

TOPRAK NEMİ TAHMİN HARİTALAMADA COĞRAFİ BİLGİ TEKNOLOJİLERİNİN KULLANIMI: BURDUR HAVZASI ÖRNEĞİ

Eser Mehmet KARABÖCEK^{1,2}

¹Coğrafi Bilgi Sistemleri Genel Müdürlüğü, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Ankara, esermehmet.karabocek@csb.gov.tr

²İstanbul Teknik Üniversitesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, 34469, Maslak, İstanbul, karabocek@itu.edu.tr

ÖZET

Toprak nemi, hidrolojik döngünün önemli bir bileşenidir ve yeraltı suyunun yeniden beslenmesi ile yüzey akışı için mevcut su miktarını etkiler. Ayrıca toprak nemi analizi, arazi bozulması, çölleşme ve taşkınların değerlendirilmesinde kritik bir rol oynamaktadır. Toprak nemi genellikle arazide nokta bazlı ölçümlerle belirlenir. Ancak, bu yöntem doğru sonuçlar vermesine karşın zahmetli ve maliyetlidir. Bu çalışmada alternatif olarak uzaktan algılama yöntemleri ile Burdur Havzası'nın toprak nemi dağılımı haritalandırılmıştır. Çalışmada, Landsat 8 uydusu verilerine ait termal, görünür bölge ve kızılötesi bantları kullanılmıştır. Bu veriler, çalışma alanında yılın en sıcak dönemi olan Ağustos ayına ait 23 ve 30 Ağustos 2021 ile 20 ve 29 Ağustos 2023 tarihli uydusu verileridir. Toprak nemi hesabında, bu uydusu verileri işlenerek hesaplanmış olan yüzey sıcaklığı değerleri kullanılmıştır.

Üretilen toprak nemi haritasındaki piksel değerleri normleştirilmiş değerler olup toprak nemi değerine karşılık gelmektedir ve her bir piksel 0 ile 1 arasında değer almaktadır. 0 – 0.3 arası değerler kurak toprağı, 0.3 – 0.5 arası değerler nemli toprağı, 0.5'ten büyük değerler ıslak toprağı temsil etmektedir. Bu veriler ile hücresel otomata tekniği kullanılarak çalışma alanındaki toprak neminin 2025 yılındaki durumu tahmin edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda 2025 yazında çalışma alanında kurak toprakların miktarının azalacağı tahmin edilmektedir. Çalışmanın bir kısıtı olarak; uzaktan algılama teknikleri yalnızca yüzey toprağının nem oranını tahmin edebilir özelliğindedir, derin topraklar için halen saha çalışması gerekmektedir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar sürdürülebilir havza yönetimi kapsamında tarım, iklim ve meteoroloji çalışmalarında girdi veri olarak kullanılabilir.

Anahtar Sözcükler: Havza, haritalama, toprak nemi, uzaktan algılama

ABSTRACT

USING GEOSPATIAL INFORMATION TECHNOLOGIES FOR PREDICTION OF SOIL MOISTURE MAPPING: A CASE STUDY OF BURDUR BASIN

Soil moisture is an important component of the hydrological cycle and affects the amount of water available for groundwater recharge and surface runoff. In addition, soil moisture analysis plays a critical role in the assessment of land degradation, desertification, and floods. Soil moisture is usually determined by point-based measurements in the field. However, this method is laborious and costly, although it provides accurate results. In this study, the soil moisture distribution of the Burdur Basin was mapped using remote sensing methods as an alternative. Thermal, visible, and infrared bands of Landsat 8 satellite data were used in the study. These data are satellite data dated 23rd and 30th August 2021 and 20th and 29th August 2023, which is the hottest period of the year in the study area.

In the soil moisture calculation, the surface temperature values calculated by processing these satellite data were used. The pixel values in the produced soil moisture map are normalized values and correspond to the soil moisture value, and each pixel takes a value between 0 and 1. Values between 0 and 0.3 represent arid soil, values between 0.3 and 0.5 represent moist soil, and values greater than 0.5 represent wet soil. Using these data, the soil moisture status in the study area in 2025 was estimated using the cellular automata technique. As a result of the analyses, it is estimated that the amount of arid soil in the study area will decrease in the summer of 2025. As a limitation of the study; remote sensing techniques can only estimate the moisture content of the surface soil, and field work is still required for deep soils. The results obtained in this study can be used as input data in agricultural, climate and meteorological studies within the scope of sustainable basin management.

Keywords: Basin, mapping, soil moisture, remote sensing

1. GİRİŞ

İklim parametrelerinin analizi, görselleştirilmesi ve tahminlerinin yapılması havza yönetimi için kritik süreçlerdir. Toprak nemi, yüzey sıcaklığı, basınç, yağış gibi iklim elemanları bir havzanın sürdürülebilir yönetimi açısından sürekli gözlenmesi, ileriye dönük varsayımların ortaya konması; sürdürülebilir tarımın tesisini ve iklim değişikliğinin oluşturacağı tahribata karşı önceden önlem almayı mümkün kılar.

Analizlerde tutarlı sonuç alabilmek adına, veriler yılın yaklaşık aynı günlerinden seçildi. Özellikle yaz mevsimi ve yılın en sıcak dönemi tercih edildi. Yıl içerisinde kuraklığın en çok yaşandığı ve topraktaki nem seviyesinin takibinin daha hassas olması gereken zaman dilimlerinden biri olan Ağustos ayının son günlerine ait veriler çalışmada kullanıldı. Ek olarak, bu dönemde bulutluluk oranının yılın diğer dönemlerine kıyasla daha düşük olması nedeniyle işlenebilecek nitelikte veriye erişim sağlanmış oldu.

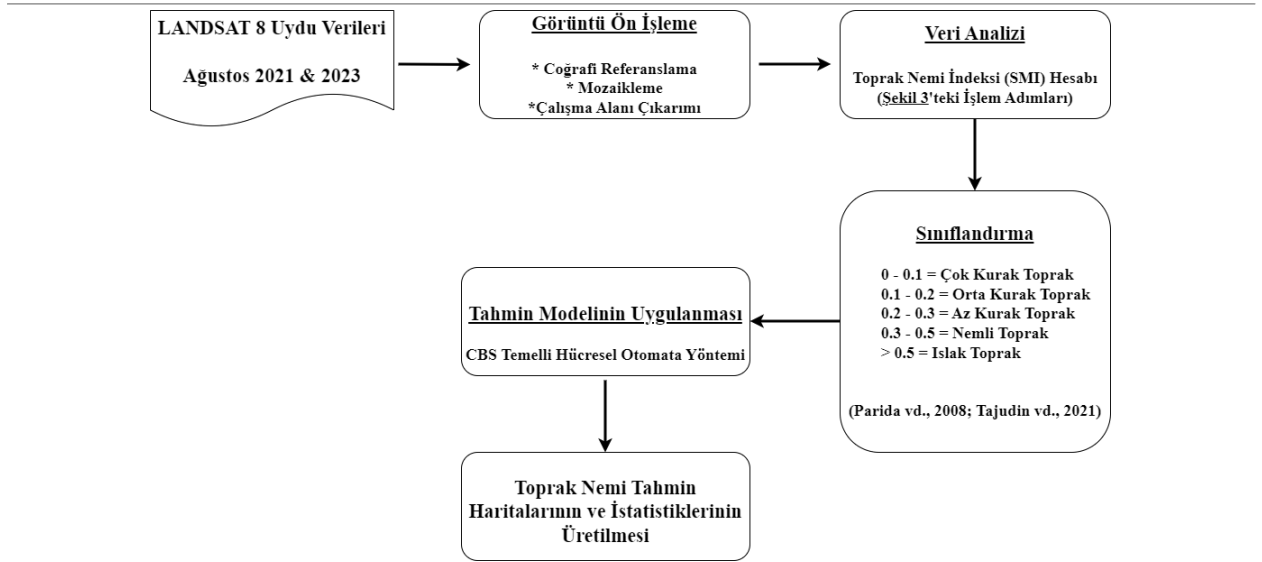
Çizelge 1. Çalışmada kullanılan veriler ve özellikleri

Veri Kaynağı	Yıl – Mevsim	Veri Tarihi ve Konumu (Path / Row)	Veri Özellikleri		
			Mekansal Çözünürlük		Bulutluluk Oranı (%)
Landsat 8 Uydusu	2021 Yaz	23 Ağustos 2021 (178/34)	Kırmızı (Band 4)	30 Metre	1.31
		30 Ağustos 2021 (179/34)	Yakın Kızılötesi (Band 5) Kısa Dalga Kızılötesi (Band 6)		0.65
	2023 Yaz	20 Ağustos 2023 (179/34)	Termal (Band 10)	100 Metre	0.31
		29 Ağustos 2023 (178/34)			0.33

1.3 Yöntem

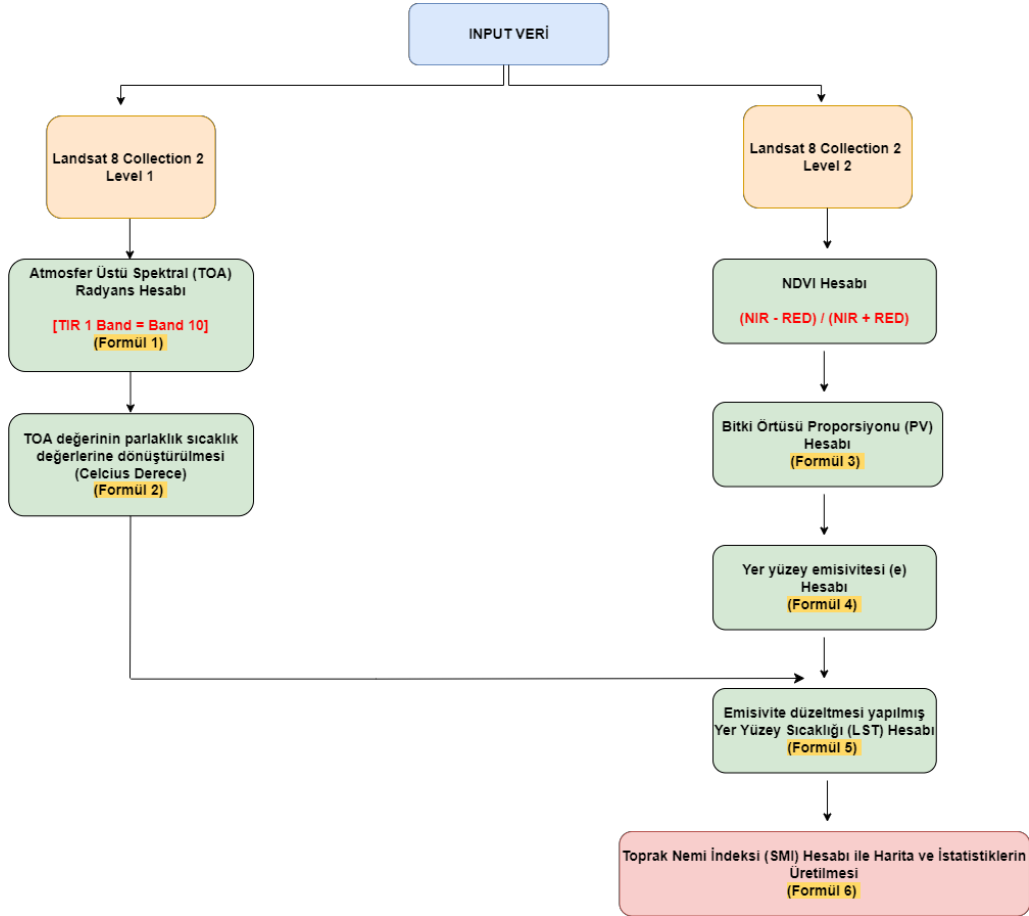
Çalışmada izlenen yöntem ana hatlarıyla Şekil 2’de ve toprak nemi hesabında için kullanılan formül dizini Şekil 3’te gösterilmiştir.

İlk olarak, uydu görüntülerine ön işleme adımları ArcGIS Pro yazılımı kullanarak gerçekleştirildi. Toplamda 4 adet olan 2021 ve 2023 tarihli görüntüler ayrı ayrı UTM Zone 35’e göre yeniden coğrafi referanslandırıldı, sonrasında bu görüntüler mozaiklendi. Mozaiklenmiş veriler çalışma alanı sınırlarına göre düzenlendi. Böylelikle 2021 Ağustos ve 2023 Ağustos aylarına ait Landsat Seviye-1 ve Seviye-2 olmak üzere iki çift uzaktan algılanmış veri elde edildi.



Şekil 2. Çalışmanın ana metodolojisi

Daha sonrasında görüntü metaverilerindeki bilgiler kullanılarak arazi yüzey sıcaklığı değerleri ve bu değerler kullanılarak da toprak nemi indeksi her bir piksel için ArcGIS Pro yazılımı kullanılarak hesaplandı (Şekil 3). Landsat 8 Level-1 verileri toprak nemi indeksi verilerinin oluşturulmasında kullanılırken, atmosferik olarak düzeltilmiş veriler olan Level-2 verileri ise NDVI hesaplanmasında kullanıldı.



Şekil 3. Toprak nemi hesabı için çalışmada kullanılan formülasyonun iş akış şeması

Öncelikle, atmosfer üstü spektral radyansı (TOA(R)) Seviye-1 verilerinin termal infrared bandı (Band-10) kullanılarak hesaplandı (Formül (1)).

$$TOA(R) = M_L * Q_{Cal} + A_L - O_i \quad (1)$$

TOA(R) = Atmosfer Üstü Spektral Radyans, M_L = Belirli bant (Bant 10) için çarpımsal yeniden ölçekleme faktörü ($M_L = 0.000342$), Q_{Cal} = Bant 10 (Termal Kızılötesi) piksel değeri, A_L = Bant-spesifik yeniden ölçekleme faktörü ($A_L = 0.1$), O_i = Dengeleme Faktörü (0.29)

Formül (1 ve 2) hesaplanmasında kullanılan değerler, uydu görüntülerinin metaverisinden alınmıştır.

$$(^{\circ}C) = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{1}{\left(\frac{K_1}{T}\right)} + 1\right)} - 273.15 \quad (2)$$

BT = Parlaklık sıcaklık değeri, K_1 ve K_2 = Spesifik termal dönüşüm sabitleri ($K_1 = 774.8853$, $K_2 = 1321.0789$)

Daha sonra, Formül (2) kullanılarak parlaklık sıcaklığı (BT) değeri her piksel için hesaplanan TOA(R) değerinden dönüştürüldü. Kelvin derece olan bu değerler Celcius dereceye çevrildi. Formül (2)'de kullanılan diğer değerler görüntü meta verilerinden elde edildi.

Ancak, bu BT ($^{\circ}C$) verileri LST'yi hesaplamak için yeterli değildir çünkü emisyon değerlerinin düzeltilmesi gereklidir. Bu çalışmada, emisivite düzeltilmesi için bitki örtüsü verilerinin oranı, PV bitki örtüsü proporsiyonu değerleri hesaplanmış (Formül (3)) ve sonraki aşamalarda kullanılmıştır. PV hesabı için öncelikle NDVI değerleri hesaplanmıştır.

$$PV = \left(\frac{VI - VI_i}{VI_{vegetation} - VI_i} \right)^2 \quad (3)$$

PV = Bitki örtüsü proporsiyonu, NDVIvegetation = 0.5, NDVIsoil = 0.2

NDVI, Landsat Seviye-2 görüntü verilerinin Kırmızı Bant (Band-4) ve Yakın Kızılötesi Bant (Band-5) verileri kullanılarak $NDVI = (NIR-RED) / (NIR+RED)$ formülüyle hesaplandı. Daha sonra, emisivite düzeltilmesinde kullanılmak üzere hesaplanan NDVI değerleri ile bitki örtüsü oranı (PV), Formül (3) ile hesaplandı.

$$e = 0.004 * PV + 0.986 \quad (4)$$

e = Yer yüzeyi emisivitesi, Toprak bantları için standart sapma değeri = 0.004, Ortalama yansıtım faktörü = 0.986

Yer yüzey sıcaklığı LST değerlerini hesaplamak için öncelikle arazi yüzeyi emisyonunun (LSE) hesaplanması gerekmektedir. LSE değerleri Formül (4) ile hesaplanmıştır.

$$LST (^{\circ}C) = \left(\frac{LSE (^{\circ}C)}{1 + (\lambda * \rho) * \ln(\dots)} \right)^2 \quad (5)$$

LST = Arazi yüzey sıcaklığı, λ = Termal bant dalga boyu (10.895 μm), ρ = Planck sabiti (1.438* 10⁻² mK)

Formül (5) ile her bir piksel değeri için düzeltme getirilmiş yüzey sıcaklık değerleri hesaplanmıştır.

$$SMI = \left(\frac{ax - i}{ax - i} \right)^2 \quad (6)$$

SMI = Toprak nemi indeksi

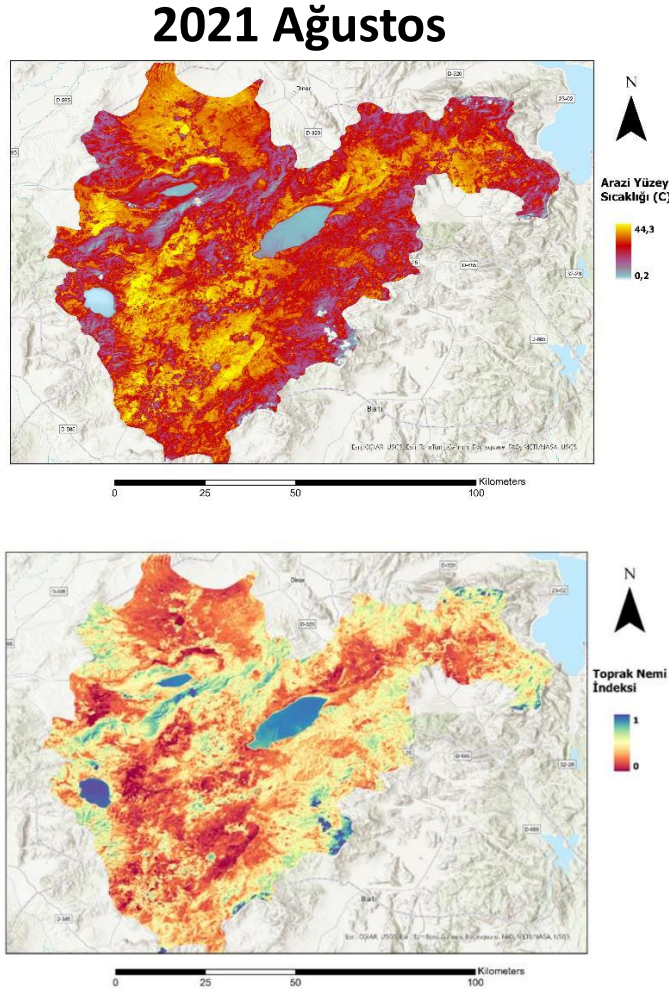
Bir çalışma alanında her bir piksel değeri için arazi yüzey sıcaklığı verilerinin normalize edilmesi ile hesaplanan toprak nemi indeksi, 0 ile 1 arasında değer alır. SMI uydu görüntüsünün elde edildiği günde topraktaki nem durumunu ortaya koyar. Hesaplanan SMI değerleri için 0 en düşük toprak nemini, 1 ise en nemli toprağı ifade eder (Janani vd., 2024).

2021 ve 2023 yılı için hesaplanan toprak nemi indeksi değerleri Parida vd. (2008) ve Tajudin vd. (2021)'in çalışmalarında kullandıkları değer aralıklarına göre sınıflandırıldı. SMI değeri 0 ile 0.3 arasındaki topraklar, çok kurak ($0 < SMI < 0.1$), orta kurak ($0.1 < SMI < 0.2$) ve az kurak ($0.2 < SMI < 0.3$) olmak üzere, kurak topraklar olarak sınıflandırılmıştır. Kurak olmayanlar ise nemli toprak ($0.3 < SMI < 0.5$) ve ıslak toprak ($0.5 < SMI < 1$) şeklinde kategorize edilmiştir.

Her iki yıl için toprak nemi değerlerine göre sınıflandırılan arazi örtüsü verileri QGIS yazılımındaki MOLUSCE (Methods of Land Use Change Evaluation) eklentisi vasıtasıyla hücresel otomata tekniği kullanılarak 2025 yılı için projekte edilmiştir. MOLUSCE, çok kriterli değerlendirme, yapay sinir ağları ve farklı regresyon teknikleri birleştirilerek LULC arazi değişiklikleri analiz ve tahmin etmeyi amaçlamaktadır. MOLUSCE, özel modülleri ve kullanım kolaylığı ile kullanıcı dostu bir arayüze sahiptir (Kafy vd., 2022; Sejati vd., 2019). Eklenti kullanılırken toprak nemini etkileyecek diğer bağımlı veya bağımsız değişkenlere ait veriler girilmemiş, yalnızca Landsat-8 uydu verisi kullanılarak bu çalışma kapsamında elde edilen ve sınıflandırılan toprak nemi değerleri girdi verisi olarak kullanılmıştır. Sonuç olarak, Burdur Havzası'nın 2025 yaz mevsimindeki muhtemel toprak nemi durumu haritalandırılmış ve bu açıdan arazideki değişim istatistikleri üretilmiştir (Şekil 6 ve Çizelge 2).

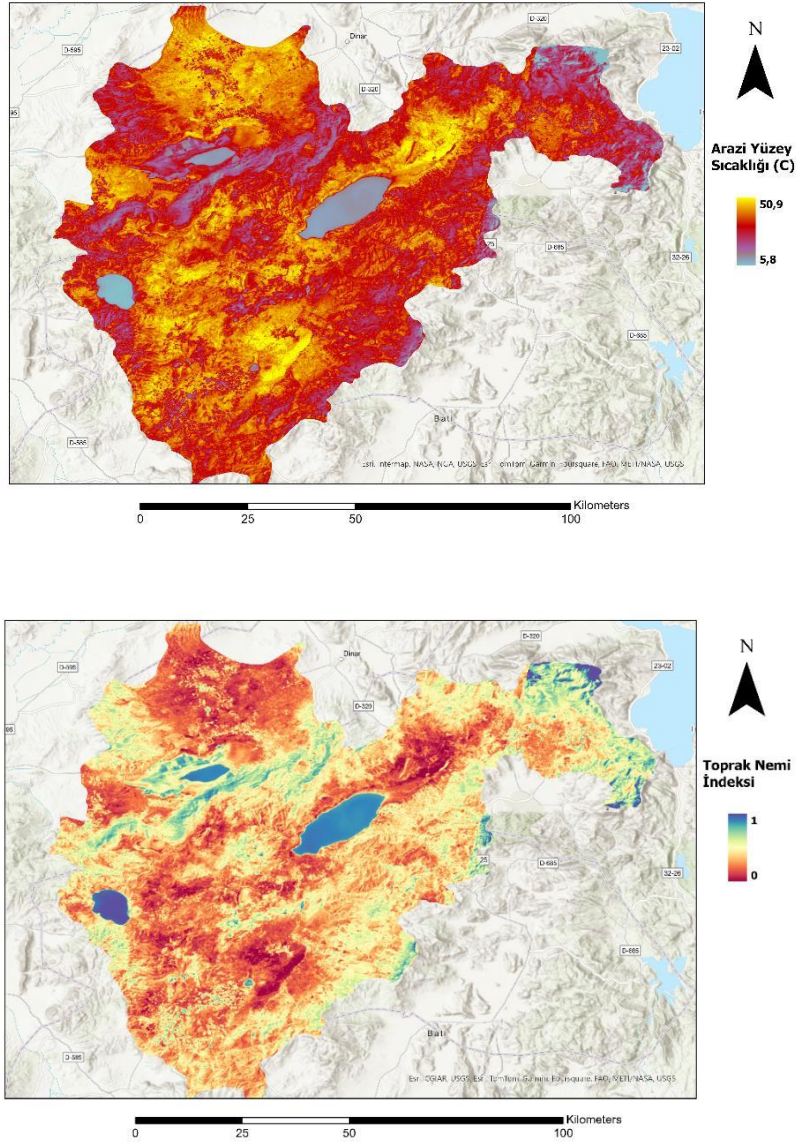
2. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalışmada Burdur Havzası'nın 23 ve 30 Ağustos 2021 tarihli Landsat-8 uydu görüntüleri ile 2021 yaz arazi yüzey sıcaklığı ve toprak nemi haritaları (Şekil 4) ile 20 ve 29 Ağustos 2023 tarihli verilerle 2023 yaz arazi yüzey sıcaklığı ve toprak nemi haritaları üretilmiştir (Şekil 5).



Şekil 4. Burdur Havzası'nın 2021 yaz dönemi arazi yüzey sıcaklığı (üstte) ve toprak nemi (aşağıda) haritaları

2023 Ağustos



Şekil 5. Burdur Havzası'nın 2023 yaz dönemi arazi yüzey sıcaklığı (üstte) ve toprak nemi (aşağıda) haritaları

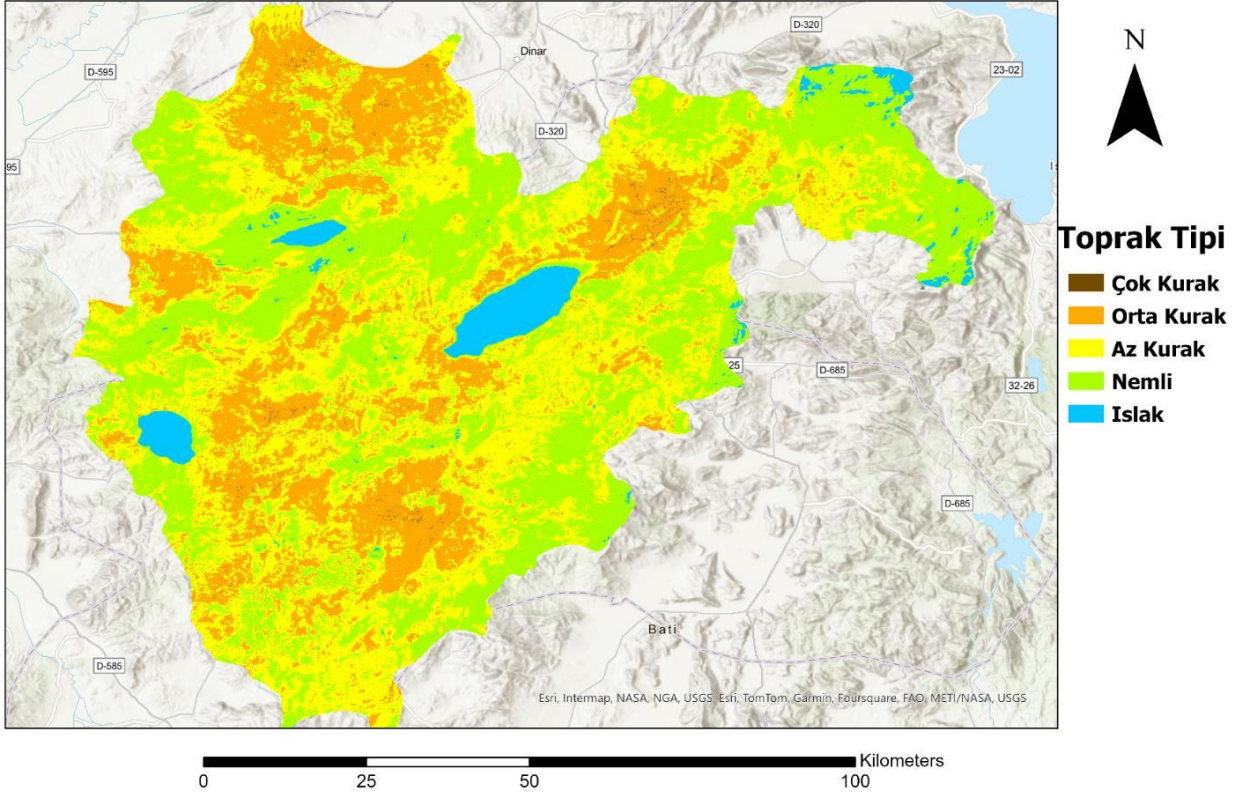
Çalışma alanında 2021 yılı için verilerin elde edildiği tarihte arazi yüzey sıcaklığı 44.3 ile 0.1 Celcius derece arasında değişmektedir.

2023 yılında ise arazi yüzey sıcaklıkları 50.9 ile 5.8 Celcius derece arasındadır. 2021 ve 2023 yıllarının her ikisinde de çalışma alanındaki göller ve çevresi en düşük sıcaklığa ve en yüksek nem seviyesine sahip iken tarım arazileri, yerleşim alanları ve boş arazilerin sıcaklıkları daha yüksektir ve toprak nemi değerleri düşüktür.

Hem 2021 hem de 2023 yılı için toprak nemi seviyesi için ağırlıklı olarak 0.2 ile 0.4 değerleri arasındadır. Çalışma alanında kullanılmayan arazilerin yoğun olduğu ve göl, nehir gibi sulak alanların diğer alanlara göre daha az yer kapladıkları göz önüne alındığında elde edilen sonuçların tutarlı olduğu gözükmektedir.

Bu sonuçlar hüresel otomata yönteminde girdi verisi olarak kullanılarak 2025 yılında çalışma alanının olası toprak nemi haritası üretilmiştir (Şekil 6).

BURDUR HAVZASI TOPRAK NEMİ TAHMİNİ HARİTASI - 2025 YAZ



Şekil 6. Burdur Havzası 2025 yaz dönemi toprak nemi tahmin haritası

Sonuç olarak, geçmiş yıllara ait toprak nemi ve 2025 tahmin verileri üretilmiştir. Bu veriler kullanılarak Burdur Havzası'nın 2021, 2023 ve 2025 yılı olası toprak nemi seviyesindeki bölgelerin kapladıkları alanlara dair istatistikler üretilmiştir (Çizelge 2).

Çizelge 2. Çalışmada kullanılan veriler ve özellikleri

Toprak Tipi	Yüzelik Dağılımları		
	2021	2023	2025
Çok Kurak ($0 < SMI < 0.1$)	% 3.23	% 0.81	% 0.14
Orta Kurak ($0.1 < SMI < 0.2$)	% 32.29	% 25.02	% 22.24
Az Kurak ($0.2 < SMI < 0.3$)	% 34.53	% 39.99	% 38.87
Nemli ($0.3 < SMI < 0.5$)	% 26.69	% 30.68	% 35.26
Islak ($0.5 < SMI < 1$)	% 3.26	% 3.5	% 3.49

Çıkan analiz sonuçlarına göre 2025 yılında Burdur Havzası'nda çok, orta ve az kurak toprakların daha da azalacağı, kapladığı alanı artacak tek toprak tipinin nemli topraklar olacağı öngörülmektedir (Çizelge 2).

Burdur Havzası gibi tarımsal faaliyetlerin önemli boyutta olduğu ve su ekosisteminin ciddi alan kapladığı alanlar için toprak neminin ölçülmesi ve yakın veya uzak gelecekteki durumunun tahmin edilmesi tarımsal üretimin planlanması ve iklim değişikliğine karşı önlemlerin alınması adına değerlidir). Topraktaki bitkilerin kullanabileceği su ölçüsünün tespiti yersel ölçmeler ile daha hassas hesaplanabilir olsa da bu tür işlemler uydu görüntüsü ile yapılan analizlere göre oldukça maliyetli ve uzun sürelidir (Şekertekin vd., 2015).

Bu çalışmada ücretsiz veri kaynağı olduğu için Landsat-8 verileri kullanılmıştır. Ancak ücretli olmasına karşın daha yüksek mekansal ve spektral özellikteki pasif uydu verileri ya da RADAR gibi aktif uydu görüntüleri kullanıldığı takdirde daha hassas sonuç alınabilir ve böylelikle daha detaylı tahmin haritaları ve istatistikleri üretilebilir. Bunun yanı sıra, çalışma sonucunda üretilen veriler sahada yapılan deneysel çalışma dataları ile desteklendiği takdirde daha doğru sonuçlar üretilebilir. Çalışmada kullanılan görüntülerin elde edildiği tarihlere ait arazi çalışması kaynaklı toprak nemi verileri olması durumunda, çalışmanın doğruluk analizleri ile geliştirilme potansiyeli vardır. Ayrıca; üretilen 2025 yaz toprak nemi tahmin verileri, ilgili tarihlerdeki Landsat veya başka bir uydu verisi ya da o tarihlerde gerçekleştirilecek arazi çalışmaları gibi ileriki çalışmalara girdi olarak kullanılabilir.

Çalışma sonucunda üretilen veriler, Burdur Havzası'nın yönetiminin bir bütün olarak gerçekleştirebilmesi için altlık veri olarak kullanılabilir. Ayrıca bölgede yaşanabilecek muhtemel kuraklığın önlenmesi adına hangi bölgelere öncelik verilmesi gerektiğine dair bir fikir sunmaktadır.

3. TEŞEKKÜR

Bu çalışmaya verdiği katkılardan dolayı Coğrafi Bilgi Sistemleri Genel Müdürlüğüne teşekkürlerimi sunarım.

KAYNAKLAR

- Azimi, S., Dariane, A. B., Modanesi, S., Bauer-Marschallinger, B., Bindlish, R., Wagner, W., & Massari, C.** 2020. Assimilation of Sentinel 1 and SMAP-based satellite soil moisture retrievals into SWAT hydrological model: the impact of satellite revisit time and product spatial resolution on flood simulations in small basins. *Journal of hydrology*, 581, 124367.
- Baylan, E., & Demir, A.** 2020. Yeşil Altyapı Sisteminde Sulak Alanlar; Dönemeç Deltası (Van)-Örneği. *Peyzaj*, 2(1), 46-56. • **Dinç, H.** (2015). İstanbul derelerinin fiziki değişimi ve arazi kullanım ilişkisi.
- Ford, T. W., & Quiring, S. M.** 2019. Comparison of contemporary in situ, model, and satellite remote sensing soil moisture with a focus on drought monitoring. *Water Resources Research*, 55(2), 1565-1582.
- Janani, N., Kannan, B., Nagarajan, K., Thiagarajan, G., & Duraisamy, M. R.** 2024. Soil moisture mapping for different land-use patterns of lower Bhavani river basin using vegetative index and land surface temperature. *Environment, Development and Sustainability*, 26(2), 4533-4549.
- Kafy, A. A., Saha, M., Rahaman, Z. A., Rahman, M. T., Liu, D., Fattah, M. A., ... & Ahasan, M. A. K.** 2022. Predicting the impacts of land use/land cover changes on seasonal urban thermal characteristics using machine learning algorithms. *Building and Environment*, 217, 109066.
- Kumar, M., Sahu, A. P., Paul, J. C., Dash, S. S., Sahoo, B. C., Nayak, A. K., & Tinde, L. K.** 2024. Assessment of Long-term spatiotemporal soil moisture variation in the lower Mahanadi River basin: a hydrological modeling based approach. *Environment, Development and Sustainability*, 1-24.
- Parida, B. R., Collado, W. B., Borah, R., Hazarika, M. K., & Samarakoon, L.** 2008. Detecting drought-prone areas of rice agriculture using a MODIS-derived soil moisture index. *GIScience & Remote Sensing*, 45(1), 109-129
- Rosenbaum, U., Bogena, H. R., Herbst, M., Huisman, J. A., Peterson, T. J., Weuthen, A., ... & Vereecken, H.** 2012. Seasonal and event dynamics of spatial soil moisture patterns at the small catchment scale. *Water Resources Research*, 48(10).
- Sejati, A. W., Buchori, I., & Rudiarto, I.** 2019. The spatio-temporal trends of urban growth and surface urban heat islands over two decades in the Semarang Metropolitan Region. *Sustainable Cities and Society*, 46, 101432.
- Şekertekin, A., Kutoğlu Ş. H., Marangoz A. M.** 2015. Uzaktan Algılama Teknolojisi ve Uydu Görüntüleri Yardımıyla Önemli Çevresel Su ve Kara Yüzeyi Etkilerin Gözlemlenmesi. *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, 5(2), 105-112.

Tajudin, N., Ya'acob, N., Ali, D. M., & Adnan, N. A. 2021. Soil moisture index estimation from Landsat 8 images for prediction and monitoring landslide occurrences in Ulu Kelang, Selangor, Malaysia. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, 11(3), 2101-2108.

Tarım ve Orman Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü. Mart 2019. BURDUR HAVZASI TAŞKIN YÖNETİM PLANI. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/Ta%C5%9Fk%C4%B1n%20Y%C3%B6netim%20Planlar%C4%B1%2026.12.2022/BURDUR%20HAVZASI%20TA%C5%9EKIN%20YONETIM%20PLANI.pdf>

Vanderlinden, K., Vereecken, H., Hardelauf, H., Herbst, M., Martínez, G., Cosh, M. H., & Pachepsky, Y. A. 2012. Temporal stability of soil water contents: A review of data and analyses. *Vadose Zone Journal*, 11(4), vj2011-0178.

Yuan, L., Li, L., Zhang, T., Chen, L., Liu, W., Hu, S., & Yang, L. 2021. Modeling soil moisture from multisource data by stepwise multilinear regression: an application to the Chinese loess plateau. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10(4), 233.