044	2.789
	-Enerji bedelini dengeleme uzlaştırma yönetmeliği çerçevesinde karşılanmalıdır	-0.714	0.593	3.967	1	0.051	0.397
	-Üretim tesisi kurmak amacı ile başvuruda bulunmak	0.529	0.691	3.556	1	0.046	0.283
	-Enerji üretiminde kapasiteyi verimli kullanmak ve emre amadeliği yükseltmek	0.647	0.407	3.455	1	0.089	0.213
	-Piyasadaki riskleri öngörerek piyasa şartlarını sağlamak	-0.135	0.772	2.997	1	0.074	0.244
TALİMATLAR A UYGUNLUK	-Yan hizmetlerin sağlanması	-1.036	0.459	4.552	1	0.069	0.666
	-Sistem yük dağıtım ve frekans kontrolünü gerçekleştirmek	-0.991	0.596	5.678	1	0.063	2.658
	-Gerçek zamanlı sistem güvenilirliğinin izlenmesi	1.006	0.487	2.773	1	0.014	0.449
	-Sahaların yatırıma açılmasını sağlamak	-0.853	0.793	3.039	1	0.002	0.229
GÜÇ VERİMLİLİĞİ	-Arz güvenliliğinin ana bileşenlerinin alt yapısının sağlanması ve talebin yönetilmesi	0.537	0.617	4.441	1	0.076	0.559
	-Dışa bağımlılıktan kaynaklanan risklerin azaltılması ve enerji kaynaklarımızın öne çıkarılması	-0.831	0.393	3.356	1	0.054	0.336
	-Talep tarafının aktif olarak piyasaya katılması, arz talep dengesizliğinin en aza indirilmesi	-0.716	0.728	3.801	1	0.041	0.456
	-Enerji verimliliği ve tasarrufunun artırılması	-0.776	0.619	4.086	1	0.084	0.677
	-Sistem güvenirliliğinin muhafaza edilmesi ve bölgesel sistem ihtiyaçlarını karşılanması	0.461	0.491	3.910	1	0.098	0.339
ÜRETİM	-ENTSO-E bağlantısının kalıcı hale getirilmesi	-0.816	0.773	5.019	1	0.086	2.889
	-Avrupa elektrik piyasalarına katılımın sağlanması	-1.731	0.603	2.379	1	0.018	0.344
	-Uygun rekabet ortamı için şeffaflığın artırılması	0.096	0.417	3.642	1	0.048	0.328
	-Hammadde eksikliğinin giderilerek üretim sürecinin aksatılmaması	-0.967	0.339	4.609	1	0.063	0.788

ENDÜSTRİ 4.0 SÜRECİNDE ELECTRE YÖNTEMİ İLE ENERJİ TESİS YER SEÇİMİNİN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Anket yapılan 350 katılımcı, alternatif yerlerde ihtiyaca göre enerji tesisinin kurulmasını iletim, dağıtım, piyasa, talimata uygunluk, güç verimliliği ve üretim kriterlerine göre belirtmiştir. Bölgelerde eksik olan enerji tesisinin yer seçimi uygunluğu ikili logit yöntem hesapları Tablo.6'da değerlendirildiğinde, katılımcılar alternatif alanların eksikliklerini anlık ve etkili bir durum tespitiyle giderebileceğini, mesafe sorunu olan alternatif yerlerin seçilmesinin mantıklı olmadığı, tesisin enerjisinin teslim edileceği hane halkı ve fabrika tarzı üretim tesislerine yakın olmasının şebeke hattı açısından avantaj sağlayacağı, iç ve dış kaynağın ulaşılabilirliğinin önemli olduğu, stratejik limanlara ya da ülkenin orta yani merkez noktasına mesafesinin maliyete olumlu etki ettiği, ekonomik açıdan gelişen, sanayisi büyümüş illerin öncelikli olması tespitleri yapılmıştır.

6. SONUÇLAR

Araştırmamızda bir enerji tesisi kurulmak istenmektedir. Enerji tesisleri, farklı potansiyel enerji türlerini (su, atom çekirdeği, yer altı buhar, güneş, rüzgar, kömür vb.) kinetik enerjisine dönüştürmeyi hedefleyen donanımlardan oluşan sistemler olduğu için, enerji tesisi alternatif beş farklı özellikte yer oluşturulmuş ve bunları belli faktörler çerçevesinde sıralamıştır.

1. İletim hatlarına yakınlığı (enerji nakil hatlarına uzaklık)
2. Dağıtım Şirketleri ile bağlantı (trafo merkezine uzaklık)
3. Su kaynağına yakınlık
4. Kömür kullanımı ve yakıt tedariği
5. Güç yoğunluğu dağılımı

Belirlenen beş alternatif yerin lojistik konumunu ve enerji çeşidinin önemini etkileyen unsurlar sıralanmaktadır:

- *Kömür kullanımı:* İthal edilen kömürün demiryolu, akarsu ya da deniz yoluyla tesise ulaştırılması, boşatılması, depolanması, tesis içinde dolaştırılması ve kazana aktarılması için gerekli tesisler yapılmalıdır.
- *Su kaynağına yakınlık:* Tesiste üretilen ısının yarısını boşaltan soğutma sistemini suyla beslemek için tesisi büyük debili akarsu yakınına veya deniz kenarına kurmak gerekir.
- *Kurulum giderleri:* Tesisin üretim maliyetini azaltmak ve işletimi rahatlatmak için tesisler tek düze ve bağımsız üretim departmanları şeklinde bölümlendirilir. Her departmanda buhar depolayan metal alan ile buhar üreten kısım belli bir sayısal oranda bulunur. Bunun yanında şebekeyle bağı sağlayan ve enerji gücünü yükselten yada azaltan trafo mevcuttur. Kurulum giderleri tesisin üretime başlamadan önce makina, yönetim binası, arazi vb. öğeleri içerir.

Faktörler için puan skorlaması yapılırken, en yüksek puan alan yerler, tesis ve tedarikçinin tahmini enerjiyi halka arz ettiği bölgesel yerlerdir. Yapılan anket çalışmasının evrenini enerji tesislerinde görevli ve enerji alış, satış, bölgesel ve mevzuatsal konularda uzman kamu ve özel firma personeli oluşturmaktadır. Ülkemizde enerji tesislerinin ve enerji piyasasının büyük bir kısmına sahip EÜAŞ, TEİAŞ ve TEDAŞ kurumlarında üst düzey yöneticiler ile ikili logit modellemesi yapılmıştır. ELECTRE ve İkili logit yöntem ile elde edilen sonuçlar enerji tesisi yatırımcılarının dikkate alacağı verilerdir. Önerilen tercihler ülkemizin enerji ihtiyacını karşılamak, dışa bağımlılığını azaltmak adına önem arz eder.

Sonuç olarak, enerji tesisi için anket katılımcılarının belirlediği beş adet yer alternatifi belirlenmiş ve tesis kurulumu için yetkililere ışık tutmuştur. Kurulumu uygunluk değerlerini belirlemek adına oluşturulan kriterler, yetkililerin göz önünde bulundurması gereken şartlar olarak yarar sağlamaktadır. Belirtilen bu şartlar anket katılımcılarından alınan veriler doğrultusunda ikili logit modelde hesaplanarak belirli bir ölçüğe uyarlanmıştır. Bölge kodları ile adlandırılmış alternatif yerler ölçek yardımıyla sıralanmış, birbirlerine üstünlükleri görülmüştür. Bölge kodlarının asıl çözümü ise ELECTRE yöntemi kullanılarak yapılmış ve beş alternatif seçenek içerisinde diğerlerine göre en güçlü alternatif olan Çoruh Havzası, Fırat-Dicle Havzası veya Yeşilirmak-Kızılırmak Havzası'nın yer aldığı B1 bölgesine kurulumun yapılması önerilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Q. Jian, L. Ying ve L. Grosvenor, "A categorical framework of manufacturing for industry 4.0 and beyond" *Procedia CIRP*, no. 52, pp. 173-178, 2016.
- [2] K. Schwab, Dördüncü Sanayi Devrimi, Çev. Zülfü Dicleli, İstanbul: Optimist Yayıncılık, 2016.
- [3] S. Alçın, "Üretim İçin Yeni Bir İzlek: Sanayi 4.0" *Journal of Life Economics*, no. 8, pp. 19-30, 2016.
- [4] M. Eğilmez, "Endüstri 4.0" 08 05 2017. [Çevrimiçi]. Available: <http://www.mahfiegilmez.com/2017/05/endustri->

40.html. [Erişildi: 20 05 2019].

- [5] S. Andreas, E. Selim ve W. Sihn, “A maturity model for assessing industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprise” *Procedia CIRP*, no. 52, pp. 161-166, 2016.
- [6] G. Banger, *Endüstri 4.0 ve Akıllı İşletme*, Ankara: Dorlion Yayınları, 2016.
- [7] S. Wang, J. Wan, D. Zhang, D. Li ve C. Zhang, “Towards smart factory for industry 4.0: a self organized multi-agent system with big data based feedback and coordination” *Computer Networks*, cilt 101, pp. 158-168, 2016.
- [8] A. Sinan, “Üretim için yeni bir izlek: sanayi 4.0” *Journal of Life Economics*, no. 8, pp. 19-30, 2016.
- [9] S. Sayer ve A. Ülker, “Ürün yaşam döngüsü yönetimi” *Mühendis ve Makina*, cilt 55, no. 657, pp. 65-72, 2014.
- [10] B. Mrugalska ve M. Wyrwicka, “Towards lean production in industry 4.0.” *Procedia Engineering*, no. 182, pp. 466-473, 2017.
- [11] A. Kıymaz ve M. Can, “Bilişim teknolojilerinin perakende mağazacılık sektörüne yansımaları: muhasebe departmanlarında endüstri 4.0 etkisi” *Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, no. CİEP Özel Sayısı, pp. 107-117, 2016.
- [12] EKOIQ, “Endüstri 4.0; Akıllı Yeni Dünya: Dördüncü Sanayi Devrimi” *EKOIQ*, no. EKOIQ Dergisinin Özel Eki, 2014.
- [13] McKinsey, “Big Data: The next frontier for innovation, competition, and productivity” Institute, McKinsey Global, June 2011. [Çevrimiçi]. Available: https://bigdatawg.nist.gov/pdf/MGI_big_data_full_report.pdf. [Erişildi: 20 05 2019].
- [14] TÜSİAD, “Türkiye’nin Küresel Rekabetçiliği İçin Bir Gereklilik Olarak Sanayi 4.0, Gelişmekte Olan Ekonomi Perspektifi” Yayın No: TÜSİAD-T/2016-03/576, İstanbul, 2016.
- [15] BCG, “Industry 4.0, The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries” April 2015. [Çevrimiçi]. Available: <https://www.zvw.de/media/media.72e472fb-1698-4a15-8858-344351c8902f.original.pdf>. [Erişildi: 20 05 2019].
- [16] B. Baran, B. Alagöz, A. Kaygusuz ve M. Akcin, “Geleceğin Akıllı Şebekelerinde Kentsel Katı Atık Tabanlı Dağıtık Elektrik Üretimi” *Akıllı Şebekeler ve Türkiye Elektrik Şebekesinin Geleceği Sempozyumu*, Ankara, 26-27 Nisan 2013.
- [17] E. Özdemir, İ. Koç, K. Erhan ve A. Aktaş, “Akıllı Şebekelerde Enerji Depolama Çözümleri” *Smart Grids Workshop*, İstanbul, 22-23 January 2015.
- [18] M. Jamshidi, “Median Location Problem, Facility Location: Concepts, Models” *Algorithms and Case Studies*, Physica- Verlag Heidelberg, 2009, pp. 177-191.
- [19] S. Hâkimi, “Optimum Distribution of Switching Centers in a Communication Network and Some Related Graph Theoretic Problems” *Operations Research*, cilt 3, no. 13, pp. 462-475, 1964.
- [20] I. Correia, S. Nickel ve F. Saldanha, “Single-Assignment Hub Location Problems with Capacity Choice” *CIO – Working Paper*, pp. 4-27, 2009.
- [21] M. Bastı, “P-Medyan Tesis Yeri Seçim Problemi ve Çözüm Yaklaşımları” *Online Academic Journal of Information Technology*, pp. 47-75, 2012.
- [22] Y. Akyüz ve M. Soba, “ELECTRE Yöntemiyle Tekstil Sektöründe Optimal Kuruluş Yeri Seçimi: Uşak İli Örneği” *Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi*, cilt 9, no. 19, pp. 185-198, 2013.
- [23] F. Yürük ve P. Erdoğan, “Düzce İlinin Hayvansal Atıklardan Üretilebilecek Biyogaz Potansiyeli ve K-Means Kümeleme İle Optimum Tesis Konumunun Belirlenmesi” *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, cilt 4, no. 1, pp. 47-56, 2015.
- [24] H. Arslan ve M. Yıldız, “Maksimum Kapsama Modeli İle Yaralı Toplanma Noktalarının Konuşlandırılması: Düzce İlinde Bir Lokasyon Analizi” *15. Üretim Araştırmaları Sempozyumu*, no. İzmir, p. Ege Üniversitesi İktisadi Ve İdari Bilimler Fakültesi İşletme Bölümü, 2015.
- [25] M. Keleş ve M. Tunca, “Hiyerarşik ELECTRE Yönteminin Teknokent Seçiminde Kullanımı Üzerine Bir Çalışma” *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, cilt 20, no. 1, pp. 199-223, 2015.
- [26] P. Kılıçoğulları, B. Özcan ve B. Ertuğ, “Bir Akaryakıt İstasyonu Seçiminde ELECTRE Yönteminin Kullanılması” *Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği 29. Ulusal Kongresi*, 2009.
- [27] M. Şevkli, “An Application of The Fuzzy ELECTRE Method for Supplier Selection” *International Journal of Production Research*, cilt 48, no. 12, p. 3393–3405, 2010.
- [28] N. Ömürbek ve Y. Mercan, “İmalat Alt Sektörlerinin Finansal Performanslarının TOPSİS ve ELECTRE Yöntemleri İle Değerlendirilmesi” *Çankırı Karatekin Üniversitesi İİBF Dergisi*, cilt 1, no. 237-266, p. 4, 2014.

ENDÜSTRİ 4.0 SÜRECİNDE ELECTRE YÖNTEMİ İLE ENERJİ TESİS YER SEÇİMİNİN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

- [29] İ. Durak ve M. Yıldız, “P- Medyan Tesis Yeri Seçim Problemi: Bir Uygulama” *Uluslararası Alanya İşletme Fakültesi Dergisi*, cilt 7, no. 2, pp. 43-64, 2015.
- [30] K. Şimşek, “Analitik Hiyerarşi Süreci ve ELECTRE Yöntemi İle Tekstil Sektöründe Kuruluş Yeri Seçimi” *Uluslararası Katılımlı 16. Üretim Araştırmaları Sempozyumu*, İstanbul Teknik Üniversitesi – İşletme Fakültesi, 2016.
- [31] H. Arık, N. Karaaslan ve C. Alabaş, “Maksimum Kapsama Modeliyle Tesis Yeri Seçimi: Perakende Sektöründe Bir Uygulama” *SAÜ. Fen Bilimleri Dergisi*, cilt 16, no. 1, pp. 24-30, 2012.
- [32] H. Hacıoğlu, A. Arı, A. Özkan, T. Elbir, G. Tuncel, O. Yay ve E. Gaga, “A New Approach for Site Selection of Air Quality Monitoring Stations: Multi-Criteria Decision Making” *Aerosol and Air Quality Research*, no. 16, pp. 1390-1402, 2016.
- [33] M. Sawadoga ve D. Anciaux, “Reducing the Environmental Impacts Of Intermodal Transportation. A Multi-Criteria Analysis Based on ELECTRE and AHP Methods” *3rd International Conference on Information Systems, Logistics and Supply Chain Creating value through green supply chains*, p. 224, 2010.
- [34] M. Karacasu, “Kent içi Toplu Taşıma Yatırımlarının Değerlendirilmesinde Karar Destek Modeli (ELECTRE Yöntemi) Kullanımı” *7. Ulaştırma Kongresi*, no. 155-164, 2007.
- [35] A. Özkan, “Kentsel Katı Atık Yönetim Sistemlerinin Oluşturulmasında Farklı Karar Verme Tekniklerinin Kullanımı” Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Eskişehir, 2008.
- [36] H. Yürekli, “Taarruz Helikopterleri Seçiminde ELECTRE Yönteminin Kullanılması” Yayınlanmamış Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı Sayısal Yöntemler Bilim Dalı, İstanbul., 2008.
- [37] G. Baysal ve V. Tecim, “Katı Atık Depolama Sahası Uygunluk Analizin Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) Tabanlı Çok Kriterli Karar Yöntemleri ile Uygulaması”, *4. Coğrafi Bilgi Sistemleri Bilişim Günleri*, 13-16 Eylül 2006, İstanbul-Türkiye, ss. 1-8., 2006.
- [38] S. Bülbül ve A. Köse, “Türk Gıda Şirketlerinin Finansal Performansının Çok Amaçlı Karar Verme Yöntemleriyle Değerlendirilmesi”, *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, no. 10. Ekonometri ve İstatistik Sempozyumu Özel Sayısı, pp. 71-97, 2011.
- [39] E. İrfan ve N. Karakaşoğlu, “ELECTRE ve Bulanık AHP Yöntemleri ile Bir İşletme İçin Bilgisayar Seçimi” *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakülte Dergisi*, cilt 2, no. 25, pp. 23-41, 2010.
- [40] Ö. Eryürek ve M. Tanyaş, “Hata Türü ve Etkileri Analizi Yönteminde Maliyet Odaklı Yeni Bir Karar Verme Yaklaşımı” *İstanbul Teknik Üniversitesi Dergisi Mühendislik*, cilt 2, no. 6, pp. 31-40, 2003.
- [41] S. Karabay, E. Köse ve M. Kabak, “Stokastik Çok Kriterli Kabul Edilebilirlik Analizi ile Bir Kamu Kurumu için Tesis Yeri Seçimi” *Ege Akademik Bakış*, cilt 14, no. 3, pp. 361-369, Temmuz 2014.
- [42] N. Özçakar ve M. Bastı, “P-Medyan kuruluş yeri seçim probleminin çözümünde parçacık sürü optimizasyonu algoritması yaklaşımı” *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi*, cilt 41, no. 2, pp. 241-257, 2012.
- [43] C. Kahraman, D. Ruan ve İ. Doğan, “Fuzzy Group Decision-Making for Facility Location Selection” *Information Sciences*, no. 157, pp. 135-153, 2003.
- [44] İ. Ar, B. Baki ve F. Özdemir, “Kuruluş Yeri Seçiminde Bulanık AHS-VIKOR Yaklaşımının Kullanımı: Otel Sektöründe Bir Uygulama” *International Journal of Economic and Administrative Studies*, no. 13, pp. 93-114, Summer 2014.
- [45] A. Uludağ ve M. Deveci, “Kuruluş Yeri Seçim Problemlerinde Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinin Kullanılması ve Bir Uygulama” *AİBÜ Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, cilt 13, no. 1, pp. 257-287, Bahar 2013.
- [46] Ç. Karabıçak, “Çok kriterli karar verme yöntemleri ve karayolu şantiye yeri seçimine ilişkin bir uygulama” *Kastamonu University Journal of Economics & Administrative Sciences Faculty*, no. 13, 2016.
- [47] S. Opricovic ve G. Tzeng, “Compromise Solution by MCDM Methods: A Comparative Analysis of VIKOR and TOPSIS” *European Journal of Operational Research*, cilt 2, no. 156, pp. 445-455, 2004.
- [48] A. Mohaghar, M. Fathi, M. Zarchi ve A. Omidian, “A Combined VIKOR-Fuzzy AHP Approach to Marketing Strategy Selection” *Business Management and Strategy*, cilt 1, no. 3, pp. 15-27, 2012.
- [49] F. Boran, “An Integrated Intuitionistic Fuzzy Multi Criteria Decision Making Method For Facility Location Selection” *Mathematical and Computational Applications*, cilt 2, no. 16, pp. 487-496, 2011.
- [50] A. Göksu, *Bulanık analitik hiyerarşik proses ve üniversite tercih sıralamasında uygulanması*, Isparta: Yayınlanmamış Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, 2008.
- [51] B. Gökbek, “Çok ölçütlü karar verme yaklaşımlarına dayalı tedarikçi seçimi ve bir uygulama,” Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, 2014.

D. Balkan

- [52] T. Eren ve E. Özder, “Çok ölçütlü karar verme yöntemleri ile bir içecek firması için tedarikçi seçimi” *4th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science (ISITES2016)*, Alanya/Antalya, 3-5 Nov 2016.
- [53] S. Uzun ve H. Kazan, “Çok kriterli karar verme yöntemlerinden ahp topsis ve promethee karşılaştırılması: gemi inşada ana makine seçimi uygulaması” *Journal of Transportation and Logistics*, cilt 1, no. 1, 2016.
- [54] S. Sittikruear ve A. Bangviwat, “Energy efficiency improvement in community-scale whisky factories of thailand by various multi-criteria decision making methods” *Energy Procedia*, no. 52, pp. 173-178, 2014.

