



Proje Spesifikasyon Raporu

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	28 Haziran 2026

İçindekiler

1. Giriş	3
2. Sistem Tanımı	4
3. Kısıtlar	6
4. Mesleki ve Etik Konular	8
5. Gereksinimler	9
6. Kaynaklar	12

1. Giriş

Bu rapor, projenin ne yapacağını ve spesifikasyonlarını tanımlamak amacıyla hazırlanmıştır. Bu kapsamda sistemin amacı, hedef kullanıcıları, kapsamı, kısıtları, profesyonel ve etik sorumlulukları ile ilk gereksinim listesi ortaya konmaktadır. Sistemin ayrıntılı olarak nasıl modelleneceği, hangi tasarım kararlarıyla geliştirileceği ve teknik mimarisinin nasıl yapılandırılacağı ise sonraki Analiz ve Yüksek Seviye Tasarım raporlarında ele alınacaktır.

1.1 Amaç ve Problem Tanımı

Bu proje, bir şehrin uzun vadede ne kadar yayılacağını ve bu süreçte yeşil alan ile yapılaşma arasındaki dengenin nasıl değişeceğini çok-zamanlı Sentinel-2 uydu görüntülerinden tahmin eden bir karar destek sistemi geliştirmeyi amaçlar. Sistem, Sentinel-2 zaman serisinden mevsimsel arazi-örtüsü haritaları üretir. Bu haritaların yıllara göre değişimini zaman serisi modelleriyle öğrenir ve gelecekteki yapılaşma alanı, yeşil alan oranı ve yeşil-bina dengesi hakkında ölçülebilir tahminler üretir.

Proje, kent plancılarının erken aşama fizibilite çalışmalarında kullanabileceği analitik bir destek aracıdır. Sistem resmi imar kararı üretmez; planlama uzmanlarının senaryo karşılaştırması, risk farkındalığı ve veriyle desteklenmiş değerlendirme yapmasına yardımcı olur.

1.2 Hedef Kullanıcılar

- **Birincil kullanıcılar:** Belediyelerin imar, şehir planlama, çevre ve sürdürülebilirlik birimleri; kent plancıları; kentsel büyüme ve yeşil alan takibi yapan teknik ekipler.
- **İkincil kullanıcılar:** Uzaktan algılama, yapay zekâ, coğrafi bilgi sistemleri ve sürdürülebilir şehircilik alanlarında çalışan araştırmacılar ve öğrenciler.
- **Karar bağlamı:** Erken aşama fizibilite, geçmiş kentsel yayılmanın incelenmesi, alternatif gelişim senaryolarının karşılaştırılması ve yeşil alan kaybı riskinin görünür hale getirilmesi.

1.3 MVP Kararı

MVP kapsamı tek şehirle (Ankara) sınırlandırılmıştır. Proje, tüm Türkiye veya küresel ölçekte çalışan operasyonel bir servis geliştirmeyi hedeflemez. Ek şehir çalışması yalnızca zaman ve veri kalitesi uygun olursa opsiyonel doğrulama kapsamındadır.

Segmentasyon tarafında her şehir ve her senaryo için yeni model eğitmek yerine dört mevsimsel model kullanılacaktır: kış, ilkbahar, yaz ve sonbahar. Böylece sistem hem Sentinel-2 görüntülerindeki mevsimsel spektral farkları hesaba katar hem de model yükünü kontrol altında tutar.

1.4 Ölçülebilir Başarı Kriterleri

Kriter	Ölçüm	Kabul Ölçütü
Segmentasyon Doğruluğu	Test kümesinde Macro-F1	Dört mevsimden her biri için test kümesinde Macro-F1 $\geq$ 0.85 veya bu hedefe ulaşamıyorsa hata analiziyle raporlanmış en iyi model.
Tahmin Başarımı	Kompozisyon MAE (yeşil/yapı oranı)	Yapılaşmış alan oranı ve yeşil-bina oranı tahmininde en iyi naif baseline'a göre MAE bazında en az %10 iyileşme.
Baseline Üstünlüğü	"No-Change" ve "linear trend" ile kıyas	No-change ve linear trend baselinelerini raporlama, her iki naif referansı da geçme.
Çalışabilirlik	Uçtan uca çalışabilirlik	Ankara için veri çekme, ön işleme, segmentasyon, zaman serisi eğitimi/tahmini ve görselleştirme hattı tek komut veya tek notebook akışıyla çalışma.

2. Sistem Tanımı

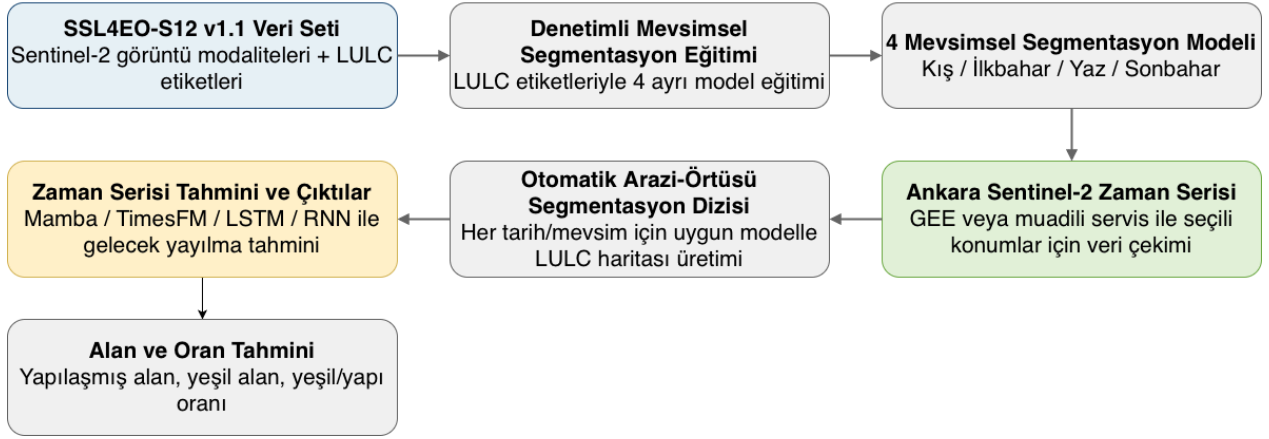
2.1 Sistem Özeti

Sistem üç ana aşamadan oluşur. İlk aşamada SSL4EO-S12 v1.1 veri setinin Sentinel-2 görüntüleri ve bu görüntülerle hizalanmış LULC (arazi-örtüsü) modalitesi etiket olarak kullanılarak, doğrudan denetimli (supervised) öğrenmeyle dört mevsimsel segmentasyon modeli eğitilir [2], [8], [17]. İkinci aşamada bu modeller hedef şehir Sentinel-2 zaman serisine uygulanır ve her mevsim/yıl için arazi-örtüsü haritası

üretilir. Üçüncü aşamada segmentasyon dizisi, zaman serisi tahmin modeli ve baselinelar ile analiz edilerek gelecekteki kentsel yayılma miktarı ve yeşil-bina kompozisyonu tahmin edilir [2], [17], [9], [10].

Dinamik arazi örtüsü ürünleri güncel durumun izlenmesinde güçlüdür ancak proje bu ürünleri doğrudan nihai çıktı olarak almak yerine geçmiş segmentasyon dizisini geleceğe dönük bir tahmin problemine dönüştürür. Bu yönüyle proje, hazır arazi örtüsü haritalama ile uzun vadeli kentsel büyüme tahminini birleştirir [1], [3], [4], [5].

Sistem Mimarisi ve Veri Akışı



Şekil 1. Sistem mimarisi ve veri akışı. Şekil kendi çalışmamızdır.

2.2 Ana Fonksiyonlar

- **F1 - Veri edinimi:** Ankara hedef alanı için Sentinel-2 L2A görüntülerinin ve yardımcı açık veri katmanlarının tarih aralığına göre çekilmesi.
- **F2 - Ön işleme:** Bulut maskeleme, yeniden örnekleme, koordinat/hizalama, mevsimsel kompozit üretimi ve kalite bayrağı çıkarımı.
- **F3 - Mevsimsel segmentasyon:** Kış, ilkbahar, yaz ve sonbahar için ayrı segmentasyon modelleriyle 9 sınıflı arazi-örtüsü haritası üretimi.
- **F4 - Otomatik etiketleme:** Eğitilmiş segmentasyon modellerinin şehir zaman serisine uygulanması ve segmentasyon yığınlarının oluşturulması.
- **F5 - Alan ve oran çıkarımı:** Yapılaşmış alan, yeşil alan, diğer sınıflar ve yeşil-bina oranının piksel alanlarından hesaplanması.
- **F6 - Zaman serisi tahmini:** No-change ve linear trend baselinelerine ek olarak LSTM ve bir ileri modelin (Mamba veya TimesFM) karşılaştırılması.

- **F7 - Görselleştirme ve raporlama:** Tahmin haritaları, değişim grafikleri, CSV/GeoTIFF çıktıları ve kalite/belirsizlik notlarının üretilmesi.

2.3 Veri ve Sınıf Tanımı

Segmentasyon modellerinin eğitiminde SSL4EO-S12 v1.1 veri seti kullanılır; bu veri seti Sentinel-2 görüntülerini, bunlarla hizalanmış bir LULC (arazi-örtüsü) modalitesini ve yardımcı katmanları (ör. DEM, NDVI) birlikte sağlar ve CC-BY-4.0 lisansı ile sunulur [2], [17]. Çıkarım aşamasında birincil görüntü kaynağı, hedef şehir Ankara için Google Earth Engine üzerinden çekilen Sentinel-2 L2A yüzey yansıtım verisidir. Sentinel verileri ücretsiz, tam ve açık erişim ilkesiyle sunulur; proje bu verileri araştırma/prototip amaçlı kullanacaktır [11]. Proje, görüntüyü yalnızca RGB ile sınırlamaz; SSL4EO-S12 v1.1 ve Sentinel-2 L2A çok-bantlı yüzey yansıtımını (gerekirse RGB alt kümesini) kullanabilir. Arazi-örtüsü, SSL4EO-S12 v1.1 LULC modalitesi tarafından belirlenen dokuz sınıflı bir arazi-örtüsü şeması temel alınarak ele alınacaktır (yeşil-bina dengesini ifade etmeye yetecek biçimde: su, ağaç, su basmış bitki örtüsü, ekin, otlak (rangeland), yapılaşmış alan, çıplak zemin, bulut ve kar/buz) [17].

Yeşil alan göstergesi, ağaç, otlak (rangeland), ekin ve su basmış bitki örtüsü sınıflarının toplam alanı olarak raporlanacaktır. Yapılaşma göstergesi, built-up/yapılaşmış alan sınıfının toplam alanıdır. Ana çıktı, yapılaşmış alan artışı ve yeşil alan/yapılaşmış alan oranındaki değişimdir.

2.4 Konumlandırma ve Karşılaştırma

Yaklaşım	Güçlü yön	Bu projedeki ayrışma
Hazır arazi-örtüsü ürünleri	Güncel veya yakın gerçek zamanlı sınıflandırma üretir.	Gelecek tahmini üretmez; bu proje geçmiş segmentasyon dizisinden tahmin üretir.
Bina ayak izi takip veri setleri	Tekil bina takibi ve değişim yakalama için uygundur.	Bu proje bina tekiliği yerine alan bazlı kompozisyon ve yeşil-bina dengesine odaklanır.
Klasik CA/SLEUTH benzeri modeller	Kural tabanlı kentsel büyüme simülasyonu sağlar.	Bu proje spektral-zamansal uydu temsillerini derin öğrenme ile kullanır.

Önerilen sistem	Segmentasyon + otomatik etiketleme + zaman serisi tahmini hattı.	Tek hedef şehir ve dört mevsim modeliyle uygulanabilir MVP olarak sınırlandırılmıştır.
-----------------	--	--

2.5 Kapsam İçi ve Kapsam Dışı

Kapsam içi işler aşağıda tanımlanmıştır.

- Ankara için Sentinel-2 dönemi üzerinde mevsimsel zaman serisi oluşturma.
- Dört mevsimsel segmentasyon modeliyle 9 sınıflı arazi-örtüsü haritası üretme.
- Yapılaşmış alan, yeşil alan ve yeşil-bina oranı zaman serisini çıkarma.
- No-change ve linear trend baselinelerine karşı en az bir öğrenen zaman serisi modeliyle tahmin karşılaştırması yapma.
- Sonuçları harita, tablo ve grafik olarak raporlama.

Kapsam dışı işler aşağıda açıkça sınırlandırılmıştır.

- Resmi imar planı, ruhsat, kamulaştırma veya hukuki bağlayıcılığı olan plan kararı üretmek.
- Küresel ölçekte servis işletmek veya gerçek zamanlı operasyonel ürün sunmak.
- Tekil bina/ada/parsel düzeyinde kesin yapı tahmini yapmak.
- Nüfus, gelir, etnik yapı, mülkiyet veya kişisel veri içeren sosyoekonomik nedensellik analizi yapmak.
- Belediyenin veya plancının kararını otomatikleştirmek; sistem yalnızca karar destek çıktısı sunar.

3. Kısıtlar

3.1 Ekonomik ve Kaynak Kısıtları

Proje açık veri ve akademik kullanım varsayımıyla yürütülecektir. Sentinel verileri ücretsiz ve açık erişimli olsa da Google Earth Engine hizmetinin kullanım şartları akademik/araştırma amaçlı ücretsiz erişim ile ticari/operasyonel kullanım arasında ayrım yapar [11], [12]. Bu nedenle prototip, ders projesi ve araştırma amaçlı kullanım kapsamında kalacaktır.

1. **Hesaplama sınırı:** eğitim ve çıkarım tek GPU iş istasyonu veya üniversite GPU kaynağına sığacak şekilde patch tabanlı yapılacaktır.
2. **Depolama sınırı:** ham görüntüler, ön işlenmiş mevsimsel kompozitler, model ağırlıkları ve özet çıktılar saklanacaktır.

3. **Model sayısı sınırı:** MVP için tek hedef şehir ve dört mevsimsel segmentasyon modeli dışında ek model/şehir zorunlu değildir.
4. **B planı:** Sentinel-2 zaman aralığı uzun vadeli tahmin için yetersiz kalırsa GHSL ve GISD30 gibi daha uzun geçmişe sahip açık veri setleri yalnızca yardımcı/karşılaştırmalı veri olarak değerlendirilecektir [6], [7].

3.2 Sosyal ve kültürel kısıtlar

Kentsel yayılma tahminleri sosyal açıdan hassastır. Yanlış veya bağlamdan kopuk yorumlanan haritalar, belirli mahallelerin riskli, değersiz veya planlama açısından istenmeyen bölgeler gibi algılanmasına yol açabilir. Bu nedenle sistem çıktıları mahalle, parsel veya kişi odaklı yargı üretmeyecek; yalnızca alan bazlı, teknik ve belirsizlik içeren karar destek bilgisi verecektir.

1. Kullanıcı arayüzü ve rapor dili, teknik olmayan plancıların anlayabileceği şekilde açık olacaktır.
2. Tahminler sosyal, ekonomik veya politik neden-sonuç iddiası olarak sunulmayacaktır.
3. Düşük gelirli veya hızlı göç alan bölgeler hakkında etiketleyici/ayırıcı yorum yapılmayacaktır.
4. Yerel planlama bağlamı, belediye uzmanlarının yorumu olmadan nihai karar olarak kabul edilmeyecektir.

3.3 Hukuki ve Lisans Kısıtları

Veri ve yazılım lisansları teslim edilecek ürünün kullanılabilirliğini doğrudan belirler. Sentinel verilerinin açık erişim koşulları, SSL4EO-S12 v1.1 veri setinin CC-BY-4.0 atıf gerekliliği ve Google Earth Engine kullanım şartları raporda ve depoda açıkça belirtilecektir [17], [11], [12].

1. **Veri atfı:** SSL4EO-S12 v1.1 veri seti CC-BY-4.0 lisanslıdır; gerekli atıf metni rapor ve çıktı metadatasına eklenecektir. Bu veri setindeki LULC modalitesi, TerraMesh aracılığıyla ESRI arazi-örtüsü ürününden türetilmiştir ve yıllık çözünürlükte olup zaman serisi boyunca büyük ölçüde sabittir [17], [18].

2. **Hizmet şartları:** Earth Engine yalnızca ders/araştırma prototipi için kullanılacak; operasyonel belediye ürünü veya ücretli hizmet olarak sunulmayacaktır [12].
3. **Açık kaynak:** PyTorch, rasterio, GeoPandas, TimesFM/Mamba gibi bağımlılıkların LICENSE dosyaları depoda tutulacak; uyumsuz lisans varsa ilgili bileşen çıkarılacaktır.
4. **Kişisel veri:** Proje varsayılan olarak kişisel veri toplamaz. Ek belediye verisi alınırsa KVKK/GDPR uyumluluğu ayrıca değerlendirilecektir [15], [16].

3.4 Etik Kısıtlar

Model çıktılarının planlama kararlarında kullanılma ihtimali etik sorumluluk doğurur. Hatalı tahminler yeşil alan koruması, altyapı önceliği veya yatırım yönlendirmesi gibi konularda yanlış beklenti yaratabilir. Bu yüzden sistem kesin karar verici değil, belirsizlik içeren karar destek aracı olarak tasarlanmıştır.

- Her çıktı kalite bayrağı, veri boşluğu ve bulut oranı bilgisiyle birlikte sunulacaktır.
- Model performansı yalnızca başarı örnekleriyle değil, hata örnekleriyle de raporlanacaktır.
- Baselinelar saklanmayacak; projenin sağladığı gerçek iyileşme sayısal olarak gösterilecektir.
- Tahmin haritalarında yanıltıcı kesinlikten kaçınmak için belirsizlik aralığı veya güven notu verilecektir.

3.5 Sağlık ve Güvenlik Kısıtları

Sistem doğrudan sağlık veya can güvenliği açısından kritik bir kontrol mekanizması değildir. Ancak yeşil alan kaybı, ısı adası etkisi ve yaşam kalitesi gibi dolaylı etkiler nedeniyle çıktılar kamu yararı açısından önemlidir. Bu nedenle sistem afet, acil durum, ruhsat veya yapı güvenliği kararı için kullanılmayacaktır; yalnızca uzun vadeli planlama farkındalığı sağlar.

4. Mesleki ve Etik Konular

4.1 ACM/IEEE Etik İlkeleriyle Proje Sorumlulukları

ACM Code of Ethics, kamu yararını bilişim mesleğinin temel önceliği olarak tanımlar; IEEE Code of Ethics de mühendislik kararlarında kamu sağlığı, güvenliği ve refahı için sorumluluk almayı vurgular [13], [14].

Bu proje açısından etik sorumluluk, modelin teknik doğruluğu kadar çıktının nasıl yorumlanacağı ve hangi amaçlar için kullanılmayacağını açıkça belirtilmesidir.

Etik ilke	Projeye özgü risk	Uygulanacak önlem
Kamu yararı ve zarar vermeme	Yanlış tahminlerin planlama kararlarını yanıltma riski vardır.	Sistem resmi karar vermez; belirsizlik, veri kalitesi ve kapsam dışı uyarıları her raporda gösterilir.
Dürüstlük ve şeffaflık	Baseline'a göre iyileşme belirsiz kalırsa proje etkisi abartılabilir.	No-change ve linear trend baselineleri zorunlu raporlanır; başarı yüzdesi açıkça verilir.
Mesleki yeterlilik	Uzaktan algılama, segmentasyon ve zaman serisi hataları zincirleme yayılabilir.	Hata analizi, model kartı, veri kartı ve deney kayıtları tutulur.
Gizlilik	Varsayılan veri kişisel değildir; ancak ek sosyoekonomik/veri entegrasyonu risk yaratabilir.	Kişisel veri toplanmaz; yardımcı veri gerekirse yalnızca anonim/toplulaştırılmış düzeyde kullanılır.

4.2 KVKK Değerlendirmesi

Projenin çekirdek verisi 10 m çözünürlüklü uydu görüntüsü, arazi-örtüsü etiketi ve alan bazlı istatistiklerden oluşur; bu veri setleri doğrudan kimliği belirli veya belirlenebilir kişilere ait bilgi toplamayı hedeflemez. Bu nedenle varsayılan MVP kapsamında kişisel veri işleme amacı yoktur.

Buna rağmen, ilerleyen süreçte projede; belediyelerden nüfus, mülkiyet, adres, parsel sahibi, başvuru, şikâyet veya benzeri verilerin alınmasını gerektirecek değişiklikler olursa KVKK açısından veri minimizasyonu, hukuki dayanak, aydınlatma, saklama süresi, erişim yetkisi, anonimleştirme ve silme politikası ayrıca belgelenecektir [15], [16].

- MVP veri tabanında kişi adı, T.C. kimlik numarası, telefon, e-posta, adres sahibi, parsel sahibi veya bireysel başvuru verisi saklanmayacaktır.
- Yardımcı nüfus veya sosyoekonomik veri kullanılırsa yalnızca mahalle/ilçe gibi toplulaştırılmış düzeyde ve kişiyi geri tanımlamayacak biçimde kullanılacaktır.
- Depoda ham kişisel veri, gizli belediye verisi veya lisansı belirsiz veri paylaşılmayacaktır.

- Veri kaynakları, lisansları ve erişim tarihleri README ve raporda açıkça listelenecektir.

4.3 Üçüncü Taraf lisanslar ve Akademik Bütünlük

Projede kullanılacak veri setleri, model kodları ve kütüphaneler için lisans denetimi yapılacaktır. SSL4EO-S12 v1.1 veri seti CC-BY-4.0 atfıyla kullanılacak; Sentinel verisi için Copernicus/Sentinel legal notice dikkate alınacak; Google Earth Engine kullanımının akademik prototip sınırında kaldığı belirtilecektir [17], [11], [12].

Akademik bütünlük açısından dış kaynaklı şekil, tablo, kod parçası veya model mimarisi doğrudan alındığında kaynak gösterilecektir. Bu rapordaki mimari şekil ve gereksinim tabloları takımın kendi çalışmasıdır. Literatür referansları birincil kaynaklardan doğrulanmış ve kaynakçada IEEE stiline yakın biçimde verilmiştir.

4.4 Model Yanlılığı, Belirsizlik ve Kullanıcı Sorumluluğu

Uydu görüntüsü tabanlı modeller mevsim, bulut, sensör farkı, coğrafi doku ve etiket gürültüsünden etkilenir. Bu nedenle model çıktısı kesin gelecek bilgisi olarak değil, belirli varsayımlar altında üretilmiş tahmin olarak sunulacaktır. Kullanıcı, çıktıları yerel planlama bilgisi, saha gözlemi ve mevzuatla birlikte değerlendirmelidir.

- Tahmin ufku uzadıkça belirsizlik artışı açıkça gösterilecektir.
- Bulut oranı yüksek veya eksik gözlem içeren dönemlerde sonuçlar düşük güven etiketiyle sunulacaktır.
- Modelin başarısız olduğu örnekler ve sınıflar raporda ayrı bölümde incelenecektir.
- Sistem, tek başına imar planı, riskli alan kararı veya yatırım tavsiyesi olarak kullanılmayacaktır.

5. Gereksinimler

5.1 Varsayımlar ve Bağımlılıklar

ID	Varsayım	Açıklama
A1	Hedef şehir	MVP için Ankara seçilmiştir; ek şehir opsiyoneldir ve başarı ölçütü değildir.

A2	Veri dönemi	Sentinel-2 L2A için 2016-2024 arası ana dönem.
A3	Sınıf taksonomisi	SSL4EO-S12-v1.1 ile uyumlu 9 arazi-örtüsü sınıfı temel alınır.
A4	Model yükü	Segmentasyon tarafında dört mevsim modeli; zaman serisi tarafında iki baseline + en az bir öğrenen model zorunludur.
A5	Kullanım	Sistem karar destek aracıdır; hukuki/operasyonel imar kararı üretmez.

5.2 Fonksiyonel Gereksinimler

ID	Gereksinim	Kabul/Doğrulama ölçütü	Öncelik
FR-01	Sistem, hedef şehir sınırını AOI olarak alabilmeli ve Sentinel-2 L2A görüntülerini tarih aralığına göre çekebilmelidir.	Ankara AOI için en az 2016-2024 arası görüntü listesi ve metadata dosyası üretilir.	Zorunlu
FR-02	Sistem bulut maskeleme, 10 m hizalama, band seçimi ve mevsimsel kompozit üretimi yapmalıdır.	Her yıl/mevsim için kalite bayraklı kompozit GeoTIFF veya eşdeğer raster çıktı oluşur.	Zorunlu
FR-03	Sistem kış, ilkbahar, yaz ve sonbahar için dört segmentasyon modeli tanımlamalıdır.	Dört ayrı konfigürasyon/model ağırlığı ve eğitim/validasyon metrik dosyası bulunur.	Zorunlu

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.	Zorunlu
FR-05	Otomatik etiketleme modülü, eğitilmiş segmentasyon modellerini şehir zaman serisine uygulamalıdır.	Ankara için kronolojik segmentasyon yığını oluşturulur ve eksik dönemler işaretlenir.	Zorunlu
FR-06	Sistem yapılaşmış alan, yeşil alan, diğer sınıflar ve yeşil-bina oranı zaman serisini hesaplamalıdır.	Her zaman adımı için CSV tablosunda alan m ² /km ² ve oran değerleri yer alır.	Zorunlu
FR-07	Sistem en az iki naif baseline üretmelidir: no-change ve linear trend.	Baseline tahminleri aynı test penceresinde model tahminleriyle karşılaştırılır.	Zorunlu
FR-08	Sistem en az bir öğrenen zaman serisi modeli eğitmelidir; öncelik LSTM ve bir ileri modeldir.	LSTM zorunlu; Mamba veya TimesFM veri/kurulum uygunsa eklenir, değilse gerekçeli B planı raporlanır.	Zorunlu
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.	Zorunlu
FR-10	Sistem segmentasyon ve tahmin	Macro-F1, IoU, precision/recall, MAE,	Zorunlu

	performansını hesaplamalıdır.	RMSE ve baseline iyileşme yüzdesi raporlanır.	
FR-11	Sistem çıktıları harita, zaman serisi grafiği ve tablo olarak görselleştirmelidir.	PNG/PDF görsel çıktıları ve CSV/GeoTIFF veri çıktıları üretilebilir.	Zorunlu
FR-12	Sistem deneyleri tekrarlanabilir şekilde kaydetmelidir.	Konfigürasyon, veri manifesti, model sürümü, seed ve metrikler otomatik loglanır.	Zorunlu
FR-13	Sistem opsiyonel olarak GHSL/GISD30 verilerini B planı veya karşılaştırma verisi olarak kullanabilmelidir.	Sentinel serisi yetersiz kalırsa GHSL/GISD30 zaman serisi ayrı modülde çalıştırılır.	Opsiyonel

5.3 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 + 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.
NFR-06	Güvenilirlik	Bulutlu/eksik dönemler hata vermeden kalite bayrağıyla işaretlenmelidir.	Eksik dönem test senaryosu.

NFR-07	Kullanılabilirlik	Teknik kullanıcı, README adımlarını izleyerek örnek Ankara çalıştırmasını başlatabilmelidir.	Kurulum denemesi
NFR-08	Gizlilik ve güvenlik	Depoda kişisel veri, gizli belediye verisi veya lisansı belirsiz ham veri bulunmamalıdır.	Depo veri denetimi ve .gitignore/veri manifesti kontrolü.
NFR-09	Bakım yapılabilirlik	Kod veri, segmentasyon, etiketleme, tahmin ve görselleştirme modüllerine ayrılmış olmalıdır.	Modül yapısı ve temel birim testleri.

5.4 Önceliklendirme ve Kabul Koşulları

Teslim başarısı için FR-01 ile FR-12 arasındaki zorunlu fonksiyonel gereksinimler ve NFR-01 ile NFR-08 arasındaki temel fonksiyonel olmayan gereksinimler karşılanmalıdır.

496 dönemindeki çalışan prototip kabulü için minimum çıktı; Ankara için en az bir tarihsel holdout tahmin deneyi, iki baseline karşılaştırması, bir öğrenen model, segmentasyon metrikleri, tahmin metrikleri ve görselleştirilmiş haritalardan oluşacaktır.

6. Referanslar

- [1] 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. doi: 10.1109/CVPR52688.2022.02048. [Online]. Available: https://openaccess.thecvf.com/content/CVPR2022/papers/Toker_DynamicEarthNet_Daily_Multi-Spectral_Satellite_Dataset_for_Semantic_Change_Segmentation_CVPR_2022_paper.pdf
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] Google Earth Engine Data Catalog, "Dynamic World V1." Accessed: Jun. 28, 2026. [Online]. Available: https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/GOOGLE_DYNAMICWORLD_V1
- [5] 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), pp. 6398-6407, 2021.
- [6] 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, 2024, doi: 10.1080/17538947.2024.2390454.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] A. Gu and T. Dao, "Mamba: Linear-Time Sequence Modeling with Selective State Spaces," arXiv:2312.00752, 2023.
- [10] 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.
- [11] Copernicus Climate Data Store, "Legal notice on the use of Copernicus Sentinel Data and Service Information." Accessed: Jun. 28, 2026. [Online]. Available: <https://cds.climate.copernicus.eu/licences/ec-sentinel>
- [12] Google, "Google Earth Engine Terms of Service." Accessed: Jun. 28, 2026. [Online]. Available: <https://earthengine.google.com/terms/>

- [13] Association for Computing Machinery, “ACM Code of Ethics and Professional Conduct.” Accessed: Jun. 28, 2026. [Online]. Available: <https://www.acm.org/code-of-ethics>
- [14] IEEE, “IEEE Code of Ethics.” Accessed: Jun. 28, 2026. [Online]. Available: <https://events.ieee.org/planning-basics/general-guidelines/ethical-guidelines-and-policies/>
- [15] Kişisel Verileri Koruma Kurumu, “6698 Sayılı Kişisel Verilerin Korunması Kanunu.” Accessed: Jun. 28, 2026. [Online]. Available: <https://kvkk.gov.tr/SharedFolderServer/CMSFiles/d077b665-66b6-4615-975a-249f93e084ba.pdf>
- [16] 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>
- [17] 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>
- [18] Embed2Scale, “SSL4EO-S12-v1.1,” Hugging Face Datasets, CC-BY-4.0. Accessed: Jun. 28, 2026. [Online]. Available: <https://huggingface.co/datasets/embed2scale/SSL4EO-S12-v1.1>