



TOBB ETÜ
Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi

TOBB EKONOMİ VE TEKNOLOJİ ÜNİVERSİTESİ

Bilgisayar / Yapay Zekâ Mühendisliği

BİL 495 — YAP 495

Analiz Raporu

Proje Adı	Öz-Gözetimli Uydu Görüntü Segmentasyonu ve Zaman Serisi Modelleri ile Uzun Vadeli Kentsel Yayılma Tahmini
Rapor	Analiz Raporu
Takım Üyeleri	Mehmet Ali USLU, Kaan ARSLAN, Ömer Talha AKBULUT, Mete OKTAR, Efe Arda UZUNOVA
Danışman	Toygar Akgün
Akademik Dönem	2026 Yaz Dönemi
Teslim Tarihi	12 Temmuz 2026

İçindekiler

1. Giriş	3
1.1 Hedef Kullanıcılar	3
1.2 Kapsam	3
1.3 Başarı Ölçütleri	3
2. Mevcut Sistemler	4
3. Önerilen Sistem	4
3.1 Genel Bakış	4
3.2 Veri Akışı	5
3.3 Varsayımlar ve Bağımlılıklar	5
3.4 Fonksiyonel Gereksinimler (Functional Requirements)	5
3.5 Fonksiyonel Olmayan Gereksinimler (Nonfunctional Requirements)	6
3.6 Sözde Gereksinimler / Kısıtlar (Pseudo Requirements)	7
4. Sistem Modelleri (System Models)	7
4.1 Senaryolar (Scenarios)	7
4.2 Use Case Modeli	9
4.3 Nesne ve Sınıf Modeli (Object and Class Model)	13
4.4 Dinamik Modeller (Dynamic Models)	14
4.5 Kullanıcı Arayüzü: Navigasyon ve Taslaklar (UI Mockups)	17
5. Gereksinim Takip Matrisi	19
6. Risk ve Analiz Notları	20
7. Sözlük	20
8. Kaynakça	21

1. Giriş

Bu analiz raporu, proje önerisi [1] ve proje spesifikasyon raporunda [2] tanımlanan kentsel yayılma tahmin sistemini kullanıcı, veri, iş akışı ve alan modeli düzeyinde ayrıntılandırır. Amaç, geliştirilecek sistem için tasarım kararlarından önce gelen sistem modelini kurmak; yani sistemin hangi aktörlerle etkileşeceğini, hangi gereksinimleri karşılayacağını, hangi nesnelerden oluşacağını ve ana kullanım senaryolarının nasıl ilerleyeceğini açık hale getirmektir.

Proje, bir şehrin uzun vadede ne kadar yayılacağını ve bu yayılma sırasında yeşil alan ile yapılaşmış alan arasındaki dengenin nasıl değişeceğini çok zamanlı Sentinel-2 uydu görüntüleri üzerinden tahmin eden bir karar destek sistemi geliştirmeyi hedefler. Sistem, SSL4EO-S12 veri setinin [4] güncellenmiş v1.1 sürümünün [19], [20] etiketli LULC modalitesiyle denetimli olarak eğitilen mevsimsel segmentasyon modelleri aracılığıyla geçmiş Sentinel-2 L2A görüntülerinden mevsimsel arazi örtüsü haritaları üretir, bu haritalardan yapılaşmış alan ve yeşil alan zaman serileri çıkarır, ardından bu dizileri zaman serisi modelleriyle ileriye dönük tahminde bulunur.

Proje önerisinde sistem üç ana aşama üzerinden tanımlanmıştır: mevsimsel arazi örtüsü segmentasyonu, hedef şehir için otomatik etiketleme ve zaman serisi tahmini [1]. Spesifikasyon raporunda MVP kapsamı Ankara ile sınırlandırılmış; dört mevsimsel segmentasyon modeli, iki naif baseline ve en az bir öğrenen zaman serisi modeli zorunlu bileşenler olarak belirlenmiştir [2]. Bu rapor, aynı kapsamı koruyarak bu bileşenleri analiz modeli haline getirir.

1.1 Hedef Kullanıcılar

Birincil kullanıcılar; belediyelerin imar, şehir planlama, çevre ve sürdürülebilirlik birimleri ile kent plancılarıdır. Bu kullanıcılar sistemi resmi imar kararı üretmek için değil; erken aşama fizibilite, geçmiş yayılma incelemesi, alternatif gelişim senaryolarını karşılaştırma ve yeşil alan kaybı riskini görünür hale getirme amacıyla kullanır.

İkincil kullanıcılar; uzaktan algılama, yapay zekâ, coğrafi bilgi sistemleri ve sürdürülebilir şehircilik alanlarında çalışan araştırmacılar ve öğrencilerdir. Bu grup sistemi model karşılaştırması, deney tekrarı, veri seti üzerinde doğrulama ve akademik analiz amacıyla kullanır.

1.2 Kapsam

Kapsam içi işler şunlardır:

- Ankara için Sentinel-2 L2A döneminde mevsimsel zaman serisi oluşturma.
- Dört mevsimsel segmentasyon modeliyle 9 sınıflı arazi örtüsü haritası üretme.
- Yapılaşmış alan, yeşil alan, diğer arazi sınıfları ve yeşil-bina oranı zaman serilerini çıkarma.
- No-change ve linear trend baseline modellerine karşı en az bir öğrenen zaman serisi modeliyle tahmin karşılaştırması yapma.
- 1, 3 ve 5 yıllık tahmin ufukları için harita, tablo, grafik, CSV ve GeoTIFF çıktıları üretme.
- Veri kalitesi, bulut oranı, eksik dönem ve model belirsizliği bilgisini sonuçlarla birlikte sunma.

Kapsam dışı işler şunlardır:

- Resmi imar planı, ruhsat, kamulaştırma veya hukuki bağlayıcılığı olan plan kararı üretmek.
- Küresel ölçekte operasyonel servis işletmek.
- Tekil bina, ada veya parsel düzeyinde kesin yapı tahmini yapmak.
- Nüfus, gelir, etnik yapı, mülkiyet veya kişisel veri içeren sosyoekonomik nedensellik analizi yapmak.
- Belediye veya plancı kararını otomatikleştirmek.

1.3 Başarı Ölçütleri

Kriter	Ölçüm	Kabul Ölçütü
Segmentasyon doğruluğu	Test kümesinde Macro-F1	Dört mevsimden her biri için Macro-F1 ≥ 0.85 hedeflenir; ulaşılamazsa hata analiziyle raporlanmış en iyi model kabul edilir.
Tahmin başarımı	Yapılaşmış alan ve yeşil-bina oranı MAE	En iyi naif baseline değerinden en az %10 düşük MAE hedeflenir.
Baseline üstünlüğü	No-change ve linear trend karşılaştırması	İki baseline da aynı holdout penceresinde raporlanır; öğrenen modelin üstünlüğü sayısal olarak gösterilir.
Çalışabilirlik	Uçtan uca Ankara akışı	Veri çekme, ön işleme, segmentasyon, zaman serisi tahmini ve görselleştirme tek komut veya tek notebook akışıyla çalışır.
Şeffaflık	Kalite ve belirsizlik raporu	Bulut oranı, eksik dönem, veri manifesti, model sürümü ve hata örnekleri çıktı paketinde bulunur.

2. Mevcut Sistemler

Mevcut durumda kent plancıları ve araştırmacılar kentsel yayılmayı çoğunlukla ayrı araçların çıktısını elle birleştirerek analiz eder. Dynamic World [5], [6] veya GHSL [8] gibi hazır arazi örtüsü ürünleri güncel veya yakın gerçek zamanlı durum hakkında güçlü bilgi sağlar; ancak bu ürünler genellikle geleceğe yönelik tahmin üretmez. GISD30 gibi uzun dönemli geçirimsiz yüzey ürünleri [9] geçmişe dönük tutarlı seriler sunsa da öngörü hattı içermez. Klasik kentsel büyüme modelleri ise hücresel otomata veya kural tabanlı simülasyonlara dayanır; bu modeller uydu görüntülerindeki spektral-zamansal örüntüleri doğrudan öğrenmez.

Akademik literatürde de çok zamanlı uydu görüntüleriyle değişim izleme aktif bir çalışma alanıdır: DynamicEarthNet [3] günlük çok bantlı gözlemlerle semantik değişim segmentasyonunu, SpaceNet 7 (MUDS) [7] aylık görüntülerle bina düzeyinde kentsel gelişim takibini, U-TAE tabanlı yaklaşımlar [10] ise uydu görüntüsü zaman serilerinde zamansal dikkat ile panoptik segmentasyonu hedefler. Ancak bu çalışmalar geçmişteki değişimi tespit etmeye odaklanır; segmentasyon çıktılarından türetilen göstergelerin ileriye dönük tahminiyle uçtan uca birleştirilmesi bu projenin odağıdır.

Mevcut iş akışındaki temel sınırlılıklar şunlardır:

- Güncel arazi örtüsü haritaları geçmişten geleceğe öğrenen bir tahmin hattı sunmaz.
- Segmentasyon çıktıları ile zaman serisi modelleri çoğu iş akışında ayrık kalır.
- Bulutluluk, eksik gözlem ve mevsimsel spektral değişim elle yönetildiğinde hata riski artar.
- Yeşil alan ve yapılaşmış alan oranı gibi karar destek metrikleri çoğu zaman ayrı hesaplama adımları gerektirir.
- Model belirsizliği ve baseline karşılaştırması düzenli raporlanmadığında çıktıların kesin karar gibi yorumlanma riski oluşur.

Bu proje, mevcut durumdaki boşluğu; arazi örtüsü segmentasyonunu, otomatik etiketleme ve zaman serisi tahmini ile aynı uçtan uca hatta birleştirerek kapatmayı hedefler. Sistem, kullanıcıya kesin imar kararı değil; ölçülebilir, karşılaştırılabilir ve belirsizliği açıkça sunulmuş karar destek çıktısı verir.

3. Önerilen Sistem

3.1 Genel Bakış

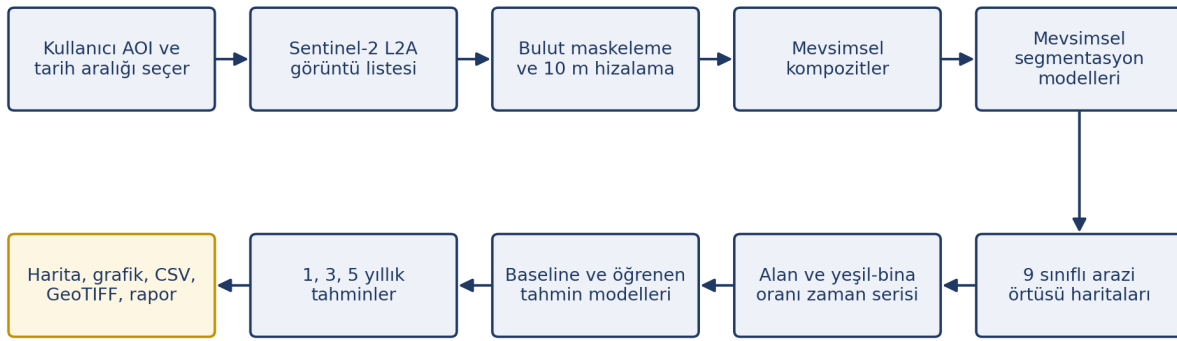
Önerilen sistem; Ankara hedef alanı için Sentinel-2 L2A görüntülerini Google Earth Engine [14] üzerinden alır, bulut maskeleyme ve mevsimsel kompozit üretimiyle ön işleme yapar, dört mevsimsel segmentasyon modeliyle 9 sınıflı arazi örtüsü haritaları üretir, bu haritalardan yapılaşmış alan ve yeşil alan göstergelerini çıkarır ve zaman serisi modelleriyle 1, 3 ve 5 yıllık tahmin ufukları için sonuç üretir.

Sistem beş ana modülden oluşur:

- **Veri modülü:** Ankara AOI, tarih aralığı, Sentinel-2 L2A görüntüleri, SSL4EO-S12 v1.1 eğitim verisi [19], [20] ve yardımcı açık veri katmanlarını yönetir.
- **Ön işleme modülü:** Bulut maskeleme, 10 m hizalama, band seçimi, mevsimsel kompozit üretimi ve kalite bayrağı çıkarımını yapar.
- **Segmentasyon modülü:** Kış, ilkbahar, yaz ve sonbahar için ayrı segmentasyon modellerini kullanarak her piksel için 9 sınıflı arazi örtüsü haritası ve güven skoru üretir.
- **Zamansal tahmin modülü:** Segmentasyon dizisinden alan/oran zaman serisi çıkarır, no-change ve linear trend baseline'larını kurar; LSTM ve uygun olduğunda Mamba [11] veya TimesFM [12] ile tahmin üretir.
- **Değerlendirme ve görselleştirme modülü:** Macro-F1, IoU, precision, recall, MAE, RMSE, baseline iyileşmesi, harita çıktıları, grafikler ve rapor paketini üretir.

3.2 Veri Akışı

Sistemin uçtan uca veri akışı Şekil 1'de gösterilmektedir. Akış, kullanıcının AOI ve tarih aralığı seçimiyle başlar; ham görüntülerin kaliteli kompozitlere, kompozitlerin sınıf haritalarına, sınıf haritalarının zaman serilerine ve zaman serilerinin ileriye dönük tahminlere dönüştürüldüğü ardışık aşamalarla ilerler.



Şekil 1. Uçtan uca veri akışı.

3.3 Varsayımlar ve Bağımlılıklar

ID	Varsayım	Açıklama
A-01	Hedef şehir	MVP için Ankara seçilmiştir; ek şehir opsiyoneldir.
A-02	Veri dönemi	Ana çalışma dönemi Sentinel-2 L2A için 2016–2024 arasındır.
A-03	Sınıf taksonomisi	SSL4EO-S12 v1.1 ile uyumlu 9 arazi örtüsü sınıfı temel alınır [19].
A-04	Model yükü	Segmentasyon tarafında dört mevsim modeli, tahmin tarafında iki baseline ve en az bir öğrenen model zorunludur.
A-05	Kullanım amacı	Sistem karar destek aracıdır; hukuki veya operasyonel imar kararı üretmez.
A-06	Veri lisansı	SSL4EO-S12 v1.1 CC-BY-4.0 atıf şartıyla [20], Sentinel verileri açık erişim koşullarıyla [13] kullanılır.
A-07	Kişisel veri	Varsayılan MVP kapsamında kişi, adres, parsel sahibi veya bireysel başvuru verisi tutulmaz [17], [18].

3.4 Fonksiyonel Gereksinimler

ID	Gereksinim	Kabul Kriteri
FR-01	Sistem, hedef şehir sınırını AOI olarak alabilmeli ve Sentinel-2 L2A görüntülerini tarih aralığına göre listeleyebilmelidir.	Ankara AOI için en az 2016–2024 arası görüntü listesi ve metadata dosyası üretilir.
FR-02	Sistem, bulut maskeleme, 10 m hizalama, band seçimi ve mevsimsel kompozit üretimi yapmalıdır.	Her yıl ve mevsim için kalite bayraklı GeoTIFF veya eşdeğer raster çıktı oluşur.
FR-03	Sistem kış, ilkbahar, yaz ve sonbahar için dört ayrı segmentasyon modeli tanımlamalıdır.	Dört ayrı konfigürasyon/model ağırlığı ve eğitim/validasyon metrik dosyası bulunur.
FR-04	Segmentasyon modülü her piksel için 9 sınıflı arazi örtüsü etiketi üretmelidir.	Her kompozit için sınıf haritası ve sınıf olasılıkları veya güven skoru saklanır.
FR-05	Otomatik etiketleme modülü, eğitilmiş segmentasyon modellerini Ankara zaman serisine uygulamalıdır.	Kronolojik segmentasyon yığını oluşur; eksik veya düşük kaliteli dönemler işaretlenir.
FR-06	Sistem; yapılaşmış alan, yeşil alan, diğer sınıflar ve yeşil-bina oranı zaman serisini hesaplamalıdır.	Her zaman adımı için m ² /km ² alan değerleri ve oranlar CSV tablosunda yer alır.
FR-07	Sistem en az iki naif baseline üretmelidir: no-change ve linear trend.	Baseline tahminleri aynı test penceresinde öğrenen model tahminleriyle karşılaştırılır.
FR-08	Sistem en az bir öğrenen zaman serisi modeli eğitmelidir.	LSTM zorunlu minimum modeldir; Mamba [11] veya TimesFM [12] veri/kurulum uygunsa eklenir, değilse gerekçeli B planı raporlanır.
FR-09	Sistem 1, 3 ve 5 yıllık tahmin ufukları için çıktı üretebilmelidir.	Her ufuk için yapılaşmış alan, yeşil alan ve yeşil-bina oranı tahmini bulunur.
FR-10	Sistem segmentasyon ve tahmin performansını hesaplamalıdır.	Macro-F1, IoU, precision, recall, MAE, RMSE ve baseline iyileşme yüzdesi raporlanır.
FR-11	Sistem çıktıları harita, zaman serisi grafiği ve tablo olarak görselleştirmelidir.	PNG/PDF görselleri, CSV tabloları ve GeoTIFF çıktıları üretilebilir.
FR-12	Sistem deneyleri tekrarlanabilir şekilde kaydetmelidir.	Konfigürasyon, veri manifesti, model sürümü, seed, metrikler ve çalışma zamanı otomatik loglanır.
FR-13	Sistem opsiyonel olarak GHSL/GISD30 verilerini [8], [9] B planı veya karşılaştırma verisi olarak kullanabilmelidir.	Sentinel serisi yetersiz kalırsa GHSL/GISD30 modülü ayrı çalıştırılır ve sonuçlar ana Sentinel akışından ayrıştırılır.
FR-14	Sistem kullanıcıya çıktıların resmi imar kararı olmadığını göstermelidir.	Rapor ve arayüz çıktılarında karar destek ve belirsizlik uyarısı bulunur.
FR-15	Sistem kalite bayrağı ve belirsizlik bilgisini sonuçlarla birlikte göstermelidir.	Bulut oranı yüksek, eksik veya düşük güvenli dönemler görsel ve tablo çıktılarında işaretlenir.

3.5 Fonksiyonel Olmayan Gereksinimler

ID	Kategori	Ölçülebilir Gereksinim	Doğrulama
NFR-01	Doğruluk	Segmentasyon testinde Macro-F1 ≥ 0.85 hedeflenir; ulaşılamayan sınıflar için hata analizi yapılır.	Metrik raporu ve confusion matrix.
NFR-02	Tahmin başarımı	Yapılaşmış alan ve yeşil-bina oranı MAE değeri, en iyi naif baseline'dan en az %10 düşük olmalıdır.	Aynı holdout penceresinde baseline karşılaştırma tablosu.
NFR-03	Performans	Ankara için ön işleme ve çıkarım hattı tek GPU/iş istasyonunda 8 saatten kısa sürede tamamlanmalıdır.	Çalışma zamanı logu.
NFR-04	Kaynak kullanımı	Eğitim tek GPU üzerinde ≤ 16 GB VRAM hedefiyle patch/batch ayarlanabilir olmalıdır.	Eğitim konfigürasyonu ve GPU bellek logu.
NFR-05	Tekrarlanabilirlik	Aynı veri manifesti ve seed ile metrik farkı en fazla 0.01 mutlak değişim göstermelidir.	İki tekrarın metrik karşılaştırması.

ID	Kategori	Ölçülebilir Gerekseim	Doğrulama
NFR-06	Güvenilirlik	Bulutlu veya eksik dönemler hata vermeden kalite bayrağıyla işaretlenmelidir.	Eksik dönem test senaryosu.
NFR-07	Kullanılabilirlik	Teknik kullanıcı README adımlarını izleyerek örnek Ankara çalıştırmasını başlatabilmelidir.	Temiz ortamda kurulum denemesi.
NFR-08	Gizlilik ve güvenlik	Depoda kişisel veri, gizli belediye verisi veya lisansı belirsiz ham veri bulunmamalıdır [17], [18].	Depo veri denetimi ve .gitignore/manifest kontrolü.
NFR-09	Bakım yapılabirlik	Kod; veri, segmentasyon, etiketleme, tahmin ve görselleştirme modüllerine ayrılmış olmalıdır.	Modül yapısı ve temel birim testleri.
NFR-10	Şeffaflık	Her çıktı; veri kaynağı, model sürümü, tahmin ufku ve belirsizlik notuyla birlikte verilmelidir.	Rapor paketi kontrol listesi.

3.6 Sözde Gereksinimler / Kısıtlar

Bu bölüm teknoloji, platform ve süreç kısıtlarını tanımlar. Bunlar doğrudan kullanıcı işlevi değildir; ancak sistemin geliştirilmesi ve çalıştırılması için bağlayıcıdır.

ID	Kısıt	Açıklama
PR-01	Programlama dili	Ana geliştirme dili Python 3.9 veya üzeri olmalıdır.
PR-02	Derin öğrenme altyapısı	Segmentasyon ve tahmin modelleri PyTorch 2.0+ ile çalışmalıdır.
PR-03	Veri erişimi	Sentinel-2 L2A görüntüleri Google Earth Engine [14] veya eşdeğer açık veri erişim kanalıyla alınmalıdır.
PR-04	Coğrafi işleme	Raster ve vektör işlemlerinde rasterio, GeoPandas veya eşdeğer açık kaynak araçlar kullanılmalıdır.
PR-05	Çıktı formatları	Harita çıktıları GeoTIFF/PNG, tablo çıktıları CSV, rapor çıktıları Markdown/PDF formatında üretilebilir olmalıdır.
PR-06	Lisans	SSL4EO-S12 v1.1 [20], Sentinel [13], Google Earth Engine [14] ve kullanılan açık kaynak kütüphanelerin lisans şartları raporda ve depoda belirtilmelidir.
PR-07	MVP sınırı	Zorunlu teslim için tek hedef şehir Ankara'dır; ek şehirler kabul kriteri değildir.
PR-08	Kişisel veri	Varsayılan sistem kişi, adres, parsel sahibi veya bireysel başvuru verisi işlememelidir [17], [18].
PR-09	Donanım	Eğitim ve çıkarım, tek GPU iş istasyonu veya üniversite GPU kaynağına sığacak şekilde patch tabanlı çalışmalıdır.
PR-10	Resmi karar dışı kullanım	Sistem çıktıları resmi imar, ruhsat, kamulaştırma veya yatırım tavsiyesi olarak sunulmamalıdır; bu ilke mesleki etik kodlarıyla da uyumludur [15], [16].

4. Sistem Modelleri

Bu bölüm; kullanım senaryolarını, use case modelini, alan (domain) sınıf modelini, dinamik modelleri ve kullanıcı arayüzü taslaklarını içerir. Senaryolarda en az üç mutlu yol (happy path) ve bir hata yolu (exception path); dinamik modellerde en az iki sequence/activity diyagramı; arayüz bölümünde ise beş ve üzeri ekran taslağı sunulmaktadır.

4.1 Senaryolar

Senaryo S-01: Kent plancısının Ankara için gelecek yayılma tahmini alması

Tip: Hatasız senaryo

Birincil aktör: Kent plancısı

Ön koşul: Kullanıcı sistem arayüzüne erişebilir; Ankara AOI tanımlıdır; gerekli Sentinel-2 verisine erişim vardır.

1. Kullanıcı Ankara AOI ve 2016–2024 tarih aralığını seçer.

2. Sistem ilgili Sentinel-2 L2A görüntü listesini ve metadata bilgisini getirir.
3. Sistem görüntülerde bulut maskeleme, hizalama ve mevsimsel kompozit üretimi yapar.
4. Sistem her mevsim için uygun segmentasyon modelini seçer.
5. Sistem 9 sınıflı arazi örtüsü haritalarını üretir.
6. Sistem yapılaşmış alan, yeşil alan ve yeşil-bina oranı zaman serisini hesaplar.
7. Kullanıcı 1, 3 ve 5 yıllık tahmin ufuklarını seçer.
8. Sistem no-change, linear trend ve öğrenen model tahminlerini üretir.
9. Sistem harita, grafik, metrik tablosu ve belirsizlik notunu gösterir.

Sonuç: Kullanıcı Ankara için kentsel yayılma ve yeşil-bina oranı tahminini baseline karşılaştırmasıyla birlikte görür.

Senaryo S-02: Kullanıcının tahmin modelini baseline ile karşılaştırması

Tip: Hatasız senaryo

Birincil aktör: Kent plancısı veya araştırmacı

Ön koşul: Segmentasyon zaman serisi ve alan/oran CSV çıktısı üretilmiştir.

1. Kullanıcı test penceresini ve tahmin ufkunu seçer.
2. Sistem no-change baseline çıktısını üretir.
3. Sistem linear trend baseline çıktısını üretir.
4. Sistem LSTM veya seçili öğrenen modeli çalıştırır.
5. Sistem her model için MAE ve RMSE değerlerini hesaplar.
6. Sistem en iyi naif baseline'a göre iyileşme yüzdesini hesaplar.
7. Sistem model çıktısını grafik ve tablo halinde gösterir.

Sonuç: Kullanıcı öğrenen modelin baseline karşısındaki performansını sayısal olarak değerlendirir.

Senaryo S-03: Çıktı paketinin raporlanması ve dışa aktarılması

Tip: Hatasız senaryo

Birincil aktör: Kent plancısı

Ön koşul: Tahmin sonuçları ve metrikler üretilmiştir.

1. Kullanıcı çıktı paketini oluştur komutunu verir.
2. Sistem tahmin haritalarını PNG veya GeoTIFF olarak dışa aktarır.
3. Sistem zaman serisi ve metrik tablolarını CSV olarak dışa aktarır.
4. Sistem veri kaynağı, model sürümü, tahmin ufku, kalite bayrağı ve belirsizlik notlarını rapora ekler.
5. Sistem Markdown veya PDF rapor çıktısını oluşturur.

Sonuç: Kullanıcı paylaşılabılır ve izlenebilir bir karar destek çıktı paketine sahip olur.

Senaryo S-04: Bulut oranı yüksek dönem nedeniyle güvenilir kompozit üretilmemesi

Tip: Hatalı senaryo

Birincil aktör: Sistem

Ön koşul: Seçilen dönem için Sentinel-2 görüntüleri vardır; ancak bulut oranı yüksektir.

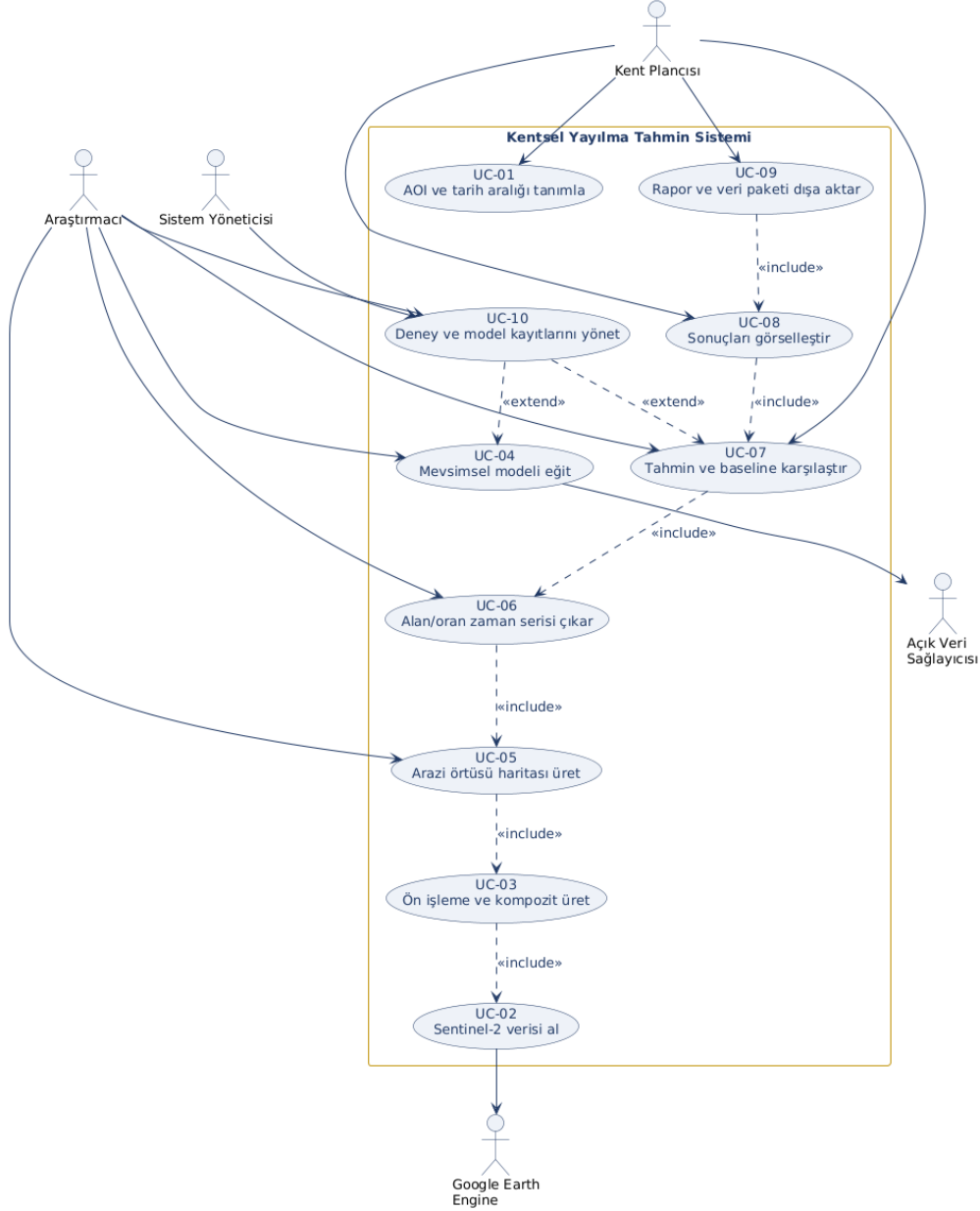
1. Sistem ilgili yıl/mevsim görüntülerini indirir veya listeler.
2. Bulut maskeleme sonucunda kullanılabilir piksel oranı kabul eşiğinin altına düşer.
3. Sistem dönemi düşük güvenli olarak işaretler.
4. Tahmin modülü bu dönemi doğrudan kesin veri gibi kullanmaz; kalite bayrağını model girdisine ve rapora taşır.

Sonuç: Sistem yanıltıcı kesin çıktı üretmez; eksik veya düşük kaliteli dönem kullanıcıya açıkça gösterilir.

4.2 Use Case Modeli

4.2.1 UML Use Case Diyagramı

Sistemin aktörleri; kent plancısı, araştırmacı, sistem yöneticisi ile dış sistemler olarak Google Earth Engine ve açık veri sağlayıcısıdır. On use case Şekil 2'de modellenmiştir; <<include>> ilişkileri veri hattındaki zorunlu ardışıklığı, <<extend>> ilişkileri ise deney/kayıt yönetiminin eğitim ve tahmin adımlarını genişletmesini gösterir.



Şekil 2. UML use case diyagramı.

4.2.2 Use Case Açıklamaları

UC-01 AOI ve tarih aralığı tanımla

Alan	Açıklama
Birincil aktör	Kent plancısı
Amaç	Analiz yapılacak alanı ve zamanı seçmek
Ön koşul	Kullanıcı arayüze erişmiştir

Alan	Açıklama
Ana akış	Kullanıcı Ankara AOI'yi ve tarih aralığını seçer; sistem seçimi doğrular
Alternatifler	Geçersiz AOI girilirse sistem hata mesajı verir
Son koşul	Geçerli analiz isteği oluşur

UC-02 Sentinel-2 verisi al

Alan	Açıklama
Birincil aktör	Sistem, Google Earth Engine
Amaç	İlgili görüntüleri ve metadata bilgisini almak
Ön koşul	AOI ve tarih aralığı geçerlidir
Ana akış	Sistem Sentinel-2 L2A koleksiyonunu sorgular ve görüntü listesini oluşturur
Alternatifler	API limiti veya bağlantı hatası olursa iş kuyruğa alınır
Son koşul	Görüntü manifesti oluşur

UC-03 Ön işleme ve kompozit üret

Alan	Açıklama
Birincil aktör	Sistem
Amaç	Analize hazır mevsimsel raster üretmek
Ön koşul	Görüntü manifesti vardır
Ana akış	Sistem bulut maskeleme, hizalama, band seçimi ve kompozit üretimi yapar
Alternatifler	Kullanılabilir piksel azsa düşük güven bayrağı eklenir
Son koşul	Kalite bayraklı kompozitler oluşur

UC-04 Mevsimsel modeli eğit

Alan	Açıklama
Birincil aktör	Araştırmacı
Amaç	Dört mevsim için segmentasyon modeli üretmek
Ön koşul	SSL4EO-S12 veri manifesti ve GPU vardır
Ana akış	Araştırmacı konfigürasyon seçer; sistem modeli eğitir ve metrikleri hesaplar
Alternatifler	Macro-F1 hedef altında kalırsa hata analizi oluşturulur
Son koşul	Model ağırlığı ve metrik raporu kaydedilir

UC-05 Arazi örtüsü haritası üret

Alan	Açıklama
Birincil aktör	Araştırmacı veya sistem
Amaç	Her kompozit için 9 sınıflı harita üretmek
Ön koşul	Kompozit ve model vardır
Ana akış	Sistem mevsime uygun modeli çalıştırır; sınıf haritası ve güven skoru üretir
Alternatifler	Model eksikse en yakın mevsim modeli kullanılmaz; kullanıcı uyarılır
Son koşul	Segmentasyon haritası kaydedilir

UC-06 Alan/oran zaman serisi çıkar

Alan	Açıklama
Birincil aktör	Sistem
Amaç	Tahmin için sayısal dizi üretmek
Ön koşul	Segmentasyon haritaları vardır
Ana akış	Sistem sınıf piksel alanlarını hesaplar; yeşil alan, yapılaşmış alan ve oranları çıkarır
Alternatifler	Eksik haritalar interpolasyon yerine eksik gözlem olarak işaretlenir
Son koşul	CSV zaman serisi oluşur

UC-07 Tahmin ve baseline karşılaştır

Alan	Açıklama
Birincil aktör	Kent plancısı veya araştırmacı
Amaç	Gelecek yayılma ve oran tahmini üretmek
Ön koşul	Zaman serisi vardır
Ana akış	Sistem no-change, linear trend ve öğrenen model çıktısını üretir; MAE/RMSE hesaplar
Alternatifler	Öğrenen model başarısızsa baseline sonuçları ve hata nedeni gösterilir
Son koşul	Karşılaştırmalı tahmin raporu oluşur

UC-08 Sonuçları görselleştir

Alan	Açıklama
Birincil aktör	Kent plancısı
Amaç	Harita ve grafiklerle sonucu incelemek
Ön koşul	Tahmin çıktısı vardır
Ana akış	Sistem harita katmanları, zaman serisi grafikleri ve metrik tablolarını gösterir
Alternatifler	Düşük güvenli dönemler görselde işaretlenir
Son koşul	Kullanıcı sonucu yorumlar

UC-09 Rapor ve veri paketi dışa aktar

Alan	Açıklama
Birincil aktör	Kent plancısı
Amaç	Paylaşılabilir çıktı üretmek
Ön koşul	Görselleştirme hazırdır
Ana akış	Sistem PNG, GeoTIFF, CSV ve rapor dosyalarını paketler
Alternatifler	Eksik veri varsa raporda uyarı bölümü zorunlu olur
Son koşul	İzlenebilir çıktı paketi oluşur

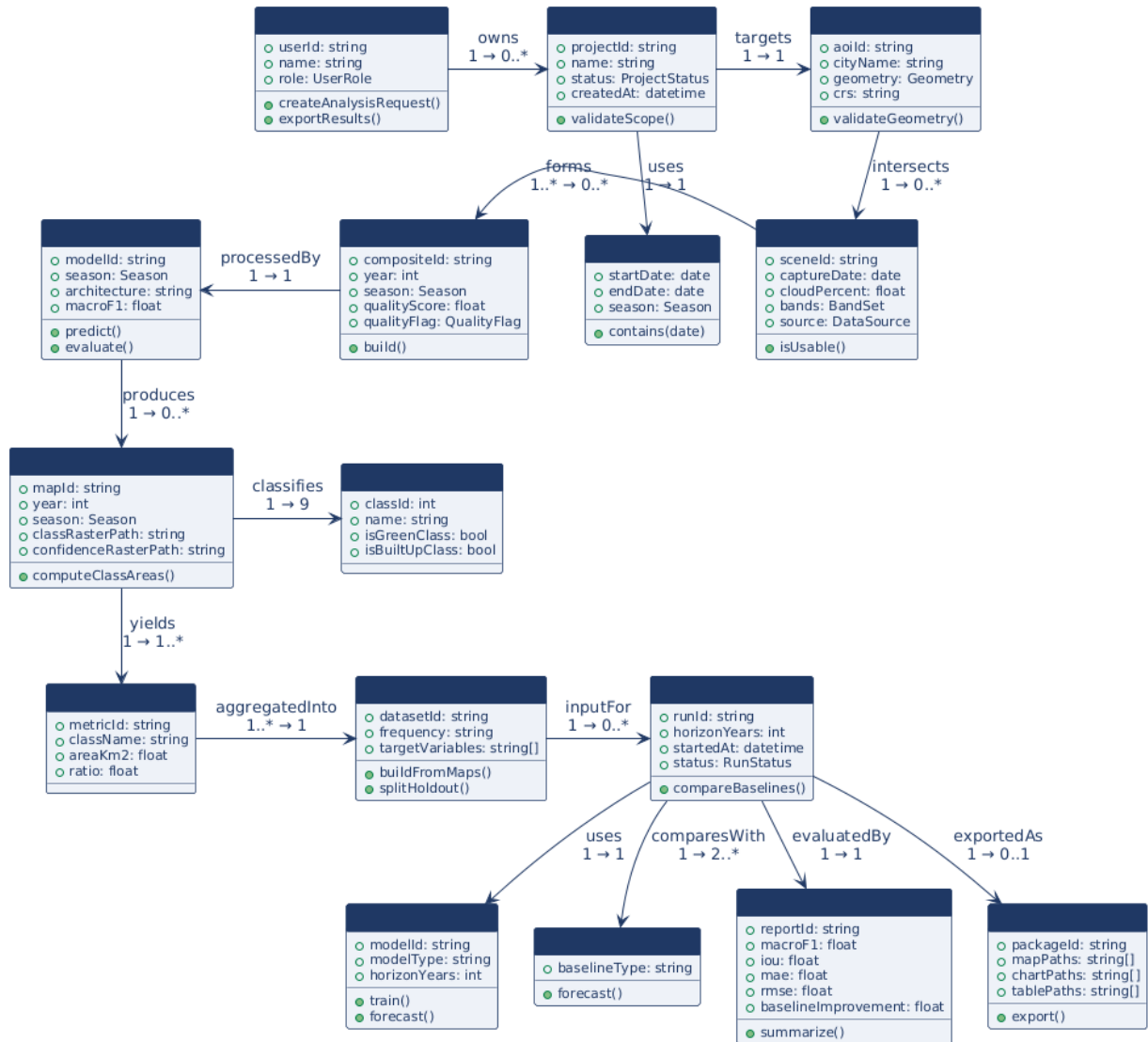
UC-10 Deney ve model kayıtlarını yönet

Alan	Açıklama
Birincil aktör	Araştırmacı, sistem yöneticisi
Amaç	Tekrarlanabilirliği sağlamak
Ön koşul	Deney çalıştırılmıştır

Alan	Açıklama
Ana akış	Sistem konfigürasyon, veri manifesti, seed, model sürümü ve metrikleri kaydeder
Alternatifler	Kayıt eksikse deney geçersiz sayılır
Son koşul	Deney izlenebilir hale gelir

4.3 Nesne ve Sınıf Modeli

Bu sınıf modeli bir veritabanı şeması değildir; sistemin alan (domain) kavramlarını ve bu kavramlar arasındaki iş mantığı ilişkilerini gösterir. Model (Şekil 3), analiz projesinden başlayarak uydu sahnesi, mevsimsel kompozit, segmentasyon haritası, alan metriği, zaman serisi veri kümesi ve tahmin çalışmasına uzanan üretim zincirini yansıtır.



4.3.1 Temel Domain Nesneleri

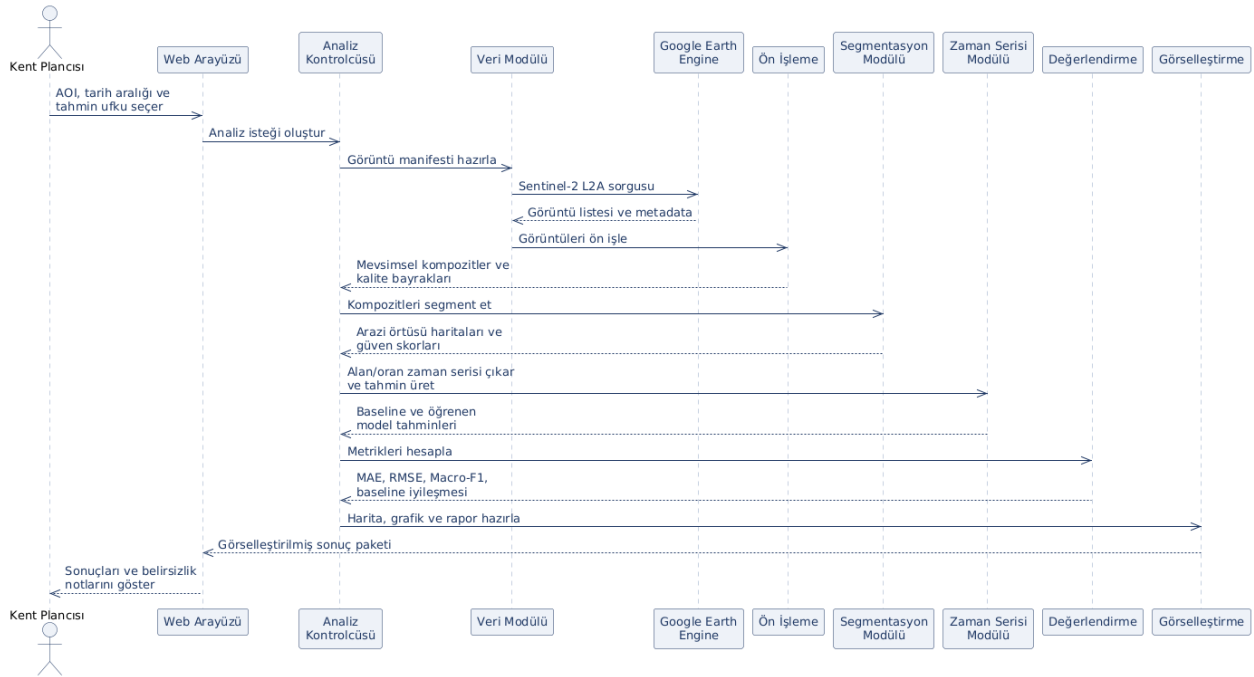
Nesne	Sorumluluk
User	Sistemle etkileşen kent plancısı, araştırmacı veya yöneticiyi temsil eder.

Nesne	Sorumluluk
AnalysisProject	Belirli AOI, tarih aralığı, model ve çıktı ayarlarını bir arada tutan analiz bağlamıdır.
AOI	Analiz yapılacak coğrafi sınırı temsil eder. MVP için Ankara'dır.
SatelliteScene	Sentinel-2 L2A görüntüsünü; çekim tarihi, band ve bulut bilgisiyle temsil eder.
SeasonalComposite	Bir yıl ve mevsim için bulut maskelenmiş, hizalanmış ve kalite bayraklı kompozittir.
SegmentationModel	Belirli mevsim için arazi örtüsü segmentasyonu yapan modeldir.
SegmentationMap	Her piksel için 9 sınıflı arazi örtüsü çıktısı ve güven skorunu taşır.
AreaMetric	Sınıf alanı, yapılaşmış alan, yeşil alan ve oran gibi hesaplanmış metrikleri temsil eder.
TimeSeriesDataset	Segmentasyon haritalarından çıkarılmış kronolojik sayısal dizidir.
ForecastRun	Seçili tahmin ufkü ve modelle yapılan tahmin çalışmasını temsil eder.
MetricReport	Segmentasyon ve tahmin başarımını ölçen rapordur.
VisualizationPackage	Harita, grafik, tablo ve rapor çıktılarını bir arada tutar.

4.4 Dinamik Modeller

4.4.1 Sequence Diagram: Uçtan Uca Tahmin İsteği

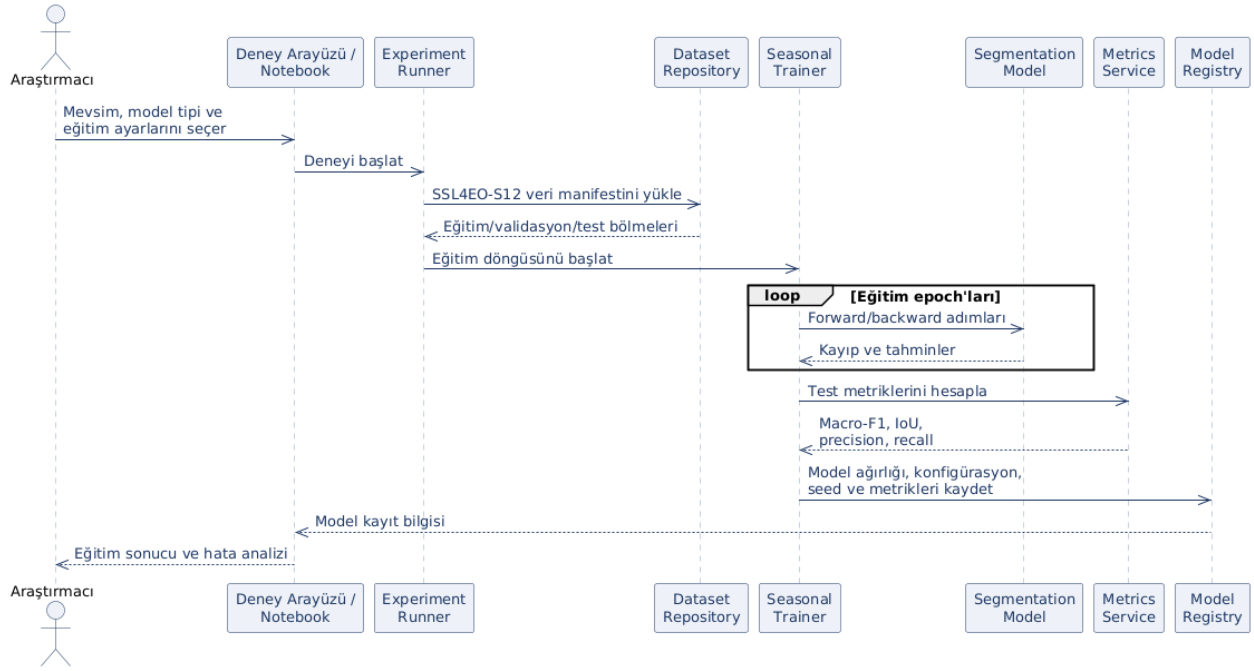
Aşağıdaki sıralama diyagramı (Şekil 4), kent plancısının bir tahmin isteğini başlatmasından sonuç paketinin gösterilmesine kadar olan mesaj akışını gösterir.



Şekil 4. Uçtan uca tahmin isteği sıralama diyagramı.

4.4.2 Sequence Diagram: Mevsimsel Segmentasyon Modeli Eğitimi

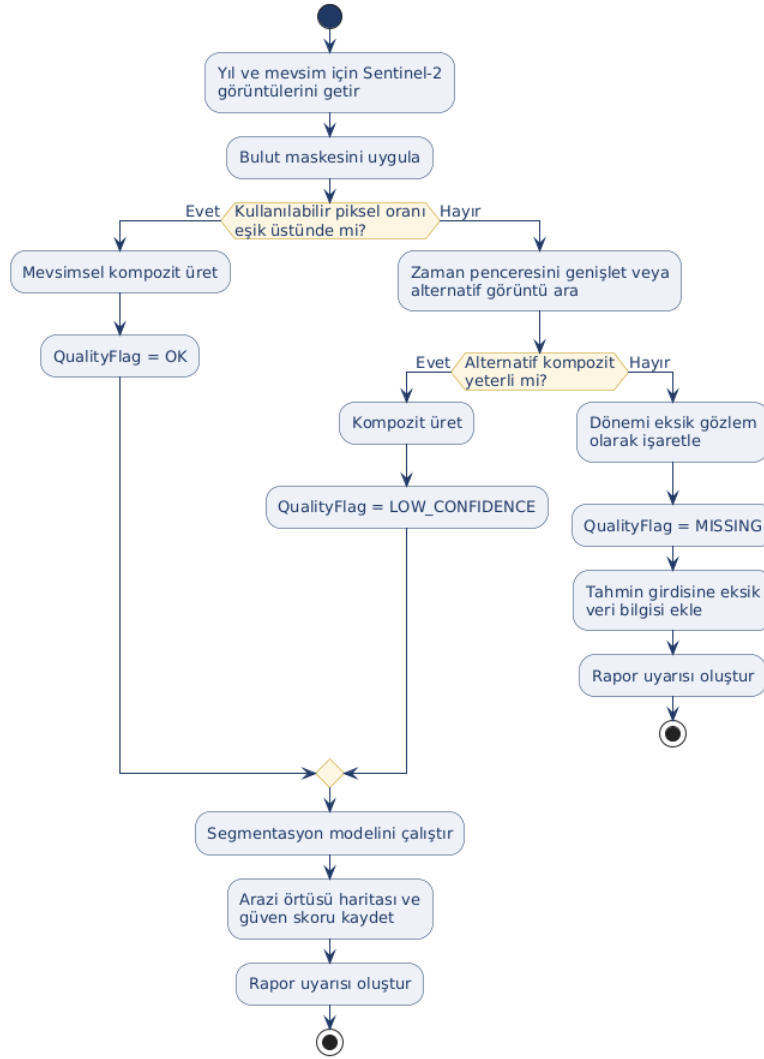
İkinci sıralama diyagramı (Şekil 5), araştırmacının bir mevsim modeli eğitim deneyini başlatmasını ve sonuçların model kayıt alanına yazılmasını modeller.



Şekil 5. Mevsimsel segmentasyon modeli eğitimi sıralama diyagramı.

4.4.3 Activity Diagram: Bulutlu Dönem ve Kalite Bayrağı İşleme

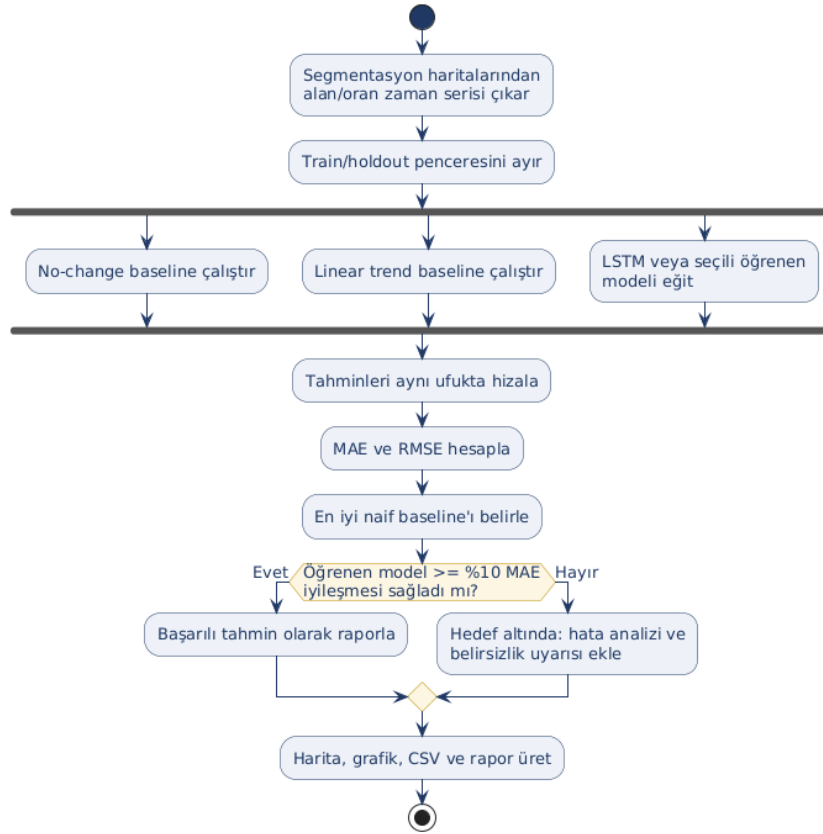
Bu etkinlik diyagramı (Şekil 6), S-05 senaryosundaki hata yolunun sistem içindeki karar noktalarını gösterir: kullanılabilir piksel oranı eşiğin altına düştüğünde sistem alternatif kompozit arar; o da yetersizse dönem eksik gözlem olarak işaretlenir ve rapor uyarısı üretilir.



Şekil 6. Bulutlu dönem ve kalite bayrağı işleme etkinlik diyagramı.

4.4.4 Activity Diagram: Tahmin ve Baseline Değerlendirme

Bu etkinlik diyagramı (Şekil 7), NFR-02 gereksinimindeki %10 MAE iyileşme eşiğinin tahmin hattında nasıl denetlendiğini gösterir.



Şekil 7. Tahmin ve baseline değerlendirme etkinlik diyagramı.

4.5 Kullanıcı Arayüzü: Navigasyon ve Taslaklar

Bu bölüm, analiz aşaması için düşük çözünürlüklü tel kafes (wireframe) taslakları içerir. Nihai görsel tasarım, High-Level Design aşamasında ayrıntılandırılacaktır. Toplam altı ekran taslağı sunulmaktadır.

4.5.1 Ekran Akışı

Kullanıcı; Dashboard'dan başlayarak AOI/tarih seçimi, veri kalitesi incelemesi, segmentasyon haritası, tahmin ayarları, sonuç karşılaştırması ve dışa aktarım ekranları arasında ilerler. Geri dönüş geçişleri, kullanıcının seçimlerini düzeltmesine olanak tanır.



Gri oklar: geri dönüş geçişleri

Şekil 8. Ekranlar arası navigasyon akışı.

4.5.2 Taslak 1: Dashboard

Giriş ekranı; mevcut projeleri, son analiz sonuçlarını ve sistem durum özetlerini tek bakışta sunar.

Kentsel Yayılma Tahmin Sistemi	
Projeler	Son analizler
[Yeni Ankara Analizi]	Ankara 2016-2024 - 5 yıl - Tamamlandı
[Kayıtlı Analizler]	Ankara 2018-2024 - 3 yıl - Düşük güven
[Model Kayıtları]	İlkbahar Segmentasyon v3 - Macro-F1 0.86
Durum: Veri erişimi OK GPU hazır Kişisel veri yok Lisans notu OK	

4.5.3 Taslak 2: AOI ve Tarih Seçimi

Analiz kapsamının (UC-01) tanımlandığı ekran; şehir, AOI kaynağı, tarih aralığı ve mevsim seçimlerini içerir.

AOI ve Tarih Aralığı	
Şehir:	[Ankara v]
AOI kaynağı:	[Belediye sınırı v]
Tarih aralığı:	[2016-01-01] - [2024-12-31]
Mevsimler:	[x] Kış [x] İlkbahar [x] Yaz [x] Sonbahar
Harita alanı	
Ankara sınırı, grid ve seçili çalışma alanı	
[Görüntüleri Listele] [Kaydet]	

4.5.4 Taslak 3: Veri Kalitesi ve Kompozitler

FR-02 ve FR-15 gereksinimleriyle uyumlu olarak her yıl/mevsim kompoziti için bulut oranı, kullanılabilir piksel oranı ve kalite bayrağı listelenir.

Veri Kalitesi ve Mevsimsel Kompozitler					
Yıl	Mevsim	Görüntü	Bulut %	Kullanılabilir piksel	Kalite
2016	İlkbahar	14	12	0.91	OK
2017	Kış	8	44	0.62	LOW_CONF.
2018	Yaz	18	6	0.96	OK
...	...	...	...	...	...
[Kompozit Önizle] [Düşük Güvenleri Filtrele] [Segmentasyona Geç]					

4.5.5 Taslak 4: Segmentasyon Haritası

Seçilen dönem için 9 sınıflı harita, model bilgisi ve güven skoru görselleştirmesi sunulur (UC-05, UC-08).

Segmentasyon Haritası	
Zaman: [2021 Yaz v]	Model: [Yaz Segmentasyon v2] Macro-F1: 0.87
Harita katmanı	Sınıf lejandı
9 sınıflı arazi örtüsü	Su
Güven skoru opaklık olarak gösterilir	Ağaç
	Ekin
	Otlak
	Yapılaşmış alan
[Alan Metriklerini Hesapla] [Hata Örneklerini Gör] [Tahmine Geç]	

4.5.6 Taslak 5: Tahmin Ayarları

FR-07, FR-08 ve FR-09 ile uyumlu olarak hedef değişkenler, tahmin ufukları, baseline ve öğrenen model seçimleri yapılır.

Tahmin Ayarları	
Hedef değişkenler:	☒ Yapılaşmış alan ☒ Yeşil alan ☒ Yeşil-bina oranı
Tahmin ufku:	☒ 1 yıl ☒ 3 yıl ☒ 5 yıl
Baseline:	☒ No-change ☒ Linear trend
Öğrenen model:	☒ LSTM v] Opsiyonel ileri model: [Mamba v]
Holdout penceresi:	[2022-2024]
Veri kalitesi özeti: 3 düşük güvenli dönem, 0 eksik dönem	
[Tahmini Çalıştır] [Konfigürasyonu Kaydet]	

4.5.7 Taslak 6: Sonuç ve Dışa Aktarım

Karşılaştırma tablosu, tahmin haritası ve zaman grafiği ile birlikte FR-14 kapsamındaki karar destek uyarısı bu ekranda kalıcı olarak yer alır. Tablodaki değerler örnek/temsilidir.

Sonuç ve Karşılaştırma				
Model	MAE yapı	MAE yeşil/bina	RMSE	Baseline iyileşmesi
No-change	0.084	0.097	0.11	-
Linear trend	0.071	0.083	0.09	Referans
LSTM	0.061	0.073	0.08	%14.1

2029 tahmini		Yeşil-bina oranı zaman grafiği	
Uyarı: Sonuçlar karar destek çıktısıdır; resmi imar kararı değildir.			
[PNG Dışa Aktar] [GeoTIFF Dışa Aktar] [CSV Dışa Aktar] [Rapor Oluştur]			

5. Gereksinim Takip Matrisi

Aşağıdaki matris, her use case'in hangi fonksiyonel, fonksiyonel olmayan ve sözde gereksinimleri karşıladığını izlenebilir biçimde eşler.

Use Case	İlgili Gereksinimler
UC-01 AOI ve tarih aralığı tanımla	FR-01, PR-07
UC-02 Sentinel-2 verisi al	FR-01, PR-03, PR-06
UC-03 Ön işleme ve kompozit üret	FR-02, FR-15, NFR-06
UC-04 Mevsimsel modeli eğit	FR-03, NFR-01, NFR-04, NFR-05
UC-05 Arazi örtüsü haritası üret	FR-04, FR-05, NFR-01
UC-06 Alan/oran zaman serisi çıkar	FR-06, A-03
UC-07 Tahmin ve baseline karşılaştır	FR-07, FR-08, FR-09, FR-10, NFR-02
UC-08 Sonuçları görselleştir	FR-11, FR-15, NFR-10
UC-09 Rapor ve veri paketi dışa aktar	FR-11, FR-14, PR-05, PR-10
UC-10 Deney ve model kayıtlarını yönet	FR-12, NFR-05, NFR-09

6. Risk ve Analiz Notları

Risk	Etki	Analiz Kararı
Sentinel-2 geçmişinin uzun vadeli tahmin için kısa kalması	Tahmin ufku güvenilirliği düşebilir	1, 3 ve 5 yıl ufukları ayrı raporlanır; GHSL/GISD30 [8], [9] yalnızca B planı veya karşılaştırma verisi olarak kullanılır.
Dynamic World [5] veya SSL4EO-S12 LULC etiket gürültüsü	Segmentasyon doğruluğu sınırlanabilir	Macro-F1 yanında sınıf bazlı hata analizi ve confusion matrix zorunlu tutulur.
Bulutlu dönemler	Zaman serisinde eksik veya düşük güvenli noktalar oluşur	Kalite bayrağı domain modeline ve arayüze ana kavram olarak eklenmiştir.
Mamba/TimesFM kurulum veya veri uygunluğu riski	İleri model çalışmayabilir	LSTM zorunlu minimum öğrenen modeldir; Mamba [11] ve TimesFM [12] opsiyonel ileri modellerdir.
Tahminlerin resmi karar gibi yorumlanması	Sosyal ve hukuki risk oluşur	Her rapor ve arayüz çıktısında karar destek ve belirsizlik uyarısı zorunludur [15], [16].
Kapsam genişlemesi	MVP teslimi riske girer	Ankara dışı şehirler, parsel düzeyi tahmin ve operasyonel servis kapsam dışı tutulmuştur.

7. Sözlük

Terim	Açıklama
AOI	Area of Interest. Analiz yapılacak coğrafi çalışma alanı. MVP için Ankara sınırı.
Sentinel-2 L2A	Avrupa Copernicus programına ait, yüzey yansıtımı seviyesinde çok bantlı uydu görüntüsü ürünü.
SSL4EO-S12	Yer gözlemi (Earth observation) için öz-gözetimli öğrenme çalışmalarında kullanılan çok modaliteli ve çok mevsimli veri seti.
LULC	Land Use / Land Cover. Arazi kullanımı / arazi örtüsü sınıfları.
Mevsimsel kompozit	Aynı yıl ve mevsimdeki birden fazla görüntünün bulut maskelenip birleştirilmesiyle oluşturulan raster.
Segmentasyon	Her pikselin belirli bir arazi örtüsü sınıfına atanması işlemi.
Macro-F1	Sınıf bazlı F1 skorlarının eşit ağırlıklı ortalaması. Sınıf dengesizliğinde daha açıklayıcıdır.
IoU	Intersection over Union. Tahmin edilen alan ile gerçek alanın kesişim/birleşim oranı.
MAE	Mean Absolute Error. Tahmin ve gerçek değer arasındaki ortalama mutlak hata.
RMSE	Root Mean Squared Error. Büyük hataları daha fazla cezalandıran hata metriği.
No-change baseline	Geleceğin son gözlenen durumla aynı kalacağını varsayan naif tahmin modeli.
Linear trend baseline	Geçmiş değişimin doğrusal eğilimle süreceğini varsayan naif tahmin modeli.
Yeşil alan	Ağaç, otlak, ekin ve su basmış bitki örtüsü sınıflarının toplamı olarak raporlanan gösterge.
Yapılaşmış alan	Built-up / yapılaşmış alan sınıfının toplam alanı.
Yeşil-bina oranı	Yeşil alanın yapılaşmış alana oranı veya raporda tanımlanan normalleştirilmiş karşılığı.
Kalite bayrağı	Kompozit veya tahmin çıktısının OK, LOW_CONFIDENCE veya MISSING gibi güven durumunu gösteren işaret.
GeoTIFF	Coğrafi referans bilgisi taşıyan raster görüntü dosya formatı.
Google Earth Engine	Uydu görüntüsü koleksiyonlarını sorgulamak ve işlemek için kullanılan bulut tabanlı platform.
Belirsizlik notu	Tahminin veri kalitesi, model başarımı ve tahmin ufkuna bağlı güven seviyesini açıklayan çıktı bölümü.

8. Kaynakça

- [1] Project Proposal, "Öz-Gözetimli Uydu Görüntü Segmentasyonu ve Zaman Serisi Modelleri ile Uzun Vadeli Kentsel Yayılma Tahmini," BİL/YAP 495, TOBB ETÜ, 21 Haziran 2026.
- [2] Project Specifications Report, "Öz-Gözetimli Uydu Görüntü Segmentasyonu ve Zaman Serisi Modelleri ile Uzun Vadeli Kentsel Yayılma Tahmini," BİL/YAP 495, TOBB ETÜ, 28 Haziran 2026.
- [3] A. Toker et al., "DynamicEarthNet: Daily Multi-Spectral Satellite Dataset for Semantic Change Segmentation," in Proc. IEEE/CVF Conf. Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2022, pp. 21126–21135, doi: 10.1109/CVPR52688.2022.02048.
- [4] Y. Wang, N. A. A. Braham, Z. Xiong, C. Liu, C. M. Albrecht, and X. X. Zhu, "SSL4EO-S12: A large-scale multimodal, multitemporal dataset for self-supervised learning in Earth observation," IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine, vol. 11, no. 3, pp. 98–106, 2023, doi: 10.1109/MGRS.2023.3281651.
- [5] C. F. Brown et al., "Dynamic World, Near real-time global 10 m land use land cover mapping," Scientific Data, vol. 9, art. 251, 2022, doi: 10.1038/s41597-022-01307-4.
- [6] Google Earth Engine Data Catalog, "Dynamic World V1." Accessed: Jul. 12, 2026. [Online]. Available: https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/GOOGLE_DYNAMICWORLD_V1
- [7] A. Van Etten, D. Hogan, J. Martinez-Manso, J. Shermeyer, N. Weir, and R. Lewis, "The Multi-Temporal Urban Development SpaceNet Dataset," in Proc. IEEE/CVF Conf. Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2021, pp. 6398–6407.
- [8] M. Pesaresi et al., "Advances on the Global Human Settlement Layer by joint assessment of Earth Observation and population survey data," International Journal of Digital Earth, vol. 17, no. 1, art. 2390454, 2024, doi: 10.1080/17538947.2024.2390454.
- [9] X. Zhang, L. Liu, T. Zhao, Y. Gao, X. Chen, and J. Mi, "GISD30: global 30 m impervious-surface dynamic dataset from 1985 to 2020 using time-series Landsat imagery on the Google Earth Engine platform," Earth System Science Data, vol. 14, pp. 1831–1856, 2022, doi: 10.5194/essd-14-1831-2022.
- [10] V. Sainte Fare Garnot and L. Landrieu, "Panoptic Segmentation of Satellite Image Time Series with Convolutional Temporal Attention Networks," in Proc. IEEE/CVF Int. Conf. Computer Vision (ICCV), 2021, pp. 4872–4881.
- [11] A. Gu and T. Dao, "Mamba: Linear-Time Sequence Modeling with Selective State Spaces," arXiv:2312.00752, 2023.
- [12] A. Das, W. Kong, R. Sen, and Y. Zhou, "A decoder-only foundation model for time-series forecasting," in Proc. 41st Int. Conf. Machine Learning (ICML), PMLR, vol. 235, pp. 10148–10167, 2024.
- [13] European Commission, "Legal notice on the use of Copernicus Sentinel Data and Service Information," Copernicus Climate Data Store. Accessed: Jul. 12, 2026. [Online]. Available: <https://cds.climate.copernicus.eu/licences/ec-sentinel>
- [14] Google, "Google Earth Engine Terms of Service." Accessed: Jul. 12, 2026. [Online]. Available: <https://earthengine.google.com/terms/>
- [15] Association for Computing Machinery, "ACM Code of Ethics and Professional Conduct." Accessed: Jul. 12, 2026. [Online]. Available: <https://www.acm.org/code-of-ethics>
- [16] IEEE, "IEEE Code of Ethics," IEEE Policies, Section 7.8. Accessed: Jul. 12, 2026. [Online]. Available: <https://www.ieee.org/about/corporate/governance/p7-8.html>
- [17] "6698 Sayılı Kişisel Verilerin Korunması Kanunu," Resmî Gazete, Sayı 29677, 7 Nisan 2016. Accessed: Jul. 12, 2026. [Online]. Available: <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuatmetin/1.5.6698.pdf>
- [18] European Union, "Regulation (EU) 2016/679 of the European Parliament and of the Council (General Data Protection Regulation)," Official Journal of the European Union, 2016. [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2016/679/oj/eng>

- [19] B. Blumenstiel, N. Ait Ali Braham, C. M. Albrecht, S. Maurogiovanni, and P. Fraccaro, "SSL4EO-S12 v1.1: A Multimodal, Multiseasonal Dataset for Pretraining, Updated," arXiv:2503.00168, 2025. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/2503.00168>
- [20] Embed2Scale, "SSL4EO-S12-v1.1," Hugging Face Datasets, CC-BY-4.0. Accessed: Jul. 12, 2026. [Online]. Available: <https://huggingface.co/datasets/embed2scale/SSL4EO-S12-v1.1>