

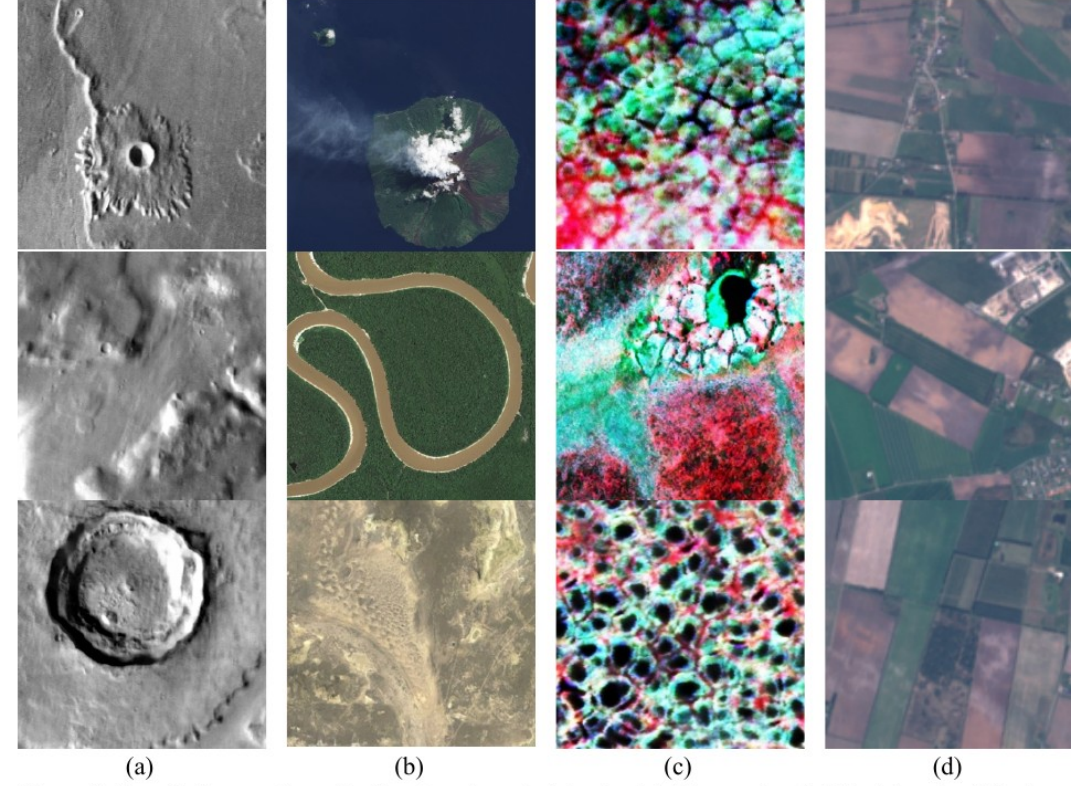
YAPAY ZEKÂ DESTEKLİ COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ

13. HAFTA

İleri GeoAI: Foundation Modeller, Açıklanabilirlik ve Sorumlu Kullanım

YBS 363 · Ankara Bilim Üniversitesi

Dr. Murat BAŞEĞMEZ



Ders sonunda öğrenci

- Geospatial foundation model ve transfer learning kavramlarını açıklar
- Prithvi, multimodal modeller ve prompt tabanlı segmentasyonun kullanım sınırlarını değerlendirir
- Model açıklaması ile mekânsal hata ve belirsizlik analizini birlikte yürütür
- Konum gizliliği, mekânsal yanlılık ve insan denetimi için yönetim planı oluşturur

Çıktılar kavram, uygulama ve eleştirel değerlendirme düzeylerini birlikte kapsar.

Üç saatlik ders akışı

13. HAFTA

00–55 dk

Geospatial foundation modeller

55–110 dk

Multimodal ve yeni GeoAI uygulamaları

Ara

10 dakika

120–165 dk

Açıklanabilirlik ve belirsizlik ve Sorumlu ve yönetişimli GeoAI

165–180 dk

Laboratuvar başlangıcı ve değerlendirme

BÖLÜM 1

Geospatial foundation modeller

Büyük etiketsiz veri üzerinde ön eğitim, farklı görevler için ortak temsil üretir

Bu bölümde kavram, yöntem ve uygulama bağlantısı kurulacaktır.

Foundation model fikri

GEOSPATIAL FOUNDATION MODELLER

Model önce genel temsil öğrenir, sonra yerel göreve uyarlanır

- Ön eğitim büyük ve çoğunlukla etiketsiz veri üzerinde yapılır.
- Encoder görüntü veya zaman serisini özellik temsiline dönüştürür.
- Downstream görev için hafif bir model başlığı eklenir.
- Fine-tuning daha az etiketle görev uyarlaması sağlayabilir.
- Başarı, sensör ve coğrafya farkında ayrıca sınanmalıdır.

ANLATIM ŞEMASI

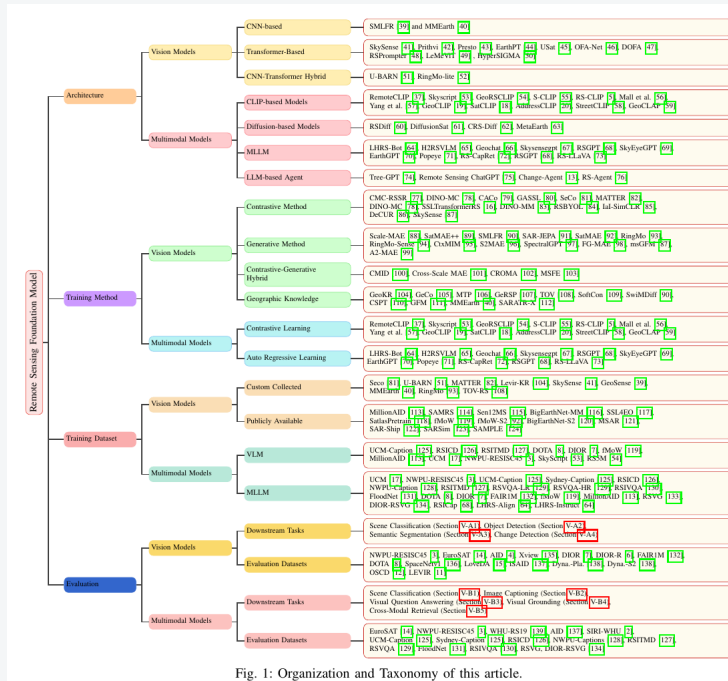
1 Ön eğitim büyük ve çoğunlukla etiketsiz veri...



2 Encoder görüntü veya zaman serisini özellik t...



3 Downstream görev için hafif bir model başlığı...



- Görsel okuma: önce girdi/çıktıyı, sonra renk ve sembollerin neyi temsil ettiğini belirleyin.

Prithvi'nin girdisi

GEOSPATIAL FOUNDATION MODELLER

Prithvi RGB yerine çok bantlı ve zamansal Dünya gözlem verisini hedefler

- Harmonized Landsat Sentinel-2 verisiyle ön eğitim
- Blue, Green, Red, Narrow NIR, SWIR1 ve SWIR2 bantları
- Zaman boyutunu içeren C, T, H, W girdi yapısı
- Arazi örtüsü, taşkın ve yanık alan gibi görevler için uyarlama

ANLATIM ŞEMASI

Harmonized Landsat Sentinel-2 verisiyle ön eğ...

Blue, Green, Red, Narrow NIR, SWIR1 ve SWIR2...

Zaman boyutunu içeren C, T, H, W girdi yapısı

Arazi örtüsü, taşkın ve yanık alan gibi görev...

genelden uygulamaya

Masked autoencoder ön eğitimi

GEOSPATIAL FOUNDATION MODELLER

Model kapatılan görüntü parçalarını yeniden kurarak temsil öğrenir

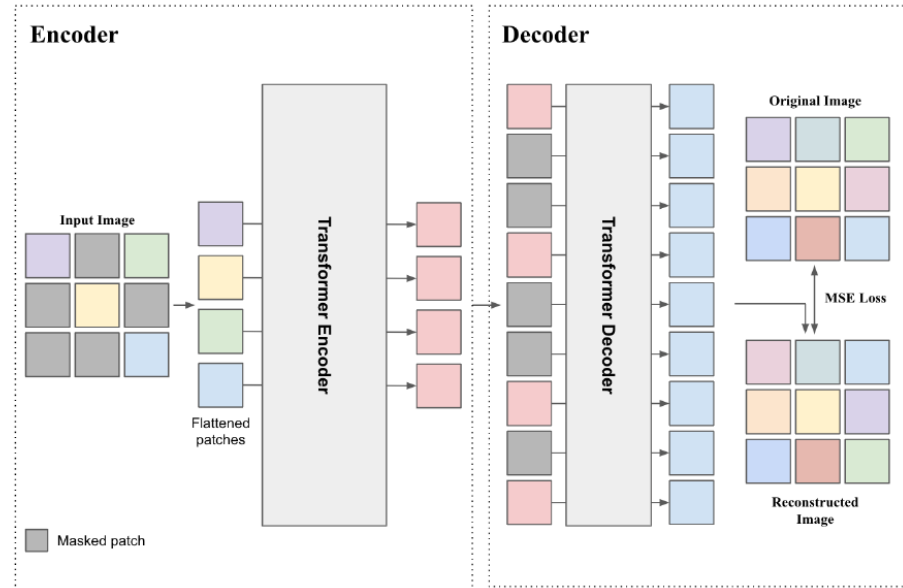


Figure 2. The Prithvi model and the pre-training architecture.

Architecture-wise, Prithvi is a specialized model tailored for geospatial applications, building upon ViT.

Görsel okuma: önce girdi/çıktıyı, sonra renk ve sembollerin neyi temsil ettiğini belirleyin.

- Görüntü sabit boyutlu patch'lere ayrılır.
- Patch'lerin bir bölümü maskelenir.
- Encoder görünen parçaları temsil eder.
- Decoder eksik parçaları yeniden kurar.
- Downstream görevde encoder yeniden kullanılır.

Göreve uyarlama

GEOSPATIAL FOUNDATION MODELLER

13. HAFTA

Foundation model tek başına nihai harita değildir

- Band adaptation kaynak ve hedef bantlarını eşleştirir.
- Çok ölçekli feature map küçük ve büyük nesneleri destekler.
- Task-specific head tespit veya maske üretir.
- Yerel etiketlerle fine-tuning yapılır.
- Sonuç bağımsız coğrafi testte değerlendirilir.

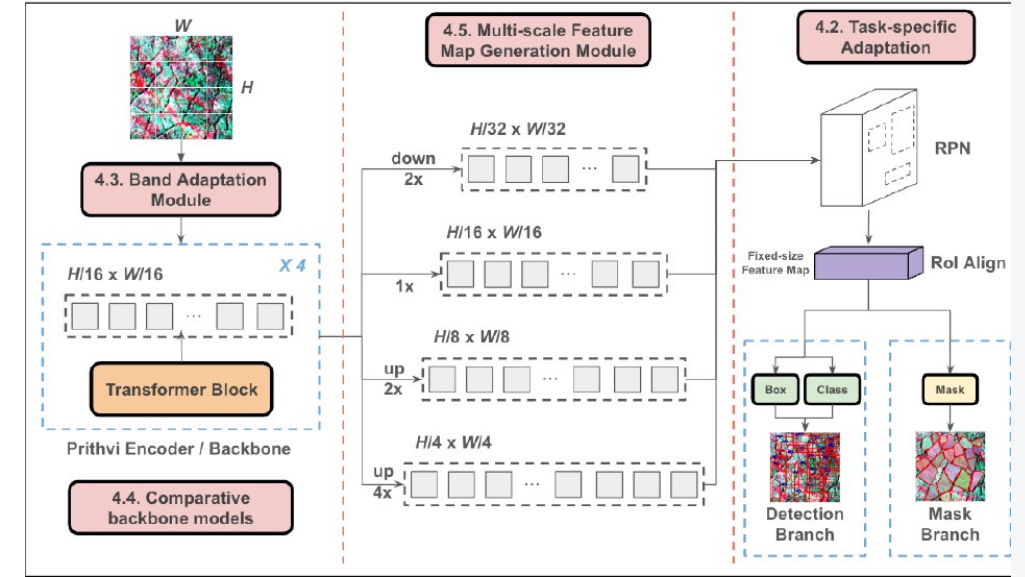


Figure 3 Image analysis pipeline for object detection and instance segmentation tasks

Görsel okuma: önce girdi/çıktıyı, sonra renk ve sembollerin neyi temsil ettiğini belirleyin.

BÖLÜM 2

Multimodal ve yeni GeoAI uygulamaları

Görüntü, zaman serisi, vektör, metin ve ağ verisi birlikte işlenebilir

Bu bölümde kavram, yöntem ve uygulama bağlantısı kurulacaktır.

Farklı veri türleri aynı coğrafi olayı farklı yönlerden açıklar

- Optik görüntü yüzey görünümünü sağlar.
- SAR bulutlu koşullarda yapı ve nem bilgisi sunabilir.
- LiDAR yükseklik ve 3B biçim sağlar.
- OSM ve idari veriler nesne ve ilişki bağlamı ekler.
- Metin veri olay ve yer adı bilgisi taşıyabilir.

ANLATIM ŞEMASI

- 1 Optik görüntü yüzey görünümünü sağlar
- 2 SAR bulutlu koşullarda yapı ve nem bilgisi su...
- 3 LiDAR yükseklik ve 3B biçim sağlar

Vision-language modeller

MULTIMODAL VE YENİ GEOAI UYGULAMALARI

Metin ve görüntü ortak temsil alanında eşleştirilir

- Metinle görüntü arama ve scene classification
- Doğal dille nesne veya bölge tarifi
- Görüntü açıklama ve görsel soru yanıtlama
- Coğrafi adların ve ölçeğin yanlış anlaşılması önemli risklerdir.
- Uzman doğrulaması operasyonel kullanımda zorunludur.

ANLATIM ŞEMASI

01

Metinle görüntü
arama ve scene
classification

02

Doğal dille
nesne veya
bölge tarifi

03

Görüntü
açıklama ve
görsel soru
yanıtlama

04

Coğrafi adların
ve ölçeğin yanlış
anlaşılması...

Prompt tabanlı segmentasyon

MULTIMODAL VE YENİ GEOAI UYGULAMALARI

Nokta, kutu veya metin prompt'u hızlı etiket üretimini destekler

- Model öneri maskesi üretir.
- Analist yanlış sınırları düzeltir.
- Düzeltilmiş maskeler yerel eğitim veri setine eklenebilir.
- Prompt başarısı görüntü çözünürlüğü ve nesne ölçeğine bağlıdır.
- Otomatik çıktı referans veri yerine kullanılmamalıdır.

ANLATIM ŞEMASI

Model öneri maskesi üretir

Analist yanlış sınırları düzeltir

Düzeltilmiş maskeler yerel
eğitim veri setine...

Prompt başarısı görüntü
çözünürlüğü ve nesne...

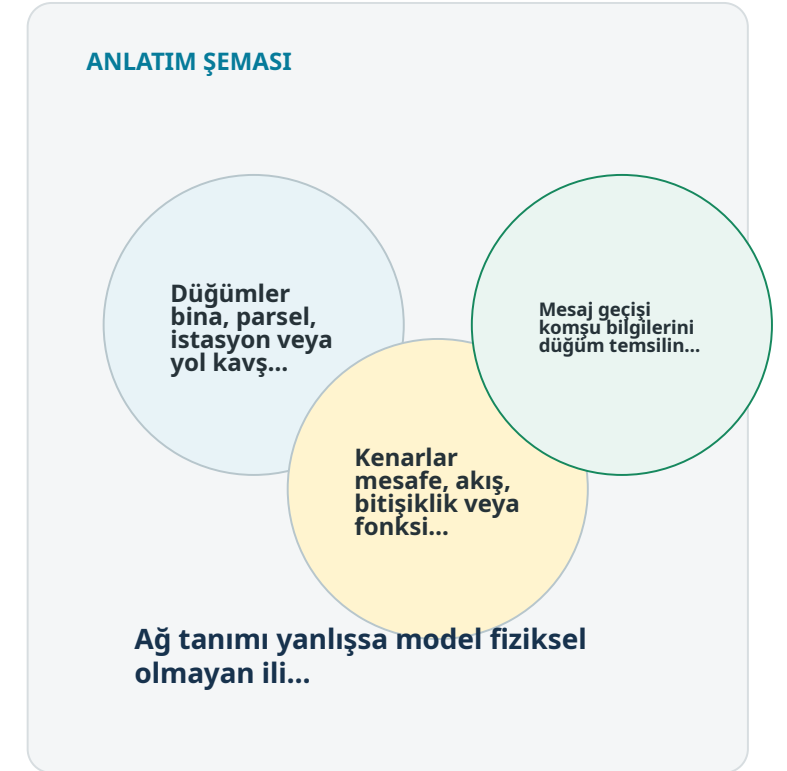
genelden uygulamaya

Mekânsal ağlar ve GNN

MULTIMODAL VE YENİ GEOAI UYGULAMALARI

Graph Neural Network komşuluk ve bağlantıyı doğrudan modelleyebilir

- Düğümler bina, parsel, istasyon veya yol kavşağı olabilir.
- Kenarlar mesafe, akış, bitişiklik veya fonksiyonel ilişkiyi temsil eder.
- Mesaj geçişi komşu bilgilerini düğüm temsiline ekler.
- Ağ tanımı yanlışsa model fiziksel olmayan ilişki öğrenebilir.

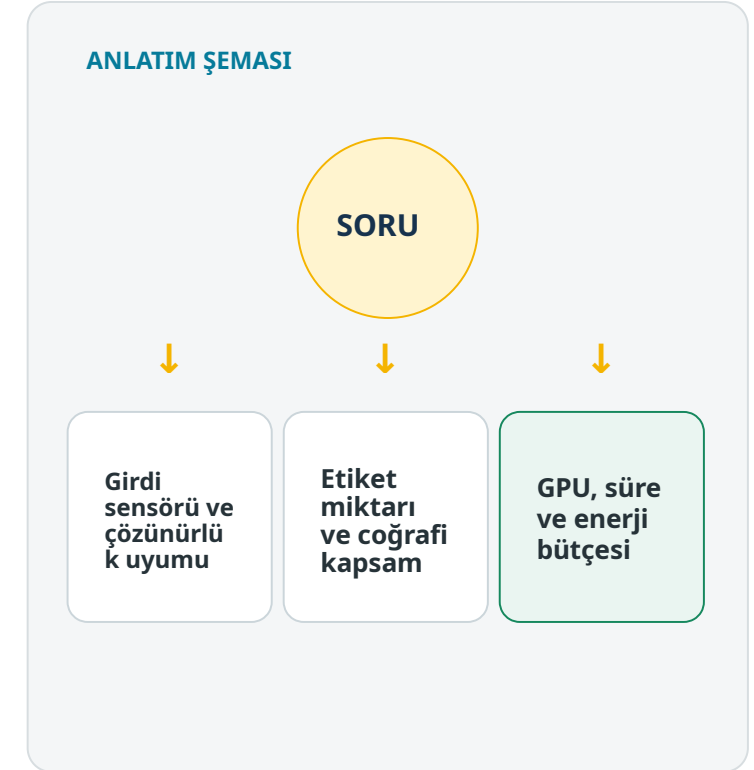


Operasyonel model seçimi

MULTIMODAL VE YENİ GEOAI UYGULAMALARI

En büyük model her zaman en uygun model değildir

- Girdi sensörü ve çözünürlük uyumu
- Etiket miktarı ve coğrafi kapsam
- GPU, süre ve enerji bütçesi
- Çıktı çözünürlüğü ve gecikme gereksinimi
- Fine-tuning ve bakım kapasitesi
- Açıklanabilirlik ve yönetim ihtiyacı



BÖLÜM 3

Açıklanabilirlik ve belirsizlik

Model davranışı coğrafi dağılımla birlikte incelenir

Bu bölümde kavram, yöntem ve uygulama bağlantısı kurulacaktır.

Global ve yerel açıklama

AÇIKLANABİLİRLİK VE BELİRSİZLİK

Bir modelin genel davranışı tek bir tahminin gerekçesiyle aynı değildir

Global açıklama

Değişken önemi
Kısmi bağımlılık
Modelin genel eğilimi

Yerel açıklama

Tek tahmine katkılar
Komşu örnek karşılaştırması
Belirli konumdaki gerekçe

Değişken önemi sınırlılıkları

AÇIKLANABİLİRLİK VE BELİRSİZLİK

Önem grafiği nedensellik ve yön bilgisi vermez

Variable	Importance (Gain)	%	Importance (Weight)	%
median_income	408917490371175.62	37	484407.00	21
ocean_proximity	158753489850389.94	14	234476.00	10
households	134537133659165.28	12	246401.00	11
population	130804789845682.31	12	345355.00	15
total_rooms	103365890364302.19	9	343387.00	15
housing_median_age	89060458290279.56	8	273766.00	12
total_bedrooms	80932868660818.72	7	351575.00	15

Görsel okuma: önce girdi/çıktıyı, sonra renk ve sembollerin neyi temsil ettiğini belirleyin.

- Yüksek önem değişkenin tahminde sık veya güçlü kullanıldığını gösterir.
- Korelasyonlu değişkenler önemi paylaşabilir.
- Mekânsal vekil değişkenler hassas toplumsal özelliği dolaylı taşıyabilir.
- Önem sonuçları farklı coğrafi bloklarda karşılaştırılmalıdır.

Mekânsal açıklama haritası

AÇIKLANABİLİRLİK VE BELIRSIZLIK

Bir değişkenin katkısı konuma göre değişebilir

- Yerel katkılar haritalanarak bölgesel farklılıklar görülebilir.
- Açıklama haritasındaki kümeler model yanlılığı veya gerçek süreç gösterebilir.
- Katkı işareti ve büyüklüğü hedef bağlamında yorumlanmalıdır.
- Hassas alanlarda bireysel konumlar anonimleştirilmelidir.

ANLATIM ŞEMASI

Yerel katkılar haritalanarak bölgesel farklılıklar...

Açıklama haritasındaki kümeler model yanlılığı...

Katkı işareti ve büyüklüğü hedef bağlamında yorumlanmalıdır...

Hassas alanlarda bireysel konumlar anonimleştirilmelidir...

genelden uygulamaya

Belirsizlik kaynakları

AÇIKLANABİLİRLİK VE BELİRSİZLİK

Veri, model ve dağılım kayması farklı belirsizlik üretir

- Aleatorik belirsizlik gözlem ve süreç gürültüsünden gelir.
- Epistemik belirsizlik sınırlı veri ve model bilgisinden gelir.
- Domain shift eğitim ve kullanım dağılımını ayırır.
- Harita, tahminle birlikte güven veya belirsizlik katmanı göstermelidir.

ANLATIM ŞEMASI

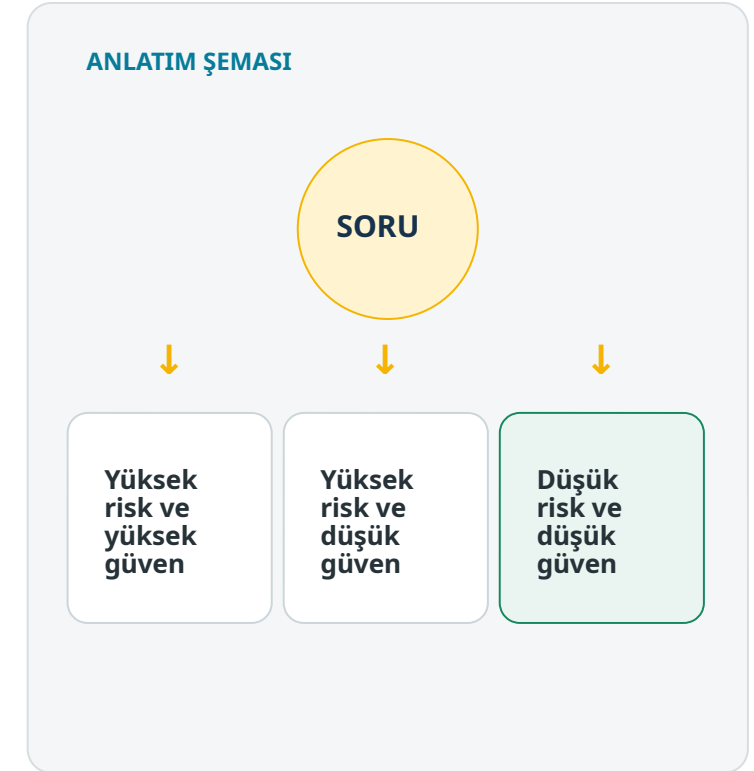


Belirsizlięi karara baęlama

AÇIKLANABİLİRLİK VE BELİRSİZLİK

Düşük güvenli tahmin otomatik karardan ziyade inceleme kuyruęuna yönlendirilebilir

- Yüksek risk ve yüksek güvenli: öncelikli müdahale
- Yüksek risk ve düşük güvenli: saha doğrulaması
- Düşük risk ve düşük güvenli: veri toplama ihtiyacı
- Düşük risk ve yüksek güvenli: rutin izleme
- Eşikler karar maliyeti ve kaynak kapasitesine göre belirlenir.



BÖLÜM 4

Sorumlu ve yönetişimli GeoAI

Teknik başarı kamu kararlarında tek kabul ölçütü değildir

Bu bölümde kavram, yöntem ve uygulama bağlantısı kurulacaktır.

Veri kapsama boşlukları harita üzerinde sistematik hata üretir

- Kentsel alanlar kırsal alanlardan daha yoğun etiketlenmiş olabilir.
- Yüksek çözünürlüklü görüntü erişimi bölgelere göre değişebilir.
- Tarihsel hizmet dağılımı hedef etikete gömülü olabilir.
- Model performansı bölge ve toplumsal grup düzeyinde ayrı raporlanmalıdır.

ANLATIM ŞEMASI

- 1 Kentsel alanlar kırsal alanlardan daha yoğun...
- 2 Yüksek çözünürlüklü görüntü erişimi bölgelere...
- 3 Tarihsel hizmet dağılımı hedef etikete gömülü...

Konum verisi kimlik doğrudan bulunmasa bile kişiyi veya davranışını açığa çıkarabilir

- Hareket izleri ev ve iş yerini gösterebilir.
- Nadir konumlar yeniden tanımlamayı kolaylaştırabilir.
- Gereksiz hassasiyet azaltılmalı ve erişim sınırlandırılmalıdır.
- Paylaşım için toplulaştırma, maskeleme veya sentetik veri değerlendirilebilir.

ANLATIM ŞEMASI

01

Hareket izleri
ev ve iş yerini
gösterebilir

02

Nadir konumlar
yeniden
tanımlamayı
kolaylaştı...

03

Gereksiz
hassasiyet
azaltılmalı ve
erişim sın...

04

Paylaşım için
toplulaştırma,
maskeleme veya
S...

Analist model çıktısını bağlam, veri kalitesi ve saha bilgisiyle sınar

- Model öneri üretir; yetkili kişi karar sorumluluğunu taşır.
- Düşük güven ve yüksek etkili durumlar zorunlu incelemeye gider.
- Kullanıcı modelin kapsamını ve başarısızlık koşullarını görür.
- İtiraz ve düzeltme mekanizması tasarlanır.

ANLATIM ŞEMASI

Model öneri üretir

Düşük güven ve yüksek etkili
durumlar zorunlu...

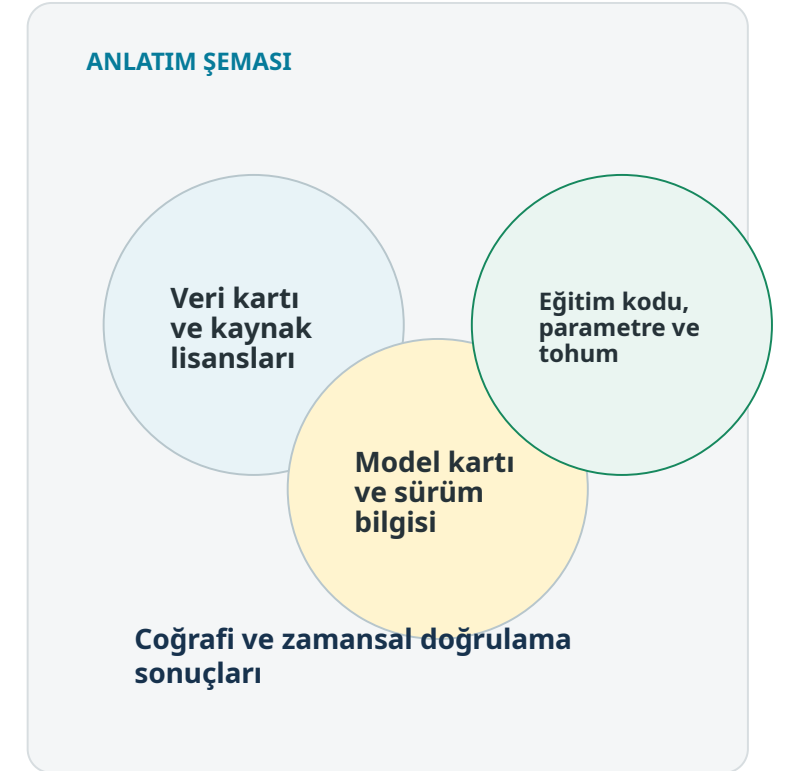
Kullanıcı modelin kapsamını ve
başarısızlık k...

İtiraz ve düzeltme
mekanizması tasarlanır

genelden uygulamaya

Her sürüm denetlenebilir kanıtlarla izlenir

- Veri kartı ve kaynak lisansları
- Model kartı ve sürüm bilgisi
- Eğitim kodu, parametre ve tohum
- Coğrafi ve zamansal doğrulama sonuçları
- Hata, adalet ve gizlilik değerlendirmesi
- Onay, kullanım ve güncelleme sorumluları

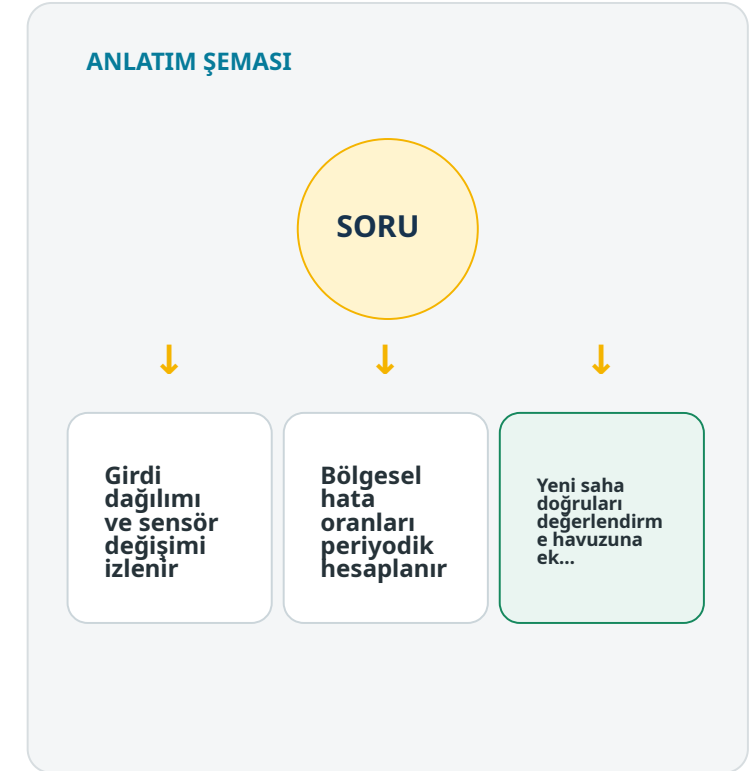


Dağıtım sonrası izleme

SORUMLU VE YÖNETİŞİMLİ GEOAI

Veri ve coğrafya değiştikçe model performansı yeniden ölçülür

- Girdi dağılımı ve sensör değişimi izlenir.
- Bölgesel hata oranları periyodik hesaplanır.
- Yeni saha doğruları değerlendirme havuzuna eklenir.
- Eşik veya model güncellemesi sürüm olarak kaydedilir.
- Performans sınırın altına düştüğünde kullanım durdurulur.



YÖNLENDİRİLMİŞ UYGULAMA

Sorumlu GeoAI denetim laboratuvarı

Bir pretrained görüntü modeli veya mekânsal tahmin modeli için kullanım öncesi denetim dosyası hazırlayın.

Laboratuvar senaryosu

UYGULAMA

Bir pretrained görüntü modeli veya mekânsal tahmin modeli için kullanım öncesi denetim dosyası hazırlayın.

- Çalışma alanı ve analiz birimini belirtin.
- Karar kullanıcısını ve beklenen çıktıyı tanımlayın.
- Veri, yöntem ve doğrulama arasında tutarlı bir zincir kurun.

Laboratuvar işlem adımları

UYGULAMA

- Kaynak modelin ön eğitim verisi, sensörü ve coğrafi kapsamını araştırın.
- Yerel görevle uyumsuzluk ve domain shift risklerini yazın.
- En az iki açıklama ve bir belirsizlik çıktısı planlayın.
- Bölgesel performans, gizlilik ve insan denetimi kontrollerini tanımlayın.
- Kullanım izni, izleme eşiği ve güncelleme sorumlusunu belirleyin.

Her adım için ekran görüntüsü veya işlem geçmişi kanıtı saklanmalıdır.

Laboratuvar kalite kontrolü

UYGULAMA

- Girdi verisinin tarihi, koordinat sistemi ve çözünürlüğü kaydedildi mi?
- Eğitim ve test verisi coğrafi veya zamansal olarak bağımsız mı?
- Araç parametreleri ve random seed kaydedildi mi?
- Sonuç nicel ölçüt ve harita üzerinden doğrulandı mı?
- Sınırlılık ve kullanım sınırı açıklandı mı?

Laboratuvar teslim paketi

UYGULAMA

Model kartı, risk matrisi, doğrulama planı ve insan denetimi akışı

- Harita veya model çıktısı
- Veri ve yöntem açıklaması
- Doğrulama kanıtı
- Hata veya belirsizlik yorumu
- Kaynaklar ve kısa kullanım sınırı

Ders sonu kontrolü 1

DEĞERLENDİRME

Foundation modelin downstream göreve uyarlanması neyi ifade eder?

- A** Haritanın rengini değiştirmeyi
- B** Önceden öğrenilmiş encoderı yerel görev için fine-tune etmeyi
- C** Koordinat sistemini silmeyi
- D** Test verisini eğitime eklemeyi

Ders sonu kontrolü 2

13. HAFTA

DEĞERLENDİRME

Değişken önemi hangisini kanıtlamaz?

- A Modelin değişkeni kullandığını
- B Nedensel etkiyi**
- C Değişkenler arasında önem farkı olduğunu
- D Modelin bölme tercihlerini

Ders sonu kontrolü 3

DEĞERLENDİRME

Yüksek riskli fakat düşük güvenli tahmin için en uygun eylem hangisidir?

- A** Otomatik nihai karar
- B** Sonucu silmek
- C** Saha ve uzman doğrulaması
- D** Sadece renk değiştirmek

İleri GeoAI: Foundation Modeller, Açıklanabilirlik ve Sorumlu Kullanım

- Geospatial foundation modeller
- Multimodal ve yeni GeoAI uygulamaları
- Açıklanabilirlik ve belirsizlik
- Sorumlu ve yönetişimli GeoAI

Ana ilke

**Coğrafi veri yapısı,
doğrulama düzeni ve
kullanım bağlamı
model seçiminden
önce gelir.**

Kaynaklar ve ileri okuma

- <https://arxiv.org/abs/2503.22081>
- <https://arxiv.org/abs/2409.00489>
- <https://arxiv.org/abs/2508.00858>
- <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/regulatory-framework-ai>
- <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/3.5/help/analysis/ai/geoai.htm>

Sunumdaki her dış görselin kaynağı ilgili slaydın alt bilgisinde ve konuşmacı notlarında belirtilmiştir.