

ARAŞTIRMA MAKALESİ

Metasezgisel Algoritma Seçiminde Kriter Önceliklerinin AHP Yöntemiyle Belirlenmesi

Determination of Criteria Priorities in Metaheuristic Algorithm Selection Using the AHP Method

Gültekin Kuvat¹, Özlem Kuvat^{2,*}

¹ Balıkesir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Balıkesir, Türkiye.

² Balıkesir Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İşletme Bölümü, Balıkesir, Türkiye.

Geliş / Received: 04.11.2025

Kabul / Accepted: 21.11.2025

*Sorumlu Yazar: Özlem Kuvat ohasgul@balikesir.edu.tr

ÖZ: Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) çok kriterli bir problemde, kriterleri ağırlıklandırmak ve alternatifler arasından seçim yapmak için kullanılan bir yöntemdir. Kişiler veya uzman kişilerden oluşan gruplar AHP kullanarak subjektif yargıları sayısal değerlere dönüştürebilirler. Yapılan karşılaştırmalar sonucu kriter önceliklerini belirleyebilir ve karar verme aşamasında bu sonuçları kullanabilirler. Günümüzde optimizasyon problemlerinin çözümü için kullanılan evrimsel, doğa esinli, fizik-matematik temelli veya sürü zekası gibi farklı özelliklere sahip birçok metasezgisel algoritma vardır. Bu çalışmada, bir metasezgisel algoritmanın seçimi aşamasında etkili olan kriterlerin öncelik sırasının araştırılması amaçlanmıştır. Seçim için belirleyici olan kriterler uzman kişiler tarafından değerlendirilmiş, elde edilen sonuçlara göre kriterlerin önem düzeyleri sıralanmış ve ağırlıkları hesaplanmıştır. Elde edilen bulgulara göre bir metasezgisel algoritmanın seçiminde en önemli kriterin, çözüm kalitesi olduğu belirlenmiştir. Bunun yanında, önem sırasına göre en sonda olan kriterin algoritmanın yapısı olduğu gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Metasezgisel algoritma, analitik hiyerarşi süreci, çok kriterli karar verme, öncelik vektörü, ikili karşılaştırma.

ABSTRACT: The Analytic Hierarchy Process (AHP) is a method used in multi-criteria problems to assign weights to criteria and make selections among alternatives. Individuals or groups of experts can use AHP to convert subjective judgments into numerical values. Based on the comparisons made, they can determine the priorities of the criteria and use these results during the decision-making process. Today, there are many metaheuristic algorithms with various characteristics—such as evolutionary, nature-inspired, physics–mathematics-based, or swarm intelligence—used to solve optimization problems. In this study, the aim is to investigate the priority order of the criteria that are effective in the selection of a metaheuristic algorithm. The criteria that determine the selection were evaluated by experts; based on the results obtained, the importance levels of the criteria were ranked, and their weights were calculated. According to the findings, the most important criterion in selecting a metaheuristic algorithm is the solution quality. In contrast, the algorithm structure was shown to be the least important criterion in terms of priority.

Keywords: Metaheuristic algorithm, analytical hierarchy process, multi-criteria decision making, priority vector, pairwise comparison.

1. GİRİŞ

Metasezgisel algoritmalar, karmaşık ve geleneksel yöntemlerle çözülemeyen çok boyutlu optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılan algoritmalarlardır. Bu algoritmalar; sürü

davranışı, genetik ve evrim gibi doğa olaylarından ilham almaktadır ve bir problemin küresel optimumunu bulmak için geniş bir arama alanını keşfetmektedirler. Ayrıca, karmaşık problemlerin çözümünde mühendislik, bilgisayar bilimi, finans ve lojistik gibi farklı alanlarda yaygın olarak

kullanılırlar [1]. Metasezgisel algoritmalar, küresel bir çözüme yaklaşmak için deterministik olmayan yöntemler kullanır ve bir sistemin gerçek davranışını temel alan matematiksel bir model kurmak amacıyla kullanılabilir. Birçok farklı yapıda ve özellikle metasezgisel algoritma mevcuttur. Yapay arı kolonisi algoritması (artificial bee colony algorithm, ABC) [2], genetik algoritma (genetic algorithm, GA) [3], karınca kolonisi optimizasyonu (ant colony optimization, ACO) [4], parçacık sürüsü optimizasyonu (particle swarm optimization, PSO) [5], gri kurt (grey wolf, GWO) [6], su döngüsü (water cycle algorithm, WCA) [7], yarasa (bat, BA) [8], ateş böceği (firefly algorithm, FA) [9] ve balina optimizasyonu (whale optimization, WOA) [10] metasezgisel algoritmalarla örnek olarak gösterilebilir. Bu algoritmalar, taklit etmeye çalıştıkları sistemin veya davranışın farklı özelliklerine sahiptir. Metasezgisel algoritmalar bu sayede farklı optimizasyon problemlerine uyarlanabilmektedir. Araştırmacılar metasezgisel algoritmaları farklı şekillerde sınıflamışlardır. Yapılan bir çalışmada metasezgisel algoritmalar; evrimsel, fizik, sürü, insan, biyolojik, sistem ve matematik temelli olarak 6 kategoride ele alınmaktadır [11]. Bir diğer çalışmada ise doğadan esinlenen, popülasyon tabanlı, amaç fonksiyonu dinamik veya statik, tek veya çok komşuluklu ve hafıza kullanan şeklinde bir sınıflama mevcuttur [12]. Bir diğer çalışmada bu algoritmalar için önemli noktalar şu şekilde ortaya konmuştur [13];

- Genetik algoritmalarındaki evrim veya karınca kolonisi optimizasyonundaki karınca davranışı gibi birçok metasezgisel algoritma doğadan ilham almaktadır,
- Çözümleri yinelemeli olarak iyileştirerek, farklı olasılıkları keşfederek ve geçmiş yinelemelerden öğrenerek çalışırlar,
- Farklı alanlardaki çok çeşitli optimizasyon problemlerine uygulanabilirler,
- Daha iyi çözümler bulma ve mevcut iyi çözümleri iyileştirme arasında denge kurmaktadır.

Yukarıdaki bölümde bahsedildiği gibi; çalışma şekli, temel aldığı felsefesi, arama yöntemi farklı olan birçok metasezgisel algoritma mevcuttur. Bunlar bir metasezgisel algoritmanın temel özelliklerini oluşturur. Bu nedenle bir araştırmacının problemini çözmek için seçeceği

metasezgisel algoritma, çok kriterli bir karar verme problemidir.

Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleri, birden fazla kritere dayalı kararların oluşturulması, çözülmesi ve sorunların planlanmasıyla ilgilenen, bu nedenle çok sayıda araştırmacının dikkatini çeken yöntemlerdendir. Amaç, bu zorluklarla başa çıkan karar vericilere yardımcı olmaktır. Karar alma, çok sayıda seçenek arasından bir eylem planı seçmek için verileri yorumlama, toplama ve analiz etme gibi çok yönlü bir süreci içermektedir. Karar verilirken en iyi seçimi yapmak için, eldeki bilgilere dayanarak öncelikler geliştirilmektedir. Genellikle optimizasyon yaklaşımlarına dayanan bu teknikler ile sosyal bilimler, psikoloji, doğa bilimleri ve yapay zeka dahil olmak üzere çeşitli alanlarda başarılı uygulamalar yapılmıştır [14].

Bu çalışmada karar teorisinde yaygın bir şekilde kullanılan ÇKKV yöntemlerinden biri olan Analitik Hiyerarşi Prosesi (Analitik Hiyerarşi Süreci, AHP) ile metasezgisel algoritma seçiminde dikkate alınan kriterlerin önem düzeylerine göre sıralanması amaçlanmıştır.

Literatürde ÇKKV yöntemlerinin metasezgisel yöntemlerle birlikte kullanıldığı çeşitli çalışmalar vardır. Hesaplama maliyetinin üstesinden gelmek için alternatif algoritmaların değerlendirildiği Sıra Tabanlı TOPSIS (RB-TOPSIS) uygulaması örnek olarak verilebilir [15]. Yapılan bir diğer çalışmada, literatür taraması yapılmış ve özellikle alternatif enerji kaynakları ve endüstriyel tedarikçilerin seçiminde karar verme ve metasezgisel yöntem kullanımlarına ilişkin kapsamlı bir genel bakış sunulmuştur [16]. Konuyla ilgili çalışmaların birinde ise problemlerin çözümü için metasezgisel algoritmalar ve ÇKKV yöntemlerinin uyumlu oldukları ve sinerjik etki ürettikleri ifade edilmiştir. GA, PSO, ACO ve ABC algoritmalarının ÇKKV problemlerinin çözümünde kullanıldığı çalışmalar derlenmiş ve temel katkılarına göre düzenlenmiştir [14]. Yayınlanan başka bir çalışmada altı metasezgisel algoritma arasında en verimli algoritmayı seçmek amacıyla AHP, TOPSIS ve AHP-TOPSIS yöntemleri kullanılmıştır. Algoritmaları karşılaştırma kriterleri, algoritma yeteneğine ve problemleri çözmek için gerekli görülen konulara göre seçilmiştir [17].

Bu çalışmada literatürdeki çalışmalardan farklı olarak; metasezgisel algoritma seçim kararı için AHP yönteminin güçlü yönlerinden faydalanılmıştır. Karmaşık karar yapısı, kolay ve anlaşılır hiyerarşik bir düzene dönüştürülmüş ve birleştirilmiş uzman görüşlerinden elde edilen sonuçlar ile analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre kriterlerin önem düzeyleri açık şekilde ortaya konmuştur. Bu sonuçlar, bir araştırmacının kullanacağı metasezgisel algoritmayı seçerken öncelik verebileceği ölçütleri sırasıyla göstermektedir. Bunun yanında kriterler arasında oluşan öncelik sıraları ve önem ağırlıkları, algoritma geliştiricilerin yeni üretecekleri ve geliştirecekleri algoritma özellikleri için yol gösterici mahiyettedir.

Bu çalışma dört bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde metasezgisel algoritmalar ile ÇKKV yöntemlerinin birlikte kullanımı değerlendirilmiş, ikinci bölümde AHP yöntemi ve adımları tanıtılmış, üçüncü bölümde uygulama çalışmasına yer verilmiş ve son bölümde uygulama sonuçları sunulmuştur.

2. ANALİTİK HİYERARŞİ PROSESİ

Kararlar, birbiriyle karşılaştırılması gereken birçok soyut unsur içerir. Bu unsurların değerlendirilmesi için, somut unsurlarla birlikte ele alınmaları ve bu somut ölçümlerin, karar vericinin hedeflerine ne kadar hizmet ettiğinin de değerlendirilmesi gerekir. AHP ikili karşılaştırmalar yoluyla ölçüm yapan bir teoridir ve öncelik (önem) ölçeklerini elde etmek için uzman yargularına dayanır [18]. Bu yöntem karmaşık kararları analiz etmek için kullanılan matematiksel bir yöntemdir. Karşılaştırma yargularına dayanarak, farklı ölçütleri tek bir genel puana entegre ederek alternatif kararları sıralamayı amaçlamaktadır. Diğer birçok ÇKKV yöntemine benzer olarak, performans göstergelerini entegre performans göstergeleri şeklinde birleştirmektedir [19].

1971–1975 yılları arasında Thomas L. Saaty tarafından geliştirilen AHP, karmaşık durumlarda karar verme için tanınmış bir araçtır ve genel bir ölçme teorisidir. Hem kesikli hem de sürekli ikili karşılaştırmalardan oran ölçekleri türetmek için kullanılabilir. Bu karşılaştırmalar ya gerçek ölçümlerden ya da tercihlerin ve duyguların göreceli güçlerini yansıtan temel bir ölçekteki

değerlendirmelerden elde edilmektedir. AHP, birden fazla özelliği aynı anda dikkate alarak bir senteze veya sonuca ulaşmayı sağlar [18], [20]. AHP ile birbiriyle çelişen, ölçülebilir veya soyut olan kriterler birlikte ele alınabilmektedir. Hem kişilerin hem de grupların kararları için çok düzeyli karar yapılarının kurulabilmesine olanak sağlamaktadır [21]. AHP bu özelliklerinden dolayı çok farklı alanlarda karar alma sırasında kullanılmaktadır. İlgilenilen konular arasında lojistik en çok ilgiyi çekerken bu alanı üretim, kamu yönetimi, yükseköğretim, işletme, çevre, askeri, tarım, sağlık, pazarlama, sanayi, hizmet, spor ve turizm alanları takip etmektedir [22].

AHP yönteminin kriterlerin önemini belirleme ve en uygun alternatifi seçme aşamasında seçilen diğer yöntemlerden temel farkı; karmaşık, çok kriterli, çok alternatifli, çok elemanlı, çok düzeyli ve çok periyotlu karar verme problemlerini hiyerarşik bir yapı ile düzenlemeye olanak sağlamasıdır. Normalize edilmiş özvektörlerin kullanımıyla hiyerarşik yapıda son düzey ağırlıklarına indirgeme yapılabilir ve mevcut karmaşık yapı basit bir şekilde çözümlenebilir [23].

AHP süreci 5 aşamadan oluşmaktadır [24]:

1. Aşama: Karara ilişkin amaç belirlenmektedir.
2. Aşama: AHP ile karar verme sürecinde öncelikle ele alınan problemin parçalara ayrılarak kriterlerin belirlenmesi ve alt kriterler de varsa bunların eklendiği bir hiyerarşik yapının oluşturulması sağlanmaktadır.
3. Aşama: Tablo 1’de verilen Saaty önem ölçeği kullanarak aynı seviyedeki öğelerin önemine göre, ikili karşılaştırmalar yapılmaktadır [18].

Tablo 1: Saaty önem ölçeği.

Tanım	Değer
Öğeler eşit derecede önemlidir.	1
1. öğe 2. öğeye göre biraz daha önemlidir.	3
1. öğe 2. öğeye göre fazla önemlidir.	5
1. öğe 2. öğeye göre çok fazla önemlidir.	7
1. öğe 2. öğeye göre aşırı önemlidir.	9
Ara değerler	2,4,6,8

Saaty ölçeğine göre a_{ij} 'ye atanan değerler genellikle 1–9 aralığında rakamlar veya bunların karşılıklarıdır. Bu karşılaştırmalara ilişkin bir A

karar matrisi oluşturulur. A matrisinde bulunan a_{ij} terimleri amaca ulaşabilmek için i kriterinin j kriterine oransal olarak kaç kat önem içerdiğini belirtmektedir. Bu matrisin köşegeni üzerindeki a_{ii} ifadeleri 1 değerini almaktadır [25]. Bu, A matrisinin ana köşegeninde 1'ler bulunan ($a_{ii} = 1$) pozitif ve karşılıklı bir matris olması gerektiği ve matrisin üst üçgeninde değer yarguları sağlaması gerektiği anlamına gelir. İhtiyaç duyulan yargı sayısı (L) Denklem (1)'de verilmektedir [26]:

$$L = n(n - 1)/2 \quad (1)$$

Karar vericinin sayısal yarguları ile oluşturulan A matrisinde n adet kriterin w_1, w_2, \dots, w_n görelî önem ağırlıklarına göre ikili karşılaştırması Denklem (2)'de verildiği gibi yapılır [27]:

$$A = [a_{ij}] = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Burada tutarlılığın sağlanması amacıyla, karşılaştırma matrislerinde aralık ölçeklerinin karşılıklı girdilerinin oluşturulmasında geleneksel olarak kullanılan $a_{ij} = -a_{ji}$ ($i, j = 1, 2, \dots, n$) ifadesi yerine ($a_{ij} = 1/a_{ji}$) değeri kullanılmaktadır [24].

Grup kararlarının söz konusu olduğu durumlarda ağırlıklı geometrik ortalama ile birleştirme yapılmaktadır. Burada geometrik ortalamanın kullanılma nedeni, yapılan hesaplama sonucunda birleştirilmiş ikili karşılaştırma matrisinde karşılıklılığın (reciprocity) korunmasını sağlamasıdır. m karar verici için karşılaştırma değerleri çarpımının m 'inci kökü, a_{ij} her zaman $1/a_{ji}$ 'ye eşittir ilişkisini koruyarak m görüşün birleştirilmesini sağlar. Bu nedenle geometrik ortalamanın kullanılması tutarlılığın sağlanması için de önemlidir [28]. Ayrıca geometrik birleştirme, tek tek tutarsız matrislerin telafi edilerek tutarlı grup yargılarına dönüştürülmesini sağlar [29].

Eğer karar vericilerin kararlarının ağırlığı (ρ) var ise ağırlık toplamları 1 olacak şekilde hesaplamaya dahil edilebilmektedir. Birleştirilmiş tercih matrisinin (aggregated preference matrix) g_{ij} ($i, j = 1, 2, \dots, n$) elemanı Denklem (3)'te verildiği şekilde hesaplanır [30]:

$$g_{ij} = \prod_{k=1}^m (a_{ij(k)})^{\rho_k} \quad (3)$$

Uzlaşık olarak elde edilen matris karşılıklılık özelliğine sahiptir [31].

4. Aşama: Bu aşamada öncelik vektörü (ağırlık sütun vektörü, önem vektörü (w), priority vector) hesaplanır ve karşılaştırmaların tutarlılığı araştırılır. Öncelik vektörünün hesaplanması için her sütundaki değerler sütun toplamına bölünerek normalize edilir ve ortaya çıkan matrisin satır ortalamaları alınır. Bu şekilde kriterlerin göreceli öncelikleri hesaplanmaktadır.

$Aw = \lambda_{enb} w$ homojen lineer denklem sisteminin çözümü özdeğer (λ_{enb} , eigenvalue) bulmaya ilişkindir. Tutarlılık açısından Denklem (4)'te verilen eşitliğin sağlanması istenmektedir [26]:

$$Aw = \lambda_{enb} w \quad (4)$$

Tutarlılığın araştırılmasında Saaty matrisinin en büyük özdeğeri temel göstergedir. Tutarlılık oranı (Consistency Ratio, CR), karar vericinin yaptığı karşılaştırmaların ne kadar tutarlı olduğunu gösterir. Hesaplanmasında Denklem (5)'te verildiği gibi CI (tutarlılık indeksi) ve RI değerleri kullanılır. CI tutarlılık indeksi λ_{enb} ve karşılaştırma matrisinin büyüklüğü (n) kullanılarak belirlenir ve hesaplanan matrisin tutarsızlık seviyesini gösterir. Denklem (6)'da verildiği gibi ifade edilir. Denklemde yer alan RI ise rassal indeks (Random Index) olarak adlandırılmaktadır. Rassal indeks, çok sayıda karşılıklı rastgele matris oluşturularak (matris elemanları kardinal ölçekten alınmıştır) ve bu matrislerin en büyük özdeğerlerinin ortalaması alınarak elde edilmiştir [32]:

$$CR = CI/RI \quad (5)$$

$$CI = (\lambda_{enb} - n)/n - 1 \quad (6)$$

Matris boyutuna göre kullanılan rassal değerler Tablo 2'de verilmektedir [28].

Tablo 2: Rassal değer tablosu.

n	Rassal İndeks	n	Rassal İndeks
3	0,58	8	1,41
4	0,9	9	1,45
5	1,12	10	1,49
6	1,24	11	1,51
7	1,32	12	1,53

Burada elde edilen $CR \leq \%10$ değeri kabul edilebilir olarak değerlendirilmektedir. CR değeri $\%10$ 'dan büyükse, karar vericilerin karşılaştırmalarını gözden geçirmesi gerekmektedir [26].

5. Aşama: Bu aşama sentez aşamasıdır. Tüm öncelikler birleştirilerek nihai karar öncelikleri elde edilir [26].

3. METASEZGİSEL ALGORİTMA SEÇİMİNDE KARAR ÖNCELİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Bu çalışmada metasezgisel algoritma seçiminde etkili olduğu değerlendirilen altı kriter kullanılmıştır. Bu kriterler, aşağıda verilmektedir:

- C1: Yakınsama Hızı
- C2: Çözüm Kalitesi
- C3: Hesaplama Süresi
- C4: Algoritmanın Yapısı
- C5: Kodlama Zorluğu
- C6: Güncellik

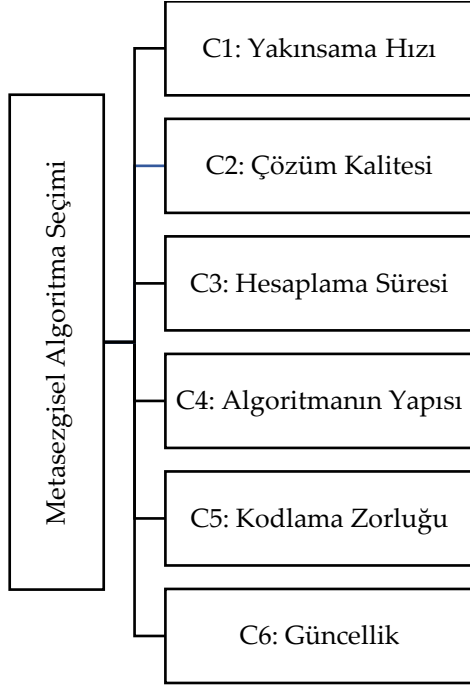
Metasezgisel algoritmalar, arama yapısı, komşuluk türü, esinlendiği felsefe veya doğa olayı gibi nedenlere bağlı olarak farklı özellikler gösterirler. Bu çalışmada seçim kriterlerinden biri olarak belirlenen yakınsama hızı bu özelliklerden biridir. Yüksek yakınsama hızları, algoritmaları optimum noktaya erken iterasyon adımları veya düşük fonksiyon çağrılarında ulaştırabilir. Ancak bazı problem türlerinde yüksek yakınsama hızları yerel optimumlara takılma riski oluşturabilir. Buna neden olarak arama uzayının yeterince taranmaması gösterilmektedir. Bu nedenle araştırmacılar genellikle, arama ve sömürü fazlarında [33] dengeli davranış sergileyen, aramayı dengeli şekilde gerçekleştirebilen algoritmaları tercih ederler. Bu nedenle bir metasezgisel algoritmanın yakınsama hızı, tercih edilme açısından önemli bir kriterdir.

Çözüm kalitesi, algoritma seçimi için önemli olan bir diğer kriterdir. Ancak diğer birçok özellikle birlikte değerlendirilmesi, önemini ortaya koymak açısından değerli bir yaklaşımdır. Bir diğer kriter olan hesaplama süresi, günümüzde kullanılan tüm çözüm yöntemlerinden beklenen önemli bir karşılaştırma kriteridir. Araştırmacıların, seçecekleri metasezgisel algoritma ile düşük hesaplama sürelerinde başarılı sonuçlar elde etmek istemeleri beklenen bir durumdur. Metasezgisel algoritmaların evrimsel, doğa esinli, sürü zekası veya fizik-matematik temelli oluşu [11], komşuluk yapısı ve hafıza kullanımı [12] gibi özellikleri, algoritmanın yapısını belirler. Farklı problem türleri için sonucu doğrudan etkileyen bu durum, araştırmalar için önemli bir seçim kriteridir. Kodlama zorluğu ise algoritmanın oluşturulması, bir probleme uyarlanması ve üzerinde düzenlemeler yapılabilmesini belirleyen bir diğer kriterdir. Metasezgisel algoritmalar, yeni çalışmalar ile sürekli iyileştirildiği için seçilen algoritmanın güncel olması, bazı araştırmacılar için önemli görülen bir kriterdir.

Bir araştırmacı veya algoritma geliştirici, metasezgisel algoritma seçimi için belirlenen bu kriterleri birlikte değerlendirerek öncelik belirleyebilir ve buna bağlı olarak karar verebilir. Bu çalışmada, yukarıda tariflenen altı seçim kriteri, karşılıklı olarak kıyaslanmış ve elde edilen sonuçlar AHP yönteminin uygulanması ile sıralanmıştır.

3.1 Hiyerarşik Yapının Oluşturulması ve Verilerin Toplanması

Hiyerarşik yapının oluşturulmasıyla iki düzeyli bir yapıda çalışmanın amacına uygun olarak kriterlerin yerleştirilmesi sağlanmıştır. Oluşturulan iki düzeyli hiyerarşik yapı Şekil 1'de verilmektedir.



Şekil 1: Metasezgisel algoritma seçimi için hiyerarşik yapı.

Daha sonra hiyerarşik yapıya uygun olarak hazırlanan karşılaştırma formu konunun uzmanları tarafından doldurulmuştur. Bu alanda uluslararası akademik çalışmaları olan sekiz uzmanın görüşleri eşit ağırlıklı bir şekilde dikkate alınarak uzlaşık karar alınmıştır. Değerlendirmeler geometrik ortalama alınarak birleştirilmiş ve uzlaşmalı olarak ortak görüşe dayalı karşılaştırma sonuçları elde edilmiştir.

3.2 Kriterlerin AHP ile Ağırlıklandırılması ve Sıralanması

Bir sonraki aşamada uzlaşmalı değerlere dayalı karşılaştırma matrisi ve normalize matris oluşturulmuştur. Kriterler arasında yapılan karşılaştırmalar sonucu elde edilen A birleştirilmiş tercih matrisi Denklem (7)'de ve hazırlanan karşılaştırma tablosu Tablo 3'te verilmektedir.

$$A = \begin{bmatrix} 1,00 & 0,30 & 1,93 & 6,11 & 4,51 & 2,40 \\ 3,28 & 1,00 & 3,60 & 5,83 & 5,08 & 3,47 \\ 0,52 & 0,28 & 1,00 & 2,63 & 2,32 & 1,00 \\ 0,16 & 0,17 & 0,38 & 1,00 & 0,49 & 0,62 \\ 0,22 & 0,17 & 0,43 & 2,03 & 1,00 & 0,54 \\ 0,42 & 2,24 & 1,00 & 1,62 & 1,85 & 1,00 \end{bmatrix} \quad (7)$$

Tablo 3: Karşılaştırma tablosu.

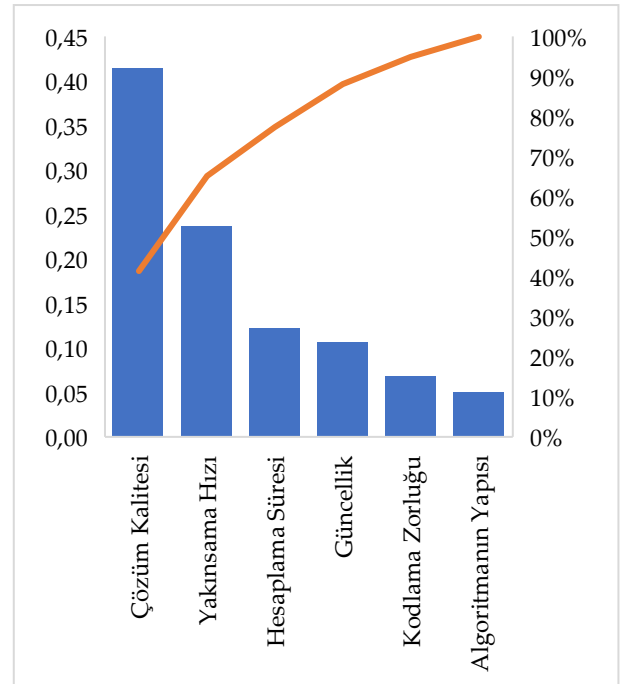
	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1	1,00	0,30	1,93	6,11	4,51	2,40
C2	3,28	1,00	3,60	5,83	5,08	3,47
C3	0,52	0,28	1,00	2,63	2,32	1,00
C4	0,16	0,17	0,38	1,00	0,49	0,62
C5	0,22	0,17	0,43	2,03	1,00	0,54
C6	0,42	0,29	1,00	1,62	1,85	1,00
Toplam	5,60	2,24	8,35	19,22	15,24	9,03

Normalizasyon işlemi sonrası elde edilen normalize matris ve öncelik vektörü ağırlık değerleri aşağıda Tablo 4'te verilmektedir.

Tablo 4: Normalize matris ve öncelik vektörü.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	Öncelik Vektörü
C1	0,18	0,14	0,23	0,32	0,30	0,27	0,24
C2	0,59	0,45	0,43	0,30	0,33	0,38	0,41
C3	0,09	0,12	0,12	0,14	0,15	0,11	0,12
C4	0,03	0,08	0,05	0,05	0,03	0,07	0,05
C5	0,04	0,09	0,05	0,11	0,07	0,06	0,07
C6	0,07	0,13	0,12	0,08	0,12	0,11	0,11
Toplam	1	1	1	1	1	1	1

Hiyerarşinin 1. seviye kriterlerinin seçim açısından önem dereceleri yani ağırlıkları grafik olarak Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2: Kriter ağırlıkları grafiği.

Şekil 2’de yer alan pareto eğrisi de yüzdelerdeki kümülatif miktarı göstermektedir. Pareto eğrisine göre ilk iki kriterdeki ağırlık değerinin büyüklüğü hızlı bir yükseliş sağlamıştır. Diğer kriter ağırlıkları birbirlerine yakın olduğu için eğri daha düşük bir eğimle seyir izlemiştir.

Metasezgisel algoritmalar, zor problemler için optimum veya optimuma yakın olan başarılı çözümler üretmek için geliştirilmiş yöntemlerdir. Bu nedenle yapılan analizler sonucunda 0,41 öncelik vektörü değeriyle çözüm kalitesinin altı kriter arasında en önemli kriter olması beklenen durumdur. Bunun yanında, diğer kriterlerin de belli düzeylerde ağırlıklarının olması, çözüm kalitesinin tercih için tek belirleyici olmadığını göstermiştir. Yakınsama hızı ise 0,24 öncelik vektörü değeriyle en önemli ikinci kriter olmuştur. Bu sonuç, araştırmacıların erken iterasyon adımları ve düşük fonksiyon çağrılarını için başarılı sonuçlar elde etme isteğini göstermektedir. Hesaplama süresi, 0,12 vektör değeriyle üçüncü önemli kriterdir. Özellikle gerçek zamanlı ve kısa sürede çözüm gerektiren uygulamalara yönelik çalışmalar, metasezgisel algoritmaların hesaplama sürelerini önemli hale getirmektedir. Güncellik ise 0,11 değeriyle dördüncü önemli kriter olarak ortaya konmuştur. Bu sonuç araştırmacıların bir algoritmanın güncelliğine verdikleri önemin sınırlı olduğunu göstermektedir. Kodlama zorluğu 0,07 değeriyle beşinci, algoritmanın yapısı ise 0,05 değeriyle altıncı ve son sıradaki kriter olarak ortaya çıkmıştır. Kodlama zorluğu ve algoritmanın yapısı kriterlerinin son sıralarda yer alması, araştırmacıların öncelikle çözüme yönelik kriterlere önem verdiklerini göstermektedir.

Çalışmada kriterlerin ağırlıklandırılması ve sıralanmasından sonra tutarlılık testi yapılmıştır. Karşılaştırma matrisinin tutarlılığı Denklem (5) ve Denklem (6)’da verilen eşitliklere göre araştırılmıştır. Test aşamasında en büyük özdeğer $\lambda_{emb}=6,18$ iken tutarlılık indeksi $CI=0,03$ olarak elde edilmiştir. Matris büyüklüğü yani kriter sayısı $n=6$ için rassal indeks RI değeri 1,24 olarak elde edilmiştir. $CR=CI/RI=0,029$ değeri %10’dan küçük olduğu için karşılaştırmaların tutarlı olduğu sonucuna varılmıştır.

4. SONUÇ

Optimizasyon problemlerinin çözümü için geliştirilmiş birçok metasezgisel algoritma bulunmaktadır. Farklı özelliklere sahip bu algoritmaları seçmek ya da yeni bir algoritma geliştirebilmek için birçok kriter dikkate alınmaktadır. Bu süreçte hangi kriterlerin öncelik kazandığının belirlenmesi de önemli bir aşamadır. Bu çalışmada metasezgisel algoritma seçim kararının çok kriterli ve karmaşık yapısı dikkate alınmıştır. Seçim işlemi için ÇKKV yöntemleri arasından soyut ve somut kriterleri birlikte değerlendirme özelliğine sahip olmasından dolayı AHP seçilmiştir. Uzman görüşlerinin birleşik yargılarıyla gerçekleştirilen uygulamada, Yakınsama Hızı, Çözüm Kalitesi, Hesaplama Süresi, Algoritmanın Yapısı, Kodlama Zorluğu ve Güncellik kriterleri için öncelik sırası oluşturulmuştur. Yapılan karşılaştırmalar sonucunda metasezgisel algoritma seçiminde en öncelikli olan kriterin %41 değeri ile çözüm kalitesi olduğu görülmektedir. Daha sonra sırası ile %24 ile yakınsama hızı, %12 ile hesaplama süresi, %11 ile güncellik, %7 ile kodlama zorluğu ve %5 ile algoritmanın yapısı yer almaktadır. Elde edilen sonuçlar, metasezgisel algoritma seçiminde öncelik verilebilecek kriterleri sırasıyla ve önem değerleriyle birlikte göstermektedir. Bu sıralama ve önem düzeyleri optimizasyon problemlerinin çözümünde yapılacak seçimler için bir yol çizmektedir.

Gelecek çalışmalarda, kriterlerin arttırıldığı ve farklı düzeylerin oluşturulduğu hiyerarşik yapılar için bulanık AHP, Analitik Ağ Süreci (Analytic Network Process, ANP) ve farklı ÇKKV yöntemlerinin kullanıldığı uygulamalar yapılabilir.

Yazar Katkıları: Her iki yazar, fikir geliştirme, tasarım, literatür taraması ve makale yazımı süreçlerine ortak katkı sağlamıştır. Bunun yanında birinci yazar veri toplama ve sonuçları yorumlama, ikinci yazar veri analizi aşamasında katkı sunmuştur.

Çıkar Çatışması: Bu çalışmanın yazarları, herhangi bir kurum/kuruluş ya da kişi ile çıkar çatışması bulunmadığını beyan etmiştir.

5. KAYNAKLAR

- [1] S. M. Almufti, A. A. Shaban, Z. A. Ali, R. I. Ali and J. D. Fuente, "Overview of metaheuristic algorithms," *Polaris Glob. J. Sch. Res. Trends*, 2, 10-32, 2023.
- [2] D. Karaboga and B. Basturk, "Artificial bee colony (ABC) optimization algorithm for solving constrained optimization problems," *IFSA world congress*, Berlin, Germany, 2007, 789-798.
- [3] J. H. Holland, "Genetic algorithms and adaptation," *Adaptive Control of Ill-Defined Systems*, O. G. Selfridge, E. L. Rissland, and M. A. Arbib, Eds. Boston, MA, USA: Springer, 1984, 16, 317-333.
- [4] M. Dorigo, V. Maniezzo and A. Colomi, "Ant system: optimization by a colony of cooperating agents," *IEEE Trans. Sysys, Man., A Cybernetics, Part B (Cybernetics)*, 26, 29-41, 1996.
- [5] J. Kennedy and R. Eberhart, "Particle swarm optimization," *Proc. IEEE Int. Conf. Neural Netw. (ICNN)*, 4, Perth, Australia, 1995, 1942-1948.
- [6] S. Mirjalili, S. M. Mirjalili and A. Lewis, "Grey wolf optimizer," *Adv. Eng. Software*, 69, 46-61, 2014.
- [7] H. Eskandar, A. Sadollah, A. Bahreininejad and M. Hamdi, "Water cycle algorithm—A novel metaheuristic optimization method for solving constrained engineering optimization problems," *Comput. Struct.*, 110, 151-166, 2012.
- [8] X.-S. Yang, "A new metaheuristic bat-inspired algorithm," *NICSO 2010*, J. R. Gonzalez, D. A. Pelta, C. Cruz, G. Terrazas, and N. Krasnogor, Eds. Berlin, Heidelberg: Springer, 2010, SCI 284, 65-74.
- [9] X.-S. Yang, "Firefly algorithms for multimodal optimization," *Proc. Int. Symp. Stochastic Algorithms*, Berlin, Heidelberg: Springer, 2009, 169-178.
- [10] S. Mirjalili and L. Andrew, "The whale optimization algorithm," *Adv. Eng. Softw.*, 95, 51-67, 2016.
- [11] Ş. Fidan, M. Zaloğlu and E. Erkan, "TOPSIS yaklaşımı ile metasezgisel optimizasyon algoritmalarının performans değerlendirilmesi," *AKUFEMUBİD*, 24(3), 726-748, 2024.
- [12] A. Tunç, Ş. Taşdemir, and T. Sağ, "Comparison of heuristic and metaheuristic algorithms," *7th Int. Conf. Computer Science and Engineering (UBMK)*, Diyarbakır, Türkiye, 2022, 76-81.
- [13] M., Shanmugapriya and K. K. Manivannan, "Compare the performance of meta-heuristics algorithm: a review," *Metaheuristics Algorithm and Optimization of Engineering and Complex Systems*, 242-253, 2024.
- [14] R., Rishabh and K. N. Das, "A critical review on metaheuristic algorithms based multi-criteria decision-making approaches and applications," *Arch. Comput. Methods Eng.*, 32(2), 963-993, 2025.
- [15] M. F. Tabassum and S. Akram, "Rank based TOPSIS approach for evaluating the performance of metaheuristics," *Int. J. Comput. Intell. Ctrl.*, 13(2), 577-590, 2021.
- [16] C. M. M., Rocha, A. S. Benitez and D. A. Buelvas, "Review and bibliographic analysis of metaheuristic methods in multicriteria decision-making: A 45-year perspective across international, Latin American, and Colombian contexts," *J. Appl. Math.*, 2024(1), 1-17, 2024.
- [17] E. Shadkam, S. Safari and S. S. Abdollahzadeh, "Finally, which meta-heuristic algorithm is the best one?," *IJDSRM*, 10, 32-50, 2021.
- [18] T. L. Saaty, "Decision making with the analytic hierarchy process," *Int. J. Serv. Sci.*, 1(1), 83-98, 2008.
- [19] K. E. Yoo and Y. C. Choi, "Analytic hierarchy process approach for identifying relative importance of factors to improve passenger security checks at airports," *J. Air Transp. Manag.*, 12(3), 135-142, 2006.
- [20] R. W. Saaty, "The analytic hierarchy process—what it is and how it is used," *Mathematical Modelling*, 9(3-5), 161-176, 1987.
- [21] V. Erol and H. Başlıgil, "Analytic hierarchy process and artificial neural networks model for management information systems software selection in companies," *Sigma*, 4, 107-120, 2005.
- [22] W. Ho, "Integrated analytic hierarchy process and its applications—A literature review," *Eur. J. Oper. Res.*, 186(1), 211-228, 2008.
- [23] S. Felek, Y. Yuluğkural ve Z. Aladağ, "Mobil iletişim sektöründe pazar paylaşımının tahmininde AHP ve ANP yöntemlerinin kıyaslanması," *IENG*, 18(1), 6-22, 2007.
- [24] T. L. Saaty, "Priority setting in complex problems," *IEEE Trans. Eng. Manag.*, 3, 140-155, 1983.
- [25] N. Ömürbek ve Z. Tunca, "Analitik hiyerarşi süreci ve analitik ağ süreci yöntemlerinde grup kararı verilmesi aşamasına ilişkin bir örnek

- uygulama," *Süleyman Demirel Üniversitesi İİBF Dergisi*, 18(3), 47-70, 2013.
- [26] P. L., Lai, A., Potter, M., Beynon and A. Beresford, "Evaluating the efficiency performance of airports using an integrated AHP/DEA-AR technique," *Transport Policy*, 42, 75-85, 2015.
- [27] M. M. Kablan, "Decision support for energy conservation promotion: an analytic hierarchy process approach," *Energy Policy*, 32(10), 1151-1158, 2004.
- [28] E. J. Repetski, S. Sarkani and T. Mazzuchi, "Applying the analytic hierarchy process (AHP) to expert documents," *IJAHP*, 14(1), 1-14, 2022.
- [29] W. Ossadnik, S. Schinke and R. H. Kaspar, "Group aggregation techniques for analytic hierarchy process and analytic network process: a comparative analysis," *Group Decis Negot.*, 25(2), 421-457, 2016.
- [30] Q. Dong and T. L. Saaty, "An analytic hierarchy process model of group consensus," *J. Syst. Sci. Syst. Eng.*, 23(3), 362-374, 2014.
- [31] S. Carpitella, V. Kratochvíl and M. Pištěk, "Multi-criteria decision making beyond consistency: An alternative to AHP for real-world industrial problems," *Comput. Ind. Eng.*, 198, 110661, 2024.
- [32] A. Siekelova, I. Podhorska and J. J. Imppola, "Analytic hierarchy process in multiple-criteria decision-making: a model example," *SHS Web of Conferences*.EDP Sciences, 90, 01019, 2021.
- [33] G. Kuvat and N. Adar, "The analysis of the interaction of the migration diversity and permeability in parallel genetic algorithms," *IJOCTA*, 6(1), 23-31, 2016.