

Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) ile Sulama Sistemi Seçimi: Niğde İli Örneği

Ali Kaan YETİK^{1*}, Zeynep ÜNAL²

¹Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Tarım Bilimleri ve Teknolojileri Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, 51120, Niğde

²Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Tarım Bilimleri ve Teknolojileri Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, 51120, Niğde

¹<https://orcid.org/0000-0003-1372-8407>

²<https://orcid.org/0000-0002-9954-1151>

*Sorumlu yazar: alikaanyetik@ohu.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 20.02.2024

Kabul tarihi:07.06.2024

Online Yayınlanma: 10.12.2024

Anahtar Kelimeler:

Sulama yöntemleri

Analitik hiyerarşi süreci (AHP)

Karar verme

Damla sulama

ÖZ

Arazi koşulları düşünüldüğünde, en uygun sulama yöntemini seçmek farklı değişkenleri barındıran karmaşık bir karar verme sürecini gerektirir. Bu çalışma, Niğde ili için sulama yöntemi seçimi sorununa çok kriterli karar verme yöntemleriyle yaklaşmayı amaçlamaktadır. Yöntem seçimi için öne çıkan kriterlerin önem dereceleri Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yöntemi aracılığıyla uzman görüşleri alınarak belirlenmiştir. Tava sulama, karık sulama, damla sulama ve yağmurlama sulama yöntemlerinin değerlendirilmesi için; su kullanım etkinliği, sistem maliyeti, bitki tipi, sulama yapacak kişinin teknik bilgisi, su mevcudiyeti, iklim, toprak tipi, geleneksel alışkanlıklar, eğitim ve su kalitesi kriterlerinin ağırlıkları belirlenmiştir. Sonuçlar, su mevcudiyeti kriterinin %23,7'lik bir ağırlıkla en önemli kriter olduğunu göstermektedir. En az önemli kriter ise geleneksel alışkanlıklar olarak belirlenmiştir (%2,9). Tüm kriterlerin birlikte değerlendirildiği durumda, damla sulama yöntemi en avantajlı seçim olarak belirlenirken, sırasıyla yağmurlama sulama yöntemi ikinci, karık sulama üçüncü ve tava sulama ise dördüncü sırada yer almıştır. Damla sulama yönteminin diğer yöntemlere göre en üstün olduğu kriterler su kullanım etkinliği ve su mevcudiyeti olmuş, sistem maliyeti ve teknik bilgi açısından ise yüzey sulama ve karık sulama öne çıkmıştır. Su kaynaklarının korunması ve tarımsal sürdürülebilirlik açısından, suyun etkin kullanımının en yüksek olduğu damla sulama yöntemini en uygun sulama yöntemi olarak önerilmiştir. Türkiye'nin iklim koşullarındaki potansiyel değişimleri göz önünde bulundurarak, özellikle suyun sınırlı olduğu ve yer altı sularının kullanıldığı Niğde Bölgesi için damla sulama yönteminin benimsenmesi büyük önem taşımaktadır.

Irrigation System Selection Using Analytical Hierarchy Process (AHP): The Case Study of Niğde

Research Article

Article History:

Received: 20.02.2024

Accepted: 07.06.2024

Published online:10.12.2024

Keywords:

Irrigation methods

Analytical hierarchy process (AHP)

Decision making

Drip irrigation

ABSTRACT

Considering the land conditions, choosing the optimal irrigation method involves a complex decision-making process involving various variables. This study aims to address the issue of irrigation method selection for the Niğde Province of Turkey using multi-criteria decision-making methods. The importance levels of the prominent criteria for method selection were determined by obtaining expert opinions through the Analytical Hierarchy Process (AHP) method. Weights for the criteria, including water use efficiency, system cost, crop type, technical knowledge, water availability, climate, soil type, traditional practices, slope, and water quality, were identified. The results indicate that water availability is the most critical criterion with a weight of 23,7%. The least important criterion is traditional practices with a weight of 2,9%. When all criteria are evaluated together, drip

irrigation is identified as the most advantageous choice, followed by sprinkler irrigation in the second place, furrow irrigation in the third, and flood irrigation in the fourth. Drip irrigation excels in water use efficiency and water availability, while surface irrigation and furrow irrigation stand out in terms of system cost and technical knowledge. Considering the potential changes in climate conditions of Turkey, especially in regions like Niğde where water resources are limited and groundwater is utilized, the adoption of drip irrigation method holds significant importance.

To Cite: Yetik AK., Ünal Z. Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) ile Sulama Sistemi Seçimi: Niğde İli Örneği. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2024; 7(5): 2190-2204.

1. Giriş

Dünyadaki tatlı su kullanım oranının %70'ine sahip tarımsal sulama uygulamalarında, uygun ve etkili sulama yöntemi seçiminin önemi oldukça fazladır. Özellikle Türkiye gibi farklı iklim karakteristiklerine sahip bölgeleri aynı anda barındıran ve iklim değişikliğinin olası etkilerini yoğun olarak hissedecek ülkelerde (Turan, 2018), suyun tarım sektöründe etkin kullanımı daha da önemli hale gelmektedir. Bu bağlamda; suyun etkili kullanımına yönelik geliştirilebilecek stratejilerden biri olan uygun sulama yönteminin seçimi, önce bölgesel ardından ulusal etkilere sahip olacaktır. Sulama yönteminin uygunluğu su kullanım etkinliğinin artırılmasının yanı sıra daha yüksek verim ve kalite değerlerine sahip üretimi de mümkün kılmaktadır (Dengiz, 2006). Dünyada ve Türkiye'de gerçekleştirilen önceki çalışmalarda da bahsedilen duruma paralel sonuçlar elde edilmiştir (Borsato ve ark., 2019; Ye ve ark., 2019; Umi ve ark., 2020; Zhang ve ark., 2021; Öztürk, 2022). Ancak, sulama teknolojilerindeki artan karmaşıklık ve çeşitlilik nedeniyle, özellikle çiftçiler tarafından yeni sulama yöntemlerinin benimsenmesi zorlaşmaktadır. Geleneksel alışkanlıkların dışına çıkan teknolojilerin benimsenmesini etkileyen; sosyal, ekonomik ve doğal faktörlerin çeşitliliği nedeniyle karar verme süreci basit bir süreç olmaktan çıkmaktadır. Özel sektörün müdahalesi (tedarikçilerin sulama ekipmanı satma isteği ve çiftçiler için uygunluktan bağımsız olarak kârlarını maksimize etme) ve devlet politikaları (desteklenen fiyatlar, düşük faizli krediler ve uzatma kampanyaları) karar verme sürecini yıllardan bu yana daha da karmaşık hale getirmiştir.

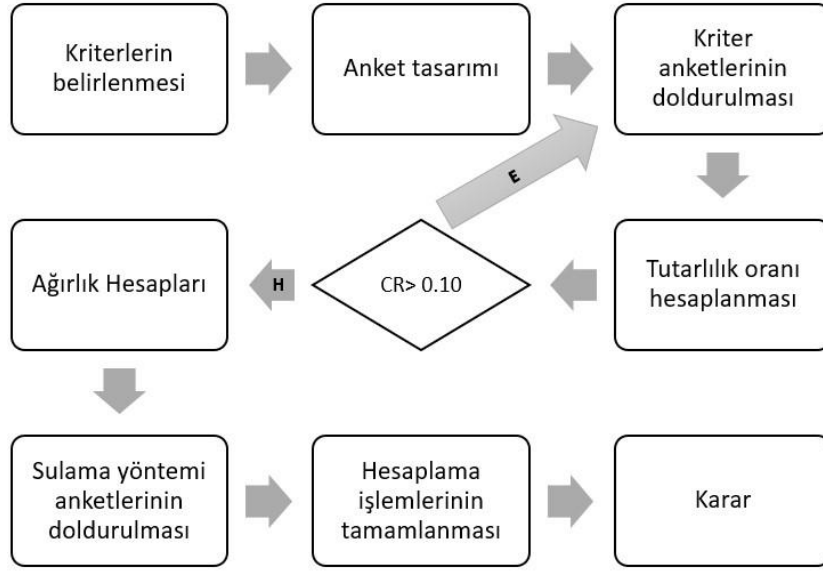
Sulama yöntemlerinin çeşitliliği, tarım alanında su kullanımını optimize etmeye yönelik farklı seçenekler sunmaktadır. Çalışmada kullanılacak olan; tava sulama, yağmurlama sulama, karık sulama ve damla sulama yöntemleri kendine özgü avantajları ve dezavantajları ile öne çıkan yöntemlerdir. Birden fazla kriter barındıran seçimlerde, bu kriterlerin nihai seçim üzerine etkisini (ağırlığını) belirlemek kapsamlı bir değerlendirmenin ön koşuludur. Çok kriterli karar verme modeli (ÇKKV), çeşitli değişkenleri dikkate alarak en iyi seçeneği belirleme konusunda bir dizi yöntemi içerir. Bu yöntemlerden biri Saaty (1977)'nin Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yöntemidir. AHP yönteminin tarım sektöründe kullanımına dair literatürde oldukça farklı örnekler bulunmaktadır. Ünal ve Çetin (2019) Antalya'da faaliyet gösteren bir gübre üreticisi işletmesinin hedef pazar seçiminde AHP yöntemi kullanılarak kriterlerin ağırlıklarını hesaplamışlar ve önem derecelerini belirlenmişlerdir. Sulama yöntemlerinin değerlendirildiği çalışmalarda ise; Karami (2006), bireysel veya homojen çiftçi grupları için bir dizi alternatif arasından en uygun sulama yöntemini seçmek için AHP yöntemini kullanmıştır.

Montazar ve Behbahani (2007), yürüttükleri çalışmada fiziksel, sosyo-ekonomik ve çevresel faktörleri içeren farklı kriterler ve parametreler temelinde optimize edilmiş sulama yöntemi seçmeyi ve kapsamlı bir model geliştirmeyi hedeflemişlerdir. Bu hedef doğrultusunda, sulama yöntemi seçiminde karar verme aracı olarak AHP yöntemi kullanılmıştır. Srdjevic ve Jandric (2007), çalışmalarında belirledikleri 7 farklı kriter doğrultusunda; yağmurlama, karık, damla ve tava sulama gibi sulama yöntemlerini AHP yöntemi kullanılarak değerlendirmiş ve en etkili sulama yöntemine karar vermişlerdir. Burak ve ark. (2022), Söke Ovası'nda gerçekleştirdikleri çalışmada gelişmiş bir AHP yöntemi kullanarak pamuk yetiştiriciliği için en uygun sulama yöntemlerini değerlendirmişlerdir. Veisi ve ark. (2022), farklı sulama sistemlerinin sürdürülebilirlik etkilerini değerlendirmek amacıyla AHP yöntemini kullanmışlar ve Yamchi havzasındaki (İran) en uygun sulama yöntemini seçmeye odaklanmışlardır. Sulama yönteminin belirlenen kriterlere göre seçilmesi, tarım alanlarında sürdürülebilir sulama uygulamalarının geliştirilmesinde kaçınılmaz bir stratejik gerekliliği yansıtmaktadır.

Bu çalışmada sulama yöntemi seçimi problemine çok kriterli karar verme yöntemleri ile çözüm aranması amaçlanmaktadır. Literatürden yararlanılarak oluşturulan kriterler, uzman görüşlerine sunulmuş AHP yöntemiyle önem dereceleri belirlenmiştir. 4 farklı sulama yöntemi içeren AHP değerlendirme formları tekrardan uzmanların görüşlerine sunulmuş ve elde edilen kriter ağırlıklar dikkate alınarak sonuçlar hesaplanmıştır. Böylece en uygun sulama yöntemi seçimi yapılmıştır.

2. Materyal ve Metot

Çalışmada uygulanan adımlar Şekil 1'de akış diyagramı olarak verilmiştir. Çalışmada önce literatürden faydalanarak sulama yöntemi seçimi aşamasında etkili olan kriterler belirlenmiştir. Elde edilen kriterler kullanılarak değerlendirme formlarına ait tasarımlar gerçekleştirilmiştir. Değerlendirme formları araştırma katılımcılarına doldurtulduktan sonra her form için tutarlılık analizi yapılmıştır. Eğer tutarlılık oranı 0,10 (%10) değerinden büyükse katılımcıdan yanıtları tekrar gözden geçirip düzeltmelerin yapılması istenmiştir. Değerlendirme formlarından elde edilen tutarlı sonuçlar doğrultusunda kriter ağırlıkları hesaplanmıştır. Ardından, her kriter için ayrı ayrı sulama yönteminin değerlendirmesi amacıyla katılımcılara sulama yöntemi formları doldurtulmuştur. Elde edilen ağırlıkların hesaplamalara dahil edilmesiyle sulama yöntemi seçimi AHP tekniği kullanılarak çözümlenmiştir.



Şekil 1. Çalışmanın akış diyagramı

2.1 Çalışma Alanı

Çalışma alanı olan Niğde ili, Türkiye'nin İç Anadolu Bölgesinde 34,67° doğu meridyeni ve 37,97° kuzey enlemi üzerinde bulunmaktadır. İl Aydeniz iklim sınıflandırmasına göre 1,45'lik kuraklık katsayısı değeriyle kurak iklim kuşağında bulunmaktadır (Aydeniz, 1988). Uzun yıllar iklim verilerine göre (1935-2023) bölgeye düşen yıllık yağış miktarı 343 mm olarak ölçülmüştür. Bu yağışın sadece 40,6 mm'lik kısmı yaz aylarında (Haziran-Ağustos) gerçekleşmektedir (MGM, 2024). 2023 yılı Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre ilde üretim gerçekleştirilen toplam tarım arazisinin (170 108 ha) %36,53'ünde buğday, %14,29'unda arpa yetiştirilmektedir. Buğday ve arpayı %11,45'lik oranıyla sulu tarıma ihtiyaç duyan patates yetiştiriciliği takip etmektedir. Niğde 2023 yılında Türkiye genelinde en geniş alana (19 480 ha) patates ekimi gerçekleştiren il olarak öne çıkmaktadır (TÜİK, 2024).

2.2. Kriterlerin Belirlenmesi

Çalışmada ilk olarak en etkin sulama yöntemi seçerken hangi standartların uygulanması gerektiği ve karar sürecinde en etkili kriterlerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda literatürdeki önceki çalışmalar incelenmiş ve kritik öneme sahip oldukları belirtilen unsurlar analiz edilmiştir. Finkel ve Nir (1983)'e göre araziye uygun sulama yönteminin belirlenmesinde vurgulanan faktörler arasında; iklim gibi çevresel faktörlerin yanı sıra, arazinin durumunu değerlendiren toprak tipi, eğim ve bitki deseni yer almıştır. Araştırmacılara göre, iklim koşulları ve arazi durumu sadece su tüketimini değil aynı zamanda bitki büyüme süreçlerini de etkileyerek sulama stratejilerinin başarılı bir şekilde uygulanmasında büyük rol oynamaktadır. Buna ek olarak, arazinin eğimi gibi topografik faktörler, suyun yönetimi ve dağılımında belirleyici bir etkiye sahiptir; bu da sulama sistemlerinin optimize edilmesinde önemli bir rehberlik sunmaktadır. Burt ve ark. (1999) tarafından yürütülen çalışmada sulama sistemlerinin kurulumundan kaynaklanan maliyetlerin uzun vadeli sürdürülebilirlik ve verimlilik açısından dikkate alınması gerektiği vurgulanmaktadır. Ayrıca araştırmacılar yöntem seçiminde suyun varlığının (su

mevcudiyeti) değerlendirilmesinin, su kaynaklarına olan bağımlılığın -suyun yeterli basınçta iletilebilmesi- ve bu kaynağa göre planlanan dağıtımda kullanılan altyapının anlaşılması için etkin bir yol olduğunu bildirmişlerdir. Aksit ve Akçay (1997) ülkemizde yürüttükleri saha çalışmalarının raporlarına göre sulama yönteminin seçiminde geleneksel alışkanlıklarının etkisinin büyük olduğunu ortaya koymuşlardır. Geleneksel tarım uygulamalarının, özellikle yerel çiftçi toplulukları arasında nesiller boyunca geçen deneyim ve kültürel alışkanlıkların bir yansıması olduğu düşünülmektedir. Araştırma, bu alışkanlıkların sadece su kaynaklarına olan erişim ve kullanımını değil, aynı zamanda çiftçilerin sulama yöntemlerine olan güven ve alışkanlıklarını da etkilediğini vurgulamaktadır. Türkiye'deki küçük ölçekli çiftçilerin sayısı azımsanamayacak kadar çok olduğundan; sulama stratejilerinin belirlenmesinde, bahsedilen alışkanlıkların etkili bir faktör olarak gözetilmesi, sürdürülebilir sulama uygulamalarının geliştirilmesi ve yerel çiftçi topluluklarının bu sürece daha fazla dahil edilmesi açısından önemli bir perspektif sunmaktadır. Holzapfel ve ark. (1985) su kalitesinin, bitki büyümesi ve toprak kalitesi üzerinde doğrudan etkisi olduğunu vurgulayarak, sulama suyunun içeriğindeki tuzluluk, mineraller ve diğer kirleticilerin göz önünde bulundurulması gerektiğini belirtmektedir. Su kalitesinin değerlendirilmesi hem sulama verimliliğini artırmak hem de çevresel sürdürülebilirliği sağlamak adına kritik bir adım olarak değerlendirilmiştir. Montazar ve Behbahani (2007) çalışmalarında sulama yapacak kişinin teknik bilgisinin yöntem seçiminde etkili bir faktör olduğunu bildirmişlerdir. Burak ve ark. (2022) tarafından yürütülen çalışmada Söke Ovası için uygun sulama yöntemleri araştırılmış ve belirlenen kriterler arasında su kullanım etkinliği de yer almıştır. Çalışmada su kullanım etkinliğinin, su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi için hayati bir öneme sahip olduğu vurgulanmış ve sulama işlemlerini gerçekleştirecek kişinin sahip olduğu teknik bilgi donanımının, sulama sisteminin etkin bir şekilde kullanılmasında önemli bir rol oynadığını belirtilmektedir. Bahsedilen çalışmalardan yararlanılarak en etkili sulama yönteminin seçimi için belirlenen kriterler; su kullanım etkinliği, sistemin maliyeti, bitki tipi, sulama yapacak kişinin teknik bilgisi, su mevcudiyeti, iklim, toprak tipi, geleneksel alışkanlıklar, eğitim ve su kalitesi olarak özetlenebilir.

2.3. Sulama Yöntemleri

Çalışmada karşılaştırılan sulama yöntemleri tava sulama, karık sulama, yağmurlama sulama ve damla sulama olarak belirlenmiştir. Toprak setlerle çevrelenen arazinin düzleştirilmesi ve bu setler arasına su uygulanması şeklinde tanımlanabilecek tava sulama; geniş alanlarda suyun eşit şekilde dağıtılması amacıyla kullanılan bir yöntemdir (Temizel, 2012). Karık sulama yöntemi; çoğunlukla pamuk, mısır ve şeker kamışı gibi sıra bitkileri için kullanılan bir sulama yöntemidir (Brouwer ve ark., 1988). Su, genellikle 0,1–0,3 m genişliğinde ve 0,75–2 m aralıklı olarak düzenlenmiş olan karıklar veya oluklar boyunca akar. Karık uzunlukları, toprak tipine, eğime ve ürün türüne bağlı olarak değişebilir. Sistemde yerçekimi büyük rol oynamakta ve uygun bitkilerin büyümesi için yeterli su sağlama rolünü üstlenmektedir (Clemmens ve Dedrick, 1994). Yağmurlama sulama, sulama suyunu doğal yağmura

benzer bir şekilde uygulama yöntemidir. Su genellikle bir pompa aracılığıyla boru sistemleriyle dağıtıldıktan sonra, yağmurlama başlıkları aracılığıyla havaya püskürtülerek küçük su damlacıklarına ayrılır ve ıslatma çapı içinde kalan toprak üzerine düşer (Brouwer ve ark., 1988; Evans ve ark., 2013). Damla sulama sistemi ile su; basınç altında bir boru sistemi aracılığıyla tarlaya iletilir ve burada bitkilere yakın konumlandırılmış damlatıcılar aracılığıyla bitkilerin kök bölgesine yavaşça damlar (Mmolawa ve Or, 2000). Yöntem sulama sistemleri arasında su kullanım etkinliği değerlerini en yukarı taşıyan seçenek olarak değerlendirilmekte ve su krizlerine karşı önerilen çözümlerde önemli bir rol oynamaktadır (Van der Kooij ve ark., 2013). Her bir sistem, farklı iklim koşullarına, toprak tiplerine ve bitki türlerine uygun avantajlar ve dezavantajlar sunmaktadır. Bu nedenle, doğru sulama yönteminin seçilmesi, su kaynaklarının sürdürülebilir şekilde yönetilmesi ve tarımın verimliliğinin artırılması için hayati bir adım olarak değerlendirilmektedir.

2.4. Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHP)

ÇKKV yöntemlerden biri olan Saaty (1977)'nin Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yöntemi; uzman değerlendirmelerin ağırlıklarını dağıtarak noktasal verilerin aşırı baskın etkilerinin olması riskini azaltan dahili bir tutarlılık kontrolü olmasıyla öne çıkmaktadır. Ayrıca, ölçüm skalalarının doğru bir şekilde kullanılmasıyla karar verme sürecindeki belirsizlikleri azaltır. Bu sayede, çeşitli faktörleri dikkate alarak elde edilen sonuçlar daha güvenilir ve tutarlı hale gelmektedir (Wind ve Saaty, 1980; Chen ve Huang, 2004). AHP analizi, belirlenen tüm kriterleri ikili karşılaştırma matrisinde değerlendirip, bu karşılaştırmalar sonucunda hangi kriterin daha fazla önem taşıdığına karar vermektedir (Lupia, 2012). AHP, özünde karmaşıklığa metodik bir yaklaşım benimserken aynı zamanda karar vericilerin görüş ve beklentileriyle dikkate almakta ve tutarlı sonuçlar üretmektedir. Yöntem karar matrisi oluşturma, karar matrisinin normalizasyonu, normalize edilen matristeki satır ortalamalar kullanılarak ağırlıkların hesaplanması ve elde edilen sonuçların tutarlılık analizinin yapılması gibi adımlardan oluşmaktadır. Kriterlerin belirlenmesi için kullanılacak kriterler matrisi kriterlerin sayısı dikkate alınarak oluşturulmuştur. Bu çalışmada 10 adet kriter kullanıldığından 10x10 boyutlu kare matris oluşturulmuştur. Sulama yönteminin seçimi için kullanılacak karar matrisi ise karar sürecine dahil olacak sulama yönteminin çeşitleri dikkate alınarak oluşturulmuştur. Bu çalışmada 4 adet kriter kullanıldığından aşağıda gösterilen 4x4 boyutlu kare matris oluşturulmuştur (Denklem 1).

$$\text{Karar Matrisi} = \begin{bmatrix} a_{i,j} & \cdots & a_{i,n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n,j} & \cdots & a_{n,n} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Karar matrisinde i ve j değerleri her kritere ayrı ayrı ulaşılmasını sağlayan indis değerlerini, a_{ij} : “i” kriterinin, “j” kritere göre daha önemli/önemsiz olduğunu, n: toplam kriter sayısını göstermektedir. Kriterler matrisinde “n” 10 olarak, sulama yöntemi matrisinde ise 4 olarak belirlenmiştir.

Gösterilen karar matrisinin uzmanlar tarafından anlaşılması zor olduğundan karar verme sürecinde Şekil 2’de verilen değerlendirme formları, ortaya çıkan değerlendirme değerleri için ise Tablo 1’de verilen ve Saaty (1977) tarafından oluşturulmuş 1-9 ölçeği kullanılmıştır.

Kriterler	Kesin	Çok Fazla	Çok Daha	Daha	Eşit	Daha	Çok Daha	Çok Fazla	Kesin	Kriterler
	Önemli	Önemli	Önemli	Önemli	Önemli	Önemli	Önemli	Önemli	Önemli	
	9	7	5	3	1	3	5	7	9	
Su kullanım etkinliği										Sistemin maliyeti
Su kullanım etkinliği										Bitki Tipi
Su kullanım etkinliği										Teknik bilgi
Su kullanım etkinliği										Su mevcudiyeti
Su kullanım etkinliği										İklim
Su kullanım etkinliği										Toprak tipi
Su kullanım etkinliği										Geleneksel alışkanlıklar
Su kullanım etkinliği										Eğim
Su kullanım etkinliği										Su kalitesi
Sistemin maliyeti										Bitki Tipi
Sistemin maliyeti										Teknik bilgi
Sistemin maliyeti										Su mevcudiyeti
Sistemin maliyeti										İklim
Sistemin maliyeti										Toprak tipi
Sistemin maliyeti										Geleneksel alışkanlıklar
Sistemin maliyeti										Eğim
Sistemin maliyeti										Su kalitesi
Bitki Tipi										Teknik bilgi
Bitki Tipi										Su mevcudiyeti
Bitki Tipi										İklim
Bitki Tipi										Toprak tipi
Bitki Tipi										Geleneksel alışkanlıklar
Bitki Tipi										Eğim
Bitki Tipi										Su kalitesi
Teknik bilgi										Su mevcudiyeti
Teknik bilgi										İklim
Teknik bilgi										Toprak tipi
Teknik bilgi										Geleneksel alışkanlıklar
Teknik bilgi										Eğim
Teknik bilgi										Su kalitesi
Su mevcudiyeti										İklim
Su mevcudiyeti										Toprak tipi
Su mevcudiyeti										Geleneksel alışkanlıklar
Su mevcudiyeti										Eğim
Su mevcudiyeti										Su kalitesi
İklim										Toprak tipi
İklim										Geleneksel alışkanlıklar
İklim										Eğim
İklim										Su kalitesi
Toprak tipi										Geleneksel alışkanlıklar
Toprak tipi										Eğim
Toprak tipi										Su kalitesi
Geleneksel alışkanlıklar										Eğim
Geleneksel alışkanlıklar										Su kalitesi
Eğim										Su kalitesi

Şekil 2. Kriterlere ait değerlendirme formları

Tablo 1. AHP yönteminde kullanılan değerlendirme formlarına ait önem derecesi çizelgesi

Önem Derecesi	Tanım
1	Eşit Önemli
3	Daha Önemli
5	Çok Daha Önemli
7	Çok Fazla Önemli
9	Kesin Önemli
2, 4, 6, 8	

AHP tekniğinin normalizasyon işlemleri için Denklem 2, normalize edilen matrislerdeki satır ortalamaları kullanılarak ağırlıkların hesabı için ise Denklem 3 kullanılmıştır.

$$b_{i,j} = \frac{a_{i,j}}{\sum_{i=1}^n a_{i,j}} \quad (2)$$

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^n b_{i,j}}{n} \quad (3)$$

Elde edilen sonuçların tutarlılık analizi için gereken tutarlılık oranı hesaplamasında ilk olarak Denklem 4 ile tutarlılık indeksi hesaplanmış, ardından Denklem 5 yardımıyla tutarlılık oranı belirlenmiştir.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{(n - 1)} \quad (4)$$

$$Tutarlılık Oranı (CR) = \frac{CI}{RI} \quad (5)$$

Denklem 4'te λ_{max} : ikili karşılaştırma matrisinin temel özdeğerini, n: matris boyutunu göstermektedir. Denklem 5'teki "RI" değeri Ortalama Rassal endeksi Saaty (1977) tarafından Tablo 2'de verildiği gibi kullanılması önerilmiştir.

Tablo 2. Ortalama Rassal endeksi

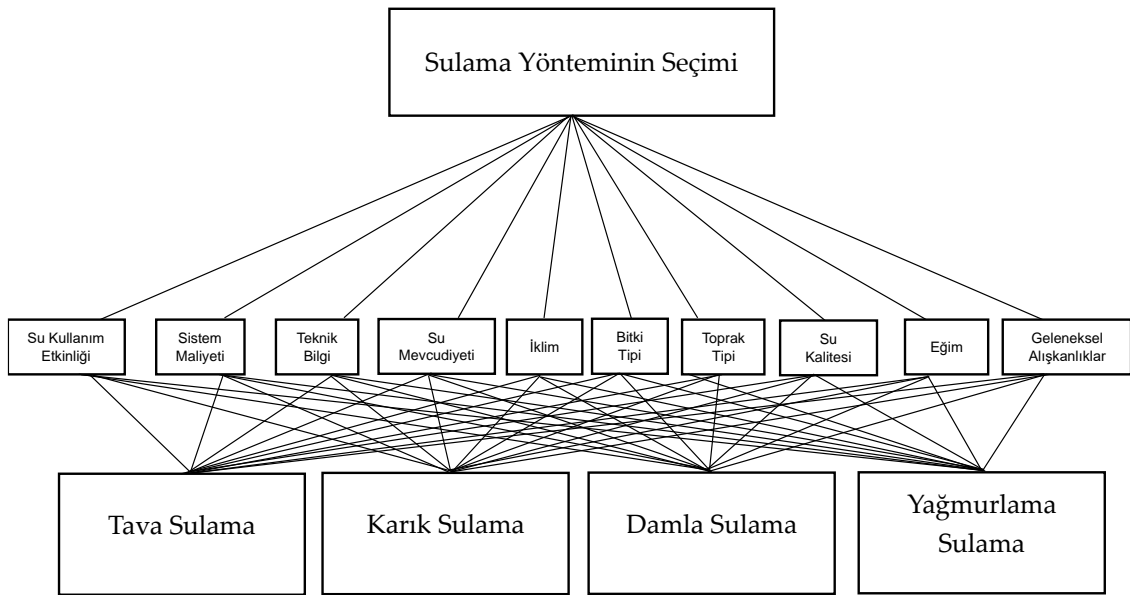
N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Araştırmada, her bir karar verici grubundan eşit sayıda (9), toplamda ise 36 değerlendirme formu toplanmıştır. Her değerlendiricinin doldurduğu form için tutarlılık oranı hesaplanmış ve eğer bu değer 0,10 üzerinde ise karar vericiden değerlendirmelerini tekrar gözden geçirmesi istenmiştir. Bu işlem tutarlı değerlendirme elde edene kadar tekrarlanmıştır. Tüm değerlendirmeler tamamlandıktan sonra elde edilen formların yanıtların geometrik ortalamaları alınarak nihai ağırlıklar hesaplanmıştır. Geometrik ortalamaları içeren karar matrisin de ayrıca tutarlılık oranı hesaplanarak tutarlı olduğu teyit edilmiştir. Son olarak ise karar vericilerden Şekil 3'te verilen formda her bir kriter için değerlendirme yaparak ayrı ayrı doldurulması istenmiştir.

Sulama yöntemleri	Kesin	Çok Fazla	Çok Daha	Daha	Eşit	Daha	Çok Daha	Çok Fazla	Kesin	Sulama yöntemleri
	Önemli	Önemli	Önemli	Önemli	Önemli	Önemli	Önemli	Önemli	Önemli	
	9	7	5	3	1	3	5	7	9	
Tava Sulama										Karık Sulama
Tava Sulama										Damla Sulama
Tava Sulama										Yağmurlama Sulama
Karık Sulama										Damla Sulama
Karık Sulama										Yağmurlama Sulama
Damla Sulama										Yağmurlama Sulama

Şekil 3. Sulama yöntemi değerlendirme formu taslağı

AHP tekniği adımlarını takip ederek sulama yöntem tiplerinin önemi hesaplanmış, elde edilen ağırlıklarla çarpıldıktan sonra nihai sıralama elde edilmiştir. Çalışmada kullanılan kriterler ve sulama yöntemlerini içeren AHP hiyerarşisi Şekil 4’te verilmiştir.



Şekil 4. Sulama yönteminin seçilmesi hiyerarşisi

3. Bulgular ve Tartışma

Literatürdeki çalışmalardan yararlanılarak en etkili sulama yönteminin seçimi için su kullanım etkinliği (K1), sistemin maliyeti (K2), bitki tipi (K3), sulama yapacak kişinin teknik bilgisi (K4), su mevcudiyeti (K5), iklim (K6), toprak tipi (K7), geleneksel alışkanlıklar (K8), eğitim (K9) ve su kalitesi (K10) gibi 10 farklı kriter belirlenmiştir. Kriterlerin önem derecelerini belirlemede AHP yöntemi kullanılmış olup Şekil 2’de verilen form araştırma grubuna dahil olan karar vericiler tarafından doldurulması sağlanmıştır. Araştırmanın çalışma grubunu Türkiye genelinde Ziraat Fakülteleri bünyelerindeki Biyosistem Mühendisliği bölümünde öğrenim gören lisansüstü öğrenciler, aynı bölümlerde görev yapan ve Niğde ili için daha önce çalışmalar gerçekleştirmiş akademik personeller, T.C. Tarım ve Orman

Bakanlığı bünyesinde Niğde’de çalışan Ziraat Mühendisleri ve Niğde sınırları içinde zirai faaliyetler yürüten çiftçiler oluşturmaktadır. Çalışmada her karar verici grubundan eşit olacak şekilde toplam 36 adet değerlendirme formu toplanmıştır. Formlarda yer alan her soruya katılımcılardan ayrı ayrı cevap alınmış ve her katılımcı için ayrı AHP matrisi oluşturulmuştur. Bu tabloda verilen değerler normleştirilmiş ve satır ortalamaları alınarak ağırlıklar Denklem 2 ve 3 kullanılarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçların tutarlılık analizi için önce Denklem 4 kullanılarak her bir form için ayrı ayrı tutarlılık indeksi hesaplanmış, daha sonra Denklem 5 yardımıyla tutarlılık oranı hesaplanmıştır. Elde edilen tutarlılık oranı 0,10 değerinden yüksek ise katılımcılardan formda verdikleri cevapları gözden geçirmesi ve düzeltmeleri yapılması istenmiştir. Her katılımcı için tutarlı sonuçlar elde edildikten sonra tüm matrislerin geometrik ortalamasını elde edilerek grup kararı matrisi oluşturulmuştur. Elde edilen matris Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 3. Geometrik ortalama alınarak elde edilen karar matrisi

Kriterler	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10
K1	1,00	0,50	1,00	1,71	0,39	0,89	1,48	3,56	0,50	1,20
K2	2,01	1,00	1,48	2,98	0,46	1,13	2,29	4,02	0,70	1,44
K3	1,00	0,67	1,00	1,62	0,36	1,11	1,40	3,15	0,45	1,48
K4	0,58	0,34	0,62	1,00	0,23	0,50	0,58	1,62	0,34	0,62
K5	2,56	2,18	2,81	4,37	1,00	2,40	3,56	6,07	2,66	2,98
K6	1,13	0,89	0,90	2,01	0,42	1,00	2,20	4,02	0,57	0,97
K7	0,67	0,44	0,71	1,72	0,28	0,45	1,00	2,14	0,36	1,00
K8	0,28	0,25	0,32	0,62	0,16	0,25	0,47	1,00	0,20	0,36
K9	1,99	1,43	2,20	2,92	0,38	1,74	2,81	5,04	1,00	4,18
K10	0,84	0,69	0,67	1,60	0,34	1,03	1,00	2,79	0,24	1,00

Geometrik ortalamaların yer aldığı karar matrisinin tutarlılık oranı 0,022 olarak hesaplanmıştır. Bu adım sonunda AHP tekniği ile elde edilen kriter ağırlıkları Tablo 4’te verilmiştir.

Tablo 4. Kriter ağırlıkları

Kriterler	Ağırlıklar (%)
Su kullanım etkinliği	8,38
Sistemin maliyeti	12,30
Bitki tipi	8,61
Sulama yapacak kişinin teknik bilgisi	4,67
Su mevcudiyeti	23,71
İklim	9,70
Toprak tipi	6,06
Geleneksel alışkanlıklar	2,85
Eğim	16,60
Su kalitesi	7,12
Toplam	100

Tablo 4 dikkate alınarak önem dereceleri değerlendirildiğinde en yüksek ağırlığa sahip olduğu için en önemli kriterin “Su mevcudiyeti” olduğu görülmüştür. Sulama yöntemi seçiminde Su mevcudiyeti %24, Eğim %17, Sistemin maliyeti %12, İklim %10, Bitki tipi %9, Su kullanım etkinliği %8, Su kalitesi %7, Toprak tipi %6, Sulama yapacak kişinin teknik bilgisi %5, Geleneksel alışkanlıklar %3 öneme sahiptir.

Kriter ağırlıkları elde edildikten sonra her kriter açısından sulama yönteminin değerlendirmesi yapmak üzere katılımcılar sulama yöntemi formu doldurmuştur. Su kullanım etkinliği açısından değerlendirmesinde bir katılımcının verdiği yanıtlar örnek olarak Tablo 5’te verilmiştir.

Tablo 5. Su kullanım etkinliği açısından sulama yönteminin seçimi

	Tava sulama	Damla sulama	Karık sulama	Yağmurlama sulama
Tava sulama	1	1/7	1/3	1/5
Damla sulama	7	1	5	3
Karık sulama	3	1/5	1	1/5
Yağmurlama	5	1/3	5	1

Tablo 5’teki örnek katılımcı değerlendirmesi, su kullanım etkinliği açısından sulama yöntemlerinin birbirlerine karşı üstünlüklerini göstermektedir. Bu örnek katılımcı değerlendirilmesinde, su kullanım etkinliği açısından damla sulama yönteminin tava sulama yöntemine göre “Çok fazla avantajlı” (7), karık sulamanın damla sulama yöntemine göre “Çok daha dezavantajlı” (1/5) olduğu bildirilmiştir.

AHP tekniğinin normalizasyon işlemleri yapılmış ve normalize edilen matrislerdeki satır ortalamaları kullanılarak ağırlıklar hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçların tutarlılık analizi yapılmış ve tutarlılık oranı 0,10 değerinden yüksek olan formların katılımcılar tarafından gözden geçirilmesi sağlanmıştır. Her katılımcı için tutarlı sonuçlar elde edildikten sonra tüm matrislerin geometrik ortalamasını elde edilerek grup kararı matrisi oluşturulmuştur. AHP tekniğinde yer alan bu adımlar sonucunda elde edilen değerler Tablo 6’da verilmiştir.

Tablo 6. AHP ile elde edilen sulama yönteminin kriterlere göre dağılımı

Kriterler	Tava sulama	Damla sulama	Karık sulama	Yağmurlama sulama
Su kullanım etkinliği	0,052	0,558	0,107	0,283
Sistemin maliyeti	0,407	0,051	0,445	0,097
Bitki tipi	0,052	0,572	0,106	0,270
Teknik bilgisi	0,425	0,068	0,353	0,153
Su mevcudiyeti	0,078	0,570	0,078	0,275
İklim	0,155	0,528	0,155	0,162
Toprak tipi	0,096	0,404	0,096	0,404
Geleneksel alışkanlıklar	0,386	0,066	0,386	0,161
Eğitim	0,052	0,564	0,110	0,273
Su kalitesi	0,206	0,272	0,226	0,296

Tablo 6’da görüldüğü gibi her kriter için sulama yöntemi ayrı ayrı değerlendirildiğinde bazı sulama yöntemleri diğerlerine göre ayrı ayrı öne çıkmaktadır. Örneğin su kullanım etkinliği ve su mevcudiyeti kriterleri ele alarak sulama yöntemine karar verildiğinde damla sulama diğer yöntemlere göre daha avantajlı olduğu görülmektedir. Bunun yanında aynı karar problemi sistemin maliyeti ve teknik bilgi açısından değerlendirildiğinde tava sulama ve karık sulama ön plana çıkmaktadır. Karar vericilerin görüşlerine göre su kalitesi kriterleri göz önünde bulundurulduğunda sulama yöntemleri arasındaki

önem dereceleri arasında büyük fark olmayıp, yağmurlama yönteminin değerlerine göre daha avantajlı olduğu görülmüştür.

Sulama yöntemini seçimi problemi için nihai ağırlıkları elde etmek için Tablo 6’da verilen değerler Tablo 4’te verilen kriterlerin ağırlıkları ile çarpılmıştır. Elde edilen değerler her sütün için ayrı toplanıp önem dereceleri Tablo 7’de verilmiştir.

Tablo 7. AHP ile elde edilen sulama yöntemi seçimi sonuçları

Kriterler	Sulama yöntemi				Toplam
	Tava sulama	Damla sulama	Karık sulama	Yağmurlama sulama	
Su kullanım etkinliği	0,004	0,047	0,009	0,024	0,084
Sistemin maliyeti	0,050	0,006	0,055	0,012	0,123
Bitki tipi	0,004	0,049	0,009	0,023	0,086
Teknik bilgi	0,020	0,003	0,017	0,007	0,047
Su mevcudiyeti	0,018	0,135	0,018	0,065	0,237
İklim	0,015	0,051	0,015	0,016	0,097
Toprak tipi	0,006	0,024	0,006	0,024	0,061
Geleneksel alışkanlıklar	0,011	0,002	0,011	0,005	0,028
Eğim	0,009	0,094	0,018	0,045	0,166
Su kalitesi	0,015	0,019	0,016	0,021	0,071
Toplam	0,152	0,431	0,174	0,243	1,000

Tablo 7’de verilen sonuçlara göre örnek alınan arazi için hangi sulama yönteminin tercih edilmesi gerektiği sorusuna toplam satırından yararlanacak cevap vermemiz mümkün olmaktadır. AHP tekniği kullanarak elde edilen değerlere göre öncelikle damla sulamanın daha sonra ile yağmurlama sulamanın tercih edilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Montazar ve Behbehani (2007) AHP yöntemi kullanarak gerçekleştirdikleri çalışmada çeşitli kriterleri değerlendirmiş ve damla sulamanın; buğday, şeker pancarı ve üzüm yetiştirilen üç farklı bölgede mikro, tava ve karık sulama yöntemleriyle birlikte en uygun seçim olduğunu belirlemişlerdir. Srdjevic ve Jandric’in (2007) çalışmalarında, tarla koşulları için en iyi sulama yönteminin seçimini etkileyen karmaşık bir karar verme probleminde odaklanmışlar ve AHP yöntemi kullanarak dört farklı sulama yöntemi (tava, karık, yağmurlama ve damla) arasında seçim destek sistemi oluşturmuşlardır. Araştırmacılar damla sulamanın yönteminin belirlenen yedi kriter (bitki yoğunluğu, hastalıklara duyarlılık, yetiştirme koşulları, eğim, sızma hızı, su kalitesi ve işgücü yeterliliği) açısından en iyi seçenek olduğunu göstermektedir. Burak ve ark. (2022) Söke Ovası’nda, su verimliliğini artırmak amacıyla damla sulama yönteminin etkinliğini farklı karar verme yöntemleriyle değerlendirmişlerdir. Araştırma bulgularına göre HF-AHP-PROMETHEE II ve HF-AHP-TOPSIS isimli yöntemlerle yapılan analizlerde damla sulama en etkin yöntem olarak öne çıkmıştır. Su verimliliğini artırmak adına yapılan bu değerlendirmeler, damla sulamanın fiziksel, çevresel ve ekonomik kriterler açısından avantajlı olduğunu vurgulamaktadır. Bu yöntem, tava ve karık gibi geleneksel sulama yöntemlerine göre daha yüksek bir verimlilik sağlayarak, özellikle su kıtlığı ve iklim değişiklikleri tehdidi altındaki bölgelerde tercih edilebilir bir seçenek olarak öne çıkmaktadır. Tarımsal üretimde etkili aktörlerin tercihleri basınçlı sulama sistemlerinin tarımsal sürdürülebilirlik açısından öncelikli olduğunu göstermektedir (Veisi ve ark., 2022)

4. Sonuçlar

Bu alışma, Niğde ili için sulama yöntemi seçimi problemine çok kriterli karar verme yöntemleriyle yaklaşarak, uzman görüşleri ve literatürden elde edilen kriterler üzerinden AHP yöntemi kullanarak en uygun sulama yönteminin belirlenmesi amacını taşımaktadır. Çalışmada değerlendirme formları için hesaplanan tutarlılık oranları değerleri, katılımcı görüşlerinin sağlam bir temele oturduğunu göstermekle beraber elde edilen bulguların güvenirliğini de ortaya koymuştur. Genel bulgular incelendiğinde; su mevcudiyeti %24'lk ağırlılığıyla en kritik faktör olarak belirlenirken, diğer önemli kriterler sırasıyla eğim, sistem maliyeti, iklim, bitki tipi, su kullanım etkinliği, su kalitesi, toprak tipi, sulama yapacak kişinin teknik bilgisi ve geleneksel alışkanlıklar olarak sıralanmıştır. Belirlenen kriterlerin sulama yöntemlerine göre dağılımı sonuçlarında; su tasarrufu odaklı tercihlerin damla ve yağmurlama sulama yöntemlerine, ekonomik faktörlerin ise tava ve karık sulama yöntemlerine yönelindiği görülmektedir. Su kullanım etkinliği kriterinde damla sulama en yüksek ağırlılığa sahipken, sistemin maliyeti kriterinde tava sulama belirleyici bir ağırlılığa sahiptir. Bu durum, damla sulama yönteminin su tasarrufu sağlamada etkili olduğunu, ancak maliyet açısından tava sulamanın daha avantajlı olduğunu göstermektedir. Sonuç olarak damla sulama yöntemi, su kaynaklarının kullanımı açısından ne çıktığı yüksek ağırlılıklarla beraber en uygun sulama yöntemi olarak önerilmiştir. Bu neri, iklim değişikliğinin ülkemiz üzerinde göstereceği olumsuz etkileri en aza indirmek, maliyetleri optimize etmek ve çiftçilere yönlendirici bir rehber sunmak açısından önemlidir. Tarımsal retim için yeterli miktarda yağış alamayan ve su kaynaklarının sınırlı olmasından dolayı tarımsal sulamanın yeraltı suları kullanılarak gerçekleştirildiği Niğde Bölgesinde, su kullanım etkinliğinin yüksek olduğu sulama yöntemlerinin teşvik edilmesi son derece önemlidir. Bu çerçevede, damla sulama yönteminin tercih edilmesi, tarımsal sulama pratiğinde daha etkili ve sürdürülebilir bir yaklaşım olarak öne çıkmaktadır.

Etik Kurul İzni

Bu alışma için etik kurul izni Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Etik Kurulunun 31/01/2024 tarihli ve 2024/01-48 numaralı kararı ile alınmıştır.

ıkar atışması Beyanı

Çalışmada belirtilecek çıkar atışması bulunmamaktadır.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan zeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağladıklarını beyan eder.

Kaynakça

Aksit B., Akçay AA. Sociocultural aspects of irrigation practices in South-Eastern Turkey. International Journal of Water Resources Development 1997; 13(4): 523-540.

- Aydeniz A. Aydeniz metodu ile Türkiye'nin kuraklık değerlendirilmesi. DMİ Zirai Meteoroloji ve İklim Rasatları Dairesi Başkanlığı; 1988.
- Borsato E., Martello M., Marinello F., Bortolini L. Environmental and economic sustainability assessment for two different sprinkler and a drip irrigation systems: A case study on maize cropping. *Agriculture* 2019; 9(9): 187.
- Brouwer C., Prins K., Kay M., Heibloem M. Irrigation water management: irrigation methods. Training Manual 1988; 9(5): 5-7.
- Burak S., Samanlıoğlu F., Ülker D. Evaluation of irrigation methods in Söke Plain with HF-AHP-PROMETHEE II hybrid MCDM method. *Agricultural Water Management* 2022; 271: 107810.
- Burt CM., Clemmens AJ., Bliesner R., Merriam JL., Hardy L. Selection of irrigation methods for agriculture. PA: American Society of Civil Engineers; 1999.
- Chen CJ., Huang CC. A multiple criteria evaluation of high-tech industries for the science-based industrial park in Taiwan. *Information Management* 2004; 41(7): 839-851.
- Clemmens AJ., Dedrick AR. Irrigation techniques and evaluations. In: K.K Tanji, K. Yaron. (ed.) *Management of Water Use in Agriculture: Advanced Series in Agricultural Sciences*, Berlin: Springer 1994; 64-103.
- Dengiz O. Comparison of different irrigation methods based on the parametric evaluation approach. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 2006; 30(1): 21-29.
- Evans RG., LaRue J., Stone KC., King BA. Adoption of site-specific variable rate sprinkler irrigation systems. *Irrigation Science* 2013; 31: 871-887.
- Finkel HJ., Nir D. Criteria for the choice of irrigation method. Haifa: CRC Press; 1983.
- Holzapfel EA., Marino MA., Chavez-Morales J. Performance irrigation parameters and their relationship to surface-irrigation design variables and yield. *Agricultural Water Management* 1985; 10(2): 159-174.
- Karami E. Appropriateness of farmers' adoption of irrigation methods: The application of the AHP model. *Agricultural Systems* 2006; 87(1): 101-119.
- Lupia DF. Crop/land suitability analysis by ArcGIS tool. Rome: Technical Report; 2014.
- MGM. Turkish State Meteorological Service, climate data of long term period; 2024.
- Mmolawa K., Or D. Root zone solute dynamics under drip irrigation: A review. *Plant and Soil* 2000; 222(1-2): 163-190.
- Montazar A., Behbahani SM. Development of an optimised irrigation system selection model using analytical hierarchy process. *Biosystems Engineering* 2007; 98(2): 155-165.
- Öztürk O. Farklı sulama yöntemlerinin İtalyan çiminin (*Lolium multiflorum*) verim, bitki su tüketimi ve bazı yem kalitesi değerlerine etkileri. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 2022; 59(2): 313-322.
- Saaty TL. A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology* 1977; 15(3): 234-281.

- Srdjevic B., Jandric Z. Analytic hierarchy process in selecting the best irrigation method. *Journal on Agricultural Systems* 2007; 7(1): 117-124.
- Temizel KE. Tava sulama yönteminin planlanması ve çiftçiye adaptasyonu sağlayabilecek grafiksel bir yaklaşım. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi* 2012; 9(1): 26-32.
- Turan ES. Türkiye'nin iklim değişikliğine bağlı kuraklık durumu. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi* 2018; 4(1): 63-69.
- TÜİK. Türkiye İstatistik Kurumu. Bitkisel Üretim İstatistikleri.
<https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=92&locale=tr> (Erişim Tarihi: 14.04.2024).
- Umi HN., Tricahya RA., Farid AM. Performance analysis of drip and sprinkler irrigation on pineapple cultivation. *The 3rd Environmental Resources Management in Global Region*, (pp. 450-459): 14-17 November 2019, Indonesia. 2020
- Ünal Z., Çetin Eİ. Gübre üreticisinin hedef pazar seçiminde bütünlük AHP-TOPSIS yöntemi. *Mediterranean Agricultural Sciences* 2019; 32(3): 357-364.
- Van der Kooij S., Zwarteveen M., Boesveld H., Kuper M. The efficiency of drip irrigation unpacked. *Agricultural Water Management* 2013; 123, 103-110.
- Veisi H., Deihimfard R., Shahmohammadi A., Hydarzadeh Y. Application of the analytic hierarchy process (AHP) in a multi-criteria selection of agricultural irrigation systems. *Agricultural Water Management* 2022; 267: 107619.
- Wind Y., Saaty TL. Marketing applications of the analytic hierarchy process. *Management Science* 1980; 26(7): 641-658.
- Ye S., Han J., Liu T. Determination of optimum irrigation strategies and effect of drip irrigation system on growth and water use efficiency of pear jujube in Loess Hilly region of northern Shaanxi. *PLoS One* 2019; 14(8): e0221925.
- Zhang T., Zou Y., Kisekka I., Biswas A., Cai, H. Comparison of different irrigation methods to synergistically improve maize's yield, water productivity and economic benefits in an arid irrigation area. *Agricultural Water Management* 2021; 243: 106497.