



Yenilenebilir Hibrit Enerji Santrali Uygulamasında Tesis Yer Seçimi

Facility Location Selection in Renewable Hybrid Power Plant Implementation

Mert Kara¹, Yiğitcan Ercan¹, Rabia Yumuşak¹, Ahmet Cürebal², Tamer Eren¹

¹Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 71305 Kırıkkale/TÜRKİYE

²Institute of Information Systems, University of Hamburg, GERMANY

Başvuru/Received: 18/10/2021

Kabul / Accepted: 21/12/2021

Çevrimiçi Basım / Published Online: 31/01/2022

Son Versiyon/Final Version: 31/01/2022

Öz

Günümüzde gelişen teknoloji ile birlikte artan enerji talepleri, ülkeleri yeni enerji kaynakları arayışına itmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının sınırlı olması nedeniyle çalışmalar yenilenebilir enerji kaynakları üzerine yoğunlaşarak devam etmektedir. Bu bağlamda, birden çok yenilenebilir enerji kaynağını tek bir tesis içinde bir araya getiren hibrit enerji sistemlerine yönelik girişimler gün geçtikçe artmaktadır. Bu çalışmada, Kırıkkale ilinde güneş ve rüzgâr enerjisinden sürdürülebilir bir şekilde yüksek verimli enerji elde etmek amacıyla kullanılacak hibrit enerji santrali kurulumu için optimal bölgenin bulunması hedeflenmiştir. Bu değerlendirme yapılırken eğim, güneş radyasyon değerleri, rüzgâr değerleri, trafo merkezi uzaklık, arazi maliyetleri ve arazi kullanımı oranları olarak altı kriter ele alınmıştır. Yürütülen çalışmada Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinden Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), Technique for Order Preference by Similarity to An Ideal Solution (TOPSIS) ve COMplex PROportional ASsessment (COPRAS) kullanılmıştır. Altı kriterin göz önüne alındığı problemde Keskin ilçesinin hibrit enerji santrali kurulum için en uygun bölge olduğu sonucuna varılmıştır. Çalışma; Kırıkkale ilinde hibrit enerji konusu üzerine yapılmış ilk uygulama özelliği taşımaktadır. Ek olarak, çözüm yaklaşımı sunulan problem için AHP, TOPSIS ve COPRAS yöntem sonuçlarının karşılaştırılması literatüre katkı sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler

“Hibrit enerji santrali, enerji santrali yer seçimi, AHP, TOPSIS, COPRAS”

Abstract

Today, the increasing energy demands with the developing technology causes countries to search for new energy sources. Due to the limited number of non-renewable energy sources, processes run by focusing on renewable energy sources. In this context, enterprises on the hybrid energy system, which collects multiple renewable energy sources in a single facility, are increasing day by day. In this study, it is aimed to find the optimal region for the installation of a hybrid power plant to be used in order to obtain high efficiency energy from solar and wind energy in a sustainable way in Kırıkkale province. In the study, Analytical Hierarchy Process (AHP), Technique for Order Preference by Similarity to An Ideal Solution (TOPSIS) and COMplex Proportional ASsessment (COPRAS) from Multi-Criteria Decision Making (MCDM) methods were used. In the problem where six criteria were taken into consideration, it was concluded that Keskin is the most suitable region for hybrid power plant installation. It is the first case on hybrid energy in Kırıkkale province. In addition, the comparison of results from AHP, TOPSIS and COPRAS methods for the problem for which a solution approach is presented contributes to the literature.

Key Words

“Hybrid power plant, power plant location selection, AHP, TOPSIS, COPRAS”

1. Giriş

Günümüzde sanayinin gelişmesi ve nüfusun çoğalmasıyla birlikte oluşan enerji ihtiyacının artması, ülkeleri yeni çözüm arayışına itmektedir. Artan enerji talepleri ve yenilenemeyen enerji kaynaklarının (kömür, petrol, doğalgaz vb.) sınırlı kaynaklar olması, son yıllarda ilginin yenilenebilir enerji kaynaklarına çevrilmesine neden olmuştur (Akçay & Atak, 2018).

Son yıllarda ilgi odağı haline gelen başlıca yenilenebilir enerji kaynakları güneş ve rüzgar enerjileridir (Uyan, 2017). Gelişmekte olan teknoloji ile birlikte güneş enerjisi sistemleri günümüzde yaygın olarak kullanılmakta ve 2020 yılı sonu itibari ile dünyada toplam kurulu gücün 702 GW olduğu belirtilmektedir. Türkiye 2021 yılı itibari ile dünya genelinde en fazla güneş enerjisi santrali bulunan 49 ülke arasından 15. sıradadır ve kurulu güneş enerjisi gücü 7.065 MW' a ulaşmıştır (Ülkelere göre güneş enerjisi). İkinci yenilenebilir enerji alternatifi olan rüzgar santralleri dünyada ve Türkiye'de ana enerji kaynaklarından biri olma yolunda hızla mesafe kat etmektedir. 2020 yılı sonu itibari ile dünya rüzgar enerjisi kurulu gücü 710 GW üzerinde olup, 2021 yılı mayıs ayı verilerine göre Türkiye'nin kurulu rüzgar santrali gücü 9.253 MW olarak belirtilmiştir (Ülkelere göre rüzgar enerjisi). Çeşitli enerji kaynaklarından yararlanılması ve tek bir enerji kaynağına bağımlı kalınması enerji arz güvenliğini artırmaktadır. Enerji arz güvenliğinin yanı sıra sürdürülebilir enerji arzı için çeşitli enerji kaynaklarının kullanılması gerekmektedir. Birden fazla enerji kaynağının bir arada kullanılarak enerji üretiminin gerçekleştirildiği sistemler hibrit enerji sistemleri olarak adlandırılır. Ülkemizde çeşitli enerji kaynakları ile büyük ölçekli elektrik üretimi yapılarak şebekelere aktarılmaktadır fakat hibrit enerji sistemleri, yeni gelişen bir sistem olduğu için bu büyük ölçekli elektrik üretiminde payı küçük bir kısmı kapsamaktadır. Hibrit enerji sistemlerinin öncelikli olarak küçük ve makro üretimlerde kullanılması sistemin ihtiyaç duyduğu elektrik miktarını kendisinin karşılamasını ve kesintisiz enerji üretimini sağlamaktadır (Yıldız ve Bingöl, 2019).

Geçmişten günümüze en çok ilgi gören ve geliştirilmekte olan hibrit enerji sistemleri rüzgar ve güneş enerjisinin birlikte kullanıldığı sistemlerdir. Günümüze kadar yapılmış çalışmalar çerçevesinde hibrit enerji sistemlerinin birçok açıdan olumlu özellik barındırdığı kanıtlanmıştır. Rüzgarın sürekli olmaması ve güneşten sadece belirli zaman dilimlerinde yararlanılması bu enerji sistemlerinin birbirlerinden bağımsız bir şekilde kullanılmalarından ziyade hibrit bir sistem enerji arz güvenliği açısından avantaj sağlamaktadır. Bu sistemler enerji üretimi yapamadığı durumlarda depolama yaparak ihtiyaç halinde enerjinin kullanılmasına olanak vermektedir (Türkdoğan vd., 2020). Ayrıca kış aylarında daha yüksek bir rüzgar enerjisi ve yaz aylarında daha yüksek bir güneş enerjisi potansiyelinin olması, bir rüzgar-güneş hibrit enerji santralini sürdürülebilir enerji arzı amacı için önemli bir alternatif olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu tür hibrit enerji üretim sistemleri, genellikle bağımsız güneş, rüzgar veya trijenerasyon sistemlerinden daha iyi bir verimliliğe ve daha önemli ekonomik ve çevresel değerlere sahiptir (Rezai vd., 2018).

Türkiye'de ve dünyada son yıllarda gerçekleşen girişimlerle hayatın her alanında kendinden söz ettiren yenilenebilir enerji kaynaklarının birden fazla formunun bir tesiste toplayan hibrit enerji sistemleri, dört mevsim yüksek verimli faaliyet gösterebilmesi için tesisin kurulduğu bölgenin belirli kriterleri karşılaması gerekmektedir. Bunlar bölgenin belirli seviyenin üstünde güneş ve rüzgar alması, arazi yapısının mera veya marjinal toprak yapısında olması, trafo merkezine yakın olması, arazi eğimin normal şartlara yüzde 2-3, maksimum şartlarda yüzde 5'e kadar kabul edilebilmesi gibi koşulları içermelidir (Supçiller & Bayramoğlu, 2020). Son yıllarda Kırıkkale ilinde de çeşitli yenilenebilir enerji sistemlerinin girişimleri bulunmakla birlikte, enerji formlarından maksimum verimle yararlanabilmek için tüm kriterlerin sağlandığı en optimal bölge seçilmelidir. Bu durumda ÇKKV ile optimal bölge seçim problemi ortaya çıkmaktadır. Sistemin optimal bölgeye kurulumu sonucunda güneş ve rüzgar enerjisinden maksimum yararlanılması, depolanma ve dağıtım safhasında enerji kaybının minimum da tutulması hedeflenmektedir.

Bu çalışmada rüzgar ve güneş enerjisi sistemlerinden oluşan hibrit enerji santralinin maksimum verimle enerji üretebilmesi için optimal bölge yer seçimi problemi ele alınmıştır. Optimal bölgenin bulunmasında birçok kriterin değerlendirilmesi gerektiği ve bu kriterlerin birbiri ile çelişen değerlere sahip olması nedeniyle bu çalışmada probleme ÇKKV yöntemleri ile üç model önerisinde bulunulmuştur. Önerilen modellerin birincisinde karar vericilerden alınan öznel değerlendirmeyi nesnel değerlendirmeye aktarabilme ve çözüm kolaylığı sağlamasından dolayı AHP yöntemi seçilmiştir (Wu vd., 2019). AHP yöntemi ile kriterler ve alternatifler için ikili karşılaştırma yapılarak hem kriter ağırlıkları hem de alternatiflerin ağırlıkları belirlenmiştir. İkinci modelde yüksek hesaplama verimliliği ve hem en iyi hem de en kötü alternatifleri basit bir matematiksel biçimde ele alması sebebiyle TOPSIS yöntemi tercih edilmiştir (Özcan vd. 2020). Üçüncü modelde ise kriterleri faydalı ve faydasız kriter olarak değerlendirilip zıt yönlü kriterler üzerinde işlem yapma gerekliliğini ortadan kaldırması avantajından dolayı COPRAS yöntemi kullanılmıştır (Özcan vd., 2021). Sonuç olarak birinci modelde AHP yöntemi ile hem kriterler hem de alternatifler değerlendirilmiştir. İkinci modelde AHP yöntemi ile elde edilen kriter ağırlıkları TOPSIS yönteminde kullanılmış ve alternatifler değerlendirilmiştir. Üçüncü modelde de AHP yöntemi ile elde edilen kriter ağırlıkları COPRAS yönteminde kullanılarak Kırıkkale ilindeki 9 bölge değerlendirilmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde optimal bölge seçim problemini anlatılmıştır. Üçüncü bölümde ise daha önce literatürde yapılmış benzer çalışmalar hakkında bilgi verilmiştir. Dördüncü bölümde problem çözümünde kullanılan ÇKKV yöntemi anlatılmıştır. Beşinci bölümde ise problemin çözümünde ele alınan kriterler ve alternatiflerin ÇKKV yöntemleri ile çözümlenip sonuçlandırılması ve yorumlanması yapılmıştır. Altıncı bölümde çalışma değerlendirilmiş ve gelecekte yapılabilecek çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.

2. Optimal Bölge Seçim Problemi

Kuruluş yeri, işletmelerin ekonomik faaliyetlerini sürdürdüğü coğrafi konum olarak tanımlanabilmektedir (Akyüz & Soba, 2013). Bir işletmenin kuruluş yeri belirlenirken hammaddeye, pazara ve ulaşım imkanlarına yakın olması ve altyapının gelişmiş olması gibi durumlar göz önünde bulundurulmalıdır. Bu gibi kriterler özelinde en uygun bölgeye karar verilmesine optimal bölge seçimi adı verilmektedir.

Optimal bölge seçimi başlığı altında hibrit enerji santral yer seçim problemi ise iki aşamaya dayanmaktadır. Problemin karmaşıklığı, yatırım maliyetinin büyük ölçekte olması ve hibrit santral gibi kurulduğu yere göre üretim kapasitesinin değişkenlik gösterdiği işletmelerde kararların geniş bir perspektifte değerlendirilmesi büyük önem arz etmektedir.

Optimum yer seçim probleminin kompleks, çok kriterli ve çok amaçlı yapıya sahip olması, araştırmacıları ÇKKV yöntemlerini kullanmaya itmiştir (Sánchez-Lozano vd., 2013). Optimum yer seçiminde sektör farkı olmaksızın ÇKKV tekniklerinden AHP, ANP, ELECTRE, TOPSIS, PROMETHEE vb. kullanılmaktadır (Aydın vd., 2013). İşletmenin kurulurken optimum yer seçimi aşamasında yanlış bir karar verilmesi durumunda hammadde tedarikinde, pazarlamada, taşımada ve altyapıda sorunlar gerçekleşir. Meydana gelen bu sorunlar neticesinde maliyetlerde artış yaşanır ve yaşanan maliyet artışları sonucunda ürünün birim fiyatında da doğru orantılı olarak bir artış gerçekleşir. Mevcut çalışmada hibrit enerji santrali yeri seçiminde alternatifler arasından kriterlere en uygun olanı seçilerek, maliyetlerin minimum, verimliliğin ise maksimum olması amaçlanmaktadır.

Optimal bölge seçimi başlığı altında hibrit enerji santralinin yer seçimi problemi ise iki aşamaya dayanmaktadır. Makro alan seçimi ve mikro alan seçimi olarak iki aşamada çözülen problem, bu yaklaşım ile sadeleştirilmiştir. Makro alan seçimi, geniş alanların doğal kaynakları, şebeke bağlantısı, trafik, coğrafi, çevre, sosyal ve ekonomik koşulları göz önünde bulundurularak en değerli küçük bölgenin seçilmesini ifade eder. Mikro alan seçimi ise makro alan seçimi sonuçlarına dayalı olarak teknoloji ve ekonomi kriterlerinin ele alındığı ve tesisin hangi arazi üzerine kurulması gerektiği sorusuna cevap arandığı bir problemdir (Jun vd., 2014). Bu çalışmada ise Kırıkkale iline kurulacak hibrit enerji santralinin makro alan seçimi ele alınmıştır. Dokuz ilçe alternatif makro alan olarak belirlenmiştir. Bununla birlikte altı kriter açısından ÇKKV yöntemleri ile değerlendirilmiştir.

3. Literatür Araştırması

Literatürde makro ve mikro ölçekte tesis yeri seçimi problemi sıklıkla ele alınmaktadır. Hangi yatırımın yapılacağına karar verildikten sonraki ilk aşama nereye yapılacağı sorusuna cevap aramak olduğu için optimal bölge seçim problemi, depo yeri seçiminden (Oral vd., 2021) tesis yeri seçimine (Ulutaş ve Karakuş, 2021), güneş santrali yer seçiminden (Schlecht & Meyer, 2021) hibrit santral yer seçimine (Barzehkar vd., 2021) kadar bir çok sektörde ele alınmıştır. Çözüm yöntemleri açısından literatür ele alındığında Monte Carlo simülasyonu (Kannan vd., 2021), bulanık mantık (Aydın vd., 2013; Rezai vd., 2018; Boyacı vd., 2021), doğrusal programlama (İlbahar vd., 2021) ve ÇKKV yöntemlerinin kullanıldığı görülmektedir. Optimal yer seçimi için literatürde kullanılan yöntemler analiz edildiğinde çoğunlukla ÇKKV yöntemlerinin tercih edildiği tespit edilmiştir. AHP (Carrión vd., 2008; Sánchez-Lozano vd., 2013; Uyan, 2017; Abdel-Basset vd., 2021; Settou vd., 2021), ANP (Lee vd., 2017), TOPSIS (Sánchez-Lozano vd., 2013; Akçay & Atak, 2018; Rezai vd., 2018; Wang vd., 2018), ELECTRE (Jun vd., 2014; Sánchez-Lozano vd., 2014), PROMETHEE (Abdel-Basset vd., 2021; Kheybari vd., 2021) ve VIKOR (Lee vd., 2017) yönteminin kullanıldığı çalışmalar dikkat çekmektedir. ÇKKV yöntemleri ayrı ayrı kullanımın dışında kombinasyonlarının kullanıldığı çalışmalar da mevcuttur. Literatürde yer alan çalışmalar sektör bazlı değerlendirildiğinde bu çalışmanın uygulama alanı olan enerji sektörüne ait birçok çalışmanın olduğu gözlemlenmiştir. Araştırmacılar, nükleer santrali (Wang vd., 2018), hidroelektrik santrali (Chien vd., 2020), biokütle santrali (Wang vd., 2019; İlbahar vd., 2021; Memari vd., 2021), rüzgar santrali (Ari ve Gencer, 2020; Supçiller vd., 2020; Eroğlu, 2021; Abdel-Basset vd., 2021) ve güneş santrali (Sánchez-Lozano vd., 2013; Sánchez-Lozano vd., 2014; Uyan, 2017; Lee vd., 2017; Akçay & Atak, 2018; Settou vd., 2021) gibi tek kaynaktan üretim yapan tesislerin yer seçimi problemlerine çözüm önerileri sunmuşlardır. Bu santraller arasında en çok ele alınan problem rüzgar santralinin yer seçimi olup Rediske vd. (2021) bu çalışmaları sistematik bir literatür taraması ile derlemiştir. Tek santral tipini ele alan çalışmaların yanı sıra bu çalışmada incelenen hibrit santraller ile ilgili çalışmalar da mevcuttur. Yenilenebilir hibrit santraller arasında literatürde en çok güneş ve rüzgar santralinin entegre edildiği sistemler ele alınmıştır. İlk olarak Janke (2010) Colorado'daki hangi arazi sınıflarının yüksek rüzgar ve güneş potansiyeli ile ilişkili olduğunu belirleyip rüzgar ve güneş hibrit santrali için uygun alanları CBS ile incelemiştir. Ardından Aydın vd. (2013) güneş ve rüzgar hibrit santral için altı ana adımda bulanık ÇKKV yöntemleri ile yer seçimi problemini ele almışlardır. Jun vd. (2014) rüzgar ve güneş hibrit santrali kurulumu için makro alan seçimi problemlerine ELECTRE II yöntemini kullanarak çözüm önermişlerdir. Çalışmada 7 bölge ele alınmış olup 13 gösterge kullanılmıştır. Ulutaş (2015) makalesinde Ordu iline hibrit enerji santrali kurulumu için analiz çalışmaları yapmıştır. Engin vd. (2018) çalışmasında hibrit enerji sistemlerinin neden kullanılması gerektiğine ve kullanım için uygun kriterlerine değinmiştir. Türkiye için ÇKKV yöntemleri ile yenilenebilir enerji alternatiflerinin analizi içeren bir çalışmadır. Rezaei vd. (2018) Bulanık TOPSIS ve Weibull dağılımı ile İran'ın Fars kentinde bir rüzgar-güneş hibrit santralinin inşası için 7 bölge arasından en iyi yeri belirlemeyi amaçlamışlardır. Son olarak Barzehkar vd., (2021) İran'ın İsfahan kentinde rüzgar ve güneş enerjisi hibrit santrale yer seçimi için karar destek araçları önermişlerdir. Önerilen modelde ÇKKV yöntemlerinden AHP kullanılmıştır.

Bu literatür taraması sonucunda çalışmaların uygulama alanı ve yöntemlerine göre özeti Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Hibrit tesis yeri seçimi literatürü

Yazarlar	Uygulama alanı	Kullanılan Yöntemler
Özkan (2007)	Personel seçiminde karar verme yöntemlerinin kullanılması	AHP, ELECTRE ve TOPSIS
Carrión vd. (2008)	fotovoltaik enerji santrali yer seçimi	AHP, CBS
Ulucan vd. (2009)	Enerji projelerinin değerlendirilmesinde ÇKKV yönteminin belirlenmesi	ELECTRE, PROMETHEE
Janke (2010)	Güneş-rüzgar santrali için yer seçimi	CBS
Çiçek vd. (2011)	Kırıkkale'nin il çevre durumu	Sistem analizi
Aydın vd. (2013)	Güneş-rüzgar santrali için yer seçimi	Bulanık ÇKKV yöntemleri
Sánchez-Lozano vd. (2013)	Fotovoltaik enerji santrali yer seçimi	AHP, TOPSIS ve CBS
Yun-na vd. (2013)	Güneş-rüzgar santrali için yer seçimi	Matter-Element Extension
Jun vd. (2014)	Güneş-rüzgar santrali için yer seçimi	ELECTRE-II
Sánchez-Lozano vd. (2014)	Güneş santrali için yer seçimi	CBS, ELECTRE-III
Ulutaş (2015)	Kırsal tesislerde hibrit sistem tasarımı ve analizi	Sistem analizi
Uyan (2017)	Güneş enerjisi santrali yer seçimi	AHP, CBS
Lee vd. (2017)	Fotovoltaik enerji santrali yer seçimi	Bulanık ANP ve VIKOR
Akçay & Atak (2018)	Güneş enerjisi optimal yer seçimi	AHP, TOPSIS
Rezaei vd. (2018)	Güneş-rüzgar santrali için yer seçimi	Bulanık TOPSIS ve Weibull dağılımı
Wang vd. (2018)	Enerji üretim tesisi yer seçimi	Bulanık ANP ve TOPSIS
Wu vd. (2019)	Enerji depolama alanı yer seçimi	Bulanık TODIM
Supçiller vd. (2020)	Rüzgar santrali yer seçimi	A-GİA, EDAS
Yapıcı vd. (2020)	Medikal depo yeri seçimi	AHP ve ANP
Oral vd. (2021a)	Tehlikeli madde deposu yer seçimi	AHP ve ANP
Oral vd. (2021b)	Tesis yer seçimi	AHP, ANP ve PROMETHEE

Yapılan literatür taraması sonucunda araştırmacıların tesis yeri seçimi probleminin çok kriterli yapısını dikkate alarak ÇKKV yöntemlerine yöneldiği görülmüştür. Tablo 1'de görüldüğü gibi ÇKKV tipi problemlerde ve özellikle yer seçimi problemlerinde en çok AHP yöntemi kullanıldığı anlaşılmaktadır. Hibrit enerji santrali için optimal yer seçim probleminin çözümünde araştırmacılar tarafından çeşitli alternatifler ve kriterler ele alınmıştır. Yenilebilir enerji sistemleri yer seçim problemlerinde literatürde çeşitli kriterler kullanılsa da çoğunlukla güneş enerjisi potansiyeli en önemli kriter olduğu anlaşılmıştır. Tesis yeri seçiminde çalışmaların güneş enerjisi tesisi ve rüzgar tesisi gibi tek bir yenilenebilir enerji türü üzerinde araştırmalar yapılmıştır, hibrit enerji tesisi olarak ele alınan çalışmaların diğer sistemlere nazaran daha az olduğu tespit edilmiştir. Çalışmanın literatüre katkıları aşağıda verilmiştir.

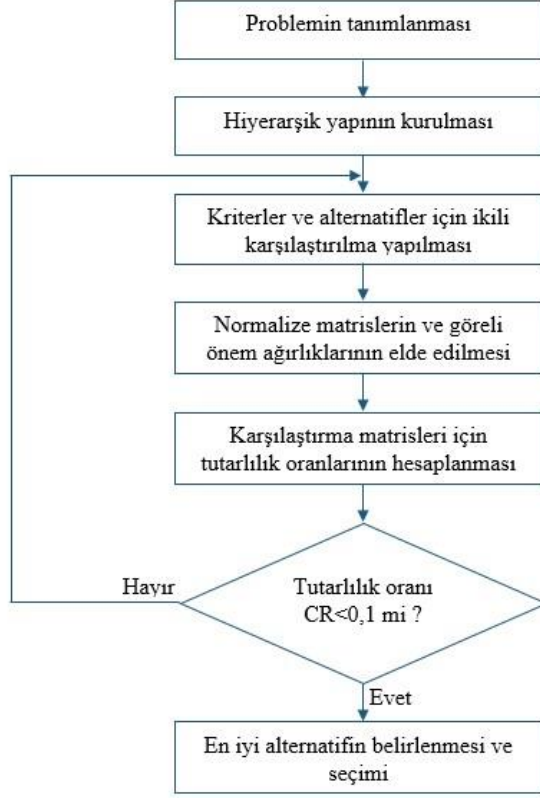
- Literatürde ilk kez hibrit enerji santrali yeri seçimi problemine AHP, TOPSIS ve COPRAS yöntemleri ile üç farklı model önerilmiştir.
- Önerilen modellere duyarlılık analizi yapılarak 30 farklı çözüm ile modellerin geçerliliği sağlanmıştır.
- Literatürde ilk defa hibrit enerji santrali yer seçimi problemi Kırıkkale ilinde değerlendirilmiş olup ele alınan alternatifler yenilik taşımaktadır.
- Ele alınan kriterler literatürde yer almakta olup bu çalışmada ele alınan alternatifler için ilk defa kullanılmıştır.
- Önerilen modellerin sonuçları istatistiksel analiz yöntemleri ile kıyaslanmıştır.

4. Kullanılan Yöntemler

Hibrit enerji tesis yer seçimi çok kriterli bir karar verme problemidir. Çalışma kapsamında güneş santrali yer seçimi ve rüzgar gülleri yer seçim çalışmaları incelenmiş ve bu problemin çözümü için AHP, TOPSIS ve COPRAS yöntemleri kullanılmasına karar verilmiştir.

4.1. AHP Yöntemi

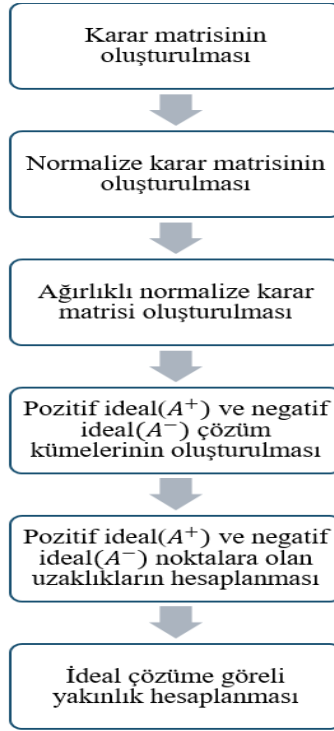
AHP ÇKKV problemlerinde kullanılan bir yöntemdir. AHP tekniğinde en üst düzeyde bir amaç ve bu amacın altında sırasıyla kriterler, alt-kriterler ve alternatiflerden oluşan hiyerarşik bir model kullanılmaktadır. Bu yöntem sayesinde kriterlerin amaca katkısı bulunur, kriter ağırlıkları oluşturulur, önem ağırlıkları elde edilir, karşılaştırma matrislerinin tutarlılık oranları hesaplanır, tutarlılık oranı 0,1'den küçük olma testine tabii tutulur ve alternatiflerin arasından optimum alternatif belirlenir (Özcan vd., 2019). Şekil 1'de AHP yönteminin adımları özet bir şekilde verilmiş olup yöntem adımlarını ayrıntılı bir şekilde anlatan çalışmalar literatürde mevcuttur (Özcan vd., 2019)



Şekil 1: AHP yöntemi akış şeması (Turgut vd., 2020)

4.2. TOPSIS Yöntemi

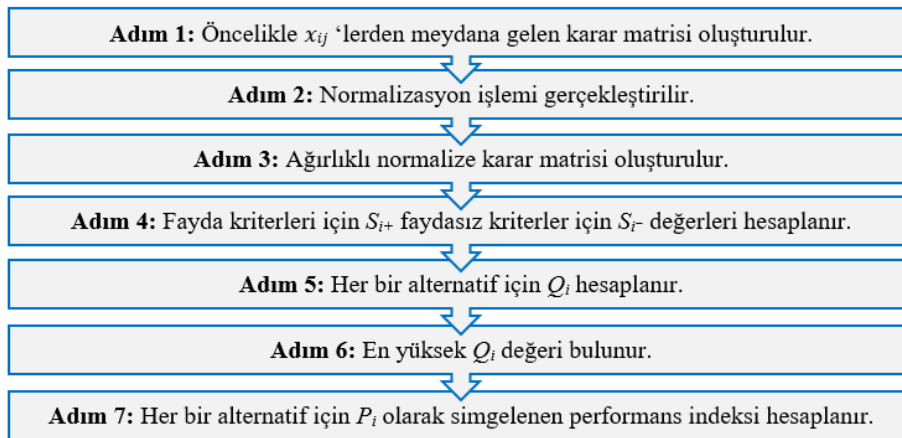
Çok kriterli karar verme yöntemlerinden birisi olan TOPSIS, birçok alanda kullanılmaktadır. Bu yöntem temel olarak negatif ideal çözüm ve pozitif ideal çözüm oluşturmaktadır. Bu yöntem ideal çözüme göre alternatiflerin sıralanması esasına dayanmaktadır. İdeal çözüme görece yakın olan alternatiften başlamak üzere bir sıralama yapıp ardından sırası ile diğer alternatiflerin görece yakınlığı tespit edilmektedir. TOPSIS yönteminin aşamalarından bahsedilirse ilk olarak alternatiflerin, kriterlere göre değerleri yazılmasıyla oluşturulan karar matrisinin ardından her alternatifin, her kriter sütununda hücrel olarak hesaplanması ile normalize matris oluşturulur. Normalize matris tablosu, AHP kriter ağırlıkları ile çarpılarak ağırlıklı normalize karar matrisi oluşturulur. Ağırlıklı karar matrisi tablosundan pozitif ideal ve negatif ideal çözüm kümeleri oluşturulur. Oluşturulan çözüm kümelerine göre pozitif ideal ve negatif ideal noktalara olan uzaklıklar hesaplanır. Hesaplanan uzaklıklar ardından ideal çözüme görece yakınlık hesaplanır (Soba & Eren, 2011). TOPSIS yönteminin adımları özetlenerek Şekil 2’de verilmiştir. Yöntem adımlarını ayrıntılı bir şekilde anlatan çalışmalar literatürde mevcuttur (Özcan vd., 2019).



Şekil 2: TOPSIS yöntemi akış şeması (Özcan vd., 2019)

4.3. COPRAS Yöntemi

ÇKKV yöntemlerinden biri olan COPRAS 1994 yılında geliştirilmiştir (Zavadskas vd., 1994). COPRAS çok kriterli değerlendirmede maksimum ve minimum kriter değerleri için kullanılabilir. COPRAS yöntemi, çok sayıda alternatif ve karmaşık kriterler içeren problemlere kolaylıkla uygulanabilmektedir (Özcan vd., 2021). COPRAS yönteminin uygulama adımları Şekil 3'te verilmiştir. İlk olarak karar matrisi oluşturulur. İkinci adımda normalizasyon işlemi gerçekleştirilir. Ardından kriter ağırlıkları normalize karar matrisi ile çarpılarak ağırlıklı normalize karar matrisi oluşturulur. Dördüncü adımda faydasız kriterler için S_i^- , faydalı kriterler için S_i^+ değerleri hesaplanır. Ardından her bir alternatif için Q_i değerleri hesaplanır. Altıncı adımda maksimum Q_i değeri bulunur. Son adımda ise alternatifler için P_i değerleri hesaplanır. COPRAS yönteminin uygulama adımlarını ayrıntılı bir şekilde anlatan çalışmalar literatürde mevcuttur (Özcan vd., 2021).

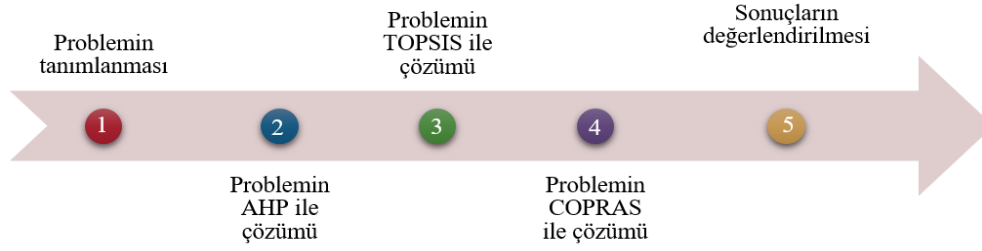


Şekil 3: COPRAS yöntemi akış şeması (Özcan vd., 2021)

5. Uygulama

Bu çalışmada yenilenebilir enerji sistemlerinden birkaçının kombine edilerek kullanıldığı hibrit enerji sistemleri için Kırıkkale ilinde optimal yer seçim problemine bir çözüm yaklaşımı sunulmuştur. Çözüm aşamasında, öncelikle AHP yöntemi ile kriter ağırlıkları

tespit edilmiş daha sonra elde edilen bu kriter ağırlıkları TOPSIS ve COPRAS yöntemlerinde kullanılarak nihai sonuca ulaşılmıştır. Üç yöntemden de elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak hibrit enerji sistemi için optimal yer seçimi yapılmıştır. Uygulamanın süreci Şekil 4’te verilmiştir.



Şekil 4: Uygulama akış şeması

5.1. Problemin Tanımlanması

Günümüzde gelişen teknoloji ile artan enerji talebi doğrultusunda ülkeler yeni enerji kaynakları arayışına girmişlerdir. Bu bağlamda birden çok yenilenebilir enerji kaynağını tek bir tesis içinde toplayan hibrit enerji sistemi üzerinde girişimler gün geçtikçe artmaktadır. Kırıkkale ilinde güneş ve rüzgar enerjisinden yüksek verimlilik sağlamak adına yapılan bu çalışmada bilimsel yöntemler kullanılarak hibrit enerji santrali kurulumu için yer seçimi problemi ele alınmıştır.

5.2. Alternatifler

Hibrit enerji santrali kurmak için alternatifler belirlenirken, hibrit enerji santrali kurulumu için potansiyeli olan fakat daha önce bu konuda değerlendirilmeyen Kırıkkale ilinin ilçeleri ele alınmıştır. Alternatifler: Balışeyh, Bahşili, Çelebi, Delice, Keskin, Karakeçili, Kırıkkale Merkez, Yahşihan, Sulakyurt ilçeleri olarak seçilmiştir.

5.3. Kriterler

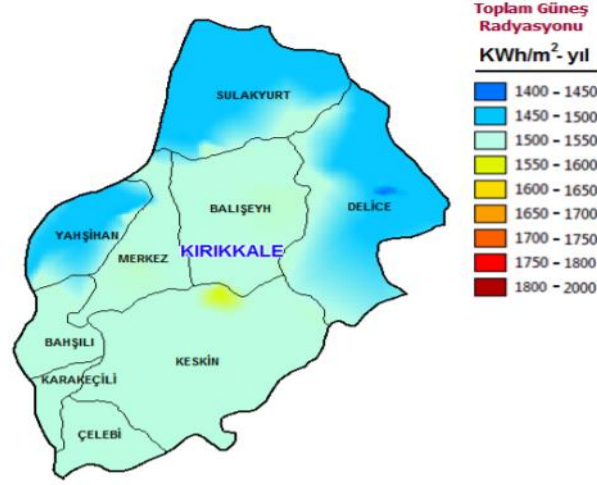
Kriterler belirlenirken daha önce yapılmış çalışmalar ve literatür araştırmalarından yararlanılmıştır. Bu araştırmalara göre güneş ve rüzgar enerjisi santralının kurulumu için ideal bölge seçiminde dikkate alınması gereken kriterler ele alınmıştır. Yapılan literatür araştırmasında literatürdeki Uyan (2017)'in çalışmasındaki kriterler incelendiğinde bu çalışma için güneş enerjisi potansiyeli, trafo merkezine uzaklık, eğim ve arazi kullanımı kriterlerinin kullanılması kararlaştırılmıştır. Hibrit enerji tesisinin bir diğer önemli kriteri olan rüzgar hızının belirlenmesinde ise literatürdeki Pınar vd. (2020) çalışması incelenmiş ve sonuç olarak bu çalışma için rüzgar hızı kriterinin kullanılması kararlaştırılmıştır. Arazi maliyeti kriteri ise santral yer seçimi için önemli olup Azadeh vd. (2011) çalışmasında ele alınmıştır. Buna göre amacımızı etkileyen güneş enerjisi potansiyeli, rüzgar hızı, trafo merkezine uzaklık, eğim, arazi maliyeti ve arazi kullanımı olarak 6 kriter belirlenmiştir. Kriterlerin kullanıldığı çalışmalar Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2: Ele alınan kriterlerin kullanıldığı çalışmalar

Kriterler	Kriteri kullanan çalışmalar
Trafo merkezine uzaklık	Carrión vd. (2008); Azadeh vd. (2011); Aydın vd. (2013); Sánchez-Lozano vd. (2014); Uyan (2017)
Güneş enerjisi potansiyeli	Clifton ve Boruff (2010); Aydın vd. (2013); Sánchez-Lozano vd. (2014); Uyan (2017)
Eğim	Carrión vd. (2008); Dawson ve Schlyter (2012); Aydın vd. (2013); Sánchez-Lozano vd. (2014)
Arazi maliyeti	Azadeh vd. (2011)
Arazi kullanımı	Clifton ve Boruff (2010); Uyan (2017)
Rüzgar hızı	Jun vd. (2014); Pınar vd. (2020)

5.3.1. Güneş enerjisi potansiyeli (K1)

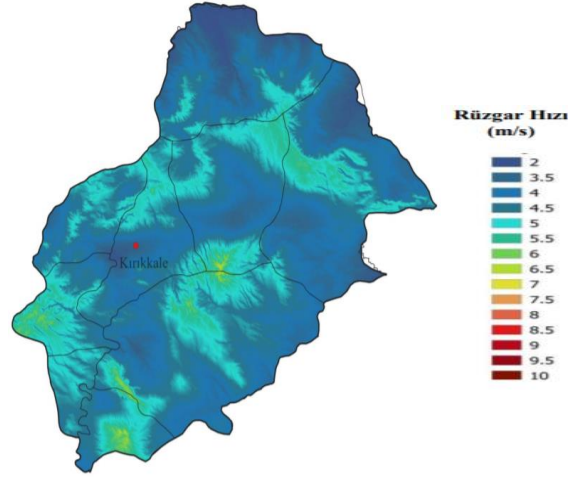
Kırıkkale ili için GEPA ve Ahiler Ajansının çalışmasının (Güneş enerjisi raporu) içinde bulunan toplam güneş enerjisi radyasyonu değerleri kullanılmıştır. Söz konusu değerler Şekil 5’te gösterilmiş ve bu değerler güneş enerjisi potansiyeli yüksek olan ilçelerin seçimi için uygun olup, santralin kurulmasında önemli rol oynayan bir husustur. Bahsi geçen Şekil 5’teki haritada toplam güneş enerjisi radyasyonu değerleri, yandaki verilen toplam güneş radyasyonu skalasından okunarak tespit edilmektedir. Örnek olarak Yahşihan ilçesinde ortalama 1450-1500 güneş radyasyonu değeri okunmaktadır.



Şekil 5: Kırıkkale Güneş radyasyonu haritası

5.3.2. Rüzgar hızı (K2)

Kırıkkale rüzgar enerjisi potansiyel haritası (Rüzgar enerjisi haritası-Kırıkkale) dikkate alınarak Kırıkkale ilçelerinin rüzgar hızları incelenmiştir. Söz konusu inceleme verileri Şekil 6'da gösterilmiştir. Rüzgar hızı üretilen elektrik enerjisi ile doğru orantılı olduğu için önemlidir. Santralin kurulmasında enerjinin sağlanacağı başka bir kaynak rüzgar olduğu için rüzgar hızı önemli bir kriterdir. Rüzgar hızı ilçelerin farklı bölgelerinde farklı birer değer olarak okunmakla birlikte, ilçe için bir rüzgar değeri belirlenirken yoğunluklu olarak var olan rüzgar hızı ele alınmıştır. Örnek olarak Sulakyurt ilçesinin büyük bir bölümünde rüzgar 4 m/s olduğu için Sulakyurt'un rüzgar hızı değeri 4 m/s'dir.



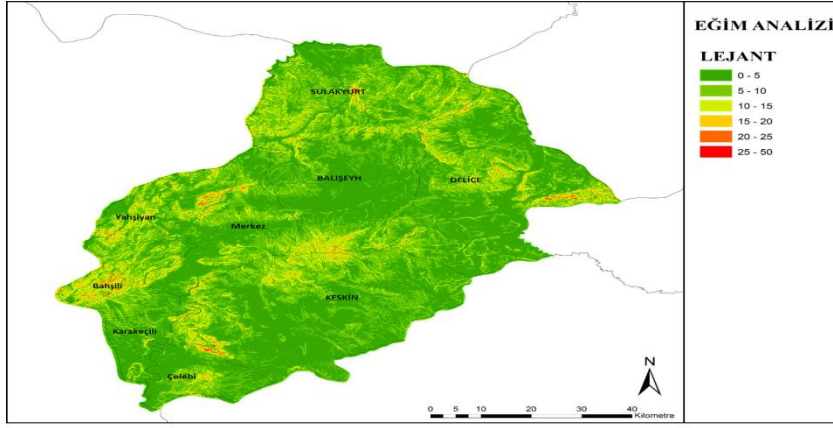
Şekil 6: Kırıkkale rüzgar hızı haritası

5.3.3. Trafo merkezine uzaklık (K3)

Trafo merkezine uzaklık elde edilen elektrik enerjisinin merkezlere ulaşmasına etki eden bir kriterdir. Trafo merkezinden uzaklaştıkça elde edilen elektriğin merkezlere ulaştırılmaya kadar bir kısmı ısı enerjisine dönüşerek kayıp yaşanır ve bu istenmeyen bir durumdur. Kırıkkale'nin trafo adresi, Kırıkkale il çevre durum raporundan merkeze olan uzaklık verileri ile kıyaslanarak sonuca varılmıştır (Kırıkkale ili 2018 yılı çevre durum raporu). Uyan (2017) çalışmasında bahsedilen +10 km uzaklık dağıtımında yüksek enerji kaybına neden olduğu için +10 km uzaklıktaki tüm ilçelere eşit ağırlık verilmiştir.

5.3.4. Eğim (K4)

Eğim, rüzgar ve güneş enerjisinin bulunduğu hibrit enerji santralleri için önemli bir kriterdir. Uygun tesis alanları için eğimin %3'ten küçük olması daha uygundur (Lan, 2008). İlçelerin eğimlerinin farklı olması ve amaca etki etmesi nedeniyle kriter olarak değerlendirilmiştir. Dem haritası eğim bilgileri (Viewfinder Panoramas) ArcGIS programı ile Şekil 7'deki eğim haritasına dönüştürülmüştür. Eğim verileri üzerine hiçbir çalışma bulunmadığı için harita üzerinden puanlama yapılmıştır. Puanlama yöntemi, yüz ölçümü / renk tonlarına göre en eğimsiz ilçeye 100 puan verilip, geriye kalan ilçelere ise 100 puan verilen ile kıyaslanması sonucunda puan verilmesi mantığına dayanmaktadır. Örneğin Balıışeyh ilçesi yüz ölçümü / koyu yeşil oranına bakılınca en az eğim olan ilçe olduğu için 100 puan verilip, Başılı'nın yüz ölçümü / koyu yeşil oranı Balıışeyh ile kıyaslanınca 20 puan alır.



Şekil 7: Kırıkkale eğim haritası

5.3.5. Arazi maliyeti (K5)

Santralin kurulacağı alanın arazi maliyeti, yer seçimine etki etmektedir ve uygun fiyatlı olması istenmektedir. İlçelerin arazi maliyetleri farklı olduğu ve amaca etki ettiği için kriter olarak alınmıştır (Karadağ Albayrak, 2020). Arazi maliyetleri Kırıkkale ili il çevre durum raporunda bulunan verilerden alınarak kullanılmıştır (Çiçek vd., 2011).

5.3.6. Arazi kullanımı (K6)

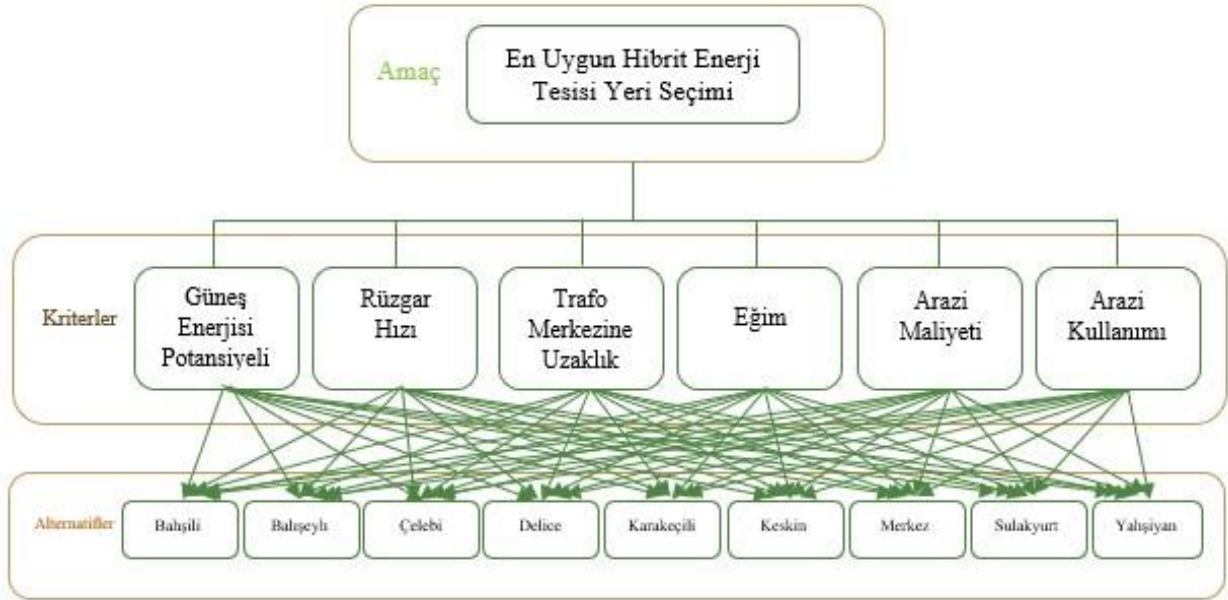
Bu tip santrallerin kurulacağı alanlar tarım arazilerini, canlı ve yerleşik hayatları olumsuz etkileyebilmektedir. Bu nedenle santral kurulumu için kıraç araziler daha uygundur. İlçelerin kıraç arazi alanları farklı olduğu için önemli bir kriter olarak alınmıştır. Arazi kullanımı verileri Kırıkkale il çevre durum raporunda bulunan verilerden alınarak kullanılmıştır (Çiçek vd., 2011).

5.4. Problemin Çözümü

Karar verilmek istenen problemle ilgili veriler toplanmıştır. Optimal çözüme ulaşabilmek için toplanan veriler AHP, TOPSIS ve COPRAS yöntemlerinde kullanılmaya uygun hale getirilmiştir ve işleme konulmuştur.

5.4.1. Problemin AHP yöntemi ile çözümü

AHP yöntemi adımları, yapılan araştırmalar ve elde edilen veriler doğrultusunda en uygun optimal çözümün bulunması amaçlanmıştır. İlk olarak hiyerarşik yapı oluşturulmuştur. AHP yönteminde hibrit enerji tesisi yeri seçiminde oluşturulan kriterler ve alternatiflerin hiyerarşik yapısı Şekil 8'de gösterilmektedir.



Şekil 8: AHP karar hiyerarşisi

Hiyerarşik yapı oluşturulduktan sonra Saaty'nin önem skalası baz alınarak Tablo 3'teki gibi kriterler ve kriterler temelinde alternatifler birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

Tablo 3: Kriter arası ikili karşılaştırma matrisi

Kriterler	K1	K2	K3	K4	K5	K6
K1	1	5	3	5	2	3
K2	0,2	1	2	3	0,33	2
K3	0,33	0,5	1	2	0,33	1
K4	0,2	0,33	0,5	1	0,5	1
K5	0,5	3	3	2	1	1
K6	0,33	0,5	1	1	1	1

AHP yöntemi ile kriterler arasında ikili karşılaştırma yapılarak sonuçlar Tablo 4'te verilmiştir. Her kriter için oluşturulan ikili karşılaştırma matrisleri Ek 1'de verilmiştir.

Tablo 4: Normalize Karar Matrisi

	K1	K2	K3	K4	K5	K6
K1	0,39	0,48	0,28	0,36	0,39	0,33
K2	0,08	0,1	0,19	0,21	0,06	0,22
K3	0,13	0,05	0,09	0,14	0,06	0,11
K4	0,08	0,03	0,05	0,07	0,1	0,11
K5	0,19	0,29	0,29	0,14	0,19	0,11
K6	0,13	0,05	0,09	0,07	0,19	0,11

Tablo 4'teki normalize matrisin sonucunda kriter ağırlıkları sırası ile 0.373, 0.144, 0.099, 0.073, 0.204, 0.108 bulunmuş olup toplamları 1 ve tutarlılık oranı 0,07 olarak hesaplanmıştır. Bulunan kriter ağırlıkları ile yapılan AHP uygulaması sonucunu göre Tablo 5'te görüldüğü gibi santral kuruluşu için en uygun yer seçimi Keskin ilçesi seçilmiştir.

Tablo 5: AHP sonuçları

Alternatifler	Ağırlıklar	Sıralama
Keskin	0,207	1
Karakeçili	0,132	2
Bahşili	0,118	3
Bahşeyh	0,110	4
Kırıkkale Merkez	0,107	5
Çelebi	0,106	6
Yahşihan	0,096	7
Sulakyurt	0,065	8
Delice	0,054	9

5.4.2. Problemin TOPSIS yöntemi ile çözümü

AHP yöntemi ile elde edilen kriter ağırlıkları, TOPSIS yöntemi aşamasında alternatiflerin sıralanmasında kullanılmıştır. Öncelikli olarak problem tanımlandıktan sonra çözümün ilk aşamasında satırlar karar noktalarını, sütunlar ise faktörleri göstermek üzere Tablo 6'da gösterildiği gibi m x p boyutlu karar matrisi oluşturulmuştur.

Tablo 6: TOPSIS karar matrisi

		Kriterler						
		Kod	K1	K2	K3	K4	K5	K6
Alternatifler	Bahşili	A1	1480	5,4	4	20	0,15	4668
	Balıseyh	A2	1469	6	23	100	0,12	4248
	Çelebi	A3	1490	5,5	52	40	0,1	2868
	Delice	A4	1454	5,5	55	60	0,12	2000
	Karakeçili	A5	1483	4,5	34	40	0,1	5200
	Keskin	A6	1482	7	26	90	0,1	24527
	Kırıkkale Merkez	A7	1465	5,3	1	70	0,15	4664
	Sulakyurt	A8	1442	4	53	50	0,12	12100
	Yahşihan	A9	1450	5,5	6	30	0,15	9000

Kriterler arasındaki verilerde birim farklılıkları olduğu için Tablo 6'daki veriler kullanılarak korelasyon yöntemi ile 0-100 değerleri arasında puanlandırılması yapılmıştır. Bu puanlandırma Tablo 7'de gösterilmiştir.

Tablo 7: Korelasyon yöntemi ile 0-100 arasında puanlandırılmış karar matrisi

		Kriterler					
		K1	K2	K3	K4	K5	K6
Alternatifler	Bahşili	99,33	77,14	90	20	66,66	19,03
	Balıseyh	98,59	85,71	20	100	83,33	17,32
	Çelebi	100	78,57	20	40	100	11,69
	Delice	97,58	78,57	20	60	83,33	8,15
	Karakeçili	99,53	64,29	20	40	100	21,2
	Keskin	99,46	100	20	9	100	100
	Kırıkkale Merkez	98,32	75,71	100	70	66,66	19,02
	Sulakyurt	96,78	57,14	20	50	83,33	49,33
	Yahşihan	97,32	78,57	80	30	66,66	36,69

Korelasyon yöntemi ile elde edilen Tablo 7'deki puanlandırılmış karar matrisi üzerinde Şekil 2'de gösterilen TOPSIS adımları sırası ile uygulanmıştır.

Tablo 8: Si+, Si- ve İdeal Çözüme Yakınlık Değerleri

Alternatifler	S_i^+	S_i^-	C_i
Bahşili	8.42	4.51	0.349
Balıseyh	8.81	4.05	0.315
Çelebi	9.47	3.39	0.264
Delice	9.66	2.61	0.213
Karakeçili	8.98	3.33	0.271
Keskin	4.85	9.35	0.659
Kırıkkale Merkez	7.81	5.44	0.411
Sulakyurt	7.46	4.09	0.354
Yahşihan	7	4.60	0.397

Tablo 7'deki puanlandırılmış karar matrisi üzerinde sırası ile uygulanan TOPSIS adımları sonucunda Tablo 8'deki pozitif ideal ve negatif ideal çözüm değerlerine olan uzaklık değerleri ve ideal çözüme göreli yakınlık değerleri bulunmuştur. Çözüm aşamalarında problem amacı göz önünde bulundurularak Tablo 9'daki ideal çözüm sonuçlarına ulaşılmıştır.

Tablo 9: TOPSIS sonuçları

Alternatifler	İdeal Çözüm Değerleri	Sıralama
Keskin	0,659	1
Kırıkkale Merkez	0,411	2
Yahşihan	0,397	3
Sulakyurt	0,354	4
Bahşili	0,349	5
Bahşeyh	0,315	6
Karakeçili	0,271	7
Çelebi	0,264	8
Delice	0,213	9

TOPSIS uygulamasına göre hibrit enerji santralinin Keskin'e kurulması uygun görülmüştür.

5.4.3. Problemin COPRAS yöntemi ile çözümü

AHP yöntemi ile elde edilen kriter ağırlıkları, COPRAS yöntemi aşamasında alternatiflerin sıralanmasında kullanılmıştır. TOPSIS yönteminin aksine veriler dönüşüm uygulanmadan ham hali ile kullanılmıştır. Başka bir ifade ile Tablo 6'da verilen karar matrisi hiçbir işlem uygulanmadan faydalı faydasız kriter ayrımı yapılarak kullanılmıştır. Güneş radyasyonu, rüzgar hızı, eğim ve arazi kullanımı faydalı kriter, trafo merkezine uzaklık ve arazi maliyeti faydasız kriter olarak dikkate alınmıştır. Trafo merkezinden uzaklaştıkça elde edilen elektriğin merkezlere ulaştırılmaya kadar bir kısmı ısı enerjisine dönüşerek kayıp yaşanır ve bu durumdan dolayı faydasız kriter olarak değerlendirilmiştir. Arazi maliyeti ise ilk yatırım maliyetini etkileyen önemli bir kalem olup karın maksimum seviyeye ulaşması için maliyetin minimum seviyede tutulması gerekmektedir. Bu sebepten dolayı faydasız kriter olarak ele alınmıştır. Yapılan kriter ayrımının ardından normalizasyon işlemi uygulanmıştır. Normalize karar matrisi Tablo 10'da verilmiştir.

Tablo 10: Normalize karar matrisi

	Kriterler					
	K1	K2	K3	K4	K5	K6
Bahşili	0,112	0,111	0,016	0,040	0,135	0,067
Bahşeyh	0,111	0,123	0,091	0,200	0,108	0,061
Çelebi	0,113	0,113	0,205	0,080	0,090	0,041
Delice	0,110	0,113	0,217	0,120	0,108	0,029
Karakeçili	0,112	0,092	0,134	0,080	0,090	0,075
Keskin	0,112	0,144	0,102	0,180	0,090	0,354
Kırıkkale Merkez	0,111	0,109	0,004	0,140	0,135	0,067
Sulakyurt	0,109	0,082	0,209	0,100	0,108	0,175
Yahşihan	0,110	0,113	0,024	0,060	0,135	0,130

Normalizasyon işleminin ardından AHP yöntemi ile elde edilen kriter ağırlıkları kullanılarak ağırlıklı normalize karar matrisi oluşturulmuştur. Oluşturulan matris Tablo 11'de verilmiştir.

Tablo 11: Ağırlıklı normalize karar matrisi

	Kriterler					
	K1	K2	K3	K4	K5	K6
Bahşili	0,042	0,016	0,002	0,003	0,028	0,007
Bahşeyh	0,041	0,018	0,009	0,015	0,022	0,007
Çelebi	0,042	0,016	0,020	0,006	0,018	0,004
Delice	0,041	0,016	0,021	0,009	0,022	0,003
Karakeçili	0,042	0,013	0,013	0,006	0,018	0,008
Keskin	0,042	0,021	0,010	0,013	0,018	0,038
Kırıkkale Merkez	0,041	0,016	0,000	0,010	0,028	0,007
Sulakyurt	0,041	0,012	0,021	0,007	0,022	0,019
Yahşihan	0,041	0,016	0,002	0,004	0,028	0,014

COPRAS çözümünde son olarak sırasıyla S_i^+ , S_i^- , Q_i ve performans indeksi hesaplanmıştır. Hesaplamalar sonucunda elde edilen değerler Tablo 12’de verilmiştir.

Tablo 12: S_i^+ , S_i^- , Q_i ve performans indeksi değerleri

Alternatifler	S_i^+	S_i^-	Q_i	Performans indeksi
Bahşili	0,068	0,029	0,106	69,266
Balışeyh	0,080	0,031	0,116	75,950
Çelebi	0,069	0,039	0,097	63,652
Delice	0,069	0,043	0,094	61,924
Karakeçili	0,069	0,032	0,104	68,105
Keskin	0,114	0,028	0,153	100,000
Kırıkkale Merkez	0,074	0,028	0,114	74,597
Sulakyurt	0,079	0,043	0,104	68,485
Yahşihan	0,076	0,030	0,112	73,656

5.5. Sonuçların Karşılaştırılması

Yapılan AHP, TOPSIS ve COPRAS uygulamaları sonucunda Keskin birinci sırada yer almıştır. Son sırada ise Delice yer almaktadır. Ara sıralamalar farklı yöntem uygulamalarına göre değişmekle birlikte ilk sırada Keskin ilçesinin çıkması hibrit enerji santralinin bu ilçede kurulması gerektiğine işaret etmektedir. Sonuçların karşılaştırılması Tablo 13’te verilmiştir.

Tablo 13: AHP, AHP-TOPSIS VE AHP-COPRAS sonuçlarının karşılaştırılması

Sıralama	AHP sonucu	AHP-TOPSIS sonucu	AHP-COPRAS sonucu
1	Keskin	Keskin	Keskin
2	Karakeçili	Kırıkkale Merkez	Balışeyh
3	Bahşili	Yahşihan	Kırıkkale Merkez
4	Balışeyh	Sulakyurt	Yahşihan
5	Kırıkkale Merkez	Bahşili	Bahşili
6	Çelebi	Balışeyh	Sulakyurt
7	Yahşihan	Karakeçili	Karakeçili
8	Sulakyurt	Çelebi	Çelebi
9	Delice	Delice	Delice

Çalışmada 9 farklı alternatif 3 farklı yöntem kullanılarak sıralanmıştır. Sıralama sonuçları için yöntemler arasındaki ilişkilerin belirlenmesi amacıyla Spearman sıra korelasyon yöntemi SPSS Statistics programı ortamında kullanılmıştır. Sonuçlar Şekil 9’da sunulmuştur.

Correlations

			AHP	TOPSIS	COPRAS
Spearman's rho	AHP	Correlation Coefficient	1,000	,350	,603
		Sig. (2-tailed)	.	,356	,086
		N	9	9	9
	TOPSIS	Correlation Coefficient	,350	1,000	,795*
		Sig. (2-tailed)	,356	.	,010
		N	9	9	9
	COPRAS	Correlation Coefficient	,603	,795*	1,000
		Sig. (2-tailed)	,086	,010	.
		N	9	9	9

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

Şekil 9. Korelasyon Analizi

Şekil 9’da sunulan veriler incelendiğinde TOPSIS ve COPRAS çözümleri arasındaki korelasyon değeri 0,795 ile en yüksek değere sahiptir bu iki yöntem arasındaki pozitif yönlü yüksek bir ilişkinin olduğunu göstermektedir. TOPSIS-COPRAS arasındaki ilişkinin ardından diğer en yüksek ilişki değeri 0,603 ile AHP-COPRAS arasındadır. Tablo 13’te bulunan sonuçlar incelendiğinde de bu pozitif yönlü ilişkiler görülebilmektedir.

5.6. Duyarlılık Analizi

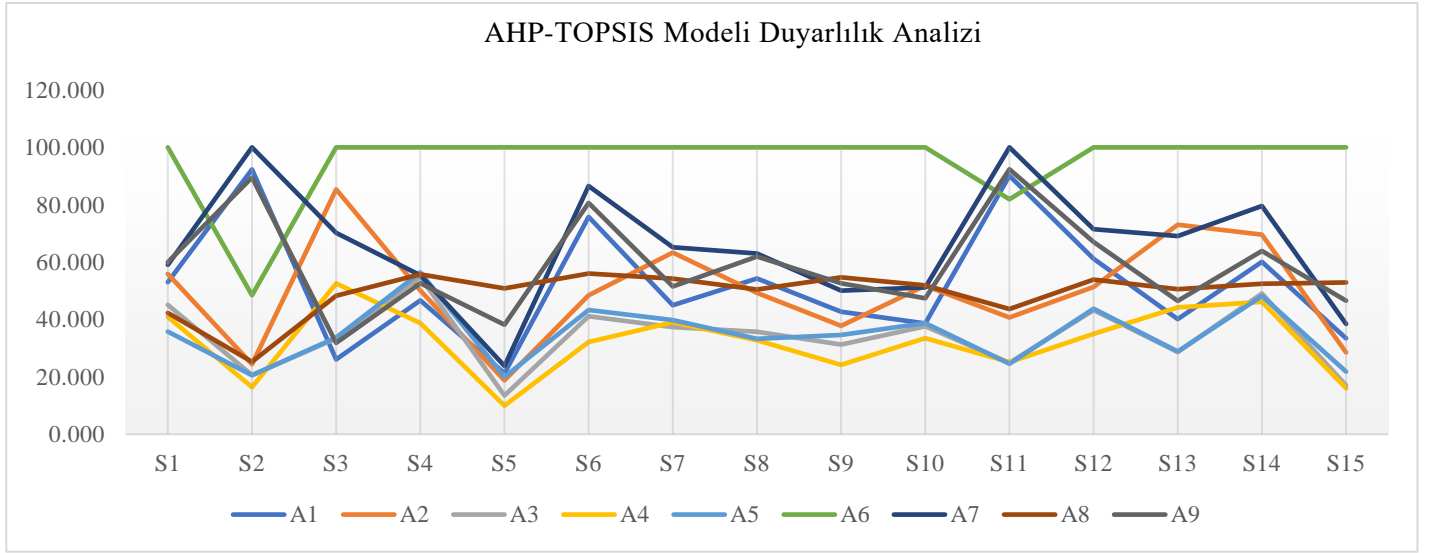
Duyarlılık analizi, önerilen yaklaşımın veya çerçevenin doğruluğunu ve geçerliliğini sorgulamayı sağlar (Bulut & Özcan, 2021). Buradan hareketle, elde edilen sıralamaların istikrarlı olması amaçlanmıştır. Bu amaçla bu çalışmada, hibrit santralin kurulum aşamasında yer seçimi için önerilen yaklaşıma duyarlılık analizi yapılmıştır. AHP ile hesaplanan kriter ağırlıklarının alternatiflerin sıralamasına etkisi farklı senaryolar kullanılarak analiz edilmiştir. Bu senaryolar, ikili sistemde kriter ağırlıkları değiştirilerek üretilmiştir (Bulut & Özcan, 2021). Dolayısıyla 6 farklı kriterin ikili kombinasyonundan dolayı 15 farklı senaryo bulunmaktadır. Bu senaryolar hem TOPSIS yöntemi ile önerilen modelde hem de COPRAS yöntemi ile önerilen modelde uygulanmıştır. Tablo 14’te AHP-TOPSIS modeline ait duyarlılık analizine ait sonuçlar yer almaktadır. Bu analiz sonucunda 15 senaryo içerinden sadece ikisi önerilen AHP-TOPSIS modelinden farklı sonuç üretmiştir. Bunun sebebi ise K3 (trafo merkezine uzaklık) kriterinde en iyi alternatifinin A7 (Kırıkkale-Merkez) olmasıdır. K3 kriter ağırlığının diğerlerine göre daha küçük olduğu senaryolarda A7 alternatifi ilk sırada yer almamaktadır.

Tablo 14: AHP-TOPSIS modelinin duyarlılık analizi sonuçları

Senaryolar	Kriter Ağırlıkları						Sıralama Sonucu	Nihai Sonuç
	K1	K2	K3	K4	K5	K6		
AHP-TOPSIS	0,373	0,144	0,099	0,073	0,204	0,108	A6-A7-A9-A1-A8-A2-A5-A3-A4	A6
S1	0,144	0,373	0,099	0,073	0,204	0,108	A6-A9-A7-A1-A2-A3-A8-A4-A5	A6
S2	0,099	0,144	0,373	0,073	0,204	0,108	A7-A1-A9-A6-A8-A2-A5-A3-A4	A7
S3	0,073	0,144	0,099	0,373	0,204	0,108	A6-A2-A7-A4-A8-A9-A5-A3-A1	A6
S4	0,204	0,144	0,099	0,073	0,373	0,108	A6-A7-A9-A8-A5-A3-A1-A2-A4	A6
S5	0,108	0,144	0,099	0,073	0,204	0,373	A6-A8-A9-A7-A1-A5-A2-A3-A4	A6
S6	0,373	0,099	0,144	0,073	0,204	0,108	A6-A7-A9-A1-A8-A2-A5-A3-A4	A6
S7	0,373	0,073	0,099	0,144	0,204	0,108	A6-A7-A2-A9-A8-A1-A5-A3-A4	A6
S8	0,373	0,204	0,099	0,073	0,144	0,108	A6-A7-A9-A1-A8-A2-A3-A4-A5	A6
S9	0,373	0,108	0,099	0,073	0,204	0,144	A6-A7-A9-A1-A8-A2-A5-A3-A4	A6
S10	0,373	0,144	0,073	0,099	0,204	0,108	A6-A2-A8-A7-A9-A5-A3-A1-A4	A6
S11	0,373	0,144	0,204	0,073	0,099	0,108	A7-A9-A1-A6-A8-A2-A5-A3-A4	A7
S12	0,373	0,144	0,108	0,073	0,204	0,099	A6-A7-A9-A1-A8-A2-A5-A3-A4	A6
S13	0,373	0,144	0,099	0,204	0,073	0,108	A6-A2-A7-A8-A9-A4-A1-A5-A2	A6
S14	0,373	0,144	0,099	0,108	0,204	0,073	A6-A7-A2-A9-A1-A8-A3-A5-A4	A6
S15	0,373	0,144	0,099	0,073	0,108	0,204	A6-A8-A9-A7-A1-A2-A5-A3-A4	A6

AHP-TOPSIS modelinde Tablo 14’te verilen 15 senaryo uygulandığında elde edilen sonuçlar Şekil 8’de verilmiştir. Senaryo 2 (S2) ve Senaryo 11 (S11)’ de oluşan sonuç farklılıkları net bir şekilde görülmektedir.

Şekil 8: AHP-TOPSIS modelinin 15 farklı senaryo sonuçları



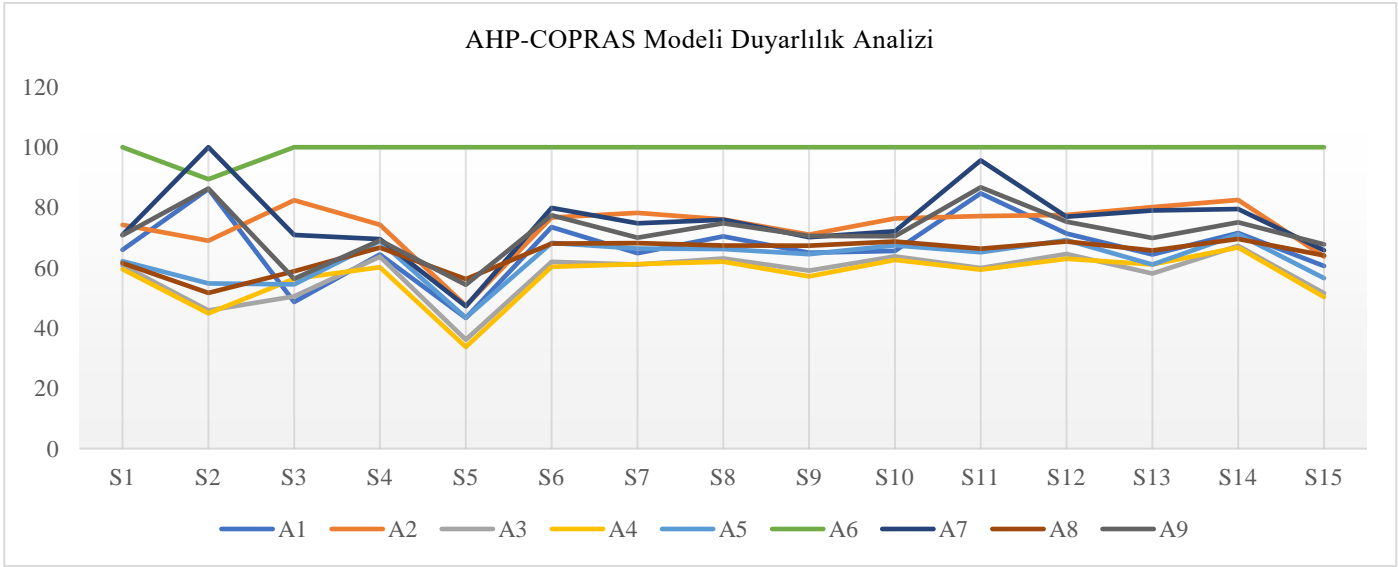
AHP-COPRAS modeline uygulanan duyarlılık analiz sonuçları Tablo 15'te verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde AHP-TOPSIS modelindeki gibi K3 kriter ağırlığının yüksek olduğu ikinci senaryoda A7 alternatifi öne çıkmıştır. Fakat Senaryo 11 (S11)'de AHP-TOPSIS modelinin aksine A7 alternatifinin ikinci sırada kaldığı tespit edilmiştir. Bu durum COPRAS yönteminin TOPSIS yöntemine göre kriter ağırlıklarından daha az etkilendiğini ortaya koymaktadır.

Tablo 15: AHP-COPRAS modelinin duyarlılık analizi sonuçları

Senaryolar	Kriter Ağırlıkları						Sıralama Sonucu	Nihai Sonuç
	K1	K2	K3	K4	K5	K6		
AHP-COPRAS	0,373	0,144	0,099	0,073	0,204	0,108	A6-A2-A7-A9-A1-A8-A5-A3-A4	A6
S1	0,144	0,373	0,099	0,073	0,204	0,108	A6-A2-A7-A9-A1-A5-A8-A3-A4	A6
S2	0,099	0,144	0,373	0,073	0,204	0,108	A7-A6-A9-A1-A2-A5-A8-A3-A4	A7
S3	0,073	0,144	0,099	0,373	0,204	0,108	A6-A2-A7-A8-A9-A4-A5-A3-A1	A6
S4	0,204	0,144	0,099	0,073	0,373	0,108	A6-A2-A7-A9-A5-A8-A1-A3-A4	A6
S5	0,108	0,144	0,099	0,073	0,204	0,373	A6-A8-A9-A7-A2-A1-A5-A3-A4	A6
S6	0,373	0,099	0,144	0,073	0,204	0,108	A6-A7-A2-A9-A1-A5-A8-A3-A4	A6
S7	0,373	0,073	0,099	0,144	0,204	0,108	A6-A2-A7-A9-A8-A5-A1-A3-A4	A6
S8	0,373	0,204	0,099	0,073	0,144	0,108	A6-A7-A9-A2-A1-A8-A5-A3-A4	A6
S9	0,373	0,108	0,099	0,073	0,204	0,144	A6-A2-A7-A9-A1-A8-A5-A3-A4	A6
S10	0,373	0,144	0,073	0,099	0,204	0,108	A6-A2-A7-A9-A8-A5-A1-A3-A4	A6
S11	0,373	0,144	0,204	0,073	0,099	0,108	A6-A7-A9-A1-A2-A8-A5-A3-A4	A6
S12	0,373	0,144	0,108	0,073	0,204	0,099	A6-A2-A7-A9-A1-A7-A5-A3-A4	A6
S13	0,373	0,144	0,099	0,204	0,073	0,108	A6-A7-A2-A9-A8-A1-A5-A4-A3	A6
S14	0,373	0,144	0,099	0,108	0,204	0,073	A6-A2-A7-A9-A1-A5-A8-A3-A4	A6
S15	0,373	0,144	0,099	0,073	0,108	0,204	A6-A9-A7-A8-A2-A1-A5-A3-A4	A6

AHP-COPRAS modelinde Tablo 15'te verilen 15 senaryo uygulandığında elde edilen sonuçlar Şekil 9'da verilmiştir. İlk sıradaki alternatif sadece Senaryo 2 (S2)'de değiştiği dikkat çekmektedir. Bunun dışında Senaryo 11 (S11)'de A7 alternatifi ilk sıraya çok yaklaşıp da ikinci sırada kalmıştır. Grafikte COPRAS modelinde uygulanan kriter ağırlıklarında yapılan değişikliklerden TOPSIS modeline göre daha az etkilendiği tespit edilmiştir.

Şekil 9: AHP-COPRAS modelinin 15 farklı senaryo sonuçları



6. Sonuç ve Öneriler

Yenilenebilir enerji kaynaklarından birkaçının tek bir sistemde toplanarak, mevsim fark etmeksizin verimli çalışması hibrit enerjiye olan ilgiyi arttırmıştır. Hibrit enerji sistemlerinin bir bölgeye kurulumunda etkin rol oynayan 6 adet kriter belirlenmiş ve dokuz adet alternatif bu kriterler özelinde değerlendirilmiştir. Yapılan çalışmada güneş radyasyon değerleri, rüzgar değerleri, eğim, trafo merkezine uzaklık, arazi maliyetleri ve arazi kullanım oranları ÇKKV yöntemlerinden AHP yöntemi ile ağırlıklandırılmıştır. AHP sonucunda en önemli kriterler sırası ile 0,37, 0,20 ve 0,14 kriter ağırlıklarıyla güneş enerjisi potansiyeli, arazi maliyeti ve rüzgar enerjisi potansiyeli olarak belirlenmiştir. AHP yöntemi ile alternatifler değerlendirildiğinde sonuç sırasıyla Keskin, Karakeçili, Bahşili, Balışeyh, Kırıkkale Merkez, Çelebi, Yahşihan, Sulakyurt ve Delice şeklindedir. AHP yönteminden elde edilen kriter ağırlıkları TOPSIS yönteminde kullanıldığında ise sonuç Keskin, Kırıkkale Merkez, Yahşihan, Sulakyurt, Bahşili, Balışeyh, Karakeçili, Çelebi ve Delice olarak belirlenmiştir. Son olarak AHP ve COPRAS yöntem entegrasyonu ile yapılan çözümde ise sonuç Keskin, Balışeyh, Kırıkkale Merkez, Yahşihan, Bahşili, Sulakyurt, Karakeçili, Çelebi ve Delice şeklindedir. Sonuçlar karşılaştırıldığında birinci seçilmesi gereken ilçe Keskin olurken en son seçilmesi gereken ilçe Delice olduğu görülmektedir. Üç çözüm sonucunda da en iyi alternatif yüksek güneş alımı, arazi maliyetinin azlığı ve iyi derece rüzgar alımı ile hibrit enerji santralini Kırıkkale'de en uygun noktaya kurulabilecek ilçesi Keskin alternatifi olarak belirlenmiştir.

Çalışma Kırıkkale ilinde hibrit enerji üzerine ilk defa yapılmış olup, hibrit enerji santrali yer seçimi problemi için AHP, TOPSIS ve COPRAS yöntemlerinden elde edilen sonuçların karşılaştırılması ile de literatüre katkı sağlamaktadır. Önerilen 3 modelin ilişkileri Spearman sıra korelasyon yöntemi ile belirlenmiştir. Ayrıca AHP yöntemi ile hesap kriter ağırlıkları üzerinde 15 farklı senaryo uygulanarak duyarlılık analizi yapılmıştır. Bu çalışmada hem istatistiksel analizin hem de duyarlılık analizinin birlikte yapılması, probleme önerilen çözümlerin analitik seviyesini yükseltmiş olup iki analizin birlikte yapılması açısından literatüre katkı sağlamaktadır.

İleride yapılabilecek projelerde bu çalışmanın sonuçları kullanılarak Keskin ilçesinde kurulacak hibrit santral için mikro alan seçimi çalışmada önerilen modeller ile çözülebilir. Böylece önerilen modellerin performansı farklı problemler üzerinde analiz edilebilir. Ayrıca önerilen modellerde bulanık sayılar kullanılarak klasik ÇKKV yöntemleri ile bulanık ÇKKV yöntemleri kıyaslanabilir.

Keskin ilçesi için probleme alt kriterler eklenerek çözülmesi sonucunda tesis için net bir bölge bulunabilir. Elektrik enerjisinin ulaşımının zor olduğu ve kesinti problemi yaşanan bölgelerde yapılan tarım, hayvancılık gibi sektörlerin enerji ihtiyacını karşılayabilmek için uygun hibrit enerji santrali yer seçimi problemi ele alınabilir.

Referanslar

Abdel-Basset, M., Gamal, A., Chakraborty, R. K., & Ryan, M. (2021). A new hybrid multi-criteria decision-making approach for location selection of sustainable offshore wind energy stations: A case study. *Journal of Cleaner Production*, 280, 124462.

Akçay, M., Atak, M., (2018). Optimal site selection for a solar power plant in Turkey using a hybrid AHP-TOPSIS method, *Celal Bayar University Journal of Science*, 14(4), 413-420.

Akyüz, Y., Soba, M., (2013). ELECTRE yöntemiyle tekstil sektöründe optimal kuruluş yeri seçimi: Uşak ili örneği, *Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi*, 9(19): 185-198.

- Arı, E. S., & Gencer, C. (2020). The use and comparison of a deterministic, a stochastic, and a hybrid multiple-criteria decision-making method for site selection of wind power plants: An application in Turkey. *Wind Engineering*, 44(1), 60-74.
- Atıcı, K. B., Ulucan, A., (2009). Enerji projelerinin değerlendirilmesi sürecinde çok kriterli karar verme yaklaşımları ve Türkiye uygulamaları, Hacettepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 27(1), 161-186.
- Aydin, N. Y., Kentel, E., & Duzgun, H. S. (2013). GIS-based site selection methodology for hybrid renewable energy systems: A case study from western Turkey. *Energy conversion and management*, 70, 90-106.
- Azadeh, A., Sheikhalishahi, M., & Asadzadeh, S. M. (2011). A flexible neural network-fuzzy data envelopment analysis approach for location optimization of solar plants with uncertainty and complexity. *Renewable energy*, 36(12), 3394-3401.
- Barzehkar, M., Parnell, K. E., Dinan, N. M., & Brodie, G. (2021). Decision support tools for wind and solar farm site selection in Isfahan Province, Iran. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 23(4), 1179-1195.
- Boyacı, A. Ç., Şişman, A., & Sarıcaoğlu, K. (2021). Site selection for waste vegetable oil and waste battery collection boxes: a GIS-based hybrid hesitant fuzzy decision-making approach. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(14), 17431-17444.
- Bulut, M., & Özcan, E. (2021). A novel approach towards evaluation of joint technology performances of battery energy storage system in a fuzzy environment. *Journal of Energy Storage*, 36, 102361.
- Carrión, J. A., Estrella, A. E., Dols, F. A., Toro, M. Z., Rodríguez, M., & Ridaio, A. R. (2008). Environmental decision-support systems for evaluating the carrying capacity of land areas: Optimal site selection for grid-connected photovoltaic power plants. *Renewable and sustainable energy reviews*, 12(9), 2358-2380.
- ÇED ve Çevre İzinleri Şube Müdürlüğü, (2019). Kırıkkale ili 2018 yılı çevre durum raporu, T.C. Kırıkkale Valiliği Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü, 72.
- Chien, F., Wang, C. N., Nguyen, V. T., Nguyen, V. T., & Chau, K. Y. (2020). An Evaluation Model of Quantitative and Qualitative Fuzzy Multi-Criteria Decision-Making Approach for Hydroelectric Plant Location Selection. *Energies*, 13(11), 2783.
- Çiçek, T., Atar, U., Ünal, T., Üstün, A., Üstün, C. (2011). T.C. Kırıkkale Valiliği Çevre ve Şehircilik Müdürlüğü. Docplayer: <https://docplayer.biz.tr/2834019-Tc-kirikkale-valiligi-cevre-ve-sehircilik-il-mudurlugu.html> adresinden alındı
- Clifton, J., & Boruff, B. J. (2010). Assessing the potential for concentrated solar power development in rural Australia. *Energy Policy*, 38(9), 5272-5280.
- Dawson, L., & Schlyter, P. (2012). Less is more: Strategic scale site suitability for concentrated solar thermal power in Western Australia. *Energy Policy*, 47, 91-101.
- Engin, O., Sarucan, A., Baysal, M. E., (2018). Türkiye için çok kriterli karar verme yöntemleri ile yenilenebilir enerji alternatiflerinin analizi, *Journal of Social And Humanities Sciences Research*, 5(23), 1223-1231.
- Eroğlu, H. (2021). Multi-criteria decision analysis for wind power plant location selection based on fuzzy AHP and geographic information systems. *Environment, Development and Sustainability*, 1-33.
- Güneş Enerjisi Raporu. Ahika: https://www.ahika.gov.tr/assets/upload/dosyalar/ahika_tr71de-gunes-raporu_.pdf adresinden alındı
- İlbarar, E., Kahraman, C., & Cebi, S. (2021). Location Selection for Biomass Plants by Using Fuzzy Linear Programming. *Energy*, 121189.
- Janke, J. R. (2010). Multicriteria GIS modeling of wind and solar farms in Colorado. *Renewable Energy*, 35(10), 2228-2234.
- Jun, D., Tian-Tian, F., Yi-Sheng, Y., & Yu, M. (2014). Macro-site selection of wind/solar hybrid power station based on ELECTRE-II. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 35, 194-204.
- Kannan, D., Moazzeni, S., mostafayi Darmian, S., & Afrasiabi, A. (2021). A hybrid approach based on MCDM methods and Monte Carlo simulation for sustainable evaluation of potential solar sites in east of Iran. *Journal of Cleaner Production*, 279, 122368.
- Karadağ Albayrak, Ö., (2020). Yenilenebilir enerji kaynaklarının değerlendirilmesinde kullanılan çok kriterli karar verme teknikleri ve değerlendirme kriterlerinin incelenmesi: 2017-2020, *Ataturk University Journal of Economics & Administrative Sciences*, 34.4.

- Kheybari, S., Javdanmehr, M., Rezaie, F. M., & Rezaei, J. (2021). Corn cultivation location selection for bioethanol production: An application of BWM and extended PROMETHEE II. *Energy*, 228, 120593.
- Lan, H., (2008). Analysis of zone safety degree of slopes and its application based on FLAC3D, *Journal of China University of Mining & Technology*, 37.4: 570-574.
- Lee, A. H., Kang, H. Y., & Liou, Y. J. (2017). A hybrid multiple-criteria decision-making approach for photovoltaic solar plant location selection. *Sustainability*, 9(2), 184.
- Memari, P., Navazi, F., & Jolai, F. (2021). Hybrid wind-municipal solid waste biomass power plant location selection considering waste collection problem: a case study. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, 16(8), 719-739.
- Oral, N. , Yumuşak, R. & Eren, T. (2021a). AHP ve ANP yöntemleri kullanılarak tehlikeli madde depo yeri seçimi: Kırıkkale ilinde bir uygulama. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 10 (1) , 115-124
- Oral, N. Yapıcı, S., Yumuşak, R. & Eren, T. (2021b). Pandemi sürecinde sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi için ilaç deposu ve aşı dağıtım merkezi yeri seçimi. *Politeknik Dergisi*, (Basımda).
- Özcan, E.C., Danışan, T., Yumuşak, R., Eren, T., (2020). An artificial neural network model supported with multi criteria decision making approaches for maintenance planning in hydroelectric power plants. *Eksplatacja I Niezawodność - Maintenance and Reliability*, 21(3), 400-418.
- Özcan, E.C., Yumuşak, R., Eren, T., (2019). Risk Based Maintenance in the Hydroelectric Power Plants, *Energies*, 12 (8): 1502-1523.
- Özcan, E.C., Yumuşak, R., Eren, T., (2021). A Novel Approach to Optimize the Maintenance Strategies: A Case in the Hydroelectric Power Plant, *Eksplatacja I Niezawodność - Maintenance and Reliability*, 23 (2), 324-337.
- Özgür, E., Türkiye’de güneş enerjisi, Türkiye’de Enerji Görünümü, 297-316, 20, (2018).
- Özkan, Ö., (2007). Personel seçiminde karar verme yöntemlerinin incelenmesi: AHP, ELECTRE ve TOPSIS örneği, *Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi*, İzmir Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, 18(9), 198-171.
- Pınar, A., Buldur, A., Tuncer, T., (2020). Türkiye'deki rüzgar enerji santralleri dağılışının coğrafi perspektiften analizi, *Doğu Coğrafya Dergisi*, 25.43: 167-182.
- Rediske, G., Burin, H. P., Rigo, P. D., Rosa, C. B., Michels, L., & Siluk, J. C. M. (2021). Wind power plant site selection: A systematic review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 148, 111293.
- Rezaei, M., Mostafaiepour, A., Qolipour, M., & Tavakkoli-Moghaddam, R. (2018). Investigation of the optimal location design of a hybrid wind-solar plant: A case study. *International journal of hydrogen energy*, 43(1), 100-114.
- Rüzgar enerjisi haritası-Kırıkkale. Enerji Atlası: <https://www.enerjiatlası.com/ruzgar-enerjisi-haritasi/kirikkale> adresinden alındı
- Sánchez-Lozano, J. M., Antunes, C. H., García-Cascales, M. S., & Dias, L. C. (2014). GIS-based photovoltaic solar farms site selection using ELECTRE-TRI: Evaluating the case for Torre Pacheco, Murcia, Southeast of Spain. *Renewable Energy*, 66, 478-494.
- Sánchez-Lozano, J. M., Teruel-Solano, J., Soto-Elvira, P. L., & García-Cascales, M. S. (2013). Geographical Information Systems (GIS) and Multi-Criteria Decision Making (MCDM) methods for the evaluation of solar farms locations: Case study in south-eastern Spain. *Renewable and sustainable energy reviews*, 24, 544-556.
- Schlecht, M., & Meyer, R. (2021). Site selection and feasibility analysis for concentrating solar power systems. In *Concentrating Solar Power Technology* (99-125). Woodhead Publishing.
- Settou, B., Settou, N., Gouareh, A., Negrou, B., Mokhtara, C., & Messaoudi, D. (2021). A high-resolution geographic information system-analytical hierarchy process-based method for solar PV power plant site selection: a case study Algeria. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 23(1), 219-234.
- Soba, M., Eren, K., (2011). TOPSIS yöntemini kullanarak finansal ve finansal olmayan oranlara göre performans değerlendirilmesi: şehirlerarası otobüs sektöründe bir uygulama, *Selçuk Üniversitesi İİBF Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 15.21: 23-40.
- Supçiller, A. A., Bayramoğlu, S., (2020). Aralıklı gri sayı tabanlı A-GİA ve gri EDAS yöntemleriyle rüzgar santrali yer seçimi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 35(4), 1847-1860.

Turgut, Z. N., Danişan, T., Eren, T., (2020). Spor yapanlar için en uygun akıllı saatin AHP ve PROMETHEE yöntemleri ile seçimi, Uluslararası Beden Eğitimi Spor ve Teknolojileri Dergisi, 1.2: 1-11.

Türkdoğan, S., Mercan, M. T., & Çatal, T., (2020). Şebekeden bağımsız hibrit enerji sistemleri kullanılarak 40 hanelik bir topluluğun elektrik ve termal yük ihtiyacının karşılanması: teknik ve ekonomik analizleri, Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (18), 476-485.

Ülkelere göre güneş enerjisi. Enerji Atlası: <https://www.enerjiatlası.com/ulkelere-gore-gunes-enerjisi.html> adresinden alındı

Ülkelere göre rüzgar enerjisi. Enerji Atlası: <https://www.enerjiatlası.com/ulkelere-gore-ruzgar-enerjisi.html> adresinden alındı

Ulutaş, A., & Karakuş, C. B. (2021). Location selection for a textile manufacturing facility with GIS based on hybrid MCDM approach. *Industria textila*, 72(2), 126-132.

Ulutaş, H., (2015). Kırsal Tesisler için hibrit (rüzgâr+ güneş) sistem tasarımı ve analizi Ordu, Yüksek Lisans Tezi, Ordu Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, MS Thesis, 11489-245.

Uyan, M., (2017). Güneş enerjisi santrali kurulabilecek alanların AHP yöntemi kullanılarak CBS destekli haritalanması, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 23(4), 343-351.

Viewfinder Panoramas. Viewfinder Panoramas: http://www.viewfinderpanoramas.org/Coverage%20map%20viewfinderpanoramas_org3.html adresinden alındı

Wang, C. N., Nguyen, V. T., Duong, D. H., & Thai, H. T. N. (2018). A hybrid fuzzy analysis network process (FANP) and the technique for order of preference by similarity to ideal solution (TOPSIS) approaches for solid waste to energy plant location selection in Vietnam. *Applied Sciences*, 8(7), 1100.

Wang, C. N., Su, C. C., & Nguyen, V. T. (2018). Nuclear power plant location selection in Vietnam under fuzzy environment conditions. *Symmetry*, 10(11), 548.

Wang, C. N., Tsai, T. T., & Huang, Y. F. (2019). A model for optimizing location selection for biomass energy power plants. *Processes*, 7(6), 353.

Wu, Y., Zhang, T., Xu, C., Zhang, B., Li, L., Ke, Y., ... & Xu, R. (2019). Optimal location selection for offshore wind-PV-seawater pumped storage power plant using a hybrid MCDM approach: a two-stage framework. *Energy Conversion and Management*, 199, 112066.

Yapıcı, S., Yumuşak, R. & Eren, T. (2020). Çok Kriterli Karar Verme yöntemleri ile medikal depo yeri seçimi. *Trakya Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 9(2), 203-221.

Yıldız, M., Bingöl, F., (2019). Küçük ve mikro ölçekli enerji yatırımı için hibrit enerji modeli, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 25(1), 1-6.

Yılmaz, E. A., Can, H., (2018). Türkiye'nin yenilenebilir enerji potansiyeli ve gelecek hedefleri, ODÜ Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi, 8(3): 525-535.

Yun-na, W., Yi-sheng, Y., Tian-tian, F., Li-na, K., Wei, L., & Luo-jie, F. (2013). Macro-site selection of wind/solar hybrid power station based on Ideal Matter-Element Model. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 50, 76-84.

Zavadskas E.K., Kaklauskas, A., Sarka, V., (1994). The new method of multicriteria complex proportional assessment of projects, *Technological and Economic Development of Economy*, 1(3), 131-139.

EK 1

Kriter Kodu	İkili karşılaştırma matrisi										Özvektör	Tutarlılık Oranı
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9			
K1	A1	1	2	2	4	2	0,5	1	5	3	0,169	0,0212
	A2	0,5	1	2	3	1	0,25	0,5	4	3	0,114	
	A3	0,5	0,5	1	2	1	0,5	0,5	2	2	0,087	
	A4	0,25	0,33	0,50	1	0,5	0,25	0,33	1	1	0,046	
	A5	0,5	1	1	2	1	0,5	1	3	3	0,110	
	A6	2	4	2	4	2	1	2	6	4	0,245	
	A7	1	2	2	3	1	0,5	1	3	3	0,143	
	A8	0,20	0,25	0,50	1	0,33	0,17	0,33	1	0,5	0,037	
	A9	0,33	0,33	0,50	1	0,33	0,25	0,33	2	1	0,049	
K2	A1	1	0,33	0,67	0,67	1,5	0,25	1,5	3	0,67	0,070	0,0207
	A2	3,03	1	3	3	4	0,5	3	6	2	0,204	
	A3	1,5	0,33	1	1	3	0,33	3	4	1	0,107	
	A4	1,49	0,33	1	1	3	0,33	3	4	1	0,107	
	A5	0,67	0,25	0,33	0,33	1	0,2	1,5	2	0,33	0,048	
	A6	4	2	3	3	5	1	4	7	3	0,275	
	A7	0,67	0,33	0,33	0,33	0,67	0,25	1	3	0,33	0,050	
	A8	0,33	0,17	0,25	0,25	0,5	0,14	0,33	1	0,2	0,026	
	A9	1,5	0,5	1	1	3	0,33	3	5	1	0,114	
K3	A1	1	4	6	6	5	4	0,5	6	2	0,225	0,0375
	A2	0,25	1	3	3	2	1	0,25	3	0,2	0,076	
	A3	0,17	0,33	1	1	0,5	0,5	0,14	1	0,15	0,031	
	A4	0,17	0,33	1	1	0,5	0,33	0,14	1	0,15	0,030	
	A5	0,2	0,5	2	2	1	0,5	0,2	2	0,18	0,050	
	A6	0,25	1	2	3	2	1	0,25	1	0,2	0,065	
	A7	2	4	7	7	5	4	1	7	2	0,278	
	A8	0,17	0,33	1	1	0,5	1	0,14	1	0,15	0,034	
	A9	0,5	5	6	6	5,5	5	0,5	6	1	0,210	
K4	A1	1	0,2	0,5	0,33	0,2	0,15	0,25	0,5	1	0,033	0,0301
	A2	5	1	3	3	0,5	1	1	2	4	0,162	
	A3	2	0,33	1	0,5	0,25	0,33	2	1	3	0,077	
	A4	3	0,33	2	1	0,33	0,5	1	2	2	0,093	
	A5	5	2	4	3,03	1	1	3	4	5	0,236	
	A6	6	1	3	2	1	1	3	4	5	0,206	
	A7	4	1	0,5	1	0,33	0,33	1	2	3	0,097	
	A8	2	0,50	1	0,5	0,25	0,25	0,5	1	2	0,060	
	A9	1	0,25	0,33	0,50	0,2	0,2	0,33	0,5	1	0,036	
K5	A1	1	0,33	0,17	0,33	0,17	0,17	1	0,33	1	0,033	0,0006
	A2	3	1	0,5	1	0,5	0,5	3	1	3	0,100	
	A3	6	2	1	2	1	1	6	2	6	0,200	
	A4	3	1	0,5	1	0,5	0,5	3	1	3	0,100	
	A5	6	2	1	2	1	1	6	2	6	0,200	
	A6	6	2	1	2	1	1	6	2	6	0,200	
	A7	1	0,33	0,17	0,33	0,17	0,17	1	0,33	1	0,033	
	A8	3	1	0,5	1	0,5	0,5	3	1	3	0,100	
	A9	1	0,33	0,17	0,33	0,17	0,17	1	0,33	1	0,033	
K6	A1	1	4	2	5	0,5	1	3	2	0,33	0,126	0,0201
	A2	0,25	1	0,33	2	0,2	0,25	0,5	0,33	0,17	0,034	
	A3	0,5	3,03	1	4	0,33	0,5	2	1	0,25	0,079	
	A4	0,2	0,5	0,25	1	0,17	0,2	0,33	0,25	0,15	0,025	
	A5	2	5	3,03	6	1	2	4	3	0,5	0,195	
	A6	1	4	2	5	0,5	1	3	2	0,33	0,126	
	A7	0,33	2	0,5	3	0,25	0,33	1	0,5	0,2	0,051	
	A8	0,5	3	1	4	0,33	0,5	2	1	0,25	0,079	
	A9	3	6	4	7	2	3	5	4	1	0,286	