

Türkiye İçin Küresel Arazi Kullanımı/Örtüsü Haritalarının Doğruluğunun Değerlendirilmesi: ESA World Cover ve ESRI Land Cover Karşılaştırması

Fidan Şevval Bulut^{1,*}, Ayhan Ateşoğlu², Emrah Acar³

^{1,2,3} Bartın Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Bartın, Türkiye

Makale Tarihiçesi

Gönderim: 27.03.2025

Kabul: 12.08.2025

Yayın: 30.08.2025

Araştırma Makalesi



Öz – Arazi kullanımı ve arazi örtüsü (LULC) sınıflandırması, çevresel değişimlerin izlenmesi, ekosistem dinamiklerinin anlaşılması ve sürdürülebilir arazi yönetiminin desteklenmesi açısından kritik bir rol oynamaktadır. Uzaktan algılama teknolojilerindeki ilerlemelerle birlikte, küresel LULC veri setleri geniş ölçekli çevresel değerlendirmeler için temel bir araç haline gelmiştir. Bu çalışmada, 2021 yılı için ESA WorldCover ve ESRI Land Cover veri setlerinin Türkiye’de sekiz farklı coğrafi havzadaki örneklem alanlar üzerinde doğruluk değerlendirilmesi gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında, Sentinel-1/2 verilerine dayalı olarak üretilen ESA WorldCover 2021 ve yalnızca Sentinel-2 optik verilerini kullanan ESRI Land Cover 2021 veri setleri karşılaştırılmıştır. Değerlendirme metrikleri olarak genel doğruluk (OA), Kappa katsayısı, üretici doğruluğu (ÜD) ve kullanıcı doğruluğu (KD) hesaplanmıştır. Sonuçlar, ESA WorldCover 2021’in tüm havzalarda ESRI Land Cover 2021’e kıyasla daha yüksek doğruluk sunduğunu ortaya koymuştur. En yüksek genel doğruluk ESA WorldCover için %93,00 ile Güney Doğu Anadolu bölgesinde yer alan H7 havzasında, ESRI Land Cover için ise %87,74 ile Doğu Anadolu bölgesinde yer alan H8 havzasında elde edilmiştir. ESA veri seti, radar ve optik verileri entegre etmesi sayesinde su yüzeyleri, ağaç örtüsü ve tarım alanlarının sınıflandırma başarıları daha yüksek hesaplanmıştır. Öte yandan, ESRI Land Cover’ın yalnızca optik verilere dayalı olması, bulut örtüsüne duyarlılığı artırmış ve özellikle heterojen arazi yapısına sahip bölgelerde hata oranlarını yükseltmiştir. Bu çalışma, küresel LULC veri setlerinin doğruluklarının bölgesel ölçekte karşılaştırılması açısından önemli bir katkı sunmaktadır. Elde edilen bulgular, karar vericilerin bu veri setlerini referans alarak arazi yönetimi, çevresel değişim izleme, doğal kaynakların korunması ve sürdürülebilir kalkınma politikalarının oluşturulması gibi süreçlerde daha bilinçli ve güvenilir kararlar almasına olanak sağlayacaktır.

Anahtar Kelimeler – Arazi Kullanımı/Arazi Örtüsü (LULC), doğruluk değerlendirme, ESA worldcover, ESRI land cover, sınıflandırma

Evaluating the Accuracy of Global Land Cover Maps for Türkiye: A Comparison of ESA World Cover and ESRI Land Cover

^{1,2,3} Bartın University, Faculty of Forestry, Department of Forest Engineering, Bartın, Türkiye

Article History

Received: 27.03.2025


Accepted: 12.08.2025


Published: 30.08.2025


Research Article

Abstract – Land use and land cover (LULC) classification play a crucial role in monitoring environmental changes, understanding ecosystem dynamics, and supporting sustainable land management. With advancements in remote sensing technologies, global LULC datasets have become essential tools for large-scale environmental assessments. This study evaluates the accuracy of the ESA WorldCover 2021 and ESRI Land Cover 2021 datasets across eight distinct geographical watersheds in Türkiye. The study compares ESA WorldCover 2021, which integrates Sentinel-1 and Sentinel-2 data, with ESRI Land Cover 2021, which relies solely on Sentinel-2 optical data. Accuracy assessment was conducted using stratified random sampling and visual interpretation with high-resolution Google Earth imagery. Evaluation metrics included overall accuracy (OA), Kappa coefficient, producer accuracy (PA), and user accuracy (UA). The findings indicate that ESA WorldCover 2021 outperformed ESRI Land Cover 2021 in all watersheds. The highest OA for ESA WorldCover was 93.00% in watershed H7 (Southeastern Anatolia), while ESRI Land Cover achieved 87.74% in watershed H8 (Eastern Anatolia). The integration of radar and optical data in ESA WorldCover enhanced classification accuracy for water bodies, tree cover, and croplands. Conversely, the reliance of ESRI Land Cover on optical data alone increased susceptibility to cloud cover, leading to higher misclassification rates, particularly in heterogeneous landscapes. This study provides valuable insights into the regional accuracy of global LULC datasets. The findings will assist decision-makers in selecting the most reliable dataset for applications in land management, environmental monitoring, natural resource conservation, and sustainable development planning.

Keywords – Land use/land cover (LULC), accuracy assessment, ESA worldcover, ESRI land cover, land cover classification

¹  fbulut@bartin.edu.tr

²  aatesoglu@bartin.edu.tr

³  emrahodbs271836@gmail.com

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author

1. Giriş

Arazi kullanımı sürdürülebilir kalkınma, çevresel koruma ve doğal kaynakların yönetimi için temel bir bileşen olarak kabul edilmektedir. Ormanlardan tarım arazilerine, su kaynaklarından kentsel alanlara kadar birçok coğrafi bileşen, arazi kullanım sınıflandırması ile takip edilerek ekosistem hizmetleri, iklim değişikliği ve doğal afet yönetimi gibi birçok alanda karar alma süreçlerini desteklemektedir (Bégué vd., 2018). Dünya genelinde sürdürülebilir doğal kaynak yönetimi, karbon emisyonu hesaplamaları ve uluslararası çevresel politikaların desteklenmesi açısından kritik bir veri kaynağıdır. Küresel veri setleri, farklı ekosistemlerdeki değişimleri izlemeyi ve ülkeler arasında karşılaştırılabilir analizler yapmayı mümkün kılar. Bunun yanı sıra, şehirleşme eğilimleri, tarımsal üretim ve doğal afetlere karşı direnç geliştirme gibi alanlarda karar destek sistemlerine entegre edilerek politika yapımcıların daha bilinçli ve bilimsel temellere dayanan kararlar almasını sağlamaktadır (Venter vd., 2022). Bu bağlamda arazi kullanımı ve arazi örtüsü (LULC) verileri, kentleşme, tarımsal faaliyetler, ormansızlaşma ve su kaynaklarının kullanımı gibi birçok çevresel, ekonomik ve ekolojik süreçle doğrudan ilişkilidir (Fritz ve See 2005). Özellikle iklim değişikliği, biyolojik çeşitliliğin korunması, doğal afet yönetimi ve sürdürülebilir arazi yönetimi gibi alanlarda LULC haritaları, bilim insanları ve politika yapımcılar için önemli bir referans kaynağıdır (Karra vd., 2021). Bu nedenle, doğru ve güncel LULC verileri, çevresel değişimlerin izlenmesi ve etkili arazi yönetimi stratejilerinin geliştirilmesi açısından büyük önem taşımaktadır.

Uydu görüntüleri, geniş alanlar üzerinde güncel ve tutarlı LULC bilgisi sağlayan en etkili yöntemlerden biridir. Geleneksel arazi kullanım haritalama yöntemleri genellikle zaman alıcı ve maliyetlidir, ancak uzaktan algılama teknikleri, sürekli ve tekrarlanabilir gözlem yapma imkânı sunarak LULC değişimlerini yüksek mekânsal ve zamansal çözünürlükte izlemeyi mümkün kılmaktadır (Olofsson vd., 2013). Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile entegre edilen uzaktan algılama yöntemleri, büyük alanlar üzerinde hızlı ve verimli analizler yapılmasını sağlamakta, aynı zamanda maliyetleri düşürerek arazi kullanım değişimlerini tespit ve tahmin etme süreçlerini kolaylaştırmaktadır (Efe ve Algancı 2023; Hadi vd., 2014; Hassan ve Nazem 2016; Liping vd., 2018).

Küresel ölçekli LULC veri setleri, yerel ve bölgesel ölçekli analizlerin ötesine geçerek küresel çevresel değişimlerin izlenmesi için büyük önem taşımaktadır. Son yıllarda, Sentinel-1 ve Sentinel-2 uydu verilerinin kullanımıyla 10 metre mekânsal çözünürlüğe sahip küresel LULC veri setleri geliştirilmiştir. Bu veri setleri daha küçük peyzaj elemanlarını ve arazi kullanım değişikliklerini tespit etme konusunda önemli avantajlar sağlamaktadır (Chaaban vd., 2022). Bu bağlamda, Avrupa Uzay Ajansı (ESA) tarafından geliştirilen ESA WorldCover ve Esri tarafından üretilen ESRI Land Cover küresel düzeyde en yaygın kullanılan 10 m çözünürlüklü LULC haritalarından ikisidir. Her iki veri seti de yıllık olarak güncellenmekte olup, kara yüzeyindeki arazi örtüsünün mekânsal dağılımını belirlemek için farklı yöntemler kullanılmaktadır. ESA WorldCover, rastgele orman sınıflandırma algoritması ile oluşturulmuş olup, Sentinel-1 radar ve Sentinel-2 optik görüntülerini birlikte kullanarak sınıflandırma yapmaktadır. Bu durum, özellikle bulut örtüsü veya atmosferik etkiler nedeniyle optik görüntülerin yetersiz kaldığı alanlarda daha güvenilir sınıflandırmalar elde edilmesine olanak tanımaktadır (Zanaga vd., 2022). ESRI Land Cover ise yalnızca Sentinel-2 optik görüntülerine dayalı olarak derin öğrenme modelleri ile üretilmiştir ve yüksek hacimli eğitim verileri kullanılarak geniş ölçekte arazi örtüsü tahmini gerçekleştirmektedir (Karra vd., 2021). Bununla birlikte, bu iki veri seti arasındaki temel farklardan biri, kullanılan referans veri setlerinin ölçekleridir. ESA WorldCover, 100 × 100 m gridlerde el ile etiketlenmiş örneklerden oluşturulurken, ESRI Land Cover geniş ölçekte manuel olarak etiketlenmiş büyük bir veri kümesi ile eğitilmiş bir derin öğrenme modeli kullanılmaktadır. Ayrıca, ESA WorldCover radar ve optik verileri birleştirerek daha dengeli bir sınıflandırma sağlarken, ESRI Land Cover yalnızca optik veriye dayandığı için atmosferik koşullardan daha fazla etkilenebilir (Karra vd., 2021; Zanaga vd., 2022). Bu metodolojik farklılıklar, belirli arazi sınıflarında doğruluk oranlarında önemli farklar yaratmaktadır ve farklı coğrafi bölgelerde ve arazi örtüsü türlerinde veri setlerinin farklı doğruluk oranlarına sahip olmasına neden olmaktadır (Venter vd., 2022). Küresel ölçekte üretilen bu veri setlerinin doğruluğu,

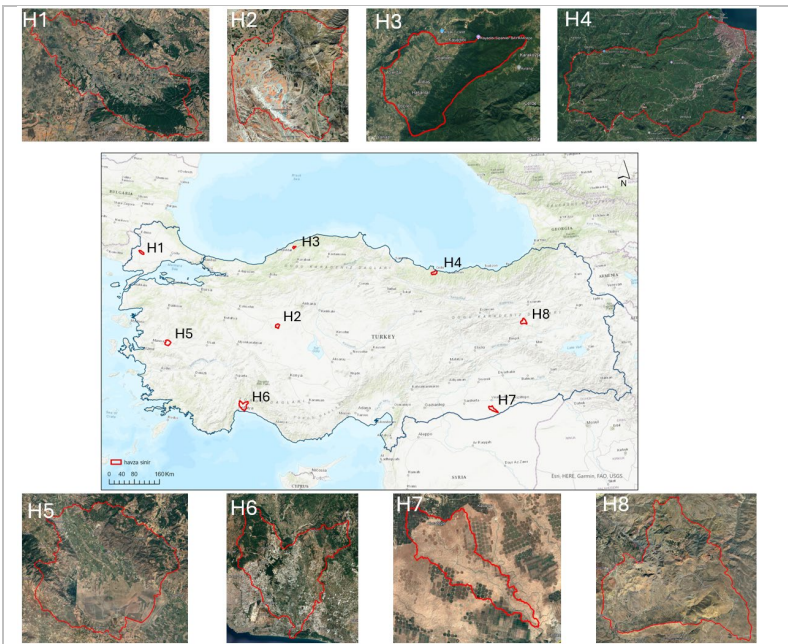
yerel ve bölgesel uygulamalarda büyük önem taşımaktadır. Bununla birlikte, küresel LULC veri setlerinin doğruluğu ve güvenilirliği, kullanılabilirliklerini doğrudan etkileyen temel faktörlerden biridir. Küresel ölçekte üretilen haritalar, genellikle bölgesel düzeyde değişen çevresel koşullara ve arazi örtüsü türlerine göre farklı doğruluk seviyelerine sahip olabilir (Rwanga ve Ndambuki, 2017). Bu nedenle, farklı veri setlerinin doğruluk değerlendirmelerinin yapılması ve belirli bölgeler için hangi veri setinin daha uygun olduğunun belirlenmesi büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışmada, ESA WorldCover ve ESRI Land Cover veri setlerinin 2021 yılı için Türkiye'nin farklı ekolojik ve arazi kullanımı özelliklerini temsil eden sekiz farklı bölgedeki örneklem olarak seçilmiş havzalar üzerinde doğruluk değerlendirmesi gerçekleştirilmiştir. Çalışma, her iki veri setinin farklı coğrafi bölgelerdeki doğruluk seviyelerini karşılaştırarak, bölgesel ölçekte en güvenilir veri setinin belirlenmesine katkı sağlamayı amaçlamaktadır. Küresel ve bölgesel LULC veri setlerinin doğruluk değerlendirmesi, uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri (CBS) uygulamalarının etkinliğini artırmak için önemli bir adımdır. Bu tür analizler, karar alıcıların en uygun veri setini seçmesine yardımcı olmakla kalmayıp, gelecekteki arazi kullanım projeksiyonlarının da daha güvenilir şekilde yapılmasını sağlamaktadır.

2. Materyal ve Metotlar

2.1. Çalışma Alanı

Bu çalışma kapsamında, Türkiye'nin farklı iklimsel ve fizyografik bölgelerini temsil edecek şekilde toplam sekiz havza belirlenmiştir (Şekil 1). Havzaların seçiminde, ülke genelindeki arazi örtüsü ve kullanım çeşitliliğinin yansıtılması, farklı iklim tiplerinin (Akdeniz, Karasal, Karadeniz vb.) ve topoğrafik yapıların (dağlık, ova, plato) temsili ön planda tutulmuştur. Bu yaklaşımla; orman, tarım, çayır-mera, çıplak arazi ve yerleşim gibi farklı arazi örtüsü sınıflarının olacak şekilde dağılım gösterdiği alanlar tercih edilmiştir. Ayrıca, çalışma alanlarının yüzey genişliği ve içerdiği arazi kullanımı çeşitliliği de seçim kriterleri arasında yer almıştır (Tablo 1). Bu kapsamda seçilen havzalar, hem ESA WorldCover 2021 hem de ESRI Land Cover 2021 küresel arazi örtüsü veri setlerinin farklı çevresel koşullar altında ne ölçüde doğru sınıflandırma yapabildiğini değerlendirmek için uygun bir referans zemini sunmaktadır. Her bir havza, Türkiye'nin farklı bölgelerindeki özgün arazi örtüsü ve iklim özelliklerini yansıtmakta olup, doğruluk değerlendirmesinde coğrafi ve ekolojik çeşitliliğin etkilerini analiz etme imkânı sağlamaktadır.



Şekil 1. Çalışma alanı

Tablo 1

ESA WordCover 2021 ve ESRI Land Cover 2021 verileri arazi kullanım/arazi örtüsü alanları (ha)

ESA WordCover 2021		H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8
KOD	SINIF								
10	Ağaç Örtüsü (Tree cover)	2488,07	37,77	2820,31	12859,72	5320,49	22971,79	5,95	309,10
20	Çalılık (Shrubland)	0,18	-	1,21	0,05	823,68	2064,34	0,08	-
30	Mera (Grassland)	1368,99	4391,86	882,00	717,53	4596,40	9701,00	10731,21	17062,50
40	Tarım (Cropland)	5554,58	6385,91	215,46	22,40	9009,38	9749,38	12757,08	1604,96
50	Yapılı Alan (Built-up)	147,50	74,38	48,87	982,72	313,10	5544,59	39,98	42,68
60	Çıplak / Seyrek Vejetasyon (Bare / sparse vegetation)	14,18	1030,97	2,49	33,42	64,52	811,77	168,84	2222,41
70	Kar ve Buz (Snow and Ice)	-	-	-	-	-	-	-	-
80	Kalıcı Su Yüzeyleri (Permanent water bodies)	46,83	1,91	0,03	26,96	2457,88	207,93	16,094	4,64
90	Bitkisel Sulak Alan (Herbaceous wetland)	0,87	0,03	-	-	-	46,25	-	-
95	Mangrov (Mangroves)	-	-	-	-	-	-	-	-
100	Yosun ve Liken (Moss and lichen)	-	-	-	-	-	-	-	-
	Toplam	9621,2	11922,83	3970,37	14642,8	22585,45	51097,05	39797,14	21246,29
ESRI Land Cover 2021		H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8
KOD	SINIF								
1	Su (Water)	64,42	0,83	-	27,41	490,38	337,25	13,54	7,49
2	Ağaçlar (Trees)	2134,16	1,49	2277,2	8045,66	1843,45	12552,12	-	89,76
4	Sulu Bitki Örtüsü (Flooded vegetation)	-	-	-	-	-	0,11	-	-
5	Tarım (Crops)	6710,1	5837,93	1117,76	196,22	11349,56	16299,42	17103,69	1332,81
7	Yapılı Alan (Built Area)	263,29	181,78	311	2964,72	480,44	16038,46	262,46	191,54
8	Çıplak Alan (Bare ground)	-	1275,36	-	13,69	581,68	212,45	127,82	570,27
9	Kar ve Buz (Snow/Ice)	-	0,28	-	-	-	0,006	-	-
10	Bulutlar (Clouds)	-	-	-	0,18	-	0,97	-	-
11	Mera (Rangeland)	449,23	4625,161	264,41	3394,92	7839,94	5656,26	22289,63	19054,42
	Toplam	9621,2	11922,83	3970,37	14642,8	22585,45	51097,05	39797,14	21246,29

2.2. Veri Seti

2.2.1. ESA WorldCover 2021

ESA WorldCover veri seti, Avrupa Uzay Ajansı (ESA) tarafından geliştirilmiş, 10 metrelik bir mekânsal çözünürlüğe sahip Sentinel-1 ve Sentinel-2 verilerine dayanarak yakın gerçek zamanlı olarak geliştirilen ve doğrulanan küresel arazi örtüsü sınıflandırma ürünüdür. ESA WorldCover ürünü, Wageningen Üniversitesi ve IIASA tarafından bağımsız olarak doğrulanmış ve %76,7'lik genel bir doğruluğa ulaşmıştır. ESA WorldCover ürününün 2020 ve 2021 sürümleri yayımlanmış olup, her iki ürün de 11 temel arazi örtüsü sınıfını içermektedir (Tablo 2). Bu sınıflar; ağaç örtüsü, çalılık, mera, tarım, yapılı alan, çıplak/seyrek vejetasyon, kar ve buz, kalıcı su yüzeyleri, bitkisel sulak alan, mangrov, yosun ve liken olarak tanımlanmıştır (Zanaga vd., 2022). Çalışma kapsamında, ESA WorldCover 2021 (ESA-WC-2021) veri seti, 8 coğrafi havza üzerinde doğruluk değerlendirilmesine tabi tutulacaktır.

Tablo 2
ESA-WC-2021 sınıf kodları ve tanımlamaları

Kod	Sınıf	Tanım
10	Ağaç Örtüsü (Tree cover)	Bu sınıf, %10 veya daha fazla ağaç örtüsü bulunan alanları içerir. Ağaçlandırma amaçlı dikilmiş alanlar ve plantasyonlar (örneğin, palmye veya zeytin ağaçları) bu sınıfa dahildir. Mangrovlar hariç, tatlı suyla dönemsel veya sürekli olarak su altında kalan ağaç örtüsü alanlarını da içerir.
20	Çalılık (Shrubland)	Bu sınıf, %10 veya daha fazla doğal çalı örtüsüne sahip alanları içerir. Çalılar, 5 metreden kısa, odunsu ve çok yıllık bitkilerdir. Ağaçlar, örtüsü %10'un altında olduğu sürece seyrek olarak bulunabilir. Herhangi bir yoğunlukta otsu bitkiler de bulunabilir. Çalı yaprakları her dem yeşil veya dökülen türde olabilir.
30	Mera (Grassland)	Bu sınıf, %10 veya daha fazla doğal otsu bitki örtüsüne sahip alanları (çayırlar, bozkırlar, savanlar, meralar) içerir. İnsan veya hayvan faaliyetlerinden (örneğin, otlatma, kontrollü yangın yönetimi) bağımsızdır. Ağaçlar ve çalılar, örtüsü %10'un altında olduğu sürece bulunabilir. Ayrıca referans yıl içinde ekim yapılmamış tarım alanlarını da içerebilir.
40	Tarım (Cropland)	Bu sınıf, ekim/dikim tarihinden sonraki 12 ay içinde en az bir kez hasat edilebilen yıllık tarım ürünleriyle kaplı alanları içerir. Yıllık tarım alanları otsu bir örtü oluşturur ve bazen ağaçlar veya odunsu bitkilerle birleştirilebilir. Çok yıllık odunsu bitkiler uygun ağaç örtüsü veya çalı arazi örtüsü sınıfına dahil edilir. Seralar ise yapılaşmış alan olarak sınıflandırılır.
50	Yapılı Alan (Built-up)	Bu sınıf, binalar, yollar ve demiryolları gibi insan yapımı yapılarla kaplı alanları içerir. Binalar hem konut hem de endüstriyel yapıları kapsar. Kentsel yeşil alanlar bu sınıfa dahil değildir. Atık döküm alanları ve çıkarım sahaları ise çıplak arazi olarak sınıflandırılır.
60	Çıplak / Seyrek Vejetasyon (Bare / sparse vegetation)	Bu sınıf, yıl boyunca %10'dan fazla bitki örtüsü bulunmayan, çıplak toprak, kum veya kaya ile kaplı alanları içerir.
70	Kar ve Buz (Snow and Ice)	Bu sınıf, kalıcı olarak kar veya buzul ile kaplı alanları içerir.
80	Kalıcı Su Yüzeyleri (Permanent water bodies)	Bu sınıf, yılın büyük bir bölümünde göller, rezervuarlar ve nehirler gibi su kütleleriyle kaplı alanları içerir. Su, tatlı veya tuzlu olabilir ve yılın bir kısmında donmuş halde bulunabilir.
90	Bitkisel Sulak Alan (Herbaceous wetland)	Bu sınıf, %10 veya daha fazla doğal otsu bitki örtüsüne sahip, tatlı, acı veya tuzlu su ile kalıcı veya düzenli olarak su basan alanları içerir. Vejetasyonsuz tortul alanlar, bataklık ormanları ve mangrovlar bu sınıfa dahil değildir.
95	Mangrov (Mangroves)	Bu sınıf, korunaklı tropikal kıyılardaki gelgit bölgelerinde, adalarda ve haliçlerde yetişen, tuz toleranslı ağaçlar ve bitki türlerini içerir.
100	Yosun ve Liken (Moss and lichen)	Bu sınıf, yosun ve/veya likenlerle kaplı alanları içerir. Likenler, mantar ve alglerin simbiyotik birlikteliğinden oluşurken, yosunlar gerçek yaprak, gövde ve köklere sahip olmayan foto-ototrofik bitkilerdir.

2.2.2. ESRI Land Cover 2021

ESRI Global Land Cover Map, 10 metre çözünürlükte üretilmiş ve dünya genelinde arazi kullanım ve arazi örtüsünü yıllık olarak gösteren bir veri setidir. Sentinel-2 uydu görüntülerinden yararlanılarak oluşturulan bu veri seti, 2017-2023 yıllarını kapsayan bir zaman serisi sunmaktadır. Her yıl için dokuz arazi örtüsü sınıfını (Tablo 3) temsil eden kompozit haritalar, yıl boyunca elde edilen verilerin işlenmesiyle üretilmiştir. Veri setinin geliştirilmesinde, etiketlenmiş milyarlarca piksel kullanılarak, eğitilmiş bir derin öğrenme modeli kullanılmıştır (GEE 2025). ESRI Land Cover Map, Sentinel-2 L2A yüzey yansıma verilerinin altı spektral bandını (mavi, yeşil, kırmızı, yakın kızılötesi ve iki kısa dalga kızılötesi) kullanarak oluşturulmuştur. Bu spektral bilgiler, yıl boyunca birden fazla tarihte alınan görüntülerin işlenmesiyle nihai bir temsil haritasına dönüştürülmüştür. Model çıktıları, %75'in üzerinde yıllık doğruluk oranı ile küresel ölçekte yüksek çözünürlükte arazi örtüsü haritaları sunmaktadır (Karra vd., 2021). Çalışma kapsamında, ESA-WC-2021 verisiyle uyumluluk sağlamak amacıyla 2021 yılına ait ESRI Land Cover Map (ESRI-LC-2021) veri seti, aynı zaman diliminde 8

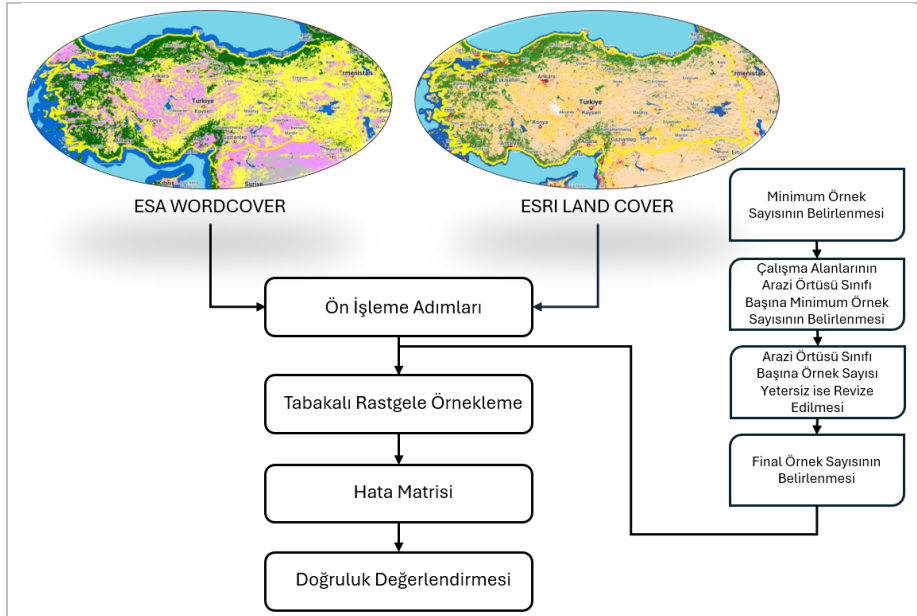
coğrafi havza üzerinde doğruluk değerlendirmesine tabi tutulacaktır. Bu analiz, her iki veri setinin sınıflandırma doğruluklarının karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesine olanak sağlayacaktır.

Tablo 3
ESRI-LC-2021 sınıf kodları ve tanımlamaları

Kod	Sınıf	Tanım
1	Su (Water)	Bu sınıf, yıl boyunca suyun sürekli olarak bulunduğu alanları içerir. Düzensiz veya geçici su alanlarını kapsamaz ve seyrek vejetasyon, kaya çıkıntısı ya da iskele gibi yapıları özellikler içermez.
2	Ağaçlar (Trees)	Bu sınıf, yaklaşık 15 feet (5 metre) veya daha yüksek, yoğun ve kapalılık oluşturan ağaç kümelerini içerir.
4	Sulu Bitki Örtüsü (Flooded ve- getation)	Bu sınıf, yılın büyük bir bölümünde su ile karışık bitki örtüsüne sahip alanları içerir. Mevsimsel olarak su basan ve çayır, çalı, ağaç veya çıplak toprak karışımı olan alanları kapsar.
5	Tarım (Crops)	Bu sınıf, insan eliyle ekilmiş tahıllar, çayırlar ve ağaç yüksekliğinde olmayan tarım ürünlerini içerir.
7	Yapılı Alan (Built Area)	Bu sınıf, insan yapımı yapılar ve altyapıları içerir. Ana yol ve demiryolu ağları, otoparklar, ofis binaları ve konutlar gibi geniş, geçirimsiz yüzeyleri kapsar.
8	Çıplak Alan (Bare gro- und)	Bu sınıf, yıl boyunca çok az veya hiç bitki örtüsü bulunmayan kaya veya toprak alanlarını içerir.
9	Kar ve Buz (Snow/Ice)	Bu sınıf, genellikle dağlık bölgelerde veya yüksek enlemlerde bulunan, geniş ve homojen kalıcı kar veya buz alanlarını içerir.
10	Bulutlar (Clouds)	Bu sınıf, sürekli bulut örtüsü nedeniyle arazi örtüsü bilgisi bulunmayan alanları ifade eder.
11	Mera (Rangeland)	Bu sınıf, homojen çayırlarla kaplı açık alanlar ile seyrek bitki örtüsüne sahip çalılıkların bir arada değerlendirildiği alanları temsil eder. Daha uzun bitki örtüsü bulunmayan doğal çayırlar, yabani tahıllar ve otlar ile dağınık bitki kümeleri bu sınıfa dahildir. Çoğunlukla insan eliyle düzenlenmemiş, açık toprak veya kaya yüzeylerinin görüldüğü alanları kapsar. Not: Bu sınıf, önceki modellerde ayrı olarak tanımlanan "Çayır (Grass)" ve "Çalı (Scrub)" sınıflarını birleştirilerek oluşturulmuştur. Bu, ESRI 2020 Arazi Örtüsü veri setinde ayrı sınıflar olarak yer alan bu kategorilerin, daha güncel bir derin öğrenme modeli ile tek bir sınıf altında toplanmasıyla sağlanmıştır.

2.3. Metodoloji

Bu çalışmada, ESA-WC-2021 ve ESRI-LC-2021 veri setlerinin doğruluk değerlendirmesi gerçekleştirilmiştir. İlk olarak, 8 çalışma alanına ait 2021 yılına ait ESA-WC-2021 ve ESRI-LC-2021 verileri geotiff formatında indirilmiş ve analize uygun hale getirilmesi için gerekli ön işleme adımları uygulanmıştır. Bu süreçte, veri formatlarının düzenlenmesi, çalışma alanlarına göre kırılması gibi işlemler ön işleme adımları olarak gerçekleştirilmiştir. Daha sonra, arazi örtüsü sınıflandırma haritalarının doğruluk analizi için hata matrisleri (error matrix) oluşturulmuş ve doğruluk değerlendirme süreci yürütülmüştür. Çalışmada izlenen genel iş akışı Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. İş akışı

Haritalanan alanların tamamının gözlemi mümkün olmadığından, istatistiksel olarak uygun bir örnekleme yöntemi kullanılarak hata matrisleri oluşturulmuş ve tüm analizler bu temel üzerinde gerçekleştirilmiştir. Arazi örtüsü haritalarının doğruluk değerlendirme için tabakalı rastgele örnekleme (stratified random sampling) yöntemi tercih edilmiştir. Bu yöntem, harita sınıflarının temsiliyetini artırmak ve küçük ancak önemli sınıfların da örnekleme sürecine dahil edilmesini sağlamak amacıyla seçilmiştir (Van Genderen vd., 1978). Örnek büyüklüğünün belirlenmesinde, genel sınıflandırma doğruluğunu ve kabul edilebilir hata oranını ilişkilendiren binom olasılık teorisine dayalı 2.1.3'te verilen denklem kullanılmıştır (Maingi vd., 2002).

$$N = \frac{Z^2 pq}{E^2} \quad (2.1)$$

Burada:

- **N (Örnek Sayısı):** Arazi örtüsü haritalarının doğruluğunu istatistiksel olarak değerlendirmek için gereken minimum örnek sayısını ifade eder.
- **p (Beklenen veya Hesaplanan Doğruluk Oranı):** Haritanın genel doğruluk oranını ifade eder. Bu oran, sınıflandırılan alanların gerçeği ne kadar doğru yansıttığını belirler. % olarak ifade edilir ve çalışmaya başlamadan önce, literatürden veya önceki benzer çalışmalardan alınan tahmini bir değer olarak kabul edilir.
- **q (Hata Oranı):** Harita üzerindeki yanlış sınıflandırılan alanların oranını ifade eder ve $q=100-p$ formülü ile hesaplanır.
- **E (Kabul Edilebilir Hata):** Haritaların doğruluk değerlendirmesinde izin verilen maksimum hata oranını temsil eder. Çalışmalarda genellikle %5 veya %2.5 gibi düşük hata oranları kullanılmaktadır.
- **Z (Standart Normal Sapma):** %95 güven aralığı için standart normal dağılım katsayısını ifade eder ve bu katsayı **1.96** olarak alınmıştır.

Tablo 4'te %60 ve %95 doğruluk oranı dikkate alınarak, olması gereken en az örnekleme sayıları verilmiştir.

Tablo 4

%60 ile %95 arasındaki doğruluklar için %5 (E1) ve %2,5 (E2) hata payıyla elde edilen en az örneklem sayısı						
N1	N2	Z ²	p	q	E1 ²	E2 ²
369	1475	3.8416	60.00	40.00	25	6.25
360	1441	3.8416	62.50	37.50	25	6.25
350	1398	3.8416	65.00	35.00	25	6.25
337	1348	3.8416	67.50	32.50	25	6.25
323	1291	3.8416	70.00	30.00	25	6.25
306	1225	3.8416	72.50	27.50	25	6.25
288	1152	3.8416	75.00	25.00	25	6.25
268	1072	3.8416	77.50	22.50	25	6.25
246	983	3.8416	80.00	20.00	25	6.25
222	887	3.8416	82.50	17.50	25	6.25
196	784	3.8416	85.00	15.00	25	6.25
168	672	3.8416	87.50	12.50	25	6.25
138	553	3.8416	90.00	10.00	25	6.25
107	426	3.8416	92.50	7.50	25	6.25
73	292	3.8416	95.00	5.00	25	6.25

Bu çalışmada kullanılan veri setlerinin küresel ölçekte bağımsız doğrulaması gerçekleştirilmiş olup, her iki veri seti için genel doğruluk oranının %75'in üzerinde olduğu rapor edilmiştir. Bu nedenle, haritaların doğruluk değerlendirmesinde %75 doğruluk oranı (p) varsayılmış ve %5 hata payı (E) ile minimum örnekleme noktası sayısı 288 olarak hesaplanmıştır. Ancak, küçük alan kaplayan arazi örtüsü sınıflarının diğer sınıflara kıyasla yeterince temsil edilebilmesi için, bu sınıflara ek örnek noktaları tahsis edilmiştir. Özellikle küçük sınıflar için örnekleme boyutunun yetersiz olması durumunda, sınıflandırma hatalarının gözlemlenememesi riski bulunmaktadır (Maingi vd., 2002; San Miguel-Ayanz ve Biging, 1997). Bu tür durumlar için Van Genderen ve Lock (1977) her bir sınıf için minimum 20 örnek noktasının tahsis edilmesini önermiştir. Bu nedenle, çalışmada herhangi bir sınıf için örnek sayısı 20'nin altında ise o sınıf için minimum örnek noktası sayısı 20 olarak belirlenmiş ve toplam örnek noktası sayısı, çalışma alanlarının arazi örtüsü dağılımına göre arttırılmıştır (Tablo 5).

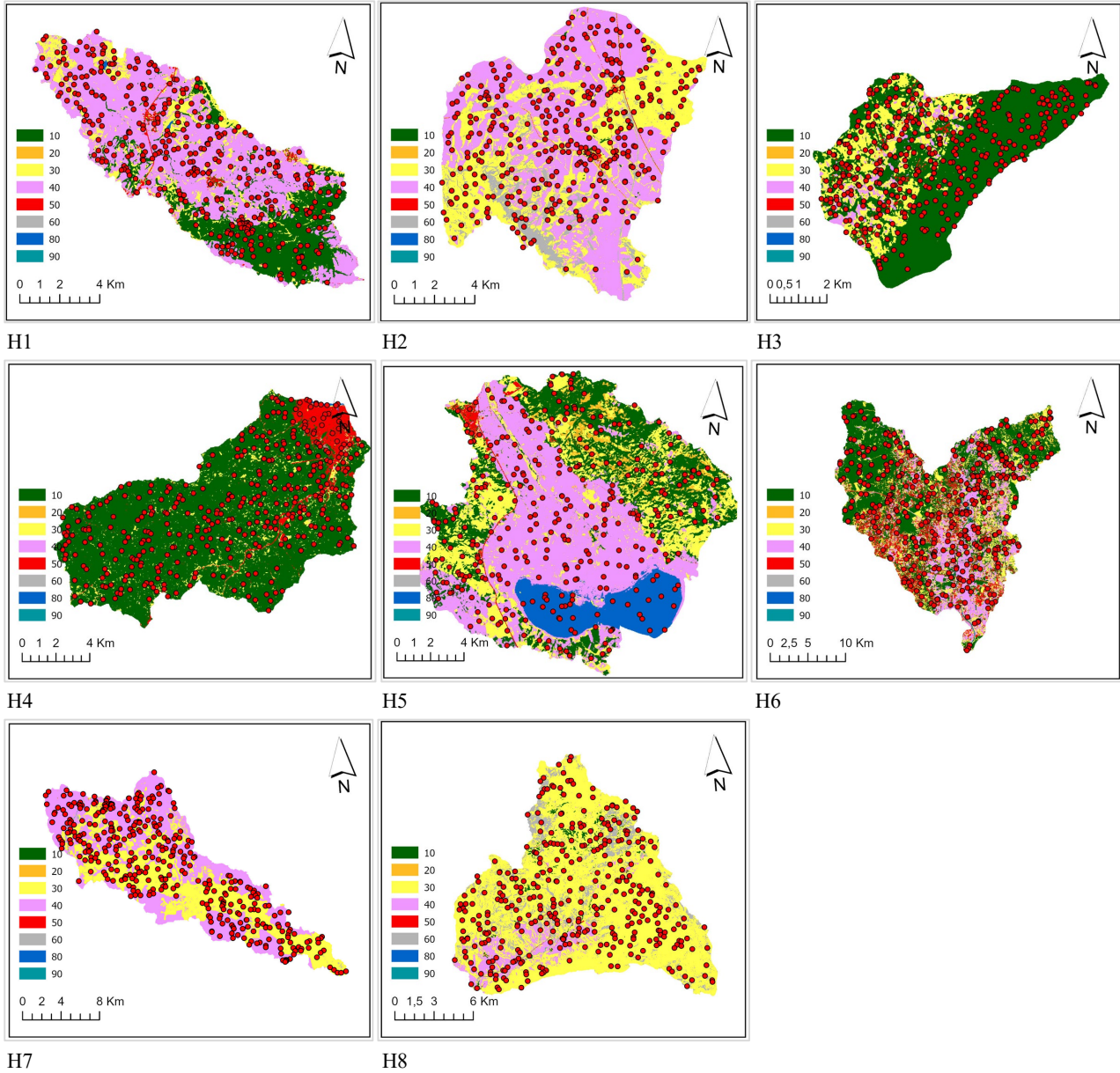
Tablo 5

Çalışma alanlarının arazi kullanım/arazi örtüsü durumuna göre final örnek sayıları

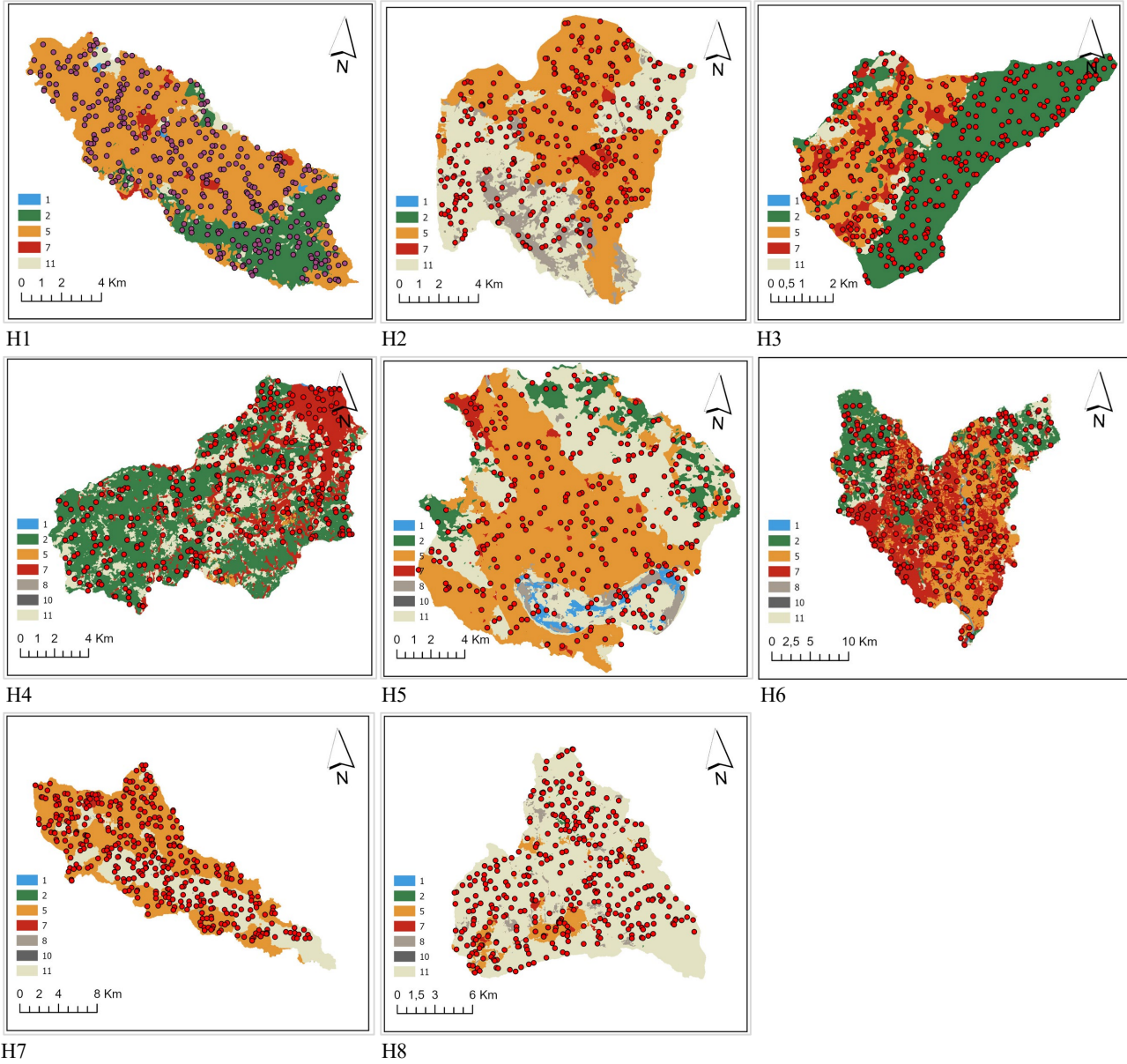
Çalışma Alanları	Minimum Örnek Sayısı	ESA-WC-2021 Örnek Sayısı	ESRI-LC-2021 Örnek Sayısı	Final Örnek Sayısı
H1	288	383	325	383
H2	288	367	364	367
H3	288	290	369	369
H4	288	373	365	373
H5	288	325	329	329
H6	288	352	386	386
H7	288	386	344	386
H8	288	345	359	359

Ayrıca, ESA WorldCover ve ESRI Land Cover veri setleri, sınıflandırma yöntemleri ve içerdiği arazi örtüsü sınıfları açısından farklılıklar göstermektedir. Aynı çalışma alanı içinde veri setlerinin sınıf sayısı ve mekânsal dağılımı farklı olabildiğinden, örnekleme süreci her bir veri seti için ayrı ayrı yürütülmüştür. Ancak, karşılaştırmalı analizlerin tutarlılığını sağlamak amacıyla, her iki veri seti için ayrı ayrı hesaplanan minimum örnek sayıları arasından en yüksek değer tercih edilmiş ve bu sayı, ilgili havzada her iki veri seti için ortak örnek sayısı olarak kullanılmıştır. Örnek noktalarının konumları ise ESA ve ESRI veri setleri için bağımsız olarak üretilmiştir. Bunun nedeni, raster veri setlerinin sınıf dağılımlarının ve piksellerin konumsal yapısının birbirinden farklı olmasıdır. Her veri seti, kendi sınıf yapısına göre özgün bir örnekleme çerçevesi gerektirdiğinden, örnek alanların konumlarının çakışması mümkün olmamıştır. Bu yaklaşım hem sınıf temsiliyetini arttırmak

hem de sınıflandırma hatalarının veri setine özgü olarak daha doğru belirlenmesini sağlamak amacıyla tercih edilmiştir. Şekil 3 ve Şekil 4'te sırasıyla çalışma alanlarına ait ESA-WC-2021 ve ESRI-LC-2021 veri setleri ile doğrulamada kullanılan örnek noktalarının mekânsal dağılımı harita üzerinde gösterilmektedir.



Şekil 3. ESA-WC-2021 verileri ve doğrulamada kullanılan örnek noktalarının mekânsal dağılımı



Şekil 4. ESRI-LC-2021 veri setleri ve doğrulamada kullanılan örnek noktalarının mekânsal dağılımı

Örnek noktalarının referans sınıfları, yüksek çözünürlüklü Google Earth Pro görüntüleri kullanılarak görsel yorumlama yöntemiyle belirlenmiştir. Bu süreçte, her bir örnek noktasının arazi örtüsü kategorisi manuel olarak değerlendirilmiş ve harita sınıflandırma şeması ile uyumlu olacak şekilde referans verileri oluşturulmuştur. Yorumlama sırasında; sınıf tanımları, bitki örtüsü yoğunluğu, rengi, dokusu, biçimi ve çevresel bağlam gibi görsel ipuçları dikkate alınmıştır. Ayrıca, görüntülerin mümkün olduğunca aynı yıla (2021) ve uygun mevsime ait olmasına özen gösterilmiştir. ESA WorldCover ve ESRI Land Cover veri setleri arasında sınıf tanımlarında belirli farklılıklar bulunduğundan, bu farklar görsel değerlendirme sürecinde dikkate alınmıştır. Örneğin, ESA WorldCover “ağaç örtüsü” sınıfını en az %10 ağaç varlığı bulunan alanlar olarak tanımlarken, ESRI Land Cover bu sınıfı yoğun ve kapalı ağaç kümeleri ile sınırlandırmaktadır. Bu nedenle, görsel yorumlamada ağaç örtüsünün araziyi kaplama derecesi, uzman değerlendirmesiyle ve görsel karşılaştırma yöntemleriyle yaklaşık olarak belirlenmiştir. Sınır durumu oluşturan örneklerde ise iki uzman tarafından çapraz kontrol yapılmış ve karar süreci uzlaşıyla tamamlanmıştır. Doğruluk değerlendirmesi sürecinde, hata matrisi (Error Matrix) kullanılarak üç temel doğruluk metriği hesaplanmıştır: Genel Doğruluk (Overall Accuracy), Üretici Doğruluğu (Producer’s Accuracy) ve Kullanıcı Doğruluğu (User’s Accuracy). Hata matrisi, referans verilere göre belirli sınıflara atanan piksel sayılarını ifade eden kare bir matristir ve sınıflandırma doğruluğunu etkili bir şekilde

ifade etmek için uygun bir tekniktir (Congalton, 1991). Ayrıca, bu matris, her bir sınıfın içerme hatalarını (commission error) ve dışlama hatalarını (omission error) açıklayarak doğruluk değerlendirilmesinin ayrıntılı bir görünümünü sağlar (Stehman, 1997). Genel doğruluk, doğru sınıflandırılan piksel sayısının (hata matrisinin köşegenindeki değerlerin toplamı) toplam referans piksel sayısına bölünmesiyle hesaplanır. Bu metrik, sınıflandırmanın genel performansını ifade eder. Üretici doğruluğu, bir sınıfa ait doğru sınıflandırılmış piksel sayısının, o sınıfın toplam referans piksel sayısına oranıyla hesaplanır. Bu metrik, belirli bir arazi örtüsü sınıfının referans verilerle ne kadar etkili bir şekilde eşleştirildiğini gösterir. Kullanıcı doğruluğu, bir sınıfa doğru olarak atanan piksel sayısının, o sınıfa atanan toplam piksel sayısına oranıyla hesaplanır. Bu metrik, bir pikselin haritada atandığı sınıfı gerçekten temsil etme olasılığını ifade eder. Ek olarak, doğruluk değerlendirme sürecinde Kappa Katsayısı da hesaplanmıştır. Kappa katsayısı, hata matrisindeki tüm elemanlar kullanılarak hesaplanır ve sınıflandırma doğruluğunu rastgele sınıflandırmadan ayıran istatistiksel bir ölçüt sağlar (Cohen, 1960).

3. Bulgular ve Tartışma

ESA-WC-2021 veri seti, tüm havzalarda ESRI-LC-2021'e kıyasla daha yüksek genel doğruluk oranları sunmuştur. En yüksek doğruluk ESA-WC-2021 verisi için Güney Doğu Anadolu bölgesinde bulunan H7 (%93,00) ve Trakya bölgesinde bulunan H1 (%90,60) havzalarında, ESRI-LC-2021 verisi için ise Doğu Anadolu bölgesinde bulunan H8 (%87,74) havzasında gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, ESRI-LC-2021'in doğruluk oranı Doğu Karadeniz bölgesinde bulunan H4 (%65,15) havzasında belirgin şekilde düşük kalmıştır. Kappa katsayısı değerleri incelendiğinde, ESA-WC-2021'in Güney Doğu Anadolu bölgesinde bulunan H7 (%88,48) ve Trakya bölgesinde bulunan H1 (%85,72) havzalarında en yüksek uyumu sağladığı görülmektedir. Buna karşın, ESRI-LC-2021 için Doğu Karadeniz bölgesinde bulunan H4 (%49,08) ve Doğu Anadolu bölgesinde bulunan H8 (%53,14) havzalarında en düşük uyum değerleri elde edilmiştir (Tablo 6).

Tablo 6

ESA-WC-2021 ve ESRI-LC-2021 genel doğruluk ve Kappa katsayısı karşılaştırması

Havza	ESA-WC-2021		ESRI-LC-2021	
	Genel Doğruluk	Kappa	Genel Doğruluk	Kappa
H1	%90,60	0,857	%81,20	0,657
H2	%89,10	0,830	%74,65	0,604
H3	%86,17	0,754	%80,48	0,661
H4	%86,32	0,651	%65,15	0,491
H5	%83,28	0,779	%72,34	0,594
H6	%75,90	0,680	%73,58	0,645
H7	%93,00	0,885	%77,20	0,582
H8	%90,25	0,732	%87,74	0,531

Bu bulgular, ESA-WC-2021'in hem optik hem de radar verilerini entegre eden sınıflandırma yaklaşımının, ESRI-LC-2021'in yalnızca optik verilere dayalı modeline kıyasla daha istikrarlı ve doğru sonuçlar sunduğunu göstermektedir. Özellikle heterojen arazi yapısına sahip havzalarda, ESA-WC-2021 veri seti daha yüksek Kappa katsayısı ile uyum oranı sunarken, ESRI-LC-2021 veri seti bazı arazi örtüsü türlerinde yanlış sınıflandırmalara neden olmuştur. ESA-WC-2021 ve ESRI-LC-2021 veri setleri arasındaki doğruluk farklarını daha iyi anlayabilmek için, her iki veri setinin KD ve ÜD değerleri karşılaştırılmıştır (Tablo 7).

Tablo 7
ESA-WC-2021 ve ESRI-LC-2021 veri setleri ÜD ve KD karşılaştırması

	Sınıf/Kod	KD								ÜD							
		H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8
ESA-WC-2021	10	0,99	0,7	0,95	0,94	0,93	0,76	1	1	0,95	0,97	0,98	0,94	0,68	1	0,83	1
	20	0,90	-	-	0,3	0,83	0,19	0,2	-	1	1	-	1	0,90	-	1	-
	30	0,72	0,88	0,73	0,42	0,78	0,72	0,97	0,99	0,80	0,57	0,76	0,62	0,86	0,88	0,89	0,90
	40	0,96	0,98	0,9	0,1	0,82	0,87	0,96	0,52	0,94	0,74	0,51	1	0,94	0,89	0,98	0,93
	50	1	0,9	1	1	1	1	0,9	0,9	0,5	0,54	0,45	0,48	0,62	0,75	0,9	0,82
	60	0,2	0,66	0,3	0,4	0,3	-	0,4	0,49	1		1	0,8	1	0,87	0,8	1
	80	0,8	0,33	1	1	0,88	1	1	0,78	1	0,77	1	0,83	1	1	0,83	0,88
	90	0,8	1	-	-	-	0,67	-	-	0,89	1	-	-	-	1	-	-
	ESRI-LC-2021	1	0,6	0,7	-	0,8	0,9	-	0,6	0,7	1	0,88	-	1	0,17	-	0,86
2		0,94	1	0,96	0,98	0,74	0,93		0,8	0,74	0,71	0,87	0,83	0,77	0,82	-	0,5
5		0,80	0,85	0,58	0,71	0,8	0,75	0,75	0,22	0,98	0,75	0,91	0,06	0,91	0,76	0,90	1
7		0,64	0,3	0,52	0,61	0,7	0,57	0,7	0,3	0,47	0,75	0,71	0,81	0,5	0,78	0,87	0,5
8		-	0,55	-	0,6	-	-	-	0,3	-	0,61	-	0,75	-	-	-	0,6
9		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11		0,67	0,74	0,76	0,04	0,66	0,78	0,91	0,98	0,27	0,76	0,40	0,28	0,78	0,59	0,61	0,90

En büyük farklardan biri, ağaç örtüsü sınıflandırmasında gözlemlenmiştir. ESA-WC-2021'in ağaç örtüsü sınıfı için üretici doğruluğu H1, H2, H3 ve H4 havzalarında %95'in üzerinde olup, ESA-WC-2021'in bu sınıfı oldukça iyi tanımladığını göstermektedir. Özellikle Doğu Karadeniz bölgesinde bulunan H4 havzası, fındık tarımı nedeniyle tarım ve ağaç örtüsü sınıfları arasında yanlış sınıflandırmalara yol açmaktadır. ESA-WC-2021, H4'te daha yüksek doğruluk sağlamıştır, ancak ESRI-LC-2021 'in bu havzada ağaç örtüsü tahmini daha düşük çıkmıştır. Öte yandan, Akdeniz bölgesinde bulunan H6 havzasında sera alanlarının yoğun olması ve örtü altı tarım yapılması nedeniyle, ESA-WC-2021'in ağaç örtüsü kullanıcı doğruluğu düşük kalmıştır (%76,16). ESA-WC-2021'in radar verisi burada avantaj sağlarken, kapalı sera alanları ve açık alanları yanlışlıkla bitki örtüsü olarak sınıflandırdığı düşünülmektedir. ESA-WC-2021'in tarım alanı kullanıcı doğruluğu H1, H4, H5, H6, H7 ve H8 havzalarında oldukça yüksektir (%90'ın üzerinde). Ancak, Akdeniz bölgesinde bulunan H6 havzasında ESRI-LC-2021'in tarım sınıflandırmasının daha geniş bir alana yayıldığı görülmektedir (Tablo 1). H6 havzasında, kapalı sera alanları ve meyve bahçeleri nedeniyle, hem ESA-WC-2021 hem ESRI-LC-2021'in belirli alanlarda tarım alanlarını yanlış sınıflandırdığı söylenebilir. Karadeniz bölgesinde bulunan H3 ve H4 havzalarında ESA-WC-2021 ve ESRI-LC-2021'nin mera tahminleri farklılık göstermektedir. ESA-WC-2021, Batı Karadeniz'de bulunan H3'te %73,33 kullanıcı doğruluğu ile nispeten yüksek bir doğruluk sunarken, ESRI-LC-2021'nin aynı bölgede doğruluğu daha düşük kalmıştır (%57,69). Bu fark, bölgede tarım ağaçlarının bulunması ve otlak alanlarının tarım arazileriyle iç içe geçmesinden kaynaklanıyor olabilir. ESA-WC-2021 ve ESRI-LC-2021 arasındaki en büyük farklardan biri, su yüzeylerinin tahmininde gözlemlenmiştir. ESA-WC-2021'nin Sentinel-1 radar verisi kullanması, optik görüntülerde yaşanabilecek bulut örtüsü, yansıma ve atmosferik etkiler nedeniyle oluşan hataları en aza indirmektedir. Bu, su yüzeylerinin daha doğru sınıflandırılmasını sağlamış olabilir. Ege ve Güney Doğu Anadolu bölgesinde bulunan H5 ve H7 havzaları su yüzeyleri açısından en büyük farkları göstermektedir. ESA-WC-2021, Ege bölgesindeki H5 havzasında 2,457 hektar su yüzeyi

belirlerken, ESRI-LC-2021 yalnızca 490 hektar olarak sınıflandırmıştır. Güney Doğru Anadolu'daki H7 havzasında ise ESA-WC-2021 veri seti 16,094 hektar su yüzeyi tespit etmiş, ancak ESRI-LC-2021 veri seti bu alanı çok düşük tahmin ederek 13,54 hektar olarak belirlemiştir (Tablo 1 ve 2). ESA-WC-2021'nin Güney Doğru Anadolu'daki H7 havzasında su yüzeylerini %100 doğrulukla, Ege bölgesindeki H5 havzasında ise %87,88 doğrulukla tespit ettiği görülmektedir. ESRI-LC-2021'nin su yüzeylerinde düşük doğruluğa sahip olması, optik verinin su yüzeylerinde yansıma nedeniyle sınıflandırma hatalarına yol açmasından kaynaklanabilir.

Bu çalışmanın bulguları, ESA WorldCover ve ESRI Land Cover veri setleri arasındaki doğruluk farklılıklarını inceleyen önceki araştırmalarla uyumludur. Örneğin, (Chaaban vd., 2022) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, ESA ve ESRI 2020 arazi örtüsü veri setleri arasındaki genel uyum oranının %69 olduğu belirlenmiş, bu durum iki veri setinin yüksek düzeyde bir benzerlik sunmadığını ortaya koymuştur. Ayrıca, haritalar arasındaki farklılıkların mekânsal olarak homojen bir dağılım göstermediği ve bazı arazi örtüsü sınıflarında daha belirgin olduğu vurgulanmıştır. Özellikle yerleşim alanları ve tarım arazileri sınıflarında belirgin tutarsızlıklar tespit edilmiştir. Bu doğrultuda, çalışmamızda da özellikle heterojen arazi yapısına sahip bölgelerde ESA WorldCover ve ESRI Land Cover veri setleri arasında farklı doğruluk seviyelerinin bulunduğu belirlenmiştir. Benzer şekilde Altürk (2023) tarafından Trakya bölgesi üzerinde yapılan çalışmada ESA WordCover verisi farklı veriler ile karşılaştırılmış ve ESA WorldCover verisinin diğer küresel veri setlerine kıyasla daha yüksek doğruluk sunduğunu, ancak belirli arazi örtüsü sınıflarında bölgesel ekolojik faktörlere bağlı olarak hata oranlarının değişebildiğini ortaya koymuştur. Sınıflandırılan haritaların tarım ve orman alanlarını büyük ölçüde doğru bir şekilde temsil ettiği, ancak maki, çalılık ve fundalık alanlar ile mera ve çayır alanlarında doğruluk oranlarının düşük kaldığı sonucuna varılmıştır. Bu doğrultuda, bu çalışma ile benzer şekilde, bu çalışmada da tarım ve ağaç örtüsü alanlarının sınıflandırma doğruluğunun yüksek olduğu, ancak mera ve çayır gibi açık otlak alanlarının daha düşük doğrulukla temsil edildiği görülmektedir. Bie vd. (2023) tarafından Çin'in kurak bir bölgesinde yapılan çalışmada 10 metre çözünürlüklü küresel arazi örtüsü haritaları karşılaştırılmış ve çalışmada ESA WorldCover verisinin ESRI Land Cover verisine göre daha yüksek doğruluk değerine sahip olduğu rapor edilmiştir. Ayrıca, orman, su, çıplak arazi ve kalıcı kar/buz kategorilerinin yüksek üretici ve kullanıcı doğruluk oranlarına sahip olduğu, ancak çayır, çalılık, sulak alan ve yapılaşmış alanlarda ciddi sınıflandırma hatalarının bulunduğu tespit edilmiştir. Bie vd. (2023) tarafından yapılan çalışmada, ESRI LC'nin çayırılık alanlarda düşük bir üretici doğruluğu sergilediği belirtilmiştir. Benzer şekilde, bu çalışmada da ESRI veri setinin mera alanlarını geniş tahmin etmesi nedeniyle hata oranlarının yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Bu çalışma, küresel LULC veri setlerinin doğruluklarının bölgesel ölçekte nasıl değiştiğini anlamaya yönelik önemli bir katkı sunmaktadır. Ancak, önceki çalışmalar da göstermektedir ki küresel ölçekli LULC haritaları için "herkese uyan tek bir çözüm" bulunmamaktadır. Her veri seti, farklı biyomlar, kıtalar ve kentsel yerleşim türlerinde farklı performans sergileyebilmekte ve uygulama amacına bağlı olarak belirli avantajlar ve dezavantajlar sunmaktadır (Venter vd., 2022).

4. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışma, ESA-WC-2021 ve ESRI-LC-2021 veri setlerinin Türkiye'deki sekiz farklı coğrafi havza üzerinde doğruluk değerlendirmesini gerçekleştirmiştir. Çalışmada, OA, Kappa katsayısı, ÜD ve KD metrikleri kullanılarak her iki veri setinin sınıflandırma performansları karşılaştırılmıştır. Yöntem olarak, doğruluk analizi için tabakalı rastgele örnekleme yöntemi kullanılmış ve her havza için sistematik bir doğrulama yapılmıştır. Örnek noktalarının referans sınıfları, yüksek çözünürlüklü Google Earth Pro görüntüleri kullanılarak görsel yorumlama yöntemiyle belirlenmiş ve hata matrisi oluşturularak analizler gerçekleştirilmiştir. Bulgular, ESA-WC-2021 veri setinin ESRI-LC-2021 ye kıyasla tüm havzalarda daha yüksek doğruluk sunduğunu göstermektedir. Kappa katsayısı değerleri de ESA-WC-2021'in sınıflandırma modelinin daha güvenilir ve istikrarlı sonuçlar sunduğunu ortaya koymuştur. Arazi örtüsü sınıflandırmaları açısından, ESA-WC-2021'in özellikle ağaç örtüsü, tarım alanları ve su yüzeyleri kategorilerinde daha başarılı

olduğu belirlenmiştir. ESA-WC-2021'in Sentinel-1 radar verisini kullanması, bulut örtüsü ve atmosferik etkiler nedeniyle oluşan sınıflandırma hatalarını en aza indirmiştir.

Genel olarak, Türkiye'de havza bazında değerlendirme yapıldığında ESA-WC-2021 ve ESRI-LC-2021 arasındaki doğruluk farkları şu şekilde özetlenebilir:

- ESA-WC-2021 veri setinin doğruluk oranları, ESRI-LC-2021 veri setine kıyasla tüm havzalarda daha yüksektir.
- Ağaç örtüsü sınıflandırması ESA-WC-2021'de daha başarılıdır.
- Tarım alanları ESA-WC-2021'de daha tutarlı sınıflandırılmıştır.
- Mera ve çalılık sınıflandırmalarında metodolojik farklılıklar bulunmaktadır. ESRI-LC-2021, mera ve çalılığı birleştirdiğinden hata oranları artmaktadır.
- ESA-WC-2021'in su yüzeyleri tespiti ESRI-LC-2021'e kıyasla daha doğrudur. Radar verisinin kullanımı, su yüzeylerinin daha doğru sınıflandırılmasına katkı sağlamaktadır.

Bununla birlikte, ESA-WC-2021 genel doğruluk ve sınıfa özgü güvenilirlik açısından üstün performansını ortaya koysa da, gelecekteki arazi örtüsü sınıflandırma değerlendirmelerini geliştirmek ve küresel veri kümelerinin bölgesel ölçeklerde uygulanabilirliğini artırmak için, özellikle çalılık, çayır ve karma tarım alanları gibi geçiş arazi örtüsü türlerindeki sınıf karışıklığı açısından, doğrulama sırasında gözlemlenen sınıflandırma sınırlamalarının daha ayrıntılı bir analizini içermesi önerilmektedir. Her havza için sınıfa özgü karışıklık matrislerinin sağlanması, mekânsal ve tematik yanlış sınıflandırmaların daha şeffaf bir şekilde anlaşılmasını sağlayacak ve sonuçların daha ayrıntılı bir şekilde yorumlanmasını destekleyecektir. Ayrıca, CORINE Arazi Örtüsü, ulusal topoğrafya haritaları veya orman envanteri verileri gibi ek referans veri kümelerinin entegrasyonu, doğrulama çerçevesini güçlendirebilir ve bölgesel olarak daha kalibre edilmiş bir karşılaştırma sağlayabilir. Bu veri kümeleri, özellikle ekolojik olarak karmaşık arazilerde veya hızlı arazi kullanımı değişikliği yaşayan bölgelerde, küresel ürünlerin ulusal sınıflandırma standartlarıyla uyumunun değerlendirilmesine yardımcı olabilir. Ek olarak, çalışma, bulut örtüsü ve atmosferik bozulmaların etkilerini azaltmada radar tabanlı gözlemlerin önemli avantajını vurgulamaktadır. Mevsimsel ve topoğrafik etkilerin sınıflandırma performansı üzerindeki daha açık bir incelemesi (özellikle ESRI-LC-2021 gibi yalnızca optik veri kümeleri için), değişen çevre koşulları altında veri kümesi sınırlamalarının daha iyi anlaşılmasına katkıda bulunacaktır. Farklı mevsimlere ait çok zamanlı verilerin değerlendirilmesi, her bir ürünün zamansal çözünürlüğü ve sürekli izleme için uygunluğunu da göz önünde bulundurulmalıdır.

Tespit edilen sınıflandırma zorlukları, özellikle heterojen veya parçalı arazilerde, gelecekteki araştırmaların hibrit veya yerel olarak uyarlanmış sınıflandırma modellerinin potansiyelini araştırması yararlı olacaktır. Makine öğrenimi, derin öğrenme gibi yapay zekâ destekli algoritmalar hem optik hem de radar uzaktan algılama verilerini entegre eden ve bölgeye özgü eğitim veri kümeleriyle desteklenen yaklaşımlar, arazi örtüsü ayrımcılığında ve tematik çözümlemede iyileştirmeler sağlayabilir. Son olarak, bu tür küresel ürünlerin karar vericiler ve planlamacılar tarafından kullanımını değerlendiren kullanıcı merkezli analizlerin yapılması, veri setlerinin pratik uygulamalardaki etkisini artıracak ve sürdürülebilir arazi yönetimi stratejilerine katkı sağlayacaktır.

Teşekkür

Bu çalışma TÜBİTAK-2209/A 1919B012316466 Numaralı Bilimsel Araştırma Projesiyle desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı TÜBİTAK'a teşekkürlerimizi sunarız. Ayrıca çalışmanın özeti TUFUAB XIII. Teknik Sempozyumu'na gönderilmiş ve sözlü bildiri olarak sunulmuştur.

Yazar Katkıları

Fidan Şevval Bulut: Çalışmanın analizlerini yapmış ve makaleyi yazmıştır.

Ayhan Ateşoğlu: Çalışmanın analizlerini yapmış ve makaleyi yazmıştır.

Emrah Acar: Çalışma verilerini toplamıştır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar çıkar çatışması bildirmemişlerdir.

Kaynaklar

- Altürk, B. (2023). Accuracy assessment of different land use/land cover maps: A case study of TR21 Thrace region.
- Bégué, A., Arvor, D., Bellon, B., Betbeder, J., De Abelleira, D., Ferraz, R. P. D., Lebourgeois, V., Lelong, C., Simões, M. ve Verón, S. R. (2018). Remote sensing and cropping practices: A review. *Remote Sensing*, 10(1), 99. <https://doi.org/10.3390/rs10010099>
- Bie, Q., Luo, J. ve Lu, G. (2023). Accuracy performance of three 10-m global land cover products around 2020 in an arid region of northwestern China. *IEEE Access*, 11, 133215-133228.
- Chaaban, F., El Khattabi, J. ve Darwishe, H. (2022). Accuracy assessment of ESA WorldCover 2020 and ESRI 2020 land cover maps for a region in Syria. *Journal of Geovisualization and Spatial Analysis*, 6(2), 31.
- Cohen, J. (1960). A coefficient of agreement for nominal scales. *Educational and Psychological Measurement*, 20(1), 37-46.
- Congalton, R. G. (1991). A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*, 37(1), 35–46. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(91\)90048-B](https://doi.org/10.1016/0034-4257(91)90048-B)
- Efe, E. ve Algancı, U. (2023). Çok zamanlı Sentinel 2 uydu görüntüleri ve makine öğrenmesi tabanlı algoritmalar ile arazi örtüsü değişiminin belirlenmesi. *Geomatik*, 8(1), 27-34.
- Fritz, S. ve See, L. (2005). Comparison of land cover maps using fuzzy agreement. *International Journal of Geographical Information Science*, 19(7), 787-807.
- GEE. (2025). GEE ESRI 10m annual land cover (2017–2023). Erişim adresi: <https://gee-community-catalog.org/projects/S2TSLULC/>
- Van Genderen, J. L. ve Lock, B. F. (1977). Testing land-use map accuracy. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 43(9), 1135-1137.
- Van Genderen, J. L., Lock, B. F. ve Vass, P. A. (1978). Remote sensing: Statistical testing of thematic map accuracy. *Remote Sensing of Environment*, 7(1), 3-14.
- Hadi, S. J., Shafri, H. Z. M. ve Mahir, M. D. (2014). Modelling LULC for the period 2010–2030 using GIS and remote sensing: A case study of Tikrit, Iraq. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 20, 012053.
- Hassan, M. M. ve Nazem, M. N. I. (2016). Examination of land use/land cover changes, urban growth dynamics, and environmental sustainability in Chittagong City, Bangladesh. *Environment, Development and Sustainability*, 18(3), 697-716.
- Karra, K., Kontgis, C., Statman-Weil, Z., Mazzariello, J. C., Mathis, M. ve Brumby, S. P. (2021). Global land use/land cover with Sentinel 2 and deep learning. In *2021 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS* (pp. 4704-4707). IEEE.
- Liping, C., Yujun, S. ve Saeed, S. (2018). Monitoring and predicting land use and land cover changes using remote sensing and GIS techniques—A case study of a hilly area, Jiangle, China. *PloS One*, 13(7), e0200493.
- Maingi, J. K., Kepner, S. E. ve Edmonds, W. G. (2002). Accuracy Assessment of 1992 Landsat-MSS Derived Land Cover for the Upper San Pedro Watershed(US/Mexico). *Sponsored by Environmental Protection Agency, Las Vegas, NV. National Exposure Research Lab, 2002.*
- Olofsson, P., Foody, G. M., Stehman, S. V. ve Woodcock, C. E. (2013). Making better use of accuracy data in land change studies: Estimating accuracy and area and quantifying uncertainty using stratified estimation. *Remote Sensing of Environment*, 129, 122-131.
- Rwanga, S. S. ve Ndambuki, J. M. (2017). Accuracy assessment of land use/land cover classification using remote sensing and GIS. *International Journal of Geosciences*, 8(4), 611-622.

- San Miguel-Ayanz, J. ve Biging, G. S. (1997). Comparison of single-stage and multi-stage classification approaches for cover type mapping with TM and SPOT data. *Remote Sensing of Environment*, 59(1), 92-104.
- Stehman, S. V. (1997). Selecting and interpreting measures of thematic classification accuracy. *Remote Sensing of Environment*, 62(1), 77-89.
- Venter, Z. S., Barton, D. N., Chakraborty, T., Simensen, T. ve Singh, G. (2022). Global 10 m land use land cover datasets: A comparison of Dynamic World, WorldCover and Esri land cover. *Remote Sensing*, 14(16), 4101.
- Zanaga, D., Van De Kerchove, R., Daems, D., De Keersmaecker, W., Brockmann, C., Kirches, G., Wevers, J., Cartus, O., Santoro, M. ve Fritz, S. (2022). ESA WorldCover 10 m 2021 V200.