

# Yeraltı Suyu Etkilenebilirliğinin CBS ile Değerlendirilmesi: Harran Ovası Örneği

## Assessment of Groundwater Vulnerability Using GIS: A Case Study from Harran Plain

<sup>1</sup>\*Abdullah İzzeddin KARABULUT, <sup>2</sup>Mehmet İrfan YEŞİLNACAR

<sup>1</sup>Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, YÖK 100/2000 Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Programı Bursiyeri, Şanlıurfa. ORCID ID: 0000-0002-9784-5549

<sup>2</sup>Harran Üniversitesi, Osmanbey Kampüsü, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa ORCID ID: 0000-0001-9724-8683

### Özet

Yağış rejimini etkileyen önemli etkenlerden biri de küresel ölçekteki iklim değişimidir. Bundan dolayı, hidrolojik döngünün en önemli bileşenlerinden biri olan yeraltı suyunun miktar bakımından azalmasına neden olmuştur. Bunun yanı sıra, kentleşme, nüfus artışı, tarımsal ve endüstriyel faaliyetlerin artması yeraltı suyu kalitesini olumsuz etkilemiştir. Dolayısıyla, kirlenmenin olası etkilerini tahmin etmek ve buna göre koruma tedbirlerini almak için etkin bir yeraltı suyu etkilenebilirlik analizi yapılmalıdır. Bu analizin gerçekleştirilmesi için yaygın olarak kullanılan modellerden biri olan DRASTIC modeli bu çalışmada benimsenmiştir.

Bu çalışmada, etkilenebilirlik analizi için DRASTIC modelinin alt türlerinden Original Drastic Model (ODM) ve Modified Drastic Model (MDM) test edilmiştir. Buna göre, çalışma alanının yarısına yakın bir bölgede etkilenebilir olduğu tespit edilmiştir. Bu alanların özellikle, yerleşim birimlerin yakın olduğu saptanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** DRASTIC Model, Yeraltı suyu, CBS, Yarı Kurak / Kurak Bölge, Harran Ovası

### Abstract

One of the important factors affecting the precipitation regime is climate change on a global scale. Therefore, it has caused a decrease in the amount of groundwater, which is one of the most important components of the hydrological cycle. In addition, urbanization, population growth, agricultural and industrial activities have adversely affected groundwater quality. Therefore, an effective groundwater vulnerability analysis should be carried out in order to estimate the possible effects of pollution and take protective measures accordingly. The DRASTIC model, which is one of the commonly used models to perform this analysis, was adopted in this study.

In this study, Original Drastic Model (ODM) and Modified Drastic Model (MDM), which are subtypes of DRASTIC model, were tested for vulnerability analysis. Accordingly, it has been determined that almost half of the study area can be affected in an area. It has been determined that these areas are especially close to residential units.

**Key words:** DRASTIC Model, Groundwater, GIS, Semi-Arid /Arid Region, Harran Plain

---

\*Corresponding author: Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, YÖK 100/2000 Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Programı Bursiyeri, Şanlıurfa. E-mail: karabulut6363@gmail.com, Cep: +905426919202

## 1. Giriş

Yeraltı suyu evsel, tarımsal ve endüstriyel amaçlarla yaygın olarak kullanılmaktadır. Yüzeysel suyunun zirai kirleticilerle kirlenmeye açık olmasından dolayı yeraltı suyu evsel kullanım için çok önemlidir [1]. Bununla birlikte iklim değişikliğinden dolayı yağış rejimindeki değişimler, yeraltı suyunun geri beslenmesinin azaltılması, kentleşme, nüfus artışı, tarımsal ve endüstriyel faaliyetlerin artması dünyadaki yeraltı suyu kalitesini olumsuz etkilemektedir [2]. Bu nedenle, yeraltı suyu kirliliğine karşı etkilenebilirliğinin değerlendirilmesi, yeraltı suyu kaynaklarının kirlenmeye karşı yönetimi ve korunması için etkili bir strateji yürütmek temel bir görevdir [3]. Son zamanlarda, yeraltı suyu kirliliğine karşı etkilenebilirliğinin değerlendirmesi dünyanın birçok ülkesinde kritik bir konu haline gelmiştir [4].

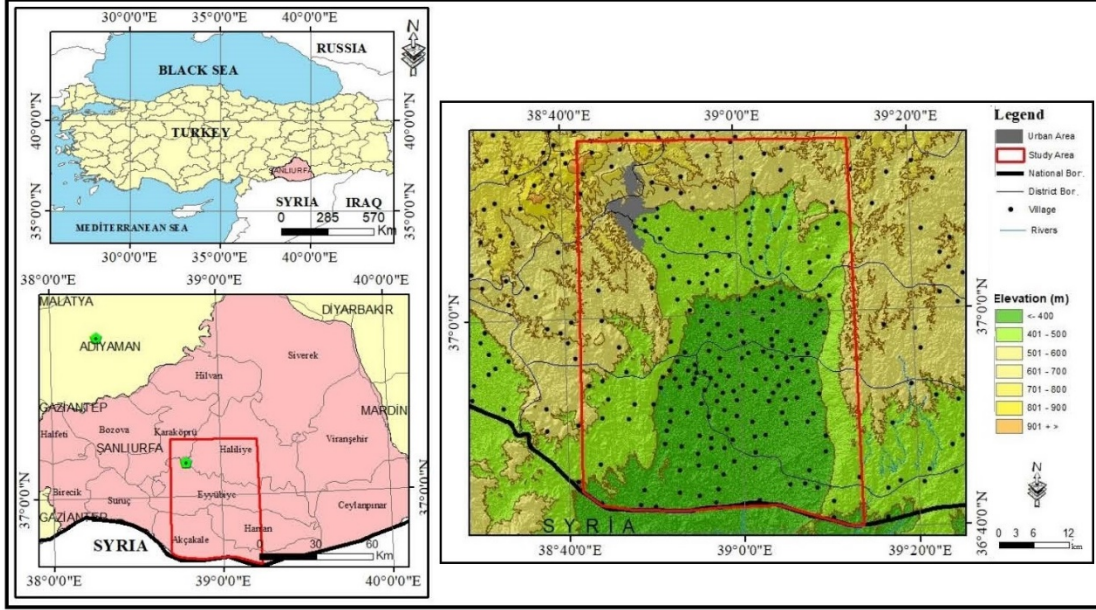
Yeraltı suyunun potansiyel kirleticilere karşı etkilenebilirliğinin değerlendirilmesi için yaygın olarak kullanılan modellerden biri DRASTIC'dir [5;6;7;8]. Yeraltı suyu etkilenebilirliğinin haritalaması, bazı kara alanlarının diğerlerine göre yeraltı suyu kirliliğine karşı daha savunmasız olduğu fikrine dayanmaktadır [8]. Etkilenebilirlik kavramı, dinamik yeraltı suyu modelleri kullanmak yerine, bir coğrafi alanın, yeraltı suyu kirliliğini etkilenebilirliğe göre sınıflandırılmaktadır. Çünkü yeraltı suyu modelleri genellikle dünyanın birçok yerinde karşılanamayan veri gereksinimlerine sahiptir [7;9]. DRASTIC, hidrojeolojik ortamı verilen belirli bir bölgede yeraltı suyu kirlilik potansiyelini değerlendirmek için ABD EPA tarafından geliştirilen sayısal bir derecelendirme şemasıdır.

DRASTIC yönteminin yeraltı suyu kirliliğine karşı etkilenebilirliğini değerlendirmek ve uygulanabilirliğini artırmak için birçok çalışmada çeşitli yöntemler ve teknikler geliştirmiştir. Bu çalışmada Coğrafi Bilgi Sistemi yazılımlarından bir olan ArcGIS ArcMap 10.8 kullanılarak Harran Ovasının yeraltı suyu etkilenebilirliğini belirlemek için Original Drastic Model (ODM) ve arazi kullanımını faktörü de eklenerek Modified Drastic Model (MDM) test edilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Çalışma Alanı

Çalışma alanını olan Harran Ovası Türkiye'nin güneydoğusunda ve bölgenin en büyük sulama alanına sahip Şanlıurfa il merkezinde yer almaktadır. Jeomorfolojik sınırları dikkate alındığında ovanın yaklaşık alanı 1700 km<sup>2</sup>'dir (Şekil 1). Ova yarı kurak bir iklime sahiptir. Yıllık ortalama sıcaklık ve yağış sırasıyla 18.5 °C ve 460 mm'dir.



Şekil 1: Çalışma alanının lokasyon haritası

## 2.2. DRASTIC Model ve Hidrojeolojik Faktörler

Günümüzde coğrafi verilerin kullanılabilirliğinin artması ve hesaplama teknolojisindeki gelişmelerle birlikte CBS, yeraltı suyu ve su kaynakları yönetimi için yaygın olarak kullanılmaktadır [10]. CBS, analiz oluşturmak ve çeşitli mekânsal verileri depolamak için kullanılmaktadır. Yeraltı suyu etkilenebilirlik haritalarının üretimi için sıklıkla bindirme analizi ve ağırlıklı toplam analizi kullanılmaktadır [11;12;13]. Bu çalışmada Coğrafi Bilgi Sistemi yazılımlarından bir olan ArcGIS ArcMap 10.8 kullanılarak çalışma alanı oluşturan Harran Ovası serbest akiferi için ODM ve MDM uygulanmıştır.

DRASTIC endeksinin belirlenmesi, her faktör ağırlığının puan derecesi ile çarpılmasını ve toplanmasını içerir. Aller ve diğerleri (1987) tarafından geliştirilen Orijinal DRASTIC Modeli (ODM); yeraltı su derinliği, geri beslenme, akifer ortamı, toprak ortamı, topografya, vadoz bölgesinin etkisi ve hidrolik iletkenlik gibi 7 faktörlü değerlendirme sürecini içerir [8;9;14;15;16;17]. 7 faktörün ağırlıkları: Yeraltı suyu derinliği (Depth to groundwater): 5, Beslenme oranı (net Recharge): 4, Akifer ortamı (Aquifer media): 3, Toprak ortamı (Soil media): 2, Topografik eğim (Topographic slope): 1, Vadöz bölgenin etkisi (Impact of vadose zone): 5, ve Hidrolik İletkenlik (hydraulic Conductivity): 3. Ayrıca, Arazi kullanımı yeraltı suyu kirlilik etkilenebilirliğini etkileyen bir faktör. Bu çalışmada, arazi kullanımı ODM'ye eklenmiş ve 5 ağırlığına göre atanmıştır (Formül 1). Arazi kullanım faktörü için USGS'den temin edilen 2021 yılına ait Landsat 8 OLI uydu görüntüsü kullanılarak sınıflandırılmıştır. Altlık harita olarak kullanılmak üzere, bölgenin topografik eğimi için 30 m aralıklarla Dijital Yükseklik Modeli verileri ABD Jeolojik Araştırmasından [18] sağlanmıştır.

$$\text{Modifiye DRASTIC vulnerability Index} = Dr \times Dw + Rr \times Rw + Ar \times Aw + Sr \times Sw + Tr \times Tw + Ir \times Iw + Cr \times Cw + Lr \times Lw \quad (1)$$

Formül 1 de; D: Yeraltı suyu derinliği, R: Beslenme oranı, A: Akifer ortamı, S: Toprak özellikleri, T: Topografik eğim, I: Vadöz bölgenin etkisi, C: Hidrolik İletkenlik, L: arazi kullanımı, r: değerlendirilen alan için derecelendirme ve w: parametre için önem ağırlığıdır.

### 3. Bulgular

Beslenme hızı, yer yüzeyine nüfuz eden ve su tablasına ulaşan su miktarıdır. Yeraltı suyunu besleyen beslenme suyu, kirleticilerin taşınması için uygun koşulları oluşturur [17]. Beslenme hızı hesaplaması için toprak geçirgenliği, yağış ve topografik eğim kullanılmıştır. Çalışma alanındaki eğim, toprak geçirgenliği ve yağış değerleri Tablo 1’de verilen kriterlere göre sınıflandırılmış ve beslenme hızı haritası oluşturulmuştur.

**Tablo 1:** Çalışma alanının beslenme oranları ve beslenme oranı hesaplanmasında kullanılan kriter sınıfları.

| Toprak Geçirgenliği |        | Yağış (mm/yıl) |        | Eğim (%) |        | Beslenme Oranı |        |
|---------------------|--------|----------------|--------|----------|--------|----------------|--------|
| Sınıf               | Faktör | Sınıf          | Faktör | Sınıf    | Faktör | Sınıf          | Faktör |
| Yüksek              | 5      | 432-502        | 5      | <1       | 5      | 11.1-13        | 10     |
| Orta ila yüksek     | 4      | 402-431        | 4      | 1-2      | 4      | 9.1-11         | 8      |
| Makul               | 3      | 389-401        | 3      | 2-3      | 3      | 7.1-9          | 5      |
| Düşük               | 2      | 384-388        | 2      | 3-5      | 2      | 5.1-7          | 3      |
| Çok düşük           | 1      | 370-383        | 1      | >5       | 1      | 3-5            | 1      |

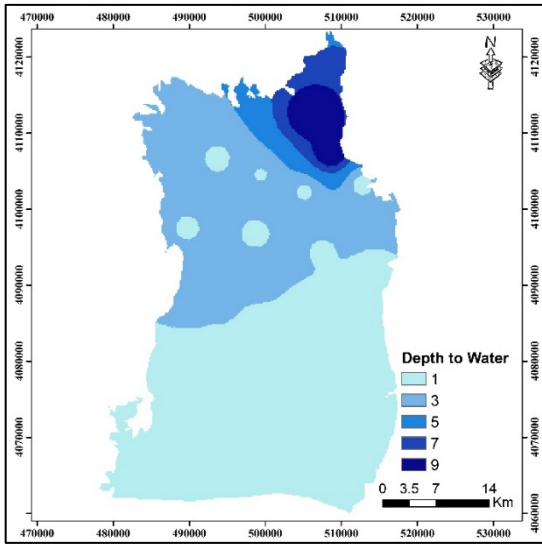
Harran Ovası jeolojik olarak ovanın doğu-batı ve kuzey yönlerinde Miyosen-Holosen formasyonları bulunan Pleyistosen-Holosen alüvyonlarından oluşmaktadır. Ovada Eosen, Oligo-Miyosen, Alt Miyosen, Neojen, Pleyistosen-Eski Alüvyon, Holosen Yeni Alüvyon ve Bazalt birimleri yaygındır [19]. Harran Ovası, kuzey-güney yönlü faylarla çevrili Eosen kalkerleriyle sınırlanmış bir graben yapısı içindedir [20]. Ova Paleosen, Eosen, Miyosen, Pliyosen ve Pleistosen yaşlı kayalardan oluşmaktadır. Eosen kalkerleri önemli bir jeolojik birimdir ve ovanın yeraltı su kaynaklarını içinde barındırır. Çalışma alanında derin akifer ve sığ akifer olmak üzere iki tip akifer bulunmaktadır. Kapalı akifer olarak da adlandırılan derin akifer, Eosen yaşlı karstik kireçtaşından gelmektedir ve kalınlığı yaklaşık 300 m’dir. Sığ akifer, serbest bir akiferdir. Kil, kum ve çakıl içeren Pleistosen kayaçlarından oluşur ve kalınlığı yaklaşık 60 m’dir [21;22].

Harran Ovası'nın toprak ortamı değerlendirildiğinde, alüvyal, kolüvyal ve gölsel temel bileşenleridir. Bu topraklar genellikle kil içerir ve hafif alkalidir. Ovanın toprakları Vertisol olarak sınıflandırılır. Toprağın organik madde içeriği %1 civarındadır [23]. Çok kireçli profil, derinlik arttıkça artan yoğunluğa sahip ikincil kireç yumruları içerir. Profiller A, B ve C horizonlarına sahiptir ve kation değişim kapasiteleri yüksektir. Yüzeiden aşağıya doğru organik madde azalırken, alt katmanlara doğru kation değişim kapasiteleri kil içeriğine bağlı olarak artar [19; 24;25]. Harran Ovası'nın toprakları yüksek kireç içeriğine sahiptir, yüzey toprakları ortalama %24, daha derin ve topraklar ortalama %26 civarındadır. Toprak kireççe zengin, organik maddece fakirdir. Ova toprağı, genellikle %50 civarında kil içeren, yüksek şişme büzülmesine sahip 2:1 tipi

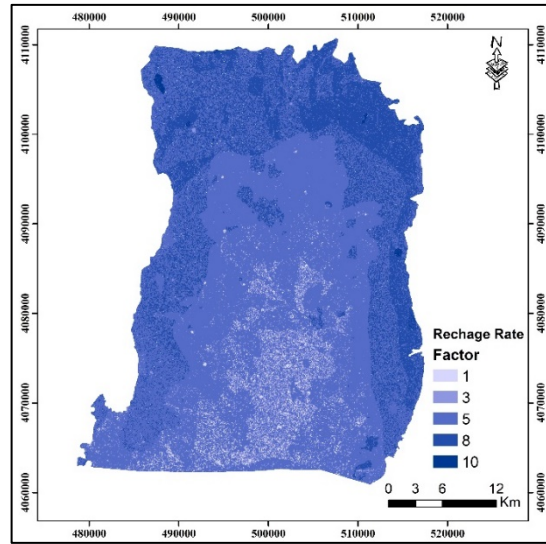
kil içerir. Toprağın tuz içeriği %0.04 ile %1.24 arasındadır. Tuzluluk katyonları genellikle kalsiyum iken, ovanın bazı bölgelerinde sodyum bulunur [20;26]. Yeraltı su seviyesi (m) mekânsal dağılım haritaları interpolasyon yöntemi kullanılarak üretilmiştir. Havzada ölçülen maksimum ve minimum su seviyesi derinlikleri sırasıyla 20.80 m ve 1.03 m'dir. ODM ve MDM analizleri için hidrojeolojik faktörlere atanan ağırlıklandırma değerleri Tablo 2'de, oluşturulan tematik haritalar ise şekil 2'de gösterilmektedir.

**Tablo 2:** Hidrojeolojik faktörler ve bu faktörlere atanmış ağırlıklandırma dereceleri

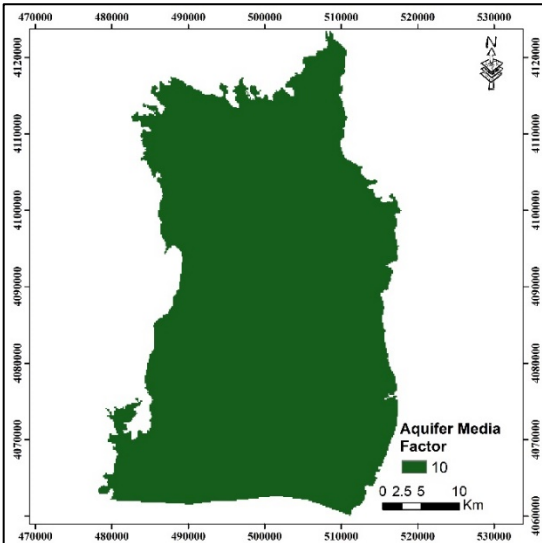
| No. | Hidrojeolojik faktörler                                  | Sınıf  | DRASTIC Metodu ağırlıklandırma değerleri |
|-----|--|--|--|
| 1   | Yeraltı suyu derinliği<br>(Depth To Water (m))           | (1.03-7.66), (7.67-12), (12.1-17), (17-20),<br>(20.1-21.6)                                 | (9), (7), (5), (3) (1)                   |
| 2   | Beslenme oranı<br>(Recharge Rate)                        | (11.1-13), (9.1-11), (7.1-9), (5.1-7), (3-5)   | (10), (8), (5), (3) (1)                  |
| 3   | Akifer ortamı<br>(Aquifer Media)                         | (Kil, Kum ve Çakıl)  | (10),                                    |
| 4   | Toprak ortamı<br>(Soil Media)                            | (Kil), (Siltli Kil), (Kili Balçık), (Balçık)   | (9), (6), (5), (4),                      |
| 5   | Topografik eğim<br>(Topographic Slope)<br>(%)            | (<1), (1-2), (2-3), (3-5), (>5)  | (9), (7), (5), (3)                       |
| 6   | Vadöz bölgenin etkisi<br>(Impact of Vadose<br>Zone)      | (Kil, Kum ve Çakıl)  | (10)                                     |
| 7   | Hidrolik İletkenlik<br>(Hydraulic<br>Conductivity (M/D)) | (0,042-0,081), (0,045-0,081), (0,015-0,090),<br>(0,088-0,194)                              | (2), (4), (6), (8)                       |
| 8   | Arazi kullanımı<br>(Landuse)                             | (Sulu tarım alanı), (Yerleşim alanları), (Kuru<br>tarım alanları), (Bozkır) (Ağaçlık alan) | (10), (9), (7), (5) (3)                  |



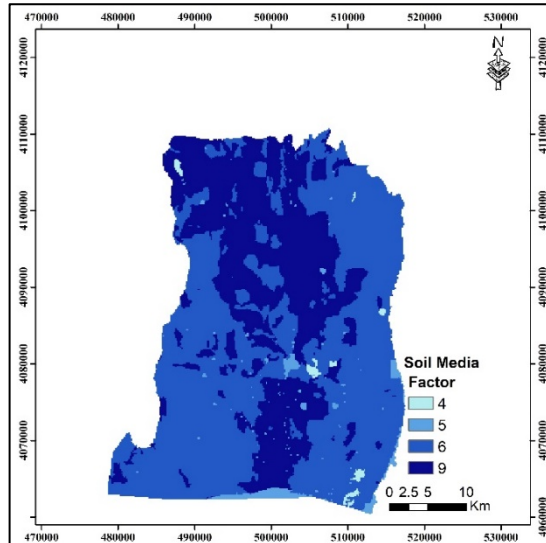
a) Depth to water (m)



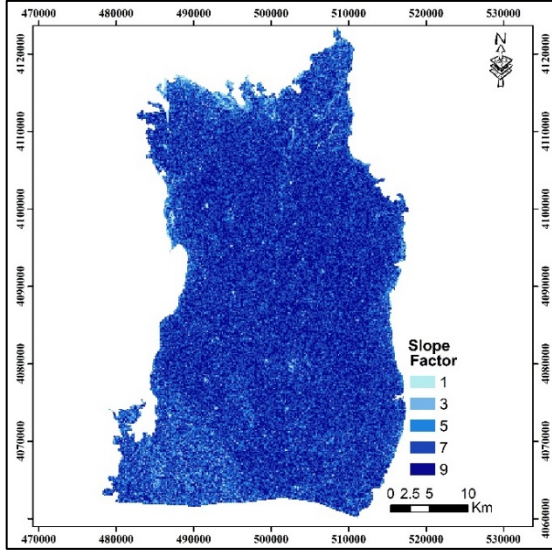
b) Recharge rate



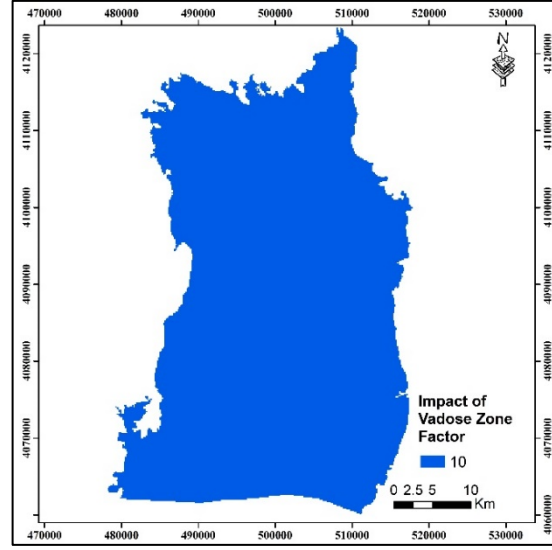
c) Aquifer media



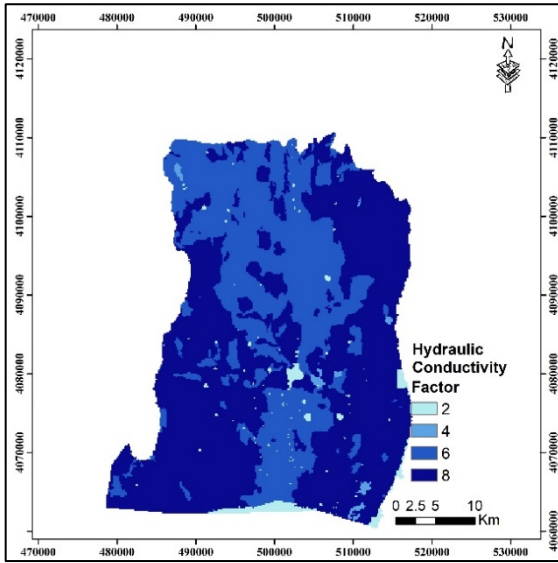
d) Soil media



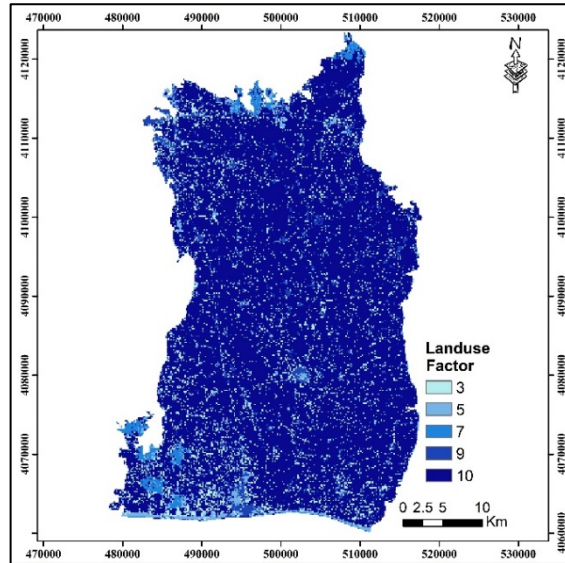
e) Topographic slope (%)



f) Impact of vadose zone



g) Hydraulic conductivity (m/d)



h) Landuse

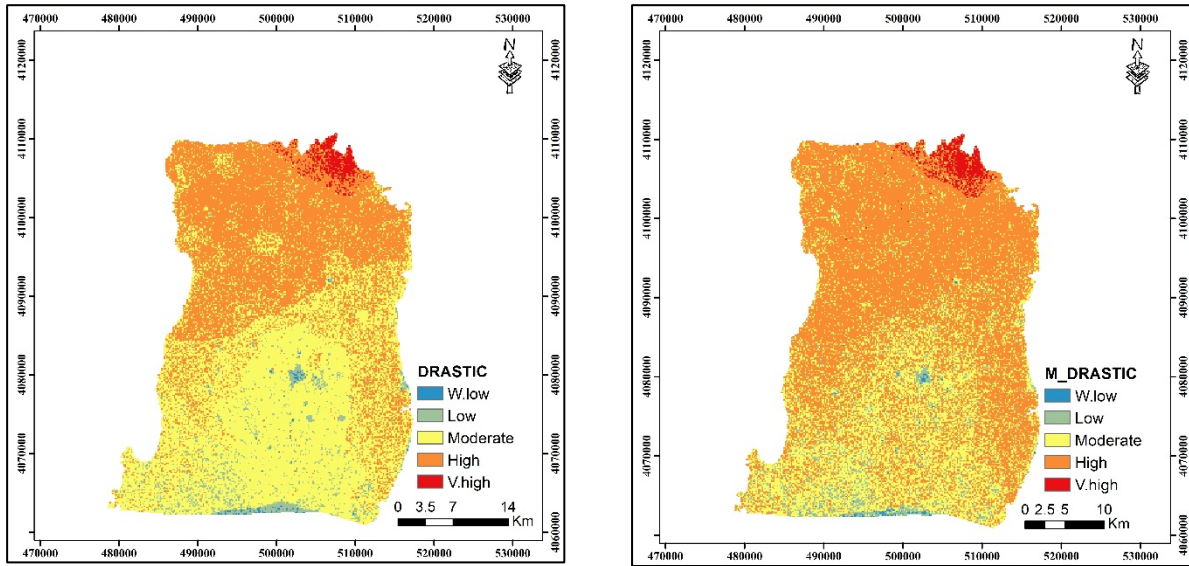
**Şekil 2:** Hidrojeolojik faktörlere göre atanmış ağırlıklandırma değerlerinin tematik haritaları

#### 4. Tartışma ve Sonuç

Coğrafi Bilgi Sistemi yazılımlarından ArcGIS ArcMap 10.8 kullanılarak çalışma alanını oluşturan Harran Ovası serbest akiferi için ODM ve MDM olan DRASTIC mekânsal dağılım haritaları oluşturulmuştur. Günümüzde coğrafi verilerin kullanılabilirliğinin artması ve hesaplama teknolojisindeki gelişmelerle birlikte CBS, yeraltı suyu ve su kaynakları yönetimi için yaygın olarak kullanılmaktadır [10].

Harran Ovası, Türkiye'nin en önemli tarımsal üretim alanlarından biri olup, genellikle derin profilli alüvyal ve kalıntı topraklardan oluşmaktadır. Topraklar profil olarak genellikle killi olmakla birlikte, su geçirgenlik testleri ovadaki geçirgenliğin genellikle “hızlı” veya “çok hızlı” olduğunu gösteren geçirgenlik test sonuçları ile su iletim kabiliyetleri oldukça iyi kalmaktadır. Bu durum yeraltı suyunun oluşmasını hızlandırması ve dolayısıyla yeraltı suyunun potansiyel kirleticilere karşı etkilenebilir olmasına neden olmuştur. Harran Ovası'nda su tablası oluşumunu etkileyen bir diğer faktör de yeraltı suyunu taşıyan akiferdir. Yeraltı suyu taşıyan kireçtaşı akiferde (Eosen akifer) su tablası seviyesinde rapor edilen su tablası seviyesindeki artışa rağmen (serbest-Pleistosen akifer) sulamaya dayalı bir etkinin olmadığı tespit edilmiştir [20;22;27]. Harran Ovası'nda sulamaya başlanmasının ardından ilk yıllarda aşırı sulama ve salma sulama uygulamaları, ovanın alt kesimlerinde drenajı yetersiz olan ağır bünyeli topraklarda yüksek buharlaşma nedeniyle su tablasının yükselmesine neden olmuştur. Yükselen su tablası seviyesi buharlaşarak toprak yüzeyinde tuz birikmesine neden olmuştur.

1995 yılında başlatılan GAP projesi kapsamında Harran Ovası'nda yüzey sulamaya başlandı. Ovada yüzey sulama ile başlayan aşırı sulama ve yetersiz drenaj gibi sorunlar tuzlanmalara neden oldu. Ovada 1982 yılında yeraltı suyu seviyesi 25-30 m olarak kaydedilirken, 1995 yılında organize sulamanın başlamasıyla birlikte seviye 0-5 m arasında artmıştır [20]. Bu durumda ODM ve MDM haritaları karşılaştırıldığında ovanın yaklaşık yarısına yakının ve özellikle şehir yerleşimlerine yakın olan alanlarında kirleticilere karşı etkilenebilir olduğu görülmüştür (Şekil 3). Ayrıca yüzey sularının yükselmesinden dolayı serbest akifer özeliğinde olan ova için potansiyel kirleticiler yeraltı suyu için risk teşkil etmektedir.



a) ODM

b) MDM

Şekil 3: DRASTİC ve Modifiye DRASTİC modelinin tematik haritaları



## Teşekkür

Bu çalışma Harran Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörü (HUBAP) tarafından 22099 proje numarası ile desteklenmiştir.

## Kaynaklar

- [1] Hussain, M.R., Abed, B.S., 2019. Simulation and assessment of groundwater for domestic and irrigation uses. *Civ. Eng. J.* 5 (9), 1877–1892. <https://doi.org/10.28991/cej-2019-03091379>.
- [2] Solangi, G.S., Siyal, A.A., Siyal, P., 2019. Analysis of indus delta groundwater and surface water suitability for domestic and irrigation purposes. *Civ. Eng. J.* 5 (7), 1599–1608. <https://doi.org/10.28991/cej-2019-03091356>.
- [3] Nadiri, A.A., Sedghi, Z., Khatibi, R., Gharekhani, M., 2017a. Mapping vulnerability of multiple aquifers using multiple models and fuzzy logic to objectively derive model structures. *Sci. Total Environ.* 593, 75–90. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.03.109>.
- [4] Elzain, H. E., Chung, S. Y., Park, K. H., Senapathi, V., Sekar, S., Sabarathinam, C., & Hassan, M. (2021). ANFIS-MOA models for the assessment of groundwater contamination vulnerability in a nitrate contaminated area. *Journal of Environmental Management*, 286, 112162.
- [5] Evans, B. M., & Mayers, W. L. (1990). A GIS-based approach to evaluating regional groundwater pollution potential with DRASTIC. *Journal of Soil and Water Conservation*, 45, 242–245.
- [6] Fritch, T. G., McKnight, C. L., Yelderman Jr, J. C., & Arnold, J. G. (2000). An aquifer vulnerability assessment of the paluxy aquifer, central Texas, USA, using GIS and a modified DRASTIC approach. *Environmental Management*, 25, 337–345.
- [7] Knox, R. C., Sabatini, D. A., & Canter, L. W. (1993). *Subsurface transport and fate processes*. USA: Lewis Publishers
- [8] Piscopo, G. (2001). Groundwater vulnerability map, explanatory notes, Castlereagh Catchment, NSW. Department of Land and Water Conservation, Australia, Found at: [http://www.dlwc.nsw.gov.au/care/water/groundwater/reports/pdfs/castlereagh\\_map\\_notes.pdf](http://www.dlwc.nsw.gov.au/care/water/groundwater/reports/pdfs/castlereagh_map_notes.pdf)
- [9] Al-Adamat, R. A., Foster, I. D., & Baban, S. M. (2003). Groundwater vulnerability and risk mapping for the Basaltic aquifer of the Azraq basin of Jordan using GIS, remote sensing and DRASTIC. *Applied Geography*, 23(4), 303-324.
- [10] Taheri, K., Missimer, T. M., Taheri, M., Moayedi, H., & Mohsen Pour, F. (2020). Critical zone assessments of an alluvial aquifer system using the multi-influencing factor (MIF) and analytical hierarchy process (AHP) models in Western Iran. *Natural Resources Research*, 29(2), 1163–1191.
- [11] Saha, D., & Alam, F. (2014). Groundwater vulnerability assessment using DRASTIC and Pesticide DRASTIC models in intense agriculture area of the Gangetic plains, India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 186(12), 8741–8763.
- [12] Sahoo, S., Dhar, A., Debsarkar, A., & Kar, A. (2019). Future scenarios of environmental vulnerability mapping using grey analytic hierarchy process. *Natural Resources Research*, 28(4), 1461–1483.
- [13] Mallik, S., Bhowmik, T., Mishra, U., & Paul, N. (2021). Local Scale Groundwater

- Vulnerability Assessment with an Improved DRASTIC Model. *Natural Resources Research*, 30(3), 2145-2160.
- [14] Aller, L., Bennett, T., Lehr, J., Petty, R., Hackett, G., 1987. DRASTIC-A Standardized System for Evaluating Ground Water Pollution Potential Using Hydrogeologic Settings: Ada, Okla. Robert S. Ken-Environmental Research Laboratory. EPA/600/2- 87-035, vols. 1 and 2.
- [15] Dixon, B. (2005). Groundwater vulnerability mapping: a GIS and fuzzy rule based integrated tool. *Applied Geography*, 25(4), 327-347.
- [16] Shirazi, S. M., Imran, H. M., & Akib, S. (2012). GIS-based DRASTIC method for groundwater vulnerability assessment: a review. *Journal of Risk Research*, 15(8), 991-1011.
- [17] Ravindranath, I. G., & Thirukumaran, V. (2021). Spatial mapping for Groundwater Vulnerability to Pollution Risk Assessment Using DRASTIC Model in Ponnaiyar River Basin, South India. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, 30(2), 355-364.
- [18] USGS (United States Geological Survey) (2021). <https://earthexplorer.usgs.gov>. Erişim tarihi Mart 15, 2021.
- [19] Dinç, U., Şenol, S., Sayın, M., Kapur, S., Güzel, N., Derici, R., Yeşilsoy, M. Ş., Yeğingil İ., et al. (1988). Güneydoğu Anadolu Bölgesi Toprakları (GAT) 1. Harran Ovası. TÜBİTAK araştırma projesi final raporu, Proje no: TOAG-534.
- [20] Yetis, A. D., Kahraman, N., Yesilnacar, M. I., & Kara, H. (2021). Groundwater quality assessment using GIS based on some pollution indicators over the past 10 years (2005–2015): a case study from semi-arid Harran plain, Turkey. *Water, Air, & Soil Pollution*, 232(1), 1-17.
- [21] Ozel, N., Bozdog, S., & Baba, A. (2019). Effect of irrigation system on groundwater resources in Harran Plain (Southeastern Turkey). *Journal of Food Science and Engineering*, 9, 45–51.
- [22] Yesilnacar, M. I., & Yenigun, I. (2011). Effect of irrigation on a deep aquifer: A case study from the semi-arid Harran Plain, GAP Project, Turkey. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 70(2), 213–221.
- [23] Varol, M., Sünbül, M. R., Aytıp, H., & Yılmaz, C. H. (2020). Environmental, ecological and health risks of trace elements, and their sources in soils of Harran Plain, Turkey. *Chemosphere*, 245, Article 125592.
- [24] Aydemir, S. (2001). Properties of Palygorskite – Influenced Vertisols and Vertic – Like soils in the Harran plain of southeastern Turkey (doctoral dissertation). Texas A&M University.
- [25] Sönmez, O., Aydemir, S., Kaya, C., Çopur, O., Gerçek, S., Bilgili, A. V., & Sürücü, A. (2011). Original title [The impact of irrigation performance, phosphorous fertilizer and soil tillage on sediment losses as a result of surface erosion due to excessive irrigation]. TÜBİTAK Project No: 108O163.
- [26] Çullu, M. A., Almaca, A., Ağca, N., Öztürkmen, A. R., Özdemir, A., Çelik, S., & Çeliker, M. (2001). Harran ovasında çoraklaşan yaygın toprak serilerinin tuz dinamiği ve bunu etkileyen faktörler. TARP Proje no: 2510, Şanlıurfa.
- [27] Yeşilnacar, M. İ., Demir, F., Uyanık, S., Güzel, Y., & Demir, T. (2007). Harran ovası yeraltı suyu kalitesi ve kirlenme potansiyelinin belirlenmesi. TÜBİTAK araştırma projesi final raporu, Proje no: 104Y188