



TOBB ETÜ
Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi

TOBB EKONOMİ VE TEKNOLOJİ ÜNİVERSİTESİ

Bilgisayar / Yapay Zekâ Mühendisliği

BİL 495 — YAP 495

High-Level Design Report

Yüksek Seviye Tasarım Raporu

Analiz modelinden sistem tasarım modeline geçiş — mimari, dağıtım, güvenlik

Proje Adı	Öz-Gözetimli Uydu Görüntü Segmentasyonu ve Zaman Serisi Modelleri ile Uzun Vadeli Kentsel Yayılma Tahmini
Takım Üyeleri	Mehmet Ali USLU (221101043) Kaan ARSLAN (231101036) Ömer Talha AKBULUT (221401005) Mete OKTAR (231101034) Efe Arda UZUNOVA (231101032)
Danışman	Toygar Akgün
Akademik Dönem	2026 Yaz Dönemi
Teslim Tarihi	6 Ağustos 2026

Document Status / Belge Durumu

Mimari karar: Bu rapor hedef sistemi tanımlar. Mevcut prototip yalnızca örnek görüntüleme ve ilkbahar Attention U-Net eğitim hattını içerir; hedef mimari, dört mevsim, Ankara zaman serisi, tahmin, güvenlik ve izlenebilirliği kapsar.

Alan	Değer
Belge	High-Level Design Report (HLD)
Sürüm	1.1 - kronolojik gereksinim uyum revizyonu
Kapsam	Ankara MVP; 2016-2024 Sentinel-2 L2A; 1/3/5 yıllık tahmin ufukları
Kaynak gereksinimler	Proposal → Specification → Analysis → PKE; çakışmada en son belge geçerli [1]-[4]
Mimari yaklaşım	Modüler monolit + asenkron CPU/GPU workers + ayrıştırılmış veri katmanı
Onay durumu	Ders teslimi için hazırlanmıştır; uygulama ayrıntıları LLD'de kesinleştirilir

Table of Contents / İçindekiler

Bölüm	İçerik
1. Introduction	Amaç, kapsam, varsayımlar, tasarım hedefleri ve kısaltmalar
2. Current architecture	Çalışan Flask görüntüleyici ve PyTorch eğitim prototipi; boşluk analizi
3. Proposed architecture	Bileşenler, dağıtım, kalıcılık, güvenlik, global kontrol ve boundary conditions
4. Subsystem services	Servis sözleşmeleri ve HLD-LLD izlenebilirlik matrisi
5. Glossary	Mimari, yer gözlem ve operasyon terimleri
Appendix A-B	Mimari karar kayıtları ve rubric uyum kontrolü
6. References	Proje belgeleri, teknik kaynaklar, standartlar ve mevzuat

1. Introduction / Giriş

1.1 Purpose of the system

Make No Mistake projesinin amacı, çok zamanlı Sentinel-2 uydu görüntülerinden arazi örtüsü haritaları üreterek Ankara'nın uzun vadeli kentsel yayılmasını ve yeşil alan-yapılaşmış alan dengesini tahmin eden, belirsizliği görünür kılan akademik bir karar destek prototipi geliştirmektir. Sistem resmi imar kararı vermez; farklı model ve zaman ufuklarını aynı veri kökeni üzerinde karşılaştırılabilir biçimde sunar. MVP'nin birincil kullanıcısı proje ekibindeki teknik operatördür; kent plancıları ve araştırmacılar üretilen raporların hedef okuyucusudur. Gereksinim kapsamı; veri edinimi, ön işleme, dört mevsimsel segmentasyon modeli, alan/oran çıkarımı, iki naif baseline, zorunlu LSTM, değerlendirme, görselleştirme ve tekrarlanabilir deney kaydını içerir [3], [4].

Zorunlu MVP Ankara alanı ve 2016-2024 Sentinel-2 L2A dönemiyle sınırlıdır. Her yıl ve mevsim için bulut maskeli, hizalanmış kompozitler hazırlanır; dokuz sınıflı arazi örtüsü haritası ile sınıf güvenleri üretilir. Yapılaşmış alan, yeşil alan ve yeşil-bina oranı kronolojik göstergelere dönüştürülür. Tahmin katmanı 1, 3 ve 5 yıllık ufuklarda no-change, doğrusal eğilim ve LSTM sonuçlarını karşılaştırır. Mamba veya TimesFM yalnızca veri uzunluğu, kurulum maliyeti ve doğrulama başarısı izin verirse eklenir; başarısız entegrasyon MVP'yi engellemez [3].

Bu HLD, analiz modelindeki aktör ve gereksinimleri sistem tasarım kararlarına dönüştürür. Belge sınıf, fonksiyon veya değişken imzası vermez; sorumluluk sınırlarını, bileşenler arası veri akışını, kalıcılık modelini, dağıtımı, güvenliği ve hata kurtarma politikasını tanımlar. Her HLD bileşeni LLD paketlerine izlenebilir biçimde bağlanmıştır. Böylece LLD sırasında iç uygulama ayrıntıları değişse bile veri sözleşmeleri, sahiplik ve kalite kapıları sabit kalır [5].

1.2 Scope, stakeholders and assumptions

Boyut	HLD kararı	Kapsam dışı / sınır
Coğrafya	MVP Ankara AOI; PostGIS geometry ile sürümlenir	Küresel hizmet ve parsel/bina düzeyi karar
Zaman	Ana gözlem dönemi 2016-2024; 1/3/5 yıl tahmin	Belirsizliği gizleyen çok uzun ufuk tahmini
Veri	Ana seri: Sentinel-2 L2A ve SSL4EO-S12 v1.1; GHSL/GISD30 yalnız bağımsız karşılaştırma	GHSL/GISD30'u ana Sentinel serisine eklemek; kökeni belirsiz veri
Model	Dört mevsimsel segmentasyon modeli; baseline + LSTM	Tek model sonucunu resmi gerçek olarak sunma
Kullanım	Ücretsiz akademik prototip ve karar desteği	Ücretli/operasyonel belediye hizmeti; resmi imar, ruhsat veya yatırım tavsiyesi
Çalıştırma	Tek GPU iş istasyonu/kampüs sunucusu; konteynerli servisler	İlk teslimde çok bölgeli yüksek erişilebilirlik

Analiz ve PKE kararına göre varsayılan MVP kişisel veri işlemez: uygulama kullanıcı profili, OIDC subject, IP adresi, kişi, açık adres, parsel sahibi veya bireysel başvuru kaydetmez. Erişim, tek teknik operatörlü akademik kurulumda işletim sistemi/kampüs ağı/reverse proxy kapısında doğrulanır; uygulamaya yalnız kısa ömürlü ve kişiyi tanımlamayan bir oturum veya yetenek kapsamı aktarılır. Kişisel ya da belediyeye özel katman eklemek kapsam değişikliğidir ve PKE, hukuki/etik değerlendirme ile saklama politikasının yeniden onayını gerektirir [3], [4].

1.3 Design goals and trade-offs

Aşağıdaki hedefler aynı anda en üst düzeye çıkarılamaz. Mimari, çelişen hedeflerde hangi tarafın seçildiğini ve hangi telafi mekanizmasının kullanıldığını açıkça kaydeder. Kararlar, NFR-01..NFR-10 ile doğrudan ilişkilidir ve kalite nitelikleri ISO/IEC 25010 ürün kalite modeliyle uyumlu ele alınır [6].

ID	Tasarım hedefi	Çatışma	Tercih ve gerekçe
DG-01	Tekrarlanabilirlik	Maksimum eğitim hızı	Manifest, seed, config hash, kod/model sürümü ve artifact checksum zorunlu; küçük kayıt maliyeti kabul edilir.
DG-02	Modülerlik	Operasyonel sadelik	Mikroservis yerine modüler monolit; GPU/uzun işler süreç olarak ayrılır. Beş kişilik ekip için tek kod tabanı daha düşük işletim riski taşır.
DG-03	Güvenilirlik	Hızlı başarısız olma	Geçici dış servis hataları retry/circuit breaker ile tolere edilir; doğrulama, yetki ve veri bütünlüğü hataları hemen durdurulur.
DG-04	Coğrafi doğruluk	Depolama ve işlem maliyeti	CRS, piksel çözünürlüğü, AOI ve kalite metadata'sı korunur; büyük rasterler DB yerine nesne deposunda tutulur.
DG-05	Açıklanabilir sonuç	Model karmaşıklığı	Baseline karşılaştırması, sınıf/ufuk metrikleri ve belirsizlik notu zorunlu; ileri model ancak ölçülebilir kazançla kabul edilir.
DG-06	Gizlilik ve güvenlik	Kullanım kolaylığı	MVP kişisel veri tutmaz; host/kampüs erişim kapısı, kısa ömürlü capability, servis kimliği, en az ayrıcalık ve kimliksiz audit uygulanır.
DG-07	Tek GPU'ya sığma	Maksimum model kapasitesi	Patch/batch ayarlanabilir, AMP ve checkpoint kullanılır; NFR-04 gereği 16 GB VRAM üstü varsayılmaz.
DG-08	Taşınabilirlik	Sağlayıcıya özgü optimizasyon	GEE, dosya sistemi ve S3 erişimi adapter sözleşmeleriyle soyutlanır; veri kökeni kaydı sağlayıcıdan bağımsızdır.
DG-09	Şeffaflık	Arayüz sadeliği	Kullanıcıya özet kalite gösterilir; ayrıntılı provenance ve metrikler indirilebilir raporda sunulur.

Öncelik sırası: Veri bütünlüğü ve izlenebilirlik > güvenlik > güvenilirlik > doğruluk hedefi > performans > özellik genişliği. Bu sıra, teslim baskısında kalite bayraklarının veya audit kayıtlarının kapatılmasını engeller.

DG-02 en kritik yapısal karardır. Sistem bağımsız ölçeklenebilen işler içerdiği için doğrudan mikroservis seçmek cazip görünür; ancak ilk teslim tek şehir, tek GPU ve sınırlı eşzamanlı kullanıcı yükündedir. Ayrı dağıtılan çok sayıda servis; dağıtık işlem, sözleşme sürümleme, gözlemlenebilirlik ve güvenlik yükünü artırır. Modüler monolit, aynı işlem sınırında tutarlı metadata değişiklikleri sağlar. Kuyruklanan worker sözleşmeleri ve ayrık artifact store sayesinde gelecekte veri edinimi veya GPU inference bileşeni ayrı servise çıkarılabilir.

1.4 Definitions / Acronyms / Abbreviations

Kısaltma	Açılım / anlam	Bu rapordaki kullanım
AOI	Area of Interest	Analiz edilecek coğrafi sınır; MVP'de Ankara.
L2A	Level-2A surface reflectance	Atmosferik düzeltmesi yapılmış Sentinel-2 ürünü.
LULC	Land Use / Land Cover	Dokuz sınıflı arazi örtüsü taksonomisi.
HLD / LLD	High-Level / Low-Level Design	Mimari kararlar / ayrıntılı sınıf, akış ve konfigürasyon tasarımı.
Capability	Kapsamlı kısa ömürlü yetki	Kişiyi tanımlayan hesap kaydetmeden proje/job işlemlerini sınırlar.
RPO / RTO	Recovery Point / Time Objective	Kurumca doğrulanacak yedekleme tasarım varsayımları; MVP kabul şartı değildir.
CRS	Coordinate Reference System	Raster ve geometri hizalamasının koordinat referansı.
PITR	Point-in-Time Recovery	PostgreSQL WAL arşiviyle belirli ana dönme.

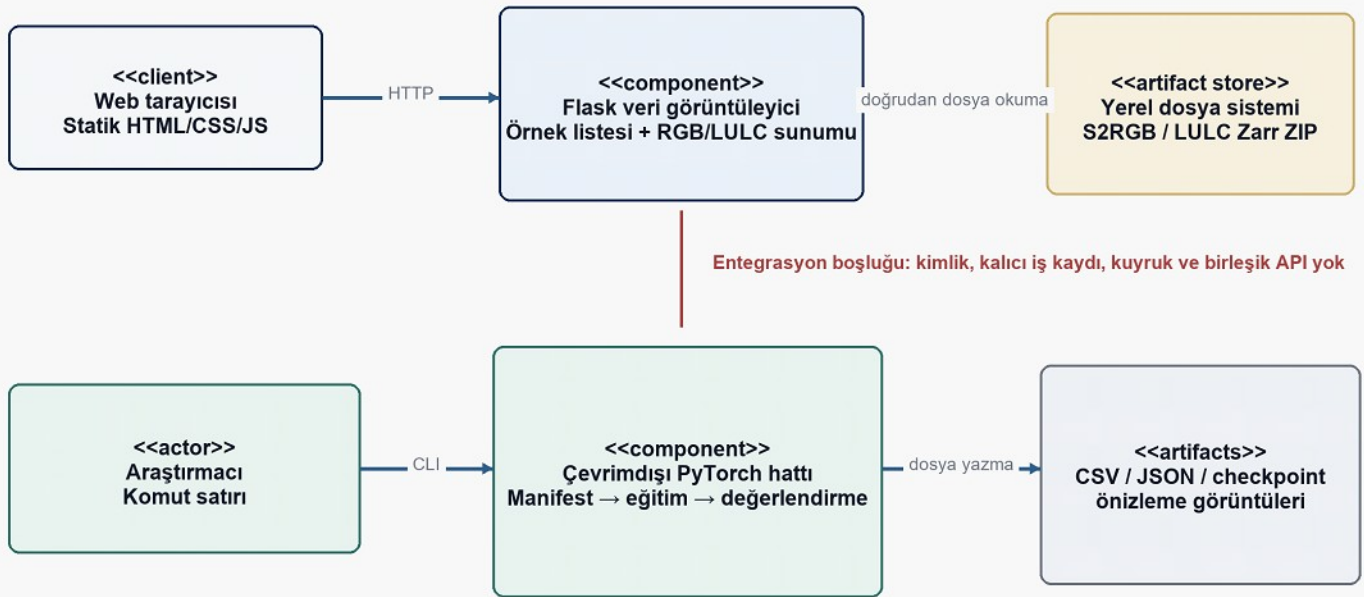
2. Current software architecture

Depodaki çalışan prototip iki paralel parçadan oluşur. Birinci parça, statik HTML/CSS/JavaScript arayüzü sunan Flask uygulamasıdır. Uygulama yerel S2RGB ve LULC Zarr ZIP dosyalarını doğrudan açar, örnekleri listeler ve ilk zaman adımına ait RGB ile renklenmiş arazi örtüsü görsellerini HTTP üzerinden sunar. İkinci parça, SSL4EO-S12 v1.1 verisinden mevsim konumunu tarihe göre seçen, deterministik manifest hazırlayan ve ilkbahar Attention U-Net modelini eğiten çevrimdışı PyTorch hattıdır. Bu mevcut-durum tespiti 6 Ağustos 2026 tarihli çalışma alanı kaynak kodu incelemesine dayanır [7]; veri setinin özgün ve v1.1 yayınları ile dağıtım kaydı [8]-[10], Sentinel-2 ürün tanımları [11], [12], Attention U-Net mimarisi [13], Flask ve PyTorch teknik davranışları ise ilgili birincil dokümantasyonlarla desteklenir [14], [15].

Mevcut veri hazırlama akışı 2.560 eşleşmiş örneği lokasyon bazında 2.048 eğitim, 256 doğrulama ve 256 test kaydına ayırır; seed=42 kullanır. Sınıf etiketi 0 No Data olarak yok sayılır, kaynak etiketleri 1.9 eğitimde 0..8 aralığına dönüştürülür. Eğitim hattı bileşik cross-entropy + Dice kaybı, sınıf ağırlıkları, AMP, erken durdurma, gradient clipping, en iyi/son checkpoint ve Macro-F1/Macro-IoU/piksel doğruluğu raporlamasını içerir. Sayılar ve gerçekleştirilmiş davranışlar proje kaynak kodu, manifest ve eğitim artefactlarının anlık görüntüsünden alınmıştır [7]; AMP ve checkpoint mekanizmalarının platform anlamı PyTorch belgeleriyle doğrulanır [15]. Bunlar hedef mimaride korunacak güçlü izlenebilirlik ve değerlendirme çekirdeğidir; ancak yalnız ilkbahar modeli gerçekleştirilmiştir.

Mevcut Yazılım Mimarisi

Çalışan prototip: görüntüleme ve eğitim hatları henüz tek bir iş akışında birleşmiyor



Şekil 1. Mevcut prototip mimarisi ve iki hat arasındaki entegrasyon boşluğu.

2.1 Current component responsibilities

Mevcut parça	Sorumluluk	Kalıcı çıktı	HLD açısından boşluk
Flask web uygulaması	Örnek listeleme ve RGB/LULC görüntüsü sunma	Yok; doğrudan dosya okur	Kimlik, proje, iş durumu, kota, audit ve hata sözleşmesi yok
Statik web arayüzü	Lokasyon seçimi ve iki görselin karşılaştırılması	Tarayıcı durumu	AOI/tarih/model seçimi, iş takibi, kalite ve belirsizlik ekranları yok
Veri hazırlama	Eşleşme, mevsim seçimi, split ve	CSV manifest + JSON	Merkezi provenance/model

Veri hazırlama	Eşleşme, mevsim seçimi, split ve istatistik	CSV manifest + JSON istatistik	Merkezi provenance/model registry ile bağlı değil
Attention U-Net eğitimi	İlkbahar dokuz sınıflı segmentasyon	Checkpoint, history, metrics, preview	Diğer mevsimler, merkezi job state ve artifact kayıtları yok
Yerel dosya sistemi	Zarr, CSV, JSON ve model dosyaları	Dosya yolları	Sürümleme, checksum zorunluluğu, retention ve backup politikası yok

2.2 Risks in the current architecture

- Web süreci büyük Zarr dosyalarını isteğin yaşam süresinde açtığı için yavaş veya bozuk dosya tüm HTTP yanıtını etkiler; iş izolasyonu ve backpressure yoktur.
- Model ve veri kökeni dosya adlarına dağılmıştır. Aynı çıktı hangi manifest, konfigürasyon ve kod sürümüyle üretildi sorusu merkezi olarak cevaplanamaz.
- Dosya sistemi hem sistem kaydı hem artifact deposu gibi kullanılır; atomik proje durumu, erişim yetkisi, kullanım kotası ve saklama süresi uygulanamaz.
- Dış sağlayıcı hataları, GPU OOM, disk dolması ve kısmi çıktı için tutarlı retry, cleanup veya resume politikası bulunmaz.
- CORS genel olarak açıktır; AuthN/AuthZ, TLS sonlandırma, secrets yönetimi, audit logging ve güvenlik başlıkları hedef dağıtıma bırakılmıştır.
- Mevcut UI gerçek etiket görüntüler; üretilen model tahmini, belirsizlik, baseline ve karar destek uyarısı uçtan uca sunulmaz.

Bu eksikler prototipin yanlış olduğu anlamına gelmez. Mevcut yapı veri biçimini, eğitim hattını ve temel görselleştirmeyi doğrulayan bir keşif mimarisidir. Önerilen tasarım bu kodu çöpe atmaz: veri hazırlama, model, loss, metric ve önizleme sorumluluklarını worker bileşenlerine taşır; Flask sunum katmanını ise kimlikli API ve orkestrasyon sınırı içinde yeniden konumlandırır.

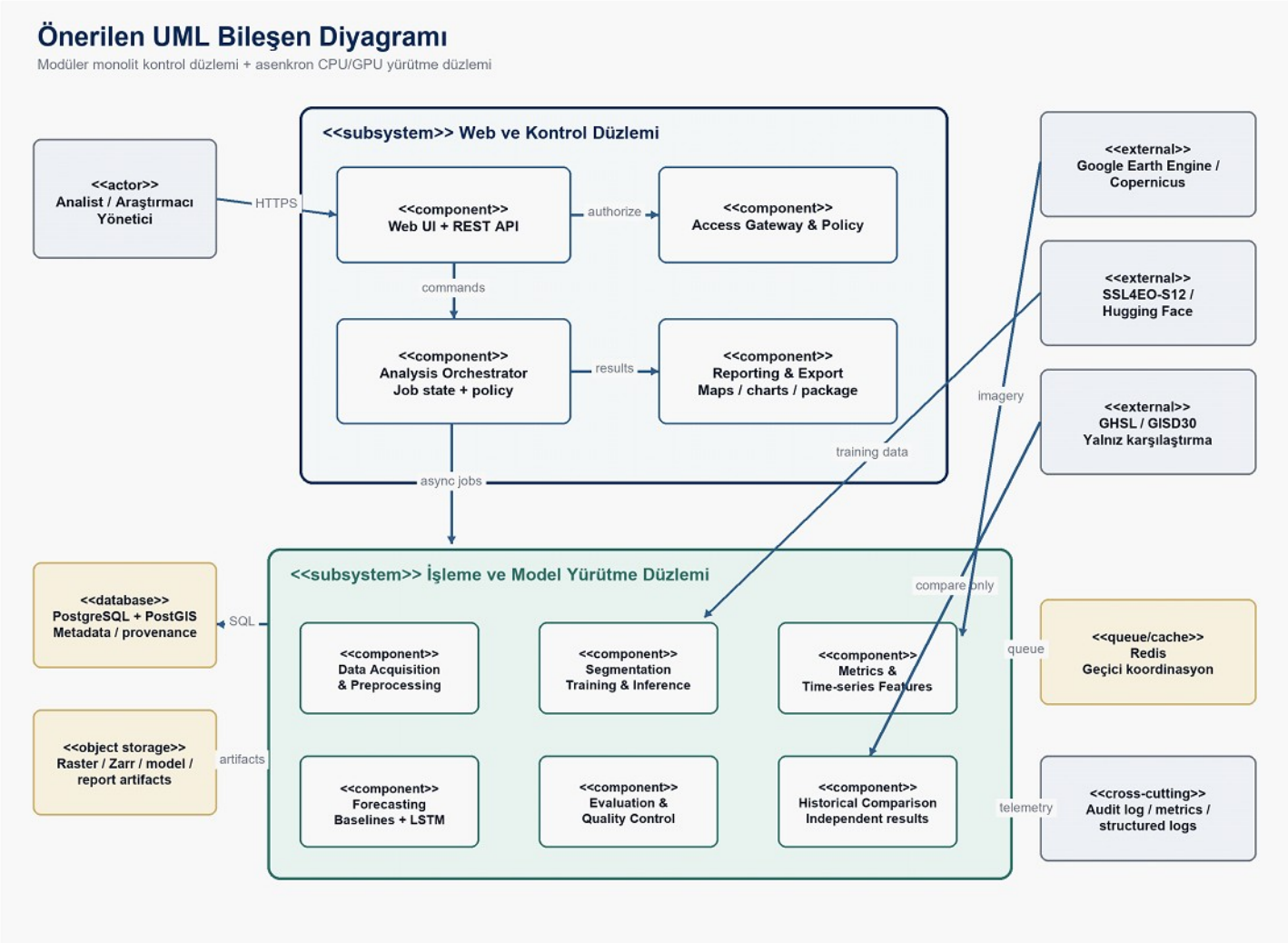
3. Proposed software architecture

3.1 Overview

Önerilen sistem üç mantıksal düzleme ayrılır. Web ve kontrol düzlemi kullanıcı etkileşimi, kişiyi tanımlamayan erişim kapsamı, proje/iş yaşam döngüsü, politika ve sonuç paketlemesini yürütür. İşleme düzlemi ana Sentinel veri edinimi, ön işleme, segmentasyon, alan metriği, zorunlu LSTM tahmini ve değerlendirmeyi CPU/GPU worker süreçlerinde çalıştırır; GHSL/GISD30 karşılaştırması ayrı bir bileşen ve sonuç alanıdır. Veri düzlemi ilişkisel metadata ve geometriyi PostgreSQL/PostGIS'te, büyük ikili artifactleri S3 uyumlu nesne deposunda, geçici kuyruk ve kısa ömürlü cache bilgisini Redis'te tutar. Bu ayırım tek dağıtımda modüler monolit sadeliğini korurken uzun işlerin HTTP sürecini bloke etmesini önler. Queue ve retry davranışı Redis ile Celery'nin sürümlü dokümantasyonuna göre sınırlandırılır [16], [17].

Sistem kaydı (system of record) PostgreSQL'dir. Bir işin oluşturulduğu, hangi girdileri kullandığı, hangi aşamada olduğu ve hangi artifactleri ürettiği veritabanında transaction ile kaydedilir. Redis yalnız teslimat mekanizmasıdır; mesaj kaybı kalıcı iş kaybına dönüşmez. Raster, Zarr, checkpoint ve rapor gibi büyük nesneler veritabanı içine blob olarak yazılmaz. Her nesnenin URI, boyut, medya türü, SHA-256 sağlama toplamı, üretici iş ve saklama politikası metadata olarak tutulur [16], [18], [19].

Mimari stil: Modüler monolit + durable job state + asenkron workers. Mikroservis sınırları şimdiden bileşen sözleşmeleriyle belirlenir, ancak bağımsız dağıtım ancak gerçek ölçek, ekip veya güvenlik ihtiyacı kanıtlandığında yapılır.



Şekil 2. Önerilen UML bileşen diyagramı ve temel bağımlılıklar.

3.1.1 Architectural decisions

Karar	Seçim	Reddedilen alternatif	Gerekçe / sonuç
AD-01	Modüler monolit + workers	Başlangıçtan mikroservis	Daha az dağıtık karmaşıklık; işlem ve GPU izolasyonu korunur.
AD-02	PostgreSQL + PostGIS	Yalnız SQLite veya document DB	ACID, ilişkisel join, mekânsal indeks ve olgun backup/PITR.
AD-03	Object storage	Raster/checkpoint'i DB BLOB	Büyük ve değişmez artifactlerde ucuz ölçek, checksum ve yaşam döngüsü.
AD-04	Redis tabanlı queue	HTTP içinde uzun iş	Backpressure, retry, worker ölçekleme ve kullanıcıya 202/job-id yanıtı.
AD-05	Host/kampüs erişim kapısı + capability	Uygulama içi hesap veya kalıcı OIDC subject	MVP kişisel veri tutmaz; proje/job kapsamı kısa ömürlü yetki ve servis kimliğiyle uygulanır.
AD-06	Konteynerli tek-host temel	İlk günden Kubernetes	Ders/MVP ölçeğinde basit işletim; imaj taşınabilirliği korunur.

3.1.2 End-to-end data flow

1. Teknik operatör host/kampüs ağı/reverse proxy erişim kapısından geçer, Ankara AOI/tarih aralığını ve iş türünü seçer. API kısa ömürlü capability kapsamını doğrular; kişisel kimlik kaydetmeden AnalysisProject ve JobRun kayıtlarını tek transaction içinde oluşturur.
2. Orchestrator girdi sözleşmesini doğrular, idempotency anahtarını üretir ve işi kuyruğa bırakır. HTTP yanıtı iş kimliği ve durum adresiyle hemen döner.
3. Primary Sentinel Acquisition adapter'ı GEE/Copernicus veya yerel manifest üzerinden yalnız ana Sentinel-2 sahnelerini listeler; lisans, provider, çekim tarihi, bulut oranı ve kaynak kimliğini kaydeder.
4. Preprocessing worker bulut maskesi, 10 m hizalama, band seçimi ve mevsimsel kompozit üretir. Alan hesapları öncesinde geometri ve raster deterministik olarak Ankara AOI'sine uygun eş-alan CRS'ye dönüştürülür; kaynak CRS, analiz CRS, dönüşüm ve grid sürümü kaydedilir.
5. Segmentation worker mevsime uygun model sürümünü seçer; dokuz sınıflı harita, sınıf olasılığı/güven özeti ve model-version bağlantısı üretir.
6. Metrics bileşeni yeşil alanı Tree + Grass + Crops + Flooded Vegetation toplamı olarak hesaplar; yapılaşmış alanı ve green_area/built_up_area oranını açık birim/denominator ile kronolojik ana TimeSeriesDataset kaydına dönüştürür. Built-up sıfırda oran tanımsız ve bayraklıdır.
7. Forecasting bileşeni no-change, linear trend ve zorunlu LSTM'i aynı holdout penceresinde çalıştırır; 1/3/5 yıl ufukları, MAE/RMSE ve baseline iyileşmesini kaydeder. LSTM çalışmazsa ana koşu PUBLISHED olamaz; baseline çıktıları yalnız tanısallı taslaktır.
8. Historical Comparison bileşeni GHSL/GISD30 verisini ayrı ComparisonRun ve sonuç namespace'inde işler; bu veriler ana Sentinel TimeSeriesDataset veya ForecastRun girdisine hiçbir koşulda eklenmez, birleştirilmez ya da yeniden kalibre edilmez.
9. Reporting bileşeni harita, grafik, tablo, provenance manifesti, bulut/eksik dönem bilgisi, hata analizi ve düşük performanslı sınıf örneklerini paketler. Kaynak/lisans bildirimleri ve 'resmi karar değildir' uyarısı eksikse PUBLISHED geçişi reddedilir.

Her aşama bir önceki aşamanın artifact URI'sını ve SHA-256 değerini girdi olarak alır. İşin tekrar çalıştırılması aynı girdileri değiştirmez; yeni model veya konfigürasyon yeni bir run ve yeni artifact sürümü oluşturur. Bu immutability yaklaşımı hem deney tekrarlanabilirliğini hem audit incelemesini kolaylaştırır.

3.2 Subsystem decomposition

Alt sistem sınırları veri sahipliği, hata alanı ve değişim nedeni temelinde çizilmiştir. UI yalnız sunum ve kullanıcı komutlarını; orchestrator yalnız durum/politika akışını; bilimsel workerlar yalnız deterministik veri/model dönüşümlerini üstlenir. Bir bileşenin doğrudan başka bileşenin veritabanı tablolarını değiştirmesi yasaktır; değişiklik orchestrator veya tanımlı repository sözleşmesi üzerinden yapılır.

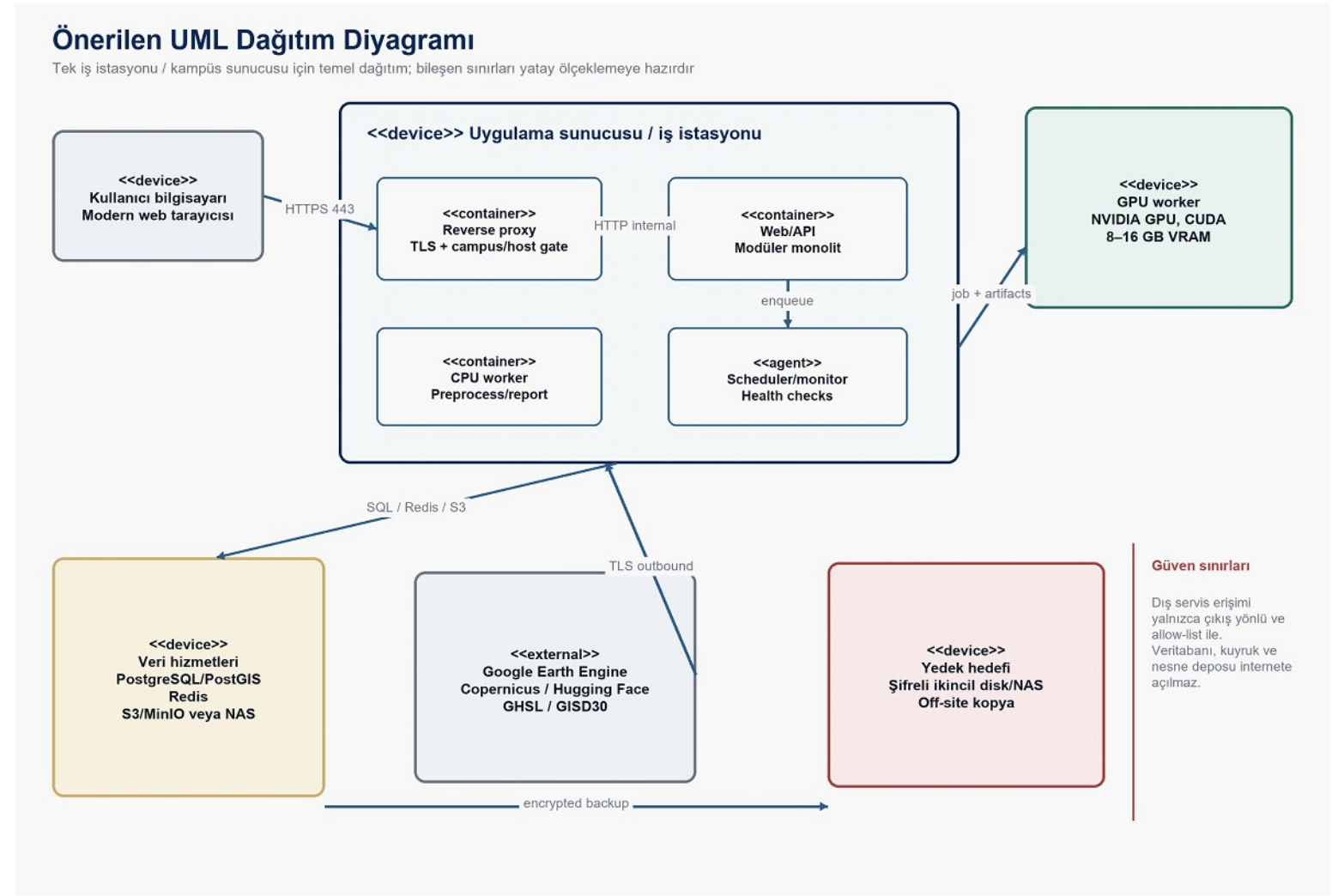
ID	Alt sistem	Sorumluluk	Ana çıktı	Hata politikası
SS-01	Web UI & REST API	AOI, tarih, model/ufuk seçimi; iş gönderme ve durum/sonuç gösterme	HTTPS JSON, signed artifact URL	4xx doğrulama; 429 kota; 202 async kabul
SS-02	Access Gateway & Policy	Host/kampüs kapısı, kısa ömürlü capability, proje/job kapsamı ve servis kimliği	Opaque scope, policy decision	Fail closed; kişisel subject/IP kalıcılığı sağlanmaz
SS-03	Analysis Orchestrator	Proje ve iş durumu, pipeline DAG, idempotency, retry/fallback politikası	Job command/event	Uzlaştırıcı stale işleri bulur; state transition atomik
SS-04	Primary Sentinel Acquisition	Sentinel-2/SSL4EO manifesti ve lisans/provenance; ana seri girdisi	Primary SceneManifest	Provider timeout, rate limit, checksum mismatch
SS-05	Preprocessing & QA	Bulut maskesi, hizalama, eş-alan CRS dönüşümü, kompozit ve kalite	QualityComposite + CRS metadata	Düşük usable-pixel → LOW_CONFIDENCE; dönüşüm/bozuk raster → fail
SS-06	Segmentation Training	Dört mevsim modeli, checkpoint, config ve metrik	ModelVersion	OOM checkpoint/resume; hedef altı metric → review
SS-07	Segmentation Inference	Mevsime uygun modellerle otomatik etiketleme	SegmentationMap	Model/CRS uyumsuzluğu hızlı fail; tile retry
SS-08	Metrics & Features	Eş-alanda sınıf m ² /km ² ; green=Tree+Grass+Crops+Flooded Vegetation; açık oran	Primary TimeSeriesDataset	Eksik dönem ve sıfır denominator bayraklı; sessiz imputasyon yok
SS-09	Forecasting	No-change, linear trend ve zorunlu LSTM; Mamba/TimesFM opsiyonel	Primary ForecastRun	LSTM yok/başarısız → ana koşu FAILED/INSUFFICIENT_SERIES; yayın yok
SS-10	Evaluation & QA	Macro-F1/IoU/precision/recall, MAE/RMSE, eşik ve karşılaştırma	MetricReport	Eşik altı sonuç yayımlanır ama uyarı/inceleme bayraklı
SS-11	Reporting & Export	Harita/grafik/tablo, hata analizi, eksik dönem, lisans/kaynak bildirimi ve uyarı	PNG/PDF/CSV/GeoTIFF package	Zorunlu içerik eksikse PUBLISHED reddedilir
SS-12	Persistence & Registry	Metadata, AOI, model registry, artifact index ve audit	SQL/repository contracts	DB kapalıyken yeni iş kabul edilmez
SS-13	Observability	Yapılandırılmış log, metric, trace, kimliksiz audit ve alarm	OpenTelemetry-compatible events	Telemetry kaybı işi durdurmaz; güvenlik olayı kaydı kritik
SS-14	Historical Comparison	GHSL/GISD30 bağımsız edinim, kıyas metrikleri ve ayrı sonuç kümesi	ComparisonRun	Ana Sentinel serisine bağlanma/concatenate şema ve publish kapısında reddedilir

3.2.1 Contract and dependency rules

- Bileşenler veri nesnesi paylaşmaz; sürümlü komut/olay şemaları ve artifact referansları paylaşır. Şemada geriye uyumlu alan ekleme tercih edilir.
- Her command correlation_id, teknik service/job identity, idempotency_key, input artifact hashes ve requested configuration taşır. Kişisel subject, IP, secret veya ham token event payloadına yazılmaz.
- Worker yalnız kendisine verilen proje/job kapsamındaki URI'lara erişir. Signed URL kısa ömürlüdür; path kullanıcı girdisinden doğrudan birleştirilmez.
- Quality flag OK, LOW_CONFIDENCE veya MISSING değerlerinden biridir. Eksik kalite bilgisinin varsayılan olarak OK kabul edilmesi yasaktır.
- Zaman ve coğrafi referans bütün sistemde açık taşınır: UTC timestamp, year-season anahtarı, source CRS, eş-alan analysis CRS, dönüşüm/grid sürümü, çözünürlük ve AOI sürümü zorunlu metadata'dır.

3.3 Hardware / software mapping

Temel dağıtım tek bir kampüs iş istasyonu veya sunucusunda konteynerlerle çalışır. Reverse proxy yalnız HTTPS girişini kabul eder; API, PostgreSQL, Redis ve nesne deposu özel ağıdadır. CPU worker ön işleme ve rapor üretimini, GPU worker eğitim ve çıkarımı yürütür. GPU aynı fiziksel makinedeyse ayrı container/işlem sınırı korunur; üniversite GPU kaynağı kullanılıyorsa job payloadı ve signed artifact erişimi üzerinden uzak worker bağlanır.



Şekil 3. Önerilen UML deployment diyagramı, düğümler ve güven sınırları.

Düğüm	Yazılım	Başlangıç kapasitesi	Ölçekleme / hata alanı
Kullanıcı cihazı	Güncel tarayıcı	Tek teknik operatör; çoklu kullanıcı kapasitesi doğrulanmadı	Sunucu durumundan bağımsız; yalnız HTTPS
Reverse proxy	Nginx/Caddy eşdeğeri	TLS + host/kampüs erişim kapısı; upload limiti konfigüre edilir	Stateless; yeniden başlatılabilir
Web/API	Python 3.9+, Flask/WSGI	2-4 CPU, 4-8 GB RAM başlangıç varsayımı	Ölçümle doğrulanacak; sticky session gerekmez
CPU worker	Celery worker, rasterio/GeoPandas	8+ CPU, 16-32 GB RAM başlangıç varsayımı	Ölçümle doğrulanacak; idempotent retry
GPU worker	PyTorch 2+, CUDA	NVIDIA GPU, 8-16 GB VRAM	Tek eşzamanlı eğitim; inference için kontrollü concurrency
PostgreSQL/PostGIS	PostgreSQL 16+, PostGIS	Kapasite ölçüm sonrası boyutlandırılır	Tek instance + doğrulanmış backup; internete kapalı
Object storage	MinIO/S3/NAS adapter	Raster/model hacmi deneyle ölçülür	Versioning/lifecycle; ayrı backup failure domain
Redis	Redis 7+	Queue/cache; kalıcı kayıt değil	Kayıbı reconcile edilir; DB sistem kaydı

3.3.1 Environment mapping

Geliştirme ortamı Docker Compose ile aynı servis adlarını kullanır; object storage yerel MinIO veya kontrollü dosya sistemi adapteri olabilir. Test ortamı sentetik/küçük raster fixture, CPU model ve izole veritabanıyla çalışır. Teslim/staging ortamı PostgreSQL/PostGIS, Redis ve object storage kullanır; TLS ile host/kampüs erişim kapısı zorunludur. Bu dağıtım ücretsiz akademik prototiptir; ücretli, yüksek erişilebilir veya operasyonel belediye hizmeti PKE kapsamı dışındadır. Environment farkları yalnız config/secrets ile sağlanır [4], [20].

Ankara'nın gerçek veriyle ön işleme + çıkarım uçtan uca koşusu tek GPU/iş istasyonunda 8 saatten kısa tamamlanmalıdır. Ölçüm, temiz cache ile başlatılan sürümlü bir acceptance run'da yapılır; başlangıç/bitiş, GPU/VRAM ve adım süreleri manifestte tutulur. Süre aşırsa teslim kapısı başarısızdır; daha güçlü donanım varsayımıyla gizlenemez [3], [4].

Container imajları digest ile sabitlenir ve model checkpoint'i container içine gömülmez. Aynı uygulama imajı farklı ModelVersion artifactleriyle çalışabilir. Database migration uygulama başlamadan tek seferlik init job ile yürütülür. API worker migration çalıştırmaz; bu, eşzamanlı başlangıç yarışını ve yarım şema riskini önler.

3.4 Persistent data management

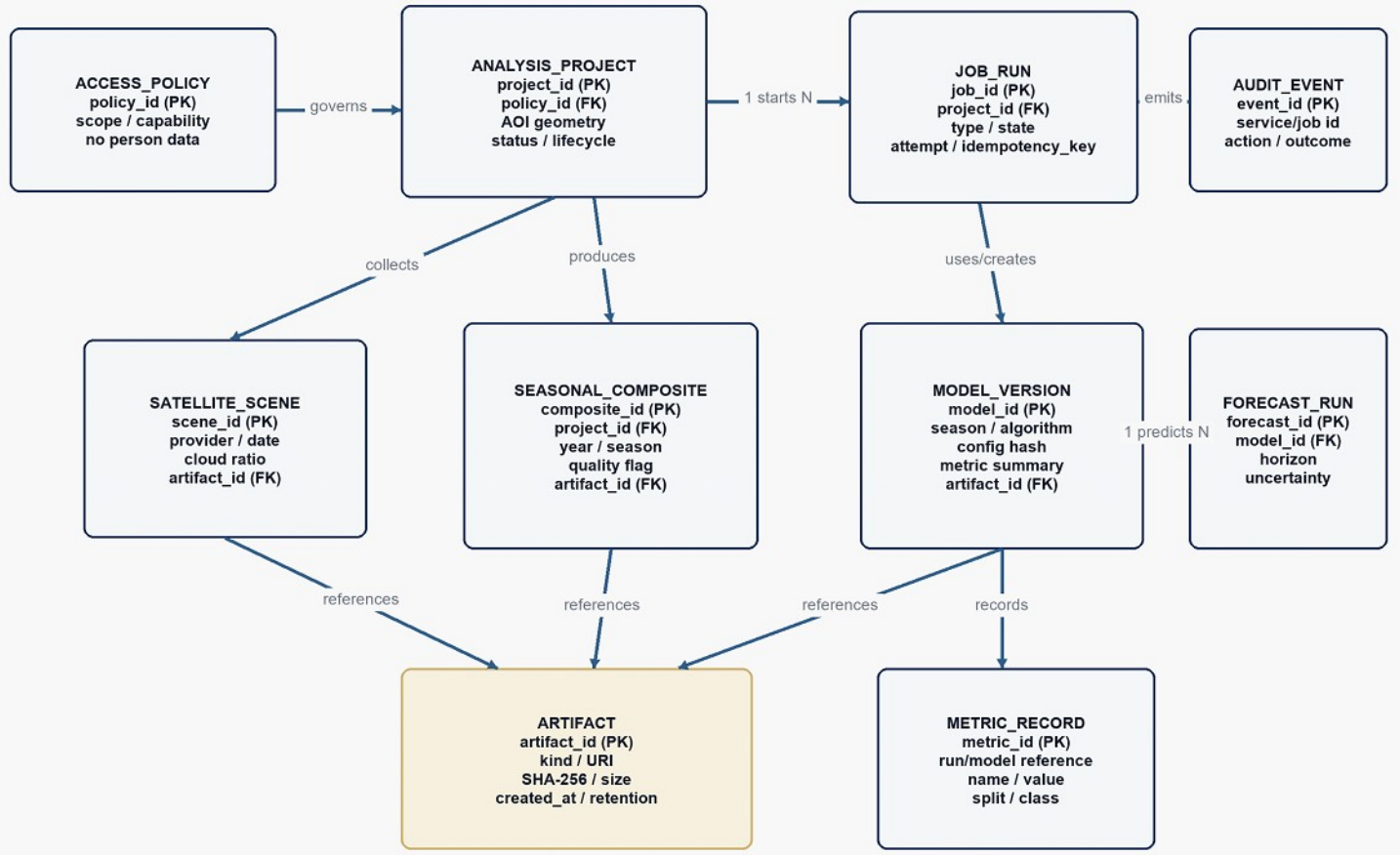
3.4.1 Database selection and rationale

Yetkili metadata deposu PostgreSQL 16+ ve PostGIS eklentisidir. Seçim yalnız 'iyi bir veritabanı' olduğu için değil, sistemin gerektirdiği işlemler nedeniyle yapılmıştır: proje-iş-model-artifact ilişkileri üzerinde transaction ve join; AOI geometry, kaynak/analiz CRS ve mekânsal indeks; JSONB ile sürümlü konfigürasyon; unique constraint ile idempotency; kimliksiz audit ve job state sorguları; olgun yedekleme ve geri yükleme. Uygulama kullanıcı hesabı veya kişisel subject tablosu tutmaz. PostgreSQL 16 WAL/PITR mekanizması ile PostGIS mekânsal veri türleri ve indeksleri bu seçimin doğrudan teknik dayanaklarıdır [18], [19].

SQLite geliştirme fixture'ı için kullanılabilir; ancak eşzamanlı writer, merkezi backup ve PostGIS gereksinimleri nedeniyle teslim ortamının veritabanı değildir. Document database, şema esnekliği sunsa da güçlü ilişkiler ve tutarlı iş geçişleri için tek uygulama mantığı gerektirir. Büyük GeoTIFF, Zarr ve checkpointlerin PostgreSQL BLOB içinde tutulması yedek ve vacuum yükünü artırır; bu nedenle nesne depolama ayrıdır. Redis performans ve kuyruk koordinasyonu içindir, kalıcı gerçeklik kaynağı değildir [16].

Kavramsal Kalıcı Veri Modeli

İlişkisel metadata ve mekânsal geometri; büyük ikili içerik nesne deposunda URI + sağlama toplamı ile tutulur



Şekil 4. Kavramsal veri şeması; fiziksel indeksler ve kolon türleri LLD'de kesinleştirilir.

Varlık	Sahiplik ve içerik	Ana bütünlük kuralı	Saklama
AccessPolicy	Kişiyi tanımlamayan capability scope ve servis yetkisi	scope allow-list; kişisel subject/IP yok	Kısa ömürlü yetki kalıcılaştırılmaz; politika sürümü kurumca tutulur
AnalysisProject	AOI geometry, tarih, amaç ve lifecycle policy	Geometri geçerli; source/analysis CRS açık; policy FK	Ders/kurum politikası; sabit kişisel saklama süresi yok
JobRun	Tip, state, attempt, idempotency, timestamps	İzinli state transition; project+key unique	Proje ve tekrarlanabilirlik politikası
SatelliteScene	Provider kimliği, tarih, cloud, artifact	provider scene id + processing baseline unique	Kaynak/lisans ve kota politikasına göre
SeasonalComposite	Yıl, mevsim, quality, source/analysis CRS ve raster	project+year+season+pipeline/grid version unique	Türetilmiş çıktı; proje lifecycle
ModelVersion	Algorithm, season, config/code/data hash, metrics	Model artifact immutable; status promotion kontrollü	Ders/kurum ve tekrarlanabilirlik politikası
ForecastRun	Horizon, model, target, uncertainty; primary namespace	LSTM ve Primary TimeSeries zorunlu; comparison girdi reddedilir	Proje lifecycle
ComparisonRun	GHSL/GISD30 kıyas metrikleri; ayrı namespace	Primary TimeSeries/ForecastRun ile FK veya concatenate yok	Kaynak lisansı + proje lifecycle
Artifact	URI, kind, SHA-256, media type, size	Checksum ve producer job; object immutable	Lifecycle tiering + güvenli silme
AuditEvent	Service/job id, action, resource, outcome, timestamp	Append-only; subject, IP ve hassas payload yok	Kurum/ders politikası; kişisel kayıt yok

3.4.2 Transactions, consistency and provenance

Kullanıcıya görünen proje/job durumu güçlü tutarlıdır; state geçişi ve yeni artifact metadata kaydı aynı DB transactionında tamamlanır. Object storage yazımı dağıtık transactiona alınmaz. Worker önce geçici anahtara nesne yazar, checksum ve boyutu doğrular, sonra kalıcı anahtara atomik publish/copy yapar ve DB kaydını commit eder. DB commit başarısızsa geçici nesne orphan-cleaner tarafından yaş eşiğine göre temizlenir. DB kaydı var fakat nesne erişilemiyorsa integrity monitor artifacti CORRUPT işaretler ve sonuç yayını engeller.

Her türetilmiş artifact bir provenance zinciri taşır: kaynak scene/manifest kimlikleri, AOI sürümü, preprocessing pipeline sürümü, model sürümü, config hash, container image digest, başlama/bitiş zamanı ve üreten job. Model registry 'candidate', 'validated', 'production' ve 'retired' durumlarını kullanır. Production'a geçiş yalnız NFR-01 metrik raporu, test split kimliği ve insan onayı ile mümkündür. Aynı model artifactinin içerik değiştirilerek yeniden yüklenmesine izin verilmez; yeni içerik yeni ModelVersion'dır.

3.4.3 Backup, restore and retention

Katman	Yedek stratejisi	Hedef	Doğrulama
PostgreSQL	Günlük base backup + WAL arşivi; şifreli ayrı failure-domain kopyası	RPO/RTO kurumca belirlenecek tasarım varsayımı	Takvim kurumca onaylanır; temiz ortam restore testi
Object storage	Versioning; artımlı snapshot; farklı failure-domain kopyası	RPO/RTO kurumca belirlenecek tasarım varsayımı	Checksum örneklemesi ve seçili proje restore testi
Redis	Kuyruk/cache yeniden kurulabilir; opsiyonel AOF	RPO hedefi yok	DB reconcile ile eksik queued/running işler yeniden oluşturulur
Secrets/config	Şifreli secrets store ve erişim kontrollü offline kurtarma paketi	Kurumca doğrulanacak	Kurum takviminde anahtar/secret rotation tatbikatı

Yedek başarı logu tek başına yeterli değildir; geri yükleme testi olmayan yedek doğrulanmış sayılmaz. Restore prosedürü boş sunucuda veritabanı, object store manifesti ve seçili checksumların eşleşmesini kontrol eder. Ana ve yedek kopya aynı fiziksel diskte tutulmaz. PostgreSQL base backup, WAL arşivi ve PITR zinciri PostgreSQL 16 dokümantasyonuna göre uygulanır [18]. Tablodaki periyot ve RPO/RTO değerleri PKE gereksinimi değil, kurumun veri hacmi ve ders teslim politikasıyla doğrulaması gereken işletim varsayımlarıdır. Artifact lifecycle süresi kurum/ders politikasıyla tanımlanır; MVP'de kişisel veri saklama süresi bulunmaz [4].

3.5 Access control and security

3.5.1 Trust model and authentication

MVP internete açık bir kimlik deposu veya uygulama içi kullanıcı hesabı işletmez. Tek teknik operatör işletim sistemi hesabı, kampüs ağı/VPN'i ya da reverse proxy erişim kapısında doğrulanır. Uygulamaya kişiyi tanımlayan subject veya IP yerine kısa ömürlü, opaque ve proje/job kapsamlı capability aktarılır; capability loglanmaz ve süresi dolduğunda yenilenir. Yerel geliştirme yalnız loopback arayüzünde ve açıkça işaretlenmiş geliştirme konfigürasyonuyla çalışır [3], [4].

Servisler arası çağrılar kısa ömürlü teknik service identity kullanır. Worker yetkisi job ve artifact prefixiyle sınırlandırılır; API her kaynak erişiminde capability scope, resource ve operation kontrolünü tekrarlar. Erişim kapısı veya politika doğrulaması yapılamıyorsa sistem fail closed olur. Çok kullanıcıli OIDC/RBAC, kalıcı üyelik ve paylaşım MVP kapsamı dışındadır; eklenmesi PKE değişikliği, kişisel veri envanteri ve hukuki/etik onay gerektirir. OWASP ASVS 5.0'ın access control, cryptography ve security logging kontrolleri kabul listesine alınır [21].

3.5.2 Authorization model

Teknik rol/capability	Okuma	İş çalışma	Model yönetimi	Sistem yönetimi
read-result	Belirli proje sonuçları ve rapor	Yok	Yok	Yok
run-analysis	Belirli proje girdisi/sonucu	Analiz, inference, forecast, export	Validated model seçer; yükseltmez	Yok
manage-model	Eğitim verisi ve metrik	Eğitim/evaluation	Candidate/validated geçişi	Yok
operate-system	Teknik durum ve provenance	Retry/reconcile	Promote/retire; secret göremez	Kota, lifecycle ve servis ayarı
review-audit	Kimliksiz audit/provenance	Yok	Değişiklik yapamaz	Salt okunur uyum incelemesi

Capability'ler kişi veya kalıcı üyelik değildir; ilgili proje/job ve işlem kümesiyle sınırlı, kısa ömürlü teknik yetkililerdir. MVP'de proje paylaşımı veya kullanıcı yönetimi yoktur. Model promotion/retirement, artifact silme, export ve başarısız yetki denemeleri append-only audit event üretir. Audit kaydında service/job kimliği ve sonuç bulunur; subject, IP, token, cookie, hassas dosya içeriği veya tam geometry payloadı tutulmaz.

3.5.3 Data protection, encryption and secrets

- Aktarımda TLS 1.2+; iç ağda DB/Redis/object store bağlantıları için de TLS veya güvenli özel ağ. HSTS ve güvenli cookie bayrakları reverse proxyde zorunludur.
- Diskte veritabanı volume, object storage ve yedekler AES-256 sınıfı platform şifrelemesiyle korunur. Anahtarlar kaynak kodda veya container image içinde tutulmaz; ayrı secret store/OS credential vault kullanılır.
- GEE, Hugging Face ve object storage kimlikleri en az kapsamlı servis hesaplarıdır. Secret loglanmaz, hata mesajına eklenmez ve periyodik/olay sonrası döndürülür.
- Yüklenen AOI ve rasterler boyut, medya türü, magic bytes, sıkıştırma oranı, CRS, piksel boyutu ve sınır kutusu açısından doğrulanır. ZIP path traversal, decompression bomb, SSRF ve kullanıcı kontrollü path birleştirme engellenir.
- Signed artifact URL kısa ömürlü ve tek resource kapsamlıdır. Public bucket kullanılmaz; export linki tahmin edilemez ID taşısa bile authorization kontrolü olmadan üretilmez.
- Bağımlılık ve container imajları sürüm/digest ile sabitlenir; CI'da vulnerability ve license taraması yapılır. Kritik açıkta imaj promotion durdurulur.

3.5.4 KVKK/GDPR and ethical controls

Analiz PR-08 ve PKE kararı gereği varsayılan MVP kişisel veri işlemez. Uydu görüntüsü, model girdisi/çıktısı ve teknik iş kayıtları kişiyle ilişkilendirilmez; uygulama hesabı, subject ve IP kaydı tutulmaz. KVKK md. 4, 5, 12 ve 28 ile GDPR Art. 5, 25 ve 89'daki veri minimizasyonu, güvenlik ve araştırma güvenceleri bu sınırı korur [3], [4, pp. 3-4], [22], [23]. Kişisel veya belediyeye özel veri eklenmesi otomatik olarak kabul edilmez, kapsam değişikliği sayılır. Önce veri sorumlusu, amaç/hukuki dayanak, aydınlatma, saklama-silme, erişim ve olası yurt dışı aktarım değerlendirmesi tamamlanmalıdır. Kamu yararı, zarardan kaçınma, gerçekçi iddia, hata düzeltme ve doğru atıf ilkeleri ACM 1.1, 1.2, 1.6, 2.5 ile IEEE Code of Ethics madde 1, 5 ve 7 üzerinden yayın kapısına aktarılır [24], [25].

Kontrol	MVP uygulaması	Kişisel/özel belediye verisi eklenirse
Veri minimizasyonu	Kişisel veri yok; subject/IP/profil tutulmaz	Alan bazında ihtiyaç gerekçesi; gereksiz kolon ve hassas attribute silme
Amaç ve hukuki dayanak	Araştırma/karar desteği; açık veri lisansları kayıtlı	Yazılı amaç, hukuki işleme şartı ve aydınlatma metni
Erişim	Host/kampüs kapısı + kısa capability + kimliksiz audit	Daha dar attribute/row policy; veri işleyen sözleşmesi
Saklama/silme	Kurum/ders lifecycle politikası; kişisel saklama yok	Dataset özel süre, legal hold, doğrulanmış silme/anonymization
Yurt dışı aktarım	Varsayılan on-prem; dış sağlayıcıya kişisel katman gönderilmez	Aktarım değerlendirmesi ve gerekli güvenceler; mümkünse yerel işleme
Şeffaflık	Kaynak, model, ufuk ve belirsizlik raporda	İlgili kişi talepleri ve otomatik karar açıklaması süreci

Etik yayın kapısı: PUBLISHED için LSTM sonucu; kaynak/model/ufuk/provenance; bulut ve eksik dönem bilgisi; en az bir hata analizi, düşük performanslı sınıflar ve hata örnekleri; belirsizlik; 'resmi imar kararı değildir' uyarısı zorunludur. Paket ayrıca SSL4EO-S12 v1.1 veri seti kaydına ve CC BY 4.0 Legal Code 3(a)'ya uygun attribution/copyright/license/disclaimer/change notice [10], [26]; uygun 'Copernicus Sentinel data [Year]' veya 'Contains modified Copernicus Sentinel data [Year]' bildirimi [27] ve GEE Terms 2.1(a), 2.1(d) kapsamında akademik/non-commercial kullanım beyanı [28] taşır. Eksik içerik yayın geçişini reddeder [4, pp. 4-8].

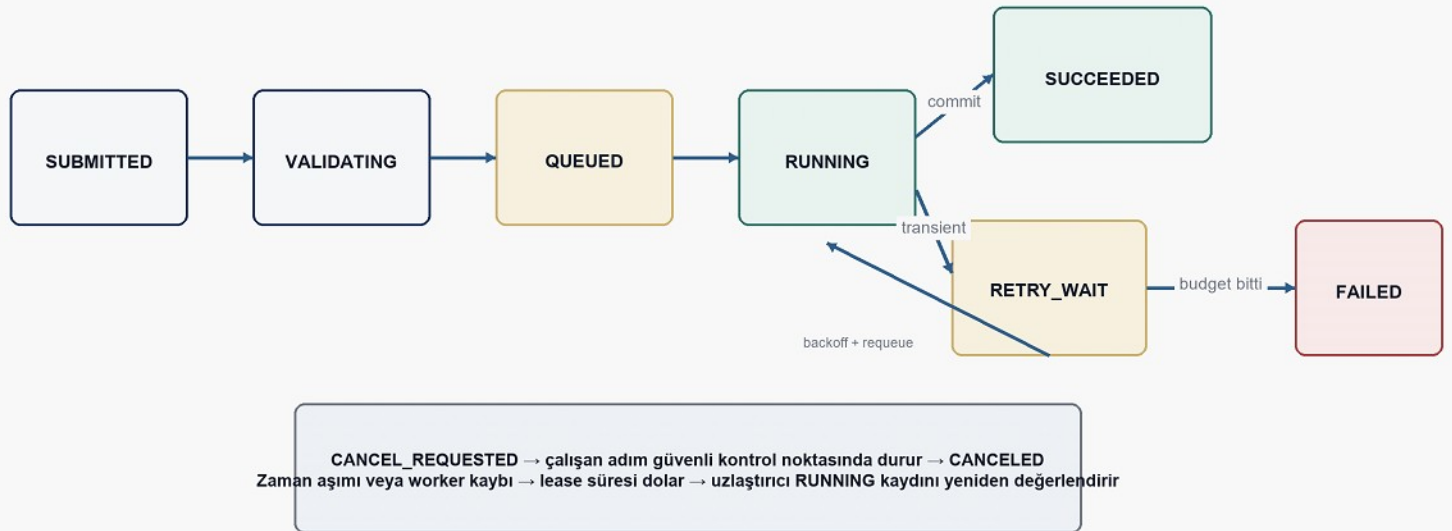
3.6 Global software control

3.6.1 Synchronous and asynchronous strategy

Kısa işlemler senkron yürür: oturum, proje metadata okuma/yazma, AOI biçim doğrulama, iş oluşturma, durum sorgulama ve signed URL üretme. Veri indirme, raster ön işleme, eğitim, inference, forecasting ve rapor paketleme asenkron yürür. API bu işler için 202 Accepted ve job identifier döndürür. Kullanıcı durumu polling veya server-sent event ile izler; worker hiçbir zaman tarayıcı bağlantısının açık kalmasına güvenmez.

Asenkron İş Yaşam Döngüsü ve Kurtarma

PostgreSQL sistem kayıtdır; Redis mesajı kaybolrsa bile uzlaştırmacı işi yeniden kuyruğa alabilir



Şekil 5. Asenkron job state machine ve retry/reconciliation yolları.

Job state transitionları optimistic locking/version alanıyla korunur. Aynı worker lease'i olmayan süreç **RUNNING** işi tamamlayamaz. Her uzun adım kontrollü checkpoint üretir; örneğin sahne listesi, mevsimsel kompozit, tile batch veya

epoch sonunda ilerleme kaydedilir. Graceful shutdown yeni iş almayı durdurur, aktif adımın güvenli checkpoint'e ulaşmasını bekler ve kalan işi yeniden kuyruğa uygun durumda bırakır.

3.6.2 Retry, circuit breaker and fallback

Hata sınıfı	Retry	Circuit breaker / fallback	Kullanıcı sonucu
Provider timeout / 429 / 5xx	3 deneme; 2, 4, 8 dk + jitter; Retry-After'a uy	5 ardışık hata → 60 sn open; local manifest varsa kullan	RETRY_WAIT; sağlayıcı durumu görünür
Checksum / bozuk indirme	Bir temiz yeniden indirme	Aynı scene tekrar bozuksa provider/data quarantine	FAILED veya eksik dönem; sessiz kullanma yok
GPU OOM	En çok 1 retry; onaylı daha küçük batch/patch profili	CPU fallback yalnız smoke/inference politikası izin verirse	Config değişikliği provenance'a yazılır
Worker ölümü / lease timeout	Checkpoint'ten yeniden kuyruğa	Attempt budget + orphan artifact cleanup	İlerleme geri alınabilir; duplicate publish yok
Validation / authorization	Yok	Yok; fail fast	4xx ve düzeltilmesi gereken alan
DB unavailable	Kısa bağlantı retry; yeni iş yok	Read-only health sayfası; queue consume pause	503; kalıcı state olmadan kabul yok
LSTM çalışmıyor / kalite eşiği altı	Otomatik retry yok; yalnız düzeltilmiş config ile yeni run	Baseline yalnız tanısıl taslak; Mamba/TimesFM zorunlu LSTM'in yerine geçmez	FAILED/REVIEW; PUBLISHED yasak

Retry yalnız idempotent veya idempotency anahtarıyla korunan adımlarda yapılır. Her retry yeni attempt kaydı oluşturur; önceki hata kodu, stack trace referansı ve zaman korunur. Fallback bilimsel anlamı değiştirdiğinde gizli değildir: kullanılan veri sağlayıcısı, model veya patch profili rapora eklenir. Baseline-only çıktı yalnız tanısıl artifacttir; ana MVP sonucuna fallback sayılmaz ve PUBLISHED olamaz. Circuit breaker worker kaynaklarını dış sistemin sürekli hatasına harcamayı engeller; yarı-açık durumda sınırlı probe isteği yapılır.

3.6.3 Concurrency, scheduling and backpressure

Queue'lar iş türüne göre ayrılır: io-data, cpu-preprocess, gpu-train, gpu-inference ve report. Başlangıçta bir GPU eğitim işi, en fazla iki inference işi ve kaynak ölçümüne bağlı CPU concurrency kullanılır. Aynı project-year-season-composite anahtarında distributed lock veya DB unique constraint duplicate üretimi engeller. Kuyruk derinliği, tahmini bekleme ve disk/GPU basıncı API'ye geri bildirilir. Kota aşımında yeni iş 429 veya politika gereği QUEUED_LIMIT durumuyla reddedilir; sistem belleği tüketene kadar sınırsız iş kabul etmez.

Scheduler önceliği kullanıcı rolünden ziyade iş sınıfı ve yaşa göre adil belirler: kısa inference ve export işleri eğitim tarafından süresiz aç bırakılmaz; admin acil işi açık audit gerekçesiyle öne alabilir. Eğitim workerı GPU belleği ve sıcaklık telemetrisi eşiklerini aşarsa yeni batch başlatmaz. Diskte geçici alan alt eşiğe düşerse data acquisition ve preprocessing pause olur, ancak kullanıcı mevcut sonuçlarını okuyabilir.

3.6.4 Observability and operational objectives

Sinyal	Örnek ölçüm	Alarm / hedef
API	latency p50/p95, 4xx/5xx, active sessions	Metadata p95 <500 ms; 5xx oranı 5 dk boyunca >2% alarm
Queue	depth, oldest age, retry count	GPU queue oldest >30 dk veya retry spike alarm
Worker/performance	step duration, end-to-end runtime, CPU/RAM/GPU/VRAM	Ankara preprocessing+inference <8 saat ve VRAM ≤16 GB; aşım teslim engeli
Data quality	cloud/usable pixel, missing seasons, checksum	LOW_CONFIDENCE oranı proje eşiğini aşarsa publish uyarısı
Model	Macro-F1/IoU, per-class drift, MAE/RMSE	NFR hedefi altı production promotion engeli
Storage	capacity, orphan/temp objects, backup age	Disk <15% boş; son başarılı backup hedefi aşarsa kritik
Security	access-gate failure, denied capability, export volume	Anomali eşiğinde rate-limit ve inceleme; subject/IP loglanmaz

Loglar JSON ve correlation_id/job_id taşır; her servis aynı hata taxonomy'sini kullanır. Kullanıcıya güvenli, eyleme dönük hata kodu verilir; stack trace yalnız yetkili log deposundadır. Audit eventler uygulama logundan ayrıdır ve append-only saklanır. Telemetry sistemi geçici olarak kullanılamazsa bilimsel iş devam edebilir, fakat audit yazımı başarısızsa güvenlik açısından kritik değişiklik commit edilmez.

3.7 Boundary conditions

3.7.1 Cold start and readiness

1. Host zamanı, disk alanı, secrets ve network allow-list doğrulanır; container imaj digestleri beklenen sürümle eşleşir.
2. PostgreSQL erişimi açılır, migration sürümü kontrol edilir ve gerekli PostGIS extension doğrulanır. Migration başarısızsa API ready olmaz.
3. Object storage bucket/prefix, encryption ve read/write probe; Redis bağlantısı ve queue isimleri kontrol edilir.
4. Host/kampüs erişim kapısı ile capability doğrulama anahtarı/politika sürümü yüklenir. Doğrulama yapılamıyorsa yalnız health endpoint açılır; anonim uygulama erişimi açılmaz.
5. Production ModelVersion kayıtlarının artifact checksumları ve runtime compatibility bilgisi kontrol edilir. Eksik model ilgili mevsim joblarını devre dışı bırakır.
6. Reconciler, önceki çalışmadan QUEUED/RUNNING kalmış işlerin lease ve checkpoint durumunu inceler; güvenli olanları yeniden kuyruğa alır.
7. Tüm zorunlu kontroller geçince readiness true olur; liveness yalnız process yaşamını, readiness hizmet verme güvenliğini gösterir.

3.7.2 Graceful shutdown and maintenance

Shutdown sinyali alındığında reverse proxy yeni uzun iş kabulünü kapatır, API mevcut kısa istekleri tamamlar ve worker prefetch'i durdurur. Worker devam eden adımı belirlenen drain süresinde checkpoint'e taşır; tamamlayamazsa lease bırakılır ve işlem yeniden kuyruğa uygun duruma döner. Geçici dosyalar ya atomik publish edilir ya da temp olarak kalıp cleaner tarafından silinir. Veritabanı bağlantıları kapanmadan son heartbeat ve state transition commit edilir. Bakım modu salt okunur sonuç erişimini mümkün olduğunca açık tutar.

3.7.3 Failure and edge-case behavior

Sınır durumu	Algılama	Davranış	Kurtarma / veri garantisi
Seçilen dönemde sahne yok	Provider manifest boş	Dönem MISSING; pipeline diğer dönemlere devam	Forecast quality maskesi kullanır; kesin değer üretmez
Bulut sonrası usable pixel düşük	Kalite eşiği	LOW_CONFIDENCE kompozit; UI/rapor görünür	Alternatif kompozit pencere politikası veya hariç tutma
CRS/çözünürlük uyuşmaz	Preprocessing validation	Downstream bloke; örtük/sürümü kayıtsız dönüşüm yok	Onaylı eş-alan target CRS/grid ile deterministik dönüşüm; metadata ve golden area testi
Nodata/sınıf dışı etiket	Range ve oran kontrolü	No Data ignore; sınıf dışı veri quarantine	Kaynak düzeltme veya iş fail
Model artifact eksik/bozuk	Checksum/runtime check	Inference başlamaz	Validated önceki sürüm veya yeniden yükleme
Zaman serisi çok kısa / LSTM çalışmıyor	Minimum window ve training check	INSUFFICIENT_SERIES/FAILED; yalnız tanısal baseline taslağı	Ana yayın yok; veri/model politikası düzeltilip yeni run
GHSL/GISD30 ana seriye bağlandı	Artifact type/namespace ve schema validation	İş fail; concatenate/recalibration reddedilir	Ayrı ComparisonRun oluştur; primary sonuç değişmez
DB failover/kesinti	Connection health	Yeni state kabul edilmez; worker checkpoint'te durur	Restore/reconnect sonrası reconcile

Redis kaybı	Queue health + DB mismatch	API iş kaydı korur; dispatch pause	Redis yeniden kurulur, DB queued işleri re-enqueue
Object storage dolu	Capacity alarm/write failure	Yeni artifact publish yok; temp cleanup	Alan aç, backup/retention doğrula, job retry
Güvenlik olayı	Anormal auth/export/audit	Oturum/anahtar iptali, export freeze	Incident kaydı, secret rotation, etki analizi

3.7.4 Disaster recovery

Tam host kaybında önce güvenli yeni host ve secrets sağlanır; PostgreSQL son doğrulanmış backup/WAL zinciriyle geri getirilir; object storage manifesti yüklenir; artifact ve production model checksumları doğrulanır. Redis boş başlatılır. Reconciler DB'deki QUEUED/RUNNING kayıtlarını değerlendirir ve yalnız idempotent adımları yeniden kuyruğa alır. Teknik operatöre veri kesinti aralığı, restore zamanı ve etkilenmiş işler bildirilir. RPO/RTO sayıları kurumca henüz doğrulanmamış tasarım varsayımıdır; ilk restore tatbikatı gerçekçi hedefleri belirler.

4. Subsystem services

Bu bölüm alt sistemlerin sağladığı HLD servislerini tanımlar. Bunlar sınıf veya fonksiyon imzası değildir; LLD sırasında REST endpoint, queue command, event schema veya repository interface olarak somutlaştırılacak kararlı sözleşme sınırlarıdır. Servis adları gereksinim ve LLD izlenebilirliğinde aynı tutulmalıdır.

ID	Servis	Sağlayan	Tüketen	Tip	Girdi	Çıktı	İz
SVC-01	Project Management	UI/API	Operator, Persistence	Sync	AOI/date/policy	Project summary + version	FR-01, PR-07
SVC-02	Submit Analysis Job	Orchestrator	API	Sync→Async	Project + config + idempotency	Job id/state	FR-12, NFR-05
SVC-03	Acquire Scene Manifest	Data Acquisition	Orchestrator	Async	AOI/date/provider	Scene manifest + provenance	FR-01, PR-03
SVC-04	Build Seasonal Composite	Preprocessing	Orchestrator	Async	Scenes + equal-area target grid	Composite + quality + CRS metadata	FR-02, FR-15
SVC-05	Train Seasonal Model	Segmentation Training	Technical operator	Async	Manifest + season + config	ModelVersion + metrics	FR-03, NFR-01
SVC-06	Segment Composite	Inference	Orchestrator	Async	Composite + validated model	Map + confidence	FR-04, FR-05
SVC-07	Extract Area Metrics	Metrics	Orchestrator	Async	Map + equal-area AOI/grid	Class m²/km² + explicit green/built ratio	FR-06
SVC-08	Build Time Series	Metrics	Forecasting	Async	Chronological metrics + quality	TimeSeriesDataset	FR-06, NFR-06
SVC-09	Run Forecast	Forecasting	Operator	Async	Primary series + horizon + baselines + LSTM	Primary forecasts + uncertainty	FR-07..FR-09
SVC-10	Evaluate Run	Evaluation	Training/Forecast	Async	Prediction + truth/holdout	MetricReport	FR-10, NFR-01/02
SVC-11	Publish Result Package	Reporting	Operator	Async	LSTM result + provenance + error/cloud/license sections	Versioned compliant export	FR-11, FR-14/15
SVC-12	Query Job Status	Orchestrator	UI/API	Sync	Job id + capability	State/progress/error	NFR-07
SVC-13	Authorize Resource	Access Policy	All components	Sync	Capability/resource/action	Permit/deny + reason	NFR-08
SVC-14	Register Artifact	Persistence	Workers	Sync	URI/hash/kind/producer	Artifact id	FR-12, NFR-10
SVC-15	Record Audit Event	Observability	Security-sensitive actions	Sync	Service/job/action/resource/outcome	Append-only receipt without personal data	NFR-08/10
SVC-16	Run Historical Comparison	Historical Comparison	Operator/Reporting	Async	GHSL/GISD30 manifest + independent config	ComparisonRun + separate result set	FR-13

4.1 Service contract rules

- Tüm senkron servisler standart problem-details hata gövdesi, correlation id ve güvenli kullanıcı mesajı döndürür. İç exception veya secret yanıt gövdesine girmez.
- Asenkron komut kabulü işin tamamlandığı anlamına gelmez. Kabul ile başarı ayrıdır; state/progress ve terminal hata kodu Job Status servsinden okunur.
- Sürüm uyumsuzluğu olan event/command sessizce işlenmez. Consumer desteklemediği major sürümü dead-letter queue'ya taşır ve alarm üretir. Sözleşme ve model sürümleri Semantic Versioning 2.0.0 kurallarına göre yönetilir [29].
- Artifact alan servisler içeriği URI'ya güvenerek değil, beklenen kind, media type, size limit ve checksum ile doğrular.
- Saatler UTC ve ISO-8601'dir. Alanlar onaylı eş-alan CRS'de m²/km² hesaplanır; payload source CRS, analysis CRS ve grid/transform sürümünü taşır. CRS dönüşümü ISO 19111'e, kalite göstergeleri ISO 19157-1'e, metadata ISO 19115-1'e ve GeoTIFF çıktısı OGC 19-008r4'e göre doğrulanır [30]-[33]. Green area = Tree + Grass + Crops + Flooded Vegetation; green/built oranının denominatorü ve sıfır-built davranışı açıktır.
- Publish komutu LSTM sonucu, hata analizi/düşük sınıf örnekleri, bulut/eksik dönem bilgisi ve zorunlu kaynak-lisans bildirimlerini şema düzeyinde ister; eksik alanla PUBLISHED geçişi yapılamaz [26]-[28].

Pagination, filtre ve export limitleri kötüye kullanım ve istemsiz büyük sorguya karşı zorunludur. Büyük dosya API üzerinden stream edilmek yerine yetkili signed URL ile aktarılır.

4.2 HLD-to-LLD traceability matrix

Aşağıdaki matris her gereksinimin hangi HLD alt sisteminde sahiplenildiğini ve LLD'de hangi paket/bileşen grubuna açılacağını gösterir. İzlenebilirlik yaklaşımı ISO/IEC/IEEE 29148:2018 gereksinim mühendisliği ilkeleriyle uyumludur [34]. LLD adları işlev imzası değil, planlanan yapısal hedeflerdir; isim değişirse bu matris de sürümlenmelidir.

Requirement	HLD module	Planned LLD package/component	Trace evidence
FR-01	SS-01, SS-04	api.projects, acquisition.providers, domain.aoi	AOI/date → scene manifest
FR-02	SS-05	preprocessing.cloud, grid, composite, quality	Scenes → quality composite
FR-03	SS-06, SS-12	segmentation.training, model_registry	Season config → ModelVersion
FR-04/05	SS-07	segmentation.inference, tiling	Composite + model → map/confidence
FR-06	SS-05, SS-08	preprocessing.equal_area, metrics.area, timeseries.builder	Equal-area maps → exact green/built series
FR-07..09	SS-09	forecast.baselines, forecast.lstm, horizons	Series → 1/3/5 year forecast
FR-10	SS-10	evaluation.segmentation, forecast	Predictions → comparable metrics
FR-11	SS-11	reporting.maps, charts, exports	Results → PNG/PDF/CSV/GeoTIFF
FR-12	SS-03, SS-12	jobs.state, provenance, artifacts	Config/data/code hashes logged
FR-13	SS-14	comparison.ghsl, comparison.gisd30, result_namespace	Independent ComparisonRun; no primary-series merge
FR-14/15	SS-10, SS-11	quality.policy, reporting.disclaimer	Publication gate
NFR-01/02	SS-10	evaluation.thresholds, promotion_policy	Metric gates
NFR-03/04	SS-03, SS-05/07/13	jobs.scheduler, performance_gate, resource_profiles	Ankara preprocessing+inference <8 h; VRAM ≤16 GB
NFR-05	SS-12	manifests, config, reproducibility	Repeat difference ≤0.01
NFR-06	SS-05, SS-03	quality.flags, retry.policy	Missing period test
NFR-07	SS-01, SS-11	web.workflow, docs	Clean-environment Ankara run
NFR-08	SS-02, SS-13	security.access_gate, capability, audit	No-personal-data + authorization audit
NFR-09	All	package boundaries + contract tests	Dependency and unit tests
NFR-10	SS-11, SS-12	provenance.manifest, report metadata	Every output carries source/model/horizon

4.3 Acceptance and integration strategy

Bileşen kabulü yalnız unit test ile yapılmaz. Test planı, test durumu belirtilmeleri ve test tamamlama raporu ISO/IEC/IEEE 29119-3:2021'e göre sürümlenir [35]. Contract testleri command/event şemasını, repository entegrasyon testleri transaction ve idempotency kurallarını doğrular. Geospatial golden test, bilinen bir geometrinin eş-alan CRS dönüşümü sonrası m²/km² sonucunu tolerans içinde doğrular ve source/analysis CRS ile grid sürümünü kontrol eder [30]-[33]. GHSL/GISD30 artifactinin primary seri veya ForecastRun'a bağlanması negatif testte reddedilir. Worker failure testleri retry/checkpoint davranışını doğrular.

Gerçek Ankara acceptance run'ında ön işleme + inference tek GPU/iş istasyonunda 8 saatten kısa ve en fazla 16 GB VRAM ile tamamlanmalıdır. LSTM başarısızsa baseline çıktısı yalnız tanısal kalır ve yayın testi başarısız olur. Bilimsel kabul; sınıf dağılımı, confusion matrix, per-class metric, düşük performanslı sınıflar, hata örnekleri, baseline comparison, bulut/eksik dönem ve belirsizliği inceler. Publish contract testi SSL4EO CC BY 4.0 [10], [26], Copernicus yıl bildirimi [27], GEE akademik/non-commercial beyanı [28] ve karar-destek uyarısı olmadan PUBLISHED geçişini reddeder.

Güvenlik kabulünde yetkisiz proje okuma/yazma, capability kapsamı ve süresi, signed URL, ZIP traversal/decompression bomb, SSRF, log secret/subject/IP sızıntısı ve privilege escalation negatif testleri yer alır. Felaket kurtarma kabulünde temiz host restore'u, DB-object checksum eşleşmesi ve queued iş reconciliation gösterilir.

5. Glossary

Terim	Tanım
Artifact	Veri, model veya rapor gibi büyük/değişmez çıktı; object storage'da, metadata ve checksum DB'de.
AOI	Area of Interest; analiz edilen coğrafi sınır. Geometry sürümü tüm türetilmiş çıktılara bağlanır.
Baseline	Öğrenen modelin kıyaslandığı no-change veya linear trend gibi naif tahmin.
Circuit breaker	Sürekli hata veren dış servise çağrışı geçici keserek kaynak tüketimini sınırlayan kontrol.
Composite	Aynı yıl/mevsimde bulut maskelenmiş, hizalanmış sahnelerden oluşturulan raster.
Correlation ID	Bir kullanıcı isteğini servis ve worker loglarında uçtan uca ilişkilendiren kimlik.
Diagnostic draft	LSTM çalışmadığında baseline sonuçlarını inceleme için saklayan, PUBLISHED olamayan tanısıl çıktı.
Equal-area CRS	Alanı koruyan koordinat sistemi; tüm m ² /km ² hesapları AOI'ye uygun bu analiz CRS'sinde yapılır.
Green area	Tree + Grass + Crops + Flooded Vegetation sınıflarının eş-alan CRS'deki toplam alanı.
Idempotency	Aynı komutun tekrar uygulanmasının duplicate kalıcı sonuç üretmemesi özelliği.
IoU	Intersection over Union; tahmin ve gerçek sınıf alanının kesişim/birleşim oranı.
Job lease	Bir workerın belirli süre için işi yürütme hakkı; heartbeat kesilince geri alınabilir.
LULC	Land Use / Land Cover; bu projede dokuz arazi örtüsü sınıfı.
Macro-F1	Sınıf F1 değerlerinin eşit ağırlıklı ortalaması; dengesiz sınıflarda ana segmentasyon metriği.
Model registry	Model sürümü, config/data/code kökeni, metrik ve promotion durumlarının yetkili kaydı.
Object storage	GeoTIFF, Zarr, checkpoint ve rapor gibi büyük nesneler için URI tabanlı depolama.
PITR	Base backup ve WAL arşiviyle veritabanını seçilen zamana geri döndürme.
Provenance	Bir çıktının kaynak veri, dönüşüm, model, config, kod ve üreten işe uzanan köken zinciri.
Quality flag	OK, LOW_CONFIDENCE veya MISSING ile veri/çıktı güven durumunu taşıyan işaret.
Capability	Kişiyi tanımlayan profil tutmadan belirli proje/job ve işlemlere izin veren kısa ömürlü teknik yetki.
RPO/RTO	Kurtarmada veri kaybı / hizmete dönüş hedefi; bu HLD'de kurumca doğrulanacak tasarım varsayımdır.
Signed URL	Belirli artifact için kısa süreli ve kapsamlı yetkilendirilmiş indirme/yükleme adresi.
System of record	Yetkili durum kaynağı; bu mimaride job ve metadata için PostgreSQL.

Appendix A. Architecture decision records

ADR-01 - Modüler monolit ve ayırık workers

Durum	Bağlam	Karar	Sonuç
Accepted	Ekip küçük; ancak CPU/GPU işler uzun ve bağımsız ölçek gerektiriyor.	Tek web/control codebase; queue sözleşmeli worker süreçleri.	Dağıtım basit, transaction yerel. İleride servis çıkarma mümkün; package boundaries testle korunmalı.

ADR-02 - PostgreSQL/PostGIS + object storage

Durum	Bağlam	Karar	Sonuç
Accepted	İlişkisel/provenance ve mekânsal sorgu ile TB ölçekli raster/model aynı depolama davranışına sahip değil.	Metadata/geometri DB'de; büyük artifact object store'da URI + checksum.	İki katmanın tutarlılığı publish protokolü ve integrity monitor ile yönetilir.

ADR-03 - PostgreSQL job truth, Redis transport

Durum	Bağlam	Karar	Sonuç
Accepted	Queue mesajı kaybı bilimsel iş ve kullanıcı geçmişini kaybına dönüşmemeli.	Kalıcı state DB'de; Redis yeniden kurulabilir; reconciler queued/stale işleri toplarlar.	Bir miktar kontrol mantığı artar; dayanıklılık ve audit kazanılır.

ADR-04 - Kişisel verisiz erişim

Durum	Bağlam	Karar	Sonuç
Accepted	PKE varsayılan MVP'nin kişisel veri işlemediğini söyler; uygulama hesabı bu sınırı bozar.	Host/kampüs erişim kapısı, kısa ömürlü capability ve service identity; subject/IP kalıcı değil.	Çok kullanıcıli OIDC/RBAC gelecekte ancak PKE ve hukuki/etik onayla eklenebilir.

ADR-05 - Baseline + zorunlu LSTM

Durum	Bağlam	Karar	Sonuç
Accepted	Analiz FR-08 LSTM'i minimum öğrenen model olarak zorunlu kılar.	No-change ve linear trend kıyas için zorunlu; LSTM ana koşulunun yayın şartı; Mamba/TimesFM opsiyonel.	LSTM başarısızsa baseline tanısal taslak kalır; MVP sonucu PUBLISHED olamaz.

ADR-06 - GHSL/GISD30 bağımsız karşılaştırma

Durum	Bağlam	Karar	Sonuç
Accepted	PKE bu kaynakların ana Sentinel serisini uzatmasını yasaklar.	Ayrı adapter, ComparisonRun ve sonuç namespace'i; primary TimeSeries/Forecast ile birleşim yok.	Karşılaştırma korunur fakat ana modelin veri tanımı ve tekrarlanabilirliği değişmez.

Appendix B. Rubric compliance checklist

Rubric maddesi	Kanıt	Kontrol sonucu
Design goals 5+ ve çatışmalar	§1.3, Tablo DG-01..DG-09	Dokuz hedef; her birinde çatışma ve tercih gerekçesi
Subsystem decomposition + UML component	§3.2, Şekil 2	14 alt sistem, sorumluluk/girdi/çıktı/hata
Hardware/software mapping + UML deployment	§3.3, Şekil 3	Düğümmler, yazılım, kapasite, güven sınırı
Persistent data: DB seçimi, şema	§3.4.1, Şekil 4	PostgreSQL/PostGIS gerekçesi ve conceptual schema
Backup	§3.4.3	DB/object/Redis/secrets, RPO/RTO ve restore testleri
Access control & security, KVKK	§3.5	Host/kampüs kapısı, capability, TLS/at-rest, kişisel veri yok ve kimliksiz audit
Global control sync/async	§3.6, Şekil 5	Job states, queue, backpressure, consistency
Retry/circuit breaker/fallback	§3.6.2	Somut hata sınıfı ve retry bütçesi
Boundary conditions	§3.7	Cold start, shutdown, edge cases ve disaster recovery
Subsystem services table/diagram	§4, SVC-01..SVC-16	Sağlayan/tüketen/tip/girdi/çıktı/iz
HLD-LLD traceability	§4.2	FR/NFR → HLD module → LLD package
Yazım, format, references, dil	Tüm belge, §6	Kaynak template, tutarlı Türkçe ve numaralı kaynakça

6. References

- [1] 'BİL/YAP 495 - Project Proposal / Proje Önerisi: Öz-Gözetimli Uydu Görüntü Segmentasyonu ve Zaman Serisi Modelleri ile Uzun Vadeli Kentsel Yayılma Tahmini,' TOBB ETÜ, 21 Haziran 2026.
- [2] 'Proje Spesifikasyon Raporu: Öz-Gözetimli Uydu Görüntü Segmentasyonu ve Zaman Serisi Modelleri ile Uzun Vadeli Kentsel Yayılma Tahmini,' BİL/YAP 495, TOBB ETÜ, 28 Haziran 2026.
- [3] 'Proje Analiz ve Modelleme Raporu,' BİL/YAP 495, TOBB ETÜ, 12 Temmuz 2026.
- [4] 'Proje Kısıt ve Etkiler Dokümanı (PKE),' BİL/YAP 495, TOBB ETÜ, 31 Temmuz 2026.
- [5] Y. Çimtay, 'High Level Design (HLD) - Low Level Design (LLD) Geçişi,' BİL/YAP 495 ders notu, TOBB ETÜ, 2026.
- [6] ISO/IEC 25010:2023, Systems and software engineering - Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) - Product quality model, 2nd ed., ISO/IEC, 2023.
- [7] Make No Mistake proje çalışma alanı, kaynak kodu ve veri hazırlama anlık görüntüsü, 6 Ağustos 2026. İncelenen başlıca kanıtlar: app.py, training/* .py, TRAINING.md ve data/spring/{train,val,test}.csv ile dataset_stats.json.
- [8] Y. Wang et al., 'SSL4EO-S12: A Large-Scale Multi-Modal, Multi-Temporal 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.
- [9] B. Blumenstiel, N. A. A. 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>. Accessed: 6 Aug. 2026.
- [10] Embed2Scale, 'SSL4EO-S12-v1.1,' Hugging Face Datasets, CC BY 4.0, doi: 10.57967/hf/6681. [Online]. Available: <https://huggingface.co/datasets/embed2scale/SSL4EO-S12-v1.1>. Accessed: 6 Aug. 2026.
- [11] European Space Agency, 'Sentinel-2 User Handbook,' Issue 1, Rev. 2, 24 July 2015. [Online]. Available: https://sentinels.copernicus.eu/documents/247904/685211/Sentinel-2_User_Handbook. Accessed: 6 Aug. 2026.
- [12] Copernicus, 'Sentinel-2 Documents - Level-2A Product and Technical Guides.' [Online]. Available: <https://sentiwiki.copernicus.eu/web/s2-documents>. Accessed: 6 Aug. 2026.
- [13] O. Oktay et al., 'Attention U-Net: Learning Where to Look for the Pancreas,' arXiv:1804.03999, 2018. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/1804.03999>. Accessed: 6 Aug. 2026.
- [14] Pallets Projects, 'Flask Documentation, version 3.1.x.' [Online]. Available: <https://flask.palletsprojects.com/en/stable/>. Accessed: 6 Aug. 2026.
- [15] PyTorch Contributors, 'PyTorch Documentation.' [Online]. Available: <https://pytorch.org/docs/stable/>. Accessed: 6 Aug. 2026.
- [16] Redis Ltd., 'Redis Documentation.' [Online]. Available: <https://redis.io/docs/latest/>. Accessed: 6 Aug. 2026.
- [17] Celery Project, 'Celery 5.6 Documentation - Tasks, Retry and Backoff.' [Online]. Available: <https://docs.celeryq.dev/en/stable/userguide/tasks.html>. Accessed: 6 Aug. 2026.
- [18] PostgreSQL Global Development Group, 'PostgreSQL 16 Documentation, Sec. 26.3: Continuous Archiving and Point-in-Time Recovery.' [Online]. Available: <https://www.postgresql.org/docs/16/continuous-archiving.html>. Accessed: 6 Aug. 2026.
- [19] PostGIS Project, 'PostGIS Manual - Introduction.' [Online]. Available: https://postgis.net/docs/postgis_introduction.html. Accessed: 6 Aug. 2026.
- [20] Docker, 'Docker Compose Documentation and Compose Specification.' [Online]. Available: <https://docs.docker.com/compose/>. Accessed: 6 Aug. 2026.
- [21] OWASP Foundation, 'Application Security Verification Standard (ASVS), version 5.0.0,' 2025. [Online]. Available: <https://owasp.org/www-project-application-security-verification-standard/>. Accessed: 6 Aug. 2026.
- [22] '6698 Sayılı Kişisel Verilerin Korunması Kanunu,' Resmî Gazete, Sayı 29677, 7 Nisan 2016. [Online]. Available: <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuatmetin/1.5.6698.pdf>. Accessed: 6 Aug. 2026.

- [23] European Union, 'Regulation (EU) 2016/679 of the European Parliament and of the Council (General Data Protection Regulation),' Official Journal of the European Union, L 119, 2016. [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2016/679/oj/eng>. Accessed: 6 Aug. 2026.
- [24] Association for Computing Machinery, 'ACM Code of Ethics and Professional Conduct,' 2018. [Online]. Available: <https://www.acm.org/code-of-ethics>. Accessed: 6 Aug. 2026.
- [25] IEEE, 'IEEE Code of Ethics,' June 2020. [Online]. Available: <https://www.ieee.org/content/dam/ieee-org/ieee/web/org/about/corporate/ieee-code-of-ethics.pdf>. Accessed: 6 Aug. 2026.
- [26] Creative Commons, 'Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) - Legal Code.' [Online]. Available: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode.en>. Accessed: 6 Aug. 2026.
- [27] Copernicus Programme, 'Legal Notice on the Use of Copernicus Sentinel Data and Service Information.' [Online]. Available: https://sentinels.copernicus.eu/documents/247904/690755/Sentinel_Data_Legal_Notice. Accessed: 6 Aug. 2026.
- [28] Google, 'Google Earth Engine Terms of Service,' last modified 29 Sep. 2022, Sec. 2.1(a), 2.1(d). [Online]. Available: <https://earthengine.google.com/terms/>. Accessed: 6 Aug. 2026.
- [29] T. Preston-Werner, 'Semantic Versioning 2.0.0.' [Online]. Available: <https://semver.org/spec/v2.0.0.html>. Accessed: 6 Aug. 2026.
- [30] ISO 19111:2019, Geographic information - Referencing by coordinates, ISO, 2019, Amd. 1:2021.
- [31] ISO 19157-1:2023, Geographic information - Data quality - Part 1: General requirements, ISO, 2023.
- [32] ISO 19115-1:2014, Geographic information - Metadata - Part 1: Fundamentals, ISO, 2014, Amd. 1:2018 and Amd. 2:2020.
- [33] Open Geospatial Consortium, 'OGC GeoTIFF Standard,' ver. 1.1, OGC 19-008r4, 2019. [Online]. Available: <https://docs.ogc.org/is/19-008r4/19-008r4.html>. Accessed: 6 Aug. 2026.
- [34] ISO/IEC/IEEE 29148:2018, Systems and software engineering - Life cycle processes - Requirements engineering, 2nd ed., ISO/IEC/IEEE, 2018.
- [35] ISO/IEC/IEEE 29119-3:2021, Software and systems engineering - Software testing - Part 3: Test documentation, 2nd ed., ISO/IEC/IEEE, 2021.