



Makale Türü (Araştırma Makalesi)

Yeşil ve gri altyapı sistemlerinin bulanık analitik hiyerarşi prosesi yardımıyla karşılaştırmalı performans analizi

*Comparative performance analysis of green and gray infrastructure systems by means of the fuzzy analytical hierarchy process*Uğur Ünal¹, Dilek Eren Akyüz^{2*}¹ Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, ugurunal@ohu.edu.tr
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1321-074X>² İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa, İnşaat Mühendisliği Bölümü, dilekeren.akyuz@iuc.edu.tr
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4509-6897>

MAKALE BİLGİLERİ

Makale Geçmişi:

Geliş 24 Ocak 2022
Revizyon 19 Haziran 2022
Kabul 19 Haziran 2022
Online 28 Haziran 2022

Anahtar Kelimeler:

Yağmur hendekleri,
sürdürülebilirlik, bulanık analitik
hiyerarşi prosesi

ÖZ

Kentsel bölgelerde kullanılan ve geçirimsiz yüzeylerden oluşan gri altyapı sistemleri birtakım kentsel sürdürülebilirlik problemlerine sebep olmaktadır. Dolayısıyla bu tür problemleri çözmek için gri altyapı sistemleri çözüm olamamakta ve daha farklı bir anlayışa ihtiyaç duyulmaktadır. Kentsel bölgelerin sürdürülebilirliğini sağlamak için yeşil altyapı gibi çevre dostu sistemlerin kullanımı son yıllarda dünyada da yaygınlaşan ve bu tür problemlerin çözümünde kullanılan uygulamalardır. Bu uygulamalar doğayı taklit ederek doğal kaynakların sürdürülebilir şekilde kullanımını sağlamaktadır. Bu çalışmanın amacı, yeşil ve gri altyapı sistemlerini kentsel bölgelerin sürdürülebilirliği açısından karşılaştırmalı olarak değerlendirmek ve farklı sürdürülebilirlik göstergelerini temel alarak performans analizi yapmaktır. Dolayısıyla bu çalışmada yeşil altyapı sistemlerinden olan ıslak ve kuru yağmur hendeklerinin gri altyapı sistemleri ile Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (BAHP) kullanılarak karşılaştırılması yapılmış ve kentsel sürdürülebilirlik bakımından performansları değerlendirilmiştir. Karşılaştırma amacıyla sürdürülebilirliğin çevresel, sosyal ve ekonomik alt başlıklarında toplam 10 adet sürdürülebilirlik göstergesi ele alınmıştır. Her bir gösterge için literatür araştırmasına dayanan bulanık bir puanlama sistemi oluşturulmuş ve bu puanlar üçgensel bulanık sayıya dönüştürülerek BAHP’de gerekli işlemler yapılarak sonuçlar değerlendirilmiştir. Elde edilen toplam bulanık öncelik ve durulaştırılmış öncelik tabloları incelendiğinde ıslak ve kuru yağmur hendeklerinin gri altyapı sistemlerine kıyasla kentsel sürdürülebilirlik açısından oldukça üstün bir performansa sahip olduğu gözlemlenmiştir. Bu sonuca göre kentsel bölgelerde gri altyapı sistemleri yerine yağmur hendekleri gibi yeşil altyapı uygulamalarının tercih edilmesi bu bölgelerin gelecek nesillere daha sağlıklı ve sürdürülebilir şekilde ulaşmasını sağlayacaktır. Dolayısıyla bu tür uygulamaların özellikle yoğun kentsel bölgelerde yaygınlaştırılması ve çevre bilimciler tarafından bölge yöneticilerinin bu konularda bilinçlendirilerek teşvik edilmesi gerekmektedir.

ARTICLE INFO

Article history:

Received 24 January 2022
Received in revised form 19 June 2022
Accepted 19 June 2022
Available online 28 June 2022

Keywords:

Swales, sustainability, fuzzy
analytic hierarchy process

Doi: 10.24012/dumf.1062145

* Sorumlu Yazar

ABSTRACT

Gray infrastructure systems used in urban areas and impermeable surfaces cause some urban sustainability problems. Therefore, gray infrastructure systems no longer solve such problems, and a different understanding is needed. In order to ensure the sustainability of urban areas, the use of environmentally friendly systems such as green infrastructures have become widespread in the world in recent years and is used to solve such problems. These practices imitate nature and ensure the sustainable use of natural resources. This study aims to comparatively evaluate green and gray infrastructure systems in terms of urban areas' sustainability and make performance analyses based on different sustainability indicators. Therefore, in this study, wet and dry swales, which are green infrastructure systems, were compared with gray infrastructure systems using the Fuzzy Analytical Hierarchy Process (FAHP), and their performance in terms of urban sustainability was evaluated. For comparison purposes, a total of 10 sustainability indicators were discussed under the environmental, social, and economic subtitles of sustainability. A fuzzy scoring system based on literature research was created for each indicator, and these scores were converted into fuzzy triangular numbers. Necessary operations were made in FAHP, and the results were evaluated. When the total fuzzy priority and clarified priority tables are examined, it is observed that wet and dry swales have a superior performance in terms of urban sustainability compared to gray infrastructure systems. According to this result, the preference for green infrastructure applications such as swales instead of gray infrastructure systems in urban areas will ensure that these regions reach future generations healthier and more sustainable. Therefore, such practices should be widespread, especially in dense urban areas, and environmental scientists should encourage regional managers by raising awareness on these issues.

Giriş

Kırsal bölgelerin tersine kentsel alanlarda yoğun yapılaşmadan dolayı suyun yeraltına sızması geçirimsiz yüzey oranı arttığı için azaltılmaktadır. Bunun sonucu olarak kentsel bölgelerde hidrolojik döngünün elemanları bu durumdan olumsuz olarak etkilenmekte dolayısıyla doğal kaynakların sürdürülebilirliği istenildiği şekilde sağlanamamaktadır. Kentsel bölgelerdeki havza alanına ait geçirimsizlik yüzdesinin artması yüzeysel akış hacminin artmasına, sızma miktarının ve buharlaşma oranının ise azalmasına neden olmaktadır [1, 2]. Bu durum kentsel bölgelerde daha fazla sel ve taşkın olaylarının yaşanmasına [3], yeraltı su kaynaklarının yeterince beslenememesine ve buharlaşma oranının azalmasına neden olmaktadır. Dolayısıyla kentsel bölgelerde hidrolojik döngü bozulmaktadır [4, 5]. Üstelik bu bölgelerde altyapı sistemi olarak kullanılan gri altyapı sistemleri de (borulu şebeke sistemleri ve beton kanallar gibi geçirimsiz yüzeylere sahip sistemler) bu sorunlara çözüm olamamaktadır.

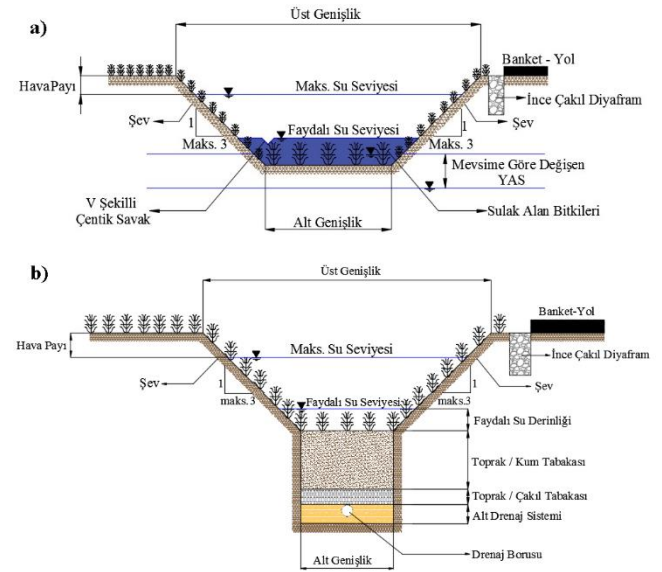
Kentsel bölgelerdeki bu durum, son yıllarda önemi anlaşılan ve yaygınlaşmaya başlayan yeşil altyapı uygulamaları ile çözülebilir. Bu uygulamalar geçirimsizlik yüzdesinin fazla olduğu kentsel bölgelerde sızma miktarının artmasına yardımcı olarak doğal kaynak olan sudan daha fazla yararlanmaya imkânı tanır [6]. Bununla birlikte su ve hava kalitesinin artmasına, sel ve taşkın olaylarının azalmasına, biyoçeşitliliğin artmasına/korunmasına, mikro iklimin düzenlenmesine ve bulunduğu bölgenin estetik değerinin gelişmesine de doğrudan veya dolaylı olarak katkı sağlar [7, 8]. Farklı amaçlar için tasarlanan yeşil altyapı uygulamaları genel olarak; yağmur hendekleri, yağmur bahçeleri, biyotutma hücreleri, sızma hendekleri, geçirgen yollar, süzme şeritleri, yeşil çatılar ve yağmur varilleri gibi çeşitli yağmur suyu yönetim uygulamalarından oluşmaktadır [9, 10]. Bu uygulamalardan yağmur hendekleri aşağıda açıklanan ve sürdürülebilirlik bakımından sahip oldukları avantajlarından dolayı bu çalışmada gri altyapı sistemleri ile karşılaştırmak üzere tercih edilmiştir.

Islak ve kuru olmak üzere temelde iki şekilde inşa edilen yağmur hendekleri, kırsal ve kentsel bölgelerde yağmur suyunu hasat etmek amacıyla kullanılmaktadırlar (Şekil 1). Literatürde bu hendekler üzerleri bitki örtüsüyle kaplanmış açık ve sığ kanallar olarak tanımlanmaktadır [13]. Çoğunlukla sulak alan olarak işlev gören ıslak yağmur hendekleri yeraltı su seviyesinin yüzeye yakın olduğu suya doymuş bölgelere inşa edilmektedir [14, 15]. Islak yağmur hendeklerinin aksine kuru yağmur hendekleri ise genellikle yeraltı su seviyesinin yüzeye yakın olmadığı, suya doymuş olmayan bölgelere uygulanmaktadır [15].

Yağmur hendekleri kentsel bölgelerde yol kenarlarına, orta refüjlere, yerleşim yerlerine, otoparklara ve üniversitesi kampüs alanlarına; kırsal bölgelerde ise eş yükselti eğrilerine paralel olarak inşa edilmektedir [16, 17]. Bu hendekler sahip oldukları geçirimli yüzeyler ile yağmur suyunun sızmasına yardımcı olarak yüzeysel akış miktarını azaltır dolayısıyla kentsel bölgelerde sel ve taşkın olaylarının azalmasında etkili olurlar [12]. Yağmur hendeklerinin diğer avantajları ise aşağıda sıralanmıştır [11, 12].

- İnşa edileceği zeminin özelliğine göre ıslak ve kuru olarak inşa edilebilmeleri,
- Bakım, tasarım ve uygulamalarının kolay olması,
- Geniş alanlara inşa edilebilmeleri,
- Karayolu mühendisliği uygulamalarında özellikle yol kenarlarında drenaj amaçlı kullanılabilirmeleri,
- Ekosistemin sürdürülebilirliğine olumlu katkıların olması.

Bu faydalarının yanı sıra kırsal alanlarda inşa edilen yağmur hendekleri tarımsal sulama suyuna olan ihtiyacı da azaltmaktadır [18]. Yağmur hendekleri üzerinde bulunan bitki örtüsü sayesinde su kalitesinin artmasına ve yeraltına daha fazla temiz suyun sızmasına yardımcı olarak yeraltı su kaynaklarının hem beslenmesine hem de temizlenmesine yardımcı olmaktadır. Yağmur hendekleri kentsel bölgelerin sürdürülebilirliği için pek çok avantajlara sahiptir. Tüm bu avantajlarından dolayı yağmur hendeklerinin özellikle yoğun kentsel alanlarda yaygınlaştırılması tavsiye edilmektedir [19]. Bu yüzden, bu çalışma için kentsel bölgelerde yeşil altyapı sistemlerini temsilen karşılaştırılmada kullanılmak üzere yağmur hendekleri seçilmiştir.



Şekil 1. Trapez en kesitli a) ıslak yağmur hendeği b) kuru yağmur hendeği.

Bu çalışmanın amacı, yeşil ve gri altyapı sistemlerini sürdürülebilirlik açısından karşılaştırmalı olarak değerlendirmek ve farklı sürdürülebilirlik göstergelerine göre performans analizi yapmaktır. Sürdürülebilirlik açısından ıslak/kuru yağmur hendeklerinin gri altyapı sistemlerine göre daha sürdürülebilir olup olmadığının dilsel değişkenlere yer verebilen, birden çok faktör/alt faktörü değerlendirebilen, cevapların bulanık olabileceği ve hiyerarşik bir yapı oluşturan bulanık mantık ve analitik hiyerarşi prosesinin (AHP) birleşiminden oluşan bulanık analitik hiyerarşi prosesi (BAHP) ile değerlendirilmiştir. Böylece sayısal olarak üç ana başlık (çevresel, sosyal ve ekonomik ana başlıkları ve toplam 10 gösterge) altında sürdürülebilirlik performansları belirlenerek hendeklerin gri altyapı sistemlerine olan

üstünlük veya zayıflıkları puan sistemine göre belirlenmiştir. Performans analizinden elde edilen sonuçlar, kentlerin sürdürülebilir tasarımı açısından karar vericilere yol gösterici olabilir.

Materyal ve yöntem

Bu bölümde öncelikle bulanık analitik hiyerarşi prosesinin (BAHP) temelini oluşturan bulanık mantık ve analitik hiyerarşi prosesinin gelişim ve işlem aşamaları, daha sonra ise BAHP yönteminin algoritması açıklanmaktadır.

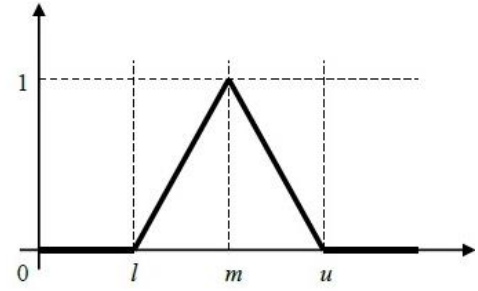
Bulanık Mantık

Bulanık mantık belirsizlikleri tanımlamak için geliştirilmiş bir mantık türüdür. Klasik (geleneksel) mantık bir durumun veya olayın ikili mantık sistemi yani 0 (hiç/yok) veya 1 (hep/tam var) olması haliyle ilgilenirken bulanık mantık bu değerlerin arasında da olabileceğini varsayarak ara durumlarla da ilgilenir. Yani bulanık mantıkta sadece siyah veya sadece beyaz yoktur bu renkler arasındaki gri tonlar da vardır ve bunları da dikkate alır [20]. Bulanık mantık belirsizlik durumlarında çok değerli mantık ile akıl yürütmenin birleştirilmesine dayanmaktadır ve ilk olarak Zadeh [21] tarafından ortaya atılmıştır. Çok değerli mantık ise geleneksel kümelerden meydana gelen önermelerin ikiden fazla doğruluk değeri ile eşleştirilebildiği mantık sistemi olarak tanımlanmaktadır [22].

Bulanık mantık kavramı, önermenin doğruluğunun kesin yanlış (0) veya kesin doğru (1) arasındaki sonsuz sayıdaki doğruluk değerlerini içeren bir kümenin fonksiyonu olarak tanımlanabilir [23]. Dolayısıyla bulanık mantıkta doğru veya yanlış gibi kesin ifadelerin yerine düşük, orta, yüksek gibi ifadeler kullanılabilir [24]. Dolayısıyla bulanık mantık net bir şekilde ifade edilemeyen kavramları yaklaşık olarak nitelendirilebilmesine ve sözel ifadeler şeklinde kullanımına imkân tanır [25]. Bu özelliğiyle bulanık mantık sözel değişkenleri matematiksel olarak ifade edebilmek amacıyla kullanılmaktadır.

Bulanık kümeler 0 ile 1 arasında değişen üyelik derecelerine sahiptir. 0 ile 1 arasındaki değişimin değerine üyelik derecesi, üyelik derecesinin alt küme içerisindeki değişimine ise üyelik fonksiyonu denmektedir [26]. Bir A kümesinin üyelik fonksiyonu $\mu_A(x)$ ile gösterilir ve faktörün kümeye üyeliği 0 ile 1 arasında değerler alır. Faktör kümeye kesinlikle ait ise $\mu_A(x)=1$ değilse $\mu_A(x)=0$ 'dır. Bulanık kümelerde işlemler yamuksal veya üçgensel bulanık sayılara göre yapılır. Bu çalışmada işlem kolaylığı olması açısından üçgensel bulanık sayılarla çalışılmıştır. Üçgensel bulanık sayılar (\tilde{A}); l, m, u gibi üç gerçek sayı ile ifade edilir ve üyelik fonksiyonları bu sayılara bağlı olarak tanımlanır. Burada l ve u sırasıyla bulanıklığın en küçük ve en büyük değerini m ise en olası değeri göstermektedir. Üçgensel bulanık sayıların üyelik fonksiyonu Denklem (1) ile tanımlanmaktadır ve grafiği Şekil 2'de verilmektedir.

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & x < l \text{ veya } x > u \\ \frac{x-l}{m-l}, & l \leq x \leq m \\ \frac{u-x}{u-m}, & m \leq x \leq u. \end{cases} \quad (1)$$



Şekil 2. Üçgensel bulanık sayı.

Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP)

İlk defa Myers ve Alpert [27] tarafından kullanılan Analitik hiyerarşi prosesi (AHP), Saaty [28] tarafından geliştirilmiş çok kriterli karar verme tekniklerinden biridir [29]. AHP'yi diğer çok kriterli karar verme tekniklerinden ayıran özelliği; çok kriterli ve karmaşık problemleri nicel ve nitel değişkenleri bir arada kullanarak hiyerarşik bir yapı oluşturması olarak ifade edilebilir [30]. Bu yöntem, gereksiz matematiksel işlemleri azaltarak kriter ve/veya alternatiflerin ikili olarak karşılaştırılmasından elde edilen öncelik değerlerine göre ölçüm yapar ve uygulaması daha kolaydır [31, 32].

AHP'de öncelikle ulaşılmak istenen hedef doğrultusunda faktör ve alt faktörlerin belirlenip hiyerarşik yapının oluşturulması gerekmektedir. Hiyerarşik yapının ardından her faktör için alternatiflerin değerlendirilmesi ve faktörlerin ağırlıklarının (önem derecelerinin) belirlenmesi amacıyla ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulur. İkili karşılaştırma matrisleri oluşturulurken Tablo 1'de verilen ve Saaty [33], tarafından önerilen değeri 1 ile 9 arasında değişen önem skalası tablosu kullanılır.

Bir sonraki işlem adımında öncelik veya ağırlık vektörlerinin hesaplanması gerekmektedir. Bu aşamada, karşılaştırma matrisinin özdeğer ve özvektörleri öncelik sırasını belirleme amacıyla kullanılabilir. Buna göre en büyük özdeğere karşılık gelen özvektör önceliği belirlemektedir.

AHP'nin son aşaması ise alternatiflerin öncelik değerlerinin hesaplanmasıdır. Bunun için faktörlerin önem ağırlıkları ile alternatiflerin önem ağırlıklarının çarpılması gerekir. Bu işlem sonucunda her bir alternatif için öncelik değeri elde edilir. Bu hesap sonucunda en büyük önceliğe sahip değer en iyi durum olarak seçilir.

Tablo 1. Önem skalası [33].

| Önem Değeri | Tanım |
|-------------|-----------------------|
| 1 | Eşit Derecede Önemli |
| 3 | Biraz Önemli |
| 5 | Fazla Önemli |
| 7 | Çok Fazla Önemli |
| 9 | Aşırı Derecede Önemli |
| 2,4,6,8 | Ara Değerler |

Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (BAHP) ve Algoritması

AHP yöntemi pek çok alanda kullanılmasına rağmen belirsizlik durumlarını dikkate almadığı için eleştirilmektedir

[24, 34]. Bu durumu ortadan kaldırmak ve her durumda AHP yönteminin kullanımını arttırmak için bu yöntemi bulanık mantık ile birleştirilerek bulanık analitik hiyerarşi prosesi (BAHP) kullanılmaya başlanmıştır [20]. Bulanık sayıları literatürde ikili karşılaştırma amacıyla kullanan ilk çalışmalar Van Laarhoven ve Pedrycz [35] ve takiben Burckley [36] tarafından yapılmıştır. Öncü bu çalışmalardan sonra bu alanda yapılan çalışmalar artmıştır.

BAHP'nin algoritması aşağıda basamak sırasına göre açıklanmaktadır.

i) Öncelikle AHP'nin hiyerarşik yapısını oluşturmak amacıyla faktör ve alt faktörler belirlenir. Daha sonra ikili karşılaştırma matrisleri oluşturularak faktör ve alt faktörlerin ağırlıkları hesaplanır. Sonrasında bulanık geometrik ortalama yöntemiyle faktör ve alt faktörlerin bulanık ağırlıkları belirlenir. Bulanık ağırlıklar belirlenirken Saaty [28] tarafından önerilen önem skalası değerleri Prakash [37] tarafından geliştirilen üçgensel bulanık sayılar ile birlikte kullanılır. Faktörlerin karşılaştırılması esnasında kullanılan bulanık sayılar Tablo 2'de verilmektedir.

ii) Sonraki aşamada alt faktörlerin global bulanık ağırlıkları hesaplanır. Bu hesap için alt faktörün ait olduğu faktörün bulanık ağırlığı ile alt faktörün bulanık ağırlığı çarpılır.

iii) Global ağırlıkların belirlenmesinden sonra yağmur hendekleri ve gri altyapı sistemlerine ait bulanık öncelik değerleri belirlenir. Bu çalışmada yağmur hendekleri ile gri altyapı sistemlerini değerlendirmek için Chan vd., [38] tarafından geliştirilen dilsel değişkenler ve bu değişkenlere karşılık gelen üçgensel bulanık sayılar dikkate alınmıştır. Bulanık öncelik değerlerinin belirlenmesinin ardından alt faktör bulanık ağırlıklarının toplanmasıyla yağmur hendekleri ve gri alt yapı sistemleri için toplam bulanık öncelik değerleri hesaplanır. Chan vd., [38] tarafından önerilen bulanık değerlendirme tablosu Tablo 3'te verilmektedir.

iv) Son aşamada toplam bulanık öncelik değerlerinin durulaştırılması işlemi yapılır. Durulaştırma işlemi için α kesme yöntemi uygulanır. Bu yöntemde öncelikle farklı α kesme değerleri için alt ve üst sınırlar belirlenir. α kesme değeri 0 ile 1 arasında değerler alır. Alt ve üst sınırlar ise Denklemler (2) ve (3) ile hesaplanır.

Daha sonra Denklemler (4) ve (5) ile birleştirilmiş alt ve üst sınır öncelik değerleri belirlenir. Son olarak yağmur hendekleri ve gri altyapı sistemleri için λ iyimserlik indeksine göre Denklem (6) ile durulaştırılmış öncelik değerleri hesaplanır. λ iyimserlik indeksinin 0 olması durumu karar vericinin kötümser, 0.5 olması durumu ılımlı ve 1 olması durumu ise iyimser olduğunu göstermektedir. Elde edilen toplam bulanık öncelik ve durulaştırılmış öncelik değerlerine göre faktörlerin (yağmur hendekleri ve gri altyapı sistemleri) sıralaması yapılır. İstenirse durulaştırılmış değerlere normalizasyon işlemi yapılarak da faktörlerin yüzdesel olarak sıralaması yapılabilir.

$$\text{Alt Sınır (A.S.)} = \alpha * (m-l) + l \quad (2)$$

$$\text{Üst Sınır (Ü.S.)} = \alpha * (u-m) + l \quad (3)$$

$$W_{A0} = \frac{\sum_{i=1}^l \alpha_i * (A.S.)_i}{\sum_{i=1}^l \alpha_i} \quad (4)$$

$$W_{Ü0} = \frac{\sum_{i=1}^l \alpha_i * (Ü.S.)_i}{\sum_{i=1}^l \alpha_i} \quad (5)$$

$$W_{D0} = \lambda * W_{Ü0} + (1 - \lambda) * W_{A0} \quad (6)$$

Burada; W_{A0} : alt sınır öncelik değerini, $W_{Ü0}$: üst sınır öncelik değerlerini, W_{D0} : durulaştırılmış öncelik değerlerini, λ : [0 - 1] aralığındaki iyimserlik indeksini göstermektedir.

Tablo 2. Faktörlerin karşılaştırılmasında kullanılan bulanık sayılar [37].

| 1-9 Önem Skalası | Bulanık Sayılar | 1-9 Önem Skalasının Tersisi | Bulanık Sayıların Tersisi |
|------------------|-----------------|-----------------------------|---------------------------|
| 1 | (1, 1, 1) | 1/1 | (1/1, 1/1, 1/1) |
| 2 | (1, 2, 4) | 1/2 | (1/4, 1/2, 1/1) |
| 3 | (1, 3, 5) | 1/3 | (1/5, 1/3, 1/1) |
| 5 | (3, 5, 7) | 1/5 | (1/7, 1/5, 1/3) |
| 7 | (5, 7, 9) | 1/7 | (1/9, 1/7, 1/5) |
| 9 | (7, 9, 11) | 1/9 | (1/11, 1/9, 1/7) |

Tablo 3. Bulanık değerlendirme tablosu [38].

| Dilsel Değişken | Üçgensel Bulanık Sayı |
|-----------------|-----------------------|
| Çok İyi (Çİ) | (3, 5, 5) |
| İyi (İ) | (1, 3, 5) |
| Orta (O) | (1, 1, 1) |
| Düşük (D) | (1/5, 1/3, 1) |
| Çok Düşük (ÇD) | (1/5, 1/5, 1/3) |

Yeşil ve gri altyapı sistemlerinin BAHP yöntemi kullanılarak karşılaştırılması

Sürdürülebilirlik temelde çevresel, sosyal ve ekonomik olmak üzere üç alt başlıklar altında toplanmaktadır [39]. Bu çalışmada da yeşil altyapı uygulaması yağmur hendeklerinin ve gri altyapı sistemlerinin kentsel sürdürülebilirlik açısından değerlendirilmesinde bu üç alt başlıklar göz önüne alınarak gerekli karşılaştırmalar yapılmıştır.

Bulgular

Bu bölümde BAHP yöntemine göre bir yeşil altyapı uygulaması olan yağmur hendekleri (ıslak ve kuru) ile gri altyapı sistemlerinin karşılaştırılması yapılmakta ve elde edilen sonuçlar yorumlanmaktadır.

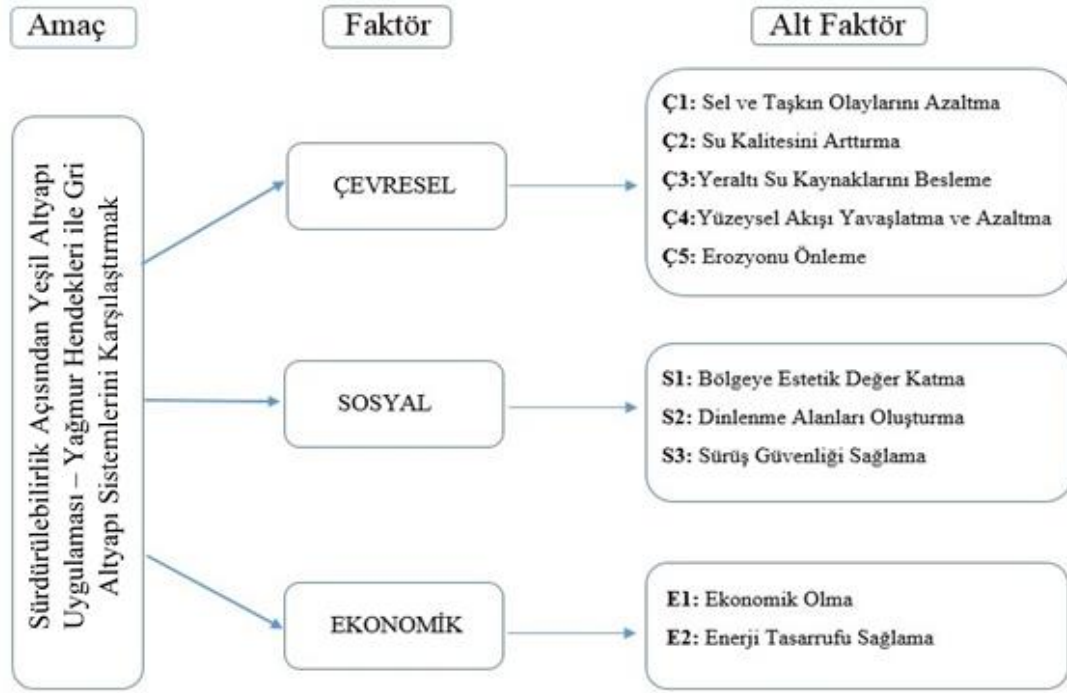
BAHP yöntemi ile altyapı sistemlerinin karşılaştırılması

Karşılaştırma için öncelikle çevresel: 5, sosyal: 3 ve ekonomik: 2 olmak üzere toplam 10 adet sürdürülebilirlik göstergesi dikkate alınmış ve her bir gösterge için literatür araştırması yapılarak bulanık bir puanlama sistemi oluşturulmuştur. Oluşturulan bulanık puanlama sistemi ve literatür araştırması Tablo 4'te ve belirlenen amaç, faktör ve alt faktörler (sürdürülebilirlik göstergeleri) ise Şekil 3'te verilmektedir.

Daha sonra Tablo 5'te belirtilen faktör ve alt faktörlerin kendi aralarındaki ikili karşılaştırmaları Tablo 1'deki önem skalası değerleri dikkate alınarak Tablo 2'ye göre yapılmış ve bulanık ağırlıklar hesaplanmıştır (Tablo 6 - Tablo 8). Faktör ve alt faktörlerin bulanık ağırlıkları hesaplandıktan sonra alt faktörlerin global bulanık ağırlıkları elde edilmiştir (Tablo 9).

Elde edilen global ağırlıklar Tablo 3'te verilen dilsel değişkenlere karşılık gelen üçgensel bulanık sayılarla çarpılarak ıslak ve kuru yağmur hendekleri ile gri altyapı sistemlerinin toplam bulanık öncelik değerleri hesaplanmıştır

(Tablo 10 ve 12). Bu aşamadan sonra α kesme yöntemiyle durulaştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Burada λ iyimserlik indeksi 0.5 (ılımlı karar verici) alınarak Denklem 6'ya göre durulaştırılmış öncelik değerleri hesaplanmıştır (Tablo 13).



Şekil 3. Amaç, faktör ve alt faktörler.

Tablo 4. Bulanık puanlama sistemi ve literatür araştırması.

| | Islak Yağmur Hendeği | | Kuru Yağmur Hendeği | | Gri Altyapı Sistemleri | |
|----|----------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|
| | Bulanık Puan | Kaynak | Bulanık Puan | Kaynak | Bulanık Puan | Kaynak |
| Ç1 | (O) | [40] ¹ | (İ) | [50] | (D) | [53] ¹ |
| Ç2 | (O) | [41, 42] ² | (O) | [41, 50] | (ÇD) | [54, 55] ¹ |
| Ç3 | (D) | [41, 43] ² | (O) | [41, 50, 51] | (ÇD) | [54, 56] ¹ |
| Ç4 | (İ) | [15] ² | (İ) | [45, 50] | (ÇD) | * |
| Ç5 | (İ) | [40, 44] ¹ | (O) | [50, 51] | (ÇD) | [57] ¹ |
| S1 | (D) | [41, 45] ² | (O) | [45, 51] | (ÇD) | * |
| S2 | (ÇD) | [46] ¹ | (ÇD) | [50] | (ÇD) | * |
| S3 | (O) | [17] ¹ | (İ) | [17] ¹ | (D) | * |
| E1 | (O) | [47] | (O) | [50, 51] | (ÇD) | [54] ¹ |
| E2 | (İ) | [48, 49] ¹ | (Çİ) | [49, 52] ¹ | (ÇD) | [53, 58] ¹ |

Tablo 5. Faktörlere ait ikili karşılaştırma matrisleri ve hesaplanan bulanık ağırlık değerleri.

| Faktörler | ÇF | SF | EF | Bulanık Ağırlıklar |
|-------------------------|-----------------|---------------|-----------|-------------------------|
| Çevresel Faktörler (ÇF) | (1, 1, 1) | (3, 5, 7) | (3, 5, 7) | (0.375, 0.700, 1.258) |
| Sosyal Faktörler (SF) | (1/7, 1/5, 1/3) | (1, 1, 1) | (1, 3, 5) | (0.0942, 0.202, 0.407) |
| Ekonomik Faktörler (EF) | (1/7, 1/5, 1/3) | (1/5, 1/3, 1) | (1, 1, 1) | (0.0552, 0.0971, 0.238) |

¹ Puanlama ilgili makale/rapor/tez dikkate alınarak yazarlar tarafından yapılmıştır.

² Puanlama sulak alan özellikleri dikkate alınarak yapılmıştır.

*Yazarların fikir ve görüşleri doğrultusunda puanlama yapılmıştır.

(ÇD) Çok Düşük, (D) Düşük, (O) Orta, (İ) İyi, (Çİ) Çok İyi.

Tablo 6. Çevresel alt faktörlere ait ikili karşılaştırma matrisi.

| Çevresel (Ç) Faktör | Ç1 | Ç2 | Ç3 | Ç4 | Ç5 | Bulanık Ağırlıklar |
|---------------------|---------------|-----------------|---------------|---------------|-----------|-----------------------|
| Ç1 | (1, 1, 1) | (1, 1, 1) | (1, 3, 5) | (1, 1, 1) | (1, 3, 5) | (1.000, 1.552, 1.904) |
| Ç2 | (1, 1, 1) | (1, 1, 1) | (1, 3, 5) | (1, 3, 5) | (3, 5, 7) | (1.246, 2.141, 2.809) |
| Ç3 | (1/5, 1/3, 1) | (1/5, 1/3, 1) | (1, 1, 1) | (1/5, 1/3, 1) | (1, 3, 5) | (0.381, 0.644, 1.380) |
| Ç4 | (1, 1, 1) | (1/5, 1/3, 1) | (1, 3, 5) | (1, 1, 1) | (1, 3, 5) | (0.725, 1.246, 1.904) |
| Ç5 | (1/5, 1/3, 1) | (1/7, 1/5, 1/3) | (1/5, 1/3, 1) | (1/5, 1/3, 1) | (1, 1, 1) | (0.258, 0.375, 0.803) |

Tablo 7. Sosyal alt faktörlere ait ikili karşılaştırma matrisi.

| Sosyal (S) Faktör | S1 | S2 | S3 | Bulanık Ağırlıklar |
|-------------------|-----------|-----------|---------------|-----------------------|
| S1 | (1, 1, 1) | (1, 1, 1) | (1/5, 1/3, 1) | (0.725, 0.693, 1.000) |
| S2 | (1, 1, 1) | (1, 1, 1) | (1/5, 1/3, 1) | (0.725, 0.693, 1.000) |
| S3 | (1, 3, 5) | (1, 3, 5) | (1, 1, 1) | (1.000, 2.080, 1.904) |

Tablo 8. Ekonomik alt faktörlere ait ikili karşılaştırma matrisi.

| Ekonomik (E) Faktör | E1 | E2 | Bulanık Ağırlıklar |
|---------------------|---------------|-----------|-----------------------|
| E1 | (1, 1, 1) | (1, 3, 5) | (1.000, 1.732, 2.236) |
| E2 | (1/5, 1/3, 1) | (1, 1, 1) | (0.447, 0.577, 1.000) |

Tablo 9. Alt faktörlerin global ağırlıkları

| Faktörler ve Bulanık Ağırlıklar | Alt Faktörler ve Bulanık Ağırlıklar | Alt Faktörlerin Global Bulanık Ağırlıkları |
|---|-------------------------------------|--|
| Çevresel Faktörler (0.375, 0.700, 1.258) | Ç1 (1.000, 1.552, 1.904) | (0.375, 1.086, 2.395) |
| | Ç2 (1.246, 2.141, 2.809) | (0.467, 1.499, 3.534) |
| | Ç3 (0.381, 0.644, 1.380) | (0.143, 0.451, 1.736) |
| | Ç4 (0.725, 1.246, 1.904) | (0.272, 0.872, 2.395) |
| | Ç5 (0.258, 0.375, 0.803) | (0.097, 0.263, 1.010) |
| Sosyal Faktörler (0.0942, 0.202, 0.407) | S1 (0.725, 0.693, 1.000) | (0.068, 0.140, 0.407) |
| | S2 (0.725, 0.693, 1.000) | (0.068, 0.140, 0.407) |
| | S3 (1.000, 2.080, 1.904) | (0.094, 0.420, 0.775) |
| Ekonomik Faktörler (0.0552, 0.0971, 0.238) | E1 (1.000, 1.732, 2.236) | (0.055, 0.168, 0.532) |
| | E2 (0.447, 0.577, 1.000) | (0.025, 0.056, 0.238) |

Tablo 10. Islak yağmur hendeği için toplam bulanık öncelik değerleri.

| Alt Faktörler | Global Bulanık Ağırlık | Islak Yağmur Hendeği | | |
|-------------------------------|------------------------|----------------------|-----------------------|-------------------------------|
| | | Dilsel Değişken | Üçgensel Bulanık Sayı | Ağırlık |
| Ç1 | (0.375, 1.086, 2.395) | (O) | (1, 1, 1) | (0.375, 1.086, 2.395) |
| Ç2 | (0.467, 1.499, 3.534) | (O) | (1, 1, 1) | (0.467, 1.499, 3.534) |
| Ç3 | (0.143, 0.451, 1.736) | (D) | (1/5, 1/3, 1) | (0.029, 0.150, 1.736) |
| Ç4 | (0.272, 0.872, 2.395) | (İ) | (1, 3, 5) | (0.272, 2.616, 11.975) |
| Ç5 | (0.097, 0.263, 1.010) | (İ) | (1, 3, 5) | (0.097, 0.789, 5.050) |
| S1 | (0.068, 0.140, 0.407) | (D) | (1/5, 1/3, 1) | (0.014, 0.047, 0.407) |
| S2 | (0.068, 0.140, 0.407) | (ÇD) | (1/5, 1/5, 1/3) | (0.014, 0.028, 0.136) |
| S3 | (0.094, 0.420, 0.775) | (O) | (1, 1, 1) | (0.094, 0.420, 0.775) |
| E1 | (0.055, 0.168, 0.532) | (O) | (1, 1, 1) | (0.055, 0.168, 0.532) |
| E2 | (0.025, 0.056, 0.238) | (İ) | (1, 3, 5) | (0.025, 0.168, 1.190) |
| Toplam Bulanık Öncelik | | | | (1.442, 6.971, 27.730) |

Tablo 11. Kuru yağmur hendeği için toplam bulanık öncelik değerleri.

| Alt Faktörler | Global Bulanık Ağırlık | Kuru Yağmur Hendeği | | |
|-------------------------------|------------------------|---------------------|---------------|------------------------|
| | | Dilsel Değişken | Bulanık Sayı | Ağırlık |
| Ç1 | (0.375, 1.086, 2.395) | (İ) | (1, 3, 5) | (0.375, 3.258, 11.975) |
| Ç2 | (0.467, 1.499, 3.534) | (O) | (1, 1, 1) | (0.467, 1.499, 3.534) |
| Ç3 | (0.143, 0.451, 1.736) | (O) | (1, 1, 1) | (0.143, 0.451, 1.736) |
| Ç4 | (0.272, 0.872, 2.395) | (İ) | (1, 3, 5) | (0.272, 2.616, 11.975) |
| Ç5 | (0.097, 0.263, 1.010) | (O) | (1, 1, 1) | (0.097, 0.263, 1.010) |
| S1 | (0.068, 0.140, 0.407) | (O) | (1, 1, 1) | (0.068, 0.140, 0.407) |
| S2 | (0.068, 0.140, 0.407) | (ÇD) | (1/5, 1/3, 1) | (0.014, 0.047, 0.407) |
| S3 | (0.094, 0.420, 0.775) | (İ) | (1, 3, 5) | (0.094, 1.260, 3.875) |
| E1 | (0.055, 0.168, 0.532) | (O) | (1, 1, 1) | (0.055, 0.168, 0.532) |
| E2 | (0.025, 0.056, 0.238) | (Çİ) | (3, 5, 5) | (0.075, 0.280, 1.190) |
| Toplam Bulanık Öncelik | | | | (1.660, 9.982, 36.641) |

Tablo 12. Gri altyapı sistemleri için toplam bulanık öncelik değerleri.

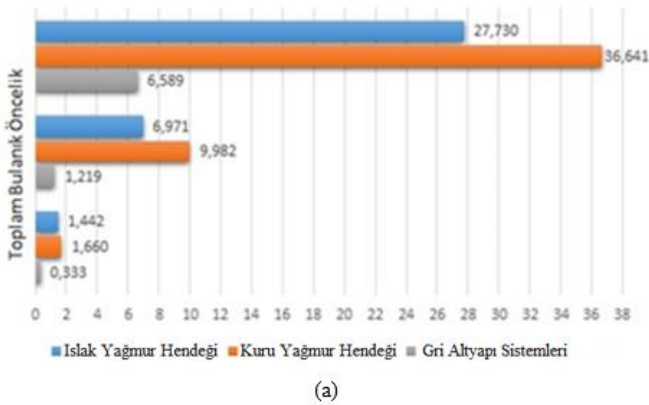
| Alt Faktörler | Global Bulanık Ağırlık | Gri Altyapı Sistemleri | | |
|-------------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|
| | | Dilsel Değişken | Üçgensel Bulanık Sayı | Ağırlık |
| Ç1 | (0.375, 1.086, 2.395) | (D) | (1/5, 1/3, 1) | (0.075, 0.362, 2.395) |
| Ç2 | (0.467, 1.499, 3.534) | (ÇD) | (1/5, 1/5, 1/3) | (0.093, 0.299, 1.178) |
| Ç3 | (0.143, 0.451, 1.736) | (ÇD) | (1/5, 1/5, 1/3) | (0.029, 0.090, 0.579) |
| Ç4 | (0.272, 0.872, 2.395) | (ÇD) | (1/5, 1/5, 1/3) | (0.054, 0.174, 0.798) |
| Ç5 | (0.097, 0.263, 1.010) | (ÇD) | (1/5, 1/5, 1/3) | (0.019, 0.053, 0.336) |
| S1 | (0.068, 0.140, 0.407) | (ÇD) | (1/5, 1/5, 1/3) | (0.014, 0.028, 0.136) |
| S2 | (0.068, 0.140, 0.407) | (ÇD) | (1/5, 1/5, 1/3) | (0.014, 0.028, 0.136) |
| S3 | (0.094, 0.420, 0.775) | (D) | (1/5, 1/3, 1) | (0.019, 0.140, 0.775) |
| E1 | (0.055, 0.168, 0.532) | (ÇD) | (1/5, 1/5, 1/3) | (0.011, 0.034, 0.177) |
| E2 | (0.025, 0.056, 0.238) | (ÇD) | (1/5, 1/5, 1/3) | (0.005, 0.011, 0.079) |
| Toplam Bulanık Öncelik | | | | (0.333, 1.219, 6.589) |

Tablo 13. Durulaştırılmış değerler.

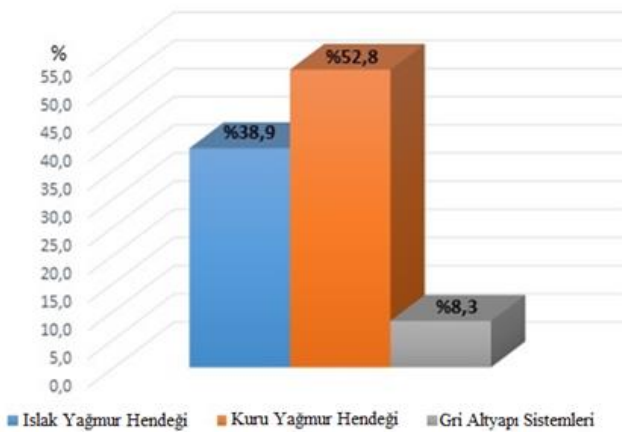
| Islak Yağmur Hendeği | | | | | | | | | |
|---|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| α kesmesi | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.9 |
| Alt Sınır | 1.9949 | 2.5478 | 3.1007 | 3.6536 | 4.2065 | 4.7594 | 5.3123 | 5.8652 | 6.4181 |
| Üst Sınır | 26.7091 | 24.6762 | 22.6433 | 20.6104 | 18.5775 | 16.5446 | 14.5117 | 12.4788 | 10.4459 |
| $W_{IDA} = 4.944, W_{IDÜ} = 15.867, W_{IDÖ} = 10.405$ | | | | | | | | | |
| Kuru Yağmur Hendeği | | | | | | | | | |
| α kesmesi | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.9 |
| Alt Sınır | 2.4922 | 3.3244 | 4.1566 | 4.9888 | 5.821 | 6.6532 | 7.4854 | 8.3176 | 9.1498 |
| Üst Sınır | 35.4272 | 32.7844 | 30.1416 | 27.4988 | 24.856 | 22.2132 | 19.5704 | 16.9276 | 14.2848 |
| $W_{KDA} = 6.931, W_{KDÜ} = 21.332, W_{KDÖ} = 14.131$ | | | | | | | | | |
| Gri Altyapı Sistemleri | | | | | | | | | |
| α kesmesi | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.9 |
| Alt Sınır | 0.4216 | 0.5102 | 0.5988 | 0.6874 | 0.776 | 0.8646 | 0.9532 | 1.0418 | 1.1304 |
| Üst Sınır | 6.385 | 5.848 | 5.311 | 4.774 | 4.237 | 3.7 | 3.163 | 2.626 | 2.089 |
| $W_{GDA} = 0.894, W_{GDÜ} = 3.521, W_{GDÖ} = 2.208$ | | | | | | | | | |

Tablolarda, WIDA: ıslak yağmur hendeği durulaştırılmış alt sınırı, WIDÜ: ıslak yağmur hendeği durulaştırılmış üst sınırı, WIDÖ: ıslak yağmur hendeği durulaştırılmış öncelik değerini, WKDA: kuru yağmur hendeği durulaştırılmış alt sınırı, WKDÜ: kuru yağmur hendeği durulaştırılmış üst sınırı, WKDÖ: kuru yağmur hendeği durulaştırılmış öncelik değerini, WGDA: gri altyapı sistemleri durulaştırılmış alt sınırı, WGDÜ: gri altyapı sistemleri durulaştırılmış üst sınırı, WGDÖ: gri altyapı sistemleri durulaştırılmış öncelik değerini ifade etmektedir.

Hesaplamalar sonucunda elde edilen toplam bulanık öncelik değerlerine ait grafik Şekil 4a'da ve durulaştırılmış öncelik değerlerinin normalleştirilmesiyle elde edilen normalleştirilmiş yüzde öncelik değerleri ise Şekil 4b'de verilmektedir. Bu grafiklere göre yağmur hendeklerinin gri altyapı sistemlerden sürdürülebilirlik açısından daha iyi bir performans sergilediği net bir şekilde görülmektedir. Ayrıca yine aynı grafiklerden kuru yağmur hendeklerinin ıslak yağmur hendeklerinden az farkla daha üstün olduğu anlaşılmaktadır.



(a)



(b)

Şekil 4. Yağmur hendekleri ve gri altyapı sistemleri için a) toplam bulanık öncelik b) normalleştirilmiş yüzde öncelik değerleri.

Tartışma ve sonuçlar

Bu çalışmada kullanılan BAHP, karar vericinin net bir şekilde doğru veya yanlış gibi söylemler yerine kısmen doğru,

kısmen yanlış, güçlü bir şekilde doğru veya yanlış şeklinde daha bulanık kararlar verebilmesine imkân tanımaktadır. Aynı zamanda bir hiyerarşi oluşturarak kriterlerin kendi arasında karşılaştırılmasına olanak sağlamaktadır. Dolayısıyla en iyi alternatifin seçilmesinde kullanılan rasyonel, kullanışlı ve kullanımı kolay bir yöntemdir [59]. Bu yöntem çoğunlukla iktisadi ve idari bilimlerle diğer sosyal bilimlere ait araştırmalarda en iyi seçeneğin seçilmesi veya seçenekler arasında sıralama yapılması amacıyla kullanılmaktadır. Bu çalışmada ise yeşil ve gri altyapı sistemlerinin sürdürülebilirlik performanslarının değerlendirilmesi amacıyla kullanılarak fen bilimleri gibi farklı bir alandaki yeterliliği araştırılmış ve açık net şekilde gri altyapılarına göre hendeklerin daha sürdürülebilir olduğu gösterilmiştir.

Yeşil altyapı uygulaması olan yağmur hendekleri ile gri altyapı sistemlerinin sürdürülebilirlik açısından karşılaştırılmasında toplam bulanık öncelik değerleri (düşük-orta-yüksek) düşünüldüğünde her üç değer için de yağmur hendeklerinin gri altyapı sistemlerinden belirgin bir şekilde ön planda olduğu bulunmuştur (Tablo 12 ve Şekil 4a). Tablo 13'te verilen durulaştırılmış öncelik değerleri, Şekil 4b'deki normalleştirilmiş yüzde öncelik değerlerine dönüştürüldüğünde fark daha da netleşmiştir. Bu değerlere göre kuru yağmur hendekleri değerlendirilen alt faktörler dikkate alındığında %52,8 oranında sürdürülebilirliğe katkı sağlarken ıslak yağmur hendekleri %38,9 oranında sürdürülebilirliğe katkıda bulunmaktadır. Buna rağmen gri altyapı sistemlerinin kentsel sürdürülebilirliğe olan katkısı ise sadece %8,3 oranındadır. Dolayısıyla bu çalışma ile hem ıslak hem de kuru yağmur hendeklerinin gri altyapı sistemlerine göre sürdürülebilirlik bakımından daha üstün bir performansla sahip olduğu bulunmuştur. Gri altyapı sistemleri ile yağmur hendekleri arasındaki fark beklenen sonuç olmasına rağmen kuru ve ıslak yağmur hendekleri arasındaki fark önemlidir. Bunun en önemli sebebi kuru yağmur hendeklerinin şehir içindeki kullanım alanlarının fazla olması ve içerisindeki suyu altyapı sistemine aktarabilmesidir.

Gri ve yeşil altyapı sistemlerinin hem toplam bulanık hem de normalleştirilmiş yüzdesel öncelik değerlerine göre, karar vericiler kentsel bölgelerde öncelikle kuru yağmur hendeklerini, eğer bu hendekler için uygun zemin ortamı mevcut değilse ikincil olarak ıslak yağmur hendeklerinin inşa etmeleri gerekmektedir. Bunu yanın sıra gri sistemlerin sürdürülebilirliğin yaklaşık 4,5 katı kadar sürdürülebilir olan hendeklerin kullanımının artırılması ve kentsel bölgelerde mevcut durumda kullanılan gri altyapı sistemlerinin yeşil altyapı sistemleri ile yer değiştirmesi gerektiğini göstermektedir. En azından yeşil ve gri altyapı sistemlerinin birlikte kullanılması (bütünleşik altyapı sistemi) sürdürülebilirlik için gerekli olduğu ortaya çıkarmaktadır [60].

Kuru ve ıslak yağmur hendekleri kullanılarak kentleşme sonucu artan geçirimsiz yüzeylerin olumsuz etkileri örneğin sel ve taşkın olaylarının gözlemlenmesi, su kalitesinin bozulması, yeraltı su kaynaklarının yeterince beslenememesi, bölgenin estetik değerinin ve dinlenme alanlarının azalması ve enerji kaybı gibi sorunlar hafifletilebilir. Bu uygulamaların kentlerin sürdürülebilirliğine olumlu katkılar sağladığı yapılan bilimsel çalışmalarla kanıtlanmıştır [61, 62].

Dolayısıyla ülkemizde de bu tarz uygulamaların artması gelecek nesillerin daha sağlıklı bir ortamda yaşamaları için zemin hazırlayacaktır.

Kullanılan 5 çevresel, 3 sosyal ve 2 ekonomik alt faktörlere göre yapılan değerlendirmelerde en büyük puana sahip kuru yağmur hendeğinin çıkması bu hendeğin faydalarının yanında kullanım alanının da geniş olması sebebi ile sürdürülebilir şehirler için ilk başvurulacak yeşil altyapı haline getirmektedir. Bu çalışmada sadece yağmur hendekleri kıyaslandığı için diğer yeşil altyapı sistemleri kıyaslanmadığından birbirlerine göre üstünlükleri net olmamasına rağmen gri altyapıya olan üstünlüğü açık şekilde ortaya konulmuştur. Bu yüzden klasik yöntemlerden uzaklaşılması gerekmektedir.

Yeşil altyapı uygulamalarında biri olan yağmur hendeklerinin ülkemizdeki uygulama alanlarının artmasıyla kentsel sürdürülebilirliğe olumlu katkılar sağlanacağı ve yağmur suyundan daha fazla yararlanma imkânı doğacağı açıktır. Dolayısıyla bu çalışmadan elde edilen sonuçlar ışığında yağmur hendeklerinin özellikle kentsel bölgelerde kullanımının yaygınlaştırılması sürdürülebilirlik açısından fayda sağlayacağı açıktır.

Yazarların Katkısı: Makale 1. yazar tarafından gerekli hesaplamalar/araştırmalar yapılarak yazılmış ve 2. Yazarın danışmanlığında tasarlanarak eleştirel olarak incelenip revize edilmiştir.

Etik kurul izni: Hazırlanan makalede etik kurul izni alınmasına gerek yoktur.

Çıkar Çatışması: Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynaklar

- [1] D. Butler, and J. W. Davies, "Urban drainage," 2nd edition, Spon Press Taylor & Francis Group, London and New York. 2004.
- [2] V. Müftüoğlu, ve H. Perçin, "Sürdürülebilir kentsel yağmur suyu yönetimi kapsamında yağmur bahçesi," İnönü Üniversitesi Sanat ve Tasarım Dergisi, vol. 5, no. 11, pp. 27-37, 2015.
- [3] M.S. Foomani, and B. Malekmohammadi, "Site selection of sustainable urban drainage systems using fuzzy logic and multi-criteria decision-making." *Water and Environment Journal*, vol. 34, pp. 584-599, 2020.
- [4] G. Lindh, "Urbanization: A hydrological headache," Springer, vol. 1, no. 6, pp. 185-201, 1972.
- [5] Q. Zeng, L. Hao, X. Huang, L. Sun, and G. Sun, "Effects of urbanization on watershed evapotranspiration and its components in Southern China," *Water*, vol. 12, no. 645, pp. 1-23, 2020.
- [6] M.E. Dietz, and C.L. Arnold, "Can green infrastructure provide both water quality and flood reduction benefits," *Journal of Sustainable Water Built Environment*, vol. 4, no. 2, 2018.
- [7] Y. Bai, N. Zhao, R. Zhang, and X. Zeng, "Stormwater management of low impact development in urban areas

based on SWMM," *Water*, vol. 11, no. 33, pp. 1-16, 2019.

- [8] N.H. Quan, N.D. Hieu, T.T.V. Thu, M. Buchanan, N.D. Canh, M.C.O. Santos, P.D.M.H. Luan, T.T. Hoang, H.L.T. Phung, K.M. Canh, and M. Smith, "Green infrastructure modelling for assessment of urban flood reduction in Ho Chi Minh City," *CIGOS 2019 Innovation for Sustainable Infrastructure*, Lecture Notes in Civil Engineering, vol. 54, pp. 1105-1110, 2020.
- [9] N.B. Chang, J.W. Lu, T.F.M. Chui, and N. Hartshorn, "Global policy analysis of low impact development for stormwater management in urban regions," *Land Use Policy*, vol. 70, pp. 368-383, 2018.
- [10] C.L. Huang, N.S. Hsu, H.J. Liu, and Y.H. Huang, "Optimization of low impact development layout designs for megacity flood mitigation," *Journal of Hydrology*, vol. 564, pp. 542-558, 2018.
- [11] A. Fardel, P.E. Peyneau, B. Béchet, A. Lakel, and F. Rodriguez, "Analysis of swale factors implicated in pollutant removal efficiency using a swale database," *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 26, no. 2, pp. 1287-1302, 2019.
- [12] S.A. Ekka, H. Rujner G. Leonhardt, G. Tobias, M. Blecken Viklander and W.F. Hunt. "Next generation swale design for stormwater runoff treatment: A comprehensive approach," *Journal of Environmental Management*, vol. 279, no. 1, pp. 1-16, 2021.
- [13] D.M. Revitt, J.B. Ellis, and L. Lundy, "Assessing the impact of swales on receiving water quality," *Urban Water Journal*, vol. 14, no. 8, pp. 839-845, 2017.
- [14] N.Y., Tang, T. Li, and J. Ge, "Assessing ability of a wet swale to manage road runoff: A case Study in Hefei, China," *J. Cent. South Univ.*, vol. 23, pp. 1353-1362, 2016.
- [15] R.A. Claytor, and T.R. Schueler, "Design of stormwater filtering systems," Center for Watershed Protection and Chesapeake Research Consortium, Ellicott, USA, 1996.
- [16] R. Pitt, and S.E. Clark, "Integrated storm-water management for watershed sustainability," *Journal of irrigation and drainage engineering*, vol. 134, no. 5, pp. 548-555, 2008.
- [17] BWSC: Boston Water and Sewer Commission, "Stormwater best management practices: Guidance document," Boston, USA, 2013. Available: http://www.bwsc.org/sites/default/files/2019-01/stormwater_bmp_guidance_2013.pdf
- [18] G. Rong, L. Hu, X. Wang, H. Jiang, D. Gan, and S. Li, "Simulation and evaluation of low-impact development practices in university construction: A case study of Anhui University of Science and Technology," *Journal of Cleaner Production*, vol. 294, pp. 1-10, 2021.
- [19] T.J. Hengen, H.L. Sieverding, and J.J. Stone, "Lifecycle assessment analysis of engineered stormwater control methods common to urban

- watersheds,” *Journal of Water Resources Planning and Management*, vol. 142 no. 7, 2016.
- [20] A. Göksu, “Bulanık analitik hiyerarşik proses ve üniversite tercih sıralamasında uygulanması,” *Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye, 2008.*
- [21] L.A. Zadeh, “Fuzzy sets, *Information and control*,” vol. 8, pp. 338-353, 1965.
- [22] M.M. Özkan, “Bulanık hedef programlama,” *Ekin Kitabevi, Bursa, Türkiye, 2003.*
- [23] N. Baykal, ve T. Beyan, “Bulanık mantık ilke ve temelleri,” *Bıçaklar Kitabevi, Ankara, Türkiye, 2004.*
- [24] M. Dağdeviren, “Bulanık analitik hiyerarşi prosesi ile personel seçimi ve bir uygulama,” *Gazi Üniv., Müh. Mim. Fak. Dergisi.*, vol. 22, no. 4, pp. 791-799, 2007.
- [25] İ. Ertuğrul, “Bulanık hedef programlama ve bir tekstil firmasında uygulama örneği,” *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, vol. 6 no. 2, pp. 46-79, 2005.
- [26] Z. Şen, “Bulanık mantık ilkeleri ve modelleme,” *Su Vakfı Yayınları, İstanbul, 2009.*
- [27] J.M. Myers, and M.I. Alpert, “Determinant buying attitudes: Meaning and measurement,” *Journal of Marketing.*, vol. 32, no. 4, pp. 13-20, 1968.
- [28] T.L. Saaty, “The analytic hierarchy process,” *McGraw-Hill Inc., New York, 1977.*
- [29] N. Özgüven, “Vakıf üniversitesi tercihinin analitik hiyerarşi süreci ile belirlenmesi,” *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, no. 30, pp. 279-289, 2011.
- [30] Toksarı, M. “Analitik hiyerarşi prosesi yaklaşımı kullanılarak mobilya sektörü için ege bölgesi’nde hedef pazarın belirlenmesi,” *Yönetim ve Ekonomi*, vol. 14, no. 1, pp. 171-180, 2007.
- [31] E. Yılmaz, “Analitik hiyerarşi süreci kullanılarak çok kriterli karar verme problemlerinin çözümü,” *DOA Dergisi*, vol. 5, pp. 95-122, 1999.
- [32] H. Başlıgil, “The fuzzy analytic hierarchy process for software selection problems,” *Yıldız Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, vol. 3, pp. 24-33, 2005.
- [33] T.L. Saaty, “The analytic hierarchy process,” *McGraw-Hill, Newyork*, pp. 37-85, 1980.
- [34] H. Deng, “Multicriteria analysis with fuzzy pairwise comparison,” *International Journal of Approximate Reasoning*, vol. 21, pp. 215-231, 1999.
- [35] P.J.M. Van Laarhoven, and W. Pedrycz, “A fuzzy extension of Saaty’s priority theory”, *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 11, pp. 229-241, 1983.
- [36] J.J. Buckley, “Fuzzy hierarchical analysis,” *Fuzzy Sets and Systems*, 17, 233-247, 1985.
- [37] T.N. Prakash, “Land suitability analysis for agricultural crops: A fuzzy multicriteri decision making approach,” *MSc Thesis, ITC Institue, Netherlands, 2003.*
- [38] F.T.S. Chan, M.H. Chan, and N.K.H. Tang, “Evaluation methodologies for technology selection,” *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 107 no. 1-3, pp. 330–337, 2000.
- [39] A.D. Basiago, “Economic, social, and environmental sustainability in development theory and urban planning practice,” *The Environmentalist*, vol. 19, pp.145-161, 1999.
- [40] CASQA: California Stormwater Quality Association, “Stormwater best management practice handbook: New development and redevelopment,” *California, USA, 2003.* Available: https://www.in.gov/indot/files/California_Storm_Water_BMP_Handbook.pdf
- [41] WSCC: West Sussex County Council, “Suds design and adoption guidance, Water people places: A guidance for master planning sustainable drainage into developments,” 2013. Available: https://www.susdrain.org/files/resources/other-guidance/water_people_places_guidance_for_master_planning_sustainable_drainage_into_developments.pdf
- [42] A.M. Hansen, T.E.C. Kraus, S.M. Bachand, W.R. Horwath, and P.A.M. Bachand, “Wetlands receiving water treated with coagulants improve water quality by removing dissolved organic carbon and disinfection byproduct precursors,” *Science of Total Environment*, vol. 622-623, pp. 603-613, 2018.
- [43] B.R. Hensel, and M.V. Miller, “Effects of wetlands creation on groundwater flow,” *Journal of Hydrology*, vol. 126, no. 3-4, pp. 293-314, 1991.
- [44] M. Jiang, X.G. Lu, L.S. Xu, L.J. Chu, and S.Tong, “Flood mitigation benefit of wetland soil-A case study in Momoge National Nature Reserve in China,” *Ecological Economics*, vol. 61 no. 2-3, pp. 217-223, 2007.
- [45] EA: Environment Agency, “Rural sustainable drainage systems,” 2012. Available: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/291508/sc_ho0612buwh-e-e.pdf
- [46] C.N. Ceron, A.M. Melesse, R. Price, S.B. Dessu, and H.P. Kandel, “Operational actual wetland evapotranspiration estimation for South Florida using MODIS imagery,” *Remote Sensing*, vol. 7, pp. 3613-3632, 2015.
- [47] MDE and CWP: Maryland Department of the Environment water management administration and Center for Watershed Protection, “Maryland stormwater design manual,” Vol. I & II, Baltimore, USA, 2000. Available: <https://mde.state.md.us/programs/Water/StormwaterManagementProgram/Documents/www.mde.state.md.us>

- [/assets/document/sedimentstormwater/Introduction.pdf](#).
- [48] J. Pokorný, J. Květ, and A. Rejšková, “Wetlands as energy-dissipating systems,” *Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology*, vol. 37, no. 12, pp. 1299-1305, 2010.
- [49] M.F. Bakır, S. Akhuy, ve G. Aydemir, “Permakültür el kitabı ve Marmariç örneği,” 2011. Available: http://permacultureturkey.org/wp-content/uploads/permakultur_el_kitabi.pdf
- [50] NWRM: Natural Water Retention Measures, Individual NWRM: Swales, 2013. Available: http://nwrn.eu/sites/default/files/nwrn_ressources/u4_-_swales.pdf
- [51] CLCA: The City of Lancaster a City, “Authentic, Green infrastructure plan,” 2011. Available: https://uni-groupusa.org/PDF/cityoflancaster_giplan_fullreport_april2011_final_0.pdf
- [52] CNT: Center for Neighborhood Technology, “The value of green Infrastructure: A guide to recognizing its economic environmental and social benefit,” Bioretention and infiltration practices. W. North Avenue, Chicago, 2010. Available: https://www.cnt.org/sites/default/files/publications/CNT_Value-of-Green-Infrastructure.pdf
- [53] Sert, E. “Enerji etkin peyzaj tasarımında yağmur suyu,” Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 2013.
- [54] Demir, D. “Konveksiyonel yağmur suyu yönetim sistemleri ile sürdürülebilir yağmur suyu yönetim sistemlerinin karşılaştırılması: İTÜ Ayazağa Yerleşkesi Örneği,” Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 2012.
- [55] C., Liqueste, A., Udias, G., Conte, B.Grizzetti, and F. Masi, “Integrated valuation of a nature-based solution for water pollution control,” *Highlighting hidden benefits, Ecosystem Services*, vol. 22, pp. 392-401, 2016.
- [56] J. Xie, C. Wu, H. Li, and G. Chen, “Study on storm-water management of grassed swales and permeable pavement based on SWMM,” *Water Journal*, vol. 9, no. 840, pp. 1-12, 2017.
- [57] R.J. Winston, W.F. Hunt, S.G. Kennedy, J.D. Wright, and M.S. Lauffer, “Field evaluation of storm-water control measures for highway runoff treatment,” *Journal of Environmental Engineering ASCE*, vol. 138, no. 1, pp. 101-111, 2012.
- [58] L.A. Sanudo-Fontaneda, S.J. Coupe, et. al., “Water sensitive design and renewable energy: Green infrastructure as the future path for flood resilience, food production and energy saving.” *Water Efficiency Conference*, pp. 104-113, 2016.
- [59] N. Prascevic, and Z. Prascevic, “Application of fuzzy AHP for ranking and selection of alternatives in construction project management,” *Journal of Civil Engineering and Management*, vol. 23, no. 8, pp. 1822-3605, 2017.
- [60] H. Tavakol-Davani, S. J. Burian, J. Devkota, and D. Apul, “Performance and cost-based comparison of green and gray infrastructure to control combined sewer overflows,” *Journal of Sustainable Water in the Built Environment*, vol. 2, no. 2, 04015009, 2016.
- [61] D. Kim, and S.K. Song, “The multifunctional benefits of green infrastructure in community development: an analytical review based on 447 cases,” *Sustainability*, vol. 11, no. 14, pp. 1-17, 2019.
- [62] Meerow, S. Natarajan, M. and Krantz, D. “Green infrastructure performance in arid and semi-arid urban environments,” *Urban Water Journal*, vol. 18, no.4, pp. 275-285, 2021.