



Geomatik

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/geomatik>

e-ISSN 2564-6761



Uzaktan algılama verisi tabanlı coğrafi veri küpü teknolojisi: UDENE uygulaması

Nebiye Musaoğlu ^{*1}, Bekir Kapukaya ², Onur Lenk ³, Ayşe Yücel Erbay ⁴, Seda Nur Kara ⁴

1 İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Türkiye, musaoglune@itu.edu.tr

2 İstanbul Teknik Üniversitesi, Uydu Haberleşme ve Uzaktan Algılama UYG-AR Merkezi (UHUZAM), Türkiye, bekir@cscrs.itu.edu.tr

3 İstanbul Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü, Türkiye, onur.lenk@istanbul.edu.tr

4 NİK İnşaat Ticaret Limited Şirketi, Türkiye, yucel@nik.com.tr; seda@nik.com.tr

Kaynak Göster: Musaoğlu, N., & Kapukaya, B., & Lenk, O., & Erbay, A.Y., & Kara, S.N., (2026). Uzaktan Algılama Verisi Tabanlı Coğrafi Veri Küpü Teknolojisi: UDENE Uygulaması, Geomatik, 11 (1), 53-60.

DOI: 10.29128/geomatik.1659359

Anahtar Kelimeler

Veri Küpü
Büyük Veri
Çok Boyutlu Veri Analizi
Analize Hazır Veri
Uzaktan Algılama

Araştırma Makalesi

Geliş: 17.03.2025
Reviz: 09.05.2025
Kabul: 02.06.2025
Online: 13.08.2025
Yayınlanma: 01.04.2026



Öz

Günümüzde veri hacminin ve çeşitliliğinin hızla artması, çok boyutlu veri yönetimi ve analizi alanında yenilikçi yöntemlerin geliştirilmesini gerekli kılmaktadır. Veri küpü teknolojisi bu konuda geliştirilmiş, çözüme yönelik kullanım hızı ve kolaylığı ön gören en güncel yöntemlerden biridir. Çok boyutlu mekânsal ve zamansal verilerin belirgin kullanım senaryoları dahilinde yapılandırılması, analiz edilmesi ve görselleştirilmesi süreçleri, bu teknolojinin “coğrafi veri küpü” tanımına evrilmesiyle anlamlı bir uygulama alanı kazanmıştır. Bu çalışmada, veri küpleri ve veri küpü tasarımının nasıl yapılacağı açıklanmıştır. Ayrıca Doğal Deneyler Kullanarak Kentsel Gelişim Keşifleri (Urban Development Explorations using Natural Experiments-UDENE) projesi kapsamında uydu görüntüleri ve coğrafi veri temelinde geliştirilen coğrafi veri küpü örnek olarak sunulmuştur. Geliştirilen platformda farklı uydu görüntülerinin tek bir veri küpü çatısı altında saklanması ve indekslenmesi sağlanmış; veri ön işleme, sorgu performansı ve sıkıştırma stratejileri açısından elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Bulgular, veri küpü yaklaşımının hem veri saklama verimliliği hem de çok boyutlu sorgulama performansı bakımından geleneksel yöntemlere kıyasla önemli ölçüde avantaj sağladığını göstermektedir. Bununla birlikte, gerçek zamanlı veri işleme ve donanım altyapısı gereksinimleri, teknolojinin yaygın olarak benimsenmesi önünde hâlâ çözülmesi gereken bazı sınırlılıklar olarak belirlenmiştir. Çalışmanın sonunda, gelecekteki araştırmalarda makine öğrenimi ve bulut bilişim mimarileriyle bütünleşik veri küpü sistemlerinin geliştirilmesine ve veri analitiği uygulamalarında çok boyutlu veri işleme yeteneklerinin genişletilmesine ilişkin öneriler sunulmuştur.

Geospatial Data Cube Based on Remote Sensing Data: A UDENE Implementation

Keywords

Data Cube
Big Data
Multidimensional Data
Analysis
Analysis Ready Data (ARD)
Remote Sensing

Research Article

Received: 17.03.2025
Revised: 09.05.2025
Accepted: 02.06.2025
Online: 13.08.2025
Published: 01.04.2026

Abstract

The rapid growth in data volume and diversity has made it essential to develop innovative approaches for managing and analyzing multidimensional data. One of the most advanced methods in this field is data cube technology. The structuring, analysis, and visualization of multidimensional spatial and temporal data have found significant practical applications, particularly with the emergence of the "geographic data cube" concept. Furthermore, as an example, this study presents the geographic data cube developed using satellite images and geographic data within the Urban Development Explorations using Natural Experiments (UDENE) project. In the proposed platform, various satellite images are stored and indexed within a single data cube. The findings indicate that the data cube approach offers significant advantages over traditional methods, particularly in terms of data storage efficiency. However, challenges such as real-time data processing and hardware infrastructure requirements remain obstacles to the widespread adoption of this technology. Toward the conclusion of the study, recommendations are provided for future research, focusing on enhancing data cube systems by integrating machine learning and cloud computing architectures, as well as expanding multidimensional data processing capabilities in data analytics applications.

1. Giriş

Günümüzde veri hacminin hızla artması ve bu verilerden anlamlı bilgilere ulaşma gereksinimi, veri yönetimi ve analiz teknolojilerine yönelik yeni yaklaşımları zorunlu kılmıştır. Verilerin farklı boyutlarda (örneğin zaman, mekân, konu başlığı gibi) düzenlenmesi ve bu çok boyutlu yapı üzerinden hızlı analizler yapılabilmesi için kullanılan yöntemlerden biri de veri küpü (data cube) teknolojisidir. Bu teknoloji, büyük verinin çok boyutlu veri yapıları altında saklanması ve hızlı biçimde sorgulanmasını sağlayarak çok farklı alanlarda önemli avantajlar sunmaktadır.

Veri küpü teknolojisi, en basit tanımıyla, çok boyutlu veri setlerini küp benzeri bir yapıda saklamayı mümkün kılar. Bu yapı, verinin hiyerarşik ve çok katmanlı olarak modellenmesine izin vererek, farklı ölçütlere (örneğin zamansal, mekânsal veya tematik) göre dilimleme, kesit alma ve veri bütünleştirme işlemlerini hızlı ve esnek bir biçimde gerçekleştirir. Bu yönüyle veri küpü teknolojisi, Çevrimiçi Analitik İşleme (Online Analytical Processing, OLAP) uygulamalarının temelini oluştururken, büyük hacimli veri ile çalışan kurum ve araştırmacılar için de veri keşfi ve analizi süreçlerini hızlandırıcı bir role sahiptir.

Veri küpü teknolojisi, çok boyutlu veri saklama ve analiz için dönüştürücü bir çerçeve sunarak pek çok disiplinde giderek artan ilgi görmektedir. Bu alandaki öncü çalışmalar, 1990'lı yılların ortalarında literatürde yer almaya başlamıştır. Bu dönemde, veri küpü teknolojilerini verimli şekilde kullanmaya yönelik optimizasyon teknikleri ortaya konmuş; çok boyutlu sorguların hızlandırılmasına imkân tanınarak, daha güçlü sorgu mekanizmalarının önü açılmıştır [1]. "Data warehouse datacube" kavramı genişletilerek özellikle büyük veri kümelerinde mekânsal ve zamansal analizlerin önemi vurgulanmıştır [2]. Bunu takiben, dalgacık tabanlı yaklaşımlarla veri küpü yapıları ele alınmış ve karmaşık çok boyutlu veri sorgularında verimliliği artıracak yöntemler geliştirilmiştir [3]. Örneğin, Avustralya Yer Bilimleri Veri Küpü (The Australian Geoscience Data Cube, AGDC) projesi, veri kökeni ve yeniden işleme yaklaşımlarının önemini vurgulayarak büyük ölçekli coğrafi veri yönetimine yönelik örnek bir model ortaya koymuş ve uzaktan algılama ile yer gözlem verilerinin analizinde "analize hazır veri" (analysis-ready data, ARD) kavramını öne çıkararak veri küpü yaklaşımının pratik faydalarını geniş kitlelere tanıtmıştır [4].

Mişev vd. [5] Avrupa Kopernik programının yerel, bölgesel ve küresel düzeyde çevresel anlayışı ve yönetimini geliştirmek amacıyla büyük miktarda Yer Gözlem (Earth Observation, EO) verisi ürettiğini ifade etmiş; bu büyüklükteki bir girişimin, özellikle büyük hacimli raster veri dosyaları açık veri merkezlerine ve ticari şirketlere dağıtıldıktan sonra etkili hizmet yönetimi ile ilgili bir dizi zorlukla karşı karşıya kaldığına dikkat çekilmiştir. Bu bağlamda Big DataCube projesi geliştirilerek bu zorluğa federe, analize hazır veri küpleri kavramıyla yanıt vermeye çalışmıştır. Baumann vd. [6], uydu verilerinin mekânsal-zamansal organizasyonunu veri küpü yapıları aracılığıyla ele

almış; özellikle zaman ekseninin entegrasyonunun mekân-zaman analizlerine büyük katkı sağladığına dikkat çekmiştir. Aynı dönemde, ülke bazlı "Open Data Cube" (ODC) uygulamaları tanıtılarak, açık kaynak çözümlerin kalkınma politikalarıyla bütünleştiği alanlardaki potansiyel ortaya konmuştur [7].

Literatürde, yer gözlem verilerinde veri küpü temelli çözümlerin büyük veri analizi için sunduğu fırsatlar ve zorluklar sistematik bir incelemeyle değerlendirilmiş; Open Geospatial Consortium (OGC) gibi standartların bu yapılarla entegrasyonunun kritik önemi vurgulanmıştır [8]. ODC'nin bulut tabanlı entegrasyonunda sağlanan gelişmelere değinilerek, büyük veri işlemenin Google Earth Engine (GEE) gibi platformlarla nasıl kolaylaştığı gösterilmiştir [9]. Çok kaynaklı mekânsal-zamansal veri küplerinin yüksek performanslı hesaplama (High Performance Computing, HPC) altyapıları ile bütünleştirilerek büyük ölçekli mekânsal analizlere imkân sağladığı öne sürülmüştür [10]. MapReduce gibi dağıtık hesaplama teknolojileriyle kümeleme tabanlı yüksek performanslı hesaplama (High Performance Computation, HPC) işlemlerinin ölçeklenebilir ve verimli yönleri ortaya konmuştur [11]. Hidrolojik ve mekânsal veriler için optimize edilmiş veri küpü algoritmaları geliştirilmiş ve bu sayede sel-taşkın yönetimi gibi uygulamalarda çok boyutlu veri analizinin kullanımı gösterilmiştir [12]. Veri küpü teknolojisinin yapay zekâ yöntemleriyle bütünleştirilmesi ve karşılaşılabilecek zorluklar incelenmiş; özellikle iklim ve çevre çalışmalarında çok boyutlu veri yönetiminin artan önemi vurgulanmıştır [13]. Çok boyutlu OLAP süreçlerine yapay sinir ağlarının entegre edilerek veri analizi kapasitesinin artırılması yolları tartışılmıştır [14]. Yer gözlem verileri alanında bulut-yerel (cloud-native) ortamlar ve yükselen teknolojilerle veri küpü yapılarını bütünleştiren kapsamlı bir çerçeve sunulmuştur [15].

Yunanistan'da biyoçeşitliliği izlemek için yapılan bir çalışmada, EL-BIOS Earth Observation Data Cube tanıtılmış; açık web servis protokolleriyle veri bütünleştirme stratejilerinin biyoçeşitlilik takibinde yarattığı avantajlar örneklenmiştir [16]. Limpopo Nehri Havzası Dijital İkizi (Digital Twin) kapsamında ODC kullanılarak çevresel modelleme ve veri yönetiminin iyileştirildiği gösterilmiştir [17]. Tayland'da hassas tarım uygulamalarına yönelik, farklı algılayıcılardan sağlanan uzaktan algılama verilerinin Yinelemeli Sinir Ağı (Recurrent Neural Network, RNN) tabanlı hiyerarşik algoritmalarla birleştirilmesiyle verimli ürün tespitine olanak tanıyan bir veri küpü modeli geliştirilmiştir [18]. Yu vd. [19] tarafından, küresel alt bölümlendirme ızgaralarına dayalı uyarlanabilir tematik karo (tile) veri küpü modelleri sunularak, büyük hacimli coğrafi verilerin depolanması ve güncellenmesinde ölçeklenebilir bir yöntem tarafından önerilmiştir. Aetesam vd. [20], hiperspektral görüntüleme karma gürültü koşullarında veri küpü tabanlı bir restorasyon yaklaşımı sunmuş; gürültü giderme ve iyileştirme adımlarını ayrıntılandırmıştır. Bir başka çalışmada, hiperspektral görüntü tamamlama (inpainting) alanında kendi kendine kontrollü (self-supervised) makine öğrenmesi algoritmaları, veri küplerinin üç

boyutlu yapısıyla bütünleştirilerek yüksek görüntü kalitesi ve verimli işlem adımları elde edilmiştir [21].

Özellikle coğrafi verinin çeşitliliği ve konuma dayalı analizlerdeki gereksinimler, veri küpü teknolojisine giderek daha yaygın olarak kullanılmasına yol açmıştır. Yeryüzü gözlem uydularından elde edilen verilerin veri küpü gibi ortamlarda yüksek çözünürlükte ve zaman serisi şeklinde saklanarak işlenmesi, iklim değişikliği araştırmalarından [22] şehir planlamasına [23], tarım arazilerinin yönetiminden [24] doğal afet analizlerine [25] kadar birçok uygulamada kritik önem taşır.

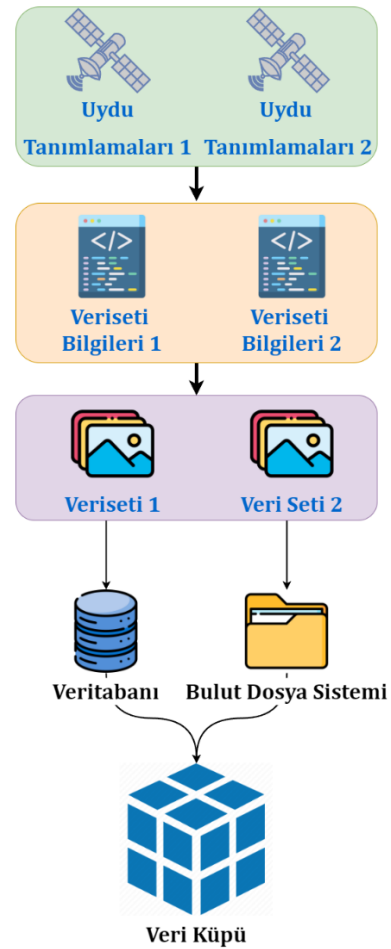
Bu çalışmada, veri küpü teknolojisine temel kavramları, mimari yaklaşımları ve uygulama alanları incelenmiştir. Ayrıca, Urban Development Explorations Using Natural Experiments (UDENE) projesi kapsamında geliştirilen veri küpü özelinde veri küpü oluşturma işlem adımları açıklanmıştır. Son olarak, veri küpü teknolojisine güncel eğilimleri ve geleceğe dönük araştırma alanları üzerinde durulmuş, bu bağlamda veri analitiği ve makine öğrenimi çalışmalarındaki rolü tartışılmıştır.

2. Yöntem

Birleşmiş Milletler'in Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları'ndan 11. amaç olan "şehirleri kapsayıcı, güvenli, dirençli ve sürdürülebilir hale getirme" ilkesini desteklemeyi hedefleyen UDENE projesi, kanıta dayalı karar alma süreçlerine katkı sunacak uygulamaları öngörmektedir. Proje kapsamında, şehir planlamacıları ve karar vericiler için kalkınma senaryolarını test edebilecekleri sanal bir laboratuvar ortamı oluşturulması hedeflenmektedir. Zaman içerisinde ve farklı ülkelerde gelişen çok boyutlu kentsel alan modelleri, şehir planlamacılarını benzer kalkınma yaklaşımlarının benzer kentsel bağlamlarda nasıl sonuçlar doğurduğunu incelemeye yönlendirmekte; bu sayede planlamacılara doğal deneyler gerçekleştirme fırsatı sunmaktadır. Bu kapsamda UDENE projesi, coğrafi veri ve veri setlerinin hazırlanması, analizi ve görselleştirilmesine yönelik algoritma ve platform mekanizmalarının geliştirilmesine paralel olarak; iklim değişikliği, hava kirliliği ve deprem gibi kentsel yaşamı etkileyen doğal afetleri temel alan çeşitli kullanıcı senaryoları sunmakta ve bu senaryolar aracılığıyla doğal deneylerin farklı coğrafyalarda uygulanmasına olanak sağlamaktadır. Bu çerçevede, yer gözlem (YG) verileri—özellikle uydu tabanlı, yakın hava araçları ve yersel sensörler aracılığıyla elde edilen görüntü, metin, video gibi veri türleri ve veri setleri—temel bir rol oynamaktadır. Bu veriler, Kopernik Veri Uzayı Ekosistemi (Copernicus Data Space Ecosystem, CDSE) kapsamında yer alan uydular ve yerel veri kaynakları aracılığıyla temin edilmekte olup, UDENE döngüsü içinde dirençli kentlerin inşası ve geliştirilmesinde kanıta dayalı karar verme süreçlerini desteklemek amacıyla kullanılmaktadır. Hızlı ve kolay bir şekilde erişilebilir veri küpü formatında düzenlenen YG verileriyle, projede gerçekleştirilen nedensel analizlerin uzantısında doğal deneyleri keşfetmek için etkin arama araçları düzenlenmiştir.

İki yıl süreli olarak 01 Ocak 2024 tarihinde başlayan UDENE Projesi, Avrupa Komisyonu Ufuk Avrupa 2023 Araştırma ve Yenilik Programı, HORIZON-EUSPA-2022-SPACE-02-56 başlığında 101131190 Proje numarası ile desteklenmektedir. Altı ülkeden (İtalya, Fransa, Türkiye, Tunus, Sırbistan ve Avusturya) dokuz araştırma kurumu, üniversite ve özel sektör katılımcılarının oluşturduğu proje konsorsiyumu tarafından yürütülmektedir [26].

Bu çalışmada, UDENE projesinin önemli bir bölümünü oluşturan coğrafi veri küpünün dayandığı teknolojinin, verileri çok boyutlu (ör. mekânsal, zamansal ve tematik) biçimde saklama ve hızlı analiz imkânı sunma kapasitesi incelenmiştir. Böylece, teknolojinin kavramsal yeterliliğini ve uygulamadaki yararlarını bütüncül bir perspektifle değerlendirmek hedeflenmiştir. Bu bağlamda veri küpünün geliştirilmesinde Şekil 1'de gösterilen işlem adımları uygulanmıştır.



Şekil 1. UDENE Projesi kapsamında geliştirilen veri küpü akış şeması.

Bir veri küpü uygulamasında yer alacak verilerin çeşitliliği ve çok boyutluluğu, sistemin işlevselliği açısından büyük önem taşımaktadır. Veri küpüne dahil edilecek veriler bazı veri tabanlarından ARD olarak sağlanıp doğrudan veri küpü içerisinde kullanılabilir. Bazı veriler ise doğrudan veri küpüne entegre edilmeden önce ön işleme aşamalarına ihtiyaç duymaktadır. Bu işlemler iki grupta değerlendirilebilir. Birincisi UDENE Veri Küpü

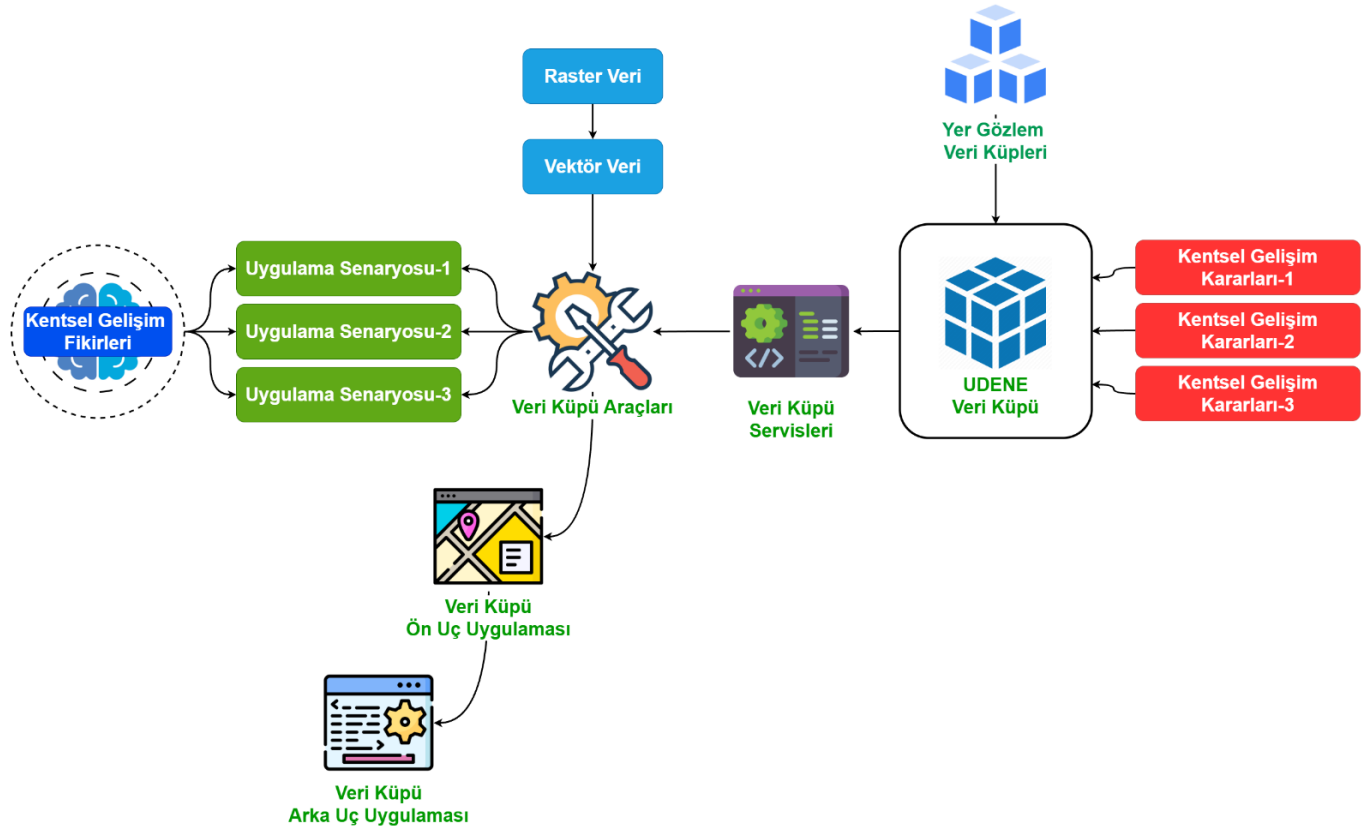
işlevselliğini sağlayacak “veri yapısı/formatı” gereksinimi, diğeri ise genel anlamda YG verilerinin Veri Küpü ve benzeri uygulamalarda kullanıcıların beklenen nitelik ve doğrulukta kullanımlarına olanak sağlayan bulut giderme, geometrik ve radyometrik düzeltme gibi çeşitli ön işleme adımlarıdır. Farklı projeler için oluşturulan veri küpü yapıları genellikle birbirleri ile veri uyumluluğu olacak şekilde yapılandırılmaktadır. Bu nedenle harici bir veri küpü içerisindeki veriler doğrudan indekslenilmekte ve analizlerde kullanılabilir.

Bu çalışma kapsamında, verilerin temin edilmesi sırasında çevrimiçi veri portalları (Copernicus Open Access Hub, USGS Earth Explorer) ve diğer harici veri küpü (Digital Earth Africa, Digital Earth Australia) kaynaklarından yararlanılmıştır.

UDENE Projesi kapsamında veri küpünde temel olarak kullanıcı senaryoları dahilinde kullanılacak olan YG ve yerel veri/veri setleriyle birlikte, söz konusu

senaryo uygulamalarındaki algoritmaların API olarak çalıştırılmak suretiyle özellikle karar mekanizmasındaki planlamacılar başta olmak üzere kent yaşamının geliştirilmesi alanında çalışmalar yapan araştırmacıların istifade etmesi planlanmaktadır. Proje kapsamında Sırbistan, Tunus ve Türkiye’den üç kullanıcı senaryosu tanımlanmıştır ve her biri bir kentsel sorunu temsil etmektedir. Veri küpü, bu senaryolarda ihtiyaç duyulan analizlerin gerçekleştirilmesine uygun içerikte yapılandırılmıştır.

Uygulama kullanıcı senaryosu (Use-case), çıktı değişkenler olarak ifade edilen değerlendirmeleri elde etmek için YG ve yerel (in-situ) verilerle birlikte modelleri analiz etmek için bazı girdi değişkenlerinden oluşan özel bir kentsel gelişim konseptidir. Kullanıcı senaryolarının uygulanması, veri küpü mekanizmasında gerçekleştirilebilmektedir. Uygulamanın proje dahilindeki şematik gösterimi Şekil-2’de verilmektedir.



Şekil 2. UDENE veri küpü mekanizması ve kullanıcı uygulama senaryolarının gerçekleşmesi.

Kullanıcı senaryoları, UDENE projesinin yürütücü ülkelerinde CDSE verileriyle yerel verilerin birlikte kullanımlarını üç uygulama temasında geliştirilmiştir. Birinci uygulamada ulaşım ağlarında yoğun trafiği yeniden yönlendirmek için inşa edilen baypas köprüler ile ana caddelerin yaya bölgelerine dönüştürülmesi suretiyle hava kirliliğinin azaltılması amaçlanırken aynı zamanda mevcut ulaşım modellerinde olası araç tıkanıklıklarının önüne geçilmesi hedeflenmektedir. Yapılan analizlerde nitrojen dioksit (NO₂) emisyonlarını izlemek için Sentinel-5P verileri ile yerel izleme istasyonlarından gelen trafik ve hava kalitesi verileri kullanılmaktadır. Çalışmada hava kalitesindeki değişiklikler tahmin edilerek trafik müdahaleleri ile

kirletici azaltımları arasındaki nedensel ilişkiler değerlendirilmektedir. Diğer bir uygulama senaryosunda şehirlerin yakın çevrelerinde bulunan ve kırsal alanlara kıyasla daha yüksek sıcaklıkların yaşandığı Kentsel Isı Adaları (KIA) konusu ele alınarak Yerel İklim Bölgelerindeki (YİB) ısı yüklerini azaltmak için bağlantılı bir park sisteminin etkisinin incelenmesi hedeflenmektedir. Bu amaçla Sentinel-2 ve Landsat serisi uydu görüntülerinden üretilen Normalize Bitki indisi (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI) ve yer yüzey sıcaklığı gibi bilgiler kullanılmaktadır. Çalışmada temel olarak yapay zekâ (YZ) regresyon modelleri kullanılarak yerel iklim zonlarının (Local Climate Zones, LCZ) özellikleri, yeşil altyapı ve ısı

azaltma arasındaki ilişkiler araştırılmaktadır. Son uygulama temasında, senaryo bazlı deprem etkisi altındaki yapılaşmada yüksek katlı binaların etkisinin dirençli kentlerin oluşumu ve depreme hazırlılık bağlamında incelenmesi hedeflenmektedir. Potansiyel $M_w \geq 7.0$ büyüklüğünde simüle edilen bir deprem etkisi altında İstanbul, Kadıköy'de Fikirtepe bölgesinde meydana gelebilecek bina hasarları ve ekonomik kayıplar hesap edilmektedir. Analizlerde anlamlı bir değişken olan güncel bina verileri yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri ve yerel veriler ile birlikte CDSE verileri kullanılarak oluşturulmaktadır. Bölgeye özgü olarak seçilen Yer Hareketi Kestirim Denklemleri (Ground Motion Prediction Equation, GMPE) ile birlikte gereksinen zemin düzeltmeleri uygulanarak yer sarsıntı ve yoğunluk parametreleri Earthquake Loss Estimation Routines (ELER) yazılım sistemi kullanılarak hesaplanmaktadır [27]. Yüksek katlı binalardaki olası zararların, bunların yer aldığı arazi kullanımı kesitlerindeki ulaşım yollarına ve alt yapıya olan etkileri incelenmektedir. Söz konusu üç kullanıcı senaryosu dahilinde gerçekleştirilen özgün analiz ve değerlendirmelere ait detaylar, veri küpünün yapılandırılması ve oluşumuna yönelik bu çalışma hedefinin dışında kalması sebebiyle, sadece veri ve veri setleri ile ilgili işlevsellikleri yönüyle yer verilmiştir.

2.1. Veri ön işleme

Veri küpüne entegre edilecek verilerin farklı formatlarda ve mekânsal çözünürlüklerde olması, bu verilerin standart bir veri şemasına dönüştürülmesini zorunlu kılmaktadır. Büyük hacimli coğrafi veriler genellikle GeoTIFF formatında temin edilmektedir. Veri küpü içerisinde etkin bir şekilde saklayabilmek ve sorgulayabilmek için, bu verilerin COG (Cloud Optimized GeoTIFF) formatına dönüştürülmesi önem taşımaktadır. COG, coğrafi raster verilerin HTTP üzerinden hızlı ve verimli erişimini sağlayan bir GeoTIFF formatıdır. İçeriği bloklara bölünmüş ve indekslenmiş şekilde yapılandırılır; böylece istemciler yalnızca ihtiyaç duyulan veri dilimlerine uzaktan erişebilir. Coğrafi veri biçimlerini okumak, yazmak, dönüştürmek ve analiz etmek için kullanılan açık kaynaklı, çapraz platform bir kütüphane olan Coğrafi Veri Soyutlama Kütüphanesi (Geospatial Data Abstraction Library -GDAL) gibi araçlarla standart GeoTIFF'lerden kolayca dönüştürülebilir ve özellikle web tabanlı harita servislerinde yaygın olarak kullanılır. Bu çerçevede UDENE veri küpü uygulamasında COG formatı, özellikle bulut ortamında barındırılan verilerin hızlı okunmasını, sadece gerekli bölümlerin çağrılmasını ve ölçeklenebilir bir veri yönetimini mümkün kılan bir yapıya sahip olması nedeniyle tercih edilmiştir. Bu sayede, büyük veri setlerinde performans kaybı yaşamadan istemci tarafında hızlı ön izleme ve veri indirme işlemleri yapılabilir. Veri dönüştürme işlemleri için yukarıda ifade edilen GDAL araç seti kullanılmaktadır.

Farklı kaynaklardan sağlanan uydu görüntüleri veya coğrafi veriler, genellikle UTM (Universal Transverse Mercator) projeksiyon sisteminde veya başka yerel projeksiyonlarda tanımlı olmaktadır. Veri küpü

teknolojisi ise birden fazla veri kümesini aynı çatı altında yönetmeyi ve analiz etmeyi amaçladığından, farklı projeksiyon sistemlerindeki veriler üzerinde sorunsuz işlem yapmayı desteklemektedir. Bununla birlikte, UTM projeksiyonu haricinde kalan veya farklı projeksiyonlarda konumlandırılmış verilerin, EPSG:4326 (WGS84 coğrafi koordinat sistemi) formatına dönüştürülmesi gerekmektedir. Böylece, verilerin konum referansı standartlaştırılıp çok boyutlu analizlerde mekânsal tutarlılık sağlanmış olur. Projeksiyon dönüştürme için de genellikle GDAL araçları veya Python tabanlı rasterio ve xarray kütüphaneleri kullanılmaktadır.

Veri küpü içerisine aktarılabilecek veri katmanlarının uyumlu mekânsal çözünürlüğe sahip olması, çok boyutlu analizlerin tutarlı bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için kritik öneme sahiptir. Farklı çözünürlüklerdeki uydu görüntüleri veya diğer raster veriler, anlamlı olarak tanımlanan ortak bir piksel boyutuna yeniden örneklenecek uyumlu hale getirilir. Bu aşamada, Python tabanlı xarray, rasterio ve GDAL kütüphanelerinden yararlanılabilmektedir.

Bu çalışmada, yukarıda ifade edilen uygulama senaryolarında yer alarak açık kaynaklardan sağlanan Sentinel-2 ve Landsat-8 uydu görüntülerinin her bir bandı GDAL araç seti kullanılarak COG formatına dönüştürülmüştür. Uydu görüntülerinin koordinatları uyumlu olduğundan geometrik dönüşüme ihtiyaç duyulmamıştır.

2.2. Veri küpü modelinin kurulumu ve indeksleme

Veri ön işleme aşamasının tamamlanmasının ardından, büyük ölçekli veri yönetimi ve analizi için çok boyutlu bir yapı sunan veri küpü modelinin kurulumu gerçekleştirilir. Bu model ile zaman ve mekân boyutlarında veriler arasında tutarlılığın sağlanması ve veri sorgulamalarında yüksek performans hedeflenmektedir. Bu kapsamda izlenen temel adımlar aşağıda başlıklar halinde özetlenmiştir.

2.2.1. Veri şeması yapısı

Ön işleme adımları gerçekleştirilmiş veriler veri küpü içerisinde zaman ve konum bilgisiyle yer alır. Bunun yanı sıra bu verilere ait diğer bilgiler de sistem içerisinde tutulabilir. Böylece, farklı kaynaklardan gelen veri katmanları belirli bir şemaya uygun olarak yapılandırılır ve çok boyutlu analizlerin temel çerçevesi belirlenir. Bu aşamada amaç, verinin tutarlı bir şekilde sınıflandırılmasını ve sorgulamalarda esneklik kazandırılmasını sağlamaktır.

2.2.2. Meta verilerinin oluşturulması

Veri küpü yapısının etkin bir şekilde kullanılabilmesi için her veri kümesine ilişkin standart meta verilerin üretilmesi gerekmektedir. Bu meta veriler; veri kümesinin ait olduğu senaryo, tarih aralığı, coğrafi kapsam gibi tanımlayıcı bilgileri içerir. Meta veriler, ilerleyen aşamalarda veriyi bulma, filtreleme ve analiz etme süreçlerini kolaylaştırarak, veri yönetiminin düzenli ve sürdürülebilir olmasına katkı sağlar.

2.2.3. İndeksleme

Çok boyutlu sorgulara hızlı ve doğru bir şekilde yanıt verebilmek için veri küpü içerisinde etkin bir indeksleme stratejisi belirlenmelidir. Bu yaklaşım sayesinde, özellikle büyük veri setlerinde parça parça (chunk) sorgulama yapma imkânı tanınır. İndeksleme sürecinde, verinin parçalanma (chunking) yapısı ve veri dosyalarının fiziksel saklama mantığı (örneğin bulut temelli depolama veya dağıtık dosya sistemleri) gözetilir. Böylece, verilerin gerektiğinde bölüm bölüm yüklenmesi veya işlenmesi sağlanarak hem bellek hem de işlem kaynakları daha verimli kullanılır.

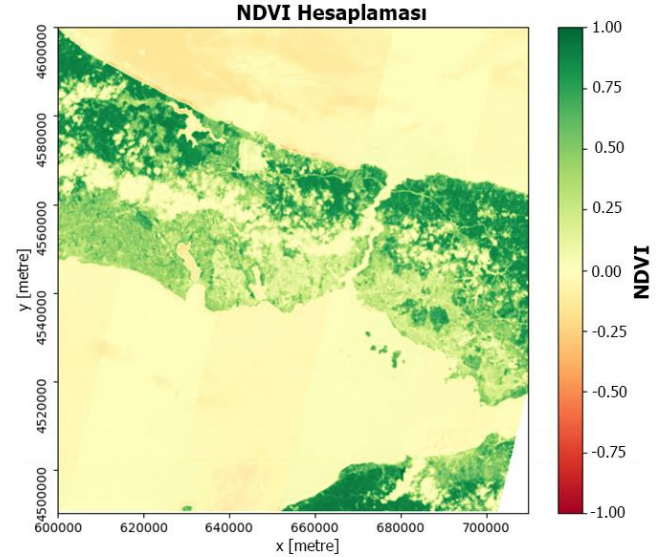
2.2.4. Sıkıştırma ve optimizasyon yöntemleri

Depolama maliyetlerini azaltmak ve veri sorgulama performansını yükseltmek amacıyla, sıkıştırma ve veri parçalaması gibi çeşitli optimizasyon stratejileri uygulanır. Verileri COG formatına dönüştürürken sıkıştırma stratejisi olarak Deflate algoritması kullanılır. Bu algoritma veriyi kayıpsız olarak sıkıştırmaktadır. Bu sayede, hem veri saklama alanından tasarruf edilir hem de talep edilen veri bölümlerine daha hızlı erişim sağlanır. Uygun sıkıştırma algoritmasının ve parçaların boyutlarının seçimi, veri türü ile kullanım senaryosuna göre değişmekte olup, hedeflenen performans kriterlerinin yakalanmasında kritik rol oynar. Girdi verilerinin COG formatına dönüştürülmesi bu kapsamda bir örnek oluşturmaktadır.

Bu çalışma kapsamında geliştirilen veri küpü aracılığıyla gerek uygulama senaryoları gerekse farklı kullanıcı ihtiyaçları doğrultusunda çeşitli sorgulama ve analizlerin gerçekleştirilmesi mümkün kılınmıştır. Zamansal sorgularda belirli bir zaman aralığında seçilen bölgeye ait veriler günlük olarak sorgulanmıştır. Bu sorgular haftalık, aylık ya da yıllık gibi seçilen zaman aralıklarına göre yapılabilmektedir. Bu gibi belirli aralıklardaki zamansal sorgular ile aynı bölgeye ait zaman serisi içindeki değişimler incelenebilmektedir. Mekânsal sorgulama, seçilen birden fazla bölgede aynı anda sorgu olanağı sağlar. Bu sayede, aynı zaman dilimine ait farklı coğrafi alanlar eşzamanlı olarak analiz edilebilmektedir.

Veri küpü içerisinde tüm veriler raster formattadır ve uydu görüntüleri bantlarına ayrılarak tutulmaktadır. Bantlar arasında çeşitli aritmetik işlemler yapmak ve analizler gerçekleştirmek mümkündür. Örneğin; Şekil 3'te belirli bir zaman aralığı ve mekânsal sınır seçilerek anlık olarak hesaplanmış NDVI sonucu gösterilmektedir. Ayrıca, veri küpü içerisinde yer alan veriler aracılığıyla çeşitli görüntü işleme teknikleri uygulanarak sonuç üretilebilmekte ve istatistiksel analizler gerçekleştirilebilmektedir. Veri küpü yapısının en önemli avantajlarından biri, tüm raster verilerin önceden analize hazır biçimde ve standart yapıda tutulması sayesinde, kullanıcıların veri ön işleme adımlarına ihtiyaç duymadan doğrudan analiz gerçekleştirebilmesidir. Ek olarak, etkileşimli analiz ortamlarına (örneğin Jupyter Notebook) kolay entegrasyon özelliği, zaman ve mekâna bağlı veri sorgulamaları hem esnek hem de hızlı biçimde yürütülebilmektedir. Veri küpünden yapılan sorgular,

xarray, dask ve benzeri büyük veri analiz araçlarıyla entegre kullanılarak, klasik veri tabanlarına kıyasla çok boyutlu veri üzerinde daha hızlı analiz imkânı sağlamıştır. Bu yapı, özellikle geniş zaman serilerinde ya da büyük mekânsal alanlarda yapılan sorguların yanıt süresini önemli ölçüde azaltarak, analiz sürecini hem hızlandırmakta hem de kullanıcı açısından kolaylaştırmaktadır.



Veri Kaynağı: Sentinel-2, EPSG:32635, Görüntü Tarihi: 2020-06-11 08:55:59

Şekil 3. Veri küpü içerisinde 11.06.2020 tarihli Sentinel-2 görüntüsünden üretilen NDVI sonucu.

3. Sonuçlar ve Tartışma

Bu çalışma kapsamında uydu görüntüleri temelli bir veri küpü geliştirilmiştir. Klasik yöntemlerde kullanılan ham GeoTIFF veya benzeri formatlardaki verilerin artan hacmi, ciddi depolama ve işlem maliyetlerine yol açmaktadır. Proje kapsamında, ham uydu görüntüsü verilerinin COG formatına dönüştürülerek kullanılması dosya boyutlarında yaklaşık %56 oranında (dosya boyutu 1.67 gb tan 0.94 gb düşerek) küçülme sağlamıştır.

Veri küpü altyapısına aktarılan verilerin gerek uygulama senaryolarındaki konularda, gerekse çok boyutlu sorgulamalarda dinamik bir şekilde kullanılabilmesi, uzaktan algılama tabanlı analizlerde esneklik sağlamaktadır. Gerçekleştirilen analizler sonucunda, kentsel planlamacılara coğrafi tabanlı karar süreçlerinde hızlı, etkin ve veri odaklı çözümler sunulmaktadır.

Veri küpü altyapısının interaktif Python notebook (ör. Jupyter) gibi araçlarla bütünleşik çalışabilmesi, veri görselleştirme ve kullanıcı deneyimi açısından önemli kolaylıklar sağlamaktadır. Analizlerin *Python notebook* ortamında hızlı bir şekilde yürütülmesi, kullanıcıların veri bilimi ve istatistiksel yöntemleri eşzamanlı uygulayarak sonuçları görüntülemesine olanak tanımaktadır.

Ara yüz üzerinden istenilen çalışma bölgesinde interaktif olarak sonuç üretilmesi ve sonuçların harita veya grafik üzerinde görselleştirilmesi mümkün olmaktadır. Bu interaktif özellik, araştırmacılara veya karar vericilere, farklı senaryoları kısa sürede test etme

ve görsel çıktılardan hızla içgörü edinme fırsatı sunmaktadır. Ayrıca, notebook ortamı sayesinde analiz adımları, kod blokları ve sonuçlar bir bütün hâlinde belgelenerek, çalışma sürecinin şeffaf ve tekrar edilebilir olması sağlanmaktadır.

Bu özellikler, veri küpü altyapısının sağladığı depolama avantajlarının yanı sıra, çok boyutlu veri analizinin kolaylaştırılmasında ve görsel/etkileşimli kullanıcı deneyimi sunulmasında ne denli etkin olduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle COG formatının kullanımıyla veri boyutlarındaki düşüş ve dinamik analiz kabiliyetleri hem araştırmacılar hem de kurumlar için zaman ve maliyet tasarrufu sağlamakta, veri küpü yaklaşımının büyük veri projelerindeki potansiyelini açıkça göstermektedir. Verinin hacmi ve çeşitliliği arttıkça, veri küpü teknolojisi, çok boyutlu sorgulama ve modelleme gerektiren araştırmalarda öncü bir çözüm olarak öne çıkmaktadır.

Verilerin standart bir şemaya dönüştürülmesi ve uyumlama işlemleri, başlangıçta emek yoğun bir çalışmayı gerekli kılar. Veri küpü yapısının performansı, büyük ölçüde kullanılan donanım kaynaklarına (ör. bellek, depolama, işlemci gücü) bağlıdır. Çalışmada, belirli bir altyapı kullanılmış olsa da daha güçlü veya optimize edilmiş donanımlar ile farklı sonuçlar elde edilebileceği göz önünde bulundurulmalıdır.

Veri küpü yapıları genellikle statik ya da periyodik olarak güncellenen sistemlerdir. Özellikle gerçek zamanlı uygulamalarda veri küpü sistemlerinin performansının nasıl artırılabilir ve veri ön işleme süreçlerinin nasıl daha verimli hale getirilebileceği üzerinde çalışmalar yapılmalıdır. Veri küpü uygulamasının gerçek zamanlılığı ve güncelleme olanağının sağlanması kapsamında anlamlı bir kısıtlılık ön görülmeyle birlikte, sistemin karmaşıklığını artırmadan, özellikle uydu ve diğer sensörler aracılığı ile akan verilerin yakın gerçek zamanlı veri işleme alt yapıları incelenmelidir. Veri küpü yapılarının makine öğrenimi ve derin öğrenme modelleriyle entegrasyonu, dağıtık mimariler üzerinde ölçeklenebilirlik analizlerinin yapılması ve sosyal medya verileri veya IoT sensör verileri gibi farklı veri türlerinin veri küpleri ile etkin bir şekilde analiz edilmesi önemli araştırma konularıdır. Bu doğrultuda yapılacak çalışmalar, veri küpü teknolojisinin daha geniş uygulama alanlarına yayılmasını ve hem akademik hem de endüstriyel alanda kullanımını artıracaktır. Ayrıca veri küpü sistemlerinin kullanıcı dostu arayüzler ve görselleştirme araçlarıyla entegrasyonu, kullanıcıların teknolojiye adaptasyonunu artırabilir ve daha geniş bir kullanıcı kitlesine hitap edebilir.

Bilgilendirme/Teşekkür

Bu çalışma, Avrupa Komisyonu'nun Ufuk Avrupa Araştırma ve İnovasyon Programı tarafından EUSPA ile yapılan 101131190 No'lu hibe anlaşması kapsamında mali olarak desteklenmiştir. Kullanıcı senaryolarına yönelik çalışmalar Türkiye dışında UDENE projesi yürütücü ortakları arasında yer alan BIOSENSE Institute Research and Development (BIOSENSE) ile Association Tunisienne de L'espace (TUNSA) tarafından gerçekleştirilmiştir.

Araştırmacıların katkı oranı

Nebiye Musaoğlu: Makale Yazımı, Analiz, Kontrol ve Değerlendirme; **Bekir Kapukaya:** Literatür Tarama, Makale Yazımı, Analiz; **Onur Lenk:** Makale Yazımı, Kontrol ve Değerlendirme; **Yücel Erbay:** Değerlendirme; **Seda Kara:** Düzenleme

Çatışma Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynakça

1. Harinarayan, V., Rajaraman, A., & Ullman, J. D. (1996). Implementing data cubes efficiently. *Acm Sigmod Record*, 25(2), 205-216. <https://doi.org/10.1145/235968.233333>
2. Gray, J., Chaudhuri, S., Bosworth, A., Layman, A., Reichart, D., Venkatrao, M., ... & Pirahesh, H. (1997). Data cube: A relational aggregation operator generalizing group-by, cross-tab, and sub-totals. *Data mining and knowledge discovery*, 1, 29-53. <https://doi.org/10.1023/A:1009726021843>
3. Vitter, J. S., Wang, M., & Iyer, B. (1998). Data cube approximation and histograms via wavelets. In *Proceedings of the seventh international conference on Information and knowledge management*, 96-104. <https://doi.org/10.1145/288627.288645>
4. Lewis, A., Oliver, S., Lymburner, L., Evans, B., Wyborn, L., Mueller, N., ... & Wang, L. W. (2017). The Australian geoscience data cube—foundations and lessons learned. *Remote Sensing of Environment*, 202, 276-292. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.03.015>
5. Mišev, D., Baumann, P., Bellos, D., & Wiehle, S. (2019). BigDataCube: A scalable, federated service platform for Copernicus. In *2019 IEEE International Conference on Big Data (Big Data)*, IEEE 4103-4112. <https://doi.org/10.1109/BigData47090.2019.9006222>
6. Baumann, P., Misev, D., Merticariu, V., & Huu, B. P. (2019). Datacubes: Towards space/time analysis-ready data. *Service-Oriented Mapping: Changing Paradigm in Map Production and Geoinformation Management*, 269-299. https://doi.org/10.1007/978-3-319-72434-8_14
7. Dhu, T., Giuliani, G., Juárez, J., Kavvada, A., Killough, B., Merodio, P., ... & Ramage, S. (2019). National open data cubes and their contribution to country-level development policies and practices. *Data*, 4(4), 144. <https://doi.org/10.3390/data4040144>
8. Ferreira, K. R., Queiroz, G. R., Vinhas, L., Marujo, R. F., Simoes, R. E., Picoli, M. C., ... & Fonseca, L. M. (2020). Earth observation data cubes for Brazil: Requirements, methodology and products. *Remote Sensing*, 12(24), 4033. <https://doi.org/10.3390/rs12244033>
9. Killough, B., Rizvi, S., & Lubawy, A. (2021, July). Advancements in the open data cube and the use of analysis ready data in the cloud. In *2021 IEEE International Geoscience and Remote Sensing*

- Symposium IGARSS, 1793-1795.
<https://doi.org/10.1109/IGARSS47720.2021.9553063>
10. Gao, F., Yue, P., Cao, Z., Zhao, S., Shangguan, B., Jiang, L., ... & Liang, Z. (2022). A multi-source spatio-temporal data cube for large-scale geospatial analysis. *International Journal of Geographical Information Science*, 36(9), 1853-1884.
<https://doi.org/10.1080/13658816.2022.2087222>
 11. Caetano, A. F. M., Hirata, C. M., & Silva, R. R. (2022). A comparative study of cluster-based Big Data Cube implementations. *Future Generation Computer Systems*, 133, 240-253.
<https://doi.org/10.1016/j.future.2022.03.024>
 12. Wang, Z., & Gao, Z. (2022). Dynamic monitoring of flood disaster based on remote sensing data cube. *Natural Hazards*, 114(3), 3123-3138.
<https://doi.org/10.1007/s11069-022-05508-3>
 13. Montero, D., Kraemer, G., Anghela, A., Aybar, C., Brandt, G., Camps-Valls, G., ... & Mahecha, M. D. (2024). Earth system data cubes: Avenues for advancing earth system research. *Environmental Data Science*, 3, e27.
<https://doi.org/10.1017/eds.2024.22>
 14. Nabibayova, G., & Sukhostat, L. (2024). Neural networks as an intellectualization tool of OLAP technology. 14th International scientific and practical conference from programming UkrPROGP'2024, May 14-15, 2024, Kyiv, Ukraine.
 15. Munteanu, A. (2024). Data Cubes and Cloud-Native Environments for Earth Observation: An Overview. *Scalable Computing: Practice and Experience*, 25(6), 5745-5759.
<https://doi.org/10.12694/scpe.v25i6.4999>
 16. Fotakidis, V., Roustanis, T., Panayiotou, K., Chrysafis, I., Fitoka, E., & Mallinis, G. (2024). The EL-BIOS earth observation data cube for supporting biodiversity monitoring in Greece. *Remote Sensing*, 16(20), 3771. <https://doi.org/10.3390/rs16203771>
 17. Afham, A., Silva, P., Ghosh, S., Kiala, Z., Retief, H., Dickens, C., & Garcia Andarcia, M. (2024). limpopo river basin digital twin open data cube catalog.
 18. Khiripet, N., Khantuwan, W., Chang, L. Y., & Hsu, Y. Y. (2024, December). Thai crops detection using the integration of multi-sensor remote sensing data and an RNN hierarchical algorithm. In *multispectral, hyperspectral, and ultraspectral remote sensing technology, techniques, and applications*, SPIE, 13266, 103-106.
 19. Yu, J., Mi, P., Wei, D., Cui, Z., Tong, R., Zhong, X., & Fan, Y. (2024). Thematic tile set organization and updating based on global subdivision gridmodel. *Journal of Imaging Science & Technology*, 68(5).
<https://doi.org/10.2352/J.ImagingSci.Technol.2024.68.5.050402>
 20. Aetesam, H., Maji, S. K., & Prasath, V. S. (2025). Hyperspectral image restoration using noise gradient and dual priors under mixed noise conditions. *CAAI Transactions on Intelligence Technology*, 10(1), 72-93.
<https://doi.org/10.1049/cit2.12355>
 21. Li, S. (2025). Self-supervised machine learning algorithms for hyperspectral image inpainting. <https://doi.org/10.7488/era/5522>
 22. Çolak, E., & Memişoğlu, T. (2021). Thornthwaite iklim sınıflandırma yöntemine göre Karadeniz Bölgesi iklim sınır haritasının CBS ile üretilmesi. *Geomatik*, 6(1), 31-43.
<https://doi.org/10.29128/geomatik.651702>
 23. Aslantas, N., Bakirman, T., Selbesoğlu, M.O. & Bayram, B. (2025). The role of ensemble deep learning for building extraction from VHR imagery. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 10(3), 352-363.
<https://doi.org/10.26833/ijeg.1587798>
 24. Berberoğlu, S., Şahingöz, M., Erdoğan, M. A., Dönmez, C., & Çilek, A. (2018). Doğu Akdeniz'de web-tabanlı turuncgil bilgi sistemi oluşturulması. *Geomatik*, 3(2), 137-144.
<https://doi.org/10.29128/geomatik.376662>
 25. Karakoca, E., & Ünver, A. (2024). Analitik hiyerarşi süreci ve coğrafi bilgi sistemleri kullanarak Eşen Çayı Havzası'nda taşkın riski değerlendirmesi ve haritalandırılması. *Geomatik*, 10(1), 124-139.
<https://doi.org/10.29128/geomatik.1542251>
 26. Yordanov, V., et al. (2025). Urban development through EO and natural experiments: The UDENE project and its case studies. *Living Planet Symposium*, 23-27 June 2025, Vienna.
 27. Eler, (2010), *Earthquake loss estimation routine, technical manual and users guide*, Bogazici University, Department of Earthquake Engineering, Istanbul.



© Author(s) 2026. This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>