

Coğrafi bilgi sistemleri ve çok kriterli karar verme yöntemleri: Hibrit çözüm yaklaşımı ile Siirt örneği

Ertuğrul Yıldız ^{*1} , Fikret Er ² 

¹Siirt Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İşletme Bölümü, Siirt, Türkiye

²Anadolu Üniversitesi, Açıköğretim Fakültesi, Yaygın Öğretim Bölümü, Eskişehir, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Hibrit çözüm yaklaşımı
CBS
ÇKKV
PROMETHEE
RStudio

Araştırma Makalesi

Geliş: 03.01.2023
Revize: 10.04.2023
Kabul: 14.04.2023
Yayınlanma: 19.04.2023



Öz

Hibrit çözüm yaklaşımı olarak sunulan yöntemde coğrafi bilgi sistemlerinin sunduğu çözüm kümesinin ek araştırmalar ile en uygun yer seçimine mecbur bırakılmasına kolaylık sağlamak amaçındadır. Bu kolaylığı çok kriterli karar verme yöntemleri ile sağlamaya çalışmaktadır. Yaklaşımın bir uygulamasını içeren bu çalışmada, güneş enerjisi santrali kurulum yeri seçimi problemi ele alınmıştır. Bu problemin çözümü için gerçek hayat verileri ilgili kurumlardan elde edilerek coğrafi bilgi sistemleri analizleri ArcGIS yazılımında "Overlay Analysis" analiz aracı ile gerçekleştirilmiştir. Çok kriterli karar verme yöntemi olarak seçilen PROMETHEE yöntemi RStudio yazılımının "promethee123" paketi ile gerçekleştirilmiştir. Uygulama sonucunda elde edilen sonuçlar bir kurulum yeri seçimi için, işletme olarak kurulumu ve sürdürülebilirliği için öncelik sıralaması sunmaktadır. Sunulan hibrit çözüm yaklaşımı literatürdeki iki adımlı çözüm arayışının veri kaybını en aza indirerek daha bütüncül bir yaklaşım sunmaktadır.

Geographic information systems and multi-criteria decision analysis: Siirt case with hybrid solution approach

Keywords

Hybrid solution approach
GIS
MCDA
PROMETHEE
RStudio

Research Article

Received: 03.01.2023
Revised: 10.04.2023
Accepted: 14.04.2023
Published: 19.04.2023

Abstract

In the method presented as a hybrid solution approach, it aims to facilitate the solution set offered by geographic information systems to force the selection of the most appropriate location with additional research. It tries to provide this convenience with multi-criteria decision making methods. In this study, which includes an application of the approach, the problem of solar power plant location selection is addressed. For the solution of this problem, real life data were obtained from the relevant institutions and geographic information systems analysis was performed with the "Overlay Analysis" analysis tool in ArcGIS software. The PROMETHEE method, which is selected as a multi-criteria decision making method, has been implemented with the "promethee123" package of RStudio software. The results obtained as a result of the application provide a priority ranking for the selection of an installation site, its establishment as a business and its sustainability. The presented hybrid solution approach offers a more holistic approach by minimizing the data loss of the two-step solution search in the literature.

1. Giriş

İnsanoğlunun var olmasından bugüne kadar düşünme becerisi sayesinde hayatlarının her aşamasında, karşılaştığı karmaşık sorunlarıyla başa çıkma hamlesini karar verme süreci sayesinde ortaya koymuştur. Karşılaşılan durumlar basit veya karmaşık hangi yapıda olursa olsun, kısa veya uzun hangi süre boyunca sürerse sürsün bir karar verme süreci gerektirmektedir.

İnsandaki mantık süreçleri ve düşünme becerisi sayesinde yaşamları boyunca tüm seçimlerinde karar verme süreçleri ile karşı karşıyadır. Her karar kısa ya da uzun süreçlerde sonuca bağlanabilir, ama tüm tercihler bir karar süreci sonucunda gerçekleşmektedir. Günlük yaşamda değerlendirilen bir süreç detaylı düşünmeye gerek görülmebilir. Ancak tüm karar verme süreci insanın affettiği önem ile birlikte, karar problemi ve karar süreci hakkında detaylı biçimde düşünmek ve belirlenecek olan kriterlerin değerlendirilmesi zorunludur (Yıldız, 2017).

Karar verme süreci, her duruma uygulanmayabilir. Karar verme sürecinin gerektiği koşullar bulunmaktadır. Bu koşulların ortaya çıkması durumunda bir karar analizi gereksinimi ortaya çıkar. Bu koşullar; karar vericinin bir problem olduğunun farkında olması, karar verici üzerinde problemi çözmek için bir zorunluluk olması, problem çözümü için birden fazla uygun seçenek olması ve tercih edilebilir seçeneklerde belirsizliklerin var olmasıdır (Aladağ, 2014).

Karar sürecinin takip edilmesi ve ilerleyebilmesi için temel kavramların ve bileşenlerin bilinmesi gereklidir. Bu bileşenlerin birbirleriyle olan ilişkisi; karar verme sürecinde elde edilmesi beklenen amaçlar, amaçları gerçekleştirmek için en az iki seçenek, seçeneklerin uygulanması ile elde edilen birbirinden farklı sonuçlar ve bu sonuçlar neticesinde hangi seçeneğin uygulanması konusunda nihai yargıya ulaşılması olarak özetlenebilir. Nihai yargıya ulaşmayı gerekli kılan tüm durumlar bir karar problemi olarak tanımlanır. Karar problemi, karar teorisinin ve karar verme sürecinin ilk tanımlanması gereken kavramdır (Özdemir, 2016).

Karar problemlerinde karar vericinin, ulaşmak istediği durum ile mevcut durum arasında bir fark oluşabilir. Bu farkı gidermeye yönelik hareket edeceği seçenekleri belirlemesi ve bu seçenekler arasından en uygun olanını seçmesi söz konusudur. Bir karar probleminin elemanları; karar verici, amaç, hedefler ve kriterler, seçenekler, seçeneklerin sonucunu ifade eden doğal durumlar, seçeneklerin gerçekleşme olasılıkları ve sonuçlardır (Aktaş ve ark., 2015).

Karar verici, karar probleminin çözümü için belirlenen seçenekler arasından tercih yapan, verdiği karar neticesinde doğabilecek tüm durumların sorumluluğunu üstlenen ve karar verme sorumluluğunu yerine getiren kişi veya kişilerdir.

Kararın amacı, karar neticesinde neye ulaşılacak istendiğini ve optimum sonuca ulaşmayı ifade eder. Optimum sonuç, kâr yapılı karar problemlerinde de en büyükleme, maliyet yapılı karar problemlerinde de en küçükleme olarak genellenmektedir (Özdemir, 2016).

Kararın hedefi, amaca ulaşmak için yerine getirilmesi gerekenleri, karar kriterleri ise karar seçeneklerinin

hangi bakış açısıyla değerlendirileceğini ifade eder (Lezki, 2016).

Karar seçenekleri/alternatifleri, bir karar probleminde karar vericinin tercih edebileceği farklı hareket biçimleridir. Bu seçeneklerin belirlenmesi ve sayısı karar verici tarafından belirlenir. Bu konudaki en temel şart en az iki seçeneğin olması gerekliliğidir. Her seçeneğin birbirinden farklı değerler alması veya farklı sonuçlara ulaştıracak hareket biçimini kapsamaması ve tüm belirlenen seçeneklerin de karar probleminde uygun olması gerekmektedir (Lezki, 2016; Özdemir, 2016).

Karar sonuçları ise bir seçeneğin karar süreci sonucunda tercih edilmesi ve seçeneğin oluşturacağı doğal durumun etkisiyle ortaya çıkacak olan değerlerdir. Bu değerler, karar vericinin belirlediği birimden olabilir. Bu birim beklenen, tatmin edecek fayda noktası veya eşliği ya da sayısal değerler ile gösterilebilir (Yıldız, 2017).

Tüm bu bilgiler ışığında günlük hayatta bir anlam karmaşası ve belirsizliği söz konusudur. Bu belirsizlik, karar verme bir seçim yapma eylemi, kararsızlık ise bir seçim yapmamaktır. Kararsızlık bir başarısızlık veya yanlış tercih anlamı taşımamaktadır. Kararsızlık da karar süreçlerinin bir parçası olabilmektedir. Kararsızlık yaşanması veya seçim yapılamaması karar sürecinde belirlenen seçeneklerin yeteri kadar bilgi olmamasından kaynaklanabilmektedir. Teorik olarak karar verme durumunda her seçenek için gerekli ve yeterli bilgiyi etmek mümkün görünse de bu durum karar verme sürecinde geri alınamayan ve en büyük maliyet etkenlerinden biri olan zaman probleminde yol açar. Tüm bu sebeplerden dolayı karar verme sürecinde, karar vermeyi kolaylaştıracak yaklaşımlar ve yaklaşımlara göre birçok yöntem bulunmaktadır (Yaraloğlu, 2010).

Çok kriterli karar verme (ÇKKV), karar teorisinin en yaygın olarak kullanılan yöntemlerini içeren bir sınıftır. Birden fazla nitel veya nicel olabilecek karar kriterinin değerlendirilmesini, alternatifler arasından seçim yapılmasını, alternatiflerin gruplandırılmasını veya sıralanmasını sağlayan yöntemler içermektedir. Bu yöntemler optimum alternatifi belirlemeye dayalı karar problemlerinin çözümünde karar vericiye karar vermede farklı bakış açılarıyla yol göstermektedir (Yıldız, 2017).

Çok kriterli karar verme, matematik, yönetim, bilişim, psikoloji, sosyal bilimler ve ekonomiyi kapsayan alan bir disiplindir. Karar verme süreçlerinin gün geçtikçe çeşitlenmesi ve farklı disiplinlerde kullanılan karar verme süreçlerinin bir başka disiplin için de geçerli olabilmektedir. Bu durumun farkındalığı sayesinde yöntemler ve uygulamalar daha da genişlemektedir. Kısıtlı bir alan veya örnek olabilecek tek problem için de birer yöntem geliştirilebileceği gibi, geçerliği geniş kapsamda olan yöntemler de bulunmaktadır. Bu yöntemler, karar vericiye optimum çözümü ya da uzlaşmacı bir çözümü bulmak için basamak ve teknikler sağlamaktadır. Karar vericiyi sürecin merkezinde tutması açısından ayrıcalıklar sunmaktadır.

Çok kriterli karar verme problemlerinde, hedefler ve hedeflere ulaşmayı sağlayacak olan kriterler önem taşır. Bu sebeple hedeflerin belirlenmesinde; karar verici açısından önemli olan konulara, ilgi ve endişelerine, hedeflerin tam açıkladığı unsurlara ve hedeflerin nicel ya

da nitel olabilme özelliklerine dikkat edilmesi gerekmektedir (Hammond ve ark., 1999).

Çok kriterli karar verme analizleri farklı yaklaşımlar ile farklı karar problemlerine yönelik çeşitli yöntemler geliştirilmesine olanak tanımıştır. Bu yaklaşımlar; tam toplama yaklaşımı, hedef, istek veya referans düzeyi yaklaşımı ve üstünlük tabanlı (outranking) yaklaşım olarak üç bölüme ayrılır (Ishizaka ve Nemery, 2013). Tam toplama yaklaşımında, her kriter için bir puan değerlendirilir ve değerlendirilen puanlara son aşamada genel bir puan sentezlemesi yapılarak sonuca ulaşılır. Hedef, istek veya referans düzeyi yaklaşımı, her kriter için bir hedef belirler ve ideal hedef veya referans seviyesine en yakın seçenekleri belirler. Üstünlük tabanlı yaklaşımında, karar sürecinde bir seçeneğe atanan kötü puan, daha iyi bir puan atamasıyla telafi edilememeli bakiş açısıyla çözüm arayışındadır.

Üstünlük tabanlı yaklaşım matematikteki aksiyomatik kuram temelleri olmadığı için sıklıkla eleştirilmiştir. Ancak karar problemi çözümünün nihai kararı, yöntemin matematiksel özellikleriyle değil de ilk problemin özellikleriyle çözüm arandığından emin olma beklentisini üstünlük tabanlı yaklaşımlar açıklayabilir.

Üstünlük tabanlı yöntemlerin kullanılmasına ilişkin bir diğer yaklaşımda, karşılaştırmaları kabul etmeyen yöntemlerin bilginin elde olan yönlerine işaret eden tercih modelleri üzerinde kısıtlı çalıştığını vurgulamaktadır. Karşılaştırılmazlıkları içeren tercih modellerinde kısıtlı kalmak da bazen bilim insanlarına engel olmaktadır.

Üstünlük tabanlı yöntemlerin kullanılmasının beklenildiği durumlar genellikle; en az bir kriter nicel olmadığı durumlarda, farklı kriterlerin birimleri çok heterojen olduğu ve bunları ortak bir ölçekte kodlamanın çok zor veya yapay olduğu durumlarda, bazı kriterlerdeki kazançlar ile diğer kriterlerdeki kayıplar arasındaki farkın telafi edilmesinin zor olduğu durumlarda ve bazı tercih veya veto eşiklerinin dikkate alınması gerektiği durumlardır.

Her yaklaşımın avantajları, dezavantajları ve ilgili uygulama alanları olduğu için yöntemleri karşılaştırmanın pek bir anlamı yoktur. Belirli bir problemle karşı karşıya kalındığında, bilim insanının veya karar vericinin rolü, problemin çözümünde ilerlemek için uygun yaklaşımların ve araçların kombinasyonlarını kullanmaktır. Dolayısıyla üstünlük tabanlı yöntemler diğer yaklaşımları tamamlayıcı rol üstlenen bir yaklaşımdır.

Üstünlük tabanlı yöntemler, bir analiz sonucu her alternatife bir değer belirlemek değil, alternatifler arasındaki üstünlük ilişkisini belirleyen yöntemlerdir. Herhangi bir a alternatifinin bir b alternatifinden daha üstün olduğunu ifade edebilmek için bir kanıt sunulması gerekmektedir. Bu kanıt, araştırılan problemin ve karar vericinin tercihlerine ilişkin mevcut tüm bilgiler göz önüne alınarak sunulmalıdır. Ancak kanıt sunulmadığı tüm durumlarda a 'nın en az b kadar iyi ve güçlü olduğu söylenir (Belton ve Stewart, 2002).

Üstünlük tabanlı yöntemler arasında kullanımının yaygın olduğu bir yöntem ailesi olan PROMETHEE yöntemi, çalışmanın uygulamasında kullanıldığı için yöntemin açıklaması ve adımlarına bu başlık altında yer verilmiştir.

2. Yöntem

2.1. PROMETHEE

PROMETHEE (Preference Ranking Organisation Method for Enrichment Evaluations-Zenginleştirme Değerlendirmeleri için Tercih Sıralama Organizasyonu Yöntemi), alternatiflerin seçim veya sıralama imkânı sağlayan üstünlük tabanlı birçok kriterli karar verme yöntemler ailesidir. 1982 yılında Jean-Pierre Brans tarafından geliştirilerek PROMETHEE I ve PROMETHEE II ayırımı ile iki farklı model olarak tanıtılmıştır. Sonraki yıllarda Brans ve Mareschall tarafından PROMETHEE III, PROMETHEE IV, PROMETHEE V ve PROMETHEE VI sürümleri sunulmuştur.

Tüm PROMETHEE yöntemi ailesinin çeşitlenmesinin sebebi her birinin farklı amaca hizmet etmesidir. Farklı amaç olarak nitelendirilen durumlar ve PROMETHEE yöntemleri;

- PROMETHEE I yöntemi, karar problemindeki alternatiflerin kısmi sıralama sunmasına,
- PROMETHEE II yöntemi, karar problemi alternatiflerinin tam sıralamasının sunulmasına,
- PROMETHEE III yöntemi, aralıkları temel alarak sıralama sunmasına,
- PROMETHEE IV yöntemi, süreklilik içeren durumlar açısından ise kullanılmasına,
- PROMETHEE V yöntemi, kısıtlarında bölümlendirme içermesine,
- PROMETHEE VI yöntemi ise insan beyninin temsilinin yapıldığı çalışma ile farklılaşmaktadır.

Tüm bu çeşitliliği, etkin ve kolay kullanıma sahip olması nedeniyle PROMETHEE yöntemleri tıp, mühendislik, kimya, bankacılık, finans, üretim, tedarik zinciri, turizm, ulaşım ve lojistik, sağlık, işgücü planlaması gibi birçok alanda başarılı çalışmalar sunmuştur.

PROMETHEE yönteminde genel olarak, karşılaştırılan iki alternatiften birinin diğerine mutlak üstün, farksız ya da karşılaştırılmaz olması durumları söz konusudur. Alternatiflerin ikili olarak karşılaştırılmasında unutulmaması gereken temel nokta, tüm kriterler açısından, her iki alternatif arasındaki önceliğin belirtilmiş olması, kriterlere verilen önem derecelerini oranlı ölçek ile belirtilmesi ve kriterlere verilen değerler arasında anlamlı fark bulunması gerekmektedir (De Keyser ve Peeters, 1996).

PROMETHEE I ve II yöntemlerinin adımları çalışmanın uygulama aşamasında kullanıldığı için sadece bu yöntem adımları açıklanacaktır. Yöntemin uygulama adımları aşağıdaki gibidir (Yıldırım ve ark., 2015).

Adım 1: Alternatif, kriter ve kriter ağırlıklarının belirlenmesi adımı, karar matrisinin oluşturulur.

Adım 2: Her kriterin tercih yapısı ve tercih fonksiyonunun belirlenmesi adımı, her kriterin Tablo 1'deki özelliklere ve parametrelere göre tercih fonksiyonu belirlenir.

Adım 3: Tercih indekslerinin ve ortak tercih fonksiyonlarının belirlenmesi adımı, her kriter için saptanan tercih fonksiyonlarından yararlanarak alternatiflerin ortak tercih fonksiyonlarının

oluşturulduğu ve tercih indeksleri belirlenerek kriter ağırlıklarının elde edildiği adımdır.


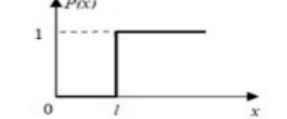
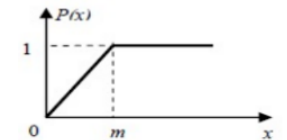
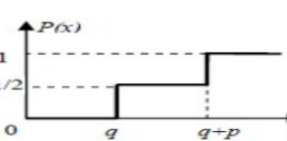

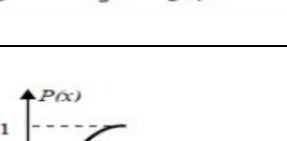
Adım 4: Pozitif ve negatif üstünlük değerlerinin hesaplanması adımı, her alternatifin pozitif ve negatif üstünlük değerleri elde edilir. Bu adım sonunda elde edilen alternatif sıralaması bir kısmi sıralama niteliği taşır ve PROMETHEE I yöntemi tamamlanmış olur.

Adım 5: Net öncelik değerlerinin elde edilmesi adımı, PROMETHEE I yönteminin sınırlılığını gidermek için bir önceki adımda elde edilen pozitif ve negatif üstünlük değerleri ile net üstünlük değerleri elde

edilir. Net üstünlük değerleri her alternatifin pozitif üstünlük değerinden negatif üstünlük değerinin çıkarılmasıyla elde edilir. Elde edilen net üstünlük değerleri büyüklük sıralaması da PROMETHEE II yöntemi çözümünü belirler.

Tablo 1’de sunulan tercih fonksiyonlarından birinin seçimi, karar verici tarafından yapılır. Karar vericinin yapacağı tercih fonksiyonu seçiminde, analiz edilecek veriler ve yöntemin uygulamasındaki bakış açısı önem arz eder. Bu nedenle aynı veriler ile farklı tercih fonksiyonu seçiminde sonuçlar değişebilmektedir.

Tablo 1. PROMETHEE tercih fonksiyonları tablosu

Tercih Fonksiyonu	Fonksiyon Grafiği	Fonksiyon	Parametreler
Olağan Tip (1)		$P(d) = \begin{cases} 0, & d \leq 0 \\ 1, & d > 0 \end{cases}$	–
U Tip (2)		$P(d) = \begin{cases} 0, & d \leq l \\ 1, & d > l \end{cases}$	l
V Tip (3)		$P(d) = \begin{cases} 0, & d \leq 0 \\ \frac{d}{\mu}, & 0 < d < \mu \\ 1, & d > \mu \end{cases}$	μ
Kademeli Tip (4)		$P(d) = \begin{cases} 0, & d \leq q \\ \frac{1}{2}, & q < d < q+p \\ 1, & d > q+p \end{cases}$	q, p
Doğrusal Tip (5)		$P(d) = \begin{cases} 0, & d \leq s \\ \frac{(d-s)}{r}, & s < d < s+r \\ 1, & d > s+r \end{cases}$	s, r
Gaussian Tip (6)		$P(d) = \begin{cases} 0, & d \leq 0 \\ 1 - e^{-\frac{d^2}{2\sigma^2}}, & d > 0 \end{cases}$	σ

2.2. Coğrafi Bilgi Sistemleri

Bilgisayar teknolojilerinin gelişiminin yanı sıra veri sayısının da artışı sayesinde verilerin elde edilmesi, düzenlenmesi, saklanması, analiz edilmesi ve kullanımını kolay ulaşabilmesi için çok sayıda sistemler oluşturulmuştur. Bunlar arasında özellikle planlama, uygulama amacıyla kullanılan sistemlerden birisi de Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS)’dir.

Coğrafi bilgi sistemlerinin kavramsal boyutu ve tarihi düşünüldüğünde, ilk olarak bir sonuç, ürün olan

haritalardan başlamaktadır. 1950’lerden sonra, bilgisayarların kullanımlarının artmasıyla görsel grafikler haline almaya başlamıştır. Bu sayede artık dijital ortamlarda sunulması, taşınması sağlanmıştır. 1960’larda da bilgisayar destek tasarımlar (CAD: Computer Aided Design) sayesinde amaca özel haritaların oluşturulmasına başlanmış olup CAD’ler sayesinde de bilgisayar destekli haritacılık sistemleri tanımlanarak kullanılmaya başlanmıştır. 1970’lerin başından itibaren de bilgisayar destekli haritacılık sistemlerinin kullanımlarının artması ve dolayısıyla veri

boyutlarının artması nedeniyle, veritabanı yönetim sistemleri ile entegre olacak biçimde coğrafi bilgi sistemleri adını alacak tanıma ve içeriğe ulaşmıştır.

Coğrafi Bilgi Sistemlerinin etkinliği göz önünde bulundurulduğunda kullanım alanlarının geniş olması fark edilmektedir. Kısaca kullanım alanları; haritacılık, yer bilimi, şehir planlama, ulaşım planlama, telekomünikasyon, elektrik, doğalgaz ve su şebeke yönetimi, trafik yönetimi, tarım ve orman uygulamaları, afet yönetimi, doğal kaynaklar yönetimi, bankacılık ve sigortacılık, arazi ölçme değerlendirme, varlık yönetimi, belediye, sağlık, eğitim, maden ve sanayi sektörleri ve ekonomidir (Küpçü, 2015). Akademik olarak neredeyse tüm fen, sağlık ve sosyal bilimler kapsamındaki alanlarda kullanımı ve çalışmaları bulunmaktadır.

2.2.1. Coğrafi bilgi sistemlerinde temel kavramlar

Dünya yüzeyinin bir bölümünün mekansal ve öznelik bilgilerini, jeobilim, ekonomi ve ekoloji bulgularıyla tanımlayarak verilerin elde edilmesini, depolanmasını, analiz edilmesini ve görselleştirilmesini sağlayan (Bartelme, 2012; Pick, 2005) coğrafi bilgi sistemleri, mekansal analizlerde her coğrafi özelliğin, ne olduğunu tanımlayan, niteliğinin ne olduğunu belirten ve varsa bir büyüklüğü temsil edilen bir veya daha fazla niteliği vardır. Yapılan analiz türüne göre her coğrafi özelliğin sınıf, sıra, sayı, miktar ve oran türlerindeki öznelikleri farklılaşabilmektedir (Mitchell, 2020).

Mekansal analizlerdeki ayırt edici olan özellik, analiz sonuçlarının nesnelere konumlarına ve niteliklerine bağlı olmasıdır. CBS ve mekansal veri analizi, mekansal veri matrisi ile ilişkilidir. Kavramsal olarak mekansal veri matrisi, satırların vakalara ve sütunların her durumda ölçülen niteliklere atıfta bulunduğu, son sütunların da mekansal referansları sağladığı satır ve sütunlardan oluşan; aynı zamanda analizi gerçekleştiren için başlangıç noktasıdır (Goodchild ve Haining, 2004).

Coğrafi bilgi sistemleri, temel olarak veri toplama, yönetim, analiz ve sunum olarak fonksiyonel dört ana içerik barındırır. Veri toplama fonksiyonunda aktif, pasif algılayıcılar, navigasyon algılayıcı veya uzaktan algılama çeşitleriyle veriler elde edilir. Yönetim fonksiyonunda sistemin güncellenmesi, yapı oluşturulması, koordine edilmesi, verilerin depolanması, kontrol edilmesi, arşivlenmesi ve transfer edilmesi fonksiyonları bulunur. Analiz fonksiyonunda gün geçtikçe yeni ve farklı analizler eklense de geometrik analizler ve topolojik analizler temelinde analiz çeşitleri artmaktadır (Bartelme, 2012).

Bir bilgi sistemi olarak coğrafi bilgi sistemleri, coğrafi olarak nitelendirilen verilerin bir ortamda eşlenerek bir amaç doğrultusunda sorgulanarak analiz edilmesini bir personel aracılığıyla sağlayan bir bilgi sistemidir. Bu nedenle coğrafi bilgi sistemlerinin temelinde beş bileşeni bulunmaktadır. Bu bileşenler mekansal veri, personel, donanım, yazılım ve yöntemdir (Küpçü, 2015).

Bileşenlerden mekansal veri kapsamında istatistiksel veriler, hava fotoğrafları, uydu verileri vb. tüm veriler sayılabilirken bu verilerin genelleştirilmesi vektörel veri ve raster veridir.

Vektörel veri, bilgisayar ortamlarında oluşturulan nokta, çizgi ve poligonlar (eğriler) aracılığıyla koordinat

sistemi üzerinde ifade edilen, başlangıç, bitiş ve aralarındaki tüm noktalarının koordinatlarının gerçek dünya koordinatlarıyla belirli olan veri türüdür. Raster veri ise uydu görüntüleri, hava fotoğrafları veya harita paftaları gibi çıktılarda yer alan verilerin bilgisayar ortamına aktarılması ile oluşturulan resim verileridir. Raster verilerin boyutları ve kalitesi dpi (dot per inch-her inç için nokta sayısı) ile belirtilir. Nokta sayısı arttıkça veri büyüklüğü ve resim kalitesi artar. Vektörel veriler ayrıntıları yakalamak ve depolamak için avantaj sağlarken, raster veriler daha az depolama yeri açısından avantaj sağlamaktadır.

Personel, donanım ve yazılım bileşenleri coğrafi bilgi sistemlerinin belirlenen amaçlar doğrultusunda elde edilen verilerin analizini gerçekleştirmek için yeterli bilgisayar donanımı ile CBS yazılımını çalıştırmasını ve tüm bu işlemlerin de gerçekleşmesini sağlayacak personeli kullanıcısını ifade etmektedir.

Yöntem bileşeni mekansal verilerin hangi amaçla analiz edileceğinin belirlendiği ve analizin gerçekleştirildiği süreci tanımlamaktadır.

Coğrafi bilgi sistemlerindeki temel analizler en geniş haliyle yüzey, yakınlık ve ağ analizleri olmak üzere üç başlık biçiminde sınıflandırılabilir. Bu analizlerin her biri sorgulamalar için kullanılabilen analizlerdir. Yüzey analizleri, sayısal arazi ve sayısal yükseklik modelleri sayesinde, katman haritasındaki iki nokta arasındaki mesafenin hesaplanması, alan ve hacimlerin hesaplanması, eğim açısından kıyaslamaların yapılması, belirlenen bir alanın farklı açılardan görselleştirilmesi ve hatta belirlenen alan üzerinde sanal uçuş yapılabilmesi gibi tüm yüzey bilgilerine göre haritanın incelenmesine olanak sağlar.

Yakınlık analizleri ile bir haritadaki veri türleri olan nokta, çizgi veya poligona mesafe, zaman, miktar vb. yakınlıkları belirlenir. Tampon analizi ile gerçekleştirilen bu analizlerde, belirlenen birime belirlenecek birimdeki yakınlıklar dış sınırları gösterilerek sorgulamalar gerçekleştirilebilir.

Ağ analizleri aracılığıyla en kısa yol, rota belirleme, altyapı çalışmaları, dağıtım yön ve hatları, toplanma noktaları, belirli noktaya yönlendirme, ulaşılabilirlik analizleri gibi analizler gerçekleştirilebilmektedir.

Son yıllarda CBS ile ÇKKV analizleri çoğunlukla enerji kaynakları için kurulum yeri seçim problemleri ile sürdürülebilirlik konularında da bulunmaktadır (Arca ve Keskin Çıttroğlu, 2022; Khorrani ve Kamran, 2022; Sari ve Koyuncu, 2021; Urfalı ve Eymen, 2021). Bu nedenle bu çalışmada da benzer konuda bir uygulama alanı örneklendirilmiştir.

2.3. Hibrit Çözüm Yaklaşımı

Çok kriterli karar analizi ve coğrafi bilgi sistemleri ortak tarihsel açıdan incelendiğinde temelinde yöneylem araştırması ve yönetim biliminin olduğu gözlenmiştir. Yirminci yüzyıldaki coğrafya, kentsel ve bölgesel planlama alanlarındaki araştırmalar coğrafi bilgi sistemleri ile çok kriterli karar analizinin ortak çalışmalarının başladığı ifade edilebilir. Bu temeldeki ilk çalışmalar her iki alana da yeni bakış açıları ve gelişmeler sağlamıştır. Daha sonrasında peyzaj ve mekansal planlamalar alanları ortak çalışmaları artırmıştır. Bu

alandaki ortak çalışmalar, coğrafi bilgi sistemlerinin çakıştırma analizinin temeli olan elde hazırlanan haritaların bindirme tekniklerinde çok kriterli karar analizinin kullanılmasına dayanmaktadır. Özellikle niteliksel ve niceliksel özneliklere göre hazırlanan haritaların bindirme tekniklerinde nihai harita oluşturmada belirsizliği çok kriterli karar analizi ile çözüme ulaştırılmıştır.

Coğrafi bilgi sistemlerinin fayda sağladığı alanlar düşünüldüğünde, tüm farklı çalışma alanlarının birer işletme organizasyonu ve yapısında olduğu fark edilebilir bir sonuçtur. Dolayısıyla coğrafi bilgi sistemlerinin kullanılabilirdiği tüm alanlarda gerek yönetim anlayışı gerek karşılaşılan problemlerin türleri açısından, karar teorisinin ve karar verme süreçlerinin kullanıldığı söylenebilir. Bu sebeplerle ortak çalışma alanlarında kullanımları gün geçtikçe artmaktadır.

Bu çalışmada, söz konusu iki farklı disiplinin ortak çalışmaları gözlemlendiğinde, mevcut çalışma biçimlerine ek olarak yeni bir yaklaşımla da CBS-ÇKKV çalışmalarına farklı bakış açısı kazandırmak için hibrit çözüm önerisi ve uygulaması sunulmaktadır.

Hibrit çözüm yaklaşımı ile iki disiplinin çözüm adımlarını sıralı bir hale dönüştürerek optimum sonuç veya tercih önceliği sıralamasını vermesi amaçlanmaktadır. Coğrafi bilgi sistemlerinin sunduğu sonuçları, optimum veya optimuma en yakın sonuç olarak nitelendirmediği, probleme göre değişmekle birlikte, çoğunlukla bir çözüm adayları kümesi sunmaktadır. Söz konusu bu çözüm adayları kümesindeki her bir seçeneğin ek maliyetlere (zaman, para, personel, araç, ekipman vb.) katlanarak tekrar analiz edilmesi ve hatta yerinde tespit çalışmalarının yapılması dahi söz konusu olabilir. Karar verme yöntemleri de optimum sonuç veya sıralaması ya da sınıflandırmaları biçiminde bir sonuç verdiği bilinmektedir. Bu nedenle coğrafi bilgi sistemlerinin ek araştırma maliyetlerini gidermek veya minimize etmek için karar verme yöntemlerinin kullanımı önem arz etmektedir. Dolayısıyla hibrit çözüm yöntemi iki aşamalı bir çözüm sunmakla birlikte, ilk aşamasını coğrafi bilgi sistemleri yaklaşımları ve ikinci aşamasını da karar verme yöntemleri oluşturmaktadır.

Hibrit çözüm yaklaşımı, ele alınan bir problemin öncelikle coğrafi bilgi sistemleri yaklaşımlarıyla analiz edilerek elde edilen sonuç kümesini, karar verme yöntemlerinin alternatif kümesi olarak kabul ederek ek bir karar verme yöntemi süreci ile çözüme ulaşmayı amaçlamaktadır. Yaklaşımın ikinci kısmında belirlenecek olan karar verme kriterlerine ek olarak bir CBS kriteri eklenmesi gerekmektedir. Çünkü coğrafi bilgi sistemleri sonuçlarının çözüme aday alanlar olmasının yanı sıra birer değeri, puanı veya sınıflandırması da bulunmaktadır. Bu değerler karar verme çözümlerinde yok sayılmaz. Dolayısıyla coğrafi bilgi sistemlerindeki aday çözüm alanları karar verme yöntemlerinde alternatif olarak kabul edilmesine ek olarak alternatif değerlerini coğrafi bilgi sistemlerinde elde edilen aday alanların aldığı değerler, puanlar veya sınıflandırmaları da taşımaktadır. Sonuç olarak hibrit çözüm yaklaşımının ikinci kısmındaki bir karar matrisi [Tablo 2](#)'deki biçimde tanımlanır.

Tablo 2. Hibrit çözüm yaklaşımı ikinci kısım karar matrisi

Alternatif	Kriter 1	Kriter 2	...	Kriter n	CBS
1	D ₁₁	D ₁₂	...	D _{1n}	D _{1CBS}
2	D ₂₁	D ₂₂	...	D _{2n}	D _{2CBS}
...
m	D _{m1}	D _{m2}	...	D _{mn}	D _{mCBS}

Hibrit çözüm yaklaşımının uygulanabilirliğini göstermek için izleyen başlıkta örnek bir uygulama sunulmuştur. Uygulama alanı günümüzde sıklıkla çalışmaları yapılan güneş enerjisi santrali kurulması için alan belirleme çalışmasıdır.

3. Bulgular

Hibrit çözüm yaklaşımının uygulanabilirliğini göstermek adına, Siirt ilinde güneş enerjisi üretim santrali için yer belirleme problemi ele alınacaktır. Ele alınacak problemde, çoğunlukla yapılan uygulamalardaki gibi belirli bir veya daha fazla bölgenin sunulmasının yanı sıra elde edilecek aday bölgelerin bir sıralaması sonucu da sunulacaktır. Buna göre ele alınacak problem, Siirt il siyasi haritası kapsamında, bir güneş enerjisi santrali kurulumu için yerleşim yerleri, göl, baraj vb. su kaynakları, askeri alanlar ve havaalanları dışındaki alanların eğim, baki, yol ve yakınlık durumu, güneşlenme radyasyon haritaları CBS kriterleri olarak değerlendirilecektir. Bu değerlendirme sonucunda uygun alanlar belirlenecektir. Belirlenen uygun alanların ÇKKV yöntemleri için alternatifler olacak, alanların büyüklükleri, alana sığdırılabilecek santral güç büyüklükleri, kurulum maliyetleri, elde edilecek gelirler ve CBS analizi sonucundaki puanlar da kriter olarak değerlendirilecektir. Belirlenen bu kriterlere göre ikili üstünlük yöntemleri ile uygunluk sıralaması elde edilecektir. Problemin tanımı ve belirlenen kriterleri [Tablo 3](#)'de CBS ve ÇKKV analizleri için ayrı ayrı sunulmuştur.

Uygulamanın CBS analizi için Siirt ili siyasi haritası kapsamındaki veriler, Coğrafi Bilgi Sistemleri Genel Müdürlüğü, Harita Genel Müdürlüğü, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Siirt Belediyesi, Siirt İl Özel İdaresi, Siirt Orman İşletme Müdürlüğü, Siirt Meteoroloji İstasyon Şefliği kamu kurum ve kuruluşlarının hem internet sayfalarından hem de akademik çalışmalara izin karşılığı bilgi paylaşımı esasıyla elde edilmiştir. Verilerin düzenlenmesinde ve analizinde CBS analizi için Netcad ve ArcGIS yazılımları, karar verme yöntemlerinin uygulanmasında da MS Excel ve R programlama kullanılmıştır. Uygulamada GES kurulumları için kullanılması gereken verilerin tümü elde edilememiştir. Veri paylaşımına olumlu bakmayan kurum ve işletmelerden dolayı, analiz sadece elde edilen veriler ışığında gerçekleştirilmiştir.

Uygulamanın gerçekleştirileceği Siirt ili siyasi haritası [Şekil 1](#)'de gösterilmektedir. Çevre ve Şehircilik Bakanlığının coğrafi bilgi sistemleri uygulaması olan AtlasPro uygulamasından elde edilen bu harita aracılığıyla Siirt haritasının sayısal verisi elde edilmiş olup sonraki haritalarda sınırları belirlemek için kullanılmıştır.

Tablo 3. CBS ve ÇKKV kriterleri

	CBS	ÇKKV
Sınırlılıklar	Kriterler	Kriterler
Yerleşim Yerleri	Eğim	Alan
Göl, baraj, sulama kanalı, su kaynakları	Baki	Potansiyel kurulum gücü
Askeri alanlar	Yol ve yola uzaklık	Yatırım maliyeti
Havaalanları	Güneşlenme radyasyon potansiyeli	Gelir

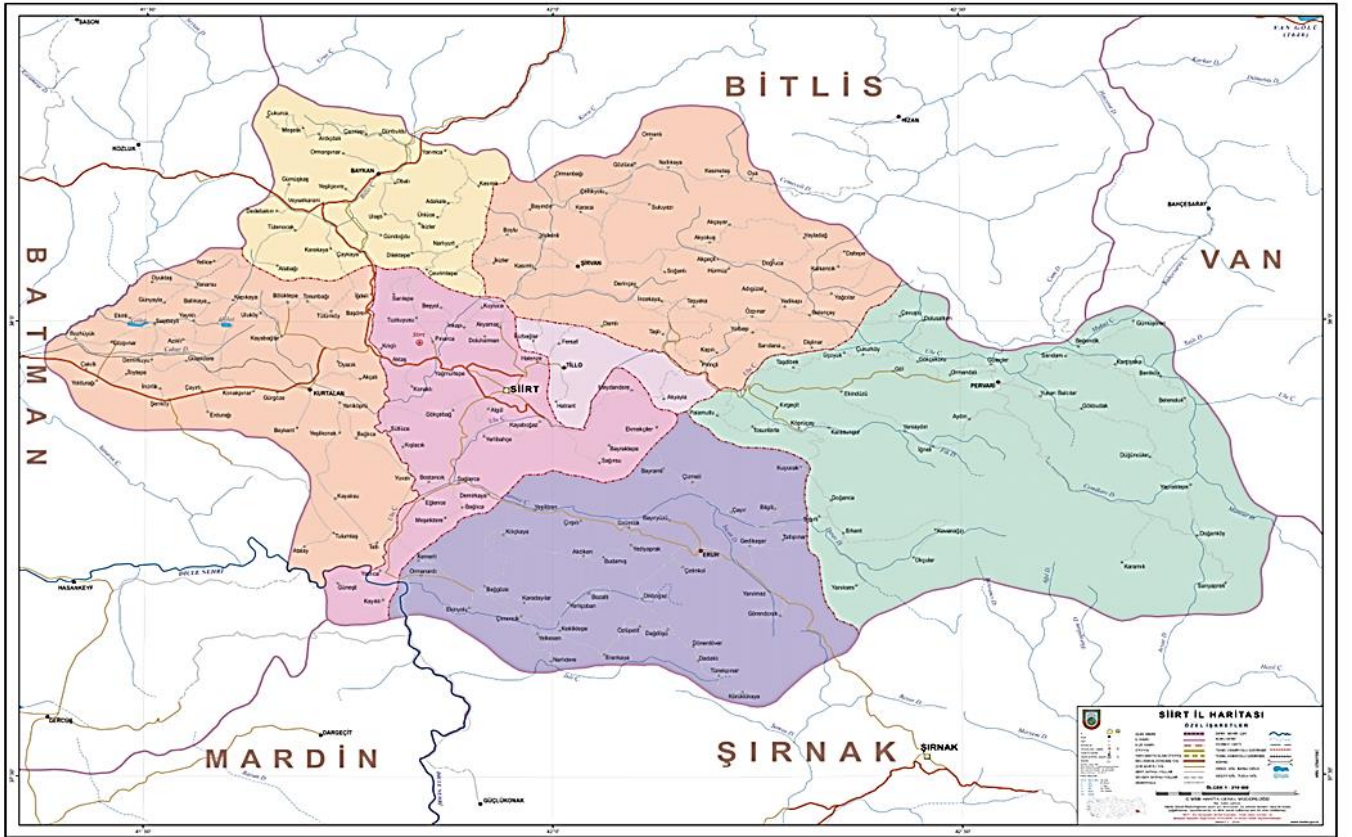
Uygulamada bir güneş enerjisi santrali kurulamayacak alanlar olan, yerleşim yerleri, akarsular, barajlar, göller vb. gibi su kaynakları alanları çıkarılacaktır. Bu nedenle Siirt İl Özel İdaresi ve Siirt Belediyesi tarafından alınan verilerin ArcGIS yazılımında birleştirilmesiyle edilen haritada; il merkezi, ilçe merkezleri ve köy yerleşim yerleri, Siirt İl Özel İdaresi ve Siirt Milli Parklar Koruma Şube Şefliğinden alınan veriler ile akarsu ve baraj gölleri haritası elde edilerek analizde kullanılacak alanlardan çıkarılacaktır.

Bu kısıtlamalar altında güneş enerjisi santrali için uygun yerlerin belirlenmesinde kullanılacak olan eğim, baki, yola uzaklık ve güneş radyasyon haritaları da oluşturulmuştur. Bu haritalar Siirt Orman İşletme Müdürlüğünden alınan verilerin altlık olarak kullanılmasıyla elde edilmiştir. İlgili haritalar; eğim

haritası, baki haritası, yollar ve yola yakınlık haritası ve güneşlenme radyasyon haritalarının elde edilmesiyle çakıştırma analizi uygulanmıştır.

Analizde yıllık ortalama güneş radyasyon değerleri de kullanılacak olup Siirt ilinin haritası Meteoroloji Genel Müdürlüğü internet sitesinden alınmış olup, alınan harita görüntüsü ArcGIS yazılımında sayısallaştırılarak analizde kullanılmıştır.

Elde edilen tüm haritalar Tablo 4'deki sınıflandırma aralıkları dikkate alınarak, katmanlara herhangi bir ağırlıklandırma atanmadan çakıştırma analizi yapılmıştır. Çakıştırma analizi ArcGIS'de "Analysis Tools" içerisindeki "Overlay" analiz aracıyla yapılmıştır. Çakıştırma analizi sonucunda elde edilen her bir poligonun sınıflandırmadaki aralığının belirlenebilmesi için, sınıf aralıklarına farklı asal sayılar verilmiştir.

**Şekil 1.** Siirt ili siyasi haritası

Asal sayı atamaları oluşturulan tabloların (Tablo 4-7) alt satırlarında 'Atama' satırı olarak sunulmuştur.

Tablo 4. Eğim haritası sınıflandırma tablosu

Katman	Sınıflandırma	0-3	3-5	5-10	<10
Eğim Haritası (%)	Aralık	23	19	17	13
	Atama	23	19	17	13

Asal sayı atamalarına göre çakıştırma analizi yapılırken, tüm sınıflandırmalara ek olarak eğim ve baki haritalarından ek bir katman oluşturulmuştur. Bu ek katman, literatürde eğimin %10'dan büyük ve K-KD-KB yönlerine bakan alanların güneş enerjisi sistemlerindeki verimliliğin düşük olacağı genel kanısına göre oluşturulmuştur. Dolayısıyla baki K-KD-KB

yönlerinde %10'ten fazla eğimli alanlar çalışmaya dahil edilmemiştir.

Tüm bu kriterlere göre oluşturulan katmanlar herhangi bir ağırlık ataması olmadan çakıştırma analizi ile Şekil 4.2.'deki nihai harita sonucu elde edilmiştir. Nihai haritadan 41847, ... ,368621 kodlarıyla temsil

edilen 128 farklı renklendirme ve her bir rengin temsil ettiği farklı büyüklükteki alanlar gözlenebilir. Söz konusu bu 128 renkteki farklı alanlar modelin ikinci aşamasında çok kriterli karar verme analizinin alternatiflerini oluşturacaktır.

Tablo 5. Bakı haritası sınıflandırma tablosu

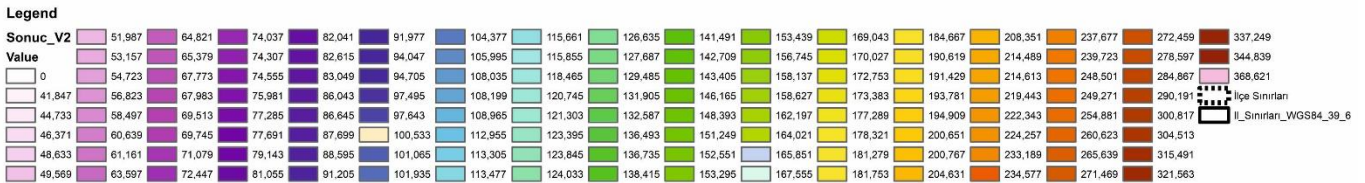
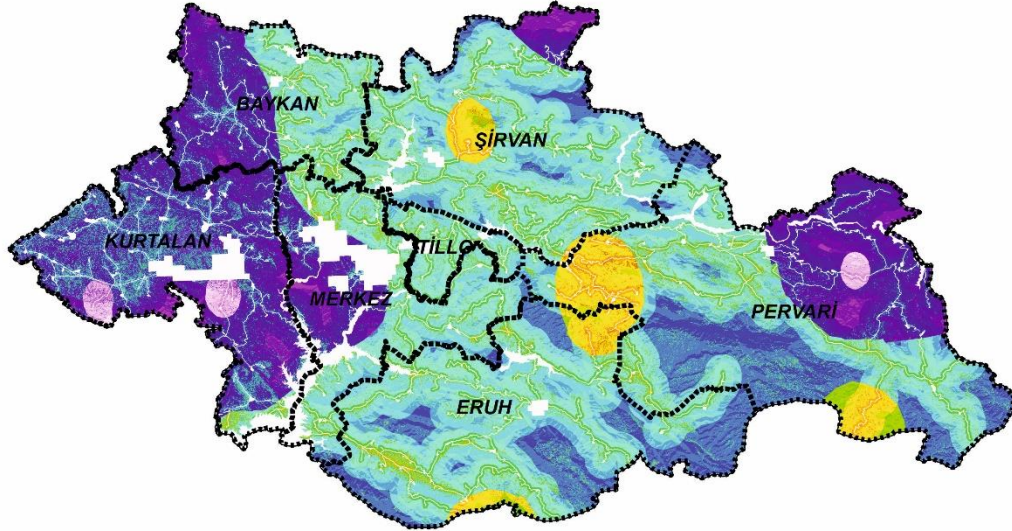
Katman	Sınıflandırma										
	Yön	Düz	K	KD	D	GD	G	GB	B	KB	K
Bakı Haritası (Yön-Açı)	Aralık	(-)	(0-22,5)	(22,5-67,5)	(67,5-112,5)	(112,5-157,5)	(157,5-202,5)	(202,5-247,5)	(247,5-292,5)	(292,5-337,5)	(337,5-360)
Atama	31	29	29	31	31	31	31	31	31	29	29

Tablo 6. Yol haritası sınıflandırma tablosu

Katman	Sınıflandırma			
Yola Uzaklık Haritası (m)	Aralık	500-1000	1000-3000	3000-5000
Atama	47	43	41	37

Tablo 7. Güneşlenme haritası sınıflandırma tablosu

Katman	Sınıflandırma					
Güneş Radyasyon Haritası (kW/h)	Aralık	4.81-4.90	4.91-5.00	5.01-5.10	5.11-5.20	5.21-5.30
Atama	2	3	4	7	11	



Şekil 2. Çakıştırma analizi sonucu

Şekil 2'deki nihai harita incelendiğinde 5 adet gruplandırma olduğu gözlenmektedir. Bu gruplandırmalar atanan asal sayıların çarpımlardan elde edilen 128 sonucun büyüklük sıralamasına göre

gruplandırmak yerine elde edilen sayıların en büyük ortak bölen sayılarına göre belirlenerek Şekil 3'teki harita elde edilmiştir. Bu tür gruplandırmanın tercih edilmesinin nedeni eğim ve bakı katmanlarına ek katman

oluşturma nedeni ile ilişkilidir. Atanan asal sayı çarpımlarının büyüklüklerine göre sıralama yapıldığında, örneğin %5 eğim ve K-KD-KB yönlerindeki alanların, %10 eğim ve Düz-D-GD-G-GB-B baki yönlerinden daha yüksek değerde enerji üretimine uygun olacağı sonucu algılanabilir. Bu sonuç gerçekte uygun olup olmayacağı ek farklı analizler ile yapılması gerektiği için asal sayı çarpım büyüklüklerine göre gruplandırma yapmak yerine, çarpımların en büyük ortak bölen sayılarına göre gruplandırma tercih edilmiştir. En büyük ortak bölenlerine göre gruplandırma işleminin tercih edilmesinin nedeni, sınıflandırmada benzeştiği katman açısından değerlendirilerek, alanın en iyi sonuç verdiği katman ile analize fayda sağlaması beklentisidir. Bu beklentiyi de matematiksel olarak en büyük ortak bölen ile gruplandırma sağlamaktadır.

En büyük ortak bölen değerlerine göre yapılan bu gruplandırmada, Şekil 4'teki gösterildiği gibi grup isimlendirmeleri I-II-III-IV-V aralığında yeniden düzenlenerek, çok kriterli karar verme yöntemi analizinde kullanılması için sırasıyla 3-5-7-9-11 puanları verilerek CBS kriterinin puan sınıflandırması katmanı oluşturulmuştur.

Hibrit çözüm yaklaşımının ikinci aşaması problem durumunun çözümüne en uygun çok kriterli karar verme yönteminin seçimi ile gerçekleştirilecektir. Karar modeli oluşturulurken belirlenen kriterler alan, üretim potansiyeli, kurulum maliyeti, satış geliri ve CBS puanıdır.

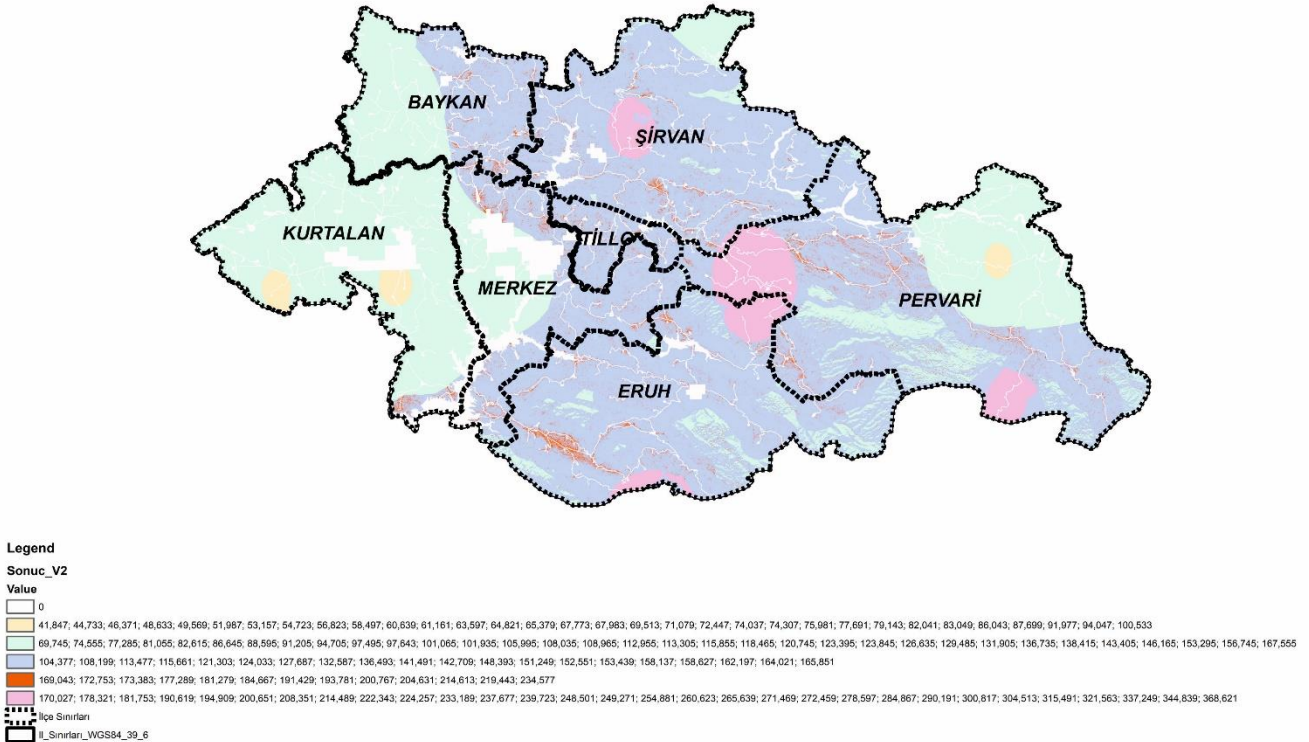
Alan kriteri CBS analizinde renklendirmeler farklılaşan alanların toplamını ifade eder. Üretim potansiyeli de belirlenen toplam alanlara kurulması muhtemel yaklaşık potansiyel gücü temsil etmektedir. Kurulum maliyeti kriteri de potansiyel güç ve alan kriterleri değerleri ile ilişkili olarak yaklaşık maliyeti

göstermektedir. Satış geliri kriteri de potansiyel güç üretiminden elde edilebilecek miktarı belirtmektedir. CBS puanı kriteri ise CBS analizi ile elde edilen alanların karar verici tarafından potansiyelini sayısallaştıracak puan atamasını ifade eder. Tüm bu belirlenen kriterler ile CBS analizinde elde edilen 128 farklı bölge karar alternatifi olarak kabul edilerek karar verme yöntemleri ile analiz edilecektir.

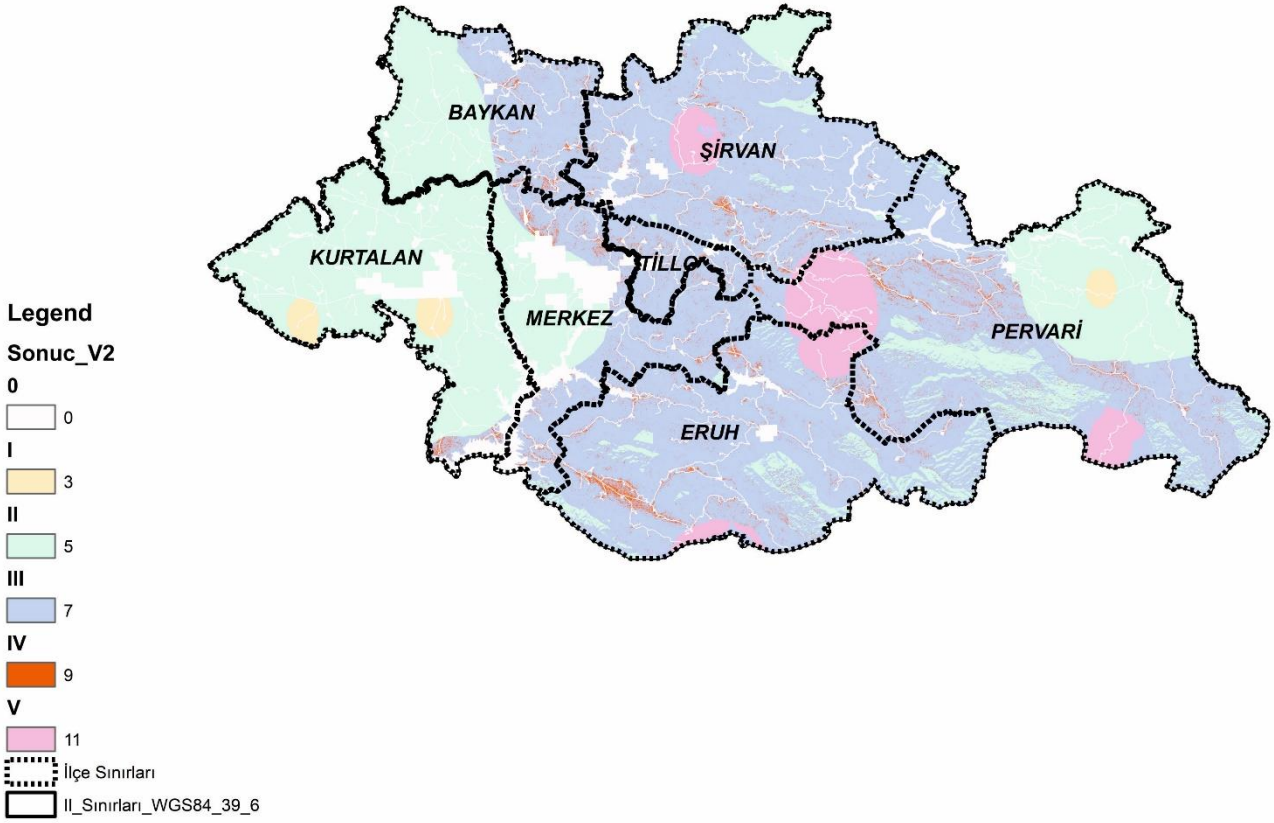
Analizde kullanılacak karar verme yönteminin belirlenmesinde karar verici olarak PROMETHEE ve ELECTRE yöntemleri belirlenmiştir. Ancak karar verme yöntemlerinin seçiminde kolaylık sağlayan bir seçim aracı da kullanılmıştır. Bu seçim aracı [Wałtróbski ve ark., \(2019\)](#) tarafından yapılan karar verme yöntemi seçme aracıdır. Bu araçtaki ilgili yerlere karar modelinin, ağırlıkları miktar ağırlıklı ve tercih belirsizliği olan kriterler ile sıralama ve seçim problemi olarak tanımlanarak PROMETHEE yöntemi sonucuna ulaşılmıştır. Bu nedenle çalışmada PROMETHEE yöntemi uygulanmıştır.

PROMETHEE yöntemlerini kullanmak için MS Excel ve R programlama dili (RStudio yazılımı) tercih edilmiştir. Buna göre ilk önce karar matrisi, Tablo 8' deki gibi oluşturulmuştur.

Karar matrisi elde edilirken alternatifler, CBS analizi sonucunda elde edilen 128 bölge seçilmiştir. Kriterler ve alacağı değerler için ise şimdiye kadar kurulmuş olup faaliyette olan güneş enerjisi santrallerinin fizibilite raporları ve santral kurulumu yapan işletmelerin raporları incelenmiştir. Elde edilen raporlardan mevcut santrallerin kapsadığı alanlar, kurulu güç büyüklükleri, yatırım maliyetleri, mevcut satış gelirleri verileri sayesinde istatistiksel veriler elde edilmiştir. Bu sayede alternatiflerin alacağı değerler elde edilerek karar matrisi oluşturulmuştur.



Şekil 3. CBS sonuç gruplandırması



Şekil 4. CBS kriteri puan sınıflandırması

Alan kriteri için bölgelerin toplam kapsadığı m² belirlenmiştir. Potansiyel üretim gücü değerleri, güneş enerjisi santrallerinin kurulu kW ve kurulu m² oranlaması yapılarak belirlenmiştir. Bu oranlama 48 mevcut kurulu normal ve çatı tipi güneş enerjisi santralleri fizibilite raporları incelenerek elde edilmiştir. İncelemede farklı üretim kapasitesinde ve farklı markaların güneş panelleri olduğu için çoğunlukta olan 21 adet 395 kWp'lık panellerin raporları ile oran belirlenmiştir. Benzer biçimde 1 MW enerji üretimi için gerekli alan hesaplamasında da aynı raporlar incelenerek 4444 m² ile 5057 m²'lik büyüklükteki alanlar olduğu tespit edilmiş olup tüm raporların kartilleri belirlenerek alan ve potansiyel güç ilişkili hesaplamalar elde edilmiştir. Benzer biçimde yatırım maliyeti hesaplaması için raporlar incelendiğinde ortalama birim maliyetin 430-630 USD aralığında olduğu gözlenmiştir. Dolayısıyla alternatiflerin alacağı değerler 1MW potansiyel güç için kurulması gereken malzemelerin hesaplanmasında da sınıflandırma yapılarak farklı birim maliyet çarpanları ile maliyet kriteri değerleri belirlenmiştir. Enerji satışından elde edileceği tahmin edilen gelir miktarı 30.01.2021 tarihli Resmi Gazete ilamı ile 01.07.2021-31.12.2025 tarihleri arasında YEK (Yenilenebilir Enerji Kurulu) belgeli enerji üretim tesisleri fiyatlarının belirlenmesi ilişkin bilgiler paylaşılmıştır. Analizin yapıldığı dönem itibarıyla birim kWp satış geliri 0,81 TL kullanılarak hesaplanmıştır.

PROMETHEE yönteminin uygulaması için "promethee123" paketinin istediği verilere göre **Tablo 7** oluşturulmuştur.

RStudio içerisinde PROMETHEE yönteminin uygulamalarının kullanılmasını sağlayan hazır kütüphane 'promethee123' paketleridir. İlgili paket

kütüphaneden yüklendikten sonra istenilen veri girişleri, yazılım diline uygun olarak yapılmıştır. PROMETHEE yönteminin uygulanmasında kullanılacak olan 'promethee123' paketinin istediği veriler ise alternatifler, kriterler, karar matrisi, kriter ağırlıkları, kriterlerin veri tipleri (normalizasyon fonksiyonu), kriter ölçütleri (min/max), her bir kriter için tercih eşik değeri, farksızlık eşik değeri, veto eşik değerleridir.

Tüm girdiler eklendikten sonra RStudio aracılığıyla PROMETHEE yönteminin çıktılarını **Tablo 9**'deki gibi elde edilmiştir. **Tablo 9**'deki 'No' sütunu **Tablo 8**'deki karar matrisinde yer alan alternatif kodlarının sıra numaralarını, 'Alternatif' sütunu alternatiflerin kodlarını ve 'Rank' sütunu da PROMETHEE yöntemi sonucuna göre alternatiflerin rank sıralarını ifade etmektedir.

Tablo 9'da sunulan, PROMETHEE yönteminin sonuçları incelendiğinde 128 farklı alternatifin sıralaması gözlenmektedir. Bu yeni sıralamalara göre ilk iki ve son dokuz rank sıralaması alternatiflerin büyüklük sıralamalarıyla benzerlik gösterdiği fark edilebilir. Dolayısıyla problemin yapısı olan tercih sıralaması belirlenmesi amacına göre ilk tercih edilebilecek alternatifler, alan büyüklüklerine göre alternatif sıralamasındaki potansiyel elektrik gücünün de fazla olmasından dolayı ilişkili olarak yorumlanabilir ve bu nedenle birlikte öncelikli tercih edilebilir. Ancak alternatiflerin büyüklük sıralamasının tüm alternatifler için değerlendirilmesinde, 117 alternatifin en az 1 ve en fazla 120 birimlik sıralama değiştirdiği de bilinmektedir. Bu nedenle, öncelikli tercihin alan büyüklüğüne göre tercih edilmesi değil, tüm kriterlerin birlikte değerlendirilerek PROMETHEE sonucuna göre rank sıralamasının anlamlı bir bakış açısıyla çözüm sunduğu fark edilmektedir.

Tablo 7. RStudio PROMETHEE uygulaması verileri

Girdiler	Açıklamalar
Alternatifler	Alternatif Kodu sütununun değerleri birer alternatif ismi olarak belirlendi.
Kriterler	Kriterler satırı başlıkları sırasıyla, "Alan, BirimPotansiyel, KurulumMaliyet, SatışGeliri, CBSPuanı" olarak tanımlandı.
Karar Matrisi	Alternatiflerin kriterlere göre aldığı değerler, sütun öncelikli olarak eklendi.
Kriter Ağırlıkları	Kriterlerin ağırlıkları sırasıyla, "0.15, 0.20, 0.25, 0.25, 0.15" olarak belirlendi.
Kriterlerin Veri Tipleri	PROMETHEE yönteminin 2. adımındaki Tablo 3.1.'deki türlere göre seçim yapıp, her bir kriter için sırasıyla "5,5,5,5,3" olarak belirlendi.
Kriter Ölçütleri	Kriterlerin yönü sırasıyla, "max, max, min, max, max" olarak belirlendi.
Tercih Eşik Değerleri	Her bir kriter için sırasıyla, "40000000, 8000, 3600000, 6500, 7" olarak belirlendi.
Farksızlık Eşik Değerleri	Her bir kriter için sırasıyla, "900000000, 180000, 77000000, 145000, 13" olarak belirlendi.

Tablo 8. Karar matrisi

No	Kod	Alan (m ²)	Potansiyel (MW/m ²)	Maliyet (1000 USD)	Gelir (1000 TL)	CBS Puanı
1	41847	592,960.87	118.59	60,482.01	96.06	3
2	44733	1,276,687.02	255.34	130,222.08	206.82	3
3	46371	5,459,677.72	1,091.94	545,967.77	884.47	3
4	48633	14,397,299.41	2,879.46	1,439,729.94	2,332.36	3
5	49569	4,790,667.95	958.13	488,648.13	776.09	3
6	51987	12,645,532.16	2,529.11	1,264,553.22	2,048.58	3
7	53157	4,219,096.18	843.82	430,347.81	683.49	3
8	54723	54,578.89	10.92	6,440.31	8.84	3
9	56823	4,398,122.46	879.62	448,608.49	712.50	3
10	58497	66,179.23	13.24	7,809.15	10.72	3
...
...
...
124	315491	484,928.96	96.99	52,372.33	78.56	11
125	321563	768,256.32	153.65	78,362.14	124.46	11
126	337249	1,652,123.46	330.42	168,516.59	267.64	11
127	344839	280,676.33	56.14	30,313.04	45.47	11
128	368621	934,958.66	186.99	95,365.78	151.46	11

Tablo 9. RStudio ile PROMETHEE analiz sonucu rank sıralamaları

No	Alternatif	Rank	No	Alternatif	Rank	No	Alternatif	Rank	No	Alternatif	Rank
58	121303	1	121	290191	33	70	141491	65	4	48633	97
53	113477	2	116	265639	34	76	152551	66	6	51987	98
66	132587	3	112	248501	35	71	142709	67	3	46371	99
54	115661	4	127	344839	36	80	158137	68	5	49569	100
46	104377	5	111	239723	37	36	88595	69	9	56823	101
34	86645	6	107	224257	38	26	77285	70	7	53157	102
49	108199	7	122	300817	39	24	74555	71	13	63597	103
42	97643	8	117	271469	40	52	113305	72	2	44733	104
95	190619	9	31	82615	41	47	105995	73	17	67983	105
29	81055	10	89	173383	42	77	153295	74	38	91977	106
61	124033	11	104	214613	43	19	69745	75	18	69513	107
91	178321	12	90	177289	44	60	123845	76	20	71079	108
102	208351	13	109	234577	45	55	115855	77	1	41847	109
93	181753	14	94	184667	46	62	126635	78	23	74307	110
87	170027	15	97	193781	47	85	167555	79	11	60639	111
98	194909	16	100	200767	48	56	118465	80	43	100533	112
113	249271	17	101	204631	49	48	108035	81	14	64821	113
108	233189	18	92	181279	50	44	101065	82	25	75981	114
118	272459	19	86	169043	51	72	143405	83	33	86043	115
126	337249	20	105	219443	52	73	146165	84	35	87699	116
110	237677	21	88	172753	53	69	138415	85	27	77691	117
114	254881	22	96	191429	54	64	129485	86	16	67773	118
106	222343	23	40	94705	55	79	156745	87	32	83049	119
119	278597	24	81	158627	56	57	120745	88	21	72447	120
128	368621	25	74	148393	57	41	97495	89	39	94047	121
115	260623	26	83	164021	58	51	112955	90	30	82041	122
125	321563	27	67	136493	59	65	131905	91	10	58497	123
103	214489	28	82	162197	60	37	91205	92	8	54723	124
99	200651	29	63	127687	61	68	136735	93	28	79143	125
123	304513	30	75	151249	62	50	108965	94	15	65379	126
124	315491	31	84	165851	63	45	101935	95	12	61161	127
120	284867	32	78	153439	64	59	123395	96	22	74037	128

4. Tartışma ve sonuçlar

Sayısal olarak geniş bir literatüre sahip olan karar verme yöntemleri ile coğrafi bilgi sistemleri alanlarında bazı yöntemler üzerinde genelleşmeye gidildiği gözlenmektedir. Belli bazı yöntemlere bağlı kalmamak adına, karar verme yöntemlerinin çokluğu ve etkinliği sayesinde, ortak literatüre katkı sağlayacak bir yol izlenmesi için hibrit çözüm yaklaşımı sunulmuştur. Bu yaklaşım sayesinde farklı birer disiplin olan karar verme yöntemleri ile coğrafi bilgi sistemlerinin analiz adımları değişmeden, bir sıra izleyecek biçimde uygulanması hem veri kaybını önlemekte hem de uygulama alanlarını genişletmektedir.

Uygulaması ve adımları sunulan hibrit çözüm yaklaşımı, mevcut literatürdeki çalışmalardan farklı olarak çözüm arayışında veri kaybını en aza indirmektedir. Mevcut çalışmalarda karar verme yöntemlerinin sadece ölçeklendirme kullanımlarıyla kısıtlı kalma durumu söz konusudur. Ancak hibrit çözüm yaklaşımı adımları en uygun yöntemin uygulamasına imkân sağlayarak optimum sonuca yaklaştırır. Bu sayede ele alınan probleme bütüncül bir bakış kazandırır. Yaklaşımın literatür katkısı, en açıkça Hariz ve ark., (2017); Inamdar ve ark., (2018); Çetinkaya ve ark., (2018); Farooq ve ark., (2019); Marques-Perez ve ark., (2020); Wu ve ark., (2020) ve Hamadouche ve ark., (2020) çalışmalarındaki çözüm arayışı eksikliklerine sağladığı fayda ile gözlemlenebilir. Bu çalışmalarda ele alınan probleme çözüm arayışı hibrit çözüm yaklaşımındaki gibi iki adımlı olarak gerçekleştirilmiştir. Literatürde başarılı olarak yer edinen bu çalışmalar sayesinde iki adımlı çözüm arayışının etkinliği vurgulanmıştır. Ancak bu çalışmalarda veri kaybı nedeniyle kısıtlı çözümler sunulmuştur. Sağladığı iki adımlı çözüm arayışının etkinliğinin yanı sıra hem veri kaybını önlemek hem de kısıtlı alanlar ile analizlerin tekrarlanması maliyetini hibrit çözüm yaklaşımı sunmaktadır.

Yaklaşımın uygulamasında seçilen örnek problem sadece coğrafi bilgi sistemleri analizleri ile incelenecek olsaydı, belirlenecek olan bir alanın bir güneş enerjisi santrali için uygunluğu elde edilebilecekti. Ancak hibrit çözüm yaklaşımı sayesinde hem Siirt ilindeki tüm alanlar hem de karar verme yöntemlerinin etkinliği kullanılarak en uygun alanlar sıralaması elde edildi. Bu sayede, bir GES yatırımının sadece üretim potansiyeli açısından değil, işletme mantığı ile ekonomi, zaman, emek maliyetlerinin ve beklenen karın analizde yer alması sağlandı. Dolayısıyla hibrit çözüm yaklaşımı, çok kriterli karar verme yöntemleri ve coğrafi bilgi sistemleri ortak literatürün gelişmesinde yenilik sunmaktadır.

Bilgilendirme/Teşekkür

Makale, Ertuğrul Yıldız'ın Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı, Sayısal Yöntemler Bilim Dalındaki doktora tezinden üretilmiştir.

Araştırmacıların katkı oranı

Ertuğrul Yıldız: Literatür taraması, Veri toplama, Modelleme, Makale yazımı; **Fikret Er:** Düzenleme, Makale yazımı

Çatışma Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynakça

- Aktaş, R., Doğanay, M. M., Gökmen, Y., Gazibey, Y., & Türen, U. (2015). *Sayısal Karar Verme Yöntemleri* (1st ed.). Beta Basım A Ş.
- Aladağ, Z. (2014). *Karar Teorisi* (2nd ed.). Umuttepe.
- Arca, D., & Çıtıroğlu, H. K. (2022). Güneş enerjisi santral (GES) yapım yerlerinin CBS dayalı çok kriterli karar analizi ile belirlenmesi: Karabük örneği. *Geomatik*, 7(1), 17-25. <https://doi.org/10.29128/geomatik.803200>
- Bartelme, N. (2012). Geographic Information. In W. Kresse ve D. M. Danko (Eds.), *Springer Handbook of Geographic Information* (pp. 145–174). Springer Science & Business Media.
- Belton, V., & Stewart, T. (2002). *Multiple criteria decision analysis: an integrated approach*. Springer Science & Business Media. <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-1495-4>
- Çetinkaya, C., Kabak, M., Erbaş, M., & Özceylan, E. (2018). Evaluation of ecotourism sites: a GIS-based multi-criteria decision analysis. *Kybernetes*, 47(8), 1664-1686. <https://doi.org/10.1108/K-10-2017-0392>
- De Keyser, W., & Peeters, P. (1996). A note on the use of PROMETHEE multicriteria methods. *European journal of operational research*, 89(3), 457-461. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(94\)00307-6](https://doi.org/10.1016/0377-2217(94)00307-6)
- Farooq, A., Xie, M., Stoilova, S., & Ahmad, F. (2019). Multicriteria evaluation of transport plan for high-speed rail: An application to Beijing-Xiongan. *Mathematical Problems in Engineering*, 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/8319432>
- Goodchild, M. F., & Haining, R. P. (2004). GIS and spatial data analysis: Converging perspectives. *Papers in Regional Science*, 83(1), 363-385. <https://doi.org/10.1007/s10110-003-0190-y>
- Hamadouche, M. A., Daikh, F. Z., Chrair, M., Anteur, D., Fekir, Y., & Driss, M. (2020). Erosion sensitivity mapping using GIS-based multicriteria analysis—case study of the semiarid Macta watershed, North-West of Algeria. *Arabian Journal of Geosciences*, 13, 1-15. <https://doi.org/10.1007/s12517-020-05616-z>
- Hammond, J. S., Keeney, R. L., & Raiffa, H. (1999). *Smart Choices : A Practical Guide to Making Better Decisions*. Harvard Business School Press.
- Hariz, H. A., Dönmez, C. Ç., & Sennaroglu, B. (2017). Siting of a central healthcare waste incinerator using GIS-based Multi-Criteria Decision Analysis. *Journal of Cleaner Production*, 166, 1031-1042. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.08.091>

- Inamdar, P. M., Sharma, A. K., Cook, S., & Perera, B. J. C. (2018). Evaluation of stormwater harvesting sites using multi criteria decision methodology. *Journal of Hydrology*, 562, 181-192. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.04.066>
- Ishizaka, A., & Nemery, P. (2013). *Multi-criteria decision analysis: methods and software*. John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781118644898>
- Khorrami, B., & Kamran, K. V. (2022). A fuzzy multi-criteria decision-making approach for the assessment of forest health applying hyper spectral imageries: A case study from Ramsar forest, North of Iran. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 7(3), 214-220. <https://doi.org/10.26833/ijeg.940166>
- Küpçü, S. (2015). Temel Kavramlar. In A. Çabuk ve H. Uyguçgil (Eds.), *Coğrafi Bilgi Sistemleri* (pp. 2-49). Anadolu Üniversitesi Basımevi.
- Lezki, Ş. (2016). Kararın Temelleri. In H. Durucasu (Ed.), *İşletmelerde Karar Verme Teknikleri* (pp. 2-25). Anadolu Üniversitesi Basımevi.
- Marques-Perez, I., Guaita-Pradas, I., Gallego, A., & Segura, B. (2020). Territorial planning for photovoltaic power plants using an outranking approach and GIS. *Journal of Cleaner Production*, 257, 120602. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120602>
- Mitchell, A. (2020). *The Esri Guide to GIS Analysis Volume 1: Geographic Patterns and Relationships* (Second Edi). Esri Press.
- Özdemir, A. (2016). Karar Süreci. In Ş. Lezki (Ed.), *Karar Modelleri* (pp. 2-17). Anadolu Üniversitesi Basımevi.
- Pick, J. B. (2005). *Geographic Information Systems in Business*. Idea Group Publishing.
- Sarı, F., & Koyuncu, F. (2021). Multi criteria decision analysis to determine the suitability of agricultural crops for land consolidation areas. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 6(2), 64-73. <https://doi.org/10.26833/ijeg.683754>
- Urfalı, T., & Eymen, A. (2021). CBS ve AHP yöntemi yardımıyla Kayseri İli Örneğinde rüzgâr enerji santrallerinin yer seçimi. *Geomatik*, 6(3), 227-237. <https://doi.org/10.29128/geomatik.772453>
- Wańróbski, J., Jankowski, J., Ziembra, P., Karczmarczyk, A., & Zioło, M. (2019). Generalised framework for multi-criteria method selection. *Omega*, 86, 107-124. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.omega.2018.07.004>
- Wu, Y., Liu, F., Huang, Y., Xu, C., Zhang, B., Ke, Y., & Jia, W. (2020). A two-stage decision framework for inland nuclear power plant site selection based on GIS and type-2 fuzzy PROMETHEE II: Case study in China. *Energy Science & Engineering*, 8(6), 1941-1961. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/ese3.640>
- Yaraloğlu, K. (2010). *Karar Verme Yöntemleri*. Detay Yayıncılık.
- Yıldırım, B. F., Önder, E., Can, M., Turan, G., Önder, G., Kuzu, S., Özdemir, M., Şahin, S., Dađ, S., Savaş, F., Önay, O., Burgazođlu, H., Sarul, L. S., Erdem Demirtaş, Y., Akal, Ş., & Çelikbilek, Y. (2015). *Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri* (B. F. Yıldırım ve E. Önder (eds.); 2nd ed.). DORA.
- Yıldız, E. (2017). *Çok Kriterli Karar Verme Problemlerinde İkili Üstünlük Algoritmaları: Grişimci ve Yenilikçi Üniversite Endeksinde ORESTE Uygulaması*. Anadolu Üniversitesi.



© Author(s) 2023. This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>