



TASLAK

METGÜN & EZE & ATİS Ortak Girişimi

Kocaeli Kuzey Hafif Raylı Sistem

(Körfezray Metro) Projesi

Çevresel ve Sosyal Etki Değerlendirme Raporu

Bölüm 7.1 Fiziksel Etkiler

2025-05-20

25753037_Final_Rev00



Belge Dağıtımı

Metgün-Eze-Atis Ortak Girişimi

Kocaeli Kuzey Hafif Raylı Sistem (Körfezray Metro) Projesi

Çevresel ve Sosyal Etki Değerlendirme Raporu

Bölüm 7.1 – Fiziksel Etkiler

Taslak Rapor

Tarih: 20.05.2025

Doküman No: 25753037_Final_Rev00

Hazırlanmıştır

Metgün-Eze-Atis Ortak Girişimi

Huzur Mahallesi, Maslak Ayazağa Caddesi, Metgün Binası No:2, Sarıyer-İstanbul/TÜRKİYE

Takdim Edilmiştir

Metgün-Eze-Atis Ortak Girişimi

Kredi Verenlere Takdim Edilmiştir

Hazırlayan

WSP Danışmanlık ve Mühendislik Ltd. Şti.

Hilal Mahallesi, Sukarno Caddesi, 691. Sokak, Vadi Sitesi No:4, 06550, Çankaya-Ankara/TÜRKİYE

T +90 312 441 0031

Düzenlemeler

Rev	Tarih	Açıklamalar
Taslak_Rev00	2026-05-08	Taslak Raporun İlk Sunumu
Taslak_Rev01	2026-05-15	Müşteri Yorumları Doğrultusunda Revize Edilmesi
Final_Rev00	2026-05-20	Nihai Revizyon

İÇİNDEKİLER

Kisaltmalar	17
7. ETKİ DEĞERLENDİRMESİ	19
7.1. Fiziksel Bileşenler	19
7.1.1. Jeoloji ve Jeomorfoloji	19
7.1.1.1. Etki Analizi	
7.1.1.1.1. İnşaat Aşaması	
7.1.1.1.2. İşletme Aşaması	
7.1.1.1.3. Söküm ve Kapatma Aşaması	
7.1.1.2. Azaltım Tedbirleri	
7.1.1.3. Artık Etkileri	
7.1.1.3.1. İnşaat Aşaması	
7.1.1.3.2. İşletme Aşaması	
7.1.1.3.3. Hizmetten Çıkarma ve Kapanış Aşaması	
7.1.1.4. İzleme	
7.1.2. Jeoteknik Tehlike ve Sismisite	22
7.1.2.1. Etki Analizi	
7.1.2.1.1. Sismisite	
7.1.2.1.1.1. Sismik Kaynak Modelleri	23
7.1.2.1.1.2. Sismik Kaynak Modelleri ve Kaynak Karakterizasyonu	24
Deprem Kaynak Modelleri: Alan Kaynaklar	24
Deprem Kaynak Modelleri: Doğrusal Kaynak + Mekânsal Olarak Yumuşatılmış Sismik Kaynaklar	27
Sismik tehlike analizlerinde kullanılan ikinci sismik kaynak türü, Demircioğlu ve ark. (2018) tarafından geliştirilen doğrusal kaynak ve mekânsal olarak yumuşatılmış sismisite modelidir. PROTA (2025) tarafından hazırlanan “Sismik Tehlike Hesaplamaları ve Ölçeklendirilmiş Sismik Kayıt Setlerinin Temini Raporu”nda belirtildiği üzere, Proje Alanı için toplam 208 doğrusal fay kaynağı modele dahil edilmiştir.	27
Zamana Bağlı Deprem Tekrarlanma Modellemesi	28
7.1.2.1.1.3. Yer Hareketi Tahmin Denklemleri ve Yer Hareketi Karakterizasyonu	28
Yer Hareketi Karar Ağacı Uygulaması	29
7.1.2.1.1.4. Tüneller için Deprem Tehlike Hesaplamaları	30
Olasılıksal Deprem Tehlike Hesaplamaları	31

PROTA (2025) tarafından hazırlanan “Sismik Tehlike Hesaplamaları ve Ölçeklendirilmiş Sismik Kayıt Setlerinin Temini Raporu” kapsamında, Proje Alanı için öngörülen $V_{s30} = 760$ m/s kaya zemin koşulu esas alınarak sahaya özel sismik tehlike analizleri başlangıçta gerçekleştirilmiştir. Bu analizlerden elde edilen değerler, Türkiye Sismik Tehlike Haritası’nın (Akkar ve ark., 2018) saha bağımsız geometrik ortalama tasarım spektrumları ile karşılaştırma amacıyla kullanılmıştır. Söz konusu yaklaşım, Türk Deprem Yönetmeliği (2020) [TDY-20] tarafından da önerilmektedir. PROTA (2025) kapsamında ayrıca, alan kaynaklarının 5 km aralıklarla ayrıklaştırılması ve 0,1 M büyüklük-frekans dağılım aralığı kullanılması gibi daha hassas hesaplama yaklaşımları uygulanmıştır. Tüm bu yaklaşımlar birlikte değerlendirildiğinde, belirli düzeyde sapsmaların oluşması beklenen bir durumdur. Genel karşılaştırma sonucunda, sahaya özel bu çalışmadan elde edilen sonuçların yönetmelik tarafından tanımlanan spektral değerlerle uyumlu olduğu sonucuna ulaşılmıştır (PROTA, 2025).

31

Siteye Özgü Deprem Tehlike Hesaplamaları ve TDY20 ile Karşılaştırmalar

41

Bu bölümde tasarım esaslı değerler, Siteye Özgü Olasılıksal Deprem Tehlike Hesaplama Sonuçları ile TDY20 Hesaplama Sonuçları bölümünde sunulan TDY20 değerlerinin karşılaştırılması yoluyla elde edilmiştir. Bu değerlendirmelerde, siteye özgü deprem yer hareketi spektrumlarının kod tabanlı tasarım spektrumu ordinatlarının %90’ının altına düşmemesi gerektiğini belirten TDY20 gerekliliği dikkate alınmıştır. Bu doğrultuda, proje güzergâhı boyunca siteye özgü sismik tehlike hesaplama sonuçlarını kapsayan ve TDY20 uniform hazard spektrumunun en az %90’ını sağlayan bir zarf (envelope) spektrum benimsenmiştir. Tünel hatları için elde edilen tasarım parametreleri Tablo 7.10’da sunulmuştur.

41

Olasılıksal Deprem Tehlike Ayrıştırma Analizleri

44

Sismik Tehlike Hesaplamaları ve Ölçeklendirilmiş Sismik Kayıt Setlerinin Temini Raporu’nda (PROTA, 2025) özetlendiği üzere, deaggregation analizleri Proje Alanına katkı sağlayan deprem senaryosunun ortalama büyüklük (magnitude) ve uzaklık (distance) değerlerini sunmaktadır. Bu değerler daha sonra düşey tepki spektrumunun hesaplanmasında kullanılmış ve ayrıca yer hareketi kayıtlarının seçimi sürecinde referans alınmıştır (Tablo 7.11, Tablo 7.12, Tablo 7.13 ve Tablo 7.14).

44

7.1.2.1.1.5. İstasyonlar İçin Olasılıksal Deprem Tehlikesi Hesaplamaları

48

7.1.2.1.1.6. Zemin Hareketi Kayıtlarının Seçimi ve Ölçeklendirilmesi

70

7.1.2.2. Azaltma Tedbirleri

7.1.2.3. Kalan Etkiler

7.1.2.4. İzleme

7.1.3. Zemin ve Yeraltı Katmanları

76

7.1.3.1. Etki Değerlendirme Analizi

7.1.3.1.1. İnşaat Aşaması

7.1.3.1.2. Faaliyet Aşaması

7.1.3.1.3. Söküm ve Kapatma Aşaması

7.1.3.2. Azaltıcı Tedbirler

7.1.3.3.	Rezidüel Etkiler	
7.1.3.3.1.	İnşaat Aşaması	
7.1.3.3.2.	İşletme Aşaması	
7.1.3.3.3.	Kapatma ve Rehabilite Aşaması	
7.1.3.4.	İzleme	
7.1.4.	Hidroloji ve Yüzey Suları	84
7.1.4.1.	Etki Analizi	
7.1.4.1.1.	İnşaat Süreci	
7.1.4.1.2.	İşletme Aşaması	
7.1.4.1.3.	Söküm ve Kapatma Aşaması	
7.1.4.2.	Azaltım Tedbirleri	
7.1.4.3.	Kalan Etkiler	
7.1.4.3.1.	İnşaat Süreci	
7.1.4.3.2.	İşletme Aşaması	
7.1.4.3.3.	Söküm ve Kapatma Aşaması	
7.1.4.4.	İzleme	
7.1.5.	Hidrojeoloji ve Yeraltı Suyu	100
7.1.5.1.	Etki Analizi	
7.1.5.1.1.	İnşaat Aşamaları	
7.1.5.1.2.	İşletme Aşaması	
7.1.5.1.3.	Söküm ve Kapanış Aşaması	
7.1.5.2.	Azaltıcı Önlemler	
7.1.5.2.1.	İnşaat Aşaması	
7.1.5.2.2.	İşletme Aşaması	
7.1.5.2.3.	Söküm ve Kapanış Aşaması	
7.1.5.4.	İzleme	
7.1.6.	Hava Kalitesi	106
7.1.6.1.	Hava Kalitesi Modelleme Metodolojisi	
7.1.6.1.1.	Meteorolojik Verileri	
7.1.6.1.2.	Alıcılar ve Topografya	
7.1.6.2.	Etki Analizi	
7.1.6.2.1.	İnşaat Süreci	
7.1.6.2.1.1.	Toz Emisyonları	113
7.1.6.2.1.2.	Gaz Emisyonları	120
7.1.6.2.1.3.	Toplam Toz Emisyonu	122

7.1.6.2.1.4.	Toplam Gaz Emisyonları	124
7.1.6.2.1.5.	Modelleme Çalışması Senaryoları	125
7.1.6.2.1.6.	Modelleme Sonuçları	125
7.1.6.2.2.	İşletme Safahatı	
7.1.6.2.3.	Söküm ve Kapatma Aşaması	
7.1.6.3.	Azaltım Tedbirleri	
7.1.6.4.	Kalıcı Etkiler	
7.1.6.4.1.	İnşaat Aşaması	
7.1.6.4.2.	İşletme Aşaması	
7.1.6.4.3.	Söküm ve Kapatma Aşaması	
7.1.6.5.	İzleme	
7.1.7.	Sera Gazı Etkisi (GHG) Emisyon	153
7.1.7.1.	Yasal Çerçeve	
7.1.7.1.1.	Uluslararası Standartlar	
7.1.7.1.2.	Avrupa Direktifleri	
7.1.7.1.3.	Türk Mevzuatı	
7.1.7.2.	Sera Gazı Emisyon Hesaplama Metodolojisi	
7.1.7.2.1.	Küresel Isınma Potansiyeli	
7.1.7.2.2.	Kapsam 1: Doğrudan Sera Gazı Emisyonları	
7.1.7.2.2.1.	Sabit Yanma	158
7.1.7.2.2.2.	Mobil Yakıt Tüketimi	159
7.1.7.2.3.	Kapsam 2: Dolaylı GHG Emisyonları	
7.1.7.2.3.1.	Elektrik Tüketimi	160
7.1.7.2.4.	Kapsam 1 veya Kapsam 2'ye Dahil Edilmeyen Emisyonlar	
7.1.7.2.4.1.	Karbon Stok Değişimi	160
7.1.7.3.	Etki Analizi	
7.1.7.3.1.	İnşaat Aşaması	
7.1.7.3.1.1.	Sabit Yanma Emisyonları	161
7.1.7.3.1.2.	Hareketli Yanma Emisyonları	161
7.1.7.3.1.3.	Elektrik Kullanımı	162
7.1.7.3.1.4.	Karbon Stok Değişimi	162
7.1.7.3.1.5.	İnşaat Aşamasında Toplam Sera Gazı Emisyonları	162
7.1.7.3.2.	İşletme Aşaması	
7.1.7.3.2.1.	İstasyon İşletiminden Kaynaklanan Elektrik Tüketimi	163
7.1.7.3.2.2.	Metro Tren İşletiminden Kaynaklanan Elektrik Tüketimi	164

7.1.7.3.2.3. İşletme Aşamasında Toplam Sera Gazı Emisyonları

7.1.7.3.3. Söküm ve Kapanış Aşaması

7.1.7.4. Azaltım Tedbirleri

7.1.7.5. Kalıcı Etkileri

7.1.7.5.1. İnşaat Aşaması

7.1.7.5.2. İşletme Aşaması

7.1.7.5.3. Söküm ve Kapatma Aşaması

7.1.7.6. İZLEME

7.1.8. Gürültü 173

7.1.8.1. Gürültü Baz Durum Özeti

7.1.8.2. Gürültü Modellemesi Metodolojisi

7.1.8.3. Etkilerin Değerlendirilmesi

7.1.8.3.1. İnşaat Aşaması

7.1.8.3.2. İşletme Aşaması

7.1.8.3.3. Söküm ve Kapatma Aşaması

7.1.8.4. Söküm ve Kapatma Aşaması

7.1.8.4.1. İnşaat Aşaması

7.1.8.4.2. İşletme Aşaması

7.1.8.5. Kalan Etkiler

7.1.8.5.1. İnşaat aşaması

7.1.8.5.2. İşletme Aşaması

7.1.8.5.3. Söküm ve Kapanış Aşaması

7.1.8.6. İzleme

7.1.9. Titreşim 194

7.1.9.1. Etkilerin Değerlendirilmesi

7.1.9.1.1. İnşaat Süreci

7.1.9.1.2. İşletme Aşaması

7.1.9.1.3. Söküm ve Kapatma Aşaması

7.1.9.2. Azaltım Tedbirleri

7.1.9.3. Kalıntı Etkileri

7.1.9.3.1. İnşaat Aşaması

7.1.9.3.2. İşletme Aşaması

7.1.9.3.3. Söküm ve Kapanış Aşaması

7.1.9.4. İzleme

A.Hava Kalitesi Modelleme Haritaları

Tablolar

- Tablo 7.1** İnşaat Aşamasında Jeoloji ve Jeomorfoloji İçin Etki Değerlendirme Matrisi (Mitigasyon Sonrası)
- Tablo 7.2** Deprem Tehlike Hesaplamalarında Mekânsal Kaynakları Tanımlayan Parametreler (PROTA, 2025)
- Tablo 7.3** Yer Hareketi Tahmin Denklemlerinin Kısaltmaları ve Genel Özellikleri
- Tablo 7.4** Yer Hareketi Tahmin Denklemlerinin Mantık Ağacı Uygulama Ağırlıkları (PROTA, 2025)
- Tablo 7.5** Tüneller İçin Zemin Sınıflandırması
- Tablo 7.6** Tüneller İçin Yerel Olasılıksal Deprem Tehlike Hesaplamaları ve Zemin Etkisinden Bağımsız ($VS_{30} = 760$ m/s) Eş Tehlike İvmelenme ve Hız Değerleri (TDTH ve TDY20'den elde edilmiştir) (PROTA, 2025)
- Tablo 7.7** Olasılıksal deprem tehlike hesapları sonucunda temel seviyesindeki zemin koşullarına göre TR = 144 yıl (DD-2a), 475 yıl (DD-2) ve 2475 yıl (DD-1) için elde edilen PGA, PGV, SDS ve SD1 değerleri (PROTA, 2025)
- Tablo 7.8** Olasılıksal deprem tehlike hesapları sonucunda zemin etkisinden bağımsız ($VS_{30} = 760$ m/s) S1' ivme değerleri (TR = 144 yıl (DD-2a), 475 yıl (DD-2) ve 2475 yıl (DD-1)) (PROTA, 2025)
- Tablo 7.9** TDY20'ye göre tünellerin zemin türlerine karşılık gelen DD-2a, DD-2 ve DD-1 için SDS ve SD1 değerleri
- Tablo 7.10** Tünel temelinin zemin karakteristikleri dikkate alınarak TDY20'de belirtilen %90 koşulunu sağlayan tasarım parametreleri (yerel ve TDY20 hesaplamaları, PROTA, 2025)
- Tablo 7.11** T01 Tüneli İçin Olasılıksal Deprem Tehlike Ayırıştırma Analizi Sonuçları
- Tablo 7.12** T05 Tüneli İçin Olasılıksal Deprem Tehlike Ayırıştırma Analizi Sonuçları
- Tablo 7.13** T08 Tüneli İçin Olasılıksal Deprem Tehlike Ayırıştırma Analizi Sonuçları
- Tablo 7.14** T13 Tüneli İçin Olasılıksal Deprem Tehlike Ayırıştırma Analizi Sonuçları
- Tablo 7.15** Her Bir İstasyon İçin İstasyon Konumlarının Tanımları ve Vs Hızları
- Tablo 7.16** İstasyonlar İçin Yerel Olasılıksal Deprem Tehlike Hesaplamaları ve Zemin Etkisinden Bağımsız ($VS_{30} = 760$ m/s) Eş Tehlike İvmelenme ve Hız Değerleri (TDTH ve TDY20'den) (PROTA, 2025)
- Tablo 7.17** S08-Derince İstasyonu İçin Yakın Fay Yönelim Etkileri Dikkate Alınarak Ağırlıklı Ortalama Spektrum Değişim Katsayıları (PROTA, 2025)
- Tablo 7.18** Yüzeyde hesaplanan zemin koşullarına göre TR = 144 yıl (DD-2a), 475 yıl (DD-2) ve 2475 yıl (DD-1) için olasılıksal deprem tehlike hesaplarından elde edilen PGA, SDS ve SD1 değerleri (PROTA, 2025)
- Tablo 7.19** Olasılıksal deprem tehlike hesapları sonucunda zemin etkisinden bağımsız ($VS_{30} = 760$ m/s) S1' ivme değerleri (TR = 144 yıl (DD-2a), 475 yıl (DD-2) ve 2475 yıl (DD-1)) (PROTA, 2025)
- Tablo 7.20** TDY20'ye göre yüzeyde hesaplanan zemin türlerine karşılık gelen DD-2a, DD-2 ve DD-1 için SDS ve SD1 değerleri (PROTA, 2025)
- Tablo 7.21** TDY20'ye göre DD-2a, DD-2 ve DD-1 için elde edilen zemin etkisinden bağımsız S1' değerleri (PROTA, 2025)

- Tablo 7.22** İstasyonların yüzeyde ölçülen zemin karakteristikleri dikkate alınarak TDY20’de belirtilen %90 koşulunu sağlayan tasarım parametreleri (yerel ve TDY20 hesaplamaları) (PROTA, 2025)
- Tablo 7.23** S04 İstasyonu İçin Olasılıksal Deprem Tehlike Ayırıştırma Analizi Sonuçları (PROTA, 2025)
- Tablo 7.24** Grup-1 İstasyonları İçin Analizlerde Kullanılacak Deprem Yer Hareketi Kayıtları ve Özellikleri
- Tablo 7.25** Grup-2 İstasyonları İçin Analizlerde Kullanılacak Deprem Yer Hareketi Kayıtları ve Özellikleri
- Tablo 7.26** Grup-3 İstasyonları İçin Analizlerde Kullanılacak Deprem Yer Hareketi Kayıtları ve Özellikleri
- Tablo 7.27** Grup-4 İstasyonları İçin Analizlerde Kullanılacak Deprem Yer Hareketi Kayıtları ve Özellikleri
- Tablo 7.28** İnşaat Aşamasında Toprak ve Alt Zemin Özellikleri İçin Etki Değerlendirme Matrisi (Mitigasyon Sonrası)
- Tablo 7.29** Devreye Alma ve İşletme Aşamasında Toprak ve Alt Zemin Özellikleri İçin Etki Değerlendirme Matrisi (Mitigasyon Sonrası)
- Tablo 7.30** İnşaat Aşamasında Hidroloji ve Yüzey Suyu Kalitesi İçin Etki Değerlendirme Matrisi (Mitigasyon Sonrası)
- Tablo 7.31** İnşaat Aşamasında Hidrojeoloji ve Yeraltı Suyu Kalitesi Bileşeni İçin Etki Değerlendirme Matrisi (Mitigasyon Sonrası)
- Tablo 7.32** İşletme Aşamasında Hidrojeoloji ve Yeraltı Suyu Kalitesi Bileşeni İçin Etki Değerlendirme Matrisi (Mitigasyon Sonrası)
- Tablo 7.33** Modelde Yer Alan Ayrık Alıcıların (Hassas Alıcılar) Koordinatları
- Tablo 7.34** Toz Emisyonu Tahmininde Kullanılan Emisyon Faktörleri
- Tablo 7.35** Karayolu Dışı Sıkıştırılmalı Ateşlemeli Motorlar İçin USEPA Emisyon Standartları [1]
- Tablo 7.36** İstasyon Alanı Kazı Faaliyetleri
- Tablo 7.37** Tünel Kazı Faaliyetlerinden Kaynaklanan Toz Emisyonları
- Tablo 7.38** İstasyon Sahalarındaki Kazı Hacimleri
- Tablo 7.39** Tüpraş-Petkim İstasyonu Kazı Faaliyetlerinden Kaynaklanan Toz Emisyonları
- Tablo 7.40** İstasyon Sahalarında Kazı Faaliyetlerinden Kaynaklanan Toz Emisyonları
- Tablo 7.41** Tren Depolama Alanı Kazı Faaliyetleri
- Tablo 7.42** Üst Toprak Sıyırılması Faaliyetlerinden Kaynaklanan Toz Emisyonları
- Tablo 7.43** Tren Depolama Alanında Kazıdan Kaynaklanan Toz Emisyonları
- Tablo 7.44** Beton Santrali-1’den Kaynaklanan Toz Emisyonları
- Tablo 7.45** Beton Santrali-2’den Kaynaklanan Toz Emisyonları
- Tablo 7.46** Segment Tesisi Bacası Özellikleri
- Tablo 7.47** Buharlı Kazanlar İçin Kullanılan Emisyon Faktörleri
- Tablo 7.48** Buhar Kazanı Emisyonları
- Tablo 7.49** İnşaat Makinalarından Kaynaklanan Emisyonlar
- Tablo 7.50** Aerodinamik Çap Oranları
- Tablo 7.51** Toplam Toz Emisyonları
- Tablo 7.52** Toplam Gaz Halindeki Kirleticiler Emisyonları
- Tablo 7.53** Çöken Toz Parametresi İçin Modelleme Sonuçları
- Tablo 7.54** PM10 Parametresi İçin Modelleme Sonuçları

- Tablo 7.55** Düzenleyici Limit Değerlerini Aşan 24 Saatlik PM10 Tepe Değerleri ve Aşım Sayıları
- Tablo 7.56** 24 Saatlik PM10 Düzenleyici Limit Değerlerini Aşan Tepe Noktaları ile İlişkili İnşaat Çalışma Alanları
- Tablo 7.57** PM2.5 Parametresi İçin Modelleme Sonuçları
- Tablo 7.58** Modelleme Sonuçlarının Kümülatif Değerlendirmesi - Yıllık
- Tablo 7.59** Modelleme Sonuçlarının Kümülatif Değerlendirmesi – 24 Saatlik
- Tablo 7.60** İnşaat Aşaması İçin Hava Kalitesi Etki Matrisi
- Tablo 7.61** Türkiye’de İklim Değişikliği ve Sera Gazı Emisyonlarına İlişkin Mevzuat
- Tablo 7.62** Projenin Sera Gazı Emisyon Kaynakları
- Tablo 7.63** Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli’nden Küresel Isınma Potansiyelleri
- Tablo 7.64** Sabit Yanma - Enerji Bazlı Emisyon Faktörleri ve Net Kalorifik Değer
- Tablo 7.65** Mobil Yanma - Enerji Bazlı Emisyon Faktörleri ve Net Kalorifik Değer
- Tablo 7.66** Karbon Stok Değişim Değerleri
- Tablo 7.67** İnşaat Aşaması İçin Yıllık Proje Sera Gazı Emisyonları
- Tablo 7.68** Proje Sera Gazı Emisyonlarının Ulusal ve Küresel Emisyonlarla Karşılaştırılması
- Tablo 7.69** Metro Tren İşletiminden Kaynaklanan Sera Gazı Emisyonları
- Tablo 7.70** İşletme Aşaması İçin Yıllık Proje Sera Gazı Emisyonları
- Tablo 7.71** Proje Sera Gazı Emisyonlarının Ulusal ve Küresel Emisyonlarla Karşılaştırılması
- Tablo 7.72** İnşaat Aşaması İçin Sera Gazı Emisyonları Etki Matrisi
- Tablo 7.73** İşletme Aşaması İçin Sera Gazı Emisyonları Etki Matrisi
- Tablo 7.74** Kaynak Verimliliği ve Enerji Yönetimi İzleme Faaliyetleri
- Tablo 7.75** İnşaat Aşamasında Kullanılacak Ekipman Sayısı ve Türü Tahmini
- Tablo 7.76** Alıcı Noktalarda Modellenen İnşaat Gürültü Seviyeleri ve Mevcut Gürültü Seviyeleri
- Tablo 7.77** İnşaat Aşaması İçin Gürültü Etki Matrisi
- Tablo 7.78** İşletme Aşaması İçin Gürültü Etki Matrisi
- Tablo 7.79** Demiryolu ve Karayolu Taşıtları, İşyerleri ve Endüstriyel Tesislerden Kaynaklanacak Yer Titreşimlerinin En Yakın Yapıda ve Binadaki Makine ve Ekipmanlardan Kaynaklanacak Titreşimler İçin En Yüksek İzin Verilebilir Değerleri
- Tablo 7.80** İnşaatlarda Kazık Çakma ve Benzeri Titreşim Üreten İşlemlerde ve İnşaat Makinalarından Dış Yapılarda Oluşacak Yer Titreşimleri İçin En Yüksek İzin Verilebilir Değerler (1 Hz - 80 Hz Frekans Bandı)
- Tablo 7.81** İnşaat Ekipmanları İçin Titreşim Kaynak Seviyeleri
- Tablo 7.82** İnşaat Aşaması İçin Titreşim Etki Matrisi
- Tablo 7.83** İnşaat Aşaması İçin Titreşim Etki Matrisi

Şekiller

- Şekil 7.1** Batı Türkiye Kinematiki Elastik Blok Modeli (Aktuğ ve ark., 2009)
- Şekil 7.2** Sismik Tehlike Değerlendirmesinde Kullanılan Doğrusal Sismik Kaynaklar (PROTA, 2025)
- Şekil 7.3** Bir Yer Hareketi Modelinin Mantık Ağacı Uygulamasının Gösterimi (PROTA, 2025)
- Şekil 7.4** Proje Alanı Yakınındaki Başlıca Aktif Faylar (PROTA, 2025)
- Şekil 7.5** S08-Derince İstasyonu Yakınında Fay Yönelim Etkileri İçin Spektrum Değişim Katsayılarının Karşılaştırılması (PROTA, 2025)
- Şekil 7.6** Karstik Mağarada Gevşek Dolgu Malzemesinin Çökmesi ve TBM Takılması (Zarei ve ark., 2012)

- Şekil 7.7** Yeraltı Suyu Girişi ve Tünel Taşkını (Zarei ve ark., 2012)
 - Şekil 7.8** S04-Tüpraş/Petkim İstasyonu Q500 Taşkın Su Derinliği Haritası (PROTA, 2026)
 - ... (Diğer Q500 taşkın haritaları da aynı şekilde “S05-Körfez İstasyonu Q500 Taşkın Su Derinliği Haritası” vb. şeklinde çevrilir)
 - Şekil 7.26** Kocaeli Meteoroloji İstasyonu 2020 Yılı Rüzgar Gülü
 - Şekil 7.27** Tesis Etki Alanı Haritası
 - Şekil 7.28** Modelleme Alanını Gösteren Uydu Görüntüsü
 - Şekil 7.29** Izgara Alıcı Konumlarının Uydu Görünümü
 - Şekil 7.30** Tüpraş-Petkim Çalışma Alanı Civarında Gözlenen Aşım Noktası
 - (Diğer aşım noktası şekilleri de benzer şekilde çevrilir)
 - Şekil 7.39** İnşaat Aşaması Gündüz Izgara Gürültü Haritaları
 - Şekil 7.40** Metro Trenlerinin İşletiminden Kaynaklanan Yer Kaynaklı Gürültü Dağılımı
 - Şekil 7.41** İnşaat Faaliyetlerinden Kaynaklanan Titreşim Dağılımı
 - Şekil 7.42** Yeryüzü Titreşim Eğrileri
 - Şekil 7.43** Metro Tren Operasyonundan Kaynaklanan Titreşim Dağılımı
-

Belge Dağıtımı

İÇİNDEKİLER

1. Fiziksel Bileşenler
 - 1.1. Jeoloji ve Jeomorfoloji
 - 1.1.1. Etki Analizi
 - 1.1.1.1. İnşaat Aşaması
 - 1.1.1.2. İşletme Aşaması
 - 1.1.1.3. Söküm ve Kapatma Aşaması
 - 1.1.2. Azaltım Tedbirleri
 - 1.1.3. Artık Etkileri
 - 1.1.3.1. İnşaat Aşaması
 - 1.1.3.2. İşletme Aşaması
 - 1.1.3.3. Hizmetten Çıkarma ve Kapanış Aşaması
 - 1.1.4. İzleme
 - 1.2. Jeoteknik Tehlike ve Sismisite
 - 1.2.1. Etki Analizi
 - 1.2.1.1. Sismisite
 - 1.2.1.1.1. Sismik Kaynak Modelleri
 - 1.2.1.1.2. Sismik Kaynak Modelleri ve Kaynak Karakterizasyonu
 - Deprem Kaynak Modelleri: Alan Kaynaklar

Deprem Kaynak Modelleri: Doğrusal Kaynak + Mekânsal Olarak Yumuşatılmış Sismik Kaynaklar

Sismik tehlike analizlerinde kullanılan ikinci sismik kaynak türü, Demircioğlu ve ark. (2018) tarafından geliştirilen doğrusal kaynak ve mekânsal olarak yumuşatılmış sismisite modelidir. PROTA (2025) tarafından hazırlanan “Sismik Tehlike Hesaplamaları ve Ölçeklendirilmiş Sismik Kayıt Setlerinin Temini Raporu”nda belirtildiği üzere, Proje Alanı için toplam 208 doğrusal fay kaynağı modele dahil edilmiştir.

Zamana Bağlı Deprem Tekrarlanma Modellemesi

1.2.1.1.3. Yer Hareketi Tahmin Denklemleri ve Yer Hareketi Karakterizasyonu

Yer Hareketi Karar Ağacı Uygulaması

1.2.1.1.4. Tüneller için Deprem Tehlike Hesaplamaları

Olasılıksal Deprem Tehlike Hesaplamaları

PROTA (2025) tarafından hazırlanan “Sismik Tehlike Hesaplamaları ve Ölçeklendirilmiş Sismik Kayıt Setlerinin Temini Raporu” kapsamında, Proje Alanı için öngörülen $V_{s30} = 760$ m/s kaya zemin koşulu esas alınarak sahaya özel sismik tehlike analizleri başlangıçta gerçekleştirilmiştir. Bu analizlerden elde edilen değerler, Türkiye Sismik Tehlike Haritası’nın (Akkar ve ark., 2018) saha bağımsız geometrik ortalama tasarım spektrumları ile karşılaştırma amacıyla kullanılmıştır. Söz konusu yaklaşım, Türk Deprem Yönetmeliği (2020) [TDY-20] tarafından da önerilmektedir. PROTA (2025) kapsamında ayrıca, alan kaynaklarının 5 km aralıklarla ayrıştırılması ve 0,1 M büyüklük-frekans dağılım aralığı kullanılması gibi daha hassas hesaplama yaklaşımları uygulanmıştır. Tüm bu yaklaşımlar birlikte değerlendirildiğinde, belirli düzeyde sapmaların oluşması beklenen bir durumdur. Genel karşılaştırma sonucunda, sahaya özel bu çalışmadan elde edilen sonuçların yönetmelik tarafından tanımlanan spektral değerlerle uyumlu olduğu sonucuna ulaşılmıştır (PROTA, 2025).

Siteye Özgü Deprem Tehlike Hesaplamaları ve TDY20 ile Karşılaştırmalar

Bu bölümde tasarım esaslı değerler, Siteye Özgü Olasılıksal Deprem Tehlike Hesaplama Sonuçları ile TDY20 Hesaplama Sonuçları bölümünde sunulan TDY20 değerlerinin karşılaştırılması yoluyla elde edilmiştir. Bu değerlendirmelerde, siteye özgü deprem yer hareketi spektrumlarının kod tabanlı tasarım spektrumu ordinatlarının %90’ının altına düşmemesi gerektiğini belirten TDY20 gerekliliği dikkate alınmıştır. Bu doğrultuda, proje güzergâhı boyunca siteye özgü sismik tehlike hesaplama sonuçlarını kapsayan ve TDY20 uniform hazard spektrumunun en az %90’ını sağlayan bir zarf (envelope) spektrum benimsenmiştir. Tünel hatları için elde edilen tasarım parametreleri Tablo 7.10’da sunulmuştur.

Olasılıksal Deprem Tehlike Ayrıştırma Analizleri

Sismik Tehlike Hesaplamaları ve Ölçeklendirilmiş Sismik Kayıt Setlerinin Temini Raporu’nda (PROTA, 2025) özetlendiği üzere, deaggregation analizleri Proje Alanına katkı sağlayan deprem senaryosunun ortalama büyüklük (magnitude) ve uzaklık (distance) değerlerini sunmaktadır. Bu değerler daha sonra düşey tepki spektrumunun hesaplanmasında kullanılmış ve ayrıca yer hareketi kayıtlarının seçimi sürecinde referans alınmıştır (Tablo 7.11, Tablo 7.12, Tablo 7.13 ve Tablo 7.14).

- 1.2.1.1.5. İstasyonlar İçin Olasılıksal Deprem Tehlikesi Hesaplamaları
 - 1.2.1.1.6. Zemin Hareketi Kayıtlarının Seçimi ve Ölçeklendirilmesi
- 1.2.2. Azaltma Tedbirleri
- 1.2.3. Kalan Etkiler
- 1.2.4. İzleme
- 1.3. Zemin ve Yeraltı Katmanları
 - 1.3.1. Etki Değerlendirme Analizi
 - 1.3.1.1. İnşaat Aşaması
 - 1.3.1.2. Faaliyet Aşaması
 - 1.3.1.3. Söküm ve Kapatma Aşaması
 - 1.3.2. Azaltıcı Tedbirler
 - 1.3.3. Rezidüel Etkiler
 - 1.3.3.1. İnşaat Aşaması
 - 1.3.3.2. İşletme Aşaması
 - 1.3.3.3. Kapatma ve Rehabilite Aşaması
 - 1.3.4. İzleme
- 1.4. Hidroloji ve Yüzey Suları
 - 1.4.1. Etki Analizi
 - 1.4.1.1. İnşaat Süreci
 - 1.4.1.2. İşletme Aşaması
 - 1.4.1.3. Söküm ve Kapatma Aşaması
 - 1.4.2. Azaltım Tedbirleri
 - 1.4.3. Kalan Etkiler
 - 1.4.3.1. İnşaat Süreci
 - 1.4.3.2. İşletme Aşaması
 - 1.4.3.3. Söküm ve Kapatma Aşaması
 - 1.4.4. İzleme
- 1.5. Hidrojeoloji ve Yeraltı Suyu
 - 1.5.1. Etki Analizi
 - 1.5.1.1. İnşaat Aşamaları
 - 1.5.1.2. İşletme Aşaması
 - 1.5.1.3. Söküm ve Kapanış Aşaması
 - 1.5.2. Azaltıcı Önlemler
 - 1.5.2.1. İnşaat Aşaması
 - 1.5.2.2. İşletme Aşaması

- 1.5.2.3. Söküm ve Kapanış Aşaması
- 1.5.4. İzleme
- 1.6. Hava Kalitesi
 - 1.6.1. Hava Kalitesi Modelleme Metodolojisi
 - 1.6.1.1. Meteorolojik Verileri
 - 1.6.1.2. Alıcılar ve Topografya
 - 1.6.2. Etki Analizi
 - 1.6.2.1. İnşaat Süreci
 - 1.6.2.1.1. Toz Emisyonları
 - 1.6.2.1.2. Gaz Emisyonları
 - 1.6.2.1.3. Toplam Toz Emisyonu
 - 1.6.2.1.4. Toplam Gaz Emisyonları
 - 1.6.2.1.5. Modelleme Çalışması Senaryoları
 - 1.6.2.1.6. Modelleme Sonuçları
 - 1.6.2.2. İşletme Safahatı
 - 1.6.2.3. Söküm ve Kapatma Aşaması
 - 1.6.3. Azaltım Tedbirleri
 - 1.6.4. Kalıcı Etkiler
 - 1.6.4.1. İnşaat Aşaması
 - 1.6.4.2. İşletme Aşaması
 - 1.6.4.3. Söküm ve Kapatma Aşaması
 - 1.6.5. İzleme
- 1.7. Sera Gazı Etkisi (GHG) Emisyon
 - 1.7.1. Yasal Çerçeve
 - 1.7.1.1. Uluslararası Standartlar
 - 1.7.1.2. Avrupa Direktifleri
 - 1.7.1.3. Türk Mevzuatı
 - 1.7.2. Sera Gazı Emisyon Hesaplama Metodolojisi
 - 1.7.2.1. Küresel Isınma Potansiyeli
 - 1.7.2.2. Kapsam 1: Doğrudan Sera Gazı Emisyonları
 - 1.7.2.2.1. Sabit Yanma
 - 1.7.2.2.2. Mobil Yakıt Tüketimi
 - 1.7.2.3. Kapsam 2: Dolaylı GHG Emisyonları
 - 1.7.2.3.1. Elektrik Tüketimi
 - 1.7.2.4. Kapsam 1 veya Kapsam 2'ye Dahil Edilmeyen Emisyonlar

1.7.2.4.1. Karbon Stok Değişimi

1.7.3. Etki Analizi

1.7.3.1. İnşaat Aşaması

1.7.3.1.1. Sabit Yanma Emisyonları

1.7.3.1.2. Hareketli Yanma Emisyonları

1.7.3.1.3. Elektrik Kullanımı

1.7.3.1.4. Karbon Stok Değişimi

1.7.3.1.5. İnşaat Aşamasında Toplam Sera Gazı Emisyonları

1.7.3.2. İşletme Aşaması

1.7.3.2.1. İstasyon İşletiminden Kaynaklanan Elektrik Tüketimi

1.7.3.2.2. Metro Tren İşletiminden Kaynaklanan Elektrik Tüketimi

1.7.3.2.3. İşletme Aşamasında Toplam Sera Gazı Emisyonları

1.7.3.3. Söküm ve Kapanış Aşaması

1.7.4. Azaltım Tedbirleri

1.7.5. Kalıcı Etkileri

1.7.5.1. İnşaat Aşaması

1.7.5.2. İşletme Aşaması

1.7.5.3. Söküm ve Kapatma Aşaması

1.7.6. İZLEME

1.8. Gürültü

1.8.1. Gürültü Baz Durum Özeti

1.8.2. Gürültü Modellemesi Metodolojisi

1.8.3. Etkilerin Değerlendirilmesi

1.8.3.1. İnşaat Aşaması

1.8.3.2. İşletme Aşaması

1.8.3.3. Söküm ve Kapatma Aşaması

1.8.4. Söküm ve Kapatma Aşaması

1.8.4.1. İnşaat Aşaması

1.8.4.2. İşletme Aşaması

1.8.5. Kalan Etkiler

1.8.5.1. İnşaat aşaması

1.8.5.2. İşletme Aşaması

1.8.5.3. Söküm ve Kapanış Aşaması

1.8.6. İzleme

1.9. Titreşim

1.9.1. Etkilerin Değerlendirilmesi

1.9.1.1. İnşaat Süreci

1.9.1.2. İşletme Aşaması

1.9.1.3. Söküm ve Kapatma Aşaması

1.9.2. Azaltım Tedbirleri

1.9.3. Kalıntı Etkileri

1.9.3.1. İnşaat Aşaması

1.9.3.2. İşletme Aşaması

1.9.3.3. Söküm ve Kapanış Aşaması

1.9.4. İzleme

A.Hava Kalitesi Modelleme Haritaları

Kısaltmalar

Kısaltmalar ve Açıklamalar

Kısaltmalar	Açıklama
“Metgün-Eze-Atis JV” veya işveren”	Metgün-Eze-Atis Ortak Girişimi
Metgün	Metgün İnşaat Taahhüt ve Ticaret A.Ş.
Eze	Eze İnşaat A.Ş.
Atis	Atis Asfalt İnşaat Sanayi ve Ticaret A.Ş.
WSP	WSP Danışmanlık ve Mühendislik Ltd. Şti.
AERMOD	Amerikan Meteoroloji Derneği / ABD Çevre Koruma Ajansı Modeli
BAT	En iyi mevcut teknik
DEM	Dijital yükseklik modeli
EHS	Çevre, sağlık ve güvenlik
EPA	Çevre Koruma Ajansı
EPRP	Acil durum hazırlık ve müdahale planı
FTA	Federal toplu taşıma idaresi
GHG	Sera gazı
GWP	Küresel ısınma potansiyeli
IPCC	Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli
KPI	Temel performans göstergesi
MoEUCC	Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı
NAFZ	Kuzey Anadolu Fay Zonu
NID	Ulusal envanter raporu

Kısaltmalar	Açıklama
PDoEUCC	İl çevre ve şehircilik müdürlüğü
PGA	En yüksek yer ivmesi
PGV	En yüksek yer hızı
PHSA	Olasılıksal deprem tehlike analizi
SDS	Güvenlik bilgi formu
TUIK	Türkiye İstatistik Kurumu
UHS	Tek tip tehlike spektrumu
UNFCCC	Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Sözleşmesi
WEEE	Atık elektronik eşya

7. ETKİ DEĞERLENDİRMESİ

7.1. Fiziksel Bileşenler

7.1.1. Jeoloji ve Jeomorfoloji

7.1.1.1. Etki Analizi

7.1.1.1.1. İnşaat Aşaması

İnşaat aşamasında etkiler, temel olarak aşağıdaki etki faktörü ile ilişkilidir:

Yerel morfolojide değişim

Yukarıda belirtilen etki faktörü ile ilişkili Proje faaliyetleri şunlardır:

- Yüzey tesviyesi ve zemin düzenleme çalışmaları
- Malzemenin geçici olarak stoklanması
- Metro hattının inşası

Jeoloji ve jeomorfolojiye ilişkin ek etkiler, toprak, hidroloji ve hidrojeoloji ile de bağlantılı olup ÇSED'in ilgili bölümlerinde ele alınmaktadır.

Etki, esas olarak kazı ve hafriyat çalışmaları nedeniyle alanın mevcut morfolojisinde meydana gelen değişikliklerle ilişkilidir. Bu kapsamda saha hazırlığı (kazı, uygun malzeme ile dolgu, yüzeyin scarification işlemi ve düzeltilmesi) ve yapı temellerinin inşası yer almaktadır.

7.1.1.1.2. İşletme Aşaması

Etki taraması sonucunda, işletme aşamasında jeoloji ve jeomorfoloji bileşenleri üzerinde herhangi bir etkinin oluşması beklenmemektedir.

7.1.1.1.3. Söküm ve Kapatma Aşaması

Söküm (decommissioning) faaliyetleri, Proje bileşenlerinin kaldırılmasını kapsamaktadır. Ayrıca yapıların temelleri de sökülecektir. Sahanın gelecekteki kullanımına uygun şekilde rehabilite edilmesi beklenmektedir.

Etki taraması sonucunda, söküm ve kapatma aşamasında jeoloji ve jeomorfoloji bileşenleri üzerinde herhangi bir olumsuz etkinin oluşması beklenmemektedir. Altyapıların sökülmesi, arazinin doğal durumuna geri kazandırılması halinde olumlu bir etki oluşturabilir.

7.1.1.2. Azaltım Tedbirleri

Jeoloji ve jeomorfoloji üzerindeki etkileri azaltmak amacıyla inşaat aşamasında uygulanacak tedbirler aşağıda sunulmuştur:

- Proje faaliyetleri için gerekli olan iş sahası, mümkün olan en küçük alanla sınırlandırılacaktır.

- Morfolojik bozulmaları azaltmak amacıyla düzleme ve kazı işlemleri mümkün olduğunca minimum seviyede tutulacaktır.
- Kazıdan çıkan malzemenin uygun jeoteknik özelliklere sahip olması durumunda bir kısmı proje alanında dolgu malzemesi olarak yeniden kullanılacaktır; böylece hammadde kullanımı azaltılacaktır.
- Proje kapsamında oluşabilecek etkilerin ve risklerin yönetilmesi amacıyla, Proje Standartlarına uygun olarak **Toprak ve Üst Toprak Yönetim Planı** ile **Peyzaj Yönetim Planı** hazırlanacaktır.

7.1.1.3. Artık Etkileri

7.1.1.3.1. İnşaat Aşaması

Yukarıda belirtilen azaltım tedbirlerinin inşaat aşamasında uygulanmasının ardından jeoloji ve jeomorfoloji bileşeni üzerindeki artık (residual) etki aşağıdaki tabloda sunulmuştur.

Değerlendirilen bileşenlerin baz (mevcut durum) koşulları, Proje'nin özellikleri ve faaliyetleri ile yukarıda önerilen azaltım tedbirlerinin uygun şekilde uygulanması dikkate alındığında, inşaat aşamasında jeoloji ve jeomorfoloji bileşeni üzerinde **ihmal edilebilir düzeyde olumsuz etki** beklenmektedir.

Tablo 7.1: Jeoloji ve Jeomorfoloji İçin Etki Değerlendirme Matrisi (İnşaat Aşaması – Azaltım Sonrası)

Etki Faktörü	Etki Faktörü Özellikleri	Bileşen Hassasiyeti	Etkinin Geri Dönüşebilirliği	Etki Değeri	Azaltım Etkinliği	Artık Etki Değeri
Yerel morfolojide değişiklikler	Etki Süresi: Orta Süreli	Düşük	Orta Dönemli	İhmal edilebilir	Yüksek	İhmal edilebilir
	Sıklık: Sürekli					
	Coğrafi Kapsam: Proje Sahası					
	Yoğunluk: İhmal Edilebilir					

7.1.1.3.2. İşletme Aşaması

Daha önce belirtildiği üzere, etki taraması sonucunda işletmeye alma ve işletme aşamasında jeoloji ve jeomorfoloji bileşeni üzerinde herhangi bir etkinin oluşması beklenmemektedir.

- İşveren, inşaat faaliyetleri için kullanılan kiralanmış alanların her bir alanın spesifikasyonlarına uygun şekilde eski hâline getirilmesini sağlayacaktır. Bu rehabilitasyon çalışmaları, ilgili yetkili makamlarla yapılan anlaşmalara (örn. Rehabilitasyon Planları) veya arazi sahipleriyle yapılan yazılı sözleşmelere (örn. Kiralık Arazi Sözleşmeleri) uygun olarak gerçekleştirilecektir.

7.1.1.3.3. Hizmetten Çıkarma ve Kapanış Aşaması

Daha önce belirtildiği üzere, etki taraması sonucunda hizmetten çıkarma ve kapanış aşamasında jeoloji ve jeomorfolojik bileşenler üzerinde herhangi bir etkinin oluşması beklenmemektedir.

7.1.1.4. İzleme

Tünel inşaatının güvenliğini sağlamak ve zemin ile yapısal davranışın etkin şekilde kontrol edilmesini temin etmek amacıyla, inşaat süresi boyunca aşağıdaki izleme sistemlerinin uygulanması önerilmektedir. Her bir bileşen erken uyarı kapasitesi sağlamak ve tasarım varsayımlarının doğrulanmasına destek olmaktadır.

Proje'nin inşaat aşamasında farklı ölçüm ve izleme teknikleri uygulanacaktır. Bu tekniklerden bazıları aşağıda listelenmiştir:

Reflektif prizma kullanılarak yapılan 3B total station ölçümleri, yüzeyde ve tünel içinde üç boyutlu yer değiştirmelerin izlenmesini sağlar. Bu sistem aşağıdaki amaçlar için uygundur:

- Yüzey oturmalarının ve yatay deplasmanların izlenmesi,
- Tünel konverjansının ve kaplama (lining) hareketlerinin ölçülmesi,
- Kritik bölgelerde milimetre hassasiyetinde erken uyarı sağlanması,
- Tanımlanan eşik değerler aşıldığında gerçek zamanlı alarm üretiminin desteklenmesi.

Zincir inklinometreler, özellikle portal bölgelerinde, shaftlarda ve dağıtılmış deformasyonun sürekli profil boyunca izlenmesi gereken yüksek riskli alanlarda kullanılmaktadır. Bu yöntem:

- Kurulum hattı boyunca kademeli dönme değişimlerinin kaydedilmesini,
- Kayma düzlemi oluşumunun ve ilerleyici deformasyonun tespitini,
- Potansiyel kararsızlık bulunan alanlarda sürekli otomatik izlemeyi sağlar.

Geleneksel sondaj tipi inklinometreler, tünel güzergâhı boyunca açılan sondajlarda derin yatay zemin hareketlerini izlemek için kullanılır. Bu ekipman:

- Derin yerleşimli kayma zonlarının ve kayma yüzeylerinin belirlenmesini,
- Zaman içinde yatay yer değiştirmelerin takip edilmesini,
- Tünel kazısının çevre zemin ve yapılar üzerindeki etkisinin değerlendirilmesini sağlar.

MPBX (Multi-Point Borehole Extensometer) cihazları, tünel çevresinde farklı derinliklerde zemin deformasyonunu izlemek için yaygın olarak kullanılır. Bu sistem:

- Kazı sonrası oluşan gevşeme zonlarının tespitini,
- Tünel sınırı çevresindeki etki derinliğinin belirlenmesini,
- Destek sistemlerinin etkinliğinin ve zemin–destek etkileşiminin değerlendirilmesini sağlar.

Ön üretimli segmentlere gömülü gerinim ölçerlerin (strain gauge) kullanımı, şu amaçlarla gerçekleştirilir:

- Kaplama içerisindeki gerilme–birim deformasyon gelişiminin ölçülmesi,
- TBM itme kuvvetleri ve arka dolgu enjeksiyonunun etkilerinin izlenmesi,
- Asimetrik yüklenme veya olası yapısal hasarların erken tespiti,
- Segmental kaplama tasarım varsayımlarının doğrulanması.

InSAR (Uydu radar interferometrisi) izleme yöntemi, tünel koridoru boyunca geniş alanlı yüzey deformasyonlarının gözlenmesinde kullanılır. Bu yöntem:

- Geniş alanlarda oturma veya kabarma hareketlerinin tespitini,
- Uzun vadeli ve yavaş gelişen deformasyon eğilimlerinin belirlenmesini,
- Noktasal ölçüm sistemlerini tamamlayan bölgesel deformasyon görünümünün sağlanmasını,
- Özellikle yer erişiminin sınırlı olduğu kentsel alanlarda etkin izlemeyi sağlar.

Son olarak, izleme tekniklerinin nihai seçimi ve uygulanması, Müşteri tarafından en uygun görülen yöntemlere göre yapılacak olup, tüm izleme faaliyetlerinin proje özel gereklilikleri ve güvenlik hedefleri ile uyumlu olması sağlanacaktır.

7.1.2. Jeoteknik Tehlike ve Sismisite

7.1.2.1. Etki Analizi

Bu etki faktörlerinin tanımları aşağıda sunulmaktadır:

Sismik aktivite: Proje Alanı sismik olarak aktif bir bölge içerisinde yer almaktadır. Bu durum, PROTA Mühendislik tarafından hazırlanan ve özeti aşağıda sunulan “Sismik Tehlike Hesaplamaları ve Ölçeklendirilmiş Sismik Kayıt Setlerinin Temini Raporu” kapsamında detaylı olarak incelenmiştir. Söz konusu rapor 2025 yılında Altyapı ve Şehircilik Bakanlığı tarafından onaylanmıştır.

Karst jeoteknik tehlike: Karstik alanlarda tünel inşaatı sırasında, güzergâh üzerinde çeşitli karstik boşluklar ortaya çıkabilmekte olup, bu durum tünel inşaatı esnasında su baskını ve göçme gibi tehlikelere neden olabilmektedir.

Projenin tüm aşamalarında etkiler (doğal afetlerin etkilerinde artış) esas olarak aşağıdaki etki faktörü ile ilişkilidir:

Yerel morfolojide değişiklik

Yukarıda belirtilen etki faktörü ile ilişkili proje faaliyetleri aşağıdaki gibidir:

- Yüzey tesviye ve kotlama (mevcut yapıların yıkımı dahil),
- Malzemenin geçici olarak stoklanması,
- Metro hattının inşası.

7.1.2.1.1. Sismisite

PROTA Mühendislik tarafından hazırlanan ve özeti aşağıda sunulan “Sismik Tehlike Hesaplamaları ve Ölçeklendirilmiş Sismik Kayıt Setlerinin Temini Raporu”, Proje için gerçekleştirilen sahaya özgü olasılıksal sismik tehlike analizlerini ve ölçeklendirilmiş yer hareketi seçimini içermektedir. Çalışma kapsamında 144 yıllık (DD-2a), 475 yıllık (DD-2) ve 2475 yıllık (DD-1) dönüş periyotlarına ait tepki spektrumları oluşturulmuş ve Türkiye Deprem Tehlike Haritası (TDTH) ile Tünel Deprem Yönetmeliği (TDY-20) kapsamında verilen spektrumlarla karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalar, sahaya özgü analizlerde yerel zemin koşulları ve kaynak özelliklerinin detaylı olarak dikkate alınması nedeniyle, yönetmelik spektrumlarında kullanılan genelleştirilmiş varsayımlara kıyasla beklenen farklılıkları ortaya koymuştur. TDY-20 Madde 2.7.2 gerekliliklerini karşılamak amacıyla, sahaya özgü sonuçları kapsayan ve aynı zamanda yönetmelik tabanlı spektral değerlerin en az %90'ını sağlayan zarf (envelope) spektrumlar geliştirilmiştir. Nihai hedef spektrumlara dayanarak, bölgesel olarak uyumlu yer hareketi kayıtları seçilmiş ve TDY-20 Madde 2.8.3.2'ye uygun şekilde ölçeklendirilmiştir. DD-1 seviyesine ait iki bileşenli kayıtlar

elektronik eklerde sunulmuştur. Elde edilen sonuçlar yalnızca sismik yer sarsıntısı tehlikesini temsil etmekte olup, varsayılan jeoteknik koşullar altında geçerlidir. Yeraltı zemin özelliklerinde herhangi bir değişiklik olması durumunda analizlerin yeniden değerlendirilmesi gerekmektedir.

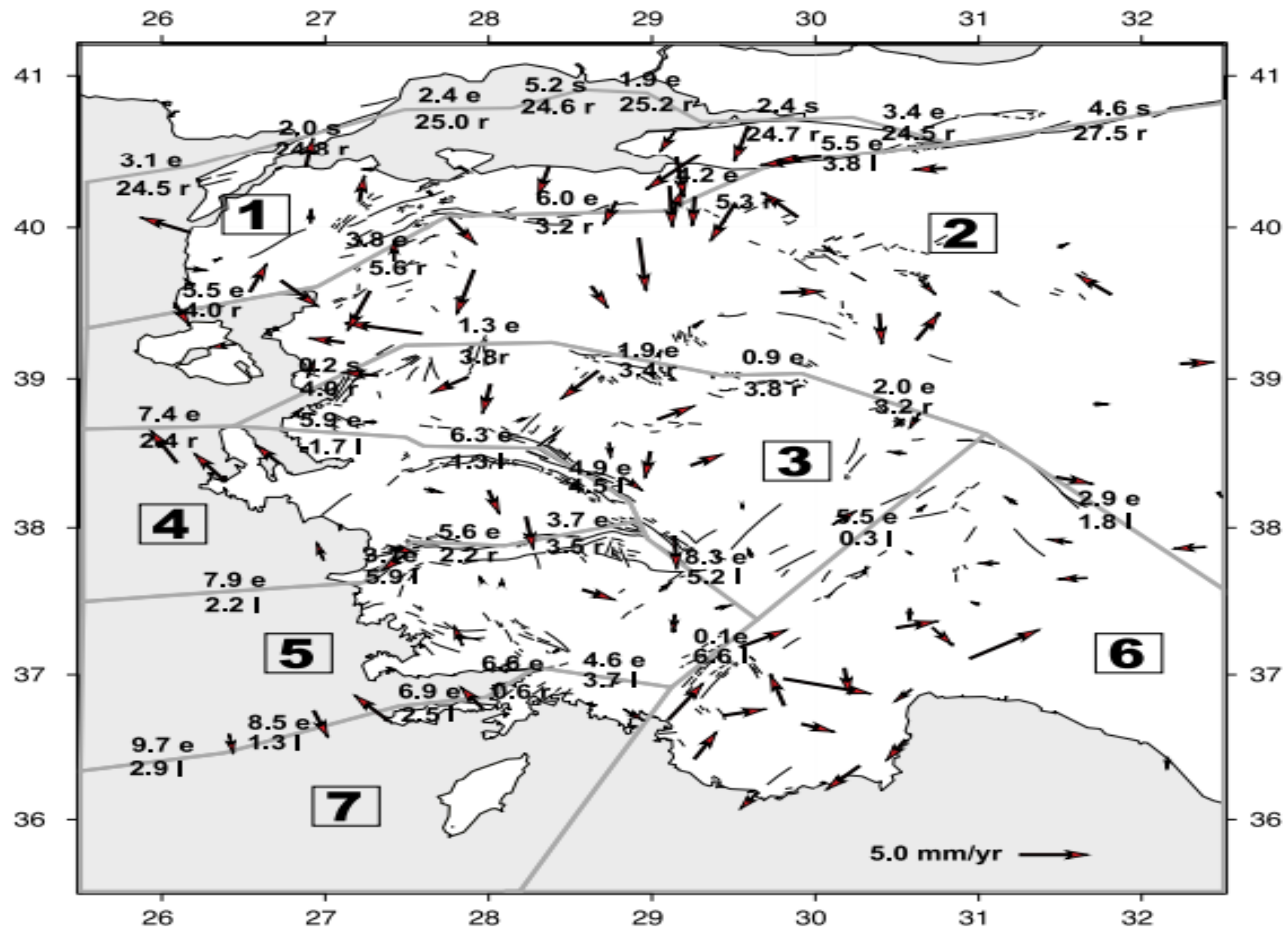
7.1.2.1.1. Sismik Kaynak Modelleri

Proje için Sismotektonik Modelin Oluşturulması

Proje için güvenilir bir sismotektonik model oluşturmak amacıyla, PROTA (2025) tarafından hazırlanan “Sismik Tehlike Hesaplamaları ve Ölçeklendirilmiş Sismik Kayıt Setlerinin Temini Raporu”nda yer alan değerlendirmelere tamamen dayanan kapsamlı bir hibrit yaklaşım benimsenmiştir. Bu çerçevede, bölgesel fay geometrileri tanımlanmış ve kayma hızı (slip-rate) bilgileri temel olarak Aktuğ vd. (2009) ve Reilinger vd. (2006) tarafından geliştirilen elastik blok modellerinden türetilmiştir. Bu çalışmalar, kayma hızı dağılımı için ana referans olarak kullanılmıştır. Yerel jeolojik veya sismolojik çalışmaların yeterince detaylı olduğu durumlarda, sismik tehlike karakterizasyonunun sağlamlığını artırmak amacıyla muhafazakâr (konservatif) varsayımlar yapılmıştır. Karadeniz açıklarındaki faylar ve yerel veri setlerinin sınırlı olduğu bölgeler için parametre tanımlamaları Avrupa standartlarındaki SHARE Projesi veri tabanından alınmış ve Ulusal UDAP-Ç-13-06 Projesi (Türkiye Sismik Tehlike Haritası Revizyonu) ile desteklenmiştir. Proje alanına yakın fay ve havza sistemleri; Marmara Denizi, Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) Orta Kol, KAFZ Güney Kol ve Batı Anadolu’nun kara içi fayları olarak sınıflandırılmıştır. Kritik yakınlık nedeniyle, Çınarcık Havzası ve Armutlu Yarımadası içindeki yapılar yüksek hassasiyetle değerlendirilmiştir. Çınarcık Havzası, KAFZ’nin yaklaşık 15 km güneyinde yer almakta olup Çınarcık çek-ayır havzası ile ilişkilidir. GPS tabanlı çalışmalar 8–10 mm/yıl genişleme hızı önerse de, PROTA (2025) kapsamında sismik tehlike modellemesinde konservatif olarak 4 mm/yıl normal fay kayma hızı kullanılmıştır.

Esenköy, Orhangazi, Yalova ve Yalakdere fayları için sınırlı veri bulunması nedeniyle her biri için 1 mm/yıl muhafazakâr kayma hızı atanmıştır. KAFZ Orta Kol için genel GPS tabanlı hız yaklaşık 5 mm/yıl olarak belirtilmektedir. Ancak Flerit vd. (2004), batıdan doğuya artan bir kayma hızı dağılımı önermiştir. Bu doğrultuda, Geyve ve İzmit-Mekece fayları için 2 mm/yıl, Gençali için 1 mm/yıl, Gemlik için 3,5 mm/yıl ve Zeytinbaşı-Bandırma, Sinekçi ve Edincik segmentleri için 1 mm/yıl kayma hızı kullanılmıştır. Biga-Çan fay zonu için de 1 mm/yıl değeri benimsenmiştir. KAFZ Güney Kolu en az aktif kol olarak değerlendirilmiş olup 2–3 mm/yıl aralığında kayma hızlarına sahiptir. Aktuğ vd. (2009) modeli ise 3–6 mm/yıl aralığı önermektedir. PROTA (2025) çalışmasında Ulubat Fayı için 4 mm/yıl değeri kullanılmıştır. Mustafa Kemal ve Orhanlı fayları için de 4 mm/yıl atanmıştır. Yenice-Gönen (2 mm/yıl), Pazarköy (1 mm/yıl), Havran-Balya (1,5 mm/yıl) gibi segmentler için farklı değerler kullanılmıştır. Manyas Fayı 4 mm/yıl olarak modellenmiştir. Balıkesir ve Kepsut segmentleri için ise 0,7 mm/yıl kayma hızı kabul edilmiştir. İç Batı Anadolu’daki fay sistemleri bölgesel gerilme rejimi dikkate alınarak değerlendirilmiş, Bergama ve Soma-Kırkağaç zonları için 1 mm/yıl konservatif değer kullanılmıştır. Bursa Fayı için 1 mm/yıl, Eskişehir Fayı için 1,3 mm/yıl ve Dodurga Fayı için 0,7 mm/yıl değerleri uygulanmıştır.

Karadeniz açıklarında yer alan ve MTA aktif fay haritalarında yer almayan bazı offshore faylar da analiz kapsamına dahil edilmiştir. SHARE Projesi verilerine göre bu yapılar ters fay karakteri göstermekte olup 2 mm/yıl kayma hızı ile modellenmiştir. Veri eksikliği bulunan diğer doğrusal sismik kaynaklar için ise SHARE veri tabanı, elastik blok modeller ve UDAP-Ç-13-06 Projesi sonuçları kullanılarak bölgesel analogiler yoluyla kayma hızları türetilmiştir.



Şekil 7.1: Batı Türkiye Kinematik Elastik Blok Modeli (Aktuğ vd., 2009)

7.1.2.1.1.2. Sismik Kaynak Modelleri ve Kaynak Karakterizasyonu

PROTA (2025) tarafından hazırlanan “Sismik Tehlike Hesaplamaları ve Ölçeklendirilmiş Sismik Kayıt Setlerinin Temini Raporu” kapsamında gerçekleştirilen olasılıksal sismik tehlike hesaplamalarında, deprem tekrarlanma aralıkları, yer hareketi parametrelerine ilişkin belirsizlikler ve sismik kaynaklar boyunca deprem konumlarına ilişkin mekânsal belirsizlikler açıkça dikkate alınmıştır. Bu kapsamlı olasılıksal çerçeve aracılığıyla, seçilen yıllık aşılma olasılığı değerlerine karşılık gelen yer hareketi parametreleri, raporda tanımlanan metodolojik ilkeler doğrultusunda hesaplanmıştır.

Önceki bölümde açıklanan sismotektonik karakterizasyon ile uyumlu olarak, olasılıksal tehlike çalışmasında PROTA (2025) kapsamında ayrı ayrı geliştirilmiş ve bağımsız olarak uygulanmış iki farklı kaynak modelleme yaklaşımı kullanılmıştır:

Şeşetyan vd. (2018) tarafından geliştirilen **alan kaynaklı (areal) sismik kaynak modeli** ve Demircioğlu vd. (2018) yaklaşımına dayanan **doğrusal kaynak modeli** ile uzamsal olarak yumuşatılmış **sismisite modeli** kullanılmaktadır.

Bu iki farklı kaynak temsili, sismik tehlike analizlerinde bağımsız olarak kullanılmıştır. Bu yaklaşım, sonuçların güvenilirliğini artırmak, çapraz doğrulama sağlamak ve raporda metodolojik bütünlüğü temin etmek amacıyla uygulanmıştır.

Deprem Kaynak Modelleri: Alan Kaynaklar

PROTA (2025) tarafından hazırlanan “Sismik Tehlike Hesaplamaları ve Ölçeklendirilmiş Sismik Kayıt Setlerinin Temini Raporu” kapsamında, alan kaynaklı deprem kaynakları için a ve b Gutenberg-Richter (GR) parametreleri

hesaplanmıştır. Elde edilen alan kaynak modeline ilişkin Gutenberg-Richter (GR) tekrarlanma modeli parametreleri, her bir alan kaynağı için tanımlanan a ve b değerlerindeki rastgele değişkenlikler (σ_a ve σ_b) ile birlikte Tablo 7.2'de sunulmaktadır (PROTA, 2025).

Şekil 7.2 Deprem Tehlike Hesaplamalarında Mekânsal Kaynakları Tanımlayan Parametreler (PROTA, 2025)

Kaynak Alan	a	b	σ_a	σ_b	M_{max} Seviyeler	Üst Derinlik Sınırı	Alt Derinlik Sınırı	Odak Derinlikleri (km)
BGRAS032	3.455	0.83	0.069	0.041	6.3±0.3	0	20	2, 10, 18
BGRAS043	3.447	0.83	0.046	0.070	7.3±0.3	0	20	2, 10, 18
BGRAS048	3.375	0.89	0.046	0.070	7.3±0.3	0	20	2, 10, 18
BGRAS078	3.000	0.80	0.046	0.070	7.3±0.3	0	20	2, 10, 18
GEOAS019	4.644	1.14	0.034	0.107	7.3±0.3	0	30	5, 15, 25
GRCAS053	3.951	0.86	0.134	0.027	7.3±0.3	0	20	2, 10, 18
GRCAS054	3.774	0.88	0.134	0.027	7.3±0.3	0	15	2, 8, 12
GRCAS064	3.010	0.72	0.134	0.027	7.3±0.3	0	20	2, 10, 18
GRCAS080	3.450	0.84	0.073	0.040	7.3±0.3	0	30	5, 15, 25
ROUAS041	2.330	0.73	0.046	0.070	7.3±0.3	0	20	2, 10, 18
ROUAS042	4.400	1.10	0.046	0.070	7.3±0.3	0	20	2, 10, 18
TURAS004	3.011	0.76	0.134	0.027	7.3±0.3	0	20	2, 10, 18

Kaynak Alan	a	b	σ_a	σ_b	M_{max} Seviyeler	Üst Derinlik Sınırı	Alt Derinlik Sınırı	Odak Derinlikleri (km)
TURAS005	3.700	0.75	0.069	0.041	8.0±0.3	0	25	5, 12, 18
TURAS007	3.333	0.95	0.038	0.074	7.3±0.3	0	20	2, 10, 18
TURAS013	3.587	0.79	0.073	0.040	7.7±0.3	0	20	2, 10, 18
TURAS034	4.300	1.10	0.038	0.074	6.3±0.3	0	15	2, 8, 12
TURAS049	3.770	0.91	0.073	0.040	7.3±0.3	0	20	2, 10, 18
TURAS050	3.190	0.93	0.134	0.027	7.3±0.3	0	20	2, 10, 18
TURAS051	3.422	0.93	0.134	0.027	6.3±0.3	0	15	2, 8, 12
TURAS052	4.630	1.01	0.134	0.027	7.3±0.3	0	15	2, 8, 12
TURAS071	2.600	0.83	0.073	0.040	7.3±0.3	0	20	2, 10, 18
TURAS072	4.000	1.00	0.134	0.027	6.3±0.3	0	15	2, 8, 12
TURAS073	3.384	0.87	0.134	0.027	7.3±0.3	0	20	2, 10, 18
TURAS075	3.600	1.00	0.134	0.027	6.3±0.3	0	20	2, 10, 18
TURAS077	2.873	0.82	0.073	0.040	7.3±0.3	0	20	2, 10, 18
TURAS092	3.052	0.83	0.038	0.074	6.3±0.3	0	20	2, 10, 18

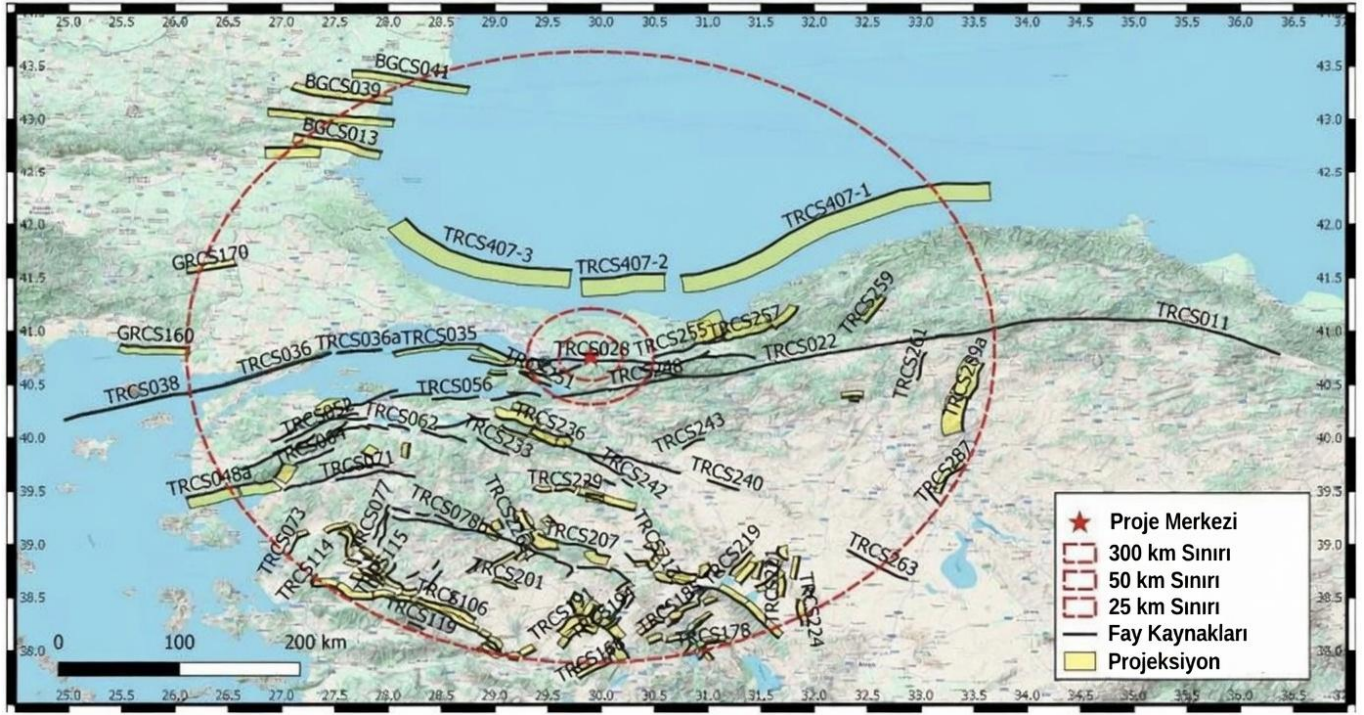
Kaynak Alan	a	b	σ_a	σ_b	M_{max} Seviyeler	Üst Derinlik Sınırı	Alt Derinlik Sınırı	Odak Derinlikleri (km)
TURAS093	4.026	0.95	0.134	0.027	7.3±0.3	0	20	2, 10, 18
TURAS094	2.850	0.74	0.134	0.027	7.3±0.3	0	20	2, 10, 18
TURAS095	3.800	1.05	0.038	0.074	7.3±0.3	0	15	2, 8, 12
TURAS096	3.501	0.94	0.134	0.027	7.3±0.3	0	15	2, 8, 12
TURAS097	2.680	0.75	0.134	0.027	6.6±0.3	0	20	2, 10, 18
TURAS100	3.026	0.83	0.134	0.027	6.3±0.3	0	20	2, 10, 18
TURAS103	3.925	0.93	0.134	0.027	7.3±0.3	0	15	2, 8, 12

Deprem Kaynak Modelleri: Doğrusal Kaynak + Mekânsal Olarak Yumuşatılmış Sismik Kaynaklar

Sismik tehlike analizlerinde kullanılan ikinci sismik kaynak türü, Demircioğlu ve ark. (2018) tarafından geliştirilen doğrusal kaynak ve mekânsal olarak yumuşatılmış sismisite modelidir. PROTA (2025) tarafından hazırlanan “Sismik Tehlike Hesaplamaları ve Ölçeklendirilmiş Sismik Kayıt Setlerinin Temini Raporu”nda belirtildiği üzere, Proje Alanı için toplam 208 doğrusal fay kaynağı modele dahil edilmiştir. Olasılıksal sismik tehlike hesaplamalarında doğrudan kullanılan ve 300 km yarıçap içinde yer alan aktif fay kaynakları Şekil 7.2’de sunulmaktadır. Bu şekilde 25 km, 50 km ve 300 km yarıçaplı eş merkezli çemberler, fayların Proje Alanına olan yakınlığını göstermekte olup en yakın doğrusal kaynakların yaklaşık 3 km mesafeden başladığı görülmektedir.

PROTA (2025) kapsamında uygulanan doğrusal kaynak ve mekânsal olarak yumuşatılmış sismisite modelinin temel prensibi, Demircioğlu ve ark. (2018) tarafından ortaya konulan varsayıma dayanmaktadır: haritalanmış doğrusal fayların 15 km tampon bölgesi içinde meydana gelen $M_w \geq 6.0$ büyüklüğündeki depremler bu doğrusal kaynaklara atfedilmektedir. Bu kriteri sağlamayan, genellikle daha küçük veya daha yaygın (diffuse) depremler ise mekânsal olarak yumuşatılmış sismisite modeline atanmıştır.

Bu bütünleşik yaklaşım, raporda özetlenen olasıksal sismik tehlike çerçevesi içinde hem iyi tanımlanmış fay sistemlerinin hem de yayılımlı arka plan sismisitesinin tutarlı bir şekilde temsil edilmesini sağlamaktadır.



Şekil 7.2: Sismik Tehlike Değerlendirmesinde Kullanılan Çizgisel (Lineer) Sismik Kaynaklar (PROTA, 2025)

PROTA (2025) Sismik Tehlike Hesaplamaları ve Ölçeklendirilmiş Sismik Kayıt Setlerinin Temini Raporu'na göre, Proje Alanı çevresinde tanımlanan doğrusal kaynaklarla ilişkilendirilemeyen depremlerin katkısı, mekânsal olarak yumuşatılmış sismik model (Demircioğlu ve ark., 2018) kullanılarak dikkate alınmıştır. Mekânsal olarak yumuşatılmış sismik model, gelecekte meydana gelebilecek depremlerin koordinatlarındaki belirsizliği dikkate almakta ve sismisitenin uzayda durağan (stationary) olarak modellenmesi yoluyla deprem kaynak sınırlarının belirlenmesindeki keyfiliği ortadan kaldırmaktadır (Kalkan & Gülkan, 2013).

Zamana Bağlı Deprem Tekrarlanma Modellemesi

Poisson modeli, deprem oluşumunun bölgesel ölçekte temsil edilmesi için yaygın olarak kullanılmakla birlikte, tekil faylar üzerinde yürütülen paleosismolojik ve tarihsel sismisite çalışmaları, büyük ve karakteristik depremlerin yarı-periyodik (quasi-periodic) bir şekilde gerçekleştiğini göstermektedir (Erdik ve ark., 2004). PROTA (2025) Sismik Tehlike Hesaplamaları ve Ölçeklendirilmiş Sismik Kayıt Setlerinin Temini Raporu'nda da vurgulandığı üzere, bu davranış, faylar üzerinde iyi belgelenmiş paleosismik kayıtların gözlemlendiği durumlarda yenilenme (renewal) özelliklerini daha doğru şekilde yansıtan zaman-bağımlı deprem tekrarlanma modelleri ile daha iyi temsil edilmektedir.

Bu çerçevede paleosismolojik çalışmalar, belirli fayların üretebileceği karakteristik deprem büyüklüklerinin tahmin edilmesinde temel veri kaynağı olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmalar, bir fay boyunca meydana gelen geçmiş büyük depremlerin zamanlamasına ilişkin doğrudan kanıtlar sunarak tekrarlanma davranışının türetilmesine imkân sağlamaktadır. PROTA (2025) kapsamında özetlendiği üzere, tekrarlanma aralıkları ayrıca moment-kapasite yöntemi kullanılarak ikincil olarak tahmin edilebilmektedir. Bu yöntem, biriken tektonik gerinim enerjisini karakteristik depremler yoluyla gerçekleşen enerji boşalımı ile ilişkilendirmektedir.

7.1.2.1.1.3. Yer Hareketi Tahmin Denklemleri ve Yer Hareketi Karakterizasyonu

Projede Dikkate Alınan Yer Hareketi Tahmin Denklemleri

PROTA (2025) tarafından yürütülen sismik tehlike analizlerinde, gelecekteki sismik aktivitenin tahmin edilmesi amacıyla yer hareketi tahmin denklemleri (Ground Motion Prediction Equations – GMPEs) kullanılarak yer hareketi değişkenliği dikkate alınmıştır. Depremlerin doğası gereği ortaya çıkan aleatorik (rastlantısal) değişkenlik, GMPE'lerin standart sapma değerleri aracılığıyla hesaba katılmıştır. Veri sınırlamalarından kaynaklanan epistemik belirsizlik (modelleme belirsizliği) ise yer hareketi karar ağacı (logic tree) uygulamaları ile ele alınmıştır.

PROTA (2025) çalışmasında özetlendiği üzere, karar ağacı çerçevesinde Proje Alanı için kullanılan GMPE'ler, bölgeyi temsil eden sismotektonik yapıya uygunluk derecelerini yansıtacak şekilde farklı ağırlıklarla değerlendirilmiştir. Çalışma alanında tutarlı bir sismik tehlike analizi sağlamak amacıyla, sahaya özgü deprem büyüklüğü, uzaklık ve spektral periyot aralıklarında öngörü yapabilen denklemler seçilmiştir.

Ayrıca, benzer sismotektonik özelliklere sahip bölgeler arasında dahi spektral davranışlarda farklılıklar gözlemlendiği çeşitli çalışmalarda belirtilmiştir (Boore ve ark., 2014; Kale ve ark., 2015; Kotha ve ark., 2020). Bu kapsamda, GMPE seçim sürecinde bölgesel farklılıklar da dikkate alınmıştır.

Tablo 7.3 Yer Hareketi Tahmin Denklemlerinin Kısaltmaları ve Genel Özellikleri

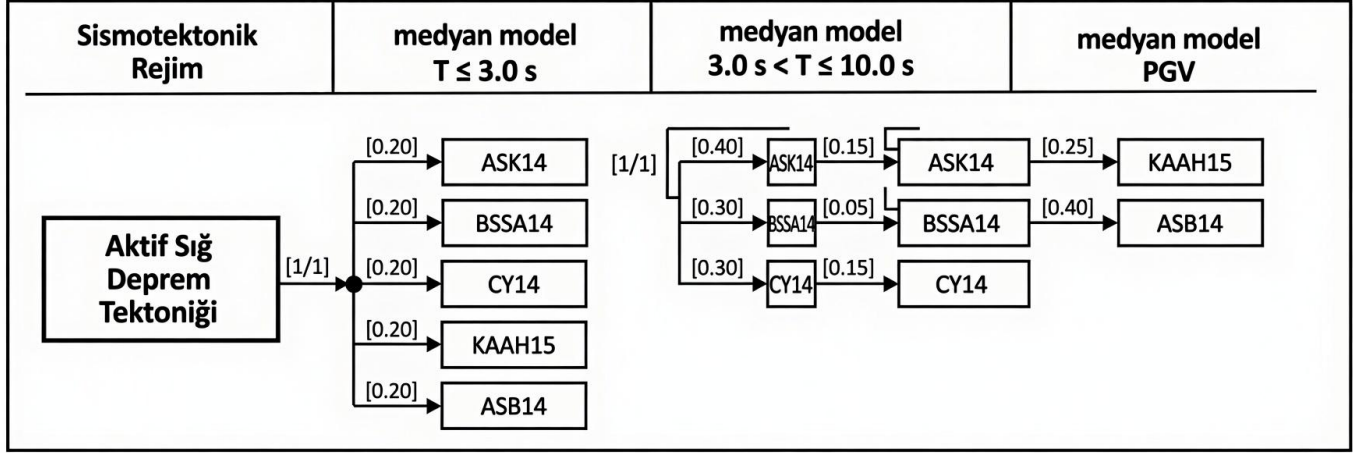
Tahmin Denklemleri	Kısaltma	Ana Bölge(ler)	Mw aralığı	R türü ve R _{max} (km) *	Bileşenler †	Periyot Aralığı
Abrahams on et al. (2014)	ASK14	Global	3.0 - 8.5	R _{RUP} , 300	PGA, PGV, PSA RotD50	0 - 10s
Boore et al. (2014)	BSSA14	Global	3.0 - 8.5	R _{JB} , 300	PGA, PGV, PSA RotD50	0 - 10s
Chiou ve Young s (2014)	CY14	Global	3.5 - 8.5	R _{RUP} , 300	PGA, PGV, PSA RotD50	0 - 10s
Kale et al. (2015)	KAHA15	Türkiye	4.0 - 8.0	R _{JB} , 200	PGA, PGV, PSA GM	0 - 4s
Akkar et al. (2014)	ASB14	Avrupa ve Orta Doğu	4.0 - 8.0	R _{JB} , 200	PGA, PGV, PSA GM	0 - 4s

R: mesafe, **R_{max}:** maksimum mesafe, **R_{JB}:** Joyner-Boore mesafesi, **RRUP:** fay kırılma düzlemine en yakın mesafe † **PGA:** Maksimum yer ivmesi, **PGV:** maksimum yer hızı, **PSA:** psödospektral ivme, **GM:** yatay bileşenlerin geometrik ortalaması, **RotD50:** yönelimden bağımsız ortalama yatay bileşen

Yer Hareketi Karar Ağacı Uygulaması

PROTA (2025) tarafından hazırlanan “Sismik Tehlike Hesaplamaları ve Ölçeklendirilmiş Sismik Kayıt Setlerinin Temini Raporu” kapsamında, yer hareketi tahmin denklemleri (GMPE'ler) ve bu denklemlere atanan ağırlıkların sismik tehlike sonuçlarını etkileyen temel faktörler olduğu belirlenmiştir. Seçilen GMPE'lerin medyan tahminlerinin lognormal dağılımın merkezini, gövdesini ve yayılım aralığını temsil etmesini sağlamak amacıyla modellemede çoklu denklem yaklaşımı kullanılmıştır. Atanan ağırlıklar, modeldeki epistemik belirsizliği mümkün olduğunca gerçekçi şekilde yansıtacak biçimde seçilmiştir.

PROTA (2025) kapsamında özetlenen duyarlılık analizleri, KAAH15 denkleminin epistemik belirsizliğin alt sınırını, BSSA14 denkleminin ise üst sınırını oluşturduğunu göstermiştir. GMPE'ler, Şekil 7.3'te gösterildiği üzere bir karar ağacı (logic tree) yapısına dahil edilmiş ve Tablo 7.4'te verilen ağırlıklar kullanılmıştır. Bu yaklaşım sayesinde, gerekli dönüş periyotları için %5 sönümlü elastik tekdüze tehlike ivme spektrumları elde edilmiştir.



Şekil 7.3: Yer Hareketi Modelinin Mantık Ağacı Uygulamasının Gösterimi (PROTA, 2025)

Tablo 7.4: Yer Hareketi Tahmin Denklemlerinin Mantık Ağacı Uygulama Ağırlıkları (PROTA, 2025)

Sismotektonik Rejim	Yer Hareketi Tahmin Denklemi	Mantık Ağacı Ağırlığı $T \leq 3s$	Mantık Ağacı Ağırlığı $T > 8s$	Mantık Ağacı Ağırlığı PGV
Aktif Sığ Deprem Tektoniği	Abrahamson et al. (2014)	0.20	0.40	0.15
	Boore et al. (2014)	0.20	0.30	0.05
	Chiou and Youngs (2014)	0.20	0.30	0.15
	Kale et al. (2015)	0.20	-	0.25
	Akcar et al. (2014)	0.20	-	0.40

7.1.2.1.1.4. Tüneller için Deprem Tehlike Hesaplamaları

Bu bölüm, Sismik Tehlike Hesaplamaları ve Ölçeklendirilmiş Sismik Kayıt Setlerinin Temini Raporu'nda (PROTA, 2025) sunulan Olasılıksal Sismik Tehlike Analizi (PSHA) sonuçlarını içermekte olup, saha özel spektrumları; zemin büyütme ve yakın fay yönlülük etkileri dâhil edilerek TDY-20 (TBDY-2018) standartları ile karşılaştırmaktadır.

Proje Alanı Zeminine İlişkin Değerlendirmeler

PROTA (2025) raporunda, 27+460 km'lik güzergâh boyunca 13 temsili tünel kesiti, kritik Vs30 değerlerinin belirlenmesi amacıyla MASW ve ReMi jeofizik yöntemleri kullanılarak analiz edilmiştir.

Bu veriler ve TBDY-2018 kriterleri esas alınarak yapılan değerlendirmeler sonucunda, güzergâh boyunca zemin koşullarının ağırlıklı olarak:

- **ZD sınıfı** (orta sıkıdan sıkıya zeminler veya sert killeri)
- **ZC sınıfı** (çok sıkı zeminler veya ayrılmış zayıf kaya)

olarak sınıflandırıldığı söylenebilir (Tablo 7.5).

Tablo 7.5 – Tüneller için Zemin Sınıflandırması Tünellerde Zemin Sınıflandırması

Tünel ID	Konum	Enlem	Boylam	Tünel Seviyesini Temsil Eden	
				V _s (m/s)	Zemin Sınıfı
01	3+800	40.75809	29.80086	324	ZD
02	4+460	40.76021	29.80829	266	ZD
03	6+160	40.75735	29.82714	307	ZD
04	9+220	40.76228	29.86223	386	ZC
05	12+740	40.76302	29.90112	182	ZD
06	14+470	40.76601	29.92357	636	ZC
07	17+760	40.77442	29.9545	543	ZC
08	18+780	40.77628	29.96818	301	ZD
09	20+460	40.7675	29.97823	211	ZD
10	5+680	40.7582	29.82143	386	ZC
11	11+440	40.76295	29.88845	388	ZC
12	22+580	40.75875	29.99169	220	ZD
13	23+940	40.75676	30.00828	399	ZC

Olasılıksal Deprem Tehlike Hesaplamaları

PROTA (2025) tarafından hazırlanan “Sismik Tehlike Hesaplamaları ve Ölçeklendirilmiş Sismik Kayıt Setlerinin Temini Raporu” kapsamında, Proje Alanı için öngörülen $V_{s30} = 760$ m/s kaya zemin koşulu esas alınarak sahaya özel sismik tehlike analizleri başlangıçta gerçekleştirilmiştir. Bu analizlerden elde edilen değerler, Türkiye Sismik Tehlike Haritası’nın (Akkar ve ark., 2018) saha bağımsız geometrik ortalama tasarım spektrumları ile karşılaştırma amacıyla kullanılmıştır. Söz konusu yaklaşım, Türk Deprem

Yönetmeliği (2020) [TDY-20] tarafından da önerilmektedir. PROTA (2025) kapsamında ayrıca, alan kaynaklarının 5 km aralıklarla ayrıklaştırılması ve 0,1 M büyüklük-frekans dağılım aralığı kullanılması gibi daha hassas hesaplama yaklaşımları uygulanmıştır. Tüm bu yaklaşımlar birlikte değerlendirildiğinde, belirli düzeyde sapmaların oluşması beklenen bir durumdur. Genel karşılaştırma sonucunda, sahaya özel bu çalışmadan elde edilen sonuçların yönetmelik tarafından tanımlanan spektral değerlerle uyumlu olduğu sonucuna ulaşılmıştır (PROTA, 2025).

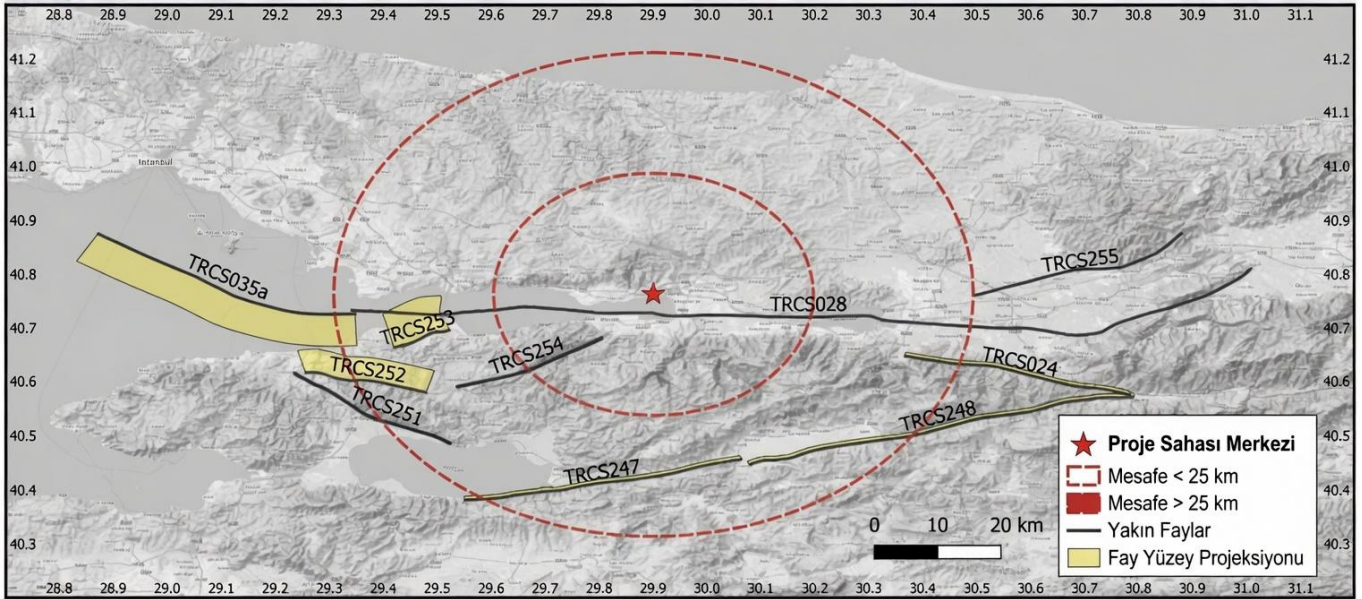
Tablo 7.6 – Saha Özel Olasılıksal Deprem Tehlike Hesaplamaları ve Yer Etkisinden Bağımsız (VS30 = 760 m/s) TDTH ve TDY20'den elde edilen eş tehlike ivme ve hız değerleri (PROTA, 2025)

Tünel ID	Sismik Yüzey	Saha- Özgü				TDY20			
		PGA (g)	S _s (g)	S ₁ (g)	PGV (cm/s)	PGA (g)	S _s (g)	S ₁ (g)	PGV (cm/s)
T01	DD-2a	0.4445	1.1066	0.2347	30.4	0.3844	0.8973	0.2284	26.2
	DD-2	0.7397	1.8904	0.4449	55.1	0.6800	1.6610	0.4520	58.6
	DD-1	1.2047	3.1803	0.8379	94.2	1.1560	2.9250	0.8430	101.5
T02	DD-2a	0.4394	1.0934	0.2321	30.1	0.3842	0.8954	0.2282	26.1
	DD-2	0.7283	1.8614	0.4381	54.4	0.6790	1.6560	0.4510	58.4
	DD-1	1.1830	3.1264	0.8215	92.9	1.1520	2.9160	0.8390	101.1
T03	DD-2a	0.4473	1.1143	0.2359	30.9	0.3879	0.9056	0.2299	26.5
	DD-2	0.7430	1.8998	0.4469	55.8	0.6840	1.6710	0.4550	59.2
	DD-1	1.2087	3.1908	0.8404	95.0	1.1600	2.9370	0.8440	102.2
T04	DD-2a	0.4380	1.0902	0.2312	30.6	0.3871	0.9029	0.2294	26.3
	DD-2	0.7223	1.8474	0.4352	54.8	0.6800	1.6620	0.4520	58.6
	DD-1	1.1706	3.0891	0.8137	93.0	1.1490	2.9150	0.8360	100.8
T05	DD-2a	0.4365	1.0866	0.2303	30.8	0.3862	0.9020	0.2294	26.2
	DD-2	0.7179	1.8370	0.4329	55.0	0.6800	1.6620	0.4520	57.7
	DD-1	1.1625	3.0646	0.8084	92.9	1.1460	2.9100	0.8320	98.9
T06	DD-2a	0.4238	1.0544	0.2243	30.1	0.3847	0.8988	0.2290	26.1

Tünel ID	Sismik Yüzey	Saha- Özgü				TDY20			
	DD-2	0.6900	1.7641	0.4170	53.2	0.6770	1.6550	0.4500	57.2
	DD-1	1.1155	2.9277	0.7744	89.7	1.1390	2.8930	0.8260	97.8
T07	DD-2a	0.3990	0.9904	0.2140	28.6	0.3780	0.8835	0.2249	25.5
	DD-2	0.6456	1.6423	0.3902	50.2	0.6660	1.6280	0.4430	55.5
	DD-1	1.0400	2.7132	0.7211	84.5	1.1170	2.8400	0.8110	94.7
T08	DD-2a	0.3956	0.9816	0.2125	28.4	0.3767	0.8798	0.2247	25.3
	DD-2	0.6394	1.6254	0.3865	49.9	0.6640	1.6230	0.4420	55.0
	DD-1	1.0283	2.6837	0.7131	83.9	1.1130	2.8310	0.8080	93.9
T09	DD-2a	0.4188	1.0418	0.2224	30.2	0.3864	0.9035	0.2296	26.1
	DD-2	0.6809	1.7388	0.4118	53.1	0.6810	1.6650	0.4530	57.1
	DD-1	1.1003	2.8828	0.7641	89.2	1.1420	2.9050	0.8290	97.3
T10	DD-2a	0.4452	1.1088	0.2349	30.6	0.3866	0.9019	0.2296	26.3
	DD-2	0.7394	1.8897	0.4447	55.4	0.6820	1.6660	0.4530	58.9
	DD-1	1.2020	3.1736	0.8359	94.4	1.1570	2.9310	0.8430	101.8
T11	DD-2a	0.4374	1.0888	0.2307	30.8	0.3862	0.9018	0.2294	26.2
	DD-2	0.7202	1.8423	0.4341	55.0	0.6800	1.6610	0.4520	57.9
	DD-1	1.1665	3.0765	0.8111	93.0	1.1460	2.9090	0.8320	99.3
T12	DD-2a	0.4408	1.0979	0.2327	32.0	0.3950	0.9240	0.2343	26.7
	DD-2	0.7263	1.8566	0.4378	56.6	0.6970	1.7040	0.4630	58.6
	DD-1	1.1754	3.1022	0.8175	95.0	1.1690	2.9750	0.8470	99.9
T13	DD-2a	0.4469	1.1139	0.2359	32.5	0.3978	0.9309	0.2358	26.9
	DD-2	0.7392	1.8892	0.4455	57.8	0.7020	1.7160	0.4660	59.1
	DD-1	1.1986	3.1634	0.8347	96.8	1.1770	2.9970	0.8530	100.8

Proje Alanı İçin Fay-Yakını Yönlülük (Near-Fault Directivity) Etkileri

Fay-yakını yönlülük etkileri, fay kırılma hızının sismik dalga yayılım hızına yaklaşması durumunda ortaya çıkmakta ve depremler sonucunda oluşan yer hareketlerinin karakterizasyonu sırasında hareketin normal yönünde yüksek enerjili bir darbe (pulse) oluşmasına neden olmaktadır. PROTA (2025) tarafından hazırlanan “Sismik Tehlike Hesaplamaları ve Ölçeklendirilmiş Sismik Kayıt Setlerinin Temini Raporu”nda özetlendiği üzere, bu etkiler Proje Alanı için tasarım seviyesindeki yer hareketlerini etkileyen önemli bir parametre olarak belirlenmiştir. ASCE 7-22 sismik standardına (ASCE, 2022) göre, Proje Alanına 15 km’den daha yakın (fay yüzey izdüşümü ile saha arasındaki mesafe) fayların bulunması durumunda fay-yakını yönlülük etkilerinin sismik tehlike hesaplamalarına dahil edilmesi gerekmektedir. Diğer taraftan CALTRANS (2019) kılavuzuna göre bu gereklilik, fay kırığına en yakın olasılıksal mesafenin 25 km’den az olması durumunda uygulanmaktadır. Bununla birlikte güncel çalışmalar, yönlülük etkilerinin daha uzak bölgelerde de etkili olabileceğini göstermektedir (Bayless & Somerville, 2013; Chiou & Youngs, 2014; Shahi & Baker, 2014; Bayless & Somerville, 2020). PROTA (2025) kapsamında gerçekleştirilen Sismik Tehlike Hesaplamaları ve Ölçeklendirilmiş Sismik Kayıt Setlerinin Temini Raporu çerçevesinde, Proje Alanı ile sismik tehlike oluşturabilecek yakın faylar arasındaki mesafenin 25 km’den küçük olması nedeniyle fay-yakını yönlülük etkilerine ilişkin hesaplamalar dikkate alınmıştır. Şekil 7.4’te, tanımlanan metro güzergâhının 25 km ve 50 km yarıçaplı etki alanları gösterilmiş ve güzergâhı etkileyebilecek doğrultu atımlı ve normal faylar sunulmuştur (PROTA, 2025).



Şekil 7.4: Proje Alanına Yakın Başlıca Aktif Fay Hatları (PROTA, 2025)

Literatürde yapılan çeşitli çalışmalara göre, yönlülük (directivity) etkilerinin değerlendirilmesi için farklı yöntemler önerilmiştir (Somerville ve ark., 1997; Abrahamson, 2000; Bayless & Somerville, 2013). Fay yakın alan etkileri için CALTRANS (2019) kılavuzları, spektral ordinatların fay düzlemine en yakın olasılıksal mesafeye (de-aggregation analizinden elde edilen ortalama veya mod mesafelerden küçük olanına göre belirlenen) bağlı olarak artırılmasını öneren ampirik bir yaklaşım sunmaktadır. Bu yöntem, $T = 0,5$ s üzerindeki periyotlar için spektral değerlere uygulanan iki doğrusal (bilinear) bir büyütme şeması içermektedir. Özellikle, faydan 15 km içinde yer alan sahalarda, fay yakın alan etkileri $T = 0,5$ s ile $T = 1,0$ s arasındaki periyotlarda spektral ordinatlarda doğrusal bir artış şeklinde yansıtılmakta, $T = 1,0$ s üzerindeki periyotlar için ise %20 sabit bir büyütme uygulanmaktadır.

Faydan 25 km’den daha uzak mesafeler için herhangi bir büyütme önerilmemekte olup, olasılıksal mesafelerin 15 km’yi aşması durumunda büyütme değerleri %20’nin altına düşmektedir. PROTA (2025) tarafından hazırlanan “Sismik Tehlike Hesaplamaları ve Ölçeklenmiş Sismik Kayıt Setlerinin Temini Raporu”nda da belirtildiği üzere,

mevcut proje kapsamında tüm deprem seviyeleri için hesaplanan olasılıksal mesafeler 15 km'nin altındadır; bu nedenle %20 büyütme değeri esas alınmıştır. Benzer şekilde, Türkiye'de Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı tarafından hazırlanan belirli özel yapılar için sismik düzenlemelerde de bu yöntemin basitleştirilmiş bir versiyonu dikkate alınmaktadır (Deprem Etkisi Altında Otoyol ve Demiryolu Tünelleri ile Diğer Geoteknik Yapılar için Tasarım Esasları; Deprem Etkisi Altında Sismik İzolatörlü ve Sönümleyicili Köprü ve Viyadükler için Tasarım Esasları).

Alana Özgü Olasılıksal Deprem Tehlike Hesaplama Sonuçları

Sismik Tehlike Hesaplamaları ve Ölçeklendirilmiş Sismik Kayıt Setlerinin Temini Raporu'nda (PROTA, 2025), proje kapsamında dikkate alınan tekerrür periyotlarına karşılık gelen olasılıksal sismik tehlike analizi sonuçları (UHS), **TR = 144 yıl (DD-2a), 475 yıl (DD-2) ve 2475 yıl (DD-1)** deprem seviyeleri için sunulmuştur.

Raporda özetlendiği üzere, DD-1, DD-2 ve DD-2a seviyelerine karşılık gelen spektral ordinatlar için 50 yıllık süre içinde aşılma olasılıkları sırasıyla **%2, %10 ve %29,3** olarak hesaplanmıştır (TDY20'de tanımlanan 100 yıllık süre için %4, %20 ve %50 aşılma olasılıklarına eşdeğer).

Aynı rapor, güzergâh boyunca yer alan her tünel kesiti için **kayma dalgası hızı (Vs30)** değerlerine bağlı olarak **Tepe Yer İvmesi (PGA)**, **Tepe Yer Hızı (PGV)** ve spektral ivme ordinatlarının saha özel hesaplamalarını içermektedir.

Hesaplanan yatay yer hareketi bileşenleri, yer hareketi tahmin denklemlerine (GMPE) uygun olarak **geometrik ortalama** veya daha doğrusu yönelimden bağımsız **RotD50 bileşeni (Boore, 2010)** cinsinden tanımlanmıştır. TDY20'nin yatay yer hareketini maksimum yön (maximum direction) olarak tanımlaması nedeniyle, RotD50 (veya geometrik ortalama) bileşenleri, **Shahi & Baker (2014)** tarafından önerilen periyoda bağlı katsayılar ve ardından **NEHRP20 (Building Seismic Safety Council, 2020)** kapsamında yapılan düzeltme/smooth işlemleri kullanılarak maksimum yön değerlerine dönüştürülmüştür.

Ayrıca, saha özel spektral ordinatlar TDY20 ile tam uyumlu hale getirilmek amacıyla **yakın-fay yönlülük (near-fault directivity)** etkileri de hesaba katılmıştır. PROTA (2025) raporunda detaylandırıldığı üzere, her tünel kesiti için ilgili yönlülük faktörleri uygulanarak nihai TDY20 uyumlu maksimum yön değerleri elde edilmiştir.

Bu kapsamda; **PGA, PGV, T = 1.0 s için saha bağımsız ivme (S1'), saha bağımlı kısa periyot ve T = 1.0 s spektral ivme parametreleri (SDS ve SD1)** — maksimum yön ve yönlülük etkileri dâhil edilerek — Tablo 7.7 ve Tablo 7.8'de sunulmuştur.

Tablo 7.7 Olasılıksal Deprem Tehlike Hesaplamaları (PROTA, 2025) ile Temel Seviyesinde Belirlenen Zemin Koşullarına Göre TR = 144 yıl (DD-2a), 475 yıl (DD-2) ve 2475 yıl (DD-1) için Hesaplanan PGA, PGV, SDS ve SD1 Değerleri

Tünel ID	Sismik Yüzey	Saha- Özgü			
		PGA (m/s ²)	PGV (m/s)	SDS (g)	SD1 (g)
T01	DD2a	6.1807	0.7502	1.5584	0.6677
	DD2	9.7794	1.4015	2.4733	1.2407
	DD1	15.3774	2.4253	3.9519	2.3064

Tünel ID	Sismik Yüzey	Saha- Özgü			
T02	DD2a	5.9789	0.7947	1.4964	0.7481
	DD2	9.1943	1.4644	2.3236	1.3540
	DD1	14.1676	2.5150	3.5862	2.4518
T03	DD2a	6.1880	0.7774	1.5573	0.6954
	DD2	9.7232	1.4445	2.4587	1.2845
	DD1	15.2238	2.4900	3.8950	2.3748
T04	DD2a	6.1193	0.7023	1.5533	0.3078
	DD2	9.7580	1.3006	2.5132	0.5799
	DD1	15.4371	2.2136	4.0218	1.0844
T05	DD2a	5.3576	0.8787	1.3658	0.8978
	DD2	7.8461	1.5437	2.0215	1.5238
	DD1	11.6404	2.6443	2.9830	2.5897
T06	DD2a	5.3423	0.5108	1.3505	0.3546
	DD2	8.7313	0.9287	2.2611	0.6588
	DD1	14.0476	1.5640	3.7351	1.2240
T07	DD2a	5.3030	0.5236	1.3649	0.3925
	DD2	8.5221	0.9454	2.2419	0.7139
	DD1	13.5383	1.5950	3.6450	1.3159
T08	DD2a	5.6366	0.7003	1.4354	0.6392
	DD2	8.6833	1.2525	2.2147	1.1335
	DD1	13.3060	2.0966	3.4461	2.0417
T09	DD2a	5.4816	0.8199	1.4003	0.8167
	DD2	8.1236	1.4476	2.0695	1.4050

Tünel ID	Sismik Yüzey	Saha- Özgü			
	DD1	12.1246	2.4392	3.1436	2.4312
T10	DD2a	6.2006	0.7058	1.5715	0.5838
	DD2	9.9559	1.3173	2.5608	1.0935
	DD1	15.7758	2.2606	4.1059	2.0478
T11	DD2a	6.1132	0.6950	1.5530	0.5717
	DD2	9.7374	1.2688	2.5090	1.0600
	DD1	15.3979	2.1527	4.0147	1.9734
T12	DD2a	5.7285	0.8631	1.4521	0.8285
	DD2	8.6002	1.5354	2.1673	1.4512
	DD1	12.8909	2.5876	3.3074	2.5427
T13	DD2a	6.2198	0.7084	1.5840	0.5680
	DD2	9.9689	1.2955	2.5724	1.0608
	DD1	15.7777	2.1951	4.1272	1.9824

Tablo 7.8 Olasılıksal Deprem Tehlike Hesaplamaları ile VS30 = 760 m/s İçin Elde Edilen Zemin Bağımsız S1' İvme Değerleri; TR = 144 yıl (DD-2a), 475 yıl (DD-2) ve 2475 yıl (DD-1) (PROTA, 2025)

Tünel ID	Sismik Yüzey	Yerine Özgü / Bölgeye özgü S1' (g)
T01	DD2a	0.3126
	DD2	0.5931
	DD1	1.1172
T02	DD2a	0.3091
	DD2	0.5837
	DD1	1.0950

Tünel ID	Sismik Yüzey	Yerine Özgü / Bölgeye özgü S1' (g)
T03	DD2a	0.3143
	DD2	0.5960
	DD1	1.1211
T04	DD2a	0.3078
	DD2	0.5799
	DD1	1.0844
T05	DD2a	0.3061
	DD2	0.5749
	DD1	1.0723
T06	DD2a	0.2978
	DD2	0.5536
	DD1	1.0276
T07	DD2a	0.2828
	DD2	0.5160
	DD1	0.9536
T08	DD2a	0.2808
	DD2	0.5111
	DD1	0.9431
T09	DD2a	0.2940
	DD2	0.5449
	DD1	1.0112
T10	DD2a	0.3129
	DD2	0.5928

Tünel ID	Sismik Yüzey	Yerine Özgü / Bölgeye özgü S1' (g)
	DD1	1.1146
T11	DD2a	0.3068
	DD2	0.5769
	DD1	1.0772
T12	DD2a	0.3084
	DD2	0.5804
	DD1	1.0839
T13	DD2a	0.3124
	DD2	0.5902
	DD1	1.1060

TDY20 Hesaplama Sonuçları

Bu bölümde, 144, 475 ve 2475 yıllık tekrar periyotlarına karşılık gelen DD-2a, DD-2 ve DD-A deprem seviyeleri için %5 sönümlü elastik tepki spektrumları arasındaki karşılaştırmalar, yalnızca Sismik Tehlike Hesaplamaları ve Ölçeklendirilmiş Sismik Kayıt Setlerinin Temini Raporu'nda özetlenen değerlendirmelere dayanarak sunulmaktadır. Raporda detaylandırıldığı üzere, her deprem seviyesi için spektral ordinatlar yerel siteye özel sismik tehlike hesaplamaları yoluyla elde edilmiştir. Yönetmelik tabanlı gerekliliklerle karşılaştırma yapılabilmesi amacıyla TDY20'de tanımlanan tasarım spektrumları, öncelikle referans kaya zemini koşulları ($V_S = 760$ m/s) için Türkiye Deprem Tehlike Haritalarından elde edilen spektral ivme değerleri alınarak ve ardından TDY20 zemin sınıflandırmasına göre belirlenen yerel zemin büyütme katsayıları kullanılarak Proje alanı koşullarına uyarlanmıştır. Bu bölümde sunulan tüm spektral değerler, zemin büyütme prosedürleri ve karşılaştırma metodolojileri doğrudan söz konusu rapordan alınmış veya bu rapor temel alınarak özetlenmiştir (Tablo 7.9).

Tablo 7.9: TDY20'ye göre DD-2a, DD-2 ve DD-1 için elde edilen SDS ve SD1 değerleri, tünellerin zemin türleriyle uyumludur

Tünel ID	Sismik Yüzey	Yer Altı	
		S _{DS} (g)	S _{D1} (g)
T01	DD2a	1.1514	0.6926
	DD2	1.9932	1.1987
	DD1	3.5100	2.2356
T02	DD2a	1.1499	0.6922

Tünel ID	Sismik Yüzey	Yer Altı	
	DD2	1.9872	1.1961
	DD1	3.4992	2.2250
T03	DD2a	1.1577	0.6963
	DD2	2.0052	1.2067
	DD1	3.5244	2.2383
T04	DD2a	1.3002	0.5367
	DD2	2.3933	0.9872
	DD1	4.1976	1.8258
T05	DD2a	1.1550	0.6949
	DD2	1.9944	1.1987
	DD1	3.4920	2.2065
T06	DD2a	1.2943	0.5358
	DD2	2.3832	0.9828
	DD1	4.1659	1.8040
T07	DD2a	1.2722	0.5262
	DD2	2.3443	0.9675
	DD1	4.0896	1.7712
T08	DD2a	1.1378	0.6833
	DD2	1.9476	1.1722
	DD1	3.3972	2.1428
T09	DD2a	1.1561	0.6954
	DD2	1.9980	1.2014
	DD1	3.4860	2.1985

Tünel ID	Sismik Yüzey	Yer Altı	
T10	DD2a	1.2988	0.5372
	DD2	2.3990	0.9894
	DD1	4.2206	1.8411
T11	DD2a	1.2986	0.5367
	DD2	2.3918	0.9872
	DD1	4.1890	1.8171
T12	DD2a	1.1714	0.7070
	DD2	2.0448	1.2279
	DD1	3.5700	2.2462
T13	DD2a	1.3405	0.5517
	DD2	2.4710	1.0177
	DD1	4.3157	1.8630

Sahaya Özgü Deprem Tehlike Hesaplamaları ve TDY20 ile Karşılaştırmalar

Bu bölümde tasarım esaslı değerler, Siteye Özgü Olasılıksal Deprem Tehlike Hesaplama Sonuçları ile TDY20 Hesaplama Sonuçları bölümünde sunulan TDY20 değerlerinin karşılaştırılması yoluyla elde edilmiştir. Bu değerlendirmelerde, siteye özgü deprem yer hareketi spektrumlarının kod tabanlı tasarım spektrumu ordinatlarının %90'ının altına düşmemesi gerektiğini belirten TDY20 gerekliliği dikkate alınmıştır. Bu doğrultuda, proje güzergâhı boyunca siteye özgü sismik tehlike hesaplama sonuçlarını kapsayan ve TDY20 uniform hazard spektrumunun en az %90'ını sağlayan bir zarf (envelope) spektrum benimsenmiştir. Tünel hatları için elde edilen tasarım parametreleri Tablo 7.10'da sunulmuştur.

TDY20'de PGA ve PGV değerleri doğrudan hesaplanmadığından, verilen değerlere dayanılarak TDY20'ye uygun şekilde Peak Ground Acceleration (PGA) ve Peak Ground Velocity (PGV)'ye karşılık gelen Peak Particle Acceleration (as) ve Peak Particle Velocity (vs) değerleri hesaplanmıştır. Ayrıca TDY20'de belirtilen siteye özgü değerlerin kod ordinatlarının %90'ının altına düşmeyeceği şartı da uygulanmıştır (PROTA, 2025).

Bu bölümde sunulan karşılaştırmalarda TDY20 düzenleyici spektral değerleri, zemin kayma dalga hızı (Vs) değerine bağlı olarak genellikle siteye özgü spektrumların ya üzerinde ya da altında kalmıştır. Gözlenen farklılıkların temel nedeni, TDY20'de önerilen zemin katsayılarının genelleştirilmiş zemin sınıflarına dayanması ve projeye özgü VS30 değerlerine özel olarak geliştirilmiş ayrıntılı zemin parametreleri içermemesidir. Ayrıca, siteye özgü çalışmada TDTH (Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği) ile karşılaştırıldığında daha güncel sismik kaynak modeli ve yer hareketi tahmin denklemleri setinin kullanılması da sonuçları etkilemiştir. Bunun yanında TDY20'de dikkate alınan yakın-

fay direktivite etkileri ve yön dönüşüm katsayıları hesaplamaları daha muhafazakâr hale getirme eğilimindedir. Son olarak, yönetmelik spektrumunun yalnızca iki periyot değerine bağlı idealize edilmiş bir yaklaşım olması da gözlenen farklılıkların önemli nedenlerinden biridir (PROTA, 2025).

Tablo 7.10: Tünel temel zemin özellikleri dikkate alınarak TDY20’de belirtilen %90 koşulunu sağlayan tasarım parametreleri (saha bazlı ve TDY20 hesaplamaları, PROTA, 2025)

Tünel ID	Sismik Yüzey	Yeraltı V_{S30}				
		S_1' (g)	S_{DS} (g)	S_{D1} (g)	PGA -as (m/s ²)	PGV -vs (m/s)
T01	DD2a	0.3207	1.5584	0.6677	6.1807	0.7502
	DD2	0.6346	2.4733	1.2407	9.7794	1.4015
	DD1	1.1836	3.9519	2.3064	15.3774	2.4253
T02	DD2a	0.3205	1.4964	0.7481	5.9789	0.7947
	DD2	0.6332	2.3236	1.3540	9.1943	1.4644
	DD1	1.1780	3.5862	2.4518	14.1676	2.5150
T03	DD2a	0.3228	1.5573	0.6954	6.1880	0.7774
	DD2	0.6388	2.4587	1.2845	9.7232	1.4445
	DD1	1.1850	3.8950	2.3748	15.2238	2.4900
T04	DD2a	0.3220	1.5533	0.4831	6.1193	0.7023
	DD2	0.6346	2.5132	0.8885	9.7580	1.3006
	DD1	1.1737	4.0218	1.6432	15.4371	2.2136
T05	DD2a	0.3220	1.3658	0.8978	5.3576	0.8787
	DD2	0.6346	2.0215	1.5238	7.8461	1.5437
	DD1	1.1681	3.1428	2.5897	12.3323	2.6443
T06	DD2a	0.3215	1.3505	0.4823	5.3423	0.5519
	DD2	0.6318	2.2611	0.8845	8.7313	1.0779
	DD1	1.1597	3.7493	1.6236	14.7124	2.0468

Tünel ID	Sismik Yüzey	Yeraltı V_{S30}				
T07	DD2a	0.3157	1.3649	0.4736	5.3030	0.5413
	DD2	0.6220	2.2419	0.8708	8.5221	1.0591
	DD1	1.1386	3.6806	1.5941	14.4428	2.0058
T08	DD2a	0.3154	1.4354	0.6392	5.6366	0.7003
	DD2	0.6206	2.2147	1.1335	8.6833	1.2525
	DD1	1.1344	3.4461	2.0417	13.3060	2.0966
T09	DD2a	0.3223	1.4003	0.8167	5.4816	0.8199
	DD2	0.6360	2.0695	1.4050	8.1236	1.4476
	DD1	1.1639	3.1436	2.4312	12.3112	2.4392
T10	DD2a	0.3223	1.5715	0.5838	6.2006	0.7058
	DD2	0.6360	2.5608	1.0935	9.9559	1.3173
	DD1	1.1836	4.1059	2.0478	15.7758	2.2606
T11	DD2a	0.3220	1.5530	0.5717	6.1132	0.6950
	DD2	0.6346	2.5090	1.0600	9.7374	1.2688
	DD1	1.1681	4.0147	1.9734	15.3979	2.1527
T12	DD2a	0.3289	1.4521	0.8285	5.7285	0.8631
	DD2	0.6501	2.1673	1.4512	8.6002	1.5354
	DD1	1.1892	3.3074	2.5427	12.8909	2.5876
T13	DD2a	0.3310	1.5840	0.5680	6.2198	0.7084
	DD2	0.6543	2.5724	1.0608	9.9689	1.2955
	DD1	1.1976	4.1272	1.9824	15.7777	2.1951

Olasılıksal Deprem Tehlike Ayrıştırma Analizleri

Sismik Tehlike Hesaplamaları ve Ölçeklendirilmiş Sismik Kayıt Setlerinin Temini Raporu'nda (PROTA, 2025) özetlendiği üzere, deaggregation analizleri Proje Alanına katkı sağlayan deprem senaryosunun ortalama büyüklük (magnitude) ve uzaklık (distance) değerlerini sunmaktadır. Bu değerler daha sonra düşey tepki spektrumunun hesaplanmasında kullanılmış ve ayrıca yer hareketi kayıtlarının seçimi sürecinde referans alınmıştır (Tablo 7.11, Tablo 7.12, Tablo 7.13 ve Tablo 7.14).

Tablo 7.11 T01 Tüneli Olasılıksal Deprem Tehlike Ayrıştırma Analizi Sonuçları

T (s)	M _w DD-2a	R (km) DD-2a	M _w DD-2	R (km) DD-2	M _w DD-1	R (km) DD-1
PGA	6.6	6	6.5	7	6.6	6
0.01	6.6	6	6.5	7	6.6	6
0.02	6.6	6	6.5	7	6.6	6
0.03	6.6	6	6.5	7	6.6	6
0.05	6.5	7	6.4	8	6.5	7
0.1	6.4	7	6.4	9	6.5	7
0.15	6.5	7	6.4	8	6.5	7
0.2	6.5	7	6.4	8	6.6	6
0.3	6.6	6	6.5	7	6.8	5
0.4	6.7	6	6.6	7	6.9	5
0.5	6.8	5	6.6	7	7.0	4
0.75	6.8	5	6.6	7	7.0	4
1	6.9	5	6.7	7	7.1	4
1.5	7.0	5	6.7	7	7.2	4
2	7.0	5	6.8	8	7.3	3
3	7.1	4	6.9	9	7.4	3
4	7.2	4	6.9	10	7.4	3
5	7.3	4	7.0	13	7.4	3

T (s)	M _w DD-2a	R (km) DD-2a	M _w DD-2	R (km) DD-2	M _w DD-1	R (km) DD-1
7.5	7.4	7	7.1	24	7.5	3
10	7.4	11	7.2	34	7.5	3

Tablo 7.12. T05 Tüneli için Probabilistik Sismik Tehlike Ayrıştırma

T (s)	M _w DD-2a	R (km) DD-2a	M _w DD-2	R (km) DD-2	M _w DD-1	R (km) DD-1
PGA	6.4	9	6.5	7	6.5	7
0.01	6.4	9	6.5	7	6.5	7
0.02	6.4	9	6.5	7	6.5	7
0.03	6.4	9	6.5	7	6.5	7
0.05	6.3	11	6.3	9	6.4	8
0.1	6.2	14	6.3	11	6.3	9
0.15	6.2	14	6.3	10	6.3	9
0.2	6.3	12	6.3	9	6.4	8
0.3	6.4	10	6.4	8	6.5	7
0.4	6.5	9	6.6	7	6.6	6
0.5	6.5	9	6.6	7	6.7	6
0.75	6.6	8	6.7	6	6.9	5
1	6.6	8	6.8	6	7.0	4
1.5	6.7	8	6.9	5	7.2	4
2	6.8	8	7.0	5	7.3	3
3	6.8	9	7.1	4	7.4	3

T (s)	M _w DD-2a	R (km) DD-2a	M _w DD-2	R (km) DD-2	M _w DD-1	R (km) DD-1
4	6.9	10	7.2	4	7.4	3
5	7.0	14	7.3	4	7.4	3
7.5	7.1	26	7.4	7	7.5	3
10	7.2	37	7.4	12	7.5	3

Tablo 7.13. T08 Tüneli için Olasılıksal Sismik Tehlike Ayrıştırma

T (s)	M _w DD-2a	R (km) DD-2a	M _w DD-2	R (km) DD-2	M _w DD-1	R (km) DD-1
PGA	6.4	11	6.5	10	6.7	9
0.01	6.4	11	6.5	10	6.7	9
0.02	6.4	11	6.5	10	6.7	9
0.03	6.4	11	6.5	10	6.7	9
0.05	6.4	11	6.4	10	6.5	9
0.1	6.3	12	6.4	10	6.4	10
0.15	6.4	12	6.4	10	6.5	10
0.2	6.4	11	6.5	10	6.6	9
0.3	6.5	11	6.6	9	6.7	9
0.4	6.5	10	6.7	9	6.9	8
0.5	6.6	10	6.7	9	6.9	8
0.75	6.6	10	6.8	9	7.0	8
1	6.7	11	6.9	9	7.1	8
1.5	6.7	11	7.0	8	7.2	8
2	6.8	12	7.0	8	7.3	8

T (s)	M _w DD-2a	R (km) DD-2a	M _w DD-2	R (km) DD-2	M _w DD-1	R (km) DD-1
3	6.9	14	7.1	8	7.4	8
4	6.9	15	7.2	8	7.4	8
5	7.0	20	7.3	9	7.4	8
7.5	7.1	32	7.3	13	7.5	8
10	7.2	44	7.4	19	7.5	8

Tablo 7.14. T13 Tüneli için Olasılıksal Sismik Tehlike Analizi Ayırıştırma Sonuçları

T (s)	M _w DD-2a	R (km) DD-2a	M _w DD-2	R (km) DD-2	M _w DD-1	R (km) DD-1
PGA	6.5	7	6.6	6	6.7	6
0.01	6.5	7	6.6	6	6.7	6
0.02	6.5	7	6.6	6	6.7	6
0.03	6.5	7	6.6	6	6.7	6
0.05	6.4	8	6.5	7	6.6	6
0.1	6.4	8	6.5	7	6.5	7
0.15	6.4	8	6.5	7	6.6	6
0.2	6.5	8	6.6	7	6.6	6
0.3	6.5	7	6.7	6	6.8	5
0.4	6.6	7	6.7	6	6.9	5
0.5	6.6	7	6.8	6	7.0	4
0.75	6.6	7	6.8	5	7.0	4
1	6.7	7	6.9	5	7.1	4
1.5	6.7	7	7.0	5	7.2	4

T (s)	M _w DD-2a	R (km) DD-2a	M _w DD-2	R (km) DD-2	M _w DD-1	R (km) DD-1
2	6.8	7	7.0	5	7.3	3
3	6.8	8	7.1	4	7.4	3
4	6.9	9	7.2	4	7.4	3
5	7.0	13	7.3	4	7.4	3
7.5	7.1	25	7.3	7	7.5	3
10	7.2	36	7.4	11	7.5	3

7.1.2.1.1.5. İstasyonlar İçin Olasılıksal Deprem Tehlikesi Hesaplamaları

Proje Alanı Zemin Türü Değerlendirmeleri

PROTA (2025) tarafından hazırlanan “Sismik Tehlike Hesaplamaları ve Ölçeklendirilmiş Sismik Kayıt Setlerinin Elde Edilmesi Raporu”nda özetlendiği üzere, S04-Tüpraş-Petkim ile S22-Özdilek arasındaki her istasyonda, tasarım esaslı deprem parametrelerinin ve mühendislik zemin seviyesi tasarım spektrumlarının hesaplanması amacıyla jeoteknik tasarım ekibi tarafından Vs değerleri belirlenmiştir. MASW ve ReMi jeofizik ölçümleri temel alınarak, her lokasyonda ortalama kayma dalgası hızları (VS30); tasarım parametrelerinin hesaplanması için zemin yüzeyinden, zaman tanım alanında yer hareketi analizleri için ise mühendislik zemin seviyesi üzerinden türetilmiştir.

Her istasyon kesiti için temsili olarak seçilen kritik VS30 değerleri, sismisite çalışmalarında girdi olarak kullanılmıştır. TDY 2020 tarafından istenen tasarım spektrumlarının ve parametrelerinin hesaplanmasında, TBDY-2018’de tanımlanan zemin sınıfları uygulanmıştır.

PROTA (2025)’ten elde edilen istasyon bazlı zemin özellikleri (Tablo 7.15), güzergâhın büyük bölümünde, yakın yüzey zemin koşullarının (Tasarım Parametresi Temeli) ağırlıklı olarak şu kategorilerde olduğunu göstermektedir:

- **ZD** – Orta-sıkı ile sıkı kum, çakıl veya çok sert kil tabakaları ($180 \text{ m/s} \leq \text{VS30} < 360 \text{ m/s}$)
- **ZC** – Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrılmış, yoğun çatlaklı zayıf kaya ($360 \text{ m/s} \leq \text{VS30} < 760 \text{ m/s}$)

Tablo 7.15. İstasyon Konumlarının Tanımları ve Her İstasyon İçin Vs Hızları

İstasyon Kimlik Numarası	Konum	Enlem	Boylam	Temel Kaya Vs (m/s)	Tasarım Parametrelerine Göre Vs30 (m/s)
S04	Tüpraş-Petkim	40.77079	29.76153	760	420
S05	Körfez	40.76197	29.78589	620	365
S06	95 Evler	40.75831	29.79925	460	324

İstasyon Kimlik Numarası	Konum	Enlem	Boylam	Temel Kaya Vs (m/s)	Tasarım Parametrelerine Göre Vs30 (m/s)
S07	Derince Eğitim ve Araştırma Hastanesi	40.76027	29.81378	680	338
S08	Derince	40.75763	29.83063	620	307
S09	Derince Millet Bahçesi	40.76217	29.85316	760	360
S10	Kuruçeşme	40.76285	29.87660	460	280
S11	Seka Devlet Hastanesi	40.76287	29.90010	760	286
S12	Seka Park	40.76326	29.91384	695	307
S13	Cumhuriyet Park	40.76616	29.92869	648	415
S14	Milli İrade Park	40.76635	29.94134	600	247
S15	Bekirdere	40.77351	29.95121	585	342
S16	Otobüs Terimanlı	40.77557	29.97188	600	301
S17	Yahya Kaptan	40.76545	29.97639	715	211
S18	Poyraz	40.75980	29.98254	420	203
S19	Fındıklı	40.75705	30.00547	515	255
S20	Kartepe	40.75382	30.02313	525	277
S21	İzmit Doğu	40.74966	30.04718	450	316
S22	Özdilek	40.74726	30.06321	635	311

Olasılıksal Deprem Tehlike Hesaplamaları

PROTA (2025) tarafından hazırlanan “Sismik Tehlike Hesaplamaları ve Ölçeklendirilmiş Sismik Kayıt Setlerinin Edinimi Raporu”nda özetlendiği üzere, istasyonlar için olasılıksal sismik tehlike analizleri, tünel kesitlerinde uygulanan aynı metodoloji kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Raporun sonraki bölümlerinde, 144, 475 ve 2475 yıllık dönüş periyotlarına karşılık gelen **Uniform Tehlike Spektrumları (UHS)** sunulmaktadır.

Proje Alanı için öngörülen **VS30 = 760 m/s** referans kaya zemin koşulu için saha-specific sismik tehlike analizleri öncelikle yapılmıştır. Bu analizden elde edilen değerler, TDY 2018 (Türk Deprem Tehlike Haritası – Akkar vd., 2018) tarafından önerilen, zemin etkisinden bağımsız tasarım spektrumları ile karşılaştırma amacıyla kullanılmıştır.

Bu karşılaştırmalar, TDY20'de tanımlanan deprem seviyeleri için (Tablo 7.16) aşağıda listelenmiştir.

Tablo 7.16 Saha-specific olasılıksal deprem tehlike hesaplamaları ve TDTH ile TDY20'den elde edilen zemin etkisinden bağımsız (VS30 = 760 m/s) eş-tehlike ivme ve hız değerleri (PROTA, 2025)

İstasyon Kimlik Numarası	Sismik Yüzey	Yerine Özgü / Bölgeye özgü			TDY20		
		PGA (g)	SS (g)	S1 (g)	PGA (g)	SS (g)	S1 (g)
S04	DD-2a	0.4165	1.0342	0.2225	0.3716	0.8683	0.2222
	DD-2	0.6878	1.7565	0.4164	0.6610	1.6110	0.4390
	DD-1	1.1234	2.9506	0.7814	1.1260	2.8450	0.8220
S05	DD-2a	0.4364	1.0853	0.2309	0.3807	0.8878	0.2267
	DD-2	0.7247	1.8525	0.4365	0.6750	1.6450	0.4480
	DD-1	1.1804	3.1181	0.8206	1.1480	2.9020	0.8370
S06	DD-2a	0.4440	1.1053	0.2345	0.3844	0.8960	0.2284
	DD-2	0.7389	1.8883	0.4444	0.6800	1.6590	0.4520
	DD-1	1.2033	3.1771	0.8369	1.1560	2.9240	0.8420
S07	DD-2a	0.4395	1.0937	0.2321	0.3842	0.8965	0.2282
	DD-2	0.7280	1.8607	0.4379	0.6790	1.6570	0.4510
	DD-1	1.1821	3.1237	0.8208	1.1520	2.9170	0.8390
S08	DD-2a	0.4464	1.1119	0.2354	0.3888	0.9056	0.2309
	DD-2	0.7410	1.8944	0.4455	0.6840	1.6710	0.4550
	DD-1	1.2045	3.1808	0.8370	1.1590	2.9370	0.8440
S09	DD-2a	0.4376	1.0892	0.2311	0.3871	0.9027	0.2294
	DD-2	0.7218	1.8464	0.4349	0.6800	1.6610	0.4520

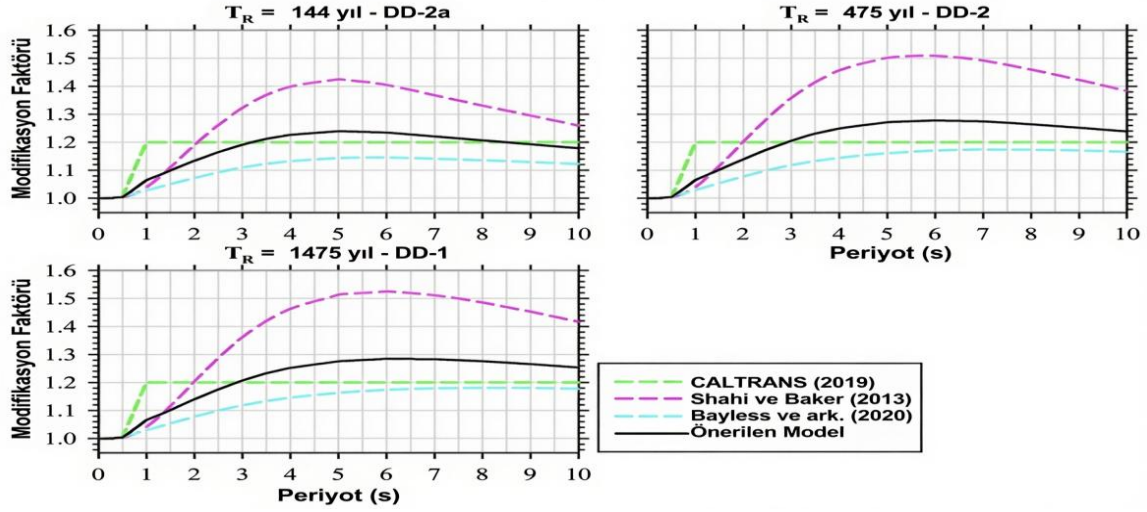
İstasyon Kimlik Numarası	Sismik Yüzey	Yerine Özgü / Bölgeye özgü				TDY20	
	DD-1	1.1701	3.0880	0.8131	1.1500	2.9150	0.8370
S10	DD-2a	0.4371	1.0879	0.2306	0.3871	0.9018	0.2294
	DD-2	0.7197	1.8414	0.4338	0.6800	1.6610	0.4520
	DD-1	1.1660	3.0755	0.8104	1.1470	2.9100	0.8330
S11	DD-2a	0.4371	1.0881	0.2306	0.3871	0.9022	0.2294
	DD-2	0.7192	1.8399	0.4336	0.6800	1.6630	0.4520
	DD-1	1.1646	3.0707	0.8099	1.1460	2.9110	0.8320
S12	DD-2a	0.4318	1.0743	0.2279	0.3871	0.9033	0.2294
	DD-2	0.7068	1.8103	0.4266	0.6800	1.6640	0.4520
	DD-1	1.1434	3.0100	0.7934	1.1460	2.9100	0.8310
S13	DD-2a	0.4221	1.0501	0.2236	0.3855	0.8999	0.2290
	DD-2	0.6869	1.7554	0.4150	0.6770	1.6560	0.4500
	DD-1	1.1101	2.9123	0.7704	1.1390	2.8940	0.8260
S14	DD-2a	0.4194	1.0433	0.2226	0.3858	0.9012	0.2292
	DD-2	0.6820	1.7421	0.4123	0.6780	1.6580	0.4510
	DD-1	1.1020	2.8885	0.7649	1.1400	2.8970	0.8270
S15	DD-2a	0.4007	0.9949	0.2147	0.3791	0.8859	0.2260
	DD-2	0.6486	1.6506	0.3920	0.6670	1.6310	0.4440
	DD-1	1.0457	2.7278	0.7246	1.1200	2.8460	0.8130
S16	DD-2a	0.3975	0.9868	0.2134	0.3771	0.8826	0.2249
	DD-2	0.6429	1.6349	0.3886	0.6660	1.6280	0.4430
	DD-1	1.0349	2.7003	0.7176	1.1160	2.8380	0.8100

İstasyon Kimlik Numarası	Sismik Yüzey	Yerine Özgü / Bölgeye özgü				TDY20	
S17	DD-2a	0.4238	1.0545	0.2244	0.3888	0.9078	0.2309
	DD-2	0.6898	1.7632	0.4171	0.6840	1.6730	0.4550
	DD-1	1.1149	2.9257	0.7743	1.1480	2.9200	0.8320
S18	DD-2a	0.4379	1.0903	0.2313	0.3935	0.9208	0.2329
	DD-2	0.7200	1.8417	0.4344	0.6940	1.6970	0.4610
	DD-1	1.1650	3.0714	0.8102	1.1650	2.9630	0.8440
S19	DD-2a	0.4459	1.1113	0.2354	0.3976	0.9296	0.2358
	DD-2	0.7373	1.8839	0.4442	0.7010	1.7140	0.4660
	DD-1	1.1948	3.1539	0.8318	1.1760	2.9940	0.8520
S20	DD-2a	0.4523	1.1280	0.2386	0.4017	0.9393	0.2374
	DD-2	0.7493	1.9172	0.4515	0.7080	1.7310	0.4700
	DD-1	1.2181	3.2138	0.8475	1.1870	3.0220	0.8600
S21	DD-2a	0.4608	1.1500	0.2432	0.4065	0.9523	0.2403
	DD-2	0.7654	1.9616	0.4620	0.7140	1.7460	0.4750
	DD-1	1.2495	3.2935	0.8707	1.1970	3.0480	0.8680
S22	DD-2a	0.4667	1.1653	0.2465	0.4067	0.9524	0.2408
	DD-2	0.7767	1.9923	0.4698	0.7110	1.7380	0.4730
	DD-1	1.2703	3.3478	0.8874	1.1920	3.0340	0.8640

Proje Alanı İçin Yakın Fay Doğrudan Yönelme Etkileri

Önceki bölümde sunulan yöntemler, istasyonlar için yakın fay doğrudan yönelme etkilerinin hesaplanması amacıyla takip edilmiştir. Değerlendirilen yöntemlere göre, DD-2a, DD-2 ve DD-1 için hesaplanan yakın fay doğrudan yönelme değerleri ile önerilen ağırlıklı ortalama model, en kritik sonuçları veren **S08-Derince İstasyonu** için Şekil 7.5'te sunulmakta ve Tablo 7.17'de listelenmektedir. Bu kapsamda, nihai doğrudan yönelme etkisi modifikasyon katsayıları, tasarım esaslı deprem seviyeleri için elde edilen yer özelinde uniform tehlike spektrumlarına tüm periyotlar için uygulanmış olup, sonraki aşamalarda sunulmaktadır.

Şekil 7.5 - S08-Derince İstasyonu İçin Yakın Fay Doğrudan Yönelme Etkisi Modifikasyon Faktörleri



Şekil7.5 Derince İstasyonu Yakınında Fay Yönelme Etkileri İçin Spektrum Modifikasyon Katsayılarının Karşılaştırılması (PROTA, 2025)

Tablo 7.17 S08-Derince İstasyonu için Yakın Fay Doğrudan Yönelme Etkilerinde Dikkate Alınan Ağırlıklı Ortalama Spektrum Modifikasyon Katsayıları (PROTA, 2025)

T (s)	$T_R = 144$ year DD-2a	$T_R = 475$ year DD-2	$T_R = 2475$ year DD-1
PGA	1.000	1.000	1.000
0.05	1.000	1.000	1.000
0.1	1.000	1.000	1.000
0.15	1.000	1.000	1.000
0.2	1.000	1.000	1.000
0.3	1.001	1.001	1.001
0.4	1.003	1.003	1.003
0.5	1.005	1.005	1.005
0.6	1.016	1.016	1.016
0.7	1.027	1.028	1.028
0.75	1.033	1.034	1.034

T (s)	T _R = 144 year DD-2a	T _R = 475 year DD-2	T _R = 2475 year DD-1
0.8	1.040	1.040	1.040
0.9	1.053	1.053	1.053
1	1.066	1.067	1.067
1.5	1.099	1.102	1.102
2	1.134	1.140	1.141
3	1.192	1.206	1.208
4	1.226	1.250	1.253
5	1.239	1.272	1.277
7.5	1.214	1.270	1.280
10	1.179	1.239	1.253

Yere Özgü Olasılıksal Deprem Tehlike Hesaplama Sonuçları

Önceki bölümlerde tarif edilen aşamalar takip edilerek elde edilen olasılıksal sismik tehlike hesaplama sonuçları (UHS değerleri), orijinal haliyle ve yakın fay doğrudan yönelme etkileri dahil olmak üzere bu bölümde sunulmaktadır. Hesaplama sonuçları, proje kapsamında dikkate alınan dönüş periyotları ve bunlara karşılık gelen deprem seviyeleri için listelenmiştir: **T_R = 144 yıl (DD-2a), 475 yıl (DD-2) ve 2475 yıl (DD-1)**. Bu hesaplamalardan elde edilen spektral değerlerin 50 yılda aşılma olasılıklarının DD-1, DD-2 ve DD-2a deprem seviyeleri için sırasıyla **%2, %10 ve %29,3** olduğu belirtilmelidir (TDY 2018'de 100 yılda aşılma olasılıkları sırasıyla %4, %20 ve %50 olarak tanımlanmıştır). Her istasyona ait kesme dalga hızına karşılık gelecek şekilde, yere özgü **PGA** (Yer İvme Tepe Değeri) ve spektral ivme ordinatları yer özelinde hesaplanmıştır.

Bu kapsamda, **maksimum yön ve yakın fay doğrudan yönelme etkilerinin** dikkate alındığı **PGA**, T = 1,0 s için yere bağımsız ivme değeri (S'₀) ile yere bağlı kısa periyot ve T = 1,0 s periyot ivme değerleri (S_{DS} ve S_{D1}) sırasıyla **Tablo 7.18** ve **Tablo 7.19**'da listelenmektedir.

Tablo 7.18 Probabilistik deprem tehlike analizleri sonucunda, 144 yıl (DD-2a), 475 yıl (DD-2) ve 2475 yıl (DD-1) dönüş periyotları için yüzey zemin koşullarında hesaplanan PGA, SDS ve SD1 değerleri (PROTA, 2025)

İstasyon Kimlik Numarası	Yerine Özgü / Bölgeye özgü	Yerine Özgü / Bölgeye özgü		
		PGA	S _{DS}	S _{D1}

İstasyon Kimlik Numarası	Yerine Özgü / Bölgeye özgü	Yerine Özgü / Bölgeye özgü		
		(m/s ²)	(g)	(g)
S04	DD-2a	5.7968	1.4843	0.5138
	DD-2	9.3378	2.4069	0.9547
	DD-1	14.9560	3.9277	1.7832
S05	DD-2a	6.1050	1.5420	0.5996
	DD-2	9.7472	2.4966	1.1185
	DD-1	15.4468	3.9948	2.0890
S06	DD-2a	6.1752	1.5570	0.6676
	DD-2	9.7693	2.4705	1.2402
	DD-1	15.3635	3.9479	2.3051
S07	DD-2a	6.1403	1.5510	0.6407
	DD-2	9.7153	2.4724	1.1904
	DD-1	15.2939	3.9429	2.2053
S08	DD-2a	6.1791	1.5554	0.6944
	DD-2	9.7023	2.4537	1.2809
	DD-1	15.1905	3.8863	2.3655
S09	DD-2a	6.1276	1.5498	0.6075
	DD-2	9.7184	2.4912	1.1283
	DD-1	15.3212	3.9641	2.0943
S10	DD-2a	6.0242	1.5134	0.7217
	DD-2	9.2819	2.3535	1.3087
	DD-1	14.3383	3.6586	2.3806

İstasyon Kimlik Numarası	Yerine Özgü / Bölgeye özgü	Yerine Özgü / Bölgeye özgü		
S11	DD-2a	6.0452	1.5212	0.7118
	DD-2	9.3340	2.3675	1.2909
	DD-1	14.4471	3.6941	2.3508
S12	DD-2a	6.0383	1.5259	0.6745
	DD-2	9.3745	2.3784	1.2251
	DD-1	14.5975	3.7565	2.2370
S13	DD-2a	5.8858	1.5098	0.5230
	DD-2	9.3508	2.4155	0.9637
	DD-1	14.8160	3.8922	1.7780
S14	DD-2a	5.6994	1.4438	0.7526
	DD-2	8.6411	2.1987	1.3242
	DD-1	13.0345	3.3418	2.3480
S15	DD-2a	5.7091	1.4534	0.5882
	DD-2	8.8966	2.2844	1.0563
	DD-1	13.7984	3.5867	1.9265
S16	DD-2a	5.6591	1.4407	0.6413
	DD-2	8.7199	2.2234	1.1389
	DD-1	13.3729	3.4621	2.0521
S17	DD-2a	5.5157	1.4071	0.8222
	DD-2	8.1860	2.0832	1.4178
	DD-1	12.2352	3.1661	2.4559
S18	DD-2a	5.5674	1.4155	0.8571

İstasyon Kimlik Numarası	Yerine Özgü / Bölgeye özgü	Yerine Özgü / Bölgeye özgü		
	DD-2	8.2597	2.1059	1.4815
	DD-1	12.3560	3.1765	2.5626
S19	DD-2a	6.0195	1.5141	0.7724
	DD-2	9.1662	2.3170	1.3913
	DD-1	14.0037	3.5600	2.4945
S20	DD-2a	6.1697	1.5473	0.7436
	DD-2	9.5356	2.4114	1.3579
	DD-1	14.7721	3.7469	2.4688
S21	DD-2a	6.3611	1.6047	0.6961
	DD-2	10.0469	2.5399	1.2950
	DD-1	15.7161	4.0236	2.4036
S22	DD-2a	6.4137	1.6156	0.7110
	DD-2	10.1377	2.5619	1.3275
	DD-1	15.8398	4.0477	2.4623

Table 7.19 TR = 144 yıl (DD-2a), 475 yıl (DD-2) ve 2475 yıl (DD-1) dönüş periyotları için gerçekleştirilen probabilistik deprem tehlike hesaplamaları, VS30 = 760 m/s zemin koşuluna göre yere özgü ve zemin bağımsız S1' ivme değerlerini ortaya koymuştur (PROTA, 2025).

İstasyon Kimlik Numarası	Sismik Yüzey	Yerine Özgü / Bölgeye özgü S1' (g)
S04	DD-2a	0.2946

İstasyon Kimlik Numarası	Sismik Yüzey	Yerine Özgü / Bölgeye özgü S ₁ ' (g)
	DD-2	0.5519
	DD-1	1.0357
S05	DD-2a	0.3069
	DD-2	0.5807
	DD-1	1.0920
S06	DD-2a	0.3123
	DD-2	0.5924
	DD-1	1.1159
S07	DD-2a	0.3091
	DD-2	0.5835
	DD-1	1.0940
S08	DD-2a	0.3137
	DD-2	0.5941
	DD-1	1.1165
S09	DD-2a	0.3077
	DD-2	0.5795
	DD-1	1.0835
S10	DD-2a	0.3070
	DD-2	0.5777
	DD-1	1.0796
S11	DD-2a	0.3065
	DD-2	0.5758
	DD-1	1.0744

İstasyon Kimlik Numarası	Sismik Yüzey	Yerine Özgü / Bölgeye özgü S ₁ ' (g)
S12	DD-2a	0.3027
	DD-2	0.5664
	DD-1	1.0527
S13	DD-2a	0.2968
	DD-2	0.5509
	DD-1	1.0224
S14	DD-2a	0.2952
	DD-2	0.5472
	DD-1	1.0152
S15	DD-2a	0.2837
	DD-2	0.5183
	DD-1	0.9582
S16	DD-2a	0.2820
	DD-2	0.5138
	DD-1	0.9490
S17	DD-2a	0.2967
	DD-2	0.5519
	DD-1	1.0247
S18	DD-2a	0.3066
	DD-2	0.5763
	DD-1	1.0748
S19	DD-2a	0.3118
	DD-2	0.5887

İstasyon Kimlik Numarası	Sismik Yüzey	Yerine Özgü / Bölgeye özgü S_1' (g)
	DD-1	1.1026
S20	DD-2a	0.3159
	DD-2	0.5980
	DD-1	1.1224
S21	DD-2a	0.3217
	DD-2	0.6114
	DD-1	1.1522
S22	DD-2a	0.3260
	DD-2	0.6217
	DD-1	1.1743

TDY20 Hesap Sonuçları

PROTA (2025) Deprem Tehlike Hesaplamaları ve Ölçeklendirilmiş Deprem Kayıt Setlerinin Elde Edilmesi Raporu'nda özetlendiği üzere, bu bölümde DD-2a, DD-2 ve DD-1 deprem seviyelerine (sırasıyla 144, 475 ve 2475 yıl dönüş periyotları) ait %5 sönümlü elastik tepki spektrumları ile TDY20'de tanımlı tasarım spektrumları arasında karşılaştırma yapılmaktadır. Bu karşılaştırma, proje sahasına özgü sismik tehlike analizleri sonuçlarına dayanmaktadır.

Proje sahası için, Türkiye Deprem Tehlike Haritaları'ndan referans kaya zemini ($VS_{30} = 760$ m/s) koşulunda elde edilen spektral değerler, TDY20'ye göre belirlenen proje sahası zemin sınıfına ait yerel zemin etki katsayıları ile çarpılarak saha koşullarına uyarlanmıştır (Tablo 7.20). TDY20 uyarınca, DD-2a, DD-2 ve DD-1 seviyeleri için hesaplanan zemin bağımsız S_1' değerleri Tablo 7.21'de verilmektedir.

Table 7.20 TDY20'ye göre, DD-2a, DD-2 ve DD-1 seviyeleri için SDS ve SD1 değerleri, yüzeyde hesaplanan zemin türlerine karşılık gelmektedir (PROTA, 2025).

İstasyon Kimlik Numarası	Sismik Yüzey	TDY20	
		S_{DS} (g)	S_{D1} (g)
S04	DD-2a	1.2504	0.5200

İstasyon Kimlik Numarası	Sismik Yüzey	TDY20	
	DD-2	2.3198	0.9588
	DD-1	4.0968	1.7952
S05	DD-2a	1.2784	0.5306
	DD-2	2.3688	0.9784
	DD-1	4.1789	1.8280
S06	DD-2a	1.1504	0.6926
	DD-2	1.9908	1.1987
	DD-1	3.5088	2.2330
S07	DD-2a	1.1508	0.6922
	DD-2	1.9884	1.1961
	DD-1	3.5004	2.2250
S08	DD-2a	1.1577	0.6987
	DD-2	2.0052	1.2067
	DD-1	3.5244	2.2383
S09	DD-2a	1.2999	0.5367
	DD-2	2.3918	0.9872
	DD-1	4.1976	1.8280
S10	DD-2a	1.1548	0.6949
	DD-2	1.9932	1.1987
	DD-1	3.4920	2.2091
S11	DD-2a	1.1551	0.6949
	DD-2	1.9956	1.1987
	DD-1	3.4932	2.2065

İstasyon Kimlik Numarası	Sismik Yüzey	TDY20	
S12	DD-2a	1.1560	0.6949
	DD-2	1.9968	1.1987
	DD-1	3.4920	2.2038
S13	DD-2a	1.2959	0.5358
	DD-2	2.3846	0.9828
	DD-1	4.1674	1.8040
S14	DD-2a	1.1544	0.6945
	DD-2	1.9896	1.1961
	DD-1	3.4764	2.1932
S15	DD-2a	1.1425	0.6866
	DD-2	1.9572	1.1775
	DD-1	3.4152	2.1561
S16	DD-2a	1.1400	0.6838
	DD-2	1.9536	1.1748
	DD-1	3.4056	2.1481
S17	DD-2a	1.1594	0.6987
	DD-2	2.0076	1.2067
	DD-1	3.5040	2.2065
S18	DD-2a	1.1690	0.7037
	DD-2	2.0364	1.2226
	DD-1	3.5556	2.2383
S19	DD-2a	1.1755	0.7106
	DD-2	2.0568	1.2358

İstasyon Kimlik Numarası	Sismik Yüzey	TDY20	
	DD-1	3.5928	2.2595
S20	DD-2a	1.1826	0.7147
	DD-2	2.0772	1.2464
	DD-1	3.6264	2.2807
S21	DD-2a	1.1918	0.7216
	DD-2	2.0952	1.2597
	DD-1	3.6576	2.3019
S22	DD-2a	1.1919	0.7229
	DD-2	2.0856	1.2544
	DD-1	3.6408	2.2913

Table 7.21 TDY20'ye (PROTA, 2025) göre DD-2a, DD-2 ve DD-1 istasyonları için elde edilen zeminden bağımsız S₁' değerleri.

İstasyon Kimlik Numarası	Sismik Yüzey	TDY20
		S ₁ ' (g)
S04	DD-2a	0.3467
	DD-2	0.6848
	DD-1	1.2823
S05	DD-2a	0.3537
	DD-2	0.6989
	DD-1	1.3057
S06	DD-2a	0.3564
	DD-2	0.7051

İstasyon Kimlik Numarası	Sismik Yüzey	TDY20
	DD-1	1.3135
S07	DD-2a	0.3561
	DD-2	0.7036
	DD-1	1.3088
S08	DD-2a	0.3602
	DD-2	0.7098
	DD-1	1.3166
S09	DD-2a	0.3578
	DD-2	0.7051
	DD-1	1.3057
S10	DD-2a	0.3578
	DD-2	0.7051
	DD-1	1.2995
S11	DD-2a	0.3578
	DD-2	0.7051
	DD-1	1.2979
S12	DD-2a	0.3578
	DD-2	0.7051
	DD-1	1.2964
S13	DD-2a	0.3572
	DD-2	0.7020
	DD-1	1.2886
S14	DD-2a	0.3575

İstasyon Kimlik Numarası	Sismik Yüzey	TDY20
	DD-2	0.7036
	DD-1	1.2901
S15	DD-2a	0.3525
	DD-2	0.6926
	DD-1	1.2683
S16	DD-2a	0.3508
	DD-2	0.6911
	DD-1	1.2636
S17	DD-2a	0.3602
	DD-2	0.7098
	DD-1	1.2979
S18	DD-2a	0.3634
	DD-2	0.7192
	DD-1	1.3166
S19	DD-2a	0.3678
	DD-2	0.7270
	DD-1	1.3291
S20	DD-2a	0.3704
	DD-2	0.7332
	DD-1	1.3416
S21	DD-2a	0.3748
	DD-2	0.7410
	DD-1	1.3541

İstasyon Kimlik Numarası	Sismik Yüzey	TDY20
S22	DD-2a	0.3757
	DD-2	0.7379
	DD-1	1.3478

Saha Özgü Deprem Tehlike Hesaplamaları ve TDY20 ile Karşılaştırmalar"

PROTA (2025) kapsamında, tasarım esas değerleri; **Saha Özel Olasılıksal Deprem Tehlike Hesaplama Sonuçları** ile **TDY20 Hesaplama Sonuçları** bölümünde verilen TDY20 değerlerinin karşılaştırılması yoluyla türetilmiştir. Bu değerlendirmelerde, TDY20 Madde 2.7.2'de belirtilen ve saha özel deprem yer hareketi spektrum ordinatlarının, yönetmelik esaslı tasarım spektrumu ordinatlarının %90'ından daha düşük olmaması gerektiğini ifade eden koşul dikkate alınmıştır (Tablo 7.22). Buna göre, proje güzergâhı için saha özel sismik tehlike hesap sonuçlarını kapsayan ve TDY20'den türetilen tekdüze tehlike spektrumunun (uniform hazard spectrum) %90'ının altına düşmeyen bir zarf spektrumun (envelope spectrum) dikkate alınabileceği ifade edilebilir.

Tablo 7.22 TDY20'de Belirtilen %90 Koşulunu Sağlayan Tasarım Parametreleri; İstasyonların Yüzey Ölçümlerine Dayalı Zemin Özellikleri Dikkate Alınarak (Saha Özgü ve TDY20 Hesaplamaları) (PROTA, 2025)

İstasyon Kimlik Numarası	Sismik Yüzey	Tasarım Parametrelerine Dayanarak			
		S'_1 (g)	S_{DS} (g)	S_{D1} (g)	$PGA-a_s$ (m/s ²)
S04	DD-2a	0.3120	1.4843	0.5138	5.7968
	DD-2	0.6164	2.4069	0.9547	9.3378
	DD-1	1.1541	3.9277	1.7832	14.9560
S05	DD-2a	0.3183	1.5420	0.5996	6.1050
	DD-2	0.6290	2.4966	1.1185	9.7472
	DD-1	1.1751	3.9948	2.0890	15.4468
S06	DD-2a	0.3207	1.5570	0.6676	6.1752
	DD-2	0.6346	2.4705	1.2402	9.7693
	DD-1	1.1822	3.9479	2.3051	15.3635

İstasyon Kimlik Numarası	Sismik Yüzey	Tasarım Parametrelerine Dayanarak			
S07	DD-2a	0.3205	1.5510	0.6407	6.1403
	DD-2	0.6332	2.4724	1.1904	9.7153
	DD-1	1.1780	3.9429	2.2053	15.2939
S08	DD-2a	0.3241	1.5554	0.6944	6.1791
	DD-2	0.6388	2.4537	1.2809	9.7023
	DD-1	1.1850	3.8863	2.3655	15.1905
S09	DD-2a	0.3220	1.5498	0.6075	6.1276
	DD-2	0.6346	2.4912	1.1283	9.7184
	DD-1	1.1751	3.9641	2.0943	15.3212
S10	DD-2a	0.3220	1.5134	0.7217	6.0242
	DD-2	0.6346	2.3535	1.3087	9.2819
	DD-1	1.1695	3.6586	2.3806	14.3383
S11	DD-2a	0.3220	1.5212	0.7118	6.0452
	DD-2	0.6346	2.3675	1.2909	9.3340
	DD-1	1.1681	3.6941	2.3508	14.4471
S12	DD-2a	0.3220	1.5259	0.6745	6.0383
	DD-2	0.6346	2.3784	1.2251	9.3745
	DD-1	1.1667	3.7565	2.2370	14.5975
S13	DD-2a	0.3215	1.5098	0.5230	5.8858
	DD-2	0.6318	2.4155	0.9637	9.3508
	DD-1	1.1597	3.8922	1.7780	14.8160
S14	DD-2a	0.3218	1.4438	0.7526	5.6994

İstasyon Kimlik Numarası	Sismik Yüzey	Tasarım Parametrelerine Dayanarak			
	DD-2	0.6332	2.1987	1.3242	8.6411
	DD-1	1.1611	3.3418	2.3480	13.0345
S15	DD-2a	0.3173	1.4534	0.6179	5.7091
	DD-2	0.6234	2.2844	1.0597	8.8966
	DD-1	1.1415	3.5867	1.9405	13.7984
S16	DD-2a	0.3157	1.4407	0.6413	5.6591
	DD-2	0.6220	2.2234	1.1389	8.7199
	DD-1	1.1372	3.4621	2.0521	13.3729
S17	DD-2a	0.3241	1.4071	0.8222	5.5157
	DD-2	0.6388	2.0832	1.4178	8.1860
	DD-1	1.1681	3.1661	2.4559	12.3747
S18	DD-2a	0.3270	1.4155	0.8571	5.5674
	DD-2	0.6472	2.1059	1.4815	8.2597
	DD-1	1.1850	3.2000	2.5626	12.5570
S19	DD-2a	0.3310	1.5141	0.7724	6.0195
	DD-2	0.6543	2.3170	1.3913	9.1662
	DD-1	1.1962	3.5600	2.4945	14.0037
S20	DD-2a	0.3334	1.5473	0.7436	6.1697
	DD-2	0.6599	2.4114	1.3579	9.5356
	DD-1	1.2074	3.7469	2.4688	14.7721
S21	DD-2a	0.3373	1.6047	0.6961	6.3611
	DD-2	0.6669	2.5399	1.2950	10.0469

İstasyon Kimlik Numarası	Sismik Yüzey	Tasarım Parametrelerine Dayanarak			
	DD-1	1.2187	4.0236	2.4036	15.7161
S22	DD-2a	0.3381	1.6156	0.7110	6.4137
	DD-2	0.6641	2.5619	1.3275	10.1377
	DD-1	1.2131	4.0477	2.4623	15.8398

Olasılıksal Sismik Tehlike Ayırıştırma Analizleri

PROTA (2025) tarafından hazırlanan “Sismik Tehlike Hesaplamaları ve Ölçeklendirilmiş Sismik Kayıt Setlerinin Elde Edilmesi Raporu”nda, Proje Alanı çevresindeki sismik kaynakların toplam sismik tehlikeye katkılarını incelemek amacıyla olasılıksal sismik tehlike deaggregasyon analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu deaggregasyon analizleri, tasarım esaslı dönüş periyotları olan TR = 144 yıl (DD-2a), 475 yıl (DD-2) ve 2475 yıl (DD-1) için ayrı ayrı yürütülmüştür. Pagani ve ark. (2014) tarafından geliştirilen OpenQuake yazılımı kullanılarak yapılan bu analizlerde, deprem büyüklüğü (M_w) ve en yakın site-kaynak mesafesi (R) olmak üzere iki ana deprem parametresi dikkate alınmıştır.

Projenin mevcut zemin koşulları ve yatay yer hareketi deprem setleri göz önünde bulundurularak, ilgili aşılma olasılıklarına karşılık gelen şiddet ölçüleri için gerçekleştirilen olasılıksal sismik tehlike deaggregasyon analizi sonuçları, genel davranışı yansıtmak üzere seçilen S04-Tüpraş-Petkim İstasyonu için Tablo 7.23’te sunulmaktadır.

Tablo 7.23 S04 İstasyonu için Olasılıksal Deprem Tehlike Deaggregasyon Analizi Sonuçları (PROTA, 2025)

T (s)	M _w DD-2a	R (km) DD-2a	M _w DD-2	R (km) DD-2	M _w DD-1	R (km) DD-1
PGA	6.5	7	6.6	6	6.8	5
0.01	6.5	7	6.6	6	6.8	5
0.02	6.5	7	6.6	6	6.8	5
0.03	6.5	7	6.6	6	6.8	5
0.05	6.5	8	6.6	7	6.7	6
0.1	6.5	8	6.6	7	6.7	6
0.15	6.5	7	6.6	6	6.7	6

T (s)	M _w DD-2a	R (km) DD-2a	M _w DD-2	R (km) DD-2	M _w DD-1	R (km) DD-1
0.2	6.5	7	6.6	6	6.8	5
0.3	6.6	7	6.7	6	6.9	5
0.4	6.6	7	6.7	6	6.9	5
0.5	6.6	7	6.8	6	7.0	5
0.75	6.7	7	6.8	5	7.0	4
1	6.7	7	6.9	5	7.1	4
1.5	6.7	8	7.0	5	7.2	4
2	6.8	9	7.0	5	7.3	3
3	6.9	10	7.2	5	7.4	3
4	6.9	11	7.2	5	7.4	3
5	7.0	16	7.3	5	7.4	3
7.5	7.1	24	7.3	7	7.5	3
10	7.2	35	7.4	12	7.5	3

7.1.2.1.1.6. Zemin Hareketi Kayıtlarının Seçimi ve Ölçeklendirilmesi

Yer Hareketi Kayıt Veritabanı ve Aday Kayıtların Belirlenmesi

Sismik Tehlike Hesaplamaları ve Ölçeklendirilmiş Sismik Kayıt Setlerinin Temini Raporu'nda (PROTA, 2025), yer hareketi deprem kayıtlarının seçimi ve ölçeklendirilmesi amacıyla; 599 farklı depremde kaydedilmiş toplam 21.193 kayıt (tüm üç bileşeniyle birlikte) içeren kapsamlı PEER-NGA veritabanı (<https://ngawest2.berkeley.edu/>) ve Türkiye deprem veritabanı (Sandikkaya ve diğerleri, 2024) kullanılmıştır.

Bu veritabanlarından, saha özel olasılıksal sismik tehlike analizi ayrıştırma (deaggregation) süreci sonucunda elde edilen deprem parametreleri ile uyumlu aday kayıtlar belirlenmiştir.

Aday kayıtların belirlenmesinde kullanılan kriterler ve bunlara karşılık gelen sınırlar, literatürdeki çalışmalar (örn. Ay & Akkar, 2012; Tarbali & Bradley, 2016; Baker ve diğerleri, 2021) doğrultusunda aşağıdaki şekilde belirlenmiştir:

- $6.0 \leq M_w \leq 7.8$
- Kırılan fay düzlemine en kısa mesafe: $0 \text{ km} \leq RJB \leq 50 \text{ km}$
- Zemin profilinin üst 30 metresine karşılık gelen ortalama kayma dalgası hızı: $200 \text{ m/s} \leq VS30 \leq 800 \text{ m/s}$

Ayrıca kayıtların maksimum kullanılabilir periyot değeri en az 2.0 saniye (DD-1) olarak seçilmiştir. Bu kriterler sonucunda elde edilen kayıtlarla bir sonraki aşamaya geçilmiştir.

Depremın önemli süresi (significant duration) için, deaggregation analizinden elde edilen senaryolara dayanarak Afshari & Stewart (2016) ve Sandıkkaya & Akkar (2017) çalışmalarından sırasıyla 11.8 – 0.398 ve 15.1 – 0.487 medyan ve doğal logaritmik standart sapma (σ) değerleri hesaplanmıştır.

İki çalışmanın sonuçları birleştirilerek 7.9 saniyelik [medyan – 1σ] alt sınır değeri elde edilmiştir. Bu kapsamda, deprem kayıtlarının D5-95% değerlerinin bu alt sınırın üzerinde olacak şekilde seçilmesine çalışılmıştır.

Arias İvmesi (IA) için medyan ve σ değerleri de Sandıkkaya & Akkar (2017) çalışmasına göre sırasıyla 2.590 m/s ve 1.289 olarak hesaplanmıştır. Bu parametre için [medyan – 1σ] alt sınır değeri 0.713 m/s olarak elde edilmiştir.

Yer Hareketi Kayıtlarının Ölçeklendirilmesi

PROTA (2025) çalışmasında aday kayıtlar, 2475 yıllık tekerrür periyoduna karşılık gelen hedef spektral genliklere ölçeklendirilmiştir. Dinamik analizlerde kullanılacak kayıtların yatay bileşenlerinin bileşke spektrum genlikleri, TDY20'de belirtilen etkin titreşim periyodu esas alınarak $T = 0.2 - 2.0$ s (DD-1) aralığında hedef ivme spektrumunun 1.0 katına ölçeklendirilmiştir.

Kayıtların ölçeklendirilmesinde kullanılan bileşke spektrum, Sarecord(T_i), aşağıdaki denklem ile elde edilmiştir. Bu denklemde SaH1 ve SaH2, her deprem kaydının iki yatay bileşenine karşılık gelen spektral genlikleri temsil etmektedir.

$$\text{Sarecord}(T_i) = [\text{SaH1}(T_i)]^2 + [\text{SaH2}(T_i)]^2$$

Kayıtların ölçeklendirilmesi sırasında her iki yatay bileşen aynı ölçekleme faktörü ile çarpılmıştır. Böylece yatay bileşenler arasındaki orijinal ilişki korunmuştur (PROTA, 2025).

Tasarım Amaçlı Deprem Kayıtlarının Seçimi

Analizlerde kullanılacak deprem kayıt setlerinin belirlenmesinde; her kayıt için maksimum ölçekleme değeri ve aynı deprem olayının bir set içerisinde baskın olmaması kriterleri dikkate alınmıştır (PROTA, 2025).

Her bir yatay kayıt bileşeni için kabul edilen maksimum ölçekleme faktörü öncelikle 0.25 – 4.0 aralığında belirlenmiş, zorunlu durumlarda (özellikle $TR = 2475$ yıl için) 5.0'a kadar çıkılabilmektedir.

Ayrıca, yedi kayıtlık bir set içinde aynı depremden seçilebilecek kayıt sayısı en fazla iki ile sınırlandırılmıştır (PROTA, 2025).

PROTA (2025)'da belirtildiği üzere, ölçeklendirilmiş aday kayıtların spektrumları $T = 0.2 - 2.0$ s (DD-1) periyot bandında TDY20 tabanlı hedef spektrum ile karşılaştırılmış ve 7 uygun ölçeklendirilmiş kayıt, iki yatay bileşeniyle birlikte seçilmiştir.

Tablo 7.24, Tablo 7.25, Tablo 7.26 ve Tablo 7.27'de (sırasıyla Grup-1, Grup-2, Grup-3 ve Grup-4) oluşturulan gruplar için seçilen kayıtlar ve bunlara ait Mw, RJB, VS30, fay mekanizması (FM) ve ölçekleme faktörü (SF) değerleri listelenmiştir.

FM sütununda SS doğrultu atımlı, RV ters fay ve NM normal fay tiplerini ifade etmektedir.

Diğer sütunlarda kayıtların maksimum kullanılabilir periyot (TU), darbe periyodu (TP), depremin önemli süresi (D5-95%) ve Arias İvmesi (IA) değerleri sunulmuştur.

Tablo 7.24 (Grup-1), Tablo 7.25 (Grup-2), Tablo 7.26 (Grup-3) ve Tablo 7.27 (Grup-4)'te hedef spektrum, TDY20'ye göre belirlenen hedef spektrum ölçekleme aralığı, seçilen kayıtlar ve bunların ortalamaları yatay bileşen ivme ve yer değiştirme spektrumları açısından sunulmaktadır.

Tablo 7.24 Grup-1 İstasyonları İçin Kullanılacak Sismik Yer Hareketi Kayıtları ve Karakteristikleri

T_R = 2475 year (DD-1)										
Kayıt Numarası	Deprem Adı	M_w	R_{JB} (km)	V_{s30} (cm/s)	FM	SF	T_u (s)	T_p (s)	D_{5-95%}	I_A (m/s)
143	Tabas, Iran	7.35	1.8	767	RV	0.94	8.0	6.2	16.4	11.82
549	Chalfant Valley-02	6.19	14.0	303	SS	4.10	8.0	-	14.5	0.50
767	Loma Prieta	6.93	12.0	350	RV	2.02	8.0	2.6	8.5	2.09
1521	Chi-Chi, Taiwan	7.62	0.0	672	RV	2.51	11.4	-	24.5	3.00
4881	Chuetsu-oki	6.80	12.0	294	RV	4.93	20.0	-	17.2	0.61
5836	El Mayor-Cucapah	7.20	29.0	265	SS	3.05	10.0	-	21.0	3.51
184146	Pazarcık	7.80	0.0	447	SS	0.64	36.0	1.8	12.6	21.39

Table 7.25 Grup-2 İstasyonları Analizlerinde Kullanılacak Deprem Yer Hareketleri ve Karakteristikleri

T_R = 2475 year (DD-1)

Kayıt No	Depremin Adı	M _w	R _{JB} (km)	V _{S30} (cm/s)	FM	SF	T _u (s)	T _p (s)	D _{5-95%}	I _A (m/s)
143	Tabas, Iran	7.35	1.8	767	RV	1.48	8.0	6.2	16.4	11.82
313	Corinth, Greece	6.60	10.0	361	NM	4.82	4.0	-	14.7	0.69
1521	Chi-Chi, Taiwan	7.62	0.0	672	RV	3.97	11.4	-	24.5	3.00
4031	San Simeon, CA	6.52	5.1	411	RV	3.57	11.4	-	9.9	1.65
4866	Chuetsu-oki	6.80	0.0	338	RV	3.71	8.9	-	13.7	1.83
184152	Pazarcık	7.80	9.6	346	SS	2.34	38.8	3.3	39.8	4.49
184280	Pazarcık	7.80	0.4	688	SS	2.27	36.0	9.3	16.5	3.67

= 2475 year (DD-1)

Kayıt No	Depremin Adı	M _w	R _{JB} (km)	V _{S30} (cm/s)	FM	SF	T _u (s)	T _p (s)	D _{5-95%}	I _A (m/s)
143	Tabas, Iran	7.35	1.8	767	RV	1.52	8.0	6.2	16.4	11.82
313	Corinth, Greece	6.60	10.0	361	NM	4.97	4.0	-	14.7	0.69
1521	Chi-Chi, Taiwan	7.62	0.0	672	RV	4.09	11.4	-	24.5	3.00
4031	San Simeon, CA	6.52	5.1	411	RV	3.68	11.4	-	9.9	1.65
4866	Chuetsu-oki	6.80	0.0	338	RV	3.84	8.9	-	13.7	1.83
184152	Pazarcık	7.80	9.6	346	SS	2.42	38.8	3.3	39.8	4.49
184280	Pazarcık	7.80	0.4	688	SS	2.34	36.0	9.3	16.5	3.67

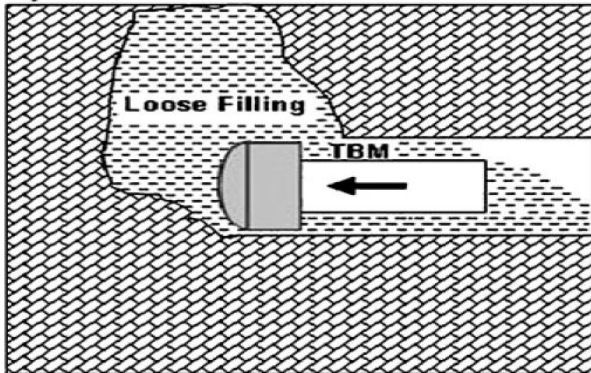
Table 7.27 Grup-4 İstasyonları Analizlerinde Kullanılacak Deprem Yer Hareketleri ve Karakteristikleri

T_R = 2475 year (DD-1)										
Kayıt No	Deprem Adı	M_w	R_{JB} (km)	V_{s30} (cm/s)	FM	SF	T_u (s)	T_p (s)	D_{5-95%}	I_A (m/s)
313	Corinth, Yunanistan	6.60	10.0	361	NM	5.00	4.0	-	14.7	0.69
1521	Chi-Chi, Tayvan	7.62	0.0	672	RV	4.14	11.4	-	24.5	3.00
4031	San Simeon, CA	6.52	5.1	411	RV	3.73	11.4	-	9.9	1.65
6890	Darfield, New Zea.	7.00	18.0	204	SS	4.33	13.3	-	17.9	1.10
6897	Darfield, New Zea.	7.00	5.3	296	SS	4.71	13.3	7.8	18.8	2.07
184152	Pazarcık	7.80	9.6	346	SS	2.44	38.8	3.3	39.8	4.49
184283	Pazarcık	7.80	0.0	539	SS	2.20	36.0	10.1	11.8	5.87

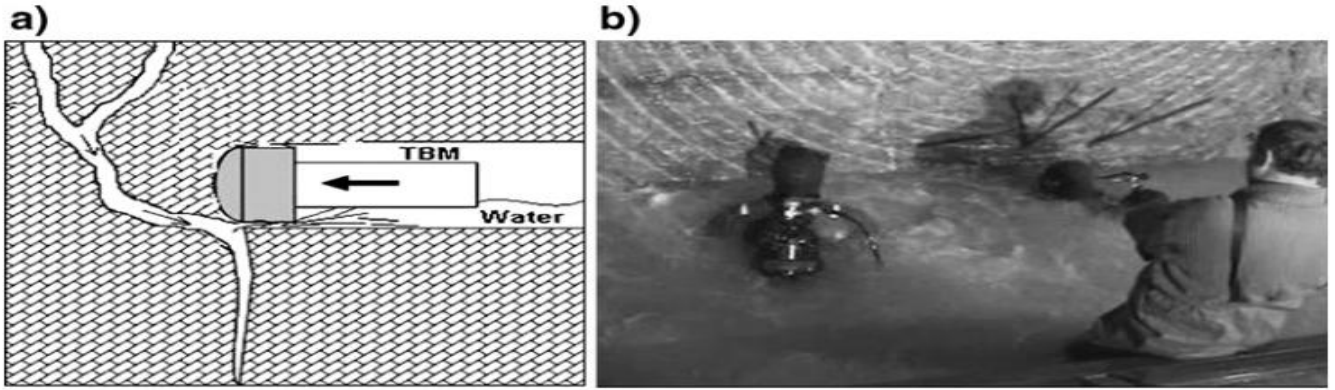
7.1.2.2. Azaltma Tedbirleri

Doğal Tehlike ve Sismoloji Bileşeninin Proje Üzerindeki Etkilerine Yönelik Azaltma Tedbirleri aşağıda verilmiştir:

- Proje Güzergahı'ndaki karst oluşumlarını, jeolojik ve hidrojeolojik yapıyı anlamak ve gevşek dolgu çökmesi, yeraltı suyu baskını (Şekil 7.7), yer oturması gibi jeo-tehlikeleri kontrol altına almak amacıyla jeolojik, geoteknik, hidrolojik, hidrojeolojik karst ve jeofizik çalışmalar tamamlanacaktır. Bu çalışmalar doğrultusunda ön enjeksiyon, jet enjeksiyonu, prob sondajı, susuzlaştırma, drenaj sistemleri gibi gerekli mühendislik tedbirleri uygulanacaktır.



Şekil 7.6 Karstik Mağarada Gevşek Dolgu Malzemesi Çökmesi ve TBM Jammingi (Zarei ve ark., 2012)



Şekil 7.7 G Yeryaltı Suyu Taşkını ve Tünel Sel Basması (Zarei ve ark., 2012)

- Kontrollü TBM çalışma parametreleri (yüzey basıncı, ilerleme hızı, kesici kafa torku ve enjeksiyon basıncı), jeo-tehlike hassas bölgelerine göre ayarlanacaktır. Bu sayede yüzey instabilitesi azaltılacak, aşırı su girişi önlenerek ve zemin deformasyonu minimize edilecektir.
- Yüksek jeo-tehlike riski taşıyan bölgelerde (faylı alanlar, zayıf jeolojik birimler veya sıkı örtü kesitleri gibi) lokal yapısal güçlendirme uygulanacaktır.
- Karst spesifik azaltma önlemleri; boşlukların düşük hareketlilikli (low-mobility) groutlarla doldurulmasını, yüksek boşluklu zonlarda kademeli kazı yapılmasını ve beklenmedik boşluk kırılmaları veya ani su girişleri için acil durum müdahale planlarının uygulanmasını içerecektir.
- Şantiye özel jeo-tehlikeleri için Acil Durum Hazırlık ve Müdahale Planı hazırlanacaktır. Bu plan, ani su girişi, boşluk kırılması, lokal çökmeler ve şev instabilitesi gibi durumlar için protokolleri içerecektir. Çalışanlara eğitim verilecek ve tahliye prosedürleri uygulanacaktır.

7.1.2.3. Kalan Etkiler

Belirtilen azaltıcı tedbirlerin uygulanmasından sonra, proje'nin tüm aşamalarında Geojeolojik Tehlike ve Sismoloji unsuru üzerindeki artık etki aşağıdaki tabloda gösterilmektedir.

Etki Faktörü	Etki Faktörü Özellikleri		Bileşen Duyarlılığı	Etkinin Geri Dönülebilirliği	Etki Değeri (Orta)	Önlem Etkinliği	Kalıcı Etki Değeri
Lokal Morfolojik Değişiklikler	Süreç:	Orta	Orta	Uzun Dönemli	Orta	Orta	Düşük
	Sıklık:	Tek Seferlik					
	Coğrafi Kapsam:	Yerel					
	Intensity:	Önemsiz					

7.1.2.4. İzleme

Önerilen azaltma önlemlerinin uygulanmasını ve etkinliğini sağlamak amacıyla aşağıdaki izleme faaliyetleri öngörülmektedir:

- Planlanan inşaat sahası sınırlarının genişletilmemesini sağlamak amacıyla Müşteri tarafından rutin saha denetimleri yapılacaktır.
- Yapıların, özellikle tünel kazısı ile ilgili belirli yapısal özellikler gerektiren Türk ve uluslararası tasarım standartlarına göre inşa edilmesini sağlamak amacıyla rutin tasarım denetimleri yapılacaktır.
- Karstik boşluklar veya zayıf zemin bulunan alanlarda, TBM varışından önce potansiyel tehlikeleri tespit etmek amacıyla tünel yüzünde ileriye doğru sondaj ve kazı öncesi tahmin teknikleri (örneğin: probe sondajı, yatay sondaj, GPR, TSP veya sismik tomografi) uygulanacaktır.
- Zemin hareketi, yeraltı suyu dalgalanmaları ve TBM kaynaklı deformasyon hakkında gerçek zamanlı veri sağlamak amacıyla piezometreler, inklinometreler, oturma işaretleri, Automatic Total Station (ATS) hedefleri, çok noktalı ekstansometreler ve fay zonü enstrümantasyonu gibi izleme sistemleri kurulacaktır. İzleme sonuçları, uyarlanabilir inşaat kararlarını bilgilendirecektir.

7.1.3. Zemin ve Yeraltı Katmanları

7.1.3.1. Etki Değerlendirme Analizi

7.1.3.1.1. İnşaat Aşaması

İnşaat aşamasında, zemin ve alt zemin özellikleri bileşeni üzerindeki etkiler başlıca aşağıdaki etki faktörleriyle ilişkilendirilecektir:

- İnşaat faaliyetleri sırasında meydana gelen dökülme ve yüzey akışlarından kaynaklanan kirletici emisyonları (toprak ortamına), Türk Toprak Kirliliğinin Kontrolü ve Noktasal Kaynaklı Kirlenmiş Sahalar Yönetmeliği'nde belirtilen kirlenme seviyelerine bağlı olarak küçükten büyüğe değişen büyüklükte etkilere neden olmaktadır.
- Üst toprak ve alt toprak kaldırma,
- Arazi işgali,
- Atık su/su deşarjı,
- Kazara tehlikeli kimyasal maddelerin introductionu ve
- Vejetasyon tahribatı.

Yukarıda belirtilen etki faktörleriyle ilgili proje faaliyetleri şunlardır:

Vejetasyon Temizleme: Vejetasyon temizleme işlemi, özellikle tren depo alanı ve belirlenen inşaat koridorunda saha erişimi, tesislerin kurulumu ve earthworks'ün başlatılması için gerekecektir. Bu faaliyet, mevcut çim, çalı ve ağaçların kaldırılmasını içerecektir. Zemin ve alt zemin kaynaklarına vereceği rahatsızlığı azaltmak amacıyla temizleme, mümkün olan en az alanla sınırlandırılacaktır.

Üst Toprak / Zemin Kaldırma: İnşaat faaliyetleri, hem üst toprağın hem de alt toprağın kazılması ve kaldırılmasını gerektirecektir. Kaldırılan tüm üst toprak, Kocaeli Büyükşehir Belediyesi'ne devredilerek belediyenin rehabilitasyon ve arazi iyileştirme çalışmalarında yeniden kullanılacaktır.

Arazi İşgali: Geçici tesislerin (kamp siteleri gibi) ve tren depo ve park alanının inşası arazi işgaline yol açarken, istasyonların geliştirilmesi de ek arazi tahribatına katkıda bulunarak zemin bütünlüğünü daha da etkileyecektir.

Yüzey Düzleme ve Şekillendirme (Mevcut Yapıların Yıkımı Dahil): Stabil inşaat koşulları sağlamak amacıyla Proje Alanı düzleme ve grading çalışmalarına tabi tutulacaktır. Bu çalışmalar eğim düzenleme, sıkıştırma ve lokal zemin modifikasyonunu içerebilir. Hizalama içinde kalan mevcut yapılar varsa, grading öncesi yıkım yapılacak olup, moloz ve açık zemin yüzeyleri oluşabilecektir.

Geçici ve İlişkili Tesislerin İnşası: Geçici inşaat tesisleri (kamp siteleri, beton santralleri veya segment üretim tesisi), lokal temizlik ve zemin hazırlığı gerektirecektir. Bu tesisler, sıkıştırma, sızdırmazlık veya yakıt ve kimyasal depolama ile ekipman bakımından kaynaklanan kirlenme riskleri yoluyla zemin özelliklerini geçici olarak değiştirebilir. Proje kapsamında ilişkili tesis planlanmadığından, etkiler yalnızca bu tanımlı geçici tesislerle sınırlı kalacaktır.

İnşaat Atıklarının Bertarafı (Kazılı Zemin Dahil): Projenin inşaat aşaması sırasında çeşitli atık malzemeleri üretilenlerdir. Bunlar; evsel katı atıklar, kazı atıkları, inşaat atıkları, atık elektrikli ve elektronik eşyalar (AEEE), evsel tehlikeli atıklar, yanıcı atıklar, yanıcı olmayan atıklar, odun, çimento torbaları, metal hurdalar, floresan lambalar, boya/vernik atıkları, atık piller ve akümülatörler, ömrünü tamamlamış lastikler, atık yağ, tıbbi atık ve atık bitkisel yağdır.

Proje kapsamında arazi hazırlığı ve inşaat çalışmaları sırasında yapılacak kazı faaliyetleri kazı malzemesi üretimine neden olacaktır. Bu malzemeler, kes-kapa yöntemiyle yapılacak istasyon kazıları ile tünel kazı çalışmalarından kaynaklanacaktır. Arazi hazırlığı ve inşaat aşamasında, fazla kazı malzemesinin bir kısmı geri dolgu ve peyzaj çalışmalarında yeniden kullanılacaktır. Kalan fazla malzeme ise Kocaeli Büyükşehir Belediyesi tarafından belirlenen lisanslı bertaraf sahalarına veya uygun geri dönüşüm tesislerine taşınacaktır.

İnşaat atığı üretimi, earthworks, malzeme taşıma ve yapısal montaj süreçlerinin doğası gereği büyük ölçüde kaçınılmazdır. Bu atıkların, özellikle kirlenici içerebilen veya erozyona yatkın kazı topraklarının uygunsuz yönetimi, toprak ve yeraltı suyu kirliliği, artan erozyon ve sedimentasyon, görsel ve toz etkileri ile arazi kullanımı ve biyoçeşitlilik üzerinde riskler oluşturabilir. Tüm geri dönüştürülebilir inşaat atıkları sahada ayrılarak toplanacak ve en yakın belediye veya lisanslı atık bertaraf firması aracılığıyla bertaraf edilecektir.

Atık Su Bertarafı: Atık su, inşaat sahalarında ve kamp sitelerinde personelin su tüketimi nedeniyle üretilenlerdir. Toz bastırma ve beton kürlenme faaliyetlerinden kaynaklı atık su beklenmemektedir, çünkü bu faaliyetlerde kullanılacak suyun buharlaşması öngörülmektedir. Beton üretim sürecinde de atık su oluşmayacaktır, çünkü çökelen su beton üretim sürecine geri devreye alınmaktadır.

İnşaat aşamasında maksimum yaklaşık 3.400 personelin istihdam edilmesi öngörülmektedir. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) tarafından yayımlanan 2022 Belediye Su İstatistiklerine göre Kocaeli’de kişi başı ortalama günlük su tüketimi 235 litre olarak tahmin edilmektedir. Buna göre toplam günlük su tüketimi 799 m³/gün olarak hesaplanmıştır. Proje personeli tarafından kullanılacak tüm evsel suyun evsel atık suya dönüştüğü varsayılmaktadır. Dolayısıyla inşaat dönemi boyunca günlük atık su üretimi 799 m³/gün olarak hesaplanmıştır.

Kazara Tehlikeli Kimyasal Salınımları: Toprak ortamına potansiyel kirlenici emisyonları şu nedenlerden kaynaklanabilir:

- Herhangi bir kimyasal veya tehlikeli maddenin kazara dökülmesi,
- Kimyasal, yağ ve yakıtın geçici olarak depolandığı alanlardan yüzey akışı (örneğin kaplama ve örtü bulunmayan alanlar),
- Yakıt ikmali ve araç/ekipman yıkama alanlarından yüzey akışı (bu tür alanlar varsa; kaplama ve örtü bulunmayan alanlar),
- Tehlikeli maddelerin ve/veya atıkların geçici depolanmasından kaynaklanan kirlilik,
- Atık, atık su ve sıvı atıkların bertarafı,
- Kamyon trafiği ve inşaat malzemeleri ile kazı malzemelerinin taşınmasından kaynaklanan emisyonlar.

İnşaat aşaması sırasında meydana gelen dökülme ve yüzey akışlarının toprak ortamı üzerindeki etki büyüklüğü, Türk Toprak Kirliliğinin Kontrolü ve Noktasal Kaynaklı Kirlenmiş Sahalar Yönetmeliği’nde belirtilen kirlenme seviyelerine bağlı olarak küçükten büyüğe değişmektedir.

7.1.3.1.2. Faaliyet Aşaması

İşletme aşamasında, zemin ve alt zemin bileşeni üzerindeki etkiler başlıca aşağıdaki etki faktörleriyle ilişkilendirilecektir:

- **Toprak ortamına kirletici emisyonu;** Kirlilik çeşitli kaynaklardan ortaya çıkabilir:
 - **Kazara Sızıntılar:** Kimyasallar, yağ ve yakıt gibi tehlikeli maddelerin uygun olmayan şekilde depolanması, yeterli kaplama ve kapalı toplama drenajı bulunmayan alanlarda kazara sızıntılara yol açabilir.
 - **Makine ve Ekipman Sızıntıları:** Makine ve ekipmanlardan tehlikeli maddeler, ürünler veya kimyasallar sızabilir ve bu durum toprak kirliliğine katkıda bulunabilir.
 - **Atık Depolama Alanlarından Yüzey Akışı:** Özellikle tehlikeli atıkların depolandığı alanlardan kaynaklanan yüzey akışı, toprak ortamına kirleticiler taşıyabilir.
 - **Depolama Tanklarından Sızıntı ve Dökülmeler:** Dizel veya yakıt depolama tankları, boru hatları ve operasyonel süreçlerden kimyasallar, yağ ve yakıt sızıntısı veya dökülmesi meydana gelebilir; bu da çevresindeki toprağı etkileyebilir.
- **Arazi İşgali:** İstasyonlar, tren depo ve park alanı gibi yeni tesislerin kurulması arazi işgaline yol açacak ve yapay yüzeylerin kapsamını artıracaktır. Bu değişiklik doğal zemin profilini bozabilir ve yerel toprak ekosistemlerini etkileyebilir.

Bu etki faktörleriyle ilgili proje faaliyetleri; metro hattı ve istasyonların işletilmesi, bakım faaliyetleri ile işletme sırasında oluşan atıkların bertarafını içerecektir.

7.1.3.1.3. Söküm ve Kapatma Aşaması

Decommissioning aşamasındaki etkiler, faaliyetlerin inşaat faaliyetlerine benzer olması nedeniyle büyük ölçüde inşaat aşamasıyla benzerlik gösterecektir. Decommissioning ve kapatma aşamasında trafik yükü, inşaat aşamasında olduğu gibi artacak ve ağır kamyonlar toz ve kirletici emisyonlarına neden olacaktır. Toz emisyonları, binaların yıkımı, yüzey düzleme, grading ve malzemenin geçici stoklanması sırasında artacaktır.

Decommissioning aşamasının sonunda, daha önce binalar ve altyapı tarafından işgal edilen alanlarda yapılacak **zemin restorasyonu**, bileşen üzerinde genel olarak **pozitif etki** yaratabilir.

Arazi işgali ve üst toprak ile alt toprak kaldırma etki faktörleri, decommissioning aşamasıyla ilişkili olmayacaktır.

Restorasyon faaliyetleri için Proje Alanı dışından toprak ithal edilmesi gerekebilir. Bu durumda; kirlenmiş toprağın taşınması ve kirlenmiş toprak ithali negatif etki olarak değerlendirilmektedir. Böyle bir durumun önüne geçmek amacıyla, bir sonraki bölümde listelenen azaltma önlemleri (örneğin, dışarıdan getirilecek toprağın taşınmasından önce toprak kalitesi ölçümü gibi) dikkate alınmalıdır.

7.1.3.2. Azaltıcı Tedbirler

Projenin İnşaat, İşletme ve Söküm Aşamalarına İlişkin Azaltım Tedbirleri

Projenin inşaat, işletme ve söküm aşamalarında etki faktörlerini önlemek veya azaltmak amacıyla aşağıdaki azaltım tedbirleri uygulanacaktır:

Proje Tasarımına Entegre Edilen Tedbirler:

- Çalışma sahası, Proje faaliyetlerini yürütmek için gerekli en küçük alanla sınırlandırılacak ve böylece çevredeki rahatsızlıklar azaltılacaktır.
- Temellerin tasarımı, kazı derinliğini ve ayak izini en aza indirecek şekilde planlanarak toprağı yönelik fiziksel ve mekanik etkiler azaltılacaktır.
- Kazı ve toprak alma işlemleri, tasarım ve inşaat gereklilikleriyle uyumlu olacak şekilde minimumda tutulacak ve toprak bütünlüğü korunacaktır.

- Teknik olarak mümkün olduğu durumlarda, kazılan malzemenin bir kısmı dolgu malzemesi olarak yeniden kullanılacak ve böylece ek hammadde ihtiyacı ve atık oluşumu azaltılacaktır.
- Kimyasal ve yakıt dahil tehlikeli maddelerin depolama alanları, sızıntı ve toprak kirliliğini önleyecek şekilde tasarlanacaktır. İkincil muhafaza sistemleri uygulanacaktır.
- Araç ve ekipman yıkama alanları uygun drenaj sistemleri ile tasarlanacak; sediment tutucular veya yağ-su ayırıcılar ile kirleticilerin toprağa karışması önlenecektir.
- Su geçişleri ve korunan alanlar gibi hassas bölgelerde yüzey akışını kontrol etmek için arıtım ve dökülme kontrol sistemleri yerleştirilecektir.

Geçici Atık Depolama Alanları:

- Geçici atık depolama alanları, 02.04.2015 tarihli ve 29314 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanan Atık Yönetimi Yönetmeliği’ne uygun olarak inşa edilecektir.
- Alanlar trafik, tesisler ve binalardan uzak olacaktır.
- Lisanslı araçların atık alımı için özel alanlar oluşturulacaktır.
- Tehlikeli ve tehlikesiz atıklar ayrı alanlarda ve ayrı erişimlerle depolanacaktır.
- Yangın söndürücüler ve dökülme kitleri gibi acil durum ekipmanları bulundurulacaktır.
- Atık depolama alanları üstten ve dört yandan kapalı olacak, yağış ve dış etkenlerden korunacaktır.
- Yeterli muhafaza ve drenaj sistemleri kurulacaktır.
- Depolama alanları her zaman kapalı ve kilitli olacaktır.
- Sorumlu personel iletişim bilgileri ve uyarı tabelaları yerleştirilecektir.
- Zemin beton olacak, tehlikeli atıklar için çevresi beton duvar/parapetlerle çevrilecektir.
- Atıklar ayrı tank ve konteynerlerde depolanacaktır.
- Her atık türü için etiketleme yapılacaktır.
- Depolama kapasitesini aşmamak için düzenli bertaraf planlaması yapılacaktır.
- Tehlikeli atıklar en fazla 6 ay, tehlikesiz atıklar en fazla 1 yıl süreyle depolanacaktır.

Genel Azaltım Tedbirleri:

- Olası toprak kirliliği risklerini belirlemek için proaktif risk değerlendirmesi yapılacaktır.
- Şüpheli kirlenmiş alanlar tespit edilirse kayıt altına alınacak, numune alınacak ve yetkili otoritelere bildirilecektir.
- Numune alma yöntemi İl Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Müdürlüğü tarafından belirlenecektir.
- İnşaat öncesinde potansiyel kirlenmiş alanlar hakkında yerel otoritelerle görüşmeler yapılacaktır.

- Kazı sırasında personel kirlenmiş toprakları tanıma konusunda eğitilecektir.
- Kirlenmiş toprak uygun bertaraf için lisanslı tesislere gönderilecektir.
- Beklenmeyen kirlenmiş toprak için geçici yönetim prosedürü uygulanacaktır.
- Projeye özel Toprak ve Üst Toprak Yönetim Planı uygulanacaktır.
- Üst toprağın üzerindeki bitki örtüsü kaldırılacaktır.
- Üst toprak uygun nem koşullarında sıyrılacaktır.
- Sıyırma işlemleri yağışlı ve rüzgârlı havalarda yapılmayacaktır; 10 mm ve üzeri yağış sonrası 24 saat beklenerek yeniden değerlendirme yapılacaktır.
- Uygun ekipman kullanılacak ve toprak sıkışması önlenecektir.
- Üst toprak kademeli olarak sıyrılacaktır.
- Üst toprak dolgu malzemesi olarak kullanılmayacaktır.
- Aşırı hava koşullarında işler yeniden planlanacaktır.
- Rüzgâr erozyonuna karşı su püskürtme uygulanacaktır.
- Yakıt ikmali yalnızca belirlenmiş alanlarda yapılacak; zorunlu durumlarda sızdırmaz yüzey kullanılacaktır.
- Toprak ve alt toprak kaybı minimize edilecektir.
- Bitkili alanlarda üst toprak geçici olarak depolanacaktır.
- Evsel atık sular ISU altyapısına verilecektir.
- Atık su yönetim planı uygulanacaktır.
- Arıtılmamış su kesinlikle deşarj edilmeyecektir.
- Tehlikeli madde depolama alanları ikincil muhafaza sistemli olacaktır.
- Atık yönetim planları yetkili makamlara sunulacaktır.
- Geçici atık depolama izni alınacaktır.
- Tehlikeli atık sigortası yapılacaktır.
- Atık geri kazanım ve bertaraf anlaşmaları yapılacaktır.
- Atık beyanları yıllık olarak yapılacaktır.
- Atıklar yalnızca belirlenmiş alanlarda depolanacaktır.
- Araç ve ekipman bakımları düzenli yapılacaktır.
- Araç kullanımı belirlenmiş güzergâhlarla sınırlandırılacaktır.
- Acil durum planı hazırlanacaktır.

- Jeneratörler damlama tepsileri ile donatılacaktır.
- İkincil muhafaza sistemleri düzenli kontrol edilecektir.
- Dökülme kitleri sahada hazır bulundurulacaktır.
- Personel eğitimleri verilecektir.
- Beton santralinde yıkama yapılacak, çevreye çimento suyu bırakılmayacaktır.

7.1.3.3. Rezidüel Etkiler

7.1.3.3.1. İnşaat Aşaması

Yukarıda belirtilen azaltım tedbirlerinin inşaat aşamasında uygulanmasının ardından kalan (artık) etkiler Tablo 7.28'de sunulmuştur.

Tablo 7.28 Azaltma Önlemleri Uygulandıktan Sonra İnşaat Aşamasında Zemin ve Alt Zemin Özellikleri Etki Değerlendirme Matrisi

Etki Faktörü	Etki Faktörü Detayları		Bileşen Hassasiyeti	Etkinin Geri Dönülebilirliği	Etki Değeri	Mitigasyon Etkinliği	Kalan Etki Değeri
Toprak Ortamına Kirlenici Emisyonları	Süre	Uzun	Orta Dönemli	Kısa- Orta Dönem	Orta	Orta Yüksek	Önemsiz
	Sıklık	Sık Sık					
	Mekânsal Yayılım	Yerel					
	Yoğunluk	Orta					
Üst Toprak ve Alt Toprak Kaldırma	Süre	Orta	Medium	Orta Dönemli	Orta	Orta Yüksek	Önemsiz
	Sıklık	Sık Değil					
	Mekânsal Yayılım	Proje Sahası					
	Yoğunluk	Orta					
Arazi Kullanımı	Süre	Uzun	Orta-Düşük	Uzun Dönem	Orta	Orta Yüksek	Düşük
	Sıklık	Devam Eden					

Etki Faktörü	Etki Faktörü Detayları		Bileşen Hassasiyeti	Etkinin Geri Dönülebilirliği	Etki Değeri	Mitigasyon Etkinliği	Kalan Etki Değeri
	Mekânsal Yayılım	Proje Sahası					
	Yoğunluk	Düşük					
Atık Su / Su Deşarjı	Süre	Uzun	Orta Dönemli	Kısa- Orta Dönem	Orta	Orta Yüksek	Düşük
	Sıklık	Devam Eden					
	Mekânsal Yayılım	Yerel					
	Yoğunluk	Orta					
Kazara Tehlikeli Kimyasal Salınımları	Süre	Kısa	Orta-Yüksek	Kısa Dönem	Önemsiz	Orta Yüksek	Önemsiz
	Sıklık :	Sık Değil					
	Mekânsal Yayılım	Proje Sahası					
	Yoğunluk	Orta					
Vejetasyon Tahribatı	Süre	Orta	Orta Dönemli	Orta Dönem	Düşük	Orta Yüksek	Düşük
	Yoğunluk	Sık Sık					
	Mekânsal Yayılım	Proje Sahası					
	Yoğunluk	Orta					

7.1.3.3.2. İşletme Aşaması

Yukarıda bahsedilen azaltma önlemlerinin devreye alma ve işletme aşamasında uygulanmasından sonra kalıcı etki Tablo 7.29'da gösterilmektedir.

Tablo 7.29 İşletme ve Devreye Alma Fazında Zemin ve Alt Zemin Bileşeni – Mitigasyon Sonrası Etki Değerlendirme Matrisi

Etki Faktörü	Etki Faktörü Detayları	Unsuru Duyarlılık	Impact Reversibility	Etki Değeri	Kalıcı Etki Değeri	Artık Etki Değeri
Zemine Kirlenici Salınımları	Süre Çok Uzun	Orta-Düşük	Kısa-Orta Dönemli	Orta	Orta	Önemsiz
	Sıklık Sık Değil					
	Mekânsal Yayılım Yerel					
	Yoğunluk Orta					
Arazi Kullanımı	Süre : Çok Uzun	Orta-Düşük	Uzun Dönemli	Orta	Orta	Düşük
	Sıklık : Devam Eden					
	Mekânsal Yayılım Proje Sahası					
	Yoğunluk Düşük					

7.1.3.3. Kapatma ve Rehabilitasyon Aşaması

Devreden çıkarma aşaması faaliyetleri büyük ölçüde inşaat aşamasına çok benzer niteliktedir. İnşaat aşaması sırasında zemin ve alt zemin için tarif edilen aynı hususlar, decommissioning aşamasında da toprak ortamına kirlenici emisyonları açısından geçerli olacaktır.

Decommissioning aşamasının sonunda, daha önce binalar ve altyapılar tarafından işgal edilen alanlarda yapılacak **zemin restorasyonu**, arazinin doğal haline geri döndürülmesi durumunda bileşen üzerinde genel olarak **pozitif etki** yaratabilir.

7.1.3.4. İzleme

Aşağıda önerilen azaltım tedbirlerinin uygulanmasını ve etkinliğini sağlamak amacıyla öngörülen izleme faaliyetleri sunulmaktadır:

- Olası sızıntıları tespit etmek ve riskleri azaltmak için derhal müdahale edilmesini sağlamak amacıyla düzenli saha denetimleri gerçekleştirilecektir.
- Yetkisiz saha genişlemelerini önlemek ve belirlenmiş inşaat sahası sınırlarına uyumu sağlamak amacıyla düzenli saha kontrolleri yapılacaktır.
- Alt yükleniciler dahil tüm çalışanlar, hazırlığı artırmak amacıyla dökülme müdahalesi ve dökülme kitlerinin (kontrol ve temizlik malzemeleri) doğru kullanımı konusunda eğitim alacaktır.

- Saha genelinde ve her ağır ekipman ile birlikte yeterli miktarda dökülme müdahale malzemesi (dökülme kitleri ve metal tepsiler gibi) bulunduğu denetimlerle kontrol edilecektir.
- Tüm araç ve makineler için sızıntı ve arıza riskini azaltmak amacıyla düzenli bakım programı oluşturulacaktır.
- Yerel toplum ve/veya yetkili kurumlardan herhangi bir şikâyet alınması durumunda toprak kalitesi değerlendirilmesi yapılacak ve sonuçlar ESIA kapsamında yapılan baz ölçümlerle karşılaştırılacaktır.

7.1.4. Hidroloji ve Yüzey Suları

7.1.4.1. Etki Analizi

7.1.4.1.1. İnşaat Süreci

Proje faaliyetlerinin inşaat aşamasında yüzey suyu kalitesi ve miktarı üzerinde potansiyel etkiler yaratabilecek etki faktörleri, esas olarak yüzey sularını kasten veya kazara kirletme potansiyeli bulunan faaliyetlerden ya da doğal su kütlelerinde akış/dolaşım değişikliklerine neden olan faaliyetlerden kaynaklanmaktadır.

İnşaat aşamasında hidroloji ve yüzey suyu kalitesi bileşenine yönelik etkiler aşağıdaki etki faktörleri ile ilişkilidir:

- Doğal su kütlelerinde akış/dolaşım değişiklikleri (yerel hidroloji ve yüzey sularındaki değişimler),
- Yüzey suyu kirliliği,
- Atık su deşarjı.

Yukarıda belirtilen etki faktörleri ile ilişkili Proje faaliyetleri aşağıdakilerdir:

- Tünel portalı ve istasyon girişlerine ilişkin yapıların inşası,
- İstasyon girişleri çevresinde sınırlı yüzey tesviye çalışmaları,
- Portal ve giriş inşaatı için gerekli malzemelerin geçici sahada depolanması,
- Tünel kazısı, ekipman kullanımı ve inşaat faaliyetlerinden kaynaklanan atık suların bertarafı ve yönetimi.

Doğal su kütlelerinde akış/dolaşım değişiklikleri (yerel hidroloji ve yüzey sularındaki değişimler)

Projenin sınırlı yüzey ayak izi nedeniyle, doğal akış yollarında veya dolaşım desenlerinde önemli bir değişiklik beklenmemektedir. Proje; otoyollar, demiryolları, menfezler, yönlendirme kanalları veya akışı engelleyen büyük yüzey yapılarının inşasını içermemektedir.

Bununla birlikte, istasyon girişleri çevresinde aşağıdaki sınırlı ve lokal hidrolojik etkiler meydana gelebilir:

- Giriş alanları çevresindeki sınırlı tesviye veya zemin düzenleme nedeniyle yüzey akış yönünde küçük ölçekli ve geçici değişiklikler,
- Yoğun yağışlarda giriş alanları çevresinde yetersiz drenaj durumunda lokal su birikmesi veya sığ yüzey akışı,
- İstasyon girişleri çevresinde çok küçük etki alanı nedeniyle önemsiz düzeyde olmakla birlikte, akışın zamanlaması ve miktarında değişiklikler.

Proje geniş açık kazılar, şevli alanlar veya uzun süreli büyük açık yüzeyler içermediğinden, doğal sedimentasyon desenleri veya erozyon süreçleri üzerinde anlamlı bir etki beklenmemektedir.

Yüzey akışındaki askıda sediment miktarının oldukça sınırlı olması beklenmektedir ve yalnızca portal ve giriş çevresindeki çok küçük disturbed alanlardan kaynaklanacaktır. Bu etkiler standart iyi uygulama drenaj ve sediment kontrol tedbirleri ile yönetilecektir.

“Taşkın Suyu Derinliği ile İstasyonların Etkileşimine İlişkin Değerlendirme Raporu” 2026 yılında PROTA tarafından hazırlanmıştır. Bu raporda her istasyon için taşkın suyu derinlikleri hesaplanmış ve azaltım tedbirleri önerilmiştir. Değerlendirme sonuçları aşağıda özetlenmiştir:

- S04-Tüpraş/Petkim, S05-Körfez, S06-95 Evler, S07-Derince E.A.H., S08-Derince, S12-Seka Park, S13-Cumhuriyet Park, S15-Bekirdere, S19-Fındıklı ve S22-Özdilek istasyonlarında 500 yıllık taşkın analizine göre taşkın riski bulunmamaktadır. Bu istasyonlarda yüzey çıkış kotları çevre kotları dikkate alınarak ayarlanmakta olup ek taşkın önlemi gerekmemektedir.
- S09-Derince Millet Bahçesi istasyonunda taşkın riski tespit edilmiştir. Bu nedenle yüzey çıkış yapıları ve havalandırma bacaları yükseltilecektir. Batı kesimde yaklaşık 60 cm, doğu kesimde ise 1–2 metre arasında su derinliği öngörülmektedir.
- S10-Kuruçeşme istasyonunda genel olarak risk bulunmamakla birlikte tramvay bağlantılı kuzey çıkış yapısında taşkın riski vardır. Asansör bölgesi yaklaşık 80 cm, merdiven çıkışı yaklaşık 30 cm yükseltilecektir.
- S11-Seka Devlet Hastanesi istasyonunda havalandırma bacalarının bulunduğu bölgede yaklaşık 50 cm su derinliği tespit edilmiştir. Bacalar buna göre yaklaşık 50 cm yükseltilecektir.
- S14-Milli İrade Park istasyonunda taşkın riski vardır ve yüzey yapılarının yaklaşık 1 metre yükseltilmesi gerekmektedir.
- S16-Otogar istasyonunda batı tarafta havalandırma bacalarında yaklaşık 50 cm su derinliği tespit edilmiştir ve kot ayarlaması yapılacaktır.
- S17-Yahya Kaptan ve S18-Poyraz istasyonlarında 1,5–2,4 metre arasında taşkın riskleri bulunmaktadır ve ek önlemler değerlendirilecektir.
- İzmit Doğu istasyonunda kuzey çıkış yapısında yaklaşık 3 metre su derinliği nedeniyle yüksek risk tespit edilmiş olup, çıkış yapısının yeniden tasarlanması (üstgeçit önerisi) gerekmektedir.

İstasyonlara ait taşkın derinlik haritaları Şekil 7.8–Şekil 7.25 arasında batıdan doğuya doğru sunulmuştur.



Şekil 7.8 S04 Tüpraş/Petkim İstasyonu 500 Yıllık Taşkın Su Seviyesi Derinlik Haritası (PROTA, 2026)



Şekil 7.9 S05-Körfez İstasyonu Q500 Taşkın Su Derinliği Haritası (PROTA, 2026)



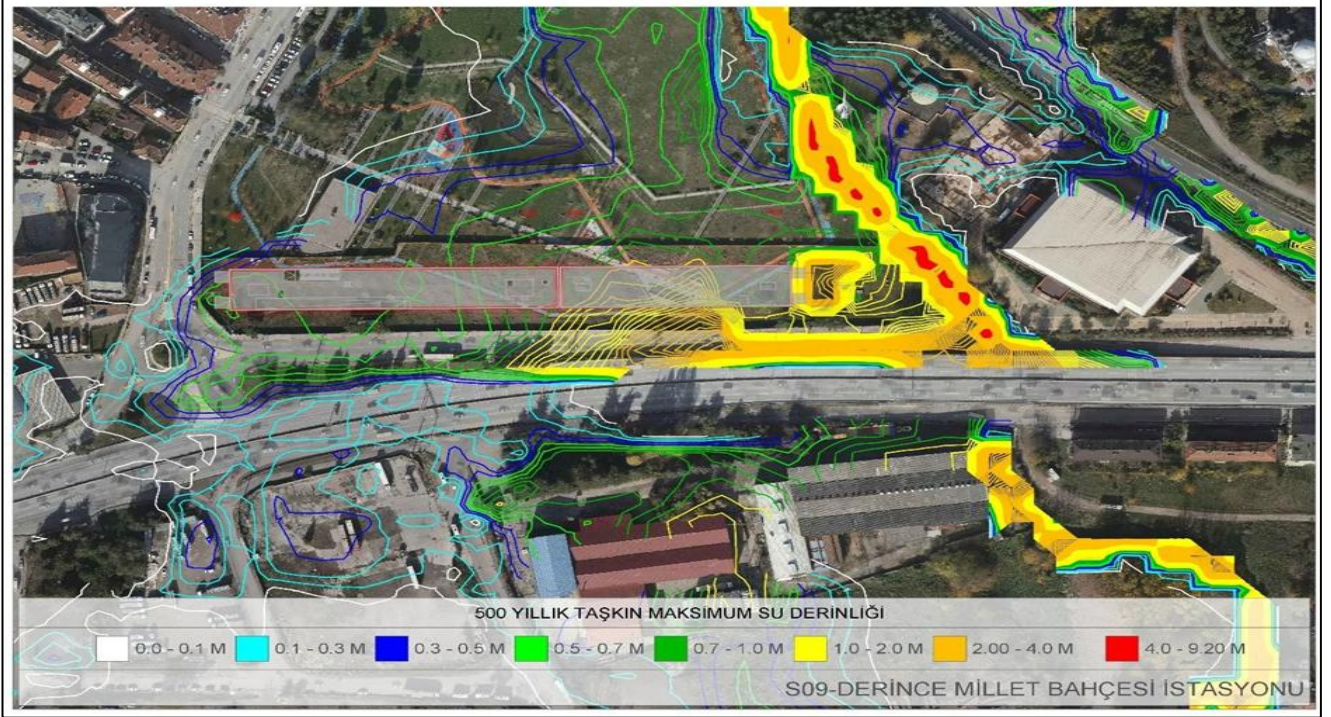
Şekil 7.10 S06-95 Evler İstasyonu Q500 Taşkın Su Derinliği Haritası (PROTA, 2026)



Şekil 7.11 S07-Derince E.A.H. İstasyonu 500 Yıllık Taşkın Su Derinliği Haritası (PROTA, 2026)



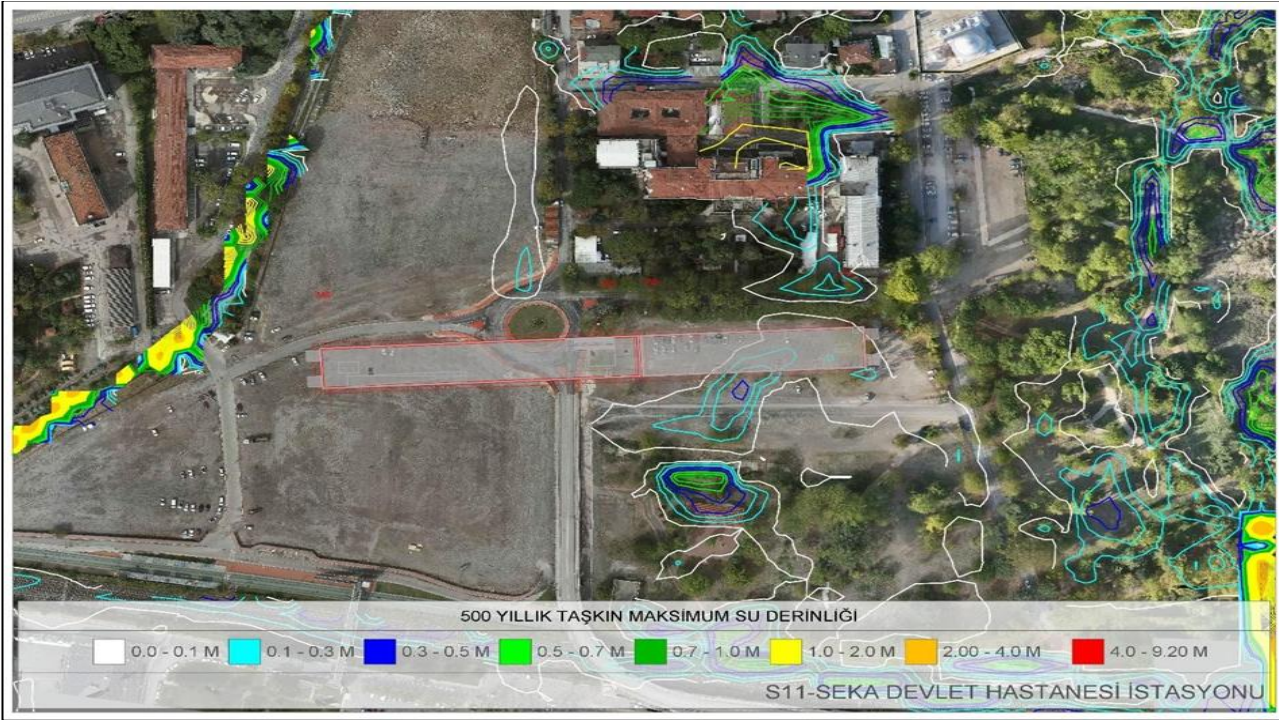
Şekil 7.12 S08-Derince İstasyonu Q500 Taşkın Su Derinliği Haritası (PROTA, 2026)



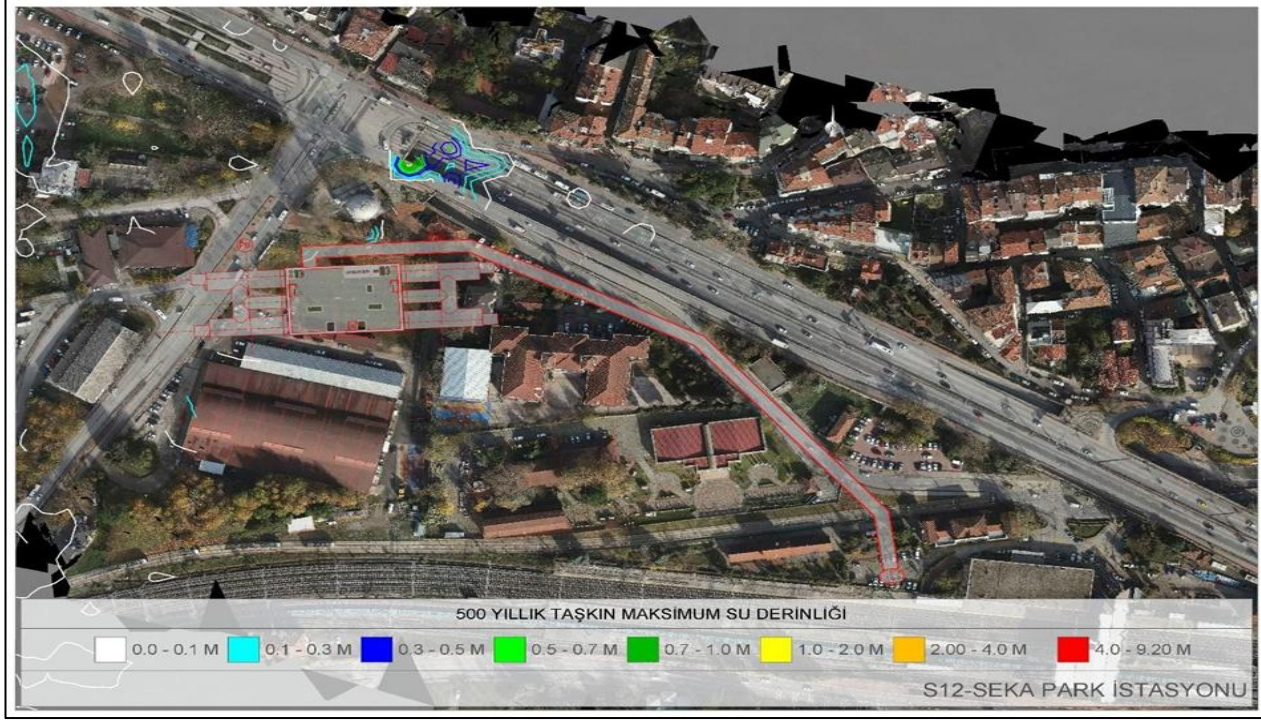
Şekil 7.13 S09-Derince Halk Bahçesi İstasyonu Q500 Taşkın Su Derinliği Haritası (PROTA, 2026)



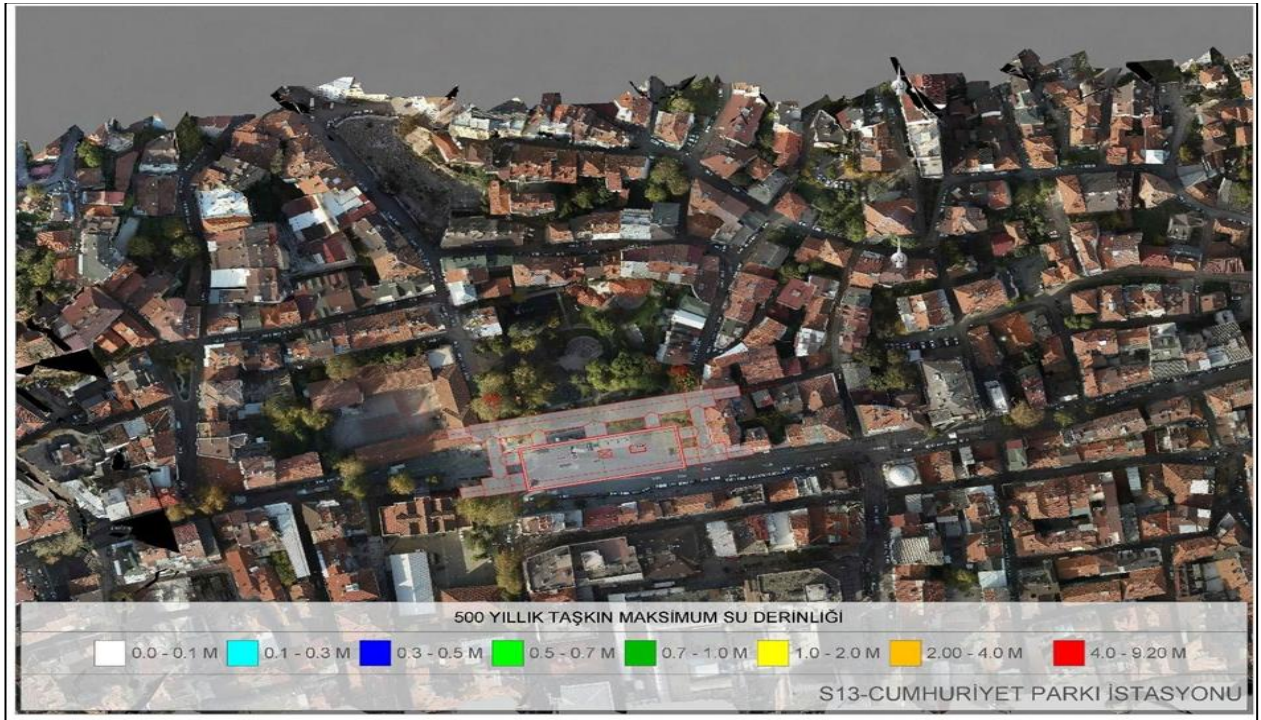
Şekil 7.14 S10-Kuruçeşme İstasyonu Q500 Taşkın Su Derinliği Haritası (PROTA, 2026)



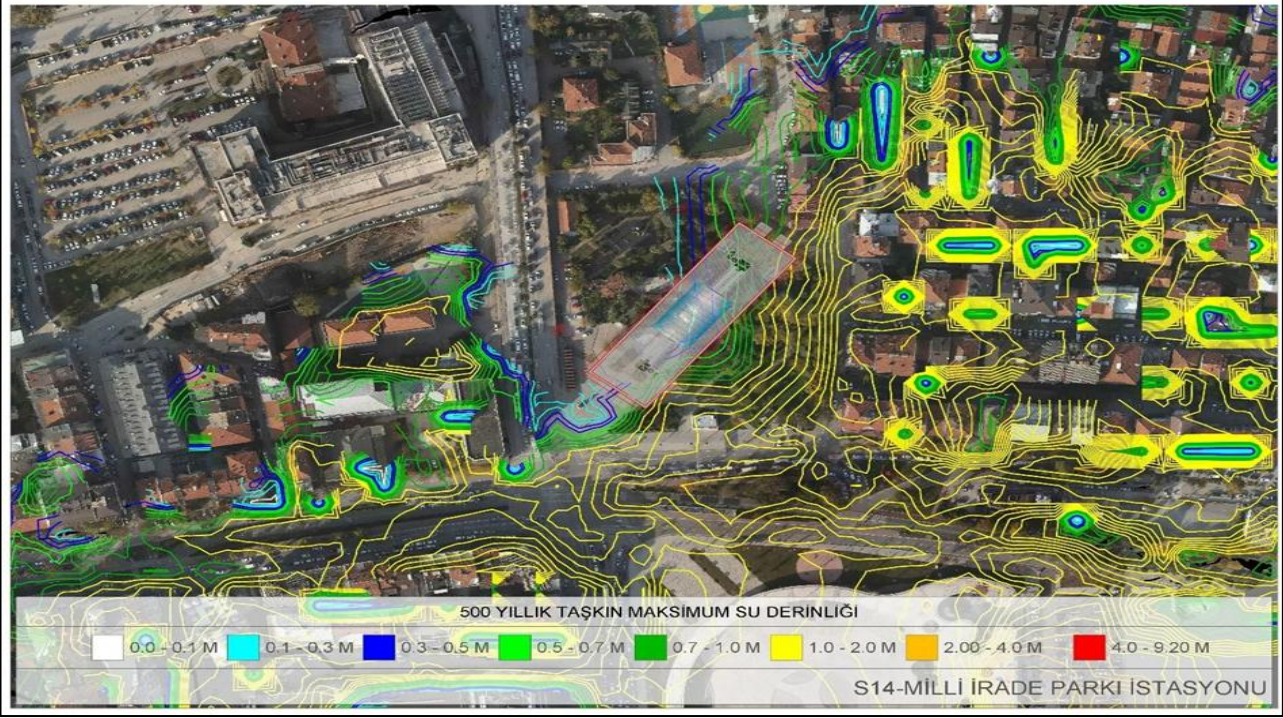
Şekil 7.15 S11-Seka Devlet Hastanesi İstasyonu 500 Yıllık Taşkın Su Derinliği Haritası (PROTA, 2026)



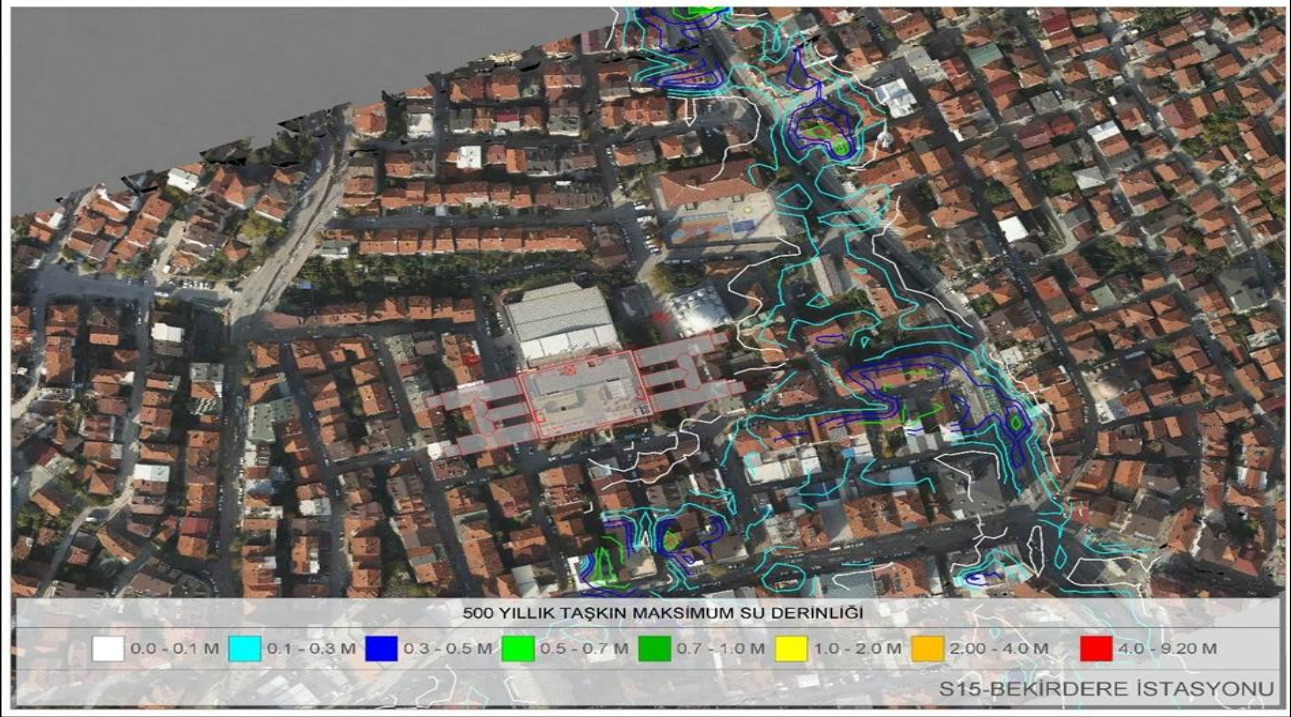
Şekil 7.16 S12-Seka Park İstasyonu Q500 Taşkın Su Derinliği Haritası (PROTA, 2026)



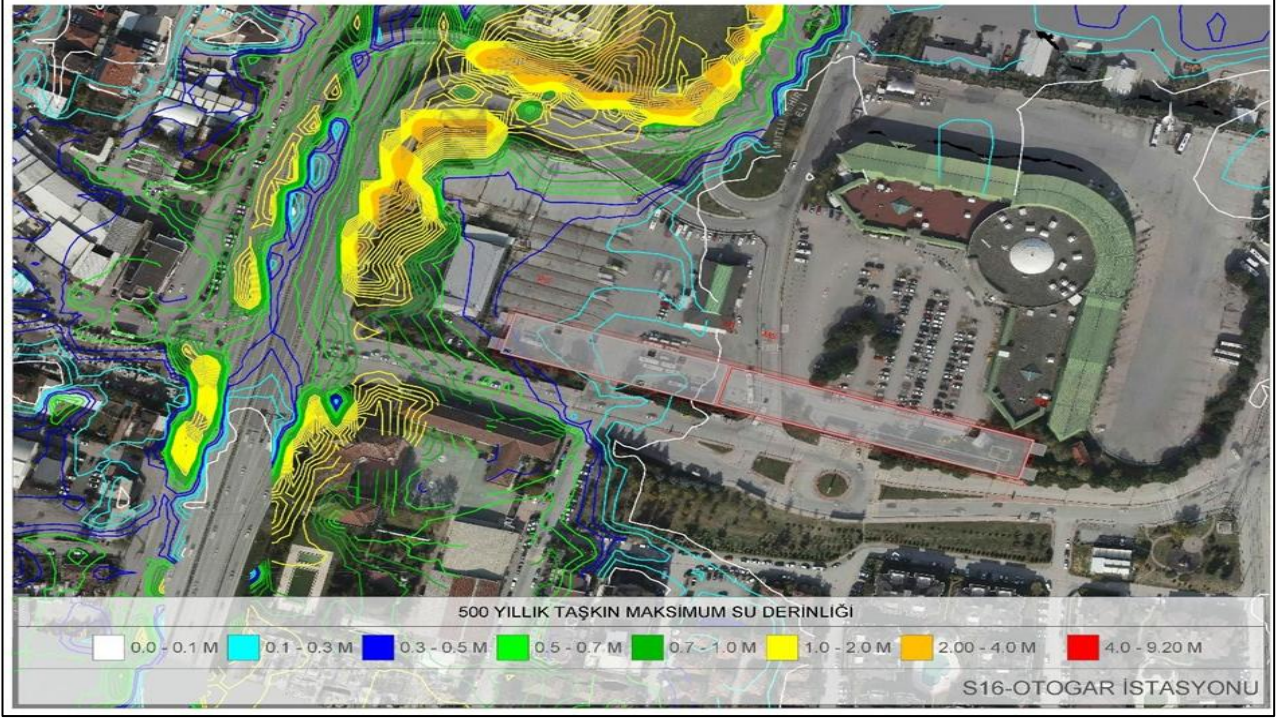
Şekil 7.17 S13-Cumhuriyet Park İstasyonu Q500 Taşkın Su Derinliği Haritası (PROTA, 2026)



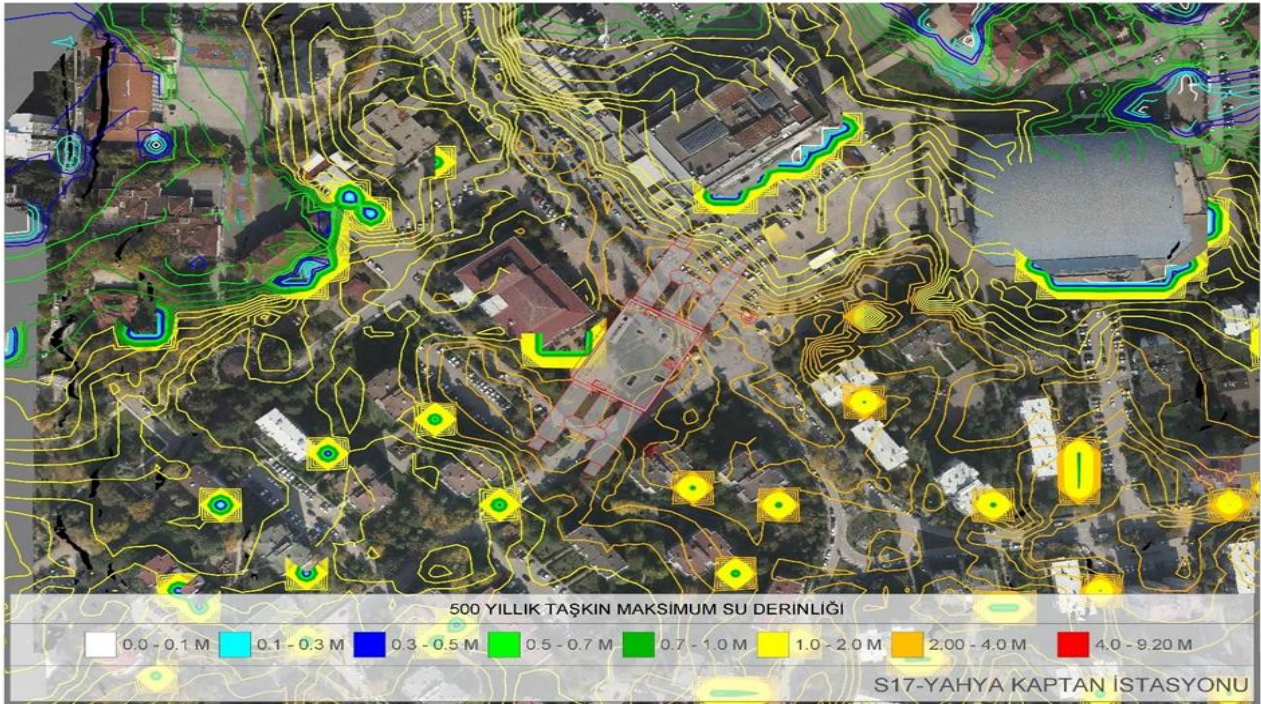
Şekil 7.18 S14-Milli İrade Park İstasyonu Q500 Taşkın Su Derinliği Haritası (PROTA, 2026)



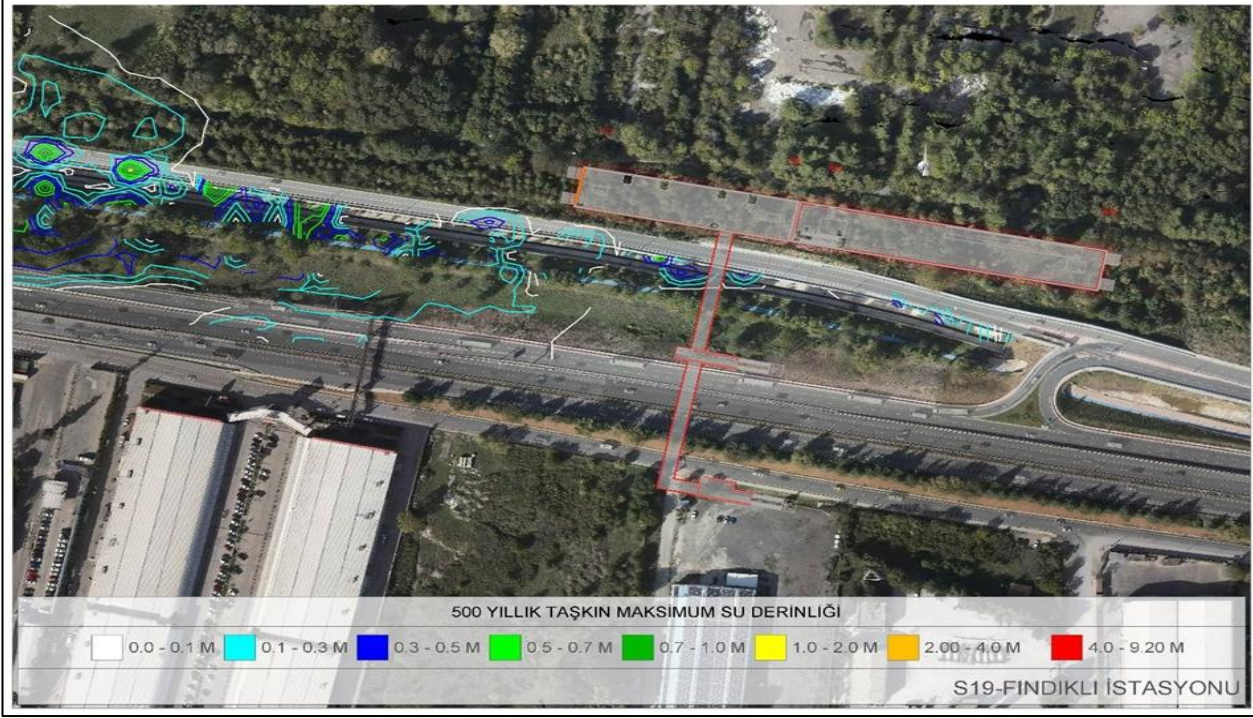
Şekil 7.19 S15-Bekirdere Park İstasyonu 500 Yıllık Taşkın Su Derinliği Haritası (PROTA, 2026)



Şekil 7.20 S16-Otogar Park İstasyonu Q500 Taşkın Su Derinliği Haritası (PROTA, 2026)



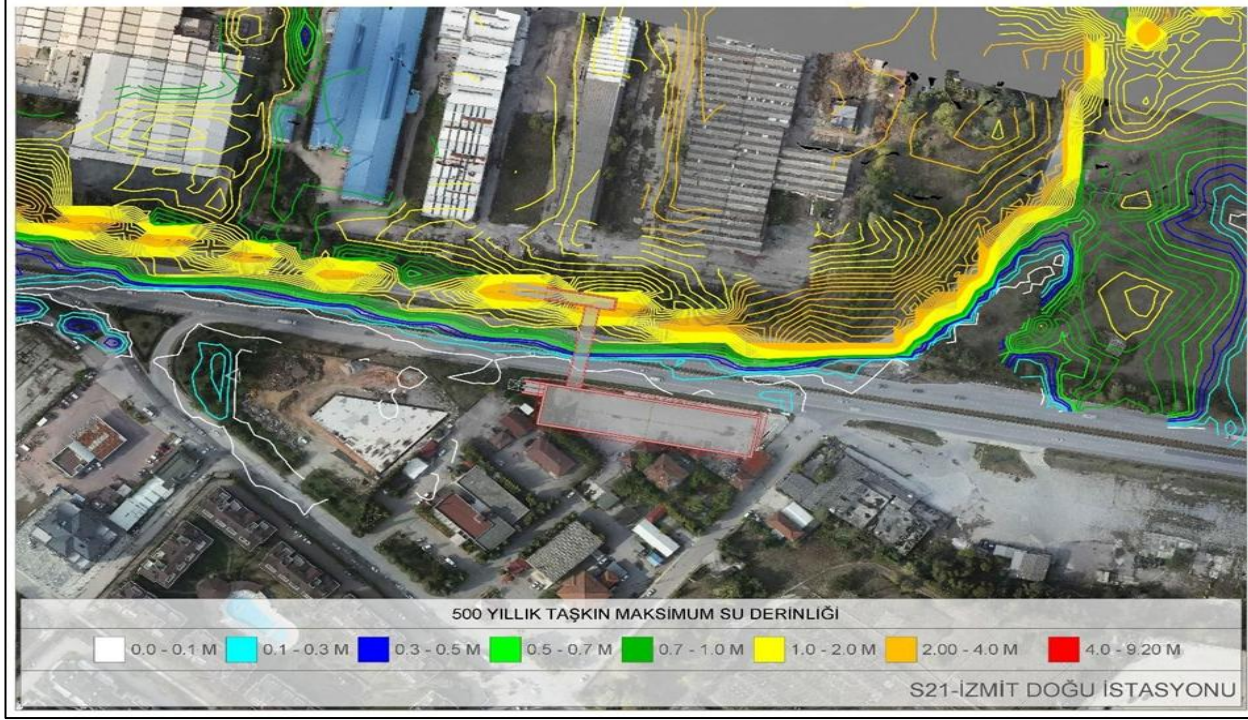
Şekil 7.21 S17-Yahya Kaptan İstasyonu 500 Yıllık Taşkın Su Derinliği Haritası (PROTA, 2026)



Şekil 7.22 S19-Fındıklı Park İstasyonu 500 Yıllık Taşkın Su Derinliği Haritası (PROTA, 2026)



Şekil 7.23 S20-Kartepe Park İstasyonu 500 Yıllık Taşkın Su Derinliği Haritası (PROTA, 2026)



Şekil 7.24 S21-İzmit East İstasyonu Q500 Sel Su Derinliği Haritası (PROTA, 2026)



Şekil 7.25 S22-Özdilek Park İstasyonu 500 Yıllık Taşkın Su Derinliği Haritası (PROTA, 2026)

Yüzey Suyu Kirliliği

- Proje, genellikle önemli miktarda sediment yüklü yüzey akışına neden olan büyük ölçekli yüzey kazıları, açık zemin yüzeyleri, yol inşası, akarsu içi çalışmalar, menfez inşası, yönlendirme kanalları veya set peyzajı gibi faaliyetleri içermemektedir.
- Bununla birlikte, istasyon giriş alanları ve tünel portal bölgelerinde lokalize yüzey suyu kirlenme riskleri oluşabilir. Bu riskler başlıca şu unsurlarla ilişkilidir:
 - İstasyon girişlerine yakın küçük kazı alanlarından kaynaklanan siltli veya sediment taşıyan sular,
 - Tünel kazısı, ekipman çalışması ve rutin inşaat faaliyetlerinden kaynaklanan atık sular,
 - İnşaat alanı içinde küçük miktarlarda kullanılan veya depolanan yakıt, yağ, yağlayıcı ve diğer tehlikeli maddelerin kazara dökülmeleri.
- **Potansiyel kirlenme kaynakları şunlardır:**
 - Makine, jeneratör veya inşaat araçlarından yağ veya yakıt sızıntıları,
 - Tehlikeli maddelerin taşınması, aktarılması veya geçici depolanması sırasında meydana gelen kazara dökülmeler,
 - Yakıt veya kimyasalların yeterli ikincil muhafaza olmadan depolandığı küçük alanlardan yüzey akışı,
 - İnşaat faaliyetleri sırasında oluşan atık suların uygunsuz yönetimi veya kazara salınımı.
- Kimyasal kirlenme, küçük miktarlarda bile doğru şekilde kontrol edilmezse yüzey suyu kalitesini olumsuz etkileyebilir. Çimento, yakıt, yağ veya yağlayıcı dökülmeleri su yollarını bozabilir ve potansiyel olarak aşağı akım kullanıcılarını etkileyebilir. Yeraltı suyu kirlenmesi riski bulunmakla birlikte, bu riskler yüzey faaliyetlerinin sınırlı ölçeği ve Proje bileşenlerinin çoğu doğal su kütlelerinden uzak olması nedeniyle minimum düzeydedir.
- Genel olarak, yüzey suyu kirliliği etkilerinin seyrek ve düşük şiddette olması beklenmektedir. Çünkü herhangi bir dökülme veya deşarj, küçük ve genellikle hassas yüzey suyu alıcılarından uzak olan sınırlı Proje alanı içinde meydana gelmek zorundadır. Bu riskler, uygun muhafaza, dökülme müdahale önlemleri ve atık su yönetim uygulamaları ile azaltılacaktır.

Atık Su / Su Deşarjı

- Atık su, inşaat sahalarında ve kamp sitelerinde personelin su tüketimi nedeniyle üretilecektir.
- Toz bastırma ve beton kütleme faaliyetlerinden kaynaklı atık su beklenmemektedir, çünkü bu faaliyetlerde kullanılacak suyun buharlaşması öngörülmektedir. Beton üretim sürecinde de atık su oluşmayacaktır, çünkü çökelen su beton üretim sürecine geri devreye alınmaktadır.
- Kişi başı su talebi, TÜİK 2022 Belediye Su İstatistiklerine göre 235 L/kişi/gün olarak tahmin edilmektedir. Proje personeli tarafından kullanılacak tüm evsel suyun evsel atık suya dönüştüğü varsayılmaktadır. Bu nedenle inşaat dönemi boyunca günlük atık su üretimi 799 m³/gün olarak hesaplanmıştır.
- Projenin inşaat aşaması sırasında üretilecek evsel atık sular, kamp ve inşaat sahalarında kurulan bağlantılar aracılığıyla İSU'nun altyapı sistemine deşarj edilecektir. Müşteri, atık su, yağmur suyu ve içme suyu şebekesi yer değiştirmeleri konusunda İSU ile gerekli yazışmaları tamamlamış ve gerekli izinleri almıştır.

■

7.1.4.1.2. İşletme Aşaması

Projenin işletme aşamasında yüzey suyu hidrolojisi üzerinde önemli olumsuz etkilerin oluşması beklenmemektedir. İşletme aşamasında herhangi bir hafriyat, kazı veya doğal drenaj desenlerinde değişiklik yapılmamaktadır. Proje bileşenleri tamamen inşa edilmiş ve stabilize edilmiştir; bu nedenle yüzey akışı özelliklerinde, akış rejimlerinde veya havza dinamiklerinde herhangi bir değişiklik beklenmemektedir.

İşletme faaliyetleri yalnızca rutin istasyon ve tünel kullanımını kapsamaktadır ve bu faaliyetler hidrolojik değişikliklere yol açmamaktadır. İstasyon alanlarında oluşan yağmur suyu, mevcut ve tasarlanmış drenaj sistemleri aracılığıyla yönetilecek ve alıcı su ortamlarını etkilemeden kontrollü deşarj sağlanacaktır.

7.1.4.1.3. Söküm ve Kapatma Aşaması

Söküm aşamasındaki etkilerin inşaat aşaması ile benzer olması beklenmektedir; dolayısıyla gerçekleştirilecek faaliyetler de bu faaliyetlerle benzer nitelikte olacaktır. Bu bileşen için inşaat aşamasında açıklanan aynı değerlendirmeler, söküm aşaması için de geçerli olacaktır.

Söküm ve kapatma aşamasında, inşaat aşamasında listelenen etkiler dışında yeni bir etkinin ortaya çıkması beklenmemektedir.

7.1.4.2. Azaltım Tedbirleri

İnşaat, devreye alma/işletme ve decommissioning/kapatma aşamalarına ilişkin hidroloji ve yüzey suyu kalitesiyle ilgili azaltım önlemleri aşağıda yer almaktadır:

Proje tasarımına dâhil edilen önlemler:

- Çevre üzerindeki stormwater drenaj risklerine yönelik ek bir değerlendirme yapılmalı, stormwater drenaj tasarımlarının çevredeki arazi kullanımı, yüzey ve yeraltı suları veya hassas ekolojik alıcılar üzerindeki etkileri azaltmadaki etkinliği doğrulanmalıdır.
- Proje, sahada depolanan tehlikeli kimyasallar/maddeler ve sıvıların (dizel yakıt, yağ vb.) sızıntısını önlemek için güvenlik gerekliliklerine uyacaktır.
- Tehlikeli madde depolama alanları, toprağın olası kirlenmesini önleyecek şekilde tasarlanacak ve inşa edilecektir (yeterli ikincil muhafaza sistemine sahip kaplamalı alanlar, uygun drenaj sistemleri, toplama havuzları vb.).
- Hidrolojik çalışmalar ve yüzey suyu kalitesi konusunda 必要 olduğunda Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ), Su Yönetimi Genel Müdürlüğü (SYGM) ve Altyapı Yatırımları Genel Müdürlüğü (AYGM) ile istişare edilecektir.
- Tehlikeli maddeler kazı alanlarında depolanmayacak ve tüm tehlikeli maddelerin elleçlenmesi, Proje için hazırlanacak Tehlikeli Madde Yönetim Planı'na uygun olarak yapılacaktır. Bu plan, IFC Çevre, Sağlık ve Güvenlik (EHS) Kılavuzları ile uyumlu olacaktır. Örnek olarak, tehlikeli maddelerin elleçlendiği alanlarda (yakıt depoları ve dolum alanları, beton karıştırma, tehlikeli madde depoları vb.) ikincil muhafaza yapıları, en büyük tank hacminin %110'unu karşılayabilecek set, bent veya duvarlardan oluşacaktır.
- İnşaat çalışmaları sırasında yakıtlar dâhil tehlikeli maddelerin dökülmesi durumunda müdahale için IFC EHS Kılavuzları doğrultusunda Acil Durum Hazırlık ve Müdahale Planı (ERP) hazırlanacaktır.
- Proje için Kirliliğin Önlenmesi Planı hazırlanacak ve uygulanacaktır.
- Proje için Su ve Atık Su Yönetim Planı hazırlanacak ve uygulanacaktır.
- Ağır yağış dönemlerinde inşaat sahalarının yönetimi dikkate alınacaktır. Gerektiğinde açık yüzeyler ve depolanmış malzemeler örtülecek, sedimentlerin yüzey sularına taşınması azaltılacaktır.
- Beton santrali operasyonlarından ve beton mikserlerinin yıkanmasından kaynaklanan sular, sedimentasyon havuzlarında çöktürülecek ve tatlı su kullanımını minimize etmek amacıyla üretim sistemine geri devreye alınacaktır. Beton santrallerinden kaynaklanan çökeltilmiş atık suların kullanılabilirliğine ilişkin, Çevre,

Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı İl Müdürlükleri tarafından onaylanacak Teknik Rapor, Atık Su Arıtma/Deniz Deşarjı Tesisi Proje Onay Genelgesi No. 2018/14 uyarınca hazırlanacaktır.

- Araç yıkama faaliyetleri kamp alanlarında endüstriyel atık su üretebilir. Bu atık su ya kör kuyuya yönlendirilerek vakum kamyonlarıyla toplanacak ya da alıcı ortama deşarj öncesi ön arıtma seçenekleri değerlendirilecektir. Bu amaçla araç yıkama tesisleri taşmayı önleyecek recirculatory (devridaim) sistemli olarak güvenli bir şekilde inşa edilecek ve araç yıkama alanlarına yağ-su ayırıcıları monte edilecektir.
- Yönetim planları, istasyon girişlerinde yüzey suyunun korunması ve olası taşkın kontrolü ile ilgili aşağıdaki azaltma önlemlerini içerecektir:
 - İstasyon girişleri civarındaki mevcut drenaj ve sulama kanalları, yeşil alanlar, drenaj şeritleri ve erozyon kontrol yapıları, tıkanma, yön değiştirme veya hasar görmesini önlemek için uygun önlemlerle korunacaktır.
 - Daha önce yapılan taşkın derinliği analizi ve giriş tasarım kriterlerine uygun olarak, yüzey akışının istasyon girişlerine girmesini önlemek için gerekirse lokal drenaj yapıları (örneğin küçük toplama drenleri veya çevre kanalları) inşa edilecektir.
 - Tünel portalları veya kazı zonları içinde oluşan tüm sular, askıda katı maddelerin giderilmesi için geçici sedimentasyon havuzlarına (çöktürme ünitelerine) toplanacak ve ilgili izinlere uygun olarak deşarj edilecektir. Kazara sızıntılardan (yakıt, hidrolik yağ vb.) kaynaklanan kirlenmiş sular ise doğal su kütleleriyle karışmasını önlemek amacıyla muhafaza edilecek, toplanacak ve yönetilecektir.
 - Tüm drenaj yapıları, çöktürme tesisleri ve istasyon girişleri çevresindeki koruyucu önlemler, özellikle yoğun yağışlardan sonra düzenli olarak denetlenecek, sediment birikimleri uygun şekilde kaldırılıp bertaraf edilecektir.
 - İstasyon girişleri çevresindeki toprak tahribatı, yüzey akışını azaltmak ve lokal sediment taşınımını önlemek amacıyla inşaat için gerekli minimum alanla sınırlandırılacaktır.
 - Çalışanlar ve alt yükleniciler, dökülme müdahale prosedürleri, muhafaza ve temizleme malzemelerinin (spill kit) kullanımı konusunda eğitilecek, böylece çevresel risk en aza indirilecektir.

7.1.4.3. Kalan Etkiler

7.1.4.3.1. İnşaat Süreci

Hidroloji ve Yüzey Suyu Kalitesine İlişkin Azaltım Tedbirleri

İnşaat, devreye alma/işletme ve söküm/kapatma aşamalarına ilişkin hidroloji ve yüzey suyu kalitesiyle ilgili azaltım tedbirleri aşağıda belirtilmiştir:

Proje Tasarımına Entegre Edilen Önlemler

- Yüzey suyu drenaj sistemlerinin çevresel etkilerini doğrulamak amacıyla ek bir yağmur suyu drenaj riski değerlendirmesi yapılacaktır.
- Sahada depolanan tehlikeli kimyasallar/maddeler ve sıvılardan (dizel, yağ vb.) kaynaklanabilecek sızıntıların önlenmesi için güvenlik gerekliliklerine uyulacaktır.
- Tehlikeli madde depolama alanları, toprağın kirlenmesini önleyecek şekilde tasarlanacak ve inşa edilecektir (geçirimsiz zemin, yeterli ikincil muhafaza, uygun drenaj sistemleri, toplama havuzları vb.).
- DSİ, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü (GDWM) ve Altyapı Yatırımları Genel Müdürlüğü (AYGM) ile hidrolojik çalışmalar ve yüzey suyu kalitesi konusunda gerektiğinde ilave çalışmalar için istişare yapılacaktır.

- Tehlikeli maddeler kazı alanlarında depolanmayacak ve tüm tehlikeli madde elleçleme işlemleri Proje için hazırlanacak Tehlikeli Madde Yönetim Planı'na uygun olarak yürütülecektir. Bu plan IFC EHS Kılavuzları ile uyumlu olacaktır.
- İkincil muhafaza yapıları, tehlikeli madde bulunan alanlarda (yakıt depoları, yükleme alanları, beton karıştırma alanları vb.) en büyük tank hacminin %110'unu tutabilecek kapasitede olacaktır.
- Tehlikeli madde dökülmelerinin yönetimi için Acil Durum Hazırlık ve Müdahale Planı (ERP) hazırlanacaktır.
- Proje için Kirlilik Önleme Planı uygulanacaktır.
- Su ve Atık Su Yönetim Planı hazırlanacak ve uygulanacaktır.
- Şiddetli yağış dönemlerinde şantiye alanlarının yönetimi dikkate alınacaktır; açık yüzeyler ve depolanan malzemeler gerektiğinde örtülerek erozyon azaltılacaktır.
- Beton santrali operasyonları ve beton mikserlerinin yıkanmasından kaynaklanan su, çöktürme havuzlarında tutulacak ve yeniden sisteme geri kazandırılarak tatlı su kullanımı azaltılacaktır.
- Araç yıkama faaliyetlerinden kaynaklanan atık sular uygun şekilde yönetilecek, yağ tutucu sistemler kullanılacaktır.

Yüzey Suyu ve Taşkın Kontrolüne Yönelik Önlemler

- İstasyon girişleri çevresindeki mevcut drenaj ve sulama kanalları, yeşil alanlar, drenaj şeritleri ve erozyon kontrol yapıları korunacaktır.
- Yüzey akışının istasyon girişlerine girmesini önlemek amacıyla gerekli yerlerde yerel drenaj yapıları inşa edilecektir.
- Tünel portalı ve kazı alanlarında oluşan sular çöktürme havuzlarında toplanarak askıda katı maddeler giderilecektir.
- Olası yakıt/yağ sızıntıları kontrol altına alınacak ve doğal su ortamlarına karışması önlenecektir.
- Drenaj ve koruma yapıları özellikle şiddetli yağışlardan sonra düzenli olarak kontrol edilecektir.
- Sediment birikimleri temizlenecek ve uygun şekilde bertaraf edilecektir.
- İstasyon çevresinde toprak bozulması minimize edilerek yüzey akışı azaltılacaktır.
- Tüm çalışanlara dökülme (spill) müdahale ve temizleme ekipmanlarının kullanımı konusunda eğitim verilecektir.

Table 7.30 İnşaat Fazı – Hidroloji ve Yüzey Suyu Kalitesi: Mitigasyon Sonrası Etki Değerlendirme Matrisi

Etki Faktörü	Etki Faktörü Detayları	Bileşen Hassasiyeti	Etkinin	Etki Değeri	Azaltım Etkinliği	Artık (Kalan)

				Geri Dönüşebilirliği			Etki Değeri
Doğal Su Kütlelerinde Akış/Dolaşım Değişimleri	Süre	Orta Vadeli	Düşük	Orta Vadeli	Önemsiz	Yüksek	Önemsiz
	Sıklık	Devam Ediyor					
	Coğrafi Yayılım	Proje Sahası					
	Yoğunluk	Önemsiz					
Yüzey Suyu Kirliliği	Süre	Orta Vadeli	Düşük	Orta Vadeli	Önemsiz	Yüksek	Önemsiz
	Sıklık	Tekrarlayan					
	Coğrafi Yayılım	Proje Sahası					
	Yoğunluk	Önemsiz					
Atık Su ve Su Deşarjı	Süre	Orta Vadeli	Düşük	Orta Vadeli	Önemsiz	Yüksek	Önemsiz
	Sıklık	Devam Ediyor					
	Coğrafi Yayılım	Proje Sahası					
	Yoğunluk	Önemsiz					

7.1.4.3.2. İşletme Aşaması

Projenin işletme aşamasında yüzey suyu hidrolojisi üzerinde önemli olumsuz etkilerin oluşması beklenmemektedir. İşletme aşaması; toprak işleri, kazı faaliyetleri veya doğal drenaj desenlerinde değişiklik yapılmasını içermemektedir. Proje bileşenleri tamamen inşa edilmiş ve stabilize edilmiş olduğundan, yüzey akışı özelliklerinde, akış rejimlerinde veya havza dinamiklerinde herhangi bir değişiklik beklenmemektedir.

7.1.4.3.3. Söküm ve Kapatma Aşaması

Söküm aşamasındaki faaliyetlerin inşaat aşamasına büyük ölçüde benzer olması beklenmektedir. Altyapıların sökülmesi, arazinin doğal durumuna geri kazandırılması halinde olumlu bir etki oluşturabilir. İnşaat aşaması için açıklanan aynı değerlendirmeler bu aşama için de geçerlidir.

7.1.4.4. İzleme

- Yüzey suyu kalitesi izleme programı, saha bazlı risk değerlendirmelerine ve ulusal su kalitesi standartlarına (Kategori I ve II) dayanmakta olup, yasal düzenlemeler ve IFC Genel EHS Kılavuzları ile uyumlu şekilde uygulanacaktır. Proje kapsamında izleme programı aşağıdaki bileşenleri içermektedir:

- **Yüzey Suyu Kalitesi ve Miktar İzleme**

- Yüzey suyu izleme çalışmaları (kalite ve debi), raporda tanımlanan belirlenmiş izleme noktalarında (bkz. Bölüm 6.1.6) devam edecektir.
- İzleme çalışmaları, hidrolik değişkenliği yansıtacak şekilde yılda iki kez (kurak dönem ve yağışlı dönem) gerçekleştirilecektir.
- Temel (baseline) izleme verileri, su kalitesindeki olası bozulmaların tespiti için kullanılacaktır.
- Sonuçlar, JV ve/veya bağımsız bir denetçi tarafından periyodik olarak (en az yılda bir kez) değerlendirilecektir.
- Önemli değişiklikler veya eğilimler tespit edilmesi durumunda, nedenleri araştırılacak ve gerekli düzeltici faaliyetler uygulanacaktır.
- Tüm numune alma ve laboratuvar analizleri, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı (MoEUCC) tarafından akredite edilmiş bağımsız kuruluşlar veya laboratuvarlar tarafından gerçekleştirilecektir.

- **Yüzeysel Akış ve Drenaj Etkinliği İzleme (İstasyon Girişleri Yakını)**

- Şiddetli yağış olaylarının ardından istasyon girişleri ve portal bölgelerindeki drenaj performansı değerlendirilecektir.
- Yerel su iletim sistemlerinin (küçük drenaj hendekleri, portal drenaj kanalları vb.) etkinliği kontrol edilecektir.
- Gözlemler; su birikmesi (ponding), infiltrasyon kaçakları veya akış yoğunlaşması gibi taşkın riskini artırabilecek durumları içerecektir.

- **Tasarım Önlemleri ve Muhafaza Sistemlerinin Doğrulanması**

- Dökülme kontrol sistemleri, atık su çöktürme yapıları ve geçici drenaj elemanlarının tasarıma uygun şekilde kurulduğu ve çalıştığı düzenli olarak kontrol edilecektir.
- Doğrulama kapsamında aşağıdakiler değerlendirilecektir:
 - Yakıt/yağlar için ikincil muhafaza sistemleri
 - Küçük depolama alanlarında beton veya geçirimsiz yüzey bütünlüğü
 - Atık su toplama noktalarının doğru çalışması
 - Portal alanlarına yakın küçük sediment tuzakları ve toplama çukurlarının kontrolü

7.1.5. Hidrojeoloji ve Yeraltı Suyu

7.1.5.1. Etki Analizi

7.1.5.1.1. İnşaat Aşamaları

Projenin inşaat aşamasında hidrojeoloji ve yeraltı suyu kalitesi bileşenine ilişkin etkiler aşağıdaki etki faktörleri ile ilişkilidir:

- Yerel hidrojeolojide değişiklikler

- Yeraltı suyu kirliliği
- Atık su/su deşarjı

Yukarıda belirtilen etki faktörlerine ilişkin Proje faaliyetleri aşağıdakileri kapsamaktadır:

- Tünel açma faaliyetleri
- İnşaat faaliyetlerinden kaynaklanan atıkların bertarafı (kazi malzemesi dahil)

Aşağıda tanımlanan etki faktörleri inşaat aşaması için ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

Yerel Hidrojeolojide Değişiklikler

Tünel açma çalışmaları sırasında, tünelin doygun zemin içerisinde inşa edilmesi durumunda yeraltı suyu girişleri meydana gelebilir. Bu durum, yeraltı su seviyesinin önceden belirlenmiş bir seviyeye düşürülmesini amaçlayan aktif veya pasif dewatering (drenaj) uygulamaları ile kontrol edilebilir. Ancak bu uygulamalar doğal yeraltı suyu akış rejimini değiştirebilir.

Buna ek olarak; başlatma ve kabul şaftlarının inşası, TBM kalkanının ilerlemesi ve tünel kaplama segmentlerinin yerleştirilmesi, geçici olarak hidrolik bariyer etkisi oluşturabilir ve tünel güzergâhı çevresinde yeraltı suyu akış yollarında lokal değişikliklere, sınırlı seviye düşümüne veya yükselmesine (mounding) neden olabilir.

Gerekli olması halinde, dewatering sonucu oluşan yeraltı suyu pompalanarak çökeltme havuzlarında toplanacaktır. Askıda katı madde (TSS) kontrol stratejileri, IFC Construction Materials Extraction EHS Kılavuzu'na göre deşarj noktasında 50 mg/L seviyesini hedefleyecektir. Numune alımı sonrasında uygun bulunması halinde su en yakın alıcı ortama deşarj edilecektir. Dewatering planı detayları, Proje gerekliliklerine göre güncellenecek olan Yeraltı Suyu Yönetim Prosedürü'nde tanımlanacaktır.

Atık Su / Su Deşarjı

Yeraltı suyu kirliliği potansiyeli, özellikle örtü tabakasının ince olduğu alanlarda, atık su veya inşaat materyallerinin uygun şekilde yönetilmemesi durumunda artabilir. İnşaat faaliyetlerinden kaynaklanan atıklar, uygun şekilde korunmayan geçici depolama alanlarında tutulduğunda toprağa ve dolaylı olarak yeraltı suyuna sızma riski oluşturabilir.

Şantiye ve kamplarda personel su kullanımından kaynaklanan evsel atık sular, yüzey ve yeraltı suyu açısından risk oluşturabilir. Ancak Proje kapsamında oluşan evsel atık sular, kamplar ve şantiyelerde kurulan bağlantılar aracılığıyla ISU altyapı ağına deşarj edilecektir. İşveren, atık su, yağmur suyu ve içme suyu şebeke deplasmanlarına ilişkin ISU ile gerekli yazışmaları tamamlamış ve gerekli izinleri almıştır.

Yeraltı Suyu Kirliliği

İnşaat sırasında, özellikle yeraltı su seviyesinin sığ olduğu veya basıncın yüksek olduğu kesimlerde, kazara veya kasıtlı tehlikeli madde deşarjları nedeniyle akiferlerin kirlenme riski artabilir. İnşaat atıkları uygun şekilde yönetilmezse yeraltı suyu kirliliğine yol açabilir.

Tehlikeli maddelerin geçici depolanması veya bakım faaliyetleri sırasında oluşabilecek sızıntılar da potansiyel risk oluşturmaktadır. İnşaat sürecinde, uygun azaltım tedbirleri uygulanmadığı durumlarda kirleticiler toprak yoluyla yeraltı suyuna ulaşabilir.

Kullanılması planlanan tehlikeli madde miktarının sınırlı olması beklenmektedir. Ancak makinelerden kaynaklanabilecek olası dökülmeler, özellikle büyük miktarlarda ve uzun süre kontrolsüz kalması durumunda yeraltı suyuna ulaşabilir.

7.1.5.1.2. İşletme Aşaması

Bu bileşen üzerindeki etkiler, devreye alma ve işletme aşamasında inşaat aşamasıyla aynı olacak ve aşağıdaki etki faktörleriyle ilişkilidir:

- Yerel hidrojeolojideki değişiklikler
- Etkiler, aşağıdaki Proje eylemlerinden kaynaklanabilir:
- Yeni altyapının (tünel) varlığı.
- Yukarıda tanımlanan tüm etki faktörleri, işletme aşaması için aşağıda değerlendirilmektedir.

Yerel hidrojeolojideki değişiklikler

Tünel inşaatı tamamlandıktan sonra (yani yeraltı suyu seviyesini önceden belirlenen bir seviyeye düşürmeyi amaçlayan aktif veya pasif susuzlaştırma operasyonları), doğal yeraltı suyu akışı sonuç olarak değişebilecektir.

7.1.5.1.3. Söküm ve Kapanış Aşaması

Söküm aşamasındaki etkilerin inşaat aşamasına benzer olması beklenmektedir, dolayısıyla faaliyetler de inşaat faaliyetlerine benzer olacaktır. Bu bileşen için inşaat aşamasında tarif edilen aynı hususlar, yeraltı suyu kirliliği etki faktörü açısından söküm aşaması için de geçerlidir.

Projenin söküm ve kapanış aşamasında, inşaat ve işletme aşamalarında listelenenler dışında yeni bir etki beklenmemektedir.

7.1.5.2. Azaltıcı Önlemler

Hidrojeoloji ve yeraltı suyu kalitesi ile ilgili azaltıcı önlemler, inşaat, devreye alma/işletme ve söküm/kapanış aşamaları için aşağıdaki gibidir:

Proje Tasarımına Dâhil Edilen Önlemler:

* Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ), Su Yönetimi Genel Müdürlüğü (SYGM) ve Altyapı Yatırımları Genel Müdürlüğü (AYGM) ile hidrojeolojik çalışmalar, yeraltı suyu kalitesi konusunda görüşülecek ve gerekirse ilave çalışmalar yapılacaktır. Akiferlerin doğrudan etkilenebileceği veya açığa çıkabileceği yerlerde, özellikle tünel aynalarında hidrojeoloji değerlendirilecektir.

* Tünel kazı faaliyetleri sonucunda bölgesel yeraltı suyu akım rejiminde oluşabilecek potansiyel değişiklikleri değerlendirmek üzere bir hidrojeolojik değerlendirme yapılacaktır. Bu çalışma, tünel güzergâhı, tünel kaplaması ve ilişkili yeraltı yapılarının kısmi hidrolik bariyer olarak davranarak yeraltı suyu akım yollarını yerel olarak değiştirebileceği, çekim (drawdown) veya kabarma (mounding) oluşturabileceği veya hidrolik gradyanı değiştirebileceği durumları inceleyecektir.

* Tünel güzergâhı boyunca karstik formasyonların varlığı veya potansiyel varlığı dikkate alınarak, karstik özelliklerin ve kanal akım davranışının karakterizasyonuna özel önem verilecektir. Önerilen tünel kaplamasının, segment contalarının ve destek sistemlerinin karstik bölgelerdeki yeterliliği, hidrojeolojik değerlendirme kapsamında gözden

geçirilecek ve potansiyel yeraltı suyu girişlerine ile basınç koşullarına karşı yeterli direnç sağlayıp sağlamadığı kontrol edilecektir.

* Su temini veya hidrojeolojik araştırma amacıyla kuyu(lar) açılması durumunda, sondaj ve kuyu geliştirme işlemleri Amerikan Test ve Malzeme Derneği (ASTM) standartlarına uygun olarak yürütülecektir. Makine ve ekipmanlardan kaynaklanan kirleticilerin (örneğin yağ ve yakıt) yeraltı suyu ile karışması önlenecektir. Sondaj öncesinde sondaj makinesinin çalışacağı alan hazırlanırken, kazıdan kaynaklanabilecek kirlilikler giderilecektir. Sondaj operasyonlarından sonra, DSİ'den alınan gerekli izinler kapsamında pompa testleri yapılacaktır. Kuyular için en uygun akifer testi, ASTM D4043-17 standardına göre belirlenecektir. Transmissivite ve depolama katsayısı gibi hidrolik parametreler ASTM standartlarına göre hesaplanacaktır. Kuyulardan sürekli deşarjın yeraltı suyu akım sistemi üzerindeki etkileri aynı veriler kullanılarak değerlendirilecektir.

* İnşaat sırasında yeraltı suyuna rastlanması durumunda, çalışma alanından aktif/pasif susuzlaştırma çalışmaları ile yeraltı suyu tahliye edilecektir. Gerekli analizler yapıldıktan ve ilgili izinler alındıktan sonra arıtma, depolama ve bertaraf işlemleri mevzuat gerekliliklerine göre yapılacaktır.

* Yeraltı suyu kaynaklarının kullanımı DSİ onayı gerektirecektir. DSİ, yeraltı suyu kaynağının yeterli olması durumunda su temini için kuyu açılmasına ve kullanımına izin verecektir. Bu onaylar, su temininin mevcut durumuna göre verilmektedir.

* Bir Yeraltı Suyu İzleme ve Yönetim Planı hazırlanacak ve uygulanacaktır. Su temini konusunda herhangi bir karar verilmeden önce yeraltı suyu tükenmesi etki faktörü değerlendirilecektir.

7.1.5.2.1. İnşaat Aşaması

Azaltıcı önlemlerin inşaat aşaması sırasında uygulanmasından sonra, hidrojeoloji ve yeraltı suyu kalitesi bileşeni üzerindeki kalıcı (residual) etki aşağıdaki tabloda (Tablo 7.31) sunulmaktadır.

Değerlendirilen bileşenlerin mevcut durum (baseline) koşulları, Proje özellikleri ve faaliyetleri ile yukarıda önerilen azaltıcı önlemlerin uygun şekilde uygulanması temel alındığında, inşaat aşaması sırasında hidrojeoloji ve yeraltı suyu kalitesi üzerinde **ihmal edilebilir düzeyden düşük olumsuz etki** beklenmektedir.

Tablo 7.31 İnşaat Aşaması İçin Hidrojeoloji ve Yeraltı Suyu Kalitesi Bileşeni Üzerindeki Etkilerin Değerlendirme Matrisi (Azaltıcı Önlemler Uygulandıktan Sonra)

Etki Faktörü	Etki Faktörü Detayları	Bileşen Hassasiyeti	Etkinin Geri Dönüşebilirliği	Etki Değeri	Azaltım Etkinliği	Artık (Kalan) Etki Değeri
	Süre Orta Vadeli	Orta-Düşük	Orta Vadeli	Düşük	Orta Yüksek	

Etki Faktörü	Etki Faktörü Detayları	Bileşen Hassasiyeti	Etkinin Geri Dönüşebilirliği	Etki Değeri	Azaltım Etkinliği	Artık (Kalan) Etki Değeri
Yerel Hidrojeolojide Değişiklikler	Sıklık Sürekli					İhmal Edilebilir
	Coğrafi Yayılım Yerel					
	Yoğunluk İhmal Edilebilir					
Yeraltı Suyu Kirliliği	Süre Orta Vadeli	Düşük	Orta Vadeli	İhmal Edilebilir	Yüksek	İhmal Edilebilir
	Sıklık Tekrarlayan					
	Coğrafi Yayılım Proje Sahası					
	Yoğunluk İhmal Edilebilir					
Atık Su / Su Deşarjı	Süre Orta Vadeli	Düşük	Orta Vadeli	İhmal Edilebilir	Yüksek	İhmal Edilebilir
	Sıklık Sürekli					
	Coğrafi Yayılım Proje Sahası					
	Yoğunluk İhmal Edilebilir					

7.1.5.2.2. İşletme Aşaması

Azaltıcı önlemlerin işletme aşaması sırasında uygulanmasından sonra, hidrojeoloji ve yeraltı suyu kalitesi bileşeni üzerindeki kalıcı (residual) etki aşağıdaki tabloda (Tablo 7.32) sunulmaktadır.

Değerlendirilen bileşenlerin mevcut durum (baseline) koşulları, Proje özellikleri ve faaliyetleri ile yukarıda önerilen azaltıcı önlemlerin uygun şekilde uygulanması temel alındığında, işletme aşaması sırasında hidrojeoloji ve yeraltı suyu kalitesi üzerinde **ihmal edilebilir olumsuz etki** beklenmektedir.

Tablo 7.32 İşletme Aşaması İçin Hidrojeoloji ve Yeraltı Suyu Kalitesi Bileşeni Üzerindeki Etkilerin Değerlendirme Matrisi (Azaltıcı Önlemler Uygulandıktan Sonra)

Etki Faktörü	Etki Faktörü Detayları	Bileşen Hassasiyeti	Etkinin Geri Dönüşebilirliği	Etki Değeri	Azaltım Etkinliği	Artık (Kalan) Etki Değeri
Lokal Hidrojeolojideki Değişimler	Süre Çok Uzun	Orta-Düşük	Orta Vadeli	Orta Vadeli	Orta Yüksek	Önemsiz Etki
	Sıklık Sürekli					
	Coğrafi Yayılım Yerel					
	Yoğunluk Önemsiz Etki					

7.1.5.2.3. Söküm ve Kapanış Aşaması

Söküm aşamasındaki faaliyetlerin inşaat aşamasına büyük ölçüde benzer olması beklenmektedir. Yeraltı suyu kirliliği etki faktörü açısından, inşaat aşamasında hidrojeoloji ve yeraltı suyu kalitesine ilişkin açıklanan aynı hususlar söküm aşaması için de geçerli olacaktır.

Altyapıların sökülmesi, arazinin doğal durumuna geri kazandırılması durumunda olumlu bir etki oluşturma potansiyeline sahiptir.

7.1.5.4. İzleme

Bu bölümde yer alan izleme tedbirleri, hem inşaat hem de işletme dönemine uygulanabilir nitelikte olduğundan birlikte sunulmuştur. Proje tamamen yoğun kentsel bir alanda yer aldığından, izleme programı özellikle şaftlar, istasyonlar ve tünel kesimleri çevresindeki sığ yeraltı suyu davranışına ve mevcut yeraltı altyapısıyla olası etkileşimlere odaklanmaktadır.

Yeraltı suyu kaynaklarının izlenmesi, hidrojeolojik araştırmalar sonucunda geliştirilen kılavuzlara uygun olarak mevsimsel periyotlarla gerçekleştirilecektir. Bu kılavuzlar, **Su Çerçeve Direktifi (2000/60/EC)** kapsamında hazırlanan “Yeraltı Suyu İzleme Rehberi” esas alınarak hazırlanacak olup aşağıdaki unsurları içerecektir:

- Etki alanı içerisinde yer alan hassas alıcıların belirlenmesi; yeraltı altyapıları, bina temelleri, bodrumlar ve kentsel alanda mevcut kayıtlı kuyular (varsa) dahil olmak üzere
- İnşaat süresince şaftlar ve istasyon kazıları çevresinde yeraltı suyu miktarı ve kalitesinin mevsimsel periyotlarla izlenmesi
- İnşaat ve işletme aşamalarında drenaj rögarları ve ISU bağlantı noktaları gibi yeraltı suyu deşarj noktalarının izlenmesi
- Kentsel ortamda mevsimsel değişkenlik ve olası inşaat kaynaklı dalgalanmaların değerlendirilmesi amacıyla yeraltı suyu seviyelerinin düzenli olarak ölçülmesi

Yeraltı suyu izleme çalışmaları, Bölüm 6.1.7’de tanımlanan lokasyonlarda inşaat ve işletme aşamaları boyunca sürdürülecektir. Programın genişletilmesi durumunda, aynı çalışmalarda tanımlanan sığ yeraltı suyu kütleleri ve jeolojik birimler dikkate alınacaktır. Toplanan yeraltı suyu miktar ve kalite verileri eğilim analizleri için

değerlendirilecektir. Veriler, saha koşullarını değerlendirmek ve önemli değişimleri tespit etmek amacıyla en az yılda bir kez İşveren ve/veya bağımsız bir denetçi tarafından gözden geçirilecektir. Anlamlı eğilimler tespit edilmesi durumunda nedenleri araştırılacak ve gerekli düzeltici önlemler uygulanacaktır.

İzleme sürecinde yeraltı suyu seviyeleri manuel ölçüm cihazları (dipmetre) veya otomatik sensörler ile ölçülecektir. İzleme ve numune alma faaliyetleri, bağımsız bir firma veya Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından akredite edilmiş laboratuvarlar tarafından gerçekleştirilecektir.

Tüm çevresel koruma önlemlerinin (örneğin malzeme depolama alanlarında beton zeminler, sızıntı önleyici yapılar, toplama çukurları) yerinde olup olmadığını doğrulamak amacıyla tasarım kontrolleri yapılacaktır.

Çalışanlara ve alt yüklenici personeline yönelik dökülme (spill) müdahale, sınırlama ve temizleme ekipmanlarının doğru kullanımı hakkında eğitimler verilecek ve kayıt altına alınacaktır.

Şantiye alanlarında yeterli dökülme müdahale ekipmanlarının (spill kitler, emici pedler, bariyer ekipmanları vb.) bulunduğunu doğrulamak amacıyla düzenli saha denetimleri gerçekleştirilecektir. Bu denetimlere ilişkin kayıtlar tutulacaktır.

Tüm araç ve makineler için düzenli bir bakım programı oluşturulacak ve bakım kayıtları muhafaza edilecektir.

7.1.6. Hava Kalitesi

7.1.6.1. Hava Kalitesi Modelleme Metodolojisi

İnşaat aşamasına ilişkin emisyonlar hesaplanmış ve hava kirleticilerinin atmosferik dağılımı, **AERMOD (American Meteorological Society / Environmental Protection Agency Regulatory Model)** hava emisyon dağılım modeli kullanılarak simüle edilmiştir.

AERMOD, ABD Çevre Koruma Ajansı (U.S. EPA) tarafından önerilen, güncel bilimsel yaklaşımı temsil eden **kararlı durum (steady-state) Gauss dağılım modelidir**. Model, atmosferdeki kirleticilerin yayılımını; i) en az bir yıllık saatlik meteorolojik veriler, ii) modelleme alanına ait topoğrafik veriler ve alıcı (receptor) ağı, iii) kirletici kaynak verilerini dikkate alan matematiksel formülasyonlar aracılığıyla tahmin etmektedir.

AERMOD modeli, bu verileri kullanarak emisyon kaynaklarının çevresinde yer alan yer seviyesindeki alıcılarda kirletici konsantrasyonlarını hesaplamaktadır. Model, kullanıcı tarafından tanımlanan herhangi bir dönem için hem kısa dönemli hem de uzun dönemli ortalama konsantrasyonları hesaplayabilme kapasitesine sahiptir.

AERMOD atmosferik dağılım modelleme sistemi üç ana bileşenden oluşmaktadır:

- **AERMOD**
- **AERMAP**
- **AERMET**

AERMOD, doğrusal ve kararlı durum plüm (plume) modelidir ve Gauss plüm özelliklerini taşımaktadır. Model; plüm yükselimi ve kaldırma kuvveti, yükselen inversiyon tabakasına penetrasyon, kaynak düzeyindeki yüzey etkileri, rüzgâr ve türbülansın dikey profili ile arazi etkileri gibi gelişmiş algoritmaları içermektedir. AERMOD'un performansı, arazi topoğrafyası ve emisyon kaynaklarının özelliklerine bağlı olarak değişebilmekte olup yüksek konsantrasyonların gerçekçi şekilde hesaplanmasını sağlayabilmektedir.

AERMAP, arazi ön işlemcisidir. Temel amacı hava kirleticilerin davranışı ile arazi özellikleri arasındaki fiziksel ilişkiyi tanımlamaktır. Her bir tepe noktası için konum ve yükseklik verilerini üretmektedir.

AERMET, meteorolojik veri ön işlemcisidir. Yüzey meteorolojik verilerini ve üst atmosfer katman verilerini kabul eder. Atmosferik türbülans özellikleri, sürtünme hızı ve sınır tabaka yükseklikleri gibi dağılım modeli için gerekli atmosferik parametreleri hesaplar. **AERMOD**, kirletici yayılımını simüle edebilmek için üst atmosfer katmanına ait saatlik meteorolojik verileri gerektirmektedir.

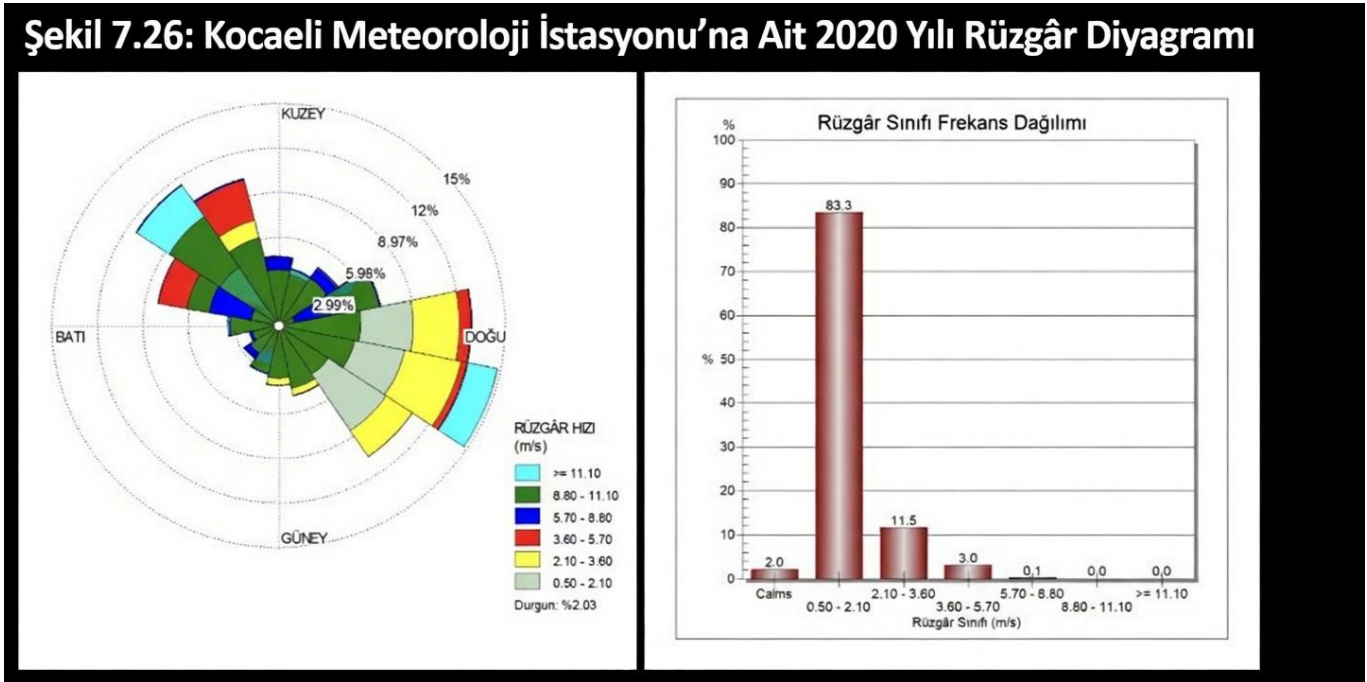
7.1.6.1.1. Meteorolojik Verileri

AERMOD modeli, kirletici bulutunun yükselimi, taşınımı ve birikimini tanımlamak amacıyla **saatlik meteorolojik verileri** kullanılmaktadır. **AERMOD** modelinin meteorolojik ön işlemcisi olan **AERMET**, iki tür meteorolojik veri girdisi gerektirmektedir: saatlik yüzey gözlemleri ve günde iki kez yapılan üst atmosfer sondajları.

Proje için temsil edici meteorolojik istasyon ve yılın belirlenmesi aşamasında, bölgedeki uzun dönem meteorolojik koşulları temsil eden istasyon ve veri yılının belirlenmesi amacıyla Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğü ile sözlü olarak görüşülmüştür. Modelleme çalışmalarında **Kocaeli Meteoroloji İstasyonu'na (istasyon no: 17066) ait 2020 yılı saatlik verileri** kullanılmıştır.

AERMET için gerekli veri dosyalarının oluşturulabilmesi amacıyla meteorolojik veriler bölgedeki mevcut meteoroloji istasyonlarından temin edilmiştir. **AERMOD** modeli için havaalanı, sinoptik veya otomatik istasyonlardan elde edilen saatlik yüzey verileri ile rawinsonde tip istasyonlardan elde edilen üst atmosfer verileri gerekmektedir. Saatlik meteorolojik veri setleri Kocaeli Meteoroloji İstasyonu'ndan, üst atmosfer meteorolojik veri seti ise İstanbul Bölge Meteoroloji İstasyonu'ndan alınmıştır. Yüzey pürüzlülük katsayısı, Bowen oranı ve albedo gibi bölgesel özellikler EPA **AERMET** kullanıcı kılavuzuna uygun şekilde belirlenmiştir.

Yıllık ve uzun dönem rüzgâr gül dağılımları Şekil 7.26'da sunulmaktadır. Kocaeli Meteoroloji İstasyonu'nun 2016–2025 verilerine göre hâkim rüzgâr yönü doğu (E), ikinci baskın rüzgâr yönü ise kuzeydoğu (NE) olarak belirlenmiştir.



Şekil 7.26: Kocaeli Meteoroloji İstasyonu'na Ait 2020 Yılı Rüzgâr Diyagramı

7.1.6.1.2. Alıcılar ve Topografya

AERMOD modeli, bir etki (modelleme) alanının tanımlanmasını ve bu alanın çevresel alıcıları temsil eden receptor noktalarına bölünmesini gerektirmektedir.

Modelleme alanını belirlemek amacıyla, her bir istasyon ve depolama alanı etrafında tüm yönlerde çizilen 1 km'lik tampon bölge başlangıçta tesis etki alanı olarak tanımlanmıştır. Tesis etki alanları Şekil 7.27'de sunulmaktadır.

Her istasyona ait bireysel etki alanlarının birleştirilmesiyle, yaklaşık 29 km uzunluğunda ve 6 km genişliğinde bir modelleme alanı tanımlanmıştır. Genel modelleme alanı Şekil 7.28'de verilmektedir.

Modelleme alanı içerisinde, 200 m aralıklarla toplam 1.482 grid receptor noktası oluşturulmuştur. Receptor noktaları Şekil 7.29'da gösterilmektedir.

Bunun yanı sıra, temel hava kalitesi ölçüm noktalarının koordinatları, model çalışmaları sırasında hava kirliliğine katkı değerlerinin hesaplandığı ayrı (discrete) receptor noktaları olarak tanımlanmış olup Tablo 7.33'te sunulmaktadır.

Tablo 7.33: Modelde Yer Alan Ayırık Alıcıların (Hassas Alıcılar) Koordinatları

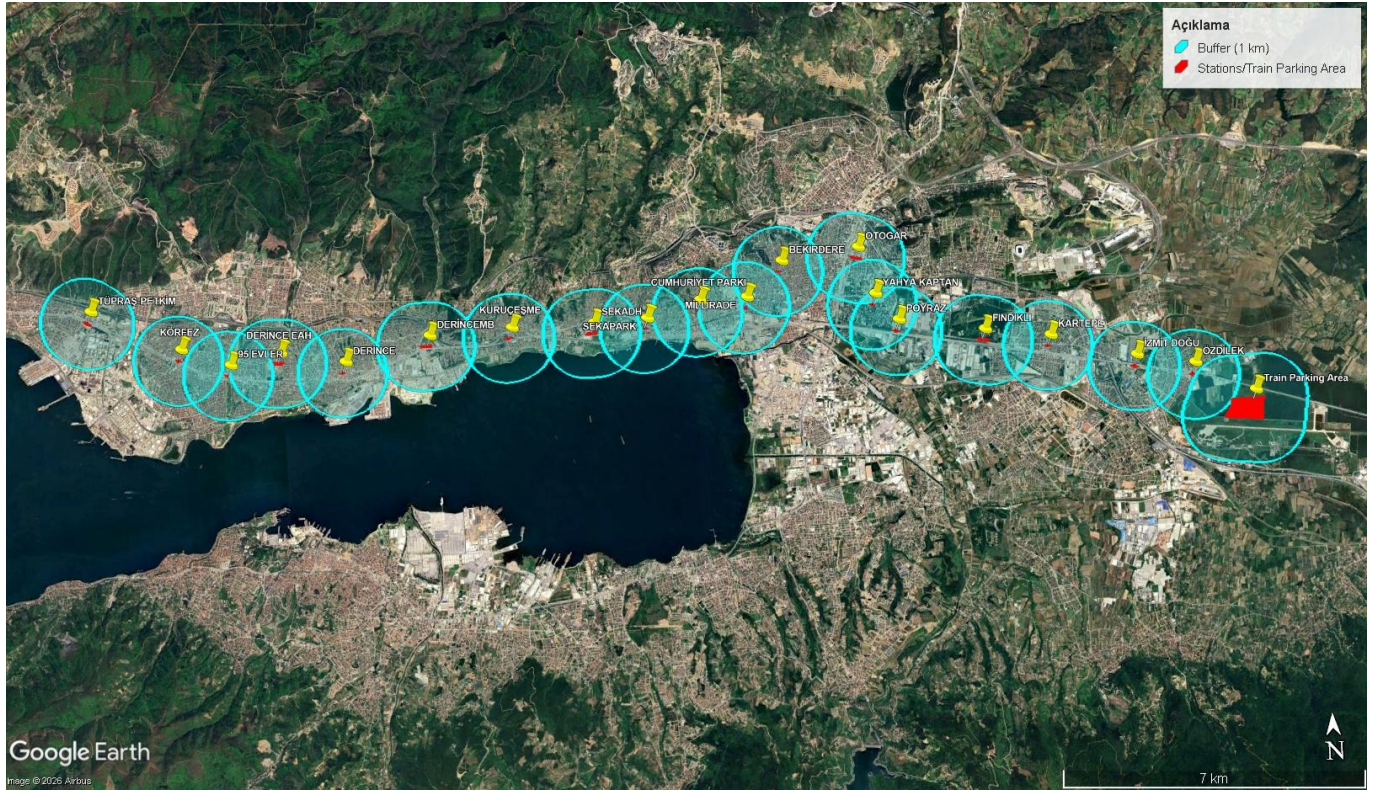
Ölçüm Yerleri	Koordinatlar (X-Y) (WGS 84)		Yerleşim / Mahalle	Alıcı Tipi	En Yakın Proje Bileşeni	En Yakın Proje Bileşenine Uzaklık (m)	Ölçüm Dönemi Sırasındaki İnşaat Faaliyetlerinin Durumu
AQ-1	40.770185°	29.760648°	Yarımca	Konut	İstasyon	5	Devam Ediyor
AQ-2	40.763685°	29.782658°	Yarımca	Konut	İstasyon	300	Faaliyet Yok
AQ-3	40.761858°	29.803863°	Sırrıpaşa	Konut	İstasyon	520	Devam Ediyor
AQ-4	40.757960°	29.815691°	Sırrıpaşa	Konut	İstasyon	280	Devam Ediyor
AQ-5	40.763279°	29.833922°	Çınarlı	Konut	İstasyon	680	Devam Ediyor
AQ-6	40.762975°	29.852489°	Çenedağ	Konut	İstasyon	75	Devam Ediyor
AQ-7	40.761993°	29.876325°	Yenimahalle	Konut	İstasyon	85	Devam Ediyor
AQ-8	40.763965°	29.897289°	Yenidoğan	Konut	İstasyon	125	Devam Ediyor
AQ-9	40.763384°	29.914775°	Kozluk	Konut	İstasyon	50	Devam Ediyor
AQ-10	40.766519°	29.926840°	Hacı Hızır	Konut	İstasyon	120	Devam Ediyor
AQ-11	40.767281°	29.941027°	Ş.Kadıköy	Konut	İstasyon	60	Devam Ediyor

Ölçüm Yerleri	Koordinatlar (X-Y) (WGS 84)		Yerleşim / Mahalle	Alıcı Tipi	En Yakın Proje Bileşeni	En Yakın Proje Bileşenine Uzaklık (m)	Ölçüm Dönemi Sırasındaki İnşaat Faaliyetlerinin Durumu
AQ-12	40.773911°	29.951435°	Mehmetalipaşa	Konut	İstasyon	15	Devam Ediyor
AQ-13	40.775732°	29.970483°	Mehmetalipaşa	Konut	İstasyon	60	Devam Ediyor
AQ-14	40.765857°	29.974336°	Mehmetalipaşa	Konut	İstasyon	150	Faaliyet Yok
AQ-15	40.764079°	29.981905°	Mehmetalipaşa	Konut	İstasyon	420	Faaliyet Yok
AQ-16	40.759442°	30.016598°	Dumlupınar	Konut	İstasyon	800	Faaliyet Yok
AQ-17	40.754528°	30.024033°	Ş.Uzunbey Kumlaçiftliği	Konut	İstasyon	30	Faaliyet Yok
AQ-18	40.747241°	30.046892°	Emekevler	Konut	İstasyon	250	Faaliyet Yok
AQ-19	40.745822°	30.062220°	Ş.Çiftlik	Konut	İstasyon	150	Faaliyet Yok
AQ-20	40.789460°	29.945728°	Ş.Gündoğdu	Konut	Kamp Alanı	360	Faaliyet Yok

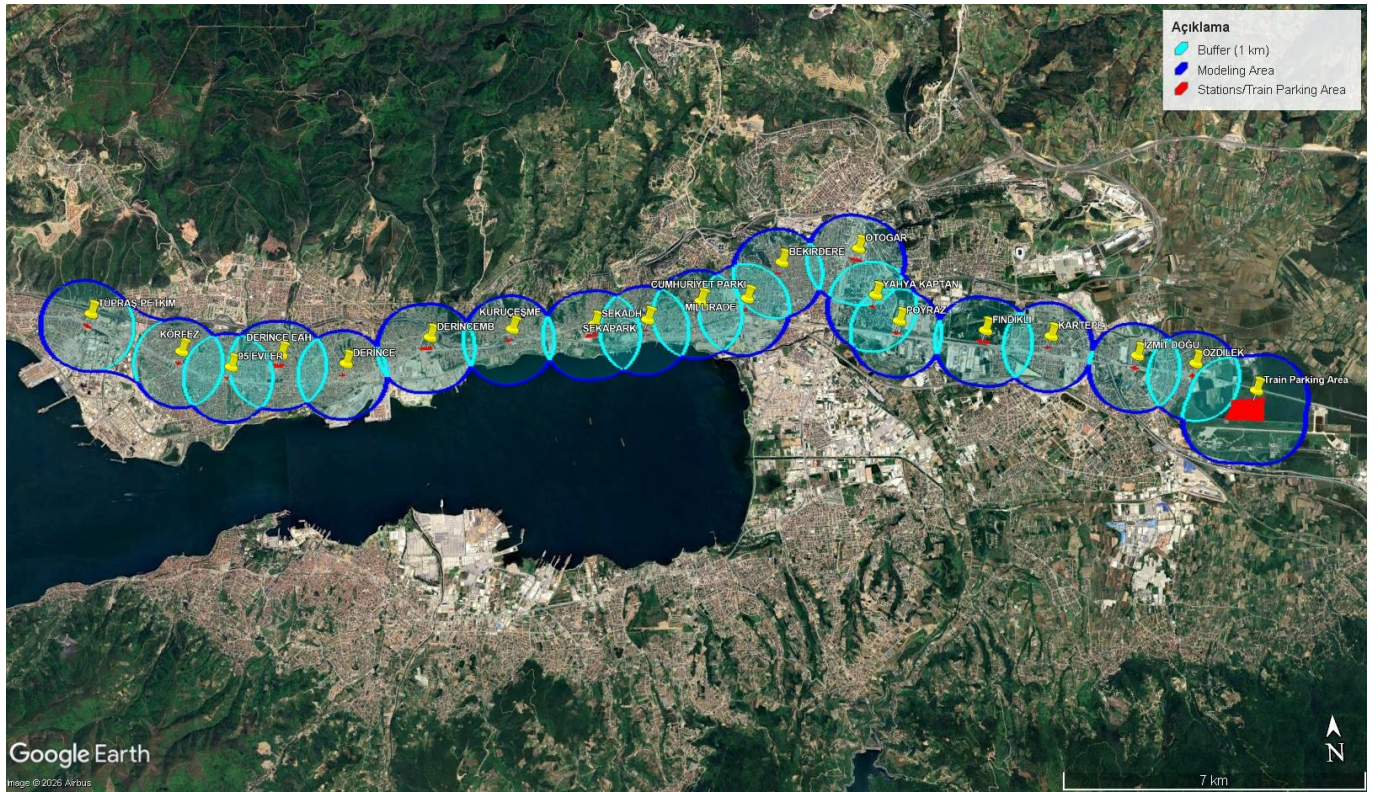
AERMOD modelinde kullanılan topoğrafik veriler, NASA tarafından geliştirilen **Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) 1 Arc-Second Global Version 3** veri setinden elde edilmiştir. Bu veri seti, yaklaşık 30 m mekânsal çözünürlüğe sahip küresel bir dijital yükseklik modeli (DEM) sunmaktadır.

Proje kapsamında gerçekleştirilen hava kalitesi modelleme çalışmalarında kullanılan topoğrafik veriler, **AERMAP arazi ön işlemcisi** aracılığıyla elde edilmiştir. Bu işlemci, her bir emisyon kaynağı ve alıcı noktası için yer kotunu ve tepe yükseklik ölçek parametrelerini hesaplamaktadır. Söz konusu parametreler, topoğrafyanın kirletici taşınımı ve dağılımı üzerindeki etkilerini dikkate almak amacıyla AERMOD hava kalitesi dağılım modeline entegre edilmiştir.

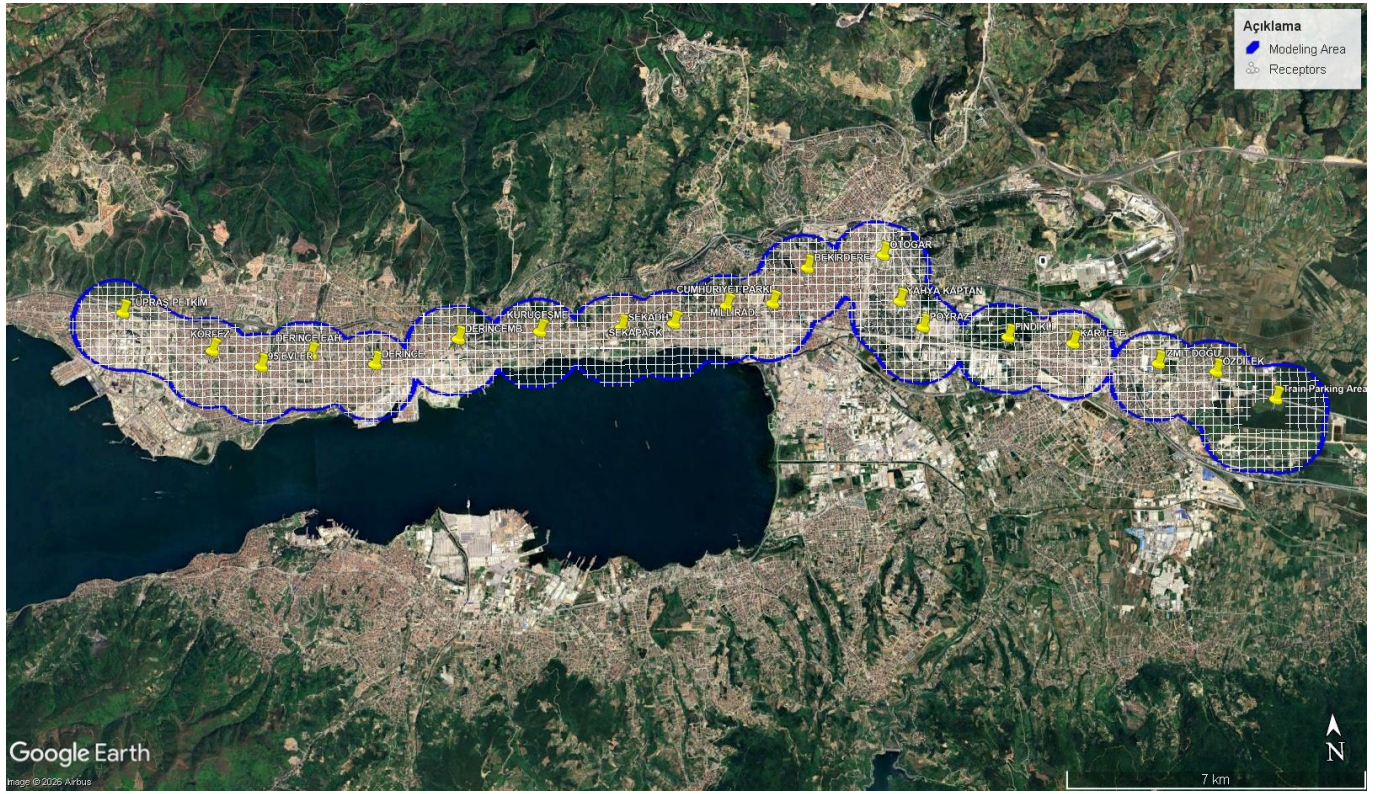
AERMAP kullanılarak işlenen Dijital Yükseklik Modeli (DEM) verileri sayesinde, proje alanı ve etki alanı içerisindeki mevcut yükselti ve eğim farklılıkları model içerisinde temsil edilmiştir. Bu doğrultuda, yerel topoğrafik koşulların hava kirleticilerinin yayılımı üzerindeki etkileri dikkate alınarak hava kalitesi üzerindeki potansiyel etkilerin daha gerçekçi bir şekilde değerlendirilmesi sağlanmıştır.



Şekil 7.27: Tesis Etki Alanı Haritası



Şekil 7.28: Modelleme Alanını Gösteren Uydü Görüntüsü



Şekil 7.29: Grid Alıcı Konumlarının Uydu Görünümü

7.1.6.2. Etki Analizi

Bu bölümde, inşaat ve işletme aşaması emisyonları analiz edilmiştir. İnşaat aşaması emisyonları, literatürden alınan emisyon faktörleri kullanılarak tüm emisyon kaynakları (Proje birimi ve geçici tesisler) modellenerek tahmin edilmiştir.

7.1.6.2.1. İnşaat Süreci

Projenin inşaat aşamasındaki ana emisyon kaynakları; kazı faaliyetleri (tüneller, depolar ve istasyonlar), beton santralleri, segment üretim tesisi ile inşaat makineleri ve taşımacılık faaliyetlerini kapsamaktadır.

İnşaat faaliyetleri sırasında özellikle kazı ve dolgu işlemlerinden kaynaklanan toz emisyonları, malzeme stoklama ve beton üretimi süreçlerine odaklanılmaktadır.

Toz emisyonlarının hesaplanmasında, Endüstriyel Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği Ek-12’de tanımlanan emisyon faktörleri (bkz. Tablo 7.34) kullanılmaktadır. Kontrolsüz emisyon faktörleri, herhangi bir azaltım tedbiri uygulanmadan gerçekleştirilen faaliyetleri temsil etmektedir. Buna karşılık kontrollü emisyon faktörleri; su püskürtme, kapalı taşıma sistemlerinin kullanımı, malzemenin nemli tutulması ve yükleme-boşaltma sırasında toz oluşumunu azaltan uygulamaların devrede olduğu durumları ifade etmektedir.

Tablo 7.34: Toz Emisyonu Tahmininde Kullanılan Emisyon Faktörleri

Emisyon Kaynağı	Emisyon Faktörleri (kg/ton)	
	Kontrolsüz Koşullar	Kontrollü Koşullar
Kazı (kg/ton)	0.025	0.0125
Yükleme (kg/ton)	0.010	0.005
Boşaltma (kg/ton)	0.010	0.005
Depolama (kg/ha.gün)	5.8	2.9
Taşıma (toplam mesafe) (kg/km-aracı)	0.7	0.35
Primer Kırma	0.243	0.0243
Sekonder Kırma	0.585	0.0585

Gaz halindeki emisyonlar, inşaat faaliyetleri sırasında ağır hizmet tipi araçların yakıt yanmasına bağlı olarak da oluşabilmektedir. Ağır hizmet tipi inşaat ekipmanlarının egzoz emisyonları, USEPA tarafından yayımlanan Emisyon Standartları Referans Rehberi’nde açıklanan emisyon standartları kullanılarak hesaplanmıştır. Bu rehbere göre, bu tür araçlardan yayılan başlıca gaz kirleticiler azot oksitler (NO_x), karbon monoksit (CO) ve metan dışı hidrokarbonlardır (NMHC) (bkz. Tablo 7.35).

Nominal Güç (kW)	NMHC (g/kW-saat)	NOx (g/kW-saat)	PM (g/kW-saat)	CO (g/kW-saat)
kW < 8	-	-	0.4	8.0
8 ≤ kW < 19	-	-	0.4	6.6
19 ≤ kW < 37	-	-	0.03	5.5
37 ≤ kW < 56	-	-	0.03	5.0
56 ≤ kW < 75	0.19	0.4	0.02	5.0
75 ≤ kW < 130	0.19	0.4	0.02	5.0
130 ≤ kW < 225	0.19	0.4	0.02	3.5
225 ≤ kW < 450	0.19	0.4	0.02	3.5
450 ≤ kW < 560	0.19	0.4	0.02	3.5
560 ≤ kW < 900	0.19	3.5	0.04	3.5
kW > 900	0.19	3.5	0.04	3.5

Tablo 7.35: Karayolu Dışı Sıkıştırma Ateşlemeli Motorlar için USEPA Emisyon Standartları

7.1.6.2.1.1. Toz Emisyonları

İnşaat faaliyetleri sırasında toz emisyonlarının kontrolü amacıyla çalışma alanına belirli periyotlarla su püskürtme işlemi uygulanacaktır; özellikle kuru ve rüzgârlı hava koşullarında bu sulama faaliyetlerinin sıklığı artırılacaktır. İnşaat faaliyetlerinden kaynaklanan toz emisyonlarının emisyon oranı, kontrollü durum için verilen emisyon faktörleri kullanılarak hesaplanmıştır.

Tünel Kazı Faaliyetlerinden Kaynaklanan Toz Emisyonları

Tünel kazı çalışmaları tünel içerisinde gerçekleştirileceğinden, doğrudan kazı sırasında belirgin bir toz emisyonu oluşması beklenmemektedir. Bununla birlikte, kazı malzemesinin vagonlarla tünel dışına taşınması ve istasyon alanlarında geçici olarak depolanması sırasında toz emisyonları meydana gelebilir.

Toplam tünel kazı hacmi (NATM + TBM) 2.446.677,57 m³ olarak belirlenmiştir. Malzeme yoğunluğunun d = 2,2 ton/m³ olduğu varsayıldığında, bu miktar 5.382.690,65 ton kazı malzemesine karşılık gelmektedir. Toplam tünel kazı miktarı Tablo 7.36'da verilmiş olup, hesaplanan toz emisyonları Tablo 7.37'de sunulmaktadır.

Tablo 7.36: İstasyon Alanı Kazı Faaliyetleri

Tünel	Hacim (m ³)	Aylık (m ³)	Günlük (m ³)	Saatlik (m ³)	Saatlik (ton) [d = 2.2 ton/m ³ kullanılmıştır]
Kazı	2,446,677.57	44,485.05	1,482.05	61.78	135.93

Tablo 7.37: Tünel Kazı Faaliyetlerinden Kaynaklanan Toz Emisyonları

Koşul	Tünel Malzemesinin Vagonlarla Boşaltılması	Geçici Depolama	Yükleme	Taşıma	Toplam (TSP)
Kontroksüz Emisyon Faktörleri	0.01 kg/ton	5.8 kg/ha- günlük	0.01 kg/ton	0.7 kg/km-vasita	
Kontrolsüz Hesaplama	135.93 ton/saat × 0.01 kg/ton = 1.36 kg/saat	5.8 kg/ha-gün × 1.000 m ² × 1 ha/10.000 m ² × 1 gün/24 saat = 0.0242 kg/saat	135.93 ton/saat × 0.01 kg/ton = 1.36 kg/saat	0.7 kg/km-aracı × 5 araç/saat × 0.1 km = 0.35 kg/saat 0.35 kg/hour	3.0942 kg/saat
Kontrollü Emisyon Faktörleri	0.005 kg/ton	2.9 kg/ha-gün	0.005 kg/ton	0.35 kg/km-aracı	
Kontrollü Hesaplama	135.93 ton/saat × 0.005 kg/ton = 0.68 kg/saat	2.9 kg/ha-gün × 1.000 m ² × 1 ha/10.000 m ² × 1 gün/24 saat = 0.0121 kg/saat	135.93 ton/saat × 0.005 kg/ton = 0.68 kg/saat	0.35 kg/km-aracı × 5 araç/saat × 0.1 km = 0.175 kg/saat	1.5471 kg/saat

İstasyon Alanlarındaki Kazı Faaliyetlerinden Kaynaklanan Toz Emisyonları

Proje kapsamında 19 istasyon sahasındaki kazı faaliyetleri sırasında toz emisyonları oluşacaktır. İstasyon sahaslarında yapılacak kazı hacimleri Tablo 7.38'de sunulmaktadır.

Tablo 7.38: İstasyon Sahalarındaki Kazı Hacimleri

İstasyon	Hacim (m ³)	Kazı Süresi ay olarak	Aylık (m ³)	Günlük (m ³)	Saatlik (m ³)	Saatlik (ton)[d = 2.2 ton/m ³ kullanılmıştır]
Tüpraş-Petkim İstasyonu	140,907.19	8	17,613.40	587.11	24.46	53.82
Körfez İstasyonu	81,688.01	6	13,614.67	453.82	18.91	41.60
95 Evler İstasyonu	94,434.87	6	15,739.15	524.64	21.86	48.09
Derince Eğitim ve Araştırma Hastanesi İstasyonu	211,619.54	12	17,634.96	587.83	24.49	53.88
Derince İstasyonu	71,506.53	6	11,917.76	397.26	16.55	36.42
Derince Millet Bahçesi	206,908.89	12	17,242.41	574.75	23.95	52.69
Kuruçeşme İstasyonu	81,302.17	6	13,550.36	451.68	18.82	41.40
SEKA Devlet Hastanesi İstasyonu	204,125.63	12	17,010.47	567.02	23.63	51.98
SEKA Park İstasyonu	84,804.61	6	14,134.10	471.14	19.63	43.19
Cumhuriyet Parkı İstasyonu	58,317.41	6	9,719.57	323.99	13.50	29.70
Milli İrade Parkı İstasyonu	118,918.10	8	14,864.76	495.49	20.65	45.42
Bekirdere İstasyonu	84,865.55	6	14,144.26	471.48	19.64	43.22
Otogar İstasyonu	207,284.60	12	17,273.72	575.79	23.99	52.78

İstasyon	Hacim (m³)	Kazı Süresi ay olarak	Aylık (m³)	Günlük (m³)	Saatlik (m³)	Saatlik (ton)[d = 2.2 ton/m³ kullanılmıştır]
Yahyakaptan İstasyonu	82,391.69	6	13,731.95	457.73	19.07	41.96
Poyraz İstasyonu	88,630.36	6	14,771.73	492.39	20.52	45.14
Fındıklı İstasyonu	202,933.39	12	16,911.12	563.70	23.49	51.67
Kartepe İstasyonu	71,284.24	6	11,880.71	396.02	16.50	36.30
İzmit Doğu İstasyonu	83,195.67	6	13,865.95	462.20	19.26	42.37
Özdilek İstasyonu	145,534.71	8	18,191.84	606.39	25.27	55.59

İstasyon kazı çalışmalarına yönelik toz emisyon hesaplamalarında; kazı, yükleme ve nakliye faaliyetlerinden kaynaklanan emisyon faktörleri dikkate alınmıştır. Tüpraş-Petkim İstasyonu için örnek hesaplama Tablo 7.39'da verilmiş olup, diğer istasyonlara ilişkin sonuçlar Tablo 7.40'ta özetlenmektedir.

Tablo 7.39: Tüpraş-Petkim İstasyonu'ndaki Kazı Faaliyetlerinden Kaynaklanan Toz Emisyonları

Durum	Kazı	Yükleme	Nakliye	Toplam (TSP)
Kontroksüz Emisyon Faktörleri	0.025 kg/ton	0.01 kg/ton	0.7 kg/km-vasita	
Kontrolsüz Hesaplama	53.82 ton/saat × 0.025 kg/ton = 1.346 kg/saat	53.82 ton/saat × 0.01 kg/ton = 0.54 kg/saat	0.7 kg/km-vasita × 2 vasita /saat × 0.1 km = 0.14 kg/h	2.026 kg/s
Kontrollü Emisyon Faktörleri	0.0125 kg/ton	0.005 kg/ton	0.35 kg/km-vehicle	
Kontrolü Hesaplama	53.82 ton/saat × 0.0125 kg/ton = 0.673 kg/saat	53.82 ton/saat × 0.005 kg/ton = 0.27 kg/s	0.35 kg/km-vasita × 2 vasita /saat × 0.1 km = 0.07 kg/s	1.013 kg/s

Tablo 7.40: İstasyon Sahalarındaki Kazı Faaliyetlerinden Kaynaklanan Toz Emisyonları

İstasyon	KontROLSÜZ TSP	KONTROLLÜ TSP
Tüpraş-Petkim İstasyonu	2.026 kg/h	1.013 kg/h
Körfez İstasyonu	1.600 kg/h	0.800 kg/h
95 Evler İstasyonu	1.822 kg/h	0.911 kg/h
Derince Eğitim ve Araştırma Hastanesi İstasyonu	2.027 kg/h	1.014 kg/h
Derince İstasyonu	1.411 kg/h	0.705 kg/h
Derince Millet Bahçesi	1.987 kg/h	0.989 kg/h
Kuruçeşme İstasyonu	1.585 kg/h	0.798 kg/h
SEKA Devlet Hastanesi İstasyonu	1.960 kg/h	0.980 kg/h
SEKA Park İstasyonu	1.650 kg/h	0.830 kg/h
Cumhuriyet Parkı İstasyonu	1.113 kg/h	0.556 kg/h
Milli İrade Parkı İstasyonu	1.726 kg/h	0.868 kg/h
Bekirdere İstasyonu	1.651 kg/h	0.830 kg/h
Otogar İstasyonu	1.990 kg/h	0.990 kg/h
Yahyakaptan İstasyonu	1.609 kg/h	0.805 kg/h
Poyraz İstasyonu	1.719 kg/h	0.864 kg/h
Fındıklı İstasyonu	1.952 kg/h	0.976 kg/h
Kartepe İstasyonu	1.408 kg/h	0.704 kg/h
İzmit Doğu İstasyonu	1.619 kg/h	0.810 kg/h
Özdilek İstasyonu	2.090 kg/h	1.045 kg/h

Tren Depolama Alanındaki Kazı Faaliyetlerinden Kaynaklanan Toz Emisyonları

Tren depolama alanında hem üst toprak kaldırma hem de kazı faaliyetleri gerçekleştirilecektir. Depolama sahasında yaklaşık 30.000 m³ üst toprağın kaldırılmasının ardından 730.000 m³ kazı yapılacaktır. Kazı hacimleri Tablo 7'de verilmiştir ve emisyon hesaplamaları aşağıda sunulmaktadır.

Tablo 7.41: Tren Depolama Alanı Kazı Faaliyetleri

Aktivite	Hacim (m³)	Kazı Süresi (Aylar)	Aylık (m³)	Günlük (m³)	Saatlik (m³)	Hacim (tons/m³)	Saatlik (tonlar)
Toprak Örtüsü Sıyırılması	30,000	1	30,000	1,000	41.67	1.5	62.5
Leke Depolama Alanı Kazısı	730,000	11	66,364	2,212.13	92.2	2.2	202.8

Tablo 7.42 Üst Toprak Kazıma (Stripping) Faaliyetlerinden Kaynaklanan Toz Emisyonları

Durum	Kazı	Yükleme	Nakliye	Toplam (TSP)
Kontrolsüz Emisyon Faktörleri	0.025 kg/ton	0.01 kg/ton	0.7 kg/km-vasita	
Kontrolsüz Hesaplama	$62.5 \text{ ton/saat} \times 0.025 \text{ kg/ton} = 1.56 \text{ kg/saat}$	$62.5 \text{ ton/saat} \times 0.01 \text{ kg/ton} = 0.625 \text{ kg/saat}$	$0.7 \text{ kg/km-vasita} \times 2 \text{ vasita saat} \times 0.1 \text{ km} = 0.14 \text{ kg/saat}$	2.325 kg/h
Kontrollü Emisyon Faktörleri	0.0125 kg/ton	0.005 kg/ton	0.35 kg/km-vasita	
Kontrollü Hesaplama	$62.5 \text{ ton/saat} \times 0.0125 \text{ kg/ton} = 0.78 \text{ kg/saat}$	$62.5 \text{ ton/saat} \times 0.005 \text{ kg/ton} = 0.3125 \text{ kg/saat}$	$0.35 \text{ kg/km-vasita} \times 2 \text{ vasita /saat} \times 0.1 \text{ km} = 0.07 \text{ kg/s}$	1.1625 kg/h

Tablo 7.43 Tren Depolama Sahasında Kazıdan Kaynaklanan Toz Emisyonları

Durum	Kazı	Yükleme	Nakliye	Toplam (TSP)
Kontrolsüz Emisyon Faktörleri	0.025 kg/ton	0.01 kg/ton	0.7 kg/km-vasita	
Kontrolsüz Hesaplama	$202.8 \text{ ton/saat} \times 0.025 \text{ kg/ton} = 5.07 \text{ kg/saat}$	$202.8 \text{ ton/saat} \times 0.01 \text{ kg/ton} = 2.028 \text{ kg/h}$	$0.7 \text{ kg/km-vasita} \times 6 \text{ vasita/saat} \times 0.2 \text{ km} = 0.84 \text{ kg/saat}$	7.938 kg/saat

Durum	Kazı	Yükleme	Nakliye	Toplam (TSP)
Kontrollü Emisyon Faktörleri	0.0125 kg/ton	0.005 kg/ton	0.35 kg/km-vasita	
Kontrollü Hesaplama	$202.8 \text{ ton/saat} \times 0.0125 \text{ kg/ton} = 2.535 \text{ kg/saat}$	$202.8 \text{ ton/saat} \times 0.005 \text{ kg/ton} = 1.014 \text{ kg/h}$	$0.35 \text{ kg/km-vehicle} \times 6 \text{ vehicles/hour} \times 0.2 \text{ km} = 0.42 \text{ kg/saat}$	3.969 kg/h

Beton Karıştırma Tesisinden Kaynaklanan Emisyonlar

Beton üretiminde toz emisyonlarının temel kaynakları agreganın transfer işlemleri ile çimento silolarının dolum faaliyetleridir. Bu kapsamda, proje için planlanan farklı kapasitelerdeki beton karıştırma tesislerine ait kontrolsüz ve kontrollü toz emisyon değerleri aşağıda sunulduğu üzere hesaplanmıştır.

Beton Karıştırma Tesis-1 (120 m³/h)

Proje için 120 m³/h kapasiteli beton karıştırma tesisinde agregaya çimento oranı 5,3 - 5,5 aralığında olacaktır. Bu nedenle tesis, saatte 209 ton agrega ve 38 ton çimento ihtiyacı duyacaktır. Söz konusu 120 m³/h kapasiteli tesise ait toz emisyon hesaplaması aşağıda detaylı olarak verilmiştir.

Tablo 7.44 Beton Karıştırma Tesis-1'den Kaynaklanan Toz Emisyonları

Faaliyet	Miktar	Kontrolsüz Emisyon Faktörleri	TSP Kontrolsüz	Kontrollü Emisyon Faktörleri	TSP Kontrollü
Çimento Silo Dolum İşlemi	38 ton/saat	0.36 kg/ton	13.68 kg/saat	0.0005 kg/ton	0.019 kg/hour
Agrega Transferi	209 ton/saat	0.0035 kg/ton	0.7315 kg/saat	0.0017 kg/ton	0.3553 kg/h
Toplam			14.4115 kg/h		0.3743 kg/h

****EPA AP-42 Bölüm 11.12 – Beton Karıştırma İşlemleri**

• Beton Karıştırma Tesis-2 (90 m³/saat)

Proje için planlanan 90 m³/saat kapasiteli beton karıştırma tesisinde agregaya çimento oranı 5,3 - 5,5 aralığında olacaktır. Bu nedenle tesis, saatte 183 ton agrega ve 33 ton çimento gerektirecektir. Söz konusu 90 m³/saat beton karıştırma tesisine ait toz emisyon hesaplaması aşağıdaki tabloda sunulmaktadır.

Tablo 7.45 Beton Karıştırma Tesisi-2 Toz Emisyonları

Faaliyet	Miktar	Kontrolsüz Emisyon Faktörü	TSP Kontrolsüz	Kontrollü Emisyon Faktörleri	TSP Kontrollü
Çimento Silo Dolum İşlemi	33 ton/saat	0.36 kg/ton	11.88 kg/saat	0.0005 kg/ton	0.0165 kg/saat
Agrega Transferi	183 ton/saat	0.0035 kg/ton	0.6405 ton/saat	0.0017 kg/ton	0.3111 ton/saat
Toplam			12.5205 ton/saat		0.3276 kg/saat

****EPA AP-42 Bölüm 11.12 (Beton Karıştırma)**

7.1.6.2.1.2. Gaz Emisyonları

Gaz halindeki emisyonlar esas olarak segment tesisinden ve inşaat aşamasında ağır hizmet araçlarının yakıt yanmasına bağlı egzoz emisyonlarından kaynaklanmaktadır.

Segment Tesisinden Kaynaklanan Emisyonlar

Seka Segment Üretim Tesisi, dört adet WESTA marka buhar kazanı ile donatılmıştır. Her bir kazan, 2.500 kg/saat buhar kapasitesi sağlamakta olup 1.500.000 kcal/saat termal çıkış gücüne sahiptir. Bu kazanlar birincil yakıt olarak doğal gaz kullanmakta olup 6 bar basınç ve 165°C sıcaklığa kadar çalışabilmektedir.

Segment tesisine ait bacaların özellikleri Tablo 7.46'da verilmiştir. Emisyon hesaplamalarında kullanılan EMEP emisyon faktörleri Tablo 7.47'de sunulmaktadır. Segment tesisinden kaynaklanan emisyonlar ise Tablo 7.48'de özetlenmektedir.

Tablo 7.46 Segment Tesisine Ait Bacaların Teknik Özellikleri

Parametre	1 No'lu Kazan Bacası	2 No'lu Kazan Bacası	3 No'lu Kazan Bacası	4 No'lu Kazan Bacası
Baca Koordinatları	4514213.04 N 491381.88 E	4514205.65 N 491433.37 E	4514129.72 N 491422.41 E	4514135.32 N 491382.32 E
Baca Yüksekliği	8.5 m	8.5 m	8.5 m	8.5 m
Baca Tepe Çapı (Çıkış)	0.6 m	0.6 m	0.6 m	0.6 m
Baca Gazı Çıkış Hızı (m/sn)	4.53	4.53	4.53	4.53
Baca Gazı Çıkış Sıcaklığı (°K)	513	513	513	513

Parametre	1 No'lu Kazan Bacası	2 No'lu Kazan Bacası	3 No'lu Kazan Bacası	4 No'lu Kazan Bacası
Baca Gazı Debisi (m ³ /saat)	1.2808	1.2808	1.2808	1.2808
Normal Koşullarda Baca Gazı Debisi (Nm ³ /saat)	2.453	2.453	2.453	2.453

Tablo 7.47 Buhar Kazanları İçin Kullanılan Emisyon Faktörleri

Hava Kirleticisi	Emisyon Faktörleri (EF)
NO _x	40 g/GJ (EMEP 1.A.4)
CO	30 g/GJ (EMEP 1.A.4)
PM	0.45 g/GJ (EMEP 1.A.4)
SO ₂	0.3 g/GJ (EMEP 1.A.4)
VOC	2 g/GJ (EMEP 1.A.4)

Tablo 7.48 Buhar Kazanlarından Kaynaklanan Emisyonlar

Hava Kirleticisi	Bir Kazan (kg/s)	Dört Kazan (kg/s)
NO _x	0.251	1.004
CO	0.188	0.753
PM	0.00282	0.0113
SO ₂	0.00188	0.00753
VOC	0.0126	0.0502

İnşaat Ekipmanlarından Kaynaklanan Emisyonlar

Proje kapsamında kullanılan inşaat ekipmanlarından, yakıt tüketimine bağlı olarak emisyonlar oluşmaktadır. İnşaat makinelerinin saatlik yakıt tüketim oranları ve çalışma saatlerine dayanarak, Proje için toplam yakıt tüketimi günlük 34.605 litre ve saatlik 1.442 litre olarak tahmin edilmiştir. Bu değer, yaklaşık olarak 1.218 kg/saat kütleli yakıt tüketimine karşılık gelmektedir.

İnşaat makinelerinden kaynaklanan egzoz emisyonları, yakıt tüketimine dayalı EMEP emisyon faktörleri kullanılarak hesaplanmıştır. Yakıtın %10 kükürt içeriğine sahip olduğu varsayımı altında elde edilen kütleli debi sonuçları Tablo 7.49'da sunulmuştur.

Table 7.49 İnşaat Ekipmanları Emisyonları

Hava Kirleticisi	Saatlik Yakıt Tüketimi	EMEP Kaynaklı Emisyon Faktörü (EF)	Emisyon
NO _x	1,218 kg/s	1.570 kg/ton	1.912 kg/s
CO	1,218 kg/s	6.019 kg/ton	7.331 kg/s
PM ₁₀	1,218 kg/s	0.098 kg/ton	0.119 kg/s
SO ₂	1,218 kg/s	0.020 kg/ton	0.024 kg/s
VOC	1,218 kg/s	0.536 g/ton	0.653 kg/s

Yakıt kükürt içeriğinin %10 olduğu varsayılmaktadır.

7.1.6.2.1.3. Toplam Toz Emisyonu

Bu projede, toz emisyon kütleli debilerinin hesaplanması Toplam Askıda Partikül (TSP) değerlerine dayanmaktadır.

Ancak TSP, yalnızca 10 mikrometreden küçük partikülleri (PM₁₀) değil, tüm partikül boyutlarını içermektedir. Eğer TSP değerleri doğrudan PM₁₀ emisyonlarını tahmin etmek için kullanılırsa, bu durum beklenenden çok daha yüksek sonuçlara yol açabilir. Bunun nedeni, kullanılan yöntemin partikül boyutları arasındaki farkı dikkate almaması ve bu nedenle TSP'nin tek başına kullanılması halinde PM₁₀ emisyonlarının olduğundan fazla tahmin edilmesidir.

Aerodinamik çapı 10 mikrometreye (PM₁₀) ve 2.5 mikrometreye (PM_{2.5}) eşit veya daha küçük partikül maddelerin konsantrasyonları, EPA AP-42 Tablo 7.50'den alınan ilgili oranlar uygulanarak Toplam Askıda Partikül (TSP) değerleri üzerinden belirlenmiştir. PM₁₀ ve PM_{2.5} için aerodinamik çap yüzdelere dayalı olarak hesaplanan kütleli debileri gösteren bu sonuçlar Tablo 7.51'de sunulmuştur.

Tablo 7.50 Aerodinamik Ekvaleant Çap Oranları

Partikül Boyutu	Kümülatif Yüzde ≤ Verilen Parçacık Boyutu
2.5 µm	15
10.0 µm	51

Reference: U.S. EPA, AP-42: Compilation of Air Pollutant Emission Factors, Appendix B.2: Generalized Particle Size Distributions.

$$PM_{10} = TSP \times 51\%$$

$$PM_{2.5} = TSP \times 15\%$$

Table 7.51 Toplam Toz Emisyonları

Faaliyet	Kontrollü TSP Toz Akış Hızı (kg/saat)	PM 10 TSP × 51% (kg/h)	PM 2.5 TSP × 15% (kg/h)
Tünel Kazısı	1.5471	0.7890	0.2321
Tüpraş-Petkim İstasyonu	1.013	0.5166	0.1520
Körfez İstasyonu	0.800	0.4080	0.1200
95 Evler İstasyonu	0.911	0.4646	0.1367
Derince Eğitim ve Araştırma Hastanesi İstasyonu	1.014	0.5171	0.1521
Derince İstasyonu	0.705	0.3596	0.1058
Derince Millet Bahçesi	0.989	0.5044	0.1484
Kuruçeşme İstasyonu	0.798	0.4070	0.1197
SEKA Devlet Hastanesi İstasyonu	0.980	0.4998	0.1470
SEKA Park İstasyonu	0.830	0.4233	0.1245
Cumhuriyet Parkı İstasyonu	0.556	0.2836	0.0834
Milli İrade Parkı İstasyonu	0.868	0.4427	0.1302
Bekirdere İstasyonu	0.830	0.4233	0.1245
Otogar İstasyonu	0.990	0.5049	0.1485
Yahyakaptan İstasyonu	0.805	0.4106	0.1208
Poyraz İstasyonu	0.864	0.4406	0.1296
Fındıklı İstasyonu	0.976	0.4978	0.1464
Kartepe İstasyonu	0.704	0.3590	0.1056

Faaliyet	Kontrollü TSP Toz Akış Hızı (kg/saat)	PM 10 TSP × 51% (kg/h)	PM 2.5 TSP × 15% (kg/h)
İzmit Doğu İstasyonu	0.810	0.4131	0.1215
Özdilek İstasyonu	1.045	0.5330	0.1568
Tren Depolama Alanında Üst Toprak Sıyırma	1.163	0.5929	0.1744
Depolama Alanı Kazısı	3.969	2,0242	0.5954
Beton Santrali-1	0.374	0.1909	0.0561
Beton Santrali-2	0.328	0.1671	0.0491
Segment Tesisi Kazanları	0.011	0.0058	0.0017
İnşaat Ekipmanları	0.012	0.0061	0.0018
Toplam	23.8918	12.18482	3.58377

Proje kapsamında tüm emisyon kaynaklarından kaynaklanan toz emisyonları yukarıda verilmiştir ve toplam emisyon (23,89 kg/saat), RCIAP Ek-2'de verilen limit değer (1 kg/saat) ile karşılaştırılmıştır. Hesaplanan toplam toz emisyonunun 1 kg/saat değerinden yüksek olması nedeniyle, toz emisyonları için hava kalitesi dağılım modelleme çalışması yapılması ve RCIAP'a uygun olarak hava kirliliğine katkı değerlerinin hesaplanması gerekmektedir.

7.1.6.2.1.4. Toplam Gaz Emisyonları

Segment tesisi kazanları ve inşaat ekipmanlarından kaynaklanan toplam gaz emisyonları aşağıda sunulmaktadır.

Tablo 7.52 Toplam Gaz Kirlletici Emisyonları

Kirlletici	Segment Tesisi Kazanları (kg/saat)	İnşaat Makinaları Emisyonları (kg/saat)	Toplam Gaz Emisyonları (kg/saat)	Türk Yönetmeliğine Göre Modelleme Gereklikliği Eşik Değeri (kg/saat)
NO _x	1.004	1.912	2.916	4
CO	0.753	7.331	8,084	50
SO ₂	0.00753	0.024	0.03153	6
VOC	0.0502	0.653	0.7032	3

İnşaat ekipmanlarından kaynaklanan her bir kirlenici emisyon miktarı, Türk Mevzuatı tarafından tanımlanan hava emisyonlarının dispersiyon modellemesi gerekliliği eşik değerinin altında kaldığından (RCIAP Ek-2'deki Tablo 2.1), bu kirleniciler için hava kalitesi modelleme çalışması yapılmamıştır.

7.1.6.2.1.5. Modelleme Çalışması Senaryoları

Bu yazılım, Proje Alanı içerisindeki potansiyel çevresel etkiyi kapsamlı bir şekilde değerlendirebilmek amacıyla, maksimum 50 kilometreye kadar kirlenici yayılımını simüle edebilmektedir.

Modelleme çalışmasının bir parçası olarak en kötü durum senaryosu oluşturulmuştur. Bu senaryo, tüm emisyon kaynaklarının aynı anda çalıştığı varsayımına dayanmakta olup, normal işletme koşulları altında oluşabilecek en yüksek emisyon seviyesini temsil etmektedir.

Bu yaklaşımın seçilmesi, proje kaynaklı etkilerin kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesini sağlamaktadır. Maksimum emisyon senaryosunun modellenmesi sayesinde, hava kalitesi üzerindeki potansiyel etkiler en yüksek düzeyde analiz edilmekte ve değerlendirme en kritik koşullar altında gerçekleştirilmektedir.

7.1.6.2.1.6. Modelleme Sonuçları

Çöken toz (settled dust), PM₁₀, PM_{2.5} ve kümülatif değerlendirmeye ilişkin modelleme sonuçları aşağıdaki bölümlerde sunulmuştur.

Çöken Toz Modelleme Sonuçları

Çöken toz parametresi için modelleme çalışmasında hesaplanan en yüksek konsantrasyonlar ile en yüksek 24 saatlik ve yıllık konsantrasyonların hesaplandığı koordinatlar Tablo 7.53'te sunulmuştur. Çalışma alanı içerisindeki konsantrasyon dağılımını gösteren yayılım haritaları (Ek A)'da yer almaktadır.

Tüm senaryolar için hesaplanan çöken toz değerlerinin RCIAP kapsamında verilen sınır değerlerin oldukça altında olduğu görülmektedir. Maksimum modellenen 24 saatlik ve yıllık çöken toz konsantrasyonları sırasıyla 88,56 mg/m²/gün ve 7,44 mg/m²/gün olarak hesaplanmıştır.

Tablo 7.53: Çöken Toz Parametresi İçin Modelleme Sonuçları

Kirlenici	Ortalama Alma Periyodu	Modelleme Sonuçları (mg/m ² /gün)	Koordinatlar(X; Y, WGS 84)	Sınır Değer (RCIAP)
Çöken Toz	24 Saat	88.56	738985.00, 4515672.00	390 mg/m ² /gün
	Yıllık	7.44	738985.00, 4515672.00	210 mg/m ² /gün

PM₁₀ Modelleme Sonuçları

PM₁₀ için hava kalitesi modelleme sonuçları, Projenin ilgili yıllık ortalama standart olan 40 µg/m³ değerine uyum sağlayacağını göstermektedir. En fazla etkilenen alıcı noktada tahmin edilen maksimum yıllık konsantrasyon 31,7

$\mu\text{g}/\text{m}^3$ 'tür. Bu durum, Proje faaliyetlerinden kaynaklanan partikül maddeye uzun vadeli maruziyetin hava kalitesi etkisi oluşturmamasının beklenmediğini göstermektedir.

Bununla birlikte, modelleme sonuçları 24 saatlik PM_{10} kriterinin ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) aşıldığını göstermekte olup, kısa vadeli hava kalitesi bozulması riski bulunduğuna işaret etmektedir. Maksimum tahmin edilen 24 saatlik konsantrasyon $185,21 \mu\text{g}/\text{m}^3$ seviyesine ulaşmaktadır. Ayrıca, 35'inci en yüksek günlük konsantrasyon $82,07 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak tahmin edilmekte olup, bu durum günlük limitin aşıldığını ve aşım olaylarının yıl içinde yalnızca tekil olaylar olmadığını, düzenli olarak meydana geldiğini göstermektedir.

Tahmin edilen aşım değerlerinin, esas olarak kazı, malzeme elleçleme ve inşaat faaliyetleri gibi toz oluşturan inşaat aktiviteleri ile ilişkili olduğu değerlendirilmektedir. Bu faaliyetler, özellikle olumsuz meteorolojik koşullar altında (ör. düşük yağış, yüksek rüzgâr hızları) kısa süreli yüksek partikül konsantrasyonları oluşturarak kısa vadeli hava kalitesi limitlerinin aşılmasına neden olabilmektedir.

Tablo 7.54 PM10 Parametresi Modelleme Sonuçları

Kirletici	Ortalama Alma Periyodu	Kriterler	Modelleme Sonuçları ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Koordinatlar (X; Y, WGS 84)	Proje Standartları ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
PM_{10}	24 Saat	1 st Maximum	185.21	748985.00, 4517872.00	50
		35 th Maksimum	82.07	759385.00, 4514472.00	
		Aşım Sayısı	83	759385.00, 4514472.00	35
		Düzenleme Eşiğini Aşan Nokta Sayısı	8 Tepe Noktası		
	Yıllık	1 st Maksimum	31.7	759385.00, 4514472.00	40

Model sonuçları ayrıca, yaygın olarak kabul edilen yıllık 35 aşım eşiğinin oldukça üzerinde olan toplam 83 aşım günü olduğunu göstermekte ve günlük sınır değerinin aşıldığı sekiz alıcı noktayı tespit etmektedir. Bu bulgular, PM_{10} etkilerinin çalışma alanı içinde mekânsal olarak dağıldığını ve çalışma alanındaki birden fazla hassas alıcıyı etkilediğini göstermektedir. Bu aşım değerleri, Tüpraş Petkim, Bekirdere, stok alanları, Kuruçeşme ve diğer istasyon lokasyonları dahil olmak üzere belirli inşaat bölgeleri ile ilişkilidir; bu da etkilerin lokalize olmakla birlikte birden fazla çalışma sahasında tekrarlayıcı nitelikte olduğunu göstermektedir (bkz. Tablo 7.55).

Tablo 7.55 24 Saatlik PM10 Tepe Değerleri (Sınır Değer Aşımaları ve Aşım Sayıları)

Aşım Sayısı	Koordinatlar		Aşım Sayısı	Koordinatlar	
	X	Y		X	Y
83	732985.00	4517072.00	3	751985.00	4516272.00
73	748985.00	4517872.00	3	758385.00	4515072.00
72	759385.00	4514472.00	3	751585.00	4516272.00
70	742785.00	4516472.00	3	732985.00	4516872.00
66	748185.00	4517072.00	3	748985.00	4517672.00
52	751185.00	4517072.00	3	759785.00	4514072.00
52	751585.00	4516472.00	2	757385.00	4515272.00
43	759385.00	4514672.00	2	751385.00	4516472.00
35	753585.00	4516272.00	2	748385.00	4517072.00
35	736185.00	4515672.00	2	740785.00	4516472.00
30	758385.00	4515272.00	2	750785.00	4518272.00
29	745785.00	4516672.00	2	758385.00	4515472.00
26	733185.00	4516872.00	2	750985.00	4517272.00
25	738985.00	4515672.00	2	758585.00	4515072.00
24	734985.00	4516072.00	2	751185.00	4516672.00
22	750985.00	4517072.00	2	759385.00	4514072.00
21	755385.00	4515872.00	2	757185.00	4515272.00
21	736385.00	4515672.00	2	737185.00	4515872.00
20	755185.00	4516072.00	2	750985.00	4516872.00
18	732785.00	4517072.00	2	737385.00	4516072.00
17	748385.00	4516872.00	1	747985.00	4517072.00

Aşım Sayısı	Koordinatlar		Aşım Sayısı	Koordinatlar	
16	751785.00	4516272.00	1	744985.00	4516472.00
15	753585.00	4516072.00	1	749185.00	4517872.00
14	751385.00	4516872.00	1	760385.00	4514072.00
12	753985.00	4516072.00	1	760385.00	4514272.00
12	759185.00	4514472.00	1	746185.00	4516472.00
11	745985.00	4516472.00	1	733385.00	4516872.00
11	759185.00	4514672.00	1	758185.00	4515472.00
10	750585.00	4518272.00	1	751985.00	4516072.00
9	737585.00	4515872.00	1	751185.00	4517872.00
9	740585.00	4516272.00	1	759385.00	4513872.00
8	754985.00	4516072.00	1	759585.00	4513872.00
8	750585.00	4518072.00	1	759785.00	4513872.00
8	760185.00	4514072.00	1	755185.00	4515672.00
8	749185.00	4517672.00	1	753785.00	4515872.00
8	755185.00	4515872.00	1	740785.00	4516072.00
8	751185.00	4516872.00	1	744585.00	4516272.00
8	759185.00	4514272.00	1	732985.00	4516672.00
7	756985.00	4515472.00	1	750785.00	4517872.00
6	738785.00	4515672.00	1	758985.00	4514672.00
5	737185.00	4516072.00	1	758185.00	4515272.00
5	751785.00	4516472.00	1	736985.00	4516072.00
5	737385.00	4515872.00	1	750785.00	4517072.00
5	744385.00	4516472.00	1	750385.00	4518272.00

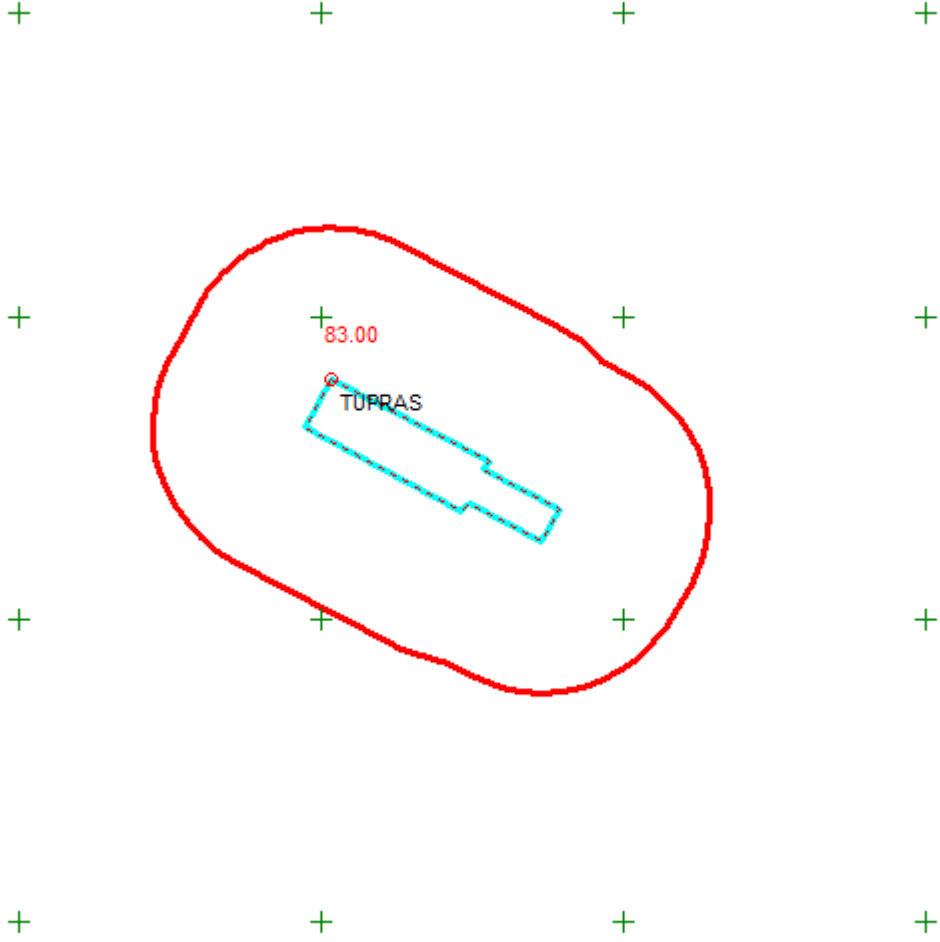
Aşım Sayısı	Koordinatlar		Aşım Sayısı	Koordinatlar	
5	746985.00	4516872.00	1	754985.00	4515872.00
5	759985.00	4514072.00	1	757385.00	4515472.00
4	748185.00	4516872.00	1	759185.00	4514872.00
4	758785.00	4515272.00	1	759385.00	4514872.00
4	759585.00	4514072.00	1	759585.00	4514872.00
3	750985.00	4517872.00	1	756985.00	4515672.00
3	753385.00	4516272.00			

Tablo 7.56, düzenleyici sınır değerini (35'ten fazla aşım) aşan veya bu değere eşit olan tepe noktaların bulunduğu inşaat çalışma alanlarını sunmaktadır. Ayrıca, Şekil 7.30 ile Şekil 7.38 arasındaki şekiller, bu tepe noktalarının inşaat çalışma alanlarına göre konumlarını göstermektedir. Bu şekillerde kırmızı alan, inşaat faaliyetlerinin planlandığı lokasyonun etrafında 100 metrelik yarıçapı temsil etmektedir.

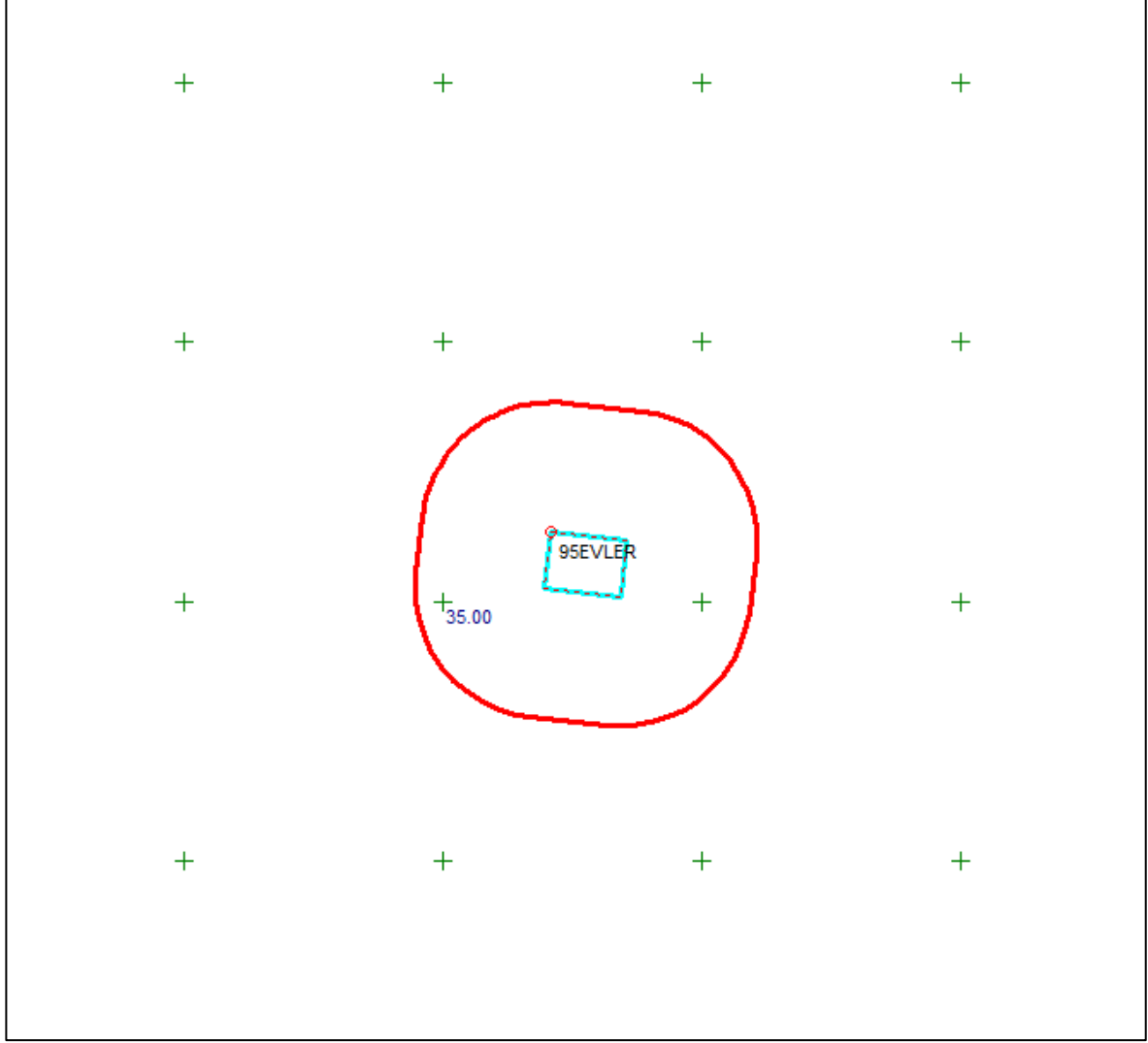
Tablo 7.56 24 Saatlik PM10 Limit Değerlerini Aşan En Yüksek Değerlerin Görüldüğü İnşaat Çalışma Alanları

Aşım Sayısı	Koordinatlar		İlişkili İnşaat Sahası
	X	Y	
83	732985.00	4517072.00	Tüpraş Petkim
73	748985.00	4517872.00	Bekirdere
72	759385.00	4514472.00	Train Storage Area
70	742785.00	4516472.00	Kuruçeşme
66	748185.00	4517072.00	Milliirade
52	751185.00	4517072.00	Yahyakaptan
52	751585.00	4516472.00	Poyraz
43	759385.00	4514672.00	Train Storage Area
35	753585.00	4516272.00	Fındıklı

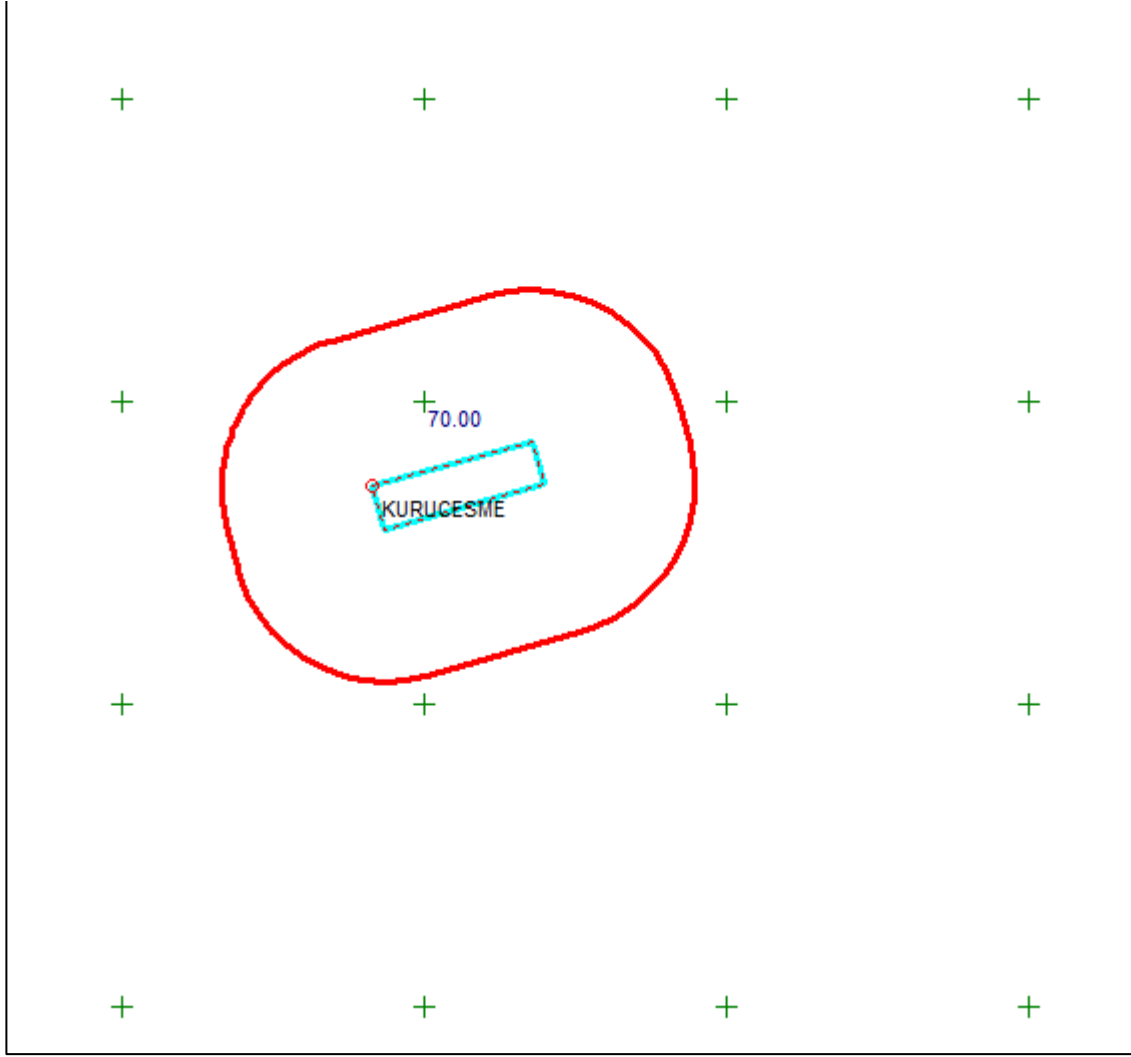
Aşım Sayısı	Koordinatlar		İlişkili İnşaat Sahası
35	736185.00	4515672.00	95 Evler



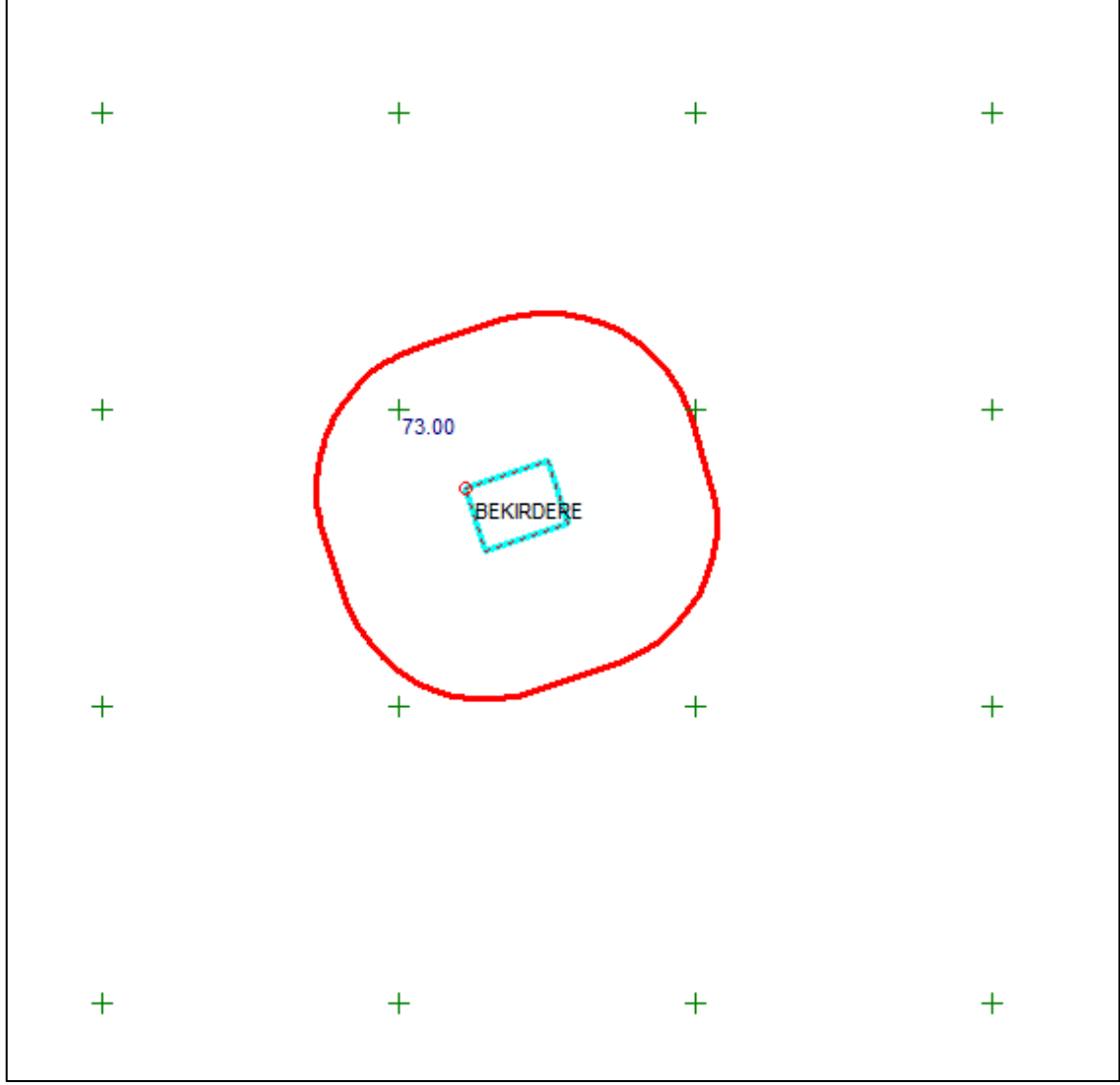
Şekil 7.30: Tüpraş-Petkim Çalışma Alanı Civarında Gözlemlenen Aşım Noktası



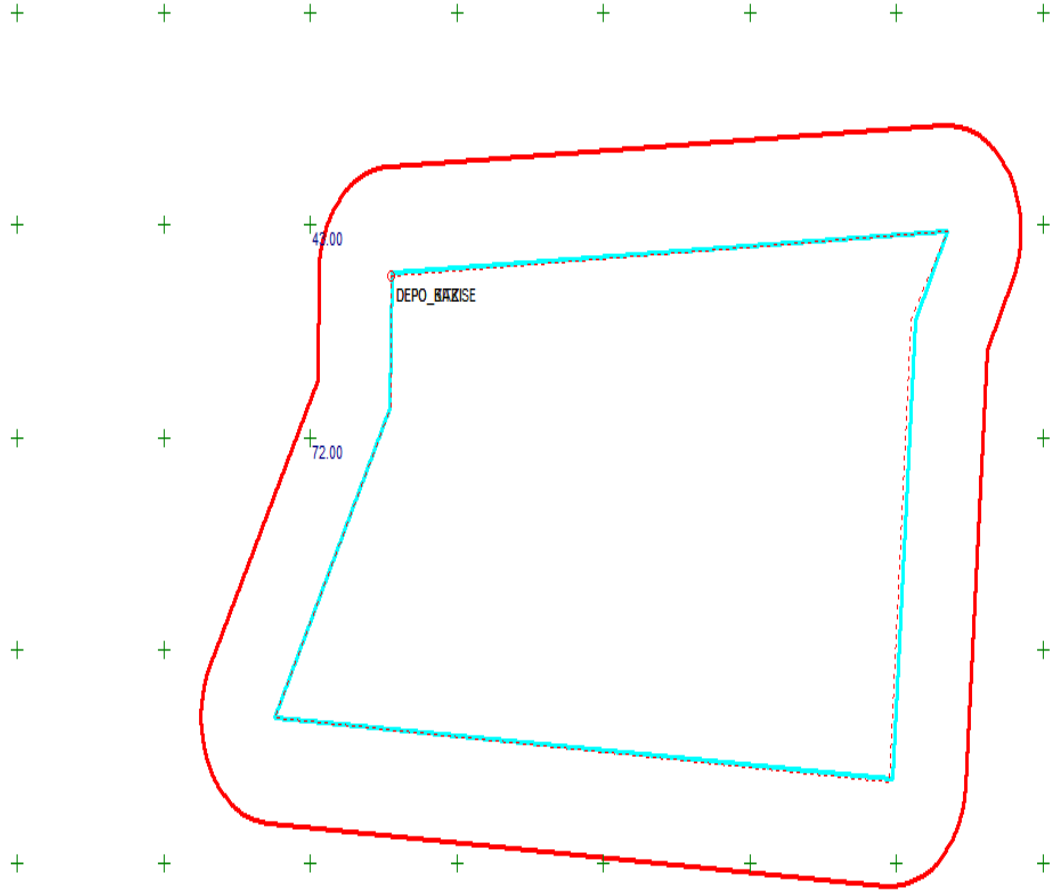
Şekil 7.31: 95Evler Çalışma Alanı Civarında Gözlemlenen Aşım Noktası



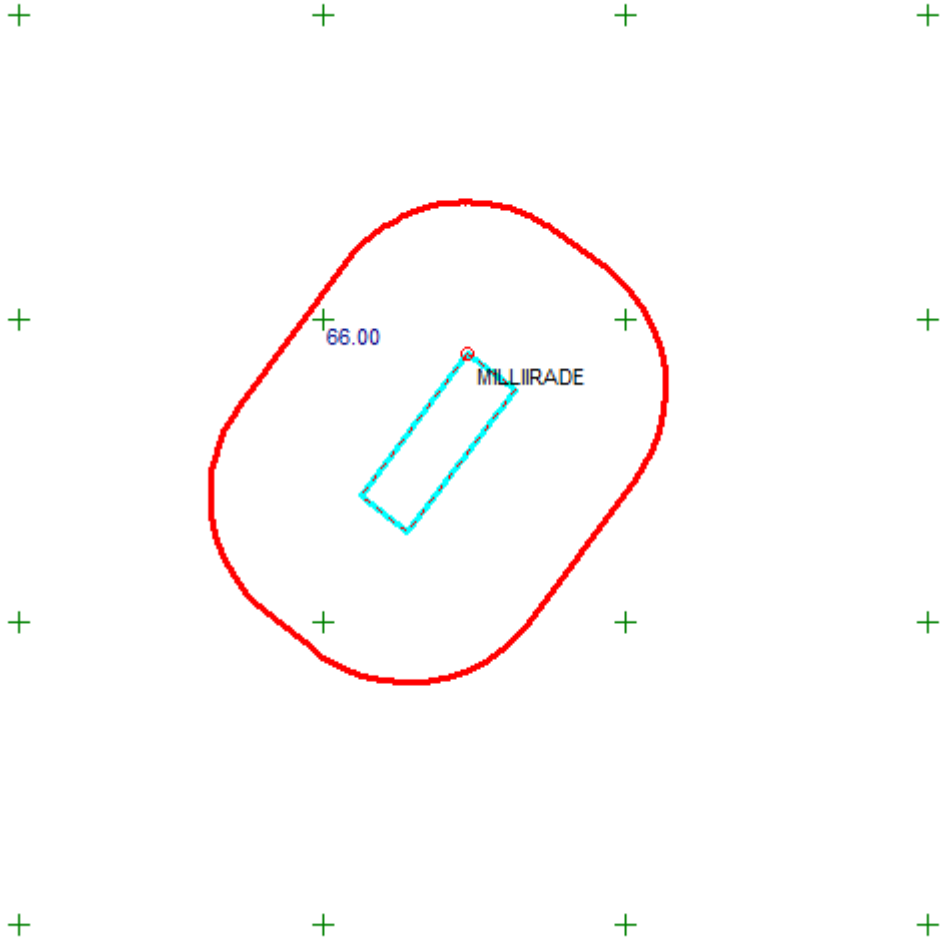
Şekil 7.32: Kuruçeşme Çalışma Alanı Civarında Gözlemlenen Aşım Noktası



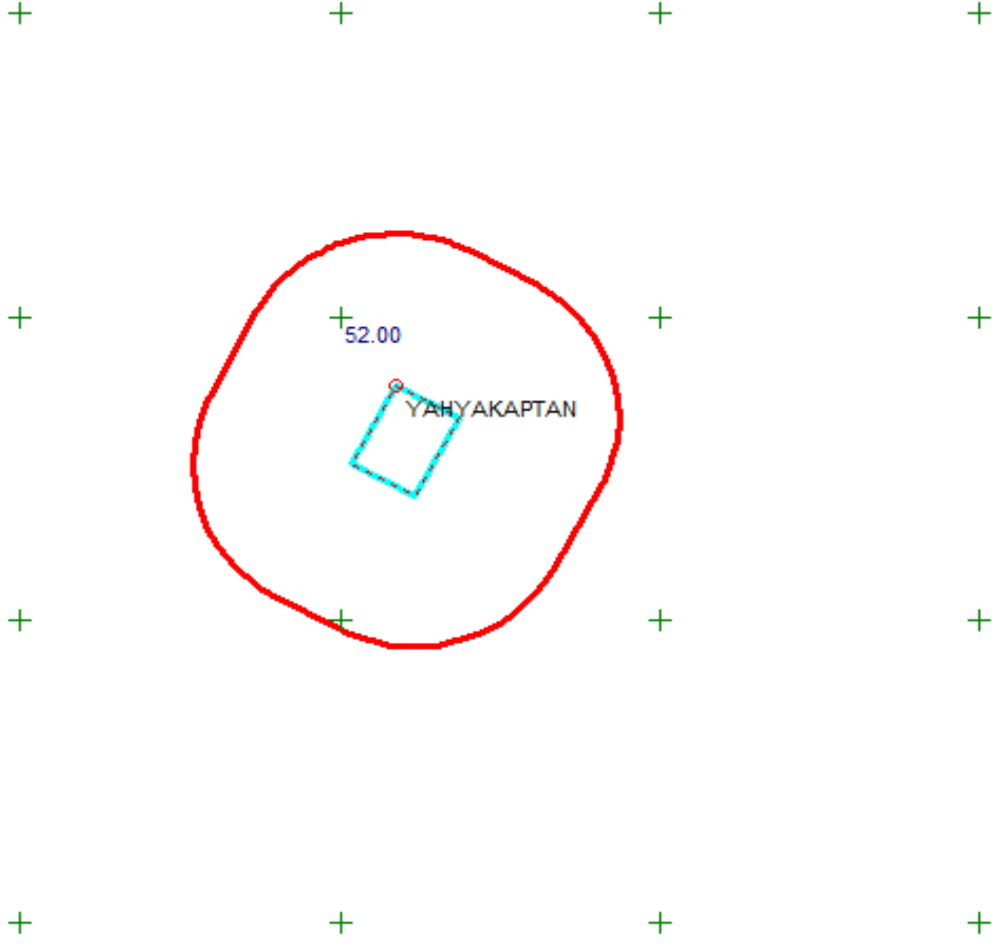
Şekil 7.33: Bekirdere Çalışma Alanı Civarında Gözlemlenen Aşım Noktası



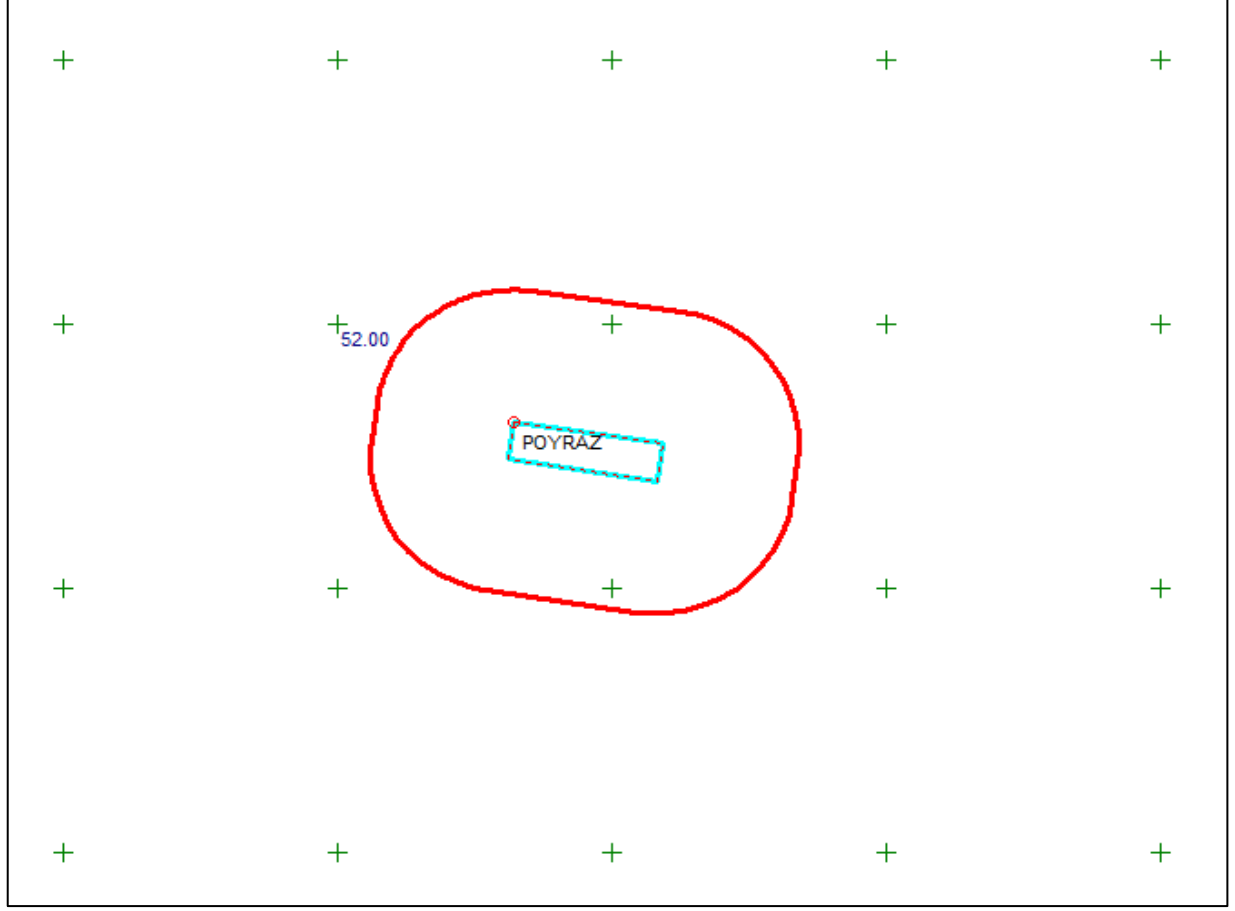
Şekil 7.34: Tren Depolama Alanı Civarında Gözlemlenen Aşım Noktaları



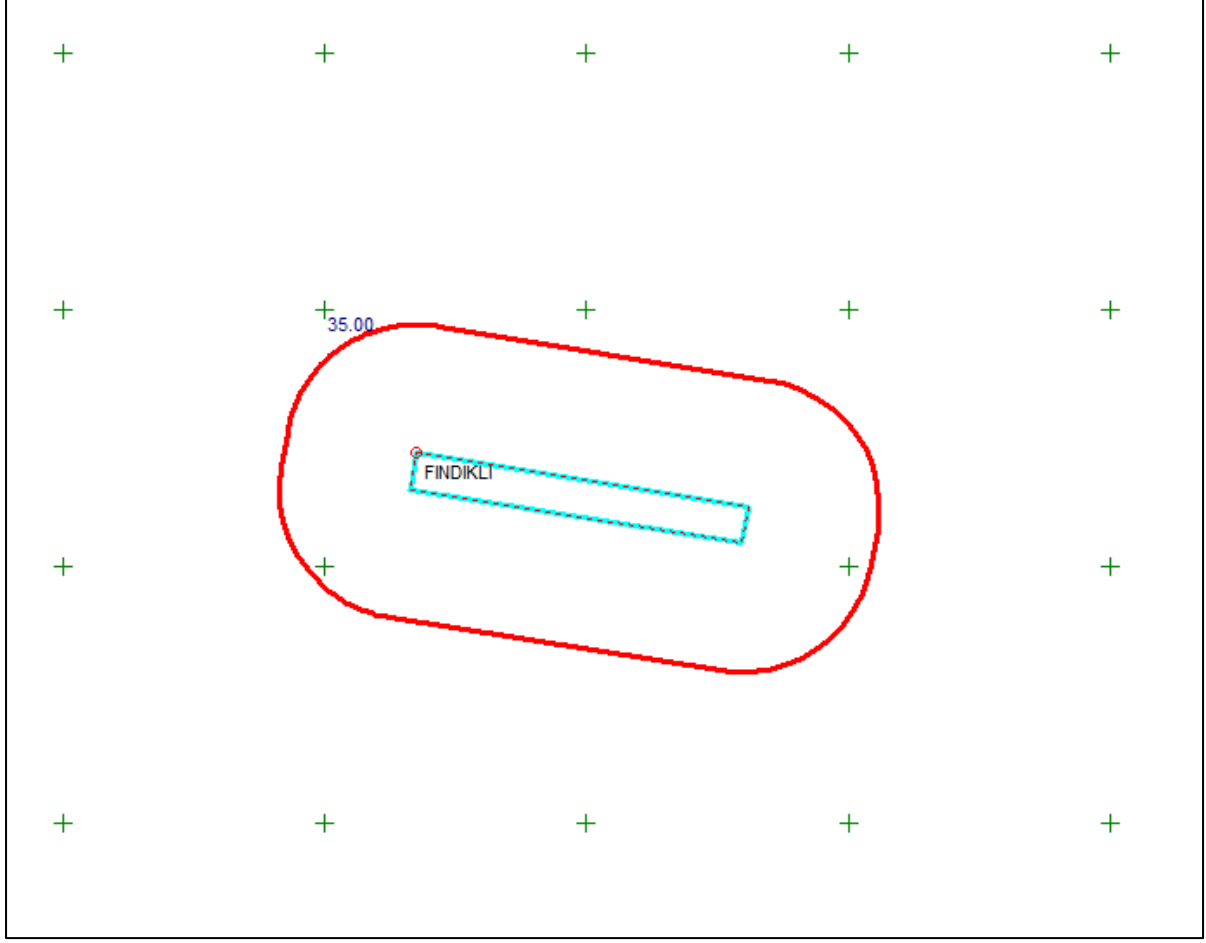
Şekil 7.35: Milli İrade Çalışma Alanı Civarında Gözlemlenen Aşım Noktası



Şekil 7.36: Yahyakaptan Çalışma Alanı Civarında Gözlemlenen Aşım Noktası



Şekil 7.37: Poyraz Çalışma Alanı Yakınında Gözlenen Aşım Noktası



Şekil 7.38: Fındıklı Çalışma Alanı Yakınında Gözlenen Aşım Noktası

Şekillerden görüldüğü üzere, tüm aşım noktaları inşaat alanlarının yaklaşık 100 m yarıçapı içerisinde yer almaktadır. Bu bağlamda, etkili toz kontrol önlemlerinin uygulanması halinde toz emisyonları önlenebilir ve böylece hava kalitesinin korunması sağlanabilir.

Genel olarak sonuçlar, uzun vadeli PM_{10} maruziyetinin kabul edilebilir sınırlar içinde kaldığını göstermektedir; ancak Proje, özellikle yoğun inşaat dönemlerinde ve olumsuz meteorolojik koşullar altında, kısa süreli pik konsantrasyonlar oluşturarak uygunsuzluk ve rahatsızlık etkilerine yol açabilir.

Modellemenin ihtiyatlı bir en kötü durum senaryosunu temsil ettiği ve gerçek $PM_{2.5}$ konsantrasyonlarının, aşamalı inşaat uygulamaları, faaliyetlerin zamansal dağılımı ve azaltım tedbirlerinin uygulanması nedeniyle daha düşük olmasının beklendiği belirtilmelidir.

Bununla birlikte, bulgular kısa vadeli etkilerin azaltılması ve ilgili standartlara uyumun sağlanması için etkili toz yönetimi tedbirlerinin gerekliliğini ortaya koymaktadır.

$PM_{2.5}$ Modellemesi Sonuçları

Modelleme sonuçları, Projenin yıllık $PM_{2.5}$ limit değerlerine uyum sağlayacağını göstermektedir. Maksimum tahmin edilen yıllık konsantrasyon $9,78 \mu g/m^3$ olup Proje Standartlarının altındadır. Bu durum, ince partikül maddeye yönelik uzun vadeli maruziyetin kabul edilebilir seviyelerde olduğunu göstermektedir.

Tablo 7.57: PM_{2.5} Parametresi için Modelleme Sonuçları

Kirletici	Ortalama Alma Periyodu	Kriter	Modelleme Sonuçları (µg/m ³)	Koordinatlar (X; Y, WGS 84)	Proje Standartları (µg/m ³)
PM _{2.5}	24 Saat	1st Maximum	62.13	748985.00, 4517872.00	
	Yıllık	1st Maximum	9.78	759385.00, 4514472.00	20

Hassas Alıcılarda Modellemenin Kümülatif Değerlendirilmesi

PM₁₀, PM_{2.5} ve çöken toz parametrelerine ilişkin yıllık ve 24 saatlik model sonuçları, hassas alıcı noktalarında elde edilerek Tablo 7.58 ve Tablo 7.59'da sunulmuştur. Tabloda görüldüğü üzere, hassas alıcılardaki model tahminleri ilgili Proje Standartları ile uyumludur. Diğer bir ifadeyle, Proje faaliyetlerinin hassas alıcılar üzerindeki etkileri kabul edilebilir seviyede olup ilgili sınır değerlerin altındadır.

20 temsilci alıcı noktasında gerçekleştirilen hava kalitesi ölçümleri, özellikle mevcut ulaşım koridorları ve kentsel faaliyet alanlarına yakın bölgelerde, bazı izleme noktalarında temel PM₁₀ ve PM_{2.5} konsantrasyonlarının halihazırda yürürlükteki sınır değerleri aştığını göstermektedir.

Projenin en kötü durum etkilerini değerlendirmek amacıyla, maksimum arka plan ölçüm sonuçları, dispersiyon modelleme çalışmasından elde edilen maksimum modellenmiş konsantrasyonlarla muhafazakâr bir şekilde birleştirilmiş ve Toplam Kirlilik Seviyeleri (CPL) hesaplanmıştır. Bu yaklaşımda, inşaat faaliyetlerinin halihazırda devam ettiği lokasyonlarda dahi modellenmiş katkılar eklenmiş ve kümülatif etkiler en ihtiyatlı varsayımlar altında değerlendirilmiştir.

Birleşik değerlendirme, PM₁₀ ve PM_{2.5} için hem yıllık hem de 24 saatlik sınır değer aşımının çok sayıda alıcı noktasında gerçekleştiğini göstermektedir. Yıllık PM₁₀ sınır değerleri birçok noktada (ör. AQ-1, AQ-6, AQ-7, AQ-10, AQ-11, AQ-12, AQ-13, AQ-14 ve AQ-17) aşılmaktadır. Benzer şekilde, 24 saatlik PM₁₀ ve PM_{2.5} sınır değerleri de kümülatif koşullar altında çeşitli alıcı noktalarında aşılmaktadır.

Bu muhafazakâr (en kötü durum) yaklaşım, potansiyel etkilerin olduğundan düşük tahmin edilmemesini sağlamak amacıyla bilinçli olarak uygulanmaktadır. Bu çerçevede sonuçlar, Proje'nin yakın hassas alıcı noktalarındaki toplam kirlilik seviyesine katkısının sınırlı ve lokalize olduğunu göstermektedir; özellikle proje alanında zaten yüksek arka plan konsantrasyonlarının mevcut olduğu dikkate alındığında.

Bulgular ayrıca, daha yüksek modellenmiş konsantrasyonların öngörüldüğü alanların genellikle aktif inşaat bölgelerine yakın lokasyonlarla örtüştüğünü göstermektedir. Bu nedenle etkilerin, inşaat faaliyetlerinin hemen çevresi (yaklaşık 100 m) ile sınırlı ve geçici nitelikte olması beklenmektedir.

İnşaat faaliyetlerinin aşamalı ve eş zamanlı olmayan yapısı dikkate alındığında, gerçek maruziyet koşullarının en kötü durum varsayımlarına kıyasla daha düşük olması beklenmektedir. Bununla birlikte, sonuçlar daha yüksek modellenen etkilerin görüldüğü alanlarda hedefe yönelik azaltım tedbirlerinin önemini ortaya koymaktadır.

Bu doğrultuda, özellikle daha yüksek modellenmiş konsantrasyonların tespit edildiği lokasyonlarda sahaya özgü toz bastırma tedbirleri uygulanacaktır.

Tablo 7.58: Kümülatif Değerlendirme Sonuçları – Yıllık

Ölçüm Noktası	Ölçüm Lokasyonu Detayları			Sonuçlar ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)						Sonuçlar ($\text{mg}/\text{m}^2 \cdot \text{day}$)		
	Koordinatlar (X-Y) (WGS 84)		Yerleşim / Mahalle	PM ₁₀			PM _{2.5}			Çöken Toz		
				BMR*	AMMC*	CPL**	BM R	AMM C	CP L	BM R	AMM C	CPL
AQ-1	40.770185 °	29.760648 °	Yarımca	36.30	13.39	49.69	25.80	3.68	29.48	276.00	3.86	279.86
AQ-2	40.763685 °	29.782658 °	Yarımca	12.10	2.39	14.49	14.10	0.83	14.93	66.40	0.36	66.76
AQ-3	40.761858 °	29.803863 °	Sırrıpaşa	17.50	2.22	19.72	7.59	0.79	8.38	30.20	0.35	30.55
AQ-4	40.757960 °	29.815691 °	Sırrıpaşa	16.40	7.67	24.07	13.70	2.42	16.12	38.40	1.43	39.83

Ölçüm Nokta sı	Ölçüm Lokasyonu Detayları			Sonuçlar (µg/m³)						Sonuçlar (mg/m²·day)		
	Koordinatlar (X-Y) (WGS 84)		Yerleşim / Mahalle	PM ₁₀			PM _{2.5}			Çöken Toz		
				BMR *	AMMC* *	CPL** *	BM R	AMM C	CP L	BM R	AMM C	CPL
AQ-5	40.763279 °	29.833922 °	Çınarlı	6.32	0.33	6.65	6.00	0.12	6.12	54.20	0.06	54.26
AQ-6	40.762975 °	29.852489 °	Çenedağ	53.50	33.32	86.82	64.90	9.52	74.4 2	131.0 0	6.34	137.3 4
AQ-7	40.761993 °	29.876325 °	Yenimahalle	83.20	7.51	90.71	64.10	2.25	66.3 5	126.0 0	1.93	127.9 3
AQ-8	40.763965 °	29.897289 °	Yenidoğan	45.90	26.34	72.24	28.00	7.99	35.9 9	115.0 0	4.31	119.3 1
AQ-9	40.763384 °	29.914775 °	Kozluk	21.50	8.29	29.79	18.10	2.41	20.5 1	39.90	2.55	42.45

Ölçüm Nokta sı	Ölçüm Lokasyonu Detayları			Sonuçlar (µg/m³)						Sonuçlar (mg/m²·day)		
	Koordinatlar (X-Y) (WGS 84)		Yerleşim / Mahalle	PM ₁₀			PM _{2.5}			Çöken Toz		
				BMR *	AMMC* *	CPL** *	BM R	AMM C	CP L	BM R	AMM C	CPL
AQ-10	40.766519 °	29.926840 °	Hacı Hızır	78.60	7.72	86.32	75.90	2.53	78.4 3	61.80	1.27	63.07
AQ-11	40.767281 °	29.941027 °	Kadıköy	77.50	20.72	98.22	65.80	6.12	71.9 2	65.60	4.27	69.87
AQ-12	40.773911 °	29.951435 °	Mehmetalipa şa	64.00	16.16	80.16	38.30	4.72	43.0 2	34.20	4.68	38.88
AQ-13	40.775732 °	29.970483 °	Mehmetalipa şa	151.00	32.33	183.33	72.80	9.22	82.0 2	293.0 0	7.36	300.3 6

Ölçüm Noktası	Ölçüm Lokasyonu Detayları			Sonuçlar (µg/m³)						Sonuçlar (mg/m²·day)		
	Koordinatlar (X-Y) (WGS 84)		Yerleşim / Mahalle	PM ₁₀			PM _{2.5}			Çöken Toz		
				BMR*	AMMC*	CPL**	BM R	AMM C	CP L	BM R	AMM C	CPL
AQ-14	40.765857 °	29.974336 °	Mehmetalipaşa	36.30	19.35	55.65	20.20	5.81	26.0 1	65.40	3.24	68.64
AQ-15	40.764079 °	29.981905 °	Mehmetalipaşa	20.10	4.03	24.13	12.30	1.57	13.8 7	36.80	0.39	37.19
AQ-16	40.759442 °	30.016598 °	Dumlupınar	10.10	3.10	13.20	6.00	1.23	7:23	36.20	0.27	36.47
AQ-17	40.754528 °	30.024033 °	Ş.Uzunbey Kumlaçiftliği	59.40	18.94	78.34	18.60	5.41	24.0 1	38.60	6.52	45.12

Ölçüm Noktası	Ölçüm Lokasyonu Detayları			Sonuçlar (µg/m³)						Sonuçlar (mg/m²·day)		
	Koordinatlar (X-Y) (WGS 84)		Yerleşim / Mahalle	PM ₁₀			PM _{2.5}			Çöken Toz		
				BMR*	AMMC*	CPL**	BM R	AMM C	CP L	BM R	AMM C	CPL
AQ-18	40.747241 °	30.046892 °	Emeköyler	15.56	5.31	20.87	6.00	1.88	7.88	35.50	0.63	36.13
AQ-19	40.745822 °	30.062220 °	Ş. Çiftlik	21.00	10.01	31.01	10.50	3.38	13.88	44.10	1.27	45.37
AQ-20	40.789460 °	29.945728 °	Ş. Gündoğdu	27.10	0.03	27.13	16.40	0.01	16.41	36.40	0.01	36.41
Çevresel Hava Kalitesi Sınır Değerleri				40			20			210		

- **BMR (Maksimum Arka Plan Ölçüm Sonuçları)**
- **24HMMC (24 Saatlik Maksimum Modelleştirilmiş Konsantrasyon)**
(Ölçüm noktalarında dispersiyon modeli tarafından tahmin edilen en yüksek kirlenici değeri.)
- **CPL (Kümülatif Kirlilik Seviyesi)**
(BMR ve MMC toplamı)

Tablo 7.59 Modelleme Sonuçlarının Kümülatif Değerlendirmesi – 24 Saatlik

Yerleşim / Mahalle	Ölçüm Lokasyonu Detayları			Sonuçlar (µg/m³)						Sonuçlar (mg/m²·day)		
	Koordinatlar (X-Y) (WGS 84)		Yerleşim / Mahalle	PM ₁₀			PM _{2.5}			Çöken Toz		
				BM R*	24-Hour Averaged **	CPL* **	BM R	24HM MC	CP L	BM R	24HM MC	CP L
AQ-1	40.77018 5°	29.76064 8°	Yarımca	36.30	84.69	120.99	25.80	20.35	46.15	276.00	20.92	296.92
AQ-2	40.76368 5°	29.78265 8°	Yarımca	12.10	13.85	25.95	14.10	4.62	18.72	66.40	2.47	68.87
AQ-3	40.76185 8°	29.80386 3°	Sırrıpaşa	17.50	9.95	27.45	7.59	3.88	11.47	30.20	1.50	31.70
AQ-4	40.75796 0°	29.81569 1°	Sırrıpaşa	16.40	35.09	51.49	13.70	10.68	24.38	38.40	6.39	44.79

Yerleşim / Mahalle	Ölçüm Lokasyonu Detayları			Sonuçlar (µg/m³)						Sonuçlar (mg/m²·day)		
	Koordinatlar (X-Y) (WGS 84)		Yerleşim / Mahalle	PM ₁₀			PM _{2.5}			Çöken Toz		
				BM R*	24-Hour Averaged **	CPL* **	BM R	24HM MC	CP L	BM R	24HM MC	CP L
AQ-5	40.76327 9°	29.83392 2°	Çınarlı	6.32	2.91	9.23	6.00	1.01	7.01	54.20	0.33	54.53
AQ-6	40.76297 5°	29.85248 9°	Çenedağ	53.50	115.38	168.88	64.90	29.50	94.40	131.00	23.45	154.45
AQ-7	40.76199 3°	29.87632 5°	Yenimahalle	83.20	61.71	144.91	64.10	17.04	81.14	126.00	13.00	139.00
AQ-8	40.76396 5°	29.89728 9°	Yenidoğan	45.90	107.55	153.45	28.00	30.59	58.59	115.00	17.03	132.03
AQ-9	40.76338 4°	29.91477 5°	Kozluk	21.50	94.19	115.69	18.10	26.23	44.33	39.90	22.27	62.17

Yerleşim / Mahalle	Ölçüm Lokasyonu Detayları			Sonuçlar (µg/m³)						Sonuçlar (mg/m²·day)		
	Koordinatlar (X-Y) (WGS 84)		Yerleşim / Mahalle	PM ₁₀			PM _{2.5}			Çöken Toz		
				BM R*	24-Hour Averaged **	CPL* **	BM R	24HM MC	CP L	BM R	24HM MC	CP L
AQ-10	40.766519°	29.926840°	Hacı Hızır	78.60	57.29	135.89	75.90	20.26	96.16	61.80	6.80	68.60
AQ-11	40.767281°	29.941027°	Kadıköy	77.50	108.15	185.65	65.80	29.99	95.79	65.60	20.55	86.15
AQ-12	40.773911°	29.951435°	Mehmetalip aşı	64.00	122.79	186.79	38.30	35.77	74.07	34.20	36.28	70.48
AQ-13	40.775732°	29.970483°	Mehmetalipaş aa	151.00	102.21	253.21	72.80	28.10	100.90	293.00	24.28	317.28

Yerleşim / Mahalle	Ölçüm Lokasyonu Detayları			Sonuçlar (µg/m³)						Sonuçlar (mg/m²·day)		
	Koordinatlar (X-Y) (WGS 84)		Yerleşim / Mahalle	PM ₁₀			PM _{2.5}			Çöken Toz		
				BM R*	24-Hour Averaged **	CPL* **	BM R	24HM MC	CP L	BM R	24HM MC	CP L
AQ-14	40.765857°	29.974336°	Mehmetalip aş	36.30	121.63	157.93	20.20	33.51	53.71	65.40	20.47	85.87
AQ-15	40.764079°	29.981905°	Mehmetalip aş	20.10	31.34	51.44	12.30	11.59	23.89	36.80	2.22	39.02
AQ-16	40.759442°	30.016598°	Dumlupınar	10.10	19.04	29.14	6.00	7.68	13.68	36.20	1.35	37.55
AQ-17	40.754528°	30.024033°	Ş.Uzunbey Kumlaçiftliği	59.40	150.05	209.45	18.60	43.10	61.70	38.60	47.69	86.29

Yerleşim / Mahalle	Ölçüm Lokasyonu Detayları			Sonuçlar (µg/m³)						Sonuçlar (mg/m²·day)		
	Koordinatlar (X-Y) (WGS 84)		Yerleşim / Mahalle	PM ₁₀			PM _{2.5}			Çöken Toz		
				BM R*	24-Hour Averaged **	CPL* **	BM R	24HM MC	CP L	BM R	24HM MC	CP L
AQ-18	40.747241°	30.046892°	Emekevler	15.56	59.93	75.49	6:00	19.16	25.16	35.50	6.42	41.92
AQ-19	40.745822°	30.062220°	Ş.Çiftlik	21.00	102.83	123.83	10.50	12/31	41.62	44.10	10.05	54.15
AQ-20	40.789460°	29.945728°	Ş. Gündoğdu	27.10	0.24	27.34	16.40	0.07	16.47	36.40	0.09	36.49
Arka Plan Ortam Hava Kalitesi Limitleri				50			-			390		

- **BMR (Maksimum Arka Plan Ölçüm Sonuçları)**
- **24HMMC (24 Saatlik Maksimum Modelleştirilmiş Konsantrasyon)**
(Ölçüm noktalarında dispersiyon modeli tarafından tahmin edilen en yüksek kirletici değeri.)
- **CPL (Kümülatif Kirlilik Seviyesi)**
(BMR ve MMC toplamı)

7.1.6.2.2. İşletme Safahatı

İşletme aşamasında Proje, tamamen elektrikli trenlerle işletilecektir ve hat boyunca yerinde yakıt yanmasına veya doğrudan emisyon oluşturan herhangi bir proses gerçekleşmeyecektir. Bu nedenle, Proje kapsamında önemli düzeyde işletme kaynaklı hava emisyonlarının (ör. PM, NO_x, SO₂, CO) oluşması beklenmemektedir. Dizel tabanlı geleneksel ulaşım sistemleri ile karşılaştırıldığında, elektrikli raylı sistemlerin kullanımı gaz emisyonlarını ortadan kaldırmakta ve yerel hava kalitesi açısından belirgin bir avantaj sağlamaktadır.

İşletme sırasında hava kalitesi üzerindeki potansiyel etkilerin sınırlı olması ve esas olarak şu kaynaklarla ilişkili bulunması beklenmektedir: (i) tünel ve istasyon ortamları; burada ray-tekerlek etkileşimi ve fren sistemlerinin aşınmasına bağlı partikül madde oluşumu ve (ii) havalandırma sistemi çıkışları ile küçük ölçekli bakım faaliyetleri. Bununla birlikte, bu emisyonlar kontrollü alanlarla sınırlıdır ve uygun şekilde tasarlanmış mekanik havalandırma sistemleri ile etkin biçimde yönetilecektir. Ayrıca rejeneratif frenleme gibi modern teknolojilerin kullanımı, partikül oluşumunu ve toplam enerji tüketimini daha da azaltacaktır.

Havalandırma sistemleri, ilgili ulusal mevzuat ve uluslararası iyi uygulamalar doğrultusunda tasarlanacak ve işletilecek olup, kirleticilerin yeterli seyreltilmesini ve kontrollü deşarjını sağlayacaktır. Bu nedenle, hassas alıcı noktalarında işletme aşamasında hava kalitesinde önemli bir bozulma beklenmemektedir.

Doğrudan emisyonların yok denecek kadar az olmasına ek olarak, Projenin yerel hava kalitesine olumlu katkı sağlaması beklenmektedir. Özel araçlar ve otobüslerden elektrikli metro sistemine geçiş (mod değişimi), Proje alanında trafik sıkışıklığını ve buna bağlı araç emisyonlarını zaman içinde azaltacaktır. Bu faydanın büyüklüğü yolcu talebine ve kentsel ulaşım dinamiklerine bağlı olmakla birlikte, bölgesel hava kalitesi üzerinde ikincil ve dolaylı bir olumlu etki oluşturmaktadır.

Genel olarak, işletme aşamasındaki hava kalitesi etkileri olumsuz etkiler açısından ihmal edilebilir düzeyde değerlendirilmekte olup, kent ölçeğinde trafik kaynaklı emisyonların azalması nedeniyle sınırlı düzeyde pozitif katkı beklenmektedir.

7.1.6.2.3. Söküm ve Kapatma Aşaması

Projenin söküm ve kapatma aşamasında, inşaat aşamalarında listelenen etkiler dışında yeni bir etkinin ortaya çıkması beklenmemektedir.

7.1.6.3. Azaltım Tedbirleri

- İlgili azaltım tedbirleri özellikle aktif inşaat sahaları çevresinde titizlikle uygulanacaktır:
- Hassas bölgelerde artırılmış toz bastırma (0–100 m):
- Hassas alıcıların (ör. AQ-6, AQ-7, AQ-10, AQ-11, AQ-12, AQ-13) yaklaşık 100 m çevresinde yer alan tüm inşaat alanlarında sürekli veya yüksek frekanslı su püskürtme uygulanacaktır. Kuru ve rüzgârlı koşullarda uygulama sıklığı artırılacaktır.
- Sıcak nokta (hotspot) odaklı yoğunlaştırılmış kontrol:
- Modelleme sonucunda yüksek konsantrasyon öngörülen alanlarda:
- Sulama sıklığı artırılacaktır (günde 2–3 kez)
- Ek toz bariyerleri/perdeleri kurulacaktır
- Yüksek emisyonlu faaliyetler gerektiğinde yeniden planlanacak veya geçici olarak sınırlandırılacaktır

- Kazı ve yükleme alanlarının kısmi kapatılması:
- Yerleşim alanlarına yakın kazı çukurları ve malzeme elleçleme alanları, yatay toz yayılımını sınırlamak için geçici kaplamalar (toz perdeleri, brandalar) ile donatılacaktır.
- Stok sahası yönetimi:
- Stok miktarları ve süreleri azaltılacaktır; uzun süreli veya kullanılmayan stoklar örtülecek ve düzenli olarak nemlendirilecektir.
- Sıkı araç yönetim tedbirleri:
- Hız limitleri (≤ 20 km/s) uygulanacaktır
- Araçların rölantide çalışması minimize edilecektir
- Taşıma güzergâhları optimize edilerek gereksiz hareketler azaltılacaktır
- Kapalı taşıma uygulaması:
- Kazı malzemesi ve agregaları taşıyan tüm kamyonlar kapalı olacaktır ve yükleme/boşaltma sırasında düşme yükseklikleri azaltılacaktır.
- Tekerlek yıkama ve yol temizliği:
- Şantiye çıkışlarında tekerlek yıkama sistemleri kurulacak ve çevredeki yollar düzenli olarak temizlenecektir (su püskürtme/vakumlu süpürme), böylece toz taşınımı önlenecektir.
- Tünel malzeme elleçleme kontrolleri:
- Kazı malzemesi tünel çıkışlarından hızlı şekilde uzaklaştırılacak ve geçici depolama süreleri azaltılarak ikincil toz oluşumu engellenecektir.
- Beton santrali ve segment tesisi kontrolleri:
- Kapalı agrega ve çimento sistemleri kullanılacaktır
- Yüksek verimli torba filtreler kurulacak ve bakım yapılacaktır
- Tesis sınırlarında periyodik emisyon izleme yapılacaktır
- Düşük emisyonlu ekipman kullanımı:
- Tüm inşaat makineleri yüksek emisyon standartlarına (Euro V/VI veya eşdeğeri) uygun olacak ve düzenli bakımları sağlanacaktır.
- Gerçek zamanlı / periyodik hava kalitesi izleme:
- Seçilen hassas alıcı noktalarında (özellikle sıcak noktalar) PM_{10} ve $PM_{2.5}$ konsantrasyonları izlenecektir.
- Uyarlanabilir yönetim yaklaşımı:
- İzleme sonuçları sürekli değerlendirilecek ve gerektiğinde ek ekipman veya revize çalışma yöntemleri gibi sahaya özgü düzeltici faaliyetler uygulanacaktır.

- Aşamalı inşaat planlaması:
- Yüksek emisyonlu faaliyetlerin aynı anda komşu alanlarda yürütülmesi önlenerek kümülatif etkiler azaltılacaktır (en kötü senaryo modellemesine kıyasla).
- Topluluk geri bildirim mekanizması:
- Yakın çevrede yaşayan topluluklardan gelen toz şikâyetlerine hızlı yanıt verilmesini sağlamak amacıyla bir şikâyet mekanizması uygulanacaktır.

7.1.6.4. Kalıcı Etkiler

7.1.6.4.1. İnşaat Aşaması

Projenin inşaat aşamasına ilişkin hava kalitesi etkileri Tablo 7.60'ta sunulan matris içerisinde değerlendirilmiştir. Matrisin gösterdiği üzere, inşaat faaliyetlerinden kaynaklanan hava kalitesi etkileri, azaltım tedbirlerinin uygulanmasının ardından yakın çevredeki topluluklar üzerinde düşük düzeyde artık etki oluşturmaktadır.

Tablo 7.60: İnşaat Aşaması Hava Kalitesi Etki Matrisi

Etki Faktörü	Etki Faktörü Özellikleri	Bileşen Hassasiyeti	Etkinin Tersine Çevrilebilirliği	Etki Değeri	Mitigasyon Etkinliği	Kalan Etki Değeri	Etki Faktörü
Toz Emisyonu	Süre	Uzun	Çok Yüksek	Kısa Dönem	Düşük	Orta	Düşük
	Sıklık	Sık Sık					
	Coğrafi Kapsam	Yerel					
	Intensity:	Yüksek					
Gaz Emisyonu	Süre	Uzun	Çok Yüksek	Kısa Dönem	Düşük	Orta	Düşük
	Sıklık	Sık Sık					
	Coğrafi Kapsam	Yerel					
	Intensity:	Düşük					

7.1.6.4.2. İşletme Aşaması

İşletme aşamasında Proje, tamamen elektrikli trenlerle işletilecektir ve güzergâh boyunca yerinde yakıt yanmasına veya doğrudan emisyon üreten herhangi bir proses gerçekleşmeyecektir. Bu nedenle, Proje ölçeğinde önemli bir işletme kaynaklı hava kirleticisi emisyonu (örn. PM, NO_x, SO₂, CO) oluşması beklenmemektedir.

7.1.6.4.3. Söküm ve Kapatma Aşaması

Proje'nin hizmetten çıkarma ve kapanış aşamasında, azaltım tedbirleri uygulandıktan sonra, inşaat aşamasında belirtilen etkiler dışında yeni bir etkinin ortaya çıkması beklenmemektedir.

7.1.6.5. İzleme

Referans Noktalarında İzleme:

PM₁₀ ve PM_{2.5} dahil olmak üzere ortam hava kalitesi ölçümleri, tüm aktif inşaat alanları çevresinde belirlenen referans izleme noktalarında aylık olarak gerçekleştirilecektir. Her izleme kampanyasında ölçümler en az üç ardışık gün boyunca yapılacaktır. Ayrıca, çöken toz (settled dust) ölçümleri de tüm aktif inşaat alanları çevresinde aylık olarak gerçekleştirilecektir.

Şikâyet Bazlı İzleme:

Toz ile ilgili şikâyet alınması durumunda, şikâyetin geldiği lokasyonda en az üç ardışık gün boyunca PM₁₀ ve PM_{2.5} konsantrasyonlarını ölçmek üzere ilave izleme yapılacaktır.

Görsel Denetim ve Rutin Kontrol:

Saha personeli tarafından günlük görsel denetimler yapılacak ve toz oluşumu gözlemlendiğinde gerekli azaltım tedbirleri derhal uygulanacaktır.

Uyarlanabilir İzleme:

Özellikle yoğun inşaat faaliyetlerinin bulunduğu veya tekrarlayan şikâyetlerin geldiği alanlarda, izleme lokasyonları ve sıklığı gerektiğinde revize edilebilecektir.

Tüm izleme sonuçları ve gözlemler, inceleme ve denetim amaçları için kayıt altına alınacak ve muhafaza edilecektir.

İzleme sonuçları, ihtiyatlı modelleme çıktıları ile birlikte değerlendirilerek saha koşullarının kontrol altında olduğu ve en kötü senaryo tahminlerinin altında kaldığı doğrulanacaktır.

7.1.7. Sera Gazı Etkisi (GHG) Emisyon

Bu bölüm, Proje faaliyetlerinden kaynaklanması beklenen sera gazı (GHG) emisyonlarının hesaplanmasını ve değerlendirilmesini ve Proje'nin iklim değişikliğine katkısını sunmaktadır.

Bu değerlendirmede kullanılan sera gazı emisyonu tahmin yöntemleri, genel olarak Çevresel Değerlendirmelerin yürütülmesine ilişkin uluslararası kabul görmüş uygulamaları takip etmektedir. Uygun olduğu durumlarda, Dünya Sürdürülebilir Kalkınma İş Konseyi / Dünya Kaynakları Enstitüsü tarafından hazırlanan Sera Gazı Protokolü / Kurumsal Muhasebe ve Raporlama Standardı (Nisan 2004; bundan sonra "GHG Protokolü" olarak anılacaktır) uygulanmaktadır.

GHG Protokolü, kurumsal sera gazı envanterlerinin hazırlanmasına yönelik rehberlik sağlamakta olup, sera gazı emisyonlarının tahmin edilmesinde kullanılabilecek sektör bazlı ve genel hesaplama araçlarını da içermektedir. GHG Protokolü, Küresel Raporlama Girişimi (Global Reporting Initiative) tarafından da benimsenmiştir.

GHG Protokolü, sera gazı envanteri kapsamında doğrudan ve dolaylı emisyonları üç ana kapsam altında tanımlamaktadır:

- **Kapsam 1 – Doğrudan sera gazı emisyonları:** Proje tarafından sahip olunan veya kontrol edilen kaynaklardan kaynaklanan karbon emisyonlarıdır (örneğin, sahip olunan veya kontrol edilen kazanlar, fırınlar ve araçlarda gerçekleşen yanma emisyonları ile proses ve kaçak emisyonlar).
- **Kapsam 2 – Dolaylı sera gazı emisyonları:** Proje tarafından tüketilen satın alınmış elektrik, ısı veya buharın üretiminden kaynaklanan karbon emisyonlarıdır.
- **Kapsam 3 – Diğer dolaylı sera gazı emisyonları:** Bir şirketin faaliyetlerinin sonucu olan ancak şirketin finansal veya operasyonel kontrolü altında olmayan kaynaklardan ortaya çıkan karbon emisyonlarıdır (örneğin, atık kaynaklı emisyonlar, satın alınan malzemelerin çıkarılması ve üretimi ile çalışanların işe gidip gelme emisyonları).

GHG Protokolü yalnızca Kapsam 1 (sahadan doğrudan emisyonlar) ve Kapsam 2 (satın alınan enerji kaynaklı emisyonlar) emisyonlarının raporlanmasını gerektirmektedir. Kapsam 1 ve Kapsam 2 emisyonları genellikle kurumsal envanterlerin ana odağını oluşturmaktadır; ancak birçok kuruluş çalışan seyahati ve atıklardan kaynaklanan aşağı yönlü emisyonlar gibi diğer faaliyetleri de hesaplamaktadır. Bu kaynaklar Kapsam 3 (dolaylı) emisyonlar olarak sınıflandırılmakta ve isteğe bağlı olarak raporlanmaktadır.

Proje operasyonlarının niteliği göz önüne alındığında, Kapsam 1 emisyonlarının en önemli emisyonlar olacağı değerlendirilmektedir. Bu nedenle sera gazı envanterinde öncelikli olarak Kapsam 1 emisyonlarına odaklanılmıştır. Ayrıca, Proje ömrü boyunca beklenen elektrik tüketimi dikkate alınarak Kapsam 2 emisyonları da tahmin edilmiştir. Kapsam 3 emisyonlarının ise önemli düzeyde olması beklenmediğinden bu hesaplamalara dahil edilmemiştir.

7.1.7.1. Yasal Çerçeve

İklim değişikliği, başlıca enerji kullanımı, endüstriyel süreçler ve arazi kullanım değişiklikleri gibi insan faaliyetlerinin sonucu olan küresel bir olgudur. Çok boyutlu yapısı nedeniyle iklim değişikliği ile mücadele, uluslararası, bölgesel ve yerel düzeyler gibi farklı ölçeklerde eylemler gerektirmektedir. Bu bölüm, iklim değişikliğine ilişkin yasal çerçeveyi bu kapsamda özetlemektedir.

7.1.7.1.1. Uluslararası Standartlar

İklim değişikliği ile ilgili başlıca uluslararası kuruluş, 1992 Rio Dünya Zirvesi'nde kabul edilen ve 195 ülke tarafından onaylanan Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'dir (UNFCCC). UNFCCC, ülkelerin iklim değişikliği ile mücadele ve etkilerine uyum sağlama konusunda iş birliği yapmalarına rehberlik etmektedir. Halihazırda, Kyoto Protokolü'nün 2013–2020 dönemini kapsayan Doha Değişikliği'nin onaylanması Türkiye'nin gündemindedir. Paris Anlaşması ise Türkiye tarafından onaylanmış olup, Türkiye Büyük Millet Meclisi tarafından kabul edilen Paris Anlaşmasının Onaylanmasının Uygun Bulunduğuna Dair Kanun, 7 Ekim 2021 tarihli ve 31621 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir.

IFC Performans Standardı 3'e (PS3) göre, müşteri (proje sahibi), proje ile ilişkili sera gazı (GHG) emisyonlarını azaltmak amacıyla tasarım ve işletme aşamalarında teknik ve finansal olarak uygulanabilir ve maliyet etkin alternatifleri değerlendirmeli ve uygulamalıdır. Bu seçenekler; proje için alternatif yer seçimi, yenilenebilir veya düşük karbonlu enerji kaynaklarının benimsenmesi, sürdürülebilir tarım, ormancılık ve hayvancılık uygulamaları, kaçak emisyonların azaltılması ve gaz yakmanın (flaring) azaltılmasını içerebilir, ancak bunlarla sınırlı değildir.

Yıllık 25.000 ton CO₂ eşdeğeri üzerinde emisyon üretmesi beklenen veya üreten projelerde, müşteri; proje sınırları içerisinde sahip olunan veya kontrol edilen tesislerden kaynaklanan doğrudan emisyonları ve proje tarafından kullanılan enerjinin tesis dışı üretiminden kaynaklanan dolaylı emisyonları hesaplayacaktır. Sera gazı emisyonlarının nicelendirilmesi, uluslararası kabul görmüş metodolojiler ve iyi uygulamalar doğrultusunda yıllık olarak gerçekleştirilecektir.

EP2'ye göre, sera gazı emisyonları, projeler, kurumlar ve yargı bölgeleri arasında karşılaştırılabilirlik ve toplulaştırma sağlamak amacıyla GHG Protokolü ile uyumlu şekilde hesaplanmalıdır. Müşteriler, GHG Protokolü ile uyumlu olması koşuluyla ulusal raporlama metodolojilerini de kullanabilir. Müşteri, Kapsam 1 ve Kapsam 2 emisyonlarını hesaplayacaktır.

EPFI, işletme aşamasında yıllık 100.000 ton CO₂ eşdeğeri üzerinde emisyon üreten projelerde, müşteriden Kapsam 1 ve Kapsam 2 emisyonlarını ve uygun durumlarda sera gazı verimlilik oranını kamuya açık şekilde yıllık olarak raporlamasını talep edecektir. 25.000 ton üzeri emisyon üreten projelerde de kamu raporlaması teşvik edilmektedir. Kamu raporlama yükümlülüğü; ev sahibi ülke mevzuatı, çevresel etki değerlendirme raporları veya Karbon Saydamlık Projesi (CDP) gibi gönüllü raporlama mekanizmaları aracılığıyla karşılanabilir; yeter ki bu raporlamalar proje düzeyinde emisyonları içersin.

7.1.7.1.2. Avrupa Direktifleri

AB, iklim değişikliği ile mücadelede küresel ölçekte öncü bir rol üstlenmektedir. 1990 yılından bu yana AB; sera gazı emisyonları, yenilenebilir enerji ve enerji verimliliğine ilişkin çok sayıda mevzuat geliştirmiştir. Yıllar içerisinde uygulanan ve gözden geçirilen AB çapında bir iklim politikası çerçevesi oluşturulmuştur. Bu nedenle, iklim değişikliği ve sera gazı emisyonlarına ilişkin AB mevzuatı da Proje kapsamında dikkate alınmaktadır.

7.1.7.1.3. Türk Mevzuatı

Türkiye'nin iklim politikası; **İklim Değişikliği Uyum Stratejisi ve Eylem Planı (2024–2030)** ile **İklim Değişikliği Azaltım Stratejisi ve Eylem Planı (2024–2030)** tarafından şekillendirilmektedir. Ayrıca **12. Kalkınma Planı (2024–2028)**, sera gazı emisyonlarının azaltılmasına ve iklim değişikliğine uyum faaliyetlerinin güçlendirilmesine vurgu yapmaktadır. Plan, düşük karbonlu büyüme ve yeşil ekonomi yaklaşımı çerçevesinde doğal kaynakların sürdürülebilir yönetimini de ön plana çıkarmaktadır.

Tablo 7.61, iklim değişikliği ve sera gazı emisyonlarına ilişkin Türk mevzuatını listelemektedir.

Tablo 7.61 Türk Mevzuatı - İklim Değişikliği ve Sera Gazı (GHG) Emisyonları

Tarih	Sayı	Başlık
28.12.2003	25330	Yeni Binek Otomobillerinin Yakıt Tüketimi ve CO ₂ Emisyonları Konusunda Müşteri Bilgilendirilmesine Dair Yönetmelik
09.10.2013	28790	Gönüllü Karbon Piyasası Proje Kayıt Tebliği
17.05.2014	29003	Sera Gazı Emisyonlarının İzlenmesine İlişkin Yönetmelik
22.07.2014	29068	Sera Gazı Emisyonlarının İzlenmesi ve Raporlanması Hakkında Tebliğ
02.12.2017	30258	Sera Gazı Emisyon Raporlarının Doğrulanması ve Doğrulayıcı Kuruluşların Akreditasyonu Hakkında Tebliğ
15.10.2024	32693	Florlu Sera Gazları Hakkında Yönetmelik

Sera Gazı Emisyonlarının İzlenmesine İlişkin Yönetmelik, sera gazı emisyonlarının izlenmesi, hesaplanması, doğrulanması ve raporlanmasına ilişkin usul ve esasları tanımlamayı amaçlamaktadır. Yönetmeliğin Ek-1 bölümünde, bu Yönetmeliğe tabi olan ve Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından oluşturulan sera gazı mekanizması kapsamında emisyonlarını izlemek, raporlamak ve doğrulamakla yükümlü projeler yer almaktadır.

Metro projeleri, Ek-1'de belirtilen proje türleri arasında yer almadığından, bu Proje söz konusu Yönetmelik kapsamında değildir.

7.1.7.2. Sera Gazı Emisyon Hesaplama Metodolojisi

Aşağıdaki bölümler, Proje'nin yıllık sera gazı (GHG) emisyonlarını tahmin etmek için kullanılan emisyon hesaplama yöntemlerini, girdi parametrelerini ve varsayımları özetlemektedir.

Değerlendirmede dikkate alınan sera gazları; Karbondioksit (CO₂), Metan (CH₄) ve Diazot Oksit (N₂O)'dur. Proje faaliyetlerinin Kükürt hekzaflorür (SF₆), Perflorokarbonlar (PFC'ler) veya Hidroflorokarbonlar (HFC'ler) salımı yapması beklenmediğinden, bu bileşikler sera gazı değerlendirmesine dahil edilmemiştir. Proje'nin inşaat, işletme ve kapanış aşamalarında sera gazı emisyonu üretebilecek kaynaklar içermesi beklenmektedir. Kapanış aşamasında inşaat aşamasına kıyasla daha az sera gazı kaynağı bulunacağı varsayılmaktadır. Bu nedenle, kapanış aşamasındaki faaliyetler henüz netleşmediğinden, kapanış aşaması için yapılan değerlendirme inşaat aşamasının temsili bir tahmini olarak kullanılmıştır.

Sera gazlarının yıllık olarak hesaplanmasına yönelik kullanılan emisyon tahmin yöntemleri, ÇED çalışmalarına ilişkin uluslararası kabul görmüş uygulamalara ve uygun olduğu durumlarda Sera Gazı Emisyonlarının İzlenmesine İlişkin Yönetmelik'e dayanmaktadır. Sera gazları, uzun dalga radyasyonu atmosferde absorbe ederek sera etkisine katkıda bulunmaları nedeniyle gelecekteki iklim üzerinde etki potansiyeline sahiptir. Bu durum, Dünya tarafından yayılan ısı enerjisinin atmosferde tutulmasına, sıcaklık artışına ve hava koşullarının değişmesine yol açmaktadır. Proje faaliyetlerinin, iklim değişikliğine kademeli olarak katkıda bulunabilecek sera gazı emisyonları üretme potansiyeli bulunmaktadır.

Sera gazı emisyonları, eşdeğer CO₂ (CO₂e) ton cinsinden ifade edilmektedir ve her bir gazın yıllık emisyon miktarı, 100 yıllık küresel ısınma potansiyeli (GWP) ile çarpılarak hesaplanmaktadır. Etkilerin değerlendirilmesinde tek bir ölçüt kullanılmakta olup, bu da Proje faaliyetlerinden kaynaklanan maksimum yıllık sera gazı emisyonlarının CO₂ eşdeğeri (CO₂e) cinsinden ifadesidir. Proje kaynaklı maksimum yıllık sera gazı emisyonları, ulusal ve küresel yıllık emisyonlarla karşılaştırmalı olarak değerlendirilecektir.

Dünya Sürdürülebilir Kalkınma İş Konseyi / Dünya Kaynakları Enstitüsü (WBCSD/WRI, 2004) tarafından yayımlanan GHG Protokolü, kurumsal sera gazı emisyon envanterlerinin hazırlanmasına yönelik rehberlik sunmakta ve doğrudan ve dolaylı emisyonlar ile envanter kapsamı (Scope) kavramlarını ortaya koymaktadır. Proje faaliyetlerinin niteliği gereği, en önemli emisyonların Scope 1 kapsamında yer alan doğrudan sera gazı emisyonları olacağı öngörülmektedir. Bunlar; sabit kaynaklardan (örneğin jeneratör emisyonları) ve Proje sahibi tarafından sahip olunan veya kontrol edilen mobil kaynaklardan (örneğin araçlarda yakıt yanması ve kaçak emisyonlar) kaynaklanan emisyonlardır.

Sera gazı emisyonları; Proje programı, müşteri tarafından sağlanan yakıt tüketim miktarları, ekipman/araç sayıları ve diğer potansiyel sera gazı kaynaklarına ilişkin bilgiler esas alınarak değerlendirilmektedir. Emisyon faktörleri olarak, 4 Haziran 2025 tarihinde yayımlanan Türkiye Ulusal Envanter Dokümanı (NID) kapsamında UNFCCC'ye sunulan ve güncel olarak bilimsel olarak kabul edilen veriler (TÜİK, 2025) kullanılmaktadır. Yerel kılavuzların bulunmadığı durumlarda ise Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) emisyon faktörleri kullanılmaktadır. Küresel ısınma potansiyellerine ilişkin açıklama aşağıda Bölüm 7.1.7.2.1'de verilmiştir. Tablo 7.62, sera gazı emisyonlarının hesaplandığı faaliyetlerin özetini sunmaktadır.

Tablo 7.62 Projeye Ait Sera Gazı Emisyon Kaynakları

Süreç	Kaynak	GHG Emisyonu
İnşaat	Segment Tesisi – Doğal Gazın Yanması	Segment Tesisinden Kaynaklanan Emisyonlar
	Jeneratörler – Dizel Yakıtın Yanması	Jeneratörden Kaynaklanan Emisyonlar
	Araçlar – Dizel Yakıtın Yanması	Sahada Araç Emisyonları (Dizel Yakıtının Yanmasından Kaynaklı)
	Elektirik Tüketimi	Kullanılan Elektrikten Kaynaklanan Dolaylı Emisyonlar
	Karbon Yutağının Kaybı	Bitki Örtüsü Kaybı Nedeniyle Karbon Yutağının Azalması
Eylem	Elektirik Tüketimi	Kullanılan Elektrikten Kaynaklanan Dolaylı Emisyonlar

7.1.7.2.1. Küresel Isınma Potansiyeli

Sera gazı (GHG) emisyonları, her bir sera gazının yıllık emisyon miktarının 100 yıllık Küresel Isınma Potansiyeli (GWP) ile çarpılması yoluyla CO₂ eşdeğeri (CO₂e) ton cinsinden ifade edilmektedir. Her bir gazın GWP değeri, söz konusu gazın atmosferde ısı tutma kapasitesini CO₂'ye kıyasla temsil etmektedir. CO₂, CH₄ ve N₂O emisyonları, sera gazı emisyon değerlendirmesi kapsamında eşdeğer CO₂ (CO₂e) birimine dönüştürülmektedir.

GWP değerleri, sera gazı envanter raporlarının hazırlanmasına yönelik Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (UNFCCC) raporlama kılavuzlarından (UNFCCC, 2014) alınmıştır. Bu değerler, ana raporda referans verilen ulusal ve küresel emisyon envanterlerinin hazırlanmasında kullanılan değerleri temsil etmektedir. GHG hesaplamalarında kullanılan GWP değerleri Tablo 7.63'te sunulmaktadır.

Tablo 7.63 Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli'ne Göre Küresel Isınma Potansiyelleri

Sera Gazı Türü	GWP
CO ₂	1
CH ₄	25
N ₂ O	298

7.1.7.2.2. Kapsam 1: Doğrudan Sera Gazı Emisyonları

GHG Protocol, Dünya İş Konseyi Sürdürülebilir Kalkınma / Dünya Kaynakları Enstitüsü (WBCSD/WRI, 2004) tarafından sağlanan rehberlik kapsamında, kurumsal sera gazı emisyon envanterlerinin hazırlanmasına yönelik çerçeveyi ortaya koymakta ve doğrudan ve dolaylı emisyonlar ile envanter için kapsam (scope) kavramlarını tanıtmaktadır. Kapsam 1, Proje sahibi tarafından sahip olunan veya kontrol edilen kaynaklardan kaynaklanan doğrudan sera gazı emisyonlarını kapsamaktadır.

7.1.7.2.2.1. Sabit Yanma

Projenin sabit yanma kaynakları arasında dizel jeneratörler ve segment tesisi yer almaktadır. Proje kaynaklı sera gazı (GHG) emisyonları, Metgün-Eze-Atis JV tarafından temin edilen yakıt tüketim miktarları esas alınarak hesaplanmıştır.

Enerji bazlı emisyon faktörleri, IPCC 2006 Rehberi'nin (Cilt 2) 2. Bölümünde yer alan "Sabit Yanma" başlıklı Tablo 2.2 ve Tablo 2.3'ten elde edilmiştir. Söz konusu emisyon faktörleri Tablo 7.64'te sunulmaktadır.

Tablo 7.64 Sabit Kaynak Yanması - Enerji Bazlı Emisyon Faktörleri ve Net Isıl Değer

Aşama	Kaynak	Net Kalorifik Değer (TJ/Gg)	Referans	Emisyon Faktörü (kg GHG/TJ)	Referans	Yoğunluk (kg/m³)	Net Kalorifik Değer (TJ/Gg)	Referans
				CO ₂	CH ₄	N ₂ O		
İnşaat	Tesisin İşletimi - Doğal Gaz Yakma	48.0	Sera Gazı Emisyonlarının İzlenmesi ve Raporlanmasına İlişkin Tebliğ	56,100	1.0	0.1	IPCC 2006 Kılavuzları, Bölüm 2 - Sabit Yakma Tablo 2.3	0.983*
İnşaat	Dizel Yağ Yakma	40.4	(Resmi Gazete Tarih ve Sayısı: 22.07.2014/29068) , Tablo 5.1	74,100	3.0	0.6	IPCC 2006 Kılavuzları, Bölüm 2 - Sabit Yakma Tablo 2.2	832**

*Doğal gaz yoğunluğu, Türkiye Petrol Rafineleri A.Ş. (TÜPRAŞ) Güvenlik Veri Formu'nda 0,9523 – 1,0137 kg/m³ (15 °C) aralığında verilmiştir. Üst ve alt limit değerlerin ortalaması alınarak hesaplama yapılmıştır.

** Dizel yakıt yoğunluğu, Türkiye Petrol Anonim Ortaklığı (TPAO) Güvenlik Veri Formu'nda 820 - 845 kg/m³ (15 °C) aralığında belirtilmiştir. Üst ve alt sınır değerlerin ortalaması hesaplanmıştır.

CO₂, CH₄ ve N₂O'ya ait hacim bazlı emisyon faktörlerinin hesaplanmasında kullanılan denklemler, takip eden bölümde sunulan denklemlerle aynıdır.

7.1.7.2.2. Mobil Yakıt Tüketimi

Projenin inşaat fazında kullanılacak mobil ekipmanlardan kaynaklanan sera gazı emisyonları, yakıt tüketimi ve IPCC 2006 Rehberi'nin (Cilt 2) 3. Bölümünde yer alan "Mobil Yanma" başlıklı Tablo 3.3.1 ve ilgili 2019 İyileştirmesinden elde edilen dizel yakıtı özgü enerji bazlı emisyon faktörleri esas alınarak hesaplanmıştır. Söz konusu emisyon faktörleri Tablo 7.65'te sunulmaktadır.

Tablo 7.65 Hareketli Yanma - Enerji Bazlı Emisyon Faktörleri ve Net Isıl Değer

Aşama	Kaynak	Alt Isıl Değer (TJ/Gg)	Kaynak	Emission Factor (kg GHG/TJ)			Kaynak	Yakıt Yoğunluğu (kg/m ³)*
				CO ₂	CH ₄	N ₂ O		
İnşaat	Vehicles - Combustion of Diesel Oil	40.4	Sera Gazı Emisyonlarının İzlenmesi ve Raporlanmasına İlişkin Tebliğ (Resmi Gazete Tarih ve Sayısı: 22.07.2014/29068), Tablo 5.1	74,100	4.15	28.6	IPCC 2006 guidelines, Chapter 3 – Mobile Combustion Table 3.3.1	832

*Dizel yakıt yoğunluğu, Türkiye Petrol Anonim Ortaklığı Güvenlik Veri Formu'nda 820 - 845 kg/m³ (15 °C) aralığında belirtilmiştir. Üst ve alt limit değerlerin ortalaması alınarak hesaplama yapılmıştır.

Aşağıda sunulan örnek denklem, CO₂, CH₄ ve N₂O için hacim bazlı emisyon faktörlerinin (EF) hesaplanmasına ilişkin yöntemi göstermektedir:

CO₂ Emisyon Faktörü:

$$EF_{CO_2} \left(\frac{kgCO_2}{L} \right) = Energy\ based\ EF \left(\frac{tCO_2}{TJ} \right) \times Net\ Calorific\ Value \left(\frac{TJ}{kg} \right) \times Density\ of\ Diesel \left(\frac{kg}{m^3} \right) \times \frac{1,000\ kgCO_2}{1\ tCO_2} \times \frac{1\ kT}{1,000,000\ kg} \times \frac{1m^3}{1,000\ L}$$

Mobil Ekipman ve Sabit Yanma Kaynaklarından Toplam CO₂ Emisyonları

$$E_{CO_2} = Fuel\ Combustion \left(\frac{L}{yr} \right) \times Emission\ Factor \left(\frac{kgCO_2}{L} \right) \times \frac{1\ tonne}{1,000\ kg}$$

7.1.7.2.3. Kapsam 2: Dolaylı GHG Emisyonları

Kapsam 2 emisyonları, şirketin faaliyetlerinin bir sonucu olarak ortaya çıkan ancak şirketin sahip olduğu veya kontrol ettiği kaynaklarda değil, başka bir şirketin sahip olduğu veya kontrol ettiği kaynaklarda oluşan **dolaylı sera gazı (GHG) emisyonlarıdır**.

Kapsam 2, şirket tarafından tüketilen satın alınmış elektrik, ısı veya buharın üretiminden kaynaklanan dolaylı sera gazı emisyonlarını kapsar.

7.1.7.2.3.1. Elektrik Tüketimi

Kapsam 2 - Dolaylı Sera Gazı Emisyonları, elektrik tüketiminden kaynaklanmaktadır. Elektrik tüketimi için emisyon faktörü olarak, Türkiye Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından 2023 yılı için hesaplanan ve **26 Aralık 2025** tarihinde yayımlanan en güncel **Türkiye Ulusal Elektrik Tüketim Noktası Emisyon Faktörü** (0,465 t CO₂/MWh) kullanılmıştır. Satın alınan elektrikten kaynaklanan dolaylı sera gazı emisyonlarının hesaplanmasına ilişkin denklem aşağıda verilmiştir.

$$E_{CO_2} = \sum_i E_i * EF_i$$

Burada;

- **ECO₂**: Elektrik tüketiminden kaynaklanan toplam dolaylı CO₂ emisyonları (t CO₂),
- **E_i**: Her faaliyet için elektrik kullanımı (MWh),
- **EF_i**: Ulusal Elektrik Tüketim Noktası Emisyon Faktörü (t CO₂/MWh),
- **i**: Elektrik tüketen faaliyet.

7.1.7.2.4. Kapsam 1 veya Kapsam 2'ye Dahil Edilmeyen Emisyonlar

7.1.7.2.4.1. Karbon Stok Değişimi

Arazi kullanım değişikliği ve karbon yutağı kaybı, dolaylı CO₂ emisyonlarının oluşmasının temel nedenleridir. İnşaat faaliyetleri nedeniyle tarım arazileri, orman alanları ve çayır alanları gibi doğal alanlar Proje ömrü sonuna kadar tahrip edilecek ve işgal edilecektir. Bu faaliyetler karbon stoklarında değişime yol açmaktadır (bkz. Tablo 7.66). Biyokütle stoklarındaki değişimin hesaplanmasında IPCC 2006 Kılavuzları Cilt 4 Bölüm 2'ye referansla aşağıdaki

$$\Delta C_{DÖNÜSÜM} = \sum_i [(B_{SONRA,i} - B_{ÖNCE,i}) \times \Delta A_{DİĞER KULLANIMLARA}] \times CF$$

formülasyon kullanılmaktadır.

Burada;

- **Dönüşümden Kaynaklanan Karbon Stok Değişimi**: Arazi başka bir arazi kullanım kategorisine dönüştürüldüğünde biyokütle karbon stoklarındaki başlangıç değişimi (ton C/yıl),
- : Dönüşüm sonrası i arazi tipine ait biyokütle stokları (ton kuru madde/ha),
- : Dönüşüm öncesi i arazi tipine ait biyokütle stokları (ton kuru madde/ha),
- : Belirli bir yılda başka bir arazi kullanım kategorisine dönüştürülen i arazi kullanım alanı (ha/yıl),
- **C**: Kuru maddedeki karbon oranı (ton C / ton kuru madde),
- **i**: Başka bir arazi kullanım kategorisine dönüştürülen arazi kullanım türü.

Tablo 7.66: Karbon Stok Değişim Değerleri

Parametre	Değer			Birim	Kaynak
	Orman Arazisi	Otlak Arazi	Tarım Arazisi		
Diğer Arazi Kullanımına Dönüştürülen Arazinin Yıllık Alanı	15.93	2.54	1.75	ha	IPCC 2006 Ulusal Sera Gazı Envanterleri Rehberi Cilt 4 - Bölüm 4, Tablo 4.12 - Bölüm 5, Tablo 5.9 - Bölüm 6, Tablo 6.4
Dönüşüm Öncesi Biyokütle Stokları	100.0	13.5	2.1	ton dm ha ⁻¹	
Dönüşüm Sonrası Biyokütle Stokları	0	0	0	ton dm ha ⁻¹	
Kuru Maddenin Karbon Fraksiyonu	0.5	0.5	0.5	ton C (tonlar dm) ⁻¹	

7.1.7.3. Etki Analizi

7.1.7.3.1. İnşaat Aşaması

7.1.7.3.1.1. Sabit Yanma Emisyonları

Projenin inşaat aşamasında sabit yanma kaynaklı sera gazı (GHG) emisyonları aşağıdaki kaynaklardan oluşacaktır:

- Segment tesisinin işletilmesi nedeniyle doğal gaz yakılması,
- İnşaat çalışmaları sırasında jeneratör kullanımına bağlı dizel yakıt yakılması.

Projenin inşaat aşamasında bir segment tesisi işletilecektir. Ayrıca ihtiyaç halinde jeneratörler kullanılacaktır. Segment tesisinin işletimi için doğal gaz ana yakıt kaynağı olurken, jeneratörler için dizel yakıt ana kaynak olacaktır. Yüklenici tarafından sağlanan veriler doğrultusunda segment tesisine ait toplam yıllık doğal gaz tüketimi 271.452.608 litre/yıl olarak dönüştürülmüştür. Jeneratör kullanımına ilişkin toplam dizel tüketimi ise 233.220 litre/yıl olarak hesaplanmıştır. Daha sonra Bölüm 7.1.7.2.2’de verilen denklemler kullanılarak sabit yanma kaynaklı toplam sera gazı emisyonları hesaplanmıştır. Buna göre sabit yanma kaynaklı yıllık sera gazı emisyonları 1.302,1 ton CO₂/yıl olarak hesaplanmıştır.

7.1.7.3.1.2. Hareketli Yanma Emisyonları

Projenin inşaat aşamasında, kara yolu ve arazi dışı (on-road ve off-road) araçların, makine ve ekipmanların kullanımı sırasında mobil yanma kaynaklı sera gazı emisyonlarının oluşması beklenmektedir. Makine, araç ve ekipmanlarda kullanılacak temel yakıt dizeldir. Müşteri tarafından sağlanan inşaat faaliyetlerine ilişkin toplam dizel tüketimi yıllık bazda (4.104.124 litre/yıl) olarak dönüştürülmüştür. Ardından Mobil Yanma kaynaklı toplam sera gazı emisyonları

Bölüm 7.1.7.2.2.2'de verilen denklemler kullanılarak hesaplanmıştır. Mobil Yanma kaynaklı yıllık sera gazı emisyonu 11.412,2 ton CO₂/yıl olarak hesaplanmıştır.

7.1.7.3.1.3. Elektrik Kullanımı

Projenin inşaat aşaması sırasında, elektrik tüketimi nedeniyle sera gazı (GHG) emisyonlarının oluşması beklenmektedir. Yüklenici tarafından sağlanan bilgilere göre, inşaat aşaması boyunca yılda toplam 2.934,1 MWh elektrik tüketilmesi öngörülmektedir. Önceki bölümde verilen emisyon faktörleri ve formül kullanılarak, inşaat aşamasındaki elektrik tüketiminden kaynaklanan yıllık sera gazı emisyonu 1.364,4 ton CO₂/yıl olarak hesaplanmıştır.

7.1.7.3.1.4. Karbon Stok Değişimi

Projenin inşaat aşamasında arazi kullanım değişikliğinden kaynaklanan karbon stok değişimi nedeniyle dolaylı sera gazı emisyonlarının ortaya çıkması beklenmektedir. Arazi kullanım değişikliğinden kaynaklanan emisyonlar, arazinin mevcut kullanımına ve bu alanda depolandığı tahmin edilen karbon miktarına ilişkin varsayımlar yapılarak hesaplanmıştır. Arazi temizleme işlemi yer altı karbon stoklarını etkilemediğinden yalnızca yer üstü karbon stokları dikkate alınmıştır. Proje Alanına ilişkin CORINE 2018 verilerine göre arazi; 15,93 ha orman alanı, 2,54 ha çayır alanı ve 1,75 ha tarım alanından oluşmaktadır. Bölüm 7.1.7.2.4.1'de verilen denklem kullanılarak, arazi kullanım değişikliğinden kaynaklanan toplam dolaylı sera gazı emisyonları 815,5 ton CO₂/yıl olarak hesaplanmıştır.

7.1.7.3.1.5. İnşaat Aşamasında Toplam Sera Gazı Emisyonları

Projenin inşaat aşamasına ait yıllık sera gazı (GHG) emisyonları Tablo 7.67'de sunulmaktadır. Bu yıllık emisyonlar, yukarıda tanımlanan maksimum inşaat senaryosu için hesaplanmıştır. Hesaplamalar yaklaşık tahminlere dayanmaktadır ve gerçek emisyonları önemli ölçüde fazla gösterebilir.

Tablo 7.67: İnşaat Aşaması için Yıllık Proje Sera Gazı Emisyonları

Kaynak	Hesaplanan GHG (as t CO ₂ e/y)			Toplam GHG miktarı	
	t CO ₂ /y	t CH ₄ /y	t N ₂ O/y	t CO ₂ e/yıllık	Toplama Katkı (%)
Sabit Kaynaklar (Segment Tesisi ve Jeneratörler) - Doğal Gaz ve Motorin Yakılması	1,299.4	0.9	1.8	1,302.1	8.74
Araçlar - Motorin Yakılması	10,222.2	14.3	1,175.7	11,412.2	76.62
Elektrik Tüketimi	1,364.4	-	-	1,364.4	9.16
Karbon Yutağı Kaybı	815.5	-	-	815.5	5.48
TOPLAM				14,894.2	100.00

Yukarıdaki tablo, inşaat aşamasından kaynaklanan yıllık emisyonları ve her bir emisyon kaynağının Projenin toplam sera gazı (GHG) emisyonlarına katkısını sunmaktadır. Ton CO₂e cinsinden hesaplanan emisyon değerleri, yukarıdaki Bölüm 7.1.7.2.1'de yer alan Küresel Isınma Potansiyelleri (GWP) kullanılarak hesaplanmıştır.

Tablo 7.68: Proje Sera Gazı Emisyonlarının Ulusal ve Küresel Emisyonlarla Karşılaştırılması

Kaynak	Tarih
Project GHG Emissions (tonnes CO ₂ e/year) (during construction)	14,894.2
Comparison to Türkiye-wide Total (%)	0.0027
Comparison to Global Total (%)	0.00012
Türkiye-wide GHG Emissions (2023) (tonnes CO ₂ e/year)*	552,191,081
UNFCCC Annex-I 2021 GHG Emissions (tonnes CO ₂ e/year)**	12,351,794,172

- * TÜİK'ten elde edilmiştir, Türkiye'nin NID'si (4 Haziran 2025 tarihinde yayımlanmıştır). ** UNFCCC Sera Gazı Veritabanı'ndan elde edilmiştir, https://di.unfccc.int/time_series

Yukarıdaki tablo, Projenin inşaat aşamasındaki yıllık toplam emisyonları ton CO₂e cinsinden özetlemektedir. Türkiye'nin sera gazı emisyonlarına ilişkin veriler, UNFCCC için 4 Haziran 2025 tarihinde yayımlanan Türkiye'nin en güncel Ulusal Envanter Dokümanı'ndan (NID) alınmıştır. Ek-1 Ülkeleri'nin toplam sera gazı emisyonları ise UNFCCC Sera Gazı Veritabanı'ndan, son envanter yılı olan 2021 verileri kullanılarak elde edilmiştir.

Buna göre, inşaat aşamasında Projenin, ülke düzeyinde ve küresel raporlama programlarında bildirilen toplam emisyonlara katkısı önemli düzeyde değildir.

İnsan faaliyetlerinden kaynaklanan sera gazı (GHG) emisyonlarının arttığı ve iklim değişikliğine katkıda bulunduğu kabul edilmektedir. Ancak, Proje kaynaklı sera gazı emisyonları küresel GHG emisyonlarında ölçülemez düzeyde bir artışa karşılık gelmektedir. Ülke ölçeğinde ve GHG emisyon seviyelerinde herhangi bir değişiklik beklenmemektedir.

Projenin inşaat aşamasından kaynaklanan birleşik yıllık emisyonlar yaklaşık **14.894,2 ton CO₂e/yıl** düzeyindedir. Bu yıllık değer, IFC PS3 ve Equator Principles IV tarafından tanımlanan **25.000 ton CO₂e** eşiğinin altındadır. Bu nedenle, teknik olarak uygulanabilir ve maliyet-etkin azaltım seçenekleri dikkate alınmalıdır. Bununla birlikte, inşaat aşamasındaki GHG emisyonlarının nicel olarak hesaplanması gerekli görülmemektedir.

7.1.7.3.2. İşletme Aşaması

7.1.7.3.2.1. İstasyon İşletiminden Kaynaklanan Elektrik Tüketimi

Projenin işletme aşamasında, istasyon işletimlerine yönelik elektrik tüketimi nedeniyle sera gazı (GHG) emisyonlarının oluşması beklenmektedir. Yüklenici tarafından sağlanan bilgilere göre, işletme aşamasında tüm istasyonlarda yıllık toplam 43.320 MWh elektrik tüketilmesi öngörülmektedir. Bölüm 7.1.7.2.3.1'de verilen emisyon faktörleri ve formül kullanılarak, istasyon işletimlerine bağlı elektrik tüketiminden kaynaklanan yıllık sera gazı emisyonu 20.143,8 ton CO₂/yıl olarak hesaplanmıştır.

7.1.7.3.2.2. Metro Tren İşletiminden Kaynaklanan Elektrik Tüketimi

Metro tren işletme aşamasına ilişkin sera gazı (GHG) emisyon tahmini, Proje Fizibilite Raporu'ndan elde edilen verilere dayanmaktadır. Fizibilite Raporu kapsamında sağlanan bilgiler doğrultusunda, 2028–2068 yılları arasında ulaşım projeksiyonları yapılmıştır. Proje güzergâhı için günlük 360 sefer (çift yönlü sefer) varsayılmış olup, bu değer 2028–2068 yılları arasındaki en yüksek sefer sayısını temsil etmektedir. Elektrik tüketimi açısından Türkiye genelindeki metro sistemlerine yönelik bir değerlendirme yapılmıştır. Buna göre, tren işletimi için ortalama enerji tüketimi 9,82 kWh/km olarak kabul edilmiştir (İstanbul Büyükşehir Belediyesi, 2025). Bu veriler temel alınarak, Bölüm 7.1.7.2.3.1'de verilen denklem ve emisyon faktörü kullanılarak hesaplama yapılmış ve tren işletimine bağlı yıllık sera gazı emisyonlarını tahmin etmek amacıyla Tablo 7.69'da sunulmuştur. Buna göre, tren işletiminden kaynaklanan yıllık emisyonlar 34.800,7 ton CO₂e/yıl olarak hesaplanmıştır.

Tablo 7.69: Metro Tren İşletiminden Kaynaklanan Sera Gazı Emisyonları

kWh/km	MWh/seyahat	Seyahat/sene	MWh/sene	t CO ₂ e/sene
9.82	0.56956	131,400	74,840.2	34,800.7

7.1.7.3.2.3. İşletme Aşamasında Toplam Sera Gazı Emisyonları

Projenin işletme aşamasına ait yıllık sera gazı (GHG) emisyonları Tablo 7.70'te sunulmaktadır. Bu yıllık emisyonlar, yukarıda tanımlanan tahmini işletme senaryosu için hesaplanmıştır. Hesaplamalar yaklaşık tahminlere dayanmaktadır ve gerçek emisyonları önemli ölçüde fazla veya eksik gösterebilir.

Tablo 7.70 İşletme Aşaması için Yıllık Proje Sera Gazı Emisyonları

Kaynak	Hesaplanan GHG			Toplam GHG Miktarı	
	t CO ₂ /y	t CH ₄ /y	t N ₂ O/y	t CO ₂ e/year	Toplama Katkı (%)
İstasyonların İşletimi İçin Satın Alınan Elektrik	20,143.8	-	-	20,143.8	36.7
Tren Operasyonları İçin Temin Edilen Elektrik	34,800.7	-	-	34,800.7	63.3
TOPLAM				54,944.5	100.00

Yukarıdaki tablo, operasyonel aşamadan kaynaklanan emisyonları ve her bir kaynağın Proje genelindeki toplam sera gazı (GHG) emisyonlarına katkısını göstermektedir. CO₂e cinsinden ton cinsinden emisyonlar, yukarıdaki Bölüm 7.1.7.2.1'de belirtilen Küresel Isınma Potansiyeli (GWP) değerleri kullanılarak hesaplanmıştır.

Tablo 7.71 Proje Sera Gazı Emisyonlarının Ulusal ve Global Düzeyde Karşılaştırılması

Kaynak	Operasyonel Aşama
Projenin Sera Gazı Emisyonları (ton CO ₂ e/yıl) (operasyon aşamasında)	54,944.5
Türkiye Geneli Toplam Emisyonlara Göre Karşılaştırma (%)	0.0099
Küresel Toplam Emisyonlara Göre Karşılaştırma (%)	0.00044
Türkiye Geneli Sera Gazı Emisyonları (2023) (ton CO ₂ e/yıl)*	552,191,081
UNFCCC Ek-I 2021 Sera Gazı Emisyonları (ton CO ₂ e/yıl)**	12,351,794,172

TÜİK'ten temin edilmiştir, Türkiye Ulusal Envanter Dokümanı (4 Haziran 2025 tarihinde yayımlanmıştır).

** UNFCCC Sera Gazı Veritabanı'ndan elde edilmiştir, https://di.unfccc.int/time_series.

Yukarıdaki tabloda, Proje işletme aşaması için toplam yıllık sera gazı (GHG) emisyonları CO₂e ton cinsinden özetlenmiştir. Türkiye'ye ait sera gazı salım verileri, 4 Haziran 2025 tarihinde UNFCCC için yayımlanan Türkiye'nin en güncel NID raporundan; EK-I ülkelerine ait toplam sera gazı salım verileri ise UNFCCC GHG veri tabanından 2021 envanter yılına ait olarak alınmıştır. İşletme aşaması kapsamında Proje'den kaynaklanan sera gazı emisyonları, ülke düzeyi ve küresel raporlama programlarına kıyasla ihmal edilebilir düzeydedir.

Projenin işletme aşamasında ortaya çıkan ve istasyon işletmeleri ile tren işletiminden kaynaklanan Kapsam 2 (Scope 2) emisyonları dâhil toplam yıllık emisyon yaklaşık 54.944,5 ton CO₂e/yıl seviyesindedir. Bu yıllık değer, IFC PS3 ve Ekvator Prensipleri IV kapsamında tanımlanan 25.000 ton CO₂e eşik değerini aşmaktadır. Bu nedenle, proje sınırları içinde bulunan tesislerden kaynaklanan doğrudan emisyonlar ile işletme aşamasında Proje tarafından kullanılan enerjinin saha dışı üretiminden kaynaklanan dolaylı emisyonlar nicel olarak hesaplanacaktır.

Sera gazı emisyonlarının hesaplanması, uluslararası kabul görmüş metodolojilere ve iyi uygulamalara uygun şekilde yıllık olarak gerçekleştirilecektir. Ayrıca teknik olarak uygulanabilir ve maliyet-etkin azaltım seçenekleri de değerlendirilecektir.

7.1.7.3.3. Söküm ve Kapanış Aşaması

Projenin söküm ve kapanış aşamasında, inşaat aşamasında listelenen etkiler dışında yeni bir etkinin beklenmemektedir.

7.1.7.4. Azaltım Tedbirleri

Proje'nin inşaat ve işletme aşamalarına ilişkin yıllık sera gazı (GHG) emisyon hesaplamaları yukarıdaki bölümlerde sunulmuştur. Bu yıllık emisyonlar, Müşteri tarafından sağlanan yaklaşık veriler ve ön tahminlere dayanmaktadır. Bu nedenle söz konusu hesaplamalar, gerçek emisyonlara kıyasla önemli ölçüde düşük veya yüksek olabilir. Bu varsayımlar dikkate alındığında, inşaat ve işletme aşamalarına ilişkin GHG emisyon hesaplamalarının, gerçek tüketim miktarları ve tasarım parametreleri kesinleştğinde yeniden yapılması gerekmektedir.

Proje'nin sera gazı emisyonları, hazırlanacak Kaynak Verimliliği Yönetim Planı ve Hava Kalitesi Yönetim Planı doğrultusunda yönetilecektir. Bölüm 7.1.7.2, Proje kaynaklı sera gazı emisyonlarının tahmin edilmesine yönelik

metodolojiyi açıklamakta olup, Bölüm 7.1.7.3 ise iklim değişikliğine olası katkısı değerlendirmektedir. Yukarıda da belirtildiği üzere, Proje'nin yıllık ve toplam emisyonlarının Türkiye ve küresel sera gazı emisyonlarına kıyasla düşük seviyede olması nedeniyle iklim değişikliğine katkısının anlamlı düzeyde olmadığı değerlendirilmektedir.

Projenin işletme aşamasına ilişkin yıllık sera gazı emisyonlarının IFC PS3 ve Ekvator Prensipleri IV kapsamında belirlenen 25.000 ton CO₂e eşğinin üzerinde olması nedeniyle, işletme aşamasından kaynaklanan sera gazı emisyonları yıllık olarak hesaplanacaktır.

Buna ek olarak, sera gazı emisyonlarını azaltmak ve kaynak verimliliğini mümkün olduğunca artırmak amacıyla aşağıdaki tedbirler uygulanacaktır:

En İyi Mevcut Teknikler (BAT – Best Available Techniques) dikkate alınarak Proje tasarımında mümkün olduğunca uygulanacaktır. Avrupa düzenleyici çerçevesi kapsamında geliştirilen En İyi Mevcut Teknikler'in (BAT) uygulanabilirliği [Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrol (IPPC), Avrupa Birliği 2010/75/EU Direktifi (IED) kapsamında BAT Referans Dokümanları (BREF'ler)] değerlendirilecek ve Proje tasarımına entegre edilecektir.

- Tüm çalışanlara iklim, kaynak ve enerji verimliliği konusunda farkındalık eğitimleri verilecektir.
- Yakıt kullanımı ve etkin işletme açısından en verimli ekipmanlar seçilecektir. Tüm makine ve ekipmanların düzenli bakımı yapılarak yakıt verimliliği ve etkin çalışma performansı sağlanacaktır.
- Projeye bağlı doğrudan ve dolaylı sera gazı emisyonlarını azaltmak amacıyla kaynak ve malzeme verimliliğini artırmaya yönelik yönetim planları geliştirilecek ve uygulanacaktır. Su kullanımı ile ilgili diğer kaynak verimliliği hususları Proje Tanımı ve ilgili etki değerlendirme bölümünde ele alınmaktadır.
- Makine ve ekipmanların rölantide çalışmasına ve kapsam dışı kullanımına izin verilmeyecektir.
- Proje ayak izi dışında bitki örtüsüne müdahale edilmeyecektir.
- Proje tasarımı, proje ayak izini mümkün olduğunca azaltacak şekilde gözden geçirilecektir.
- Atık bertaraf süreçlerinden kaynaklanan sera gazı emisyonlarını azaltmak amacıyla, proje faaliyetleri sonucu oluşan atık miktarı minimize edilecek ve oluşan atıkların geri dönüşümü sağlanacaktır.
- Kapatma aşamasında arazi rehabilitasyonu ile bozulan alanlar mümkün olduğunca eski haline getirilerek karbon yutağı kaybı azaltılacak ve uzun vadeli bir azaltım tedbiri sağlanacaktır.
- Projenin inşaat ve işletme aşamalarına bağlı Kapsam 2 (Scope 2) sera gazı emisyonlarını azaltmak amacıyla, kullanılan elektriğin belirli bir kısmının veya tamamının yenilenebilir enerji kaynaklarından geldiğini gösteren Yeşil Enerji Sertifikası temin edilecektir.

7.1.7.5. Kalıcı Etkileri

7.1.7.5.1. İnşaat Aşaması

İnşaat aşamasına ilişkin yukarıda sunulan GHG hesaplamalarına göre, Projenin tahmini katkısının ulusal ve uluslararası sera gazı emisyon seviyeleri ile karşılaştırıldığında düşük düzeyde olduğu değerlendirilmektedir. Aşağıdaki tablo, Projenin inşaat aşamasında yer alan belirlenmiş etki faktörlerini özetlemektedir.

Tablo 7.72 Yapım Aşaması GHG Emisyonları Etki Matrisi

Etki Faktörü	Etki Faktörü Özellikleri	Bileşen Hassasiyeti	Etkinin Geri Dönülebilirliği	Etki Değeri	Mitigasyon Etkinliği	Kalan Etki Değeri	Etki Faktörü
GHG Emisyonu	Süre	Uzun	Orta Dönemli	Uzun Dönemli	Yüksek	Orta Yüksek	Orta Dönemli
	Sıklık	Devam Eden					
	Coğrafi Kapsam	Uluslararası					
	Yoğunluk	Orta Dönemli					

7.1.7.5.2. İşletme Aşaması

Yukarıdaki bölümlerde detaylandırılan operasyon aşaması sera gazı emisyon hesaplamalarına göre, Projenin tahmini emisyon katkısı ulusal ve küresel sera gazı emisyon seviyeleriyle kıyaslandığında düşük olarak değerlendirilmektedir. Aşağıdaki tablo, Projenin operasyon aşamasında tespit edilen etki faktörlerini özetlemektedir.

Tablo 7.73: İşletme Aşaması için Sera Gazı (GHG) Emisyon Etki Matrisi

Etki Faktörü	Etki Faktörü Özellikleri	Bileşen Hassasiyeti	Etkinin Geri Dönülebilirliği	Etki Değeri	Mitigasyon Etkinliği	Kalan Etki Değeri	Etki Faktörü
GHG Emisyonu	Süre	Çok Uzun	Orta Dönemli	Uzun Dönemli	Yüksek	Orta Yüksek	Orta Dönemli
	Sıklık	Devam Eden					
	Coğrafi Kapsam	Uluslararası					
	Yoğunluk	Orta Dönemli					

7.1.7.5.3. Söküm ve Kapatma Aşaması

Projenin söküm ve kapatma aşamasında, inşaat aşamasında listelenen etkiler dışında yeni bir etkinin ortaya çıkması beklenmemektedir.

7.1.7.6. İZLEME

Aşağıdaki tablo, Projenin inşaat ve işletme dönemleri boyunca sera gazı (GHG) emisyonlarının raporlanması ve doğrulanması için belirlenen izleme faaliyetlerini detaylandırmaktadır.

Belirlenen her izleme faaliyeti ve önlem/aksiyon için tablo aşağıdakileri göstermektedir:

- Referans (veya kaynak) dokümanlar (ör. Türk standardı, izinler, IFC Performans Standartları ve EHS Kılavuzları veya diğer İyi Uluslararası Endüstri Uygulamaları – GIIP);
- Ölçümün sıklığı/zamanlaması;
- Temel Performans Göstergesi (KPI) ve ilgili sayısal hedef (hedef bir düzenleyici limitten oluşuyorsa bu da ayrıca belirtilecektir); ve
- İlgili izleme faaliyetinin uygulanmasından sorumlu taraf

Tablo 7.74: Kaynak Verimliliği ve Enerji Yönetimi İzleme Faaliyetleri

Kaynak Dökümanlar	İzleme Faaliyeti / Önlemi Açıklaması	Sıklık / Zamanlama	KPI	Hedef / Kabul Kriterleri	Sorumlu Taraflar
■ GHG Protocol ■ IPCC	Kaynak tüketimini ve teknik özelliklerini periyodik (örn. aylık) olarak uygun yöntemlerle ölçmek; aşağıdaki kaynaklara ilişkin tüketim verilerini kaydetmek ve birleştirmek: • Segment Tesis – Doğal Gaz (inşaat) • Jeneratörler – Dizel Yakıt (inşaat) • Araçlar – Dizel Yakıt (inşaat) • Elektrik (inşaat ve işletme) Debimetreler ve sayaçların konumları saha yerleşim planı üzerinde açıkça tanımlanmalıdır. Kaynak tüketimine ilişkin kayıtlar (tüketim miktarlarını içeren yakıt faturaları gibi) düzenli olarak saklanmalıdır.	Aylık	Tüketim Miktarları [m³] [L] [L] [MWh]	Bulunmuyor	Yüklenici / Yüklenici Alt

Kaynak Dökümanlar	İzleme Faaliyeti / Önlemi Açıklaması	Sıklık / Zamanla ma	KPI	Hedef / Kabul Kriterleri	Sorumlu Taraflar
Sera Gazı Protokolü Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli	Tüketilen kaynakların net kalorifik değeri ve yoğunluğunun belirlenmesi ve periyodik (ör. aylık) bazda uygun yöntemlerle hesaplanması; aşağıdaki kaynaklara ilişkin tüketim verilerinin kaydedilmesi ve birleştirilmesi gerekmektedir: Segment tesisi – Doğal gaz (inşaat); Jeneratörler – Dizel yakıt (inşaat); Araçlar – Dizel yakıt (inşaat); Tüketim verilerine ilişkin kayıtlar (tüketim miktarlarını içeren yakıt faturaları gibi) düzenli olarak muhafaza edilmelidir.	Aylık	Tüketilen kaynakların net kalorifik değeri ve yoğunluğu (örnek birimler aşağıda verilmiştir; benzer diğer birimler de kabul edilebilir): Net kalorifik değer: TJ/Gg Yoğunluk: kg/L	Bulunmuyor	Yüklenici / Alt Yüklenici

Kaynak Dökümanlar	İzleme Faaliyeti / Önlemi Açıklaması	Sıklık / Zamanla ma	KPI	Hedef / Kabul Kriterleri	Sorumlu Taraflar
IFC PS3 EPs IV	İşletme aşamasında, proje sınırları içinde yer alan ve proje tarafından sahip olunan veya kontrol edilen tesislerden kaynaklanan doğrudan sera gazı emisyonları ile projenin kullandığı enerjinin saha dışı üretimiyle ilişkili dolaylı emisyonlar yıllık bazda miktarsal olarak hesaplanacaktır.	Yıllık	■ Sera Gazı Emisyon Raporu	Uluslararası Standartlara Uyumluluk	Yüklenici / Alt Yüklenici
GIIP	İklim, kaynak ve enerji verimliliği farkındalık eğitimlerini tamamlayan çalışan sayısı kontrol edilecektir.	Yılda iki kez	Eğitim Kayıtları	100%	Yüklenici / Alt Yüklenici
GIIP	Makine ve ekipmanlara ait bakım kayıtları, düzenli bakım periyotlarının uygulanıp uygulanmadığını kontrol etmek amacıyla incelenecektir.	Aylık	Tadilar Kayıtları	100%	Yüklenici / Alt Yüklenici
■ GIIP	Sahaya herhangi bir faaliyet başlamadan önce, nihai Proje ayak izi (Project footprint) belirlenecektir.	Sahada herhangi bir faaliyet öncesi	Proje Ayak izi	Arazi kullanımı ve bozulmada azalma	Yüklenici / Alt Yüklenici

Kaynak Dökümanlar	İzleme Faaliyeti / Önlemi Açıklaması	Sıklık / Zamanla ma	KPI	Hedef / Kabul Kriterleri	Sorumlu Taraflar
■ GIIP	Atık türleri ve ilgili miktarlara ilişkin kayıtlar düzenli olarak tutulacaktır.	Aylık	Atık Kayıtları	Üretilen atık miktarında azalma ve sürekli iyileştirme	Yüklenici / Alt Yüklenici
■ GIIP	Sera gazı emisyon yönetim tedbirlerine uyumsuzluk sayısı kayıt altına alınacaktır.	Sürekli	Görsel Kayıtlar ve Şikayetler	Uyumsuzlukların minimize edilmesi ve sürekli iyileştirme	Yüklenici / Alt Yüklenici

7.1.8. Gürültü

Proje, özellikle inşaat aşamasında gürültü emisyonları üretme potansiyeline sahiptir. Bu bölüm, gürültü etkilerinin değerlendirilmesini amaçlamaktadır.

Gürültü etki değerlendirmesi, Proje Etki Alanı ("AoI") içerisinde gerçekleştirilmekte olup, baz bölümünde tanımlanan potansiyel olarak etkilenecek yerleşimleri kapsamaktadır. Proje faaliyetlerinden kaynaklanan gürültü etkilerinin değerlendirilmesi sırasında, Proje Etki Alanı içindeki potansiyel olarak etkilenen yerleşimlerin baz gürültü seviyeleri de dikkate alınmıştır. Bu ESIA Raporunun Metodoloji Bölümünde tanımlanan Proje faaliyetleri ve etki faktörleri etki değerlendirmesinde esas alınmış olup, bu bölümde Proje faaliyetlerine ilişkin azaltım ve yönetim tedbirleri ile artık (residual) etkiler tanımlanmıştır.

7.1.8.1. Gürültü Baz Durum Özeti

Projenin planlanan güzergâhı boyunca, geçici tesisler de dikkate alınarak baz gürültü seviyelerini belirlemek amacıyla, Proje Etki Alanı ("AoI") içerisindeki planlanan metro istasyonlarına ve/veya faaliyetlere en yakın hassas alıcıların çoğunlukta olduğu 20 temsili arka plan gürültü ölçüm noktası belirlenmiştir. 2 Şubat – 1 Mart 2026 tarihleri arasında her bir noktada 48 saatlik süre boyunca ortam gürültü seviyeleri ölçülmüştür. Gürültü ölçüm kampanyası, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından gürültü ölçümleri için akredite edilmiş ENCON Laboratuvarı A.Ş. tarafından gerçekleştirilmiştir.

Baz gürültü ölçüm sonuçları bu Raporun baz bölümünde sunulmuştur (bkz. Bölüm 6.1.9). Gürültü ölçüm sonuçları hem IFC gürültü standartları hem de Türk mevzuat limit değerleri ile karşılaştırılmıştır. Bu kapsamda, baz gürültü seviyelerinin detaylı dağılımı aşağıda verilmiştir:

- IFC gündüz ve gece gürültü standartları tüm lokasyonlarda aşılmaktadır. Buna göre tüm lokasyonlar için, önerilen proje nedeniyle gündüz ve gece arka plan gürültü seviyesinde en fazla 3 dBA artışa IFC standardı kapsamında izin verilmektedir.
- Türk gündüz mevzuat limit değerleri N2, N7, N8, N9, N10, N11, N12, N13, N14, N17 ve N18 lokasyonlarında aşılmaktadır.
- Türk akşam mevzuat limit değerleri N2, N3, N4, N6, N7, N8, N9, N10, N11, N12, N13, N14, N17 ve N20 lokasyonlarında aşılmaktadır.
- Türk gece mevzuat limit değerleri N1, N2, N3, N4, N6, N7, N8, N9, N10, N11, N12, N13, N14, N15, N16, N17, N18, N19 ve N20 lokasyonlarında aşılmaktadır.

7.1.8.2. Gürültü Modellemesi Metodolojisi

Planlanan Proje'nin inşaat aşamasında oluşabilecek tahmini gürültü seviyelerini belirlemek amacıyla "SoundPLAN Essential 5.0" yazılımı kullanılmıştır. Proje kapsamında gürültü kaynağı olarak tanımlanan araç ve ekipmanlara ilişkin gürültü seviyeleri, Yüklenici tarafından sağlanan verilerden temin edilmiştir.

Modelleme çalışmaları için, Proje güzergâhı boyunca ve Projenin inşaatından en fazla etkilenecek geçici tesislerin çevresinde, temel gürültü ölçümlerinin gerçekleştirildiği 19 lokasyonu da içeren farklı çalışma alanları belirlenmiştir.

Her bir çalışma alanı için modelleme sürecinde aşağıdaki adımlar izlenmiştir:

İlk aşamada, doğal topoğrafyanın gürültü dağılımını doğrudan etkileyen yükseklik modeli oluşturulmuştur. Bu kapsamda, topografik harita üzerindeki 10 m aralıklı kot eğrileri sayısallaştırılarak programa aktarılmıştır. Kot eğrileri program içinde enterpole edilerek Proje güzergâhı ve çevresine ait doğal yükseklik verileri elde edilmiş ve modelde kullanılmak üzere dijital arazi modeli (DGM) oluşturulmuştur.

İkinci aşamada, Proje güzergâhının geçtiği ve geçici tesislerin bulunduğu çalışma alanlarına ait nem, sıcaklık ve atmosfer basıncı verileri modele girilmiştir.

Üçüncü aşamada, çalışma alanı için belirlenen gürültü kaynakları, ilgili gürültü seviyeleri (dBA) ile birlikte modele tanımlanmıştır.

Dördüncü aşamada, belirlenen alıcı noktalar da modele sayısallaştırılarak dahil edilmiştir.

Beşinci aşamada, gürültü dağılımını etkileyen önemli bir parametre olan zemin etkileri modele işlenmiştir. Zemin etkisi 0 ile 1 arasında değişmekte olup, 0 sert ve yansıtıcı yüzeyleri, 1 ise yumuşak ve absorbe edici yüzeyleri temsil etmektedir.

Son olarak, çalışma alanındaki tüm gürültü kaynakları ve hassas alıcıları kapsayan bir hesaplama alanı belirlenerek modelleme süreci başlatılmıştır. En kötü durum senaryosu kapsamında tüm gürültü kaynaklarının aynı anda ve belirlenen maksimum kapasitede çalıştığı varsayılmıştır. Modelleme sonuçları doğrultusunda, alıcı noktalarındaki gürültü seviyeleri ve her çalışma alanı için grid gürültü haritaları elde edilmiştir.

Gürültü Model Varsayımları ve Yaklaşımları

- Gürültü modeli; aşağıda tanımlanan ekipman türü, miktarı ve gürültü seviyeleri kullanılarak geliştirilmiştir.
- Proje alanı için nem, sıcaklık ve atmosfer basıncı değerleri iki farklı meteoroloji istasyonundan elde edilen veriler doğrultusunda ortalama alınarak belirlenmiştir:
 - Kocaeli-Merkez Meteoroloji İstasyonu çevresindeki alanlar için: nem %71,9; sıcaklık 14,9°C; basınç 1006,7 hPa (ESIA Bölüm 6.1.2).
 - Kocaeli-Cengiz Topel Havalimanı Meteoroloji İstasyonu çevresindeki alanlar için: nem %80,2; sıcaklık 14,2°C; basınç 1007,9 hPa (ESIA Bölüm 6.1.2).
- Zemin etkileri, her çalışma alanının kırsallık/kentsellik yoğunluğuna göre 0,0 ile 0,2 arasında değişecek şekilde tanımlanmıştır.
- Model, tüm gürültü kaynaklarının aynı anda ve maksimum kapasiteyle çalıştığı en kötü durum senaryosu dikkate alınarak oluşturulmuştur.
- En kötü durum senaryosu kapsamında, modellenen gürültü seviyeleri ölçülen en yüksek arka plan gürültü seviyeleri ile birlikte kümülatif olarak değerlendirilmiş ve Proje standartları ile karşılaştırılmıştır.
- N-20 İzleme Noktası yakınında yalnızca bir kamp alanı bulunmaktadır. Bu bölgede inşaat faaliyeti planlanmadığından, proje kaynaklı gürültü etkisine maruz kalması beklenmemekte olup modelleme çalışmasına dahil edilmemiştir.

7.1.8.3. Etkilerin Değerlendirilmesi

7.1.8.3.1. İnşaat Aşaması

Proje'nin inşaat aşamasındaki gürültü etkilerinin potansiyel etkileri, ağırlıklı olarak altyapı ve üstyapı inşaatında kullanılacak ağır ekipman/makinelerin operasyonlarından kaynaklanacaktır.

İnşaat aşamasında etkiler temel olarak aşağıdaki etki faktörü ile ilişkilidir:

- Gürültü emisyonu

Yukarıda belirtilen etki faktörü ile ilişkili Proje faaliyetleri şunlardır:

- Bitki örtüsünün temizlenmesi
- Yüzey tesviyesi ve zemin düzenleme (mevcut yapıların yıkımı dahil)
- Malzemenin geçici olarak stoklanması
- İnşaat malzemelerinin taşınması
- Demiryolu ve istasyonların inşası
- Geçici ve yardımcı tesislerin inşası
- İnşaat süresince geçici ve yardımcı tesislerin işletimi

Bu bölümde, altyapı ve üstyapı inşaatında kullanılacak makineler ve ekipmanlardan kaynaklanan çevresel gürültü, Proje'nin inşaat aşamasındaki en kötü durum senaryosunu göstermek amacıyla kümülatif ve muhafazakâr bir yaklaşımla değerlendirilmiştir.

Projenin tamamında kullanılacak ekipman ve makine listesi Yüklenici tarafından sağlanmış olup Tablo 7.75'te sunulmuştur. Bu ekipman/makinelerin gürültü seviyeleri Yükleniciden temin edilmiş ve modele dâhil edilmiştir. Verilen ekipman/makine listesi, planlanan Proje güzergâhının farklı kesimlerinde eş zamanlı olarak yürütülecek inşaat çalışmalarında kullanılacak tüm ekipmanları temsil etmektedir.

En kötü durum senaryosu yaklaşımı kapsamında, inşaat faaliyetlerinde kullanılan makine ve ekipmanların eş zamanlı, toplu şekilde ve maksimum ses gücü seviyelerinde çalıştığı kabul edilmiştir.

Tablo 7.75: İnşaat Aşamasında Kullanılacak Tahmini Ekipman Sayısı ve Türü

İnşaat Ekipmanları	Ekipman Sayısı	Ses Gücü (Lw)
Buldozer	2	109
Forklift (5-16 ton)	3	90
Vinç (100-700 ton)	4	109
Mobil Vinç (150 ton)	10	109
Kule Vinç (60 metre - 10 ton)	12	75
Kamyon Üstü Vinç	7	102
Ekskavatör (25 - 90 ton)	16	109
Hidrolik kırıcıya sahip ekskavatör	1	102
Su tankeri	4	75
Vakumlu kamyon	9	75

İnşaat Ekipmanları	Ekipman Sayısı	Ses Gücü (Lw)
Kazıcı yükleyici (backhoe loader)	4	74
Yükleyici	4	109
Toprak silindiri (kompaktör)	1	109
Greyder	1	72
Kamyon	3	75
Manitou (telehandler tipi yükleyici)	1	81
Yol süpürme aracı	2	75
Bobcat (mini yükleyici)	1	104
Kazıcı yükleyici	1	74
Çekici kamyon (truck tractor)	4	75
Lowbed treyler (alçak yataklı taşıyıcı)	2	75
Telehandler	1	75
Manlift (personel yükseltici platform)	1	75
Kompakt ekskavatör	3	109
Platform treyler	1	75
Shotcrete (püskürtme beton ekipmanı)	2	75
Tünel delme jumbo makinesi	1	106

Belirlenen 19 çalışma alanı, temel ölçümlerin gerçekleştirildiği noktalar olarak, inşaat aşamasının kümülatif değerlendirmesi için modellenmiştir. Temel gürültü ölçümlerinin yapıldığı seçilmiş alıcılarda hesaplanan gürültü seviyeleri, kümülatif sonuçlar ve bu sonuçların IFC standartları ile Türk limit değerleriyle karşılaştırılması Tablo 7.76'da sunulmuştur. Değerlendirilen alıcıların kümülatif sonuçlarının detaylı dağılımı aşağıda verilmiştir:

IFC gündüz gürültü standardı, tüm lokasyonlarda kümülatif hesaplanan gürültü seviyeleri tarafından aşılmaktadır. Ancak IFC gündüz gürültü standardı zaten temel (mevcut) gürültü seviyeleri tarafından aşılmıştır ve bu lokasyonlar için önerilen proje nedeniyle arka plan gürültü seviyesinde en fazla 3 dBA artışa izin verilmektedir. Buna göre N6, N7, N8, N9, N10, N11, N13, N14, N16, N18 ve N19 noktalarında arka plan gürültü seviyesindeki artış 3 dBA'nın altındadır ve bu nedenle bu lokasyonlarda IFC kılavuzuna uyum sağlanmaktadır. Buna karşılık N1, N2, N3, N4, N5, N12, N15 ve N17 lokasyonlarında proje kaynaklı artış 3 dBA eşliğini aştığı için IFC kılavuzu ile uyum sağlanmamaktadır.

IFC gece gürültü standardı da tüm lokasyonlarda kümülatif hesaplanan gürültü seviyeleri tarafından aşılmaktadır. Ancak IFC gece gürültü standardı zaten temel gürültü seviyeleri tarafından aşılmıştır ve bu lokasyonlar için önerilen proje nedeniyle arka plan gürültü seviyesinde en fazla 3 dBA artışa izin verilmektedir. Buna göre N6, N7, N9, N10, N13, N16, N18 ve N19 noktalarında arka plan gürültü seviyesindeki artış 3 dBA'nın altındadır ve bu nedenle bu lokasyonlarda IFC kılavuzuna uyum sağlanmaktadır. Buna karşılık N1, N2, N3, N4, N5, N8, N11, N12, N14, N15 ve N17 lokasyonlarında proje kaynaklı artış 3 dBA eşliğini aştığı için IFC kılavuzu ile uyum sağlanmamaktadır.

Türk gündüz gürültü mevzuat limit değeri N1, N2, N3, N4, N5, N7, N8, N9, N10, N11, N12, N13, N14, N17 ve N18 lokasyonlarında aşılmakta olup, bu değer N2, N7, N8, N9, N10, N11, N12, N13, N14, N17 ve N18 noktalarında zaten daha önce de aşılmıştır.

Türk akşam gürültü mevzuat limit değeri N1, N2, N3, N4, N5, N6, N7, N8, N9, N10, N11, N12, N13, N14, N15, N17 ve N18 lokasyonlarında aşılmakta olup, bu değer N2, N3, N4, N6, N7, N8, N9, N10, N11, N12, N13, N14 ve N17 lokasyonlarında zaten daha önce de aşılmıştır.

Türk gece gürültü mevzuat limit değeri tüm lokasyonlarda aşılmakta olup, bu durum N1, N2, N3, N4, N6, N7, N8, N9, N10, N11, N12, N13, N14, N15, N16, N17, N18 ve N19 lokasyonlarında zaten daha önce de aşılmıştır.

İnşaat aşaması için elde edilen gündüz zamanına ait grid gürültü haritaları aşağıda Şekil 7.39'da sunulmuştur.

Tablo 7.76 İnşaat Gürültüsü Modelleme Sonuçları ve Alıcı Noktalarda Ölçülen Gürültü Seviyeleri

Ölçüm noktası	Ölçüm Yeri / Yerleşim / Mahalle				Modelleme Gürültü Seviyesi (Proje Kaynaklı) (dBA)					Mevcut Gürültü Seviyesi (dBA)					Modelleme + Mevcut Gürültü Seviyesi (dBA)					Modelleme ve Mevcut Arasındaki Fark (dBA)				
	Ölçüm Yeri / Yerleşim / Mahall	Alıcı Tipi	En Yakın Proje Bileşeni	En Yakın Bileşene Mesafe (m)																				
					IFC		Türk			IFC		Türk			IFC		Türk			IFC		Türk		
					Gündüz (07-22)	Gece (22-07)	Gündüz (07-19)	Akşam (19-23)	Gece (23-07)	Gündüz (07-22)	Gece (22-07)	Day (07-19)	Akşam (19-23)	Gece (23-07)	Gündüz (07-22)	Gece (22-07)	Gündüz (07-19)	Akşam (19-23)	Gece (23-07)	Gündüz (07-22)	Gece (22-07)	Gündüz (07-19)	Akşam (19-23)	Gece (23-07)
N1	Yarımca	Konut	İstasyon	10	65.4	65.4	65.4	65.4	65.4	58.3	57.1	58.1	58.8	57.1	66.2	66.0	66.1	66.3	66.0	7.9	8.9	8.0	7.5	8.9
N2	Yarımca	Konut	İstasyon	10	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0	66.0	58.9	65.8	66.5	58.9	71.5	70.3	71.4	71.6	70.3	5.5	11.4	5.6	5.1	11.4
N3	Sırrıpaşa	Konut	İstasyon	20	81.1	81.1	81.1	81.1	81.1	62.9	60.9	63.1	62.4	60.9	81.2	81.1	81.2	81.2	81.1	18.3	20.2	18.1	18.8	20.2
N4	Sırrıpaşa	Konut	İstasyon	20	69.4	69.4	69.4	69.4	69.4	61.8	58.3	62.2	60.3	58.3	70.1	69.7	70.2	69.9	69.7	8.3	11.4	8.0	9.6	11.4
N5	Çenedağ	Konut	İstasyon	10	73.7	73.7	73.7	73.7	73.7	58.4	54.4	59.2	55.1	54.4	73.8	73.8	73.9	73.8	73.8	15.4	19.4	14.7	18.7	19.4
N6	Çenedağ	Konut	İstasyon	75	59.8	59.8	59.8	59.8	59.8	62.9	63.5	63.0	62.9	63.5	64.6	65.0	64.7	64.6	65.0	1.7	1.5	1.7	1.7	1.5
N7	Yenimahalle	Konut	İstasyon	70	64.1	64.1	64.1	64.1	64.1	68.7	65.2	69.4	65.5	65.2	70.0	67.7	70.5	67.9	67.7	1.3	2.5	1.1	2.4	2.5
N8	Yenidoğan	Konut	İstasyon	70	66.7	66.7	66.7	66.7	66.7	68.9	65.6	69.3	67.5	63.4	70.9	69.2	71.2	70.1	68.4	2.0	3.6	1.9	2.6	5.0
N9	Kozluk	Konut	İstasyon	65	65.2	65.2	65.2	65.2	65.2	66.7	65.6	66.9	66.3	65.6	69.0	68.4	69.1	68.8	68.4	2.3	2.8	2.2	2.5	2.8
N10	Hacı Hızır	Konut	İstasyon	30	67.0	67.0	67.0	67.0	67.0	70.3	70.0	70.8	69.7	70.0	72.0	71.8	72.3	71.6	71.8	1.7	1.8	1.5	1.9	1.8
N11	Ş.Kadıköy	Konut	İstasyon	10	66.8	66.8	66.8	66.8	66.8	67.6	62.1	68.3	66.4	62.1	70.2	68.1	70.6	69.6	68.1	2.6	6.0	2.3	3.2	6.0

N12	Mehmetalipaşa	Konut	İstasyon	10	74.9	74.9	74.9	74.9	74.9	67.6	64.6	66.0	70.5	64.6	75.6	75.3	75.4	76.2	75.3	8.0	10.7	9.4	5.7	10.7
N13	Mehmetalipaşa	Konut	İstasyon	25	62.3	62.3	62.3	62.3	62.3	79.0	77.2	79.6	76.5	77.2	79.1	77.3	79.7	76.7	77.3	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1
N14	Mehmetalipaşa	Konut	İstasyon	35	66.9	66.9	66.9	66.9	66.9	68.9	66.4	69.6	65.7	66.4	71.0	69.7	71.5	69.4	69.7	2.1	3.3	1.9	3.7	3.3
N15	Mehmetalipaşa	Konut	İstasyon	85	60.5	60.5	60.5	60.5	60.5	56.1	58.4	56.5	56.3	58.4	61.8	62.6	62.0	61.9	62.6	5.7	4.2	5.5	5.6	4.2
N16	Dumlupınar	Konut	İstasyon	520	46.9	46.9	46.9	46.9	46.9	60.1	58.7	60.9	56.4	58.7	60.3	59.0	61.1	56.9	59.0	0.2	0.3	0.2	0.5	0.3
N17	Ş.Uzunbey Kumlaçiftliği	Konut	İstasyon	15	77.1	77.1	77.1	77.1	77.1	73.1	69.6	73.9	69.0	69.6	78.6	77.8	78.8	77.7	77.8	5.5	8.2	4.9	8.7	8.2
N18	Emekevler	Konut	İstasyon	110	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	66.8	64.2	67.8	60.0	64.2	67.6	65.6	68.5	63.0	65.6	0.8	1.4	0.7	3.0	1.4
N19	Ş.Çiftlik	Konut	İstasyon	150	58.1	58.1	58.1	58.1	58.1	60.1	59.4	61.1	53.2	59.4	62.2	61.8	62.9	59.3	61.8	2.1	2.4	1.8	6.1	2.4
IFC Gürültü Standartları ^{1, 2}	Sanayi ve Ticari Alanlar				70	70	-	-	-	70	70	-	-	-	70	70	-	-	-	3	3	-	-	-
	Konut, Kurumsal ve Eğitim Alanları				55	45	-	-	-	55	45	-	-	-	55	45	-	-	-	3	3	-	-	-
Türk Gürültü Sınır Değerleri ^{3, 4}	Sanayi Tesisleri ve Ulaşım Kaynakları				-	-	65	60	55	-	-	65	60	55	-	-	65	60	55	-	-	-	-	-

Notlar:

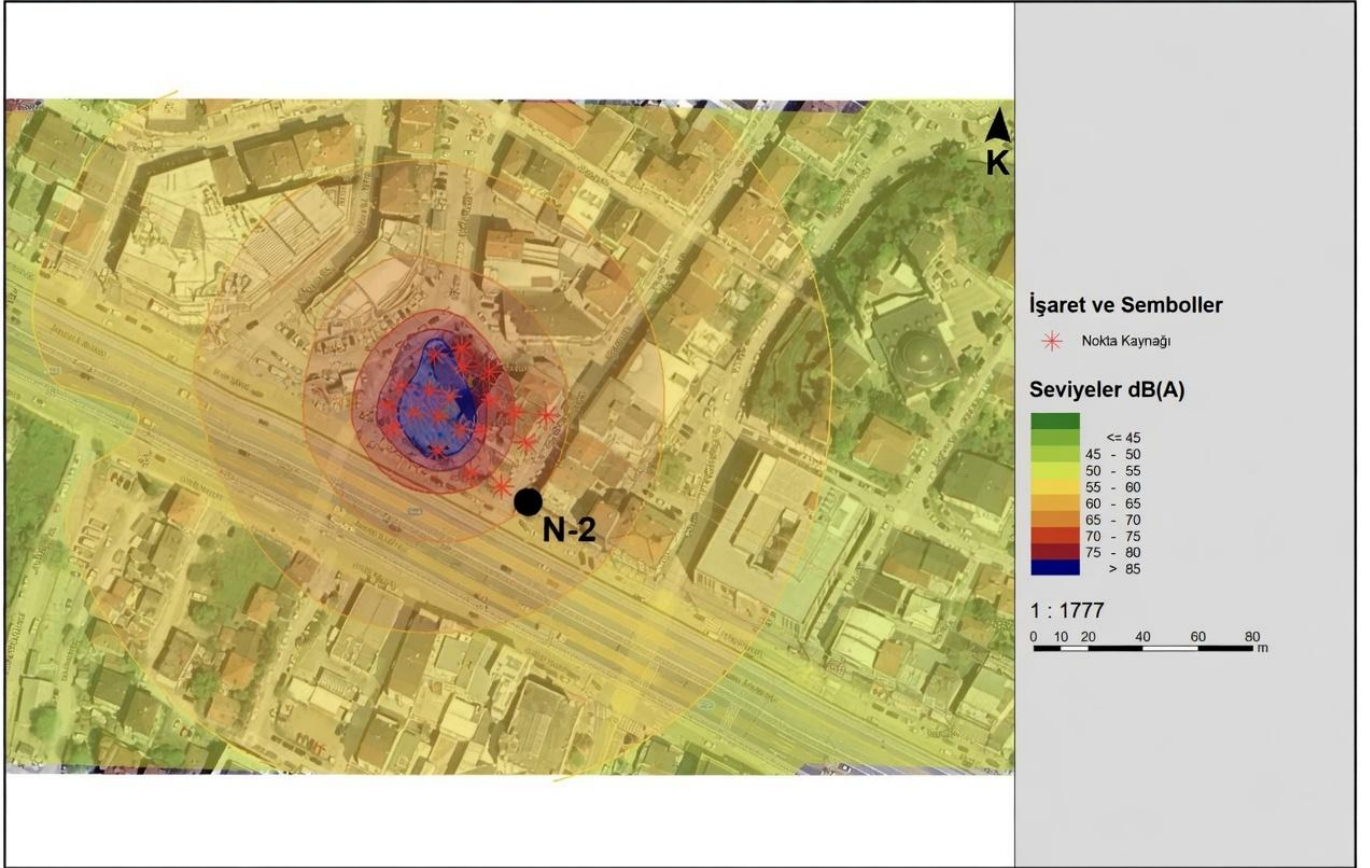
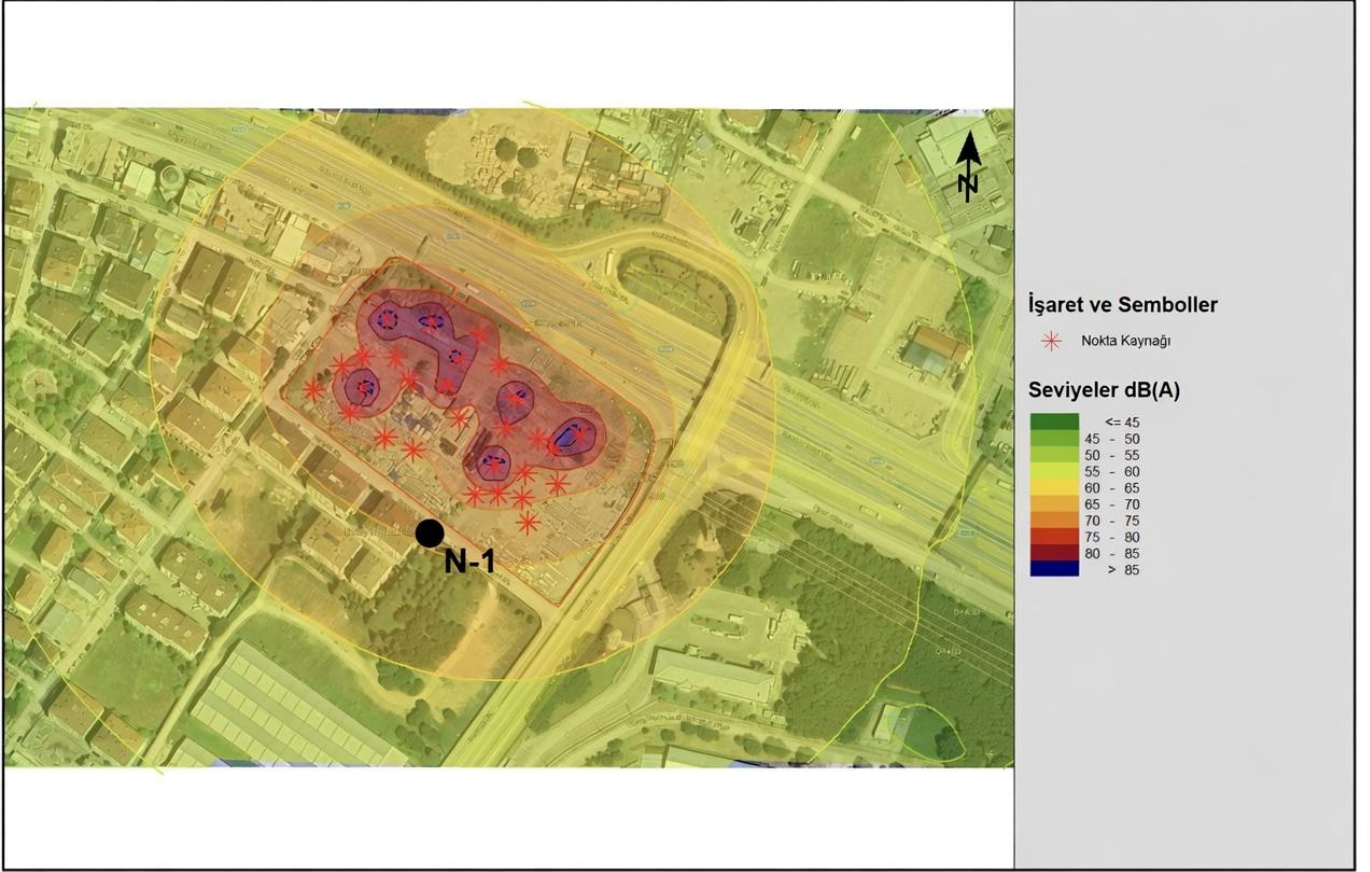
- En kötü durum senaryosu simülasyonu için, modellenen gürültü seviyeleri kümülatif olarak değerlendirilmiş ve en yüksek arka plan (baseline) değeri ile karşılaştırılmıştır.

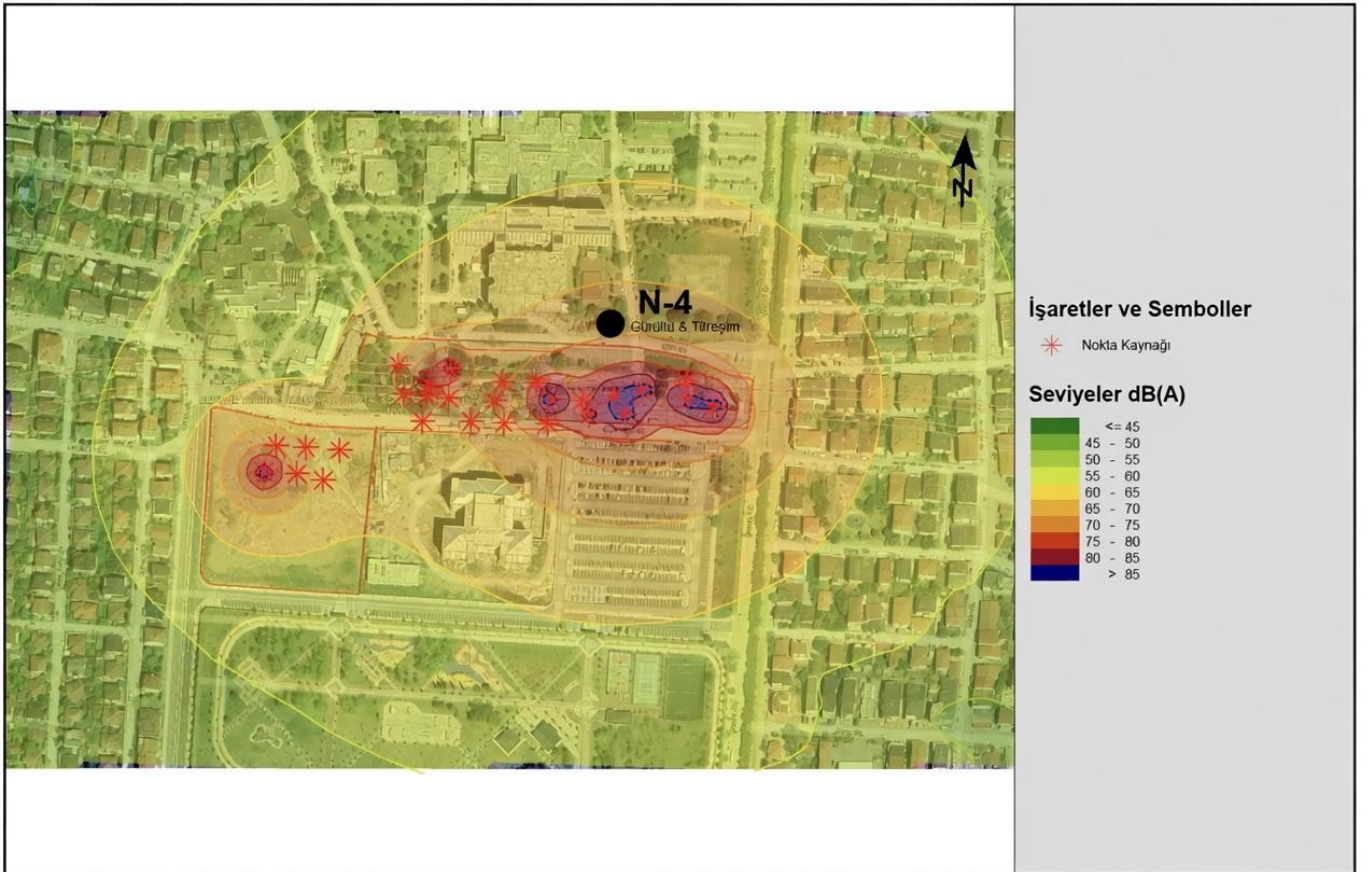
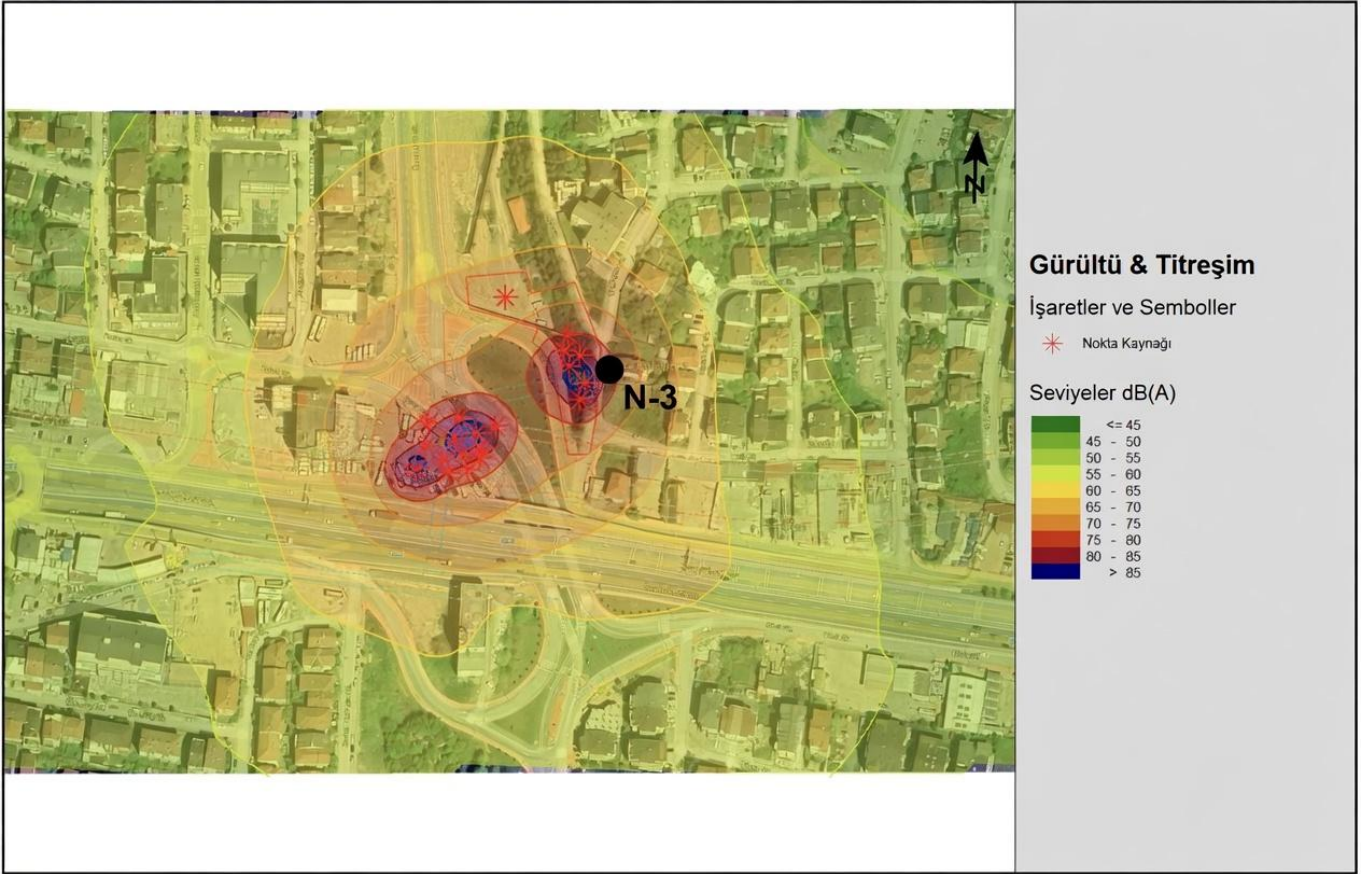
1 IFC Çevresel, Sağlık ve Güvenlik (EHS) Kılavuzları – Genel EHS Kılavuzları: Çevresel – Gürültü Yönetimi;

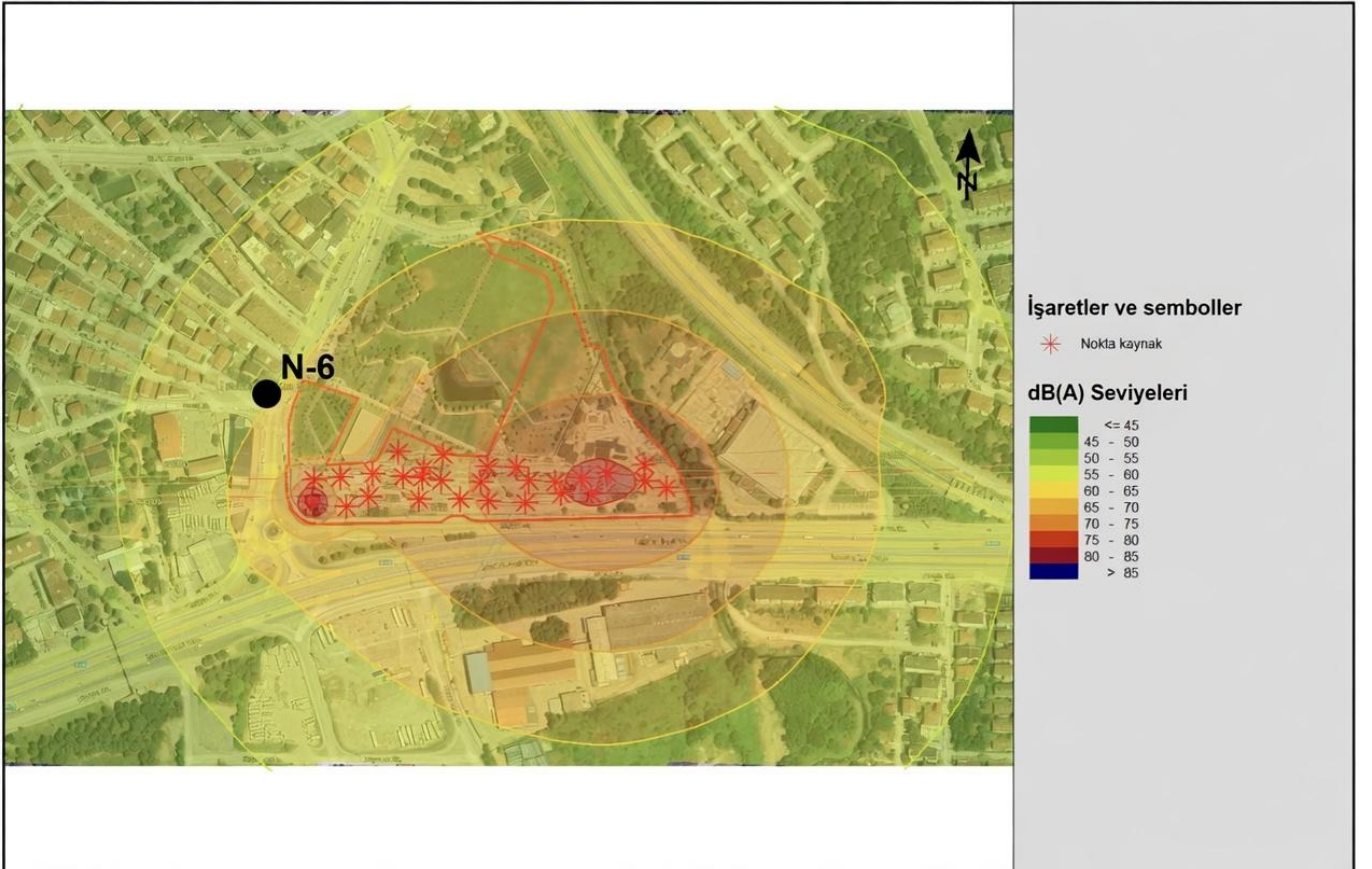
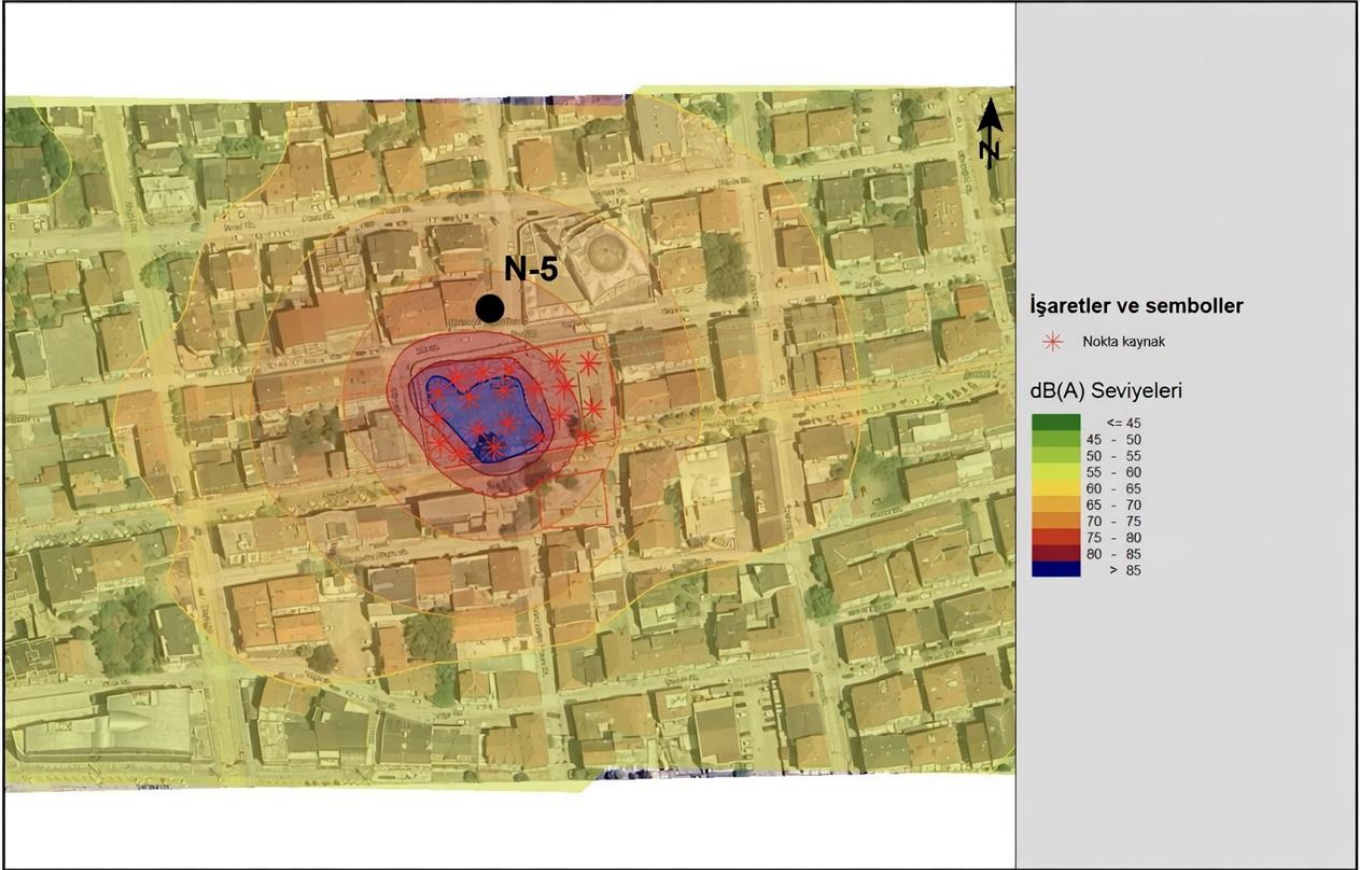
2 IFC Kılavuzları, 24 saatlik zaman dilimi için iki farklı aralıkta gürültü standartları belirlemektedir: gündüz (07:00–22:00) ve gece (22:00–07:00).

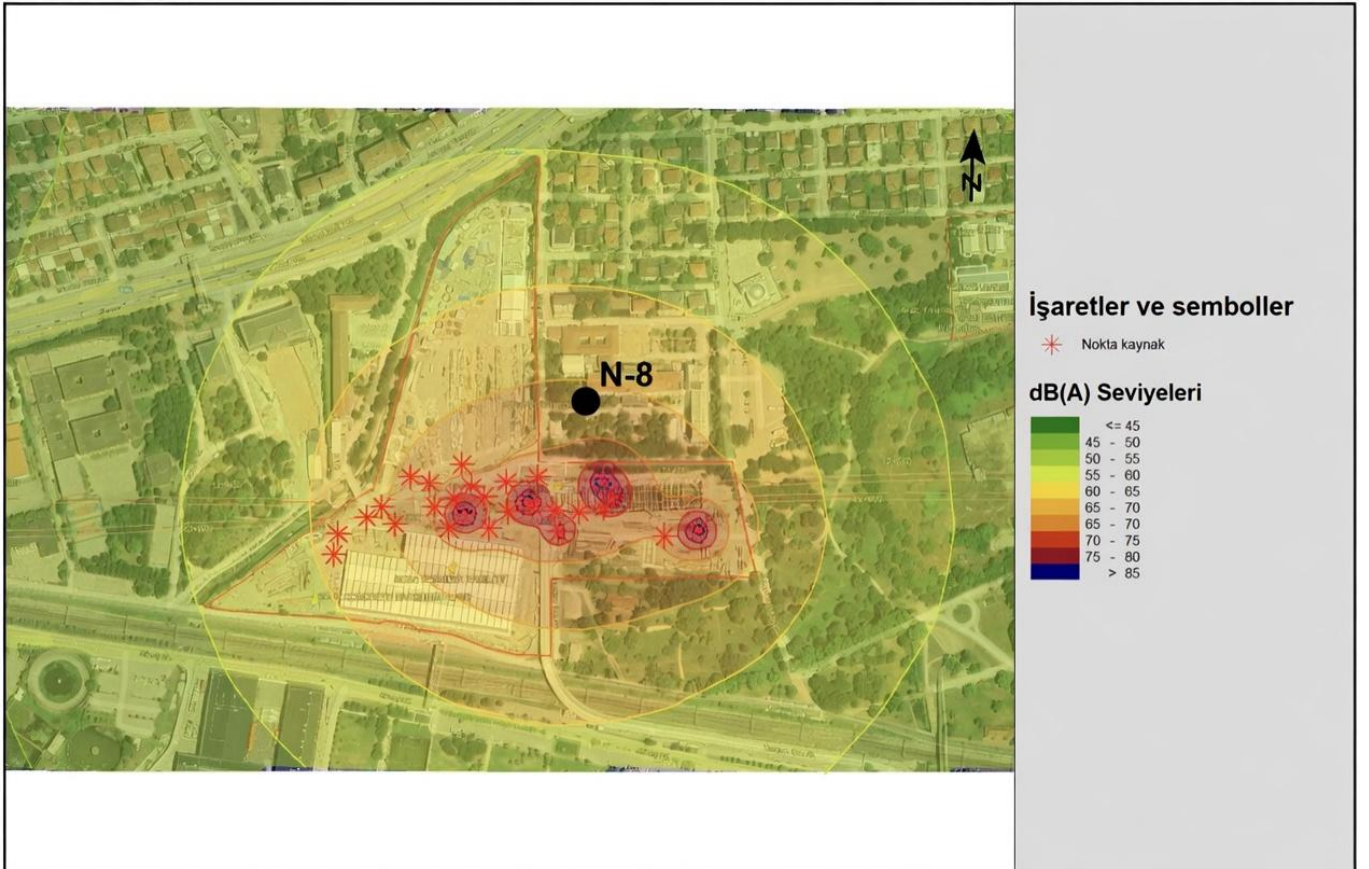
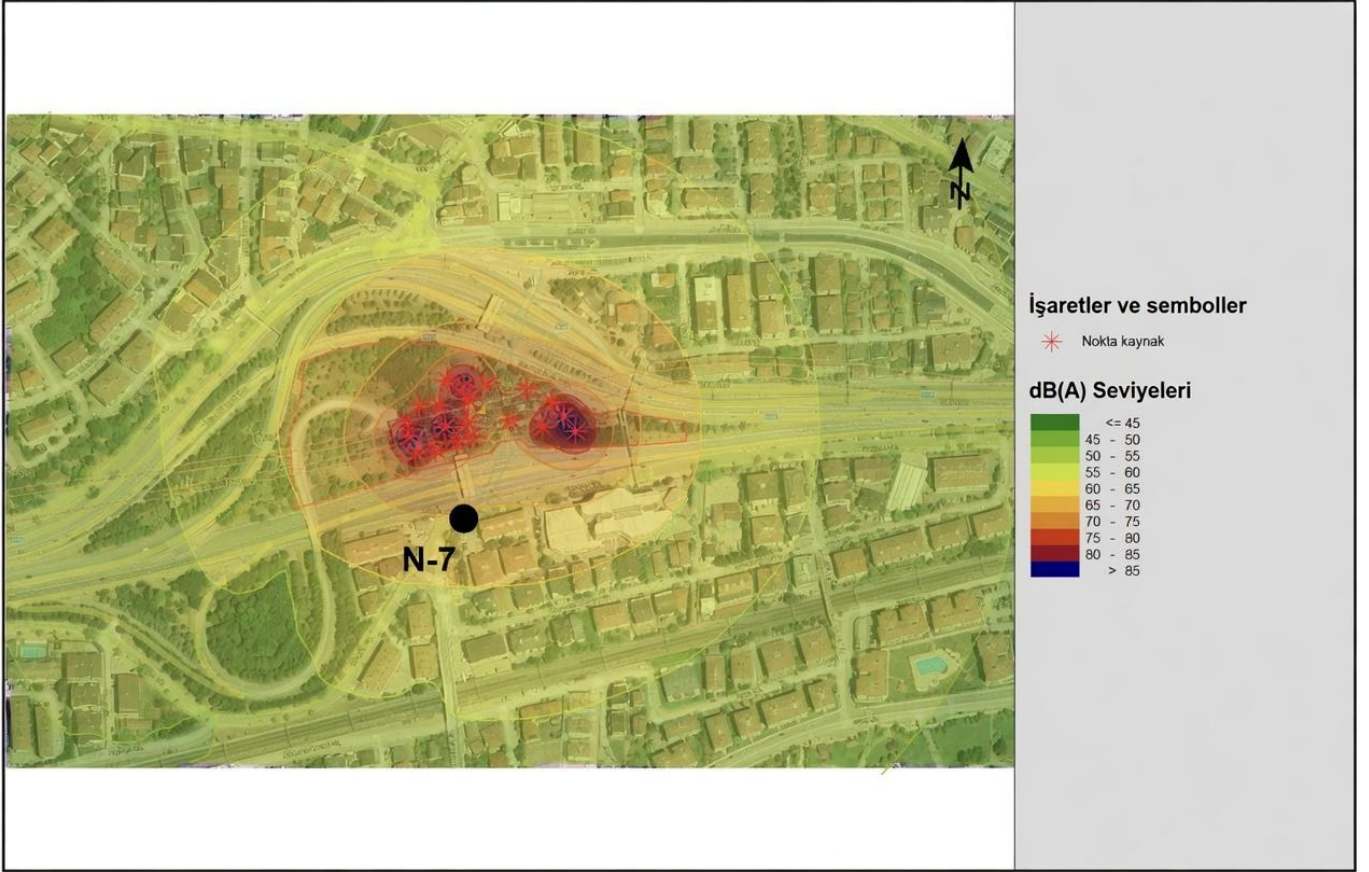
3 Çevresel Gürültünün Kontrolü Yönetmeliği;

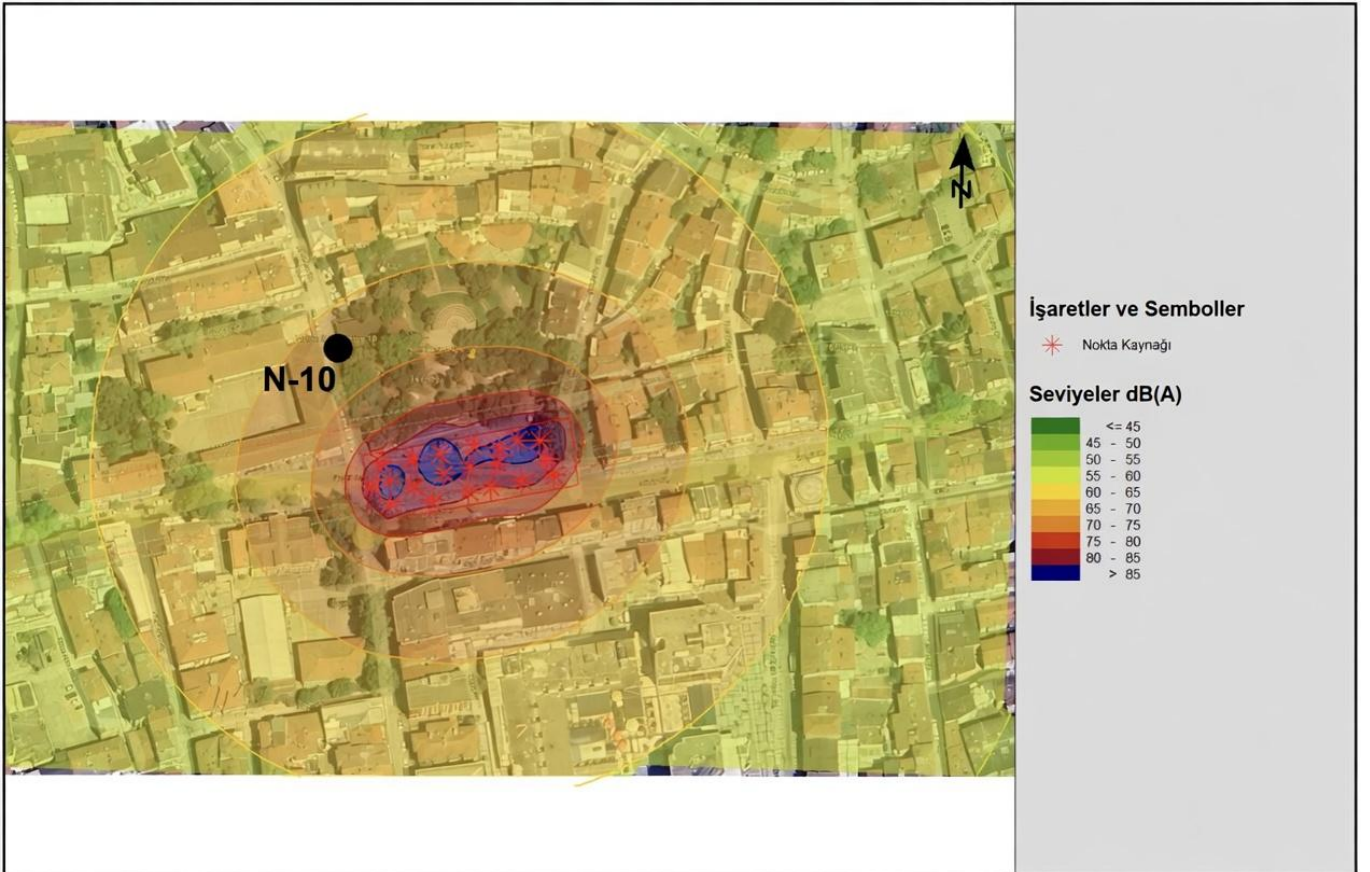
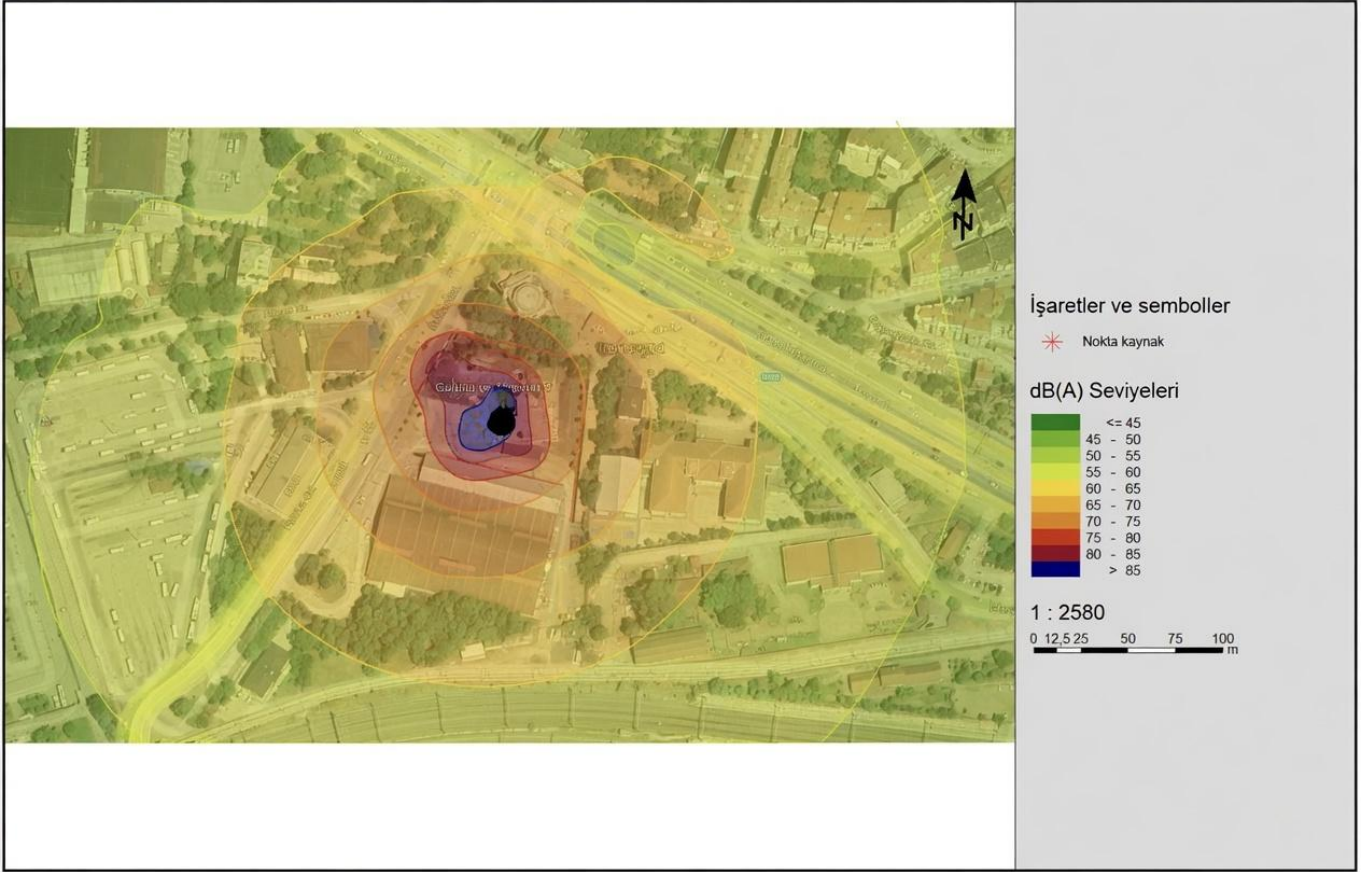
4 Çevresel Gürültünün Kontrolü Yönetmeliği, 24 saatlik zaman dilimi için üç farklı aralıkta gürültü standartları belirlemektedir: gündüz (07:00–19:00), akşam (19:00–23:00) ve gece (23:00–07:00).

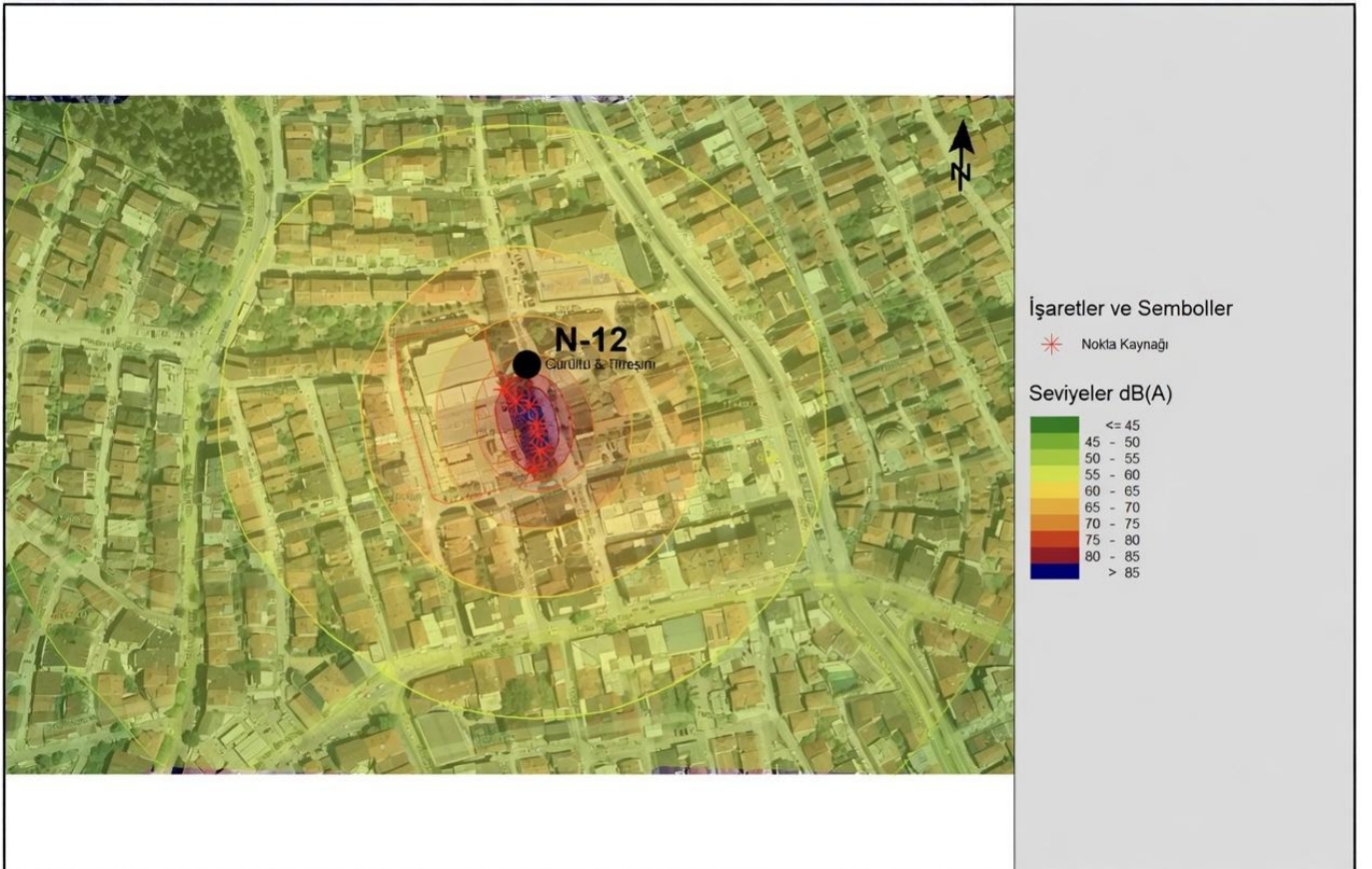
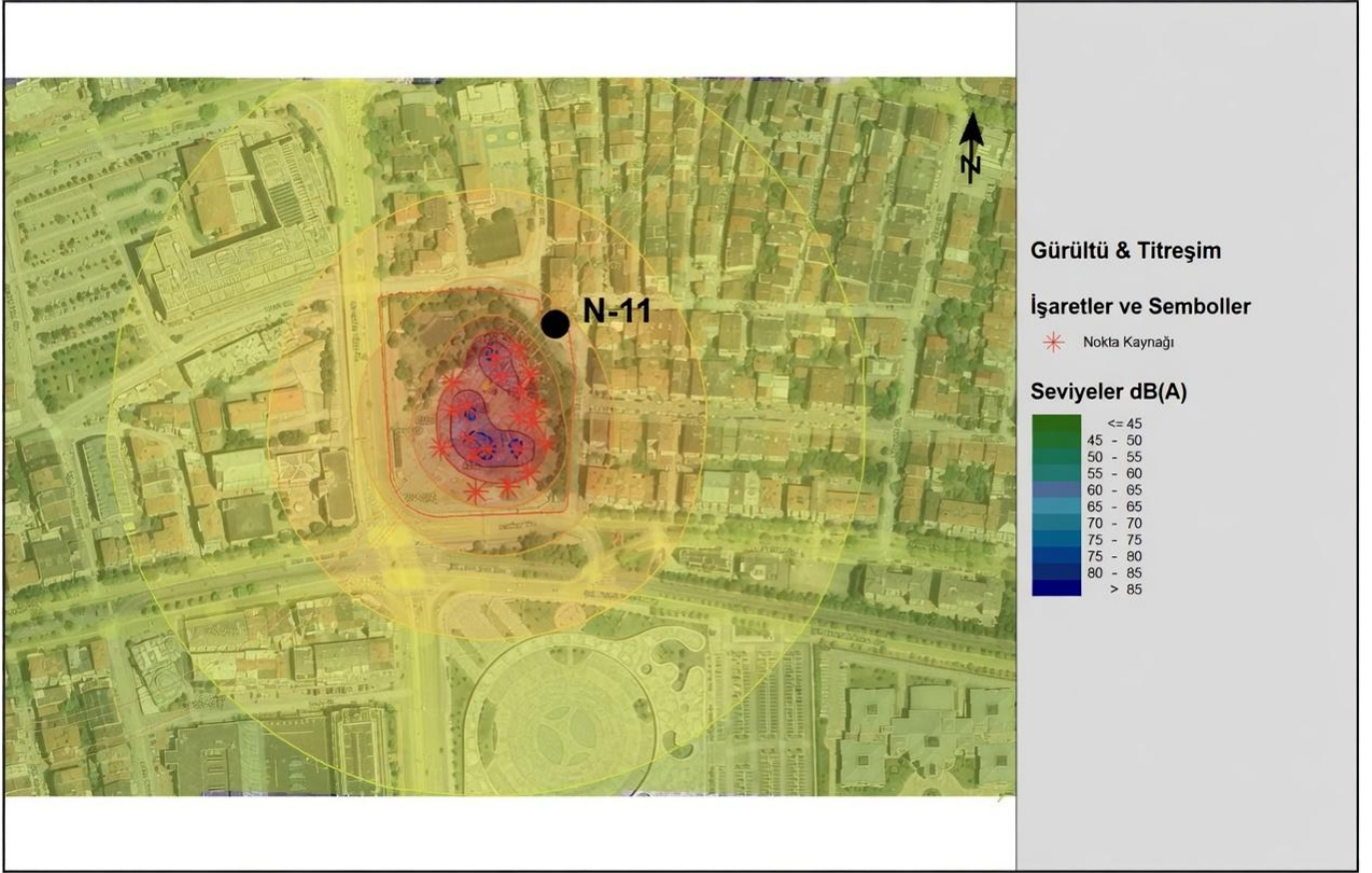


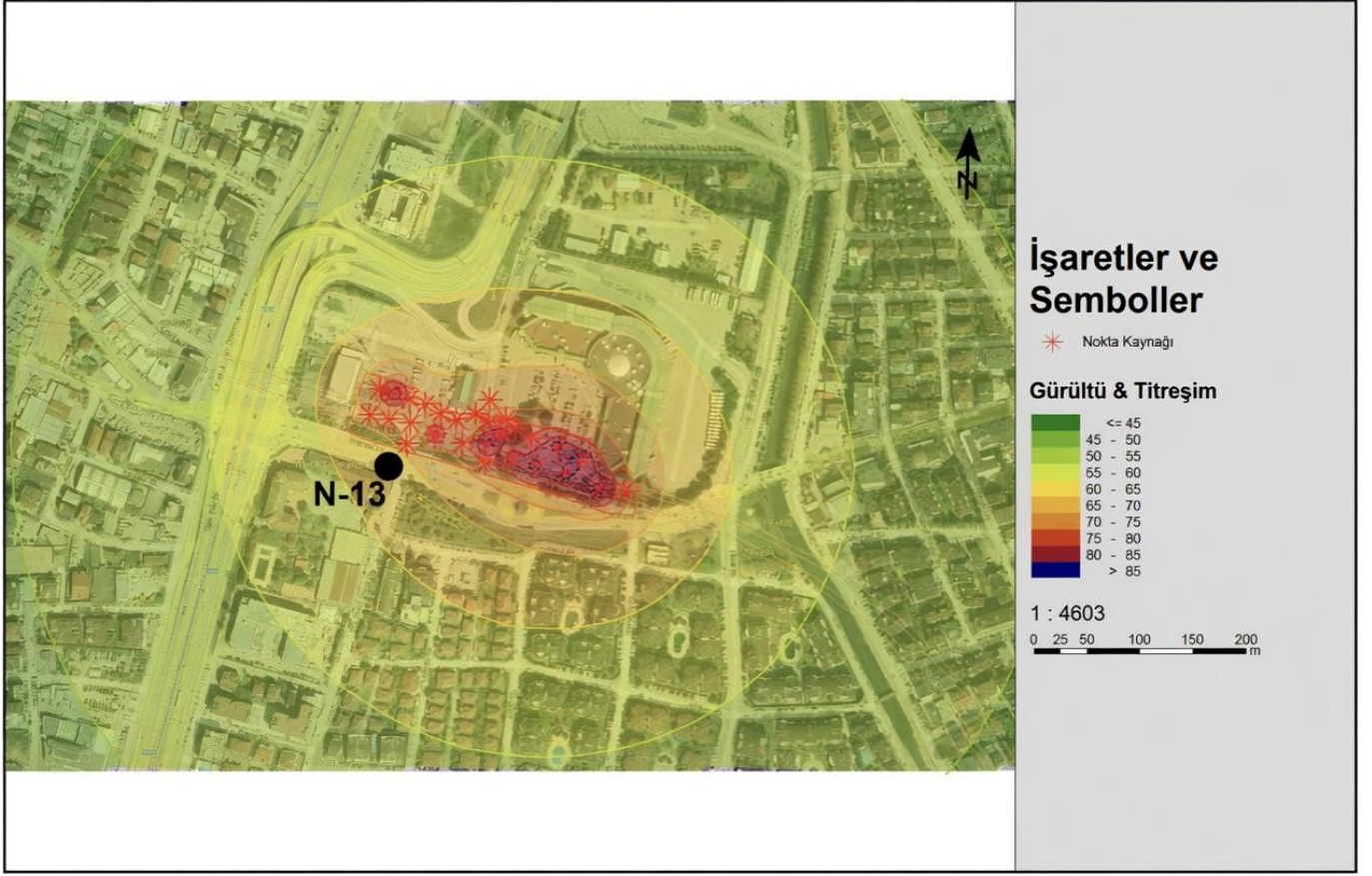


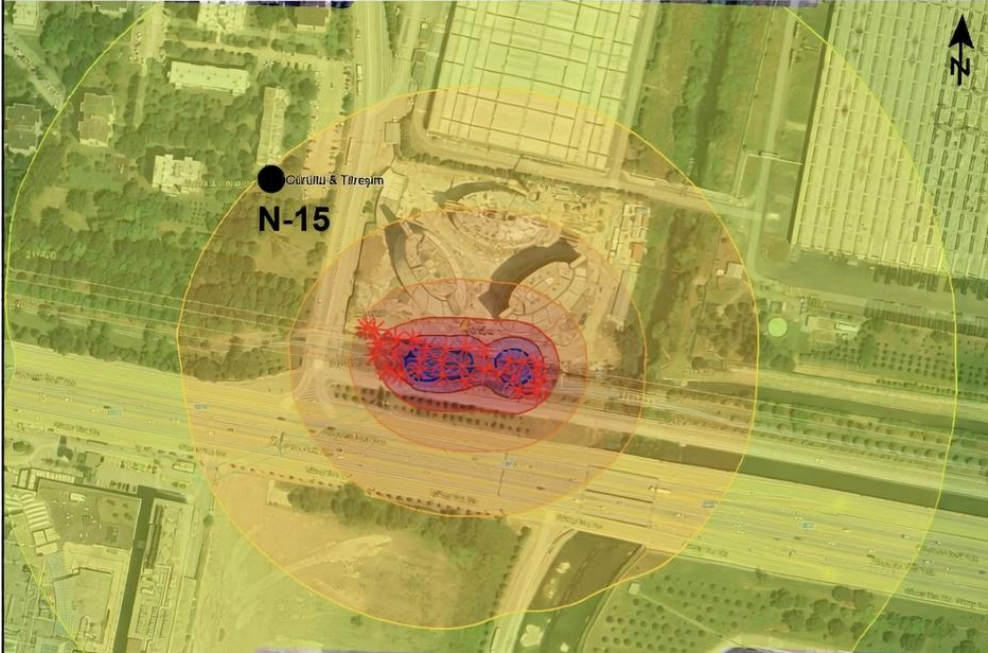
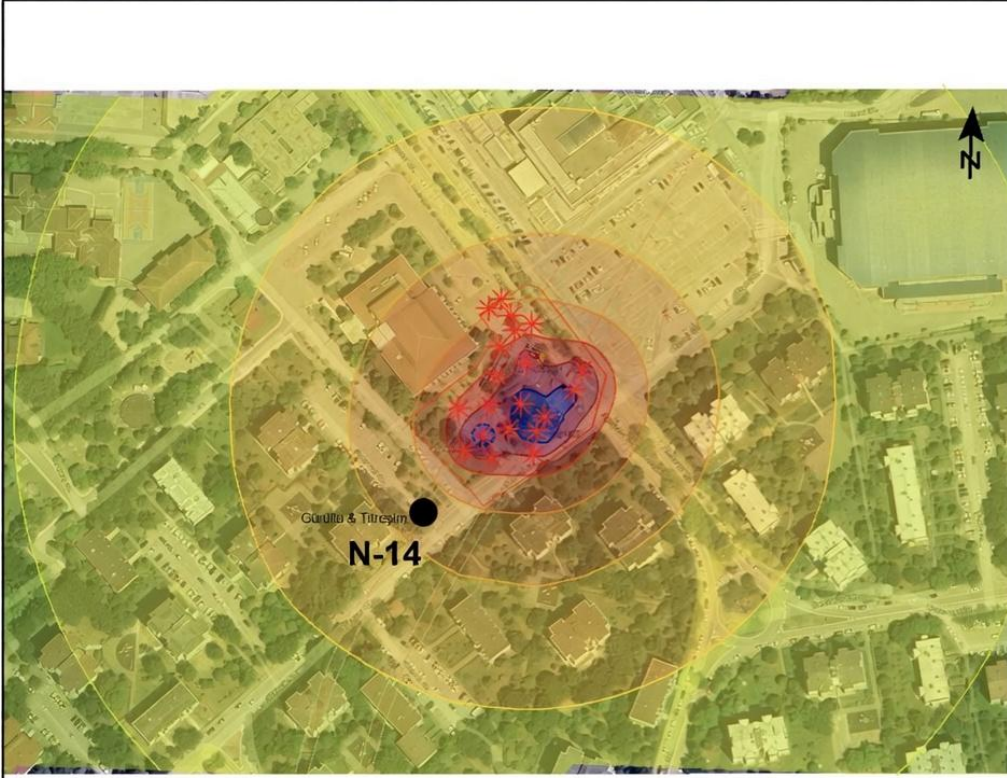


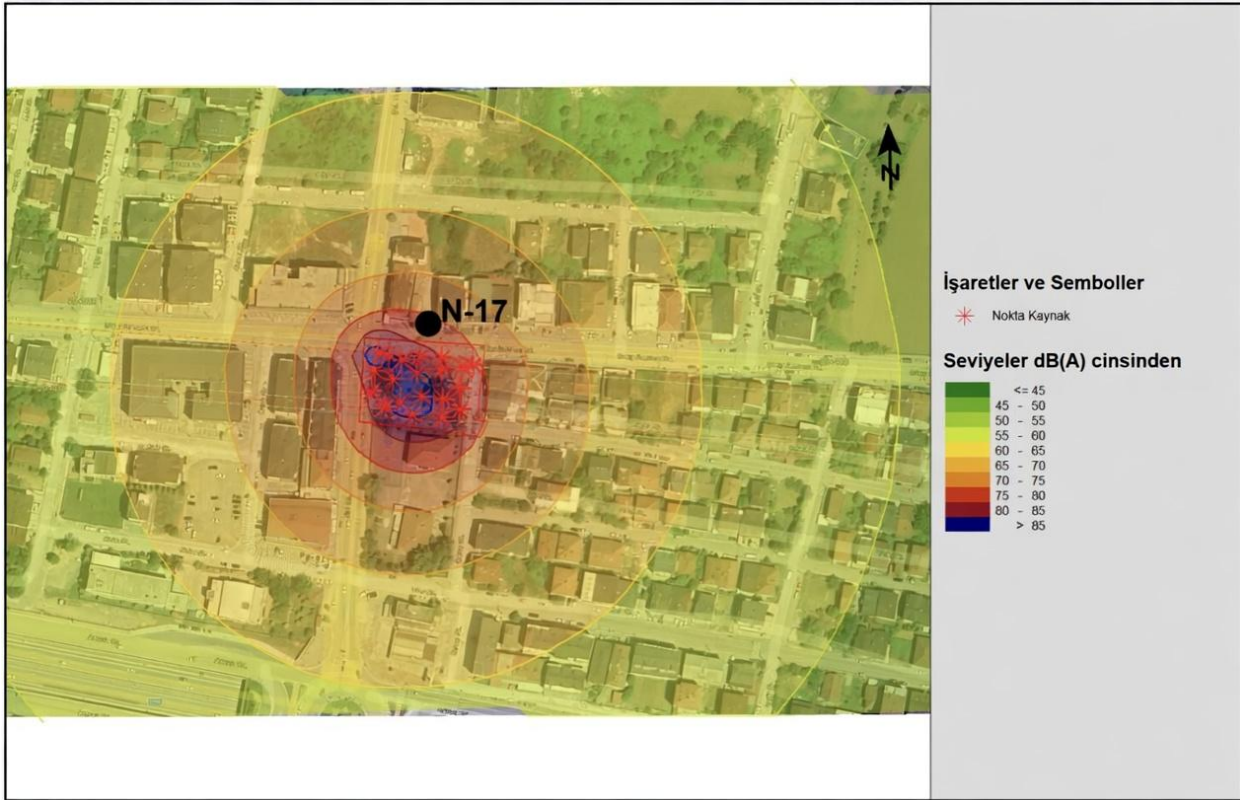
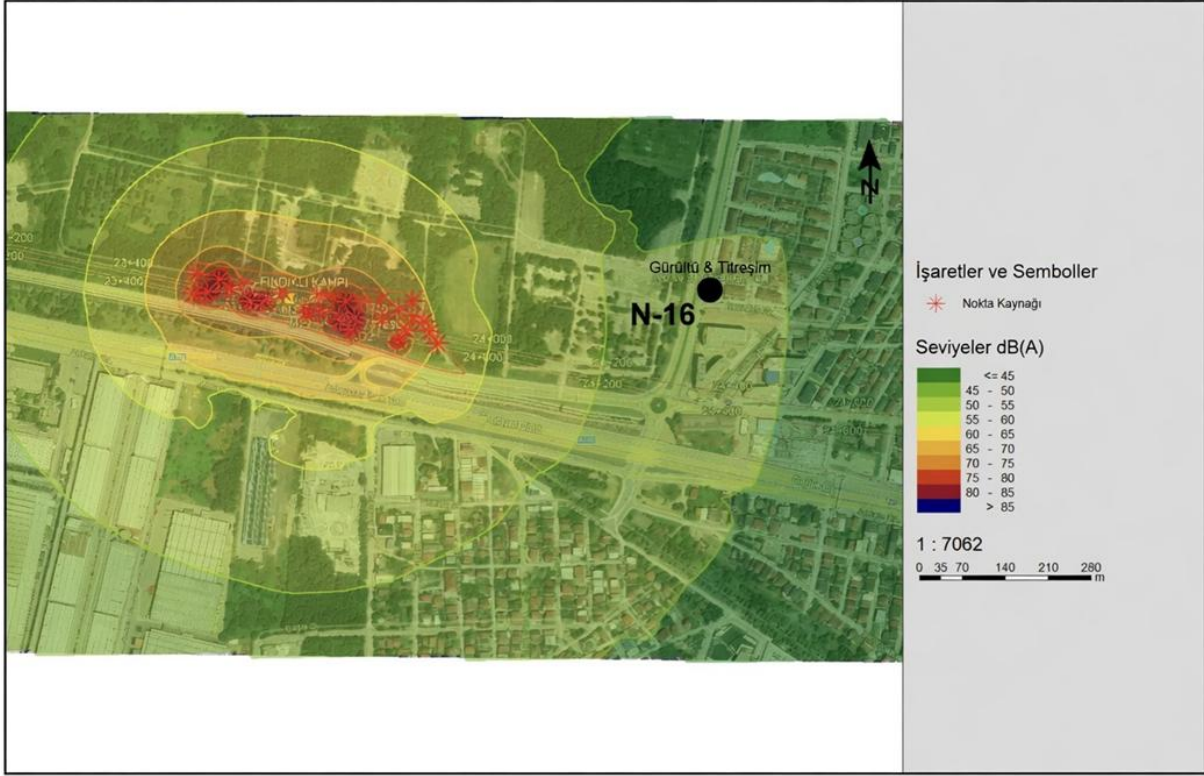












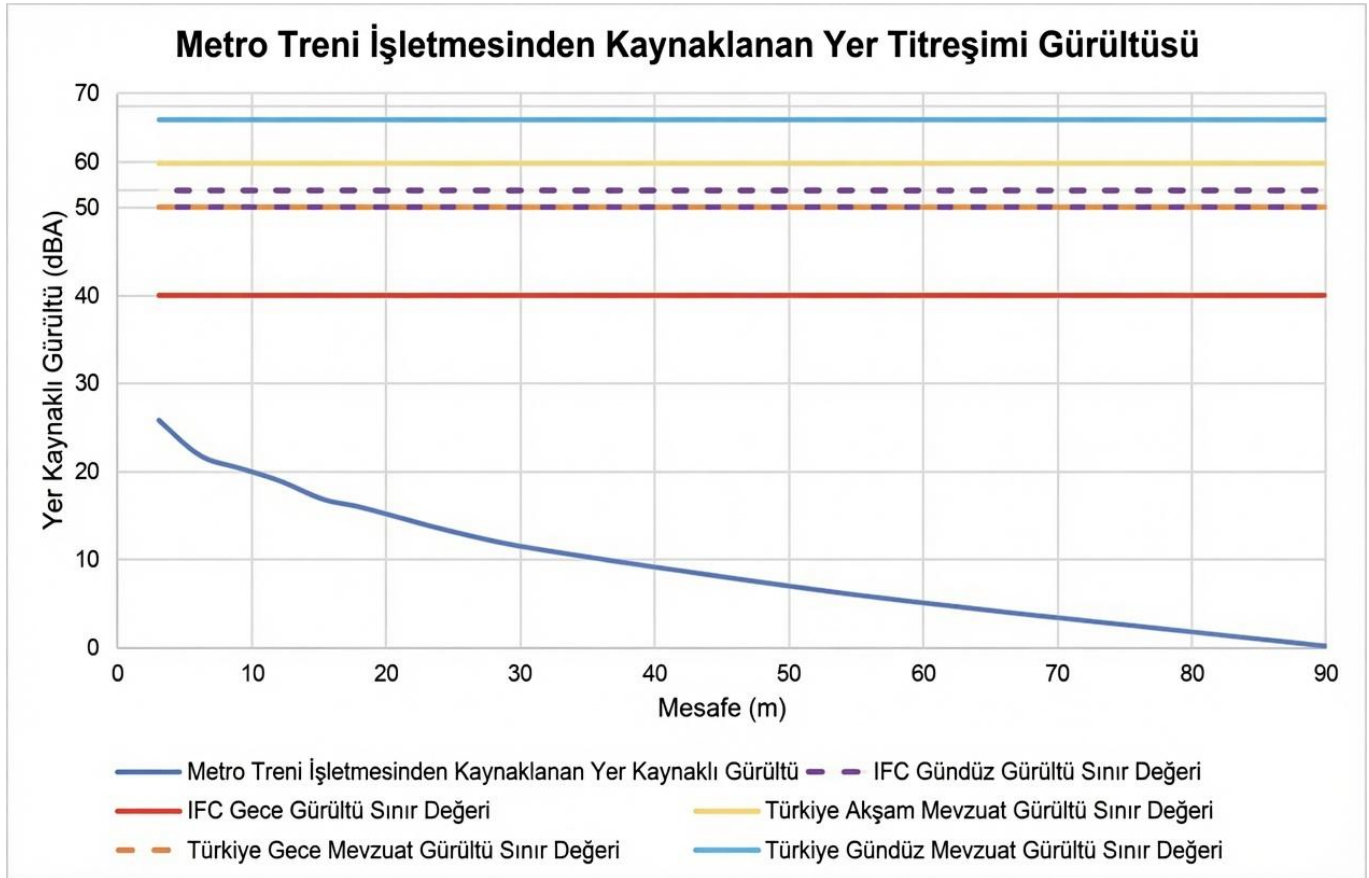
Şekil 7.39: İnşaat Aşaması için Gündüz Izgara Gürültü Haritalarıİşletme Aşaması

Projenin işletme aşamasında, metro tren işletimi nedeniyle gürültü emisyonları beklenmektedir. Ancak proje güzergâhı tamamen yer altından geçtiğinden, potansiyel etkilerin hava kaynaklı gürültüden ziyade ağırlıklı olarak zemin kaynaklı gürültüden kaynaklanması öngörülmektedir.

Zemin kaynaklı gürültü, zemin kaynaklı titreşimlerden oluşan gürültüyü ifade eder. Bu tür gürültü, bir tren geçişi sırasında titreşimin bir yapı içinden yayılması ve düşük frekanslı bir ses (çoğunlukla “uğultu” olarak tanımlanan) oluşturmasıyla ortaya çıkar. Bu nedenle metro trenlerinden kaynaklanan zemin kaynaklı titreşimler, yüzey hattına kıyasla genellikle daha yüksek frekanslıdır ve bu durum zemin kaynaklı gürültünün daha belirgin hale gelmesine neden olur.

Zemin kaynaklı titreşimin karakterizasyonu, kaynak titreşim spektrumunun seçimi ve metro tren hızına bağlı düzeltmeler dahil olmak üzere Bölüm 7.1.8’de sunulmuştur. Bu sonuçlara dayanarak, mesafeye bağlı zemin kaynaklı gürültü seviyeleri, Federal Transit Administration (FTA) tarafından yayımlanan Transit Noise and Vibration Impact Assessment Manual’da verilen dönüşüm faktörü uygulanarak elde edilmiştir.

Buna göre, Bölüm 7.1.8’de sunulan düzeltilmiş titreşim spektrumu, Proje koşullarına uygun frekans bağımlı düzeltme değeri kullanılarak A-ağırlıklı zemin kaynaklı gürültü seviyelerine dönüştürülmüş ve Şekil 7.40’ta sunulmuştur.



Şekil 7.40: Metro Trenlerinin İşletimi Kaynaklı Yer Tabanlı Gürültü Dağılımı

Düzeltilmiş zemin kaynaklı gürültü eğrisinden görüldüğü üzere, en yüksek zemin kaynaklı gürültü seviyesi kaynak noktasından 5 metre mesafede 26 dBA olarak belirlenmiştir. Buna dayanarak, öngörülen gürültü etkisi çoğu iç ve dış ortam koşulunda insan işitme eşiğinin altında kalmakta olup rahatsızlık, titreşim kaynaklı huzursuzluk veya herhangi bir rahatsızlık (nuisance) etkisi oluşturmamaktadır.

Tahmin edilen zemin kaynaklı gürültü seviyeleri hem Türk mevzuatındaki gürültü limitlerinin hem de IFC gürültü standartlarının oldukça altında kalmaktadır. Ayrıca bu seviyeler, kentsel ve yarı kentsel ortamlardaki tipik arka plan gürültü seviyelerinden de önemli ölçüde düşüktür. Kümülatif yaklaşım dikkate alındığında dahi, öngörülen zemin kaynaklı gürültü seviyelerinin mevcut baz gürültü seviyelerinin altında kalması beklenmektedir; dolayısıyla toplam arka plan gürültü seviyesinde algılanabilir bir artış beklenmemektedir.

İşletme aşamasına ilişkin titreşim etkisi değerlendirmesi hakkında daha fazla detay için Bölüm 7.1.8'e bakınız.

7.1.8.3.2. Söküm ve Kapatma Aşaması

Projenin söküm ve kapatma aşamasında, inşaat aşamasında listelenen etkiler dışında yeni bir etkinin ortaya çıkması beklenmemektedir.

7.1.8.4. Söküm ve Kapatma Aşaması

7.1.8.4.1. İnşaat Aşaması

Aşağıda listelenen azaltım tedbirleri, azaltım hiyerarşisine uygun olarak inşaat aşamasında uygulanacaktır.

Gürültü modelleme çalışmaları ve ilgili değerlendirmelerin, tüm inşaat ekipmanlarının tek bir lokasyonda çalışacağı en kötü durum (worst-case) senaryosuna dayanarak yapıldığı belirtilmelidir. Bu nedenle, sahada ve güzergâh boyunca ekipmanların homojen dağılımı nedeniyle gerçek gürültü seviyelerindeki artış çoğu zaman yukarıda öngörülen değerlerden çok daha düşük olacaktır. Ayrıca, baz gürültü ölçümleri sırasında N1, N3, N4, N5, N6, N7, N8, N9, N10, N11, N12 ve N13 ölçüm noktalarında inşaat faaliyetlerinin devam ettiği dikkate alınmalıdır. Bu nedenle, en kötü senaryoda dahi gerçek gürültü artışının yukarıda verilen tahmini değerlerden daha düşük olacağı değerlendirilmektedir. Bununla birlikte, Proje inşaat faaliyetlerinin kentsel bir alanda yürütülmesi nedeniyle, yapı yoğunluğu ve kentsel yapılaşma kaynaklı ek ses sönümlemesinin oluşması ve bunun başlangıçta öngörülenden daha fazla gürültü azaltımı sağlaması beklenmektedir.

İnşaat aşamasında, gürültü etkileri açısından hem çevrenin hem de çalışanların sağlığının korunması amacıyla "Çevresel Gürültünün Yönetimi Yönetmeliği" ve "Gürültü Kaynaklı Risklerden Çalışanların Korunması Yönetmeliği" hükümlerine uyulacaktır. Bu doğrultuda, çalışanların gürültü etkilerinden korunması için kulaklık ve kulak tıkacı gibi uygun kişisel koruyucu donanım ve ekipmanlar sağlanacaktır.

IFC tarafından önerilen aşağıdaki kontrol tedbirleri mümkün olan durumlarda uygulanacaktır:

- Düşük ses gücü seviyelerine sahip ekipmanların seçilmesi;
- Fanlara susturucuların (silencer) takılması;
- Motor egzozları ve kompresör bileşenlerine uygun susturucuların (muffler) monte edilmesi;
- Gürültü yayan ekipman muhafazaları için akustik kabinler (soundproof enclosures) kurulması;
- Belirli ekipman veya faaliyetler için çalışma saatlerinin sınırlandırılması;
- Gürültü kaynaklarının mesafe ve perdeleme avantajından yararlanmak amacıyla daha az hassas alanlara taşınması;
- Şikâyetleri kayıt altına almak ve yanıtlamak için bir şikâyet mekanizması geliştirilmesi;
- Ekipmanlardan kaynaklanan yüksek gürültü seviyelerini minimize etmek amacıyla inşaat ekipmanlarının düzenli bakımının yapılması;
- İnşaat aşamasında aktif şantiye alanları ve/veya geçici tesislerin yakınındaki temel gürültü ölçüm noktalarında düzenli izleme kampanyalarının yürütülmesi.

Gürültü ile ilgili herhangi bir şikâyet olması durumunda, şikâyetin iletildiği alanda derhal gürültü ölçüm kampanyası gerçekleştirilecektir. İzleme sonuçlarının, gürültü seviyelerinin Proje kaynaklı etkiler nedeniyle belirlenen limitlerin üzerinde olduğunu göstermesi halinde, yüklenici inşaat sahasındaki ekipman sayısını azaltacak/sınırlandıracak ve inşaat gürültü seviyeleri limit değerlerin altına düşene kadar bu uygulamayı sürdürecektir.

Yukarıda belirtilen tedbirlere ek olarak, ses iletiminin bariyer üzerinden geçişini en aza indirmek amacıyla boşluksuz ve minimum 10 kg/m² yüzey yoğunluğuna sahip gürültü bariyerleri kurulabilir. Bariyerlerin etkin olabilmesi için kaynağa veya alıcıya mümkün olduğunca yakın konumlandırılması gerekmektedir.

7.1.8.4.2. İşletme Aşaması

İşletme aşamasında, gürültü etkilerinin kontrolü ve çalışan sağlığının korunması amacıyla “Çevresel Gürültünün Kontrolü Yönetmeliği” ve “Gürültü Kaynaklı Risklerden Çalışanların Korunması Yönetmeliği” hükümlerine uyulacaktır. Bu kapsamda, çalışanları gürültü etkilerinden korumak için kulak koruyucu veya kulak tıkacı gibi uygun kişisel koruyucu donanım ve ekipmanlar sağlanacaktır. Ayrıca, yüksek gürültü seviyelerinin en aza indirilmesi amacıyla ekipmanların düzenli bakımı yapılacaktır.

Projenin işletme aşamasında potansiyel gürültü etkilerinin azaltılması için aşağıdaki tedbirler uygulanacaktır:

- Gürültü seviyelerinin azaltılması amacıyla metro hattı ve trenlerin bakımı düzenli olarak yapılacak ve ray yüzey pürüzlülüğü minimize edilecektir;
- Gürültü ile ilgili herhangi bir şikâyet olması durumunda, şikâyetin alındığı alanda derhal gürültü ölçüm kampanyası gerçekleştirilecektir;
- İzleme sonuçlarının Proje kaynaklı etkiler nedeniyle belirlenen sınır değerlerin üzerinde olması durumunda, gürültü azaltım (ör. ses yalıtımı vb.) tedbirleri uygulanacaktır.

7.1.8.5. Kalan Etkiler

7.1.8.5.1. İnşaat aşaması

Projenin inşaat aşamasına ilişkin gürültü etkileri, Tablo 7.77’de yer alan matris ile değerlendirilmiştir. Matriste görüldüğü üzere, inşaat faaliyetlerinden kaynaklanan gürültü etki faktörü, mitigasyon önlemlerinin uygulanmasının ardından yakın çevrede yaşayan topluluklar üzerinde düşük düzeyde kalan etkiye sahiptir.

Tablo 7.77: İnşaat Aşaması için Gürültü Etki Matrisi

Etki Faktörü	Etki Faktörü Özellikleri	Bileşen Hassasiyeti	Etkinin Geri Dönülebilirliği	Etki Değeri	Azaltma Etkinliği	Etki Faktörü	Artık Etkiler
Gürültü Emisyonu	Süre	Uzun	Çok Yüksek	Kısa Dönem	Düşük	Orta	Düşük
	Sıklık	Sık Sık					
	Coğrafi Yayılım	Yerel					
	Yoğunluk	Yüksek					

7.1.8.5.2. İşletme Aşaması

Projenin işletme aşamasına ilişkin gürültü etkileri Tablo 7.78’de sunulan matris içerisinde değerlendirilmiştir. Matrisin gösterdiği üzere, işletme faaliyetlerinden kaynaklanan gürültü etkileri, belirtilen azaltım tedbirlerinin uygulanmasının ardından yakın çevredeki topluluklar üzerinde düşük düzeyde artık etki oluşturmaktadır.

Tablo 7.78: İşletme Aşaması için Gürültü Etki Matrisi

Etki Faktörü	Etki Faktörü Özellikleri	Bileşen Hassasiyeti	Etkinin Geri Dönülebilirliği	Etki Değeri	Azaltım a Etkinliği	Etki Faktörü	Artık Etkiler
Gürültü Emisyonu	Süre	Uzun	Çok Yüksek	Kısa Dönem	Düşük	Orta-Düşük	Düşük
	Sıklık	Sık Sık					
	Coğrafi Yayılım	Yerel					
	Yoğunluk	İhmal Edilebilir					

7.1.8.5.3. Söküm ve Kapanış Aşaması

Projenin söküm ve kapatma aşamasında (azaltım tedbirleri uygulandıktan sonra), inşaat aşamasında listelenen etkiler dışında yeni bir etkinin ortaya çıkması beklenmemektedir.

7.1.8.6. İzleme

Projenin inşaat aşamasında, temel gürültü ölçüm noktalarında gürültüye ilişkin bir izleme programı uygulanacaktır.

İzleme kampanyaları, ilgili lokasyonlarda aylık bazda ve 48 saat sürekli gürültü ölçümleri şeklinde gerçekleştirilecektir.

7.1.9. Titreşim

Proje, yer altı tünel açma faaliyetleri sırasında TBM (Tünel Açma Makinesi) operasyonları ve yer üstü inşaat faaliyetlerinde ağır ekipman/makinelerin kullanımı nedeniyle inşaat aşamasında; ayrıca metro trenlerinin işletimi nedeniyle işletme aşamasında titreşim üretme potansiyeline sahiptir. Bu doğrultuda, bu bölüm titreşimin en yakın hassas alanlar üzerindeki etkilerini değerlendirmeyi amaçlamaktadır.

Proje kapsamında herhangi bir patlatma faaliyeti gerçekleştirilmeyeceği belirtilmelidir.

Titreşim etkileri, potansiyel olarak etkilenebilecek yerleşimleri de içeren Proje Alanı içinde değerlendirilmiştir. Etki değerlendirmesinde, Metodoloji Bölümü’nde tanımlanan Proje faaliyetleri ve etki faktörleri dikkate alınmış; azaltım ve yönetim tedbirleri bu bölümde tanımlanmıştır. Aşağıda detaylandırıldığı üzere, etki analizine yönelik temel yaklaşım, Proje’nin inşaat ve işletme aşamalarında öngörülen titreşim etkilerinin hesaplanmasına dayanmaktadır.

Proje kapsamında titreşim etki değerlendirmesi, Çevresel Gürültünün Yönetimi Yönetmeliği'nde yer alan Türk mevzuatı limitleri doğrultusunda gerçekleştirilmiş olup bu limitler Tablo 7.79 ve Tablo 7.80'de sunulmaktadır. IFC rehberlerinde titreşim limitlerine ilişkin sayısal bir sınır veya kılavuz bulunmadığı belirtilmelidir.

Tablo 7.79: Demiryolu ve Karayolu Ulaşım Araçları, İşyerleri ve Endüstriyel Tesisler ile Bina İçindeki Makine ve Ekipmanlardan Kaynaklanan Titreşimlerin En Yakın Yapıda Oluşmasına İzin Verilen En Yüksek Yer Titreşim Değerleri

Yapılar	Titreşim Frekansı (Hz)	Maksimum İzin Verilebilir Titreşim Hızı (rms değeri (mm/s))
Konut/ Mesken	1	1.5
	8-100	0.3
Ofis / İş Yeri	1	3.5
	8-100	0.6
Tarihi ve Doğal Yapılar	1	0.8
	8-100	0.1

Tablo 7.80: İnşaatlarda Kazık Çakma ve Benzeri Titreşim Oluşturan Operasyonlar ile İnşaat Makineleri Kaynaklı, En Yakın Yapının Dışında İzin Verilebilir Yer Titreşimlerinin En Yüksek Değerleri (1 Hz – 80 Hz Frekans Bantları Arasında)

Konumlar	Maksimum İzin Verilebilir Titreşim Hızı (Tepe Değer - mm/s)	
	Sürekli Titreşim	Kesintili Titreşim
• Konut Alanları	5	10
• Ticari Alanlar	15	30
• Tarihi ve Doğal Yapılar	2	5

7.1.9.1. Etkilerin Değerlendirilmesi

7.1.9.1.1. İnşaat Süreci

Proje inşaat aşamasında, yer altı tünel açma operasyonlarında TBM'lerin ve yer üstü inşaat faaliyetlerinde ağır ekipman/makinelerin çalışması nedeniyle titreşim oluşması beklenmektedir.

İnşaat faaliyetlerine ilişkin titreşim hesaplamaları, Federal Transit Administration (FTA) tarafından yayımlanan *Transit Noise and Vibration Impact Assessment Manual*'da tanımlanan genel titreşim değerlendirme prosedürü kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Söz konusu kılavuzda, farklı inşaat ekipmanı türleri için geniş bir yelpazedeki inşaat faaliyetleri ve zemin koşulları altında ölçülen ortalama kaynak seviyeleri, referans olarak 25 ft (feet) mesafede sunulmaktadır. Bu kapsamda, Proje kapsamında kullanılacak makine ve ekipmanlara ait ortalama kaynak seviyeleri Tablo 7.81'de verilmiştir:

Tablo 7.81: İnşaat Ekipmanları İçin Titreşim Kaynak Seviyeleri

Malzemeler	PPV, in/sec
Titreşimli Silindir	0.210 (at 25 ft)
Hidrolik Kırıcı (Hoe Ram)	0.089 (at 25 ft)
Büyük Buldozer	0.089 (at 25 ft)
Keson Sondajı	0.089 (at 25 ft)
Yüklü Kamyonlar	0.076 (at 25 ft)
Beton Kırıcı (Jackhammer)	0.035 (at 25 ft)
Küçük Buldozer	0.003 (at 25 ft)
TBM (Tünel Delme Makinesi)	0.004 (at 33 ft)

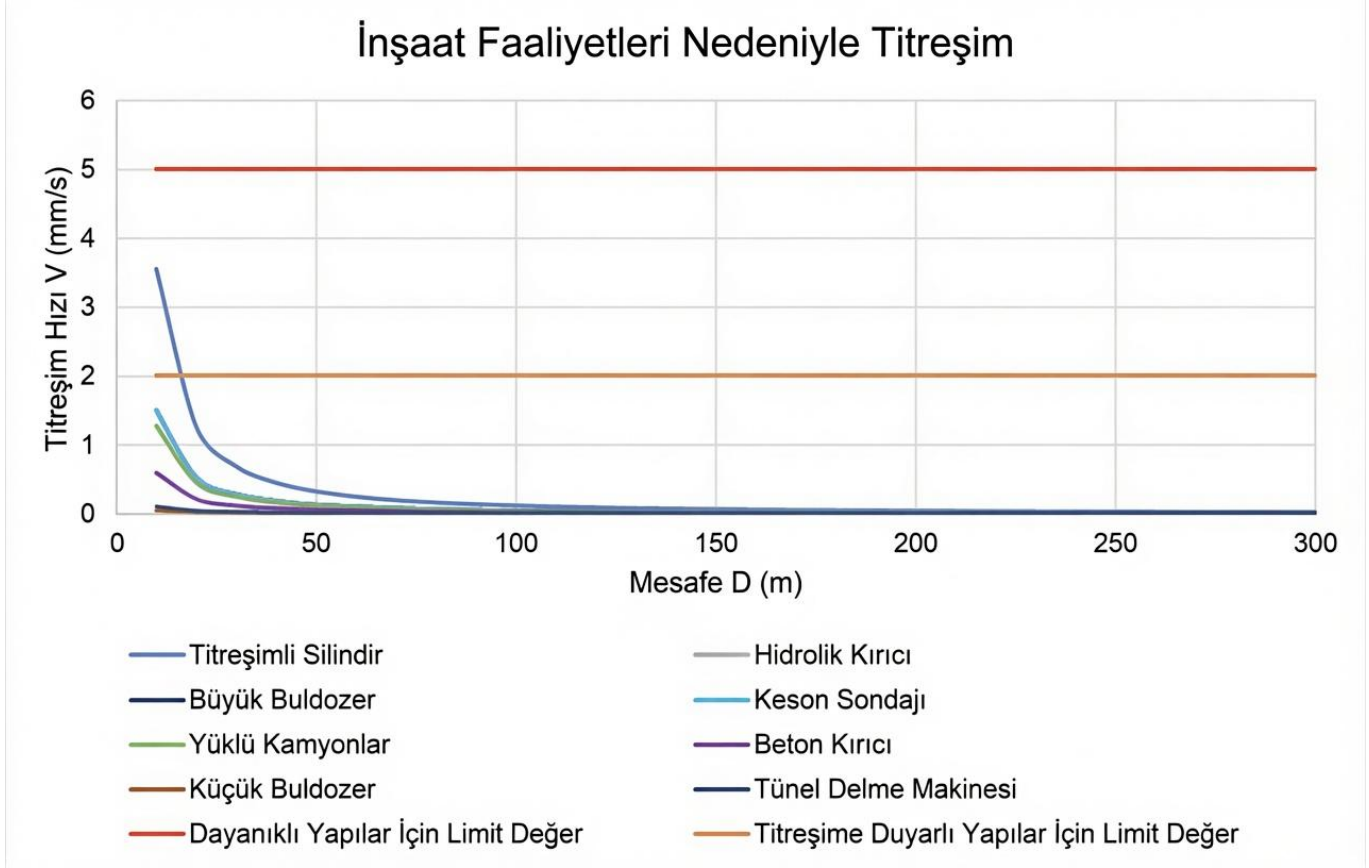
2. Buna dayanarak, kaynak referans seviyeleri, ekipmandan alıcıya olan mesafeye göre aşağıdaki formülle ayarlanmıştır:

$$PPV_{equip} = PPV_{ref} * \left(\frac{25}{D}\right)^{1.5}$$

Bu Çerçeve de ;

PPV_{equip}: ekipmana bağlı tepe parçacık hızı (Peak Particle Velocity), inç/saniye cinsinden
 PPV_{ref}: 25 ft mesafedeki kaynak referans titreşim seviyesi, inç/saniye cinsinden
 D: ekipman ile alıcı arasındaki mesafe, ft cinsinden

3.Son olarak, düzeltilmiş değerler inç/saniye (in/sec) biriminden mm/s birimine dönüştürülerek mesafeye bağlı beklenen titreşim seviyeleri aşağıda gösterildiği şekilde elde edilmiştir:

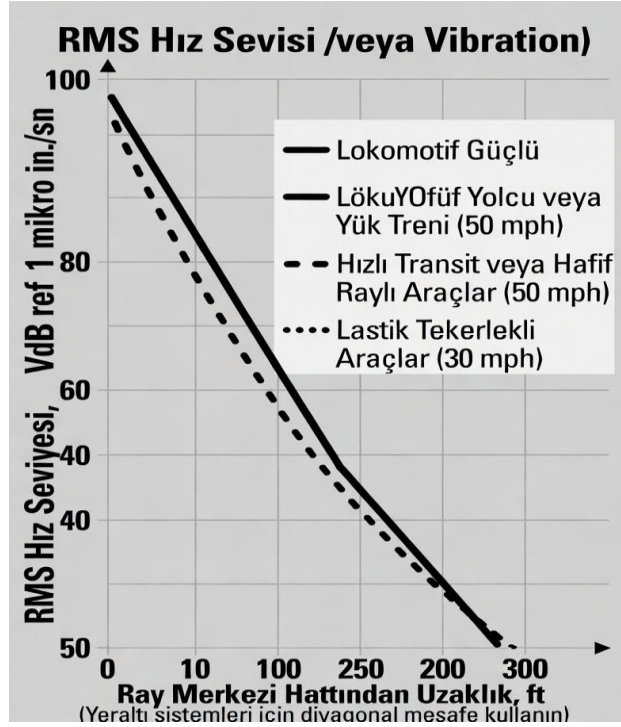


Şekil 7.41: İnşaat Faaliyetlerinden Kaynaklanan Titreşim Dağılımı

Düzeltilmiş titreşim eğrisinden görüldüğü üzere, yeraltı tünel açma faaliyetleri sırasında TBM (Tünel Açma Makinesi) operasyonlarından kaynaklanan titreşim tüm mesafelerde düzenleyici limit değerleri olan 5 mm/s ve 2 mm/s'nin altında kalmaktadır.

Öte yandan, yer üstü inşaat faaliyetlerinde ağır ekipman/makine kullanımından kaynaklanan titreşim de tüm mesafelerde 5 mm/s ve 2 mm/s düzenleyici limit değerlerinin altında kalmakta olup, yalnızca vibrasyonlu silindir (vibratory roller) bu kapsamda 2 mm/s limit değerini aşmaktadır. Bununla birlikte, vibrasyonlu silindirden kaynaklanan titreşim 15 metre mesafede 2 mm/s düzenleyici limit değerinin altına düşmektedir.

Titreşime duyarlı yapılar açısından, Seka Park İstasyonu'nda yer alan Seka Park ve İzmit Tren Garı Binaları



Şekil 7.42: Zemin Yüzeyi Titreşim Eğrileri (Ground Surface Vibration Curves)

Anıtsal Yapıları ile Cumhuriyet Park İstasyonu yakınında bulunan Gazi Lisesi Anıtsal Yapısı'nda, inşaat faaliyetleri nedeniyle 2 mm/s limit değerinin aşılması beklenmektedir (bu yapılar hakkında detaylar için Bölüm 7.3'e bakınız).

7.1.9.1.2. İşletme Aşaması

İşletme aşamasında tek potansiyel titreşim kaynağı metro trenlerinin işletimi olacaktır.

Proje kapsamında işletilecek metro trenlerine ilişkin titreşim hesaplamaları, Federal Transit Administration (FTA) tarafından yayımlanan *Transit Noise and Vibration Impact Assessment Manual*'da tanımlanan genel titreşim değerlendirme prosedürü kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

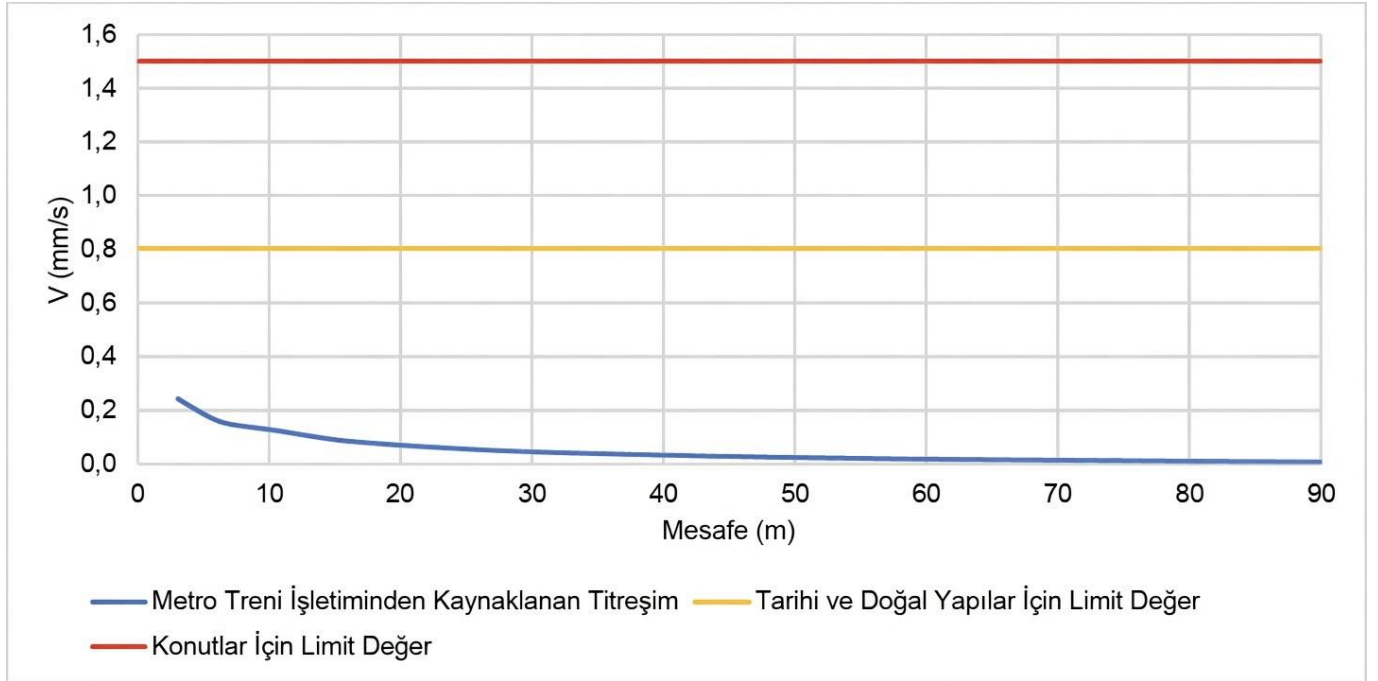
FTA kılavuzunda tanımlanan yöntemle göre titreşim değerlendirmesinin temel yaklaşımı, kaynaktan uzaklığa bağlı olarak toplam yer kaynaklı titreşimi tahmin eden bir eğri tanımlamak ve ardından bu eğrileri; araç hızı, jeolojik koşullar, yapı tipi ve alıcının bina içindeki konumu gibi faktörleri dikkate alacak şekilde düzeltme faktörleri uygulayarak uyarlamaktır.

1. Titreşim değerlendirmesi için ilk adım olarak, aşağıdaki şekilde yer alan "Rapid Transit" (Hızlı Raylı Sistem) için 50 mph hız koşuluna ait ikinci eğri seçilmiştir. Bunun nedeni, işletme aşamasında metro trenlerinin kullanılacak olmasıdır.

1. Daha sonra seçilen RMS seviyeleri, metro trenlerinin ortalama hızı olan 40 km/saat dikkate alınarak uyarlanmıştır:

$$40kph \approx 24.9mph 20 \log \left(\frac{24.9mph}{50mph} \right) = -6.06VdB$$

2.Son olarak, eğri araç hız faktörü de dahil edilerek yeniden hesaplanmış ve mesafeye bağlı beklenen titreşim seviyeleri aşağıda Şekil 7.43'te gösterilmiştir.



Şekil 7.43 – Metro Trenlerinin İşletiminden Kaynaklanan Titreşim Dağılımı

Yukarıdaki düzeltilmiş titreşim eğrisinden görüldüğü üzere, metro trenlerinin işletiminden kaynaklanan titreşim tüm mesafelerde 1,5 mm/s ve 0,8 mm/s limit değerlerinin altında kalacaktır.

7.1.9.1.3. Söküm ve Kapatma Aşaması

Projenin Söküm ve Kapatma Aşamasında, inşaat aşamasında listelenen etkiler dışında yeni bir etkinin ortaya çıkması beklenmemektedir.

7.1.9.2. Azaltım Tedbirleri

- Yukarıda verilen hesaplamalara dayanarak, Projenin özellikle inşaat aşamasında, yer üstü inşaat faaliyetlerinde ağır ekipman/makinelerin kullanımı nedeniyle titreşim oluşturma potansiyeli bulunmaktadır. Buna bağlı olarak Proje için aşağıdaki azaltım tedbirleri uygulanmalıdır:
- Titreşime duyarlı yapıların yakınında yapılacak inşaat öncesi özel tedbirler
- Titreşim etkisinin düzenleyici limit değerleri aşabileceği öngörülen hassas yapılara yakın alanlarda (örn. Seka Park ve Seka Park İstasyonu'nda yer alan İzmit Tren İstasyonu Binaları Anıtsal Yapıları ve Cumhuriyet Park İstasyonu yakınındaki Gazi Lisesi Anıtsal Yapısı) aşağıdaki lokasyon bazlı önlemler alınacaktır:
- Kültürel miras alanlarında Kocaeli Kültür Varlıklarını Koruma Bölge Kurulu izni olmadan hiçbir inşaat/faaliyet yapılmayacaktır.
- Belirlenen kültürel miras alanları proje/şantiye çizimlerinde tescilli kültürel varlık olarak işaretlenecektir.

- Düşük titreşim üreten alternatif sıkıştırma ekipmanları veya yöntemleri değerlendirilecek ve mümkün olduğu durumlarda uygulanacaktır. Ancak vibrasyonlu silindirin kullanımı zorunlu ise, bu ekipman yalnızca bu titreşime duyarlı yapılardan en az 15 metre mesafede çalıştırılacaktır.
- Proje faaliyetleri sırasında olası etkiler için arkeolojik izleme yapılacaktır.
- Kocaeli Kültür Varlıklarını Koruma Bölge Kurulu kararları bu alanlarda eksiksiz uygulanacaktır.
- Saha öncesi değerlendirmeler
- Çalışmalara başlamadan önce, Türk mevzuatı kapsamında titreşim etkisine maruz kalabilecek yapılar ve bu yapıların titreşime karşı dayanım durumlarını belirlemek amacıyla saha öncesi incelemeler yapılacaktır. Özellikle TBM (tünel açma makinesi) operasyonlarından önce bu yapıların yapısal kalite değerlendirmesi gerçekleştirilecek, tünel açma sonrası ise kapanış denetimi yapılacaktır.
- Paydaş iletişimi
- İşveren/Yüklenici ile yerleşim sakinleri arasında doğru ve zamanında iletişim kurulması, gereksiz endişelerin önlenmesi açısından kritik öneme sahiptir. Bu nedenle, planlanan TBM çalışmaları ve programdaki herhangi bir değişiklik hakkında yerleşim sakinleri bilgilendirilecektir.
- Planlama ve zamanlama
- Yer üstü ve yer altı inşaat faaliyetleri, titreşim kaynaklı etkileri en aza indirecek şekilde planlanacaktır.
- İzleme ve ölçüm
- TBM çalışmaları sırasında, tünel güzergâhı boyunca en yakın alıcılar ve titreşime duyarlı yapılar üzerinde frekans bazlı titreşim ölçümleri yapılacaktır. Bu kapsamda, TBM operasyonları başlamadan önce en yakın alıcılar sahada tespit edilecektir.
- İşletme aşaması tedbirleri
- İşletme aşamasında metro trenlerinin ve hat altyapısının düzenli bakımı yapılarak ray yüzey pürüzlülüğü azaltılacak, böylece titreşim seviyeleri minimize edilecektir.

7.1.9.3. Kalıntı Etkileri

7.1.9.3.1. İnşaat Aşaması

Projenin inşaat aşamasında, yeraltı tünel açma faaliyetlerinde TBM (Tünel Açma Makinesi) operasyonları ile yer üstü inşaat faaliyetlerinde ağır ekipman/makine kullanımından kaynaklanan titreşim etkileri, Tablo 7.82’de sunulan matris kapsamında değerlendirilmiştir. Matriste görüldüğü üzere, inşaat faaliyetlerinden kaynaklanan titreşimle ilişkili tüm etki faktörleri, yakın çevredeki topluluklar üzerinde düşük seviyede artık (residual) negatif etki göstermektedir.

Tablo 7.82: İnşaat Aşaması için Titreşim Etki Matrisi

Etki Faktörü	Etki Faktörü Özellikleri	Bileşen Hassasiyeti	Etki Geri Dönülebilirliği	Etki Değeri	Azaltma Etkinliği	Kalıntı Etki Değeri	Etki Faktörü
Titreşim Emisyonu	Süre	Küçük	Çok Yüksek	Kısa Dönem	Düşük	Orta-Düşük	Düşük
	Sıklık	Sık Sık					
	Coğrafi Yayılım	Yerel					
	Yoğunluk	Düşük					

7.1.9.3.2. İşletme Aşaması

Projenin işletme aşamasında, metro trenlerinin işletilmesinden kaynaklanan titreşim etkileri Tablo 7.83'te sunulan matris kapsamında değerlendirilmiştir. Matriste görüldüğü üzere, işletme faaliyetlerinden kaynaklanan titreşimle ilişkili tüm etki faktörleri, yakın çevredeki topluluklar üzerinde düşük seviyede artık (residual) negatif etki göstermektedir.

Tablo 7.83: İnşaat Aşaması için Titreşim Etki Matrisi

Etki Faktörü	Etki Faktörü Özellikleri	Bileşen Hassasiyeti	Etki Geri Dönülebilirliği	Etki Değeri	Azaltma Etkinliği	Kalıntı Etki Değeri	Etki Faktörü
Titreşim Emisyonu	Süre	Çok Uzun	Çok Yüksek	Kısa-Vadeli	Düşük	Düşük	Düşük
	Sıklık:	Sık Sık					
	Coğrafi Yayılım	Yerel					
	Yoğunluk	İhmal Edilebilir					

7.1.9.3.3. Söküm ve Kapanış Aşaması

Proje'nin hizmetten çıkarma ve kapanış aşamasında, inşaat aşamasında listelenen etkiler dışında yeni bir etkinin ortaya çıkması beklenmemektedir.

7.1.9.4. İzleme

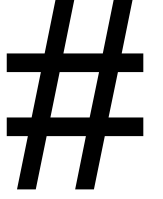
Saha çalışmalarına başlamadan önce, titreşim etkilerine maruz kalabilecek yapıları ve bu yapıların titreşime karşı beklenen dayanım düzeylerini belirlemek amacıyla inşaat öncesi (pre-construction) saha etütleri gerçekleştirilecektir. Tünel açma operasyonları sonrasında ise kapanış (close-out) denetimi yapılacaktır.

İnşaat öncesi saha etütleri makul bir süre içerisinde tamamlanacaktır.

Tünel açma çalışmaları sırasında, güzergâh boyunca en yakın alıcı noktalar ve titreşime duyarlı yapılar için frekans aralıklarını kapsayan titreşim ölçüm çalışmaları gerçekleştirilecektir.

Tünel güzergâhı boyunca yer alan alıcılar/yapılar üzerindeki mevcut bina yapısının ve bütünlüğünün incelenmesine yönelik çalışmalar, hem tünel açma faaliyetlerinden önce hem de inşaat aşaması boyunca aylık olarak yürütülecektir.

Buna ek olarak, Proje'nin inşaat ve işletme aşamalarında, titreşim ile ilgili herhangi bir şikâyet olması durumunda, şikâyetin iletildiği alanda derhal titreşim ölçüm kampanyası gerçekleştirilecektir.



Ekler

A.Hava Kalitesi Modelleme Haritaları
