



TOBB ETÜ
Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi

TOBB EKONOMİ VE TEKNOLOJİ ÜNİVERSİTESİ

Bilgisayar / Yapay Zekâ Mühendisliği

BİL 495 — YAP 495

Proje Kısıt ve Etkiler Dokümanı

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	31 Temmuz 2026

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 görüntülerinden tahmin eden bir karar destek sistemi geliştirmeyi hedefler. Sistem; hedef alan için Sentinel-2 L2A görüntülerini alır, bulut maskeleme ve mevsimsel kompozit üretimiyle ön işleme yapar, kış/ilkbahar/yaz/sonbahar için ayrı eğitilmiş dört segmentasyon modeliyle dokuz sınıflı arazi örtüsü haritaları üretir, bu haritalardan yapılaşmış alan, yeşil alan ve yeşil-bina oranı zaman serilerini çıkarır ve zaman serisi modelleriyle 1, 3 ve 5 yıllık tahmin ufukları için sonuç verir. Asgari uygulanabilir ürün (MVP) kapsamı tek hedef şehir olan Ankara ile sınırlandırılmıştır.

Sistem, resmi imar kararı üreten bir araç değildir; kent plancılarının erken aşama fizibilite, senaryo karşılaştırması ve yeşil alan kaybı riskinin görünür kılınması çalışmalarında kullanacağı, belirsizliği açıkça beyan edilmiş bir karar destek çıktısı üretir. Aşağıdaki standart, kısıt ve etki değerlendirmesi bu kullanım kapsamı esas alınarak yapılmıştır.

1. Kullanılan Standartlar

Sistem; açık uydu verisi, derin öğrenme tabanlı arazi örtüsü segmentasyonu ve zaman serisi tahmini bileşenlerinden oluştuğu için uygulanabilir standart kümesi dört eksenle belirlenmiştir: (i) yazılım ve sistem mühendisliği, (ii) coğrafi veri, veri kalitesi ve çıktı formatları, (iii) veri koruma ve lisans düzenlemeleri, (iv) mesleki etik kodları. Her satırda standardın projeye uygulanan özel maddesi/alt maddesi, kısa uygulanabilirlik notu ve planlanan kanıt kaynağı verilmiştir. Kanıt türleri kısaltma ile gösterilmiştir: **T** test, **İ** inceleme/denetim, **A** analiz.

1.1 Yazılım ve Sistem Mühendisliği Standartları

Standart ve ilgili madde	Uygulanabilirlik notu	Planlanan kanıt kaynağı (tür)
ISO/IEC 25010:2023 3.1 işlevsel uygunluk (3.1.2 işlevsel doğruluk)	Segmentasyon ve tahmin çıktılarının önceden tanımlanmış sayısal kabul ölçütlerini karşılaması esas alınır: mevsim başına Macro-F1 $\geq 0,85$ hedefi ve öğrenen tahmin modelinin en iyi naif baseline'a göre MAE'de en az %10 iyileşme sağlaması.	Test kümesi metrik raporu, confusion matrix ve baseline karşılaştırma tablosu (T, A)
ISO/IEC 25010:2023 3.2 başarımlı verimliliği (3.2.1 zaman davranışı, 3.2.2 kaynak kullanımı)	Uçtan uca ön işleme ve çıkarım hattının tek GPU iş istasyonunda sekiz saatten kısa sürede tamamlanması ve eğitimin 16 GB VRAM bellek zarfı içinde kalması gerekir.	Çalışma zamanı logu ve GPU bellek profili; patch/batch konfigürasyon kaydı (T)
ISO/IEC 25010:2023 Güvenilirlik karakteristiği (hata toleransı)	Bulut oranı yüksek veya gözlem eksikliği bulunan dönemlerde hat hata vermeden çalışmalı, ilgili dönemi kalite bayrağıyla işaretleyerek devam etmelidir.	Eksik ve düşük güvenli dönem enjekte edilen hata yolu test senaryosu (T)
ISO/IEC 25010:2023 Bakım yapılabirlik karakteristiği (modülerlik)	Veri, ön işleme, segmentasyon, otomatik etiketleme, zamansal tahmin ile değerlendirme ve görselleştirme sorumluluklarının ayrı modüllerde tutulması gerekir.	Modül ve bağımlılık yapısının incelenmesi; temel birim testleri (İ, T)
ISO/IEC/IEEE 29148:2018 5.2.5, 5.2.6, 5.2.7 ve 5.2.8	Her gereksinim tekil, doğrulanabilir ve ölçülebilir kabul ölçütüyle yazılır; gereksinim kümesinin tutarlılığı ve izlenebilirliği ile gereksinim öznitelikleri (öncelik, durum, kaynak) korunur.	Gereksinim-kullanım senaryosu izleme matrisinin ve gereksinim dilinin gözden geçirilmesi (İ)

Standart ve ilgili madde	Uygulanabilirlik notu	Planlanan kanıt kaynağı (tür)
ISO/IEC/IEEE 29119-3:2021 7.2 test planı, 7.3 test durum raporu, 7.4 test tamamlama raporu, 8.3 test durumu belirtimi	Doğrulama faaliyetleri serbest biçimli notlarla değil, belgelenmiş test planı ve rapor şablonlarıyla yürütülür; her kabul ölçütü en az bir test durumuna bağlanır.	Test planı, test durumu belirtimleri ve test tamamlama raporu (T, İ)
Semantic Versioning 2.0.0	Model ağırlıkları, veri manifesti ve konfigürasyon dosyaları makine-okunur sürüm etiketleriyle kaydedilir; böylece bir metrik değeri her zaman belirli bir sürümüne geri bağlanabilir.	Deney kayıtlarının ve model kayıt alanının sürüm tutarlılığı denetimi (İ)

1.2 Coğrafi Veri ve Çıktı Formatı Standartları

Standart ve ilgili madde	Uygulanabilirlik notu	Planlanan kanıt kaynağı (tür)
ISO 19157-1:2023 8.3 veri kalitesi öğeleri (8.3.2 bütünlük, 8.3.6 tematik kalite, 8.3.7 metakalite öğeleri)	Segmentasyon doğruluğu tematik kalite; eksik ve düşük güvenli dönemler bütünlük açığı; piksel bazlı güven skorları ve kalite bayrakları ise metakalite bilgisi olarak raporlanır. Sınıf bazlı raporlama, sınıf dengesizliğinin gizlenmesini önler.	Sınıf bazlı metrik ve kalite raporu, confusion matrix, eksik dönem sayımı (T, A)
ISO 19115-1:2014 (Amd 1:2018, Amd 2:2020) Kaynak tanımlama ve kaynak kökeni bilgisi	Her raster ve tablo çıktısı; veri kaynağı, uygulanan işleme adımları, model sürümü ve üretim tarihi bilgisiyle birlikte üretilir. Veri kalitesi metadatası ISO 19157 serisine devredildiğinden kalite bilgisi ayrı olarak 1.2'nin ilk satırındaki kanıtlarla taşınır.	Veri manifesti ve çıktı metadatası dosyalarının kontrol listesiyle incelenmesi (İ)
OGC GeoTIFF Standard 1.1 (OGC 19-008r4)	Arazi örtüsü haritaları ve tahmin haritaları, coğrafi referans bilgisini taşıyan GeoTIFF olarak dışa aktarılabilir olmalıdır.	Üretilen dosyalar üzerinde format, band ve coğrafi referans doğrulama testi (T)
ISO 19111:2019 (Amd 1:2021)	AOI, mevsimsel kompozitler ve tüm çıktı katmanları tanımlı bir koordinat referans sisteminde tutulur; km ² cinsinden alan hesapları alan koruyan uygun bir projeksiyonda yapılır.	Katmanlar arası CRS tutarlılık testi ve bilinen bir alanla alan hesabı doğrulaması (T, A)

1.3 Veri Koruma ve Lisans Düzenlemeleri

Düzenleme ve ilgili madde	Uygulanabilirlik notu	Planlanan kanıt kaynağı (tür)
6698 sayılı KVKK md. 4(2)(ç), md. 5, md. 12, md. 28(1)(b)	Sistem varsayılan kapsamında kişisel veri işlemez; çalışma 10 m çözünürlüklü uydu görüntüsü ve alan bazlı istatistiklerle sınırlıdır. Kişi, adres, parsel sahibi veya bireysel başvuru verisi tutulmaz. Yardımcı veri gerekirse yalnızca anonim ve toplulaştırılmış düzeyde kullanılır.	Depo ve veri manifesti denetimi; kişisel veri alanı taraması; toplulaştırma düzeyi analizi (İ, A)
GDPR (EU) 2016/679 Art. 5(1)(c), Art. 5(1)(e), Art. 25, Art. 89(1)	Veri minimizasyonu ve saklama sınırlaması, tasarım aşamasında uygulanır: yalnızca analiz için gerekli raster ve türetilmiş alan/oran serileri saklanır. Bilimsel araştırma amaçlı işleme güvenceleri,	Veri akışı ve saklanan alan listesi incelemesi; ham veri saklama politikası kontrolü (İ)

Düzenleme ve ilgili madde	Uygulanabilirlik notu	Planlanan kanıt kaynağı (tür)
	kimliği belirlenebilir veri kullanılmaması yoluyla sağlanır.	
CC BY 4.0 Legal Code 3(a)(1)(A)(i)–(v), 3(a)(1)(B), 3(a)(1)(C)	SSL4EO-S12 v1.1 eğitim verisi için eser sahibi bilgisi, telif bildirimi, lisans bildirimi, sorumluluk reddi bildirimi, kaynağa bağlantı ve yapılan değişikliklerin beyanı rapor ile çıktı metadatasında birlikte yer alır.	Atıf metni ve LICENSE dosyalarının teslim öncesi kontrol listesiyle incelenmesi (İ)
Copernicus Sentinel Verisine İlişkin Hukuki Bildirim	Sentinel verisi serbest, tam ve açık erişim koşullarıyla kullanılır; kaynak bildirimi "Copernicus Sentinel data [Yıl]", türetilmiş çıktılarda "Contains modified Copernicus Sentinel data [Yıl]" biçiminde verilir. Verinin garanti olmaksızın sunulduğu belirtilir.	Rapor ve çıktı paketindeki kaynak bildirimi metinlerinin incelenmesi (İ)
Google Earth Engine Terms of Service Section 2.1(a), 2.1(d) ve Acceptable Use Policy	Platform yalnızca akademik/ticari olmayan araştırma ve prototip kapsamında kullanılır; üretilen çıktılar akademik çalışmada sunulabilir. Ücretli hizmet veya operasyonel belediye ürünü olarak sunum kapsam dışıdır.	Kullanım kapsamı beyanının depo README ve raporda doğrulanması (İ)

1.4 Mesleki Etik Kodları

Kod ve ilgili madde	Uygulanabilirlik notu	Planlanan kanıt kaynağı (tür)
ACM Code of Ethics and Professional Conduct 1.1, 1.2, 1.6 ve 2.5	Kamu yararına katkı ve zarardan kaçınma ilkeleri, çıktının yanlış yorumlanma riskinin açıkça belgelenmesini gerektirir. Mahremiyete saygı, kişisel veri toplanmamasıyla karşılanır. Sistem ve etkilerinin kapsamlı değerlendirilmesi ilkesi gereği olası riskler bu doküman kapsamında analiz edilir.	Kısıt ve etki analizi; hata örnekleri ve belirsizlik bölümlerinin varlığının denetlenmesi (A, İ)
IEEE Code of Ethics (Haziran 2020) madde 1, madde 5 ve madde 7	Kamu refahının gözetilmesi ve mahremiyetin korunması; mevcut veriye dayalı gerçekçi iddia beyanı; hataların kabulü ve düzeltilmesi; katkıların ve kaynakların doğru atfı. Başarı iddiaları baseline karşılaştırmasıyla sayısallaştırılır, nitel ifadelerle bırakılmaz.	Baseline karşılaştırma tablosu; kaynak ve atıf doğruluğu denetimi (A, İ)

1.5 Kanıt Toplama Planı

Aşağıdaki tablo, yukarıda planlanan kanıtların hangi aşamada, hangi modül tarafından üretileceğini ve hangi standardı karşıladığını özetler. Kanıtlar teslim anında değil, ilgili aşamanın çalıştırılmasıyla otomatik olarak üretilir.

Kanıt kalemi	Üretildiği aşama	Sorumlu modül	Karşıladığı standart maddesi
Metrik raporu (Macro-F1, IoU, precision, recall) ve confusion matrix	Segmentasyon değerlendirme	Değerlendirme modülü	ISO/IEC 25010 3.1.2; ISO 19157-1 8.3.6

Kanıt kalemi	Üretildiği aşama	Sorumlu modül	Karşıladığı standart maddesi
Baseline karşılaştırma tablosu (MAE, RMSE, iyileşme yüzdesi)	Tahmin değerlendirme	Değerlendirme modülü	ISO/IEC 25010 3.1.2; IEEE Code of Ethics madde 5
Çalışma zamanı logu ve GPU bellek profili	Uçtan uca çalışma	Deney koşucusu	ISO/IEC 25010 3.2.1 ve 3.2.2
Kalite bayrağı tablosu, bulut oranı ve eksik dönem raporu	Ön işleme	Ön işleme modülü	ISO 19157-1 8.3.2 ve 8.3.7
Veri manifesti ve çıktı metadatası (kaynak, model sürümü, tarih, CRS)	Her çalışma	Veri modülü	ISO 19115-1; ISO 19111; OGC GeoTIFF 1.1; SemVer 2.0.0
Lisans ve atıf kontrol listesi	Teslim öncesi inceleme	Tüm ekip	CC BY 4.0 3(a); Copernicus hukuki bildirimi; GEE ToS 2.1
Kişisel veri taraması ve depo içerik denetimi	Teslim öncesi inceleme	Tüm ekip	KVKK md. 4, 12, 28; GDPR Art. 5, 25
Gereksinim–kullanım senaryosu izleme matrisi	Analiz ve tasarım incelemesi	Tüm ekip	ISO/IEC/IEEE 29148 5.2.5–5.2.8
Test planı, test durumu belirtilmeleri ve test tamamlama raporu	Doğrulama	Tüm ekip	ISO/IEC/IEEE 29119-3 7.2, 7.4, 8.3

2. Proje Kısıtları

Bu bölüm önce kısıt kategorilerinin projeye uygulanabilirliğini değerlendirir, ardından teslim başarısını ve çıktının geçerliliğini doğrudan belirleyen dört kritik kısıt tanım, etki alanı, doğrulama yöntemi ve izleme eşiğiyle ayrıntılandırır. Kritik kısıtlar K-01 ... K-04 kimlikleriyle numaralandırılmıştır.

2.1 Kısıt Kategorilerinin Uygulanabilirliği

Kategori	Uygulanabilirlik	Projedeki karşılığı
Teknolojik	Yüksek	Sentinel-2 arşiv derinliği, 10 m mekânsal çözünürlük, bulut örtüsü ve tek GPU bellek sınırı model ve ufuk seçimini doğrudan belirler. → K-01, K-02
Ekonomik / finansal	Yüksek	Sıfır lisans bütçesi; yalnızca ücretsiz ve açık erişimli veri ile üniversite GPU kaynağı kullanılabilir. → K-02
Hukuksal	Yüksek	Veri seti lisansı, uydu verisi hukuki bildirimi, bulut platformu kullanım şartları ve veri koruma mevzuatı bağlayıcıdır. → K-03
Etik	Yüksek	Tahmin çıktısının kesin bilgi veya resmi karar gibi kullanılma riski; belirsizliğin ve hata örneklerinin gizlenmemesi yükümlülüğü. → K-04
Toplumsal / kültürel	Yüksek	Alan bazlı tahminlerin belirli mahalleler hakkında damgalayıcı biçimde yorumlanma riski; teknik olmayan planıcı için anlaşılır dil gereksinimi. → K-04
Zaman	Yüksek	Dönem takvimi analiz, tasarım ve küçük ölçekli kavram doğrulama ile sınırlıdır; tam ölçekli eğitim sonraki döneme planlanmıştır. → 2.3
Üretilebilirlik (yeniden üretilebilirlik)	Orta	Hattın temiz bir ortamda, sabit seed ve veri manifestiyle tek komut üzerinden yeniden çalıştırılabilmesi gerekir.
Sürdürülebilirlik	Orta	Model eğitiminin hesaplama maliyeti sınırlı tutulur; projenin amacı yeşil alan-yapılaşma dengesinin uzun vadeli izlenmesine katkıdır.
Güvenlik	Orta	Depoda gizli belediye verisi veya lisansı belirsiz ham veri bulundurulmaz; erişim yetkileri ve veri manifesti denetlenir.
Çevresel	Orta	Doğrudan fiziksel çevresel etki yoktur; etki, yeşil alan kaybı riskine ilişkin bilgi sağlanması yoluyla dolaylıdır.
Sağlık	Düşük	Sistem klinik, acil durum veya afet müdahale kararı üretmez; sağlık etkisi yeşil alan erişimi ve ısı adası bağlamında dolaylıdır.

2.2 Kritik Kısıtlar

K-01 — Uydu arşivi derinliği ve gözlem sürekliliği

Kategori	Teknolojik / veri
Tanım	Çalışmanın birincil veri kaynağı olan Sentinel-2 L2A serisi 2016–2024 dönemini kapsar. Mevsimsel kompozitlerle çalışıldığında elde edilen zaman serisi, uzun vadeli eğilim öğrenmek için kısa kalır; özellikle beş yıllık tahmin ufku, gözlem penceresine göre uzun bir ekstrapolasyon gerektirir. Buna ek

	olarak bulut örtüsü nedeniyle bazı yıl/mevsim hücreleri düşük güvenli veya eksik olabilir; bu durum serinin etkin uzunluğunu daha da kısaltır.
Etki alanı	Tahmin ufkunun güvenilirliği; öğrenen modelin naif referanslara üstünlüğü; eğitim/holdout penceresinin bölünmesi; kullanıcıya sunulan belirsizlik beyanının içeriği; yardımcı veri setlerinin rolü.
Doğrulama / kanıtlama yöntemi	(i) Geriye dönük holdout deneyinde 1, 3 ve 5 yıllık ufukların ayrı ayrı MAE ve RMSE ile raporlanması; (ii) no-change ve linear trend referanslarının aynı test penceresinde çalıştırılarak öğrenen modelle karşılaştırılması; (iii) bulut oranı, kullanılabilir piksel oranı ve eksik dönem sayısının kalite raporunda sayısal olarak verilmesi; (iv) Sentinel serisinin yetersiz kaldığı durumda daha uzun geçmişe sahip açık veri setlerinin yalnızca bağımsız karşılaştırma verisi olarak ayrı bir modülde çalıştırılması ve sonuçların ana akıştan ayrıştirilerek sunulması.
İzleme eşiği	Öğrenen modelin en iyi naif referansa göre MAE'de en az %10 iyileşme sağlaması; bu eşiğin karşılanmadığı ufuklar için hata analizi ve belirsizlik uyarısının rapora eklenmesi zorunludur.

K-02 — Hesaplama, bellek ve süre bütçesi

Kategori	Ekonomik / teknolojik
Tanım	Eğitim ve çıkarım tek GPU iş istasyonu veya üniversite GPU kaynağıyla sınırlıdır; hedef bellek zarfı 16 GB VRAM, hedef uçtan uca çalışma süresi sekiz saatin altıdır. Proje lisans bütçesi olmadan yürütülür; yalnızca ücretsiz ve açık erişimli veri ile akademik erişim koşullarındaki platformlar kullanılabilir.
Etki alanı	Model mimarisi ve boyutu; dört mevsimsel segmentasyon modelinin eğitim yükü; patch ve batch boyutu; kompozit üretiminde işlenen alan büyüklüğü; ileri zaman serisi modellerinin zorunlu değil opsiyonel bileşen olarak konumlandırılması; ek şehir ve ek model taleplerinin kapsam dışı tutulması.
Doğrulama / kanıtlama yöntemi	(i) Patch/batch ve model boyutu parametrelerinin her deneyde konfigürasyon dosyasına kaydedilmesi; (ii) GPU bellek profili ve çalışma zamanı logunun otomatik üretilmesi; (iii) temiz bir ortamda tek komut veya tek notebook akışıyla uçtan uca çalıştırma denemesi yapılması; (iv) opsiyonel ileri modellerin kurulum ve bellek uygunluğunun ölçülmesi, uygun değilse gerekçesiyle birlikte devre dışı bırakılması ve zorunlu öğrenen modelle devam edilmesi.
İzleme eşiği	Uçtan uca çalışma süresi sekiz saatin altında; eğitim bellek kullanımı 16 GB VRAM sınırı içinde; ücretli servis veya lisansa bağımlı bileşen sayısı sıfır.

K-03 — Veri lisansı, platform kullanım şartları ve kişisel veri

Kategori	Hukuksal (lisans ve veri koruma)
Tanım	Eğitim veri seti CC BY 4.0 atıf şartına, uydu görüntüleri Copernicus Sentinel hukuki bildirimine, bulut tabanlı veri erişim platformu ise ticari olmayan akademik kullanım şartlarına tabidir. Ayrıca sistem, varsayılan kapsamında kişisel veri işlemek üzere tasarlanmıştır; bu tasarım kararı hem veri koruma mevzuatının hem de projenin kapsam sınırlarının gereğidir.
Etki alanı	Depo içeriği ve veri manifesti; çıktı metadatası ve rapor atıfları; projenin ücretli ürün veya operasyonel servis olarak sunulmaması; ileride belediye kaynaklı veri alınması hâlinde doğacak ek hukuki değerlendirme yükümlülüğü.
Doğrulama / kanıtlama yöntemi	(i) Kullanılan veri setleri ve kütüphaneler için lisans denetimi yapılması, uyumsuz bileşenin projeden çıkarılması; (ii) gerekli atıf metinlerinin rapor ve çıktı metadatasında bulunduğu teslim öncesi kontrol listesiyle incelenmesi; (iii) depoda kişi adı, kimlik numarası, adres, parsel sahibi veya bireysel

	başvuru verisi bulunmadığının taranarak denetlenmesi; (iv) yardımcı veri kullanılacaksa yalnızca mahalle veya ilçe gibi toplulaştırılmış düzeyde kullanıldığının analizle gösterilmesi.
İzleme eşiği	Lisans denetiminde uyumsuz bileşen sayısı sıfır; depoda kişisel veri bulgusu sıfır; her çıktı paketinde kaynak ve lisans bildiriminin bulunması.

K-04 — Çıktının karar niteliği ve yorumlanma riski

Kategori	Etik / toplumsal
Tanım	Sistem bir karar destek aracıdır; resmi imar planı, ruhsat, kamulaştırma veya yatırım tavsiyesi üretmez. Tahmin haritalarının kesin gelecek bilgisi gibi okunması; belirli bölgelerin riskli, değersiz veya planlama açısından istenmeyen alanlar olarak algılanmasına ve yanlış kaynak yönlendirmesine yol açabilir.
Etki alanı	Arayüz ve rapor dili; çıktı paketinin zorunlu içeriği; raporlama granülaritesi (alan bazlı; parsel, bina veya kişi bazlı değil); model hatalarının ve düşük başarımlı sınıfların sunumu; baseline sonuçlarının şeffaflığı.
Doğrulama / kanıtlama yöntemi	(i) Her çıktı paketinde karar destek uyarısının, kalite bayrağının, bulut ve eksik dönem bilgisinin ve belirsizlik notunun bulunduğu kontrol listesiyle doğrulanması; (ii) rapora yalnızca başarı örneklerinin değil, hata örneklerinin ve düşük başarımlı sınıfların da eklenmesi; (iii) çıktı granülaritesinin denetlenerek parsel veya bina düzeyinde kesin yapı iddiası üretilmediğinin gösterilmesi; (iv) naif referans sonuçlarının saklanmaması ve iyileşmenin yüzde olarak açıkça verilmesi.
İzleme eşiği	Uyarı ve belirsizlik bölümü içermeyen çıktı paketi üretilmemesi; her sonuç raporunda en az bir hata analizi bölümünün bulunması; kişi veya parsel düzeyinde çıktı sayısı sıfır.

2.3 Zaman Kısıtı ve Kapsam Yönetimi

Dönem takvimi, analiz ve tasarım çalışmalarının ardından yalnızca küçük ölçekli kavram doğrulama denemelerine izin verir; tam ölçekli model eğitimi ve uçtan uca prototip çalıştırması sonraki döneme planlanmıştır. Bu nedenle MVP kapsamı tek hedef şehir olan Ankara, dört mevsimsel segmentasyon modeli, iki naif referans ve en az bir öğrenen zaman serisi modeliyle sınırlandırılmıştır. Ek şehir çalışması, parsel düzeyinde tahmin ve operasyonel servis işletimi kapsam dışıdır.

Kapsam genişlemesi bu projede yalnızca bir planlama sorunu değil, doğrudan bir hesaplama bütçesi sorunudur: her yeni şehir veya her yeni model, K-02 kapsamındaki bellek ve süre bütçesini eşit oranda zorlar. Bu nedenle kapsam dışı listesi bağlayıcı kabul edilir; listeye ekleme talebi ancak yazılı gerekçe ve bütçe etkisi değerlendirmesiyle görüşülür. Doğrulama, faz çıktılarının takvime göre izlenmesi ve haftalık ekip toplantısı kayıtlarıyla yapılır.

2.4 Kısıtlar Arası Etkileşim

Kısıtlar birbirinden bağımsız değildir; birinin gevşetilmesi çoğu zaman diğerinin ihlaline yol açar. Aşağıdaki etkileşimler tasarım kararlarında belirleyicidir.

- **K-01 ↔ K-02.** Arşiv derinliğinin kısalığı daha büyük veya daha karmaşık bir modelle telafi edilemez; hesaplama bütçesi zaten model kapasitesini sınırlar. Bu nedenle çözüm model büyütme değil, referans karşılaştırması ve belirsizlik raporlaması yoluyla çıktının geçerlilik alanını dürüstçe daraltmaktır.
- **K-01 ↔ K-04.** Tahmin ufku uzadıkça belirsizlik artar. Bu artışın çıktıda görünmemesi teknik bir eksiklik değil, etik kısıtın ihlali sayılır; ufuk bazlı hata raporlaması bu nedenle zorunludur.
- **K-03 ↔ K-04.** Kişisel veri kullanılmaması yalnızca hukuki bir zorunluluk değil, damgalayıcı yorum riskini kaynağında azaltan bir tasarım kararıdır; alan bazlı raporlama her iki kısıtı aynı anda karşılar.
- **K-02 ↔ zaman kısıtı.** Bütçe aşımı hâlinde çözüm kapsamı genişletmek veya hedefleri düşürmek değil; ufuk sayısını ve sınıf taksonomisini sabit tutarak deney sayısını azaltmaktır. Böylece kabul ölçütleri değişmeden kalır.

2.5 Kısıt–Doğrulama İzlenebilirliği

Kısıt	Birincil kanıt	Kanıt türü	Kontrol sıklığı
K-01	Ufuk bazlı MAE/RMSE tablosu, naif referans karşılaştırması, bulut ve eksik dönem kalite raporu	Test, analiz	Her tahmin deneyinde
K-02	Çalışma zamanı logu, GPU bellek profili, patch/batch konfigürasyon kaydı	Test	Her eğitim ve çıkarım çalıştırmasında
K-03	Lisans denetim listesi, veri manifesti, depo kişisel veri taraması	İnceleme	Her teslim öncesinde
K-04	Çıktı paketi kontrol listesi, hata analizi bölümü, karar destek uyarı metni	İnceleme, analiz	Her çıktı paketinde
Zaman / kapsam	Faz çıktı takvimi ve kapsam dışı listesi	İnceleme	Haftalık ekip toplantısında

3. Beklenen Etkiler

Aşağıdaki beyan, sistemin planlanan kullanım kapsamında ortaya çıkması beklenen ileriye dönük etkilerini özetler. Beyan bir taahhüt değil, yukarıdaki kısıtlar ve tasarım varsayımları altında öngörülen etki değerlendirmesidir.

Ekonomik: Geçmiş yayılma eğiliminin ve alternatif gelişim senaryolarının tek bir hatta incelenebilmesi, erken aşama fizibilite çalışmalarında veri hazırlama ve elle birleştirme yükünü azaltır; altyapı ve yeşil alan yatırımlarının önceliklendirilmesine ölçülebilir bir girdi sağlar. Sistem ücretsiz ve açık erişimli veriyle çalıştığından kullanıcı tarafında ek lisans maliyeti doğurmaz. Buna karşılık çıktının tek başına yatırım kararına dayanak yapılması kaynak yanlış tahsisi riski taşır; bu kullanım açıkça kapsam dışı bırakılmıştır.

Sosyal: Yeşil alan kaybı riskinin sayısal ve haritalanabilir hâle gelmesi, planlama tartışmasının sezgi yerine ortak bir veri tabanı üzerinden yürütülmesine katkı sağlar. Öte yandan alan bazlı tahminlerin mahalle ölçeğinde damgalayıcı biçimde yorumlanması riski gerçektir; sistem bu nedenle parsel, bina veya kişi düzeyinde çıktı üretmez, sosyoekonomik nedensellik iddiasında bulunmaz ve rapor dili teknik olmayan kullanıcı için yorum yükü taşımayacak biçimde tutulur.

Çevresel: Yapılaşmış alan artışı ile yeşil alan dengesinin aynı zaman serisinde izlenmesi, yeşil alan koruma önceliklerinin daha erken belirlenmesine ve kayıp eğilimlerinin geç fark edilmesinin önlenmesine katkı sağlayabilir. Sistemin doğrudan fiziksel çevresel etkisi model eğitiminin enerji tüketimiyle sınırlıdır; bu tüketim tek GPU bütçesi, sabit sınıf taksonomisi ve sınırlı deney sayısı ile bilinçli olarak kısıtlanmıştır.

Hukuki: Açık veri lisanslarına, uydu verisi hukuki bildirimine ve platform kullanım şartlarına uyum, çıktıların akademik ortamda ve kamu yararına paylaşılabildiğini mümkün kılar. Sistem resmi imar kararı üretmediği için idari işlem niteliği taşımaz; varsayılan kapsamında kişisel veri işlenmediğinden veri koruma mevzuatı bakımından bir işleme faaliyeti öngörülmez. İleride belediye kaynaklı veri alınması hâlinde hukuki dayanak, saklama süresi, erişim yetkisi ve anonimleştirme politikası ayrıca belgelenecektir.

Sağlık: Yeşil alana erişim ve kentsel ısı adası etkisi, uzun vadeli halk sağlığı göstergeleriyle ilişkilidir. Sistemin sağlık üzerindeki etkisi dolaylıdır: planlama tartışmasına yeşil alan–yapılaşma dengesine ilişkin ölçülebilir bir girdi sağlar. Sistem klinik değerlendirme, acil durum yönetimi veya afet müdahalesi için tasarlanmamıştır ve bu amaçlarla kullanılmaz.

Güvenlik: Sistem yapı güvenliği, ruhsat uygunluğu veya afet riski hakkında karar üretmez. Bilgi güvenliği açısından depo yalnızca açık lisanslı veri, model ağırlıkları ve özet çıktılar barındırır; gizli belediye verisi veya lisansı belirsiz ham veri bulundurulmaz. Bu projede başlıca güvenlik riski teknik değil yorumsaldır: hatalı bir tahminin kesin bilgi gibi kullanılması. Bu risk, kalite bayrağı ve belirsizlik raporlaması ile her çıktıda yer alan karar destek uyarısı yoluyla azaltılır.

Bütün etki başlıklarında ortak ilke aynıdır: sistem planlama uzmanının yerine karar vermez; kararın veriyle desteklenmesini sağlar ve kendi belirsizliğini açıkça beyan eder.

Kaynaklar

- [1] ISO/IEC 25010:2023, Systems and software engineering — Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) — Product quality model, 2. baskı, ISO/IEC, 2023.
- [2] ISO/IEC/IEEE 29148:2018, Systems and software engineering — Life cycle processes — Requirements engineering, 2. baskı, ISO/IEC/IEEE, 2018.
- [3] ISO/IEC/IEEE 29119-3:2021, Software and systems engineering — Software testing — Part 3: Test documentation, 2. baskı, ISO/IEC/IEEE, 2021.
- [4] ISO 19157-1:2023, Geographic information — Data quality — Part 1: General requirements, 1. baskı, ISO, 2023.
- [5] ISO 19115-1:2014, Geographic information — Metadata — Part 1: Fundamentals, ISO, 2014 (Amd 1:2018, Amd 2:2020).
- [6] ISO 19111:2019, Geographic information — Referencing by coordinates, ISO, 2019 (Amd 1:2021).
- [7] Open Geospatial Consortium, "OGC GeoTIFF Standard," ver. 1.1, OGC 19-008r4, 2019. [Çevrimiçi]. Erişim: <https://docs.ogc.org/is/19-008r4/19-008r4.html>
- [8] T. Preston-Werner, "Semantic Versioning 2.0.0." [Çevrimiçi]. Erişim: <https://semver.org/spec/v2.0.0.html>
- [9] "6698 sayılı Kişisel Verilerin Korunması Kanunu," Resmî Gazete, Sayı 29677, 7 Nisan 2016. [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuatmetin/1.5.6698.pdf>
- [10] 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. [Çevrimiçi]. Erişim: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2016/679/oj/eng>
- [11] Creative Commons, "Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) — Legal Code." [Çevrimiçi]. Erişim: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode.en>
- [12] Copernicus Programme, "Legal notice on the use of Copernicus Sentinel Data and Service Information." [Çevrimiçi]. Erişim: https://sentinels.copernicus.eu/documents/247904/690755/Sentinel_Data_Legal_Notice
- [13] Google, "Google Earth Engine Terms of Service." [Çevrimiçi]. Erişim: <https://earthengine.google.com/terms/>
- [14] Association for Computing Machinery, "ACM Code of Ethics and Professional Conduct," 2018. [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.acm.org/code-of-ethics>
- [15] IEEE, "IEEE Code of Ethics," Haziran 2020. [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.ieee.org/content/dam/ieee-org/ieee/web/org/about/corporate/ieee-code-of-ethics.pdf>