



**T.C.
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**MADEN OCAKLARINDAKİ ÇEVRESEL SORUNLAR VE
OLUŞAN TOZ EMİSYONLARININ TEORİK VE PRATİK
OLARAK KARŞILAŞTIRILMASI
TOKAT MADEN OCAĞI ÖRNEĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Volkan SEREN

DANIŞMAN

Doç. Dr. Ahmet KILIÇ

AKSARAY, 2025

Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 222301715 numaralı Yüksek Lisans öğrencisi, “Volkan SEREN” tarafından hazırlanan “**MADEN OCAKLARINDAKİ ÇEVRESEL SORUNLAR VE OLUŞAN TOZ EMİSYONLARININ TEORİK VE PRATİK OLARAK KARŞILAŞTIRILMASI TOKAT MADEN OCAĞI ÖRNEĞİ**” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Ahmet KILIÇ

Aksaray Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.....

Üye: Prof. Dr. Şükrü DURSUN

Konya Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.....

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Ebru KOÇAK

Aksaray Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.....

Tez Savunma Tarihi: 08/01/2025

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

Prof. Dr. Fazliye KARABÖRK

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

DOĞRULUK BEYANI

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışmayı, bilimsel etik, ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yol ve yardıma başvurmaksızın yazdığımı, yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu ve bu eserleri her kullanışmada alıntı yaparak yararlandığımı belirtir; bunu şerefimle doğrularım.

Enstitü tarafından belli bir zamana bağlı olmaksızın, tezimle ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara katlanacağımı bildiririm.

İmza

Volkan SEREN

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans Tez çalışmam boyunca, başından sonuna kadar bana her daim rehberlik eden, bilgi ve deneyimlerini cömertçe paylaşan, sabrı, anlayışı ve desteğiyle beni yönlendiren kıymetli danışman hocam Doç. Dr. Ahmet Kılıç'a en derin teşekkürlerimi sunarım.

Bu zorlu süreçte, moral ve motivasyonumu yüksek tutmamı sağlayan, fikirleriyle çalışmalarımı zenginleştiren ve aldığım kararları daima destekleyen değerli arkadaşlarım İbrahim Sezgin, Fatma Nalbant, Öznur Kanaat ve Rıfat Yıldırım'a teşekkür ederim. Ayrıca, hayatımın her anında yanımda olan, sevgilerini ve desteklerini hiç esirgemeyen, bana güç veren canım aileme ve hayatın tüm zorluklarını ve mutluluklarını birlikte paylaştığım dostlarıma şükranlarımı sunarım.

Volkan SEREN
AKSARAY, 2025

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1.GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	4
2.1. Çalışma Alanı ve Sorunların Tespiti	5
2.1.1 Topoğrafyanın bozulması	6
2.1.2 Katı atıklar	8
2.1.3 Sıvı atıklar.....	11
2.1.4 Gürültü	13
2.1.5 Toz oluşumu ve hava kirliliği	14
2.1.6. Yer sarsıntıları, hava şoku ve taş savrulmaları	17
2.2 Hava Kirliliği Kaynakları	18
2.3 Hava Kirleticileri	21
2.4 Meteorolojik Koşullar ve Hava Kirlenmesinde Meteorolojinin Etkisi	22
2.5 Rüzgâr Hızı Profili	23
2.6 Hava Kalite İndeksi	26
2.7 Hava Kalitesi Yönetimi ve Ülkemizdeki Durum	29
2.8 Hava Kalitesi Dağılım Modelleri ve Model Seçimi	30
2.8.1 Hava kalitesi dağılım model uygulamalarının gelişimi ve önemi	31
2.8.2 Modellerin kullanım alanları	32
2.8.3 Çeşitli hava kalitesi dağılım modelleri	33
2.8.4 ISC3 ve AERMOD modellerinin genel özellikleri ve karşılaştırılması .	36
2.8.5 Modelleme çalışmalarında karşılaşılabilecek problemler	42
3. MALZEME VE YÖNTEM	43
3.1 Çalışma Alanı Özellikleri	43
3.1.1 Tokat bölgesi ile ilgili genel bilgiler	43
3.2 PM ₁₀ Ölçüm Yöntemi.....	44
3.3 Çöken Toz Ölçüm Yöntemi	45
3.4 Modellemede Kullanılan Yöntem	45
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	48
4.1 Alçıtaşı Ocağı ve Kırma-Elemente Tesisi	48
4.1.1 Çalışmanın teknolojisi, iş akım şeması.....	48
4.2 Patlatma Tasarım Hesapları.....	50
4.3 Emisyonlar ve Hava Kalitesine Etkiler	61
4.4 Modellemede Kullanılan Yöntem	74
4.4.1 Modelleme çalışması	74
4.4.2 Modellemede kullanılan meteorolojik veri seti	75
4.4.3 Kaynak verileri ve alıcı bilgileri	78
4.4.4 Modellemede kullanılan senaryolar.....	79
4.4.5 Patlatma modelleme sonuçları	82
4.4.6 Senaryo 1 modelleme sonuçları.....	86
4.4.7 Senaryo 2 modelleme sonuçları.....	90
4.5 Hava Emisyon Ölçüm Raporu.....	95

4.5.1 Ölçüm sonuçları.....	98
4.5.2 PM ₁₀ ölçüm sonuçları	99
4.5.3 Ek-1.b.2 emisyon konsantrasyonlarının değerlendirilmesi	102
4.5.4 Patlatma İşlemi dışındaki faaliyetin gerçekleştirilmesi durumunda	105
4.6 Değerlendirme	105
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	109
KAYNAKLAR	114
EKLER.....	123
EK-A MCZ marka PM ₁₀ örnekleme cihazı formül tablosu.....	124
ÖZGEÇMİŞ.....	125



YÜKSEK LİSANS TEZİ

MADEN OCAKLARINDAKİ ÇEVRESEL SORUNLAR VE OLUŞAN TOZ EMİSYONLARININ TEORİK VE PRATİK OLARAK TOKAT MADEN OCAĞI ÖRNEĞİ

Volkan SEREN

**Aksaray Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Doç. Dr. Ahmet KILIÇ

ÖZET

Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Bölümü'ne yüksek lisans tezi olarak hazırlanan bu çalışmada, Maden Ocaklarındaki Çevresel Sorunlar ve Oluşan Toz Emisyonlarının Teorik ve Pratik Olarak Karşılaştırılması çalışması yapılmıştır. Ülke kalkınması, bölgesel potansiyellerin ortaya konulup en iyi şekilde değerlendirilip, bölgelerde mevcut doğal kaynakların verimli olarak kullanılması ve bölgelerin geleceğe yönelik yatırım ve stratejilerinin oluşturulması ile sağlanır.

Söz konusu maden ocaklarından oluşacak atıklar minimize edilmelidir ve yürürlükte olan kanun ve yönetmeliklere uygun olarak bertarafı sağlanmalıdır.

İnceleme alanı Tokat ili, Zile ilçesi, Güblüce köyü sınırları içerisinde kalan alçı taşı ocağı ve kırma eleme tesisinin planlama ve faaliyet aşamasında oluşacak emisyon sonuçlarının karşılaştırılması ve çıkan sonuçlara göre izlenecek yolları kapsamaktadır. Bu hususta Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Çevre ve Şehircilik İl Müdürlükleri tarafından Hava Kalitesi Değerlendirme Birimlerinde bir modelleme birimi kurulması ve sunulan dosyaların Maden gruplarına, üretim yöntemlerine, kapasitelerine, il, ilçe, köylerine kadar değerlendirilip bir veri tabanı oluşturulması ve sunulan dosyaların oluşturulan veri tabanlarında kıyaslanarak ülke genelinde hava kalitesine etkilerinin de kümülatif olarak değerlendirilecek ve sürdürülebilir kalkınmaya büyük katkı sağlanacağı öngörülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Maden Ocağı, Çevresel Sorunlar, Sürdürülebilir Kalkınma, Modelleme, Hava Kalitesi, Emisyon Sonuçları, Doğal Kaynaklar, Atık Yönetimi

Ocak, 2025; 137 sayfa

M.SC. THESIS

**THEORETICAL AND PRACTICAL COMPARISON OF
ENVIRONMENTAL PROBLEMS AND DUST EMISSIONS IN MINING
QUARRIES THE CASE OF TOKAT MINE QUARRY**

Volkan SEREN

**Aksaray University
Graduate School Of Natural And Applied Sciences
Department Of Environmental Engineering**

Supervisor: Doç. Dr. Ahmet KILIÇ

ABSTRACT

Aksaray University, Institute of Science and Environmental Engineering Department, prepared a thesis in this study, environmental problems and theoretical and practical as the dust emissions comparison of mines study was conducted. Development of the country, evaluated and be put in the best way out of the regional potential, the efficient use of available natural resources in the region and the region is provided by the creation of investment and strategies for the future.

These will consist of the mine waste must be reduced and dispose of in accordance with the applicable laws and regulations.

The study area Tokat, Zile district of the village boundaries include Güblü remaining gypsum quarry and A comparison of the results of emission would occur during the planning and operational stages of crushing and screening plant and According to the results include the path to be followed. In this regard, Environment and Urban Ministry, by the Provincial Directorates of Environment and Urbanism, establishment of a modeling unit in the Air Quality Assessment Unit and the files submitted to the mining group, production methods for, to capacities, city, county, created a database to be evaluated as to their villages and the dossier submitted to the database by comparing the effects of the air quality across the country will also be assessed cumulatively and it is expected to make a major contribution to sustainable development.

Keywords: Mine Quarry, Environmental Issues, Sustainable Development, Modeling, Air Quality, Emission Results, Natural Resources, Waste Management

January, 2025; 137 pages

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Madencilik faaliyetleri ile bozulan topoğrafya.....	7
Şekil 2.2. Maden ocağında patlatma işlemi	18
Şekil 2.3. Kirleticilerin doğal kaynaklarda temizlenme şeması.....	22
Şekil 2.4. Rüzgâr hızı profili.....	24
Şekil 2.5. Çevre, şehircilik ve iklim değişikliği bakanlığı, ulusal hava kalite izleme ağı haritası	27
Şekil 2.6. AERMOD model programının genel görünüşü.....	38
Şekil 4.1. Alçıtaşı ocağı (açık işletme) iş akım şeması.....	49
Şekil 4.2. Delik delme şematik sistemi.....	50
Şekil 4.3. Patlayıcı maddelerin deliklere şematik olarak yerleştirilmesi,	50
Şekil 4.4. Tesis etki alanına ait topoğrafik harita	75
Şekil 4.5. Bölgenin 2012 yılına ait rüzgârgülü	76
Şekil 4.6. Bölgenin 2012 yılına ait rüzgâr kararlılık sınıfları	76
Şekil 4.7. Patlatma günlük PM ₁₀ dağılımı	82
Şekil 4.8. Patlatma yıllık PM ₁₀ dağılımı	83
Şekil 4.9. Patlatma aylık çöken toz dağılımı.....	84
Şekil 4.10. Patlatma yıllık çöken toz dağılımı	85
Şekil 4.11. Senaryo 1 – günlük PM ₁₀ dağılımı	86
Şekil 4.12. Senaryo 1 – yıllık PM ₁₀ dağılımı	87
Şekil 4.13. Senaryo 1 – aylık çöken toz dağılımı	88
Şekil 4.14. Senaryo 1 – yıllık çöken toz dağılımı.....	89
Şekil 4.15. Senaryo 2 – günlük PM ₁₀ dağılımı	90
Şekil 4.16. Senaryo 2 – yıllık PM ₁₀ dağılımı	91
Şekil 4.17. Senaryo 2 – aylık çöken toz dağılımı	92
Şekil 4.18. Senaryo 2 – yıllık çöken toz dağılımı.....	93
Şekil 4.19. Faaliyet sahasına ait vaziyet planı ve ölçüm noktaları	96
Şekil 4.20. PM ₁₀ ölçüm cihazı.....	97
Şekil 4.21. Çöken toz ölçüm cihazı	98

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Maden ocağı tesislerinde kullanılan çeşitli makine ve ekipmanların oluşturduğu gürültü seviyeleri	13
Çizelge 2.2. Gürültüden kaynaklı risk dereceleri ve bunların insan üzerinde yapmış olduğu etkileri	14
Çizelge 2.3. Çevre ve orman bakanlığı hava kalitesi indeksi	16
Çizelge 2.4. Rüzgâr hızı profili denklemi için p katsayıları	25
Çizelge 2.5. Hava kalitesi indeksi	27
Çizelge 2.6. Hava kalitesi dağılım modellerinin uygulanması	33
Çizelge 2.7. ISC3 ve AERMOD modellerinin karşılaştırılması	39
Çizelge 2.8. AERMOD için gerekli yer seviyesi verileri ve yüksek atmosfer verileri	40
Çizelge 2.9. ISC3 için gerekli yer seviyesi verileri ve yüksek atmosfer verileri	40
Çizelge 2.10. Yüzey pürüzlülük uzunluğu ve Pasquill-Gifford kararlılık sınıfları	41
Çizelge 4.1. Patlayıcıların farklı delik çaplarında şarj yoğunlukları	53
Çizelge 4.2. Eğimli Deliklerde Eğim (k) Faktörü	53
Çizelge 4.3. Farklı delik eğim durumları için R1 düzeltme faktörleri	53
Çizelge 4.4. Farklı kaya sabitleri (katsayıları) için R2 düzeltme faktörleri	54
Çizelge 4.5. Patlatma bilgileri	60
Çizelge 4.6. Toz emisyon faktörleri	62
Çizelge 4.7. Toz emisyon faktörleri ve debileri (bitkisel toprak için)	63
Çizelge 4.8. Toz emisyon faktörleri ve debileri (pasa)	64
Çizelge 4.9. Toz emisyon faktörleri ve debileri (ocak sahası için)	65
Çizelge 4.10. Toz emisyon faktörleri ve debileri (kıırma-eleme tesisi için)	66
Çizelge 4.11. Toz emisyon faktörleri ve debileri	69
Çizelge 4.12. Yayılma sınıfları ve Uh değerlerinin saptanması	71
Çizelge 4.13. Etkin baca yüksekliğine göre F,f,G,g parametreleri	71
Çizelge 4.14. Yayılma sınıflarının belirlenmesi için kullanılan sekiz saatlik bulutluluk oranları	72
Çizelge 4.15. Yayılma sınıfı değerleri	72
Çizelge 4.16. 1962–2012 yılları arası toplam esme sayılarına göre rüzgâr diyagramı	77
Çizelge 4.17. 2004 yılı esme sayılarına göre rüzgâr diyagramı	77
Çizelge 4.18. 2012 yılı esme sayılarına göre rüzgâr diyagramı	78
Çizelge 4.19. Modellemede kullanılan kaynak veriler	78
Çizelge 4.20. En yakın hassas alıcılar ve koordinatları	79
Çizelge 4.21. Modellemede kullanılan meteorolojik veriler	80
Çizelge 4.22. Üretimden kaynaklanacak emisyonların kütleli debileri	81
Çizelge 4.23. Patlatma işlemleri dışında oluşan PM ₁₀ ve çöken toz sonuçlarının karşılaştırılması	94
Çizelge 4.24. Ölçümü yapılan emisyon kaynakları ve ölçülen parametreler	96
Çizelge 4.25. Çöken toz ölçüm sonuçları	98
Çizelge 4.26. PM ₁₀ ölçüm sonuçları (elek yanı)	99
Çizelge 4.27. PM ₁₀ ölçüm sonuçları (kırıcı yanı)	100
Çizelge 4.28. PM ₁₀ ölçüm sonuçları (stok alanı)	100
Çizelge 4.29. PM ₁₀ ölçüm sonuçları (patlatma anı)	101
Çizelge 4.30. PM ₁₀ ölçüm sonuçları (bunker yanı)	101
Çizelge 4.31. PM ₁₀ ölçüm sonuçları (tesis içi yol)	102

Çizelge 4.32. Ayrı olarak hesaplanmış patlatma işleminden kaynaklı modelleme çalışmaları ile elde edilen PM ve çöken toz YSK değerleri ve yönetmelik kapsamında değerlendirme.....	103
Çizelge 4.33. Hava kalitesi modellemesi sonuçları (havada asılı partikül madde için)	103
Çizelge 4.34. Hava kalitesi modellemesi sonuçları (çöken toz için)	104
Çizelge 4.35. Modelleme çalışmaları ile elde edilen PM ve çöken toz YSK değerleri	105
Çizelge 4.36. S.K.H.K.KY.EK-2 tablo 2.2’de belirtilen uzun vadeli ve kısa vadeli sınır değerler	106
Çizelge 4.37. Hava kalitesi modellemesi sonuçları	106
Çizelge 4.38. Patlatmadan kaynaklı oluşan PM ₁₀ sonuçlarının karşılaştırılması.....	107
Çizelge 4.39. Patlatma işlemleri dışında oluşan PM ₁₀ ve çöken toz sonuçlarının karşılaştırılması.....	108
Çizelge 4.40. MCZ marka PM ₁₀ örnekleme cihazı formül tablosu	124

SİMGELER VE KISALTMALAR

AERMET	Meteorolojik Model (Ön İşlemci)
AERMOD	American Meteorological Society
Ag	Gümüş
Al	Alüminyum
AMD	Asit Maden Drenajı
APM	Askıdaki Partiküler Madde
As	Arsenik
B	Bor
Be	Berilyum
CH₄	Metan
Cl	Klor
cm	Santimetre
CO	Karbonmonoksit
CO₂	Karbondioksit
Cr	Krom
ÇED	Çevresel Etki Değerlendirme
dB	Desibel
EPA	Çevre Koruma Ajansı
ha	Hektar
Hg	Civa
HKKD	Hava Kirlenmesine Katkı Değeri
HKDYY	Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği
HKİ	Hava Kalite İndeksi
ISCST3	Industrial Source Complex Short Term
KVD	Kısa Vadeli Değer
KVS	Kısa Vadeli Sınır Değer
MGM	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
Mn	Mangan
N	Azot
Ni	Nikel
NO₂	Azot dioksit
O₃	Ozon
Pb	Kurşun
PM₁₀	10 µm'den Küçük Partiküler Maddeler
Se	Selenyum
SO₂	Kükürtdioksit
SKHKKY	Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliği Kontrol Yönetmeliği
T	Titanyum
TKD	Toplam Kirlenme Değeri
U	Uranyum
UVD	Uzun Vadeli Değer
UVS	Uzun Vadeli Sınır Değer
V	Vanadyum
Zn	Çinko
°C	Santigrad derece

1.GİRİŞ

Çevre, insan, tarih, kültür ve tabiat varlıklarının etkileşim içinde bulunduğu karmaşık bir mekanizmadır. Bu etkileşimin bozulmaları, özellikle sanayileşme ve kentleşme gibi faktörlerin etkisiyle 1960'lı yıllarda ABD ve batı ülkelerinin gündeminde çevresel sorunlar olarak öne çıkmaya başlamıştır. Yoğun sanayileşme ve kentleşme ile birlikte, çevre kirliliği, doğal kaynakların tükenmesi ve ekosistemlerin bozulması gibi sorunlar, bu ülkelerin çevresel politikalarının şekillenmesinde önemli bir yer tutmuştur (Tuncel vd., 1995). 1970'li yıllarda, bu sorunların artmasıyla çevresel meseleler uluslararası düzeyde tartışma konusu haline gelmiştir (Carson, 1962). 20. yüzyılın sonlarına doğru çevre sorunları, kriz boyutlarına ulaşmış ve bu durum çeşitli sosyal, ekonomik ve ekolojik sonuçlar doğurmuştur (United Nations Environment Programme [UNEP], 2019).

Kriz düzeyine ulaşan çevresel sorunlar arasında alıcı ortamların kirliliğe dayanıklılık kapasitelerinin aşılması, doğal dengelerin geri dönüşümü zor değişikliklere uğraması, çevre kirliliği nedeniyle büyük ölçekli insan sağlığı sorunlarının ortaya çıkması ve doğal kaynakların hızlı ve bilinçsiz bir şekilde tüketilmesi gibi etkenler bulunmaktadır (World Health Organization [WHO], 2018). Bu sorunların çözümü, hem ulusal hem de uluslararası düzeyde işbirliği ve sürdürülebilir kalkınma yaklaşımlarının benimsenmesini gerektirmektedir.

Bu sorunların gün geçtikçe artmasıyla birlikte; çevre sorunlarına karşı önlem alınmanın iki yolu ortaya çıkmıştır. Bunlar sorunlar oluşuktan sonra, onları ortadan kaldırmak (onarımçı politikalar) ve sorunlar oluşmadan, onların oluşmasını önlemek (önleyici politikalar) olarak sıralanmaktadır. Belirli faaliyetler için karar verme sürecinde 1980'li yıllarda kullanılan ve birçok ülke tarafından stratejik dokümanların (stratejiler, politikalar, mevzuatlar) ve özel prosedürlerin ve yasaların geliştirilmeye başlandığı (REC, UNDP, 2006). Çevresel değerlendirme sistemleri, sadece proje ölçeğiyle sınırlandırılması nedeniyle bazı problemleri içerisinde barındırmaktadır (OECD, 2006).

Gerçekleştirilmesi planlanan bir faaliyetin çevreye olası olumlu ve olumsuz etkilerinin belirlenmesi, bu etkilerin önlenmesi veya en aza indirilmesi amacıyla alınacak önlemlerin tespit edilmesi süreci, Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED) olarak

adlandırılmaktadır. ÇED süreci, ekonomik, sosyal ve kültürel gelişime engel olmaksızın çevre değerlerinin korunmasını amaçlamaktadır. Bu kapsamda, projelerin çevresel etkilerinin bilimsel ve katılımcı bir şekilde değerlendirilmesi, karar vericilerin daha sağlıklı kararlar almasına olanak sağlar (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2023). Bu yöntem, özellikle sanayileşmiş ülkelerde 1970'li yıllardan itibaren yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır (Keleş ve Hamamcı, 2005).

Madencilik faaliyetleri, diğer endüstriyel faaliyetlerden farklı bir öneme sahiptir; çünkü bu faaliyetler genellikle büyük ölçekli yatırımları gerektirir. Bu yatırımların önemli bir kısmı, yer seçimi, altyapı geliştirme ve işletme maliyetlerini kapsamaktadır (Hartman ve Mutmanský, 2002, s. 12). Maden sahalarının seçiminde çeşitli faktörler dikkate alınırken, jeolojik yapının değerlendirilmesi önemli bir yer tutmaktadır. Yatırımın verimli olabilmesi için yer seçiminde, kamulaştırma durumları ve çevresel şartların uygunluğu, enerji ve suya ulaşılabilirlik ile malzeme temini gibi gereksinimlerin kolay ve maliyet etkin bir şekilde sağlanabilmesi kritik öneme sahiptir (National Mining Association, 2020).

Ayrıca, Faaliyet alanının, mevcut ihtiyaçları karşılayacak kapasiteye sahip olması, gelecekteki genişlemelere uygun olması ve diğer madencilik faaliyetlerinden etkilenmeyecek bir konumda olması gerekmektedir (Mudd, 2010). Bu unsurlar, hem çevresel hem de ekonomik sürdürülebilirlik açısından kritik rol oynamaktadır.

Madenler, yeraltı haberleşme kabloları, galvanizleme, otomobil endüstrisi, uzay araçları, uçak sanayi, delici ekipmanların üretimi, kimya endüstrisi, fotoğraf sanayi, elektronik, para imali, süs eşyası, kağıt, cam, deterjan ve tekstil sanayinde yaygın olarak kullanılmaktadır (MTA, 2023).

Madencilik, belirli bölgelerde çıkarılan ve işlenen cevherin rezerv ömrüyle sınırlı olarak devam ettirilen ve bu işlemler sonucunda doğal yaşam üzerinde olumsuz etkileri olan bir faaliyettir. Bu nedenle, ekosistemlerin taşıma kapasitesi göz önünde bulundurularak bu çalışmaların yapılması önem arz etmektedir. Madencilik faaliyetlerinin çevresel etkilerinin minimize edilmesi ve rehabilitasyon sürecinin etkin uygulanması, çevre dostu bir yaklaşımın benimsenmesini sağlar. Ekosistemlerin taşıma kapasitesine dikkat edilerek yapılan bu çalışmalar, doğal dengenin korunmasına ve sürdürülebilir kalkınmanın sağlanmasına katkı sağlar (URL-1).

Madencilik faaliyetleri, arazi topografyasında ve peyzaj değerlerinde önemli değişikliklere yol açmaktadır. Bu süreçte, bitki örtüsünün tamamen yok edilmesi ve bitkisel toprağın sıyrılması gibi çevresel etkiler ön plana çıkmaktadır. Ayrıca, maden işletmeleri sırasında su rejiminde değişiklikler meydana gelmekte, patlatma işlemleri sırasında gürültü, toz ve taş fırlamaları gözlemlenmektedir. Riperleme, yükleme, boşaltma, kırma ve taşıma işlemleri sırasında yoğun toz oluşumu, atıkların rüzgâr ve suyla taşınması ve taşınan malzemelerin toksik özellikler göstermesi çevreye zarar verebilecek başlıca unsurlardandır. Şantiye alanlarında oluşan atık kirliliği de çevresel sürdürülebilirlik açısından önemli bir sorun teşkil etmektedir. Bu etkiler, madencilik faaliyetlerinin çevresel ve ekolojik denge üzerindeki olumsuz etkilerini gözler önüne sermektedir (Chaulya vd., 2001; Sharma vd., 2000).

Sürdürülebilir bir çevre yönetiminin sağlanması, Çevresel Etki Değerlendirme (ÇED) sürecinin yasal, yönetsel ve teknik altyapısının güçlendirilmesi ve etkin bir şekilde uygulanması ile mümkün olmaktadır. ÇED süreci, çevreye yönelik olası olumsuz etkilerin önceden tespit edilmesi ve gerekli önlemlerin alınması açısından büyük önem taşımaktadır. Özellikle madencilik faaliyetlerinin başlatılmasıyla birlikte, çevreye olabilecek sürekli ve geçici etkilerin önlenmesi, çevresel sürdürülebilirlik açısından kritik bir rol oynamaktadır. Bu bağlamda, ÇED sürecinin etkin bir şekilde uygulanması, çevreye verilen zararın minimize edilmesi ve geri kazanım süreçlerinde kolaylıklar sağlamaktadır (URL-2).

Madencilik faaliyetleri sırasında oluşan toz emisyonları, çevresel etkiler ve insan sağlığı açısından önemli riskler barındırmaktadır. Bu emisyonların değerlendirilmesi, çevresel zararların önlenmesi, kontrol yöntemlerinin belirlenmesi ve etkin yönetim stratejilerinin oluşturulması açısından büyük önem taşımaktadır. Maden ocaklarında oluşan toz emisyonlarının teorik ve pratik olarak karşılaştırılması çevre için oluşabilecek zararların engellenmesi, kontrol yollarının ve mekanizmalarının oluşturulabilmesi için hava kirliliği etkilerinin değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda direk ölçme-analiz metodu uygulanabileceği gibi uluslararası geçerliliğe sahip hava kalitesi modellemeleriyle de yapılması mümkündür. Söz konusu maden ocaklarının çevrede oluşacak etkilerin tayin edilmesi ve kontrol yollarının belirlenebilmesi gibi hava kirlenmesi kontrolündeki tüm uygulamaları kapsar.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Madencilik faaliyetlerinin çevresel etkileri, yer seçimi kriterlerinden kaynaklanan sorunlar ve hava kalitesi modellemeleri üzerine yapılmış literatür çalışmaları, sürdürülebilir kalkınma bağlamında önemli bulgular sunmaktadır. Bu bölümde, ulusal ve uluslararası çalışmalardan elde edilen bilgiler doğrultusunda maden işletmelerinin çevresel etkileri değerlendirilmiştir. Ayrıca bu araştırmanın literatürdeki yerini ve önemini vurgulamaktır.

Erdem (2015), Türkiye’de kullanılan hava kalitesi dağılım modellerini karşılaştırmış ve bunların saha ölçümleriyle doğruluğunu değerlendirmiştir. Çalışma, özellikle AERMOD ve ISC3 modellerinin Türkiye’ye özgü meteorolojik koşullara uygunluğunu irdelemiştir. Bu bağlamda tez çalışması, ulusal düzeyde yapılan modelleme çalışmalarına önemli bir katkı sunmaktadır.

Atasağun (2021), Konya ili Ankara yolu civarındaki taş ocaklarının toplam (kümülatif) kirliliğini bölgesel bazda değerlendirmek amacıyla 2018 ve 2019 yıllarını kapsayan bir çalışma gerçekleştirmiştir. Çalışma kapsamında PM_{10} ve $PM_{2,5}$ ölçümleri yapılmış; ölçümler, 15 km çapındaki alanda 250 m aralıklarla grid oluşturularak çalıştırılan AERMOD View modellemesinden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Arazi ölçümleri ile modelleme sonuçlarının uyumlu olduğu tespit edilmiştir. Tesislerin kapasite raporlarına göre yılda 300 gün, günde 8 saat çalışan taş ocaklarında 24 saatlik (günlük) ve yıllık ortalamaların yönetmelik sınır değerlerini sağladığı görülmüştür. Ancak, modelleme sonuçlarına göre KVS (Kısa Vadeli Sınır Değer), UVS (Uzun Vadeli Sınır Değer) ve PM_{10} aşım sayılarının, yönetmelikte belirtilen sınır değerleri sağlayamadığı belirlenmiştir (Atasağun, 2021).

Kul (2022), Niğde ili Merkez ilçesinde planlanan bir kalsit ocağı ve kırma eleme tesisinin kapasite artışının hava kalitesi üzerindeki etkilerini değerlendirmek amacıyla bir modelleme çalışması gerçekleştirmiştir. Çalışma kapsamında, inceleme bölgesindeki PM_{10} ve çöken toz parametreleri için hava dağılım profilleri oluşturulmuştur. AERMOD modeli kullanılarak, açık ocak maden işletmesinden kaynaklanan toz emisyonlarının insan ve çevre sağlığı üzerindeki etkileri farklı senaryolar çerçevesinde günlük, aylık ve yıllık düzeylerde incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, faaliyetler sırasında alınan önlemler doğrultusunda, hem madenin farklı

aşamalarında oluşan toz emisyonlarının hem de 4 km x 4 km'lik bir alandaki toplam emisyon değerlerinin Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliği Yönetmeliği'nde belirtilen sınırların altında kaldığını ortaya koymuştur (Kul, 2022).

Türkiye'deki madencilik faaliyetlerinin çevresel etkileri üzerine yapılan çalışmalar, özellikle maden ocaklarının çevreye olan etkilerinin değerlendirilmesi ve bu etkilerin azaltılmasına yönelik stratejilerin geliştirilmesi üzerinde yoğunlaşmaktadır (Karakoyun ve Yıldız 2021). Türkiye'deki madencilik faaliyetlerinin çevresel etkilerini detaylı bir şekilde ele almış ve bu etkilerin değerlendirilmesi için saha çalışmaları ve modelleme yöntemlerini kullanmıştır. Çalışmada, topografik yapı, su kaynaklarına erişim, toprak bozulması ve hava kirliliği gibi faktörler incelenmiş ve bu etkilerin azaltılmasına yönelik öneriler sunulmuştur. Ayrıca, çevresel yönetim stratejilerinin uygulanabilirliği tartışılmıştır. Çalışma, yerel ve ulusal düzeyde alınması gereken önlemleri vurgulayarak, madencilik faaliyetlerinin çevresel etkilerinin azaltılmasına yönelik önemli katkılar sağlamaktadır (Karakoyun ve Yıldız, 2021).

Türkiye'de maden işletmelerinin çevresel etkilerine dair literatür, genellikle saha ölçümleri ve kontrol yöntemlerine odaklanmıştır. Ancak, bu çalışmalar modelleme yöntemlerinin etkinliğini ele almakta yetersiz kalmıştır. Bu durum, tez çalışmasının önemini artırmaktadır.

2.1. Çalışma Alanı ve Sorunların Tespiti

Maden ocaklarında açık işletmelerin çevreye olan zararlı etkilerinin boyutu, çeşitli faktörlere bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Bu faktörler arasında hidroloji ve hidrojeolojik özellikler, jeolojik yapı, maden ocaklarının kapasitesi (büyüklük ve derinlik), mevcut toprak özellikleri, bölgenin bitki örtüsü ve iklim koşulları önemli bir yer tutmaktadır. Özellikle hidroloji ve hidrojeolojik özellikler, yeraltı su kaynaklarının kalitesi ve miktarı üzerinde etkili olurken, jeolojik yapı, maden ocaklarının açılacağı alanların stabilitesi ve çevresel etkileri üzerinde belirleyici bir rol oynamaktadır (Younger vd., 2002).

Maden ocaklarının büyüklüğü ve derinliği, çevresel etkilerin derecesini doğrudan etkileyen bir başka faktördür. Büyük ve derin ocaklar, daha geniş alanların bozulmasına ve daha fazla atık oluşumuna yol açarak çevresel etkilerin artmasına

neden olabilir (Heath, 2017). Mevcut toprak özellikleri, bitki örtüsü ve iklim şartları, maden ocaklarının çevresel etkilerinin boyutunu belirleyen önemli unsurlar arasında yer almaktadır. Özellikle bitki örtüsünün varlığı, toprak erozyonunu azaltma, su döngüsünü düzenleme ve ekosistemlerin korunmasında kritik bir rol oynamaktadır. Bu nedenle, açık işletmelerin çevre üzerindeki etkilerini değerlendirirken bu faktörlerin dikkate alınması büyük önem taşımaktadır (Hilson ve Murck, 2000). Maden ocaklarında açık işletmecilik, çevresel sorunlar açısından önemli etkilere yol açmaktadır. Bu bağlamda, iş makinelerinin kullanımı ve üretim süreçlerinde gerçekleştirilen delme-patlatma işlemleri sonucunda oluşan gürültü ve vibrasyon sorunları, çevresel etkilerin başında gelmektedir (Miller ve Spalding, 2016). Gürültü kirliliği, hem işçi sağlığı üzerinde olumsuz etkiler yaratmakta hem de çevredeki doğal yaşam alanlarını olumsuz yönde etkilemektedir (Heath, 2017).

Ayrıca, dekapaj (üst örtü) işlemleri sırasında açığa çıkan toz emisyonları, hava kalitesini tehdit eden önemli bir çevre sorunu olarak öne çıkmaktadır. Bu toz emisyonları, insan sağlığı üzerinde olumsuz etkiler yaratmakta ve bitki örtüsüne zarar vererek ekosistem dengesini bozmaktadır. Özellikle PM₁₀ ve PM_{2.5} gibi ince partiküller, solunum yolu hastalıklarına neden olabilmekte ve çevresel sürdürülebilirliği tehdit etmektedir (USEPA, 2006). Dolayısıyla, açık işletmecilik faaliyetlerinde bu tür çevresel sorunların dikkate alınması ve uygun kontrol önlemlerinin alınması büyük önem taşımaktadır.

2.1.1 Topoğrafyanın bozulması

Açık ocak işletme yöntemi, yeraltındaki veya yüzeyde bulunan maden cevherinin üstündeki toprak ve dekapaj malzemesinin (cevher içermeyen kaya kütlesi) kaldırılmasıyla cevherin yüzeye çıkarılması sürecidir. Bu yöntem, cevherin ulaşılabilir hale gelmesi için yapılan kazı işlemleri sonucunda, üstteki malzemelerin uzaklaştırılmasıyla cevherin ekonomik olarak çıkarılmasına olanak tanır. Bu şekilde, maden rezervlerinin verimli bir şekilde işletilmesi sağlanır (Ramani 1987).

Derinliği 50 metre ve genişliği 1 kilometreyi aşan maden tesislerinde hem topoğrafyayı yani doğal olan tabiatı bozmakta hem de görüntü bakımından kötü bir durum oluşturmaktadır.

Yeraltında bulunan cevherin ekonomiye kazandırılması için, cevherin üzerindeki örtü tabakasının sıyrılması gerekmektedir. Açık ocak madenciliğinde, doğal çevre yapısını bozan en önemli unsurlardan biri, cevherin açığa çıkarılması için yapılan üst kazı (dekapaj) işlemleridir. Bu süreçte, doğal alanlar doğrudan hedef alınmakta ve toprak kayıpları, arazi yapısında bozulmalar ve büyük miktarlarda maden atıkları oluşmaktadır. Üst toprak kazı işlemleri tamamlandıktan sonra, cevher üretimi aşamasına geçilmekte ve açık ocak madeni şekillenmeye başlamaktadır. Bu işlemler devam ettikçe, maden ocağının boyutları zamanla genişlemekte ve derin çukurlar oluşmaktadır. Açık ocak madenciliği sonucunda meydana gelen bu boşluklar, doğal morfolojide en büyük değişikliklere neden olan faktörler arasında yer almaktadır (Limpitlaw vd., 2005).

İşletmesi devam eden ve topoğrafyanın bozulmasını gösterir örnek maden ocağı Şekil 2.1’de verilmiştir.



Şekil 2.1. Madencilik faaliyetleri ile bozulan topoğrafya.

2.1.2 Katı atıklar

Maden işletmeciliği faaliyetlerinin gerçekleştirileceği alanda, işletme şekli ve faaliyetin doğası gereği çeşitli atıklar ortaya çıkmaktadır. Bu atıklar, hem çalışacak olan personelden kaynaklanan atıklar hem de üretim süreçleri sırasında meydana gelen atıklar olarak tanımlanabilir (Miller ve Spalding, 2016).

Maden atıkları: Madencilik faaliyetleri sırasında üretim süreçleri ile birlikte ortaya çıkan atıklar, birbirine bağlı bir şekilde büyük miktarlarda açığa çıkmaktadır. Bu atıklar, özellikleri ve yapısal nitelikleri itibarıyla çevrenin kirletici taşıma kapasitesini aşarak zarara yol açma potansiyeline sahiptir (Sharma ve Natarajan, 2020). Maden atıkları, nebati toprak, dekapaj (üst örtü kazı), pasa (yan kayaç) ve cevherin zenginleştirilmesi esnasında kullanılan malzemelerden kaynaklanan atıklar şeklinde kategorize edilebilir. Bu atıkların yönetimi, çevresel sürdürülebilirlik ve ekosistem sağlığı açısından kritik bir öneme sahiptir.

Bitkisel toprak, yer kabuğunun en üst katmanını oluşturur ve madencilik faaliyetlerinin sona ermesinin ardından tahrip edilen alanların rehabilitasyonu için uygun koşullarda muhafaza edilmesi büyük önem taşır (TÜBİTAK MAM, 2021). Zenginleştirme tesislerinden kaynaklanan atıklar ise, cevherin zenginleştirilmesi sırasında geriye kalan değersiz kısımlar olarak tanımlanabilir. Cevher çıkarıldıktan sonra, istenilen boyutlara ulaşması için kırma, eleme ve öğütme işlemlerine tabi tutulmakta; ardından, yüksek tenörlü cevherin düşük tenörlü yan kayaçlardan ayrılması için kimyasal, fiziksel veya fizikokimyasal yöntemler kullanılmaktadır (Fernández-Luque vd., 2022). Ancak, düşük tenörlü cevherlerin zenginleştirilmesi sırasında kullanılan kimyasal maddeler, maden atıklarının kimyasal kontaminasyonuna neden olmakta ve çevre üzerinde olumsuz etkiler yaratmaktadır.

Zenginleştirme işlemlerinin ardından oluşan atıklar, dinlendirme havuzlarına aktarılmakta ve bu havuzlarda askıda katı maddeler, çözünmüş metal iyonları ve radyoaktif malzemeler birikmektedir. Bu süreçte kullanılan kimyasal maddeler, suyun pH değerini önemli ölçüde değiştirebilmektedir. Eğer bu atık sular uygun şekilde arıtılmadan veya tesis içinde geri dönüşüm yapılmadan doğaya deşarj edilirse, alıcı ortamda ciddi kirlilik sorunlarına yol açabilmektedir (Lottermoser, 2010).

Yakın geçmişte meydana gelen çevresel sorunlar ve maden atıklarının yönetimi ile ilgili dikkat çeken kazalar arasında; 1966 yılında Aberfan/İngiltere, 1985 yılında Stava/İtalya, 1998 yılında Aznalcollar/İspanya ve 2000 yılında Baia Mare ile Baia Borsa/Romanya kazaları önemli örnekler olarak gösterilebilir. Bu olaylar, maden atıklarının kontrolsüz depolanmasının ve yönetiminin ciddi çevresel ve insan sağlığına yönelik riskler doğurabileceğini açık bir şekilde ortaya koymaktadır (Commission of the European Communities, 2003). Bu tür kazalar, madencilik sektöründe daha güvenli ve sürdürülebilir uygulamaların geliştirilmesi gerekliliğini gündeme getirmiştir.

Zenginleştirme işlemlerinde kullanılan kimyasalların birçoğu canlılar için toksik özelliklerinden kaynaklı zehirli özellik taşımaktadırlar. Bunların bazıları; (Sb) Antimuan, (As) Arsenik, (Al) Alüminyum, (Be) Berilyum, (B) Bor, (Cd) Kadmiyum, (Cr) Krom, (Ag) Gümüş, (Pb) Kurşun, (Hg) Cıva, (Mn) Mangan, (Ni) Nikel, (Se) Selenyum, (T) Titanyum, (U) Uranyum, (Zn) Çinko ve (V) Vanadyum bulunmaktadır.

Madencilik faaliyetleri sırasında ortaya çıkan atıklar, çevresel sorunların başında su kirliliğini artıran asit maden drenajı (AMD) ile ilişkilidir. Bu durum, özellikle kömür, baz metal, uranyum ve metal madenleri gibi alanlarda sıkça karşılaşılmaktadır. AMD, sülfürlü minerallerin oksitlenmesi sonucunda oluşan asidik suların sızıntıları ve yüzey akışları ile meydana gelir. Bu bağlamda, pasalar (yan kayaçlar), terkedilen atık barajları ve pirit derişimi stokları gibi maden faaliyetlerinden kaynaklanan atıklar önemli rol oynamaktadır. Açık ocak ve yeraltı maden işletmeleri, bu sürecin tetikleyicileri arasında yer alırken, su kaynakları üzerindeki olumsuz etkileri ciddi boyutlara ulaşabilmektedir (Akıncı ve Yıldırım, 2024).

Evsel katı atıklar: Üreticisi tarafından atılmak istenen ve toplumun huzuru ile özellikle çevrenin korunması bakımından, düzenli bir şekilde bertaraf edilmesi gereken her türlü katı malzemeye katı atık denir. Katı atıklar evde, okulda, hastanede, endüstride, bahçelerde ve daha birçok yerde oluşabilir (URL-3).

Maden ocaklarında oluşan katı atıklar, çalışan kaynaklıdır. Bu atıklar, ilgili mevzuat kapsamında (Atık Yönetimi Yönetmeliği Madde 9-1-d), geri dönüşümü sağlanabilecek olan metal, kâğıt, cam, plastik, malzemeler kaynağında ayrı oplanmak kaydıyla, görüntü, koku, toz vb., yönden rahatsızlık oluşturmayacak, çevre ve insan

sağlığını bozmayacak ve belediyelerin toplamalarına imkan verecek şekilde kapalı olarak toplama işlemi için hazır bekletilmelidir.

Tıbbi atıklar: Maden ocaklarında, sağlık ünitelerindeki işlemler sırasında ortaya çıkan enfeksiyöz, patolojik ve kesici-delici atıklardan oluşan atıkların yönetimi, iş güvenliği ve sağlık açısından büyük bir öneme sahiptir. 1593 sayılı ve 24/4/1930 tarihli “Umumi Hıfzısıhha Kanunu”nun 180. maddesi, en az 50 kişinin sürekli olarak çalıştığı işyerlerinde çalışanların tedavisinin işletme içerisinde yapılması gerektiğini belirtmektedir (Resmi Gazete, 1930). Bu durumda oluşacak tıbbi atıkların, ilgili mevzuat olan “Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği” hükümlerine göre bertaraf edilmesi gerekmektedir.

Maden ocaklarında 50 kişiden az personel çalıştırılması durumunda, bahsedilen madde kapsamı dışında kalındığından, herhangi bir sağlık problemiyle karşılaşılması durumunda çalışanların derhal sağlık ocağı, hastane vb. kuruluşlara yönlendirilmesi gerekmektedir. Ancak, 50 kişi üzerinde personel çalıştırılması durumunda revir açmak ve iş hekimi bulundurmak zorunluluğu doğmakta ve dolayısıyla tıbbi atık oluşumu söz konusu olmaktadır (Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, 2017).

25.01.2017 tarihinde Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren “Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği” hükümlerine uyulması gerekmektedir. Bu kapsamda, maden ocağı faaliyetleri sırasında çalışan personelin yaralanması gibi olaylardan kaynaklanabilecek tüm tıbbi atıklar, kırmızı renkli ve delinmeye, patlamaya, yırtılmaya karşı dayanıklı plastik torbalar içerisinde toplanmalıdır. Bu torbaların üzerinde, her iki yüzünde siyah renkli ve görülebilir büyüklükte "Uluslararası Biyotehlike" piktogramı ile "DİKKAT! TIBBİ ATIK" ibaresi yer almalıdır (Resmi Gazete, 2017). Torbalar, kapasitesinin %75’inden fazla doldurulmamalı, dolum sonrasında ağızları sıkıca bağlanmalı ve kesin sızdırmazlık sağlanmalıdır.

Diğer katı atıklar: Maden ocaklarında gerçekleştirilen üretim süreçleri ve kullanılan hammaddeler, çeşitli atıkların ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bu atıklar arasında akümülatörler, atık piller, kontamine atıklar (üstüğü, yağ tenekeleri, boya tenekeleri vb.), floresan lambalar ve ömrünü tamamlamış lastikler gibi maddeler bulunmaktadır. Bu tür atıkların yönetimi, çevre koruma ve iş sağlığı açısından son derece önemlidir.

Bu atıklar, Türkiye'de “Atık Yönetimi Genel Esasları Yönetmeliği” ve “Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği” gibi ilgili mevzuatlar kapsamında değerlendirilmelidir. İlgili yönetmeliklere göre, bu atıkların depolanması, sınıflandırılması ve bertaraf edilmesi gerekmektedir. Atıkların, insan sağlığına ve çevreye zarar vermemesi için uygun yöntemlerle bertaraf edilmesi önemlidir (Resmi Gazete, 2008; Resmi Gazete, 2015).

2.1.3 Sıvı atıklar

Sıvı atıklar, herhangi bir üretim sürecinde veya hizmet faaliyetlerinde meydana gelen ve sıvı formda bulunan, potansiyel olarak zararlı veya kirletici olan atık maddelerdir (U.S. Environmental Protection Agency (EPA), 2020).

Atık su: Endüstriyel, evsel, tarımdan kaynaklı ve diğer alanlarda kullanımlar sonucunda kirlenmiş veya özelliklerinin bir bölümü ya da hepsinin değişmiş sular ile madencilik (ocakçılık, yıkama eleme, zenginleştirme vb.) faaliyetlerinden dolayı açığa çıkan sular bununla birlikte kent bölgelerinden, cadde otopark ve benzeri alanlardan yağışların yüzey veya yüzey altı akışa dönüşmesi sonucunda gelen sulardır.

Maden ocaklarında proses kaynaklı atık sular: Maden işletmeciliğinde, cevherlerin zenginleştirilmesi için çeşitli üretim yöntemleri uygulanmaktadır. Elmas tel kesme (sulu kesim) yöntemi, mermer ocaklarında yaygın olarak kullanılan bir kesim tekniğidir. Bu yöntem, telin ömrünü uzatmak ve toz oluşumunu engellemek amacıyla kesme işlemi sırasında su kullanımını gerektirir. Ancak, bu işlem sırasında ortaya çıkan su ve mermer tozu karışımı, çevresel kirliliğe yol açabilmektedir. Bu tür atıkların doğru bir şekilde yönetilmesi, çevre üzerindeki olumsuz etkilerin en aza indirilmesi ve sürdürülebilir bir üretim süreci sağlanması açısından önemlidir (Gürbüz ve Erbaş, 2015). Mermer kesme ve delme işlemlerinde kullanılan su, ocak alanında inşa edilen sızdırmaz çökeltim havuzlarında çökeltilerek arıtmakta ve bu sayede temizlenen su üretim sürecinde tekrar kullanılmaktadır. Böylelikle, mermer ocaklarında oluşan atık suların içme suyu kaynaklarına karışmasının önüne geçilmiş olur.

Maden zenginleştirme tesislerinde, kömür ve mıcır gibi cevherlerin yıkanması sırasında oluşan atık su, çökeltim havuzlarında biriktirilerek geri kullanılmakta veya arıtma işlemi uygulandıktan sonra alıcı ortama deşarj edilmektedir (Tosun ve Keleş,

2019). Metalik madenlerin üretimi ve zenginleştirilmesi sırasında oluşan atık sular, genellikle yüksek konsantrasyonlarda ağır metaller ve diğer toksik maddeler içermektedir. Bu nedenle, bu tür tesislerde atık suların uygun şekilde arıtılması ve atık barajlarının uluslararası standartlara uygun olarak tasarlanması büyük önem taşımaktadır. Atık suların doğrudan alıcı ortama verilmesi, su kaynaklarının kirlenmesine ve ekosistemlerin zarar görmesine yol açabilir. Bu tür tesislerde, suyun geri kazanımı ve yeniden kullanımı gibi yöntemler çevresel etkilerin azaltılmasında etkili bir çözüm sunmaktadır (Younger vd., 2002).

Ayrıca, maden ocaklarında, kırma-eleme tesisleri, nakliye, yükleme ve boşaltım aşamalarında patlatma sırasında oluşabilecek tozları önlemek amacıyla spreyleme su sistemleri veya arazözlerle nemlendirme işlemleri kullanılmaktadır. Bu yöntemler, toz oluşumunu önemli ölçüde azaltırken, mevsimsel koşullar ve malzeme yapısının su tutma özellikleri nedeniyle genellikle atık su oluşumuna neden olmamaktadır (Chaulya vd., 2001).

Evsel nitelikli atık sular: Maden ocaklarında çalışanlardan kaynaklanan evsel atık sular, tesisin büyüklüğüne ve çalışan sayısına bağlı olarak farklı yönetim yöntemlerine tabi tutulmaktadır. 84 kişinin altında çalışan tesislerde, oluşan atık sular sızdırmaz fosseptik çukurlarında biriktirilmekte ve bu atık sular, belirli periyotlarla belediyelere veya özel şirketlere ait vidanjörler aracılığıyla çekilerek arıtma tesislerinde bertaraf edilmektedir (T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2014).

Diğer yandan, 84 kişi üzerindeki çalışan sayısına sahip tesislerde, atık suların yönetimi için atıksu arıtma tesisleri kurulmakta ve bu tesislerde atık sular arıtılarak alıcı ortam deşarj standartlarına uygun bir şekilde bertaraf edilmektedir. Bu süreç, çevre koruma standartlarının sağlanması açısından büyük önem taşımaktadır (T.C. Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2020).

Atıksu arıtma tesisleri, evsel atık suların temizlenmesi ve çevreye zararlı etkilerinin en aza indirilmesi amacıyla önemli bir rol oynamaktadır. Arıtma sürecinin etkin bir şekilde yönetilmesi, su kaynaklarının korunmasına ve çevre kirliliğinin azaltılmasına yardımcı olmaktadır.

Diğer sıvı atıklar: Maden ocaklarında, çeşitli faaliyetlerden kaynaklanan sıvı atıklar,

çevresel etki açısından önemli sorunlar yaratmaktadır. Bu atıklar arasında personelin yemek ihtiyacından kaynaklanan bitkisel yağlar ve makine ile ekipmanlardan çıkan atık yağlar gibi tehlikeli atıklar bulunmaktadır. Ayrıca, sondaj çalışmaları sırasında açığa çıkan sondaj sıvıları da bu atıklar arasında yer almaktadır (T.C. Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2022).

2.1.4 Gürültü

Günlük yaşamda ses, insanların kendilerini iyi hissetmeleri için gerekli olan önemli bir unsurdur. Bu sesler; konuşma, müzik ve doğanın sunduğu melodiler gibi, yaşamın vazgeçilmez parçalarını oluşturur. Ancak, bu sesler istenmeyen, rahatsız edici ve hoş olmayan bir düzeye ulaştığında, gürültü olarak tanımlanır. Gürültü, çalışanlar üzerinde işitme kaybı ve psikolojik rahatsızlıklar gibi olumsuz etkilere yol açan bir fiziksel risk unsuru olarak karşımıza çıkar. Aynı zamanda, çalışma verimliliğini düşüren önemli bir faktördür (Sharland, I. 1972).

Maden ocağı işletmelerinde; yüksek seviyelerde gürültünün açığa çıkması ve yayılması delme patlatma işlemleri, kazı ve yükleme işlemlerinden kaynaklanmaktadır. Bunun haricinde, madencilik faaliyetleri kapsamında cevher hazırlama tesislerinde bulunan kapasitesi yüksek elek, kırıcı, tambur (değirmen) gibi makine-ekipmanları da bu kapsamda önemli gürültü kaynakları arasında sayabiliriz (Sharland, I. 1972).

Gürültü kaynakları ve ses gücü düzeyleri Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Maden ocağı tesislerinde kullanılan çeşitli makine ve ekipmanların oluşturduğu gürültü seviyeleri (Massassi vd., 1997, Sharma vd., 2000).

Gürültü Kaynakları (Üretim işlemleri –istasyonlar)	Ses gücü düzeyi (dBA)
Ocakta delik delme ve hareketli bant ile cevher sevkiyatı	87-95
Malzeme (cevher) sevkiyatı mekanizma	90-98
Kompresör	90-100
Güç kaynağı (Jeneratör)	94-95
Titreşimli elekler	95-100
Cevher nakil istasyonları ve kuyular	96-98
Yeraltı ocak asansör, vagon giriş ve çıkışı	98-100
Basınçlı havayla çalışan makineler	105-112

Maden ocağında kullanılan iş makinelerinin büyük bir kısmı ağır iş makineleri kategorisinde yer almakta olup, bu makinelerin üretim süreçlerinde yüksek seviyelerde gürültü kirliliği oluşturduğu gözlemlenmektedir. Bu durum, çalışma ortamında sürekli bir gürültü varlığına sebep olmakta ve gürültüsüz bir çalışma ortamının sağlanmasını neredeyse imkânsız hale getirmektedir. Gürültü kirliliğinin çalışanlar üzerinde olumsuz etkileri bulunmakta olup, bu etkilerin en aza indirilmesi için gerekli önlemlerin alınması büyük önem taşımaktadır (Sharland, I. 1972).

Çizelge 2.2’de açığa çıkan olumsuz etkilere bağlı olarak, gürültü seviyeleri derecelendirilmektedir.

Çizelge 2.2. Gürültüden kaynaklı risk dereceleri ve bunların insan üzerinde yapmış olduğu etkileri (Güler ve Çobanoğlu 1994).

Risk Derecesi	Gürültü Seviyesi dB	Etki
I. Derece	30-65	Uyku Bozukluğu, Rahatsızlık, Konforsuzluk, Asabiyet, odaklanma problemi ve öfke
II. Derece	65-90	Solunumda hızlanma, kan basıncında ve kalp atışlarında düzensizlik, Fizyolojik reaksiyonlar, ani refleksler, beyin sıvısındaki basıncın azalması
III. Derece	90-120	Baş ağrıları, Fizyolojik reaksiyonlar
IV. Derece	120	Denge problemi, iç kulakta sürekli hasar
V. Derece	140	Tehlikeli beyin hasarı

2.1.5 Toz oluşumu ve hava kirliliği

Hava kirliliği, atmosferde bulunan doğal bileşenlerin konsantrasyonlarının, çeşitli nedenlerle artarak çevredeki canlı ve cansız varlıklara olumsuz etkiler yaratacak seviyelere ulaşması olarak tanımlanmaktadır. Bu durum, insan sağlığından ekosistemlere kadar geniş bir etki yelpazesine sahip olup, çevreye zarar veren kirleticilerin sanayi, ulaşım, tarım ve diğer insan faaliyetlerinden kaynaklandığı bilinmektedir. Ayrıca, hava kirliliği, iklim değişikliği, asit yağmurları ve ozon tabakasının incilmesi gibi küresel sorunlarla da ilişkilidir. Bu nedenle, hava kalitesinin korunması ve iyileştirilmesi, sürdürülebilir çevre yönetimi açısından büyük önem taşımaktadır (T.C. Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2023).

Hava kirliliği hem doğal hem de insan faaliyetlerinden kaynaklanabilir ve iki kaynağın çevre üzerindeki etkileri oldukça farklıdır. Doğal kaynaklar arasında volkanik

patlamalar, orman yangınları ve toz fırtınaları gibi olaylar yer alır, bunlar atmosfere radon, kül, karbon dioksit ve diğer kirletici gazları yayar. İnsan faaliyetleri (antropojenik) kaynaklı hava kirliliği, fosil yakıtların yanması, endüstriyel süreçler ve motorlu taşıtlar gibi sürekli ve geniş çaplıdır. Bu kirleticiler (karbon dioksit, metan, sülfür dioksit gibi) küresel ısınma, asit yağmuru ve solunum yolu hastalıkları gibi ciddi çevresel ve sağlık sorunlarına yol açmaktadır. Özellikle karbon dioksit ve metan gibi sera gazları, küresel ısınmanın başlıca nedenleri arasındadır. İnsan kaynaklı kirleticilerin çevreye verdiği zarar, doğal olayların etkilerinden genellikle çok daha büyüktür (URL-4).

Maden ocaklarında, cevherin çıkarılması aşamasında delme, patlatma, kırma eleme öğütme, yükleme ve taşıma gibi işlemler toz oluşumu ve hava kirliliğinin potansiyel kaynaklarıdır (Sinha and Banerjee 1994, Langer 2001).

Emisyon faktörünün saptanması, askıdaki partikül madde (APM) emisyon oranlarının hesaplanmasında en önemli unsurdur (Chaulya vd., 2001). Hava kalitesinin etkisini değerlendirmek için APM'nin temel kaynakları şu şekildedir:

a) Delme işlemleri: Patlama delikleri, delme makineleri yardımıyla açılmakta ve zeminin ıslatılmadan delinmesi durumunda toz oluşumu kaçınılmaz hale gelmektedir. Bu, özellikle çalışma alanlarında toz kirliliğini artıran faktörlerden biridir.

b) Patlatma işlemleri: Patlatma sırasında, ani ve yüksek miktarda partikül madde (APM) açığa çıkmakta ve bu süreç anlık olarak büyük miktarlarda hava kirleticisi yayılmasına neden olmaktadır.

c) Kayaların yüklenmesi: Patlatma ile gevşetilen kaya kütleleri, hidrolik yükleyicilerle kamyonlara yüklenir. Bu işlemler sırasında, özellikle kamyonların hareketi sırasında önemli miktarda emisyon oluşur. Ayrıca, bu kamyonların güzergahları boyunca toz kirliliği artar ve bu emisyonlar çevreyi olumsuz etkiler.

d) Maden cevheri işleme aşaması: Cevherin işlenmesi sırasında kırıcılar yardımıyla küçük parçalara ayrılması işlemi yoğun toz oluşumuna yol açmaktadır. Bu tozlar, özellikle kemerli bantlarla transfer sırasında büyük bir kirletici kaynağı haline gelir.

e) Aşırı yükleme: Malzemelerin taşınması sırasında aşırı yükleme yapılması, özellikle

güzergah boyunca toz kaynaklarının oluşmasına neden olur. Bu durum, maden sahasındaki emisyon oranını artırır.

f) Yığın şekli: Fazla materyaller ve düşük kalitedeki taşlar, iş makineleri tarafından oluşturulan yığınlar halinde birikir ve bu yığınlar önemli bir toz kaynağı haline gelir.

g) Yığınlar: Maden sahasındaki malzemelerin depolanması sırasında yığınların çıplak yüzeyleri, rüzgâr erozyonuna maruz kalarak emisyonlara neden olur. Rüzgârın hızı, toz kirliliğinin yoğunluğunu belirleyen önemli bir faktördür.

h) Araç hareketleri: Damperli kamyonlar, dozerler ve diğer ağır iş makineleri, kaplamasız yollar üzerinde hareket ederken toz kaldırmakta ve bu da emisyon oranlarını artırmaktadır. Özellikle iş makinelerinin ve kamyonların geçişleri sırasında önemli miktarda toz oluşmaktadır (Chaulya vd., 2001).

Çizelge 2,3'te de belirtildiği gibi bu emisyonların kontrol altına alınması, hem çalışanların hem de çevrenin korunması açısından kritik öneme sahiptir.

Çizelge 2.3. Çevre ve orman bakanlığı hava kalitesi indeksi (URL-5).

Hava Kalitesi İndeksi (HKİ) (mg/m ³)	Sağlık Seviyesi	İkazlar
0 - 50 arasında	İyi	Bu seviyede hava kalitesi sağlıklı kabul edilir ve herhangi bir uyarı veya sağlık etkisi bulunmamaktadır.
51 - 100 arasında	Orta	Bazı hassas bireyler için uzun süreli ve yoğun fiziksel aktivitelerde dikkatli olmaları önerilmektedir.
101 - 150 arasında	Hassas	Kalp veya solunum rahatsızlığı olanlar, yaşlılar ve çocuklar uzun süreli ve yoğun fiziksel aktivitelerini azaltmalıdır.
151 - 200 arasında	Sağlıksız	Kalp ve solunum hastalığı olanlar, yaşlılar ve çocuklar uzun süreli ve yoğun efor sarf etmemelidir. Bunun dışında herkes, fiziksel aktivitelerini azaltmalıdır.
201 - 300 arasında	Kötü	Kalp ve solunum hastalığı olanlar, yaşlılar ve çocuklar fiziksel aktivitelerden tamamen kaçınmalıdır.
301 - 500 arasında	Tehlikeli	Kalp veya solunum hastalığı olanlar, yaşlılar ve çocuklar evde kalmalı ve aktivite seviyelerini düşük tutmalıdır. Diğer kişiler de dış ortamda fiziksel aktivitelerden tamamen kaçınmalıdır.

Bu sınıflandırma, hava kalitesinin insan sağlığı üzerindeki etkilerini anlamayı kolaylaştırmak ve olası riskler konusunda halkı bilgilendirmek amacıyla geliştirilmiştir (T.C. Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2023).

2.1.6. Yer sarsıntıları, hava şoku ve taş savrulmaları

Patlayıcı maddeler maden ocağında ana kayacı parçalamak amacıyla kullanılması durumunda çevreye verebileceği zararları, dört ana başlık altında toplanabilir. Bunlar taş savrulması, hava şoku, toz emisyonu ve yer sarsıntısıdır (Hock and Bray 1977, Langer 2001).

Madencilik faaliyetlerinde, ana kayadan büyük kaya kütlelerinin parçalanması için kullanılan patlayıcı maddeler, şiddetli bir kimyasal reaksiyonla parçalanarak ani yüksek sıcaklık ve basınç altında büyük hacimlerde gaz haline dönüşebilen kimyasal maddelerden oluşmaktadır (87/12028 numaralı Tüzük, Madde 2). Bu maddeler katı, sıvı veya gaz formunda olup, patlama sırasında kimyasal enerji açığa çıkararak parçalama işlemini gerçekleştirmektedir. Patlama sonucu oluşan yüksek basınç, kayayı parçalayarak gevşetir ve bu parçalanmış kütle taşınma ve işlenmeye uygun hale gelir (Hüdaverdi ve Kuzu 2005).

Patlayıcı maddelerin etkili kullanılabilmesi için patlatma yapılacak alanda doğru şekilde yerleştirilmeleri büyük önem taşımaktadır. Yanlış yerleştirilen patlayıcılar, patlama esnasında yüksek hızlı gaz boşalımı ile ana kayadan sökülen ve çevreye savrulan kaya parçalarına neden olabilir. Bu durum, ciddi tehlikeler doğurarak çalışma ortamındaki personel için risk oluşturabilir. Aynı zamanda, patlama sonucu meydana gelen yüksek ses düzeyi (gürültü) de önemli bir sorundur. Patlama ile oluşan bu yüksek ses, insanlar üzerinde hem fiziksel hem de psikolojik etkiler yaratabilmekte ve yakın çevredeki yapılar üzerinde hasarlara yol açabilmektedir. Örneğin, patlamanın etkisiyle duvar sıvalarının dökülmesi, baca ve yapıların zarar görmesi gibi yapısal hasarlar meydana gelebilir (Siskind vd., 1995).

Bu bağlamda, patlayıcıların doğru ve güvenli bir şekilde kullanımı, hem iş güvenliği hem de çevre sağlığı açısından büyük önem taşımaktadır. Örnek patlatma işlemi Şekil 2.2’de verilmiştir.



Şekil 2.2. Maden ocağında patlatma işlemi.

2.2 Hava Kirliliği Kaynakları

Hava kirliliği, doğal süreçler ya da insan faaliyetleri sonucunda atmosferdeki gaz ve partikül bileşiminin bozulmasıyla, insan sağlığına, canlı yaşamına, ekolojik sisteme ve fiziksel yapılar üzerinde zararlı etkiler oluşturabilecek düzeyde ve sürede havada kalabilen maddelerin birikmesidir (T.C. Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2023).

Dünya yüzeyine en yakın katman olan troposfer, dünya atmosferinin kütlesinin %75'ini içermektedir ve yaklaşık 8-14 kilometre kalınlığa sahiptir. Bu katmanda havanın doğal bileşimi %78 nitrojen, %21 oksijen ve %1 argon, su buharı, karbondioksit ve diğer gazlardan oluşmaktadır (TUA, 2023). Hava kirliliği ise bu doğal bileşimlerin, özellikle gazların, normal seviyelerinin dışına çıkması olarak tanımlanmaktadır (Alp ve Tünay, 1996).

Havanın doğal bileşimi, yerleşim yerlerinden uzak bölgelerde daha net bir şekilde karakterize edilebilir. Okyanus ve kara kütlelerinin yerleşimden uzak bölgelerinde, havanın doğal bileşimi korunabilmektedir. Bununla birlikte, insan faaliyetlerinin

artmasıyla metan (CH₄) gibi gazların derişiminde artış gözlemlenmekte ve bu durum küresel ısınma gibi ciddi çevresel sorunlara yol açmaktadır (Frederick, 2008). Ayrıca, havada su buharı (%1-3) ve eser miktarda amonyak, formaldehit, iyot, karbonmonoksit, kükürtdioksit, polen, sodyum klorür ve toz gibi maddeler de bulunmaktadır (İncecik, 1994; Frederick, 2008).

Dünya, canlı yaşamının devamı için gereken birçok şartın bir araya geldiği bir gezegendir (TUA, 2023). Atmosfer, hidrosfer, biyosfer ve litosfer arasında mükemmel bir denge bulunmakta ve bu sistemlerin bir arada çalışmasıyla dünya üzerinde yaşamın devamı sağlanmaktadır (EPA, 1997). Yağmur, kar gibi hava olayları, yüzeysel ve yeraltı su akımları, buharlaşma gibi süreçler, bu dengede kritik bir rol oynamaktadır. Ancak, atmosfere herhangi bir kirletici salınımı, bu süreçlerin aniden etkilenmesine ve dengenin bozulmasına yol açmaktadır (EPA, 1997).

Hava kirliliği, doğal süreçler ve insan kaynaklı (antropojenik) faaliyetler olmak üzere iki ana başlık altında sınıflandırılmaktadır. Doğal kaynaklar arasında orman yangınları, toz fırtınaları, polen yayılımı ve volkanik patlamalar bulunurken; insan faaliyetlerinden kaynaklanan kirlilik ise fabrikalar, enerji santralleri ve motorlu taşıtlar gibi endüstriyel ve ulaşım kaynaklı emisyonlarla ilişkilendirilmektedir (Seinfeld and Pandis, 2016; WHO, 2021).

Doğal hava kirliliği kaynakları: Doğal hava kirliliği kaynakları, insan etkisinden bağımsız olarak meydana gelen doğal olaylar sonucu atmosfere salınan kirleticilerden oluşmaktadır. Bu kirleticilerin başlıcaları volkanik patlamalar, orman yangınları ve toz fırtınalarıdır. Volkanik patlamalar, atmosfere büyük miktarda kül, gaz ve partikül madde yayar. Örneğin, sülfür dioksit (SO₂) gazı volkanik aktivitenin yaygın bir sonucudur ve atmosfere önemli ölçüde kirlilik katar (Grattan ve Pyatt, 1999). Orman yangınları, büyük ölçüde doğal sebeplerden, özellikle yıldırım düşmesi sonucu meydana gelebilir ve karbon monoksit (CO), nitrojen oksitler (NO_x) ve partikül maddeler gibi kirleticilerin atmosfere salınmasına neden olur (Bowman vd., 2009). Toz fırtınaları ise kurak bölgelerden atmosfere taşınan toprak partiküllerini içerir ve hem yerel hem de küresel hava kalitesini etkileyebilir (Middleton, 2017). Bu kirleticiler, tamamen doğal süreçlerin bir sonucu olarak ortaya çıkmakta olup, insan faaliyetlerinden bağımsızdır.

Antropojenik (yapay) kaynaklar: insan faaliyetleri sonucu ortaya çıkan kirleticilerden oluşmakta olup, genel olarak sabit ve hareketli olmak üzere iki ana grupta incelenmektedir. Sabit kaynaklar, belirli bir konumda faaliyet gösteren tesislerden oluşur; bunlar arasında fabrikalar, enerji santralleri gibi büyük endüstriyel tesisler yer alır. Bu tesisler, üretim süreçlerinde çıkan emisyonlarla atmosfere zararlı kirleticiler salar. Öte yandan, hareketli kaynaklar, motorlu taşıtlar gibi yer değiştirebilen kirlilik kaynaklarını ifade etmektedir. Taşıtlar, özellikle karayollarında yüksek miktarda egzoz gazı ve partikül madde salarak hava kalitesini doğrudan etkiler (URL-6).

Sabit kaynaklar: Petrol rafinerileri, kimya ve tarım ilaçları üretimi, enerji üretim tesisleri, çimento, demir-çelik, gübre ve şeker gibi sanayi proseslerinden kaynaklanan kirleticiler, genellikle katı, sıvı ve gaz yakıtların yanması sonucunda ortaya çıkmaktadır. Bu kirleticiler, üretim süreçleri sırasında bacalar aracılığıyla atmosfere salınmakta ve çevre üzerinde olumsuz etkiler yaratmaktadır (Kampa ve Castanas, 2008; Vallero, 2014).

Hareketli kaynaklar: Hareketli kaynaklar, kara, deniz ve hava taşıtları gibi, mazot, benzin veya jet yakıtı gibi çeşitli yakıtları kullanan araçlardır. Bu taşıtların egzozlarından atmosfere salınan yanma ürünleri, katı, sıvı ve gaz yakıtların yanmasıyla oluşan önemli hava kirleticileri arasında bulunur. Bu kirleticiler, hem insan sağlığına hem de çevresel dengeye zarar vererek hava kalitesini ciddi şekilde etkileyebilmektedir (World Health Organization, WHO 2021).

Diğer kaynaklar: Diğer kaynaklar olarak tanımlanan, düzensiz bir şekilde depolanan çöp yığınlarının yanması, kirli su kütleleri ve inşaat faaliyetleri, hava kirliliği üzerinde etkili olan önemli kirletici faktörlerdir. Çöp yığınlarının düzensiz depolanması ve organik maddelerin anaerobik ortamda parçalanması sonucu atmosfere metan (CH_4), karbondioksit (CO_2) ve hidrojen sülfür (H_2S) gazlarının salınımı gerçekleşmektedir. Bunun yanı sıra, inşaat süreçleri kazı, yükleme ve taşıma gibi faaliyetler alıcı hava ortamına önemli miktarda partiküler madde salarak hava kalitesini olumsuz etkilemektedir (URL-7).

2.3 Hava Kirleticileri

Hava kirleticileri, havanın doğal bileşimini bozan ve katı, sıvı veya gaz formunda bulunabilen kimyasal maddeler olarak tanımlanmaktadır (Seinfeld ve Pandis, 2016; Vallero, 2014). Atmosferde farklı fiziksel hallerde bulunmaları nedeniyle, hava kirleticilerinin sistematik bir şekilde sınıflandırılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu bağlamda, hava kirleticileri, atmosferdeki varlık durumları ve fiziksel özelliklerine göre gruplandırılmaktadır.

Kirleticilerin atmosferde yer alışı durumları: Kirleticilerin atmosferdeki yer alışı durumu, hava kalitesi yönetimi ve çevresel etkiler açısından önemli bir konudur. Kirleticiler, doğrudan kaynaklardan atmosfere salınan birincil kirleticiler ve atmosferdeki kimyasal reaksiyonlar sonucunda meydana gelen ikincil kirleticiler olarak iki ana gruba ayrılmaktadır. Birincil kirleticiler, kaynaklardan doğrudan salınan ve atmosfere karışan kirleticilerdir. Örneğin, kükürt bileşenlerinden SO_2 , doğrudan atmosfere salınarak birincil kirleticisi olarak sınıflandırılmaktadır (Seinfeld ve Pandis, 2016). Ancak, SO_2 atmosferde oksitlenerek SO_3 'e dönüşür, bu süreçte SO_3 ikincil kirleticisi olarak kabul edilir, çünkü kimyasal reaksiyonlar sonucu ortaya çıkmaktadır.

Atmosferdeki kirleticiler, gazlar ve partiküller olmak üzere iki ana kategoriye ayrılmaktadır. Gazlar arasında kükürt dioksit (SO_2), azot oksitler (NO_x), karbon monoksit (CO) ve hidrokarbonlar (HC) yer alır. Bu gazlar, fosil yakıtların yanması, endüstriyel süreçler ve taşıtlardan atmosfere salınmaktadır. Ayrıca, partiküller madde (PM), havada bulunan katı ve sıvı parçacıklardır. İnsan faaliyetleri ve doğal kaynaklardan atmosfere karışan bu partiküller, diğer kirleticilerle reaksiyona girerek PM'i oluşturur ve atmosfere verilirler (URL-8).

Partiküler kirleticiler ise toz, duman, sis, uçucu kül, kurum ve aerosol gibi katı veya sıvı hâlindeki maddeleri içermektedir. Bu kirleticiler, yanma süreçleri ve doğal kaynaklardan atmosfere yayılabilir (World Health Organization, 2018).

Gazlar ve partiküller, sağlık üzerinde farklı etkiler yaratmaktadır. Özellikle SO_x ve NO_x gibi gazlar, solunum yolu hastalıklarına, özellikle astım ve bronşit gibi rahatsızlıklara neden olabilmektedir. Bu gazlar, hava kirliliğinin başlıca bileşenleri olup, uzun süreli maruziyet, solunum yollarında iltihaplanma ve akciğer

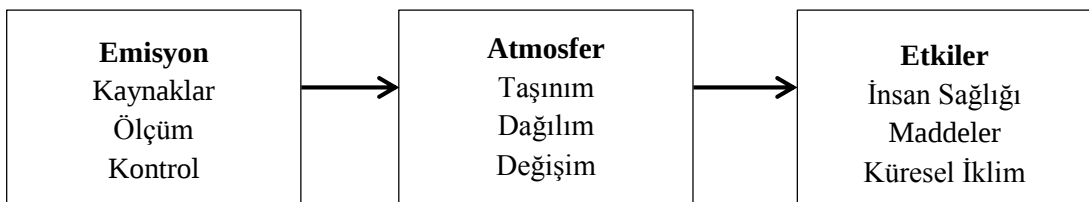
fonksiyonlarında azalmaya yol açabilir (Kampa ve Castanas, 2008).

Partikül maddeler (PM), solunum sistemine daha doğrudan zarar vererek astım ve KOAH gibi hastalıkların şiddetini artırmaktadır. Ayrıca, partikül maddeler atmosfere yayıldıktan sonra kimyasal reaksiyonlara girerek daha zararlı bileşiklere dönüşebilir (Büyüköz ve Yıldız, 2022). Bu nedenle gazların tespiti, partiküllere göre genellikle daha kolaydır, çünkü partikül maddeler karmaşık kimyasal reaksiyonlar sonucu çeşitli zararlı bileşiklere dönüşebilir (Pope ve Dockery, 2006).

2.4 Meteorolojik Koşullar ve Hava Kirlenmesinde Meteorolojinin Etkisi

Meteoroloji, atmosferde meydana gelen hava hareketleri, yağış, ısı değişiklikleri gibi olayların incelenmesi ve tahminlerin yapılmasına yardımcı olan bir bilim dalıdır. Aynı zamanda, atmosferdeki kirleticilerin dağılımı ve bu kirleticilerin kimyasal reaksiyonlarının tespit edilmesinde önemli bir rol oynar (Alp ve Tünay, 1996).

Kirleticilerin atmosfere yayılması, meteorolojik faktörlere bağlı olarak büyük ölçüde değişkenlik göstermektedir. Bu bağlamda, hava kirleticileri üç ana başlık altında incelenmektedir: emisyon, atmosferdeki süreçler ve kirleticilerin etkileri. Emisyon kısmı, kirleticili kaynaklarının tanımlanmasını, ölçüm yöntemlerini ve kontrol mekanizmalarını içermektedir. Bu aşama, kirleticilerin kaynaktan oluştuğu andan atmosfere salındığı ana kadar olan süreci kapsamaktadır. Atmosferdeki süreçler kısmında, salınan kirleticilerin atmosferdeki karmaşık ve kaotik davranışları incelenir. Bu süreçte meteorolojik faktörler, kirleticilerin atmosferde taşınmasını, dağılımını ve atmosferden temizlenmesini etkiler. Atmosferdeki temizlenme süreci uzadıkça, kirleticilerin atmosferde daha uzun süre kalması ve etkilerinin daha geniş bir alana yayılması olası hale gelir. Etkiler bölümünde ise kirleticilerin insan sağlığı, ekosistemler ve iklim üzerindeki olumsuz etkileri detaylı bir şekilde incelenir (Yılmaz, 2005). Şekil 2.3’de kirleticilerin doğal kaynaklarda temizlenme şeması verilmiştir.



Şekil 2.3. Kirleticilerin doğal kaynaklarda temizlenme şeması.

Belirli bir kaynaktan çıkan kirleticilerin atmosferde dağılımı, meteorolojik koşulların bir yansımasıdır. Rüzgâr hızı ve yönü, sıcaklık, basınç, nem, bulutluluk ve yağış gibi meteorolojik elemanlar, kirleticilerin yerel ve bölgesel düzeyde nasıl dağıldığını belirler (Demirarslan vd., 2008).

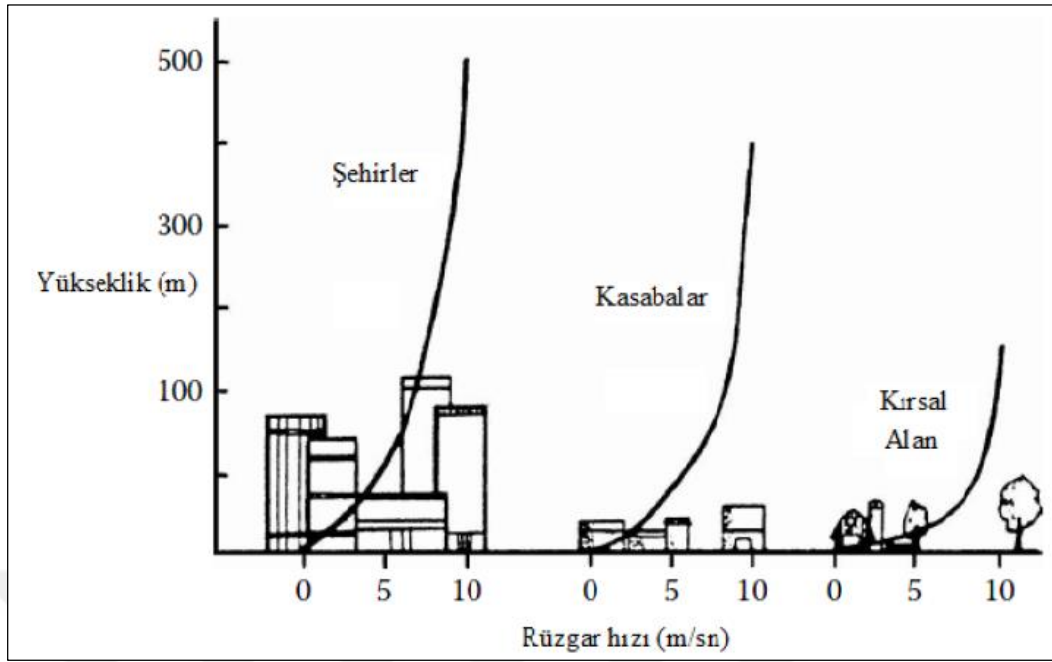
Atmosferdeki basınç değişimleri, yatay düzlemde kirleticilerin dağılımını ve taşınmasını doğrudan etkilemektedir. Rüzgâr hareketi, atmosferdeki ısı farkları nedeniyle oluşan basınç gradyanı ile meydana gelmektedir. Eğer basınç gradyanı oluşmazsa, rüzgâr da oluşmaz. Basınç gradyanı ne kadar büyükse, rüzgâr o kadar şiddetli olur ve bu da kirleticilerin daha geniş alanlara taşınmasına yol açar (Arya, 2001).

Atmosferdeki kirleticilerin taşınımı ve yayılımı açısından kritik bir rol oynamakta ve hava kirliliğinin bölgesel etkilerini belirlemede temel faktörlerdir. Özellikle atmosferik türbülans, karışım yüksekliği ve rüzgâr hızı gibi faktörler, kirleticilerin dağılımını doğrudan etkilemektedir (Seinfeld ve Pandis, 2016; Vallero, 2014).

2.5 Rüzgâr Hızı Profili

Yer yüzeyindeki hava hareketlerinin sürtünme kuvvetleri ile etkilendiği bilinmektedir. Bu sürtünme kuvvetleri, yeryüzünün topografik yapısı ve yüzey örtüsüne göre değişiklik göstermektedir. Özellikle pürüzlü yüzeylerde, sürtünme daha fazla olurken, pürüzsüz yüzeylerde bu etki daha azdır. Bu durum, Dünya sınır tabakası boyunca hissedilir ve sınır tabakasının kalınlığı atmosferin stabilitesine göre değişir. Atmosferin kararlı olduğu durumlarda sınır tabakasının kalınlığı azalır, bu da sürtünme etkisinin daha alt seviyelerde yoğunlaşmasına neden olur (Stull, 1988).

Sınır tabakasının yüksekliği ile atmosferin stabilitesi arasındaki ters orantı, sürtünmenin etkili olduğu yüksekliğin stabiliteye bağlı olarak değiştiğini göstermektedir. Stabilitenin artması, sınır tabakasının daralmasına ve rüzgâr hızının yüzeyden itibaren daha belirgin bir şekilde azalmasına yol açar (Garratt, 1994). Şekil 2.4'de gösterildiği gibi, rüzgâr hızı profili, farklı yüzey yapıları için değişkenlik gösterir. Pürüzlü yüzeylerde, yüzeye yakın bölgelerde rüzgâr hızında keskin bir azalma görülürken, daha düzgün yüzeylerde rüzgâr hızı artışı daha yumuşak bir şekilde gerçekleşir (Arya, 2001).



Şekil 2.4. Rüzgâr hızı profili.

Şekil 2.4’de verilen ortalama rüzgâr hızının yükseklikle değişimi denklem 2.1 ile belirlenir;

$$\frac{u_1}{u_2} = \left(\frac{z_1}{z_2} \right)^p \quad (2.1)$$

Rüzgâr hızı profili, farklı yüksekliklerdeki rüzgâr hızlarını karşılaştırmak ve yüzey etkilerini incelemek amacıyla çeşitli katsayılar kullanılarak hesaplanmaktadır. Bu formülde:

- u_1 : z_1 yüksekliğindeki rüzgâr hızı
- u_2 : z_2 yüksekliğindeki rüzgâr hızı
- p : Atmosferin kararlılığına ve topografik özelliklere bağlı katsayıyı temsil etmektedir.

Rüzgâr hızı profili formülünde, kentsel ve kırsal alanlar için farklı kararlılık sınıflarına bağlı olarak çeşitli katsayılar kullanılmaktadır. Kentsel bölgelerde yüzey pürüzlülüğünün daha fazla olması nedeniyle sürtünme etkisi artarken, kırsal bölgelerde bu etki daha sınırlı kalmaktadır. Atmosferik kararlılık ise, bu katsayıların belirlenmesinde önemli bir faktördür. Çizelge 2.4’de, kentsel ve kırsal bölgelerdeki

farklı kararlılık sınıfları için kullanılan katsayılar listelenmiştir (Arya, 2001; Stull, 1988).

Çizelge 2.4. Rüzgâr hızı profili denklemi için p katsayıları.

Kararlılık Sınıfı	Kırsal Alan p Katsayısı	Kentsel Alan p Katsayısı
A (Çok Kararsız)	0,07	0,15
B (Kararsız)	0,07	0,15
C (Az Kararsız)	0,10	0,20
D (Nötr)	0,15	0,25
E (Az Kararlı)	0,35	0,30
F (Kararlı)	0,55	0,30

Rüzgâr ve diğer meteorolojik faktörler, atmosferdeki kirleticilerin taşınmasında önemli bir rol oynamaktadır. Kirleticiler, kaynaklardan kilometrelerce uzaklıktaki bölgelere rüzgârın etkisiyle taşınabilir ve bu süreç, atmosferdeki fiziksel ve kimyasal değişimlerle birleşerek, taşındıkları bölgelerde kirliliğe neden olabilir (Jacobson, 2002). Rüzgâr hızı ve yönü, kirleticilerin taşınma mesafesini ve yönünü belirlerken, atmosferdeki sıcaklık, nem ve yağış gibi faktörler de kirleticilerin atmosferdeki kalış süresi ve reaksiyonlarını etkileyerek, kirliliğin yayılmasında ve şiddetinde belirleyici olabilir (Stull, 1988). Bu bağlamda, topoğrafik koşullar ve meteorolojik etmenler, kirleticilerin taşınma süreçlerinin karmaşıklığını artırmakta ve hava kalitesini doğrudan etkileyebilmektedir.

Yakın mesafe taşınım: Özellikle yerleşim bölgelerinde meydana gelmektedir. Kaynaktan çıkan kirleticiler, bina çökeltmesi mekanizması nedeniyle aynı bölgede kalır. Yüksek binaların neden olduğu durgun atmosfer koşulları, kirleticilerin yüksek binalar arasındaki kaynaklardan çıkıp sadece kısa mesafeler boyunca taşınmasına yol açar.

Kısa mesafe taşınım: kirleticinin kaynağından maksimum 10 km uzaklığa kadar taşınması sürecini ifade etmektedir. Genellikle birincil kirleticilerin yer seviyesindeki maksimum konsantrasyonu bu mesafe içinde açığa çıkmaktadır. Bu tür taşınımında, kirleticiler atmosfere yayılırken büyük ölçüde kaynak bölgesine yakın alanlarda kalmakta ve burada en yüksek kirlilik seviyeleri görülmektedir.

Orta mesafe taşınım: Kirleticilerin kaynaktan 10 km ile 100 km arasındaki mesafelere

taşınması sürecidir. Bu mesafelerde, kirleticilerin seyrelmesi ve atmosferdeki kimyasal reaksiyonlar etkili olmaya başlar. Orta mesafe taşınımında kirleticiler, atmosfer koşullarına bağlı olarak hem yatay hem de dikey olarak hareket eder ve bu süreçte konsantrasyonları düşmeye başlar.

Uzun mesafeli taşınım: kirleticilerin kaynaktan 100 kilometreyi aşan uzaklıklara taşınması sürecidir. Bu tür taşınımında kirleticiler, meteorolojik faktörlerin etkisiyle daha uzak mesafelere taşınırken atmosferdeki doğal giderim süreçleri, yağış ve kuru çökme gibi mekanizmalarla seyrelir. Uzun mesafe taşınımı, genellikle bölgesel ya da uluslararası hava kirliliği olaylarının temel nedenidir.

2.6 Hava Kalite İndeksi

Hava kirliliği, şehirleşmenin kaçınılmaz bir sonucu olarak karşımıza çıkmakta ve bu durum hem bölgesel hem de küresel boyutta etkiler yaratmaktadır. Hava kirliliği, insan sağlığını tehdit eden birçok probleme yol açmakta ve bu konudaki etkilerin azaltılması amacıyla çeşitli bilimsel çalışmalar yürütülmektedir (Zannetti, 1990). Bir bölgedeki hava kalitesini değerlendirmek için kullanılan Hava Kalitesi İndeksi (HKİ), ülkeden ülkeye farklılıklar gösteren ve her bir kirlilik seviyesi için belirli renklerle ifade edilen bir ölçü birimidir (WHO, 2021).

HKİ, temel olarak, partikül maddeler (PM₁₀), karbon monoksit (CO), kükürt dioksit (SO₂), azot dioksit (NO₂) ve ozon (O₃) gibi kirleticilerin konsantrasyonlarına dayanmaktadır ve bu kirlilik seviyeleri, farklı renklerle temsil edilmektedir (EPA, 2014).

HKİ'nin sağlık üzerindeki etkilerini daha derinlemesine ele almış ve hava kalitesinin insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerini detaylandırmıştır. HKİ, altı farklı renk kullanarak hava kalitesini belirler. Bu renkler arasında yeşil, havanın iyi kalitede olduğunu, kahverengi ise tehlikeli bir hava kalitesine işaret etmektedir. Çizelge 2.5 incelendiğinde, HKİ değerinin artmasıyla sağlık risklerinin de arttığı gözlemlenmektedir. Özellikle, HKİ değeri 100'ün üzerine çıktığında, bu durum insan sağlığına zarar verebilecek kalitesiz bir ortamın varlığını gösterir (Seinfeld ve Pandis, 2016).

Çizelge 2.5. Hava kalitesi indeksi (UHK, 2023).

HKİ Aralığı	Hava Kalitesi Durumu	Renk Kodu	Açıklama
0-50	İyi	Yeşil	Hava kalitesi iyi seviyededir.
51-100	Orta	Sarı	Hava kalitesi kabul edilebilir; hassas gruplar orta düzeyde etkilenebilir.
101-150	Hassas	Turuncu	Hassas gruplar için sağlık etkileri meydana gelebilir; genel halkın etkilenmesi beklenmemektedir..
151-200	Sağlıksız	Kırmızı	Hassas gruplar ciddi sağlık sorunları yaşayabilir; genel halkta bazı sağlık etkileri görülebilir.
201-300	Kötü	Mor	Nüfusun tamamının hava kirliliğinden etkilenme olasılığı yüksektir; hassas grupların açık hava etkinliklerini kısıtlaması önerilir.
301-500	Tehlikeli	Kahverengi	Herkes ciddi sağlık etkileri yaşayabilir; açık hava etkinliklerinden kaçınılmalıdır.

Bu tablo, hava kalitesinin değerlendirilmesinde önemli bir referans sunarak, vatandaşları hava kirliliğinin olası etkileri hakkında bilgilendirmektedir. Hava kalitesinin iyileştirilmesi için önlemler alınması ve kirlilik seviyelerinin kontrol edilmesi gereklidir (WHO, 2021; Seinfeld ve Pandis, 2016).



Şekil 2.5. Çevre, şehircilik ve iklim değişikliği bakanlığı, ulusal hava kalite izleme ağı haritası.

Şekil 2.5’de verilen harita, Türkiye genelinde çeşitli hava kalitesi izleme istasyonlarından elde edilen verilerle oluşturulmuştur. Bu istasyonlar, havadaki kirlilik düzeylerini ölçerek, kamuoyuna hava kalitesi hakkında güncel bilgi sağlar.

Bu harita, Türkiye'nin farklı bölgelerinde hava kalitesinin izlenmesine yönelik önemli bir araçtır ve halk sağlığına yönelik alınacak önlemler açısından da büyük önem taşımaktadır.

Bu kaynak, Türkiye genelinde hava kalitesini izlemek amacıyla oluşturulan bir ağıdır ve hava kalitesi ile ilgili verileri toplamak, analiz etmek ve kamuoyuna sunmak için çalışmaktadır. UHK, hava kirliliği düzeyleri hakkında güncel bilgiler sağlayarak, halk sağlığını korumaya yönelik önlemler alınmasına yardımcı olur.

Karbonmonoksit (CO), renksiz, kokusuz, tatsız ve kimyasal olarak inert bir gazdır. Atmosferde ortalama 2,5 ay kalabilmekte ve insan sağlığı üzerinde ciddi sorunlara yol açabilmektedir (WHO, 2021).

Hidrokarbonlar, 25 ppm'e kadar herhangi bir etkide bulunmazken, benzen bileşikleri çalışma ortamlarında 500 ppm ve açık alanda 7500 ppm seviyelerine ulaştığında, bir saat içerisinde insanlarda olumsuz etkiler yaratmaktadır. Bu konsantrasyon 20,000 ppm'e ulaştığında ise 10-15 dakika içinde öldürücü etkiler gösterebilmektedir (EPA, 2022).

Kükürt dioksit (SO₂), renksiz ve yanıcı olmayan bir gazdır; metalik yüzeylerde korozyon özellik göstermekte ve yapıların dış cephe malzemelerini tahrip etmektedir. Ayrıca, solunum yolu rahatsızlıkları ve akciğer yetmezliğine neden olabilmektedir (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2022).

Normal şartlarda sağlığa zararlı olmayan azotmonoksit (NO), oksitlenme sonucunda akciğerlerde bulunan alveolleri tahriş eden nitrojen dioksit (NO₂) gazına dönüşmektedir. NO₂, 150 ppm değerine ulaştığında insanlar için öldürücü bir etkiye sahip olabilmektedir (WHO, 2021).

Partikül maddeler, güneş ışınlarının enerji taşıdığı dalga boylarında etkili olarak enerji akışını değiştirebilir, görüş mesafesini kısaltabilir ve insan, hayvan ve bitki sağlığı üzerinde olumsuz etkiler yaratabilir (Küresel Çevre İzleme Ağı, 2021).

Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) tarafından belirlenen hava kirliliği limitleri şunlardır: PM_{2.5}: 5 µg/yıl.m³, PM₁₀: 20 µg/yıl.m³, NO₂: 10 µg/yıl.m³, SO₂: 40 µg/gün.m³, O₃ için yoğun dönemde 60 µg/yıl.m³ ve CO: 4 µg/gün.m³ limit değerleridir (URL-9). 2019

yılında, hava kirliliği nedeniyle Türkiye'de otuz binin üzerinde ölüm gerçekleşmiş ve kirlilik seviyelerinin DSÖ'nün belirlediği limitler dâhilinde tutulmasıyla bu ölümlerin önlenebileceği ifade edilmiştir (ÇİSİP, 2022). Bu veriler, hava kirliliğinin insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerini daha da belirgin hale getirmektedir.

2.7 Hava Kalitesi Yönetimi ve Ülkemizdeki Durum

Hava kalitesi kontrolü, üç farklı düzeyde ele alınabilmektedir: global, bölgesel ve mahalli. Bu düzeyler arasında en önemli olanı, mahalli (yerel) hava kalitesinin kontrolü ve bunun için uygulanan hava kalitesi yönetimidir (Alp ve Tünay, 1996).

Hava kalitesi insan ve çevre sağlığına etki eden hava kirliliğinin bir göstergesidir. Bununla birlikte alıcı tarafından algılanan dış ortam havasının kompozisyonu olarak ifade edilir.

Hava kalitesi yönetimi, atmosfere salınan emisyonların insan ve çevre sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerini önlemek ya da en aza indirmek amacıyla uygulanan değerlendirme ve iyileştirme çalışmalarını içermektedir. Bu çalışmalar, emisyon seviyelerinin kontrol altına alınmasını ve kabul edilebilir sınırların altına çekilmesini hedefler. Başarılı bir hava kalitesi yönetimi, etkili planlama, sürekli izleme ve iyileştirme süreçlerini gerektirir. Ayrıca, bu süreçte bilimsel verilerden faydalanılarak çevresel ve toplumsal sürdürülebilirliğin sağlanması amaçlanır (Vallero, 2014).

Atmosferde bulunan hava kirlleticilerinin olumsuz etkilerinin ortaya çıkmaması için belirlenen konsantrasyon değerlerinin aşılmaması gerekmektedir. Bu doğrultuda, hava kalitesi sınır değerleri tanımlanmıştır. Bu konsantrasyon seviyeleri, insan sağlığını koruma amacıyla çevredeki kısa ve uzun vadeli olumsuz etkilerin önlenmesi için atmosferdeki hava kirleticilerin bir arada bulunduğu durumlarda ortaya çıkan değişen zararlı etkilerin dikkate alınarak tespit edilen derişimleri ifade etmektedir (URL-9).

Türkiye'de, çarpık ve kötü kentleşme ile hızlı sanayileşmenin etkisi, özellikle büyükşehirlerde çevre kirliliğini önemli bir sorun haline getirmiştir. Hava kirliliği, çağımızın en ciddi çevresel problemlerinden biri olarak çevre ve insan sağlığını tehdit eden bir durum oluşturmuştur. Bu bağlamda, hava kalitesi çalışmalarının, hava kirliliği açısından hassas bölgeler başta olmak üzere ülkenin tüm bölgelerinde etkin bir şekilde yürütülmesi gerekliliği ortaya çıkmıştır (T.C. Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği

Bakanlığı, 2021).

Hava kalite sınır değerleri, Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği'nde (HKDYY) belirlenmiştir. Bu yönetmelikte, kirleticilerin düşük miktarlarının uzun süre solunmasıyla ortaya çıkan kronik etkiler için uzun vadeli sınır değerler (UVS), kısa sürede hava kirleticilerin yüksek konsantrasyonlarının solunmasıyla ortaya çıkan kısa süreli akut etkiler için ise kısa vadeli sınır değerler (KVS) tanımlanmaktadır (URL-10).

Hava kirliliği, önlenemediği takdirde canlı yaşamı ve ekolojik denge için ciddi tehditler oluşturmakta olup, fosil yakıtların yaygın kullanımı, madencilik faaliyetleri, endüstriyel üretim ve plansız kentleşme gibi çeşitli etkenlerle havanın doğal bileşiminin bozulmasına yol açmaktadır (Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği, 2018). Dünya genelinde yaşayan insanların %92'sini etkileyen hava kirliliği, solunum sistemi hastalıkları, kalp rahatsızlıkları, kanser ve erken ölümlerle ilişkilendirilmekte ve bu nedenle acilen çözülmesi gereken bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır (Türk Tabipleri Birliği, 2022).

Ülkemizde hava kalitesi yönetimi çerçevesinde, 13 farklı kirletici maddeye (SO₂, PM₁₀, NO_x vb.) ilişkin limit değerler Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği ile belirlenmiştir. Bu yönetmelik, hava kalitesinin izlenmesi ve kirleticilerin kontrol altına alınması amacıyla gerekli standartları ve ölçütleri ortaya koymaktadır (T.C. Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2020).

2.8 Hava Kalitesi Dağılım Modelleri ve Model Seçimi

Modelleme, bir olayı ve bu olaya etki eden faktörleri matematiksel ifadeler ve sayısal verilerle tanımlama yöntemidir. Bu yöntem, karmaşık sistemlerin davranışlarını anlamak, tahmin etmek ve analiz etmek için kullanılır. Modelleme, fiziksel, kimyasal, biyolojik ve çevresel süreçlerin simülasyonunda yaygın olarak uygulanmaktadır (Chapra ve Canale, 2015).

Atmosferik koşulları simüle etmek için kullanılan küçük ölçekli rüzgâr tünelleri ve yağmur simülatörleri gibi fiziksel modellemeler, hava kirliliğine neden olan parametrelerin dağılımlarını belirlemek amacıyla, istatistiksel verilere dayalı matematiksel modellemelerle birlikte kullanılmaktadır (Demirarslan vd., 2008).

Hava kalitesinin tespitinde doğrudan ölçüm yöntemleri, genellikle yüksek maliyetli ve zaman alıcı süreçler olarak değerlendirilmektedir. Bu nedenle, hava kirliliği yönetimi ve modelleme çalışmaları kapsamında hesaplama tekniklerinin tercih edilmesi, işlemlerin daha hızlı ve ekonomik bir şekilde gerçekleştirilmesine olanak tanımaktadır. Özellikle bilgisayar destekli modelleme teknikleri, hava kalitesinin belirlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Bu yöntemler, atmosferdeki kirleticilerin taşınımı, yayılımı ve kimyasal dönüşümleri gibi süreçleri detaylı bir şekilde analiz etmeyi mümkün kılar (Zannetti, 1990; Seinfeld ve Pandis, 2016).

2.8.1 Hava kalitesi dağılım model uygulamalarının gelişimi ve önemi

Hava kalitesi dağılım modellemeleri, çevresel etki değerlendirme (ÇED) süreçlerinde kritik bir öneme sahiptir. Bir bölgedeki mevcut tesislerin veya yeni kurulacak işletmelerin atmosfere saldıgı emisyonların çevreye olan etkilerinin belirlenmesi, bu etkilerin değerlendirilmesi ve en aza indirilecek stratejilerin geliştirilmesi, matematiksel modellemeler yardımıyla gerçekleştirilmektedir. Bu modeller, emisyon kaynaklarının çevresel etkilerini tahmin etmek ve sürdürülebilir çevre politikalarının oluşturulmasına bilimsel bir temel sağlamak için kullanılmaktadır (Holmes ve Morawska, 2006).

Bu modellemeler sayesinde meteorolojik olayların dinamikleri anlaşılır, hava kirliliğine sebep olan unsurların etkileri analiz edilir ve hava kirliliğini azaltmaya yönelik tedbirler geliştirilebilir (Demirarslan vd., 2008).

Hava kalitesinin tespiti, çevre mühendisliği ve hava kirliliği yönetimi alanlarında kritik bir rol oynamaktadır. Hava kalitesinin tespitinde, doğrudan ölçüm yöntemleri kadar, matematiksel hesaplama teknikleri de yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu yöntemler, ölçümlerin maliyetli ve zaman alıcı yapısına kıyasla daha hızlı ve maliyet etkin çözümler sunmaktadır. Özellikle hava kirliliği modelleme çalışmaları, atmosferdeki kirleticilerin taşınımını, yayılımını ve kimyasal dönüşümlerini tahmin ederek karar alma süreçlerini desteklemektedir. Matematiksel modeller, çeşitli senaryoları simüle etme yetenekleriyle hava kalitesinin yönetimi açısından önemli bir araç olarak değerlendirilmektedir (Zannetti, 1990; Jacobson, 2005).

2.8.2 Modellerin kullanım alanları

Hava kalitesi modelleri, atmosferdeki fiziksel ve kimyasal süreçlerin simülasyonunu yapmak için matematiksel ve sayısal tekniklerden yararlanmaktadır. Bu modellerin temel amacı, atmosferde bulunan hava kirleticilerinin taşınım, yayılım ve tepkime mekanizmalarını incelemektir. Özellikle karbondioksit (CO), sülfür dioksit (SO₂), azot oksitler (NO_x) ve uçucu organik bileşenler (VOC) gibi birincil kirleticilerin modellenmesi, hava kirliliği yönetimi açısından kritik bir öneme sahiptir. Hava kalitesi modellerinden elde edilen sonuçlar, aşağıdaki alanlarda değerlendirilmektedir (Seinfeld ve Pandis, 2016).

- Emisyon izinlerinin düzenlenmesi ve yeni sanayi tesisleri, maden işletmeleri gibi kirletici kaynakların ÇED raporlarının hazırlanmasında,
- Endüstriyel tesislerin yer seçiminde ve planlama süreçlerinde gerekli kriterlerin oluşturulmasında,
- Endüstriyel tesisler için minimum baca yüksekliğinin belirlenmesinde,
- Hava kalitesi kontrol stratejilerinin geliştirilmesi ve bu stratejilerin uygulanmasında,
- Hava kalitesinin korunmasına yönelik iyileştirme önlemlerinin belirlenmesinde,
- Hava kalitesi verilerinin envanter oluşturulmak suretiyle ilgili kamu kurumlarına iletilmesinde.

Çeşitli araştırma grupları tarafından geliştirilmiş olan hava kalitesi modelleri, mekânsal ve zamansal boyutlar açısından farklı uygulama alanlarına sahiptir. Bu modeller, belirli bir bölgedeki hava kirliliğinin yayılımını ve etkilerini tahmin etmek amacıyla kullanılırken, model seçimi yapılırken mekânsal ölçek ve zaman boyutunun dikkate alınması büyük önem taşımaktadır. Her model her boyutta etkili bir şekilde kullanılamaz. Bu nedenle, belirli bir alan ve zaman dilimine uygun modelin seçilmesi, modelleme sonuçlarının doğruluğu ve güvenilirliği açısından kritik öneme sahiptir. Örneğin, bölgesel ölçekli modeller geniş alanlarda uzun vadeli tahminler için kullanılırken, yerel ölçekli modeller daha küçük alanlarda kısa vadeli analizler için uygundur (Zannetti, 1990). Hava kalitesi modelleme yöntemlerinin mekân ve zaman boyutuna göre hangi alanlarda kullanıldığını detaylı bir şekilde göstermektedir.

Çizelge 2.6. Hava kalitesi dağılım modellerinin uygulanması.

Uygulama Alanı	Mekân Ölçeği	Zaman Ölçeği
Büyük alanlar (bölgesel)	50-2000 km	12 saat - 1 hafta
Kentsel ve bölgesel alanlar	1-100 km	1 saat-1 gün
Nokta kaynaklar	0.5 – birkaç km	30 dakika - birkaç saat
Çizgisel kaynaklar	100m-km'ler	30 dakika - birkaç saat
Kanyon tipi cadde	1m – 100m	Dakikalar-1 saat

Kaynakların doğru bir şekilde değerlendirilmesi, hava kirliliği ile mücadelede etkili stratejilerin geliştirilmesine olanak tanır. Özellikle, farklı mekân ve zaman boyutları dikkate alınarak yapılan modellemeler, hava kalitesi izleme ve kontrol süreçlerini iyileştirmekte, bu sayede insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkiler azaltılmaktadır. Bu tür modelleme çalışmaları, kirlетici kaynakların belirlenmesi ve emisyon azaltım stratejilerinin uygulanmasında kritik bir rol oynamaktadır (Seinfeld ve Pandis, 2016).

2.8.3 Çeşitli hava kalitesi dağılım modelleri

Hava kirlenmesi üzerine yapılan çalışmalarda kullanılan en yaygın modelleme yöntemleri dört ana kategoriye ayrılmaktadır: meteorolojik modeller, matematiksel modeller, dispersiyon modelleri ve istatistiksel modeller.

Meteorolojik Modeller: Bu modeller, yerel, bölgesel ve küresel meteorolojik olayları analiz ederek hava kirliliği difüzyon modelleri için gerekli verileri sağlamaktadır. Meteorolojik faktörlerin incelenmesi, hava akışlarının ve sıcaklık değişimlerinin kirlilik üzerindeki etkilerini anlamak açısından önemlidir (URL-11).

Matematiksel Modeller: Fiziksel ve kimyasal varsayımlara dayanan hava kalitesi modelleri, analitik ve sayısal denklemler aracılığıyla atmosferik mekanizmaların matematiksel tanımını yapar. Bu modeller, emisyonların yaratabileceği etkilerin belirlenmesi ve değerlendirilmesi için geliştirilmiştir. Matematiksel modelleme, hava kalitesi yönetimi ve stratejilerin geliştirilmesi açısından kritik bir araçtır. Bu yöntem, kirlетici kaynakların etkilerini tahmin etmek ve çevresel politikaların oluşturulmasında bilimsel bir temel sağlamak için kullanılmaktadır (Jacobson, 2005).

Dispersiyon modelleri: Hava kalitesi modellemeleri içerisinde daha karmaşık bir yapı sergileyen ve detaylı analiz imkânı sunan yaklaşımlar arasında yer almaktadır. Bu modeller, atmosferdeki hava kirlетicilerinin uzaysal ve zamansal değişkenliklerini

etkili bir şekilde simüle ederek, yayılım süreçlerini tanımlamada avantaj sağlamaktadır. Teorik temellere dayanan bu modeller, hava kalitesini tahmin etmede ve kirliliğin kontrolüne yönelik stratejiler geliştirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Dispersiyon modelleri, meteorolojik ve topografik parametreleri de dikkate alarak, kirlilik seviyelerinin farklı coğrafi alanlarda nasıl değiştiğine dair ayrıntılı bilgi sunmaktadır (Zannetti, 1990; Holzworth, 1987).

Günümüzde, dispersiyon modellerinin kullanımı yaygındır ve özellikle çevresel koruma ajansları tarafından kabul edilen modeller tercih edilmektedir. Amerikan Çevre Koruma Ajansı (EPA), yarıçapı 50 km'den az olan bölgeler için kararlı hal (steady-state) Gauss dispersiyon modellerinin kullanılmasını önermektedir. Bu bağlamda SCREEN3, ISCT3, ISC-PRIME ve AERMOD gibi modeller öne çıkmaktadır (US-EPA, 1995).

Hava kirliliği modellemelerinde yaygın olarak kullanılan istatistiksel modeller, hava kirleticileri ile meteorolojik veriler arasındaki ilişkileri ampirik formüller yardımıyla işlemektedir. Bu modeller, belirli bir bölgedeki hava kalitesini etkileyen faktörleri anlamak ve tahmin etmek için kullanılır. İstatistiksel yöntemler, veri analizi ile kirleticilerin dağılımını ve yoğunluğunu belirlemeye yardımcı olarak, çeşitli sonuçlar ve öneriler sunar (Şahin ve Aydın, 2019).

Bu modellerin avantajı, geçmiş veriler üzerinden kalibrasyon yaparak gelecekteki hava kalitesi durumunu öngörebilmesidir. Bu bağlamda, istatistiksel analizler, hava kalitesinin iyileştirilmesi için gerekli stratejilerin geliştirilmesine katkı sağlar (Türk Tabipleri Birliği, 2022).

AERMOD modeli: AERMOD modeli, 1991 yılında AMS ve EPA bilim insanları tarafından geliştirilen ve 2005 yılında EPA tarafından resmi olarak kabul edilen bir atmosferik dağılım modelidir. Bu model, sabit endüstriyel kaynaklardan yayılan hava kirleticisi emisyonlarının kısa menzilli (maksimum 50 km) dağılımını değerlendirmek için tasarlanmıştır.

AERMOD modelinin çalışabilmesi için gerekli olan veriler, emisyon miktarları ve meteorolojik verilerdir. AERMOD sisteminin üç ana bileşeni bulunmaktadır:

- AERMOD
- AERMET
- AERMAP sistemleridir.

AERMAP, alan ön işlemcisi olarak hava kirliliği davranışları ile alan özellikleri arasında fiziksel bir bağlantı sağlamak için tasarlanmıştır. Bu işlemci, her bir alıcı noktasına yönelik konum ve yükseklik verilerini oluşturma yeteneğine sahiptir. Meteorolojik veri ön işlemcisi olan AERMET ise, yüzey meteorolojik verileri, üst atmosfer katmanı çevresinin verilerini ve isteğe bağlı tesis içi araç kulelerinin verilerini kabul ederek atmosferik türbülans karakteristikleri, sürtünme hızı ve yükseklikler gibi dağılım modeli için gerekli atmosferik parametreleri hesaplar. Bu süreçte emisyon kaynaklarına ilişkin özellikleri içeren model girdi dosyası da oluşturur (Brode, 2006).

Ayrıca, AERMOD modeli, rüzgâr yönü, rüzgâr hızı ve yüzey pürüzlülük uzunluğu gibi parametrelere yüksek hassasiyet göstermektedir.

AERMOD'un bazı özellikleri şunlardır:

- Karmaşık yapıya sahip endüstriyel kaynaklar (tek veya çoklu noktasal kaynaklar, alansal, çizgisel ve hacimsel kaynaklar) için kullanılabilir.
- Kirletici kaynaklardan 50 km çapındaki alanlarda emisyonların dağılımını inceleme kapasitesine sahiptir.
- Gaz ve partikül birikimini, hem sabit hem de değişken emisyonlarla birlikte, ıslak ve kuru çökme konsantrasyonlarını değerlendirebilir.
- Kırsal ve kentsel yerleşim alanlarında, farklı topoğrafik özelliklere göre konsantrasyon tahminleri yapma yeteneğine sahiptir.

ISC3 dağılım modeli: Gauss dispersiyon modeli olan ISC3, noktasal, çizgisel ve alansal kirletici kaynaklardan yayılan kirleticilerin atmosferdeki dağılımını değerlendiren bir model türüdür. Kimyasal reaksiyonlar yalnızca basit bir şekilde ele alındığından, model reaktif olmayan kirleticiler üzerinde uygulanır. ISC3, yer seviyesindeki kirletici konsantrasyonlarını hesaplayarak atmosferdeki yaş ve kuru

Çökelme süreçlerini açıklayan matematiksel veriler sunar. Ayrıca, atmosferik koşulları tanımlamak için gerçek zamanlı meteorolojik verilere dayanır (EPA, 1995).

ISC3 modeli, kaynaktan yayılan emisyonların 50 kilometreye kadar atmosferde taşınmasını modelleyebilmektedir. Model, kısa vadeli ve uzun vadeli kirletici dağılımlarına yönelik olarak iki ayrı sürüm sunmakta olup, kullanım amacı doğrultusunda bu seçenekler tercih edilmektedir. Endüstriyel kaynaklar için oldukça esnek bir yapıya sahip olan ISC3, tek veya çoklu noktasal kaynaklar, alansal, çizgisel ve hacimsel kaynaklar gibi birçok karmaşık yapı için kullanılabilir. Ayrıca, kırsal ve kentsel yerleşim alanlarında topoğrafyaya bağlı olarak kirletici konsantrasyonlarının tahmin edilmesine olanak tanımaktadır. Model, 1 saatten 1 yıla kadar değişen ortalama zaman periyotları aralığında uygulanabilir (U.S. EPA, 1995).

2.8.4 ISC3 ve AERMOD modellerinin genel özellikleri ve karşılaştırılması

ISC3 ve AERMOD modelleri, hava kalitesi modellemelerinde kullanılan iki önemli araçtır ve bu modellerin çalıştırılmasında dikkate alınacak parametreler ve içeriği çeşitli bölümlerden oluşur. Her iki modelin çalıştırılması sırasında aşağıdaki ana bölümler önem taşır:

Kontrol Bölümü: Modelin çalıştırılması, modelleme senaryosunun tasarlanması ve tüm kontrol süreçlerinin yapıldığı bölümdür.

Kaynak Bölümü: Kaynaktan çıkan emisyonların tanımlandığı bölümdür. Bu bölümde emisyonların kaynak tipi, sayısı, kirletici tipi ve kaynağın fiziksel özellikleri modele işlenir.

Meteoroloji Bölümü: Atmosferik koşulların gözlemlendiği ve bu verilerin aktarıldığı bölümdür. Her iki modelde de meteorolojik verilerin kullanılacağı istasyon belirlenir. ISC modeli sadece yüzey meteorolojik verileri (ASCII formatında) ile çalışırken, AERMOD modeli hem yüzey hem de yüzey üstü meteorolojik verileri ile çalışır (EPA, 1999).

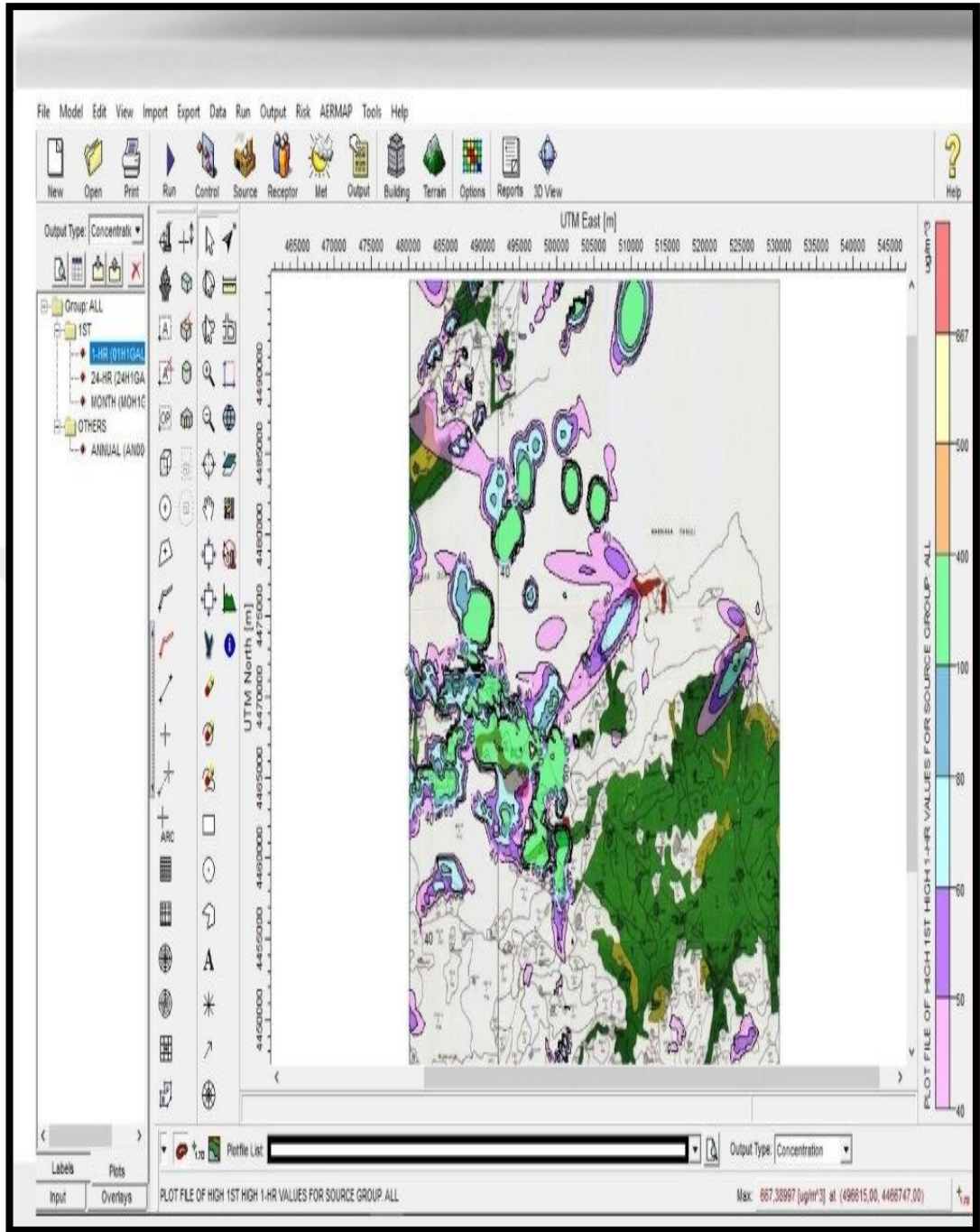
Reseptör Bölümü: Hava kalitesi etkilerinin görüleceği özel noktaların tanımlandığı bölümdür. Reseptörler kartezyen grid biçiminde veya birbirinden bağımsız noktalar

olarak seçilebilir. Kirletici kaynağının merkezinden belirli mesafelerde gridleme yapılabilir. Örneğin, merkezden 4 km uzaklıktaki alan için 100 metrelik, 10 km uzaklıktaki alan için 250 metrelik ve 16 km uzaklıktaki alan için 500 metrelik gridlemeler kullanılabilir (Hill vd., 2009).

Topografik Bölüm: Hava kirleticilerin yayılacağı arazi özelliklerinin belirlendiği bölümdür. AERMOD modeli için arazi özellikleri, programda yer alan AERMAP modülü ile topoğrafik verilerin eklenmesiyle işlenir.

Çıktı Bölümü: Model çalıştırıldıktan sonra analiz için kullanılacak çıktı parametrelerinin belirlendiği ve model sonuçlarının değerlendirilmesine olanak tanıyan önemli bir bileşendir. Bu bölümde, kullanıcı modelleme amacına ve çalışma kapsamına bağlı olarak çeşitli çıktı seçeneklerini belirleyebilir.

Modelleme sürecinde, kullanıcının tercihinine bağlı olarak belirlenebilen çeşitli seçenekler bulunmaktadır. Bu seçenekler, modelin esnekliğini artırarak farklı senaryolar ve çevresel koşullara uyarlanmasını mümkün kılar. AERMOD modelinde, modelleme girdileri belirli bileşenlere ayrılmış olup, her bileşen kullanıcının ihtiyaçlarına göre özelleştirilebilir. Özellikle kaynak tanımlama aşamasında, hava kirletici emisyonlarının türü, miktarı, kaynağın fiziksel özellikleri (yükseklik, çap, sıcaklık, debi vb.) ve emisyonun zamansal değişimleri gibi parametreler belirlenerek modele dâhil edilir. Bu sayede, farklı emisyon senaryoları oluşturularak kirletici yayılımının değişen koşullar altındaki davranışı incelenebilir. Farklı reseptör noktalarının tanımlandığı reseptör bölümü, modelin çıktılarının hangi noktalar için hesaplanacağını belirler. Modelleme esnasında meteorolojik veriler de modele işlenir ve verilerin temin edildiği meteoroloji istasyonu her iki modelde de sabittir. ISC3 ve AERMOD modelleri arasındaki en temel fark, meteorolojik verilerin işlenmesi ve arazi özelliklerinin modele eklenmesidir. ISC modeli yalnızca yüzey meteorolojik verileri ile çalışırken, AERMOD modeli yüzey ve yüzey üstü verilerle daha kapsamlı bir analiz sunar. Ayrıca, AERMOD modelinde topoğrafik özellikler AERMAP modülü aracılığıyla işlenir, bu da araziye dayalı daha doğru tahminler yapılmasına olanak tanır (Hill vd., 2009). Şekil 2.6' da yer alan görselde, modelin temel bileşenleri, kullanıcı arayüzü ve giriş-çıkış verilerinin yönetimi ile AERMOD modelleme yazılımının genel arayüzü ve yapısına ilişkin bir görsel sunulmuştur.



Şekil 2.6. AERMOD model programının genel görünüşü.

Çizelge 2.7, ISC3 ve AERMOD modellerinin bazı temel özellikler açısından karşılaştırılmasını sunmaktadır. Bu iki model, hava kirletici dispersiyonunu tahmin etmek amacıyla kullanılan yaygın dağılım modelleridir; ancak, özellikle meteorolojik verilerin işlenmesi, emisyon dağılımı ve modelleme seçenekleri açısından önemli farklılıklar göstermektedir.

Çizelge 2.7. ISC3 ve AERMOD modellerinin karşılaştırılması.

Özellik	AERMOD	ISC3
Meteorolojik veri seti	Yer seviyesi ve atmosferin üst katmanlarındaki (sondaj) verileri kullanılır	Sadece yer seviyesi verileri ve karışım yüksekliği kullanılır
Meteorolojik veri profili	Rüzgâr hızı, sıcaklık ve türbülans için tam dikey profil oluşturur	Sadece rüzgâr hızı için dikey profil oluşturur
Emisyon dağılımı	Kararlı atmosferde Gaussian, kararsız atmosferde non-Gaussian dağılım kullanır	Gaussian dağılımı; sadece x ve y eksenı boyunca
Kırsal/Kentsel seçimi	Nüfus bilgisine göre daha ayrıntılı kentsel modelleme yapılabilir	Basit kırsal ve kentsel alan seçimi mevcuttur
İnceleme alanının yüzey özellikleri	Roughness length, albedo ve Bowen oranı gibi yüzey özellikleri dikkate alınır	Kırsal ve kentsel alanlar için genel seçim yapılır

Bu karşılaştırma sonucunda AERMOD modelinin, meteorolojik veri işleme ve arazi özelliklerinin detaylı modellemesinde ISCST3 modeline göre daha gelişmiş olduğu görülmektedir. AERMOD, atmosferin hem kararlı hem de kararsız durumlarını daha kapsamlı şekilde ele alarak, özellikle kararsız koşullarda non-Gaussian dağılım kullanabilmektedir. Ayrıca, yüzey özelliklerinin daha ayrıntılı işlenmesi, AERMOD'un çevresel etkileri daha doğru tahmin etmesine olanak tanır (Bajoghli, 2019).

DMİ'den temin edilen meteorolojik verilerin, model kullanımına uygun olarak düzenlenmesi gerekmektedir. ISC ve AERMOD modellerinin çalıştırılmasında farklı özelliklere sahip meteorolojik veriler kullanılmaktadır. ISC modeli için yer seviyesi verileri yeterli olurken, AERMOD modeli hem yer seviyesi hem de atmosferin üst katmanlarına ait verileri gerektirir. Bu nedenle, her iki model için de meteorolojik veri dosyalarının hazırlanması, uygun ön işlemciler kullanılarak gerçekleştirilir. ISC modelinde meteorolojik veriler genellikle tek bir dosyada düzenlenirken, AERMOD modeli yüzey ve üst seviye verilerini ayrı dosyalarda işler ve bu veriler modelleme sürecine uygun formatlarda düzenlenmelidir (EPA, 1995).

Çizelge 2.8 ve 2.9' da ISC3 ve AERMOD modellerinin uygulanabilmesi için gerekli meteorolojik veriler sırasıyla verilmiştir.

Çizelge 2.8. AERMOD için gerekli yer seviyesi verileri ve yüksek atmosfer verileri.

Yer Seviyesi Verileri (Saatlik)	Yüksek Atmosfer Verileri (GMT 00 ve 12)
1.Rüzgâr hızı	1.Basınç
2.Rüzgâr yönü	2.Yükseklik
3.Sıcaklık	3.Sıcaklık
4.Bulut kapallılığı	4.Nispi nem
5.Bulut taban yüksekliği	5.Rüzgâr hızı ve yönü

Çizelge 2.9. ISC3 için gerekli yer seviyesi verileri ve yüksek atmosfer verileri.

Yer Seviyesi Verileri (Saatlik)	Yüksek Atmosfer Verileri (GMT 00 ve 12)
1.Rüzgâr hızı	Karışım yüksekliği
2.Rüzgâr yönü	
3.Sıcaklık	
4.Bulut kapallılığı	
5.Bulut taban yüksekliği	

Bu tablolar, AERMOD ve ISC3 modellerinin meteorolojik veri ihtiyaçlarını net bir şekilde özetlemektedir. AERMOD, yer seviyesinde daha kapsamlı verilere ihtiyaç duyarken, ISC3 modeli daha sınırlı bir veri seti kullanmaktadır (EPA, 1995; Hill vd., 2009).

ISC modeli, uygulama aşamasında DMİ'den temin edilen yer seviyesi ve yüksek atmosfer verilerini işler. Bu veriler, belirli düzenlemeler yapılarak sırasıyla surface.txt ve mixing.txt formatlarına dönüştürülür. Dönüştürülen veriler, PCRAMMET ön işlemcisiinden geçirilerek ASCII formatında bir meteorolojik veri dosyası oluşturulur ve modelleme çalışmalarında kullanılır.

AERMOD modeli ise yer seviyesi verilerini CD144 formatında, yüksek atmosfer verilerini ise TD6201 formatında düzenlemektedir. Her iki dosya, AERMET ön işlemcisiinden geçirilerek modelde kullanılmak üzere SFC ve PFL dosyalarına dönüştürülür.

Dispersiyon hesaplamaları açısından AERMOD, ISC3 modelinden farklı bir yaklaşım benimsemektedir. ISC modeli, Pasquill Gifford Turner (PGT) atmosferik kararlılık sınıflarını kullanırken; AERMOD modeli, "yüzey sınır tabakası" prensibi doğrultusunda işlemlerini gerçekleştirmektedir. Bu bağlamda, atmosferik kararlılığı belirlemek için yüzey pürüzlülük uzunluğu ve Monin-Obukhov (L) uzunluğu dikkate alınır (USEPA, 2004).

Çizelge 2.10'da yüzey pürüzlülük uzunluğu, monin-obukhov uzunluğu ile kararlılık sınıflarının ilişkilendirilmesi yer almaktadır.

Çizelge 2.10. Yüzey pürüzlülük uzunluğu ve Pasquill-Gifford kararlılık sınıfları.

Roughness(m)	Monin-Obukhov Uzunluğu (~L) (m)	Pasquill-Gifford Kararlılık Sınıfı
0,1	-12.5	A
	-25	B
	-65	C
	--	D
	+65	E
	+30	F
0,5	-16	A
	-50	B
	-100	C
	---	D
	+100	E
	+50	F

AERMOD ve ISC3 modellerinin karşılaştırılması, AERMOD'un özellikle arazi yapısına daha iyi uyum sağladığını ve ISC3 modeline kıyasla genellikle daha düşük konsantrasyonlarda daha doğru tahminler sunduğunu ortaya koymaktadır. Bu durum, AERMOD'un, atmosferik sınır tabakasındaki fiziksel süreçleri daha detaylı modellemesi ve arazi etkilerini daha iyi dikkate alması ile ilişkilidir. Bununla birlikte, her iki modelde de kirletici kaynağının korunumu temel alınmakta olup, kirleticilerin birbirleriyle olan kimyasal etkileşimleri ve atmosferdeki davranışları dikkate alınmamaktadır. Bu sınırlama, özellikle karmaşık kimyasal süreçlerin rol oynadığı durumlarda, modellerin doğruluğunu etkileyebilmektedir (Kesarkar vd., 2013).

ISC (Industrial Source Complex) modeli, farklı atmosferik kararlılık sınıflarında Gauss dağılım denklemini temel yöntem olarak benimsemektedir. Buna karşılık, AERMOD modeli kararlı atmosfer koşullarında hem yatay hem de dikey dağılımlar için Gauss dağılım denklemini kullanmayı tercih etmektedir. Ancak, kararsız atmosferik durumlarda dikey dağılım hesaplamaları için "non-Gaussian probability density function" (Gauss olmayan olasılık yoğunluk fonksiyonu) kullanılmaktadır. Bu yaklaşım, özellikle kararsız atmosferik koşullarda kirleticilerin dikey dağılımının daha doğru bir şekilde temsil edilmesini sağlamaktadır (USEPA, 2004).

2.8.5 Modelleme çalışmalarında karşılaşılabilecek problemler

Hava kirliliğine neden olabilecek tesislerin kurulması öncesinde yapılan modelleme çalışmalarında çeşitli sorunlarla karşılaşılabılır. Bu sorunlar genellikle çözümü mümkün olan sorunlardır, ancak modelleme çalışmalarına başlamadan önce bu problemlere dikkat edilmesi gerekmektedir. Özellikle meteorolojik veri dosyasının hazırlanması, modelleme sürecinin kritik bir aşamasıdır ve bu süreçte sıklıkla zorluklar yaşanmaktadır. Türkiye'deki meteorolojik verilerin düzensizliği ve yetersizliği, bu dosyaların oluşturulmasını olumsuz etkileyen önemli bir faktördür. Çoğu emisyon modeli saatlik verilere dayanırken, meteoroloji gözlem istasyonlarında toplanan veriler (örneğin, yağış, rüzgâr hızı, rüzgâr yönü, bulut taban yüksekliği, nispi nem, karışım yüksekliği vb.) genellikle günlük olarak kaydedilmektedir. Bu verilerin saatlik değerlere dönüştürülmesi, modelleme için gerekli meteorolojik veri dosyasının hazırlanmasında zaman ve iş gücü kaybına neden olmakta, ayrıca hatalı veri tanımlamaları model sonuçlarını olumsuz etkileyebilmektedir (Seinfeld ve Pandis, 2016; Vallero, 2014).

Sayısal harita temininde karşılaşılan zorluklar, modelleme sürecinde çalışma alanının belirli parametrelerinin (gridleme boyutları, almaçların enlem, boylam ve yükselti değerleri) tanımlanmasında çeşitli sorunların ortaya çıkmasına neden olabilmektedir. Bu durumda, belirlenen değerlerin doğruluk oranı genellikle düşük olmakta ve zaman kaybı gibi problemler de yaşanmaktadır. Sayısal haritanın temin edilememesi durumunda, modelde düz arazi seçeneği kullanıldığında, yer seviyesindeki emisyonların bina ve benzeri yapılar tarafından nasıl etkilendiği model sonuçlarına doğru bir şekilde yansıtılamamaktadır (Demirarslan vd., 2008).

Hava kalitesi modellemesinde, kirletici kaynakların doğru bir şekilde tanımlanması ve karakterize edilmesi, modelin doğruluğu ve güvenilirliği açısından kritik öneme sahiptir. Modelleme sürecinde, kirlilik kayıtlarında mevcut olmayan veya kapasitesi belirsiz tesislerin etkisi göz önünde bulundurulmalıdır. Bu tür tesislerin etkilerinin ihmal edilmesi, modelin doğruluğunu azaltabilir ve hava kalitesi değerlendirmelerinin güvenilirliğini tehlikeye atabilir. Bu nedenle, tüm potansiyel kirletici kaynakların kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesi ve modelleme sürecine dâhil edilmesi gerekmektedir (T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2023).

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1 Çalışma Alanı Özellikleri

Karadeniz Bölgesinin Orta Karadeniz bölümünde yer alan Tokat ili, on iki ilçe merkezinden oluşmakta olup, 2024 yılı itibarıyla toplam nüfusu 600.860 kişidir. Zile ilçesi, 2023 yılı verilerine göre 53.315 kişilik bir nüfusa sahiptir. İlin nüfus dağılımına bakıldığında, özellikle kırsal bölgelerde nüfusun yaşlı olduğu ve genç nüfusun daha çok şehir merkezlerine veya il dışına göç ettiği görülmektedir. Bu durum, tarım ve sanayi gibi sektörlerde iş gücünü azaltmakta ve bölgenin sosyo-ekonomik yapısını etkilemektedir (Türkiye İstatistik Kurumu, 2024).

Çalışma alanı olarak seçilen Tokat bölgesi, sahip olduğu zengin doğal kaynaklar ve stratejik konumu nedeniyle madencilik faaliyetleri açısından önemli bir potansiyele sahiptir. Bölgenin topoğrafyası genellikle dağlık ve engebeli bir yapıya sahiptir. Bu durum maden işletmelerinin planlama, işletme ve lojistik süreçlerini doğrudan etkilemektedir. Ayrıca, madencilik faaliyetlerinin çevresel etkilerinin azaltılması ve sürdürülebilir bir madencilik yaklaşımının benimsenmesi için arazi yapısının detaylı analizi büyük önem taşımaktadır. Bu tür analizler, madencilik faaliyetlerinin çevresel etkilerini minimize etmek ve doğal kaynakların sürdürülebilir kullanımını sağlamak için kritik bir rol oynamaktadır (World Bank, 2019).

Bölge, alçıtaşı gibi endüstriyel hammaddelerin yanı sıra, farklı maden türlerinin çıkarılabileceği doğal kaynaklara sahiptir. Sürdürülebilir madencilik uygulamaları bağlamında çevre koruma ve atık yönetiminin önemi sıklıkla vurgulanmaktadır. Araştırmacılar, madencilik faaliyetlerinin ekosistem üzerindeki olumsuz etkilerini en aza indirmek için çevresel yönetim stratejilerinin geliştirilmesi gerektiğini belirtmektedir (Hilson ve Murck, 2000).

3.1.1 Tokat bölgesi ile ilgili genel bilgiler

Tokat ili Zile ilçesi Güblüce köyü sınırları içinde, IV. Grup Alçıtaşı işletme ruhsatına sahip bir alanda, bir maden firması tarafından "Alçıtaşı Ocağı ve Kırma-Eleme Tesisi" kurulması ve işletilmesi planlanmaktadır. Bu çalışmada, sahadaki emisyonların uluslararası düzeyde kabul gören AERMOD modeli kullanılarak dağılım analizinin yapılması amaçlanmıştır. İlk olarak, bölgenin coğrafi konumu, nüfus durumu,

mevsimsel ve iklim koşulları ile topografik yapısı hakkında genel bilgiler sunulacaktır. Projenin planlama aşamasında kullanılan AERMOD modeli sonuçları ile işletme aşamasında ölçülen emisyon değerleri karşılaştırılarak, teorik ve pratik verilerin değerlendirilmesi yoluyla sağlıklı sonuçlara ulaşılması hedeflenmektedir.

Bölgenin coğrafi özellikleri: Tokat ili, Karadeniz Bölgesi'nin Orta Karadeniz kısmında, 39° 52' ile 40° 55' kuzey enlemleri ve 35° 27' ile 37° 39' doğu boylamları arasında yer almaktadır. İl, kuzeyde Samsun, kuzeydoğuda Ordu, güney ve güneydoğuda Sivas, güneybatıda Yozgat, batıda ise Amasya ile komşudur. Tokat, 9.982 km² yüzölçümü ile Karadeniz Bölgesi'ndeki 18 il arasında büyüklük açısından dördüncü sırada yer almakta ve Türkiye topraklarının %1,3'ünü kaplamaktadır. İl merkezinin deniz seviyesinden yüksekliği 608 metre olarak ölçülmüştür (Türkiye İstatistik Kurumu, 2020).

3.2 PM₁₀ Ölçüm Yöntemi

PM₁₀ ölçümleri, gravimetrik ölçme yöntemi (TS EN 12341) ile çapları 10 mikrondan küçük parçacıkların filtre kâğıdı üzerinde tutulmasıyla yapılmaktadır. Bu ölçümler için hava vakum süresi ve hacminin ayarlanabildiği MCZ LVS 1 ölçüm cihazı kullanılmaktadır. Yöntemde ilk olarak kullanılacak olan filtre kâğıtları, 20°C (±1°C) sıcaklık ve %50 (±%5) bağıl nemde 48 saat boyunca şartlandırılarak tartılır. Elde edilen tartım sonuçları kaydedilerek örneklem noktasına kadar hava, nem ve kirleticilere maruz kalmaması amacıyla temiz petri kaplarına yerleştirilir. Uygun örneklem noktasına taşınan ölçüm cihazı, analiz edilecek havadan örnek alınmasını engelleyebilecek herhangi bir engel bulunmayan (engelden en az 30 cm uzaklıkta) düz bir alana yerleştirilerek ilgili prosedüre göre ölçüm ve örnekleme yapar. Örnekleme işlemi bittikten sonra filtre kâğıdı cımbız yardımıyla temiz olan bir petri kabına yerleştirilerek, tartılmak üzere laboratuvara gönderilir ve elde edilen tartım sonuçları kaydedilir (ISO 12341, 1995).

PM₁₀ konsantrasyonu (C), µg/m³ cinsinden denklem 3.1 ile hesaplanmaktadır.

$$C = \frac{1000 \times (M_2 - M_1)}{V} \quad (3.1)$$

M₂: Örnekleme sonrası filtre kâğıdının ağırlığı (mg),

M₁: Örnekleme öncesi filtre kâğıdının ağırlığı (mg),

V: Vakumlanan hava hacmi (m³) olup, denklem 3.2 ile hesaplanır.

$$V = \frac{60 \times Q_{act} \times t}{1000} \quad (3.2)$$

t: Örnekleme süresi (saat),

Q_{act}: Cihazın gerçek hava vakum debisi (m³/saat).

PM₁₀ ölçümlerinde kullanılan MCZ LVS 1 cihazının hava vakum debisi saatte 2,3 m³'tür.

3.3 Çöken Toz Ölçüm Yöntemi

Çöken toz ölçümleri, TS 2342 standardına göre, tesisin incelendiği alanda dört yönlü ortam havası örnekleme cihazı kullanılarak gravimetrik yöntemle yapılmaktadır. Bu örnekleme sistemi, bir taban plakası, tripod ve dört toz toplama kabından oluşur. Bu düzenek, çöken tozları dört ana yönden toplayarak belirli bir alandaki toz kaynaklarının tespitine olanak tanır (T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2020).

3.4 Modellemede Kullanılan Yöntem

Araştırmada kullanılan AERMOD modeli, maden işletmelerinden kaynaklanan toz ve PM₁₀ emisyonlarının çevresel etkilerini değerlendirmek için etkili bir yöntem olarak öne çıkmıştır. Çalışma alanında gerçekleştirilen madencilik faaliyetlerinden kaynaklanan toz emisyonlarının hava kalitesine etkilerini değerlendirmek amacıyla kullanılan AERMOD hava kalitesi dağılım modeli United States Environmental Protection Agency (USEPA) tarafından geliştirilmiş olup kirleticilerin çevresel etkilerini detaylı bir şekilde analiz etmek için tercih edilmektedir.

AERMOD model programı, toz emisyonlarının mevcut meteorolojik koşullar altında nasıl dağıldığını ve bu dağılımın, söz konusu kirleticilerin yer seviyesinde neden olabileceği olası çökme etkilerini analiz etmektedir. Bu model, emisyon kaynaklarının yayılımını inceleyerek, çevresel etki değerlendirmeleri için gerekli

verileri sağlar. Model, farklı meteorolojik parametrelerin etkisini göz önünde bulundurarak, hava kirliliği seviyelerini belirlemek amacıyla detaylı bir analiz sunmaktadır. AERMOD hava kalitesi yönetimi ve çevresel koruma konularında önemli bir araç olarak öne çıkmaktadır.

03.07.2009 tarihli ve 27277 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan SKHKK Yönetmeliği'nin Ek-2'sine göre, emisyon kaynaklarının yüzey dağılımı 0,04 km²'den büyükse, tesis etki alanı, kenar uzunluğu 2 km olan kare bir alan olarak tanımlanmıştır. Modelleme çalışmaları, bu yönetmelikte belirtilen etki alanını kapsayacak şekilde, 1 km yarıçapındaki alanı da içerecek biçimde gerçekleştirilmiştir

AERMOD, hava kalitesi modellemesi alanında önemli bir yere sahip olan, gelişmiş bir bilgisayar modeli olarak, gerçek zaman verilerini kullanarak saatlik, günlük ve yıllık yer seviyesi konsantrasyonlarını tahmin edebilen bir sistemdir. Bu model, izole bacalardan kaçak kirleticilere kadar çeşitli kaynakların (nokta, hacim, çizgi) yayılım modellerini hesaplayabilmektedir. AERMOD, hava kirliliği yayılımını etkileyen aerodinamik dalgalar, türbülans, yerçekimi çökmesi ve kuru çökme gibi olayları dikkate alarak daha doğru sonuçlar üretir (USEPA, 2004).

Modelin partikül maddeler için kuru çökme hesaplamaları, farklı çap grupları için değişik çökme hızları ve yerden yansıma katsayıları göz önünde bulundurularak yapılmaktadır. Bu sayede, modelin sağladığı verilerin güvenilirliği ve geçerliliği artmaktadır. AERMOD'un çalışabilmesi için gerekli olan topoğrafik veriler, bölgeye ait dijital topoğrafik harita yardımıyla hazırlanmakta ve bu haritalar sayısallaştırılarak AERMOD programına aktarılmaktadır. Dijital haritaların yüklenmesi, modelin engebeli arazi yapısını dikkate alarak doğru bir analiz yapmasına olanak sağlar (EPA, 2014). Model, atmosferde bulunan farklı çaplardaki parçacıkların karakterlerini doğru tanımlayabilmek amacıyla her bir parçacık sınıfı için çökme hızı ve yerden geri yansımayı bir katsayı kullanarak hesaplamalara dâhil etmektedir. AERMOD modeli, üç farklı türde veri kullanmaktadır:

- Alıcı Ortam Koordinatları: Alıcı ortam olarak tanımlanan ağ sistemindeki her bir elemanın koordinatları ve yüksekliği.

- Meteorolojik Veriler: Rüzgâr yönü, rüzgâr hızı, sıcaklık, nem, basınç, bulut taban yüksekliği ve bulut kapalılık oranını içeren saatlik meteorolojik veri seti ile karışma yüksekliğini içeren günlük meteorolojik veri seti.
- Kaynak Verileri: Kullanıcı tarafından tespit edilen bir başlangıç noktasına göre belirlenen kaynak koordinatları ve kaynak verileri.

Bu verilerin tümü, AERMOD'un doğru ve güvenilir tahminler yapabilmesi için kritik öneme sahiptir. Model, hava kalitesinin izlenmesi ve kirleticilerin yayılımının değerlendirilmesinde etkili bir araç olarak kullanılmaktadır.



4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1 Alçıtaşı Ocağı ve Kırma-Elemente Tesisi

Tokat ili Zile ilçesi Güblüce köyü sınırlarında, IV. Grup Alçıtaşı işletme ruhsatına sahip bir maden firması tarafından "Alçıtaşı Ocağı ve Kırma-Elemente Tesisi" kurulması planlanmaktadır. Çalışma alanı toplam alanı 16,25 hektardır.

Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED) süreci kapsamında, Güblüce Köyü'nde bulunan en yakın yerleşim biriminin tesis alanına uzaklığı kuş uçuşu ile yaklaşık 600 metre olarak belirlenmiştir. Ayrıca, bu faaliyet alanının Zile İlçesi'ne uzaklığı kuş uçuşu ile yaklaşık 25 kilometredir. Çalışma alanı, Zile İlçesi'nin güneybatısında yer almaktadır.

Planlanan Alçıtaşı Ocağı, açık işletme yöntemi ile faaliyet gösterecek ve delme-patlatma tekniği kullanılarak yıllık 100.048 ton alçıtaşı üretimi yapılması öngörülmektedir. Elde edilen alçıtaşı, araştırma kapsamında inşa edilecek Kırma-Elemente Tesisi'nde belirlenen boyutlara getirildikten sonra, talebe bağlı olarak iç piyasalara sunulacaktır.

Bu tesisin kurulumu, bölgedeki ekonomik gelişime katkı sağlamayı ve alçıtaşı üretiminin yerel pazar taleplerine daha etkin bir şekilde cevap vermesini hedeflemektedir. Çalışma, çevresel etkilerin minimize edilmesi amacıyla gerekli tüm izinlerin alınmasının ardından hayata geçirilecektir. Alçıtaşı Ocağı ve Kırma-Elemente Tesisi'nin işletilmesi, yerel iş gücünün değerlendirilmesi açısından da önemli bir fırsat sunmaktadır.

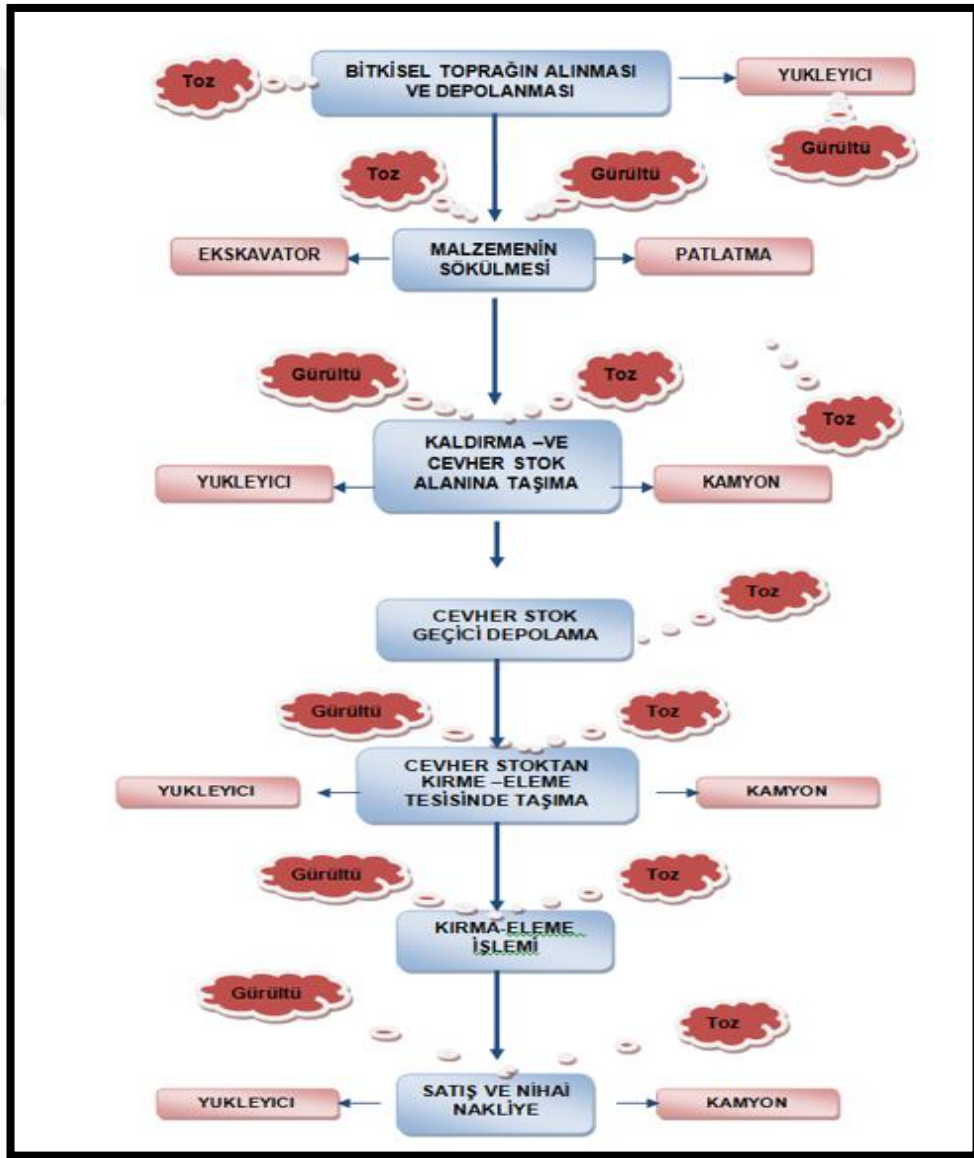
4.1.1 Çalışmanın teknolojisi, iş akım şeması

Araştırma konu alanının topografik özellikleri, cevherin jeolojik konumu ve işletmecilik unsurları göz önünde bulundurulduğunda, üretimde kullanılacak yöntem olarak Açık İşletme Metodu benimsenmiştir. Çalışma sahasındaki tepe yamaçlarında cevherleşmenin bulunması nedeniyle, arazide sırtlardan tabana doğru basamaklar oluşturularak gerçekleştirilecektir. Ocağa ait iş akım şeması Şekil 4.1'de verilmiştir.

Madenin çıkarılacağı alan üzerindeki bitkisel toprak tabakası, yaklaşık 0,10 m kalınlığında sıyrılarak, belirlenen depolama alanında depolanacaktır. Bu işlemin

amacı, rüzgâr ve yağmur erozyonu gibi dış etkenlerden kaynaklanan kayıpların önüne geçmektir. Toprak, faaliyetin sona ermesi sonucunda rehabilitasyon amaçlı kullanılmak üzere çimlendirilerek depolanacaktır.

Bu aşamadan sonra, delme, patlatma ve iş makineleri kullanılarak sökülen malzeme, herhangi bir işlem görmeden, ocak içinde bulunan ve ruhsat sahibine ait olan Kırma- Eleme Tesisi'ne nakledilecek ve burada boyutlandırılacaktır. Açılacak ocak tasarımı için belirlenen parametreler arasında basamak boyunun 10 m, basamak genişliğinin 8 m, basamak şev eğim açılarının 60°-65°, genel şev eğim açılarının ise yaklaşık 45° olması öngörülmektedir.

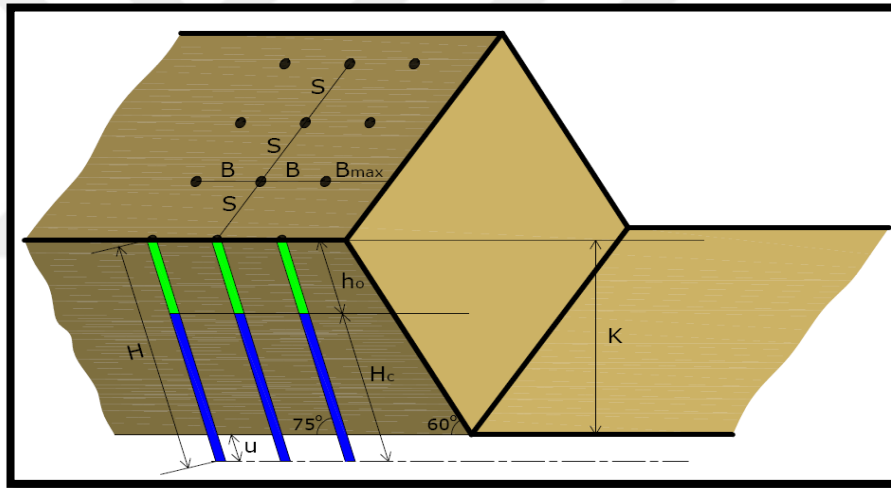


Şekil 4.1. Alçıtaş ocağı (açık işletme) iş akım şeması.

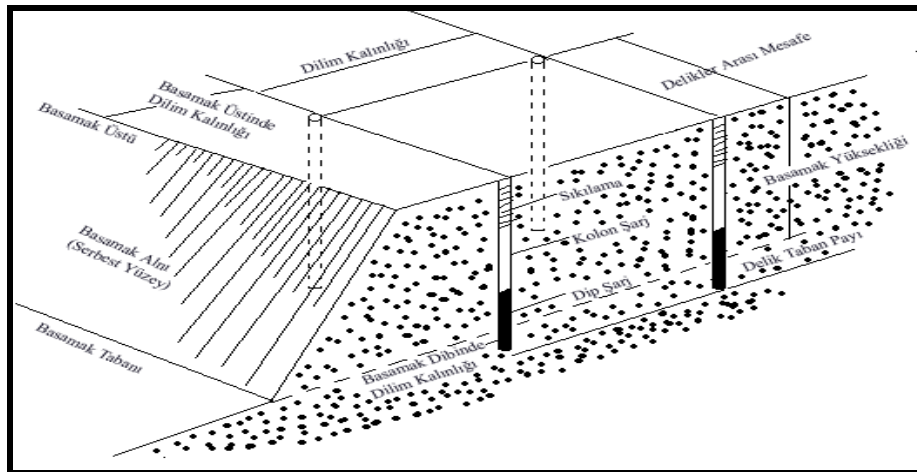
4.2 Patlatma Tasarım Hesapları

Araştırma kapsamında gerçekleştirilecek patlatma işlemlerinde patlayıcı madde olarak Amonyum Nitrat (ANFO) kullanılmaktadır. ANFO, granül haldeki amonyum nitratin içerisine yaklaşık %4-6 oranında mazot karıştırılarak elde edilen bir patlayıcıdır. Bu patlayıcının etkinliği, karışım oranlarının doğru şekilde ayarlanmasına ve homojen bir şekilde karıştırılmasına bağlıdır. Patlatma işlemleri, her deliğe farklı gecikme süreleri ile ateşleme olanağı sağlayan kısa gecikmeli, elektriksiz kapsüllerin yerleştirilmesi ile yapılmakta ve yalnızca yetki belgesine sahip uzman ateşçiler tarafından gerçekleştirilmektedir (Jimeno vd., 1995; Persson vd., 1994).

Patlatma için tasarlanan delik delme şemtik sistemi Şekil 4.2’de, patlayıcı maddelerin deliklere şematik olarak yerleştirilmesi Şekil 4.3’de verilmiştir.



Şekil 4.2. Delik delme şemtik sistemi.



Şekil 4.3. Patlayıcı maddelerin deliklere şematik olarak yerleştirilmesi.

Açık ocak maden işletmelerinde delme-patlatma işlemlerinin tasarımı için literatürde farklı eşitlikler mevcuttur. Bunlardan bazıları Hagan (1974), Langefors ve Kihlstrom (1979), Konya ve Walter (1990), Olofsson (1988) şeklinde sıralanabilir. Bu formüllerin çoğu, tasarım hesaplamalarına delik çapı seçimi ile başlar. Hesaplanması gereken genel parametreler, delik çapı (d), delikler arası mesafe (s), şarj yoğunluğu (q) ve sıkılma uzunluğu (ho) şeklinde verilebilir. Kaya tipi, işletme koşulları ve hedeflenen kırılma şekline göre hesaplanan bu parametreler daha sonra yapılan patlatmaların sonuçlarına göre revize edilerek en uygun tasarım elde edilir.

Patlatma tasarım hesapları ve patlamalardan kaynaklanacak malzeme miktarı için yapılan hesaplamalarda Olofsson (1988) yöntemi esas alınarak Çevre, Şehircilik ve İklim değişikliği Bakanlığı ÇED İzin ve Denetim Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan ‘Patlatma Tasarımları ve Patlatma Kaynaklı Çevresel Etkiler Klavuzu’ rehber doküman olarak kullanılmıştır (T.C. Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2018).

Söz konusu maden ocağında yılda 8 ay çalışılacaktır. Bu 8 ayın ilk 7 ayında ayda 2 patlatma (7 ay x 2 patlatma = 14 patlatma), kalan son ayda ise 1 patlatma yapılarak yılda toplam 15 patlatma işlemi yapılacaktır. Patlatma tasarımına, duraylılık (stabilite) analizinin izin verdiği basamak yüksekliği ve delik çapının seçimi ile başlanmış ve azami yük mesafesi saptandıktan sonra diğer parametrelerin hesabı ile devam edilmiştir.

Basamak Yüksekliği (K): Açık maden işletmeciliğinde basamak yüksekliği, bir maden sahasından çıkarılacak olan cevher veya örtü malzemesinin kazı işlemleri sırasında oluşturulan her bir basamağın (yatay seviyeler arasındaki dikey mesafenin) yüksekliğidir. Açık işletmelerde basamak yüksekliği genellikle sabit olup yükleme ekipmanının çalışma şartlarına göre belirlenmektedir. Genellikle 10 ile 18 metre arasında değişen basamak yükseklikleri kayacın kalınlığına göre veya en ekonomik şekilde delme esnasındaki ilerleme hızına göre belirlenebilir. Yük mesafesinin basamak yüksekliği ile oransal bir ilişkisi söz konusudur ve bu oran kayacın parçalanması üzerinde önemli etkiye sahiptir. Genellikle basamak yüksekliğinin yük mesafesine oranı 2'den küçük olduğu durumda daha iri parçalanma beklenmektedir. Benzer şekilde yük mesafesinin delik çapına oranı arttığında da parçacık boyutunun arttığı belirtilmiştir. Optimum değer ise 3 civarında olduğu ifade edilmektedir (Singh

vd., 2016). Çalışmalarda basamak yüksekliği 10 m olarak alınmış ve patlatma işlemleri delik çapı sabit tutularak gerçekleştirmiştir.

Delik Çapı (D): Delik çapı patlatma tasarımında kayacın özelliklerine, istenen parça boyutuna ve delme maliyetine bağlı olarak belirlenir. Açık işletmelerde genelde 50-450 mm arasında değişen çaplar tercih edilir. Sahadaki uygulamalardan edinilen tecrübeler, basamak yüksekliği (K), yük mesafesi (B) ve delik çapı (d) arasında belirli oranlar olduğunu göstermiştir. Yük mesafesi, delik çapının minimum 22 katı, maksimum 45 katı olacak şekilde belirlenir ($B = 25-40d$). Delik çapı inç biriminde verilmişse yük mesafesi metre cinsinden delik çapına eşit olarak alınabilir ($B(m)=d(inç)$). Gecikmeli kapsüllerle kontrollü patlatmanın planlandığı çalışmalarda, delik çapı $3^{1/2}$ inç (89 mm) olarak alınmış ve şeş-beş düzeninde üç sıra delik tasarımı yapılmıştır (T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2018).

Azami Yük (Delik-Ayna) Mesafesi (B_{max}): Olofsson, esasen Langefors ve Kihlström yaklaşımını kullanarak, onların vermiş olduğu formülleri basitleştirmiş ve kullanımı kolay olan 4.1, 4.2 ve 4.3'te verilen denklemlerdir. Aşağıda verilen bu eşitlikler, uygulamalarda azami yük (delik-ayna) mesafesi (B_{max}) hesabında kullanılmaktadır (T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2018).

$$B_{max} = 1.47\sqrt{l_b} \text{ Dynamex } M \quad (4.1)$$

$$B_{max} = 1.45\sqrt{l_b} \text{ Emulite 150} \quad (4.2)$$

$$B_{max} = 1.36\sqrt{l_b} \text{ ANFO} \quad (4.3)$$

Açık maden ocaklarında ana patlayıcı madde olarak genellikle yemlemeye duyarlı olmayan, yani kapsüle duyarsız dökme patlayıcılardan ANFO (Amonyum Nitrat ve Fuel Oil karışımı) kuru deliklerde, su içeren sondaj deliklerinde ise suya dayanıklı özellikleri nedeniyle emülsiyon bazlı patlayıcılar tercih edilmektedir. Bu seçim, patlayıcının stabilitesini ve verimliliğini korumak, aynı zamanda patlatma işlemlerinde maksimum etkinlik sağlamak amacıyla yapılmaktadır. Olofsson'un sözünü ettiği patlayıcıların dolum (şarj) yoğunlukları Çizelge 4.1'de verilmiştir (T.C. Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2018).

Çizelge 4.1. Patlayıcıların farklı delik çaplarında şarj yoğunlukları (ÇŞB, 2018).

Delik Çapı (mm) \ Patlayıcı Cinsi (kg/m)	51	64	76	89	102	127	152
ANFO	1.6	2.6	3.6	5.0	6.5	10.1	14.5
Emulite 150	2.3	3.7	5.0	7.1	9.3	-	-
Dökme Emulite	2.4	3.9	5.3	7.5	9.9	15.3	21.9
Dynamex M	2.6	4.0	5.6	7.8	10.2	-	-

Olofsson eşitlikleri, ANFO yoğunluğunun bilinmesi halinde, şarj yoğunluğunun delik çapına bağlı olarak denklem 4.4 ile hesaplanabileceğini göstermektedir.

$$l_b = [\pi r^2 * d_{ANFO}]/1000 \quad (4.4)$$

Çalışma kapsamında 89 mm delik çapı için şarj yoğunluğu Çizelge 4.1’de verilen 5.0 kg/m olarak alınmıştır.

Olofsson, yine patlatma tasarım hesaplarında, patlatma deliklerinin eğimli delinmesi gerektiğini ve bu eğimin 3/1 oranında olması gerektiği kabul edilmiştir. Farklı eğim açılarındaki delikler için ise Çizelge 4.2’de verilen bir eğim faktörü (k) ve buna bağlı olarak Çizelge 4.3’de verilen bir düzeltme faktörü (R1) kullanılması gerektiğini belirtmiştir.

Çizelge 4.2. Eğimli deliklerde eğim (k) faktörü.

Eğim	Dik	10/1	5/1	4/1	3/1	2/1	1/1
Eğim Açısı	90°	84°	79°	76°	72°	63°	45°
Eğim Faktörü (k)	1,00	1,005	1,02	1,03	1,05	1,12	1,40

Çizelge 4.3. Farklı delik eğim durumları için R1 düzeltme faktörleri.

Eğim	Dik	10/1	5/1	3/1	2/1	1/1
R1	0,95	0,96	0,98	1,00	1,03	1,10

Birim hacimdeki kayayı etkili bir şekilde parçalamak için gerekli olan minimum patlayıcı miktarı, kaya sabiti (özümlü şarj) olarak adlandırılmaktadır. Kaya sabiti, bir maden sahasında patlatma işlemlerinin etkinliğini belirleyen temel parametrelerden biridir. Farklı farklı kaya sabitleri için R2 düzeltme faktörleri Çizelge 4.4’de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Farklı kaya sabitleri (katsayıları) için R2 düzeltme faktörleri.

Katsayı (C)	Düzeltilme Faktörü (R2)
0,3	1,15
0,350	1,075
0,4	1,0
0,5	0,90

Verimli bir patlatma işlemi için basamak yüksekliği (K), azami yük mesafesinin (B_{max}) 2 katına eşit veya daha büyük olmalıdır. ($K \geq 2 \times B_{max}$). Belirtilen sabitler, ilgili çizelgelerden bulunduktan sonra azami yük mesafesi için denklem 4.5’de kullanılmıştır.

$$B_{max} = 1.36\sqrt{I_b} \text{ ANFO} * R1 * R2 \quad (4.5)$$

$$B_{max} = 1.36\sqrt{5} * 0.95 * 1.075 = 3.10 \text{ m}$$

Denklem 4.5’de hesaplanan veriler denklem 4.6, 4.7 ve 4.8’ de kullanılmıştır.

$$\text{Dynamex M için; } B_{max} = 1.47\sqrt{I_b} * R1 * R2 \quad (4.6)$$

$$\text{Emulite 150 için; } B_{max} = 1.45\sqrt{I_b} * R1 * R2 \quad (4.7)$$

$$\text{ANFO için; } B_{max} = 1.36\sqrt{I_b} * R1 * R2 \quad (4.8)$$

I_b: Dolum (şarj) yoğunluğu, kg/m

R1: Delik eğiminin 3/1’den farklı olması halinde düzeltme faktörü

R2: Kaya katsayısının 0,4’den farklı olması halinde düzeltme faktörünü ifade etmektedir.

Alt Delme (U): Deliklerin yalnızca basamak yüksekliği kadar delinmesi, tabanda “tırnak” adı verilen kaya parçalarının kalmasına neden olur. Bu durum, istenen parçalanmayı engelleyerek verimliliği düşürür. Bu sorunu önlemek için delikler basamak yüksekliğinden biraz daha derin delinerek tırnak oluşumu engellenir. Alt delme uzunluğu genellikle kullanılan patlatma tasarımına bağlı olarak belirlenir ve çeşitli formüllerle hesaplanır (Jimeno, Jimeno ve Carcedo, 1995). Bu formüllerden biri denklem 4.9’da verilmiştir.

$$U = 03 * B_{max} \quad (4.9)$$

$$U = 0,3 \times 3,10 = 0,93 \text{ m}$$

Delik Boyu (H): Delik boyu, basamak yüksekliği ile alt delme uzunluğunun toplamına eşittir. Dikey deliklerde doğrudan toplam alınırken, eğimli deliklerde bu uzunluk trigonometrik hesaplamalarla belirlenir (T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2018). Bahse konu trigonometrik hesaplama denklem 4.10'da verilmiştir.

$$H = (K + U) * k \quad (4.10)$$

$$H = (10 + 0,93) * 1 = 10,93 \text{ m}$$

K: Basamak yüksekliği (10 m)

U : Alt delme, m

k : Eğim faktörü (90° delme açısında k=1)

Delgi Hatası (E): İş yerindeki çalışma koşulları nedeniyle, sondör veya delici makine operatörlerinin delici ucunu işaretlenen noktaya tam olarak nişanlayamaması gibi hatalar kaçınılmazdır. Bu tür hatalar, delik çapının 1.000'e bölünmesiyle hesaplanabilen bir yanılma payı (D/1.000) oluşturur. Ayrıca, delme sırasında deliğin sapması ve istenilen noktaya tam isabet ettirilememesi nedeniyle genellikle %2 ila %3 oranında bir sapma hatası kabul edilmektedir (Jimeno, Jimeno ve Carcedo, 1995). Delik hatası formülü denklem 4.11'de verilmiştir.

$$E = (D/1.000) + (0,03 * H) \quad (4.11)$$

D : Delik çapı, mm

H : Delik boyu, m

$$E = (89 / 1.000) + (0,03 * 10,93) = 0,41 \text{ m}$$

Uygulanacak Yük Mesafesi (B): Uygulanacak yük mesafesi, azami yük mesafesinden delgi hatasının çıkarılmasıyla hesaplanır. Yani, $B = B_{\max} - E$ formülü ile bulunur. Burada, $B_{\max}$ azami yük mesafesi, E ise delgi hatasını temsil eder. Bu hesaplama, patlatma verimliliğini artırmak için oldukça önemlidir ve genellikle patlatılacak kayacın özelliklerine göre optimize edilir. Uygulanacak Yük Mesafesi denklem 4.12'de verilmiştir.

$$B = B_{\max} - E \quad (4.12)$$

$$= 3,10 - 0,41 = 2,68 \text{ m}$$

Sıkılama Boyu (h_0): Sıkılama işlemi, patlayıcı enerjisinin kayaya doğru yönlendirilmesi amacıyla uygulanan bir yöntemdir. Sıkılama boyunun kısa olması, patlayıcı gazların kaçmasına, kaya fırlamasına ve hava şokuna yol açarak patlatma verimliliğini olumsuz etkileyebilir. Öte yandan, sıkılama boyunun çok uzun olması ise kolon şarjının üzerindeki kayacın zayıf bir şekilde parçalanmasına neden olabilir. Bu nedenle, doğru sıkılama boyu ayna delik uzaklığına bağlı olarak belirlenmelidir. Sıkılma boyu denklem 4.13'te verilmiştir.

$$h_0 = B = 2,68 \text{ m} \quad (4.13)$$

Delikler Arası Uzaklık (S): Delik geometrisinin önemli öğelerinden biri olan delikler arası uzaklık, delik ayna uzaklığının (B) bir fonksiyonudur. Genel olarak, delikler arası uzaklık, B uzaklığının 1,25 katı kadar alınmakta olup denklem 4.14'de verilmiştir.

$$S = 1,25 \times B \quad (4.14)$$

$$= 1,25 \times 2,68 = 3,35 \text{ m}$$

Dip Şarj Uzunluğu (h_b): Dip şarj uzunluğu, patlatma etkinliğini ve kaya kırılmasını optimize etmek için önemli bir parametredir. Bu uzunluk, genellikle denklem 4.15'deki gibi hesaplanır.

$$h_b = 1,3 \times B_{\max} \quad (4.15)$$

$$= 1,3 \times 3,10 = 4,03 \text{ m}$$

Dip Şarj Miktarı (Q_b): Dip şarj miktarı, patlayıcı maddenin delik içerisindeki uzunluğu ve yoğunluğu ile doğrudan ilişkilidir. Bu miktar, kayadaki kırılma verimliliğini arttırmak için doğru şekilde hesaplanmalıdır. Dip şarj miktarı denklem 4.16'daki gibi hesaplanır.

$$Q_b = I_b \times h_b \quad (4.16)$$

Q_b : Dip şarj miktarı, kg

I_b : 5 kg/m (anfo için - 89 mm delik çapı)

h_b : Dip Şarj Uzunluğu, m

$$Q_b = 5 \times 4,03 = 20,15 \text{ kg}$$

Kolon Şarj Yoğunluğu (I_c): Olofsson (1992), kolon şarj yoğunluğunun dip şarj yoğunluğunun yaklaşık %50'si kadar olması gerektiğini önermektedir. Bu durumda, dip şarj yoğunluğu 5,0 kg/m olarak kabul edilirse, kolon şarj yoğunluğu denklem 4.17'deki gibi hesaplanır.

$$I_c = I_b = 5,0 \text{ kg/m alınmıştır.} \quad (4.17)$$

Kolon Şarj Yüksekliği (h_c): Kolon şarj yüksekliği, dip şarj yoğunluğunun bir fonksiyonu olarak belirlenir ve kaya parçalanmasını optimize etmek için önemlidir. Olofsson (1992), kolon şarjının doğru yüksekliğinin, kullanılan patlayıcı türüne ve kaya özelliklerine bağlı olarak seçilmesi gerektiğini belirtmektedir. Kolon şarj yüksekliği denklem 4.18' de verilmiştir.

$$\begin{aligned} h_c &= H - h_b - h_0 \\ &= 10,93 - 4,03 - 2,68 = 4,22 \text{ m} \end{aligned} \quad (4.18)$$

Kolon Şarj Miktarı (Q_c): Kolon şarj miktarı, kullanılan patlayıcı türü ve kaya yapısına bağlı olarak hesaplanır. Olofsson (1992), kolon şarj miktarının dip şarj miktarının bir fonksiyonu olduğunu ve patlatma etkinliğini arttırmak için doğru hesaplanması gerektiğini vurgulamaktadır. Kolon şarj miktarı denklem 4.19'da verilmiştir.

$$Q_c = I_c \times h_c \quad (4.19)$$

I_c : Kolon Şarj Yoğunluğu

Q_c : Kolon şarj miktarı, kg

h_c : Kolon Şarj Yüksekliği

$$Q_c = 5 \times 4,22 = 21,1 \text{ kg}$$

Toplam Şarj Miktarı (Q_{top}): Toplam şarj miktarı, dip ve kolon şarj miktarlarının toplamı olarak hesaplanır. Patlatma verimliliği için her iki şarjın dengeli bir şekilde belirlenmesi önemlidir. Olofsson (1992), toplam şarj miktarının kayadaki parçalanma

kalitesini doğrudan etkilediğini belirtmiştir. Toplam şarj miktarı denklem 4.20’de verilmiştir.

$$Q_{top} = Q_b + Q_c = 20,15 \text{ kg} + 21,1 \text{ kg} = 41,25 \text{ kg} \quad (4.20)$$

Özgül Delik (b) ve Özgül Şarj (q) denklem 4.21 ve 4.22’de verilmiştir.

$$b = H / (B \times S \times K) \quad (4.21)$$

b : Özgül delik, m/m³

H : Delik boyu, m

S : Delikler arası mesafe, m

B : Delik ayna uzaklığı, m

K : Basamak yüksekliği, m

$$b = 10,93 / (2,68 \times 3,35 \times 10) = 0,12 \text{ m/m}^3$$

$$q = Q_{top} / (B \times S \times K) \quad (4.22)$$

q : Özgül şarj, kg/m³

Q_{top} : Toplam şarj (Q_{dip} + Q_{kol}), kg

S : Delikler arası mesafe, m

B : Delik ayna uzaklığı, m

K : Basamak yüksekliği, m

$$q = Q_{top} / (B \times S \times K) = 41,25 / (2,68 \times 3,35 \times 10) = 0,46 \text{ kg/m}^3$$

Delikten Elde Edilen Malzeme Miktarı (V_d)

Bir deliğin patlatılması sonucunda alınacak malzeme miktarı denklem 4.23’teki gibi hesaplanır.

$$V_d (\text{m}^3) = B \times S \times K \quad (4.23)$$

$$V_d = 2,68 \text{ m} \times 3,35 \text{ m} \times 10 \text{ m} = 89,78 \sim 90 \text{ m}^3/\text{delik}$$

Malzeme Yoğunluğu = 2.5 ton/m³ olarak alınır,

$$W_d = 90 \text{ m}^3/\text{delik} \times 2.5 \text{ ton/m}^3 = 225 \text{ ton/delik}$$

Bir Patlatmadan Elde Edilen Malzeme Miktarı

Bir Delikten Elde Edilen Malzeme Miktarı x Bir Patlatmadaki Delik Sayısı ile hesaplanabilir.

$W_p = 225 \text{ ton/delik} \times 30 \text{ delik} = 6.750 \text{ ton}$ bir patlatmadan alınacak malzeme miktarıdır.

Çalışma kapsamında ilk 14 patlatmada 30 delik delinecek olup son patlatmada 25 delik delinecektir. Toplam patlatma sonucu oluşan malzeme miktarı,

Toplam malzeme miktarı (W_T)

$$W_T = 225 \text{ ton/delik} \times 30 \text{ delik} = 6.750 \text{ ton}$$

$$W_T = (14 \text{ patlatma} \times 6.750 \text{ ton/patlatma}) + (1 \text{ patlatma} \times 25 \text{ delik} \times 225 \text{ ton/delik})$$

$$\text{TOPLAM} = 94.500 \text{ ton} + 5625 \text{ ton} \cong 100.048 \text{ ton}$$

Patlatma tasarımı, maden çıkarma işlemlerinin en önemli aşamalarından biridir ve bu aşama, verimlilik, güvenlik ve çevresel etkilerin minimize edilmesi açısından büyük bir rol oynamaktadır. Patlatma işleminin amacı, kayaçların kontrollü bir şekilde parçalanmasını sağlayarak, madenin çıkarılabilir ve işlenebilir hale gelmesini sağlamaktır. Bu tasarımın doğru bir şekilde yapılabilmesi için pek çok faktörün dikkate alınması gerekmektedir. Patlatma tasarımının optimize edilmesi, bu parametrelerin doğru bir şekilde belirlenmesini gerektirir. Bu parametreler, patlatma işleminin etkinliğini ve güvenliğini artırmak için titizlikle seçilmelidir. Çizelge 4.5'te patlatma işlemlerinin planlanmasında temel rol oynayan parametreler ayrıntılı olarak yer almaktadır.

Çizelge 4.5. Patlatma bilgileri.

PARAMETRELER	Talep edilen	Birim
Formasyon	Kalker	
Kayaç Yoğunluğu	2,5	kg/m ³
Sıkılama Malzemesi	3 mm boyutunda	cinsi (kıрма taş vb.)
Yıllık Çalışma Süreleri	200	gün/yıl
Yıllık Üretim Miktarı	100.048	ton/yıl
Kaç günde bir patlatma yapacağı	2 Haftada	gün
Aylık Patlatma Sayısı	2	adet
Yıllık Patlatma Sayısı	15	adet
Bir Atımdaki Üretim	2.250	m ³ /atım
Bir Atımdaki Delinmesi Gereken Delik Sayısı		
Delik Sayısı	30	adet/atım
Delik Paterni	Şeş-Beş	
Delik Çapı	89	mm
Delik Eğimi	90	°
Basamak Boyu	10	m
Dip Delgi	0.93	m
Delik Boyu	10.93	m
Sıkılama Boyu	2.68	m
Yük Mesafesi	2.68	m
Delikler Arası Mesafe	3.35	m
Delik içi gecikme süreleri	25/500	ms
Sıralar Arası Gecikme Süresi	42	ms
Bir Delikten Elde Edilen Teorik Hacim	90	m ³
Bir Delikten Elde Edilen Teorik Hacim	225	ton
Bir Deliğe Doldurulan Patlayıcı Madde Miktarları		
Ana Şarj (ANFO) Miktarı	41,25	kg
Yemleyici (Dinamit) Miktarı	2	kg
Elektriksiz Kapsül Miktarı	2	adet
Bir Atımdaki Tüketimler		
ANFO	1.237	kg/atım
Dinamit	60	kg/atım
Elektriksiz Kapsül	60	adet/atım
Elektrikli Kapsül	2	adet/atım
Sıralar Arası Gecikme Kapsülü	30	adet/atım
Toplam Patlayıcı Madde Miktarları		
ANFO	18.356	kg/yıl
Dinamit	470	kg/yıl
Elektriksiz Kapsül	470	adet/yıl
Elektrikli Kapsül	30	adet/yıl

4.3 Emisyonlar ve Hava Kalitesine Etkiler

Üretim esnasında oluşacak toz emisyonu: Araştırma konu faaliyetleri sırasında, üretim süreçlerinin bir sonucu olarak çeşitli toz emisyonları oluşması kaçınılmazdır. Açık ocak işletmesi faaliyetleri çerçevesinde, bitkisel toprağın sıyrılması, dekapaj işlemleri, patlatma, yükleme-boşaltma ve nakliye gibi aşamalarda meydana gelen toz emisyonlarının miktarları, aşağıda belirtilen yöntemler kullanılarak hesaplanmıştır.

Toz emisyonlarının hesaplamasında dikkate alınan faktörler, şu şekilde sıralanabilir:

Bitkisel Toprağın Sıyrılması: Toprağın sıyrılması esnasında oluşan toz emisyonları, sıyrılan alanın büyüklüğü ve toprak yapısı göz önünde bulundurularak hesaplanmıştır.

Dekapaj İşlemleri: Dekapaj sırasında kullanılan ekipmanın türü ve işleme süresi, emisyon seviyelerini doğrudan etkileyen unsurlardır. Bu aşamada, makine çalışma süreleri ve işlemin yapıldığı alan da göz önünde bulundurulmuştur.

Patlatma İşlemleri: Patlatma sırasında ortaya çıkan toz bulutlarının büyüklüğü ve yayılma şekli, kullanılan patlayıcı maddelerin türü ve uygulama yöntemleriyle ilişkilidir.

Yükleme ve Boşaltma: Yükleme ve boşaltma süreçlerinde oluşan toz emisyonları, taşıma sırasında kullanılan araçların türü, yükleme yöntemleri ve malzeme özellikleri ile bağlantılı olarak değerlendirilmiştir.

Nakliye: Nakliye aşamasında, taşıma mesafesi ve taşıma araçlarının hızı, toz emisyonları üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Yolda karşılaşılan koşullar ve taşınan malzemenin özelliği, bu aşamada belirleyici faktörlerdendir.

Bu hesaplamalar, toz emisyonlarının çevresel etkilerini minimize etmek amacıyla alınacak önlemlerin belirlenmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Elde edilen veriler, araştırmanın çevresel etkilerinin izlenmesi ve gerekli önlemlerin uygulanmasında temel bir referans oluşturacaktır. Böylece, çevre koruma hedeflerine ulaşmak için stratejik planlamalar yapılması mümkün olacaktır. Çizelge 4.6'da toz emisyon faktörleri verilmiştir.

Çizelge 4.6. Toz emisyon faktörleri (URL-12).

İşlem	Emisyon Faktörü kg/ton	
	Kontrolsüz	Kontrollü
Malzemelerin Sökülmesi	0,025	0,0125
Malzemelerin Yüklenmesi	0,01	0,005
Malzemelerin Taşınması (Gidiş-Dönüş)	0,7	0,35
Malzemelerin Boşaltılması	0,01	0,005
Malzemelerin Depolanması (kg/ha.gün)	5,8	2,9
Birincil Kırıcı	0,243	0,0243
İkincil Kırıcı	0,585	0,0585
Patlatma (kg/ton)	0,08	

Bitkisel toprağın hafriyatı esnasında oluşacak toz emisyonu: Araştırma konu alanında malzeme alınacak bölgede, ortalama 10 cm kalınlığında bir bitkisel toprak tabakası bulunmaktadır. Bu malzemenin alandan çıkartılabilmesi için kademe kademe hafriyat işlemleri yapılacaktır. ÇED alanı toplam 16,25 hektar olup, bu alandaki bitkisel toprağın sıyrılacağı kalınlık 0,10 metre olarak öngörülmektedir. Toprağın yoğunluğu ise 1,60 ton/m³ olarak belirlenmiştir. Hafriyat faaliyetleri, toplamda 10 yıl sürecek şekilde planlanmıştır.

Sıyrılması planlanan bitkisel toprak miktarı şu şekilde hesaplanmıştır:

ÇED alanı : 16,25 ha

Sıyrılacak Bitkisel Toprak Kalınlığı : 0,10 m

Toprak Yoğunluğu : 1,60 ton/m³

Faaliyetin Ömrü : 10 yıl

Hafredilecek Bitkisel Toprak Miktarı =

$$16,25 \text{ ha} \times (10^4 \text{ m}^2/\text{ha}) \times 0,1 \text{ m} \times 1,60 \text{ ton/m}^3 / 10 \text{ yıl} \\ = 2600 \text{ ton/yıl}$$

Sonuç olarak, araştırma konu faaliyet 10 yıl sürecek olan bu süre boyunca boyunca toplamda 26.000 ton bitkisel toprağın sıyrılması öngörülmektedir. Her yıl yaklaşık

2.600 ton toprak sıyrılacak olup, bu işlem yılın sadece dört ayı boyunca devam edecektir.

Yıllık olarak hafredilecek bitkisel toprak miktarı 2.600 ton olarak hesaplanmıştır. Ancak, bir yıl içerisinde sadece dört ay boyunca hafriyat yapılacağı için, aylık hafriyat miktarı 650 ton olarak belirlenmiştir. Günlük ortalama çalışma miktarına bakıldığında, hafriyatın her gün 26 ton olması planlanmaktadır. Ayrıca, günlük çalışma saati dikkate alındığında, saatlik hafredilecek toprak miktarı yaklaşık 3,25 ton olacaktır.

Bitkisel toprak sıyırma işlemleri sırasında ortaya çıkacak emisyon hesaplamaları Çizelge 4.7’de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Toz emisyon faktörleri ve debileri (bitkisel toprak için).

Kaynağı	Kontrolsüz Emisyon Faktörü (kg/ton)	Kontrolsüz Emisyon Debisi (kg/saat)	Kontrollü Emisyon Faktörü (kg/ton)	Kontrollü Emisyon Debisi (kg/saat)
Sökme	0,025	$0,025 \times 3,25 = 0,082$	0,0125	$0,0125 \times 3,25 = 0,041$
Yükleme	0,01	$0,01 \times 3,25 = 0,0325$	0,005	$0,005 \times 3,25 = 0,01625$
Nakliye	0,7 kg/km	$0,7 \times 0,36 \text{ km} / 7 \text{ saat} = 0,036$	0,35 kg/km	$0,35 \times 0,36 \text{ km} / 7 \text{ saat} = 0,018$
Boşaltma	0,01	$0,01 \times 3,25 = 0,0325$	0,005	$0,005 \times 3,25 = 0,01625$
Depolama	5,8 kg/ha-gün	$5,8 \times 0,12 \text{ ha} / 24 \text{ saat} = 0,048$	2,9 kg/ha-gün	$2,9 \times 0,12 \text{ ha} / 24 \text{ saat} = 0,024$
	Toplam	0,231 kg/ saat	Toplam	0,1155 kg/ saat

Hesaplanan kontrolsüz saatlik kütleli debi 0,231 kg/saat, kontrollü saatlik kütleli debi 0,1155 kg/saat’tir.

Pasa malzemesinin yükleme ve taşınması sırasında oluşacak toz miktarı: Çalışma kapsamında, madenin yüzeye yakın kısımda yer alması nedeniyle bitkisel toprağın sıyrılmasının ardından ocak alanında dekapaj işlemi gerçekleştirilmeyecektir. Üretim sürecinde ocaktan çıkan tüm malzemenin Kırma-Elemente Tesisine beslenmesi planlanmaktadır. Kırma-elemente işlemine gönderilen malzemenin %10’unun pasa malzemesi olacağı tahmin edilmektedir. Buna göre, yıllık 100.048 ton malzemenin yaklaşık 10.004,8 tonu pasa olacaktır.

Yıllık Pasa Miktarı (ton/yıl): 10.004,8 ton

Aylık Pasa Miktarı (ton/ay): 10.004,8 ton ÷ 8 ay = 1.250,6 ton

Günlük Pasa Miktarı (ton/gün): 1.250,6 ton ÷ 25 iş günü = 50,02 ton

Saatlik Pasa Miktarı (ton/saat): 50,02 ton ÷ 8 saat = 6,25 ton

Taşımada kullanılan kamyonlar 25 ton kapasiteli olup, bu hesaplara yaklaşık 4 saat içinde bir sefer yapılacağı tahmin edilmektedir (25 ton ÷ 6,25 ton/saat = 4 saat).

Ocak ile pasa depolama alanı arasındaki mesafe 170 metre olarak belirtilmiştir ve bu yollar mevcut yol olup, yeni yollar açılmayacaktır.

Pasa üretim faaliyetleri sırasında ortaya çıkacak emisyon hesaplamaları Çizelge 4.8’de verilmiştir.

Çizelge 4.8. Toz emisyon faktörleri ve debileri (pasa).

Toz Kaynağı	Kontrolsüz Emisyon Faktörü (kg/ton)	Kontrolsüz Emisyon Debisi (kg/saat)	Kontrollü Emisyon Faktörü (kg/ton)	Kontrollü Emisyon Debisi (kg/saat)
Yükleme	0,01	0,01 kg/ton x 6,25 ton/saat = 0,0625 kg/saat	0,005	0,005 kg/ton x 6,25 ton/saat = 0,03125 kg/saat
Nakliye	0,7	(0,7 kg/km) x (0,34 km gidiş-dönüş / 1 sefer) ÷ 4 saat = 0,06 kg/saat	0,35	(0,35 kg/km) x (0,34 km gidiş-dönüş / 1 sefer) ÷ 4 saat = 0,03 kg/saat
Boşaltma	0,01	0,01 kg/ton x 6,25 ton/saat = 0,0625 kg/saat	0,005	0,005 kg/ton x 6,25 ton/saat = 0,03125 kg/saat
Depolama	5,8	5,8 kg/ha-gün x 0,56 ha ÷ 24 saat = 0,135 kg/saat	2,9	2,9 kg/ha-gün x 0,56 ha ÷ 24 saat = 0,067 kg/saat
Toplam	-	0,32 kg/saat	-	0,16 kg/saat

Hesaplanan kontrolsüz saatlik kütleli debi 0,32 kg/saat, kontrollü saatlik kütleli debi 0,16 kg/saat'tir.

Patlatma harici üretim faaliyetleri sırasında oluşacak toz emisyonu:

Yıllık Üretim Miktarı = 100.048 ton/yıl

Aylık Üretim Miktarı = 12.506 ton/ay

Günlük Üretim Miktarı = 500,24 ton/gü

Saatlik Üretim Miktarı = 62,53 ton/saat

Cevherin Ocak Alanından Kırma-Elleme Tesisine nakliyesi esnasında oluşacak toz:

Bahse konu ocakta Kırma - Elleme Tesisinde istenilen ebatlara getirilen malzeme kamyonlara yüklenerek nihai nakliyesi sağlanacaktır. Taşıma esnasında kullanılacak olan her bir kamyonun 25 ton malzeme taşıyabildiği varsayımıyla 1 saatte yapılacak sefer sayısı;

$(62,53 \text{ ton/saat}) / (25 \text{ ton/sefer}) = 3 \text{ sefer/saat}$ olarak hesaplanır.

Stok alanının Kırma-Elleme Tesisine olan uzaklığı yaklaşık 60 m mesafedir. Üretim faaliyetleri sırasında ortaya çıkacak emisyon hesaplamaları Çizelge 4.9'da verilmiştir.

Çizelge 4.9. Toz emisyon faktörleri ve debileri (ocak sahası için).

Toz Kaynağı	Emisyon Faktörü (kg/ton)	Kontrolsüz Emisyon Debisi (kg/saat)	Kontrollü Emisyon Faktörü (kg/ton)	Hesaplama (Kontrollü)
Sökme	0,025	$0,025 \text{ kg/ton} \times 62,53 \text{ ton/saat} = 1,56$	0,0125	$0,0125 \text{ kg/ton} \times 62,53 \text{ ton/saat} = 0,78$
Yükleme	0,01	$0,01 \text{ kg/ton} \times 62,53 \text{ ton/saat} = 0,6253$	0,005	$0,005 \text{ kg/ton} \times 62,53 \text{ ton/saat} = 0,3125$
Nakliye (KET)	0,7	$0,7 \text{ kg/km} \times 0,12 \text{ km} \times 3 \text{ sefer/saat} = 0,35$	0,35	$0,35 \text{ kg/km} \times 0,12 \text{ km} \times 3 \text{ sefer/saat} = 0,126$
Toplam Emisyon Debisi (kg/saat)	-	2,44	-	1,22

Hesaplanan kontrolsüz saatlik kütleli debi 2,44 kg/saat, kontrollü saatlik kütleli debi 1,22 kg/saat'tir.

Kırma-Eleme işlemlerinden kaynaklı toz emisyonu kütleli debileri: Alçıtaşı ocağından çıkarılan malzemelerin çalışma alanındaki Kırma-Eleme Tesisine taşınması ve tesisin işletme aşamasında oluşacak toz emisyonları hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar, Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği'nde belirtilen emisyon faktörlerine dayanmaktadır. Özellikle, Tablo 12.6'da belirtilen değerler kullanılarak emisyon faktörleri değerlendirilmiş ve Kırma-Eleme Tesisi'nin yıllık çalışma süresi, 200 gün ve günlük çalışma süresi 8 saat olacak şekilde öngörülmüştür.

En kötü senaryoyu dikkate alarak, tesisin tam kapasiteyle çalıştığı ve tüm işlemlerin aynı anda yapıldığı varsayılmıştır. Kapasite, saatte 62,53 ton olarak hesaplanmış olup (yılda toplam 100.048 ton), toz emisyonlarına ilişkin detaylı hesaplamalar Çizelge 4.10'da verilmiştir.

Çizelge 4.10. Toz emisyon faktörleri ve debileri (kırma-eleme tesisi için).

Toz Kaynağı	Kontrolsüz Emisyon Faktörü (kg/ton)	Kontrolsüz Emisyon Debisi (kg/saat)	Kontrollü Emisyon Faktörü (kg/ton)	Kontrollü Emisyon Debisi (kg/saat)
Bunkere Boşaltma	0,010	$0,010 \times 62,53 = 0,625$	0,005	$0,005 \times 62,53 = 0,312$
1. Kırma	0,243	$0,243 \times 62,53 = 15,2$	0,0243	$0,0243 \times 62,53 = 1,52$
2. Kırma	0,585	$0,585 \times 56,277 = 32,97$	0,0585	$0,0585 \times 56,277 = 3,29$
Yükleme	0,010	$0,010 \times 62,53 = 0,625$	0,005	$0,005 \times 62,53 = 0,312$
Stok Alanına Nakliye	0,7	$3 \text{ sefer/saat} \times 0,7 \text{ kg/km} \times 0,4 \text{ km} = 0,84$	0,35	$3 \text{ sefer/saat} \times 0,35 \text{ kg/km} \times 0,4 \text{ km} = 0,42$
Stok Alanına Boşaltma	0,010	$0,010 \times 62,53 = 0,625$	0,005	$0,005 \times 62,53 = 0,312$
Cevher Depolama	5,8	$5,8 \times 0,59 / 24 = 0,142$	2,9	$2,9 \times 0,59 / 24 = 0,0713$
Toplam Emisyon Debisi	-	51,027 kg/saat	-	6,24 kg/saat

Hesaplanan kontrolsüz saatlik kütleli debi 51,027 kg/saat, kontrollü saatlik kütleli debi 6,24 kg/saat'tir.

Patlatma faaliyetleri sırasında oluşacak toz emisyonu: Patlatmadan kaynaklanacak toz emisyonlarının kütleli debileri; (son patlatma işleminde delik sayısı 20 adet olduğundan bir patlatmadan alınacak malzeme miktarı azalmaktadır ancak çevresel etkileri değerlendirilirken en kötü senaryo dikkate alındığından tüm patlatma işlemlerinde aynı miktar dikkate alınarak hesaplama yapılmıştır) bir delikten elde edilen malzeme miktarı denklem 4.24’de verilmiştir.

Bir Delikten Elde Edilen Malzeme Miktarı x Bir Patlatmadaki Delik Sayısı (4.24)

=225 ton x 30 delik = 6.760 ton bir patlatmadan alınacak malzeme miktarıdır.

= 6.750 ton x 0,08 =540 kg/saat

Havada Asılı Partiküller $Q = 540 \times 0,2 = 108 \text{ kg/saat}$

Çöken Tozlar $Q = 540 \times 0,8 = 432 \text{ kg/saat}$

Kontrollü emisyon faktörü hesaplaması denklem 4.25’de verilmiştir.

$PM_{10} (\text{kg/patlatma}) = 0,00022 * (A)^{1,5}$ Emisyon Faktörü ($PM \leq 30 \mu\text{m}$) (USEPA AP 42 5. Baskı). (4.25)

A: Yatay yüzey alanı (m^2) – patlatma derinliği max. 21 m (USEPA AP-42 5. Baskı).

NOT: Bir Patlatmanın 10 sn içinde sönmüneceği kabul edilmiştir.

Sahada yapılacak patlatmalar sırasında alanda 2 sıra halinde toplam 30 delik delinecektir. Çalışma sahasında gerçekleştirilecek patlatma işlemleri, etkin delik yerleşimi, uygun yükleme mesafesi ve optimum patlatma parametreleri dikkate alınarak planlanmıştır. Patlatma operasyonları sırasında 2 sıra halinde toplam 30 adet delik delinecek olup, her bir patlatma deliği önceden belirlenen geoteknik ve mühendislik kriterlerine göre tasarlanmıştır. Deliklerin tasarımı sırasında kayaç özellikleri, hedeflenen kırılma düzeyi ve patlayıcı enerji dağılımı dikkate alınarak yükleme mesafesi ve delikler arası mesafe belirlenmiştir. Sıralar arası 2,68 m mesafe ve delikler arası 3,35 m mesafe, patlatmanın kontrollü bir şekilde gerçekleşmesini sağlamak ve enerji dağılımını Patlatma sırasında oluşacak yüzey alanı, kullanılan delik geometrisi ve yerleşim düzeni göz önüne alınarak hesaplanmaktadır. Patlatma yüzey alanı denklem 4.26’da verilen formüle göre belirlenmektedir.

$$\text{Patlatma Alanı (A)} = \text{Delik Sayısı} * \text{Yük Mesafesi} * \text{Delikler Arası Mesafe} \quad (4.26)$$

$$\text{Patlatma Alanı (A)} = 30 * 2,68 * 3,35$$

$$\text{Patlatma Alanı (A)} = 270 \text{ m}^2$$

$$\text{PM}_{10} (\text{kg/patlatma}) = 0,00022 * (\text{A})^{1,5} = 0,00022 * (270)^{1,5} = 1 \text{ kg/patlatma}$$

Her patlatma tozun 10 saniyede sönmüneceği ve 270 m².lik alanda yapılacağı öngörülerek, emisyon kütleli debisi aşağıda hesaplanmıştır;

$$1 \text{ kg/patlatma} * 1 \text{ patlatma} / (10 \text{ sn} * 270 \text{ m}^2) * 1.000 \text{ gr/kg} = 0,37 \text{ gr/sn.m}^2$$

Patlatma işlemleri, ani ve yoğun miktarda toz oluşumuna neden olmaktadır. Patlatma işlemi sırasında, patlayıcıların infilak etmesiyle birlikte kayaçların parçalanması sonucu yüksek hızda ve türbülanslı bir şekilde toz emisyonu meydana gelmektedir. Patlatma kaynaklı toz emisyonları, kısa süreli ancak yoğun bir yayılım göstermektedir. Bu süreçte, farklı boyutlardaki partiküllerin atmosferik koşullara bağlı olarak çeşitli hızlarla çökmesi beklenmektedir.

Toplam emisyon: Çalışma sahasında gerçekleştirilecek tüm işlemlerden kaynaklanan toplam toz emisyonları, ilgili yasal mevzuat çerçevesinde hesaplanmıştır. 03.07.2009 tarih ve 27277 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren “Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği” EK-2, 1. Maddesi a bendi “İşletmelerden atmosfere verilen emisyonların saatlik kütleli debileri; mevcut tesisler için bacalardan ölçülerek, baca dışı kaynaklar ile yeni kurulacak tesisler için emisyon faktörleri kullanılarak tespit edilir.” gereği aynı yönetmelikte yer alan EK-12 Tablo 12.6’da belirtilen standart emisyon faktörleri, çalışma sahasında gerçekleştirilecek faaliyetlere özgü toz emisyonlarının belirlenmesinde kullanılmıştır. Hesaplamalar, faaliyet türüne, kullanılan ekipmanlara, meteorolojik koşullara ve faaliyet süresine bağlı olarak gerçekleştirilmiş olup, tüm hesaplanan emisyon değerleri Çizelge 4.11’de detaylı olarak sunulmuştur.

Çizelge 4.11. Toz emisyon faktörleri ve debileri.

Kaynak	No	İşlem	Kontrollü Toz Emisyonu debisi (kg/saat)	KontROLSÜZ Toz Emisyon debisi (kg/saat)
Bitkisel Toprak Dekapajı	1	Sökme	0,082	0,041
	2	Yükleme	0,0325	0,01625
	3	Nakliye	0,036	0,018
	4	Boşaltma	0,0325	0,01625
	5	Depolama	0,048	0,024
		TOPLAM	0,231	0,1155
Ocak Faaliyetleri (Cevher Üretimi)	6	Sökme	1,56	0,78
	7	Yükleme	0,6253	0,3125
	8	Nakliye	0,35	0,126
Kırma-Elleme Tesisi Faaliyetleri	9	Bunkere Boşaltma	0,625	0,312
	10	1. Kırma	15,2	1,52
	11	2. Kırma	32,97	3,29
	12	Yükleme	0,625	0,312
	13	Stok Alanına Nakliye	0,84	0,42
	14	Stok Alanına Boşaltma	0,625	0,312
Ocak Faaliyetleri (Pasa Üretimi)	15	Yükleme	0,0625	0,03125
	16	Nakliye	0,06	0,03
	17	Boşaltma	0,0625	0,03125
		TOPLAM	53,6	7,477
Cevher Depolama	18	Depolama	0,142	0,0713
		TOPLAM	0,142	0,0713
Pasa Depolama	19	Depolama	0,135	0,067
		TOPLAM	0,135	0,067
Patlatma	20	Patlatma	540	0,37
		TOPLAM	540	0,37
TOPLAM		TOPLAM	54,108	7,73

Toz Emisyonu Genel Değerlendirmesi: Araştırma konu çalışmada yapılan hesaplamalar sonucunda, oluşacak toz emisyon debisinin Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği (SKHKKY)'nde belirtilen 1 kg/saat sınır değerinin üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle, faaliyet sırasında oluşacak toz (partikül madde) emisyonlarının, bölgenin topografik ve meteorolojik koşulları altında nasıl yayılacağı ve bu yayılma sonucunda en yakın yerleşim alanlarındaki olası yer seviyesi

konsantrasyonlarını belirlemek amacıyla hava kalitesi dağılım modellemesi yapılmıştır (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2010).

Bu modelleme sürecinde, Kartezyen koordinat sistemi kullanılmıştır:

- x,y,z Koordinatları: Tepe noktasındaki Kartezyen koordinatlar olup, x eksenini yayılma yönünde, y eksenini yayılma yönüne dik doğrultularda, z ise dikey eksenini temsil eder (Dursun, 2015).
- y : yayılma modellemesinde kullanılan temel bir parametredir. Genellikle, kaynak noktasından itibaren yatay düzlemdeki uzaklığı ifade eder. Bazı yayılma modellerinde, yatay mesafe belirli durumlarda 0 olarak kabul edilerek hesaplamalar basitleştirilir. Bu yaklaşım, özellikle noktasal kaynaklardan yayılan emisyonların incelenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Turner, 1994).
- z : Dikey ekseninde yer alan koordinat, partikül türüne ve yayılma modeline bağlı olarak farklı değerler alır. Havada asılı partiküller için genellikle z değeri 2 metre olarak kabul edilirken, çöken tozlar için z değeri 0 metre olarak alınır. Bu değerler, partiküllerin fiziksel özelliklerine ve atmosferik taşınım süreçlerine göre belirlenir. Özellikle, havada asılı partiküller daha uzun süre atmosferde kalabilirken, çöken tozlar yer seviyesinde birikme eğilimindedir (Hanna, Briggs ve Hosker, 1982).
- $C(x,y,z)$: Tepe noktasında herhangi bir yayılma durumu için hava kirlenmesine katkı değeri olup, mg/m^3 cinsinden hesaplanmaktadır (EPA, 2004).
- Q : Emisyon kaynağından çıkan emisyonların kütleli debisini temsil eder. Bu değer, yayılma hesaplamaları açısından önemli bir parametredir (EPA, 2004).
- Z : Tepe noktasının zeminden yüksekliği olup, havada asılı partiküller için 2 metre, çöken tozlar için ise 0 metre olarak kabul edilir (Hanna, Briggs ve Hosker, 1982).
- U_a : Rüzgâr hızı, tozun yayılma hızını ve mesafesini etkileyen en önemli meteorolojik faktörlerden biridir. Anemometre ile ölçülen rüzgâr hızı, m/s biriminde ifade edilir. Rüzgârın hızı ve yönü, partikül maddelerin atmosferdeki taşınımını ve dağılımını doğrudan etkiler. Özellikle yüksek rüzgâr hızları, partiküllerin daha geniş alanlara yayılmasına neden olur (Seinfeld ve Pandis, 2016).

Hava kalitesi dağılım modeli sayesinde, bölgedeki toz emisyonlarının hava kalitesine olan etkileri değerlendirilmiş ve çevresel etkilerin minimize edilmesi amacıyla gerekli tedbirlerin alınması gerektiği vurgulanmıştır (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2010).

Çizelge 4.12’ de yayılma sınıfları ve Uh değerlerinin saptanması ve Çizelge 4,13’de etkin baca yüksekliğine göre F,f,G,g parametreleri

Çizelge 4.12. Yayılma sınıfları ve Uh değerlerinin saptanması.

Yön	Ua(m/sn)	UR(m/sn)	Uh(m/sn)	Yayılma Sınıfları
N	1,6	1,5	1,72	B
NNE	1,91	2,0	2,30	B
NE	1,75	1,5	1,72	B
ENE	2,1	2,0	2,30	B
E	2,25	2,0	2,30	B
ESE	2,25	2,0	2,30	B
SE	1,9	2,0	2,30	B
SSE	2,25	2,0	2,30	B
S	2,2	2,0	2,30	B
SSW	4,9	4,5	5,17	B
SW	2,1	2,0	2,30	B
WSW	3,5	3,0	3,45	B
W	1,8	1,5	1,72	B
WNW	1,7	1,5	1,72	B
NW	1,4	1,5	1,72	B
NNW	1,6	1,5	1,72	B

Çizelge 4.13. Etkin baca yüksekliğine göre F,f,G,g parametreleri.

Yayılma Sınıfı	F	f	G	g
A(Çok Kararsız)	1,50	0,83	0,15	1,22
B(Kararsız)	0,88	0,82	0,13	1,11
C/I(Nötral)	0,66	0,81	0,17	1,00
C/II(Nötral)	0,64	0,78	0,22	0,89
D(Kararlı)	0,80	0,75	0,26	0,77
E(Çok Kararlı)	1,29	0,72	0,24	0,66

Çizelge 4.12 ve 4.13 göre verilen parametrelere kullanılarak oluşturulan hesaplamalar denlem 4.27 ve 4.28’de verilmiştir.

$$\sigma_y = F * x_f \quad (4.27)$$

$$\sigma_z = G * x_g \text{ yatay ve dikey yayılma parametreleri (m)} \quad (4.28)$$

B (Kararsız) Yayılma Sınıfı’na göre F, f, G, g yatay ve dikey yayılma parametreleri seçilmiş, formülde yerine konularak aşağıdaki değerler hesaplanmıştır.

$$\Sigma y = 0,876 * 10^0,823, \sigma_y = 5,83$$

$$\Sigma z = 0,127 * 10^1,108, \sigma z = 1,63$$

Çizelge 4.14’de Yayılma sınıflarının belirlenmesi için kullanılan sekiz saatlik bulutluluk oranları ve çizelge 4.15’de yayılma sınıfı değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.14. Yayılma sınıflarının belirlenmesi için kullanılan sekiz saatlik bulutluluk oranları.

Sekiz Saatlik Toplam Bulutluluk Oranları			
Gündüz Saatleri(güneş ısınması altında)			
Yer Rüzgâr Hızı(m/sn)	Kapalılık Durumu		
	(0/8-2/8) Bulutlu	(3/8-5/8) Bulutlu	(6/8-8/8)Bulutlu
1 ve daha küçük	B	B	B
1,5-2,0	B	B	C/I
2,5-3,0	B	B	C/I
3,5-4,0	B	B	C/II
5 ve daha büyük	C/I	C/II	C/II

Çizelge 4.15. Yayılma sınıfı değerleri.

Yayılma Sınıfı	M
A(Çok Kararsız)	0,09
B(Kararsız)	0,20
C/I(Nötral)	0,22
C/II(Nötral)	0,28
D(Kararlı)	0,37
E(Çok Kararlı)	0,42

Rüzgâr hızının hesaplanması (Uh) denklem 4.29’da verilmiştir.

$$U_h = U_R * (h/Z_a)^M \quad (4.29)$$

Bu formülde:

Z_a : Metre Birimiyle Verilen Anemometrenin Zeminden Yüksekliği (10 m)

h : Tozun zeminden itibaren dağılmaya başladığı yükseklik (m), Etkin Baca Yüksekliği (20 m)

M : Yayılma Sınıfı Değeri

U_h :Tozun, zeminden yükseldikten itibaren dağılmaya başladığı mesafedeki rüzgâr hızı (m/sn),

UR :Yer seviyesindeki (Ua) rüzgâr hızının havanın kararlılık sınıfına göre belirlenmiş olan temsili rüzgâr hızı (m/sn),

UR, Yayılma Sınıfı çizelgesinden 3,0 m/sn, B(Kararsız) Yayılma Sınıfına göre M sabiti 0,20 olarak seçilmiş ve bu değere göre Uh (Rüzgâr Hızı) hesaplanmıştır.

$$U_h = U_R * (h/Z_a)^M$$

$$U_h = 2,0 \text{ m/sn} * (20/10)^{0,20}, U_h = 2,30 \text{ m/sn} \text{ olarak bulunmuştur.}$$

Aşağıda, araştırma konusu yapılacak çalışmalar sırasında oluşması muhtemel tozumaya karşı oluşturulmuş Toz Dağılım Modellemeleri ve bu modellemelere ait rüzgâr gülleri verilmiştir. Toz değerleri hesaplanırken “Çevre Mevzuatı Formül II” denklem 4.30’da kullanılmıştır.

$$C, (x, y, z) = \frac{10^6}{3600 \times 2 \times \pi} \times \frac{Q_t}{U_h \times \sigma_y \times \sigma_z} \times \exp \left[-\frac{y^2}{2 \times \sigma_y^2} \right] \times \left[\exp \left[\frac{-(z-h)^2}{2 \times \sigma_z^2} \right] \exp \left[\frac{-(z+h)^2}{2 \times \sigma_z^2} \right] \right] \times \exp \left[-\sqrt{\frac{2}{\pi}} \times \frac{V_{di}}{U_h} \times \int_0^x \frac{1}{\sigma_z(\xi)} \times \exp \left[\frac{-h^2}{2 \sigma_z^2(\xi)} \right] d\xi \right] \quad (4.30)$$

Yukarıdaki değerler ve formüller kullanılarak Toz Dağılım grafiği elde edilmiştir.

Havada Asılı Partiküller Q= 1,57 kg/saat

Çöken Tozlar Q= 6,3 kg/saat

Üretim çalışmaları sırasında meydana gelecek olan toplam toz miktarı: 7,87 kg/saattir.

Araştırma konu sahada meydana gelen tozun % 80’ini 10 µ’dan büyük partiküller (çöken tozlar), %20’ini 10 µ ‘dan küçük partiküller (havadaki asılı partiküller) oluşturacaktır.

Delme-Patlatma çalışmaları sırasında meydana gelecek olan toplam toz miktarı:

Havada Asılı Partiküller Q= 540 x 0,2 = 108 kg/saat

Çöken Tozlar Q= 540 x 0,8 = 432 kg/saat

4.4 Modellemede Kullanılan Yöntem

Modelleme sürecinde, patlatma anında ve üretim aşamalarında oluşan toz emisyonlarının atmosfere yayılma özellikleri incelenmiştir. Kirletici kaynaklara ilişkin kütleli debi, kaynak yüksekliği, gaz çıkış hızı gibi parametreler meteorolojik verilerle entegre edilerek analiz edilmiştir.

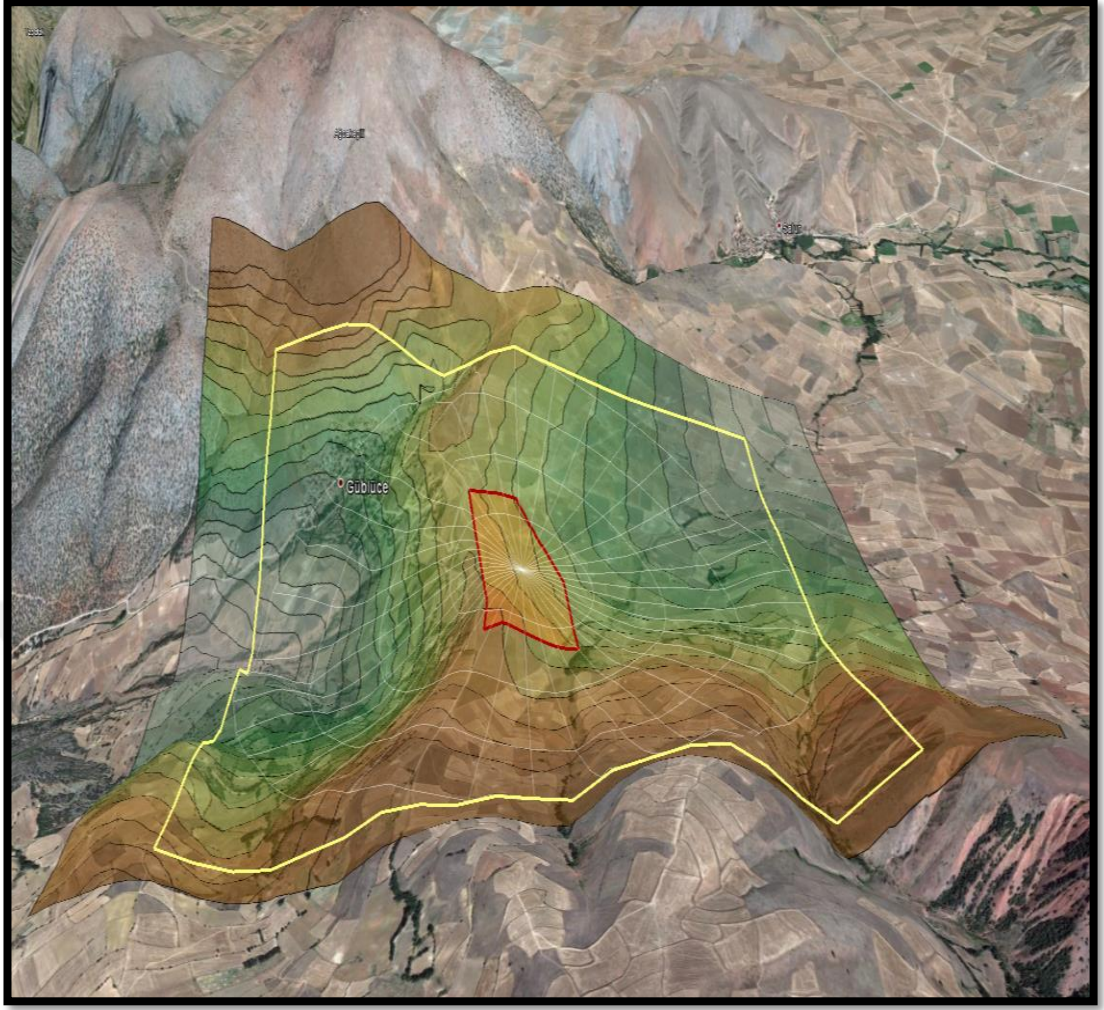
Elde edilen modelleme sonuçları, çalışma alanının çevresel etkilerinin bilimsel temellere dayalı olarak değerlendirilmesine olanak sağlamış ve gerekli çevresel yönetim stratejilerinin geliştirilmesine katkıda bulunmuştur. Modellemede kullanılan yöntem, bölgenin topografik yapısını, meteorolojik koşullarını ve kirleticilerin yayılma özelliklerini dikkate alarak, çalışmanın çevresel sürdürülebilirliği açısından kritik bilgiler sunmuştur.

Bu bağlamda, AERMOD modelleme çalışmaları, araştırmaya konu izin ve yönetim süreçlerinde temel teşkil edecek verilerin elde edilmesini sağlamış, aynı zamanda tesis faaliyete geçtiğinde yapılan ölçümlerle de model sonuçlarının doğrulanmasına olanak tanımıştır.

4.4.1 Modelleme çalışması

Yeryüzü şekilleri ve meteorolojik veriler, hava kirleticilerinin atmosfer içerisindeki dağılımını matematiksel olarak simüle eden hava kirliliği dağılım modellerinin geliştirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Bu modeller, kirleticilere ilişkin matematiksel eşitliklerin ve algoritmaların çözümü yoluyla çeşitli bilgisayar programları aracılığıyla oluşturulmaktadır (Simmonds vd., 2020).

Amerikan Çevre Koruma Ajansı (EPA) ve Amerikan Meteoroloji Topluluğu (AMS) tarafından tasarlanan AERMOD programı, emisyonların geniş bir coğrafi alandaki dağılımını hesaplayabilen, uluslararası alanda en çok kabul gören hava kalitesi dağılım modelidir. AERMOD'un temel yapısı incelendiğinde, modelin atmosferdeki kirletici dağılımını tahmin etmek için Gauss dispersiyon teorisine dayandığı görülmektedir (EPA, 2005). Modelleme çalışması kapsamında, araştırma konusu olan alanın tesis etki bölgesine ait topoğrafik haritası Şekil 4.4'te sunulmuştur. Bu harita, modelleme sürecinde kullanılacak arazi yapısını, yükseklik değişimlerini ve diğer topoğrafik özellikleri detaylı bir şekilde göstermektedir.



Şekil 4.4. Tesis etki alanına ait topoğrafik harita.

4.4.2 Modellemede kullanılan meteorolojik veri seti

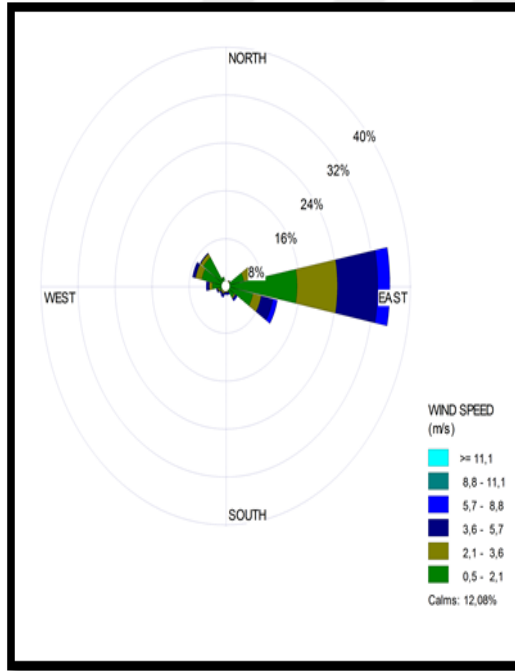
Bu çalışma kapsamında işletmenin bulunduğu bölgeye en yakın meteorolojik veriler, 17086 istasyon kodlu Tokat Meteoroloji İstasyonu'ndan temin edilmiştir. 2012 yılına ait bu istasyondan alınan meteorolojik veriler; sıcaklık, basınç, nem, rüzgâr hızı, rüzgâr yönü, bulutluluk değeri ve bulut taban yükseklikleri gibi önemli parametreleri içermektedir. İşletmenin bulunduğu bölgeye ait atmosferik yükseliş verileri ise Tokat il merkezinde ölçülmediğinden, Samsun'da bulunan meteoroloji istasyonundan alınmıştır.

Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne ait iki farklı meteoroloji istasyonundan elde edilen veriler, hava kalitesi modellemesi sürecinde kullanılmıştır. Bu kapsamda, istasyonlardan temin edilen meteorolojik veriler, öncelikle RAMMET programına işlenmiş ve ardından AERMOD programında kullanılabilecek uygun formata

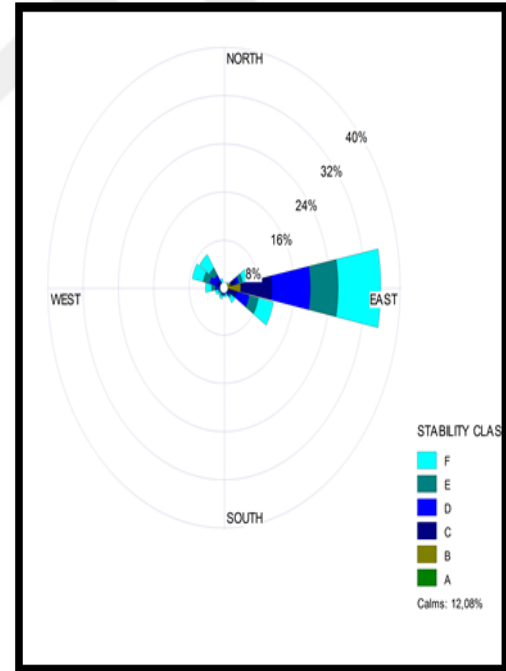
dönüştürülmüştür. AERMOD modeli, hava kirleticilerinin atmosferdeki dağılımını belirlemek amacıyla kullanılan ileri düzey bir dispersiyon modelidir ve doğru sonuçlar elde edebilmek için güvenilir meteorolojik verilere ihtiyaç duymaktadır.

Modelleme çalışmaları kapsamında, Tokat Meteoroloji İstasyonu'nda 1962-2012 yılları arasında toplanan uzun dönemli meteorolojik veriler analiz edilerek bölgenin rüzgâr profili oluşturulmuştur. Bu kapsamda, son on yıla (2004-2013) ait yıllık rüzgâr profilleri detaylı bir şekilde incelenmiş ve uzun yıllar boyunca hâkim rüzgâr yönüne en yakın verileri içeren yıl olarak 2004 yılı seçilmiştir. 2004 yılı verileri, bölgedeki genel atmosferik koşulları en iyi temsil eden dönem olarak değerlendirilmiştir.

AERMOD programına girilen verilere göre, 2012 yılı rüzgâr gülleri aşağıdaki gibi çizilmiştir. Rüzgâr gülleri, rüzgârın hangi yöne gittiğini, rüzgâr hızının ne olduğunu ve kararlılık sınıfını göstermektedir. Grafikler, rüzgâr hızlarını ve rüzgâr kararlılık sınıflarını yüzde olarak göstermektedir (MGM, 2022).



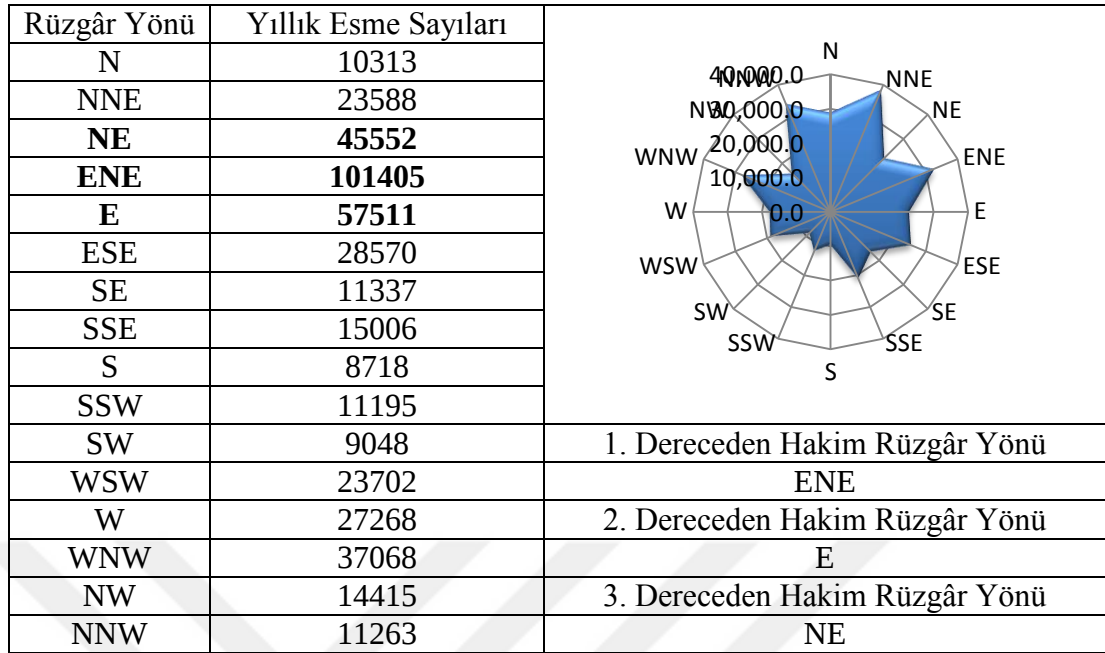
Şekil 4.6. Bölgenin 2012 yılına ait rüzgâr gülü.



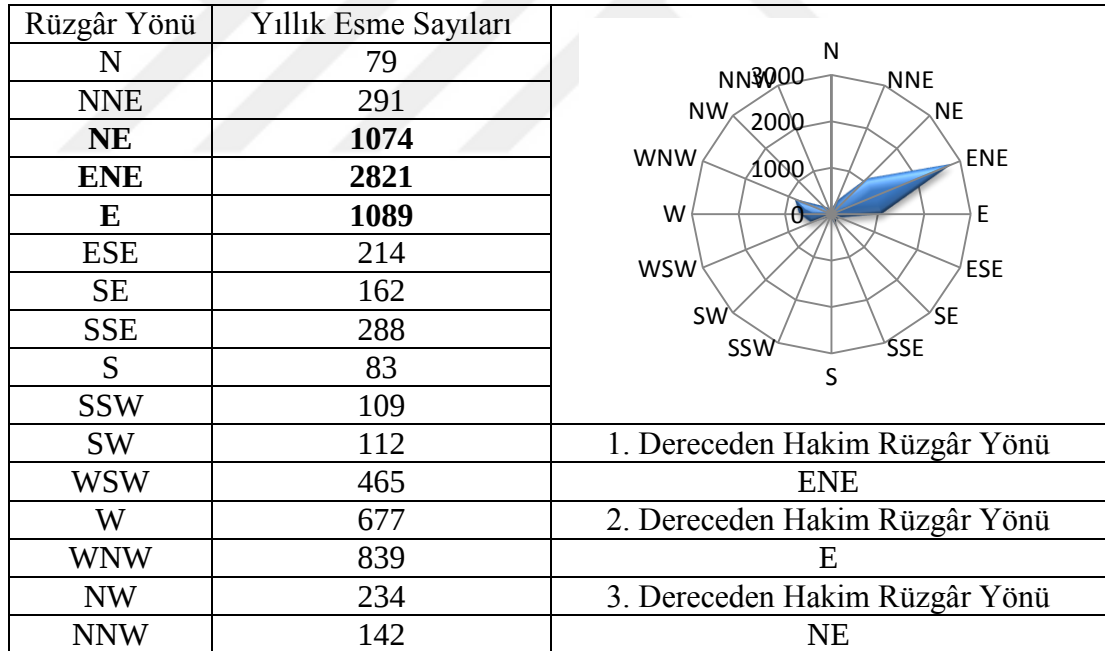
Şekil 4.5. Bölgenin 2012 yılına ait rüzgâr kararlılık sınıfları.

Çizelge 4.16'da 1962–2012 yılları arası toplam esme sayılarına göre rüzgâr diyagramı ve Çizelge 4.17'de 2004 yılı esme sayılarına göre rüzgâr diyagramı verilmiştir.

Çizelge 4.16. 1962–2012 yılları arası toplam esme sayılarına göre rüzgâr diyagramı.

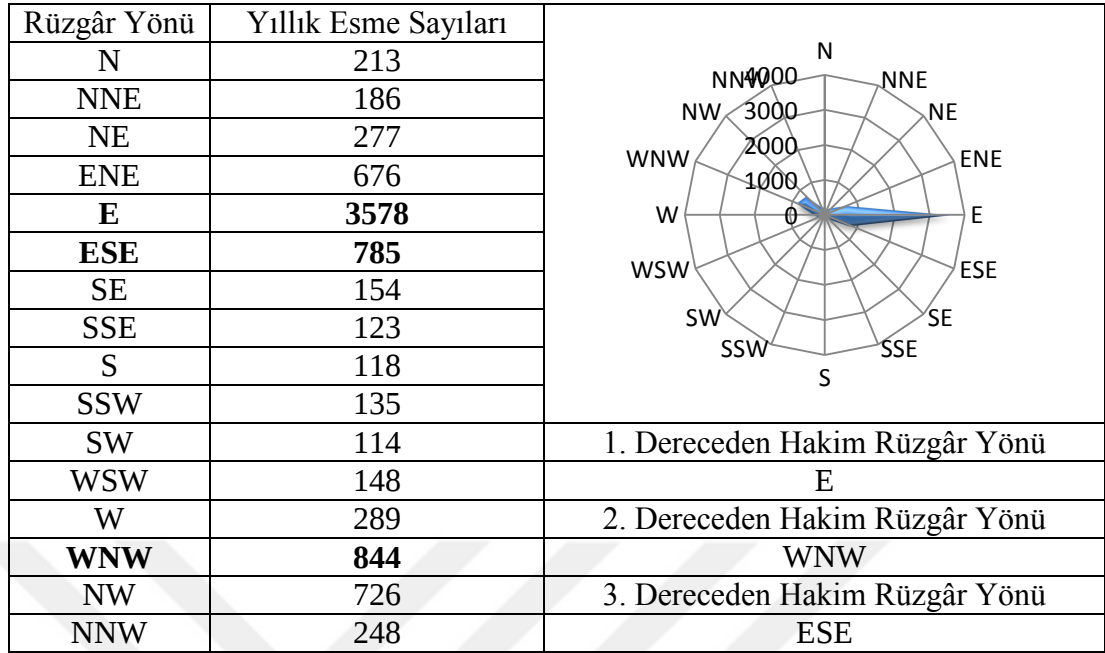


Çizelge 4.17. 2004 yılı esme sayılarına göre rüzgâr diyagramı.



Araştırma kapsamında belirlenen saha için Çizelge 4.18’de, 2012 yılına ait rüzgâr esme sayılarına göre oluşturulmuş rüzgâr diyagramı sunulmuştur. Bu diyagram, bölgedeki hâkim rüzgâr yönü, rüzgâr hızlarının dağılımı ve rüzgârın yıllık esme frekanslarını detaylı bir şekilde analiz etmek amacıyla hazırlanmıştır.

Çizelge 4.18. 2012 yılı esme sayılarına göre rüzgâr diyagramı.



4.4.3 Kaynak verileri ve alıcı bilgileri

Modellemede kullanılan kaynak verileri: İşletmenin toz yükü raporun 3.3 başlığı altında ayrıntılı olarak hesaplanmıştır. İşletmenin kaynak türü, baca dışı emisyon kaynakları olması nedeni ile alan kaynaktır. Alan kaynağın programa girilen kirletici yükü Çizelge 4.19’da verilmiştir.

Çizelge 4.19. Modellemede kullanılan kaynak veriler.

Alçı Taşı Ocağı ve Kırma Eleme Tesisi Alanı	16,25 hektar (162500 m ²)
Model için kullanılan Toz Kütlesel debi değeri (Senaryo 1)	7,87 kg/saat: 2,18 gr/sn
Model için kullanılan Toz Kütlesel debi değeri (Senaryo 2)	57,18 kg/saat: 15,883 gr/sn
Birim alan (m ²) başına düşen Toz Miktarı (Senaryo 1)	0,0000134 gr/sn*m ²
Birim alan (m ²) başına düşen Toz Miktarı (Senaryo 2)	0,0000977 gr/sn*m ²

Modellemede kullanılan alıcı bilgileri: Çalışma alanı Tokat ili, Zile ilçesi, Güblüce köyü civarında bulunmaktadır. Faaliyet alanının kuzey batısında Güblüce köyü bulunmaktadır. Araştırma konu alanının en yakın yerleşim yeri, ocak sahasına 600 metre mesafede bulunan Güblüce köyüne ait konut olup Çizelge 4.20’de verilmiştir.

Çizelge 4.20. En yakın hassas alıcılar ve koordinatları.

Nokta Adı	Koordinat	
	X	Y
Güblüce Köyü 1. Nokta	726795	4447455
Güblüce Köyü 2. Nokta	726759	4446789

4.4.4 Modellemede kullanılan senaryolar

Bu çalışmada, Alçıtaşı ocağı ve kırma-eleme tesisinden kaynaklanacak toz emisyonlarının hava kalitesine etkileri, uluslararası kabul görmüş AERMOD dağılım modeli kullanılarak değerlendirilmiştir. Tesisten kaynaklanan toz emisyonlarının dağılımını daha iyi anlayabilmek amacıyla, tesisin çalışma teknolojisi ve bulunduğu bölgenin yapısına bağlı olarak iki farklı senaryo oluşturulmuştur. Bu senaryolar, farklı işletme koşulları altında emisyonların bölge üzerindeki etkilerini simüle etmek ve karşılaştırmak amacıyla belirlenmiştir.

Senaryo 1: Bu senaryoda, tesisin kontrollü çalışma koşulları altında tesisten kaynaklanacak toz emisyonlarının dağılımı incelenmiştir. Kontrollü çalışma koşulları, tesisin standart işletme koşullarında çalıştığı ve emisyonların belirli filtreleme ve kontrol mekanizmaları ile sınırlı olduğu bir durumu temsil etmektedir. Bu senaryo, tesisin hava kalitesine olan etkilerinin minimumda tutulduğu bir durumu simüle etmektedir.

Senaryo 2: Bu senaryoda ise, tesisin kontrolsüz çalışma koşullarındaki emisyon dağılımı incelenmiştir. Bu durumda, kontrol mekanizmalarının devre dışı kaldığı veya etkisiz olduğu kabul edilerek, en olumsuz koşullarda toz emisyonları hesaplanmıştır. Bu senaryo, kontrolsüz ve azami toz emisyonlarının bölge üzerindeki etkilerini simüle etmektedir.

Her iki senaryo, tesisten kaynaklanabilecek emisyonların bölge üzerindeki etkilerini değerlendirmek amacıyla farklı koşullar altında simülasyonlar yaparak karşılaştırılmaktadır. Böylece, tesisin farklı çalışma koşullarının hava kalitesine olan etkisi, daha net bir şekilde ortaya konulmaktadır (U.S. Environmental Protection Agency [EPA], 2014; T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2020).

Alçıtaşı ocağı ve kırma-eleme tesisinden kaynaklanan toz emisyonlarının hava kalitesine etkisini, AERMOD dağılım modeli kullanarak değerlendirmek amacıyla hazırlanmıştır. Modelleme çalışmaları için 2012 yılına ait saatlik meteorolojik veriler, Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilerek kullanılmıştır. Bu meteorolojik veriler, modellemenin doğruluğunu sağlamak ve bölgedeki atmosferik koşulları daha iyi yansıtmak amacıyla önemli bir veri kaynağı oluşturmuştur. Modelleme, Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (SKHKKY) Ek-2'de belirtilen standartlara ve zaman dilimlerine uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, modelleme sırasında kullanılan meteorolojik veriler, Çizelge 4.21'de sunulmuştur ve bu veriler doğrultusunda yapılan hesaplamalar, hava kalitesinin ve toz emisyonlarının bölgesel etkilerini anlamak açısından kritik öneme sahiptir.

Çizelge 4.21. Modellemede kullanılan meteorolojik veriler.

İstasyon Kodu - Adı	Zaman Aralığı	Yıl	Ölçülen Parametreler
17086 – Tokat	Saatlik	2012	Hava nemi, rüzgâr hızı ve yönü, atmosfer basıncı, sıcaklık, bulut taban yüksekliği ve genel bulutluluk oranı.
17030 – Samsun	Günlük	2012	Karışım Yüksekliği

Bu çalışma kapsamında, Alçıtaşı ocağı ve kırma-eleme tesisinden kaynaklanacak toz emisyonlarının dağılımı, AERMOD modelini kullanarak 1 km yarıçapındaki etki alanında simüle edilmiştir. Modelleme çalışması, tesisin çevresel etkilerini daha doğru bir şekilde analiz edebilmek amacıyla bu etki alanına odaklanmıştır. Bu etki alanı, toz emisyonlarının atmosfere yayılmasını, bölgedeki hava kalitesini ve çevresel etkilerini değerlendirebilmek için yeterli büyüklükte bir alan olarak belirlenmiştir.

Tesisten Kaynaklanan Emisyonların Durumu: Tokat ili Zile ilçesi Güblüce köyü mevkiinde, IV. Grup 900 hektarlık işletme ruhsatlı alanın 16,25 hektarlık bölümünde bir maden firması tarafından Alçı Taşı Ocağı ve Kırma Eleme Tesisi işletilmesi planlanmaktadır.

Emisyonların kütesel debi hesaplamaları, Türkiye'deki çevresel düzenlemelere uygun olarak yapılmıştır. Bu hesaplamalar, Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (SKHKKY) Ek-2'de belirtilen “Emisyon Faktörleri” esas alınarak gerçekleştirilmiştir. Emisyon faktörleri, belirli bir faaliyet türünün belirli bir süre

boyunca atmosfere saldığı kirletici maddelerin miktarını hesaplamaya yarayan oranlardır. Bu faktörler, faaliyet türüne, kullanılan teknolojiye ve emisyon kontrol önlemlerine göre değışkenlik gösterebilir. Yönetmelik hükümlerine uygun olarak, her bir emisyon kaynağından çıkacak toz emisyonlarının kütlesele debileri bu faktörler kullanılarak hesaplanmış olup Çizelge 4.22’ de verilmiştir.

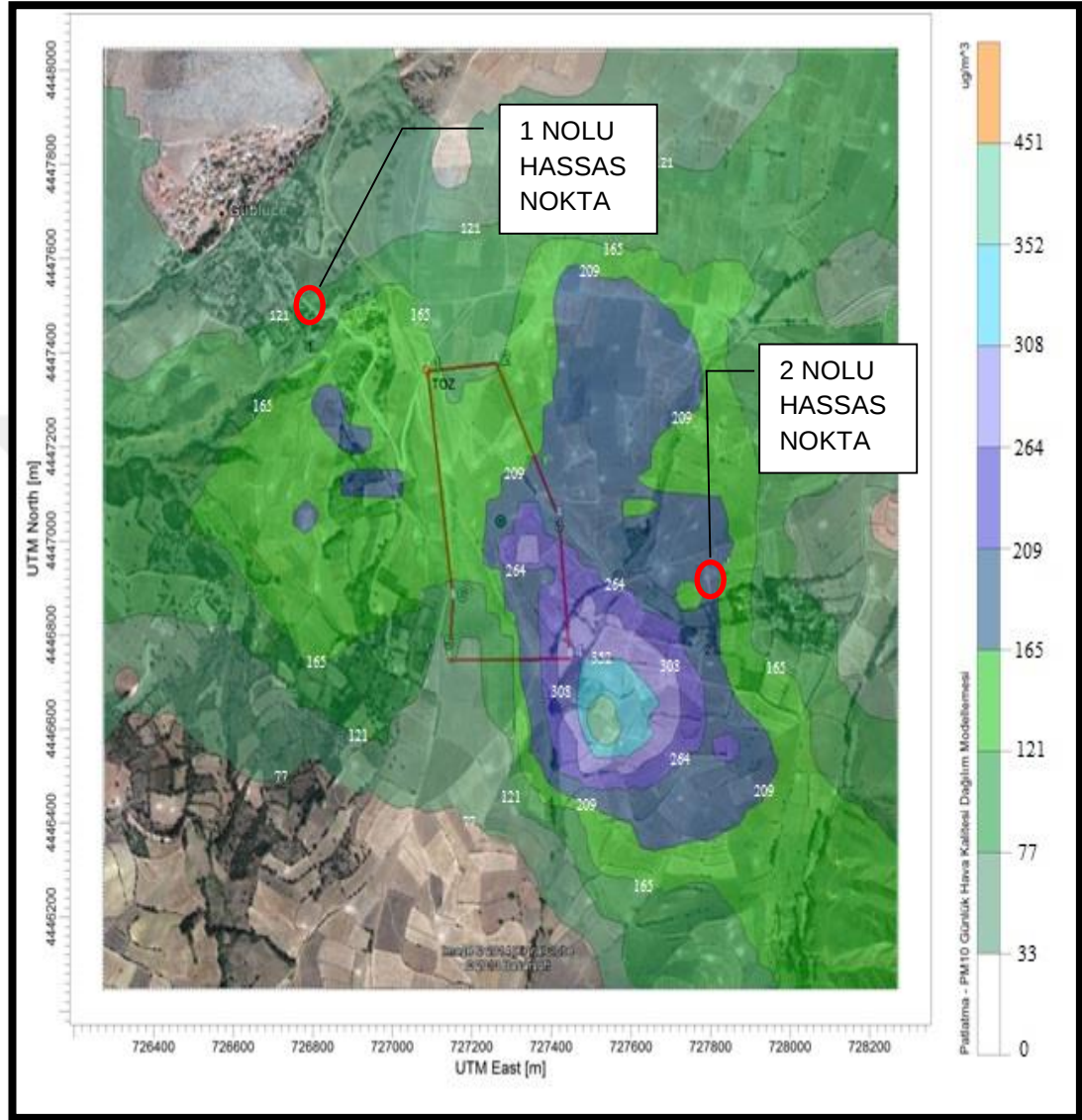
Çizelge 4.22. Üretimden kaynaklanacak emisyonların kütlesele debileri.

Kaynak	No	İşlem	Kontrollü Toz Emisyonu debisi (kg/saat)	KontROLSÜZ Toz Emisyon debisi (kg/saat)
Bitkisel Toprak Dekapajı	1	Sökme	0,082	0,041
	2	Yükleme	0,0325	0,01625
	3	Nakliye	0,036	0,018
	4	Boşaltma	0,0325	0,01625
	5	Depolama	0,048	0,024
		TOPLAM	0,231	0,1155
Ocak Faaliyetleri (Cevher Üretimi)	6	Sökme	1,56	0,78
	7	Yükleme	0,6253	0,3125
	8	Nakliye	0,35	0,126
Kırma-Eleme Tesisi Faaliyetleri	9	Bunkere Boşaltma	0,625	0,312
	10	1. Kırma	15,2	1,52
	11	2. Kırma	32,97	3,29
	12	Yükleme	0,625	0,312
	13	Stok Alanına Nakliye	0,84	0,42
	14	Stok Alanına Boşaltma	0,625	0,312
Ocak Faaliyetleri (Pasa Üretimi)	15	Yükleme	0,0625	0,03125
	16	Nakliye	0,06	0,03
	17	Boşaltma	0,0625	0,03125
		TOPLAM	53,6	7,477
Cevher Depolama	18	Depolama	0,142	0,0713
		TOPLAM	0,142	0,0713
Pasa Depolama	19	Depolama	0,135	0,067
		TOPLAM	0,135	0,067
Patlatma	20	Patlatma	540,8	0,37
		TOPLAM	540	0,37
TOPLAM		TOPLAM	54,108	7,73

Sonuç olarak, modelleme çalışmaları ve emisyon hesaplamaları, alçıtaşı ocağının ve kırma-eleme tesisinin çevresel etkilerini doğru bir şekilde değerlendirebilmek için gerekli olan temel verileri sağlamaktadır. Bu veriler, tesisin hava kalitesine etkilerinin minimuma indirilmesi ve çevreye zarar vermemesi adına alınması gereken önlemler için yol gösterici olacaktır.

4.4.5 Patlatma modelleme sonuçları

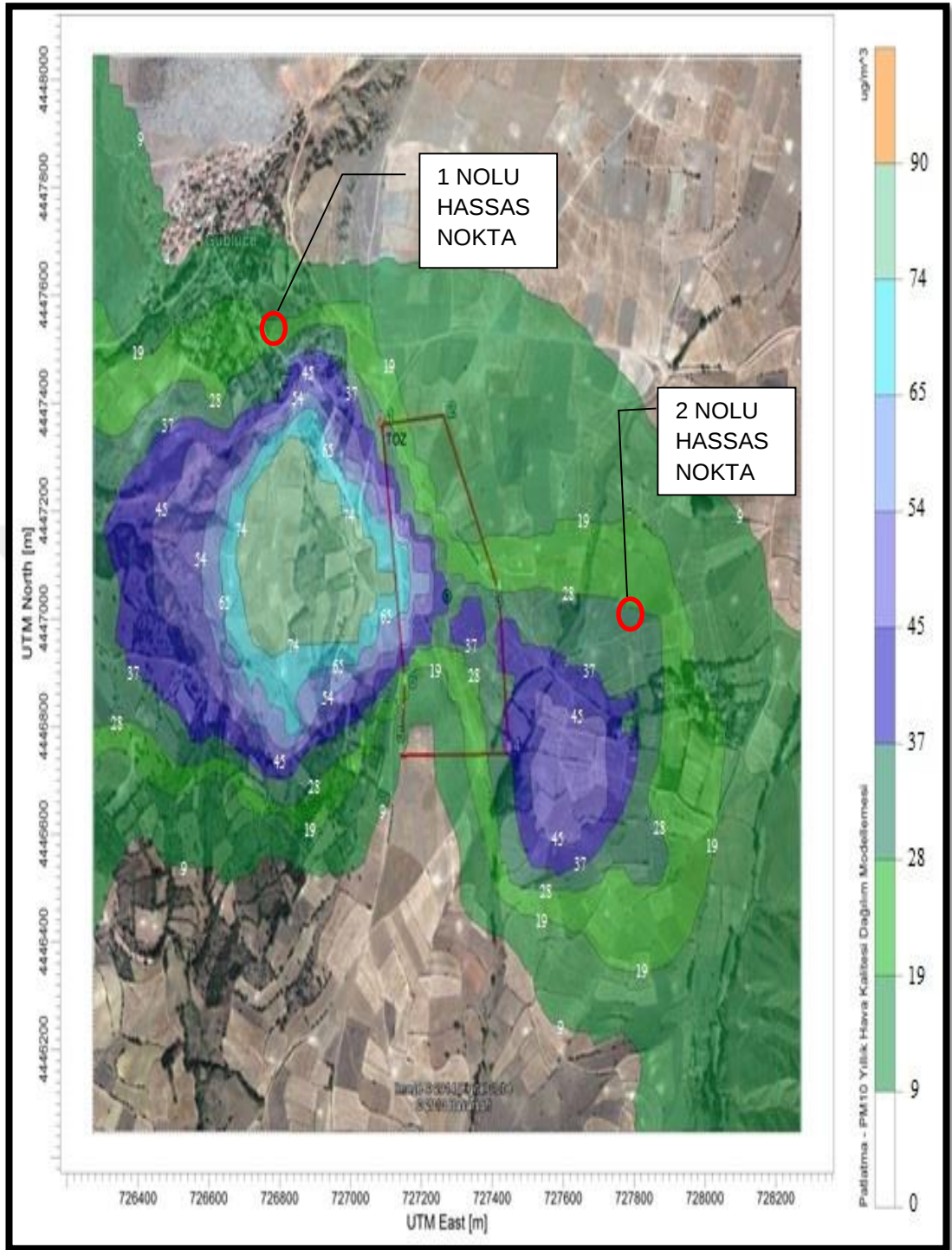
PM₁₀ emisyonlarının günlük dağılımı Şekil 4.7’de verilmiştir.



Şekil 4.7. Patlatma günlük PM₁₀ dağılımı.

Çalışma alanındaki toz emisyonlarının etkisini değerlendirmek amacıyla yapılan modelleme sonucunda, günlük maksimum konsantrasyon değeri 451 µg/m³ olarak hesaplanmıştır.

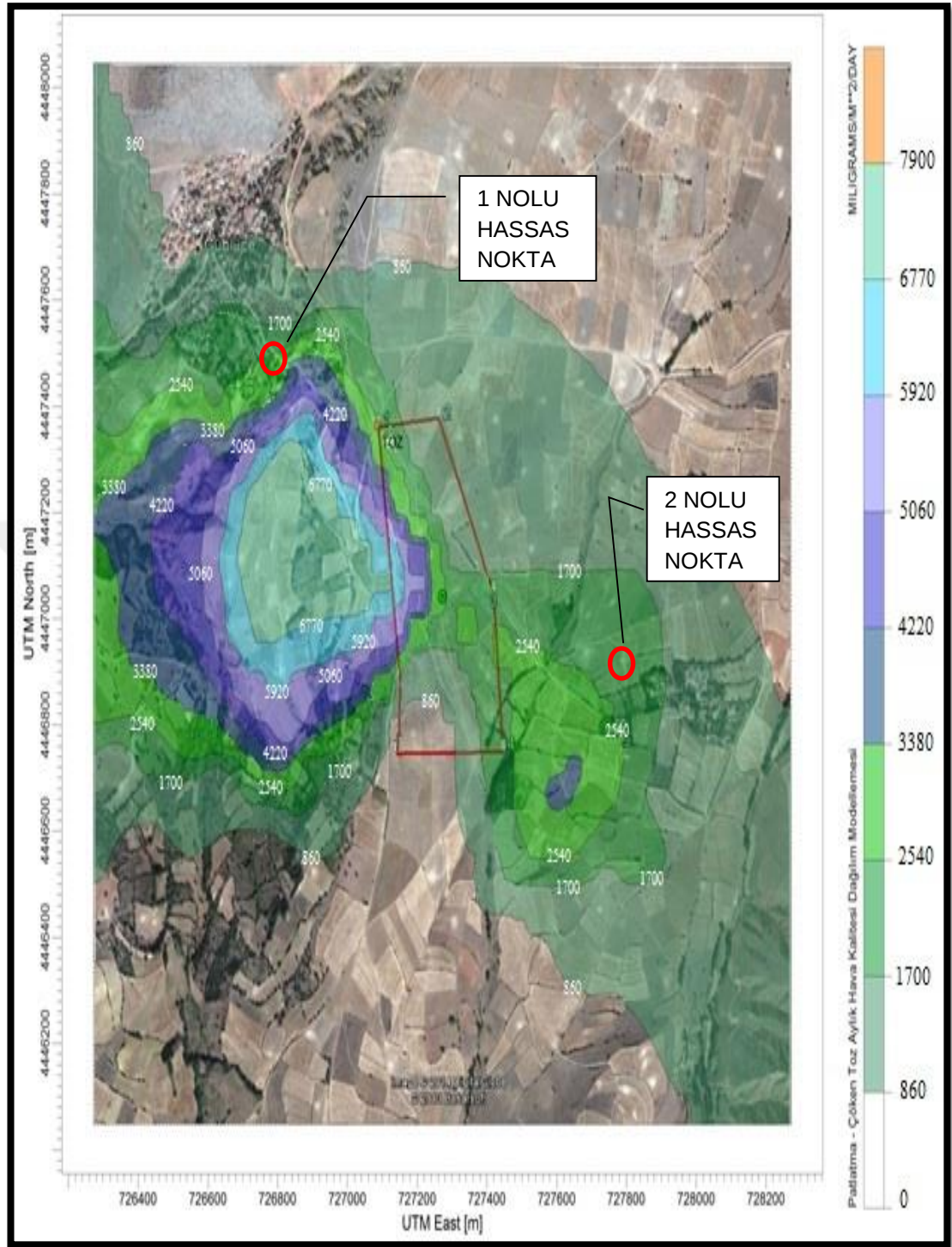
PM₁₀ emisyonlarının yıllık dağılımı Şekil 4.8’de verilmiştir.



Şekil 4.8. Patlatma yıllık PM₁₀ dağılımı.

Çalışma alanındaki toz emisyonlarının etkisini değerlendirmek amacıyla yapılan modelleme sonucunda, yıllık maksimum (UVS) konsantrasyon değeri 90 µg/m³ olarak hesaplanmıştır.

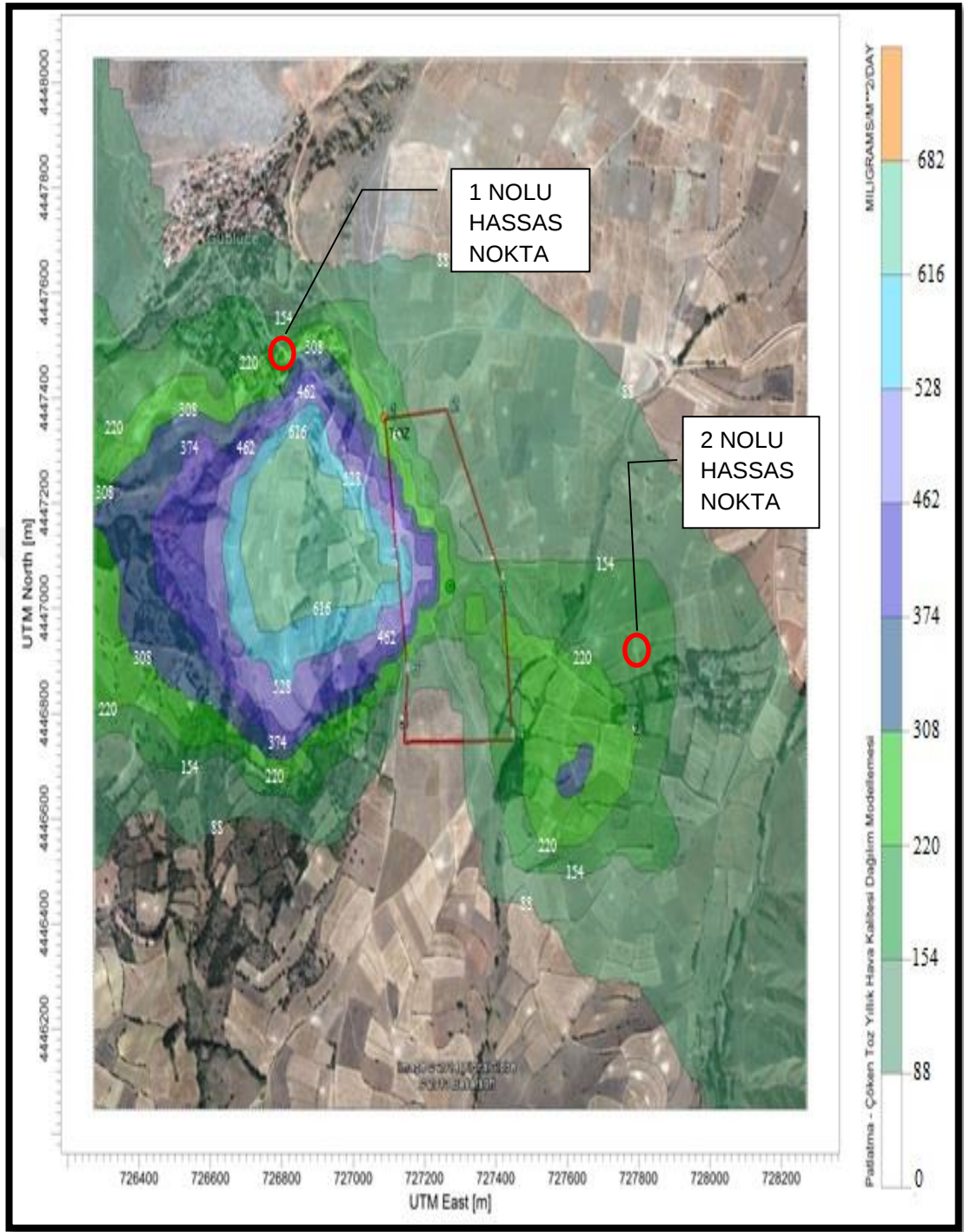
Çöken toz emisyonlarının aylık dağılımı Şekil 4.9’da verilmiştir.



Şekil 4.9. Patlatma aylık çöken toz dağılımı.

Çalışma alanındaki toz emisyonlarının etkisini değerlendirmek amacıyla yapılan modelleme sonucunda, aylık maksimum çökme değeri $7900 \text{ mg/m}^2.\text{gün}$ olarak hesaplanmıştır.

Çöken toz emisyonlarının yıllık dağılımı Şekil 4.10’da verilmiştir.

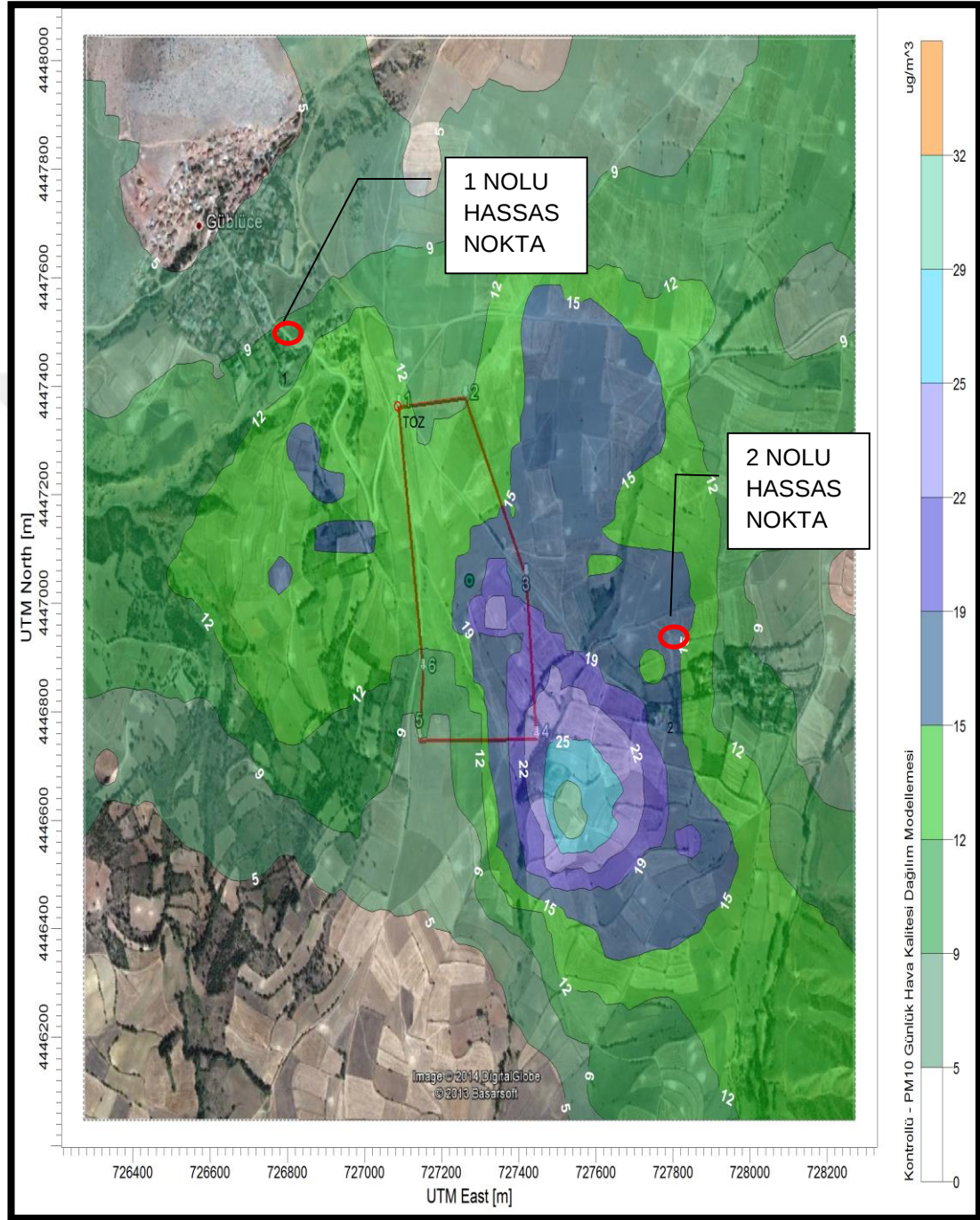


Şekil 4.10. Patlatma yıllık çöken toz dağılımı.

Çalışma alanındaki toz emisyonlarının etkisini değerlendirmek amacıyla yapılan modelleme sonucunda, yıllık maksimum (UVS) çökmes değeri $682 \text{ mg/m}^2.\text{gün}$ olarak hesaplanmıştır.

4.4.6 Senaryo 1 modelleme sonuçları

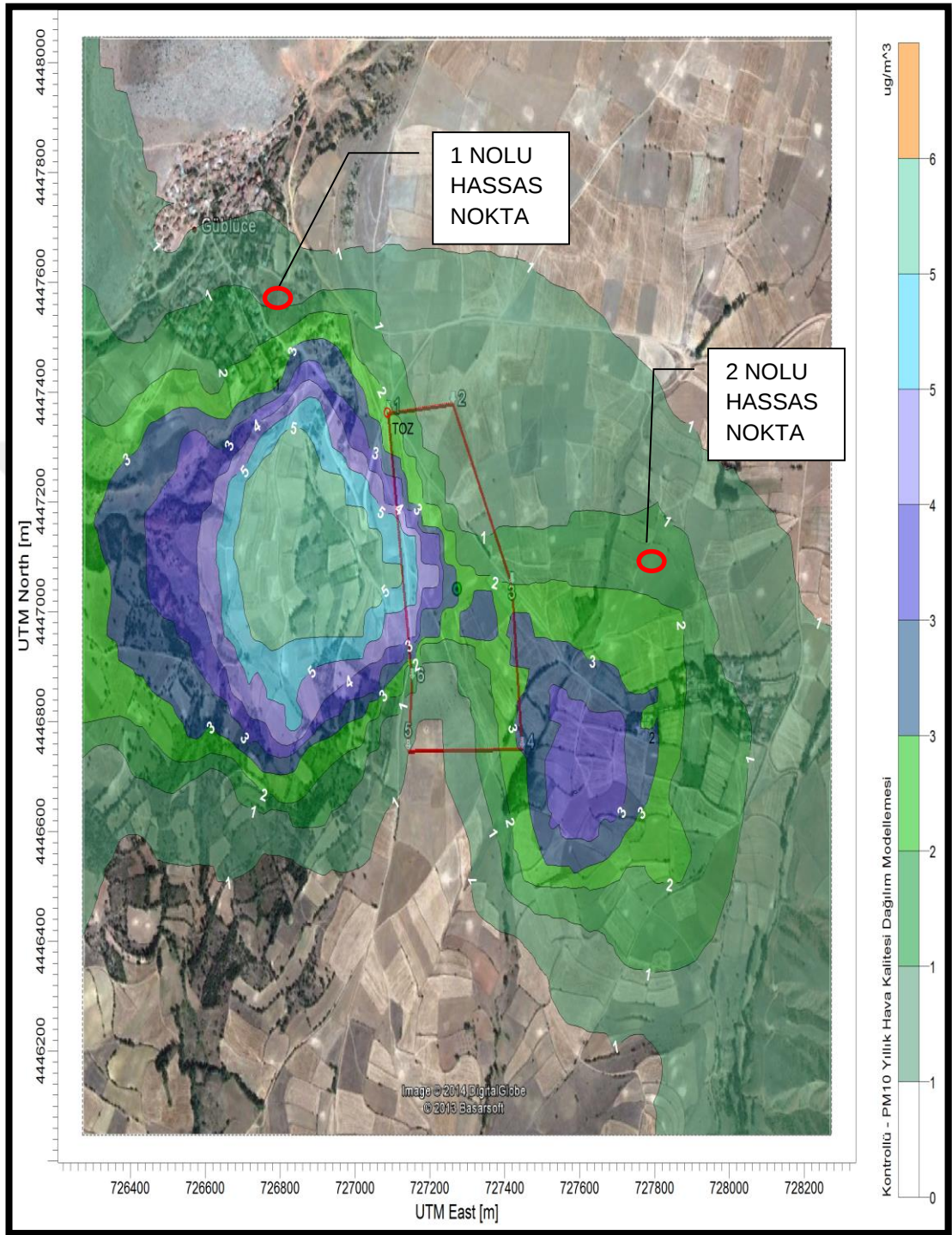
PM₁₀ emisyonlarının günlük dağılımı Şekil 4.11’de verilmiştir.



Şekil 4.11. Senaryo 1 – günlük PM₁₀ dağılımı.

Çalışma alanındaki toz emisyonlarının etkisini değerlendirmek amacıyla yapılan modelleme sonucunda, günlük maksimum (KVS) konsantrasyon değeri 32 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak hesaplanmıştır.

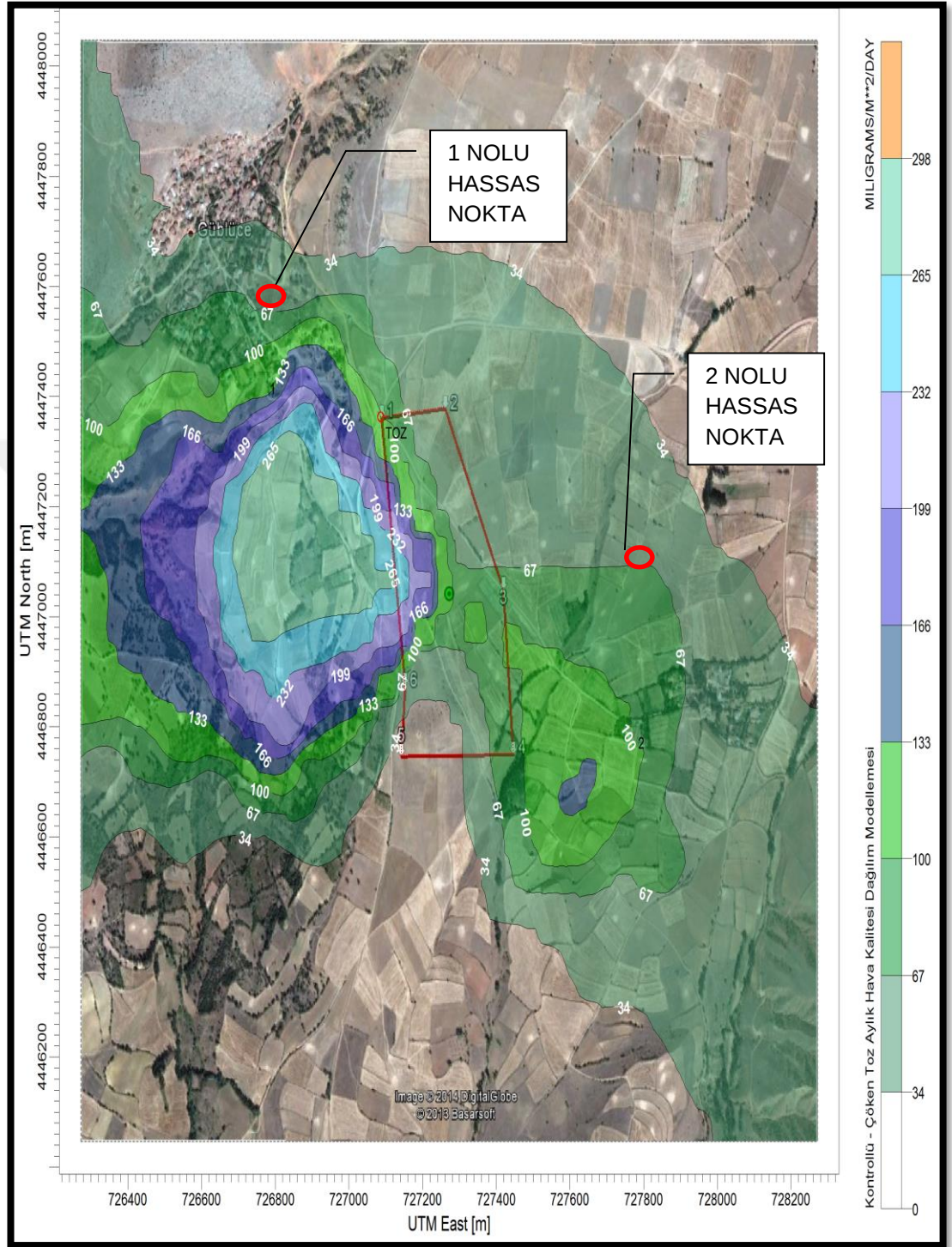
PM₁₀ emisyonlarının yıllık dağılımı Şekil 4.12’de verilmiştir.



Şekil 4.12. Senaryo 1 – yıllık PM₁₀ dağılımı.

Çalışma alanındaki toz emisyonlarının etkisini değerlendirmek amacıyla yapılan modelleme sonucunda, yıllık maksimum (UVS) konsantrasyon değeri 6 µg/m³ olarak hesaplanmıştır.

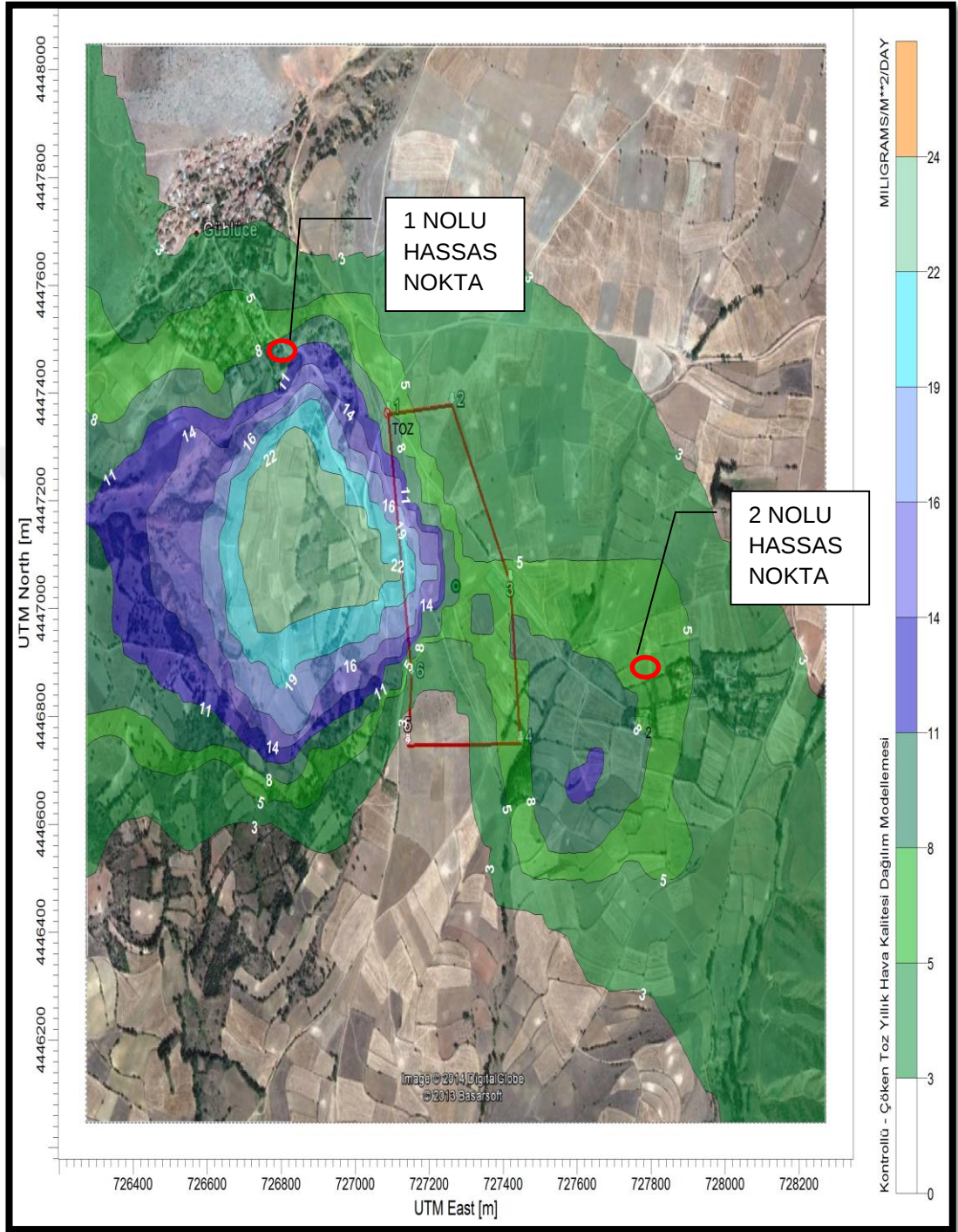
Çöken toz emisyonlarının aylık dağılımı Şekil 4.13’de verilmiştir.



Şekil 4.13. Senaryo 1 – aylık çöken toz dağılımı.

Çalışma alanındaki toz emisyonlarının etkisini değerlendirmek amacıyla yapılan modelleme sonucunda, aylık maksimum çökme değeri 298 mg/m².gün olarak hesaplanmıştır.

Çöken toz emisyonlarının yıllık dağılımı Şekil 4.14’de verilmiştir.

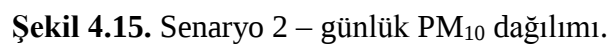


Şekil 4.14. Senaryo 1 – yıllık çöken toz dağılımı.

Çalışma alanındaki toz emisyonlarının etkisini değerlendirmek amacıyla yapılan modelleme sonucunda, yıllık maksimum (UVS) çökelme değeri 24 mg/m².gün olarak hesaplanmıştır.

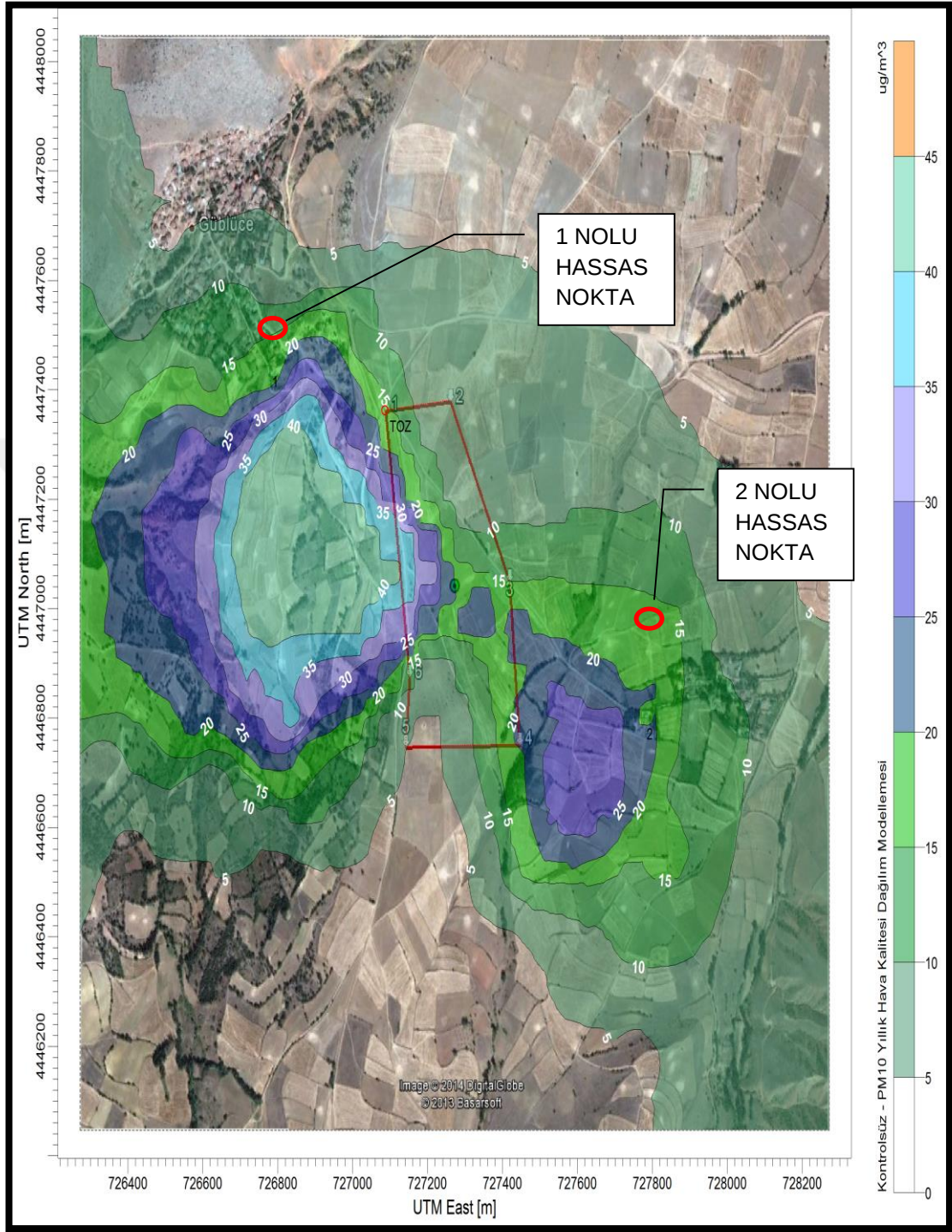
PM₁₀ emisyonlarının günlük dağılımı Şekil 4.15’de verilmiştir.

PM₁₀ emisyonlarının günlük dağılımı Şekil 4.15’de verilmiştir.



Çalışma alanındaki toz emisyonlarının etkisini değerlendirmek amacıyla yapılan modelleme sonucunda, günlük maksimum (KVS) konsantrasyon değeri $233 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak hesaplanmıştır.

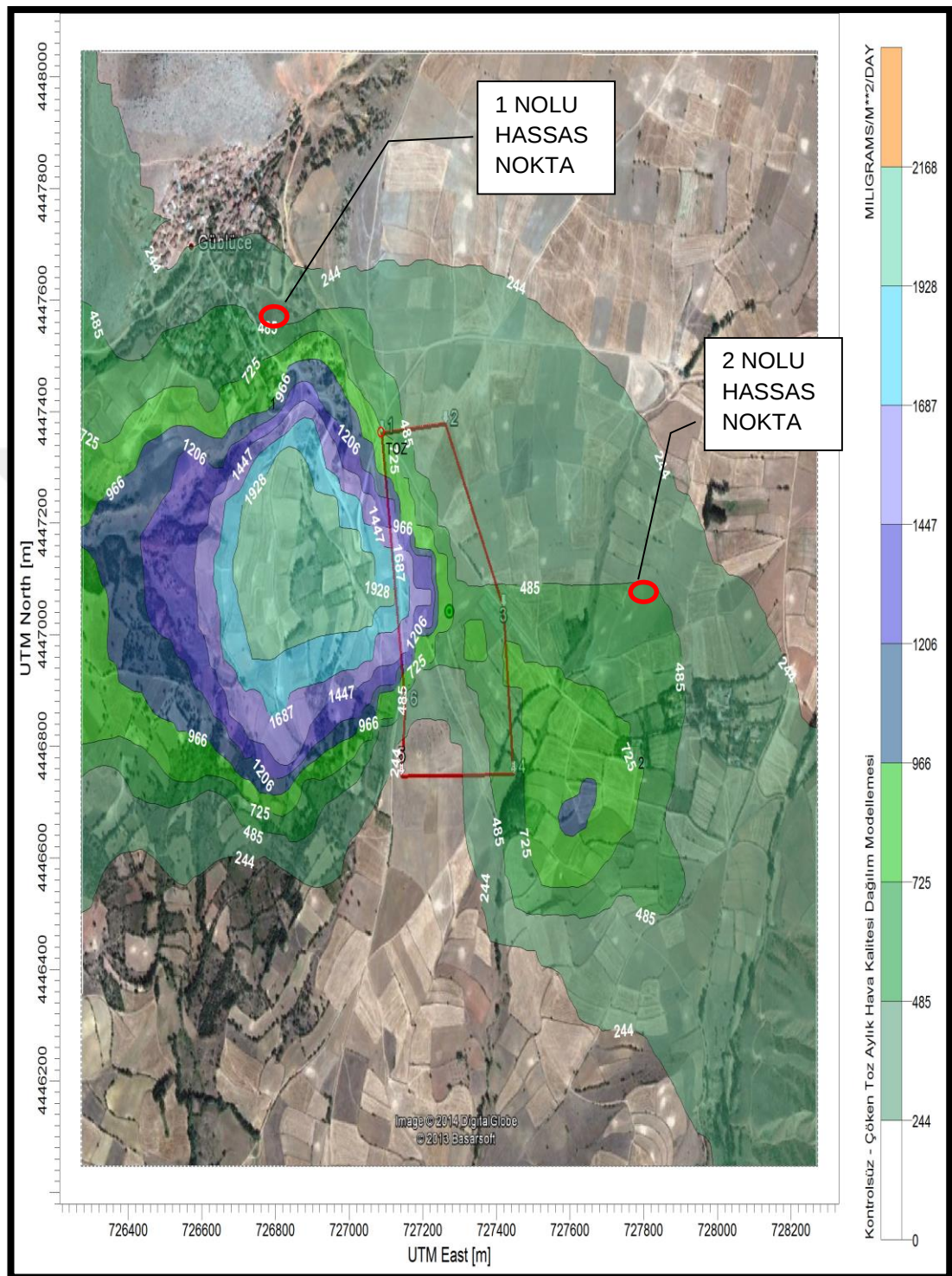
PM₁₀ emisyonlarının yıllık dağılımı Şekil 4.16’da verilmiştir.



Şekil 4.16. Senaryo 2 – yıllık PM₁₀ dağılımı.

Çalışma alanındaki toz emisyonlarının etkisini değerlendirmek amacıyla yapılan modelleme sonucunda, yıllık maksimum konsantrasyon değeri 45 µg/m³ olarak hesaplanmıştır.

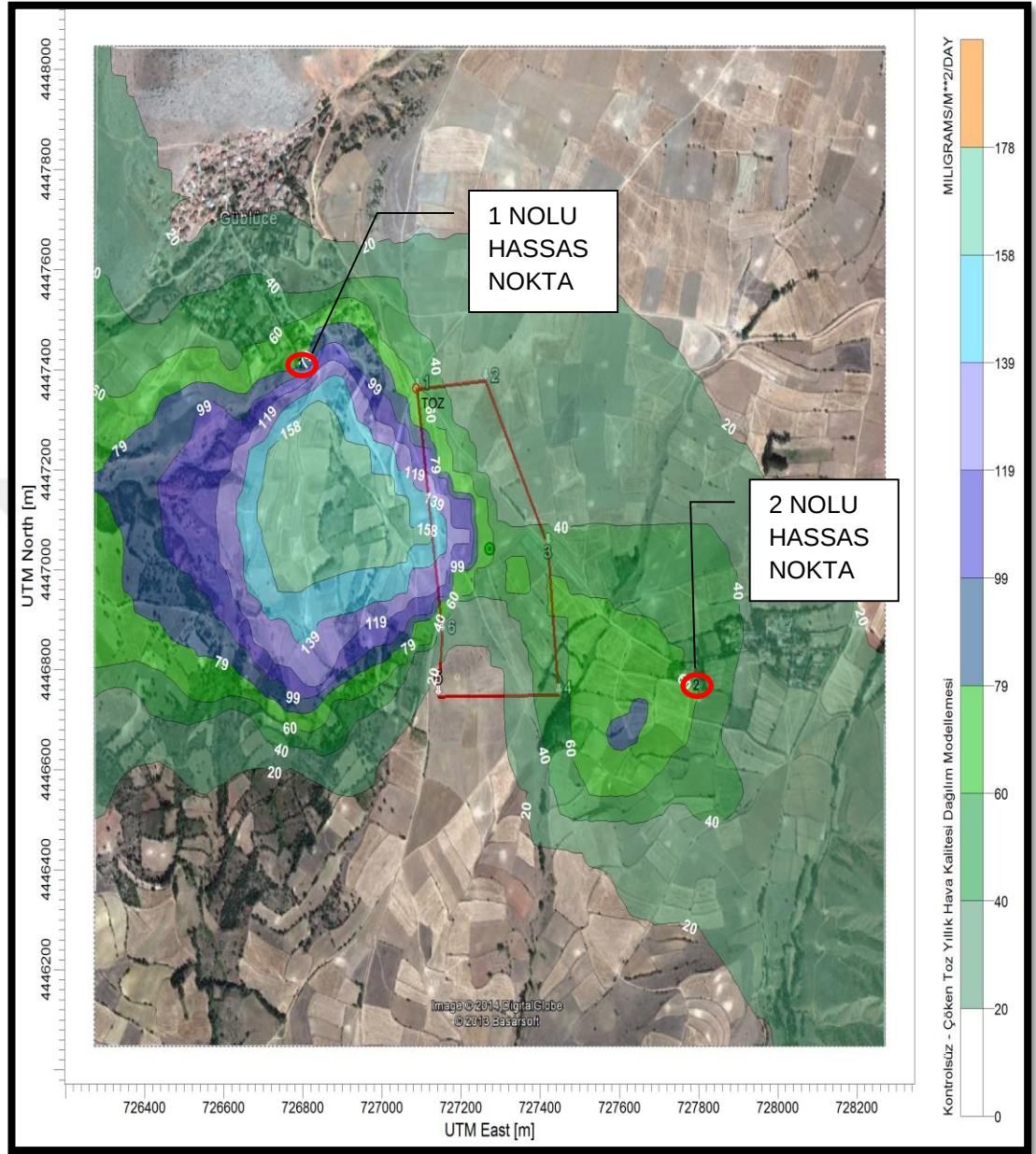
Çöken toz emisyonlarının aylık dağılımı Şekil 4.17’de verilmiştir.



Şekil 4.17. Senaryo 2 – aylık çöken toz dağılımı.

Çalışma alanındaki toz emisyonlarının etkisini değerlendirmek amacıyla yapılan modelleme sonucunda, aylık maksimum çökelme değeri 315 mg/m².gün olarak hesaplanmıştır.

Çöken toz emisyonlarının yıllık dağılımı Şekil 4.18’de verilmiştir.



Şekil 4.18. Senaryo 2 – yıllık çöken toz dağılımı.

Çalışma alanındaki toz emisyonlarının etkisini değerlendirmek amacıyla yapılan modelleme sonucunda, yıllık maksimum (UVS) çökelme değeri $178 \text{ mg/m}^2 \cdot \text{gün}$ olarak hesaplanmıştır.

Tesisin hava kirlenmesine katkı değerleri ve alıcı noktaların sınır değerler ile karşılaştırılması kapsamında Tesisten kaynaklanacak toz emisyonunun, Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği (SKHKK) Ek-2 kapsamında yer alan “Tablo 2.2: Tesis Etki Alanında Uzun Vadeli, Kısa Vadeli Sınır Değerler ve

Kademeli Azaltım Tablosu'na göre değerlendirilmesi yapılmıştır. Bu değerlendirme, Çizelge 4.23'de sunulmuştur.

Bu tablo ve çizelgeler, tesisten kaynaklanan emisyonların çevreye olan etkilerini yönetmeliklerde belirtilen sınır değerlerle karşılaştırarak değerlendirir ve tesisin emisyon sınırlarına uygunluğunu ortaya koyar.

Patlatma işlemleri dışında oluşan PM₁₀ ve çöken toz sonuçlarının karşılaştırılması Çizelge 4.23'de verilmiştir.

Çizelge 4.23. Patlatma işlemleri dışında oluşan PM₁₀ ve çöken toz sonuçlarının karşılaştırılması

Parametre	Süre	Model Sonucu Değer [µg/m³]		Yıllara göre Sınır Değerler		
				2018	2019-2023	2024 Sonrası
PM 10 (AERMOD)	KVS Günlük	Senaryo 1	32	60	50	50
		Senaryo 2	233			
	UVS Yıllık	Senaryo 1	6	44	40	40
		Senaryo 2	45			
Parametre	Süre	Sınır değer [mg/m2 gün]		Yıllara göre Sınır Değerler		
				2018	2019-2023	2024 Sonrası
Çöken Toz (AERMOD)	KVS Aylık	Senaryo 1	298	390	390	390
		Senaryo 2	315			
	UVS Yıllık	Senaryo 1	24	210	210	210
		Senaryo 2	178			

KVD (Kısa Vadeli Değer): Maksimum günlük ortalama değerler veya istatistik olarak bütün ölçüm sonuçları sayısal değerlerinin büyüklüğüne göre dizildiğinde, ölçüm sonuçlarının % 95'ine tekabül eden değerdir.

*KVS (Kısa Vadeli Sınır Değer): Maksimum günlük ortalama değerleri veya sayısal değerlerinin büyüklüğüne göre dizildiğinde, istatistik olarak bütün ölçüm sonuçlarının % 95'ine tekabül eden değer olan ve SKHKKY EK-2 Tablo 2.2'de verilen değeri aşmaması gereken değerdir.

UVD (Uzun Vadeli Değer): Yapılan bütün ölçüm sonuçlarının aritmetik ortalaması olan değerdir.

*UVS (Uzun Vadeli Sınır Değer): Yapılan bütün ölçüm sonuçlarının aritmetik ortalaması olan ve SKHKKY-EK-2 Tablo 2.2’de verilen değeri aşmaması gereken değerdir.

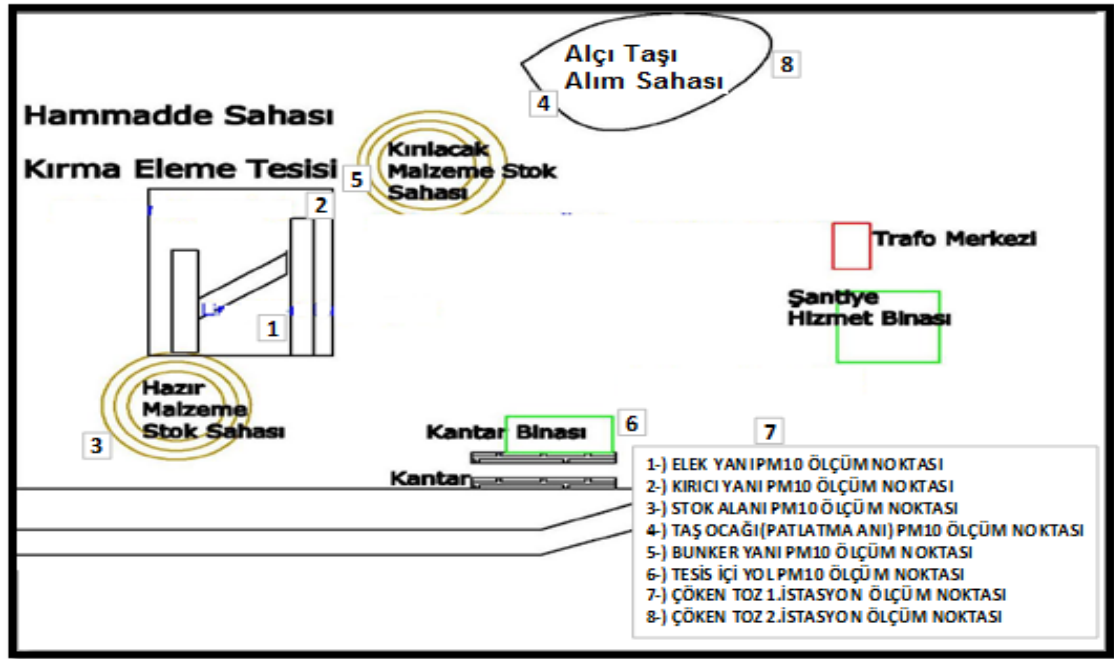
Çizelge 4.23’de modelleme ve ölçüm sonuçlarına bakıldığında üretim faaliyetleri sonucunda elde edilen PM ve çöken toz konsantrasyonları bütün sınır değerlerin altında kalmaktadır. Bununla birlikte pm konsantrasyonları için SKHKKY sınır değeri olan $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ aşan değerler modelleme çalışmasında değerlendirilmiştir. SKHKKY’de PM₁₀ için “bir yılda 35 defadan fazla aşılmaz” ibaresi yer almaktadır.

Çizelge 4.23’de görüleceği üzere patlatma işlemleri dışında oluşan toz emisyonlarında modelleme çalışmaları senaryo-1 diye bahsedilen kontrollü toz modellemesi senaryo-2 diye bahsedilen kontrolsüz toz modellemesidir. Kontrollü toz modellemesi baz alındığında oluşan Günlük KVS PM₁₀ değeri $32 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ve yıllık UVS değeri $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olup sahada ölçülen Günlük KVS PM₁₀ değeri $92,65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ve yıllık UVS değeri $5,33 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olduğu görülmektedir. Sonuç olarak Modelleme çalışmasında ve sahada ölçülen sonuçlar karşılaştırıldığında PM10 Yıllık UVS değerlerinin birbirine çok yakın olduğu ve uyumlu çalıştığı gözlenmektedir. Ancak günlük PM₁₀ KVS değeri için yaklaşık olarak model ve ölçüm sonuçlarında 3 katlık bir fark olduğu gözlenmektedir.

Aynı şekilde kontrollü toz modellemesi Çöken toz değerleri ile kıyaslandığında Aylık KVS değeri $298 \text{ mg}/\text{m}^2$ ve Yıllık UVS değeri $24 \text{ mg}/\text{m}^2$ gün olup sahada ölçülen Aylık KVS değeri $287,06 \text{ mg}/\text{m}^2$ ve Yıllık UVS değeri $47,85 \text{ mg}/\text{m}^2$ olduğu görülmektedir.

4.5 Hava Emisyon Ölçüm Raporu

Tokat ili, Zile ilçesi, Güblüce köyü sınırlarında yer alan alçıtaşı işletme ruhsatına sahip sahada, bir maden firması tarafından yıllık 100.048 ton alçıtaşı üretimi gerçekleştirilmektedir. Bu üretim, alçıtaşı madenciliği kapsamında bölgenin ekonomik faaliyetleri arasında önemli bir yer tutmakta olup, çevresel etkileri de dikkate alınarak yürütülmektedir.



Şekil 4.19. Faaliyet sahasına ait vaziyet planı ve ölçüm noktaları.

Tesis içi gerçekleştirilen çevresel ölçümler kapsamında, 6 farklı noktada PM₁₀ partikül madde ölçümleri yapılmıştır. Bu ölçümler, tesisin hava kalitesi üzerindeki etkilerini değerlendirmek ve emisyon kaynaklarını tespit etmek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, yapılan modelleme çalışmaları incelenmiş ve model sonuçlarına göre yüksek emisyon değerlerine sahip iki noktada, 1 aylık periyotlar halinde toplam 2 ay boyunca çöken toz ölçümleri yapılmıştır. Bu süreç, tesisin çevresel etkilerinin izlenmesi ve gerekli önlemlerin alınması açısından önem taşımaktadır (T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2020; U.S. Environmental Protection Agency [EPA], 2014).

Çizelge 4.24. Ölçümü yapılan emisyon kaynakları ve ölçülen parametreler.

No/ Kod	Emisyon Kaynağı	Parametre						
		CO	NO _x	SO ₂	Toz		VOC	Diğer
					PM ₁₀	Çöken Toz		
1	Elek Yanı	-	-	-	X	-	-	-
2	Kırıcı Yanı	-	-	-	X	-	-	-
3	Stok Alanı	-	-	-	X	-	-	-
4	Taş Ocağı (Patlatma Anını İçeren)	-	-	-	X	-	-	-
5	Bunker Yanı	-	-	-	X	-	-	-
6	Tesis İçi Yol	-	-	-	X	-	-	-
7	Tesis İnceleme Alanı (2 Noktada)	-	-	-	-	X	-	-

Çizelge 4.24’de, tesisin belirli noktalarından yapılan emisyon ölçümlerini ve hangi parametrelerin incelendiğini göstermektedir. CO, NO_x, SO₂, VOC ve diğer parametreler için herhangi bir ölçüm yapılmamış olup, PM₁₀ ve çöken toz emisyonları özellikle değerlendirilmiştir (T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2020).

Şekil 4.20’de, PM₁₀ ölçüm cihazının tasarımı ve çalışma prensipleri görsel olarak sunulmuştur. Bu cihaz, belirli bir bölgedeki hava kalitesini izlemek için düzenli aralıklarla ölçüm yaparak tozun havadaki yoğunluğunu belirler. Şekil 4.21 ise çöken toz ölçüm cihazına dair ayrıntıları göstermektedir. Çöken toz ölçümleri, genellikle yer yüzeyine ulaşan partiküllerin çevresel etkilerini ve bu partiküllerin insan sağlığı ve ekosistem üzerindeki potansiyel etkilerini daha doğru bir şekilde anlamamıza yardımcı olur.



Şekil 4.20. PM₁₀ ölçüm cihazı.



Şekil 4.21. Çöken toz ölçüm cihazı.

4.5.1 Ölçüm sonuçları

Tesisin yaydığı toz miktarının 1 kg/saat sınır değerini aşması sebebiyle, tesis inceleme alanı içerisinde iki farklı noktada çöken toz ölçümleri yapılmıştır. Bu iki istasyondan elde edilen çöken toz ölçüm sonuçları, Çizelge 4.25'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.25. Çöken toz ölçüm sonuçları

Lokasyon	Çöken Toz Konsantrasyon (mg/m ² -Gün)										Sınır Değer*	
	(1.Periyot)				(2.Periyot)				Ortalama			
	1	2	3	4	1	2	3	4			Uvs	Kvs
İstasyon-1	213	211	145	133	237	167	111	83	176	150	210	390
İstasyon-2	283	126	98	93	193	155	117	55	150	130		

Ölçümde kullanılan cihazın manuel bir cihaz olması, bazı önemli sınırlamalara ve veri toplama sürecine dair ek dikkat gereksinimlerine yol açmaktadır. Manuel ölçüm cihazları, genellikle daha temel özelliklere sahip olup, otomatik veri toplama sistemlerine kıyasla daha fazla insan müdahalesi gerektirir. Bu tür cihazlar, operatörlerin belirli zaman dilimlerinde ve belirli koşullar altında veri almak için

sahada fiziksel olarak ölçüm yapmalarını gerektirir. Sonuç olarak, manuel ölçüm cihazlarının veri doğruluğu ve güvenilirliği, operatörün dikkatine, cihazın doğru şekilde kullanılmasına ve çevresel koşullara bağlı olarak değişkenlik gösterebilir. Cihaz ile ilgili çıktılar bulunmamaktadır.

4.5.2 PM₁₀ ölçüm sonuçları

İşletmede yapılan ölçümlerden elde edilen veriler, Çizelge 4.26'da sunulmuştur.

Çizelge 4.26. PM₁₀ ölçüm sonuçları (elek yanı).

Çalışmanın Adı ve Çalışma No: Project Name and Number		
Alçitaşı Ocağı		
Örnekleme Yeri: Sampling Place		
Elek Yanı		
Parametre		Sınır Değer (µg/Nm ³)
Tarih	18.09.2015	-
Boş Filtre Kâğıdı Ağırlığı (gr)	0,0899	-
Dolu Filtre Kâğıdı Ağırlığı (gr)	0,09848	-
Ağırlık Farkı (µg)	8490	-
Ortam Basıncı (mmHg)	687,5	-
Sıcaklık (C°)	22,1	-
Sıcaklık (K°)	295,1	-
Gerçek Akış (L\dak)	38,5	-
Başlangıç (saat)	09:00	-
Bitiş (saat)	11:00	-
Geçen Zaman (saat)	2	-
Gerçek Hacim (m ³)	4,62	-
Standart Hacim (m ³)	3,87	-
Gerçek Derişim (µg/m ³)	1837,66	-
Standart Derişim (µg/Nm ³)	2195,87	3000 ⁵

MCZ marka 1201-011 seri numaralı PM₁₀ örnekleme cihazı ile gerçekleştirilen ölçüm, toz partiküllerinin hava örnekleme yoluyla tespiti için kullanılan manuel bir cihazdır. Bu tür manuel cihazlar, genellikle daha küçük ölçekli çalışmalar ve saha ölçümleri için tercih edilir, çünkü taşınması ve kullanımı pratik olabilmektedir. Ancak manuel cihazların bazı sınırlamaları bulunmaktadır; bunlar, cihazın dijital çıktı üretmemesi ve operatörün müdahalesine dayalı olarak veri toplama sürecinde potansiyel hata payı bulunması gibi faktörlerdir. Ek-A'da yer alan formüller, bu ölçümlerin doğru bir şekilde analiz edilmesini sağlamaktadır.

Çizelge 4.27. PM₁₀ ölçüm sonuçları (kırıcı yanı).

Çalışmanın Adı ve Çalışma No:Project Name and Number		
Alçıtaşı Ocağı		
Örnekleme Yeri: Sampling Place: Kırıcı Yanı		
Parametre		Sınır Değer (µg/Nm ³)
Tarih	18.09.2015	-
Boş Filtre Kağıdı Ağırlığı (gr)	0,09018	-
Dolu Filtre Kağıdı Ağırlığı (gr)	0,09847	-
Ağırlık Farkı (µg)	8290	-
Ortam Basıncı (mmHg)	687,0	-
Sıcaklık (C°)	24,1	-
Sıcaklık (K°)	297,1	-
Gerçek Akış (L\dak)	38,5	-
Başlangıç (saat)	09:10	-
Bitiş (saat)	11:10	-
Geçen Zaman (saat)	2	-
Gerçek Hacim (m ³)	4,62	-
Standart Hacim (m ³)	3,84	-
Gerçek Derişim (µg/m ³)	1794,37	-
Standart Derişim (µg/Nm ³)	2160,34	3000 ⁵

Çizelge 4.28. PM₁₀ ölçüm sonuçları (stok alanı).

Çalışmanın Adı ve Çalışma No:Project Name and Number		
Alçıtaşı Ocağı		
Örnekleme Yeri: Sampling Place: Stok Alanı		
Parametre		Sınır Değer (µg/Nm ³)
Tarih	18.09.2015	-
Boş Filtre Kâğıdı Ağırlığı (gr)	0,0908	-
Dolu Filtre Kâğıdı Ağırlığı (gr)	0,09609	-
Ağırlık Farkı (µg)	5290	-
Ortam Basıncı (mmHg)	689,5	-
Sıcaklık (C°)	26,1	-
Sıcaklık (K°)	299,1	-
Gerçek Akış (L\dak)	38,5	-
Başlangıç (saat)	11:15	-
Bitiş (saat)	13:15	-
Geçen Zaman (saat)	2	-
Gerçek Hacim (m ³)	4,62	-
Standart Hacim (m ³)	3,83	-
Gerçek Derişim (µg/m ³)	1145,02	-
Standart Derişim (µg/Nm ³)	1382,84	3000 ⁵

Çizelge 4.27 ve 4.28’de PM₁₀ ölçümleri, MCZ marka 1201-011 seri numaralı örnekleme cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerde uygulanan formüller, Ek-A’da yer almaktadır.

Çizelge 4.29. PM₁₀ ölçüm sonuçları (patlatma anı).

<u>Çalışmanın Adı ve Çalışma No: Project Name and Number</u>		
Alçıtaşı Ocağı		
<u>Örnekleme Yeri: Sampling Place: Alçıtaşı Ocağı (Patlatma Anı)</u>		
Parametre		Sınır Değer (µg/Nm ³)
Tarih	18.09.2015	-
Boş Filtre Kâğıdı Ağırlığı (gr)	0,0902	-
Dolu Filtre Kâğıdı Ağırlığı (gr)	0,09237	-
Ağırlık Farkı (µg)	2190	-
Ortam Basıncı (mmHg)	682,6	-
Sıcaklık (C°)	25,8	-
Sıcaklık (K°)	298,8	-
Gerçek Akış (L\dak)	38,5	-
Başlangıç (saat)	11:30	-
Bitiş (saat)	13:30	-
Geçen Zaman (saat)	2	-
Gerçek Hacim (m ³)	4,62	-
Standart Hacim (m ³)	3,79	-
Gerçek Derişim (µg/m ³)	474,03	-
Standart Derişim (µg/Nm ³)	577,63	3000 ⁵

Çizelge 4.30. PM₁₀ ölçüm sonuçları (bunker yanı).

<u>Çalışmanın Adı ve Çalışma No:Project Name and Number</u>		
Alçıtaşı Ocağı		
<u>Örnekleme Yeri: Sampling Place: Bunker Yanı</u>		
Parametre		Sınır Değer (µg/Nm ³)
Tarih	18.09.2015	-
Boş Filtre Kâğıdı Ağırlığı (gr)	0,0886	-
Dolu Filtre Kâğıdı Ağırlığı (gr)	0,09624	-
Ağırlık Farkı (µg)	7690	-
Ortam Basıncı (mmHg)	684,5	-
Sıcaklık (C°)	26,9	-
Sıcaklık (K°)	299,9	-
Gerçek Akış (L\dak)	38,5	-
Başlangıç (saat)	13:40	-
Bitiş (saat)	15:40	-
Geçen Zaman (saat)	2	-
Gerçek Hacim (m ³)	4,62	-
Standart Hacim (m ³)	3,79	-
Gerçek Derişim (µg/m ³)	1664,50	-
Standart Derişim (µg/Nm ³)	2030,17	3000 ⁵

Çizelge 4.29 ve 4.30'da PM₁₀ ölçümleri, MCZ marka 1201-011 seri numaralı örnekleme cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu cihaz manuel bir modeldir ve

ilgili çıktılar mevcut değildir. Ölçümlerde uygulanan formüller, Ek-A'da yer almaktadır.

Çizelge 4.31. PM₁₀ ölçüm sonuçları (tesis içi yol).

<u>Çalışmanın Adı ve Çalışma No:Project Name and Number</u>		
Alçıtaşı Ocağı		
<u>Örnekleme Yeri: Sampling Place</u>		
Tesis İçi Yol		
Parametre		Sınır Değer (µg/Nm ³)
Tarih	18.09.2015	-
Boş Filtre Kâğıdı Ağırlığı (gr)	0,0913	-
Dolu Filtre Kâğıdı Ağırlığı (gr)	0,09575	-
Ağırlık Farkı (µg)	4470	-
Ortam Basıncı (mmHg)	689,9	-
Sıcaklık (C°)	27,5	-
Sıcaklık (K°)	300,5	-
Gerçek Akış (L\dak)	38,5	-
Başlangıç (saat)	13:50	-
Bitiş (saat)	15:50	-
Geçen Zaman (saat)	2	-
Gerçek Hacim (m ³)	4,62	-
Standart Hacim (m ³)	3,81	-
Gerçek Derişim (µg/m ³)	967,53	-
Standart Derişim (µg/Nm ³)	1173,19	3000 ⁵

Çizelge 4.31'de PM₁₀ ölçümleri, MCZ marka 1201-011 seri numaralı örnekleme cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu cihaz manuel bir modeldir ve ilgili çıktılar mevcut değildir. Ölçümlerde uygulanan formüller, Ek-A'da yer almaktadır.

4.5.3 Ek-1.b.2 emisyon konsantrasyonlarının değerlendirilmesi

Kırma-eleme tesisinde toz emisyonunu azaltmak amacıyla basınçlı pülverize sistem ile sulama işlemleri yapılmaktadır. İşletmeden kaynaklanan PM₁₀ konsantrasyonları aşağıda sunulmuştur:

- Elek yanında ölçülen PM₁₀ konsantrasyonu 2,196 mg/Nm³'tür. Bu değer, S.K.H.K.K.Y. Ek 1.b.2'de belirtilen 3 mg/Nm³ sınır değerinin altında olup, yönetmelikte belirlenen koşullar sağlanmaktadır.
- Kırıcı yanında ölçülen PM₁₀ konsantrasyonu 2,160 mg/Nm³'tür. Bu değer de S.K.H.K.K.Y. Ek 1.b.2'de belirtilen 3 mg/Nm³ sınır değerinin altındadır ve yönetmelik şartları yerine getirilmektedir.

- Stok alanında ölçülen PM_{10} konsantrasyonu $1,383 \text{ mg/Nm}^3$ 'tür. Bu değer, S.K.H.K.K.Y. Ek 1.b.2'de belirtilen 3 mg/Nm^3 sınır değerinin altında olup, ilgili yönetmelikteki koşullar sağlanmaktadır.
- Araştırma konu ocakta (patlatma anını içeren) ölçülen PM_{10} konsantrasyonu $0,578 \text{ mg/Nm}^3$ 'tür. Bu ölçüm de, S.K.H.K.K.Y. Ek 1.b.2'deki 3 mg/Nm^3 sınır değerinin altındadır ve yönetmelikteki gereklilikler karşılanmaktadır.
- Bunker yanında ölçülen PM_{10} konsantrasyonu $2,030 \text{ mg/Nm}^3$ 'tür. Bu değer, S.K.H.K.K.Y. Ek 1.b.2'de belirtilen 3 mg/Nm^3 sınır değerinin altındadır ve yönetmelikteki şartlar sağlanmaktadır.
- Tesis içi yolda ölçülen PM_{10} konsantrasyonu $1,173 \text{ mg/Nm}^3$ 'tür. Bu ölçüm, S.K.H.K.K.Y. Ek 1.b.2'de belirtilen 3 mg/Nm^3 sınır değerinin altında olup, yönetmelikteki koşullar yerine getirilmektedir.

Çizelge 4.32. Ayrı olarak hesaplanmış patlatma işleminden kaynaklı modelleme çalışmaları ile elde edilen PM ve çöken toz YSK değerleri ve yönetmelik kapsamında değerlendirme.

Parametre	Sınır değer ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) (Çöken toz $\text{mg}/\text{m}^2\text{gün}$)	Modelleme Sonuçları	2024 Yılına Ait Sınır Değerler
Çöken toz	KVS (Aylık aşılmaması gereken maksimum değer)	188,25	390
	UVS (Yıllık ortalama değer)	23,01	210
Havada Asılı Partikül Madde (PM 10)	KVS (24 Saatlik % 95'e tekabül eden)	92,65	90
	UVS (Yıllık ortalama değer)	5,33	56

Çizelge 4.33. Hava kalitesi modellemesi sonuçları (havada asılı partikül madde için).

PM ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	5,33 (UVD)	92,65 (KVD)
Sınır Değer ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	56 (UVS)	90 (KVS)
Katkı Değeri %	% 8,88	% 92,65

Çizelge 4.34. Hava kalitesi modellemesi sonuçları (çöken toz için).

Çöken Toz (mg/m ² -gün)	23,01 (UVD)	188,25 (KVD)
Sınır Değer (mg/m ² -gün)	210 (UVS)	390 (KVS)
Katkı Değeri %	% 10,96	% 48,27

Patlatmadan kaynaklanacak toz salınımı için yapılan dağılım modelleme çalışması sonucunda, havada asılı partikül madde (PM₁₀) ve çöken toz parametreleri için toplam 81 adet grid noktasında hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Bu modelleme çalışması neticesinde, havada asılı kalan toz konsantrasyonunun %95'ine karşılık gelen değer 92,65 µg/m³ olarak bulunmuş ve bu değer, S.K.H.K.K.Y. tarafından belirtilen KVS sınır değeri olan 90 µg/m³'ün üzerindedir. Ayrıca, aynı modelleme çalışmasının sonuçlarına göre, ortalama havada asılı kalan toz konsantrasyonu 5,33 µg/m³ olarak belirlenmiş olup, bu değer S.K.H.K.K.Y.'nde belirtilen UVS sınır değeri olan 56 µg/m³'ten küçüktür.

Çöken toz konsantrasyonları üzerine yapılan değerlendirmelere göre, ortalama değer 23,01 mg/m²-gün olarak hesaplanmış ve bu değer de S.K.H.K.K.Y.'nde belirtilen UVS sınır değeri olan 210 mg/m²-gün'ün altındadır. Çöken toz konsantrasyonlarının maksimum aylık ortalaması ise 188,25 mg/m²-gün olarak belirlenmiş olup, bu değer S.K.H.K.K.Y. tarafından belirtilen KVS sınır değeri olan 390 mg/m²-gün'ün altındadır.

Tesiste patlatmadan kaynaklanacak emisyonların çevredeki hava kalitesi üzerindeki etkilerinin belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen hava kalitesi modelleme çalışması sonucunda elde edilen veriler, S.K.H.K.K.Y. içerisinde tanımlanan sınır değerlerin altında kalmıştır.

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, hava kalitesine katkı değerleri uzun vadeli sınır değerlere göre havada asılı partikül madde (PM₁₀) için %8,88; kısa vadeli sınır değerlere göre ise %92,65 olarak tespit edilmiştir. Çöken toz için uzun vadeli sınır değerlere göre %10,96, kısa vadeli sınır değerlere göre ise %48,27 olarak belirlenmiştir.

4.5.4 Patlatma İşlemi dışındaki faaliyetin gerçekleştirilmesi durumunda

Tesiste yapılan modelleme çalışmaları kapsamında, inceleme alanında çöken toz için günlük, aylık ve yıllık ortalama yer seviyesi konsantrasyonu (YSK) değerleri $\text{mg}/\text{m}^2\text{-gün}$ cinsinden belirlenmiştir. Bu değerlendirmelerde AERMOD programı kullanılmıştır ve program, kimyasal dönüşüm, bozunma ve yağış gibi etkilerin olmadığı durumlar için sonuçlar sunmaktadır.

Çizelge 4.35. Modelleme çalışmaları ile elde edilen PM ve çöken toz YSK değerleri.

Parametre	Sınır değer [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] [Çöken toz $\text{mg}/\text{m}^2\text{gün}$]	Modelleme Sonuçları	2024 Yılına Ait Sınır Değerler
Çöken toz	KVS (Aylık aşılmasını gereken maksimum değer)	287,06	390
	UVS (Yıllık ortalama değer)	47,85	210

4.6 Değerlendirme

AERMOD modelinin sonuçları, saha ölçümleriyle karşılaştırıldığında, toz emisyonlarının bölgedeki dağılımı, yoğunluğu ve çevresel etkileri hakkında önemli farklar ortaya koymaktadır. Bu kıyaslamalar, modelleme verilerinin saha koşullarına ne kadar uyum sağladığını ve AERMOD modelinin doğruluğunu değerlendirme imkânı sunmaktadır. Hem patlatma hem de patlatma dışı faaliyetlerin çevresel etkileri incelenirken, modelin uzun vadeli (UVS) ve kısa vadeli (KVS) emisyon sınırları ile elde edilen saha verileri arasındaki farklılıklar, çevresel yönetim stratejilerinin geliştirilmesine yardımcı olmaktadır.

Hesaplanan sonuçlar, S.K.H.K.K.Y. (Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği) EK-2 Tablo 2.2’de belirtilen UVS ve KVS vadeli emisyon sınır değerleri ile karşılaştırılır. UVS ve KVS değerleri, kısa ve uzun vadeli hava kalitesi standart değerleri Çizelge 4.36’da verilmiştir.

Çizelge 4.36. S.K.H.K.K.Y. EK-2 tablo 2.2’de belirtilen uzun vadeli ve kısa vadeli sınır değerler.

Parametre	Süre	Yıllara Göre Sınır Değerler						
		2014	2015	2016	2017	2018	2019	2023
PM 10	KVS Günlük	100	90	80	70	60	50	50
	UVS Yıllık	60	56	52	48	44	40	40
Parametre	Süre	Yıllara Göre Sınır Değerler						
		2014	2015	2016	2017	2018	2019	2023
Çöken Toz	KVS Aylık	390	390	390	390	390	390	390
	UVS Yıllık	210	210	210	210	210	210	210

Çizelge 4.37. Hava kalitesi modellemesi sonuçları.

Çöken Toz (mg/m ² -gün)	47,85 (UVD)	287,06 (KVD)
Sınır Değer (mg/m ² -gün)	210 (UVS)	390 (KVS)
Katkı Değeri %	% 22,78	% 73,61

Toz salınımına yol açabilecek faaliyetlerin aynı anda gerçekleşeceği varsayımıyla gerçekleştirilen dağılım modelleme çalışması sonucunda, çöken toz parametresi için toplam 81 adet grid noktasında hesaplamalar yapılmıştır. Çöken toz konsantrasyonlarının ortalaması 47,85 mg/m²-gün olarak belirlenmiş olup, bu değer S.K.H.K.K.Y.'nde belirtilen UVS sınır değeri olan 210 mg/m²-gün'ün altındadır. Çöken toz konsantrasyonlarının maksimum aylık ortalama değeri ise 287,06 mg/m²-gün olup, bu değer de S.K.H.K.K.Y.'nde tanımlanan KVS sınır değeri olan 390 mg/m²-gün'ün altındadır.

Tesisten kaynaklanabilecek tüm emisyonların çevresindeki hava kalitesinin belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen modelleme çalışması neticesinde elde edilen veriler, S.K.H.K.K.Y.'nde tanımlanan sınır değerlerin altında kalmaktadır.

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, hava kalitesine katkı değerleri uzun vadeli sınır değerlere göre çöken toz için %22,78; kısa vadeli sınır değerlere göre ise %73,61 olarak tespit edilmiştir.

Modelleme sonuçları göz önünde bulundurularak, aylık model sonuçlarının yüksek olduğu tesis inceleme alanında, iki noktada (E:746250, N:4462000 ve E:746250,

N:4462250) 1 aylık periyotlarla toplam 2 ay süreyle çöken toz örnekleme yapılması gerektiği belirlenmiştir.

Çalışma kapsamında oluşacak toz emisyonları için AERMOD modeli kullanılmış olup patlatma ve üretim aşamalarında kontrollü ve kontrolsüz çalışmalara istinaden PM₁₀ ve Çöken Toz emisyonları Uzun ve Kısa Vadede yıllık aylık saatlik olarak hesaplanmıştır. Çıkan sonuçlar Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği kapsamında değerlendirilmiştir.

Saha faaliyete geçtikten sonra Çevre izinleri kapsamında MCZ LVS 1 PM 10 partikül madde ölçüm cihazı ile 6 noktada PM₁₀ ölçümü yapılmış olup tesis alanı içerisinde Dört Yönlü Ortam Havası Örnekleme Cihazı ile Gravimetrik Metotla Çöken Toz Tayini yapılmıştır. Çıkan sonuçlar Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği kapsamında değerlendirilmiştir.

Değerlendirmeler sonucunda üzere patlatma işlemleri dışında oluşan toz emisyonlarının proje aşamasında (teorik) ve işletme aşamasında (pratik) AERMOD modeli kullanılarak Çizelge 4.38'deki verilere ulaşılmıştır.

Çizelge 4.38. Patlatmadan kaynaklı oluşan PM₁₀ sonuçlarının karşılaştırılması.

Parametre	Süre	Model Sonucu Değer [µg/m ³]	Yıllara Göre Sınır Değerler						
			2014	2015	2016	2017	2018	2019	2023
PM ₁₀ (Aermod)	KVS Günlük	451	100	90	80	70	60	50	50
	UVS Yıllık	90	60	56	52	48	44	40	40
PM ₁₀ (Ölçüm)	KVS Günlük	577,63	100	90	80	70	60	50	50
	UVS Yıllık	----	60	56	52	48	44	40	40

Çizelge 4.39' da görüleceği üzere patlatma anlık bir faaliyet olduğu için PM₁₀ değerleri kıyaslanmış olup çöken toz için üretim faaliyetleri çizelgesinde kümülatif olarak değerlendirilmiştir. Modelleme de 451 µg/m³ sonucuna ulaşırken sahada ölçülen sonuç ise 577,63 µg/m³ tür. 126,63 µg/m³ fark olduğu gözlenmektedir.

Çizelge 4.39. Patlatma işlemleri dışında oluşan PM₁₀ ve çöken toz sonuçlarının karşılaştırılması.

Parametre	Süre	Model Sonucu Değer [µg/m ³]		Yıllara göre Sınır Değerler		
				2018	2019-2023	2024 Sonrası
PM 10 (AERMOD)	KVS Günlük	Senaryo 1	32	60	50	50
		Senaryo 2	233			
	UVS Yıllık	Senaryo 1	6	44	40	40
		Senaryo 2	45			
PM 10 (Ölçüm)	KVS Günlük	Sahada Ölçülen	92,65	60	50	50
	UVS Yıllık	Sahada Ölçülen	5,33	44	40	40
Parametre	Süre	Sınır değer [mg/m ² gün]		Yıllara göre Sınır Değerler		
				2018	2019-2023	2024 Sonrası
Çöken Toz (AERMOD)	KVS Aylık	Senaryo 1	298	390	390	390
		Senaryo 2	315			
	UVS Yıllık	Senaryo 1	24	210	210	210
		Senaryo 2	178			
Çöken Toz (Ölçüm)	KVS Aylık	Sahada Ölçülen	287,06	390	390	
	UVS Yıllık	Sahada Ölçülen	47,85	210	210	

Çizelge 4.39’ da görüleceği üzere patlatma işlemleri dışında oluşan toz emisyonlarında modelleme çalışmaları senaryo-1 diye bahsedilen kontrollü toz modellemesi senaryo-2 diye bahsedilen kontrolsüz toz modellemesidir. Kontrollü toz modellemesi baz alındığında oluşan Günlük KVS PM₁₀ değeri 32 µg/m³ ve yıllık UVS değeri 6 µg/m³ olup sahada ölçülen Günlük KVS PM₁₀ değeri 92,65 µg/m³ ve yıllık UVS değeri 5,33 µg/m³ olduğu görülmektedir. Sonuç olarak Modelleme çalışmasında ve sahada ölçülen sonuçlar karşılaştırıldığında PM₁₀ Yıllık UVS değerlerinin birbirine çok yakın olduğu ve uyumlu çalıştığı gözlenmektedir. Ancak günlük PM₁₀ KVS değeri için yaklaşık olarak model ve ölçüm sonuçlarında 3 katlık bir fark olduğu gözlenmektedir.

Aynı şekilde kontrollü toz modellemesi çöken toz değerleri ile kıyaslandığında Aylık KVS değeri 298 mg/m² ve Yıllık UVS değeri 24 mg/m² gün olup sahada ölçülen Aylık KVS değeri 287,06 mg/m² ve Yıllık UVS değeri 47,85 mg/m² olduğu görülmektedir.

Sonuç olarak Modelleme çalışmasında ve sahada ölçülen sonuçlar karşılaştırıldığında Çöken toz Aylık KVS değerlerinin birbirine çok yakın olduğu ve uyumlu çalıştığı gözlenmektedir. Ancak yıllık çöken toz UVS değeri için yaklaşık olarak model ve ölçüm sonuçlarında 2 katlık bir fark olduğu gözlenmektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Maden ocakları, üretim aşamasında oluşan kirleticiler ve emisyonların; topoğrafyaya, bitki örtüsüne, canlılara ve yaşam alanlarına, yüzeysel sulara, yeraltı sularına, su kaynaklarına, yerleşim yerlerine, atmosfere verebilecek zararların minimum seviyeye indirgenmesi açısından maden ocaklarının planlanmasının kusursuz yapılması ve üretim faaliyetlerine başladıktan sonra planlanan yöntemlere göre uygun çalışıp çalışmadığına göre denetlenmesi gerekmektedir.

Faaliyete başladıktan sonra oluşan atıklar minimize edilmelidir ve yürürlükte olan kanun ve yönetmeliklere uygun olarak bertarafı sağlanmalıdır.

Bu kapsam da ilgili kurum ve kuruluşların daha hassas çalışması ve sektörel olarak eğitim ve seminerler düzenleyerek bilinçlendirmeyi artırmak için çalışmalıdırlar.

Hava kirliliği yönetiminde, faaliyete geçmemiş işletmelerin çevresel etkilerini değerlendirmek zordur, çünkü doğrudan bir ölçüm yapılamaz. Bu tür durumlarda, reseptör modelleri kullanılarak potansiyel etkilerin tahmin edilmesi mümkün hale gelir. Reseptör modelleri, çevredeki kirletici kaynakların katkılarını belirlemeye yönelik bir yaklaşımdır. Ayrıca, bölgede halihazırda faaliyet gösteren tesislere ait dağılım modelleri verileri de kullanılarak, faaliyete geçmesi beklenen işletmelerin yaratacağı hava kirliliğinin kümülatif etkisi öngörülebilir. Böylece, faal ve henüz faaliyete geçmemiş tüm işletmelerin çevreye bir bütün olarak ne düzeyde etki edeceği tahmin edilebilir.

Hava kirliliği modellemeleri, yalnızca yerel kaynakları değil, aynı zamanda bölgeye uzak mesafelerden taşınan kirletici unsurları da inceleme imkânı sunar. Özellikle atmosferik dağılım modelleri, kirleticilerin kaynaklarından yayılarak atmosferde nasıl hareket ettiğini ve hangi bölgelerde yoğunlaştığını tahmin edebilir. Bu modeller sayesinde, çevreye olan toplam etkiyi değerlendirmek ve kirleticilerin nasıl yayıldığını anlamak daha da kolaylaşır. Hem yerel hem de bölgesel ölçekteki kirleticilerin etkileri göz önüne alınarak daha güvenilir tahminler yapılabilir.

Bu modelleme teknikleri, karar vericilere hava kalitesinin yönetiminde önemli bir destek sunar. Modellerin sağladığı veriler, mevcut tesislerle birlikte gelecekte faaliyete geçecek olan işletmelerin kümülatif etkilerini dikkate alarak stratejik kararlar

alınmasına yardımcı olur. Örneğin, bölgesel hava kalitesi yönetimi için uygulanacak önlemler ve politikalar, bu modellerin öngördüğü kirlilik senaryolarına göre daha etkili bir şekilde şekillendirilebilir. Aynı zamanda, bölge sakinlerinin sağlığını koruma amacıyla, yerel yönetimlerin hava kirliliğini önleyici önlemler alması için gerekli bilgi ve farkındalık sağlanmış olur.

Reseptör modelleri ve dağılım modelleri, faaliyete geçmemiş işletmelerin oluşturabileceği potansiyel hava kirliliğini öngörmek ve bölgedeki kümülatif etkiyi anlamak açısından kritik bir öneme sahiptir. Bu modellerin sunduğu tahminler, hava kalitesini koruma politikalarının oluşturulmasında önemli bir bilgi kaynağıdır. Sonuç olarak, hava kirliliği risklerini en aza indirmek ve sürdürülebilir bir çevre yönetimi sağlamak adına bu modellerden elde edilen verilerin dikkate alınması gerekmektedir.

Hava kirliliği modellemelerinde seçilen modellerin farklılıkları ve aynı modelin değişik ayar ve doğrulama koşullarında farklı sonuçlar vermesi, elde edilen tahminlerin güvenilirliği üzerinde önemli tartışmalara neden olmaktadır. Bu modellerin doğruluğu, atmosferik koşullar, kaynak özellikleri ve bölgesel faktörler gibi değişkenlere bağlı olarak değişkenlik gösterir. Sonuçların güvenilirliği, özellikle sanayi kaynaklı hava kirliliği tahminlerinde büyük bir önem taşımaktadır. Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği Ek-2’de belirtilen yasal düzenlemeler, bu noktada önemli bir rehber sunarak modelleme süreçlerinin standartlara uygun bir şekilde yürütülmesini sağlamaktadır. Yönetmelikteki bu yönlendirmeler, modellerin güvenilirliğini artırmaya katkıda bulunsa da, modelleme süreçlerinde yapılan ayarlamalar, kullanılan veri kaynaklarının doğruluğu ve modellerin gerçek ölçümlerle ne kadar uyumlu olduğu gibi unsurlar, sonuçların ne derece güvenilir olduğunu belirleyen kritik faktörlerdir. Bu nedenle, modelleme çalışmalarının güvenilirliğini artırmak için doğrulama süreçlerine özen gösterilmeli ve yasal düzenlemelere uygunluk sağlanmalıdır.

Araştırma konu çalışmanın, patlatma ve üretim aşamalarında oluşacak toz emisyonlarının değerlendirilmesi amacıyla AERMOD modeli kullanılmış ve bu model üzerinden PM₁₀ ile çöken toz emisyonları, kontrollü ve kontrolsüz çalışma koşulları altında uzun vadeli (yıllık) ve kısa vadeli (aylık, saatlik) olarak hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar, çalışma alanının çevresel etkilerini detaylandırmak amacıyla yapılmış ve elde edilen sonuçlar Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği

çerçevesinde incelenmiştir. Yönetmelikte belirtilen sınır değerlerle karşılaştırılan sonuçlar, kontrollü çalışma koşullarında emisyonların önemli ölçüde azaltıldığını göstermiştir. Bu bulgular, bölgedeki hava kalitesinin korunması için gerekli emisyon azaltım stratejilerinin belirlenmesine katkı sağlamış ve araştırma konu çalışmadaki çevresel etkilerinin minimize edilmesine yönelik önemli veriler sunulmuştur. Söz konusu faaliyete başlamadan önce ve faaliyete başladıktan sonra ortaya çıkan emisyon sonuçları karşılaştırıldığında;

Sonuç olarak, maden ocağında üretim sürecinden kaynaklanan toz emisyonlarının hem teorik hem de pratik açıdan analiz edilmesi sonucunda, bazı değerlerin birbirine oldukça yakın olduğu; ancak bazı değerlerde ise önemli farklılıkların gözlemlendiği tespit edilmiştir. Bu analizler, maden projelerinde kullanılan modelleme çalışmalarının hava kalitesine dair sağladığı önemli bilgilerin değerini ortaya koymaktadır. Elde edilen sonuçlar, yönetmeliklerde belirtilen sınır değerlerin üzerinde çıktığı takdirde, emisyonları azaltmak amacıyla çeşitli önlemler alınması ve projenin yeniden değerlendirilmesi gerekliliği doğmaktadır. Bu önlemler arasında üretim kapasitesinin azaltılması, kullanılan üretim yönteminin değiştirilmesi ve gelişmiş emisyon kontrol tekniklerinin uygulanması gibi seçenekler bulunmaktadır. Ayrıca, sahada üretim başlamadan önce arazinin arazözlerle nemlendirilmesi, yolların tozlanmasını önlemek için spreyleme su sistemlerinin kurulması, kırma ve eleme tesislerinin fabrika tipi kapatılması ve pulverize su sistemlerinin devreye alınması gibi toz kontrol tedbirlerinin önemi büyüktür. Toz toplama sistemlerinin kurulması, yükleme ve boşaltma işlemlerinin kontrollü bir şekilde gerçekleştirilmesi, nakliye sırasında kamyonların üzerinin branda ile kapatılması ve taşıma esnasında hız kurallarına uyulması gibi ek önlemler de emisyon seviyelerinin düşürülmesine katkı sağlayacaktır. Böylece, alınacak bu tür önlemler sayesinde emisyon değerlerinin yasal sınırların altına indirilmesi ve çevresel etkilerin minimum seviyeye çekilmesi mümkün olacaktır.

Bu doğrultuda, alınacak önlemler sayesinde emisyon değerlerinin yasal sınırların altına çekilmesi ve çevresel etkilerin minimum seviyeye indirilmesi sağlanabilecektir. Hava kalitesi yönetimi açısından, mevcut faaliyetlerin yanı sıra planlanan yeni projelerin de hava kalitesine olan etkilerinin doğru bir biçimde öngörülmesi, yetkili merciler için oldukça kritik bir önem taşımaktadır. Bu bağlamda, kullanılan model

verileri çevresel karar süreçlerinde önemli bir bilgi kaynağı oluşturmakta, kararların doğruluğunu ve güvenilirliğini doğrudan etkilemektedir. Model verilerinin doğruluğunun ve güvenilirliğinin değerlendirilmesi, mevcut ve gelecekteki faaliyetlerden kaynaklanacak kirliliğin ne ölçüde temsil edildiğini anlamak adına büyük önem taşımaktadır.

Doğru sınırlar içerisinde oluşturulmuş modellerin kullanımı, elde edilen verilerin sahadaki gerçek ölçümlerle daha yüksek bir uyum içinde olmasını sağlar. Hata payı düşük olan model verilerinin kullanılması, genel hava kirliliği düzeyinin hesaplanmasında daha isabetli sonuçlar elde edilmesine olanak tanır. Bu durum yalnızca yetkili mercilerin karar verme süreçlerini hızlandırmakla kalmaz; aynı zamanda alınan kararların doğruluğunu ve güvenilirliğini artırır. Bu nedenle, uygun modelleme tekniklerinin yaygınlaştırılması, bu modellerin akredite kuruluşlar tarafından kullanılması ve model verilerinin doğruluğunu artırmaya yönelik çalışmaların yürütülmesi gerekmektedir.

Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı ile Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlükleri bünyesinde Hava Kalitesi Değerlendirme Birimlerinde bir modelleme birimi kurulmasının, maden grupları, üretim yöntemleri, kapasite gibi parametrelerin yanı sıra il, ilçe ve köy bazında detaylı değerlendirmelere olanak sağlayacağı düşünülmektedir. Bu bağlamda oluşturulacak kapsamlı bir veri tabanı, sunulan projelerin doğruluğunu ve geçerliliğini kıyaslama olanağı sunacak; böylece modelleme sonuçlarının güvenilirliği ve tutarlılığı artacaktır.

Bu veri tabanı, dosyaların karşılıklı olarak analiz edilmesine olanak tanıyacak ve doğrulanabilir sonuçlara ulaşılmasını sağlayacaktır. Bu süreç sonunda, karar vericiler daha kapsamlı ve doğrulanmış verilere sahip olacak; bu sayede maden projelerinin çevresel etkileri daha kesin ve objektif bir biçimde değerlendirilebilecektir.

Bu sistemin uygulanması durumunda, ülke genelindeki tesislerin hava kalitesine olan kümülatif etkilerinin değerlendirilmesi ve gelecekteki hava kalitesi standartlarının yakalanması açısından önemli bir katkı sağlanacaktır.

Proje süresince elde edilen toz emisyon ölçüm verilerinin geçerliliği, oluşturulacak bir veri tabanı aracılığıyla otomatik kontrol mekanizması kurularak ve bu verilerin

doğruluğunu sağlamak için Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlükleri bünyesinde bir laboratuvar kurulması veya ilgili üniversitelerin laboratuvarlarıyla işbirliği yapılarak teyit ölçümleri gerçekleştirilmesi planlanmaktadır. Bu yaklaşım, elde edilen sonuçların güvenilirliğini artıracak ve farklı ölçüm sonuçlarının karşılaştırılmasına olanak tanıyacaktır.

Hava konulu Çevre izinleri kapsamında toplanan veriler uydu görüntüleri veya <https://atlas.gov.tr> platformuna entegre edilerek, belirli bir bölgedeki mevcut hava emisyon durumuna dair detaylı bilgilere ulaşılabilir. Bu entegrasyon, çevresel verilerin daha görsel ve erişilebilir bir formatta sunulmasını mümkün kılarak, çevre yönetimi ve planlaması süreçlerini destekleyecektir.

Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından kurulan Hava Kalitesi İzleme İstasyonlarının, maden ocaklarının yoğun olduğu bölgelere stratejik olarak yerleştirilmesi önerilmektedir. Bu istasyonlar sayesinde, hava kalitesi parametreleri anlık olarak izlenebilir ve elde edilen veriler <https://atlas.gov.tr/> uygulaması üzerinden gerçek zamanlı olarak raporlanabilir. Bu, hem karar vericiler hem de yatırımcılar için büyük bir avantaj sağlayarak, hava kalitesindeki değişimlerin hızlı ve etkili bir şekilde analiz edilmesine olanak tanır.

Bu kapsamda geliştirilecek envanter sistemi, veri tabanına entegre edilen bilgilerin planlanan projelere yönelik bir yol haritası oluşturulmasında kullanılmasına imkan tanıyacaktır. Söz konusu veri tabanları, mevcut ve gelecekte kurulacak tesislerin hava kalitesi üzerindeki kümülatif etkilerini değerlendirerek, sürdürülebilir kalkınma hedeflerine katkıda bulunacak bir yapı sunacaktır. Bu yaklaşımla, çevresel etkinin uzun vadeli takibi sağlanarak, hava kalitesinin korunması yönünde daha bilinçli ve planlı adımlar atılması mümkün olacaktır.

KAYNAKLAR

- Akıncı, M., ve Yıldırım, F. 2024. Madencilik Faaliyetlerinin Çevresel ve Sosyal Etkileri: Ekososyal Çalışma Perspektifi. Türk Sosyal Hizmet Araştırmaları Dergisi. <https://doi.org/10.55109/tushad.1597814>
- Alp, K. ve Tünay, O. 1996. Hava kirlenmesi kontrolü. İstanbul Ticaret Odası, Yayın No: 1996-36. İstanbul.
- Arya, S. P. 2001. Introduction to micrometeorology. Academic Press.
- Atasağun, R. 2021. Konya ili taş ocakları civarında atmosferik partikül madde ölçümü ve dağılım modellemesi. Doktora Tezi, Konya Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Bajoghli, M. 2019. Comparison of application of AERMOD and ISCST3 models for simulating the dispersion of emitted pollutant from the stack of an industrial plant in different time scales. Archives of Occupational Health, 3,1. <https://doi.org/10.18502/aoh.v3i1.342>.
- Bowman, D. M., Balch, J. K., Artaxo, P., Bond, W. J., Carlson, J. M., Cochrane, M. A., ve Pyne, S. J., 2009. Fire in the earth system, Science, 324,5926, 481-484. <https://doi.org/10.1126/science.1163886>.
- Büyüköz, A. ve Yıldız, M. 2022. Effects of air pollutants on respiratory diseases and mechanisms of particulate matter in atmospheric reactions. Atmospheric Environment, 245, 117930. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.117930>.
- Carson, R. 1962. Silent spring. Houghton Mifflin.
- Commission of the European Communities. 2003. Proposal for a directive of the European Parliament and of the Council on the management of waste from the extractive industries, 9 s.
- Chapra, S. C. ve Canale, R. P. 2015. Numerical methods for engineers (7. ed.). McGraw-Hill Education.
- Chaulya, S. K., Chakraborty, M. K. ve Singh, R. S. 2001. Air pollution modeling for a proposed limestone quarry. Water Air and Soil Pollution, 2, 16-17 s.
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. 2010. Sanayi kaynaklı hava kirliliğinin kontrolü yönetmeliği. Resmi Gazete. URL Adres: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2010/06/20100630-16.htm>. Erişim tarihi: 13.03.2023.
- ÇİSİP (Çevre İklim ve Sağlık İçin İş Birliği Projesi). 2022. Hava kirliliğinin sağlık etkileri. URL Adres: https://www.env-health.org/wp-content/uploads/2022/03/Hava_Kirliligi_Bilgi_Notu.pdf. Erişim tarihi: 24.06.2022.

- Demirarslan, O., Çetin, Ş. ve Savaş, A. 2008. Hava kirliliği belirlemelerinde modelleme yaklaşımı ve modelleme aşamasında karşılaşılabilecek sorunlar. Çevre sorunları sempozyumu, 322-334, Kocaeli.
- EPA. 2004. AERMOD: Model formulation, evaluation, and application.
- EPA. 2014. User's guide for the AERMOD meteorological preprocessor.
- EPA. 2022. Toxicological review of benzene. U.S. Environmental Protection Agency.
- Environmental Protection Agency (EPA). 2005. User's guide for the AERMOD meteorological preprocessor (AERMET). Office of Air Quality Planning and Standards, Research Triangle Park, NC.
- Fernández-Luque, P., López-Coto, I. ve León-Vázquez, A. 2022. Mining waste management: Principles and best practices. Sustainable Mining, 13,2, 93-108. <https://doi.org/10.1016/j.sustmin.2022.02.001>.
- Frederick, J. 2008. Principles of atmospheric science. Jones and Bartlett Publishers.
- Garratt, J. R. 1994. The atmospheric boundary layer. Cambridge University Press.
- Grattan, J. ve Pyatt, F. B. 1999. Volcanic eruptions, health hazards and atmospheric pollution: A case study from Montserrat. Geography, 84,4, 332-341. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(00\)03586-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(00)03586-8).
- Gürbüz, İ. ve Erbaş, H. 2015. Mermer ocaklarında elmas tel kesme yönteminin çevresel etkileri. Maden Mühendisliği Dergisi, 44,1, 29-37. URL Adres: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/319416> Erişim tarihi: 24.06.2024.
- Hanna, S. R., Briggs, G. A. ve Hosker, R. P. 1982. Handbook on atmospheric diffusion. U.S. Department of Energy, Environmental Protection Agency, Washington, D.C.
- Hartman, H. L. ve Mutmanský, J. M. 2002. Introductory mining engineering. John Wiley ve Sons.
- Heath, T. 2017. Underground mining methods: A handbook. Society for Mining, Metallurgy ve Exploration.
- Hilson, G. ve Murck, B. 2000. Sustainable development in the mining industry: Clarifying the corporate perspective. Resources Policy, 26,4, 227-238. [https://doi.org/10.1016/S0301-4207\(00\)00041-6](https://doi.org/10.1016/S0301-4207(00)00041-6).
- Hock, E. ve Bray, J. W. 1977. Kaya sev stabilitesi. TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayınları, Ankara.

- Holmes, N. S. ve Morawska, L. 2006. A review of dispersion modelling and its application to the dispersion of particles: An overview of different modelling approaches. *Atmospheric Environment*, 40,30, 5902-5928. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.06.003>.
- Holzworth, G. C. 1987. Mixing heights, wind speeds and potential for urban air pollution throughout the contiguous United States. EPA.
- Hüdaverdi, T. ve Kuzu, C. 2005. Madencilik faaliyetlerinde patlatma kaynaklı çevresel etkilerin ölçülmesi ve analizi. Madencilik ve Çevre Sempozyumu, 5-6 Mayıs 2005, Ankara.
- İncecik, S. 1994. Hava kirliliği. Teknik Üniversite Matbaası, 22 s.
- Jacobson, M. Z. 2005. Fundamentals of atmospheric modeling. Cambridge University Press.
- Jimeno, C., Jimeno, E. ve Carcedo, F. 1995. Drilling and blasting of rocks. A.A. Balkema Publishers.
- Jimeno, C. L., Jimeno, E. L. ve Carcedo, F. J. A. 1995. Drilling and blasting of rocks. A.A. Balkema Publishers. ISBN: 9789054101994.
- Kampa, M. ve Castanas, E. 2008. Human health effects of air pollution. *Environmental Pollution*, 151,2, 362-367. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2007.06.012>.
- Karakoyun, N. ve Yıldız, Ş. 2021. Madencilik faaliyetlerinin çevresel etkilerinin değerlendirilmesi: Türkiye'den bir örnek. *Journal of Earth Sciences and Environmental Studies*, 3,1, 1-10. DOI: <https://doi.org/10.21923/jesd.939724>.
- Kesarkar, A. P., Singh, R., Borge, R. ve Sharma, M. 2013. A hybrid approach for air pollution modeling using WRF, AERMOD and receptor models. *Atmospheric Pollution Research*, 4,3, 208–218. <https://doi.org/10.5094/APR.2013.016>.
- Kul, A. 2022. ÇED sürecinde hava kalitesi dağılım modellemesi: Bir taş ocağı için AERMOD analizi. Yüksek Lisans Tezi, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Nevşehir.
- Küresel Çevre İzleme Ağı. 2021. Partikül Madde ve Sağlık Üzerine Etkileri. URL adres: <https://www.kureselcevresagligi.org/raporlar/partikul-madde-2021> Erişim Tarihi: 15.09.2023.
- Langer, W. H. (2001). Potential environmental impacts of quarrying stone in karst-A literature review (U.S. Geological Survey Open-File Report 01-0484). U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey.
- Langefors, U. ve Kihlstrom, B. 1963. The modern technique of rock blasting.

- Limpitlaw, D., Aken, M., Lodewijks, H. ve Viljoen, J. 2005. Post-mining rehabilitation, land use and pollution at collieries in South Africa. Presented at the Colloquium: Sustainable Development in the Life of Coal Mining, 13 July 2005, Boksburg.
- Lottermoser, B. G. 2010. Mine wastes: Characterization, treatment, and environmental impacts. Springer. Massassi, G., Hennies, W. T. ve Eston, S. M. 1997. Noise associated with mining excavation equipment. In Mine Planning and Equipment Selection (pp. 14). Balkema.
- Middleton, N. J. 2017. Desert dust hazards: A global review. *Aeolian Research*, 24, 53-63.
- Miller, S. 2018. Fumigation and its environmental risks. *Journal of Environmental Health*, 27,4, 76-89.
- Miller, W. R. ve Spalding, D. B. 2019. Meteorological factors in air quality assessments. *Atmospheric Science*, 20,1, 23-35.
- Miller, W. R. ve Spalding, T. 2016. Open pit mining: Fundamentals and best practices. *Journal of Mining Engineering*, 72,4, 12-20.
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM). 2022. Meteorolojik veriler ve istasyonlar. Retrieved from <http://www.mgm.gov.tr>.
- MTA, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü 2023. Madencilik Faaliyetleri ve Kullanım Alanları. URL adres: <https://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/maden-kullanim-alanlari> Erişim tarihi: 15.09.2023.
- Mudd, G. M. 2010. The environmental sustainability of mining in Australia: Key mega-trends and looming constraints. *Resources Policy*, 35,2, 98-115. DOI: 10.1016/j.resourpol.2009.11.002.
- National Mining Association. 2020. Mining industry's commitment to environmental stewardship (Report). URL Adres: <https://nma.org/category/environment> Erişim tarihi: 24.06.2022.
- OECD. 2006. Environmental performance reviews. Organisation for Economic Co-operation and Development.
- Olofsson, S. O. 1988. Applied explosives technology for construction and mining. Applex Publications.
- Olofsson, P. 1992. Blast design and control. *Mining Technology*, 101,4, 301-305.
- Pasquill, F. ve Gifford, F. A. 1950. Atmospheric diffusion and air pollution. London: Academic Press.
- Persson, P. A., Holmberg, R. ve Lee, J. 1994. Rock blasting and explosives engineering. CRC Press. ISBN: 9780849389788.

- Pope III, C. A. ve Dockery, D. W. 2006. Health effects of fine particulate air pollution: Lines that connect. *Journal of Air ve Waste Management Association*, 56,6, 709-742. <https://doi.org/10.1080/10473289.2006.10464485> .
- Ramani, R. V. 1987. Environmental planning for surface mining coal. *Environmental Consequences of Energy Production: Problems and Prospects*. The Pennsylvania Academy of Science, USA, 5 s.
- REC ve UNDP. 2006. Çevresel yönetim ve stratejik değerlendirmeler.
- Seinfeld, J. H. ve Pandis, S. N. 2016. *Atmospheric chemistry and physics: From air pollution to climate change* (3. ed.). Wiley-Interscience.
- Sharland, I. 1972. *Woods practical guide to noise control*. Woods of Colchester Ltd., May, England. [https://doi.org/10.1016/S0022-460X\(73\)80225-1](https://doi.org/10.1016/S0022-460X(73)80225-1) .
- Sharma, P. D., Kumar, A. ve Pandey, V. 2000. Mining impacts and mitigation measures.
- Sharma, B. ve Natarajan, A. 2020. Environmental impacts of mining: Monitoring, assessment, and mitigation. *Journal of Environmental Management*, 255, 109822.
- Sinha, S. ve Banerjee, S. P. 1994. A method for estimating fugitive particulate emission from haul roads in opencast coal mines and mitigative measures. In S. P. Banerjee (Ed.), *Proceedings of the Second National Seminar on Minerals and Ecology*, Dhanbad, India, 16 s.
- Simmonds, P. G. vd. 2020. Atmospheric modelling and simulation: An overview.
- Singh, P. K., Roy, M. P., Paswan, R. K., Sarim, M. D., Kumar, S. ve Jha, R. R. 2016. Rock fragmentation control in opencast blasting. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 8,2, 225-237.
- Siskind, D. E., Stagg, M. S., Kopp, J. W. ve Dowding, C. H. 1995. Structure response and damage produced by ground vibration from nearby blasting. U.S. Department of the Interior, Bureau of Mines.
- Stull, R. B. 1988. *An introduction to boundary layer meteorology*. Springer.
- Şahin, M. ve Aydın, O. 2019. Hava kalitesi modelleme yöntemleri: İstatistiksel ve matematiksel yaklaşımlar.
- T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. 2014. Atık Su Arıtma Tesisleri Yönetmeliği. URL Adres: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2014/20140308-1.htm> Erişim tarihi: 12.05.2024.

- T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. 2018. Patlatma Kılavuzu (Rehber doküman). URL Adres: <https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/patlatma-klavuzu-20181008152802.pdf> Erişim tarihi: 17.05.2024.
- T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. 2020. Hava Kalitesi İzleme Raporu (Rapor). URL Adres: https://webdosya.csb.gov.tr/db/havakalitesi/icerikler/2020_ulusal_hava_kalitesi_izleme_raporu-20210921112750.pdf Erişim tarihi: 27.06.2023.
- T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. 2020. Hava Kalitesi Ölçüm ve Değerlendirme Yöntemleri (Rehber). URL Adres: https://webdosya.csb.gov.tr/db/havakalitesi/icerikler/hava_kalitesi_degerlendirme_klavuzu-20210721120108.pdf Erişim tarihi: 10.04.2024.
- T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. 2021. Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağı Raporu (Rapor). URL Adres: https://webdosya.csb.gov.tr/db/havakalitesi/icerikler/ulusal_hava_kalitesi_izleme_agi_raporu_2021-20220725152420.pdf Erişim tarihi: 10.04.2024.
- T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. 2022. Hava Kalitesi İzleme Raporu (Rapor). URL Adres: https://webdosya.csb.gov.tr/db/havakalitesi/icerikler/ulusal_hava_kalitesi_izleme_agi_raporu_2022-20230712155938.pdf Erişim tarihi: 16.08.2024.
- T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. 2023. Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED) Yönetmeliği. URL Adres: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2023/06/20230610-5.htm> Erişim tarihi: 19.08.2024.
- T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. 2023. Hava Kalitesi İzleme Raporu (Rapor). URL Adres: https://webdosya.csb.gov.tr/db/havakalitesi/icerikler/guncel/ulusal_hava_kal_izlem_raporu_2023-20240327135516.pdf Erişim tarihi: 20.08.2024.
- T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. 2023. Atık Yönetimi (Yönetmelik). URL Adres: <https://webdosya.csb.gov.tr/db/cygm/icerikler/atikyonetimyonnetmeliği-20230630143222.pdf> Erişim tarihi: 20.08.2024.
- T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. 2023. Ege Temiz Hava Merkezi Müdürlüğü Hava Kirliliği Verileri. URL Adres: <https://egethm.csb.gov.tr/havakalitesi-39> Erişim tarihi: 06.09.2024.
- T.C. Resmî Gazete, 1593 Sayılı Umumi Hıfzısıhha Kanunu, 489, 24 01.1930, 10.
- T.C. Resmî Gazete, Atık Yönetimi Genel Esaslarına İlişkin Yönetmelik, 29329, 04.04.2015, 1-45.

- T.C. Resmî Gazete, Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik. 29314, 12.09.2015, 5-15.
- T.C. Resmî Gazete, Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, 30283, 25.01.2017, 5-23.
- T.C. Resmî Gazete, Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği, 30505, 06.06.2018, 1-45.
- Tosun, S. ve Keleş, C. 2019. Maden zenginleştirme tesislerinde atık su yönetimi. Uluslararası Çevre Bilimleri ve Teknolojileri Dergisi, 12,1, 19-27.
- TUA. 2023. Türkiye Uzay Ajansı. URL adres: <https://tua.gov.tr/tr/blog/dunya/dunya-nin-atmosferi-ve-katmanlari> Erişim tarihi: 06.09.2024.
- Tuncel, G., Yılmaz, M. ve Yılmaz, S. 1995. Türkiye'nin çevre sorunları. Türkiye Çevre Vakfı Yayını, Ankara.
- Turner, D. B. 1994. Workbook of atmospheric dispersion estimates: An introduction to dispersion modeling. Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards, U.S. Environmental Protection Agency.
- TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi (MAM). 2021. Sürdürülebilir Madencilik ve Toprak Rehabilitasyonu: Yöntemler ve Uygulamalar. URL adres: <https://www.mam.tubitak.gov.tr/surdurulebilir-madencilik-raporu> Erişim tarihi: 07.10.2024.
- Türk Tabipleri Birliği. 2011. Hava Kirliliğinin Öne Çıkan Sağlık Etkileri (Bilgi notu). URL Adres: https://www.ttb.org.tr/haberarsiv_goster.php?Guid=66d9288a-9232-11e7-b66d-1540034f819c Erişim tarihi: 25.06.2024.
- Türkiye İstatistik Kurumu. 2020. Tokat ili yüzölçümü ve coğrafi bilgiler. Ankara: TÜİK Yayınları.
- Türkiye İstatistik Kurumu. 2024. Tokat ili ve ilçelerinin nüfus istatistikleri. Ankara: TÜİK Yayınları.
- United States Environmental Protection Agency (US-EPA). 1995. User's guide for the industrial source complex (ISC3) dispersion models.
- United States Environmental Protection Agency (EPA). 1997. Climate change and water cycle.
- United States Environmental Protection Agency (EPA). 1999. ISC3 User's guide for the industrial source complex (ISC3) dispersion models.
- United States Environmental Protection Agency (USEPA). 2004. AERMOD: Description of model formulation. https://gaftp.epa.gov/Air/aqmg/SCRAM/models/preferred/aermod/aermod_mfd_454-R-03-004.pdf .

- United States Environmental Protection Agency (US EPA). 2010. Guideline on air quality models: Appendix W to Part 51.
- U.S. Environmental Protection Agency (EPA). 2014. Air quality monitoring protocols.
- U.S. Environmental Protection Agency (EPA). 2019. Criteria air pollutants.
- U.S. Geological Survey (USGS). 2020. The environmental impact of mining: A comprehensive study.
- USEPA. 2023. AERMOD modeling system. U.S. Environmental Protection Agency.
- USEPA AP-42. (5. baskı). Hava kirletici emisyon faktörleri derlemesi, cilt 1. Sabit nokta ve alan kaynaklar.
- USBM RI 8507. 1980. Ground vibrations from blasting and their effects on structures. U.S. Bureau of Mines.
- UNEP. 2019. Mining and the environment: A global overview. United Nations Environment Programme.
- Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağı (UHK). 2023. Hava kalitesi indeksi raporu. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı.
- World Bank. 2019. The World Bank and sustainable mining: Environmental protection and economic development. Washington, D.C.
- World Health Organization (WHO). 2018. Air pollution and child health.
- World Health Organization (WHO). 2021. Air quality and health. WHO air quality.
- Vallero, D. A. 2014. Fundamentals of air pollution (5. ed.). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/C2011-0-00034-8>.
- Yılmaz, A. O., Alp, . ve Çavuşoğlu, . 2005. Doğu Karadeniz bölgesinde taş ocaklarından kaynaklanan çevresel sorunlar. Madencilik ve Çevre Sempozyumu, 5-6 Mayıs 2005, Ankara. 18, 19 s.
- Younger, P. L., Banwart, S. A. ve Hedin, R. S. 2002. Mine water: Hydrology, pollution, remediation. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-94-010-0610-1> .
- Zannetti, P. 1990. Air quality modeling. Chelsea, MI: Lewis Publishers.
- URL-1<<https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/hizmetler/kutuphane/ekonomi-bultenleri/26/bulten3-14.pdf>>, Erişim tarihi: 01.10.2024.
- URL-2<<https://madencilikturkiye.com/cevresel-etki-degerlendirme-ve-lisans-alma-surecleri/>>, Erişim Tarihi: 15.01.2024.

URL-3<<https://www.renklinot.com/soru-cevap-2/kati-atiklar-nedir-kati-atiklar-nelerdir.html>>, Erişim Tarihi: 05.02.2024.

URL-4<<https://sciencing.com/difference-between-human-natural-air-pollution-23687.html>>, Erişim Tarihi: 12.02.2024.

URL-5 < <https://sim.csb.gov.tr/Services/AirQuality> >, Erişim Tarihi: 20.03.2024.

URL-6<<https://www.munzur.edu.tr/cbadergi/7/3/115-123>>,Erişim tarihi: 15.09.2023.

URL-7<<https://www.topkapigroup.com.tr/tr-TR/cop-gazi/2225>>, Erişim tarihi: 01.01.2025.

URL-8<<https://havakalitesi.ibb.gov.tr/Icerik/bilgi/inversiyon>>, Erişim tarihi: 16.10.2024.

URL-9<<https://www.iklimhaber.org/cisip-turkiyenin-2029-hava-kirliligi-sinir-degerleri-hedefi-dsotavsiyesinin-5-kati> >, Erişim tarihi: 20.07.2024.

URL-10<<https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2020/11/20201124-5.pdf>>, Erişim Tarihi: 10.05.2024.

URL-11 <<https://www.havaizleme.gov.tr>>, Erişim tarihi: 18.10.2024.

URL-12 <<https://faolex.fao.org/docs/pdf/tur90590.pdf>>, Erişim Tarihi: 10.11.2024.

EKLER

EK-A: MCZ marka PM₁₀ örnekleme cihazı formül tablosu



EK-A MCZ marka PM₁₀ örnekleme cihazı formül tablosu

Çizelge 4.40. MCZ marka PM₁₀ örnekleme cihazı formül tablosu

No	Tarih	Yer	Boş Filtre Kâğıdı Ağırlığı (gr)	Dolu Filtre Kâğıdı Ağırlığı (gr)	Ağırlık Farkı (µg)	Ortam Basıncı (mmHg)	Sıcaklık (°C)	Gerçek Akış (L\dak)	Geçen Zaman (saat)	Gerçek Hacim (m ³)	Standart Hacim (m ³)	Gerçek Derişim (µg/m ³)	Standart Derişim (µg/Nm ³)
1	18.09.2015	Elek Yanı	0,0899	0,09848	8490	687,5	22,1	38,5	2	4,62	3,87	1837,66	2195,87
2	18.09.2015	Kırıcı Yanı	0,0902	0,09847	8290	687,0	24,1	38,5	2	4,62	3,84	1794,37	2160,34
3	18.09.2015	Stok Alanı	0,0908	0,09609	5290	689,5	26,1	38,5	2	4,62	3,83	1145,02	1382,84
4	18.09.2015	Ocak (Patlatma)	0,0902	0,09237	2190	682,6	25,8	38,5	2	4,62	3,79	474,03	577,63
5	18.09.2015	Bunker Yanı	0,0886	0,09624	7690	684,5	26,9	38,5	2	4,62	3,79	1664,50	2030,17
6	18.09.2015	Tesis İçi Yol	0,0913	0,09575	4470	689,9	27,5	38,5	2	4,62	3,81	967,53	1173,19

Formüller:

$$V_{std} = V_{act} \times (P_{act}/P_{std}) \times (T_{std}/T_{act})$$

$$V_{act} = 60 \times Q_{act} \times t_{hr}/1000 \quad (A.1.1)$$

$$PM_{std} = M_{PM} / V_{std}$$

$$PM_{act} = M_{PM} / V_{act} \quad (A.1.2)$$

P _{std} : Standard Basıncı (760 mmHg)	PM _{act} : Gerçek PM ₁₀ Derişimi
P _{act} : Gerçek Basıncı (mmHg)	V _{act} : Gerçek Hacim
T _{act} : Gerçek Sıcaklık (Kelvin)	T _{std} : Standard Sıcaklık (273 Kelvin)
t _{hr} : Ölçüm Süresi (saat)	V _{std} : Standard Hacim
PM _{std} : Standard PM ₁₀ Konsantrasyonu	M _{PM} : Filtrede toplanan partikül madde ağırlığı

ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : Volkan SEREN

EĞİTİM BİLGİLERİ (Kurum ve Yıl)

Lisans : Aksaray Üniversitesi Çevre Mühendisliği (2007-2011)

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLERİ

1. Çevre Mühendisi, Bensus Madencilik Çevre Danışmanlık (2011 - 2013)
2. Çevre Mühendisi, Mers Çevre Danışmanlık (2014)
3. Çevre Mühendisi ve Çevre Koordinatörü, Doka Çevre Danışmanlık (2014 - 2016)
4. Çevre Mühendisi ve Koordinatör, İLCİ Holding (2016 - 2017)
5. Çevre Mühendisi ve Çevre Koordinatörü, Yıldev Madencilik (2017 - 2024)
6. Çevre Mühendisi ve Çevre Koordinatörü, Özel Şirket (2024 - Devam Ediyor)

TEZDEN ÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER

Uluslararası Hakemli Dergilerde Yayımlanan Makaleler

1. “Environmental Problems in Mining Quarries and Theoretical and Practical Comparison of Dust Emissions” <https://doi.org/10.17798/bitlisfen.1540768>