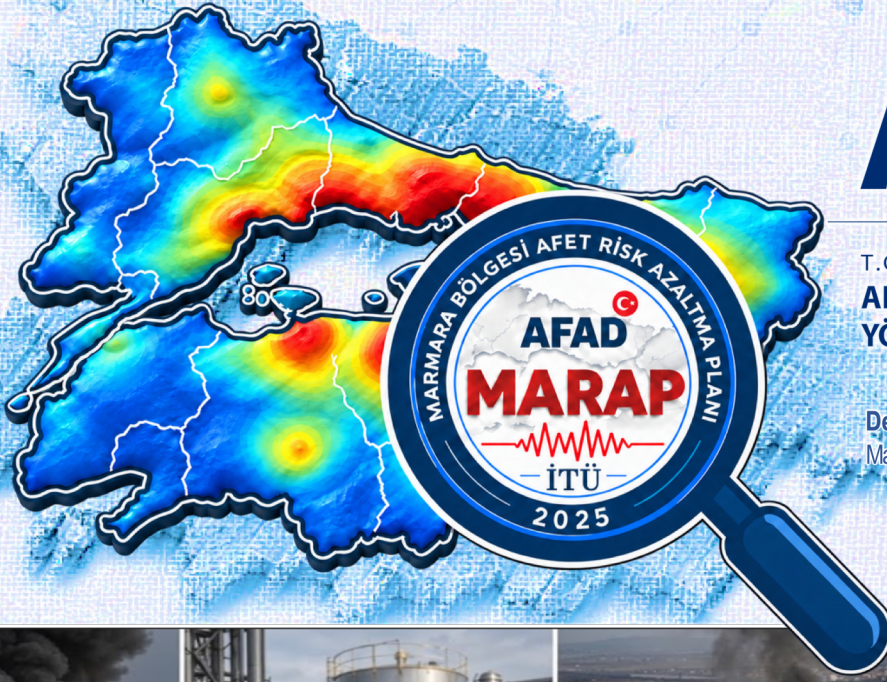




AFAD

T.C. İÇİŞLERİ BAKANLIĞI
AFET VE ACİL DURUM
YÖNETİMİ BAŞKANLIĞI

Deprem ve Risk Azaltma Genel Müdürlüğü
Marmara Afet Risklerini Azaltma Daire Başkanlığı



MARAP

MARMARA BÖLGESİ AFET RİSK AZALTMA PLANI Projesi

İş Paketi No: İP-4-F

**Haritalama: TEKNOLOJİK-AFETLER
TEHLİKE-RİSK Analizleri Sonuç Raporu**

İTÜ



ULUSAL COĞRAFI
BİLGİ TEKNOLOJİLERİ
İNNOVASYON UYGULAMA
ve ARAŞTIRMA MERKEZİ

<http://marap.afad.gov.tr>
2026-07-01 © AFAD

YÖNETİCİ ÖZETİ

Bu belge, MARAP Projesi'nin İP-4 (Haritalama) iş paketi kapsamında hazırlanan "Teknolojik Afetler ve NaTech" sonuç raporunun ilk bölümünü oluşturur ve raporun kavramsal ile metodolojik temelini ortaya koyar. Amaç, CBS tabanlı analizlerin dayandığı zemini tanımlamak; teknolojik afet ve NaTech kavramlarını tanımlamak, oluşum mekanizmalarını ve hukuki-kurumsal çerçeveyi açıklamak, çalışma alanı ile veri altyapısını tanıtmak ve tehlike-risk çıktılarının hesaplanmasına yönelik yöntemi ortaya koymaktır. Bu bölümlerde (Bölüm 1–4) tanımlanan yöntem Bölüm 5–8'de uygulanmış, elde edilen bulgular Bölüm 9'da, politika karşılıkları Bölüm 12'de ve genel değerlendirme Bölüm 13'te sunulmuştur.

Rapor; teknolojik afet riskinin tekil bir başlık olarak değil, diğer İP-4 tehlike yüzeyleriyle (deprem, sel-taşkın, heyelan, orman yangını) mekânsal olarak çakışan çoklu tehlike ve zincirleme (domino) mantığıyla değerlendirilmesi gerektiğini esas alır. Analizler, bölge genelinde 500 × 500 m çözünürlüklü grid ağı üzerinde bölgesel tarama olarak; orta risk ve üzerindeki tesis kümelerinde ise tesis bazlı nicel yöntemlerle (Fine-Kinney, HAZOP) derinleştirilerek yürütülmüştür. Risk; tehlike, maruziyet ve kırılganlığın çarpımsal fonksiyonu olarak, yönetilebilirlik bileşeniyle azaltılarak modellenmiştir.

Veri temeli ve kapsam beyanı. Çalışmanın tehlike kaynağı envanteri, AFAD aracılığıyla iletilen resmî BEKRA Bildirim Sistemi kayıtlarına dayanmaktadır. Marmara Bölgesi'ndeki on bir il için iletilen kayıtlar, koordinat denetimi, konum onarımı, mükerrer birleştirme ve madde envanteri çözümlemesinden geçirilerek 221 tekil kuruluşluk bir veri setine dönüştürülmüş; süreç Bölüm 6.2.1'de adım adım belgelenmiştir. Kuruluşların BEKRA seviyeleri bu nedenle artık tahminî değil, sistemin hesapladığı resmî kategorilerdir. Bununla birlikte Edirne ili için kayıt dosyası iletilmemiş, Kırklareli ve Yalova yalnız üst seviye dosyalarıyla temsil edilmiştir; bu illerde düşük kuruluş sayısı düşük tehlike değil, eksik kapsam anlamına gelir. Üretilen haritalar tesis düzeyinde bir güvenlik değerlendirmesi değil, ileri aşamada nicel çözümlemeye yönlendirecek bölgesel tarama katmanlarıdır.

Üretilen sonuçlar. Bu bölümde tanımlanan yöntem uygulanarak bölgenin tamamı için 500x500 m çözünürlüklü Teknolojik Afet Tehlike Haritası (TATH) ve Teknolojik Afet Risk Haritası (TARH) üretilmiştir. Yüksek ve üzeri tehlike sınıfındaki alan 546,2 km² (bölgenin %0,8'i), yüksek ve üzeri risk sınıfındaki alan 157 km²'dir; yüksek riskli alanda 2.631.380, orta ve üzeri riskli alanda 12.134.886 kişi yaşamaktadır. Tehlike bölge geneline yayılmak yerine, toplam 1.339 km² büyüklüğündeki 35 etkin koridorda kümelenmektedir. Teknolojik Risk Öncelik Puanına göre ilk dört koridor İzmit Körfezi, İstanbul Avrupa yakası kentsel-sanayi kuşağı, Gebze–Dilovası sanayi koridoru ve Marmara Ereğlisi terminal kuşağıdır. Bulguların ayrıntısı Bölüm 9'da, politika karşılıkları Bölüm 12'de sunulmuştur.

Alan-nüfus gerilimi. Çözümlemenin en belirleyici bulgusu, alan ile nüfus dağılımının ayrışmasıdır. Yüksek ve çok yüksek risk sınıfları bölge alanının yalnızca binde 2,2'sini kaplarken bu alanlarda 2,63 milyon kişi (bölge nüfusunun %10,0'ı) yaşamaktadır; orta ve üzeri sınıflar birlikte ele alındığında etkilenen nüfus 12,08 milyona (%45,7) ulaşmaktadır. Risk, alan üzerinden okunduğunda ihmal edilebilir, nüfus üzerinden okunduğunda ise yaygın görünmektedir. Bu gerilim, önceliklendirmenin alan değil nüfus temelinde kurulmasını gerektirir.

İl ve koridor düzeyi. Tehlike Kocaeli ve İstanbul'da yoğunlaşmakta, risk sıralamasında ise İstanbul öne geçmektedir: yüksek ve çok yüksek risk sınıfındaki 2,63 milyon kişinin 1,91 milyonu (%72,5) İstanbul'da yaşamaktadır. Bölge ortalamaları yönetsel karar için yeterli çözünürlük sunmadığından çözümleme, tehlikenin fiilen kümелendiği süreklilik alanları üzerinden sürdürülmüş; $TATH \geq 0,20$ hücrelerinin bağlantılı bileşenlerinden 35 etkin koridor türetilmiştir. Bu koridorlar bölge alanının %1,9'unu kaplamakla birlikte nüfusun %46'sını, tehlike kaynaklarının %75'ini (203/269) ve kritik tesislerin %39'unu barındırmaktadır.

Veri temelindeki iki yapısal düzeltme. Çalışmanın son aşamasında iki doğal tetikleyici katmanı yenilenmiştir. Devralınan sel-taşkın verisinin bölge kara alanının yalnız %6,3'ünde tanımlı olduğu belirlenmiş; Meriç-Ergene ve Sakarya havzalarındaki alüvyal ovaları kapsayan boşluk, Copernicus DEM GLO-30 üzerinden HAND yöntemiyle giderilerek sel bileşeninin kapsamı 18.885 km²'ye çıkarılmıştır. Deprem tetikleyicisi ise vekil bir çözüm yerine MARAP'ın 1.530 düğümlü PGA-475 veri setiyle değiştirilmiştir. Bu düzeltmeler yapılmıyaydı beş ilin teknolojik afet tehlikesi yapısal olarak düşük hesaplanacaktı. Envanter ayrıca yedi sivil havalimanı yakıt tesisinin eklenmesiyle 269 kayda tamamlanmıştır.

Dayanıklılık ve sınırlılıklar. Ağırlık seçiminin sonuca etkisi iki aşamalı olarak sınanmış; tek değişkenli analizde sıra korelasyonu 0,9991'in altına inmemiş, bütün ağırlıkların eşzamanlı $\pm\%20$ değiştirildiği 500 tekrarlı Monte Carlo denemesinde ortalama sınıf değişimi %1,24'te kalmıştır. Buna karşılık Edirne için BEKRA kayıt dosyası iletilmemiş, Kırklareli ve Yalova yalnız üst seviye dosyalarıyla temsil edilmiştir. Orman yangını riski ile sanayi dokusunun coğrafyası sistematik olarak ayrıştığından yangın, bölgesel bir tetikleyici yerine adresi belirli bir arayüz sorunu olarak ele alınmıştır.

Politika karşılığı. Bulgular, bölge geneline yayılan genel önlemler yerine adresi belirli bir müdahale programını işaret etmektedir. Teknolojik Risk Öncelik Puanı 45'in üzerindeki dört koridor — İzmit Körfezi (60,6), İstanbul Avrupa yakası kentsel-sanayi kuşağı (59,6), Gebze-Dilovası-Tuzla-Çayırova (52,3) ve Marmara Ereğlisi terminal kuşağı (47,4) — programın ilk aşaması için hedef alandır. Strateji paketleri, izleme göstergeleri ve uygulama yol haritası Bölüm 12'de, teslim seti ve ekler Bölüm 13.9'da sunulmuştur.

Arz olunur.

Temmuz 2026, İstanbul

ÖNSÖZ

Marmara Bölgesi Afet Risklerinin Azaltılması Projesi (MARAP), bölgenin maruz kaldığı tehlikelerin bilimsel yöntemlerle ortaya konulmasını ve elde edilen bulguların afet risk azaltma kararlarına doğrudan girdi oluşturmalarını amaçlamaktadır. Bu rapor, projenin İP-4-Haritalama iş paketi kapsamında yürütülen “Teknolojik Afet ve NaTech Tehlike-Risk Analizleri” çalışmasının sonuç ürünüdür.

Marmara Bölgesi, Türkiye’nin sanayi kapasitesinin büyük bölümünü, en yoğun ulaşım ve boru hattı ağlarını ve en kalabalık yerleşmelerini aynı coğrafyada bir arada barındırır. Bu birliktelik, teknolojik afet riskini tekil bir başlık olmaktan çıkararak deprem, sel-taşkın, heyelan ve orman yangını tehlikeleriyle mekânsal olarak çakışan bir çoklu tehlike sorununa dönüştürmektedir. Rapor bu nedenle, doğal tetikleyicilerin teknolojik kazaya yol açtığı NaTech süreçlerini ve tesisler arası zincirleme (domino) etkilerini çözümlemenin merkezine yerleştirir.

Çalışma iki katmanlı bir yaklaşım izler. Bölge geneli, 500 × 500 m çözünürlüklü kareler ağı üzerinde bir tarama olarak ele alınmış; risk, tehlike ile maruziyet ve kırılganlığın çarpımsal fonksiyonu olarak kurgulanıp yönetilebilirlik bileşeniyle azaltılmıştır. Orta risk ve üzerindeki tesis kümelerinde ise Fine-Kinney ve HAZOP gibi tesis bazlı nicel yöntemlerle derinleşme öngörülmüştür. Tehlike kaynağı envanteri, AFAD aracılığıyla iletilen resmî BEKRA Bildirim Sistemi kayıtlarına dayanır; koordinat denetimi, konum onarımı ve mükerrer kayıt birleştirmesinin ardından 221 tekil kuruluşluk bir veri seti elde edilmiştir. Bu çerçeveye bölgenin tamamı için **Teknolojik Afet Tehlike Haritası (TATH)** ve **Teknolojik Afet Risk Haritası (TARH)** üretilmiştir. Yüksek ve üzeri tehlike sınıfındaki alan 546,2 km², yüksek ve üzeri risk sınıfındaki alan 157 km² olarak hesaplanmış; tehlikenin bölge geneline yayılmak yerine toplam 1.339 km² büyüklüğündeki 35 etkin koridorda kümelendiği görülmüştür. Rapor, kavramsal ve metodolojik temeli Bölüm 1–4’te, harita üretim iş akışlarını Bölüm 5–8’de, bölge ve koridor bazlı bulguları Bölüm 9’da, politika ve strateji karşılıklarını Bölüm 12’de, genel değerlendirmeyi Bölüm 13’te sunar. Üretilen haritalar tesis düzeyinde bir güvenlik değerlendirmesi değil; önceliklendirmeye ve ileri aşamada nicel çözümlemeye yönlendiren, veri güncellendikçe yeniden çalıştırılabilir bölgesel tarama katmanlarıdır.

Çalışma sürecinin her aşamasındaki katkı sunan AFAD Deprem ve Risk Azaltma Genel Müdürlüğü ile Marmara Afet Risklerini Azaltma Daire Başkanlığı’na; analizlerin kurgulanması, model geliştirme ve harita üretimi süreçlerinde özveriyle çalışan İstanbul Teknik Üniversitesi proje ekibine teşekkür ederiz.

Prof. Dr. Tahsin YOMRALIOĞLU

MARAP Proje Yöneticisi,
İstanbul Teknik Üniversitesi, Proje Ekibi a.
Temmuz 2026, İstanbul

İÇİNDEKİLER

YÖNETİCİ ÖZETİ	2
ÖNSÖZ	4
Şekiller listesi	11
Tablolar listesi	12
Kısaltmalar.....	15
1 GİRİŞ.....	17
1.1 MARAP Projesi ve İP-4'ün Yeri.....	17
1.2 Raporun Amacı ve Kapsamı	18
1.3 Gerekçe: Marmara Bölgesi'nde Teknolojik Afet ve NaTech Riski	18
1.4 Raporun Diğer İP-4 Raporlarıyla İlişkisi ve Çoklu Tehlike Yaklaşımı.....	19
1.5 Raporun Yapısı ve Yöntemsel Duruş	20
2 KAVRAMSAL ÇERÇEVE	20
2.1 Temel Kavramlar: Tehlike, Maruziyet, Kırılganlık ve Risk.....	20
2.2 Teknolojik Afet ve NaTech Tanımları.....	20
2.3 Teknolojik Afet Türlerinin Sınıflandırılması.....	21
2.4 Teknolojik Afetlerin Oluşum Mekanizması	21
2.5 Domino Etkileri ve Zincirleme Olaylar	22
2.6 NaTech Süreçleri ve Tetikleme Mekanizmaları	22
2.7 Hukuki ve Kurumsal Çerçeve	23
2.8 Tarihsel Örnekler ve Tipik Zarar Örüntüleri	23
2.9 Teknolojik Afet Riskinin Ulusal ve Bölgesel Afet Yönetimindeki Yeri	24
3 ÇALIŞMA ALANI VE VERİ ALTYAPISI	24
3.1 Marmara Bölgesi: Genel ve Endüstriyel Coğrafya	24
3.2 Endüstriyel Sektörel Yapı ve Tehlike Kaynakları	25
3.3 Kritik Endüstriyel Tesis ve Küme Envanteri	25
3.4 Mekânsal Kümelenme Analizi	26
3.5 CBS Veri Altyapısı ve Katmanlar	27
3.6 Analiz Ölçeği: Kareler Ağı ve Nokta–Grid Dönüşümü	28
3.7 Koordinat Sistemi, Veri Standartları ve Kalite	28

3.8	Temel Varsayımlar ve Kapsam Dışı Unsurlar	28
4	RİSK HESAPLAMA METODOLOJİSİ	29
4.1	Genel Yaklaşım: İki Katmanlı Tarama ve Derinleşme	29
4.2	Risk Kavramsallaştırması ve Formülasyon	29
4.3	Tehlike Bileşeni ve Etki Zonu Modelleme	30
4.4	Maruziyet Bileşeni	30
4.5	Kırılganlık İndeksi	31
4.6	Yönetilebilirlik ve Kurumsal Kapasite	31
4.7	NaTech Entegrasyonu ve RAPID-N	31
4.8	Domino Etkilerinin Modellenmesi	32
4.9	Tesis Bazlı Nicel Yöntemler: Fine-Kinney ve HAZOP	32
4.10	Grid Tabanlı Hesaplama İş Akışı	32
4.11	Sınıflandırma ve Kademeli Envanter Doğrulama	33
4.12	Belirsizlik, Senaryo ve Hassasiyet Analizi	34
4.13	Çıktılar ve Harita Ürünleri	34
4.14	Yöntemin Sınırlılıkları	34
5	CBS TABANLI MODELLERİN GELİŞTİRİLMESİ	35
5.1	Genel Model Mimarisi ve Ortak İş Akışı	35
5.2	Teknolojik Tehlike Modeli	36
5.2.1	Modelin Amacı ve Kapsamı	36
5.2.2	Girdi Verileri	36
5.2.3	Genel İş Akışı ve Metodoloji	37
5.3	Maruziyet Modeli	37
5.3.1	Modelin Amacı ve Kapsamı	37
5.3.2	Girdi Verileri	38
5.3.3	Genel İş Akışı ve Metodoloji	38
5.4	Kırılganlık Modeli	38
5.4.1	Modelin Amacı ve Kapsamı	38
5.4.2	Girdi Verileri	38
5.4.3	Genel İş Akışı ve Metodoloji	38
5.5	NaTech Modeli	39

5.5.1	Modelin Amacı ve Kapsamı	39
5.5.2	Girdi Verileri	39
5.5.3	Genel İş Akışı ve Metodoloji	39
5.6	Domino Etkisi Modeli	39
5.6.1	Modelin Amacı ve Kapsamı	39
5.6.2	Girdi Verileri	39
5.6.3	Genel İş Akışı ve Metodoloji	40
5.7	Bileşik Risk Modeli ve Sınıflandırma	40
5.7.1	Modelin Amacı ve Kapsamı	40
5.7.2	Girdi Verileri	40
5.7.3	Genel İş Akışı ve Metodoloji	40
6	TEKNOLOJİK AFET TEHLİKE HARİTASININ (TATH) CBS İLE ÜRETİMİ .41	
6.1	Genel Çerçeve ve Ön Kabuller	41
6.2	Adım 1 — Veri Hazırlama ve Standartlaştırma	41
6.2.1	AFAD Teminli BEKRA Veri Setinin Düzenlenmesi	44
6.3	Adım 2 — Sabit Endüstriyel Tehlike Katmanının Üretimi	48
6.3.1	Bölge Geneli Uygulama: Girdi Verileri	49
6.3.2	Tehlike Ağırlıklarının Atanması.....	50
6.3.3	Yüzey Hesabı ve Parametreler	52
6.3.4	Bölge Geneli Sonuçlar	53
6.3.5	Sınırlılıklar ve Doğrulama İhtiyacı	54
6.4	Adım 3 — Ulaşım-Kaynaklı Tehlike Katmanının Üretimi	56
6.4.1	Bölge Geneli Uygulama: Girdi Verileri	56
6.4.2	Koridor Ağırlıkları ve Mesafe-Azaltımı	58
6.4.3	Yüzey Hesabı ve Parametreler	58
6.4.4	Bölge Geneli Sonuçlar	59
6.4.5	Sınırlılıklar ve Geliştirme Yönleri.....	60
6.5	Adım 4 — Doğal Tetikleyici Katmanların Hazırlanması (NaTech Girdisi)	61
6.5.1	Doğal Tetikleyici Katmanları: Genel Yaklaşım.....	61
6.5.2	Deprem Tehlikesi: Veri Kaynağı ve Yöntem.....	61

6.5.3	Deprem Tetikleyici Yüzeyi: Sonuçlar.....	63
6.5.4	Heyelan Tehlikesi: Veri Kaynağı ve Sonuçlar	64
6.5.5	Sel-Taşkın Tehlikesi: Veri Kaynağı ve Sonuçlar	66
6.5.6	Sel-Taşkın Verisindeki Kapsam Boşluğu ve HAND ile Tamamlanması 68	
6.5.7	Sınırlılıklar	72
6.6	Adım 5 — Normalizasyon ve Ağırlıklandırma	73
6.6.1	Katmanların Ortak Ölçeğe Getirilmesi	73
6.6.2	Bileşenlerin Ağırlıklandırılması.....	74
6.7	Adım 6 — Bileşik Tehlike Yüzeyinin Hesaplanması	76
6.7.1	Bileşik Yüzeyin Hesaplanması: Uygulanan Yöntem	76
6.7.2	Bileşik Sonuçlar	77
6.8	Adım 7 — Sınıflandırma ve Kartografik Sunum.....	80
6.9	Adım 8 — Doğrulama, Duyarlılık ve Kalite Kontrol	81
6.10	QGIS Araç ve Fonksiyon Karşılıkları	82
6.11	Tehlikeden Riske Geçiş: Ön Kavramsal Çerçeve	83
7	MARUZİYET-KIRILGANLIK HARİTALARININ ÜRETİMİ.....	83
7.1	Genel Çerçeve ve Ön Kabuller	83
7.2	Gündüz-Gece Nüfus Maruziyetinin Modellenmesi	84
7.3	Yapılı Çevre ve Hassas Kullanımların Maruziyeti	84
7.4	Ulaşım, Liman ve Kritik Altyapı Maruziyeti	84
7.5	Bileşik Maruziyet Yüzeyinin Üretimi	84
7.6	Kırılgnlık Boyutlarının Tanımı ve Hesaplanması.....	84
7.7	Erişilebilirlik ve Müdahale Kapasitesi Analizi	85
7.8	Bileşik Kırılgnlık İndeksinin Üretimi	85
7.9	QGIS Araç ve Fonksiyon Karşılıkları	85
7.10	Doğrulama ve Kalite Kontrol	86
7.11	Maruziyet ve Kırılgnlığın Risk Hesabındaki Yeri.....	86
8	BİLEŞİK RİSK YÜZEYİNİN VE RİSK HARİTALARININ ÜRETİMİ	87
8.1	Genel Çerçeve ve Ön Kabuller	87
8.2	Adım 1 — Bileşen Katmanlarının Hazırlanması	87

8.3	Adım 2 — NaTech ve Domino Etkilerinin Entegrasyonu	87
8.4	Adım 3 — Yönetilebilirlik Bileşeninin Uygulanması	87
8.5	Adım 4 — Bileşik Risk Yüzeyinin Hesaplanması	88
8.6	Adım 5 — Sınıflandırma ve Risk Haritalarının Üretimi	88
8.7	Adım 6 — Küme Bazlı Önceliklendirme ve Nicel Derinleşme	88
8.8	Adım 7 — Senaryo, Belirsizlik ve Hassasiyet Analizleri	88
8.9	Adım 8 — Doğrulama, Kalite Kontrol ve Güncelleme	88
8.10	QGIS Araç ve Fonksiyon Karşılıkları	89
8.11	Çıktılar ve Karar Desteğine Entegrasyon	89
9	ÇÖZÜMLEME ÇERÇEVESİ VE YÖNTEM	90
9.1	Bölge Bazında Tehlike Çözümlemesi	92
9.1.1	Tehlikenin Bölge Genelindeki Dağılımı	92
9.1.2	Bileşenlerin Katkısı	94
9.1.3	İl Bazında Tehlike	94
9.1.4	İlçe Bazında Tehlike	95
9.2	Bölge Bazında Risk Çözümlemesi	95
9.2.1	Riskin Bölge Genelindeki Dağılımı	95
9.2.2	Gece ve Gündüz Senaryolarının Karşılaştırılması	97
9.2.3	İl Bazında Risk	98
9.2.4	İlçe Bazında Risk ve Öncelik Sıralaması	98
9.2.5	Kritik Tesislerin Maruziyeti	99
9.3	Yönetilebilirlik ve Müdahale Kapasitesi	100
9.4	Etkin Koridorlar Bazında Çözümleme	101
9.4.1	Koridor Kavramı ve Türetim Yöntemi	101
9.4.2	Koridor Envanteri	103
9.4.3	Öncelikli Koridorların Ayrıntılı Değerlendirmesi	104
9.4.4	Koridor Tipolojisi	107
9.5	Orman Yangını – Teknolojik Tesis Arayüzü	109
10	ÖNCELİKLİ MÜDAHALE ALANLARI VE ÖNERİLER	113
11	SINIRLILIKLAR	114

12	TEKNOLOJİK AFET VE NaTech RİSK AZALTMA POLİTİKALARI VE STRATEJİLERİ	116
12.1	Bölümün Amacı ve Karar Çerçevesi	116
12.2	Bulgudan Politikaya Geçiş Mantığı.....	117
12.3	Mekânsal Öncelik Yaklaşımı: Küme Bazlı Önceliklendirme	117
12.4	Çok Ölçütlü Teknolojik Risk Önceliklendirme Puanı	118
12.5	Öncelikli Strateji Paketleri	120
12.6	Uygulama Yol Haritası	122
12.7	İzleme ve Performans Göstergeleri	122
12.8	Yönetişim ve Kurumsal Çerçeve.....	122
12.9	Bölümün Bulgularla İlişkilendirilmesi	123
13	SONUÇLAR VE GENEL DEĞERLENDİRME	124
13.1	Çalışmanın Amacı, Kapsamı ve Yaklaşımı	124
13.2	Kavramsal ve Yasal Çerçevenin Özeti	125
13.3	Çalışma Alanı ve Marmara'nın Teknolojik Afet Kritikliği	125
13.4	Metodolojik ve Teknik İş Akışının Özeti.....	126
13.5	Tesis Envanteri: Bulgular	126
13.6	Ana Bulgular: Üretilen Tehlike ve Risk Yüzeyleri	127
13.7	Politika ve Strateji Çerçevesi	130
13.8	Sınırlılıklar ve Belirsizlikler	131
13.9	Teslim Seti ve Ekler	133
14	KAYNAKLAR	135
15	EKLER	138

Şekiller listesi

Şekil 4-1 Grid tabanlı hesaplama iş akışının dokuz adımı (şematik gösterim).	33
Şekil 6-1 Marmara Bölgesi sabit endüstriyel tehlike zonları (bağıl, 0–1; temel senaryo R2). Sanayi (24.068 tesis) ve akaryakıt/LPG (3.885 istasyon) yoğunluğu ile Tehlike Kaynağı Envanteri v4.0 çekirdeklerinin (269 kayıt; 220'si resmî BEKRA kuruluşu) ve ağırlıklı organize sanayi alanı katmanının (190 poligon) bileşimi; 500 m grid, KDE $\approx$ 1.500 m, EPSG:5637, MARAP 11 il tam kapsam.	54
Şekil 6-2 Marmara Bölgesi hareketli (ulaşım kaynaklı) tehlike katmanı (bağıl, 0–1). Koridor yüzeyi (0,70) ile ağır taşıt kaza yoğunluğunun (0,30) birleşimi: otoyol/ekspres 10.362 km, ana yol 11.386 km, konvansiyonel demiryolu 2.328 km, 22 araç-feribot düğümü; 500 m grid, EPSG:5637, MARAP 11 il tam kapsam.	59
Şekil 6-3 Ağır taşıt koridorlarında kaza yoğunluğu (2020–2024). Otoyol, devlet yolu, il yolu ve bağlantı yollarındaki 45.365 ölümlü-yaralanmalı kaza; şiddet ağırlıklı (ölü + 0,1 $\times$ yaralı) ve yıl-normalize çekirdek yoğunluğu; 500 m grid (EPSG:5637).	60
Şekil 6-4 Deprem tehlike yüzeyi — PGA (DD-2, 475 yıl). MARAP PGA-475 veri setinin (45 $\times$ 34 düğüm, $\approx$ 10 km) 500 m gride bileer aktarımı; EPSG:5637.	63
Şekil 6-5 Deprem tehlike sınıfları (5 sınıflı). Sınıf sınırları PGA konturlarıyla gösterilmiştir; 500 m grid.	64
Şekil 6-6 Heyelan tehlike yüzeyi (0–1) — H_RAIN_3d_50yr (3 günlük yağış, 50 yıl). İP-4 heyelan modeli, 500 m grid (EPSG:5637); deniz alanları maskeli.	65
Şekil 6-7 Heyelan tehlike sınıfları (5 sınıflı; çok düşük–çok yüksek). 500 m grid (EPSG:5637).	66
Şekil 6-8 Sel-taşkın tehlike sınıfları (Q500; 1–4 sıralı sınıf). İP-4 Sel-Taşkın modeli, ortak 500 m gride en yakın komşu örneklemeye aktarılmıştır (EPSG:5637).	67
Şekil 6-9 Sel-taşkın tehlike verisinin MARAP alanındaki kapsamı ve kapsam boşluğu. Mavi: İP-4 Sel-Taşkın çalışmasından devralınan Q500 katmanının tanımlı olduğu alan (4.469 km ²); turuncu: hiçbir taşkın tehlike değeri taşımayan alan (66.492 km ² , bölgenin %93,7'si). 500 m grid (EPSG:5637).	69
Şekil 6-10 HAND (En Yakın Drenaja Göre Yükseklik) yöntemiyle sınırlandırılan taşkın ovası. Mavi tonlar HAND taşkın ovasının bağıl tehlike değerini (0–1), kırmızı ise resmî Q500 taşkın tehlikesini göstermektedir. Girdi: Copernicus DEM GLO-30 (30 m); işlem çözünürlüğü 100 m; ürün 500 m grid (EPSG:5637).	71
Şekil 6-11 TATH sınıflandırmasının ağırlık belirsizliğine karşı kararlılığı. Tüm ağırlıklar eşzamanlı $\pm$ %20 aralığında değiştirilerek 500 tekrarlı Monte Carlo denemesi yapılmış; her hücre için taban sınıfını koruma oranı gösterilmiştir; 500 m grid (EPSG:5637).	75

Şekil 6-12 Bileşik teknolojik tehlike yüzeyinin (TATH) üretim akışı; orman yangını katmanı bileşime girmeyen yan dal olarak gösterilmiştir.	77
Şekil 6-13 Bileşik Teknolojik Afet Tehlike Haritası (TATH) — bağıl 0–1. Teknolojik tehlike-kaynağı × doğal tetikleyici (0,55 deprem + 0,25 sel-taşkın + 0,20 heyelan).	79
Şekil 6-14 Bileşik TATH sınıfları — sabit eşikli gösterim (5 sınıflı). Yüksek ve çok yüksek sınıflar sanayi kümeleriyle sınırlıdır; 500 m grid (EPSG:5637).	79
Şekil 6-15 Bileşik TATH sınıfları — doğal kırılımlı gösterim (0,05 / 0,12 / 0,23 / 0,43).	80
Şekil 9-1 Sel-taşkın bileşenindeki kapsam boşluğunun HAND yöntemiyle giderilmesi.	91
Şekil 9-2 Marmara Bölgesi Teknolojik Afet Tehlike Haritası (TATH) — sabit eşikli beş sınıflı gösterim. 500 m grid, EPSG:5637, MARAP 11 il tam kapsam (70.960 km ²).	93
Şekil 9-3 TATH — doğal kırılımlı gösterim (eşikler 0,05 / 0,12 / 0,23 / 0,43). Üst sınıflar genişlediğinden İzmit–İstanbul eksenini dışındaki sanayi odakları görünür hâle gelmektedir.	93
Şekil 9-4 Marmara Bölgesi Teknolojik Afet Risk Haritası (TARH) — gece senaryosu. $R = (\text{Tehlike} \times \text{Maruziyet} \times \text{Kırılabilirlik}) / \text{Yönetilebilirlik}$	96
Şekil 9-5 TARH — gündüz senaryosu. Maruziyet katmanında gündüz nüfusu kullanılmıştır.	97
Şekil 9-6 Kritik tesislerin TATH sınıflarına göre dağılımı ve yüksek gerilim enerji iletim şebekesi.	100
Şekil 9-7 İtfaiye erişilebilirliği — yönetilebilirlik göstergesi. En yakın istasyona kuş uçuşu uzaklık kuşakları.	101
Şekil 9-8 Etkin teknolojik afet koridorları. $TATH \geq 0,20$ hücrelerinin bağlantılı bileşenlerinden türetilmiş, 6,25 km ² 'den büyük 35 koridor.	102
Şekil 9-9 Orman yangını riski ile teknolojik afet koridorlarının ve tehlike kaynaklarının kesişimi. Koyu tonlar 500 m hücrede yüksek ve çok yüksek yangın riski sınıfının alan payını göstermektedir.	112
Şekil 11-1 TATH sınıflandırmasının ağırlık belirsizliğine karşı kararlılığı (500 tekrarlı Monte Carlo, $\pm 20\%$).	115

Tablolar listesi

Tablo 2-1 Teknolojik afet türlerinin tehlike kaynağına göre sınıflandırılması	21
---	----

Tablo 2-2 Domino etkisi yayılma vektörleri, etki mekanizmaları ve değerlendirme yaklaşımları	22
Tablo 2-3 Teknolojik afet ve NaTech değerlendirmesinin hukuki ve metodolojik referansları	23
Tablo 3-1 Marmara Bölgesi'nde öne çıkan endüstriyel kümeler ve baskın NaTech riskleri.....	26
Tablo 3-2 Risk denklemi bileşenlerine göre kullanılan CBS veri katmanları	27
Tablo 4-1 Etki türlerine karşılık gelen kaza-etki modelleri ve belirleyici parametreler	30
Tablo 4-2 Grid tabanlı hesaplama iş akışının adımları.....	33
Tablo 4-3 Bileşik risk sınıfları, anlamları ve müdahale yaklaşımları	34
Tablo 6-1 TATH bileşenleri, girdileri, üretim yöntemleri ve güncel durumu. Ağırlıklar başlangıç değerleridir ve Bölüm 6.6.2'de duyarlılık analizine tabi tutulmuştur.	42
Tablo 6-2 TATH üretim iş akışı ve adımların rapor içindeki karşılıkları.....	43
Tablo 6-3 MARAP analiz maskesinin il bazında dağılımı (500 m grid, izdüşüm alanı).	44
Tablo 6-4 AFAD tarafından iletilen BEKRA veri paketinin bileşenleri ve analizdeki rolleri.	44
Tablo 6-5 Geçerlilik denetiminde belirlenen konum hataları.	45
Tablo 6-6 Kademeli konum onarımı basamakları ve sonuçları. Toplam 15 geçersiz koordinatın 14'ü onarılmış; kırsal adresli bir kayıt (Malkara/Çavuşköy) konumlandırılmamıştır.....	46
Tablo 6-7 Bildirilen tehlikeli maddelerin sınıf dağılımı.	46
Tablo 6-8 Resmî kayda dayalı tehlike ağırlığı (1–5) bileşenleri.....	47
Tablo 6-9 Ham veri ile düzenlenmiş veri setinin karşılaştırması.	48
Tablo 6-10 Organize sanayi alanı katmanının sınıfları ve taban ağırlıkları.	51
Tablo 6-11 Havalimanlarının tehlike kaynağı envanterine alınmasında uygulanan kademelendirme.	56
Tablo 6-12 Hareketli (Ulaşım) tehlike katmanının girdi ağları, düğümleri ve kapsam dışı bırakılan sınıflar.....	57
Tablo 6-13 Koridor sınıflarına göre tehlike ağırlıkları ve mesafe-azalım uzunlukları.	58
Tablo 6-14 HAND ile sınırlandırılan taşkın ovasının bağımsız doğrulaması. Taşkın ovasının kesin göstergeleri ile ova dışı arazi örtüsü sınıflarının HAND taşkın ovasına düşme oranları.	70

Tablo 6-15 Resmî Q500 kapsamı ile HAND ile sınırlandırılan taşkın ovasının il bazında karşılaştırması. 'Yeni kazanım', resmî taşkın verisi bulunmayan alanda HAND ile tanımlanan taşkın ovasıdır.	70
Tablo 6-16 Tek değişkenli duyarlılık analizi sonuçları. Her satırda yalnız belirtilen ağırlık $\pm\%20$ oynatılmış, aynı düzeydeki diğer ağırlıklar yeniden normalize edilmiştir.	74
Tablo 6-17 Bileşik TATH'ın il bazında ortalaması ve yüksek/çok yüksek sınıf alanı.	78
Tablo 6-18 Bileşik TATH'ın iki sınıflandırma kurgusuna göre alan dağılımı.	81
Tablo 6-19 Envanter kapsamı senaryolarına göre tehlike sınıfı dağılımı (hücre sayısı).	81
Tablo 7-1 Kırılganlık indeksi boyutları, göstergeleri ve hesaplama yaklaşımları....	85
Tablo 9-1 Risk denkleminin bileşenleri, girdileri ve bölge ortalamaları.....	91
Tablo 9-2 TATH sınıflarının bölge genelindeki dağılımı (sabit eşikli gösterim).	92
Tablo 9-3 Tehlike bileşenlerinin bölge geneli istatistikleri.	94
Tablo 9-4 İl bazında tehlike göstergeleri (sabit eşikli gösterim).....	95
Tablo 9-5 TARH sınıflarının alan ve nüfus dağılımı (gece senaryosu).	96
Tablo 9-6 İl bazında risk göstergeleri (gece senaryosu).	98
Tablo 9-7 Yüksek ve çok yüksek risk sınıfındaki nüfusa göre ilk 15 ilçe.	99
Tablo 9-8 Kritik tesislerin risk sınıflarına göre dağılımı.....	99
Tablo 9-9 Etkin teknolojik afet koridorları ve temel göstergeleri (alana göre sıralı).	103
Tablo 9-10 Koridor 3 — İzmit Körfezi (İzmit–Körfez–Derince–Başiskele–Gölcük) göstergeleri. İlçeler: İzmit, Kartepe, Başiskele, Körfez, Derince, Gölcük.	105
Tablo 9-11 Koridor 1 — İstanbul Avrupa yakası kentsel-sanayi kuşağı (Ambarlı–Esenyurt–Bakırköy) göstergeleri. İlçeler: Başakşehir, Esenyurt, Beylikdüzü, Bakırköy, Küçükçekmece, Bahçelievler.	105
Tablo 9-12 Koridor 2 — Gebze–Dilovası–Tuzla–Çayirova sanayi koridoru göstergeleri. İlçeler: Gebze, Dilovası, Tuzla, Pendik, Çayirova, Darıca.....	106
Tablo 9-13 Koridor 12 — Marmara Ereğlisi terminal kuşağı göstergeleri. İlçeler: Marmaraereğlisi.	107
Tablo 9-14 Koridor 11 — Bandırma liman ve sanayi kuşağı göstergeleri. İlçeler: Bandırma.	107
Tablo 9-15 Koridor tipolojisi ve tipe göre öncelikli politika araçları.	108

Tablo 9-16 Havalimanı yakıt ikmal tesislerinin envantere alınmasının tehlikeye etkisi.....	109
Tablo 9-17 Orman yangını riski bakımından bölge geneli ile teknolojik afet unsurlarının karşılaştırması.....	110
Tablo 9-18 Orman yangını maruziyeti %25 ve üzerinde olan yedi teknolojik afet koridoru.	111
Tablo 12-1 Öncelik puanına göre ilk on koridor ve temel göstergeleri. Ayrıntılı liste ve tüm koridorların göstergeleri MARAP_koridor_öncelik_puanı.xlsx dosyasındadır.....	118
Tablo 12-2 Teknolojik Risk Öncelik Puanının bileşen bazında dağılımı (ilk on koridor; parantez içindeki değerler bileşen tavanlarıdır).	119
Tablo 13-1 Tehlike Kaynağı Envanteri v4.0'ın öznitelik ve konum niteliği.	127
Tablo 13-2 Bileşik tehlike ve risk yüzeylerinin sınıf dağılımı (sabit eşikli gösterim; risk gece senaryosu).....	128
Tablo 13-3 İl bazında tehlike ve risk göstergeleri.	128
Tablo 13-4 Teslim setindeki sayısal eklerin listesi.	133

Kısaltmalar

Kısaltma	Açıklama	Açıklama (İngilizce)
AFAD	Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı	Disaster and Emergency Management Presidency
AYDES	Afet Yönetim ve Karar Destek Sistemi	Disaster Management and Decision Support System
BEKRA	Büyük Endüstriyel Kazaların Önlenmesi ve Azaltılması	Prevention and Mitigation of Major Industrial Accidents
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri	Geographic Information Systems (GIS)
HAZOP	Tehlike ve İşletilebilirlik Analizi	Hazard and Operability Study
MARAP	Marmara Bölgesi Afet Risk Azaltma Planı	Marmara Region Disaster Risk Reduction Plan
NACE	AB Ekonomik Faaliyet Sınıflandırması	EU Statistical Classification of Economic Activities
NaTech	Doğal Afet Tetiklemeli Teknolojik Kaza	Natural Hazard Triggered Technological Accident
OSB	Organize Sanayi Bölgesi	Organised Industrial Zone
QRA	Nicel Risk Değerlendirmesi	Quantitative Risk Assessment
RAPID-N	Rapid Natech Risk Assessment (JRC)	Rapid Natech Risk Assessment (JRC)
SEVESO	AB Büyük Kaza Önleme Direktifi	EU Major Accident Prevention Directive

Kısaltma	Açıklama	Açıklama (İngilizce)
ŞESİM	Şehir Sağlığı İzleme Merkezi/Sistemi	City Health Monitoring Centre / System
TATH	Teknolojik Afet Tehlike Haritası	Technological Disaster Hazard Map
İP-4	MARAP İş Paketi 4 (Teknolojik Afet ve NaTech Analizleri)	MARAP Work Package 4 (Technological Disaster and NaTech Analyses)
PGA	En Büyük Yer İvmesi (Peak Ground Acceleration)	Peak Ground Acceleration
QGIS	Açık Kaynak Coğrafi Bilgi Sistemleri Yazılımı	Open Source Geographic Information System Software
HAND	Akarsu Yatağına Göre Yükseklik (Height Above Nearest Drainage)	Height Above Nearest Drainage
AHP	Analitik Hiyerarşi Süreci	Analytic Hierarchy Process
KDE	Çekirdek Yoğunluk Tahmini (Kernel Density Estimation)	Kernel Density Estimation
IDW	Ters Mesafe Ağırlıklı Enterpolasyon	Inverse Distance Weighting
DEM	Sayısal Yükseklik Modeli (Digital Elevation Model)	Digital Elevation Model
LPG	Sıvılaştırılmış Petrol Gazı	Liquefied Petroleum Gas
LNG	Sıvılaştırılmış Doğal Gaz	Liquefied Natural Gas

1 GİRİŞ

1.1 MARAP Projesi ve İP-4'ün Yeri

Marmara Bölgesi Afet Risk Azaltma Planı (MARAP), Türkiye Cumhuriyeti İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) ile İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) arasında imzalanan protokol kapsamında yürütülen; Marmara Bölgesi'ndeki 11 ilin afet risklerini bilimsel, karşılaştırılabilir ve karar destek odaklı bir çerçevede değerlendirmeyi amaçlayan çok iş paketli bir projedir. Proje; literatür ve kavramsal temelin oluşturulması (İP-1), teknolojik afet türlerinin modellenmesi ve il bazlı analizler (İP-2), afet türlerinin önceliklendirilmesi (İP-3) ve tehlike-risk haritalarının üretilmesi (İP-4) iş paketlerinden oluşur.

İş paketleri arasındaki ilişki doğrusal ve birikimlidir. İP-1, ulusal ve uluslararası literatürü tarayarak tehlike, maruziyet, kırılganlık ve risk kavramlarına ilişkin ortak bir terminoloji ve kavramsal çerçeve kurar (Crichton, 1999; UNDRR, 2015). İP-2, bu çerçeveyi Marmara Bölgesi'ne özgü afet türlerine uygulayarak modelleme yaklaşımlarını ve il bazlı değerlendirmeleri ortaya koyar. İP-3, elde edilen bulguları karşılaştırılabilir ölçütler üzerinden değerlendirerek afet türlerini önceliklendirir ve böylece kaynakların hangi tehlike türlerine yoğunlaştırılacağına dair politika sinyalini üretir. İP-4 ise bu üç iş paketinin çıktısını mekânsallaştırır: kavramsal tanımlar ölçülebilir göstergelere, göstergeler grid tabanlı hesaplama iş akışlarına, hesaplama sonuçları ise karar vericinin doğrudan kullanabileceği tehlike ve risk haritalarına dönüştürülür.

İP-4 "Haritalama" iş paketi, önceki iş paketlerinde geliştirilen kavramsal ve metodolojik altyapıyı somut tehlike ve risk haritalarına dönüştürür. Bu kapsamda deprem, iklim, orman yangını ve sel-taşkın için sonuç raporları üretilmiştir. İP-3 önceliklendirmesinde üçüncü sırada yer almasına karşın, teknolojik afetler ve NaTech için bir sonuç raporu bulunmamaktaydı. Bu rapor, söz konusu eksikliği gidermek üzere revize olarak hazırlanmıştır.

Teknolojik afetler ve NaTech olaylarının haritalanmasındaki gecikmenin nedenleri yöntemsel ve veri kaynaklıdır. Deprem, sel-taşkın veya orman yangını gibi doğa kaynaklı tehlikelerde tehlike bileşeni büyük ölçüde fiziksel süreçlerle ve görece standartlaşmış veri setleriyle modellenenirken; teknolojik tehlikelerde tehlike kaynağı insan yapımı tesislerin envanterine, tesislerde bulunduran tehlikeli madde miktar ve türlerine, süreç koşullarına ve işletme uygulamalarına bağlıdır. Bu bilgilerin önemli bir kısmı ticari gizlilik, güvenlik veya idari erişim kısıtları nedeniyle sınırlı düzeyde paylaşılabılır niteliktedir. Buna, doğa kaynaklı bir tetikleyicinin endüstriyel bir kazayı başlatması (NaTech) ve bu kazanın komşu tesislere yayılması (domino etkisi) durumundaki zincirleme olasılık hesaplarının karmaşıklığı eklenmektedir.

Bu rapor, söz konusu boşluğu iki aşamalı bir stratejiyle kapatmayı amaçlar. Birinci aşamada, bölge genelinde erişilebilir ve tutarlı veriler kullanılarak grid tabanlı

bir tarama yapılır ve göreceli risk düzeyi yüksek alanlar belirlenir. İkinci aşamada, taramada öne çıkan tesis ve kümeler için tesis ölçeğinde derinleşme yöntemleri (etki zonu modelleme, Fine-Kinney: Kinney & Wiruth, 1976; HAZOP: IEC, 2016; RAPID-N tabanlı NaTech değerlendirmesi: Girgin & Krausmann, 2013) önerilir. Böylece hem bölgesel ölçekte karşılaştırılabilir bir harita ürünü elde edilir, hem de sınırlı denetim ve inceleme kaynaklarının hangi noktalara yönlendirilmesi gerektiği konusunda önceliklendirme yapılabilir.

Raporun bu ilk kısmı (Bölüm 1–4), söz konusu iki aşamalı yaklaşımın kavramsal ve metodolojik temelini kurar; CBS analizleri ve harita üretimiyle tamamlanan Bölüm 5–8’in girdi setini, varsayımlarını ve sınırlılıklarını şeffaf biçimde tanımlar. Dolayısıyla bu metin, nihai haritaların nasıl okunması ve hangi kararlar için kullanılıp kullanılmayacağı konusunda da bağlayıcı bir çerçeve sunar.

1.2 Raporun Amacı ve Kapsamı

Raporun temel amacı, Marmara Bölgesi’nde teknolojik afet ve NaTech tehlikesini, bu tehlikeden kaynaklanan riski ve riskin mekânsal dağılımını; diğer İP-4 raporlarıyla aynı biçim ve yöntem mantığında, karar süreçlerine doğrudan girdi oluşturacak biçimde ortaya koymaktır. Bu ilk bölüm özelinde amaç, sayısal analizlere geçilmeden önce raporun kavramsal ve metodolojik temelini eksiksiz biçimde kurmaktır.

Kapsam üç boyutta tanımlanır. Coğrafi olarak Marmara Bölgesi’ndeki 11 il (İstanbul, Kocaeli, Sakarya, Yalova, Bursa, Tekirdağ, Çanakkale, Balıkesir, Bilecik, Edirne, Kırklareli) esas alınır. Konu bakımından; rafineri, akaryakıt ve LNG terminalleri, kimyasal üretim ve depolama tesisleri, gübre ve asit fabrikaları, limanlar, OSB’ler, enerji üretim ve iletim altyapıları ile karayolu tehlikeli madde taşımacılığı gibi endüstriyel tehlike kaynakları kapsanır. Yöntemsel olarak ise; hem sabit tesis kaynaklı teknolojik kazalar hem de doğal afetlerin bu tesisleri tetiklediği NaTech ve tesisler arası domino süreçleri birlikte ele alınır.

Bu raporun bu bölümü, *mikro ölçekli (tesis içi) güvenlik değerlendirmesi yapmaz; bölgesel ölçekte önceliklendirmeye yönelik bir tehlike-risk çerçevesi kurar*. Tesis içi tank, proses ünitesi, güvenlik mesafesi ve müdahale zonu düzeyindeki değerlendirmeler; ilerleyen bölümlerde, seçilmiş kümeler için tesis bazlı nicel yöntemlerle ele alınacaktır.

1.3 Gerekçe: Marmara Bölgesi’nde Teknolojik Afet ve NaTech Riski

Marmara Bölgesi, Türkiye’nin nüfus, sanayi üretimi, enerji ve ulaşım altyapısı bakımından en yoğun bölgesidir. Ülkenin en büyük sanayi kümelenmeleri, rafineri ve petrokimya kapasitesi, konteyner ve sıvı yük limanları ile enerji ithalat terminallerinin önemli bölümü bu bölgede yer alır. Bu yoğunluk, teknolojik kazaların

yol açacağı zararın büyüklüğünü, aynı ölçekteki bir olayın ülkenin diğer bölgelerinde yaratacağı zarara kıyasla belirgin biçimde artırmaktadır.

Bölgenin ikinci belirleyici özelliği, bu endüstriyel yoğunluğun yüksek doğal afet tehlikesiyle mekânsal olarak örtüşmesidir. Kuzey Anadolu Fay Sistemi kaynaklı yüksek deprem tehlikesi; kıyı ve ova alanlarındaki taşkın ve sivilaşma potansiyeli; yamaç alanlarındaki heyelan duyarlılığı ve güney kesimlerdeki orman yangını tehlikesi, endüstriyel tesislerle aynı coğrafyada bulunur. Bu örtüşme, doğal bir afetin teknolojik bir kazayı tetiklediği NaTech süreçlerini bölge için soyut değil somut ve öncelikli bir tehdit hâline getirir.

Bu yoğunluk yalnızca tesis sayısı ile değil, ekonomik ve altyapısal ağırlıkla da ölçülür. Bölgedeki rafineri ve petrokimya kapasitesi, sıvı ve konteyner yük elleçleyen limanlar, doğal gaz ithalat ve depolama terminalleri ile organize sanayi bölgeleri, ülke ekonomisi ve enerji arz güvenliği için sistemik önem taşır. Dolayısıyla bir teknolojik kazanın etkisi yalnızca yerel değil; tedarik zinciri, enerji arzı ve lojistik süreklilik üzerinden ulusal ölçekte hissedilebilir. Bu durum, bölgesel bir teknolojik afet değerlendirmesinin ulusal afet ve iş sürekliliği planlamasıyla ilişkilendirilmesini gerektirir.

Üçüncü olarak, teknolojik kazaların etkisi tesis sınırında sonlanmaz. Bir tesisteki birincil kaza; komşu tesislere ve ortak altyapılara (enerji, boru hattı, liman, ulaşım) yayılarak domino etkisi üretebilir; deniz ve kıyı kirliliği, içme suyu havzalarının bozulması ve ulaşım-lojistik koridorlarının kesintiye uğraması yoluyla bölgesel bir krize dönüşebilir. Bu üç unsurun birleşimi — yüksek endüstriyel yoğunluk, yüksek doğal afet tehlikesi ve sistemik bağımlılık — teknolojik afet ve NaTech riskinin Marmara için bütünlük biçimde yönetilmesini zorunlu kılar.

1.4 Raporun Diğer İP-4 Raporlarıyla İlişkisi ve Çoklu Tehlike Yaklaşımı

Bu rapor, İP-4 kapsamında üretilmiş deprem, iklim, orman yangını ve sel-taşkın tehlike-risk raporlarının tamamlayıcısıdır ve onlarla aynı metodolojik dili paylaşır. Söz konusu raporlarda üretilen tehlike yüzeyleri — depremde pik yer ivmesi (PGA) ve spektral ivme, sel-taşkında su derinliği ve yayılım, heyelanda duyarlılık indeksi, orman yangınında yakıt-nem-rüzgâr bileşenleri — bu raporda NaTech tetikleyici katmanları olarak yeniden kullanılmıştır.

Bu ilişki, raporun temel yaklaşımını belirler. Teknolojik afet, tekil bir tehlike başlığı olarak değil; diğer afet türleriyle mekânsal olarak çakışan, çoklu tehlike (multi-hazard) birikimi mantığıyla ele alınır. Böylece raporun ürettiği değer, yalnızca “teknolojik tehlike nerede yüksek?” sorusuna değil; “yüksek endüstriyel tehlike, yüksek maruziyet, yüksek kırılma kapasitesi, düşük müdahale kapasitesi ve doğal afet tetikleme potansiyelinin bir arada bulunduğu bölgeler nerede?” sorusuna, karar süreçlerine aktarılabilir bir mekânsal çerçevede yanıt vermesidir.

1.5 Raporun Yapısı ve Yöntemsel Duruş

Raporun bu bölümü dört ana kısımdan oluşur. Birinci kısım (Giriş) amacı, kapsamı ve gerekçeyi ortaya koyar. İkinci kısım (Kavramsal Çerçeve) teknolojik afet ve NaTech kavramlarını, oluşum mekanizmalarını, hukuki-kurumsal çerçeveyi ve tarihsel örüntüleri açıklar. Üçüncü kısım (Çalışma Alanı ve Veri Altyapısı) bölgenin endüstriyel coğrafyasını, tesis envanterini ve kullanılacak CBS veri katmanlarını tanıtır. Dördüncü kısım (Yaklaşım ve Risk Hesaplama Metodolojisi) tehlike, maruziyet, kırılganlık ve yönetilebilirlik bileşenlerinin nasıl hesaplanacağını ve haritaya dönüştürüleceğini tanımlar.

Yöntemsel duruş bakımından rapor; şeffaf, tekrar üretilebilir ve güncellenebilir bir CBS çerçevesini esas alır. Sonuçlar tek bir kesin tahmin olarak değil, kullanılan veri ve varsayımlar altındaki beklenen risk dağılımı olarak sunulur; belirsizlik ve senaryo analizleriyle birlikte yorumlanır.

2 KAVRAMSAL ÇERÇEVE

2.1 Temel Kavramlar: Tehlike, Maruziyet, Kırılganlık ve Risk

Risk değerlendirmesinin temelinde, birbiriyle ilişkili ancak ayrı kavramlar bulunur. Tehlike (hazard), zarar verme potansiyeli taşıyan bir olayın (yangın, patlama, toksik salım) belirli bir yerde ve şiddette gerçekleşme olasılığını ifade eder. Maruziyet (exposure), tehlikenin etki alanında bulunan insan, yapı, altyapı ve çevresel varlıkların niceliğini ve değerini tanımlar. Kırılganlık (vulnerability), maruz kalan bu unsurların zarar görme eğilimini; yönetilebilirlik (manageability) ise kurumsal ve operasyonel müdahale kapasitesinin riski azaltma gücünü temsil eder. Risk, bu bileşenlerin bileşiminden doğar ve raporun 4. kısmında sayısallaştırılır.

2.2 Teknolojik Afet ve NaTech Tanımları

Teknolojik afet, insan yapımı sistemlerdeki (endüstriyel tesisler, depolama alanları, boru hatları, ulaşım ağları, enerji altyapıları) arıza, kaza veya kontrol kaybı sonucu ortaya çıkan; yangın, patlama, tehlikeli madde salımı ve toksik yayılım gibi etkilerle insan sağlığı, çevre ve varlıklar üzerinde zarar yaratan olayları ifade eder. Bu olaylar, tekil bir ekipman arızasından bölgesel ölçekli bir krize kadar farklı büyüklüklerde gerçekleşebilir ve çoğu zaman birden fazla etkiyi birlikte üretir.

NaTech (Natural Hazard Triggering Technological Accidents), doğal bir tehlikenin bir endüstriyel tesiste veya kritik altyapıda teknolojik bir kazayı tetiklediği olayları tanımlar. NaTech olaylarının ayırt edici özelliği, doğal afetin kendi doğrudan etkisine ek olarak; çok sayıda tesiste eş zamanlı hasar, tehlikeli madde salımı, altyapı kesintisi ve müdahale kapasitesinin aynı anda zayıflamasını üretmesi, dolayısıyla toplam riski katlamasıdır. Bu rapor, teknolojik afet ile NaTech risklerini birbirinden ayırmadan, birlikte ve bütünlükte biçimde değerlendirmeyi esas alır.

2.3 Teknolojik Afet Türlerinin Sınıflandırılması

Değerlendirme kapsamındaki teknolojik afetler, tehlike kaynağının niteliğine göre sınıflandırılabilir. Ayırt edici ölçüt, tehlikenin mekânda nasıl temsil edildiğidir: kaynak sabit bir noktada mı bulunmakta (tesis), bir hat boyunca mı yayılmakta (tehlikeli madde taşımacılığı koridoru, boru hattı, enerji iletim hattı), yoksa bir hizmet ağının kesintisi üzerinden mi ortaya çıkmaktadır (kritik altyapı). Beşinci tür olan NaTech ise bağımsız bir tehlike kaynağı değil, doğal bir tetikleyicinin bu kaynaklardan birinde kaza başlatmasıyla oluşan bileşik durumu tanımlar. Bu ayrım yalnızca kavramsal değildir; hangi veri katmanlarının kullanılacağını, tehlikenin nokta tamponu, koridor mesafe-azalımı veya ağ erişilebilirliği olarak mı modelleneceğini ve hangi analiz yöntemlerinin uygulanacağını doğrudan belirler. Tipik etki türlerinin türden türe farklılaşması — yangın, patlama ve toksik salımdan sızıntıya, hizmet kesintisine ve zincirleme krize — maruziyet ile kırılabilirlik bileşenlerinin hangi unsurlar üzerinden kurulacağını da şekillendirir. Sınıflandırma Tablo 2-1'de verilmiştir.

Tablo 2-1 Teknolojik afet türlerinin tehlike kaynağına göre sınıflandırılması

Tür	Tehlike kaynağı	Tipik etki türleri
Sabit tesis kazaları	Rafineri, kimya/depolama tesisi, gübre-asit fabrikası, LNG/akaryakıt terminali, OSB	Yangın, patlama, toksik salım, deniz/kıyı kirliliği
Tehlikeli madde taşımacılığı	Karayolu ve demiryolu ile tehlikeli yük taşımacılığı; ana koridorlar	Yol kazası kaynaklı sızıntı, yangın, patlama
Boru hattı ve iletim	Doğal gaz/petrol boru hatları, enerji nakil hatları	Sızıntı, yangın, iletim kesintisi
Kritik altyapı arızaları	Enerji, su/atıksu, haberleşme, liman altyapısı	Hizmet kesintisi; ikincil (domino) etkiler
NaTech	Doğal afetin yukarıdaki kaynaklarda tetiklediği kazalar	Çoklu ve eş zamanlı etki; zincirleme kriz

2.4 Teknolojik Afetlerin Oluşum Mekanizması

Tehlike kaynağı ve sistem karmaşıklığı. Rafineri, kimya ve depolama tesisleri; yüksek basınç, sıcaklık ve yanıcı/toksik madde içeren, birbirine bağımlı proses üniteleri barındırır. Sistem karmaşıklığı arttıkça, tekil bir arızanın öngörülemez ve hızlı biçimde büyüyen zincirleme sonuçlar üretme olasılığı yükselir. Bu nedenle risk, yalnızca tekil ekipman güvenilirliğiyle değil, sistemin bütünsel davranışıyla ilişkilidir.

Tetikleyici faktörler ve sistem arızası. Kazalar; ekipman yıpranması, korozyon, insan hatası, bakım eksikliği veya proses kontrol kaybı gibi içsel nedenlerle başlayabileceği gibi; deprem, taşkın, yıldırım, aşırı sıcaklık ve fırtına gibi dışsal (doğal) tetikleyicilerle de ortaya çıkabilir. Dışsal tetikleyiciler, NaTech süreçlerinin çıkış noktasıdır ve bu raporun ayırt edici odağıdır.

Etki türleri. Teknolojik kazalar üç temel etki türü üretir: (i) ısı etki (havuz yangını, jet yangını, ateş topu) ile ısı radyasyon; (ii) mekanik etki (patlama) ile

basınç dalgası ve fırlayan parça (fragman); ve (iii) toksik etki ile zehirli gaz/buhar bulutunun yayılımı. Bu etki türleri, tehlike zonlarının modellenmesinde ayrı ayrı ele alınır.

2.5 Domino Etkileri ve Zincirleme Olaylar

Domino etkisi, bir tesisteki birincil kazanın komşu tesis veya altyapı unsurlarında ikincil kazaları tetiklemesiyle oluşur (Cozzani vd., 2005; Antonioni vd., 2009) ve toplam zararı, tekil kazaların toplamının çok üzerine taşıyabilir. Yayılma (eskalasyon), üç temel vektör üzerinden gerçekleşir: yangınlardan yayılan ısı radyasyon, patlamalardan yayılan basınç dalgası (overpressure) ve fırlayan parçalar (fragman/missile). Her vektörün, komşu ekipmanda hasara yol açtığı yaklaşık eşik değerleri literatürde tanımlanmıştır ve mekânsal tampon analizinde referans alınabilir. Domino etkisinin yayılma vektörleri, etki mekanizmaları ve değerlendirme yaklaşımları Tablo 2-2'de özetlenmiştir.

Tablo 2-2 Domino etkisi yayılma vektörleri, etki mekanizmaları ve değerlendirme yaklaşımları

Yayılma vektörü	Etki mekanizması	Değerlendirme yaklaşımı
Isıl radyasyon	Yangın kaynaklı ısı akısının komşu tank/ekipmanı ısıtması	Isı akısı eşikleri ve mesafeye bağlı azalım; tampon zonlar
Basınç dalgası	Patlamanın aşırı basınç etkisiyle yapı/ekipman hasarı	Overpressure eşikleri; mesafe-şiddet ilişkisi
Fragman/sıçrama	Fırlayan parçaların komşu üniteleri delmesi/hasarı	Olasılıksal yayılım; küme yoğunluğu
Ortak altyapı	Enerji/boru hattı/liman bağımlılığı üzerinden yayılım	Ağ bağımlılığı ve kritik altyapı çakışması

Domino etkisi tesis sınırı yerine 1, 3, 5 ve 10 km'lik mekânsal tamponlar üzerinden değerlendirilecektir (bkz. 4.8).

2.6 NaTech Süreçleri ve Tetikleme Mekanizmaları

NaTech süreçleri, tetikleyici doğal tehlikeye göre farklı mekanizmalar üzerinden işler. Aşağıda, bölge için en belirleyici tetikleyiciler ve tipik teknolojik sonuçları özetlenmiştir.

Deprem ve sivilaşma. Yer sarsıntısı; tank, boru hattı, rıhtım, vinç, fırın ve basınçlı ekipmanda hasara; sivilaşma ise tank oturması, temel kaybı ve bağlantı kırılmasına yol açar. Sonuç; yangın, patlama, toksik salım ve liman operasyonu kesintisidir. Bölgenin en kritik NaTech tetikleyicisidir.

Taşkın ve kıyı baskını. Su baskını; kimyasal ambalajların sürüklenmesine, tankların yüzdürülmesine, arıtma ve algılama sistemlerinin devre dışı kalmasına ve kirlenmeye neden olur. Etki, alevlerin söndürülmesiyle sona ermez; içme suyu havzalarını ilgilendiren gecikmeli bir hidrolojik kriz katmanı üretir.

Heyelan, fırtına ve diğer. Yamaç hareketleri boru hatları ve iletim altyapısını koparabilir; fırtına ve yıldırım açık depolama ve elektrik altyapısında kazalara yol açabilir; orman yangını orman-sanayi geçiş kuşaklarında tesislere sıçrayabilir.

Altyapı kesintisi. Tüm tetikleyicilerin ortak sonucu olan enerji, su, haberleşme ve ulaşım kesintisi; soğutma, inertleme, yangın suyu, algılama ve acil müdahale erişimini bozarak proses güvenliği riskini dolaylı olarak büyütür.

2.7 Hukuki ve Kurumsal Çerçeve

Teknolojik afet ve NaTech değerlendirmesi, ulusal ve uluslararası mevzuat ile yerleşik metodolojik araçlar üzerine oturur (Krausmann vd., 2017; UNDRR, 2015). SEVESO III Direktifi (Avrupa Parlamentosu ve Konseyi, 2012) ve ulusal karşılığı olan BEKRA Yönetmeliği (2019), tehlikeli madde miktarına göre kuruluşları alt ve üst seviye olarak sınıflandırır ve güvenlik yönetim yükümlülükleri getirir. Aşağıdaki çerçeve, raporun kavramsal ve yöntemsel referanslarını oluşturur. Hukuki ve metodolojik referans çerçevesi Tablo 2-3'te verilmiştir.

Tablo 2-3 Teknolojik afet ve NaTech değerlendirmesinin hukuki ve metodolojik referansları

Referans	Kapsam ve rapora katkısı
SEVESO III Direktifi (2012/18/EU)	Tehlikeli madde içeren büyük endüstriyel kazaların önlenmesi ve etkilerinin azaltılması; alt/üst seviye kuruluş sınıflandırması ve güvenlik yükümlülükleri.
BEKRA Yönetmeliği (2019, RG 30702)	SEVESO III'ün ulusal karşılığı; büyük endüstriyel kazaların önlenmesi, bildirim, güvenlik raporu ve denetim çerçevesi.
Espoo Sözleşmesi (1991)	Sınır ötesi çevresel etki değerlendirmesi; sınır ötesi endüstriyel kaza etkileri.
CLP Tüzüğü (EC 1272/2008)	Maddelerin ve karışımların sınıflandırılması, etiketlenmesi ve ambalajlanması; tehlike sınıfları.
JRC RAPID-N	Doğal afet tetiklemeli endüstriyel kaza (NaTech) riskinin hızlı bölgesel değerlendirmesi ve haritalanması.
NACE Rev.2	Ekonomik faaliyet sınıflandırması; tesis tipi ile tehlikeli madde grubu ilişkisinin kurulması.

2.8 Tarihsel Örnekler ve Tipik Zarar Örüntüleri

NaTech ve domino olaylarının literatürdeki örnekleri, ortak bir zarar örüntüsünü ortaya koyar (Showalter & Myers, 1994; Krausmann vd., 2017): doğal afet çok sayıda tesiste eş zamanlı hasar yaratır, müdahale kapasitesi aynı anda zayıflar ve ikincil (domino) olaylar zararı büyütür. Marmara Bölgesi açısından en somut örnek, 1999 Kocaeli (İzmit) depremidir; deprem sırasında bölgedeki büyük rafineri tesisinde çıkan yangın ve depolama tanklarındaki hasar, deprem etkisiyle eş zamanlı gelişen bir NaTech olayı olarak kayıtlara geçmiştir. Uluslararası ölçekte 2011 Tohoku depremi ve tsunamisi sonrası rafineri ve LPG tesislerinde yaşanan yangın ve patlamalar; büyük endüstriyel kazalar bağlamında ise akaryakıt depolama tesislerinde görülen buhar bulutu patlamaları benzer örüntüleri temsil eder.

Bu örnekler ortak bir dersi paylaşıyor: teknolojik afet riski, doğal afet tehlikesinden ve tesisler arası mekânsal yakınlıktan ayrı düşünülemez. Marmara Bölgesi'nin geçmiş deprem deneyimi, bu örüntünün bölge için soyut değil somut bir tehdit olduğunu göstermektedir. Bu bölümdeki genel değerlendirme, ilerleyen bölümlerde belirli tesis kümeleri için ayrıntılandırılacaktır.

2.9 Teknolojik Afet Riskinin Ulusal ve Bölgesel Afet Yönetimindeki Yeri

Teknolojik afet ve NaTech riski, ulusal afet yönetimi çerçevesinde giderek daha merkezi bir yer edinmektedir. MARAP İP-3 kapsamında yürütülen afet türleri önceliklendirmesinde, doğal kaynaklı teknolojik kazalar (NaTech), deprem ve meteorolojik afetlerin ardından üçüncü öncelikli afet türü olarak belirlenmiştir. Bu konumlandırma, teknolojik afet riskinin ikincil bir başlık olarak değil, bölgesel afet risk azaltma stratejisinin asli bir bileşeni olarak ele alınması gerektiğini göstermektedir.

Kurumsal açıdan, üretilen tehlike-risk katmanlarının AFAD'ın mevcut karar destek altyapısıyla (örneğin AYDES — Afet Yönetim ve Karar Destek Sistemi) ve MARAP kapsamında geliştirilen Şehir Sağlığı İzleme Sistemi (ŞESİM) ile bütünleşmesi hedeflenir. Böylece teknolojik afet riski, statik bir harita çıktısı olmaktan çıkıp; güncellenebilir, izlenebilir ve müdahale planlamasına doğrudan girdi veren bir karar destek katmanına dönüşür. Bu bütünleşme, raporun sonuç ve politika bölümlerinde ayrıntılandırılmıştır.

3 ÇALIŞMA ALANI VE VERİ ALTYAPISI

3.1 Marmara Bölgesi: Genel ve Endüstriyel Coğrafya

Çalışma alanı, Marmara Bölgesi'ndeki 11 ili kapsar. Bölge; İstanbul-Kocaeli sanayi ve yerleşim koridoru, Marmara Denizi'nin kuzey ve güney kıyı endüstri kuşakları, Trakya OSB koridoru (Çorlu-Çerkezköy-Ergene) ve iç kesimlerdeki sanayi kümelerini (Bursa, Bilecik-Bozüyük, Sakarya) bir arada barındırır. Endüstriyel faaliyet; kıyı hattı boyunca liman, rafineri ve enerji tesisleriyle, iç kesimlerde ise OSB'ler ve üretim tesisleriyle yoğunlaşır.

Bu dağılımın belirleyici özelliği, endüstriyel yoğunluğun ulaşım ana koridorları (D-100, TEM, kuzey Marmara otoyolu, demiryolu hatları), enerji iletim altyapısı ve yüksek nüfuslu yerleşimlerle iç içe geçmesidir. Dolayısıyla teknolojik tehlike kaynakları mekânsal olarak kümelenmiştir ve bölgesel bir değerlendirmeyi zorunlu kılar.

3.2 Endüstriyel Sektörel Yapı ve Tehlike Kaynakları

Bölgedeki başlıca tehlike kaynağı sektörleri; petrol rafinasyonu ve akaryakıt depolama, petrokimya ve kimyasal üretim, gübre ve asit üretimi, LNG ve doğal gaz altyapısı, cam ve seramik üretimi, otomotiv ve metal sanayi, enerji üretim/iletim ve liman-lojistik faaliyetleridir. Bu sektörler, NACE Rev.2 sınıflandırmasıyla eşleştirilerek her tesisin muhtemel tehlikeli madde grubu ve tipik kaza türü ile ilişkilendirilir. Sektörel yapı, tehlike bileşeninin ilk katmanını (kaynak niteliği) tanımlar.

3.3 Kritik Endüstriyel Tesis ve Küme Envanteri

Çalışmanın başlangıç envanteri, MARAP kapsamında hazırlanmış açık kaynaklı ön değerlendirme çıktısına dayanır; bu envanterde 62 kritik tesis veya sanayi-küme kaydı yer almaktadır. Ön değerlendirmede kayıtların risk seviyeleri; 25 kayıt “çok yüksek”, 23 kayıt “yüksek”, 13 kayıt “orta-yüksek” ve 1 kayıt “orta” olarak sınıflandırılmıştır. Her kayıt; tesis/küme adı, il-ilçe, NACE Rev.2 kodu, yaklaşık koordinat, tesis tipi, muhtemel tehlikeli madde grupları, temel risk faktörleri, NaTech tetikleyicileri ve maruziyet unsurları alanlarıyla tanımlanmıştır.

Bu envanter, bir başlangıç noktasıdır ve kademeli olarak doğrulanacaktır (bkz. 4.11). Koordinatlar yaklaşık tesis veya küme merkezleridir; tesis içi ünite, güvenlik mesafesi veya müdahale zonu düzeyinde bilgi içermez. Mikro ölçekli kararlar için işletmeci verisi, BEKRA güvenlik raporları ve yetkili kurum doğrulaması gereklidir.

Bu başlangıç envanteri, çalışmanın ilerleyen aşamasında iki kez genişletilmiştir. Önce açık kaynaklı bir tarama katmanıyla bütünleştirilerek 71 kayda çıkarılmış; ardından AFAD aracılığıyla iletilen resmî BEKRA Bildirim Sistemi kayıtlarının düzenlenmesiyle (Bölüm 6.2.1) yeniden kurulmuştur. Yürürlükteki Tehlike Kaynağı Envanteri v4.0 [EK-A · 02_EKLER/EK-A_TESIS_ENVANTERİ/İP4_Tesis_Envanteri_v4.xlsx], üç bileşenden oluşan 269 kayıt içerir: 220 resmî BEKRA kuruluşu (121 üst seviyeli, 95 alt seviyeli, 4 kapsam dışı), BEKRA kapsamında bildirim yükümlüsü olmamakla birlikte tehlike ve maruziyet bakımından kritik olan 45 tamamlayıcı unsur (liman, organize sanayi bölgesi, kıyı sanayi kümesi ve havalimanı yakıt ikmal tesisi) ve resmî listede karşılığı bulunamayan 4 açık kaynak kaydı. Her resmî kayıt; çevre kimlik numarası, hesaplanan BEKRA kategorisi, bildirilen tehlikeli madde envanteri ve miktarları, madde sınıfları ile —kuruluşun Ek-1 Bilgi Formu iletmış olması hâlinde— tank sayısı ve toplam tank hacmi öznitelikleriyle tanımlanmıştır.

Statü beyanı. Envanterdeki BEKRA seviyeleri, kuruluşların BEKRA Bildirim Sistemi'ne yaptıkları beyanlar üzerinden sistemin hesapladığı resmî kategorilerdir; bu rapor kapsam belirlemesi yapmaz, mevcut kaydı kullanır. Koordinatlar tesis merkezlerini gösterir ve tesis içi ünite, güvenlik mesafesi veya müdahale zonu düzeyinde bilgi içermez. Mikro ölçekli kararlar için işletmeci verisi, BEKRA güvenlik

raporları ve tesis içi değerlendirme gereklidir; bu derinleşme, Bölüm 4.11'de tanımlanan kademeli yaklaşıma göre orta ve üzeri riskli kümelerden başlatılacaktır.

3.4 Mekânsal Kümelenme Analizi

Envanterin mekânsal analizi, teknolojik riskin belirli kıyı ve sanayi hatlarında yoğunlaştığını göstermektedir. Aşağıdaki kümeler, raporun ilerleyen bölümlerinde önceliklendirme ve nicel derinleşme için temel birim olacaktır. Öne çıkan endüstriyel kümeler ve baskın NaTech riskleri Tablo 3-1'de verilmiştir.

Tablo 3-1 Marmara Bölgesi'nde öne çıkan endüstriyel kümeler ve baskın NaTech riskleri

Öne çıkan küme	Baskın nitelik ve başlıca NaTech riski
Kocaeli Körfez–Derince–Dilovası–Gebze	Rafineri, akaryakıt/kimya terminalleri, gübre-kimya, liman; deprem+sıvılaşma+kıyı baskını çakışması, yoğun ulaşım/nüfus.
İstanbul Tuzla–Ambarlı–Silivri	Kimya-deri-tersane, konteyner/tehlikeli yük, doğal gaz depolama; yüksek kentsel nüfus, tahliye ve liman kapanma riski.
Tekirdağ Marmaraereğlisi–Çorlu–Çerkezköy–Ergene	LNG/akaryakıt terminali ve OSB koridoru; ulusal enerji arzı, taşkın ve ulaşım bağımlılığı.
Yalova Taşköprü kimya kümesi	Akrilik elyaf ve kimya üretimi; deprem, kıyı tehlikesi ve sınırlı il içi müdahale kapasitesi.
Bursa-Gemlik / Bandırma / Karabiga kıyı zinciri	Gübre/asit, liman, enerji ve ağır sanayi; çok noktalı kıyı kirliliği ve enerji/liman sürekliliği riski.
Sakarya Arifiye–Hendek–Karasu	Otomotiv, kaplama kimyasalları, OSB ve liman; deprem ve Sakarya havzası taşkını etkileşimi.
Bilecik-Bozüyük / Kırklareli-Lüleburgaz / Edirne OSB	Cam, seramik, farmasötik ve karma OSB; doğal gaz/fırın, solvent ve proses kimyasalları nedeniyle izlenmesi gereken alanlar.

Kümelerin başlıca nitelikleri aşağıda kısaca açıklanmıştır; bu değerlendirmeler, ilerleyen bölümlerdeki nicel derinleşmenin çerçevesini oluşturur.

Kocaeli Körfez–Derince–Dilovası–Gebze hattı. Rafineri, akaryakıt, kimyasal depolama, gübre/kimya üretimi ve liman altyapısı kısa mesafelerde üst üste gelir. Deprem, sıvılaşma ve kıyı baskını aynı anda tesis hasarı, yangın/patlama, deniz kirliliği ve ana ulaşım/liman kesintisi yaratabilir. Bölgenin en yüksek öncelikli NaTech alanıdır. Teknolojik Risk Öncelik Puanı sıralamasında ilk sırada yer alan İzmit Körfezi koridoru bu hattın çekirdeğini oluşturur.

İstanbul Tuzla–Ambarlı–Silivri aksı. Tuzla'da kimya-deri-tersane; Ambarlı'da konteyner ve tehlikeli yük; Silivri'de doğal gaz depolama bileşenleri bulunur. Yoğun kentsel nüfus nedeniyle uyarı, tahliye ve alternatif lojistik kapasitesi kritik hâle gelir. Aks, yüksek ve çok yüksek risk sınıfında yaşayan nüfusun yaklaşık dörtte üçünün bulunduğu kuşakla örtüşmektedir.

Tekirdağ Marmaraereğlisi–Çorlu–Çerkezköy–Ergene hattı. Marmaraereğlisi'ndeki LNG ve akaryakıt terminalleri ulusal enerji arzı açısından kritiktir; Çorlu–Çerkezköy-Ergene OSB koridorunda ise taşkın, kimyasal kullanım ve ulaşım bağımlılığı riski birleşir. Marmara Ereğlisi terminal kuşağı, öncelik puanı 45'in üzerindeki dört koridordan biridir.

Bursa-Gemlik, Bandırma ve Karabiga kıyı zinciri. Gübre/asit, liman, enerji ve ağır sanayi tesisleri Marmara'nın güney kıyısında çok noktalı kıyı kirliliği ile enerji ve liman süreklilik riski üretir. Kıyı boyunca dağılan bu yapı, tek bir merkezden yönetilmesi güç, çok odaklı bir müdahale coğrafyası ortaya çıkarır.

Yalova Taşköprü kimya kümesi. Akrilik elyaf ve kimya üretimi; deprem, kıyı tehlikeleri ve sınırlı il içi müdahale kapasitesiyle birleştiğinde yüksek öncelikli bir NaTech alanı oluşturur. İlin BEKRA kayıtlarının yalnız üst seviye dosyalarıyla temsil edilmesi, kümenin kapsamının bir miktar eksik görünmesine yol açmaktadır.

Sakarya Arifiye–Hendek–Karasu aksı. Otomotiv, kaplama kimyasalları, OSB üretimi ve Karasu limanı; Kuzey Anadolu Fay Sistemi ve Sakarya havzası taşkınlarıyla birlikte değerlendirilmelidir. Sel-taşkın verisindeki havza bazlı kapsam boşluğunun giderilmesi, bu aksta tehlike değerlerini belirgin biçimde yükseltmiştir.

Bilecik-Bozüyük, Kırklareli-Lüleburgaz ve Edirne OSB. Cam, seramik, farmasötik ve karma OSB riskleri kıyı terminalleri kadar yüksek hacimli görünmese de doğal gaz/fırın, solvent ve proses kimyasalları nedeniyle izlenmelidir. Ayrıca Edirne için kayıt dosyası iletilmemiş, Kırklareli yalnız üst seviye dosyalarıyla temsil edilmiştir; bu nedenle düşük görünen değerler ihtiyatla okunmalıdır.

3.5 CBS Veri Altyapısı ve Katmanlar

Analizler, bölgeye ait kapsamlı bir CBS veri altyapısıyla yürütülmüştür. Mevcut veri katmanları, risk denkleminin bileşenlerine (tehlike, maruziyet, kırılabilirlik ve yönetilebilirlik) göre aşağıdaki gibi sınıflandırılır. Bu sınıflandırma, hangi verinin risk hesabında hangi rolü üstleneceğini önceden tanımlar ve veri-yöntem ilişkisini şeffaf kılar. Katmanların teslim setindeki klasör karşılıkları ve metinde kullanılacak atıf kodları EKLER bölümündeki Tablo E-1'de verilmiştir. Risk denklemi bileşenlerine göre kullanılan CBS veri katmanları Tablo 3-2'de verilmiştir.

Tablo 3-2 Risk denklemi bileşenlerine göre kullanılan CBS veri katmanları

Bileşen	Kullanılacak veri katmanları
Tehlike (Hazard)	Endüstriyel tesisler, OSB'ler, LPG nokta ve tesisleri, enerji nakil hatları, kritik altyapılar (tehlike kaynağı); ana karayolları ve yıllara bağlı trafik kazaları (tehlikeli madde taşımacılığı); doğal tetikleyiciler: deprem, sel-taşkın, heyelan, orman yangını tehlike yüzeyleri; topografya, eğim, bakı, akarsu.
Maruziyet (Exposure)	Gece ve gündüz nüfus dağılımı; idari birimler (il/ilçe/mahalle sınırları); ulaşım ağı (ana karayolları, demiryolları); hastaneler, okullar ve eğitim alanları; limanlar; kritik altyapılar.
Kırılabilirlik (Vulnerability)	Demografik yapı (yaşlı/çocuk nüfus, hassasiyet); yerleşim dokusu; eğim/bakı ve akarsu yakınlığı (kirlетici taşınımı); müdahale birimlerine erişim mesafesi.
Yönetilebilirlik (Manageability)	Acil müdahale ve itfaiye konumları; hastane kapasitesi; ulaşım erişimi ve alternatif güzergâhlar.

Not: Bazı katmanlar birden fazla bileşene katkı verir (örneğin ana karayolları hem tehlikeli madde taşımacılığı tehlikesine hem de maruziyete girdi oluşturur). Veri kaynakları; kurumsal (AFAD, ilgili bakanlık ve idareler) ve doğrulanmış açık kaynak katmanlarının birleşimidir.

3.6 Analiz Ölçeği: Kareler Ağı ve Nokta–Grid Dönüşümü

Bölge genelinde karşılaştırılabilir ve tekrarlanabilir sonuçlar üretmek için analizler grid (kareler ağı) tabanlı yürütülmüştür. Temel analiz birimi 500 × 500 metre boyutunda hücrelerdir. Bu çözünürlük; bölgesel ölçekte bütünsel bir okuma sağlarken, sanayi kümeleri ve yerleşim dokusu düzeyinde anlamlı ayrımı da mümkün kılacak biçimde seçilmiştir. Her hücre; karşılaştırılabilir, önceliklendirilebilir ve zaman içinde güncellenebilir bir karar birimi oluşturur.

Nokta, çizgi ve alan biçimindeki heterojen veriler, ortak grid düzlemine aktarılırken veri türüne uygun yöntemler kullanılmıştır. Sürekli değişken karakteri taşıyan büyüklükler için kriging gibi jeostatistiksel enterpolasyon; nokta yoğunluğunu yüzeye dönüştürmek için kernel yoğunluk analizi; tehlike kaynağı çevresindeki etki alanları için tampon (buffer) ve mesafeye bağlı azalım fonksiyonları uygulanmıştır. Uygun olduğunda ters mesafe ağırlıklı (IDW) enterpolasyon da değerlendirilecektir. Yöntem seçimi, verinin istatistiksel yapısına ve mekânsal sürekliliğine göre yapılmış; her katman için tercih edilen yöntem raporda belgelenmiştir.

3.7 Koordinat Sistemi, Veri Standartları ve Kalite

Tüm katmanlar, tutarlı mekânsal analiz için ortak bir koordinat referans sisteminde uyumlaştırılmıştır. Envanterin açık kaynak bileşeni EPSG:4326 (WGS 84) coğrafi koordinatlarda, MARAP'ın önceki iş paketlerinde üretilen vektör verileri ise EPSG:5637 (TUREF/TM) projeksiyonunda hazırlanmıştır. Mesafe, alan ve yoğunluk hesapları metrik doğruluk gerektirdiğinden, analizlerde metrik bir projeksiyon esas alınmış ve farklı kaynaklardan gelen katmanlar bu ortak sisteme dönüştürülmüştür.

Veri kalitesi; konum doğruluğu, güncellik, öznitelik bütünlüğü ve kaynak izlenebilirliği bakımından denetlenmiştir. Her katman için kaynak, üretim tarihi, çözünürlük ve dönüşüm bilgileri kayıt altına alınmış; böylece sonuçların tekrar üretilebilirliği ve güncellenebilirliği güvence altına alınmıştır.

3.8 Temel Varsayımlar ve Kapsam Dışı Unsurlar

Analizin şeffaflığı açısından temel varsayımlar açıkça belirtilmelidir. Başlangıç envanterindeki koordinatlar yaklaşık tesis/küme merkezleridir; tesis içi yerleşim, tank konumu ve güvenlik mesafesi bu ölçekte modellenmez. Etki zonları, bölgesel tarama düzeyinde tesis tipi ve tehlikeli madde grubuna göre atanan temsili değerlerle üretilir. Doğal tetikleyici tehlike yüzeyleri, İP-4'ün ilgili raporlarındaki güncel çıktılardan alınır ve bu raporların varsayımlarını devralır. Kapsam dışı unsurlar; tesis içi ayrıntılı proses güvenliği analizi, kesin etki mesafesi ve can kaybı olasılığı hesapları ile işletme sınırlarına ilişkin veriler olup, bunlar seçili kümelerdeki tesis bazlı nicel çalışmaların ve yetkili kurum iş birliğinin konusudur.

4 RİSK HESAPLAMA METODOLOJİSİ

4.1 Genel Yaklaşım: İki Katmanlı Tarama ve Derinleşme

Çalışma, iki katmanlı bir yaklaşımı benimser. Birinci katman, bölge genelini kapsayan grid tabanlı bir bölgesel tarama (screening) olup; tüm endüstriyel tehlike kaynaklarını maruziyet ve kırılgenlikla birlikte değerdendirerek bütünsel bir önceliklendirme sağlar. İkinci katman, bu taramada orta risk ve üzerinde çıkan tesis kümelerinde, tesis bazlı nicel yöntemlerle (Fine-Kinney: Kinney & Wiruth, 1976; HAZOP: IEC, 2016; gerekli görülen kümelerde nicel risk değerdendirmesi/QRA öğeleri) gerçekleştirilecek nicel derinleşmedir.

Bu iki katmanlı kurgu, sınırlı kaynak ve veri doğrulama çabasının en yüksek riskin bulunduğı kümelere yönlendirilmesini sağlar. Bölgesel tarama hızlı ve bütünsel bir tablo sunarken; nicel derinleşme, kritik kümelerde ayrıntılı, doğrulanmış ve karar odaklı bir değerdendirmeye olanak tanır. İki katman arasındaki geçiş, risk sınıfına (orta ve üzeri) göre tanımlanır.

4.2 Risk Kavramsallaştırması ve Formülasyon

Risk, MARAP'ın diğerd iş paketleriyle uyumlu biçimde; tehlike, maruziyet ve kırılgenlik bileşenlerinin çarpımsal bir fonksiyonu olarak ele alınır. Buna ek olarak, riski azaltıcı bir etken olan yönetilebilirlik (kurumsal ve müdahale kapasitesi) bileşeni de modele dâhil edilir. Kavramsal olarak:

$$\text{Risk} = (\text{Tehlike} \times \text{Maruziyet} \times \text{Kırılgenlik}) / \text{Yönetilebilirlik}$$

Bu formülasyonda her bileşen, ilgili CBS katmanlarından türetilen ve ortak bir ölçeğed (örneğin [0–1] veya 1–5) normalize edilen mekânsal göstergelerle temsil edilir. Bileşenler grid hücresi düzeyinde hesaplanır ve birleştirilerek her hücre için bir bileşik risk değeri üretilir. Çarpımsal yapı, herhangi bir bileşenin sıfıra yakın olduğı durumda riskin de düşük çıkmasını sağlayarak bileşenler arası etkileşimi yansıtır. Aşağıdaki alt bölümler, her bileşenin metodolojik içeriğini açıklar.

Bileşenlerin ve alt göstergelerin birleştirilmesinde çok ölçütlü karar analizi yöntemleri kullanılır. Farklı birim ve aralıklardaki ham veriler, karşılaştırılabilir olması için önce normalize edilir; ardından göstergelerin gördeli önemi, Analitik Hiyerarşid Süreci (AHP; Saaty, 1980) veya En İyi–En Kötü Yöntemi (BWM; Rezaei, 2015) gibi yaklaşımlarla, uzman görüşü ve literatür temelinde ağırlıklandırılır. Ağırlıklı göstergeler, ağırlıklı toplam veya çarpımsal birleştirme kurallarıyla bileşen skorlarına dönüştürülür. Bu adımların her biri belgelenir; ağırlık tercihlerinin sonuca etkisi ise hassasiyet analizinde (bkz. 4.12) sınıanır. Böylece yöntem hem şeffaf hem de yeniden üretilebilir olur.

4.3 Tehlike Bileşeni ve Etki Zonu Modelleme

Tehlike (Hazard) bileşeni iki alt katmandan oluşur. Birincisi, endüstriyel tehlike kaynaklarının (tesis tipi, tehlikeli madde grubu, faaliyet ölçeği) mekânsal dağılımı ve bunların etki türlerine göre tanımlanan etki zonlarıdır. Etki zonları; havuz ve jet yangınları için ısı radyasyon azalımı, patlamalar için aşırı basınç (overpressure) azalımı ve toksik salımlar için atmosferik dağılım yaklaşımlarıyla, mesafeye bağlı olarak modellenir. Bölgesel tarama düzeyinde bu zonlar; tesis tipi ve tehlikeli madde grubuna göre atanmış temsili tampon mesafeleri ve azalım fonksiyonlarıyla temsil edilir.

Etki türlerine karşılık gelen başlıca kaza-etki modelleri aşağıda özetlenmiştir. Bölgesel tarama düzeyinde bu modeller temsili mesafelerle; seçili kümelerde ise tesis bazlı ayrıntıyla ele alınır. Etki türlerine karşılık gelen kaza-etki modelleri ve belirleyici parametreler Tablo 4-1'de verilmiştir.

Tablo 4-1 Etki türlerine karşılık gelen kaza-etki modelleri ve belirleyici parametreler

Etki türü	Kaza-etki modeli	Belirleyici parametre
Isıl	Havuz yangını, jet yangını, ateş topu (BLEVE)	Isı akısı, mesafe, madde miktarı
Mekanik	Buhar bulutu patlaması (UVCE), basınçlı kap patlaması	Aşırı basınç (overpressure), mesafe
Toksik	Zehirli gaz/buhar bulutu dağılımı	Salım debisi, rüzgâr, atmosfer koşulu

İkinci alt katman, doğal tetikleyici tehlikelerdir. Deprem (pik yer ivmesi), sel-taşkın (su derinliği/yayılım), heyelan (duyarlılık) ve orman yangını yüzeyleri, İP-4'ün ilgili raporlarından alınarak tehlike bileşenine NaTech tetikleme potansiyeli olarak eklenir. Ayrıca ana karayolları boyunca tehlikeli madde taşımacılığı yoğunluğu ve yıllara bağlı trafik kazası dağılımı, kernel yoğunluk analiziyle hareketli (mobil) bir tehlike katmanı olarak üretilir.

4.4 Maruziyet Bileşeni

Maruziyet (Exposure), bir tehlikenin gerçekleşmesi hâlinde etkilenebilecek unsurların mekânsal yoğunluğunu ve değerini ifade eder. Bu bileşen; gece ve gündüz nüfus dağılımı, yerleşim alanları, ulaşım ağı (karayolu ve demiryolu), limanlar, hastane ve okul gibi hassas kullanımlar ile kritik altyapıların tehlike zonlarıyla çakışması üzerinden hesaplanır. Gündüz ve gece nüfusunun ayrı ele alınması, kaza zamanına bağlı maruziyet farklılıklarının (örneğin gündüz sanayi bölgelerinde, gece yerleşim alanlarında yoğunlaşan nüfusun) modele yansıtılmasını sağlar. Hassas kullanımlar (hastane, okul), maruziyet ağırlıklandırmasında öne çıkarılır.

4.5 Kırılabilirlik İndeksi

Kırılabilirlik (Vulnerability), maruz kalan unsurların zarar görme eğilimini temsil eder ve çok boyutlu bir indeks olarak kurgulanır. İndeks dört boyutu içerir: (i) fiziksel kırılabilirlik — yerleşim dokusu ve altyapı bağımlılığı; (ii) sosyal kırılabilirlik — yaşlı ve çocuk nüfus gibi demografik hassasiyet göstergeleri; (iii) çevresel kırılabilirlik — akarsu ve kıyı yakınlığı üzerinden kirletici taşınımı ve ekosistem duyarlılığı; ve (iv) erişilebilirlik kırılabilirliği — müdahale birimlerine uzaklık ile eğitim/topografya kaynaklı erişim güçlüğü.

Bu boyutlar, uygun bir çok ölçütlü değerlendirme yöntemiyle (örneğin Analitik Hiyerarşi Süreci — AHP veya En İyi-En Kötü Yöntemi — BWM) ağırlıklandırılarak birleştirilir. Ağırlıklar, uzman görüşü ve literatürle desteklenerek belirlenir; hassasiyet analizinde farklı ağırlık senaryolarının sonuçlara etkisi test edilir.

4.6 Yönetilebilirlik ve Kurumsal Kapasite

Yönetilebilirlik bileşeni, riski azaltan kurumsal ve operasyonel kapasiteyi temsil eder. İtfaiye ve acil müdahale birimlerinin konumu ve erişim süresi, hastane kapasitesi, ulaşım erişimi ve alternatif güzergâhların varlığı bu bileşeni oluşturur. Yüksek müdahale kapasitesinin bulunduğu alanlarda toplam risk azalır; müdahale erişiminin zayıf olduğu (uzak, eğimli veya tek güzergâhla bağlı) kümelerde ise risk artar. Bu bileşen, kaynak tahsisinde yalnızca tehlikeye değil, müdahale açığına da dikkat çekilmesini sağlar.

Yönetilebilirlik, statik bir kapasite değerlendirmesiyle sınırlı kalmayıp, izleme ve erken uyarı boyutunu da içerir. Kimya ve liman kümeleri çevresinde uçucu organik bileşik, yanıcı ve toksik gaz, meteoroloji, hava ve su kalitesi sensörlerinden oluşan bir izleme ağı (ŞESİM/İoT yaklaşımıyla), erken uyarı ve müdahale kapasitesini güçlendiren bir bileşen olarak değerlendirilir. Bu tür bir ağın öncelikli konumlandırılması, bölgesel risk haritalarının doğrudan bir uygulama çıktısıdır ve yönetilebilirlik bileşenini zaman içinde iyileştiren bir geri besleme sağlar.

4.7 NaTech Entegrasyonu ve RAPID-N

NaTech bileşeni, doğal tehlike yüzeylerinin endüstriyel tehlike kaynaklarıyla mekânsal çakışması üzerinden hesaplanır: yüksek deprem, taşkın veya heyelan tehlikesi altındaki tesisler, artırılmış NaTech potansiyeli taşır. Bu çakışma, tesis/ekipman türünün ilgili doğal tehlike şiddetine karşı hasar görülebilirliğini (kırılabilirlik/fragility) dikkate alarak ağırlıklandırılır. Bölgesel ölçekte hızlı NaTech değerlendirmesi için, Avrupa Komisyonu Ortak Araştırma Merkezi (JRC) tarafından geliştirilen RAPID-N yaklaşımı benimsenir. RAPID-N; tesis ve ekipman türü ile doğal tehlike şiddetini ilişkilendirerek hasar olasılığını ve sonuç etki alanlarını tahmin eder, böylece hangi tesis ve kümelerin ayrıntılı denetim, senaryo modelleme ve müdahale planlaması bakımından öncelikli olduğunu gösterir. RAPID-N çıktıları, seçili kümelerde tesis bazlı Fine-Kinney/HAZOP analizleriyle tamamlanır.

4.8 Domino Etkilerinin Modellenmesi

Domino etkisi, tesis sınırı yerine, birincil kazanın komşu tesis ve altyapılara yayılma olasılığını temsil eden mekânsal tamponlar üzerinden modellenir. Değerlendirme; 1, 3, 5 ve 10 km'lik kademeli tampon bölgelerle yürütülür. En dar tampon, doğrudan ısı/basınç eskalasyon olasılığının en yüksek olduğu yakın alanı; en geniş tampon ise ortak enerji, liman, ulaşım ve atık su bağımlılıkları üzerinden dolaylı yayılımı temsil eder. Tesis yoğunluğunun ve kritik altyapı çakışmasının yüksek olduğu tamponlar, zincirleme risk birikiminin en kritik olduğu hücreleri işaret eder. Tamponlar, mesafeyle azalan bir ağırlık şemasıyla değerlendirilir: 1 km bandındaki çakışmalar en yüksek, 10 km bandındakiler en düşük katkıyı verir; böylece yayılma olasılığının mesafeyle azalması korunur. Somut bir örnek İzmit Körfezi koridorudur: rafineri, akaryakıt ve kimyasal depolama tesisleri ile liman altyapısının birkaç kilometrelik bir kuşakta üst üste gelmesi, tek bir tank yangınının 1 km bandında komşu depolama alanlarına ısıl eskalasyonla, 5–10 km bandında ise ortak liman, enerji ve atıksu bağımlılıkları üzerinden dolaylı olarak yayılmasına imkân tanır. Benzer bir birikim, Gebze–Dilovası–Tuzla–Çayırova sanayi koridorunda tesis yoğunluğunun ana ulaşım altyapısıyla çakışmasından doğar; bu tür hücreler, tesis bazlı nicel derinleşmenin (Fine-Kinney, HAZOP) ilk hedefleridir.

4.9 Tesis Bazlı Nicel Yöntemler: Fine-Kinney ve HAZOP

Bölgesel taramada orta ve üzeri riskli çıkan kümelerde, tesis bazlı nicel değerlendirme uygulanır. Fine-Kinney yöntemi; olasılık, maruz kalma (frekans) ve şiddet bileşenlerinin çarpımıyla tesis düzeyinde bir risk skoru üretir ve tesislerin kendi içinde önceliklendirilmesini sağlar.

$$\text{Fine-Kinney Risk Skoru} = \text{Olasılık} \times \text{Maruz Kalma (Frekans)} \times \text{Şiddet}$$

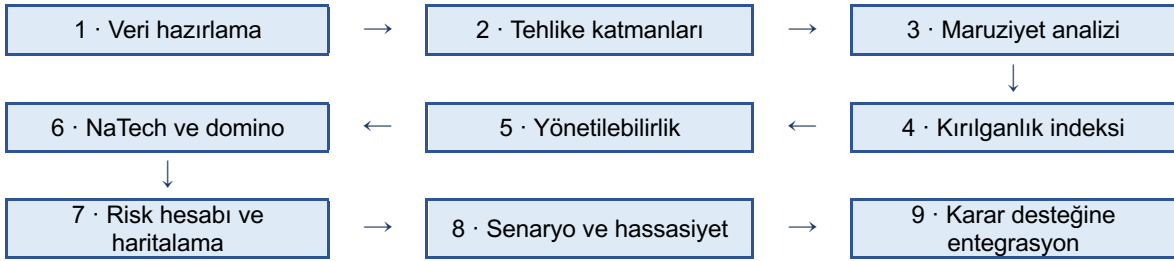
Kritik altyapılar ve karmaşık proses üniteleri için ise HAZOP (Tehlike ve İşletilebilirlik) analizi uygulanır. HAZOP, tasarım amaçlarından sapmaları sistematik biçimde inceleyen kılavuz kelimeler (örneğin “daha fazla”, “daha az”, “yok”, “tersine”) yardımıyla olası kaza yollarını ve sonuçlarını ortaya koyar. Bu iki yöntem, bölgesel grid analizini tamamlayan mikro ölçekli katmanı oluşturur ve gerektiğinde nicel risk değerlendirmesi (QRA) öğeleriyle desteklenir.

4.10 Grid Tabanlı Hesaplama İş Akışı

Analiz, dokuz adımlı bir CBS iş akışıyla yürütülür. Bu akış, MARAP metodoloji çerçevesiyle uyumludur ve her adımın çıktısı bir sonrakinin girdisidir; dolayısıyla adımlar sıralıdır ve bir adımın atlanması sonraki hesapları geçersiz kılar. Akış, veri hazırlama ve standartlaştırmadan başlayıp bileşen yüzeylerinin üretimi, ortak ölçeğe normalizasyon, ağırlıklandırma ve bileşik hesap üzerinden sınıflandırma ile doğrulamaya kadar uzanır. Adımlar QGIS ortamında yeniden çalıştırılabilir biçimde kurgulandığından, girdi verisi güncellendiğinde bütün zincir yeniden üretilebilir. İş akışının adımları Tablo 4-2'de verilmiştir.

Tablo 4-2 Grid tabanlı hesaplama iş akışının adımları

Adım	İşlem
1 · Veri hazırlama	Katmanların derlenmesi, temizlenmesi, ortak koordinat sistemine dönüştürülmesi ve grid ağının oluşturulması.
2 · Tehlike katmanları	Endüstriyel etki zonları ve doğal tetikleyici tehlike yüzeylerinin üretimi ve gride aktarımı.
3 · Maruziyet analizi	Nüfus, ulaşım, hassas kullanım ve kritik altyapı katmanlarının tehlike zonlarıyla çakıştırılması.
4 · Kırılabilirlik indeksi	Dört boyutlu kırılabilirlik göstergelerinin ağırlıklandırılması ve indeks üretimi.
5 · Yönetilebilirlik	Müdahale kapasitesi ve erişim analizleri.
6 · NaTech ve domino	Doğal tehlike çakışması ve tampon temelli domino modellemesi.
7 · Risk hesabı ve haritalama	Bileşenlerin birleştirilmesi, bileşik risk yüzeyi ve beş sınıflı haritaların üretimi.
8 · Senaryo/belirsizlik/hassasiyet	Senaryo, belirsizlik ve ağırlık hassasiyeti analizleri.
9 · Karar desteğine entegrasyon	Çıktıların önceliklendirme, planlama ve (uygun olduğunda) AYDES/ŞESİM ile entegrasyonu.



Şekil 4-1 Grid tabanlı hesaplama iş akışının dokuz adımı (şematik gösterim).

4.11 Sınıflandırma ve Kademeli Envanter Doğrulama

Tüm bileşenler 500 × 500 m’lik hücelere aktarıldıktan sonra hücre bazında birleştirilerek bileşik risk yüzeyi üretilir. Elde edilen risk değerleri, diğer İP-4 raporlarıyla uyumlu biçimde beş sınıfa (1-Çok Düşük — 2-Düşük — 3-Orta — 4-Yüksek — 5-Çok Yüksek) normalize edilerek karşılaştırılabilir hâle getirilir. Sonuçlar hem bölge geneli hem de seçilmiş kümeler için haritalanır. Bileşik risk sınıfları, anlamları ve müdahale yaklaşımları Tablo 4-3’te verilmiştir.

Envanter doğrulaması, bu sınıflandırmayla eş güdümlü ve kademeli yürütülür. Açık kaynaklı envanter; işletmeciler, BEKRA ve yetkili kurum verileriyle aşamalı olarak doğrulanır ve doğrulama önceliği orta ile üzeri riskli hücre ve kümelerle verilir. Böylece doğrulama emeği, sonucu en çok etkileyecek kritik alanlara odaklanır; çok düşük ve düşük riskli alanlar için daha kaba (ön tarama) düzey korunur.

Resmî BEKRA kayıtlarının temin edilmesiyle, doğrulamanın kuruluş kimliği ve seviyesine ilişkin boyutu büyük ölçüde tamamlanmıştır. Kademeli doğrulama bundan sonra üç konuya odaklanır: (i) konumu onarımla belirlenmiş ya da başka bir kuruluşla çakışan kayıtların uydu görüntüsü ve saha bilgisiyle teyidi; (ii) kapsam

boşluğu bulunan illerde (Edirne, Kırklareli, Yalova) envanterin tamamlanması; (iii) orta ve üzeri riskli kümelerde tesis içi verinin — tank yerleşimi, dayk kapasitesi, güvenlik mesafeleri — Ek-1 Bilgi Formları ve güvenlik raporları üzerinden derinleştirilmesi. Bu üçüncü başlık, tesis düzeyinde Fine-Kinney ve HAZOP çözümlerlerinin doğrudan girdisidir.

Tablo 4-3 Bileşik risk sınıfları, anlamları ve müdahale yaklaşımları

Risk sınıfı	Anlamı ve müdahale yaklaşımı
Çok Yüksek	Tehlike, maruziyet ve kırılabilirliğin birlikte zirve yaptığı hücreler; öncelikli denetim, nicel derinleşme ve müdahale kapasitesi planlaması.
Yüksek	Belirgin risk birikimi; kısa vadede izleme, doğrulama ve önlem önceliği.
Orta	Nicel derinleşme eşiği; tesis bazlı değerlendirmeye alınacak alt sınır.
Düşük / Çok Düşük	Ön tarama düzeyinde izlenen alanlar; periyodik güncelleme ile takip.

4.12 Belirsizlik, Senaryo ve Hassasiyet Analizi

Model çıktıları, tek bir kesin sonuç değil; kullanılan veri, ağırlık ve varsayımlar altındaki beklenen risk dağılımı olarak yorumlanmalıdır. Bu nedenle metodoloji üç tamamlayıcı analizi içerir. Senaryo analizi, farklı tetikleyici olayların (örneğin büyük bir deprem veya bölgesel bir taşkın) risk dağılımını nasıl değiştirdiğini inceler. Belirsizlik analizi, veri eksikliği ve konum/öznitelik hatalarının sonuçlara yansımaları değerlendirir. Hassasiyet analizi ise ağırlıklandırma tercihlerinin sonuçları ne ölçüde değiştirdiğini test ederek modelin sağlamlığını ortaya koyar.

4.13 Çıktılar ve Harita Ürünleri

Metodolojinin uygulanması sonucunda üç tür çıktı üretilmiştir. Birincisi, bölge genelini kapsayan tehlike, maruziyet, kırılabilirlik ve bileşik risk haritaları (500 m grid, beş sınıflı); bunlar bölgesel önceliklendirmeyi sağlar. İkincisi, orta ve üzeri riskli seçilmiş kümeler için hazırlanan, tesis bazlı nicel değerlendirmeyle desteklenmiş ayrıntılı harita ve tablolar. Üçüncüsü, tekrar üretilebilir CBS iş akışları ve doğrulanmış tesis envanteri veri seti. Bu çıktılar; bölge geneli mekânsal öncelikleri, küme bazlı ayrıntıyı ve güncellenebilir bir veri altlığını bir arada sunar.

4.14 Yöntemin Sınırlılıkları

Bu bölümde tanımlanan bölgesel yaklaşım, önceliklendirme amaçlı bir tarama çerçevesidir ve birkaç sınırlılığı açıkça belirtilmelidir. İlk olarak, başlangıç envanteri açık kaynaklıdır; koordinatlar yaklaşık merkezlerdir ve tesis içi ayrıntı içermez. İkinci olarak, bölgesel etki zonları temsili mesafelere dayanır; kesin etki mesafeleri ve ölüm/yaralanma olasılıkları ancak tesis bazlı nicel çalışmalarla (QRA/HAZOP) elde edilir. Üçüncü olarak, sonuçlar veri güncelliğine bağlıdır ve düzenli güncelleme gerektirir. Bu sınırlılıklar, iki katmanlı yaklaşımın (bölgesel tarama + seçili kümelerde nicel derinleşme) ve kademeli doğrulamanın gerekçesini oluşturur.

5 CBS TABANLI MODELLERİN GELİŞTİRİLMESİ

Bu bölüm, yukarıdaki bölümde tanımlanan risk çerçevesini — Risk = (Tehlike × Maruziyet × Kırılganlık) / Yönetilebilirlik — uygulamaya dönüştüren CBS tabanlı modelleri tanımlar. Her model; 500 × 500 m çözünürlüklü ortak kareler ağı üzerinde, ortak koordinat sisteminde ve tekrar üretilebilir bir iş akışı biçiminde kurgulanır. Bu bölümde modellerin amacı, girdi verileri ve iş akışı metinsel olarak açıklanmakta; sayısal çıktılar, performans değerlendirmeleri ve harita ürünleri izleyen bölümlerde sunulacaktır.

Modeller birbirine bağımlıdır ve tanımlı bir sırayla çalıştırılır: tehlike modeli, hem doğrudan risk hesabına hem de NaTech (Krausmann vd., 2017) ve domino (Cozzani vd., 2005) modellerine girdi verir; maruziyet ve kırılganlık modelleri bağımsız olarak üretilip risk hesabında birleştirilir; yönetilebilirlik ise toplam riski azaltan bileşen olarak devreye girer. Aşağıdaki tablo, modeller arası veri akışını özetler.

Model	Temel girdi	Çıktı	Sonraki bağ
Tehlike	Endüstriyel kaynaklar, tehlikeli madde, doğal tetikleyici yüzeyler	Tehlike yüzeyi (etki zonları)	NaTech, domino, risk
Maruziyet	Nüfus, ulaşım, hassas kullanım, kritik altyapı	Maruziyet yüzeyi	Risk
Kırılganlık	Demografi, yerleşim, erişim, çevre	Kırılganlık indeksi	Risk
NaTech	Tehlike yüzeyi + doğal tehlike yüzeyleri	NaTech tetikleme katmanı	Risk
Domino	Tehlike kaynakları + tampon/kritik altyapı	Zincirleme risk katmanı	Risk
Bileşik Risk	Yukarıdaki tüm katmanlar + yönetilebilirlik	Beş sınıflı risk yüzeyi	Bulgular, politika

5.1 Genel Model Mimarisi ve Ortak İş Akışı

Modellerin tamamı ortak bir mekânsal çerçeveyi paylaşır. Bölge, 500 × 500 m'lik hücrelerden oluşan tek bir kareler ağıyla temsil edilir; tüm katmanlar ortak koordinat sistemine dönüştürülür ve bu ağa aktarılır. Nokta, çizgi ve alan biçimindeki veriler; kriging gibi jeoistatistiksel enterpolasyon, kernel yoğunluk analizi ve tampon/mesafe fonksiyonlarıyla sürekli yüzeylere ve ardından hücre değerlerine dönüştürülür. Her bileşen, karşılaştırılabilirlik için ortak bir ölçeğe (örneğin [0–1] veya 1–5) normalize edilir.

Bileşenlerin ve alt göstergelerin birleştirilmesinde çok ölçütlü karar analizi (AHP: Saaty, 1980; En İyi–En Kötü Yöntemi: Rezaei, 2015) kullanılır; ağırlıklar uzman görüşü ve literatürle desteklenir ve hassasiyet analizinde sınanır. Modeller, QGIS grafiksel model düzenleyicisi benzeri bir ortamda, veriler güncellendiğinde yeniden çalıştırılabilir iş akışları olarak kurgulanır. Böylece analiz, tek seferlik bir çıktı değil, güncellenebilir kurumsal bir kapasite hâline gelir. Bölüm 4.10'da tanımlanan dokuz adımlı iş akışı, bu modellerin ortak omurgasını oluşturur.

5.2 Teknolojik Tehlike Modeli

5.2.1 Modelin Amacı ve Kapsamı

Teknolojik tehlike modelinin amacı, endüstriyel tehlike kaynaklarının ve bunların yangın, patlama ve toksik yayılım gibi etki türlerinin mekânsal dağılımını; ayrıca doğal afetlerin bu kaynakları tetikleme potansiyelini, ortak grid üzerinde bir tehlike yüzeyine dönüştürmektir. Model, teknolojik tehlikeyi hem sabit kaynaklar (tesisler, OSB'ler, depolama, boru hatları) hem de hareketli kaynaklar (karayolu tehlikeli madde taşımacılığı) bakımından ele alır. Bu yaklaşım, kaynak türüne göre farklılaşan tehlike davranışının nokta, çizgi ve alan geometrileriyle temsil edilmesini ve tümünün ortak bir çözünürlükte karşılaştırılabilir hale getirilmesini sağlar; böylece farklı sektörlerden ve taşımacılık koridorlarından gelen tehlike katkıları toplanabilir, ağırlıklandırılabilir ve mekânsal olarak önceliklendirilebilir.

Kapsam, bölgesel tarama düzeyinde temsili etki zonlarını içerir; kesin etki mesafeleri seçili kümelerdeki tesis bazlı çalışmalarda ele alınır. Dolayısıyla üretilen tehlike yüzeyi mutlak bir tehlike ölçüsü değil, bölge içi görelî bir sıralama olarak yorumlanmalıdır; ayrıntılı güvenlik analizleri, senaryo modellemeleri ve saha doğrulamaları için ön eleme ve girdi işlevi görür.

5.2.2 Girdi Verileri

Modelin başlıca girdileri aşağıda kategoriler hâlinde verilmiştir.

Sabit tehlike kaynakları. Endüstriyel tesisler ve kritik tesis envanteri (NACE kodu, tesis tipi, muhtemel tehlikeli madde grubu), OSB'ler, LPG nokta ve tesisleri, akaryakıt/LNG terminalleri, enerji üretim ve iletim altyapısı.

Hareketli tehlike kaynakları. Ana karayolları ve demiryolları boyunca tehlikeli madde taşımacılığı; yıllara bağlı trafik kazası verileri.

Doğal tetikleyici yüzeyler. İP-4'ün ilgili raporlarından alınan deprem (PGA), sel-taşkın (su derinliği/yayılım), heyelan (duyarlılık) ve orman yangını tehlike yüzeyleri; topografya, eğim ve akarsu katmanları.

BEKRA Kuruluşlarının Tehlike Girdisi Olarak Kullanımı

Büyük Endüstriyel Kazaların Önlenmesi ve Etkilerinin Azaltılması Hakkında Yönetmelik (BEKRA), Avrupa Birliği SEVESO III Direktifi'nin ulusal karşılığıdır ve kuruluşları, bulundurdıkları tehlikeli madde miktarının eşik değerlerine göre alt seviye ve üst seviye olarak sınıflandırır. Üst seviye kuruluşlar, en yüksek miktarda tehlikeli madde bulunduran ve dolayısıyla büyük endüstriyel kaza (yangın, patlama, toksik salım) potansiyeli en yüksek tesislerdir. Bu nedenle üst seviye BEKRA kuruluşları, teknolojik tehlike modelinin öncelikli ve resmî olarak doğrulanmış girdi kaynağını oluşturur.

BEKRA kuruluşlarının tehlike hesabına katkısı üç yönlüdür. Birincisi, resmî ve hukuki dayanağı olan bu liste, açık kaynaklı tesis envanterinin doğrulanmış

çekirdeğini sağlar. İkincisi, alt/üst seviye ayrımı, tehlikeli madde miktarına dayalı hazır bir tehlike şiddeti göstergesi sunar; üst seviye kuruluşlara alt seviyeye göre daha yüksek bir başlangıç tehlike ağırlığı atanır. Üçüncüsü, üst seviye kuruluşlar mevzuat gereği güvenlik raporu (kaza senaryoları ve etki mesafeleri) hazırladığından, bu belgeler seçili kümelerdeki tesis bazlı nicel derinleşmeye (etki zonu parametreleri; Fine-Kinney; Kinney & Wiruth, 1976) doğrudan girdi verir.

BEKRA seviyesi	Tanım	Tehlike modelindeki kullanım
Üst seviye	En yüksek tehlikeli madde miktarı; güvenlik raporu zorunlu	En yüksek başlangıç tehlike ağırlığı; senaryo ve etki mesafesi girdisi; nicel derinleşmede öncelikli
Alt seviye	Eşik üstü, ancak daha düşük miktar	Orta-yüksek tehlike ağırlığı; bölgesel tarama girdisi
Kapsam dışı (eşik altı)	BEKRA eşikini aşmayan diğer tehlike kaynakları	Tamamlayıcı katmanlarla (OSB, LPG, boru hattı, taşımacılık) temsil edilir

Uygulamada, BEKRA kuruluşları (öncelikle üst seviye olanlar) tesis-nokta katmanına işlenir; her kayda konum, BEKRA seviyesi, tehlikeli madde grubu ve NACE kodu öznitelikleri eklenir. Seviye ve madde grubuna göre tehlike ağırlığı ile etki türü profili (ısıl/mekanik/toksik) atanır. BEKRA yalnızca eşik üstü tesisleri kapsadığı için tek başına yeterli değildir; eşik altı ve kapsam dışı kaynaklarla tamamlanmalıdır. Kuruluş listesi ve seviye bilgisi Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'ndan temin edilir; kademeli envanter doğrulamasında üst seviye kuruluşlar öncelikli olarak ele alınır.

5.2.3 Genel İş Akışı ve Metodoloji

İş akışı, tehlike kaynaklarının konumsal olarak sınıflandırılmasıyla başlar. Her kaynak; tesis tipi ve tehlikeli madde grubuna göre bir etki türü profiliyle (ısıl, mekanik, toksik) ilişkilendirilir. Etki zonları, mesafeye bağlı azalım fonksiyonları ve temsili tampon mesafeleriyle üretilir; havuz/jet yangını için ısıl radyasyon, patlama için aşırı basınç, toksik salım için dağılım yaklaşımı esas alınır.

Hareketli tehlike katmanı, ana ulaşım koridorları boyunca tehlikeli madde taşımacılığı yoğunluğu ve kaza dağılımının kernel yoğunluk analiziyle yüzeye dönüştürülmesiyle üretilir. Sabit ve hareketli kaynaklardan gelen tehlike değerleri, ortak grid üzerinde birleştirilerek normalize bir endüstriyel tehlike yüzeyi elde edilir. Doğal tetikleyici yüzeyler, bu aşamada ayrı katmanlar olarak hazır tutulur ve NaTech modeline aktarılır.

5.3 Maruziyet Modeli

5.3.1 Modelin Amacı ve Kapsamı

Maruziyet modelinin amacı, bir tehlikenin gerçekleşmesi hâlinde etkilenebilecek insan, yapı, altyapı ve çevresel unsurların mekânsal yoğunluğunu ve değerini grid üzerinde temsil etmektir. Model, maruziyeti zamana bağlı olarak (gündüz/gece) ayırıştırarak kaza anına duyarlı bir değerlendirme sağlar.

5.3.2 Girdi Verileri

Modelin başlıca girdileri şunlardır:

Nüfus. Gece ve gündüz nüfus dağılımı; yerleşim alanları ve idari birimler (il/ilçe/mahalle).

Ulaşım ve lojistik. Ana karayolları, demiryolları ve limanlar.

Hassas kullanımlar ve altyapı. Hastaneler, okullar ve eğitim alanları; kritik altyapı unsurları.

5.3.3 Genel İş Akışı ve Metodoloji

İş akışı, her maruziyet katmanının grid hücrelerine aktarılmasıyla başlar. Nüfus katmanları gündüz ve gece senaryoları için ayrı hazırlanır; hassas kullanımlar (hastane, okul) daha yüksek ağırlıkla ele alınır. Ulaşım, liman ve kritik altyapı katmanları, tehlike zonlarıyla çakışma potansiyeline göre değerlendirilir.

Katmanlar normalize edilerek ağırlıklandırılır ve birleştirilir; sonuçta her hücre için bir maruziyet skoru üretilir. Bu skor, tehlike zonlarıyla çakıştırıldığında, tehlikenin gerçekleşmesi hâlinde en yüksek maruziyetin görüldüğü alanları ortaya koyar.

5.4 Kırılgenlik Modeli

5.4.1 Modelin Amacı ve Kapsamı

Kırılgenlik modelinin amacı, maruz kalan unsurların zarar görme eğilimini çok boyutlu bir indeks olarak grid üzerinde temsil etmektir. Model, kırılgenliği fiziksel, sosyal, çevresel ve erişilebilirlik boyutlarıyla ele alır.

5.4.2 Girdi Verileri

Modelin başlıca girdileri, dört kırılgenlik boyutuna karşılık gelir:

Fiziksel. Yerleşim dokusu ve altyapı bağımlılığı.

Sosyal. Demografik hassasiyet göstergeleri (yaşlı ve çocuk nüfus vb.).

Çevresel. Akarsu ve kıyı yakınlığı üzerinden kirletici taşınımı ve ekosistem duyarlılığı.

Erişilebilirlik. Müdahale birimlerine uzaklık ile eğim/topografya kaynaklı erişim güçlüğü.

5.4.3 Genel İş Akışı ve Metodoloji

İş akışı, her boyuta ait göstergelerin hesaplanması ve grid hücrelerine aktarılmasıyla başlar. Göstergeler ortak ölçeğe normalize edilir; boyutlar, çok ölçütlü değerlendirme yöntemiyle (AHP/BWM) ağırlıklandırılarak birleştirilir.

Elde edilen bileşik kırılgenlik indeksi, aynı tehlike ve maruziyet düzeyine sahip iki alanın, kırılgenlik farkı nedeniyle farklı risk taşıyabileceğini görünür kılar. Ağırlık tercihlerinin sonuca etkisi, hassasiyet analizinde test edilir.

5.5 NaTech Modeli

5.5.1 Modelin Amacı ve Kapsamı

NaTech modelinin amacı, doğal afetlerin endüstriyel tehlike kaynaklarında teknolojik kaza tetikleme potansiyelini mekânsal olarak değerlendirmektir. Model, teknolojik tehlike yüzeyi ile doğal tehlike yüzeylerinin çakışmasını, tesis/ekipman türünün ilgili doğal tehlikeye karşı hasar görebilirliğini dikkate alarak ağırlıklandırır.

5.5.2 Girdi Verileri

Modelin başlıca girdileri şunlardır:

Teknolojik tehlike yüzeyi. 5.2’de üretilen endüstriyel tehlike katmanı ve tesis envanteri.

Doğal tehlike yüzeyleri. Deprem (PGA), sel-taşkın (su derinliği), heyelan (duyarlılık) ve orman yangını katmanları.

Kırılabilirlik/hasar bilgisi. Tesis ve ekipman türüne göre doğal tehlike şiddetine karşı hasar görebilirlik (fragility) yaklaşımı.

5.5.3 Genel İş Akışı ve Metodoloji

İş akışı, her endüstriyel tehlike kaynağının bulunduğu hücredeki doğal tehlike şiddetinin belirlenmesiyle başlar. Yüksek doğal tehlike altındaki kaynaklar, artırılmış NaTech potansiyeli taşıyacak biçimde ağırlıklandırılır. Bölgesel ölçekte hızlı değerlendirme için JRC RAPID-N yaklaşımı (Girgin & Krausmann, 2013) benimsenir; RAPID-N, tesis/ekipman türü ile doğal tehlike şiddetini ilişkilendirerek hasar olasılığını ve sonuç etki alanlarını tahmin eder.

Model çıktısı, doğal afet tetiklemesinin en olası ve en yüksek sonuçlu olduğu tesis ve kümeleri gösteren bir NaTech tetikleme katmanıdır. Bu katman, seçili kümelerde tesis bazlı nicel yöntemlerle (Fine-Kinney: Kinney & Wiruth, 1976; HAZOP: IEC, 2016) derinleştirilir.

5.6 Domino Etkisi Modeli

5.6.1 Modelin Amacı ve Kapsamı

Domino etkisi modelinin amacı, bir tesisteki birincil kazanın komşu tesis ve altyapılara yayılma olasılığını mekânsal olarak temsil etmektir. Model, yayılmayı tesis sınırı yerine kademeli mekânsal tamponlar üzerinden ele alır.

5.6.2 Girdi Verileri

Modelin başlıca girdileri şunlardır:

Tehlike kaynakları ve kümeler. Tesis konumları, tesis tipi ve tehlikeli madde grubu; küme yoğunluğu.

Yayılma parametreleri. Isıl radyasyon, aşırı basınç ve fragman yayılımına ilişkin eşik ve mesafe yaklaşımları.

Ortak altyapı. Enerji, boru hattı, liman ve ulaşım gibi tesisler arası bağımlılık katmanları.

5.6.3 Genel İş Akışı ve Metodoloji

İş akışı, her tehlike kaynağı çevresinde 1, 3, 5 ve 10 km'lik kademeli tamponların oluşturulmasıyla başlar. En dar tampon, doğrudan ısı/basınç eskalasyonunun en olası olduğu alanı; en geniş tampon ise ortak altyapı bağımlılıkları üzerinden dolaylı yayılımı temsil eder. Tampon bölgelerdeki tesis yoğunluğu ve kritik altyapı çakışması, zincirleme risk birikimini belirler.

Model çıktısı, domino/zincirleme etki potansiyelinin en yüksek olduğu hücreleri gösteren bir katmandır. Bu katman, özellikle çok sayıda tesisin ve ortak altyapının kısa mesafede yoğunlaştığı kümelerde belirleyici olur.

5.7 Bileşik Risk Modeli ve Sınıflandırma

5.7.1 Modelin Amacı ve Kapsamı

Bileşik risk modelinin amacı, önceki modellerden gelen katmanları — tehlike, maruziyet, kırılganlık, NaTech ve domino — yönetilebilirlik bileşeniyle birlikte birleştirerek, her grid hücresi için tek bir risk değeri ve buna dayalı sınıflandırılmış risk haritaları üretmektir. Model, 500 m çözünürlüklü ortak analiz çerçevesinde (EPSG:5637) çalışmakta ve nüfusun günün farklı saatlerindeki dağılımını yansıtacak biçimde gece ve gündüz senaryoları için ayrı ayrı çözülmektedir. Böylece bölüm çıktısı, tekil bir tehlike ya da maruziyet göstergesi değil, bileşenlerin birlikte etkisini tek ölçekte karşılaştırılabilir kılan ve önceliklendirmeye doğrudan girdi veren bir risk yüzeyi olur.

5.7.2 Girdi Verileri

Modelin girdileri, 5.2–5.6'da üretilen tehlike, maruziyet, kırılganlık, NaTech ve domino katmanları ile yönetilebilirlik bileşenidir (itfaiye/acil müdahale konumları, hastane kapasitesi, ulaşım erişimi). Tüm katmanlar ortak grid üzerinde ve ortak ölçeğe normalize edilmiş biçimde kullanılır.

5.7.3 Genel İş Akışı ve Metodoloji

İş akışı, bileşenlerin Bölüm 4.2'de tanımlanan formülasyona göre birleştirilmesiyle işler: tehlike, maruziyet ve kırılganlık çarpımsal olarak birleştirilir; NaTech ve domino katmanları tehlike/etkileşim ağırlığını yükselten bileşenler olarak dâhil edilir; yönetilebilirlik ise toplam riski azaltan çarpan olarak uygulanır. Elde edilen bileşik risk değerleri, diğer İP-4 raporlarıyla uyumlu biçimde beş sınıfa (Çok Düşük – Düşük – Orta – Yüksek – Çok Yüksek) normalize edilir.

Sınıflandırılmış risk yüzeyi, hem bölge geneli hem de seçilmiş kümeler için haritalanır. Orta ve üzeri riskli hücre ve kümeler, tesis bazlı nicel derinleşme ve kademeli envanter doğrulaması için öncelikli sıraya alınır. Modelin sayısal çıktıları, performans değerlendirmesi ve harita ürünleri izleyen bölümlerde sunulacaktır.

6 TEKNOLOJİK AFET TEHLİKE HARİTASININ (TATH) CBS İLE ÜRETİMİ

Bu bölüm, 5.2’de tanımlanan teknolojik tehlike modelinin Coğrafi Bilgi Sistemleri ortamında, adım adım nasıl uygulanacağını teknik düzeyde açıklar. Anlatım, gerekli girdi katmanlarının (tehlike katman listesi: İP4_Tehlike_Katman_Listesi.xlsx [EK-E · 02_EKLER/EK-E_VERİ_KATALOGU]; katmanların tam dizini için bkz. EKLER, Tablo E-1) hazır olduğu varsayımıyla, açık kaynaklı bir CBS yazılımı olan QGIS üzerinden kurgulanmıştır; ancak yöntem yazılımdan bağımsızdır ve eşdeğer araçlarla başka platformlarda da uygulanabilir. İş akışı, tehlikeyi üç bileşenden — sabit endüstriyel kaynaklar, hareketli (ulaşım kaynaklı) kaynaklar ve doğal tetikleyici yüzeyler — üretip ortak grid üzerinde bileşik bir tehlike yüzeyinde birleştirmeyi esas alır.

6.1 Genel Çerçeve ve Ön Kabuller

İş akışı üç ön kabule dayanır. Birincisi, tüm katmanlar ortak koordinat sistemine (metrik analizler için EPSG:5637 – TUREF / LCC Europe) dönüştürülür. İkincisi, temel analiz birimi 500 × 500 m’lik kareler ağıdır ve tüm ara çıktılar bu ağın hücrelerine indirgenir. Üçüncüsü, her tehlike bileşeni ortak bir ölçeğe (1–5 veya [0–1]) normalize edilerek karşılaştırılabilir kılınır. Bu üç kural, farklı veri türlerinin (nokta, çizgi, alan, raster) tutarlı biçimde birleştirilmesini sağlar.

6.2 Adım 1 — Veri Hazırlama ve Standartlaştırma

İlk adımda tüm girdi katmanları ortak koordinat sistemine dönüştürülür; geometrik hatalar (geçersiz geometri, çift kayıt, boşluklar) giderilir ve öznetelik alanları standart bir şemaya (örneğin tesis_adi, nace2, tesis_tipi, tehlikeli_madde_grubu, etki_turu) getirilir. Ardından çalışma alanını kapsayan 500 × 500 m’lik kareler ağı (fishnet) üretilir ve her hücreye benzersiz bir kimlik atanır. Bu ağ, tüm bileşen katmanlarının toplulaştırılacağı ortak referans yüzeyidir.

Tanım. Bu bölümün çıktısı, MARAP kapsamında Teknolojik Afet Tehlike Haritası (kısaca TATH) olarak adlandırılan bileşik tehlike yüzeyidir. TATH, Marmara Bölgesi’nde teknolojik kaza potansiyeli taşıyan kaynakların — büyük endüstriyel kaza riski taşıyan kuruluşlar, sanayi tesisleri, organize sanayi alanları, akaryakıt ve LPG dağıtım noktaları, limanlar ve tehlikeli madde taşımacılığı koridorları — mekânsal dağılımını, bu kaynakları tetikleyebilecek doğal olay tehlikeleriyle birlikte tek bir kareler ağı üzerinde bütünleştiren, 0 ile 1 arasında bağlı değer alan bir yüzeydir. Adlandırma yalnızca bir kısaltma kolaylığı değildir: harita, tek bir veri kaynağının değil, birbirinden bağımsız üretilip tanımlı kurallarla birleştirilen bileşenlerin bileşimidir ve raporun geri kalanında bu bütüne TATH, alt yüzeylere ise “bileşen” denilecektir.

Kapsam sınırı. TATH bir risk haritası değildir; risk denkleminin yalnızca tehlike terimini temsil eder. Bölüm 4.2'de tanımlanan çerçevede risk, tehlike ile maruziyet ve kırılganlığın çarpımının yönetilebilirlik bileşenine bölünmesiyle modellenmektedir. Dolayısıyla TATH, kendisiyle aynı gride üretilen maruziyet ve kırılganlık yüzeylerinin (Bölüm 7) ve bileşik risk yüzeyinin (Bölüm 8) girdisidir. Bir hücrenin TATH değerinin yüksek olması, orada tehlike kaynağının ve/veya tetikleyici potansiyelin yoğunlaştığı anlamına gelir; o hücrede gerçekleşecek zararın büyüklüğü hakkında tek başına bilgi vermez.

Bileşen yapısı. TATH iki düzeyli bir yapıya sahiptir. Birinci düzeyde, teknolojik tehlike-kaynağı bileşimi sabit (endüstriyel) ve hareketli (ulaşım kaynaklı) tehlike katmanlarının ağırlıklı birleşimiyle elde edilir. İkinci düzeyde, doğal tetikleyici bileşimi deprem, sel-taşkın ve heyelan tehlike yüzeylerinin ağırlıklı birleşimiyle kurulur. İki düzey, NaTech tanımının gereği olarak çarpımsal biçimde birleştirilir: bir teknolojik kaza, tehlikeli madde bulunduran bir kaynağın ve onu tetikleyecek bir doğal olayın aynı yerde bulunmasını gerektirdiğinden, bileşenlerden birinin sıfıra yakın olduğu hücrelerde bileşik tehlike de sıfıra yaklaşır. Bu kural, tesis bulunmayan kırsal alanların yalnızca yüksek deprem tehlikesi nedeniyle yüksek NaTech tehlikesi göstermesini engeller. TATH bileşenleri, girdileri ve üretim yöntemleri Tablo 6-1'de özetlenmiştir.

Tablo 6-1 TATH bileşenleri, girdileri, üretim yöntemleri ve güncel durumu. Ağırlıklar başlangıç değerleridir ve Bölüm 6.6.2'de duyarlılık analizine tabi tutulmuştur.

Düzye	Bileşen (ağırlık)	Girdi verileri	Üretim yöntemi	Bölüm	Durum
Teknolojik tehlike-kaynağı	Sabit endüstriyel (0,65)	220 resmî BEKRA kuruluşu ve 45 tamamlayıcı unsur (envanter v4.0), 24.068 sanayi tesisi, 3.885 akaryakıt/LPG istasyonu, 190 organize sanayi alanı poligonu	Ağırlıklı çekirdek yoğunluğu + analitik tehlike çekirdekleri + ağırlıklı alan katmanı; hücre bazında maksimum kuralı	6.3	Tamamlandı
	Hareketli / ulaşım (0,35)	Otoyol, ana yol ve yük demiryolu koridorları; araç ve yük feribotu düğümleri	Sınıf ağırlıklı üstel mesafe-azalımı; hücre bazında maksimum kuralı	6.4	Tamamlandı
Doğal tetikleyici	Deprem (0,55)	MARAP İP-4 deprem çalışmasının PGA-475 veri seti — DD-2 düzeyi (475 yıl) PGA	1.530 düğümlü hesap gridinin ortak gride bilineer yeniden örneklenmesi; min-maks normalizasyon	6.5.2–6.5.3	Tamamlandı
	Sel-taşkın (0,25)	İP-4 Sel-Taşkın çalışmasının Q500 tehlike katmanı (4 sınıf, 1 km)	Ortak gride en yakın komşu örnekleme ve sınıf tabanlı normalizasyon	6.5.5	Tamamlandı
	Heyelan (0,20)	İP-4 heyelan çalışmasının H_RAIN_3d_50yr sonuç katmanı	Ortalama yeniden örnekleme; deniz alanları maskeli	6.5.4	Tamamlandı
Bileşim	TATH (bileşik NaTech tehlikesi)	Yukarıdaki iki düzeyin normalize yüzeyleri	Çarpımsal birleştirme: teknolojik tehlike-kaynağı × doğal tetikleyici	6.6–6.7	Ön sürüm

Üretim iş akışı. Üretim, sekiz adımlı bir iş akışı olarak kurgulanmıştır. Adımlar sıralıdır: her adımın çıktısı bir sonrakinin girdisidir ve tüm ara çıktılar aynı kareler ağının hücrelerine indirgenir. Bu yapı, tek bir bileşen güncellendiğinde (örneğin BEKRA envanteri yenilendiğinde ya da bir tetikleyici katman değiştiğinde) yalnızca ilgili adımdan itibaren yeniden hesaplama yapılmasına olanak verir. Sekiz adımlı üretim iş akışı ve adımların rapor içindeki karşılıkları Tablo 6-2’de verilmiştir.

Tablo 6-2 TATH üretim iş akışı ve adımların rapor içindeki karşılıkları.

Adım	İşlem	Çıktı	Bölüm
1	Veri hazırlama ve standartlaştırma; AFAD teminli BEKRA veri setinin düzenlenmesi	Ortak koordinat sistemi ve gride getirilmiş, denetlenmiş girdi katmanları	6.2
2	Sabit endüstriyel tehlike katmanının üretimi	Sabit bileşen yüzeyi (0–1)	6.3
3	Hareketli (ulaşım kaynaklı) tehlike katmanının üretimi	Hareketli bileşen yüzeyi (0–1)	6.4
4	Doğal tetikleyici katmanlarının hazırlanması	Deprem, heyelan ve sel-taşkın yüzeyleri (0–1)	6.5
5	Normalizasyon ve ağırlıklandırma	Ortak ölçekli, ağırlıklandırılmış bileşen katmanları	6.6
6	Bileşik yüzeyin hesaplanması	TATH — bileşik teknolojik afet tehlike yüzeyi (0–1)	6.7
7	Sınıflandırma ve kartografik sunum	Beş sınıflı TATH haritaları ve harita ürünleri	6.8
8	Doğrulama, duyarlılık ve kalite kontrol	Denetim raporu, senaryo karşılaştırmaları	6.9

Analiz çerçevesi ve MARAP kapsam maskesi. TATH ve ona bağlı bütün bileşen katmanları, MARAP çalışma alanının tamamını kapsayan tek bir analiz çerçevesinde üretilmiştir. Çerçeve, TUREF / LCC Europe (EPSG:5637) sisteminde ve x 5.299.500–5.713.000, y 1.574.500–1.899.000 aralığını kaplar. Çerçevenin sınırları keyfi seçilmemiş; Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü idari birim veri setinin (İdari Alanlar) 11 il poligonundan türetilmiş, 500 m'nin tam katına yuvarlanarak belirlenmiştir. Böylece hiçbir il ve hiçbir ilçe çerçeve dışında kalmamaktadır.

Analiz maskesi, aynı veri setinin il poligonlarının 500 m gride aktarılmasıyla tanımlanmıştır. Kıyıdaki sanayi hücrelerinin kaybolmaması için hücre merkezi kuralı yerine 'temas eden hücre' (all-touched) kuralı benimsenmiştir; merkez kuralı denendiğinde EÜAŞ Tekirdağ Doğalgaz Kombine Çevrim Santrali, Güzel Enerji Yarımca ve İÇDAŞ Biga tesisleri de dâhil olmak üzere envanterdeki 16 kayıt maske dışında kalmaktaydı. Elde edilen maske 283.842 hücre, izdüşüm düzleminde 70.960 km²'dir. İdari kayıtlardaki 72.540 km²'lik değerle arasındaki %3,6'lık fark, bir kapsam kaybı değil, Lambert konformal konik izdüşümün Marmara enlemlerindeki alan ölçek katsayısından ($k^2 \approx 0,96$) kaynaklanan sistematik farktır; il il aynı oranda görülmektedir. Maskeyle birlikte il ve ilçe kodu rasterleri de üretilmiştir (11 il, 158 ilçe). Bu rasterler, sonuçların idari birim bazında raporlanmasını ve 7. bölümde nüfus verisinin grid hücrelerine bağlanmasını sağlar. Analiz maskesinin il bazında dağılımı Tablo 6-3'te verilmiştir.

Tablo 6-3 MARAP analiz maskesinin il bazında dağılımı (500 m grid, izdüşüm alanı).

İl	Hücre	Alan (km ²)	İl	Hücre	Alan (km ²)
Balıkesir	55.977	13.994	Tekirdağ	24.662	6.166
Bursa	42.244	10.561	Edirne	23.702	5.926
Çanakkale	39.270	9.818	İstanbul	21.115	5.279
Kırklareli	24.706	6.176	Sakarya	19.216	4.804
Bilecik	16.286	4.072	Kocaeli	13.382	3.346
Yalova	3.282	820	TOPLAM	283.842	70.960

Adlandırma ve sürüm izlenebilirliği. Üretilen katmanların dosya adlandırması bu terminolojiyi izler: bileşik yüzey ve bileşenleri MARAP_TATH_ ön ekiyle, sürüm numarası ve senaryo kodu belirtilerek yayımlanır. Böylece rapor metnindeki bileşen adları ile coğrafi bilgi sistemindeki katman adları birebir eşleşir ve hangi haritanın hangi sürüme dayandığı izlenebilir kalır.

6.2.1 AFAD Teminli BEKRA Veri Setinin Düzenlenmesi

Çalışmanın ilk sürümünde tehlike kaynağı envanteri açık kaynak taramasıyla derlenmiş ve kuruluşların BEKRA seviyeleri, kanıt derecelendirmesine dayalı bir yaklaşımla tahmin edilmişti; ilgili kayıtların Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı nezdinde idari olarak doğrulanması mümkün olmamıştı. Bu aşamada AFAD, Marmara Bölgesi'ndeki on bir il için BEKRA Bildirim Sistemi kayıtlarını ve kuruluşlardan doğrudan toplanan tesis bilgilerini proje yürütücüsüne iletmiştir. Söz konusu veri paketi, tehlike kaynağı katmanının tahminî bir taramadan resmî kayda dayalı bir envantere dönüştürülmesini sağlamış; buna karşılık ham sistem çıktısı niteliği taşıdığından, analize girmeden önce sistematik bir temizleme ve düzenleme sürecinden geçirilmesi gerekmiştir. Bu alt bölüm, söz konusu süreci adım adım ve yeniden üretilebilir biçimde belgelemektedir. Veri paketi 892 dosya ve yaklaşık 822 MB büyüklüğündedir [KV-7F · 07_KAYNAK_VERI/7F_AFAD_BEKRA_KAYNAK]. İçerik, birbirinden nitelik olarak ayrılan dört kümede toplanmaktadır. Veri paketinin bileşenleri ve analizdeki kullanımı Tablo 6-4'te verilmiştir.

Tablo 6-4 AFAD tarafından iletilen BEKRA veri paketinin bileşenleri ve analizdeki rolleri.

Veri kümesi	Kapsam	Analizdeki rolü
ÇŞB BEKRA kayıtları	11 il için üst ve alt seviye kuruluş listeleri (18 Excel dosyası, 230 kayıt); her kayıtta çevre kimlik numarası, unvan, adres, koordinat, bildirilen ve hesaplanan kategori, bildirim tarihi ve tehlikeli madde dökümü	Birincil tehlike kaynağı katmanı
Ek-1 Bilgi Formları	Kuruluşlardan doğrudan alınan 80 tesis klasörü; tank kodu, ünite, kimyasal, çap, uzunluk, hacim, doluluk oranı, basınç, sıcaklık, tank şekli, dayk alanı ve yüksekliği, zemin tipi	Tesis içi modelleme ve domino çözümlemesi girdisi
Sanayi odası listeleri	Kocaeli, Sakarya ve Yalova için koordinatlı firma kayıtları (yalnız Kocaeli'de 4.845 kayıt)	Konum onarımı ve sanayi yoğunluğu desteği
Diğer belgeler	Yerleşim planları, dilekçeler, acil durum planı ekleri, kapasite raporu listeleri	Tesis düzeyi derinleşmede başvuru kaynağı

Adım 1 — Kayıtların birleştirilmesi ve alan yapısının çözümlenmesi. On bir ilin ayrı klasörlerinde bulunan 18 Excel dosyası tek bir tabloda birleştirilmiş; her kayda kaynak dosya bilgisi eklenerek izlenebilirlik korunmuştur. Birleştirme sonrasında 230 ham kayıt elde edilmiştir: 126 üst seviye, 99 alt seviye ve 5 kapsam dışı. Kayıtların tamamı benzersiz çevre kimlik numarası (CKN) taşımakta, 227'sinde tehlikeli madde dökümü bulunmaktadır.

Adım 2 — Koordinatların ayrıştırılması ve eksen denetimi. Koordinat alanı çoğunlukla WKT biçiminde (POINT(boylam enlem)) doldurulmuştur; ancak alanın sarmalayıcı olmadan yalnızca sayı çifti içerdiği, boş POINT() olarak bırakıldığı veya hiç doldurulmadığı kayıtlar da bulunmaktadır. Ayrıştırıcı bu biçimlerin tümünü tanıyacak biçimde kurgulanmış; ayrıca sarmalayıcısız çiftlerde eksen sırası denetlenmiştir. Bu denetim sonucunda bir kayıta (Altınbaş Petrol Körfez Şubesi) enlem ve boylamın ters yazıldığı belirlenmiş ve düzeltilmiştir.

Adım 3 — Coğrafi geçerlilik denetimi. Ayrıştırılan her koordinat iki aşamalı bir coğrafi geçerlilik denetiminden geçirilmiştir. Birinci aşamada nokta, MARAP çalışma alanını kapsayan bölge sınır kutusuna (25,60°–31,60° doğu boylamları ile 39,00°–42,20° kuzey enlemleri) düşüp düşmediği bakımından sınanmıştır. İkinci ve daha ayırt edici aşamada nokta, kaydın kendi ilinin yaklaşık sınır kutusuyla karşılaştırılmıştır. İkinci denetim, bölge içinde kalmakla birlikte yanlış ile düşen kayıtları da yakaladığı için belirleyici olmuştur. Denetimde belirlenen konum hataları Tablo 6-5'te verilmiştir.

Tablo 6-5 Geçerlilik denetiminde belirlenen konum hataları.

Hata türü	Kayıt	Örnek
Sistem varsayılanına düşen koordinat	2	32,75° D / 39,91° K değerine sahip iki kayıt (Ankara civarı)
Bölge dışında kalan koordinat	3	Tekirdağ'a kayıtlı bir tesisin Kayseri, bir diğerinin İzmir yakınında görünmesi
Bölge içinde ama yanlış ilde	4	Marmara Ereğlisi adresli iki kuruluşun Tuzla'da, Adapazarı adresli bir tesisin Düzce'de konumlanması
Boş veya eksik koordinat	6	POINT() biçiminde boş bırakılan ya da hiç doldurulmayan alanlar

Adım 4 — Kademeli konum onarımı. Geçersiz bulunan koordinatlar silinmemiş, kaydın adres bilgisi kullanılarak kademeli bir onarım sürecine alınmıştır. Onarım, güvenilirliği en yüksek kaynaktan başlayarak sırayla denenmiş; ilk başarılı adımda durulmuş ve uygulanan yöntem ile elde edilen konum güveni her kayıt için günlüğe yazılmıştır. Böylece hiçbir konum, kaynağı gösterilmeden veri setine girmemiştir. Onarım basamakları ve sonuçları Tablo 6-6'da verilmiştir.

Tablo 6-6 Kademeli konum onarımı basamakları ve sonuçları. Toplam 15 geçersiz koordinatın 14'ü onarılmış; kırsal adresli bir kayıt (Malkara/Çavuşköy) konumlandırılmamıştır.

Sıra	Onarım kaynağı	Konum güveni	Onarılan kayıt
1	Aynı kuruluşa ait, koordinatı geçerli mükerrer kayıt	Yüksek	3
2	Sanayi odası ve sanayi tesisi kayıtlarında birebir unvan eşleşmesi (8.713 kayıtlık dizin)	Yüksek	1
3	Aynı mahalledeki diğer BEKRA kayıtlarının merkezi	Orta	7
4	Mahalle dizini: aynı mahalledeki firma kayıtlarının medyan konumu	Orta	2
5	İP-4 tesis envanterinde ortak kelime eşleşmesi	Orta-yüksek	1
6	Organize sanayi bölgesi poligonunun ağırlık merkezi	Orta	—

Adım 5 — Mükerrer kayıtların birleştirilmesi. Ham kayıtlar arasında aynı tesise ait birden çok bildirim bulunmaktadır. Bunların bir bölümü sistemde açıkça “mükerrer” olarak işaretlenmiş, bir bölümü ise yalnızca unvan yazımındaki farklarla ayrılmaktadır. Birleştirme iki ölçüte bağlanmıştır: (i) normalleştirilmiş unvanın aynı olması ve konumların 2.500 m içinde ya da aynı mahallede bulunması; (ii) ayırt edici firma adının aynı, adres benzerliğinin yüksek ve kapı numaralarının eşit olması. Kapı numarası koşulu belirleyicidir: bu koşul olmaksızın aynı cadde üzerinde sıralanan ayrı kuruluşlar (Likitgaz'ın Körfez'deki dört ayrı şubesi, EÜAŞ Tekirdağ santralinin A ve B üniteleri, Petrol Ofisi ile İpragaz'ın Yarımca tesisleri) hatalı biçimde tek kayda indirgenmektedir. Uygulanan kural 9 birleştirme üretmiş ve 230 ham kayıt 221 tekil kuruluşa inmiştir.

Adım 6 — Kimyasal madde envanterinin çözümlenmesi. Kayıtlardaki tehlikeli madde alanı, madde adı ve miktarın tek bir metin dizisi içinde sıralandığı serbest biçimli bir alandır. Bu alan çözümlenerek 7.772 madde-miktar satırı elde edilmiş ve her madde, adına göre altı tehlike sınıfından birine yerleştirilmiştir. Miktar biriminin ton olduğu bağımsız olarak doğrulanmıştır: BOTAŞ Marmara Ereğlisi terminali için bildirilen 117.300 ton, tesisin 255.000 m³ kapasitesinin sıvılaştırılmış doğal gaz yoğunluğuyla (yaklaşık 0,46 t/m³) çarpımına birebir karşılık gelmektedir. Bildirilen tehlikeli maddelerin sınıf dağılımı Tablo 6-7'de verilmiştir.

Tablo 6-7 Bildirilen tehlikeli maddelerin sınıf dağılımı.

Madde sınıfı	Satır	Kütle (ton)
Yanıcı sıvı	601	4.280.139
Yanıcı gaz / sıvılaştırılmış gaz	651	836.942
Oksitleyici	147	280.199
Akut toksik	158	174.866
Çevre için tehlikeli	217	21.002
Patlayıcı	8	166
Diğer / sınıflandırılmamış (çoğunlukla ticari ürün adları)	5.955	1.519.016
Atık / cevher — Ek-1 stoğu sayılmaz, ayrı tutulur	35	39.575.587

Tablodaki son satır, veri setinin en kritik ayıklama kararına işaret etmektedir. Madencilik kuruluşlarının bildirimlerinde yer alan yığın liç atığı, cevher ve konsantre gibi kalemler, tek başına 39,6 milyon tonluk bir kütle oluşturmakta ve toplam bildirilen miktarın büyük bölümünü tek başına belirlemektedir. Bu kalemler Ek-1 anlamında depolanan tehlikeli madde stoğu niteliğinde olmadığından ayrıştırılmış; tehlike hesabına yalnızca kalan 7,1 milyon tonluk gerçek Ek-1 stoğu dâhil edilmiştir. Ayıklama yapılmasaydı Balıkesir, bölgenin en yüksek tehlike kütlelerine sahip ili olarak görünecekti.

Adım 7 — Tank düzeyi verinin bağlanması. Kuruluşlardan doğrudan alınan Ek-1 Bilgi Formları, tesis içi tank yerleşimini standart bir şablonda vermektedir. 37 formdan 1.157 tank kaydı ve toplam 1,86 milyon m³ hacim çıkarılmıştır. Her form tek bir kuruluşa bağlanmış; eşleştirme, formun bulunduğu tesis klasörünün adı ve ili birlikte puanlanarak yapılmıştır. Bu koşul olmadan, aynı şirketin farklı şubelerine ait formlar birden çok kuruluşa kopyalanmakta ve tank hacimleri çoklanmaktadır. Eşleştirme 35 kuruluş için sonuç vermiş; tank verisi ana tabloya özet sütunlarla (tank sayısı, toplam hacim), ayrıntılı hâliyle ise ayrı bir tabloda aktarılmıştır.

Adım 8 — Tehlike ağırlığının yeniden tanımlanması. Temizlenmiş veri, tehlike ağırlığının artık dolaylı göstergeler yerine doğrudan mevzuat kategorisi ve bildirilen madde envanteri üzerinden kurulmasına olanak vermiştir. Ağırlık, kuruluşun BEKRA seviyesine bağlı bir tabandan başlar ve madde sınıfına bağlı eklerle 5,0 üst sınırına kadar yükselir. Tehlike ağırlığının bileşenleri Tablo 6-8'de verilmiştir.

Tablo 6-8 Resmî kayda dayalı tehlike ağırlığı (1–5) bileşenleri.

Bileşen	Koşul	Katkı
Taban — üst seviyeli kuruluş	Hesaplanan kategori “Üst Seviye”	4,00
Taban — alt seviyeli kuruluş	Hesaplanan kategori “Alt Seviye”	2,50
Taban — kapsam dışı	Hesaplanan kategori “Kapsam Dışı”	1,50
Ek — yanıcı gaz	Yanıcı gaz veya sıvılaştırılmış gaz sınıfında ≥ 50 ton	+0,50
Ek — akut toksik	Akut toksik sınıfında ≥ 50 ton	+0,50
Ek — patlayıcı	Patlayıcı sınıfında herhangi bir miktar	+0,25
Ek — kütle eşiği	Ek-1 kapsamındaki toplam miktar ≥ 50.000 ton	+0,25

Adım 9 — Kalite denetimi ve yayımlama. Süreç sonunda 230 ham kayıt, 221 tekil kuruluşa indirgenmiş ve 220'si konumlandırılmıştır. Kuruluşların 121'i üst, 95'i alt seviyeli, 4'ü kapsam dışıdır. Konumların 209'u doğrudan bildirim sisteminden gelmekte, 11'i onarımla elde edilmiştir; tüm noktalar hem bölge hem de il sınır kutularıyla uyumludur. Veri seti, tesis düzeyinde öznitelik tablosu, madde dökümü, tank tablosu, işlem günlüğü ve veri sözlüğü olmak üzere beş bölümden oluşan bir çalışma kitabı ile CBS'de doğrudan kullanılabilir bir nokta katmanı olarak yayımlanmıştır. Ham veri ile düzenlenmiş veri setinin karşılaştırması Tablo 6-9'da verilmiştir.

Tablo 6-9 Ham veri ile düzenlenmiş veri setinin karşılaştırması.

Gösterge	Ham veri	Düzenlenmiş veri seti
Kayıt sayısı	230	221 tekil kuruluş
Üst / alt / kapsam dışı	126 / 99 / 5	121 / 95 / 4
Geçerli koordinat	215	220
Koordinatsız kayıt	7	1
Konum güveni yüksek	—	209
İl bilgisiyle uyumsuz konum	9	0
Tehlikeli madde satırı	8.192 (ham, mükerrerli)	7.772 (tekilleştirilmiş)
Tank kaydı	—	1.157 tank · 1,86 milyon m ³

Kapsam boşlukları ve sınırlılıklar. Düzenlenmiş veri seti, kendisine ilişkin sınırlılıklarla birlikte yorumlanmalıdır. Edirne ili için BEKRA kayıt dosyası iletilmemiş, yalnız kapasite raporu listesi paylaşılmıştır; Kırklareli ve Yalova illeri yalnızca üst seviye dosyalarıyla temsil edilmektedir. Bu üç il için veri setindeki düşük kayıt sayısı, düşük tehlike anlamına gelmez; eksik kapsam anlamına gelir ve haritalarda bu şekilde okunmalıdır. Konumu onarılamayan bir kayıt bulunmakta, 39 kuruluşun 50 m yarıçapında başka bir kuruluş yer almaktadır; bu çakışmalar kısmen ortak sanayi sitelerinden, kısmen mahalle merkezine yapılan onarımdan kaynaklanır ve tesis düzeyi yorumda dikkate alınmalıdır. Madde adlarında kaynak sistemden gelen karakter bozulmaları bulunduğundan 5.955 kalem sınıflandırılmamıştır; ancak sınıflandırılabilen kalemler toplam kütleinin yaklaşık dörtte üçünü kapsadığından, sınıf bazlı ağırlıklandırma bu durumdan önemli ölçüde etkilenmemektedir. Son olarak, tank formu bulunan bir kuruluşun (İzel Kimya) BEKRA kayıt listesinde karşılığı yoktur; bu, listenin tam olmayabileceğine dair bir işaret olarak not edilmiştir.

Yeniden üretilebilirlik. Yukarıdaki dokuz adımın tamamı, proje deposunda saklanan tek bir betikle yürütülmektedir. Kaynak dosyalar güncellendiğinde veri seti, işlem günlüğü ve kalite göstergeleriyle birlikte yeniden üretilebilir; her kaydın hangi ham kayıtlardan geldiği ve konumunun hangi yöntemle belirlendiği günlük üzerinden izlenebilir.

6.3 Adım 2 — Sabit Endüstriyel Tehlike Katmanının Üretimi

Sabit tehlike kaynakları (tesisler, terminaller, OSB'ler, LPG ve enerji tesisleri, boru hatları) önce tesis tipi ve tehlikeli madde grubuna göre sınıflandırılır ve her kaynağa bir etki türü profili (ısıl, mekanik, toksik) ile bir başlangıç tehlike ağırlığı atanır. Her kaynağın çevresinde, etki türüne ve madde miktarına göre belirlenen etki zonları oluşturulur: bu amaçla çok halkalı tampon (multi-ring buffer) ve mesafeye bağlı azalım (distance decay) fonksiyonları kullanılır; tehlike şiddeti kaynaktan uzaklaştıkça azalır. Etki zonları, mesafeye bağlı azalım uygulanmış raster yüzeylere dönüştürülür. Birden fazla kaynağın etki zonu bir hücrede çakıştığında, hücrenin tehlike değeri için bir birleştirme kuralı (örneğin en yüksek değerin alınması veya ağırlıklı toplam) uygulanır. Sonuçta, sabit endüstriyel tehlikeyi temsil eden, grid hücrelerine indirgenmiş normalize bir yüzey elde edilir.

6.3.1 Bölge Geneli Uygulama: Girdi Verileri

Yukarıda tanımlanan yaklaşım, MARAP kapsamında örnek çerçevenin ötesine geçilerek tüm Marmara Bölgesi'ne (11 il) uygulanmış ve bölgesel bir sabit endüstriyel tehlike yüzeyi üretilmiştir. Katman, birbirini tamamlayan veri kaynaklarından türetilmiştir. Birincisi, öznitelik bakımından en zengin girdi olan 24.068 koordinatlı sanayi tesisi katmanıdır (SANAYITESIS_Marmara [KV-7B · 07_KAYNAK_VERI/7B_ACIK_KAYNAK_VEKTOR]); bu katman NACE kodu (%97 dolu), tesis türü (metal, kimya, tekstil, plastik-kauçuk, makine vb.), önceden sınıflandırılmış risk durumu ve —mevcut olduğu kayıtlarda— çalışan sayısı gibi alanları taşımaktadır. İkincisi, 190 endüstriyel alan poligonundan oluşan OSB_Marmara katmanıdır [KV-7B]; bu katman organize sanayi bölgesi, sanayi bölgesi ve sanayi sitesi tipolojisini ayırt ederek alan bazlı içkin tehlikenin farklılaştırılmasına olanak verir. Üçüncüsü ise 269 kayıtlık Tehlike Kaynağı Envanteri v4.0'dır [EK-A]. Bu envanter, Bölüm 6.2.1'de anlatılan düzenleme sürecinden geçirilmiş 220 resmî BEKRA kuruluşu ile, BEKRA kapsamına girmemekle birlikte tehlike ve maruziyet bakımından kritik olan 45 tamamlayıcı unsuru (liman, organize sanayi bölgesi, kıyı sanayi kümesi ve havalimanı yakıt ikmal tesisi) ve resmî listede karşılığı bulunamayan 4 açık kaynak kaydını bir arada tutar. Her kayıta BEKRA seviyesi, bildirilen tehlikeli madde envanteri, madde sınıfları, tank sayısı ve hacmi ile konum güven derecesi yer almaktadır. Bu üç ana kaynağa ek olarak, 3.885 akaryakıt/benzin istasyonu (akaryakıt_benzin [KV-7B]) dağıtık yanıcı-madde kaynağı olarak katmana dâhil edilmiş; özellikle 364 LPG ve dökme gaz istasyonu gerçek tehlike düğümleri olarak öne çıkarılmıştır.

Bu kaynakların birlikte kullanımı, farklı veri eksikliklerini karşılıklı olarak dengelemektedir: sanayi tesisi noktaları İstanbul–Kocaeli çekirdeğinde çok yoğun, Güney Marmara ve Trakya'da ise seyrek olduğundan, kürasyonlu tesis envanteri ve geniş dağılımlı akaryakıt istasyonları (ör. Balıkesir 495, Bursa 484 istasyon) bu illerdeki tehlike kaynaklarını sisteme dâhil ederek bölgesel temsili tamamlamaktadır.

İki bağımsız referans katmanı bu sürümde iş akışına eklenmiştir. Birincisi, analiz çerçevesini ve kapsam maskesini tanımlayan idari birim veri setidir (11 il, 158 ilçe, 5.146 mahalle, 1.293 köy; doğrudan EPSG:5637) [KV-7C · 07_KAYNAK_VERI/7C_ARAZI_ORTUSU_VE_IDARI]. İkincisi, 25.484 poligondan oluşan CORINE arazi örtüsü katmanıdır (EEA, 2020) [KV-7C]; bu katman hem çevresel maruziyet sınıflarını (tarım 35.525 km², orman ve yarı doğal 30.613 km², su ve sulak alan 1.292 km²) sağlamakta hem de üretilen sabit tehlike yüzeyi için bağımsız bir doğrulama olanağı sunmaktadır (Bölüm 6.3.4). CORINE'in 123 kodlu liman sınıfı (29 poligon) ayrıca tamamlayıcı unsur katmanına girdi oluşturmaktadır.

Veri katmanı	Kayıt	Katkı / rol
SANAYITESIS_Marmara	24.068 tesis	Sürekli yoğunluk tabanı; NACE / tesis türü / risk durumu ile tehlike ağırlığı

Veri katmanı	Kayıt	Katkı / rol
OSB_Marmara	190 alan	Ağırlıklı alan katmanı: OSB / sanayi bölgesi / sanayi sitesi tipine göre taban tehlike
akaryakıt_benzin	3.885 istasyon	Dağıtık yanıcı-madde kaynakları (LPG/gaz orta, benzin düşük ağırlık); Güney Marmara kapsamı
Tehlike Kaynağı Envanteri v4.0	269 kayıt (220 resmî BEKRA + 45 tamamlayıcı unsur + 4 açık kaynak)	Zorunlu tehlike çekirdekleri; resmî seviye ve madde envanterine dayalı ağırlık

6.3.2 Tehlike Ağırlıklarının Atanması

Her sanayi tesisine, iki bağımsız göstergenin en yükseği alınarak bir içkin tehlike ağırlığı (0–1) atanmıştır: (i) tesis türünden türetilen sektörel taban ağırlık ve (ii) veri setinde hazır bulunan risk durumu sınıfının karşılık geldiği taban değer. Buna ek olarak, yüksek tehlike potansiyeli taşıyan NACE bölümleri (19 — kok/rafine petrol, 20 — kimya, 24 — ana metal) için 0,85’lik bir alt sınır uygulanmıştır. Tehlikeli madde alanı veri setinde neredeyse tümüyle boş olduğundan, sanayi ağırlıklandırması madde-bazlı değil sektör ve risk-sınıfı bazlı yürütülmüştür. Akaryakıt istasyonları ise kategorilerine göre ayrıca ağırlıklandırılmıştır: LPG ve dökme gaz tesisleri orta (0,55–0,50), salt benzin istasyonları ise düşük (0,30) ağırlık almış; böylece dökme gaz düğümleri belirginleşirken benzin istasyonları yalnızca zayıf bir taban katkı vermiştir.

Koşul (tesis türü / risk / NACE / akaryakıt)	Tehlike ağırlığı
Petrol/rafineri/enerji	0,95
Kimya	0,90
Risk durumu “Çok yüksek” (alt sınır)	0,90
NACE 19 / 20 / 24 (alt sınır)	0,85
Metal / döküm / demir-çelik	0,75
Plastik-kauçuk · Risk “Yüksek” (alt sınır)	0,70
Otomotiv	0,60
Makine · LPG / dökme gaz istasyonu	0,55
Elektrikli ekipman · Otogaz istasyonu	0,50
Tekstil / boya / deri · Risk “Orta” (alt sınır)	0,45
Gıda / mobilya / ağaç-kâğıt	0,40
Diğer imalat / tanımsız (taban)	0,35
Benzin istasyonu (yanıcı, düşük hacim)	0,30

BEKRA çekirdeklerinin bindirilmesi. Envanterdeki 269 kaydın her biri, tehlike ağırlığı değerine (1,5–5) bağlı bir genlikle (5→1,00; 4→0,85; 3→0,70; 2→0,55) ve yaklaşık 1.500 m yarıçaplı bir Gauss çekirdeğiyle yüzeye “zorunlu tehlike çekirdeği” olarak işlenmiştir. Nihai yüzey, sürekli sanayi/akaryakıt yoğunluğu ile BEKRA çekirdeklerinin hücre bazında maksimumu alınarak oluşturulmuştur. Bu kural, bir üst-seviye SEVESO kuruluşunun çevresinde başka sanayi bulunmasa bile garanti biçimde yüksek tehlike zonunda kalmasını sağlar.

Resmî kayda dayalı ağırlıklandırma. Envanter v3.0 ile birlikte, kuruluş bazı tehlike ağırlığı artık dolaylı göstergelere değil, kuruluşun BEKRA Bildirim Sistemi'ndeki hesaplanan kategorisine ve bildirdiği tehlikeli madde envanterine dayanmaktadır. Ağırlık, seviyeye bağlı bir tabandan başlar ve madde sınıfına bağlı eklerle 5,0 üst sınırına kadar yükselir; bileşenler Bölüm 6.2.1, Tablo 6-8'de verilmiştir. Bu değişiklik, önceki sürümde kullanılan ve kaynağı gösterilebilen kanıtın gücüne dayanan derecelendirmenin yerini almıştır.

Resmî listede karşılığı bulunamayan üç açık kaynak kaydı (İGSAŞ Tekirdağ deposu, Sanofi Lüleburgaz tesisi ve DowAksa) envanterde korunmuş, ancak ağırlıkları 0,60 çarpanıyla indirilmiştir. Bu kayıtların üçü de daha önceki taramada zaten “kapsam dışı” ya da “doğrulanamadı” olarak işaretlenmişti; resmî kayıtla örtüşmemeleri, önceki değerlendirmeyi teyit etmektedir. Buna karşılık, önceki sürümde yalnızca sektör benzeşimine dayanarak üst seviye kabul edilen kayıtların tamamı resmî veriyle doğrulanmıştır: açık kaynaklı envanterdeki 32 BEKRA iddiasından 29'u resmî kayıtla eşleşmiş ve eşleşenlerin hiçbirinde seviye çelişkisi çıkmamıştır.

Tamamlayıcı unsurlar (liman, organize sanayi bölgesi ve kıyı sanayi kümeleri) BEKRA kapsamında bildirim yükümlüsü olmadıklarından resmî listede yer almazlar; ancak tehlikeli madde elleçleme, transit geçiş ve tesis yoğunluğu bakımından NaTech açısından belirleyicidirler. Bu unsurlar, önceki sürümdeki işlev tabanlı ağırlıklarıyla envanterde tutulmuş ve yüzeye çekirdek olarak işlenmiştir.

Organize sanayi alanlarının alan katmanı olarak işlenmesi. Nokta kaynaklarının yanı sıra, organize sanayi alanlarının kendisi de bir tehlike zemini oluşturur: bir sanayi alanının varlığı, tek tek tesis kayıtlarına yansımaya bile tehlikeli madde bulundurma, proses yoğunluğu ve zincirleme etki olasılığının yükseldiğini gösterir. Bu nedenle 190 endüstriyel alan poligonu, yorum bağlamı olmaktan çıkarılıp tipine göre ağırlıklandırılmış bir alan katmanı olarak yüzeye dâhil edilmiştir. Sınıf, öncelikle poligonun adından belirlenmiş; ad ayırt edici olmadığında katmanın bölge tipi alanına başvurulmuştur. Organize sanayi alanı katmanının sınıfları ve taban ağırlıkları Tablo 6-10'da verilmiştir.

Tablo 6-10 Organize sanayi alanı katmanının sınıfları ve taban ağırlıkları.

Alan sınıfı	Kapsam	Poligon	Taban ağırlığı
Organize sanayi bölgesi / endüstri bölgesi	Organize sanayi bölgeleri, ihtisas OSB'ler ve özel endüstri bölgeleri	61	0,55
Sanayi bölgesi	Organize niteliği taşımayan planlı sanayi bölgeleri	8	0,45
Sanayi sitesi	Küçük sanayi siteleri ve sanayi çarşıları	121	0,32

Alan katmanı, poligonların 500 × 500 m grid üzerine rasterleştirilmesiyle üretilmiş; poligon sınırının hemen dışındaki bir hücrelik kuşağa (500 m) taban ağırlığın %60'ı atanarak sınır etkisi yumuşatılmıştır. Toplam 165,3 km²'lik alan, tampon dâhil 2.037 grid hücrelerine karşılık gelmektedir. Taban ağırlıkların hiçbir

“yüksek” sınıf eşiğinin (0,60) üzerinde değildir; dolayısıyla bir alan, yalnızca organize sanayi bölgesi olduğu için “yüksek” ya da “çok yüksek” tehlike zonuna giremez. Bu tercih bilinçlidir: alan katmanı tehlike zeminini tanımlar, zirveleri ise tesis düzeyindeki kayıtlar belirler.

6.3.3 Yüzey Hesabı ve Parametreler

Sürekli yüzey, tesis noktalarının ağırlıklı çekirdek yoğunluğu (weighted KDE) olarak 500×500 m çözünürlüklü bir grid üzerinde, TUREF / LCC Europe (EPSG:5637) konformal projeksiyonunda hesaplanmıştır. Yoğunluk yüzeyi 0–1 aralığında normalize edilmiş, ardından tehlike çekirdeği ve OSB alan katmanı ile hücre bazında maksimum kuralı altında birleştirilmiştir.

Parametre	Değer
Analiz birimi	500×500 m grid (827×649 hücre; MARAP tam kapsam)
Projeksiyon	TUREF / LCC Europe (EPSG:5637)
Yoğunluk yöntemi	Ağırlıklı çekirdek yoğunluğu (Gauss)
Bant genişliği (bandwidth)	≈ 1.500 m
BEKRA çekirdek yarıçapı	≈ 1.500 m ($\sigma = 3$ hücre)
Birleştirme kuralı	maks(sürekli yoğunluk, tehlike çekirdeği, OSB alan katmanı)
Normalizasyon	0–1 (yüzey maksimumuna göre)

Projeksiyon notu. EPSG:5637 (TUREF / LCC Europe), 35° ve 65° standart paralelli Lambert konformal konik bir izdüşümdür. Marmara enlemlerinde çizgisel ölçek faktörü $k \approx 0,978$ – $0,983$ olduğundan, izdüşüm düzleminde 500 m olarak tanımlanan hücrenin arazi üzerindeki karşılığı yaklaşık 509 – 511 m, çekirdek bant genişliğinin karşılığı ise yaklaşık 1.530 m'dir. Konformal izdüşüm açı ve biçimi koruduğundan, bağıl (0–1) bir tarama yüzeyi için bu tekdüze ölçek sapması sınıflandırmayı etkilememektedir; mutlak mesafe, alan veya nüfus değerlerinin raporlanacağı ileri aşamalarda ise ya ölçek düzeltilmesi uygulanmalı ya da TUREF/TM30 (EPSG:5254) gibi büyük ölçekli çalışmaya uygun bir izdüşüme geçilmelidir.

6.3.4 Bölge Geneli Sonuçlar

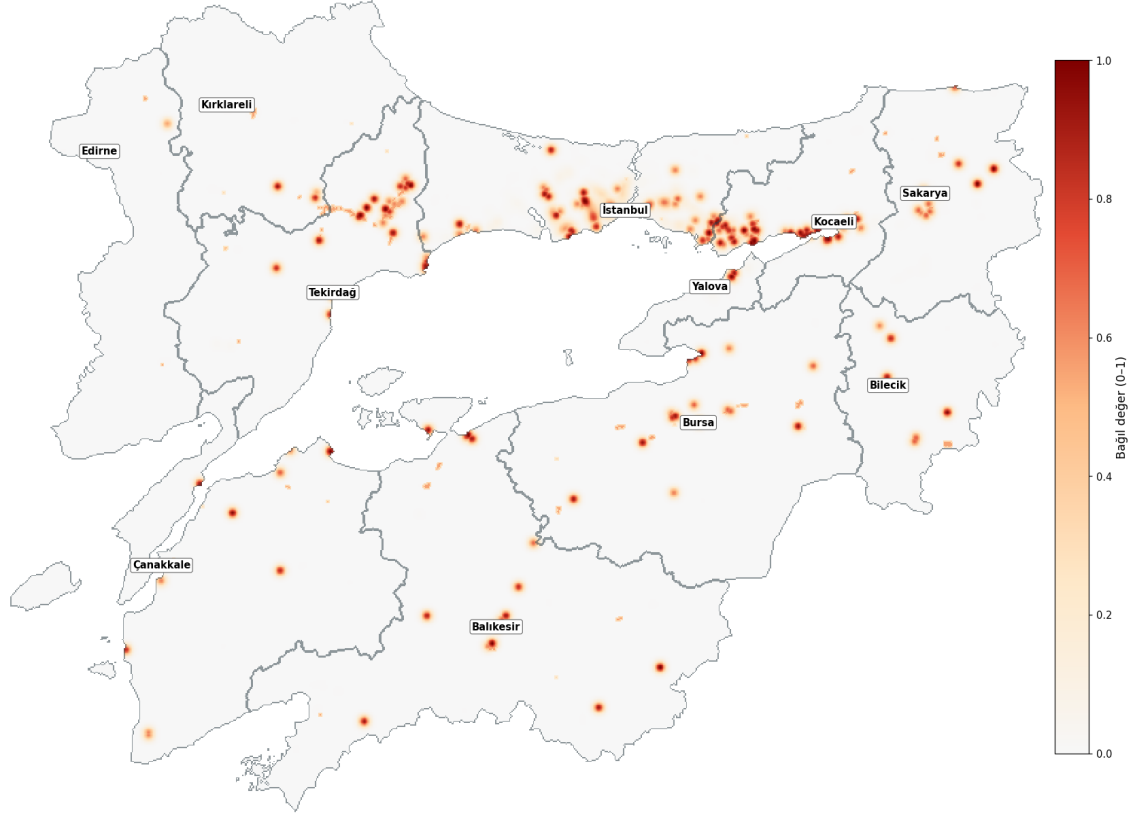
Üretilen sabit endüstriyel tehlike yüzeyi (temel senaryo R2), resmî BEKRA envanterinin bindirilmesiyle bölgenin tehlike çekirdeklerini önceki sürüme göre çok daha eksiksiz biçimde ortaya koymaktadır. En yoğun kuşak, İzmit Körfezi'nin iki yakası boyunca Körfez–Derince–Dilovası–Gebze hattı ile İstanbul'un Avrupa yakası sanayi bandıdır; bunları Marmara Ereğlisi–Çorlu–Ergene eksenine ve Gemlik–Bandırma kıyı şeridi izler. Yüzeyin sınıflandırılması sonucunda 826 hücre “çok yüksek”, 1.458 hücre “yüksek” ve 4.086 hücre “orta” tehlike zonunda yer almış; bağıl değeri 0,05'in üzerindeki toplam hücre sayısı 17.539 olmuştur. Envanterdeki 269 kaydın 260'ı “yüksek” veya “çok yüksek” zonda konumlanmakta; 121 üst seviyeli kuruluşun tamamı bu iki sınıf içinde kalmaktadır. Akaryakıt/LPG katmanını ve tamamlayıcı unsurlar, sanayi tesisi verisinin seyrek olduğu Güney Marmara ve Trakya'da bölgesel temsili tamamlamayı sürdürmektedir.

Önceki yüzeyle karşılaştırma. Resmî veriye geçişin yüzey üzerindeki etkisi belirgindir. Açık kaynaklı envanterle üretilen önceki yüzeyle karşılaştırıldığında, değerlendirilen 19.804 hücrenin %65,8'si sınıf değiştirmiş, iki yüzey arasındaki sıra korelasyonu 0,27'de kalmıştır. “Çok yüksek” zon 331 hücreden 859 hücreye, “yüksek ve üzeri” zon 1.034 hücreden 2.443 hücreye çıkmıştır. Bu fark bir tutarsızlık değil, kapsam farkıdır: açık kaynak taraması bölgedeki tehlike çekirdeklerinin yaklaşık üçte birini yakalayabilmişti. Önceki yüzeyin işaret ettiği kuşaklar korunmakta, ancak bunların gerçek genişliği ve bölge içindeki dağılımı ancak resmî envanterle görünür hâle gelmektedir.

OSB alan katmanının etkisi. Ağırlıklı OSB alan katmanının katkısı ise sınırlı ve beklendiği yönde olmuştur: katman, bağıl değeri 0,05'in üzerindeki hücre sayısını 16.746'dan 17.539'a çıkarmış, “orta ve üzeri” zonu 6.105 hücreden 6.370 hücreye genişletmiş; “yüksek” ve “çok yüksek” sınıflarda ise hiçbir değişiklik yaratmamıştır. Katmanın işlevi, tesis kaydı seyrek olan planlı sanayi alanlarında tehlike zeminini görünür kılmaktır; zirveleri belirlemek değildir.

CORINE ile bağımsız doğrulama. Üretilen yüzey, hesabına hiç girmemiş bir veri kaynağıyla sınanmıştır. CORINE arazi örtüsünün 121 kodlu 'endüstriyel ve ticari birimler' sınıfına düşen hücrelerde sabit endüstriyel tehlike yüzeyinin ortalaması 0,287; bu sınıfın dışındaki hücrelerde ise 0,014'tür — yaklaşık yirmi kat fark. 121 sınıfındaki hücrelerin %55,3'ü 'orta ve üzeri' tehlike sınıfında yer almakta, buna karşılık yüzeyde 0,35'in üzerinde değer alan hücrelerin %37,5'i CORINE'in endüstriyel alan sınırlarıyla örtüşmektedir. Örtüşmenin tam olmaması beklenen bir sonuçtur: tehlike yüzeyi yalnız arazi kullanımını değil, tesis düzeyindeki tehlikeli madde envanterini de yansıttığından, sanayi alanı olarak sınıflandırılmamış kıyı terminalleri ve münferit kuruluşlar çevresinde de yüksek değerler üretmektedir. CORINE'in 123 kodlu liman hücrelerinde ortalama 0,292'dir. Bu karşılaştırma, yüzeyin endüstriyel tehlikeyi bulunduğu yerde gösterdiğini bağımsız biçimde teyit etmektedir. Üretilen sabit endüstriyel tehlike yüzeyi Şekil 6-1'de gösterilmektedir.

MARAP - Sabit Endüstriyel Tehlike Yüzeyi (v7, senaryo R2)
500 m grid - EPSG:5637 - MARAP 11 il tam kapsam (283.842 hücre - 70.960 km²)



Şekil 6-1 Marmara Bölgesi sabit endüstriyel tehlike zonları (bağıl, 0–1; temel senaryo R2). Sanayi (24.068 tesis) ve akaryakıt/LPG (3.885 istasyon) yoğunluğu ile Tehlike Kaynağı Envanteri v4.0 çekirdeklerinin (269 kayıt; 220'si resmî BEKRA kuruluşu) ve ağırlıklı organize sanayi alanı katmanının (190 poligon) bileşimi; 500 m grid, KDE $\approx$ 1.500 m, EPSG:5637, MARAP 11 il tam kapsam.

6.3.5 Sınırlılıklar ve Doğrulama İhtiyacı

Üretilen yüzey, tehlike-kaynağı yoğunluğunun bölgesel bir temsili olup çeşitli sınırlılıklar taşır. Sanayi tesisi veri seti İstanbul–Kocaeli çekirdeğinde çok güçlü, Güney Marmara ve Trakya'da ise seyrek; bu boşluk resmî BEKRA envanteri ve akaryakıt istasyonlarıyla büyük ölçüde kapatılmış olmakla birlikte, söz konusu illerdeki orta ölçekli sanayi yoğunluğu tam yansıtılamamaktadır. Kuruluş bazlı tehlike ağırlığı artık resmî kategoriye ve bildirilen madde envanterine dayandığından, önceki sürümün en önemli belirsizliği ortadan kalkmıştır. Buna karşılık üç yapısal sınırlılık devam etmektedir: Edirne için BEKRA kayıt dosyası iletilmemiş, Kırklareli ve Yalova yalnız üst seviye dosyalarıyla temsil edilmiştir; bu illerdeki düşük kuruluş sayısı düşük tehlike değil, eksik kapsam anlamına gelir. İkincisi, 39 kuruluşun 50 m yarıçapında başka bir kuruluş bulunmakta ve bu çakışmalar tesis düzeyi yorumu sınırlamaktadır. Üçüncüsü, madde adlarındaki karakter bozulmaları nedeniyle bildirilen kalemlerin bir bölümü sınıflandırılmamıştır. Harita, tesis düzeyinde bir güvenlik değerlendirmesi değil; ileri aşamada tesis düzeyinde Fine-Kinney/HAZOP çözümlemesine yönlendirecek bölgesel bir tarama katmanı olarak yorumlanmalıdır.

Havalimanı yakıt ikmal tesislerinin envantere alınması. Envanterin dördüncü sürümünde, tamamlayıcı unsur kapsamına havalimanı yakıt ikmal tesisleri de alınmıştır. Gerekçe hukukidir: jet yakıtı (kerosen) BEKRA Yönetmeliği Ek-1 Bölüm 2 “Petrol ürünleri ve alternatif yakıtlar” kaleminde isim isim sayılmakta, alt seviye eşiği 2.500 ton, üst seviye eşiği 25.000 ton olarak tanımlanmaktadır (BEKRA Yönetmeliği, 2019; Avrupa Parlamentosu ve Konseyi, 2012). Bölgedeki havalimanı yakıt tesislerinden üçü — İstanbul Atatürk’ta iki, Sabiha Gökçen’de bir kuruluş — resmî BEKRA kaydıyla envanterde zaten yer almaktadır ve mükerrer sayımı önlemek için yeniden eklenmemiştir.

İstanbul Havalimanı. Buna karşılık bölgenin en büyük yakıt çiftliğinin bulunduğu İstanbul Havalimanı, elde bulunan resmî BEKRA kayıtlarında yer almamaktadır. İşletmecinin kamuya açık beyanına göre tesisin kapasitesi 300.000 m³ olup, 2026 yılındaki genişleme yatırımıyla 360.000 m³’e çıkarılmaktadır. Jet A-1 yoğunluğu esas alındığında bu, yaklaşık 232.000–252.000 tona karşılık gelmekte ve üst seviye eşiğinin yaklaşık on katını oluşturmaktadır. Karşılaştırma için: envanterdeki bildirilen Ek-1 madde miktarı bakımından yalnızca iki kuruluş bu düzeyin üzerindedir. Tesis, kapasitesi doğrulanabildiği ancak resmî kaydı bulunamadığı için “açık kaynak kaydı (resmî listede yok)” kategorisinde ve üst seviyeli kuruluşların medyan tehlike ağırlığıyla (4,5) envantere alınmıştır.

Tarifeli sefer yapılan diğer havalimanları. Tarifeli sefer yapılan altı havalimanı — Çorlu, Yenişehir, Çanakkale, Balıkesir Koca Seyit, Cengiz Topel ve Gökçeada — tamamlayıcı unsur olarak, alt seviyeli kuruluşların medyan ağırlığıyla (2,5; Gökçeada için 2,0) eklenmiştir. Bu tesislerin depolama kapasiteleri belgelenememiş olduğundan ağırlık, havalimanı kategorisi vekil ölçütüyle atanmıştır; bu, envanterdeki en zayıf gerekçelendirmeye sahip ağırlık grubudur ve kapasite verisi temin edildiğinde güncellenmelidir. Genel havacılık meydanları ve deniz uçağı pisti, yakıt miktarı eşiklerin çok altında kaldığından kapsam dışı bırakılmıştır.

Askeri meydanların kapsam dışı bırakılması. Bölgedeki yedi askeri hava meydanı envantere alınmamıştır. BEKRA Yönetmeliği’nin 3 üncü maddesinin birinci fıkrasının (a) bendi “askeri kuruluş, tesis ve depolar”ı Yönetmelik kapsamı dışında tutmaktadır; aynı istisna Seveso III Direktifi’nin 2(2)(a) maddesinde de yer alır. Muafiyet kurumsal niteliktedir ve tesisin fiziksel tehlike potansiyelini ortadan kaldırmaz; bu meydanlardaki yakıt depolarına ilişkin kamuya açık kapasite verisi de bulunmamaktadır. Söz konusu tesisler, bilinen ancak kapsam dışı bırakılan tehlike kaynakları olarak sınırlılıklar arasında anılmaktadır. Müşterek sivil-askeri meydanlarda muafiyetin nasıl uygulanacağı Yönetmelikte açıkça düzenlenmemiştir. Havalimanlarının envantere alınmasında uygulanan ölçütler ve sonuçları Tablo 6-11’de özetlenmiştir.

Tablo 6-11 Havalimanlarının tehlike kaynağı envanterine alınmasında uygulanan kademelendirme.

Kademe	Havalimanı	Tehlike ağırlığı	Gerekçe
Yüksek	İstanbul Havalimanı	4,5	İşletmeci beyanıyla doğrulanmış 300.000 m ³ kapasite; üst seviye eşiğinin ~10 katı
Resmî kayıtlı temsil	İstanbul Atatürk (2 kuruluş), Sabiha Gökçen (1 kuruluş)	—	Envanterde resmî BEKRA kaydı olarak zaten mevcut; yeniden eklenmedi
Orta	Çorlu, Yenişehir, Çanakkale, Balıkesir Koca Seyit, Cengiz Topel	2,5	Tarifeli sefer; kapasite belgelenememiş, kategori vekiliyle atandı
Orta (düşük)	Gökçeada	2,0	Sınırlı trafikli ada havalimanı
Kapsam dışı — eşik altı	6 genel havacılık meydanı, 1 deniz uçağı pisti	—	Yakıt miktarı bildirim eşiklerinin çok altında
Kapsam dışı — hukuki	7 askeri meydan	—	BEKRA Yönetmeliği m.3(1)(a) muafiyeti

6.4 Adım 3 — Ulaşım-Kaynaklı Tehlike Katmanının Üretimi

Hareketli (Ulaşım) tehlike, karayolu ve demiryolu ile yapılan tehlikeli madde taşımacılığından kaynaklanır. Bu katman iki girdiden üretilir: ana ulaşım koridorlarının (tehlikeli madde güzergâhları) çizgi yoğunluğu ve yıllara bağlı trafik kazalarının nokta yoğunluğu. Kaza noktaları, kernel yoğunluk (Heatmap / Kernel Density) analiziyle sürekli bir yoğunluk yüzeyine dönüştürülür; ulaşım koridorları ise çizgi yoğunluğu veya tampon yaklaşımıyla değerlendirilir.

Elde edilen yoğunluk yüzeyleri grid hücrelerine aktarılır ve normalize edilerek hareketli tehlike katmanı oluşturulur. Bu katman, sabit kaynakların dışında, taşımacılık kaynaklı tehlikenin yoğunlaştığı koridorları görünür kılar.

6.4.1 Bölge Geneli Uygulama: Girdi Verileri

Hareketli tehlike katmanı, tehlikeli madde (TMD) taşımacılığının yoğunlaştığı ulaşım koridorlarından ve bu koridorlardaki fiili kaza deseninden üretilmiştir. Karayolu ağı, MARAP bölgesi için ayıklanmış 90.808 çizgi parçalık bir açık kaynak şebekesinden alınmıştır [KV-7B_07_KAYNAK_VERI/7B_ACIK_KAYNAK_VEKTOR]. Şebekedeki üçüncül yollar (tertiary; 31.302 km, ağın %58'i) tehlikeli madde güzergâhı niteliği taşımadığından ve dâhil edildiklerinde yüzeyi bölge geneline yayarak koridor sinyalini ortadan kaldırdıklarından bilinçli olarak kapsam dışında bırakılmıştır. Kullanılan ağ, otoyol–ekspres sınıfında 10.362 km ve ana yol sınıfında 11.386 km olmak üzere 21.748 km'dir. Ağın bölgesel omurgası ad bazında doğrulanmıştır: Kuzey Marmara Otoyolu, Avrupa Otoyolu (TEM), Anadolu Otoyolu, İstanbul–Bursa (Osmangazi) Otoyolu, D-100 karayolu ve Edirne–Çanakkale yolu şebekede eksiksiz yer almaktadır.

Demiryolu şebekesi 4.262 çizgi parçalık ayrı bir veri setinden türetilmiştir [KV-7B]. Metro, tramvay ve hafif raylı sistem hatları (877,2 km) yolcu taşımacılığına ait

olduklarından Bölüm 6.4.1'in kapsam tanımı gereği dışlanmış; konvansiyonel demiryolunun tamamı (2.328 km) korunmuştur. Bu ağ içinde 'sanayi bağlantı hattı' olarak etiketlenmiş 60 parça ayrı bir sınıf olarak ele alınmıştır: yalnızca 16,7 km uzunluğundaki bu hatlar Safiport Derince, DP World Yarımca, Petrol Ofisi Derince ve Eti Maden Bandırma gibi tehlikeli madde elleçleyen liman ve tesislere doğrudan bağlanmakta, dolayısıyla birim uzunluk başına en yüksek TMD yoğunluğunu taşımaktadır.

Denizyolu geçişleri için 213 kayıtlık iskele veri seti [KV-7B], öznitelik ve ad taramasıyla küratörlenerek araç ve yük taşıyan 22 terminale indirgenmiştir: Eskihisar–Topçular ve Negmar Tavşanlı (İzmit Körfezi), İDO Pendik ve Yalova terminalleri, Çanakkale Boğazı'nda Eceabat, Kilitbahir, Çanakkale, Gelibolu, Lapseki ve Kabatepe, İstanbul'da Sirkeci araba vapuru, Harem, Yenikapı ve Çubuklu, Güney Marmara'da Güzelyalı, Mudanya, Bandırma (demiryolu feribotu dâhil), Marmara Adası, Bozcaada, Geyikli ve Ayvalık. Kaynak veri setinde yük/araç özniteliği yalnız altı kayıta dolu olduğundan bu ayıklama ad tabanlı yapılmış ve 600 m yarıçapında mükerrer kayıtlar birleştirilmiştir.

Katmanın ikinci bileşeni, metodolojide öngörülen kaza yoğunluğudur. 2020–2024 yıllarını kapsayan ölümlü-yaralanmalı trafik kazası veri seti kullanılmıştır. Beş yılın sütun şeması birbirinden farklı olduğundan (56 / 54 / 53 / 53 / 54 sütun; koordinat alanları dahi yıldan yıla değişmekte) önce ortak bir şemaya indirgenmiş, MARAP dışı 21.787 kayıt ve koordinatı geçersiz 2 kayıt ayıklanarak 236.530 kayıtlık bir veri seti elde edilmiştir. Katmanın girdi ağları, düğüm sayıları ve kapsam dışı bırakılan unsurlar Tablo 6-12'de verilmiştir.

Tablo 6-12 Hareketli (Ulaşım) tehlike katmanının girdi ağları, düğümleri ve kapsam dışı bırakılan sınıflar.

Ağ katmanı / düğüm	Uzunluk / sayı	Katkı ve rol
Otoyol (motorway)	2.408 km	Ana TMD koridorları; en yüksek ağırlık
Ekspres yol (trunk)	6.065 km	Ana TMD koridorlarının ikinci bileşeni
Otoyol/ekspres bağlantı kolları	1.889 km	Kavşak ve katılım kolları
Birincil yol (primary)	4.117 km	İkincil TMD ve kentsel dağıtım koridorları
İkincil yol (secondary)	6.724 km	Yerel TMD hareketleri
Birincil/ikincil bağlantı kolu	545 km	Bağlantı kolları
Demiryolu (konvansiyonel)	2.311 km	Raylı TMD taşımacılığı
Sanayi/liman bağlantı hattı	17 km	Liman ve tesis içi yük bağlantıları; yükseltilmiş ağırlık
Araç/yük feribot düğümü	22 terminal	Denizyolu TMD geçişleri
Ağır taşıt koridoru kazaları	45.365 kaza (2020–2024)	Fiili gerçekleşme deseni
Üçüncül yol (tertiary)	31.302 km	Kapsam dışı — TMD güzergâhı değil
Metro / tramvay / hafif raylı	877 km	Kapsam dışı — yolcu taşımacılığı

6.4.2 Koridor Ağırlıkları ve Mesafe-Azalımı

Her koridor sınıfına, taşınan tehlikeli madde olasılığı ve trafik hacmiyle orantılı bir tehlike ağırlığı ile etki genişliğini belirleyen bir mesafe-azalım uzunluğu atanmıştır. Tehlike şiddeti koridordan uzaklaştıkça üstel biçimde azalır. Bu sürümde şemaya bir sınıf eklenmiştir: sanayi ve liman bağlantı demiryolu hatları, doğrudan tehlikeli madde elleçleme noktalarına bağlandıkları için ana demiryolu hattının üzerinde (0,75) ağırlıklandırılmıştır. Koridor sınıflarına göre tehlike ağırlıkları ve mesafe-azalım uzunlukları Tablo 6-13'te verilmiştir.

Tablo 6-13 Koridor sınıflarına göre tehlike ağırlıkları ve mesafe-azalım uzunlukları.

Koridor sınıfı / düğüm	Ağırlık	Azalım uzunluğu
Otoyol (motorway)	1,00	800 m
Ekspres yol (trunk)	0,90	700 m
Sanayi/liman bağlantı hattı	0,75	500 m
Demiryolu (konvansiyonel)	0,70	500 m
Birincil yol (primary)	0,65	500 m
Araç/yük feribot düğümü	0,55	800 m (çekirdek)
Otoyol/ekspres bağlantı kolu	0,50	400 m
Birincil bağlantı kolu	0,45	350 m
İkincil yol (secondary)	0,40	350 m
İkincil bağlantı kolu	0,30	300 m

6.4.3 Yüzey Hesabı ve Parametreler

Koridor yüzeyi, her çizginin 100 m aralıkla yoğunlaştırılması ve her grid hücresinin en yakın koridor noktasına uzaklığının hesaplanmasıyla üretilmiştir. Sınıfa özgü ağırlık w ve azalım uzunluğu L için hücre değeri $w \cdot e^{(-d/L)}$ biçiminde hesaplanır; sınıf yüzeyleri ve feribot düğüm çekirdekleri hücre bazında maksimum kuralıyla birleştirilir.

Kaza bileşeni, ham kaza yoğunluğundan değil, ağır taşıt koridorlarıyla sınırlandırılmış bir alt kümeden türetilmiştir. Bu ayıklama sonucu doğrulamaktadır: otoyol, devlet yolu, il yolu ve bağlantı yollarındaki 45.365 kaza tüm kayıtların %19,2'sini oluştururken ölümlerin çoğunu taşımaktadır — bu koridorlarda binde 23,1 olan ölüm oranı, diğer yollarda binde 2,4'tür; on kat fark. Her kaza 'ölü + 0,1 × yaralı' şiddet ölçütüyle ağırlıklandırılmış, kayıt kapsamının yıllar içinde genişlemesi (2020'de 34.635, 2024'te 70.531 kayıt) sonucu çarpıtması diye her yılın toplam katkısı eşitlenmiştir. Elde edilen noktalar $\sigma = 3$ hücre (≈ 1.500 m) Gauss çekirdeğiyle yoğunluk yüzeyine dönüştürülmüştür.

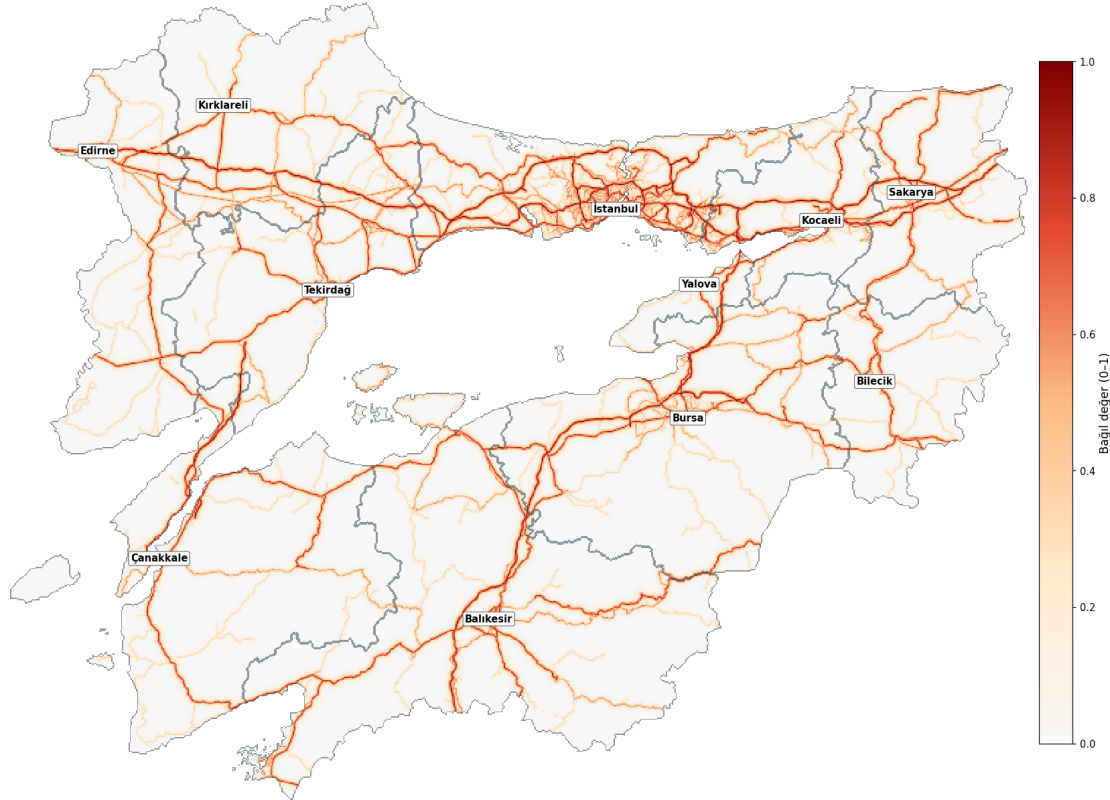
Nihai hareketli tehlike yüzeyi, koridor yüzeyi ile kaza yoğunluğunun 0,70 / 0,30 ağırlıklı birleşimidir. Koridorun baskın tutulması bilinçlidir: koridorlar tehlikeli maddenin nerede taşınabildiğini tanımlar, kaza deseni ise bu koridorlar içinde nerede gerçekleştiğini gösterir. İki yüzey arasındaki sıra korelasyonu 0,995'tir; yani kaza bileşeni deseni değiştirmemekte, kaza geçmişi bulunmayan koridorları geri çekerek keskinleştirmektedir.

6.4.4 Bölge Geneli Sonuçlar

Üretilen yüzey, bölgesel TMD taşımacılığının omurgasını net biçimde ortaya koymaktadır. En yüksek tehlike bandı, İstanbul'dan Kocaeli ve Sakarya'ya uzanan TEM ve D-100 (E-80/E-5) koridorudur; bu eksen, sabit endüstriyel tehlike çekirdekleriyle (İzmit Körfezi–Gebze sanayi koridoru) neredeyse tümüyle çakışmakta ve NaTech açısından en kritik kesişimi oluşturmaktadır. Kuzey Marmara Otoyolu ikinci bir kuşak olarak belirlemek; Trakya'da İstanbul–Çorlu–Tekirdağ–Edirne eksen, Güney Marmara'da Bursa çevresi ile Balıkesir ve Çanakkale bağlantıları belirgin ikincil koridorlardır. Çanakkale Boğazı'ndaki araç-feribot geçişleri karayolu koridorlarını tamamlayan denizyolu TMD düğümleri olarak öne çıkar.

Beş sınıflı gösterimde MARAP kara alanının %70,8'i ihmal/çok düşük, %11,1'i düşük, %10,5'i orta, %6,1'i yüksek ve %1,5'i çok yüksek hareketli tehlike sınıfındadır. Yüzeyin kara ortalaması 0,077'dir. Yüksek ve çok yüksek sınıfların toplamı 5.365 km²'dir; bu alan bölgesel karayolu ve demiryolu omurgasının etki bandına karşılık gelir. Üretilen yüzey Şekil 6-2'de, ağır taşıt koridorlarındaki kaza yoğunluğu ise Şekil 6-3'te gösterilmektedir.

MARAP - Hareketli (Ulaşım Kaynaklı) Tehlike Yüzeyi
500 m grid - EPSG:5637 - MARAP 11 il tam kapsam (283.842 hücre - 70.960 km²)



Şekil 6-2 Marmara Bölgesi hareketli (ulaşım kaynaklı) tehlike katmanı (bağıl, 0–1). Koridor yüzeyi (0,70) ile ağır taşıt kaza yoğunluğunun (0,30) birleşimi: otoyol/ekspres 10.362 km, ana yol 11.386 km, konvansiyonel demiryolu 2.328 km, 22 araç-feribot düğümü; 500 m grid, EPSG:5637, MARAP 11 il tam kapsam.

MARAP - Ağır Taşıt Koridorlarında Kaza Yoğunluğu (2020-2024)

45.365 ölümlü-yaralanmalı kaza - şiddet ağırlıklı (ölü + 0,1 × yaralı), yıl-normalize - 500 m grid - EPSG:5637 - MARAP 11 il tam kapsam



Şekil 6-3 Ağır taşıt koridorlarında kaza yoğunluğu (2020–2024). Otoyol, devlet yolu, il yolu ve bağlantı yollarındaki 45.365 ölümlü-yaralanmalı kaza; şiddet ağırlıklı (ölü + 0,1 × yaralı) ve yıl-normalize çekirdek yoğunluğu; 500 m grid (EPSG:5637).

6.4.5 Sınırlılıklar ve Geliştirme Yönleri

Bu katmanın en önemli sınırlılığı kaza verisinin niteliğindedir. Veri setinde araç tipi alanı bulunmadığından tehlikeli madde taşıyan araçların karıştığı kazalar ayrıştırılamamaktadır; kullanılan alt küme, ağır taşıt koridorlarındaki genel kaza yoğunluğudur ve TMD kaza olasılığı için bir vekil göstergedir. Gerçek TMD kaza kayıtları (ADR bildirimli olaylar) temin edilebildiğinde bu bileşen doğrudan değiştirilmelidir.

İkincisi, koridor ağırlıkları yol sınıfına dayalıdır; gerçek TMD güzergâh izinleri, tehlikeli madde taşıyıcı trafik sayımları veya sanayi–liman bağlantı yoğunluğu verisiyle güzergâh bazında inceltiler. Üçüncüsü, feribot düğümleri ad tabanlı küratörlemeyle belirlenmiş olup resmî terminal listesiyle doğrulanması yerinde olur. Dördüncüsü, üçüncül yolların kapsam dışı bırakılması bilinçli bir tercih olmakla birlikte, yerleşim içi tehlikeli madde dağıtımının (akaryakıt ikmali, LPG tüp dağıtımı) bu yollarda gerçekleştiği unutulmamalıdır; söz konusu hareketler sabit kaynak katmanındaki akaryakıt istasyonları üzerinden dolaylı olarak temsil edilmektedir.

6.5 Adım 4 — Doğal Tetikleyici Katmanların Hazırlanması (NaTech Girdisi)

Doğal tetikleyici tehlike yüzeyleri (deprem, sel-taşkın ve heyelan), İP-4'ün ilgili raporlarından alınır. Orman yangını tehlike ve risk katmanları da MARAP İP-4 kapsamında temin edilmiş; ancak gerekçeleri Bölüm 9.5'te açıklandığı üzere tetikleyici bileşime katılmayıp ayrı bir arayüz çözümlemesinde değerlendirilmiştir [KV-7E · 07_KAYNAK_VERI/7E_ORMAN_YANGINI_KAYNAK]. Sıvılaşma yüzeyi ise sağlandığında ikincil tetikleyici olarak eklenebilecektir. Bu yüzeyler ortak koordinat sistemine ve 500 m grid çözünürlüğüne yeniden örneklenir (resample) ve ortak ölçeğe normalize edilir. Bu aşamada katmanlar birleştirilmez; NaTech modeline (5.5) girdi olacak ayrı katmanlar olarak hazır tutulur. Böylece endüstriyel tehlike ile doğal tehlikenin çıkışması, sonraki adımda tetikleme potansiyeli olarak değerlendirilebilir.

6.5.1 Doğal Tetikleyici Katmanları: Genel Yaklaşım

NaTech tehlikesinin ikinci boyutu, endüstriyel tehlikeyi tetikleyebilecek doğal olaylardır. Bu adımda her doğal tetikleyici (deprem, sel-taşkın ve heyelan; sağlandığında ayrıca sıvılaşma) ayrı bir tehlike yüzeyi olarak, ortak 500 m grid ve TUREF / LCC Europe (EPSG:5637) sisteminde, 0–1 aralığında normalize edilerek hazırlanır. Metodoloji gereği bu katmanlar bu aşamada birleştirilmez; NaTech modeline (5.5) ayrı girdiler olarak verilir. Bu sürümde deprem, heyelan ve sel-taşkın tetikleyici yüzeylerinin üçü de tamamlanmıştır; orman yangını katmanları temin edilmiş olmakla birlikte, Bölüm 9.5'te açıklanan gerekçelerle bileşik tetikleyici yüzeyine katılmamış ve teknolojik tesis–yangın arayüzü olarak ayrıca çözümlenmiştir; sıvılaşma katmanı ise sayısal sonuç yüzeyi sağlandığında ikincil tetikleyici olarak eklenebilecektir.

6.5.2 Deprem Tehlikesi: Veri Kaynağı ve Yöntem

Marmara Bölgesi Kuzey Anadolu Fayı üzerinde yer aldığından, deprem NaTech açısından birincil tetikleyicidir. Esas alınan gösterge, DD-2 düzeyi (475 yıl tekrarlanma; 50 yılda %10 aşılma) en büyük yer ivmesidir (PGA, g). Bu gösterge, MARAP İş Paketi 4 kapsamında yürütülen olasılıksal sismik tehlike analizinin (PSHA) sonuç verisinden doğrudan alınmıştır (MARAP İP-4, 2026b); teknolojik afet çalışmasında ayrı bir deprem tehlike hesabı yapılmamış, deprem çalışmasının ürettiği hesap gridi ortak analiz çerçevesine aktarılmıştır.

Veri kaynağı. Bu sürümde deprem tetikleyicisi, MARAP kapsamında üretilen kendi PGA-475 veri setinden türetilmiştir [KV-7A · 07_KAYNAK_VERI/7A_RESMI_VERI]. Veri seti, $45 \times 34 = 1.530$ düğümlü, boşluksuz ve düzenli bir griddir; düğüm aralığı $0,121^\circ$ boylam $\times$ $0,09001^\circ$ enlem olup $40,6^\circ$ enleminde $10,23 \times 9,95$ km'ye karşılık gelmektedir. Değerler 0,044–0,686 g aralığındadır. Düğümler cell-center konumunda olduğundan, yarım hücre payıyla

MARAP maskesinin tamamını kapsamaktadır; hiçbir hücrede boşluk bulunmamaktadır.

Yöntem künyesi. Kaynak verinin arkasındaki olasılıksal sismik tehlike analizi, MARAP İP-4 deprem çalışmasının sonuç raporunda belgelenmiştir (MARAP İP-4, 2026b). Hesaplar OpenQuake Engine 3.16.7 ile yürütülmüş (Pagani vd., 2014); sismik kaynak modeli ile yer hareketi tahmin modeli mantık ağacı, 2020 Avrupa Sismik Tehlike Modeli'nden alınmıştır (ESHM20; Danciu vd., 2021; Weatherill vd., 2020). Bu çalışmaya aktarılan değerler mantık ağacının ortalama (mean) sonuçlarıdır. DD-2 düzeyi, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde tanımlanan standart tasarım yer hareketi düzeyiyle uyumlu biçimde belirlenmiştir (AFAD, 2018). Tehlike hesapları $45 \times 34 = 1.530$ düğümlü grid üzerinde yapılmış olup düğümlerin 1.074'ü kara üzerindedir. Hesapların tamamı $V_{s30} = 760$ m/s referans kaya koşulunda (TBDY 2018 ZB zemin sınıfı) yürütülmüş; yerel zemin büyütmesi dâhil edilmemiştir. Bu varsayımın teknolojik afet çalışması bakımından sonuçları 6.5.7'de ele alınmaktadır.

Aktarım yöntemi. Kaynağın düzenli bir grid olması, yöntemi belirgin biçimde basitleştirmektedir: seyrek noktalardan enterpolasyon (kriging, spline) gerekmemekte, doğrudan grid yeniden örnekleme yapılabilir. Düğümler önce kendi coğrafi çözünürlüğünde bir rastere yazılmış (MARAP_PGA475_kaynak_10km.tif, EPSG:4326), ardından EPSG:5637 / 500 m ortak çerçeveye bilineer yeniden örneklemeyle aktarılmıştır. Bilineer seçim bilinçlidir: kübik konvolüsyon kartografik olarak bir miktar daha yumuşak bir yüzey vermekle birlikte modelde bulunmayan yerel uç değerler üretebilmektedir; iki yöntem arasındaki en büyük fark 0,033 g olduğundan seçim sonucu maddi olarak etkilememektedir. Aktarımda kaynak değer aralığının dışına taşma olmamıştır.

Sürüm notu — önceki yüzeyin değiştirilmesi. Raporun önceki sürümünde deprem yüzeyi, AFAD DD-2 figürünün sayısallaştırılmış deseni ile 35 resmî nokta üzerinden hesaplanan artık düzeltmenin birleştirilmesiyle (regresyon-kriging) elde edilmişti. MARAP'ın kendi 1.530 düğümlü grid verisi temin edildiğinden bu vekil çözüm terk edilmiş, yüzey doğrudan proje verisiyle değiştirilmiştir. Yeni yüzeyin bölge ortalaması 0,2574 g olup önceki yüzeyden 0,092 g düşüktür; bölge alanının %44'ünde fark 0,10 g'yi aşmaktadır. Fark sistematik olduğundan bileşik tehlikenin mekânsal deseni korunmuş, buna karşılık il ve koridor düzeyindeki sıralamalar bir miktar değişmiştir (bkz. 6.7.2 ve 6.8).

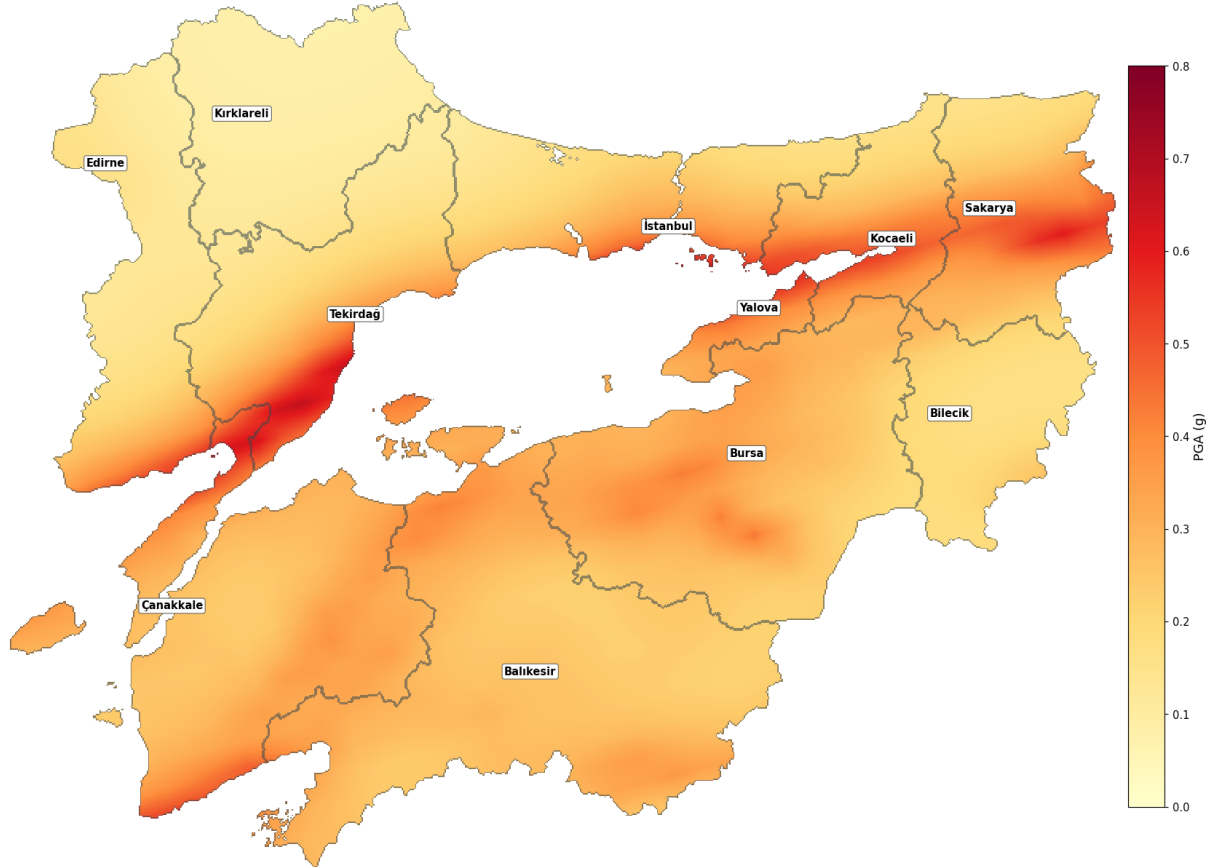
Öge	Uygulama
Kaynak	MARAP PGA-475 veri seti — DD-2 (475 yıl, %10/50 yıl) PGA
Veri yapısı	$45 \times 34 = 1.530$ düğümlü düzenli grid; düğüm aralığı $\approx 10,2 \times 10,0$ km; boşluk yok
Kaynak koordinat sistemi	WGS84 coğrafi (EPSG:4326); nokta geometrisi (PointZ)
Kaynak değer aralığı	0,044 – 0,686 g
Aktarım	Grid yeniden örnekleme (bilineer); enterpolasyon gerekmemiştir
Grid / projeksiyon	500×500 m · TUREF / LCC Europe (EPSG:5637) · 827×649

Öge	Uygulama
Normalizasyon	tetik = (PGA - 0,07)/(0,66 - 0,07), 0–1 aralığında kırpılmış

6.5.3 Deprem Tetikleyici Yüzeyi: Sonuçlar

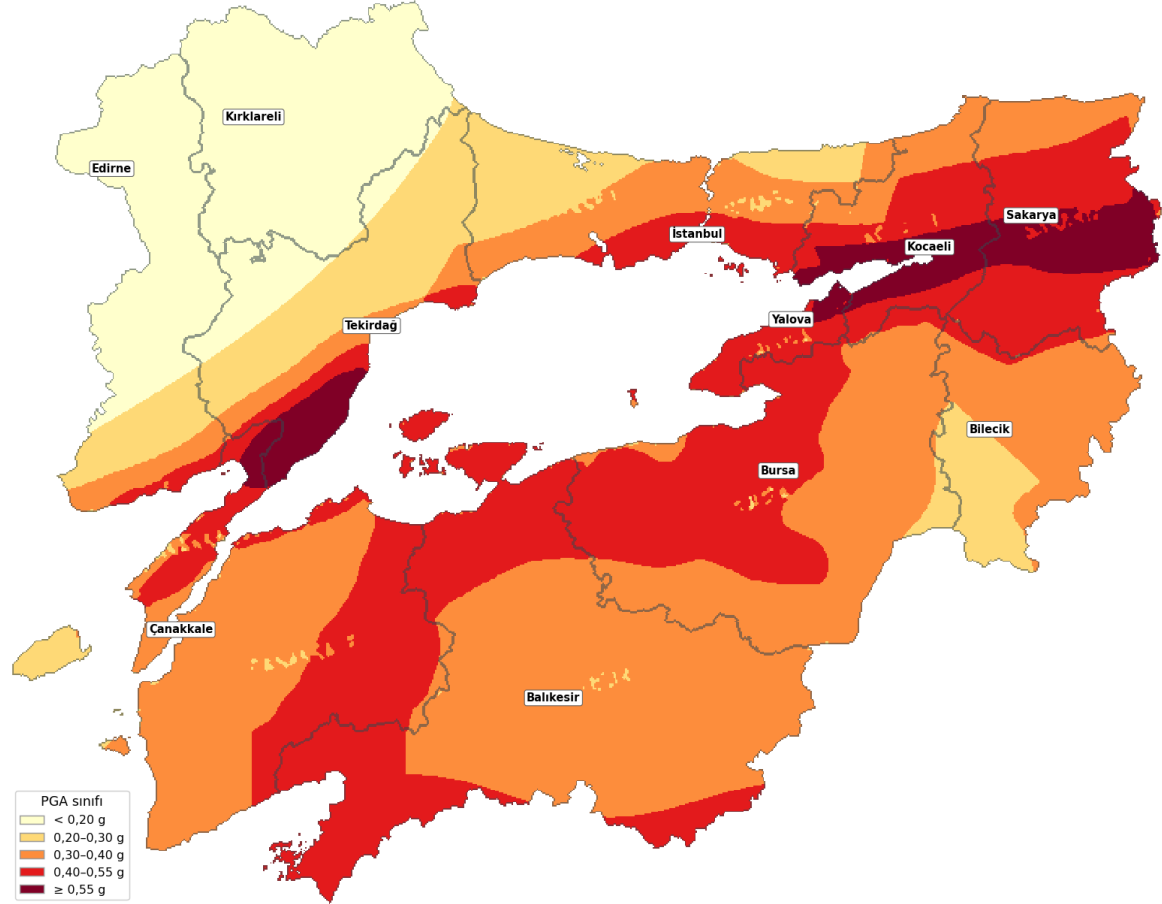
MARAP kara alanı üzerinde yüzeyin değer aralığı 0,0723–0,6597 g, ortalaması 0,2574 g'dir. En yüksek değerler Kuzey Anadolu Fayı'nın kuzey kolu boyunca İzmit Körfezi–Sapanca–Adapazarı ekseninde toplanmakta; Tekirdağ açıklarındaki Ganos (Saros) segmenti boyunca ikinci bir yüksek kuşak belirlemektedir. İl ortalamalarında sıralama Yalova (0,386), Kocaeli (0,332), Sakarya (0,320) ve Çanakkale (0,313) biçimindedir; en düşük değerler Kırklareli'ndedir (0,093). Beş sınıflı gösterimde (çok düşük <0,20; düşük 0,20–0,30; orta 0,30–0,40; yüksek 0,40–0,50; çok yüksek $\geq 0,50$ g) sınıf payları sırasıyla %28,8 (20.470 km²), %39,1 (27.711 km²), %24,4 (17.334 km²), %5,6 (3.981 km²) ve %2,1'dir (1.464 km²). Çok yüksek sınıf, fay koridorunu ve Ganos segmentini dar bir bant hâlinde izlemektedir. Deprem tehlike yüzeyi Şekil 6-4'te, beş sınıflı gösterimi Şekil 6-5'te verilmiştir.

MARAP - Deprem Tehlikesi — PGA (DD-2, 475 yıl)
500 m grid · EPSG:5637 · MARAP 11 il tam kapsam (283.842 hücre · 70.960 km²)



Şekil 6-4 Deprem tehlike yüzeyi — PGA (DD-2, 475 yıl). MARAP PGA-475 veri setinin (45 × 34 düğüm, ≈ 10 km) 500 m gride bilineer aktarımı; EPSG:5637.

MARAP - Deprem Tehlike Sınıfları — PGA (DD-2, 475 yıl)
500 m grid · EPSG:5637 · MARAP 11 il tam kapsam (283.842 hücre · 70.960 km²)



Şekil 6-5 Deprem tehlike sınıfları (5 sınıflı). Sınıf sınırları PGA konturlarıyla gösterilmiştir; 500 m grid.

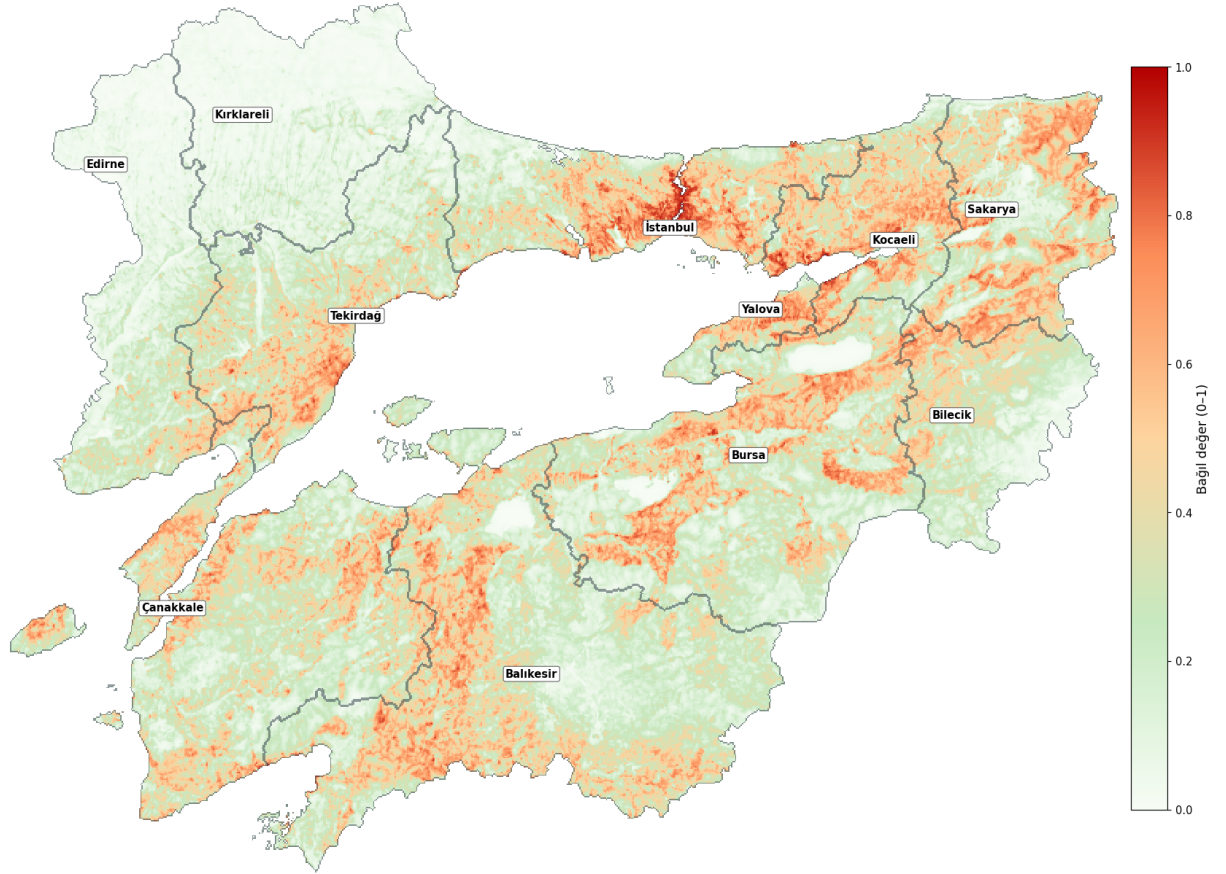
Önceki sürümde, analiz çerçevesinin MARAP'ın tamamını kapsayacak biçimde genişletilmesi deprem yüzeyinin yeni alanlarda türetilmesini gerektirmiş; bunun için ince-levha spline eğilim yüzeyi ve sönümlü artık taşıma kullanılmıştı. PGA-475 veri seti çerçevenin tamamını doğrudan kapsadığından bu ara çözüme artık gerek kalmamış, ilgili işlem adımı kaldırılmıştır.

6.5.4 Heyelan Tehlikesi: Veri Kaynağı ve Sonuçlar

Heyelan tetikleyici yüzeyi, İP-4 heyelan çalışmasının sonuç ürünü olan H_RAIN_3d_50yr_final katmanından türetilmiştir [KV-7D · 07_KAYNAK_VERI/7D_HEYELAN_KAYNAK]. Bu katman, 3 günlük yağış tetiklemeli ve 50 yıl tekrarlanmalı senaryo için üretilmiş bir heyelan tehlike (hazard) yüzeyidir; boşluklarda heyelan duyarlılığıyla tamamlanmıştır. Kaynak veri, WGS84 coğrafi sistemde yaklaşık 50 m çözünürlüklü (10.201 × 5.788 piksel) olup değerleri doğrudan 0–1 aralığında normalize edilmiştir (ortalama ≈ 0,29; en yüksek ≈ 0,97). Deprem yüzeyinden farklı olarak ek bir kalibrasyon gerektirmemiş; yalnızca ortak analiz çerçevesine getirilmesi gerekmiştir.

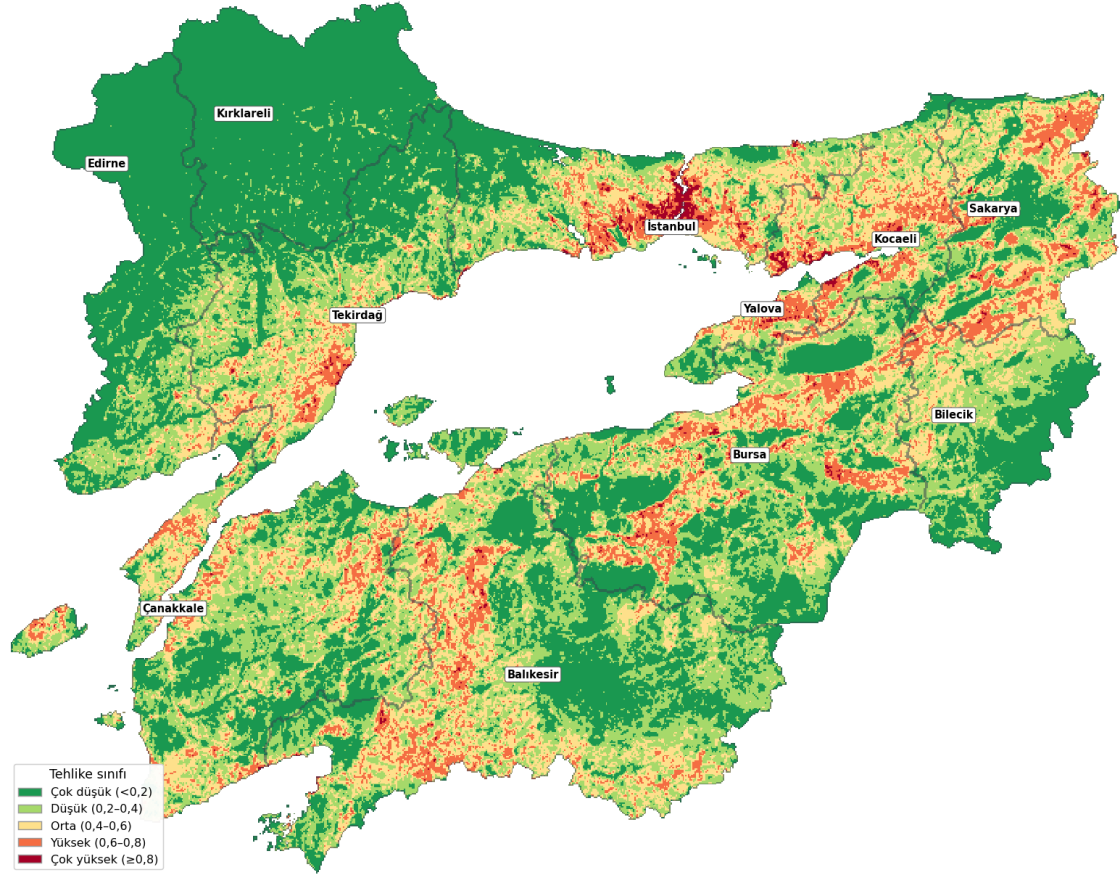
Katman, diğer tehlike yüzeyleriyle birebir hizalı 500 m grid ve TUREF / LCC Europe (EPSG:5637) sistemine ortalama (average) yeniden örnekleme ile indirilmiş; MARAP kapsam maskesi uygulanmıştır (283.842 hücre). Elde edilen yüzeyin deseni jeomorfolojik olarak tutarlıdır: yüksek tehlike Kocaeli–Sakarya yamaçları, Güney Marmara dağlık kuşağı (Uludağ, Biga yarımadası), Ganos–Tekirdağ sırtları ve İstanbul kuzey ormanlık tepelerinde yoğunlaşmakta; düşük tehlike Trakya ve Ergene ovalarında görülmektedir. Beş sınıflı gösterimde sınıf payları çok düşük %39,6 · düşük %29,8 · orta %21,3 · yüksek %8,7 · çok yüksek %0,7,0 · çok yüksek %1,0'dır. Heyelan tehlike yüzeyi Şekil 6-6'da, beş sınıflı gösterimi Şekil 6-7'de verilmiştir.

MARAP · Heyelan Tehlike Yüzeyi — H_RAIN_3d_50yr
500 m grid · EPSG:5637 · MARAP 11 il tam kapsam (283.842 hücre · 70.960 km²)



Şekil 6-6 Heyelan tehlike yüzeyi (0–1) — H_RAIN_3d_50yr (3 günlük yağış, 50 yıl). İP-4 heyelan modeli, 500 m grid (EPSG:5637); deniz alanları maskeli.

MARAP · Heyelan Tehlike Sınıfları — H_RAIN_3d_50yr
500 m grid · EPSG:5637 · MARAP 11 il tam kapsam (283.842 hücre · 70.960 km²)



Şekil 6-7 Heyelan tehlike sınıfları (5 sınıflı; çok düşük–çok yüksek). 500 m grid (EPSG:5637).

6.5.5 Sel-Taşkın Tehlikesi: Veri Kaynağı ve Sonuçlar

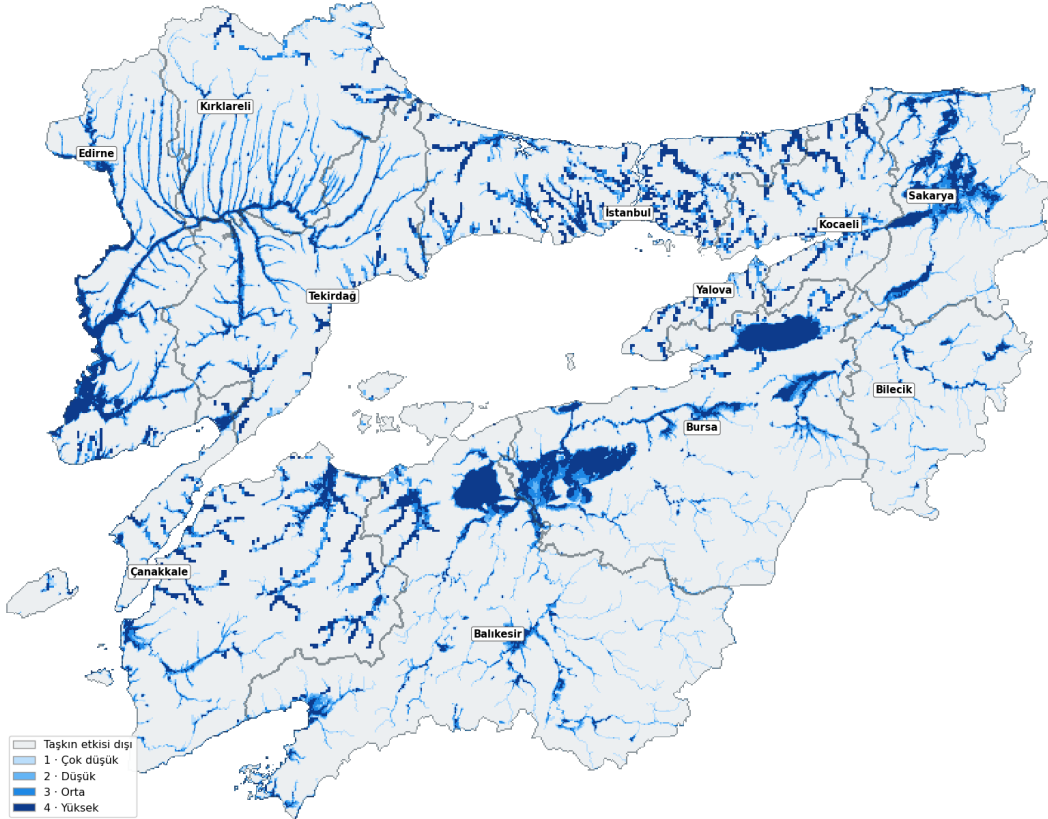
Sel-taşkın tetikleyici yüzeyi, İP-4 Sel-Taşkın çalışmasının sonuç ürünü olan Sel_Tehlike_Q500 katmanından türetilmiştir [KV-7H_07_KAYNAK_VERI/7H_SEL_TASKIN_GIRDI]. Bu katman, 500 yıl tekrarlanmalı taşkın debisi (Q500) senaryosu için üretilmiş bir taşkın tehlike yüzeyidir. Kaynak veri, TUREF / LCC Europe (EPSG:5637) sisteminde 1.000 m çözünürlüklü (478 × 341 piksel) olup sürekli değil, 1–4 arası dört düzeyli sıralı (ordinal) bir tehlike sınıfı taşımaktadır. Kaynak çerçevede geçerli (taşkın etkisi altındaki) hücre sayısı 4.815'tir; bu, çerçevenin yalnızca %2,95'ine karşılık gelmekte ve katmanın deprem ile heyelan yüzeylerinden farklı olarak yayılı değil, akarsu ağı boyunca çizgisel/kuşaksal bir desene sahip olduğunu göstermektedir. Kaynak sınıf dağılımı 1. sınıf 1.290 hücre (%26,8), 2. sınıf 712 hücre (%14,8), 3. sınıf 775 hücre (%16,1) ve 4. sınıf 2.038 hücredir (%42,3).

Katman, diğer tehlike yüzeyleriyle birebir hizalı 500 m gride en yakın komşu (nearest neighbour) yöntemiyle yeniden örneklenmiştir; sıralı sınıf değerleri ara değer üretmeye elverişli olmadığından ortalama (average) örnekleme bilinçli olarak kullanılmamıştır.

Değerler, sınıf numarasının dörde bölünmesiyle (sınıf/4) 0–1 aralığına taşınmış; böylece 1. sınıf 0,25 · 2. sınıf 0,50 · 3. sınıf 0,75 · 4. sınıf 1,00 değerini almış, taşkın etkisi dışındaki kara hücrelerine ise 0 değeri atanmıştır. Deniz alanları, diğer tetikleyici yüzeylerle aynı kara maskesi kullanılarak maskelenmiştir (283.842 hücre). Ortak gridde taşkın etkisi altındaki hücre sayısı 17.876'dır; bu, yaklaşık 4.469 km²'ye ve bölge kara alanının %6,3'üne karşılık gelir. Sınıf dağılımı 1. sınıf 4.496 (%25,2), 2. sınıf 2.623 (%14,7), 3. sınıf 2.846 (%15,9) ve 4. sınıf 7.911 hücredir (%44,3). Yüzeyin kara alanı üzerindeki ortalaması 0,044; yalnızca taşkın etkisi altındaki hücreler üzerindeki ortalaması ise 0,708'dir.

Elde edilen yüzeyin deseni hidrolojik olarak tutarlıdır: en yüksek sınıflar Sakarya Nehri'nin aşağı çığırı ve Adapazarı ovası, Ergene Havzası (Çorlu–Çerkezköy–Lüleburgaz eksen), İzmit Körfezi'ne açılan kıyı ovaları, Bursa–Nilüfer ve Karacabey–Susurluk ovaları ile Balıkesir–Biga akarsu vadilerinde yoğunlaşmaktadır. Bu alanların önemli bir bölümünün aynı zamanda yoğun sanayi kuşakları olması, sel-taşkın NaTech açısından depremden sonra ikinci sırada yer alan tetikleyici olduğu yönündeki metodolojik kabulü desteklemektedir. Üretilen katman MARAP_TATH_bilesen_sel_Q500_500m.tif adıyla saklanmaktadır [CO-3 · 03_CBS_CIKTILAR/3C_SEL-TASKIN]. Sel-taşkın tehlike sınıfları Şekil 6-8'de gösterilmektedir.

MARAP · Sel-Taşkın Tehlike Sınıfları — Resmî Q500 u HAND Taşkın Ovası
500 m grid · EPSG:5637 · MARAP 11 il tam kapsam (283.842 hücre · 70.960 km²)



Şekil 6-8 Sel-taşkın tehlike sınıfları (Q500; 1–4 sıralı sınıf). İP-4 Sel-Taşkın modeli, ortak 500 m gride en yakın komşu örneklemeyle aktarılmıştır (EPSG:5637).

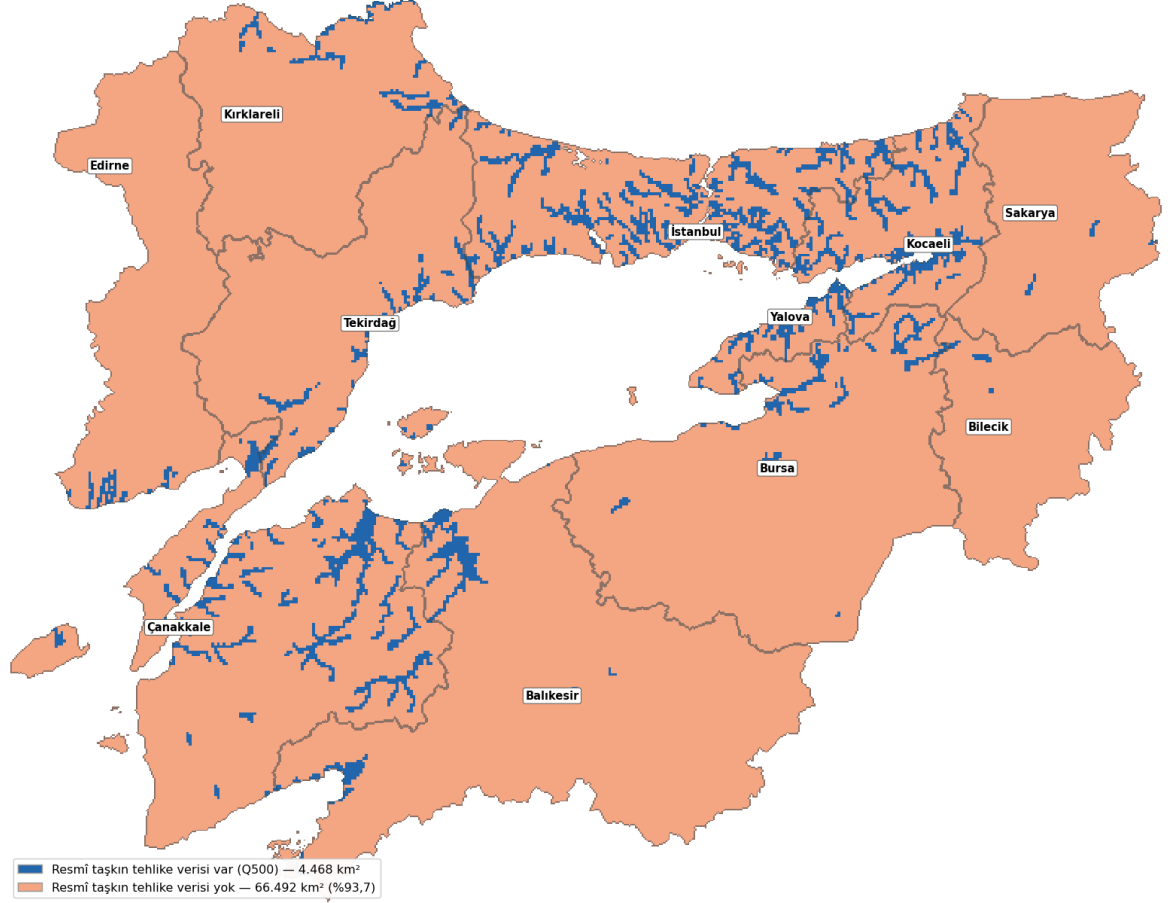
6.5.6 Sel-Taşkın Verisindeki Kapsam Boşluğu ve HAND ile Tamamlanması

Kapsam boşluğunun tespiti. İP-4 Sel-Taşkın çalışmasından devralınan Q500 katmanının MARAP alanındaki kapsamı incelendiğinde, katmanın bölge kara alanının yalnız %6,3'ünde (4.469 km²) tanımlı olduğu, kalan %93,7'sinde (66.492 km²) hiçbir taşkın tehlike değeri taşımadığı belirlenmiştir. Boşluk rastgele dağılmamakta, havza bazlı bir örüntü göstermektedir: akarsu ağının modellendiği güney ve doğu Marmara'da kapsam bulunurken, Sakarya (%0,6), Bilecik (%0,7) ve Edirne'de (%1,8) kapsam yok denecek düzeydedir. İlçe düzeyinde 34 ilçede (14.428 km²) kapsam tam olarak sıfırdır; bunlar arasında Meriç Nehri'nin taşkın ovasını oluşturan İpsala, Meriç, Uzunköprü, Havsa ve Edirne Merkez ile Sakarya Nehri'nin ovasını oluşturan Adapazarı, Ferizli, Söğütü ve Karasu bulunmaktadır. Bu ilçeler, ülkenin tarihsel olarak en geniş alanlı taşkınlarının yaşandığı düzlükleridir. Kapsamın ve kapsam boşluğunun mekânsal dağılımı Şekil 6-9'da verilmiştir.

Boşluğun kaynağı. Boşluğun iki ayrı nedeni bulunmaktadır. İP-4 Sel-Taşkın çalışması dört havzayı (Meriç–Ergene, Susurluk, Marmara ve Kuzey Ege) kapsamış; Sakarya Havzası bu dördün dışında kaldığından Sakarya ve Bilecik için kaynak veri hiç üretilmemiştir. Buna karşılık Meriç–Ergene çalışılmış havzalar arasında yer aldığından, Trakya'daki boşluk kaynak verinin yokluğundan değil, 1.000 m çözünürlüklü türev ürüne aktarılmamış olmasından kaynaklanmaktadır. Sel-taşkın doğal tetikleyici bileşiminin %25'ini oluşturduğundan, bu boşluk ilgili illerde teknolojik afet tehlikesinin yapısal olarak düşük hesaplanmasına yol açmaktaydı.

Yöntem. Boşluğun giderilmesi için, taşkın ovalarının sayısal yükseklik modelinden sınırlandırılmasına dayanan HAND (Height Above Nearest Drainage — En Yakın Drenaja Göre Yükseklik) yöntemi uygulanmıştır (Rennó vd., 2008; Nobre vd., 2011); girdi verileri [KV-7H · 07_KAYNAK_VERI/7H_SEL_TASKIN_GIRDI], doğrulama raporu ve kapsam özetleri ise [EK-G · 02_EKLER/EK-G_SEL_TASKIN_HAND] altındadır. Yöntem, her hücrenin akış yolu boyunca ulaştığı en yakın drenaj hücresine göre bağlı yüksekliğini hesaplamakta; düşük HAND değerleri alüvyal taşkın ovasını tanımlamaktadır. Girdi olarak Copernicus DEM GLO-30 (30 m; ESA, 2019; dikey datum EGM2008: Pavlis vd., 2012) kullanılmış, MARAP alanını kapsayan 25 pafta EPSG:5637 / 100 m gride alan-ortalama olarak, akış yönü ve birikim hesapları pysheds kütüphanesiyle (Bartos, 2020) mozaiklenmiştir (4.135 × 3.245 = 13,4 milyon hücre). Çukur doldurma, D8 akış yönü ve akış birikimi hesaplanmış; drenaj ağı, akış birikimi ≥ 25 km² koşulu ile CORINE 511/512 akarsu yataklarının BİRLEŞİMİ olarak tanımlanmıştır. İkinci bileşen zorunludur: Meriç, Ergene ve Sakarya nehirlerinin memba havzaları çalışma alanının dışında (Bulgaristan, Yunanistan, İç Anadolu) kaldığından, yalnız akış birikimine dayanan bir ağ bu ana kolları sınır yakınında ağ dışı bırakmaktadır. HAND yüzeyi 100 m'de üretilmiş; 2 m, 5 m, 8 m ve 12 m eşikleriyle sırasıyla 1,00 · 0,75 · 0,50 · 0,25 bağlı tehlike değeri verilmiş ve 500 m hücreye alan oranı ağırlıklı ortalama ile indirgenmiştir.

MARAP - Sel-Taşkın Tehlike Verisi Kapsam Boşluğu
500 m grid · EPSG:5637 · MARAP 11 il tam kapsam (283.842 hücre · 70.960 km²)



Şekil 6-9 Sel-taşkın tehlike verisinin MARAP alanındaki kapsamı ve kapsam boşluğu. Mavi: İP-4 Sel-Taşkın çalışmasından devralınan Q500 katmanının tanımlı olduğu alan (4.469 km²); turuncu: hiçbir taşkın tehlike değeri taşımayan alan (66.492 km², bölgenin %93,7'si). 500 m grid (EPSG:5637).

Bağımsız doğrulama. Eşiklerin belirlenmesinde resmî Q500 ürününe uydurma (Jaccard eniyilemesi) bilinçli olarak YAPILMAMIŞTIR. İki katman farklı olguları betimlemektedir: resmî ürün İstanbul–Kocaeli–Yalova'da ağırlıklı olarak kentsel yüzey akışını ve küçük dere taşkını, Trakya kıyısında ise kıyı taşkını içermekte (Trakya'daki resmî tehlike hücrelerinin %26'sı kıyıdan 2 km içindedir); HAND ise akarsu alüvyal ovasını sınırlandırmaktadır. Eşikler bu nedenle taşkın ovasının BAĞIMSIZ jeomorfolojik göstergeleriyle sınanmıştır. Sonuçlar Tablo 6-14'te verilmektedir: ovanın kesin göstergeleri olan su kütleleri, iç bataklıklar ve pirinç tarlaları %91–100 oranında HAND taşkın ovasının içine düşerken, ova dışı araziler olan sulanmayan ekilebilir alan ve ormanlar yalnız %2–10 oranında içeride kalmaktadır. Ayrımın keskinliği, yöntemin alüvyal tabanı doğru sınırlandırdığını göstermektedir. Resmî Q500 hücreleriyle örtüşme oranı (POD) bölge genelinde 0,30 olup, resmî ürünün kırsal akarsu ovası niteliği taşıdığı illerde belirgin biçimde yükselmektedir (Balıkesir 0,49 · Sakarya 0,49 · Çanakkale 0,39).

Tablo 6-14 HAND ile sınırlandırılan taşkın ovasının bağımsız doğrulaması. Taşkın ovasının kesin göstergeleri ile ova dışı arazi örtüsü sınıflarının HAND taşkın ovasına düşme oranları.

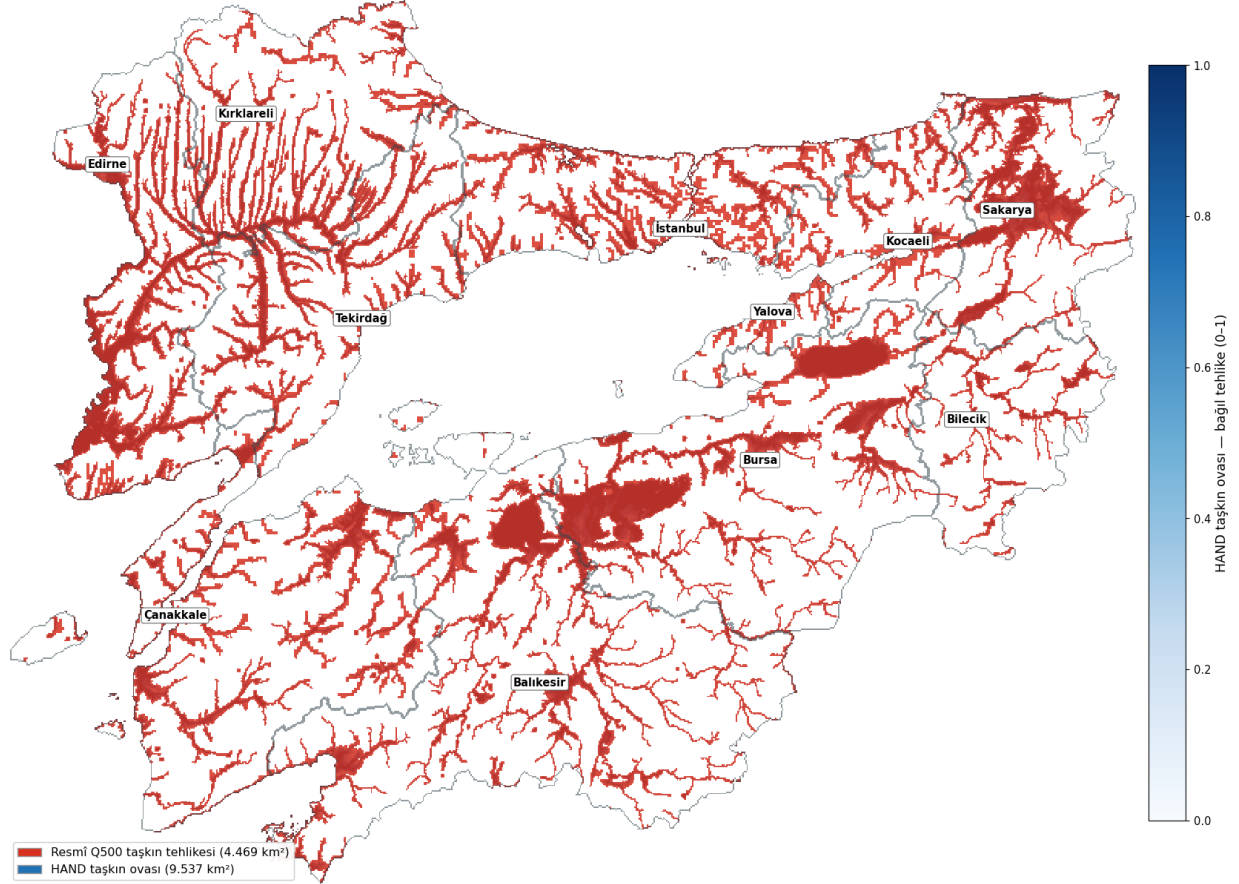
CORINE arazi örtüsü sınıfı	Kod	Alan (km ²)	HAND ovasında (%)
Su kütleleri	512	922	100
İç bataklıklar	411	124	96
Pirinç tarlaları	213	1.159	91
Tuzcul bataklıklar	421	56	71
Sürekli sulanan tarım alanları	212	5.171	45
Sulanmayan ekilebilir alan	211	14.457	10
Geniş yapraklı orman	311	10.739	2
İğne yapraklı orman	312	5.581	2

Sonuçlar ve bileşene aktarım. HAND taşkın ovası bölge genelinde 9.537 km² (MARAP kara alanının %13,4'ü) olarak sınırlandırılmıştır; bunun 8.024 km²'si resmî taşkın verisi bulunmayan alandadır. İl bazındaki dağılım Tablo 6-15'te verilmektedir. Bulgunun kapsamı Trakya'nın ötesine geçmektedir: resmî ürünün kaçırdığı alanlar bölgenin büyük alüvyal ovalarının tamamıdır — Meriç–Ergene ovası, Bursa Ovası (Karacabey 515 km², Mustafakemalpaşa 315 km², Yenişehir 158 km²), Sakarya deltası ve Adapazarı ovası (182 km²), Manyas (341 km²), Ulubat ve İznik göl çevreleri ile Gönen ovası. Bu düzlükler aynı zamanda bölgenin tarımsal ve sınai yoğunluğunun en yüksek olduğu alanlar olduğundan, NaTech tetiklenmesi açısından özel önem taşımaktadır. Elde edilen katman, resmî Q500 katmanı ile hücre bazında en büyük değer (maksimum) kuralıyla birleştirilmiş ve sel-taşkın tetikleyici bileşeni olarak kullanılmıştır; birleşik katmanın kapsamı 4.469 km²'den 18.885 km²'ye, kara alanı ortalaması 0,044'ten 0,146'ya yükselmiştir. Resmî verinin bulunduğu hiçbir hücrede değer düşmemiştir. HAND ile sınırlandırılan taşkın ovasının mekânsal dağılımı Şekil 6-10'da gösterilmektedir.

Tablo 6-15 Resmî Q500 kapsamı ile HAND ile sınırlandırılan taşkın ovasının il bazında karşılaştırması. 'Yeni kazanım', resmî taşkın verisi bulunmayan alanda HAND ile tanımlanan taşkın ovasıdır.

İl	Alan (km ²)	Resmî Q500 (km ²)	HAND ovası (km ²)	Yeni kazanım (km ²)
Bursa	10.561	316	1.818	1.717
Edirne	5.926	105	1.399	1.368
Balıkesir	13.994	377	1.422	1.237
Sakarya	4.804	27	1.070	1.057
Kırklareli	6.177	218	755	711
Tekirdağ	6.166	303	778	691
Çanakkale	9.818	1.053	1.014	600
İstanbul	5.279	1.175	600	323
Bilecik	4.072	27	250	240
Kocaeli	3.346	642	238	76
Yalova	821	226	38	5
Toplam	70.960	4.469	9.537	8.024

MARAP - HAND Yöntemiyle Taşkın Ovası Sınırlandırması
500 m grid - EPSG:5637 - MARAP 11 il tam kapsam - SYM: Copernicus DEM GLO-30 (30 m)



Şekil 6-10 HAND (En Yakın Drenaja Göre Yükseklik) yöntemiyle sınırlandırılan taşkın ovası. Mavi tonlar HAND taşkın ovasının bağıl tehlike değerini (0–1), kırmızı ise resmî Q500 taşkın tehlikesini göstermektedir. Girdi: Copernicus DEM GLO-30 (30 m); işlem çözünürlüğü 100 m; ürün 500 m grid (EPSG:5637).

Sınırlılıklar. HAND hidrolik bir model değildir: taşkın derinliği, akış hızı veya belirli bir tekrarlanma düzeyi (Q100/Q500) üretmez; taşkına maruz kalabilecek taban arazinin jeomorfolojik sınırını verir. Taşkın koruma yapıları (set, regülatör, baraj) hesaba katılmamakta, set arkasındaki alanlar da ova içinde görünmektedir. Kıyı ve fırtına kabarması kaynaklı taşkın kapsam dışıdır. GLO-30 bir yüzey modeli (DSM) olduğundan yoğun orman ve yerleşim alanlarında yükseklik bir miktar yüksek ölçülmekte; 100 m'ye ortalama alınması bu etkiyi azaltmakta ancak tümüyle gidermemektedir. *Bu nedenlerle HAND katmanı, SYGM Meriç–Ergene taşkın modelinin temin edilmesinin YERİNE değil, onun kapsamadığı alanları tamamlayan bir çözüm olarak konumlandırılmaktadır.* Söz konusu resmî veri temin edildiğinde ilgili alanlarda doğrudan onunla değiştirilmesi önerilmektedir.

6.5.7 Sınırlılıklar

Deprem yüzeyi DD-2 (475 yıl) düzeyini temsil eder; DD-1 (2.475 yıl) düzeyi bu çalışmada kullanılmamıştır. Deprem yüzeyi artık vekil bir çözüm değil, MARAP'ın kendi 1.530 düğümlü PGA-475 grid verisidir; önceki sürümdeki 35 noktalık kalibrasyon belirsizliği ortadan kalkmıştır. Kalan sınırlılık kaynağın çözünürlüğüdür: düğüm aralığı ≈ 10 km olduğundan, 500 m gride aktarım gerçek bir detay artışı sağlamamakta, fay hattına çok yakın hücrelerdeki keskin gradyan yumuşatılmış biçimde temsil edilmektedir. Heyelan yüzeyi 3 günlük yağış–50 yıl senaryosunu yansıtır; farklı yağış süreleri (1 ve 7 gün) ve erken uyarı (EWI) sürümleri İP-4 veri setinde mevcut olup gerektiğinde duyarlılık analizinde kullanılabilir. Sel-taşkın yüzeyinin üç sınırlılığı ayrıca kayda geçirilmelidir: (i) kaynak katman sürekli bir tehlike değeri değil dört düzeyli sıralı sınıf taşıdığından, sınıf/4 dönüşümü sınıflar arasında eşit aralık varsayar; bu doğrusal kabul, İP-4 Sel-Taşkın raporunun sınıf tanımlarıyla karşılaştırılarak teyit edilmelidir. (ii) Kaynak çözünürlük 1.000 m olduğundan 500 m gride aktarım gerçek bir detay artışı sağlamaz; yüzey basamaklı bir görünüme sahiptir ve dar vadi tabanlarında konumsal hata payı yarım hücreye kadar çıkabilir. (iii) Devralınan resmî katman kara alanının yalnız %6,3'ünü kapsamaktaydı; bu kapsam boşluğu 6.5.6'da açıklanan HAND yöntemiyle giderilmiş, birleşik katmanın kapsamı %26,6'ya (18.885 km²) ve kara alanı ortalaması 0,044'ten 0,146'ya yükselmiştir. Buna karşılık birleşik katman iki farklı üretim yöntemini bir arada taşıdığından (hidrolik modelleme ve jeomorfolojik sınırlandırma) yorumda bu ayrım gözetilmelidir. Üç tetikleyici yüzey de bu aşamada ayrı tutulmakta, birleştirme NaTech modelinde yapılmaktadır.

Referans kaya varsayımı. Kaynak PSHA hesaplarının tamamı Vs30 = 760 m/s referans kaya koşulunda (TBDY 2018 ZB zemin sınıfı) yürütülmüş, yerel zemin büyütmesi hesaba katılmamıştır. Deprem çalışması, bölgedeki gerçek Vs30 değerlerinin 98–2.197 m/s aralığında değiştiğini ve özellikle İstanbul havzaları ile Bursa Ovası gibi alüvyal çöküntü alanlarında büyütme etkisinin belirgin olabileceğini kaydetmektedir (MARAP İP-4, 2026b). Bu kısıt, teknolojik afet çalışması bakımından yönlü bir etki taşımaktadır: bölgedeki sabit tehlike kaynakları — rafineri ve petrokimya tesisleri, akaryakıt ve LPG depolama alanları, organize sanayi bölgeleri ve liman arkası tesisler — ağırlıklı olarak kıyı ve ova alüvyonları üzerinde yoğunlaşmakta, yani zemin büyütmesinin en yüksek beklendiği alanlarda bulunmaktadır. Dolayısıyla bu çalışmada kullanılan deprem tetikleyici yüzeyi, tehlike kaynaklarının bulunduğu konumlarda gerçek yer hareketi talebini ihtiyatlı-düşük temsil etmektedir; TATH'in bu bileşen bakımından muhafazakâr değil, alt sınıra yakın bir tahmin verdiği yorumda gözetilmelidir. Düzeltme için gerekli veri proje içinde mevcuttur: deprem çalışması eğime bağlı Vs30 kestirimini kullanmakta olup (Wald ve Allen, 2007), ileriki bir sürümde zemin sınıfına bağlı büyütme katsayılarıyla tesis ölçeğinde düzeltilmiş bir tetikleyici yüzey üretilebilir.

DD-1 düzeyinin kapsam dışı kalması. Bu çalışmaya aktarılan PGA-475 veri seti yalnızca DD-2 düzeyi PGA alanını taşımakta, DD-1 (2.475 yıl; 50 yılda %2

aşılma) düzeyine ait bir alan içermemektedir; bu nedenle DD-1 tabanlı bir tetikleyici yüzey üretilmemiştir. Deprem çalışmasının il temsilî değerlerinden hesaplanan DD-1/DD-2 oranı ortalama 1,97 olup 1,84 (Yalova) ile 2,19 (Edirne) arasında değişmektedir. Oranın bölge genelinde yaklaşık sabit kalması, DD-1 düzeyine geçilmesi hâlinde bileşik tehlikenin mekânsal deseninin büyük ölçüde korunacağını göstermektedir. Buna karşılık oranın düşük tehlikeli illerde görece büyük olması, DD-1 tabanlı bir yüzeyde iller arası tehlike farkının bir ölçüde daralacağını ve Trakya illerinin görece ağırlığının artacağını işaret etmektedir. DD-1 grid verisi sağlandığında yüzey aynı aktarım yöntemiyle üretilir; bu düzeyin BEKRA üst seviye kuruluşları ve kritik altyapı bakımından taşıdığı anlam Bölüm 12'de politika önerisi olarak ele alınmıştır.

6.6 Adım 5 — Normalizasyon ve Ağırlıklandırma

Üç bileşen katmanı (sabit, hareketli ve — NaTech üzerinden — doğal tetikleyici) ortak bir ölçeğe normalize edilir; bu genellikle minimum-maksimum normalizasyonu ile [0–1] aralığına ya da eşik temelli sınıflandırma ile 1–5 ölçeğine dönüştürülerek yapılır. Ardından bileşenlerin görece önemi, çok ölçütlü karar analizi yöntemleriyle (Analitik Hiyerarşi Süreci veya En İyi-En Kötü Yöntemi) ağırlıklandırılır. Ağırlıklar uzman görüşü ve literatürle desteklenir ve duyarlılık analizinde sınanır.

6.6.1 Katmanların Ortak Ölçeğe Getirilmesi

Bölüm 6.3–6.5'te üretilen tüm tehlike katmanları, birbirleriyle birleştirilebilmeleri için ortak bir çerçeveye getirilmiştir: MARAP'ın 11 ilini bütünüyle kapsayan 827 × 649 hücrelik 500 × 500 m grid, TUREF / LCC Europe (EPSG:5637) projeksiyonu ve 0–1 aralığında normalize değerler. Sabit endüstriyel ve hareketli tehlike yüzeyleri, yoğunluk/erişilebilirlik hesaplarının doğası gereği doğrudan 0–1 ölçeğinde elde edilmiştir. Deprem yüzeyi, PGA değerlerinin $(PGA - 0,07)/(0,66 - 0,07)$ dönüşümüyle; heyelan yüzeyi kaynak modelin zaten 0–1 aralığındaki değerleriyle; sel-taşkın yüzeyi ise resmî Q500 katmanının 1–4 sıralı sınıflarının sınıf/4 dönüşümü $(0,25 \cdot 0,50 \cdot 0,75 \cdot 1,00)$ ile HAND taşkın ovası yüzeyinin hücre bazında en büyük değer kuralıyla birleştirilmesiyle elde edilmiş, taşkın etkisi dışındaki kara hücrelerine 0 atanmıştır (bkz. 6.5.6). Karar desteği ve kartografik okunabilirlik için her katmanın ayrıca beş sınıflı (çok düşük–çok yüksek) sürümü üretilmiştir.

Katman	Normalize ölçeği	Durum
Sabit endüstriyel tehlike (6.3)	0–1 (ağırlıklı KDE)	Tamamlandı
Hareketli / ulaşım tehlikesi (6.4)	0–1 (mesafe-azalım)	Tamamlandı
Deprem tetikleyici (6.5.2–6.5.3)	0–1 (PGA min–maks)	Tamamlandı
Heyelan tetikleyici (6.5.4)	0–1 (kaynak indeks)	Tamamlandı
Sel-taşkın tetikleyici (6.5.5)	0–1 (sınıf/4 u HAND)	Tamamlandı

6.6.2 Bileşenlerin Ağırlıklandırılması

Ağırlıklandırma, NaTech kurgusunun iki düzeyli yapısına göre kurgulanmıştır. Birinci düzeyde, teknolojik tehlike-kaynağı bileşimi sabit ve hareketli tehlike katmanlarının ağırlıklı birleşimiyle elde edilir; burada sabit kaynaklar (tehlikeli madde bulunduran tesisler) baskın bileşendir. İkinci düzeyde, doğal tetikleyici katmanları (deprem, sel-taşkın, heyelan) ayrı tutulur ve teknolojik tehlike-kaynağıyla NaTech modeli (5.5) üzerinden tetikleme potansiyeli olarak ilişkilendirilir; bu nedenle tetikleyiciler tehlike-kaynağına eklenmez, onunla çarpımsal/koşullu biçimde değerlendirilir. Aşağıdaki ağırlıklar başlangıç önerisi olup, Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP; Saaty, 1980) veya En İyi–En Kötü Yöntemi (BWM; Rezaei, 2015) ile uzman görüşü ve literatür temelinde kesinleştirilecek ve duyarlılık analiziyle sınanacaktır.

Bileşen	Alt katman	Başlangıç ağırlığı
Teknolojik tehlike-kaynağı	Sabit endüstriyel	0,65
	Hareketli / ulaşım	0,35
Doğal tetikleyiciler	Deprem	0,55
	Sel-taşkın	0,25
	Heyelan	0,20

Duyarlılık ve doğrulama. Önerilen ağırlıkların sonuç üzerindeki etkisi, ağırlıkların $\pm\%20$ aralığında değiştirildiği iki aşamalı bir duyarlılık analiziyle sınanmıştır. Birinci aşamada her ağırlık tek tek $\pm\%20$ oynatılmış, aynı düzeydeki diğer ağırlıklar yeniden normalize edilmiştir (tek değişkenli / OAT yaklaşımı). İkinci aşamada bütün ağırlıklar eşzamanlı olarak $\pm\%20$ aralığında rastgele çekilerek 500 tekrarlı bir Monte Carlo denemesi yapılmıştır. Ölçütler: taban yüzeyle Spearman sıra korelasyonu, beş sınıflı gösterimde sınıf değiştiren hücre oranı, 'yüksek ve üzeri' kümesinin Jaccard benzerliği ve hücre bazında sınıf kararlılığı. Tek değişkenli duyarlılık analizinin sonuçları Tablo 6-16'da verilmiştir.

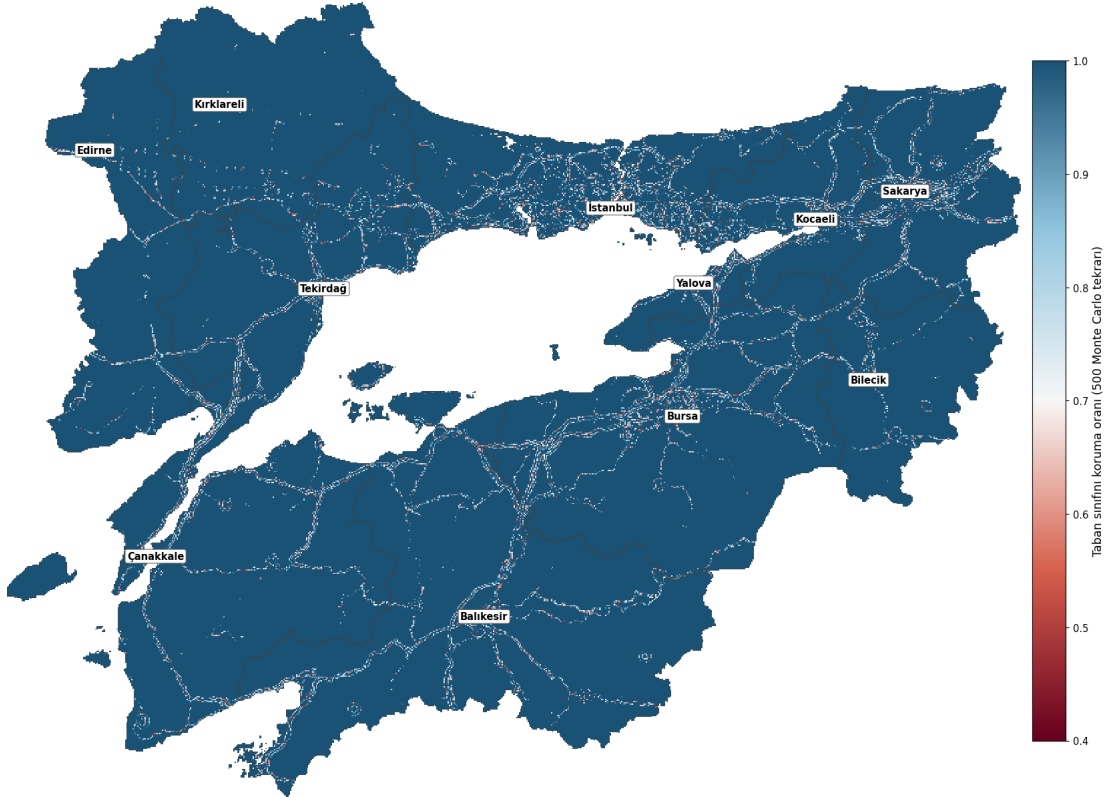
Tablo 6-16 Tek değişkenli duyarlılık analizi sonuçları. Her satırda yalnız belirtilen ağırlık $\pm\%20$ oynatılmış, aynı düzeydeki diğer ağırlıklar yeniden normalize edilmiştir.

Değiştirilen ağırlık	Yön	Yeni değer	TATH sıra kor. (p)	TATH sınıf değişimi	TATH Jaccard	TARH sıra kor. (p)	TARH sınıf değişimi
Sabit endüstriyel	–%20	0,52	0,9995	%4,42	0,798	0,9996	%1,32
Sabit endüstriyel	+%20	0,78	0,9991	%4,49	0,870	0,9993	%0,97
Hareketli	–%20	0,28	0,9998	%2,44	0,923	0,9998	%0,56
Hareketli	+%20	0,42	0,9998	%2,43	0,899	0,9999	%0,71
Deprem	–%20	0,44	0,9998	%1,12	0,860	0,9999	%0,36
Deprem	+%20	0,66	0,9998	%1,04	0,889	0,9999	%0,40
Sel-taşkın	–%20	0,20	0,9999	%0,90	0,910	0,9999	%0,30
Sel-taşkın	+%20	0,30	0,9999	%0,91	0,895	0,9999	%0,30
Heyelan	–%20	0,16	1,0000	%0,38	0,957	1,0000	%0,13
Heyelan	+%20	0,24	1,0000	%0,40	0,960	1,0000	%0,13

Tek değişkenli analizin sonucu açıktır: hiçbir ağırlık değişikliği sıra korelasyonunu 0,9991'in altına düşürmemektedir. Sıralamayı en çok etkileyen parametre, birinci düzeydeki sabit-hareketli dengesidir (sınıf değişimi %3,7–3,9); onu deprem ağırlığı (%1,1), sel-taşkın (%0,8) ve heyelan (%0,3) izler. Bu sıralama beklenen yöndedir: teknolojik tehlike-kaynağı bileşimi yüzeyin coğrafyasını belirlerken, tetikleyici ağırlıkları esas olarak değer in düzeyini ölçerler.

Monte Carlo denemesinde 500 tekrarın tamamında sıra korelasyonu 0,9996'nın altına inmemiş (ortalama 0,9999), sınıf değiştiren hücre oranı ortalama %1,24'te kalmış ve en kötü durumda %3,33'ü aşmamıştır. 'Yüksek ve üzeri' hücre sayısı 1.959 ile 2.348 arasında değişmiştir (taban değer 2.170); bu, ± 20 'lik bir ağırlık belirsizliğinin yüksek tehlike alanını yaklaşık ± 9 oynattığı anlamına gelir. Hücre bazında bakıldığında bölgenin %92,5'i taban sınıfını 500 tekrarın tamamında korumuştur. Kararsızlık, beklendiği gibi sınıf sınırlarına yakın değer alan geçiş hücrelerinde toplanmaktadır: tehlike değeri 0,05'in üzerindeki hücrelerin %55,0'ı tam kararlı, %12,7'si ise sınıfını tekrarların dörtte birinden fazlasında değiştirmektedir. Bu hücreler haritada ayrıca gösterilmiş ve yorumda 'sınır bölgesi' olarak ele alınmıştır. Sınıflandırmanın ağırlık belirsizliğine karşı kararlılığı Şekil 6-11'de gösterilmektedir.

MARAP · TATH Sınıf Kararlılığı — Ağırlıkların Eşzamanlı ± 20 Değişimi
500 m grid · EPSG:5637 · MARAP 11 il tam kapsam (283.842 hücre · 70.960 km²)



Şekil 6-11 TATH sınıflandırmasının ağırlık belirsizliğine karşı kararlılığı. Tüm ağırlıklar eşzamanlı ± 20 aralığında değiştirilerek 500 tekrarlı Monte Carlo denemesi yapılmış; her hücre için taban sınıfını koruma oranı gösterilmiştir; 500 m grid (EPSG:5637).

Sonuç olarak TATH sıralaması ve yüksek tehlike kümesi, ağırlık seçimine karşı karardır; yorumun dayandığı bulgular (İzmit Körfezi ekseninin baskınlığı, İstanbul sanayi bandı, Çorlu–Ergene ve Gemlik–Bandırma kuşakları) ağırlıkların makul aralıkta değiştirilmesiyle değişmemektedir. Aynı analiz risk yüzeyi için tekrarlandığında kararlılık daha da yüksektir (sınıf değişimi ortalama %0,31, hücrelerin %98,1'i tam kararlı); bunun nedeni riskin, tehlikeye ek olarak nüfus ve yapıları çevre gibi ağırlık seçiminden bağımsız katmanlarla çarpılmasıdır.

Sel-taşkın katmanının bileşime giriş biçimi. Doğal tetikleyici bileşimi, üç katmanın da hazır olmasıyla birlikte iki farklı kuralla hesaplanmış ve her ikisi de sayısal olarak üretilmiştir. A seçeneğinde ağırlıklar sabit tutulur (0,55 deprem + 0,25 sel-taşkın + 0,20 heyelan) ve taşkın etkisi dışındaki hücrelerde sel-taşkın terimi sıfır değer üretir; bu kuralla bölge kara ortalaması 0,242'dir. B seçeneğinde ağırlıklar her hücre için o hücrede veri taşıyan katmanlar üzerinden yeniden normalize edilir; taşkın etkisi dışındaki hücrelerde bileşim yalnızca deprem ve heyelandan oluşur ve bölge kara ortalaması 0,312'ye yükselir. A seçeneği, taşkın etkisinin bulunmamasını gerçek bir tetikleyici yokluğu sayarak tetikleyici düzeyini bölge genelinde düşürür; B seçeneği ise sel-taşkını yalnızca kapsadığı alanda etkili kılıp diğer alanlarda deprem-heyelan dengesini bozmadan korur. Her iki yüzey de MARAP_500m_ciktilar klasöründe MARAP_TATH_dogal_tetikleyici_tam_500m.tif (A) ve MARAP_TATH_dogal_tetikleyici_tamB_500m.tif (B) adlarıyla saklanmakta olup, nihai seçim 6.6'daki duyarlılık analizi sonuçlarına göre yapılmış ve gerekçesiyle raporlanmıştır.

6.7 Adım 6 — Bileşik Tehlike Yüzeyinin Hesaplanması

Normalize ve ağırlıklandırılmış bileşen katmanları, raster hesaplayıcı (Raster Calculator) ile birleştirilerek bileşik teknolojik tehlike yüzeyi üretilir. Birleştirmede iki yaklaşım kullanılabilir: en yüksek değerin alındığı (maksimum) kural, herhangi bir kaynaktan gelen yüksek tehlikenin baskın olmasını sağlar; ağırlıklı toplam ise bileşenlerin birlikte katkısını yansıtır. Yöntem seçimi, tehlike türünün doğasına göre yapılır ve raporlanır. Sonuç, her grid hücresi için tek bir tehlike değeri taşıyan sürekli bir yüzeydir.

6.7.1 Bileşik Yüzeyin Hesaplanması: Uygulanan Yöntem

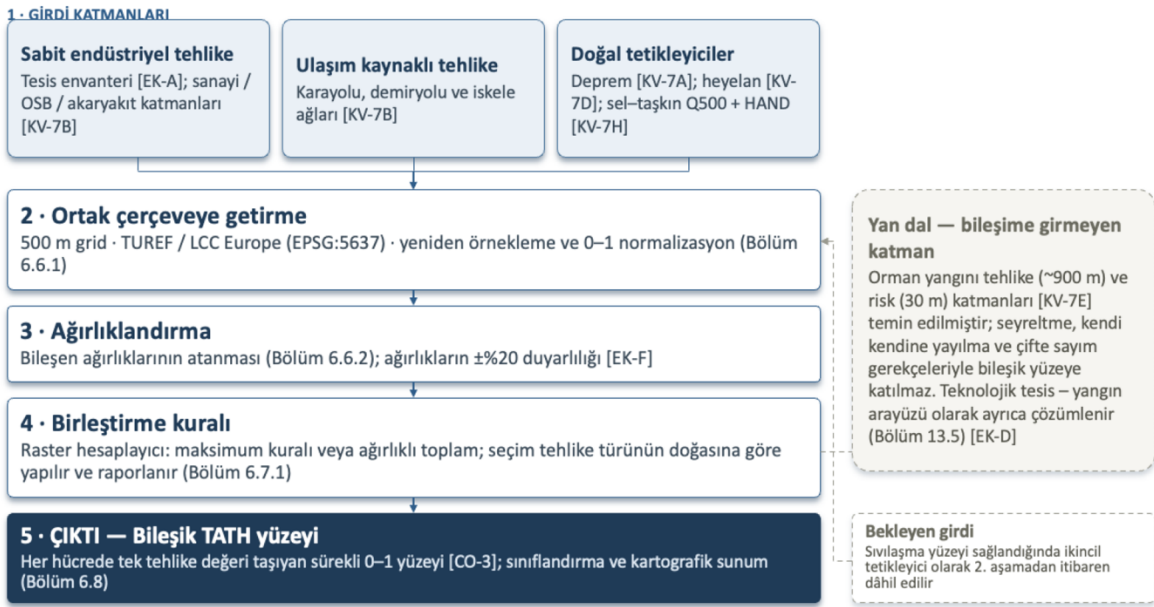
NaTech tehlikesinin tanımı gereği bir teknolojik kaza, hem tehlikeli madde bulunduran bir kaynağın hem de onu tetikleyecek bir doğal olayın aynı yerde bulunmasını gerektirir. Bu nedenle bileşik yüzey, saf ağırlıklı toplam yerine iki düzeyli ve çarpımsal bir kuralla hesaplanmıştır. Birinci düzeyde teknolojik tehlike-kaynağı, sabit endüstriyel (0,65) ve hareketli/ulaşım (0,35) katmanlarının ağırlıklı toplamı olarak elde edilmiştir. İkinci düzeyde doğal tetikleyici bileşimi, üç doğal tetikleyicinin tamamı üzerinden kurulmuştur: 0,55 deprem + 0,25 sel-taşkın + 0,20 heyelan. Bu bileşim için iki seçenek üretilmiş ve her ikisi de saklanmıştır.

A seçeneğinde ağırlıklar sabit tutulur ve taşkın etkisi bulunmayan hücrelerde sel-taşkın terimi sıfır katkı verir; bölge kara ortalaması 0,244'tür.

B seçeneğinde ağırlıklar her hücrede o hücrede veri taşıyan katmanlar üzerinden yeniden normalize edilir ve ortalama 0,316'ya yükselir.

Raporun ana gösteriminde A seçeneği kullanılmıştır; taşkın etkisinin bulunmaması, veri eksikliği değil gerçek bir tetikleyici yokluğu sayıldığından bu seçenek fiziksel olarak daha savunulabilir. Bileşik TATH yüzeyi, teknolojik tehlike-kaynağı ile doğal tetikleyici bileşiminin hücre bazında çarpımı olarak hesaplanmış ve 0–1 aralığına normalize edilmiştir.

Bileşik teknolojik afet tehlike (TATH) yüzeyinin üretim akışı



Şekil 6-12 Bileşik teknolojik tehlike yüzeyinin (TATH) üretim akışı; orman yangını katmanı bileşime girmeyen yan dal olarak gösterilmiştir.

Bileşen	Formül / ağırlık
Teknolojik tehlike-kaynağı	$0,65 \times \text{Sabit} + 0,35 \times \text{Hareketli}$
Doğal tetikleyici	$0,55 \times \text{Deprem} + 0,25 \times \text{Sel-taşkın} + 0,20 \times \text{Heyelan}$
Bileşik NaTech (TATH)	Teknolojik-kaynak $\times$ Tetikleyici (0–1 normalize)

Çarpımsal kuralın sonucu, tehlikenin yalnızca tehlikeli tesislerin bulunduğu ve aynı zamanda doğal tetikleme potansiyelinin yüksek olduğu alanlarda yoğunlaşmasıdır; tesis bulunmayan kırsal alanlarda değer sıfıra yaklaşır. Bu davranış, NaTech riskinin noktasal/kümesel doğasıyla tutarlıdır ve tehlikeyi genele yayan ağırlıklı toplamdan bilinçli olarak ayrılmaktadır.

6.7.2 Bileşik Sonuçlar

Üretilen bileşik yüzeyde en yüksek TATH değeri, İzmit Körfezi–Körfez–Kocaeli ekseninde (TÜPRAŞ İzmit Rafinerisi, OPET Körfez Terminali ve İGSAŞ tesislerinin bulunduğu kuşak) ortaya çıkmaktadır; burası hem en yüksek endüstriyel tehlike

çekirdeğini hem de en yüksek deprem tetikleyicisini barındırdığından bölgenin en kritik NaTech odağıdır.

İkincil yüksek odaklar Gebze–Dilovası, İstanbul sanayi bölgeleri, Sakarya/Adapazarı, Çorlu–Çerkezköy ve Gemlik–Bandırma kıyı şerididir. Ulaşım koridorları (TEM/D-100 ve ana yollar), tehlikeli madde taşımacılığı ile deprem tetiklemesinin çakışması nedeniyle düşük düzeyli sürekli bir NaTech kuşağı olarak belirmektedir.

Beş sınıflı gösterimde MARAP kara alanının %88,67'si ihmal/çok düşük (62.918 km²), %8,11'i düşük (5.755 km²), %2,46'sı orta (1.745 km²), %0,63'ü yüksek (447 km²) ve %0,13'ü çok yüksek (95 km²) tehlike sınıfındadır. Yüksek ve çok yüksek sınıfların toplamı 546,2 km²'dir. Bu yoğunlaşma çarpımsal kuralın doğrudan sonucudur ve NaTech tehlikesinin noktasal/kümesel doğasıyla tutarlıdır. Bileşik TATH'ın il bazında ortalaması ve yüksek sınıf alanları Tablo 6-17'de verilmiştir.

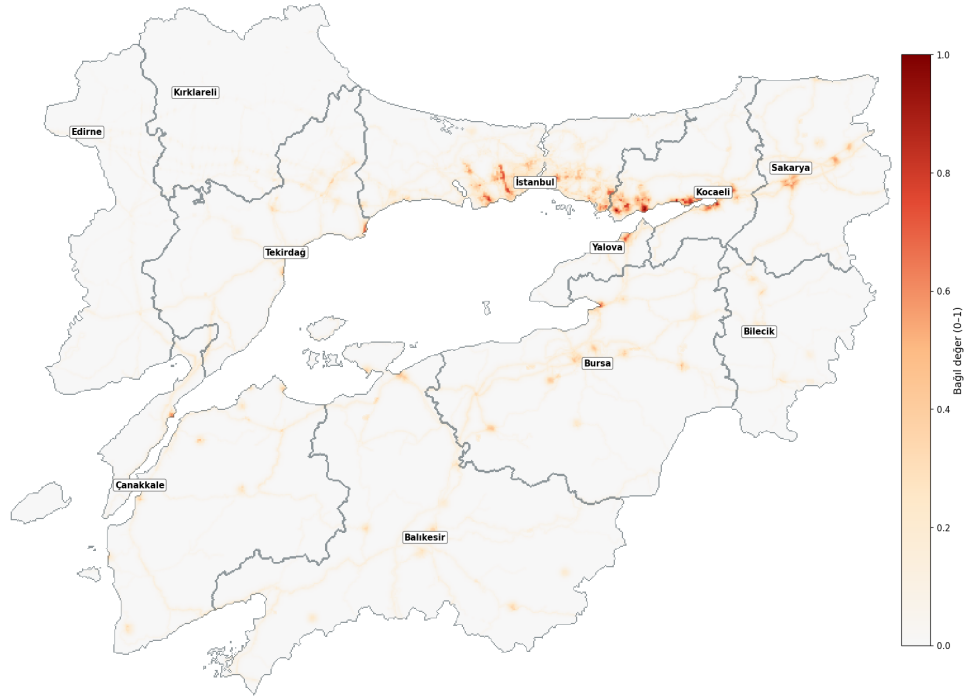
Tablo 6-17 Bileşik TATH'ın il bazında ortalaması ve yüksek/çok yüksek sınıf alanı.

İl	TATH ortalaması	Yüksek ve üzeri (km ²)	İl	TATH ortalaması	Yüksek ve üzeri (km ²)
İstanbul	0,0685	196	Çanakkale	0,0128	9
Kocaeli	0,0675	224	Balıkesir	0,0125	9
Yalova	0,0397	13	Bilecik	0,0094	0
Sakarya	0,0280	45	Edirne	0,0056	0
Bursa	0,0192	29	Kırklareli	0,0038	0
Tekirdağ	0,0190	18	—	—	—

İl bazında İstanbul en yüksek ortalama tehlikeye (0,0685), Kocaeli ise en geniş yüksek tehlike alanına (224 km²) sahiptir; iki il ortalamada birbirine çok yakındır (0,0685 ve 0,0675); İstanbul ortalamada çok yakındır (0,0613) ancak yüksek tehlike alanı 150 km² ile bir miktar dardır. Edirne ve Kırklareli'de yüksek sınıfa giren hücre bulunmamaktadır: bu iki ilde tehlike-kaynağı ile deprem tetikleyicisinin çakışması yoktur. Bileşik tehlike yüzeyi Şekil 6-13'de, sabit eşikli beş sınıflı gösterimi Şekil 6-14'te verilmiştir.

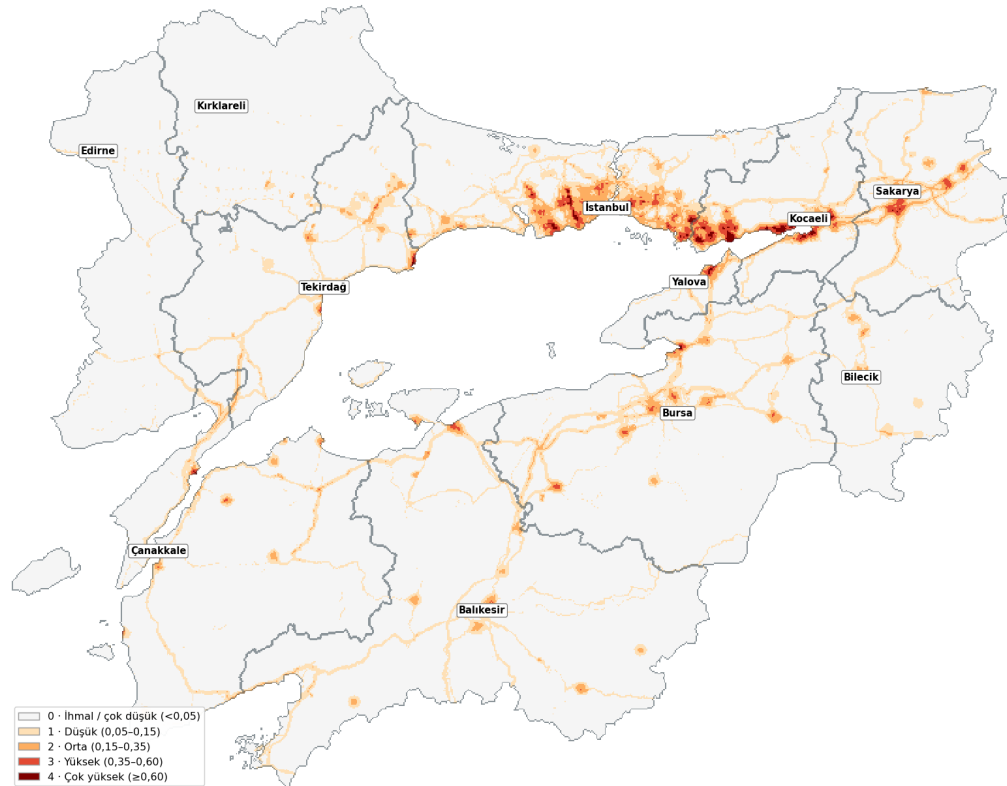
Ön sürüm ve sonraki adımlar. Sonraki adımlar. Bileşik TATH, risk hesabının 'Tehlike' bileşeni olarak kullanılmıştır; bölge geneli ve koridor bazlı ayrıntılı tehlike ve risk çözümlemeleri Bölüm 9'da sunulmaktadır. Ağırlıkların ve çarpımsal kuralın kararlılığı Bölüm 6.6.2'deki duyarlılık analiziyle sınanmış, sonucun ağırlık seçimine karşı dayanıklı olduğu gösterilmiştir. Bileşik TATH, risk hesabının ($R = \text{Tehlike} \times \text{Maruziyet} \times \text{Kırılganlık} / \text{Yönetilebilirlik}$) "Tehlike" bileşeni olarak kullanılmıştır. Ağırlık kümesinin kesinleştirilmesinde AHP/BWM temelli uzman değerlendirmesi bir sonraki sürüm için önerilmektedir.

MARAP · Bileşik Teknolojik Afet Tehlike Haritası (TATH) — bağıl 0-1
Teknolojik tehlike-kaynağı × doğal tetikleyici (A: 0,55 deprem + 0,25 sel + 0,20 heyelan) · 500 m grid · EPSG:5637 · MARAP 11 il tam



Şekil 6-13 Bileşik Teknolojik Afet Tehlike Haritası (TATH) — bağıl 0–1. Teknolojik tehlike-kaynağı × doğal tetikleyici (0,55 deprem + 0,25 sel-taşkın + 0,20 heyelan).

MARAP · Bileşik TATH Sınıfları (5 sınıflı)
500 m grid · EPSG:5637 · MARAP 11 il tam kapsam (283.842 hücre · 70.960 km²)



Şekil 6-14 Bileşik TATH sınıfları — sabit eşikli gösterim (5 sınıflı). Yüksek ve çok yüksek sınıflar sanayi kümeleriyle sınırlıdır; 500 m grid (EPSG:5637).

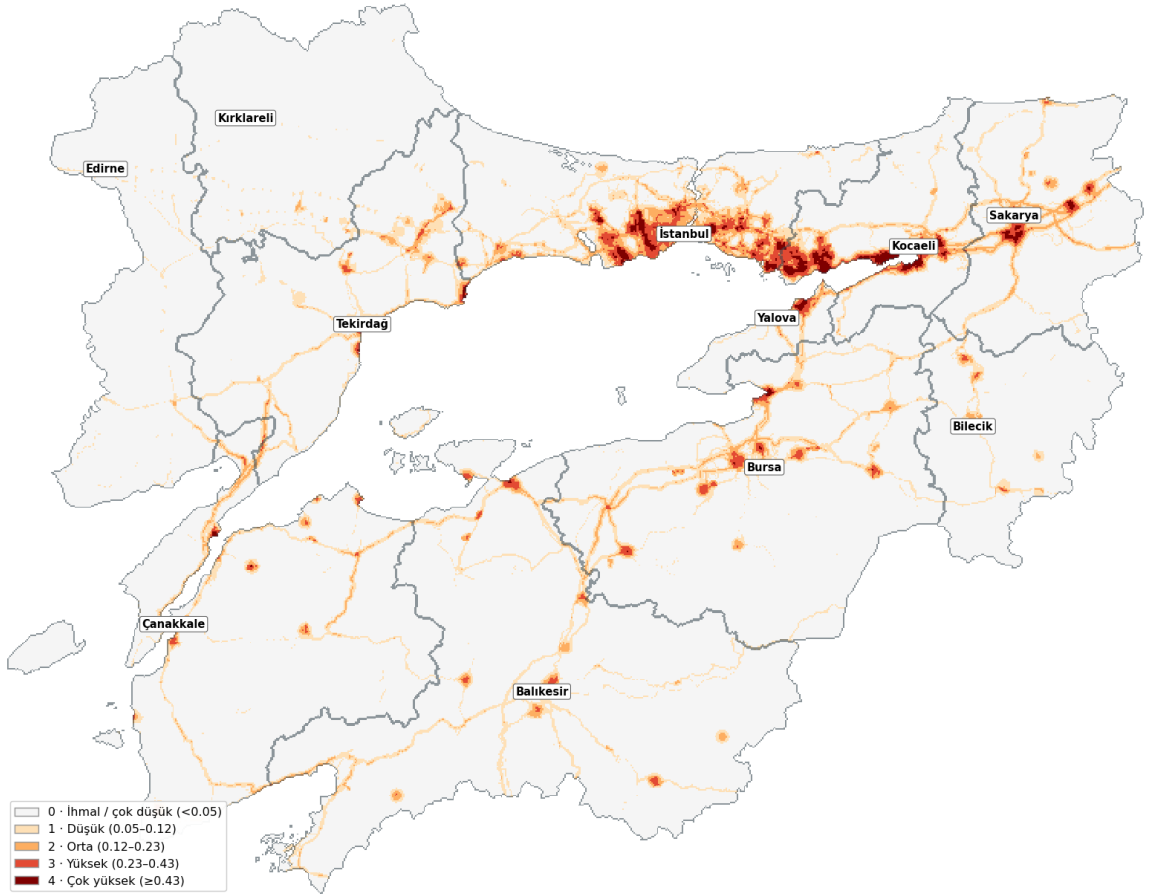
6.8 Adım 7 — Sınıflandırma ve Kartografik Sunum

Bileşik tehlike yüzeyi beş sınıfa (İhmal/Çok Düşük – Düşük – Orta – Yüksek – Çok Yüksek) ayrılmıştır. Sınıflandırmada iki sınıflandırma kurgusu birlikte raporlanmaktadır; bu bilinçli bir tercihtir, çünkü çarpımsal kuralla üretilen bir yüzeyde eşik seçimi üst sınıfların genişliğini doğrudan belirlemektedir.

Ana gösterimde sabit eşikler (0,05 / 0,15 / 0,35 / 0,60) kullanılmıştır. Bu eşikler bütün bileşen katmanlarında da geçerli olduğundan katmanlar arası karşılaştırmayı mümkün kılar ve veri güncellendiğinde değişmez; dolayısıyla izleme için uygundur. Buna karşılık üst sınıfları dar tutar: yüksek ve çok yüksek sınıfların toplamı 546,2 km²'de kalır ve İzmit–İstanbul eksenini dışındaki sanayi odakları neredeyse görünmez hâle gelir.

İkinci gösterimde, 0,05 tabanı korunarak üst üç eşik veriden türetilmiştir (k-ortalamalar temelli doğal kırılım): 0,05 / 0,12 / 0,23 / 0,43. Bu kurgu üst sınıfları planlamaya elverişli genişliğe taşır ve bölgesel sanayi odaklarını görünür kılar; ancak eşikler veri güncellendiğinde kayacağı için sürümler arası karşılaştırmaya elverişli değildir. İki sınıflandırma kurgusuna göre alan dağılımı Tablo 6-18'de verilmiştir.

MARAP · Bileşik TATH Sınıfları — doğal kırılım (k-ortalamalar)
500 m grid · EPSG:5637 · MARAP 11 il tam kapsam (283.842 hücre · 70.960 km²)



Şekil 6-15 Bileşik TATH sınıfları — doğal kırılımlı gösterim (0,05 / 0,12 / 0,23 / 0,43).

Tablo 6-18 Bileşik TATH'ın iki sınıflandırma kurgusuna göre alan dağılımı.

Sınıf	Sabit eşik — aralık	Alan (km ²)	Pay	Doğal kırılım — aralık	Alan (km ²)	Pay
İhmal / çok düşük	< 0,05	62.918	%88,67	< 0,05	62.918	%88,67
Düşük	0,05–0,15	5.755	%8,11	0,05–0,12	4.910	%6,92
Orta	0,15–0,35	1.745	%2,46	0,12–0,23	1.937	%2,73
Yüksek	0,35–0,60	447	%0,63	0,23–0,43	874	%1,23
Çok yüksek	≥ 0,60	95	%0,13	≥ 0,43	321	%0,45

Farkın karar açısından anlamı il düzeyinde görülür: sabit eşikle Balıkesir'de 9 km², Bursa'da 29 km² 'yüksek ve üzeri' alan çıkarken, doğal kırılımla bu değerler 54 ve 110 km²'ye yükselir. Bu nedenle bölge geneli izleme ve sürümler arası karşılaştırma için sabit eşikli harita, il ve koridor düzeyinde önceliklendirme için doğal kırılımlı harita önerilmektedir. Haritalar iki ölçekte hazırlanmıştır: Marmara Bölgesi geneli için bütünsel dağılım ve seçilmiş sanayi kümeleri için ayrıntılı haritalar (Bölüm 9). Kartografik sunumda tutarlı bir renk düzeni, ölçek, kuzey oku, lejant ve kaynak bilgisi kullanılmıştır. Doğal kırılımlı gösterim Şekil 6-15'te verilmiştir.

6.9 Adım 8 — Doğrulama, Duyarlılık ve Kalite Kontrol

Üretilen tehlike yüzeyi; bilinen tesis konumları, geçmiş olay kayıtları ve uzman değerlendirmesiyle karşılaştırılarak mantıksal tutarlılık açısından denetlenir. Ağırlıklandırma tercihlerinin ve etki zonu parametrelerinin sonuçlara etkisi duyarlılık analiziyle test edilir. Ayrıca veri güncelliği, konum doğruluğu ve öznitelik bütünlüğü kalite kontrolünden geçirilir. Tüm iş akışı, QGIS grafiksel model düzenleyicisinde otomatikleştirilerek, veriler güncellendiğinde tehlike yüzeyinin yeniden üretilmesi sağlanır.

Envanter kapsamına ilişkin duyarlılık analizi. Tehlike yüzeyi, envanterin hangi kesiminin çekirdek olarak kullanıldığına karşı sınanmıştır. Üç senaryo, resmî kaydın kapsamı ile tamamlayıcı unsurların katkısını birbirinden ayırmayı amaçlar. Senaryolara göre tehlike sınıfı dağılımı Tablo 6-19'da verilmiştir.

Senaryo	Yüzeye giren çekirdekler	Kayıt
R1 — Yalnız resmî	Yalnızca resmî BEKRA kuruluşları	220
R2 — Tam (ana senaryo)	Resmî kuruluşlar + tamamlayıcı unsurlar + açık kaynak kayıtları	262
R3 — Yalnız üst seviye	Yalnızca “Üst Seviye” resmî kuruluşlar; en muhafazakâr tarama	121

Tablo 6-19 Envanter kapsamı senaryolarına göre tehlike sınıfı dağılımı (hücre sayısı).

Senaryo	Çok yüksek	Yüksek	Orta	Düşük	Çok düşük	≥0,05 toplam
R1	693	1.191	3.748	4.886	5.232	15.750
R2	826	1.458	4.086	5.441	5.728	17.539
R3	693	1.018	2.466	4.127	4.553	12.857

Üç senaryonun “çok yüksek” zonu birbirine yakındır: R1 ve R3 aynı 693 hücreyi, R2 ise bunlara ek olarak tamamlayıcı unsurların çevresindeki 133 hücreyi kapsar. Bu, bölgenin en yüksek tehlike çekirdeklerinin bütünüyle üst seviyeli resmî kuruluşlardan kaynaklandığını göstermektedir; alt seviyeli kuruluşlar ile liman ve organize sanayi bölgesi gibi tamamlayıcı unsurlar esas olarak “orta” ve “yüksek” sınıflarını genişletmektedir. Karar açısından sonuç şudur: öncelikli denetim ve nicel derinleşme için seçilecek alanlar, envanterin hangi kesiminin kullanıldığından bağımsız olarak kararlıdır.

Açık kaynaklı envanterle üretilen önceki yüzeyle karşılaştırma Bölüm 6.3.4'te verilmiştir; değerlendirilen hücrelerin %65,8'sinin sınıf değiştirmesi, resmî veriye geçişin yalnızca bir doğrulama değil, kapsamın kendisinde bir sıçrama olduğunu göstermektedir. Bu nedenle önceki sürüme ait sayısal değerler bu raporda saklı tutulmamış, tüm bulgular resmî envanter üzerinden yeniden üretilmiştir.

Yeniden üretilebilirlik. Veri hazırlama, temizleme ve yüzey üretimi adımlarının tamamı proje deposunda saklanan betiklerle yürütülmektedir. Kaynak dosyalar güncellendiğinde envanter, tehlike yüzeyi, işlem günlüğü ve kalite göstergeleri tek bir çalıştırmayla yeniden üretilebilir; her kaydın hangi ham bildirimden geldiği ve konumunun hangi yöntemle belirlendiği izlenebilir durumdadır (bkz. Bölüm 6.2.1).

6.10 QGIS Araç ve Fonksiyon Karşılıkları

Aşağıdaki tablo, iş akışındaki temel işlemlerin QGIS'teki başlıca araç karşılıklarını özetler. Araç adları sürüme göre değişebilir; eşdeğer işlevler diğer CBS yazılımlarında da bulunur.

İşlem	QGIS aracı / fonksiyonu
Koordinat sistemi dönüşümü	“Reproject Layer” (vektör) / “Warp (Reproject)” (raster)
Analiz gridi (fishnet) oluşturma	“Create Grid”
Etki zonu / güvenlik mesafesi	“Buffer” / “Multi-ring buffer (constant distance)”
Mesafeye bağlı azalım	“Proximity (Raster Distance)” + “Raster Calculator”
Nokta yoğunluğu (kaza)	“Heatmap (Kernel Density Estimation)”
Çizgi yoğunluğu (koridor)	“Line Density” / kernel yaklaşımı
Vektör → raster	“Rasterize (Vector to Raster)”
Yeniden sınıflandırma	“Reclassify by Table” / “r.reclass”
Hücreye toplulaştırma	“Zonal Statistics” / “Join Attributes by Location (Summary)”
Katman birleştirme ve ağırlıklama	“Raster Calculator”
Normalizasyon (min-maks)	“Raster Calculator” / “Field Calculator”
Sınıflandırma ve sembol	Katman sembolojisi (graduated) / “Reclassify”
İş akışı otomasyonu	“Graphical Modeler” (Processing model)

6.11 Tehlikeden Riske Geçiş: Ön Kavramsal Çerçeve

Bu bölümde üretilen tehlike yüzeyi, riskin yalnızca bir bileşenidir. Teknolojik afet ve NaTech riski, tehlikenin; maruziyet (etkilenebilecek nüfus, yapı, altyapı ve çevresel varlıklar) ve kırılabilirlik (bu unsurların zarar görme eğilimi) ile birleşmesinden doğar. Risk, Bölüm 4.2’de tanımlanan çerçeveye göre — Risk = (Tehlike × Maruziyet × Kırılabilirlik) / Yönetilebilirlik — hesaplanmıştır. Yani aynı tehlike düzeyine sahip iki alan, maruziyet ve kırılabilirlik koşullarına bağlı olarak farklı risk taşıyabilir. Bu nedenle tehlike haritası tamamlandıktan sonra sırasıyla maruziyet ve kırılabilirlik katmanları üretilmiş; NaTech ve domino etkileri tehlike-etkileşim ağırlığı olarak dâhil edilmiş ve yönetilebilirlik bileşeni toplam riski azaltan çarpan olarak uygulanmıştır. Elde edilen bileşik risk yüzeyi beş sınıfa ayrılarak bölge geneli ve küme bazlı risk haritalarına dönüştürülmüştür. Orta ve üzeri riskli kümeler, tesis bazlı nicel değerlendirme ve kademeli envanter doğrulaması için öncelikli olarak ele alınacaktır. Maruziyet ve kırılabilirlik katmanlarının teknik iş akışı, izleyen bölümde ayrıntılandırılacaktır.

Bu çerçeve uygulanmış ve bölgenin teknolojik afet risk yüzeyi üretilmiştir. Maruziyet katmanı nüfus (gece ve gündüz), yapı çevre, kritik tesisler ve CORINE çevresel varlık sınıflarından; kırılabilirlik katmanı yapı stoğunun dönemsel dağılımı ile savunmasız nüfus yoğunlaşmasından; yönetilebilirlik katmanı ise itfaiye ve acil servisli hastane erişilebilirliğinden oluşturulmuştur. Bileşik risk yüzeyinin bölge geneli ve etkin koridorlar bazındaki ayrıntılı çözümlemesi Bölüm 9’da sunulmaktadır.

7 MARUZİYET-KIRILGANLIK HARİTALARININ ÜRETİMİ

Bu bölüm, risk denkleminin tehlike dışındaki iki bileşeni olan maruziyet ve kırılabilirlik haritalarının Coğrafi Bilgi Sistemleri ortamında nasıl üretileceğini teknik düzeyde açıklar. Anlatım, 6. bölümdeki tehlike iş akışıyla aynı çerçeveyi (ortak koordinat sistemi, 500 × 500 m grid, ortak ölçeğe normalize etme) izler ve gerekli girdi katmanlarının hazır olduğu varsayımına dayanır. Maruziyet, bir tehlikenin gerçekleşmesi hâlinde etkilenebilecek unsurların yoğunluğunu; kırılabilirlik ise bu unsurların zarar görme eğilimini temsil eder.

7.1 Genel Çerçeve ve Ön Kabuller

İş akışı, tehlike bileşeninde olduğu gibi üç ön kabule dayanır: tüm katmanlar ortak koordinat sistemine (EPSG:5637 – TUREF / LCC Europe) dönüştürülür; tüm ara çıktılar 500 × 500 m’lik hücrelere indirgenir; ve her gösterge ortak bir ölçeğe (1–5 veya [0–1]) normalize edilir. Maruziyet ve kırılabilirlik, ayrı ayrı bileşik yüzeyler olarak üretilir ve daha sonra tehlike ile birlikte risk hesabında birleştirilir. İdari birim düzeyindeki veriler (örneğin mahalle nüfusu), dasimetrik dağıtım yöntemleriyle grid çözünürlüğüne indirgenir.

7.2 Gündüz-Gece Nüfus Maruziyetinin Modellenmesi

Nüfus maruziyeti, kaza zamanına duyarlı biçimde gündüz ve gece senaryoları için ayrı ayrı üretilir. İdari birim (mahalle/ilçe) düzeyindeki nüfus, doğrudan hücrelere eşit dağıtılmak yerine; yerleşim alanları, bina/yapı yoğunluğu veya arazi kullanımı gibi yardımcı katmanlar kullanılarak dasimetrik yöntemle grid hücrelerine dağıtılır. Böylece nüfusun mekânsal dağılımı daha gerçekçi temsil edilir.

Gece senaryosunda nüfus ağırlıklı olarak yerleşim alanlarına; gündüz senaryosunda ise sanayi bölgeleri, iş merkezleri, okullar ve hastaneler gibi çekim noktalarına kaydırılır. İki senaryo, ilgili tehlike zamanına göre ayrı maruziyet katmanları oluşturur ve normalize edilir.

7.3 Yapılı Çevre ve Hassas Kullanımların Maruziyeti

Yapılı çevre maruziyeti; yerleşim dokusu, yapı yoğunluğu ve ekonomik değer taşıyan alanların mekânsal dağılımından üretilir. Bunun yanında hastane, okul ve eğitim alanları gibi hassas kullanımlar ayrı bir katman olarak ele alınır ve daha yüksek bir maruziyet ağırlığıyla değerlendirilir; çünkü bu tesislerdeki nüfus, tahliye ve müdahale açısından özel önem taşır. Hassas kullanımlar, konumları çevresinde tanımlı bir etki yarıçapıyla (tampon) veya doğrudan bulundukları hücrede yüksek değer atanarak gride aktarılır.

7.4 Ulaşım, Liman ve Kritik Altyapı Maruziyeti

Bu katman; karayolu ve demiryolu ağları, limanlar ve kritik altyapı unsurlarının (enerji, su/atıksu, haberleşme) mekânsal varlığından üretilir. Bu unsurlar hem doğrudan zarar görebilecek varlıklar hem de kesintileri diğer sistemleri etkileyen kritik düğümler olarak maruziyete katkı verir. Çizgisel ağlar yoğunluk veya varlık göstergesiyle, noktasal/alansal altyapılar ise konum ve etki yarıçapıyla grid hücrelerine aktarılır ve normalize edilir.

7.5 Bileşik Maruziyet Yüzeyinin Üretimi

Nüfus (gündüz/gece), yapılı çevre ve hassas kullanımlar ile ulaşım-liman-kritik altyapı katmanları, ortak grid üzerinde normalize edilir ve çok ölçütlü karar analiziyle (AHP/BWM) belirlenen ağırlıklarla birleştirilir. Sonuçta, bir tehlikenin gerçekleşmesi hâlinde en yüksek maruziyetin görüldüğü alanları temsil eden bileşik bir maruziyet yüzeyi elde edilir. Bu yüzey beş sınıfa ayrılarak haritalanabilir ve risk hesabında girdi olarak kullanılır.

7.6 Kırılgenlik Boyutlarının Tanımı ve Hesaplanması

Kırılgenlik indeksi dört boyuttan oluşur ve her boyut kendi göstergeleriyle hesaplanır. Tüm boyutlar ortak 500 m grid üzerinde, aynı hücre geometrisiyle hesaplanır. Boyutlar, göstergeleri ve hesaplama yaklaşımları aşağıdaki tabloda özetlenmiştir.

Tablo 7-1 Kırılgenlik indeksi boyutları, göstergeleri ve hesaplama yaklaşımları.

Kırılgenlik boyutu	Göstergeler	Hesaplama yaklaşımı
Fiziksel	Yerleşim dokusunun sıklığı; yapı stokunun niteliği; altyapı bağımlılığı	Göstergeler grid hücrelerine aktarılır ve ortak ölçeğe normalize edilir
Sosyal	Yaşlı ve çocuk nüfus oranı; nüfus yoğunluğu (demografik hassasiyet)	Demografik göstergelerin hücre bazında normalize edilmesi
Çevresel	Akarsu ve kıyı yakınlığı üzerinden kirlenici taşınımı ve ekosistem duyarlılığı	Su yüzeylerine mesafe (tampon/uzaklık) katmanları
Erişilebilirlik	Müdahale birimlerine (itfaiye, acil durum, hastane) erişim güçlüğü	Mesafe veya ağ analizi ile erişim süresi/hizmet alanı (bkz. Bölüm 7.7)

Her gösterge grid hücrelerine aktarılır ve ortak ölçeğe normalize edilir. Göstergeler önce boyut içinde, ardından boyutlar arasında ağırlıklandırılarak birleştirilir; böylece her boyut için bir alt-indeks ve nihai olarak bileşik bir kırılgenlik değeri üretilir. Boyut ağırlıkları çok ölçütlü karar analiziyle (AHP/BWM) belirlenir ve duyarlılık analizinde sınanır; bileşik indeks beş sınıfa ayrılarak haritalanır.

7.7 Erişilebilirlik ve Müdahale Kapasitesi Analizi

Erişilebilirlik boyutu, kırılgenliğin kritik bir bileşenidir ve müdahale birimlerine (itfaiye, acil durum, hastane) erişim güçlüğü temsil eder. Bu boyut iki yaklaşımla hesaplanabilir: en yakın müdahale birimine kuş uçuşu veya ağ (karayolu) üzerinden mesafe; ve ağ analizi ile üretilen erişim süresi/hizmet alanı (service area). Eğim ve topografya, erişim süresini etkileyen ek bir faktör olarak modele dâhil edilebilir. Müdahale erişiminin zayıf olduğu (uzak, eğimli veya tek güzergâhla bağlı) alanlar, daha yüksek kırılgenlik taşır.

7.8 Bileşik Kırılgenlik İndeksinin Üretimi

Dört boyuta ait alt-indeksler (fiziksel, sosyal, çevresel, erişilebilirlik), çok ölçütlü karar analiziyle (AHP veya En İyi-En Kötü Yöntemi) belirlenen ağırlıklarla birleştirilerek bileşik kırılgenlik indeksi üretilir. Ağırlıklar uzman görüşü ve literatürle desteklenir ve duyarlılık analizinde sınanır. Elde edilen indeks, aynı tehlike ve maruziyet düzeyine sahip iki alanın kırılgenlik farkı nedeniyle farklı risk taşıyabileceğini görünür kılar ve beş sınıfa ayrılarak haritalanır.

7.9 QGIS Araç ve Fonksiyon Karşılıkları

Aşağıdaki tablo, maruziyet ve kırılgenlik iş akışındaki temel işlemlerin QGIS'teki başlıca araç karşılıklarını özetler.

İşlem	QGIS aracı / fonksiyonu
Nüfusun gride dasimetrik dağıtımı	"Rasterize" + ağırlık katmanı + "Raster Calculator"
İdari veriyi hücreye aktarma	"Join Attributes by Location (Summary)" / "Zonal Statistics"
Hassas kullanım etki yarıçapı	"Buffer"
En yakın birime mesafe	"Distance to Nearest Hub" / "Join by Nearest"
Ağ üzerinden erişim / hizmet alanı	"Service Area (from layer)" / QNEAT3 / GRASS network
Su yüzeyine uzaklık (çevresel)	"Proximity (Raster Distance)" / "Buffer"
Gösterge normalizasyonu (min-maks)	"Raster Calculator" / "Field Calculator"
Boyut ve bileşen birleştirme (ağırlıklı)	"Raster Calculator"
Sınıflandırma ve sembol	Katman sembolojisi (graduated) / "Reclassify"
İş akışı otomasyonu	"Graphical Modeler" (Processing model)

7.10 Doğrulama ve Kalite Kontrol

Üretilen maruziyet ve kırılganlık yüzeyleri; nüfus dağılımı, hassas kullanım konumları ve müdahale birimlerinin gerçek konumlarıyla karşılaştırılarak mantıksal tutarlılık açısından denetlenir. Ağırlıklandırma tercihlerinin sonuçlara etkisi duyarlılık analiziyle test edilir; veri güncelliği, konum doğruluğu ve öznitelik bütünlüğü kalite kontrolünden geçirilir. Tüm iş akışı, veriler güncellendiğinde yeniden üretilebilecek biçimde otomatikleştirilir.

7.11 Maruziyet ve Kırılganlığın Risk Hesabındaki Yeri

Bu bölümde üretilen bileşik maruziyet ve kırılganlık yüzeyleri, 6. bölümdeki tehlike yüzeyi ile birlikte risk hesabının üç temel bileşenini tamamlar. Risk, Bölüm 4.2'de tanımlanan formülasyona göre — Risk = (Tehlike × Maruziyet × Kırılganlık) / Yönetilebilirlik — hesaplanmıştır; NaTech ve domino etkileri tehlike-etkileşim ağırlığı olarak, yönetilebilirlik ise riski azaltan çarpan olarak dâhil edilmiştir. Üç bileşen, hesap öncesinde ortak 500 m grid üzerinde 0–1 aralığına normalize edilir; maruziyet bileşeni gündüz ve gece olmak üzere iki senaryoyla kurulduğundan risk yüzeyi de bu iki senaryo için ayrı ayrı üretilir. Bileşenlerin birleştirilmesiyle üretilen bileşik risk yüzeyi ve harita ürünlerinin teknik iş akışı, izleyen bölümde ele alınmaktadır.

8 BİLEŞİK RİSK YÜZEYİNİN VE RİSK HARİTALARININ ÜRETİMİ

Bu bölüm, 6. ve 7. bölümlerde üretilen tehlike, maruziyet ve kırılabilirlik yüzeylerinin; NaTech, domino ve yönetilebilirlik bileşenleriyle birlikte tek bir bileşik risk yüzeyinde birleştirilmesini ve risk haritalarına dönüştürülmesini teknik düzeyde açıklar. İş akışı, önceki bölümlerle aynı çerçeveyi (ortak koordinat sistemi, 500 × 500 m grid, ortak ölçeğe normalize etme) izler ve Bölüm 4.2’de tanımlanan risk formülasyonunu uygular.

8.1 Genel Çerçeve ve Ön Kabuller

Risk hesabı, tüm bileşen katmanlarının aynı grid, aynı koordinat sistemi ve aynı ölçekte hazır olduğu varsayımıyla yürütülür. Risk, Bölüm 4.2’de tanımlandığı gibi tehlike, maruziyet ve kırılabilirliğin çarpımsal fonksiyonu olarak, yönetilebilirlikle azaltılarak hesaplanır. Çarpımsal yapı, bileşenlerden herhangi birinin çok düşük olduğu hücrelerde riskin de düşük çıkmasını sağlayarak bileşenler arası etkileşimi yansıtır.

8.2 Adım 1 — Bileşen Katmanlarının Hazırlanması

İlk adımda tehlike, maruziyet, kırılabilirlik, NaTech, domino ve yönetilebilirlik katmanları ortak grid üzerinde hizalanır (aynı hücre boyutu, hizası ve kapsamı). Farklı çözünürlükteki raster katmanlar yeniden örneklenir; tüm katmanlar ortak ölçeğe ([0–1] veya 1–5) normalize edilerek karşılaştırılabilir kılınır. Eksik veri hücreleri ve kenar etkileri denetlenir.

8.3 Adım 2 — NaTech ve Domino Etkilerinin Entegrasyonu

NaTech katmanı (5.5), endüstriyel tehlike ile doğal tehlike yüzeylerinin çakışmasından üretilen tetikleme potansiyelini temsil eder ve tehlike-etkileşim ağırlığını yükselten bir bileşen olarak risk hesabına dâhil edilir. Domino katmanı (5.6) ise tesisler arası zincirleme yayılma potansiyelini, kademeli tamponlar üzerinden ekler. Bu iki katman, tehlike bileşenini pekiştiren çarpanlar veya toplanır bileşenler olarak modele girer; böylece doğal afet tetiklemesinin ve zincirleme etkinin yüksek olduğu hücrelerde risk artar.

8.4 Adım 3 — Yönetilebilirlik Bileşeninin Uygulanması

Yönetilebilirlik katmanı, müdahale ve kurumsal kapasiteyi temsil eder ve toplam riski azaltan bir çarpan olarak uygulanır. Yüksek müdahale kapasitesinin bulunduğu (itfaiye/hastaneye yakın, erişimi kolay) hücrelerde risk azaltılır; müdahale açığının olduğu hücrelerde ise risk göreceli olarak yükselir. Bu adım, kaynak tahsisinde yalnızca tehlike ve maruziyete değil, müdahale kapasitesine de dikkat çekilmesini sağlar.

8.5 Adım 4 — Bileşik Risk Yüzeyinin Hesaplanması

Bileşenler, raster hesaplayıcı (Raster Calculator) ile Bölüm 4.2'deki formülasyona göre birleştirilir: tehlike, maruziyet ve kırılganlık çarpımsal olarak; NaTech ve domino tehlike-etkileşim ağırlığı olarak; yönetilebilirlik ise bölen (azaltıcı çarpan) olarak uygulanır. Bölme işleminde sıfıra bölme hatasını önlemek için yönetilebilirlik değerleri uygun bir alt sınırla ölçeklenir. Sonuç, her grid hücresi için tek bir risk değeri taşıyan sürekli bir yüzeydir. Bileşen ağırlıklarının sonuca etkisi, sonraki adımlarda hassasiyet analiziyle sınanır.

8.6 Adım 5 — Sınıflandırma ve Risk Haritalarının Üretimi

Bileşik risk yüzeyi, diğer İP-4 raporlarıyla uyumlu biçimde beş sınıfa (Çok Düşük – Düşük – Orta – Yüksek – Çok Yüksek) ayrılır. Sınıf sınırları eşit aralık, doğal kırılmalar (Jenks, 1967) veya kantil yöntemleriyle belirlenir ve gerekçesiyle belgelenir. Haritalar iki ölçekte üretilir: Marmara Bölgesi geneli için bütünsel risk dağılımı ve seçilmiş sanayi kümeleri için ayrıntılı paftalar. Küme paftaları, tutarlı bir şablonla ve otomatik pafta üretimi (atlas) yaklaşımıyla hazırlanabilir.

8.7 Adım 6 — Küme Bazlı Önceliklendirme ve Nicel Derinleşme

Bileşik risk sınıflandırması, tesis kümelerinin önceliklendirilmesinde temel alınır. Her küme için, kapsadığı hücrelerin risk değerleri bölge istatistikleriyle (zonal statistics) özetlenir ve kümeler karşılaştırmalı olarak sıralanır. Orta ve üzeri riskli kümeler, tesis bazlı nicel değerlendirme (Fine-Kinney, HAZOP) ve kademeli envanter doğrulaması için öncelikli sıraya alınır. Önceliklendirmede, salt tehlike sınıfı yerine nüfus, yapı stoku, kritik altyapı ve müdahale erişimini birlikte dikkate alan çok ölçütlü bir yaklaşım esas alınır; bu yaklaşımın ayrıntılı puanlama çerçevesi, raporun politika ve strateji bölümünde sunulacaktır.

8.8 Adım 7 — Senaryo, Belirsizlik ve Hassasiyet Analizleri

Risk yüzeyi tek bir kesin sonuç değil, kullanılan veri ve varsayımlar altındaki beklenen dağılım olarak yorumlanır. Senaryo analizinde, farklı tetikleyici olayların (örneğin büyük bir deprem veya bölgesel bir taşkın) risk dağılımını nasıl değiştirdiği incelenir. Belirsizlik analizinde, veri eksikliği ve konum/öznitelik hatalarının sonuçlara yansımaları değerlendirilir. Hassasiyet analizinde ise bileşen ağırlıklarının değişiminin sonuçları ne ölçüde etkilediği test edilerek modelin sağlamlığı ortaya konur.

8.9 Adım 8 — Doğrulama, Kalite Kontrol ve Güncelleme

Üretilen risk yüzeyi; bilinen tesis ve küme konumları, geçmiş olay kayıtları ve uzman değerlendirmesiyle karşılaştırılarak mantıksal tutarlılık açısından denetlenir. Veri güncelliği, konum doğruluğu ve öznitelik bütünlüğü kalite kontrolünden geçirilir. Tüm iş akışı, QGIS grafiksel model düzenleyicisinde otomatikleştirilerek; veriler,

tesis müdahaleleri veya planlama kararları güncellendiğinde risk sonuçlarının yeniden üretilebilmesi sağlanır. Böylece analiz, statik bir çıktı değil, güncellenebilir kurumsal bir kapasite hâline gelir.

8.10 QGIS Araç ve Fonksiyon Karşılıkları

Aşağıdaki tablo, risk hesabı iş akışındaki temel işlemlerin QGIS'teki başlıca araç karşılıklarını özetler.

İşlem	QGIS aracı / fonksiyonu
Bileşen katmanlarını hizalama	"Align Rasters" / "Warp (Reproject)" / "Resample"
Risk formülünün hesaplanması	"Raster Calculator" (çarpım, toplam, bölme)
Bulanık çakıştırma (opsiyonel)	"Fuzzy Membership" / "Fuzzy Overlay"
Sıfıra bölmeyi önleme / koşullu hesap	"Raster Calculator" (koşullu ifadeler)
Beş sınıfa ayırma	"Reclassify by Table" / sembol (graduated)
Küme bazlı özet istatistik	"Zonal Statistics" / "Statistics by Categories"
En yüksek risk hücrelerini seçme	"Extract by Expression/Attribute"
Küme paftalarının üretimi	"Print Layout" + "Atlas"
İş akışı otomasyonu	"Graphical Modeler" (Processing model)

8.11 Çıktılar ve Karar Desteğine Entegrasyon

Risk hesabının uygulanmasıyla üç tür çıktı üretilir: bölge geneli ve küme bazlı bileşik risk haritaları (500 m grid, beş sınıflı); orta ve üzeri riskli kümeler için tesis bazlı nicel değerlendirmeye desteklenmiş ayrıntılı harita ve önceliklendirme tabloları; ve tekrar üretilebilir CBS iş akışları ile doğrulanmış tesis envanteri veri seti. Harita ürünleri gündüz ve gece senaryoları için ayrı ayrı üretilir; böylece maruziyetin gün içindeki yer değiştirmesinin risk desenine etkisi karşılaştırmalı olarak izlenebilir. Önceliklendirme tabloları il, ilçe ve koridor ölçeğinde özetlenir ve çok ölçütlü Teknolojik Risk Öncelik Puanı ile sıralanır; ağırlık belirsizliğine ilişkin duyarlılık analizi sonuçları da bu çıktıların ayrılmaz parçasıdır ve eklerde ayrıntılı olarak verilir. Her ürün, üretildiği girdi katmanları, ağırlık seti, sınıf sınırları ve üretim tarihini içeren üstveriyle birlikte teslim edilir; bu sayede sonuçlar denetlenebilir ve veri güncellendiğinde aynı iş akışıyla yeniden üretilebilir.

Bu çıktılar, uygun olduğunda AFAD-AYDES ve MARAP-ŞESİM ile bütünleştirilerek; güncellenebilir, izlenebilir ve müdahale planlamasına doğrudan girdi veren bir karar destek katmanına dönüştürülür. Entegrasyon, kurumların kendi iş süreçlerine göre üç düzeyde kurgulanabilir: yalnızca sınıflandırılmış risk yüzeyinin görüntü katmanı olarak paylaşılması; öncelik puanı ve gösterge tablolarının tesis/küme kimlikleriyle bağlanması; ve iş akışının kurum içinde çalıştırılabilir biçimde devredilmesi. Envanter, tehlikeli madde bildirimleri ve nüfus verileri güncellendikçe risk yüzeyinin periyodik olarak yenilenmesi, çıktıların güncelliğini koruması bakımından belirleyicidir; bu güncelleme döngüsü aynı zamanda müdahale kapasitesindeki değişimlerin izlenmesine de olanak verir.

9 ÇÖZÜMLEME ÇERÇEVESİ VE YÖNTEM

Bu kısımda, Bölüm 5–8'de yöntemi ve üretim süreci ayrıntılı olarak açıklanan iki bileşik yüzeyin — Teknolojik Afet Tehlike Haritası (TATH) ve Teknolojik Afet Risk Haritası (TARH) — sonuçlarını çözümlemektedir. Çözümleme iki ölçekte kurgulanmıştır. Önce bölge bütünü ele alınır: tehlike ve riskin Marmara genelindeki dağılımı, bileşenlerin katkısı, il ve ilçe düzeyindeki sıralamalar ve etkilenen nüfus. Ardından ölçek daraltılır ve analiz, tehlikenin fiilen yoğunlaştığı etkin koridorlar üzerinden sürdürülür. Koridorlar uzman görüşüyle çizilmemiş, doğrudan tehlike yüzeyinden nesnel bir kuralla türetilmiştir; böylece hangi alanların öncelikli olduğu sorusu, haritanın kendi iç yapısından yanıtlanmaktadır. Çalışma alanı, MARAP kapsamındaki 11 ilin tamamıdır: Balıkesir, Bilecik, Bursa, Çanakkale, Edirne, İstanbul, Kırklareli, Kocaeli, Sakarya, Tekirdağ ve Yalova. Analiz çerçevesi bu illerin idari sınırlarından türetilmiş olup 283.842 hücre ve izdüşüm düzleminde 70.960 km² kaplamaktadır.

Sayısal ekler. Bu bölümdeki tablo ve sıralamaların dayandığı sayısal dosyalar teslim setinin 02_EKLER klasöründedir: tesis envanteri EK-A'da, il ve ilçe bazlı tehlike-risk özetleri EK-B'de, koridor ayrıntı tablosu ile öncelik puanı bileşenleri EK-C'de, orman yangını arayüz çözümlemesi EK-D'de, katman künyeleri EK-E'de, duyarlılık ve doğrulama çıktıları EK-F'de, sel-taşkın kapsamının HAND ile tamamlanmasına ilişkin özetler ise EK-G'dedir. Eklerin tam listesi Bölüm 13.9'da verilmiştir. Bütün sayısal değerler, aksi belirtilmedikçe, tehlike bileşiminde A seçeneğinin (0,55 deprem + 0,25 sel-taşkın + 0,20 heyelan; sabit ağırlık) ve tehlike-kaynağı bileşiminde temel senaryonun (R2) kullanıldığı yüzeylere aittir. Risk değerleri gece senaryosuna aittir; gündüz senaryosu ayrıca verilmiştir.

Tehlike yüzeyi iki düzeyli ve çarpımsal bir kurguyla hesaplanmıştır. Birinci düzeyde teknolojik tehlike-kaynağı, sabit endüstriyel (0,65) ve hareketli/ulaşım kaynaklı (0,35) katmanların ağırlıklı toplamıdır. İkinci düzeyde doğal tetikleyici bileşimi 0,55 deprem + 0,25 sel-taşkın + 0,20 heyelan olarak kurulmuştur. TATH, bu iki düzeyin hücre bazında çarpımıdır. Çarpımsal kural NaTech tanımının doğrudan karşılığıdır (Krausmann vd., 2017): bir teknolojik kaza, hem tehlikeli madde bulunduran bir kaynağın hem de onu tetikleyecek bir doğal olayın aynı yerde bulunmasını gerektirir.

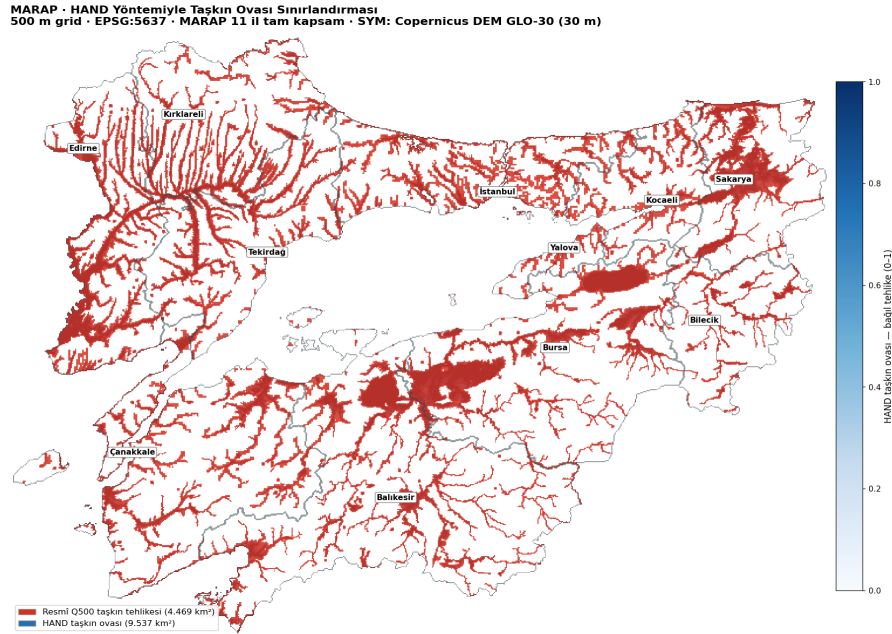
Risk yüzeyi, Bölüm 4.2'de tanımlanan denklemle hesaplanmıştır: $R = (\text{Tehlike} \times \text{Maruziyet} \times \text{Kırılganlık}) / \text{Yönetilebilirlik}$. Maruziyet katmanı nüfus (0,45), yapı çevre (0,25), kritik tesisler (0,20) ve CORINE çevresel varlık sınıflarından (0,10; EEA, 2020); kırılganlık katmanı yapı stoğunun dönemsel dağılımı (0,60) ile savunmasız nüfus yoğunlaşmasından (0,40); yönetilebilirlik katmanı itfaiye (0,55) ve acil servisli hastane (0,45) erişilebilirliğinden oluşturulmuştur. Yönetilebilirlik, riski azaltan bir bölen olarak uygulanmıştır. Denklemin bileşenleri, girdileri ve bölge ortalamaları Tablo 9-1'de özetlenmiştir.

Tablo 9-1 Risk denkleminin bileşenleri, girdileri ve bölge ortalamaları.

Bileşen	Girdi	Bölge ortalaması
Tehlike (TATH)	Teknolojik tehlike-kaynağı × doğal tetikleyici	0,021
Maruziyet	26,44 milyon kişi · 852 km ² bina taban alanı · 8.074 kritik tesis · CORINE	0,161
Kırılganlık	4,02 milyon binanın dönemsel dağılımı · savunmasız nüfus yoğunlaşması	0,340
Yönetilebilirlik	188 itfaiye istasyonu · 264 acil servisli hastane	0,310

Ağırlıkların sonuca etkisi $\pm\%20$ aralığında sınanmıştır; analiz çıktıları [EK-F · 02_EKLER/EK-F_DOGRULAMA_VE_DUYARLILIK] altındadır. Tek değişkenli analizde sıra korelasyonu hiçbir durumda 0,9991'in altına inmemiş; 500 tekrarlı Monte Carlo denemesinde ortalama sınıf değişimi $\%1,24$ 'te kalmış ve bölgenin $\%92,5$ 'i taban sınıfını bütün tekrarlarla korumuştur. Ayrıntı Bölüm 6.6.2'dedir; kararlılığın mekânsal dağılımı Şekil 11-1'de verilmiştir.

Sel-taşkın verisinin tamamlanması. İP-4 Sel-Taşkın çalışmasından devralınan Q500 katmanının bölge kara alanının yalnız $\%6,3$ 'ünde tanımlı olduğu belirlenmiş; kapsam boşluğu, sayısal yükseklik modelinden taşkın ovası sınırlandırmasına dayanan HAND yöntemiyle (Rennó vd., 2008; Nobre vd., 2011) giderilmiştir (Copernicus DEM GLO-30, 30 m; ESA, 2019). Birleşik sel bileşeninin kapsamı 4.469 km²'den 18.885 km²'ye, kara alanı ortalaması 0,044'ten 0,146'ya yükselmiştir. Bu düzeltme, Meriç–Ergene ovası, Bursa Ovası ve Sakarya deltası gibi büyük alüvyal düzlüklerde tehlikenin yapısal olarak düşük hesaplanmasını gidermiştir; yöntem, doğrulaması ve sınırlılıkları Bölüm 6.5.6'da açıklanmaktadır. Kapsam boşluğunun giderilmesinden önceki ve sonraki durum Şekil 9-1'de karşılaştırılmaktadır.



Şekil 9-1 Sel-taşkın bileşenindeki kapsam boşluğunun HAND yöntemiyle giderilmesi.

Deprem verisinin yenilenmesi. Deprem tetikleyicisi, bu sürümde MARAP'ın kendi PGA-475 veri setinden türetilmiştir: $45 \times 34 = 1.530$ düğümlü, boşluksuz ve düzenli bir grid (düğüm aralığı $\approx 10,2 \times 10,0$ km). Önceki sürümde yüzey, AFAD DD-2 figürünün deseni ile 35 resmî noktadan hesaplanan artık düzeltmenin birleştirilmesiyle elde edilmişti; proje verisinin temin edilmesiyle bu vekil çözüm terk edilmiştir. Yeni yüzeyin bölge ortalaması 0,2574 g olup öncekinden 0,092 g düşüktür ve bölge alanının %44'ünde fark 0,10 g'yi aşmaktadır. Ayrıntı Bölüm 6.5.2–6.5.3'tedir.

9.1 Bölge Bazında Tehlike Çözümlemesi

9.1.1 Tehlikenin Bölge Genelindeki Dağılımı

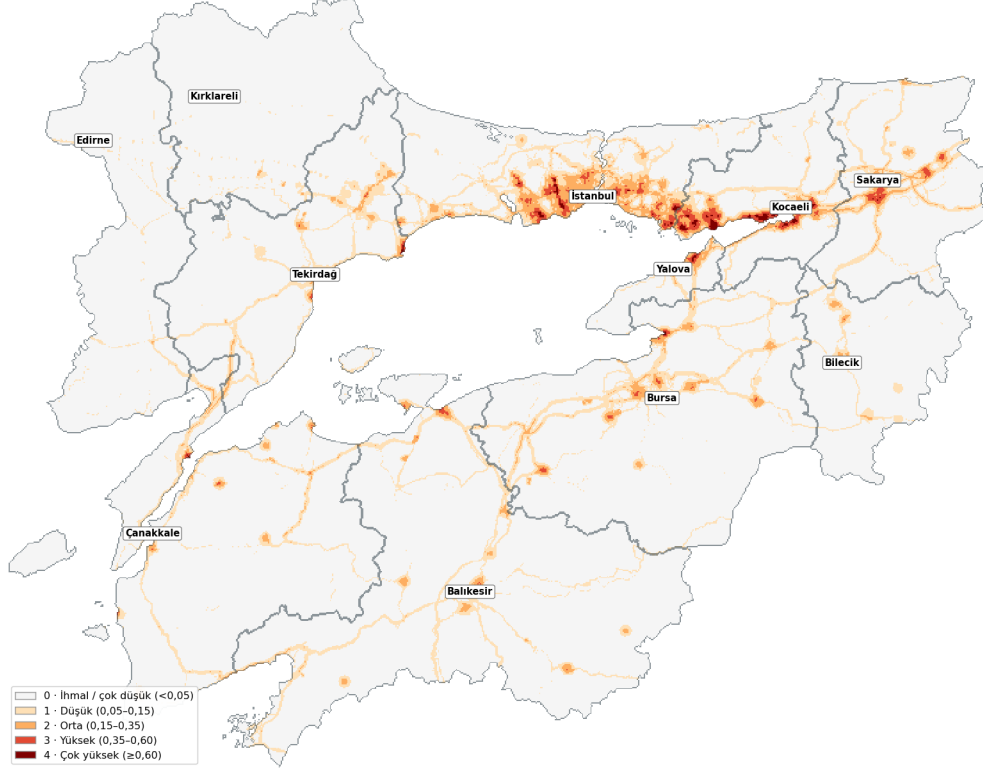
Bileşik TATH, Marmara Bölgesi'nde son derece yoğunlaşmış bir dağılım göstermektedir. Kara alanının %88,67'si (62.918 km²) ihmal edilebilir veya çok düşük tehlike sınıfındadır. Buna karşılık yüksek ve çok yüksek sınıfların toplamı yalnızca 546,2 km²'dir; bu, bölge alanının binde 7,7'sine karşılık gelir. Bu yoğunlaşma bir modelleme yan etkisi değil, çarpımsal kuralın ve NaTech olgusunun doğrudan sonucudur: tehlikeli madde bulundurmayan bir alanda, deprem tehlikesi ne kadar yüksek olursa olsun, teknolojik afet tehlikesi tanımı gereği düşüktür. Sınıf dağılımının tamamı Tablo 9-2'de verilmiştir.

Tablo 9-2 TATH sınıflarının bölge genelindeki dağılımı (sabit eşikli gösterim).

Sınıf	Aralık	Hücre	Alan (km ²)	Bölge payı
İhmal / çok düşük	< 0,05	251.672	62.918	%88,67
Düşük	0,05–0,15	23.020	5.755	%8,11
Orta	0,15–0,35	6.980	1.745	%2,46
Yüksek	0,35–0,60	1.789	447	%0,63
Çok yüksek	$\geq 0,60$	381	95	%0,13

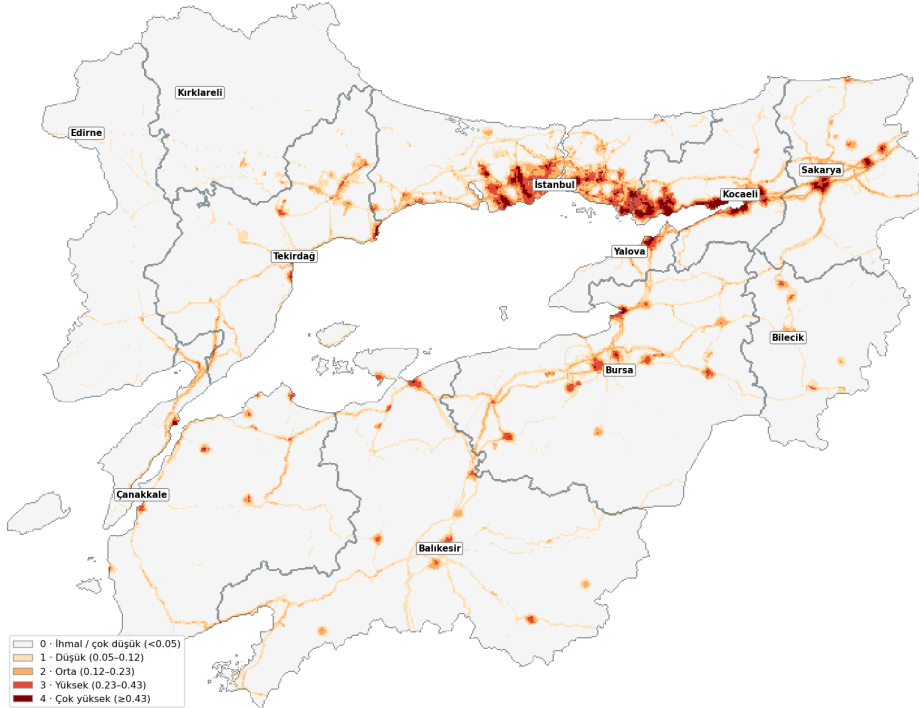
Sabit eşikli gösterim (Şekil 9-2), sürümler arası karşılaştırma ve izleme için uygundur; ancak üst sınıfları dar tuttuğundan İzmit–İstanbul eksenindeki sanayi odaklarını görünmez kılar. Veriden türetilmiş doğal kırılım (Jenks, 1967) eşikleriyle (0,05 / 0,12 / 0,23 / 0,43) yüksek ve çok yüksek sınıfların toplamı 1.195 km²'ye çıkar ve Balıkesir'de 9 km² olan 'yüksek ve üzeri' alan 54 km²'ye, Çanakkale'de 9 km² olan alan 39 km²'ye yükselir. Her iki gösterim aynı yüzeyden üretilmiştir; hücrelerin bağlı sıralaması değişmez, yalnızca sınıf sınırları farklılaşır. Buna karşılık doğal kırılım eşikleri verinin kendi dağılımından türetildiği için sürüm veya bölge değiştiğinde kayar; bu nedenle zaman serisi izlemede sabit eşikler korunmalıdır. İl ve koridor düzeyinde önceliklendirme için bu ikinci gösterim önerilmektedir. Doğal kırılımlı gösterim Şekil 9-3'de verilmiştir.

MARAP - Bileşik TATH Sınıfları (5 sınıflı)
500 m grid - EPSG:5637 - MARAP 11 il tam kapsam (283.842 hücre - 70.960 km²)



Şekil 9-2 Marmara Bölgesi Teknolojik Afet Tehlike Haritası (TATH) — sabit eşikli beş sınıflı gösterim. 500 m grid, EPSG:5637, MARAP 11 il tam kapsam (70.960 km²).

MARAP - Bileşik TATH Sınıfları — doğal kırılım (k-ortalamalar)
500 m grid - EPSG:5637 - MARAP 11 il tam kapsam (283.842 hücre - 70.960 km²)



Şekil 9-3 TATH — doğal kırılımlı gösterim (eşikler 0,05 / 0,12 / 0,23 / 0,43). Üst sınıflar genişlediğinden İzmit-İstanbul eksenini dışındaki sanayi odakları görünür hâle gelmektedir.

9.1.2 Bileşenlerin Katkısı

Tehlikenin coğrafyasını belirleyen bileşen, teknolojik tehlike-kaynağıdır. Sabit endüstriyel katman bölge kara alanının yalnız %6,2'sinde 0,05'in üzerinde değer alır ve ortalaması 0,021'dir; hareketli katman ise koridorlar boyunca sürekli olduğundan alanın %29,2'sinde 0,05'i aşar ve ortalaması 0,077'dir. Doğal tetikleyici bileşimi ise bölge genelinde çok daha düzgün dağılmıştır (ortalama 0,270); dolayısıyla TATH'ın nerede yüksek olduğunu tehlike-kaynağı, ne kadar yüksek olduğunu ise tetikleyici belirlemektedir. Bileşenlerin bölge geneli istatistikleri Tablo 9-3'de verilmiştir.

Tablo 9-3 Tehlike bileşenlerinin bölge geneli istatistikleri.

Bileşen	Bölge ortalaması	En yüksek değer	0,05 üstü alan
Sabit endüstriyel tehlike (R2)	0,021	1,000	4.385 km ²
Hareketli (ulaşım kaynaklı) tehlike	0,077	1,000	20.714 km ²
Deprem tetikleyicisi (normalize)	0,318	0,999	66.126 km ²
Sel-taşkın tetikleyicisi (Q500 U HAND)	0,146	1,000	17.209 km ²
Heyelan tetikleyicisi	0,295	0,969	70.960 km ²
Doğal tetikleyici bileşimi (A)	0,270	0,942	65.968 km ²

Deprem tetikleyicisinin bölge ortalaması 0,257 g (PGA, DD-2) olup Kuzey Anadolu Fayı boyunca İzmit Körfezi–Sapanca–Adapazarı ekseninde 0,60 g'yi aşmakta, bölge en yükseği 0,660 g'dir. Sel-taşkın tetikleyicisi (resmî Q500 ile HAND taşkın ovasının birleşimi) kara alanının %26,6'sını etkiler ve etkilediği yerlerde ortalama 0,55 düzeyindedir; bu katman esas olarak Meriç–Ergene ovası, Sakarya aşağı çığırı ve deltası, İzmit Körfezi kıyı ovaları ile Bursa–Karacabey ve Manyas–Ulubat düzlüklerinde belirleyicidir. Bu alanların önemli bir bölümünün aynı zamanda yoğun sanayi kuşağı olması, sel-taşkının depremden sonra ikinci sırada yer alan tetikleyici olduğu yönündeki metodolojik kabulü doğrulamaktadır.

9.1.3 İl Bazında Tehlike

İl düzeyinde tehlike, iki ilde belirgin biçimde yoğunlaşmaktadır. Kocaeli hem en yüksek ortalama tehlike alanına (224 km²) sahiptir; bu, ilin toplam alanının %6,7'sine karşılık gelir ve bölge genelindeki oranın (binde 7,6) sekiz katından fazladır. İstanbul ortalama Kocaeli'nin bir miktar önüne geçmiş (0,0685 ve 0,0675), yüksek tehlike alanında 196 km² ile ikinci sıradadır. Yalova, küçük yüzölçümüne rağmen 0,0397 ile üçüncü sıradadır. Edirne ve Kırklareli'de yüksek sınıfa giren tek bir hücre dahi bulunmamaktadır: bu iki ilde tehlikeli madde kaynakları ile güçlü bir doğal tetikleyicinin çakışması yoktur.

İl ve ilçe bazındaki tehlike ve risk özet tabloları [EK-B · 02_EKLER/EK-B_TEHLIKE_RISK_TABLOLARI] altındadır. İl bazındaki tehlike göstergelerinin tamamı Tablo 9-4'te sunulmaktadır.

Tablo 9-4 İl bazında tehlike göstergeleri (sabit eşikli gösterim).

İl	Alan (km ²)	TATH ortalaması	Yüksek ve üzeri (km ²)	İl alanına oranı
Kocaeli	3.346	0,0675	224	%6,68
İstanbul	5.279	0,0685	196	%3,70
Yalova	820	0,0397	13	%1,61
Sakarya	4.804	0,0280	45	%0,94
Bursa	10.561	0,0192	29	%0,27
Tekirdağ	6.166	0,0190	18	%0,29
Çanakkale	9.818	0,0128	9	%0,09
Balıkesir	13.994	0,0125	9	%0,06
Bilecik	4.072	0,0094	0	%0,01
Edirne	5.926	0,0056	0	—
Kırklareli	6.176	0,0038	0	—

9.1.4 İlçe Bazında Tehlike

158 ilçenin 66'sında 'yüksek ve üzeri' tehlike sınıfına giren alan bulunmaktadır; geri kalan 92 ilçede böyle bir alan yoktur. Ortalama tehlike bakımından ilk sıraları İstanbul'un yoğun kentsel-sanayi ilçeleri almaktadır: Bahçelievler (0,427), Bayrampaşa (0,375), Güngören (0,361), Esenler (0,338), Bağcılar (0,333), Ataşehir (0,331). Kocaeli'nde Çayırova 0,356 ile öne çıkar. Bu ilçelerde tehlikenin yüksek olmasının nedeni tek tek büyük tesisler değil, küçük ve orta ölçekli tehlikeli madde kullanıcılarının yüksek yoğunluğu ile en yüksek deprem tetikleyicisinin üst üste binmesidir.

Mutlak yüksek tehlike alanı bakımından sıralama farklıdır ve sanayi ağırlıklıdır: Gebze 41,5 km², Dilovası 38,0 km², İzmit 30,0 km², Tuzla 29,8 km², Kartepe 24,3 km², Körfez 24,0 km². Bu iki sıralamanın farklılığı, önceliklendirmede hangi ölçütün seçildiğinin sonucu doğrudan değiştirdiğini göstermektedir: ortalama tehlike kentsel yoğunluğu, mutlak alan ise sanayi coğrafyasını öne çıkarmaktadır.

9.2 Bölge Bazında Risk Çözümlemesi

9.2.1 Riskin Bölge Genelindeki Dağılımı

Risk yüzeyi, tehlike yüzeyinden daha da yoğunlaşmıştır. Bunun nedeni yapısaldır: risk denklemi çarpımsal olduğundan, tehlikenin sifıra yaklaştığı her yerde risk de sifıra yaklaşır. Dolayısıyla risk haritası tanımı gereği tehlike haritasının bir alt kümesidir; risk yalnız tehlikenin bulunduğu yerde, maruziyet ve kırılganlığın da bulunması hâlinde ortaya çıkar. Risk sınıflarının alan ve nüfus dağılımı Tablo 9-5'de verilmiştir.

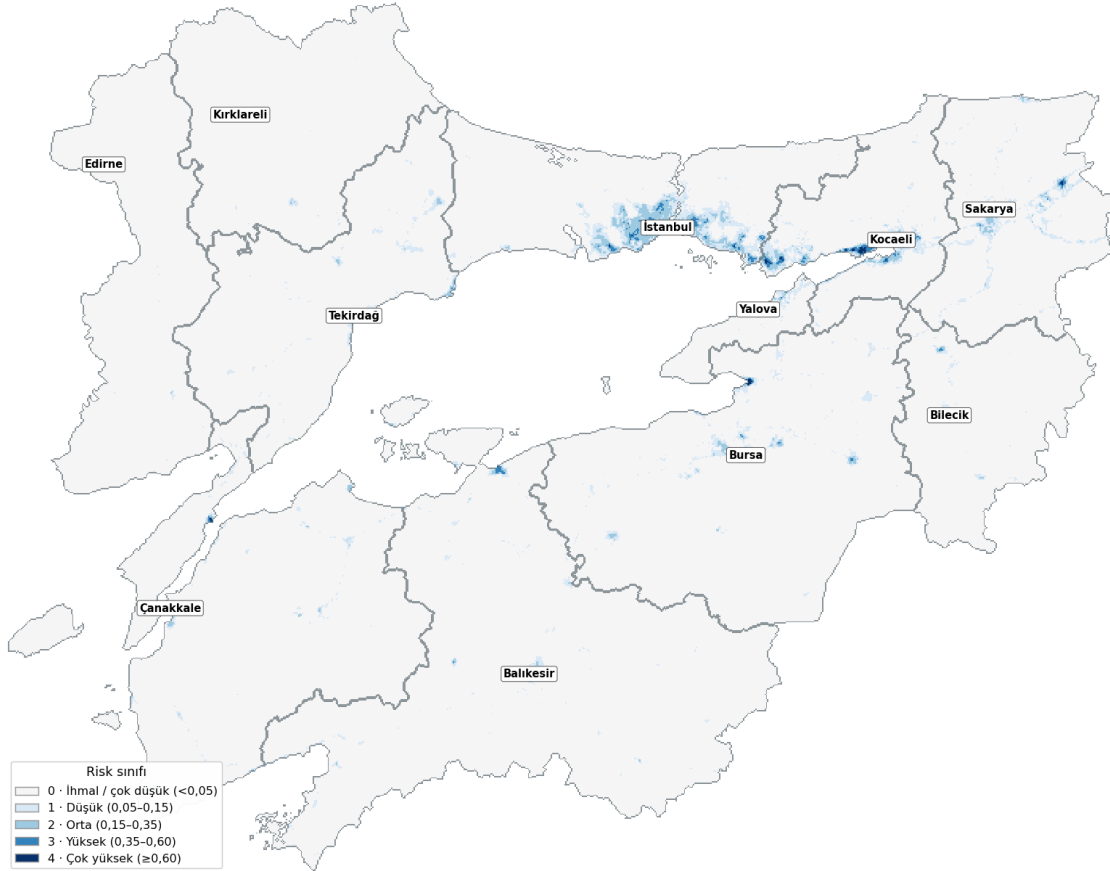
Alan ve nüfus dağılımlarının karşılaştırılması, çözümlemenin en önemli bulgusunu ortaya koymaktadır. Yüksek ve çok yüksek risk sınıfları bölge alanının yalnız binde 2,2'sini (157 km²) kaplarken, bu alanlarda 2,63 milyon kişi yaşamaktadır — bölge nüfusunun %9,95'i. Orta ve üzeri sınıflar birlikte ele alındığında etkilenen nüfus 12,08 milyona (%45,70) ulaşmaktadır.

Bir başka deyişle, teknolojik afet riski mekânsal olarak son derece dar bir alana sıkışmış olmakla birlikte, bu dar alan bölgenin en kalabalık yerleşimleriyle örtüşmektedir. Riskin alan üzerinden 'ihmal edilebilir' görünmesi ile nüfus üzerinden 'yaygın' görünmesi arasındaki bu gerilim, planlamada alan değil nüfus temelli önceliklendirmeyi gerektirmektedir. Risk yüzeyinin mekânsal dağılımı Şekil 9-4'de gösterilmektedir.

Tablo 9-5 TARH sınıflarının alan ve nüfus dağılımı (gece senaryosu).

Sınıf	Aralık	Alan (km ²)	Bölge payı	Etkilenen nüfus (gece)	Nüfus payı
İhmal / çok düşük	< 0,05	68.751	%96,89	6.891.849	%26,07
Düşük	0,05–0,15	1.487	%2,10	7.465.655	%28,24
Orta	0,15–0,35	565	%0,80	9.451.741	%35,75
Yüksek	0,35–0,60	127,0	%0,18	2.223.660	%8,41
Çok yüksek	≥ 0,60	30,0	%0,04	407.723	%1,54

MARAP · TEKNOLOJİK AFET RİSK HARİTASI (TARH) — gece senaryosu
R = (Tehlike × Maruziyet × Kırılganlık) / Yönetilebilirlik · 500 m grid · EPSG:5637 · MARAP 11 il tam kapsam (283.842 hücre · 70.960 km²)



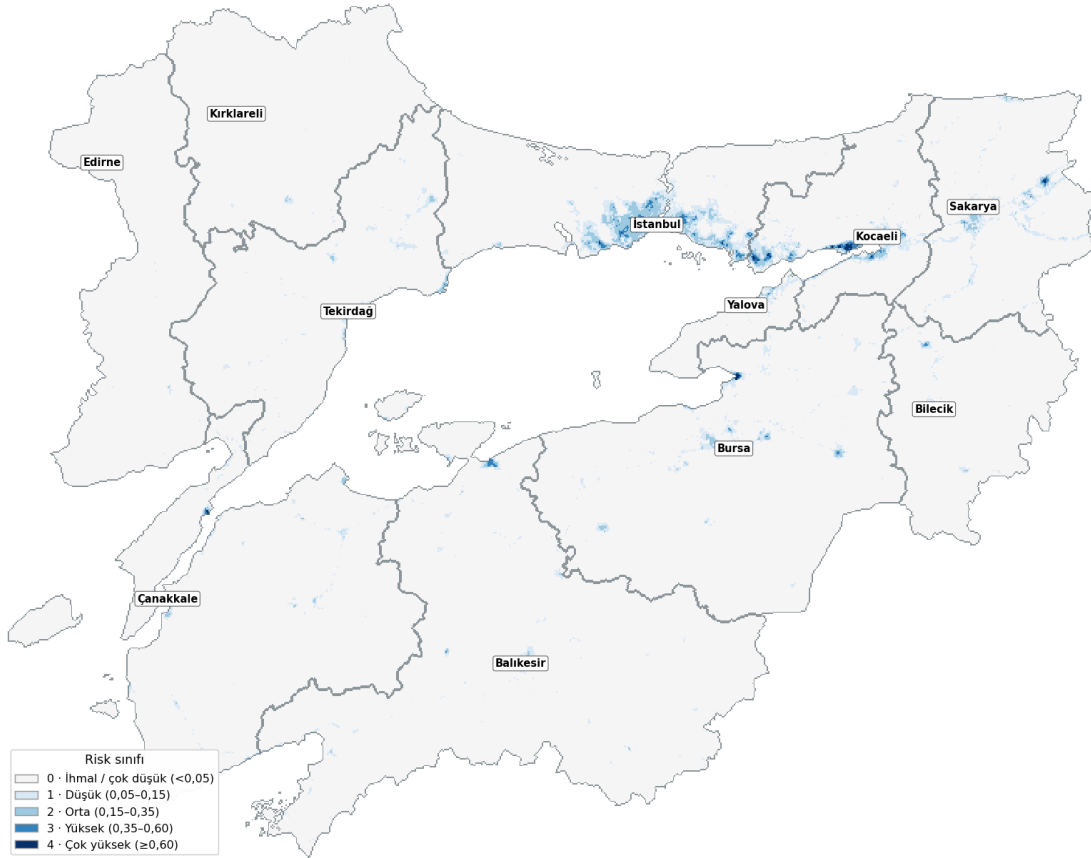
Şekil 9-4 Marmara Bölgesi Teknolojik Afet Risk Haritası (TARH) — gece senaryosu. R = (Tehlike × Maruziyet × Kırılganlık) / Yönetilebilirlik.

9.2.2 Gece ve Gündüz Senaryolarının Karşılaştırılması

Risk yüzeyi iki senaryo için hesaplanmıştır. Gündüz senaryosunda maruziyet katmanının nüfus bileşeni gündüz nüfus dağılımıyla değiştirilmiştir. Sınıf alanları neredeyse aynıdır (yüksek ve üzeri 157 km²); ancak etkilenen nüfus artmaktadır: yüksek ve çok yüksek sınıflarda 2,63 milyondan 2,78 milyona, orta ve üzeri sınıflarda 12,08 milyondan 12,52 milyona. Artışın kaynağı, sanayi ve ticaret alanlarında gündüz nüfusunun yükselmesidir; kaynak veri setinde sanayi/OSB baskın fonksiyonlu hücrelerde gündüz nüfusu gece nüfusunun 1,48 katına çıkmaktadır. Gündüz senaryosuna ait yüzey Şekil 9-5'de verilmiştir.

MARAP - TEKNOLOJİK AFET RİSK HARİTASI (TARH) — gündüz senaryosu

R = (Tehlike × Maruziyet × Kırılganlık) / Yönetilebilirlik · 500 m grid · EPSG:5637 · MARAP 11 il tam kapsam (283.842 hücre · 70.960 km²)



Şekil 9-5 TARH — gündüz senaryosu. Maruziyet katmanında gündüz nüfusu kullanılmıştır.

Bu karşılaştırma dikkatle yorumlanmalıdır. Kullanılan nüfus veri setinde gündüz nüfusu bir ölçüm değil, modellenmiş bir yeniden dağılımdır ve il toplamaları modelde sabit bir katsayıya oturtulmuştur. Bu nedenle çözümlemede il toplamaları gece nüfusuna sabitlenmiş, yalnız hücre içi dağılım deseni kullanılmıştır. Gerçek işe gidiş-geliş verisiyle çalışıldığında sanayi kuşaklarındaki gündüz riskinin daha belirgin çıkması beklenir; dolayısıyla buradaki gündüz–gece farkı bir alt sınır tahminidir.

9.2.3 İl Bazında Risk

Tehlike sıralamasında Kocaeli birinci, İstanbul ikinci iken risk sıralamasında bu düzen değişmektedir. İstanbul, ortalama risk (0,0301) ve yüksek risk alanı (73 km²) bakımından Kocaeli'nin (0,0254 ve 56 km²) önüne geçmekte; etkilenen nüfus bakımından ise fark çarpıcı hâle gelmektedir: yüksek ve çok yüksek risk sınıfında yaşayan 2,63 milyon kişinin 1,91 milyonu (%72,5) İstanbul'dadır. Bu, aynı düzeydeki tehlikenin nüfus yoğunluğuna bağlı olarak nasıl farklı risk ürettiğinin en açık göstergesidir. İl bazındaki risk göstergelerinin tamamı Tablo 9-6'de sunulmaktadır.

Tablo 9-6 İl bazında risk göstergeleri (gece senaryosu).

İl	Risk ortalaması	Yüksek risk alanı (km ²)	Yüksek risk nüfusu	Orta ve üzeri risk nüfusu	Kritik tesis (yüksek risk)
İstanbul	0,0301	73	1.906.716	9.465.709	599
Kocaeli	0,0254	56	401.266	1.103.427	246
Yalova	0,0118	0	3.335	54.739	4
Sakarya	0,0101	5	17.734	198.492	9
Bursa	0,0055	9	141.364	669.854	62
Tekirdağ	0,0046	3	36.995	178.748	25
Çanakkale	0,0033	3	19.760	79.381	19
Balıkesir	0,0031	7	98.947	264.193	134
Bilecik	0,0025	1	5.263	44.037	3
Edirne	0,0011	0	0	2.159	0
Kırklareli	0,0009	0	0	22.379	0
TOPLAM	0,0069	157	2.631.380	12.134.886	1.101

9.2.4 İlçe Bazında Risk ve Öncelik Sıralaması

158 ilçenin 46'sında yüksek veya çok yüksek risk sınıfında nüfus bulunmaktadır. Bu ilçelerin sıralaması, il düzeyindeki tablodan daha kullanışlı bir öncelik listesi sunar; çünkü risk, ilçe ölçeğinde yönetilebilir bir birime karşılık gelir. Yüksek ve çok yüksek risk sınıfındaki nüfusa göre ilk on beş ilçe Tablo 9-7'te verilmiştir.

Listede iki farklı ilçe tipi ayırt edilmektedir. Birinci tip, İstanbul'un yoğun kentsel ilçeleridir (Esenler, Bayrampaşa, Bahçelievler, Güngören, Kâğıthane): buralarda yüksek risk alanı dar ancak nüfus yoğunluğu çok yüksektir; risk, küçük ve orta ölçekli tehlikeli madde kullanıcılarının konut dokusuna iç içe geçmesinden doğar. İkinci tip, sanayi ilçeleridir (Gebze, İzmit, Derince, Körfez, Gemlik, Bandırma): buralarda yüksek risk alanı geniştir ve büyük ölçekli üst seviyeli kuruluşlardan kaynaklanır. Bu iki tip farklı politika araçları gerektirir: birincisinde plan kararları ve dönüşüm/ayırıştırma, ikincisinde tesis düzeyinde nicel güvenlik değerlendirmesi ve güvenlik mesafesi denetimi öne çıkar.

Tablo 9-7 Yüksek ve çok yüksek risk sınıfındaki nüfusa göre ilk 15 ilçe.

Sıra	İl	İlçe	Yüksek risk nüfusu	Yüksek risk alanı (km ²)	Kritik tesis
1	İstanbul	Esenler	363.173	6,8	45
2	İstanbul	Bahçelievler	201.158	6,5	33
3	İstanbul	Fatih	194.504	8,0	105
4	İstanbul	Avcılar	185.185	4,0	34
5	İstanbul	Güngören	174.335	5,0	29
6	İstanbul	Bayrampaşa	173.894	5,0	45
7	İstanbul	Kâğıthane	147.950	4,3	27
8	Kocaeli	Gebze	96.332	8,0	35
9	Kocaeli	Derince	86.381	10,5	41
10	Kocaeli	İzmit	84.386	13,3	95
11	Balıkesir	Bandırma	83.374	5,8	113
12	İstanbul	Küçükçekmece	71.172	1,8	17
13	İstanbul	Zeytinburnu	67.627	2,8	24
14	Bursa	Gemlik	66.124	5,5	31
15	İstanbul	Ataşehir	64.545	8,5	47

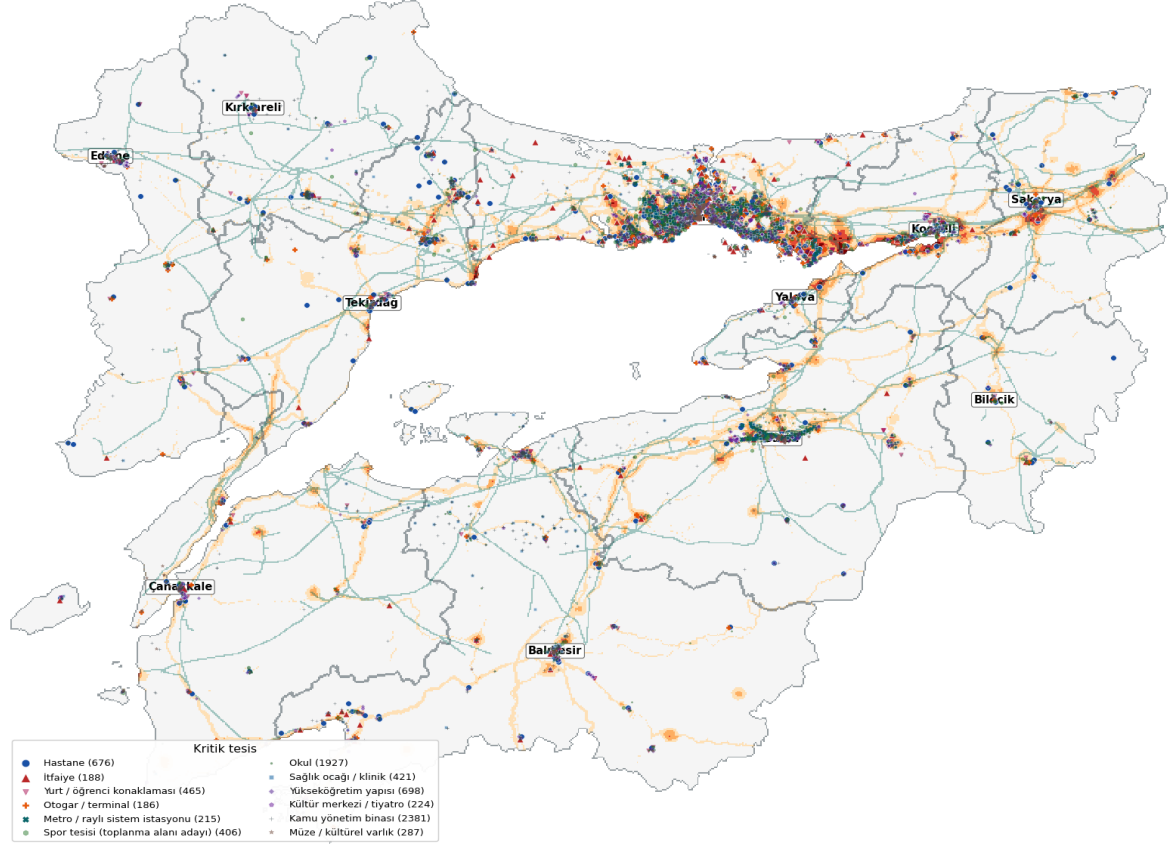
9.2.5 Kritik Tesislerin Maruziyeti

Bölgede tanımlanan 8.074 kritik tesisin 1.101'i yüksek veya çok yüksek risk sınıfında, 3.593'ü orta ve üzeri sınıftadır. Kategori bazında en yüksek maruziyet kamu yönetim binalarında (968 tesis orta ve üzeri) ve okullardadır (935). Metro ve raylı sistem istasyonlarının %65'i (140/215) orta ve üzeri risk sınıfındadır; yeraltındaki yolcu yoğunluğunun sanayi kuşağıyla çakışması, tahliye planlaması açısından ayrıca ele alınmalıdır. Müdahale kapasitesini oluşturan tesislerin kendisi de risk altındadır: 188 itfaiye istasyonunun 69'u, 676 hastanenin 350'si orta ve üzeri risk sınıfındadır. Kritik tesislerin risk sınıflarına göre kategori bazındaki dağılımı Tablo 9-8'te verilmiştir.

Tablo 9-8 Kritik tesislerin risk sınıflarına göre dağılımı.

Kritik tesis kategorisi	Toplam	Orta ve üzeri risk	Yüksek ve üzeri risk	Oran (orta+)
Kamu yönetim binası	2.381	968	334	%40,7
Okul	1.927	935	296	%48,5
Yükseköğretim yapısı	698	288	87	%41,3
Hastane	676	350	65	%51,8
Yurt / öğrenci konaklaması	465	203	71	%43,7
Sağlık ocağı / klinik	421	186	65	%44,2
Spor tesisi (toplanma alanı adayı)	406	147	42	%36,2
Müze / kültürel varlık	287	142	45	%49,5
Kültür merkezi / tiyatro	224	94	26	%42,0
Metro / raylı sistem istasyonu	215	140	37	%65,1
İtfaiye	188	69	16	%36,7
Otogar / terminal	186	71	17	%38,2

MARAP • Kritik Tesisler ve Bileşik TATH Sınıfları
8.074 tesis • 1.095'si 'yüksek' veya 'çok yüksek' tehlike sınıfında • 500 m grid (EPSG:5637)



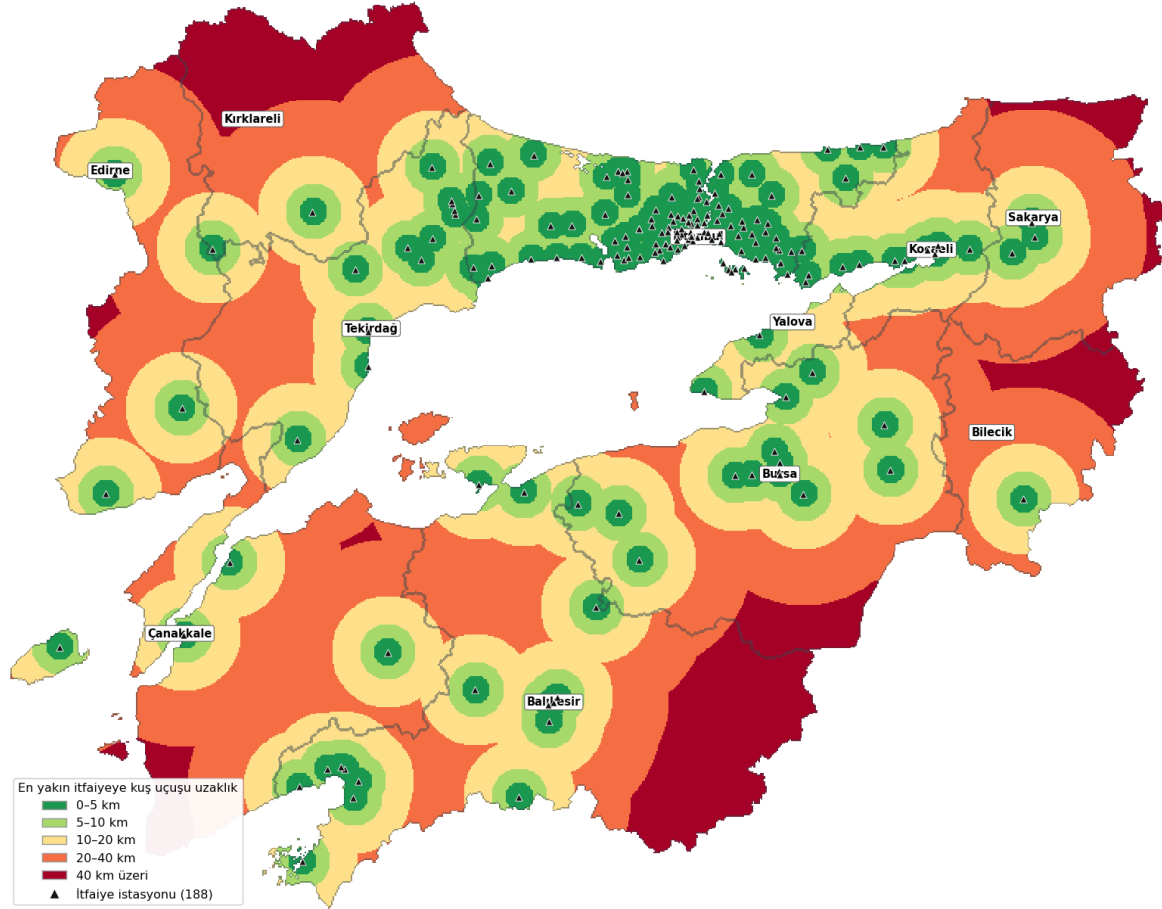
Şekil 9-6 Kritik tesislerin TATH sınıflarına göre dağılımı ve yüksek gerilim enerji iletim şebekesi.

Enerji altyapısı ayrı bir zincirleme etki kaynağıdır. Bölgedeki 12.357 km'lik yüksek gerilim iletim hattının geçtiği hücrelerde sabit endüstriyel tehlike ortalaması 0,061'dir; bölge genelinde bu değer 0,021'dir — üç kat fark. İletim hattı hücrelerinin 1.493'ü orta ve üzeri tehlike sınıfındadır. Yüksek gerilim şebekesinin sanayi kuşağıyla bu ölçüde çakışması, hem hat arızasının proses güvenliğini etkilemesi hem de hat düşmesinin tutuşma kaynağı oluşturması bakımından değerlendirilmelidir. Kritik tesislerin tehlike sınıflarına göre dağılımı ile enerji iletim şebekesinin çakışması Şekil 9-6'te gösterilmektedir.

9.3 Yönetilebilirlik ve Müdahale Kapasitesi

Yönetilebilirlik bileşeni, bölgenin en zayıf halkasını göstermektedir. Kullanılabilen 188 itfaiye istasyonuna göre bölge kara alanının yalnız %9,8'i 5 km, %24,6'sı 10 km içindedir; alanın %54,4'ü 10 km'nin, %11,9'u 40 km'nin ötesindedir. En yakın istasyona ortalama uzaklık 21,4 km, medyan 18,2 km'dir. Kapsama İstanbul-Kocaeli ekseninde yoğunlaşmakta; kuzey Kırklareli (Yıldız Dağları), doğu Bilecik ve güney Balıkesir'de 40 km'yi aşan boşluklar bulunmaktadır. İtfaiye erişilebilirliğinin mekânsal dağılımı Şekil 9-7'te verilmiştir.

MARAP - İtfaiye Erişilebilirliği — yönetilebilirlik göstergesi
188 istasyon - kara alanının %54,4'ü 10 km'nin ötesinde - 500 m grid (EPSG:5637)



Şekil 9-7 İtfaiye erişilebilirliği — yönetilebilirlik göstergesi. En yakın istasyona kuş uçuşu uzaklık kuşakları.

Bu değerlerin bir alt sınır tahmini olduğu vurgulanmalıdır. Kullanılan istasyon veri seti açık kaynaklı olup kırsalda eksiktir; Türkiye'de her ilçe belediyesinin itfaiye birimi bulunduğu gerçeği istasyon sayısı belirgin biçimde daha yüksektir. Ayrıca hesaplanan uzaklık kuş uçuşudur; gerçek müdahale süresi yol ağı üzerinden hesaplanmalıdır. Bu nedenle yönetilebilirlik bileşeni olduğundan düşük, kırsal alanlardaki risk ise bir miktar yüksek tahmin edilmiş olabilir. İl itfaiye müdürlüklerinden resmî istasyon listesinin temini, risk yüzeyinin en kolay ve en etkili iyileştirme kalemidir.

9.4 Etkin Koridorlar Bazında Çözümleme

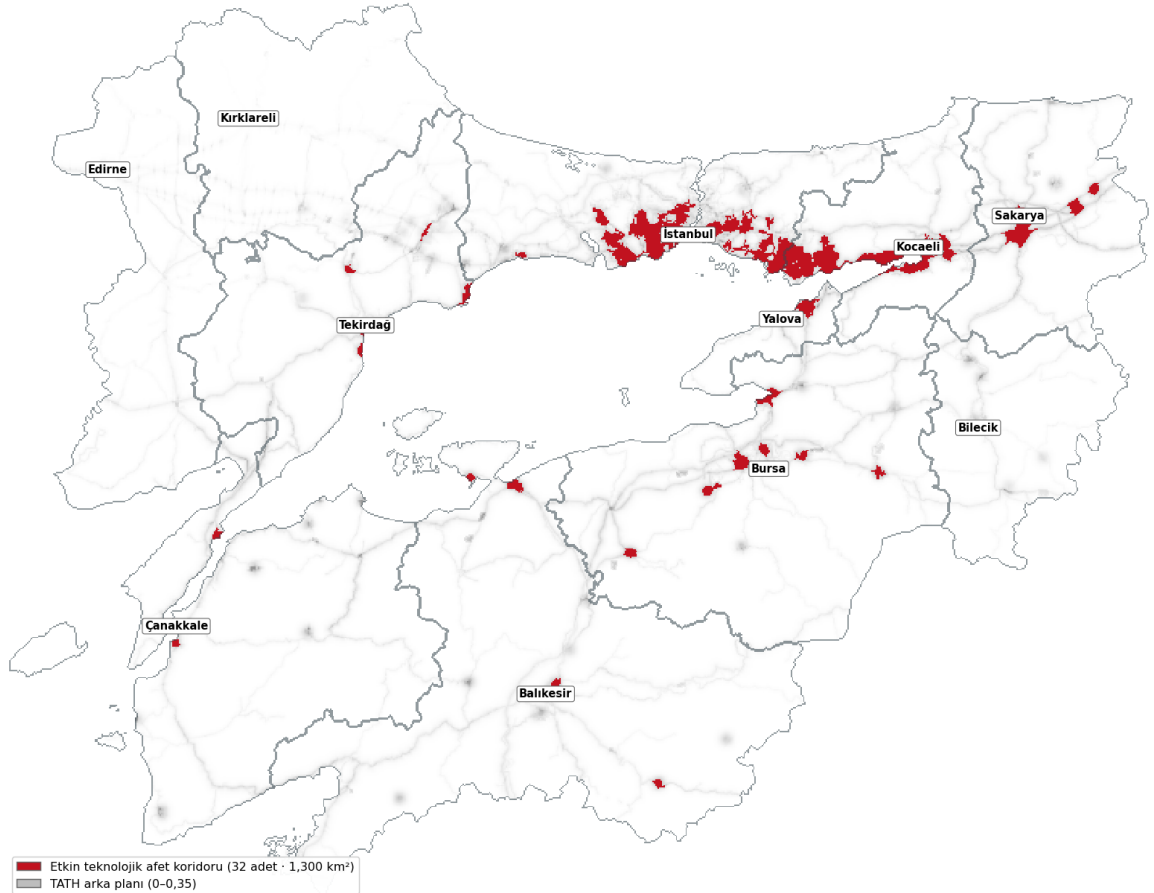
9.4.1 Koridor Kavramı ve Türetim Yöntemi

Bölge geneli çözümlemesi, tehlikenin ve riskin son derece dar bir alana yoğunlaştığını göstermektedir. Bu durumda bölge ortalamaları yönetsel karar için yeterli bir çözünürlük sunmaz; asıl anlamlı birim, tehlikenin fiilen kümelendiği coğrafi süreklilik alanlarıdır. Bu rapor bu alanları etkin koridor olarak adlandırmaktadır.

Koridorlar uzman görüşüyle çizilmemiş, doğrudan tehlike yüzeyinden nesnel bir kuralla türetilmiştir. Kural üç adımlıdır: (i) TATH değeri 0,20'nin üzerindeki hücreler seçilir; (ii) bu hücrelerin sekiz komşuluğa göre bağlantılı bileşenleri hesaplanır; (iii) 25 hücreden (6,25 km²) küçük bileşenler ayrı bir koridor sayılmaz. Eşik değeri, bileşenlerin dengeli biçimde ayrışması gözetilerek seçilmiştir: 0,15 eşliğinde İstanbul–Kocaeli eksenini tek bir 1.270 km²'lik kütle hâlinde birleştirmekte ve yorumlanabilirliğini yitirmekte; 0,35 eşliğinde ise koridorlar parçalanarak bağlamını kaybetmektedir.

Bu kuralla 35 koridor elde edilmiştir; koridorların tam listesi ve göstergeleri [EK-C · 02_EKLER/EK-C_KORIDOR_ANALIZI] altındadır. Koridorlar toplam 1.339 km² kaplamakta — bölge alanının %1,9'u — ve TATH'ın 0,20 üstü hücrelerinin %87,6'sını içermektedir. Koridor sınırları içinde 12,12 milyon kişi yaşamakta, envanterdeki 269 tehlike kaynağının 203'ü ve 8.074 kritik tesisin 3.157'si bu alanlarda bulunmaktadır. Başka bir deyişle, bölge alanının %1,8'i bölge nüfusunun %46'sını, tehlike kaynaklarının %76'sını ve kritik tesislerin %39'unu barındırmaktadır. Koridorların bölge içindeki dağılımı Şekil 9-8'de, otuz beş koridorun tamamı ve temel göstergeleri Tablo 9-9'de verilmiştir.

MARAP · Etkin Teknolojik Afet Koridorları (TATH $\geq$ 0,20 · $\geq$ 6,25 km²)
500 m grid · EPSG:5637 · MARAP 11 il tam kapsam (283.842 hücre · 70.960 km²)



Şekil 9-8 Etkin teknolojik afet koridorları. TATH $\geq$ 0,20 hücrelerinin bağlantılı bileşenlerinden türetilmiş, 6,25 km²'den büyük 35 koridor.

9.4.2 Koridor Envanteri

Tablo 9-9 Etkin teknolojik afet koridorları ve temel göstergeleri (alana göre sıralı).

No	Koridor	İl	Alan (km ²)	TATH ort.	Risk ort.	Nüfus	Tehlike kaynağı	Üst seviye BEKRA	Kritik tesis
1	İstanbul Avrupa yakası kentsel-sanayi kuşağı (Ambarlı-Esenyurt-Bakırköy)	İstanbul	308,0	0,3491	0,2221	8.324.151	18	7	1345
2	Gebze-Dilovası-Tuzla-Çayırova sanayi koridoru	Kocaeli, İstanbul	295,0	0,3819	0,1435	813.784	66	25	471
3	İzmit Körfezi (İzmit-Körfez-Derince-Başiskele-Gölcük)	Kocaeli	194,0	0,4332	0,2227	835.987	49	34	306
4	İstanbul Anadolu yakası kentsel kuşağı	İstanbul	81,5	0,3307	0,2103	451.469	5	1	337
5	Adapazarı-Arifiye-Serdivan kuşağı	Sakarya	75,2	0,3474	0,1313	232.498	6	0	77
6	Yalova Çiftlikköy-Altinova kıyı kuşağı	Yalova	31,8	0,3689	0,0907	6.621	3	2	3
7	Bursa Nilüfer-Osmangazi sanayi kuşağı	Bursa	26,2	0,2799	0,1215	193.178	3	2	43
8	Gemlik körfez kuşağı	Bursa	24,8	0,3420	0,2154	87.469	4	2	39
9	Hendek-Akyazı sanayi alanı	Sakarya	21,5	0,3540	0,0987	2.219	2	2	0
10	Arnavutköy-Hadımköy sanayi alanı	İstanbul	20,0	0,3441	0,0590	35.391	5	2	5
11	Bandırma liman ve sanayi kuşağı	Balıkesir	17,8	0,3116	0,2703	131.840	4	1	145
12	Marmara Ereğlisi terminal kuşağı	Tekirdağ	15,5	0,3879	0,1453	7.605	12	10	15
13	Nilüfer batı sanayi alanı	Bursa	15,5	0,2957	0,0622	2.895	1	1	1
14	Süleymanpaşa (Tekirdağ merkez) kuşağı	Tekirdağ	12,5	0,3276	0,2076	107.379	1	0	45
15	Mustafakemalpaşa sanayi alanı	Bursa	12,2	0,3153	0,1343	48.427	1	1	9
16	Bursa Osmangazi-Yıldırım kent merkezi	Bursa	12,2	0,3199	0,2451	218.425	1	1	64
17	Bursa Osmangazi kent odağı	Bursa	12,0	0,3014	0,1217	33.594	1	0	13
18	Hendek merkez sanayi odağı	Sakarya	11,8	0,3110	0,3292	32.543	1	1	11
19	İnegöl sanayi alanı	Bursa	11,0	0,2789	0,1747	99.101	1	1	26
20	Kestel-Gürsu sanayi alanı	Bursa	10,8	0,2659	0,1446	81.952	2	0	16
21	Balıkesir merkez (Karesi-Altreylül) kuşağı	Balıkesir	10,2	0,2733	0,0999	5.034	2	1	8

No	Koridor	İl	Alan (km ²)	TATH ort.	Risk ort.	Nüfus	Tehlike kaynağı	Üst seviye BEKRA	Kritik tesis
22	Gelibolu kıyı alanı	Çanakkale	9,5	0,3867	0,2724	30.52 1	1	1	21
23	Balıkesir Sındırgı odağı	Balıkesir	8,8	0,2729	0,0449	123	1	1	0
24	Süleymanpaşa (Tekirdağ merkez) kuşağı (2. odak)	Tekirdağ	7,5	0,3123	0,0886	3.468	1	0	2
25	Balıkesir merkez (Karesi–Altıeylül) kuşağı (2. odak)	Balıkesir	7,2	0,2711	0,2335	100.0 31	2	1	46
26	İstanbul Pendik odağı	İstanbul	7,0	0,2601	0,0241	269	0	0	1
27	İstanbul Maltepe odağı	İstanbul	7,0	0,2737	0,2277	39.11 5	0	0	45
28	Tekirdağ Ergene odağı	Tekirdağ	7,0	0,2684	0,0421	3.063	2	0	0
29	Erdek kıyı alanı	Balıkesir	7,0	0,2709	0,1058	17.61 6	1	1	13
30	Tekirdağ Muratlı odağı	Tekirdağ	6,8	0,2778	0,1299	19.09 7	1	1	17
31	İstanbul Silivri odağı	İstanbul	6,2	0,2689	0,0937	76.63 1	1	0	22
32	Çanakkale Merkez odağı	Çanakkale	6,2	0,2839	0,1318	21.80 3	1	0	11

9.4.3 Öncelikli Koridorların Ayrıntılı Değerlendirmesi

Otuz beş koridorun 5 adeti, hem alan hem tehlike düzeyi hem de barındırdığı tehlike kaynağı sayısı bakımından belirgin biçimde öne çıkmaktadır. Aşağıda bu koridorlar ayrı ayrı değerlendirilmektedir.

a) Koridor 3 — İzmit Körfezi (İzmit–Körfez–Derince–Başiskele–Gölcük)

İzmit Körfezi bölgenin en yüksek ortalama tehlikesine sahip koridorudur (0,4251) ve öncelik puanında da birinci sıradadır (60,6/100). 194,0 km²'lik alanda 49 tehlike kaynağı bulunmakta, bunların 34'ü üst seviyeli BEKRA kuruluşudur — bölgedeki 121 üst seviyeli kuruluşun %28'i tek bir koridorda toplanmıştır.

Koridorun omurgasını TÜPRAŞ İzmit Rafinerisi, İGSAŞ, Limaş Liman İşletmeciliği ve Yıldız Entegre oluşturur. Tehlikeyi belirleyen ikinci etken, Kuzey Anadolu Fayı'nın kuzey kolunun doğrudan koridorun altından geçmesidir: deprem tetikleyicisi ortalaması 0,69 ile bütün koridorlar içinde en yüksektir. Sel-taşkın bileşeninin tamamlanmasının ardından koridorun taşkın etkisindeki alan payı %81'e ulaşmıştır; körfeze açılan kıyı ovaları büyük ölçüde alüvyal tabandır.

Koridorda bildirilen Ek-1 tehlikeli madde stoğu 4,10 milyon tondur; bu, bölge toplamının %58'ine karşılık gelir. Koridorda 836 bin kişi yaşamakta, 306 kritik tesis bulunmaktadır. Bu koridor, tesis düzeyinde nicel güvenlik değerlendirmesi (HAZOP, nicel risk analizi) için birinci önceliktir. Koridorun ayrıntılı göstergeleri Tablo 9-10'de verilmiştir.

Tablo 9-10 Koridor 3 — İzmit Körfezi (İzmit–Körfez–Derince–Başiskele–Gölcük)
göstergeleri. İlçeler: İzmit, Kartepe, Başiskele, Körfez, Derince, Gölcük.

Gösterge	Değer	Gösterge	Değer
Alan	194,0 km ²	Nüfus (gece)	835.987
TATH ortalaması	0,4332	Nüfus (gündüz)	867.753
TATH en yüksek	0,9961	Bina sayısı	87.721
Risk ortalaması	0,2227	1980 öncesi bina payı	%27,6
Sabit tehlike ort.	0,5053	Tehlike kaynağı	49
Hareketli tehlike ort.	0,4261	Üst seviyeli BEKRA	34
Deprem tetikleyicisi	0,6889	Ek-1 madde stoğu	4.103.409 ton
Sel-taşkın etkili alan payı	%80,5	Kritik tesis	306

b) Koridor 1 — İstanbul Avrupa yakası kentsel-sanayi kuşağı (Ambarlı–Esenyurt–Bakırköy)

İstanbul Avrupa yakası kentsel-sanayi kuşağı, 308,0 km² ile bölgenin en geniş koridorudur ve öncelik puanında ikinci sıradadır (59,6/100). Bu koridor, raporun önceki sürümünde ayrı değerlendirilen Ambarlı–Esenyurt kuşağı ile Bakırköy–Bahçelievler kentsel kuşağının, yenilenen deprem verisiyle birlikte tek bir süreklilik alanına dönüşmesiyle oluşmuştur.

Koridorda 8,32 milyon kişi yaşamaktadır — bölge nüfusunun %31'i tek bir koridorda. Yalnız 18 tehlike kaynağı bulunması yanıltıcıdır: buradaki tehlike büyük tesislerden değil, Ambarlı Liman Kompleksi ve akaryakıt dolum tesisleri (Aygaz Ambarlı, Haramidere Depoculuk, TP Petrol Dağıtım) çevresindeki yoğunlaşma ile konut dokusuna iç içe geçmiş çok sayıda küçük ve orta ölçekli tehlikeli madde kullanıcısının birleşiminden doğmaktadır. 1.345 kritik tesis bu koridordadır — bölge toplamının %17'si. Yapı stoğunun %27,2'si 1980 öncesidir; hareketli tehlike ortalaması 0,527 ile en yüksek değerlerden biridir. Bu koridorda öncelik, tesis bazlı denetimden çok plan kararlarıdır: sanayi–konut ayrıştırması, liman–yerleşim arayüzünün düzenlenmesi ve tahliye planlaması. Koridorun ayrıntılı göstergeleri Tablo 9-11'te verilmiştir.

Tablo 9-11 Koridor 1 — İstanbul Avrupa yakası kentsel-sanayi kuşağı (Ambarlı–Esenyurt–Bakırköy) göstergeleri. İlçeler: Başakşehir, Esenyurt, Beylikdüzü, Bakırköy, Küçükçekmece, Bahçelievler.

Gösterge	Değer	Gösterge	Değer
Alan	308,0 km ²	Nüfus (gece)	8.324.151
TATH ortalaması	0,3491	Nüfus (gündüz)	8.538.292
TATH en yüksek	0,8507	Bina sayısı	267.698
Risk ortalaması	0,2221	1980 öncesi bina payı	%27,2
Sabit tehlike ort.	0,4311	Tehlike kaynağı	18
Hareketli tehlike ort.	0,5268	Üst seviyeli BEKRA	7
Deprem tetikleyicisi	0,5005	Ek-1 madde stoğu	235.006 ton
Sel-taşkın etkili alan payı	%54,8	Kritik tesis	1345

c) Koridor 2 — Gebze–Dilovası–Tuzla–Çayırova sanayi koridoru

Gebze–Dilovası–Tuzla–Çayırova koridoru 295,0 km² ile ikinci en geniş alandır ve 66 tehlike kaynağıyla bölgenin en yoğun envanterine sahiptir; 25'i üst seviyeli. Öncelik puanı 52,3/100 ile üçüncü sıradadır. Solventaş Teknik Depolama, Poliport Kimya ve Gentaş Kimya gibi depolama ve kimya tesisleri koridorun karakterini belirler; bölgenin en yüksek TATH değeri (1,000) bu koridorda ölçülmektedir.

Koridorun ayırt edici özelliği, sabit kaynak yoğunluğunun TEM ve D-100 koridorlarıyla neredeyse tümüyle çakışmasıdır: sel-taşkın etkisindeki alan payı %51, hareketli tehlike ortalaması 0,38'dir. Dolayısıyla burada tehlikeli madde hem depolanmakta hem de yoğun biçimde taşınmaktadır; tesis güvenliği kadar taşımacılık güvenliği de belirleyicidir. Koridorun ayrıntılı göstergeleri Tablo 9-12'te verilmiştir.

Tablo 9-12 Koridor 2 — Gebze–Dilovası–Tuzla–Çayırova sanayi koridoru göstergeleri.
İlçeler: Gebze, Dilovası, Tuzla, Pendik, Çayırova, Darıca.

Gösterge	Değer	Gösterge	Değer
Alan	295,0 km ²	Nüfus (gece)	813.784
TATH ortalaması	0,3819	Nüfus (gündüz)	832.452
TATH en yüksek	1,0000	Bina sayısı	143.578
Risk ortalaması	0,1435	1980 öncesi bina payı	%19,2
Sabit tehlike ort.	0,4985	Tehlike kaynağı	66
Hareketli tehlike ort.	0,3832	Üst seviyeli BEKRA	25
Deprem tetikleyicisi	0,6492	Ek-1 madde stoğu	756.337 ton
Sel-taşkın etkili alan payı	%51,2	Kritik tesis	471

d) Koridor 12 — Marmara Ereğlisi terminal kuşağı

Marmara Ereğlisi terminal kuşağı, alan bakımından küçük (15,5 km²) ancak tehlike yoğunluğu bakımından olağanüstüdür ve öncelik puanında dördüncü sıradadır (47,4/100). 12 tehlike kaynağının 10'u üst seviyeli BEKRA kuruluşudur; sabit endüstriyel tehlike ortalaması 0,622 ile bütün koridorlar içinde en yüksek değerlerdendir ve domino bileşeninde tavan puanı almaktadır.

BOTAŞ Marmara Ereğlisi LNG terminali ile Likit Kimya, Butangaz ve Argaz dolum tesisleri, birim alan başına bölgenin en yüksek tehlikeli madde yoğunluğunu barındırmaktadır: 15,5 km²'de 1,12 milyon ton Ek-1 stoğu, yani km² başına 72 bin ton. Nüfus düşüktür (7.605 kişi) ve bu nedenle risk sıralamasında geride kalır; ancak domino etkisi potansiyeli ve ulusal enerji arz güvenliği açısından ayrı bir öneme sahiptir. Bu koridor, düşük nüfuslu ama yüksek tehlikeli alanların risk temelli sıralamada nasıl gözden kaçabileceğinin tipik örneğidir. Koridorun ayrıntılı göstergeleri Tablo 9-13'te verilmiştir.

Tablo 9-13 Koridor 12 — Marmara Ereğlisi terminal kuşağı göstergeleri. İlçeler: Marmaraereğlisi.

Gösterge	Değer	Gösterge	Değer
Alan	15,5 km ²	Nüfus (gece)	7.605
TATH ortalaması	0,3879	Nüfus (gündüz)	7.186
TATH en yüksek	0,7283	Bina sayısı	5.311
Risk ortalaması	0,1453	1980 öncesi bina payı	%16,9
Sabit tehlike ort.	0,6223	Tehlike kaynağı	12
Hareketli tehlike ort.	0,4196	Üst seviyeli BEKRA	10
Deprem tetikleyicisi	0,4831	Ek-1 madde stoğu	1.115.214 ton
Sel-taşkın etkili alan payı	%62,9	Kritik tesis	15

e) Koridor 11 — Bandırma liman ve sanayi kuşağı

Bandırma liman ve sanayi kuşağı, 17,8 km²'lik alanıyla küçük olmakla birlikte öncelik puanında beşinci sıradadır (36,4/100) ve koridorlar içinde EN YÜKSEK ortalama riske sahiptir (0,2703). Bunun nedeni bileşenlerin ender rastlanan bir birleşimidir: sabit endüstriyel tehlike ortalaması 0,674 ile bölgenin en yüksek, buna karşılık 131.840 kişilik yerleşim doğrudan liman ve sanayi alanıyla iç içedir.

Yapı stoğunun %33,9'u 1980 öncesidir — ayrıntılı değerlendirilen beş koridor içinde en yüksek kırılabilirlik payı. Hidrojen Peroksit San. ve Tic. A.Ş., Bandırma Limanı ve Gemlik–Bandırma–Karabiga kıyı endüstri kuşağı belirleyici unsurlardır. Koridorda 145 kritik tesis bulunmaktadır. Burada öncelik, tesis güvenliği ile kentsel dönüşümün birlikte ele alınmasıdır. Koridorun ayrıntılı göstergeleri Tablo 9-14'da verilmiştir.

Tablo 9-14 Koridor 11 — Bandırma liman ve sanayi kuşağı göstergeleri. İlçeler: Bandırma.

Gösterge	Değer	Gösterge	Değer
Alan	17,8 km ²	Nüfus (gece)	131.840
TATH ortalaması	0,3116	Nüfus (gündüz)	152.484
TATH en yüksek	0,4487	Bina sayısı	14.905
Risk ortalaması	0,2703	1980 öncesi bina payı	%33,9
Sabit tehlike ort.	0,6739	Tehlike kaynağı	4
Hareketli tehlike ort.	0,3920	Üst seviyeli BEKRA	1
Deprem tetikleyicisi	0,4684	Ek-1 madde stoğu	8.835 ton
Sel-taşkın etkili alan payı	%11,3	Kritik tesis	145

9.4.4 Koridor Tipolojisi

Otuz beş koridor, tehlike ve maruziyet profillerine göre beş tipe ayrılmaktadır. Beşinci tip, envanterin dördüncü sürümünde havalimanı yakıt tesislerinin eklenmesiyle ortaya çıkmıştır. Bu tipoloji, her koridorda hangi politika aracının etkili olacağını belirlediği için önceliklendirmeden daha işlevseldir. Tipoloji ve tipe göre öncelikli politika araçları Tablo 9-15'de verilmiştir.

Tablo 9-15 Koridor tipolojisi ve tipe göre öncelikli politika araçları.

Tip	Tanım	Koridorlar	Öncelikli politika aracı
A — Yüksek tehlike, yüksek nüfus	Büyük ölçekli tehlikeli madde tesisleri ile yoğun yerleşimin iç içe geçtiği koridorlar	3 (İzmit Körfezi), 2 (Gebze–Dilovası), 8 (Gemlik), 11 (Bandırma)	Tesis bazlı nicel risk analizi (HAZOP/QRA) + güvenlik mesafesi denetimi + tahliye planı
B — Dağınık tehlike, çok yüksek nüfus	Büyük tesis yerine çok sayıda küçük-orta ölçekli kullanıcının konut dokusuna karıştığı kentsel koridorlar	1 (İstanbul Avrupa yakası), 4 (İstanbul Anadolu), 15 (Bursa Osmangazi–Yıldırım), 14 (Süleymanpaşa)	Plan kararları, sanayi–konut ayrıştırması, ruhsat ve depolama denetimi
C — Yüksek tehlike, düşük nüfus	Terminal ve ağır sanayi ağırlıklı, yerleşimden görece uzak koridorlar	12 (Marmara Ereğlisi), 6 (Yalova Altınova), 10 (Arnavutköy), 13 (Nilüfer batı), 9 (Hendek–Akyazı), 25 (Sındırgı), 23 (Gelibolu)	Domino etkisi değerlendirmesi, müdahale kapasitesi ve erişim yolu planlaması
D — Orta tehlike, orta nüfus	Bölgesel sanayi merkezleri ve OSB çevresindeki koridorlar	5 (Adapazarı), 7 (Nilüfer–Osmangazi), 18 (Hendek merkez), 20 (Kestel–Gürsu), 16 (M.Kemalpaşa), 17 (Bursa Osmangazi), 22 ve 28 (Balıkesir merkez), 19 (İnegöl), 27, 29–34 (tekil odaklar)	Envanter doğrulama, izleme ve OSB ölçeğinde ortak acil durum planı
E — Havalimanı yakıt odakları	Tek bir havalimanı yakıt ikmal tesisinin çevresinde oluşan, başka tehlike kaynağı barındırmayan koridorlar	21 ve 35 (Çanakkale Merkez), 24 (Bursa Yenişehir), 26 (Balıkesir Edremit–Havran)	Yakıt çiftliği güvenlik denetimi, BEKRA bildirim durumunun teyidi, yangın arayüzü yönetimi (Bölüm 13.5)

Havalimanlarının eklenmesinin etkisi. Envanterin dördüncü sürümünde havalimanı yakıt ikmal tesislerinin tamamlayıcı unsur olarak eklenmesi (Bölüm 6.2), tehlike yüzeyinde sınırlı ancak mekânsal olarak belirgin bir değişiklik yaratmıştır. Bölge ortalaması 0,0207’den 0,0210’a, yüksek ve üzeri sınıftaki alan 542,5 km²’den 546,2 km²’ye çıkmıştır — %0,7’lik bir artış. Buna karşılık etkin koridor sayısı 32’den 35’e, koridor alanı 1.300 km²’den 1.339 km²’ye yükselmiştir: Çanakkale, Bursa Yenişehir ve Balıkesir Edremit’te üç yeni koridor oluşmuş, Cengiz Topel ise mevcut İzmit Körfezi koridoruna katılarak onu 194,0 km²’den 206,2 km²’ye genişletmiştir. Önemli olan, bu değişikliğin öncelik sıralamasını bozmamasıdır: Teknolojik Risk Öncelik Puanına göre ilk dört koridor aynı kalmış, puanları en çok 0,5 birim değişmiştir (İzmit 61,1→60,6; İstanbul Avrupa 59,4→59,6; Gebze 52,1→52,3; Marmara Ereğlisi 47,2→47,4). Yeni koridorların hiçbirisi ilk on içine girmemektedir. Havalimanlarının envantere alınmasının tehlike yüzeyine etkisi Tablo 9-16’de özetlenmiştir.

İstanbul Havalimanı. Tesis düzeyinde en dikkate değer bulgu İstanbul Havalimanı’dır. Eklenmeden önce bulunduğu hücrenin TATH değeri 0,0242 — yani ihmal edilebilir sınıf — iken, eklendikten sonra 0,2137’ye yükselmiştir. Bu, bildirilen madde miktarı bakımından bölgenin en büyük üçüncü tehlikeli madde envanterinin,

önceki sürümlerde tehlike yüzeyinde pratikte görünmediği anlamına gelmektedir. Buna karşılık tesis, 0,20 eşiğini aşmasına rağmen bağımsız bir koridor oluşturmamıştır; çevresinde başka tehlike kaynağı bulunmadığından bağlantılı bileşeni 6,25 km²'lik alt sınırın altında kalmıştır. Risk tarafındaki etkisi de sınırlıdır: 3 km yarıçapındaki gece nüfusu 596 kişidir. Bulgunun anlamı tehlikenin nüfusa yakınlığı değil, envanterin kapsam bütünlüğüdür.

Tablo 9-16 Havalimanı yakıt ikmal tesislerinin envantere alınmasının tehlikeye etkisi.

Havalimanı	İl	TATH (v3 envanteri)	TATH (v4 envanteri)	Koridor
İstanbul Havalimanı	İstanbul	0,024	0,214	koridor oluşmadı
Çanakkale Havalimanı	Çanakkale	0,118	0,407	yeni koridor (10,5 km ²)
Cengiz Topel	Kocaeli	0,116	0,342	İzmit Körfezi koridoruna katıldı
Balıkesir Koca Seyit	Balıkesir	0,057	0,326	yeni koridor (7,5 km ²)
Bursa Yenişehir	Bursa	0,013	0,273	yeni koridor (8,8 km ²)
Gökçeada	Çanakkale	0,000	0,212	koridor oluşmadı
Tekirdağ Çorlu	Tekirdağ	0,007	0,127	eşik altı

Yangın çözümülemesiyle kesişim. Çanakkale Havalimanı çevresinde oluşan koridor, orman yangını çözümülemesiyle (Bölüm 13.5) birlikte okunduğunda ayrıca dikkat çekicidir: alanının tamamı yüksek veya çok yüksek orman yangını risk sınıfında kalmakta, %86'sı çok yüksek sınıfta bulunmaktadır. Havalimanı yakıt tesisi, yangın riski bakımından işaretlenen kırk bir tehlike kaynağı içinde çok yüksek sınıftaki on bir tesisten biridir. Yakıt depolamasının dışarıdan gelen termik etkiye duyarlılığı düşünüldüğünde, bu koridor iki tehlikenin üst üste geldiği tekil bir örnektir.

9.5 Orman Yangını – Teknolojik Tesis Arayüzü

Çözümlemenin amacı. MARAP İP-4 kapsamında ayrıca üretilen orman yangını tehlike ve risk haritaları (MARAP İP-4, 2026a), teknolojik afet çözümülemesine iki soru üzerinden bağlanmaktadır: orman yangını, bölgedeki tehlikeli madde kaynakları için anlamlı bir tetikleyici midir; anlamlıysa hangi koridor ve tesislerde? Bu alt bölüm, iki katmanın hücre düzeyinde kesiştirilmesiyle bu soruları yanıtlamaktadır; kesişim çözümülemesinin sonuç tabloları [EK-D · 02_EKLER/EK-D_ORMAN_YANGINI_KESISIMI] altındadır.

Yöntemsel konum. Orman yangını, TATH'ın doğal tetikleyici bileşenine dördüncü katman olarak katılmamıştır. Bunun üç gerekçesi vardır. Birincisi, aşağıda gösterildiği üzere yangın riski ile tehlike kaynaklarının mekânsal dağılımı örtüşmemekte, hatta ters yönde ayrılmaktadır; sabit ağırlıklı bir bileşen olarak eklenmesi, katmanın yüksek değer taşıdığı ancak tesis bulunmayan geniş alanlarda diğer üç tetikleyiciyi seyreltirdi. İkincisi, yangın diğer üç tetikleyiciden farklı olarak kendi kendine yayılan bir olgudur; sabit bir tetikleyici yüzeyi bu niteliği temsil

edemez. Üçüncüsü, yangın riski haritası kendi içinde kırılabilirlik ve maruziyet bileşenleri barındırdığından TATH'a girdi olarak kullanılması çifte sayıma yol açardı. Bu nedenle yangın, TATH ve TARH'ın sayısal temeline dokunulmadan, ayrı bir arayüz çözümlemesi olarak ele alınmıştır.

Veri ve yöntem. Çözümlemede iki katman kullanılmıştır: dört sınıflı orman yangını tehlike haritası (Random Forest modeli — Breiman, 2001; ~900 m) ve beş sınıflı bütünleşik yangın risk haritası (30 m) [KV-7E_07_KAYNAK_VERI/7E_ORMAN_YANGINI_KAYNAK]. Her ikisi de EPSG:5637 sisteminde üretildiğinden yeniden projeksiyon gerekmemiş; katmanlar MARAP sınırına kırılmış, piksel değerleri ve kaynak çözünürlük korunmuştur. Alansal göstergeler 30 m kaynak rasterinden alan ağırlıklı olarak 500 m gride indirgenmiş, tesis düzeyindeki göstergeler ise 30 m rasterinden nokta örneklemeyle alınmıştır.

Model sınırlılığının çözümlemeye etkisi. Tehlike modelinin “yüksek tehlikeli” (sınıf 3) kategorisi MARAP alanında yalnızca 22 km² kaplamaktadır. Bu bir kırılma veya aktarım kaybı değildir: kaynak çalışmada bu sınıf eğitim kümesinde %1,4 ile temsil edilmiş ve modelin bu sınıftaki duyarlılığı 0,25'te kalmıştır; kaynak rapor bunu kendi en kritik bulgusu olarak belirtmektedir. Bu nedenle ayırım gerektiren yerlerde “sınıf ≥ 2 (tehlikeli ve üzeri)” eşiği kullanılmış, bu eşik bölge alanının %16,0'sına karşılık gelmiştir. Ayrıca Random Forest ve XGBoost (Chen & Guestrin, 2016) modelleri hücrelerin yalnızca %71'inde aynı sınıfı vermektedir; kaynak raporun başarımlarını karşılaştırmasına uyularak Random Forest sonucu esas alınmıştır.

Bölge geneli: ayrışan iki coğrafya. Bölge kara alanının %38,7'si yüksek veya çok yüksek yangın riski sınıfındadır. Buna karşılık 269 kayıtlık tehlike kaynağı envanterinin yalnızca %13,8'i (37 tesis) bu sınıflarda yer almakta, tehlike sınıfı ≥ 2 olan hücrelerde ise yalnızca 9 tesis (%3,3) bulunmaktadır. Aynı ayrışma kritik tesislerde daha da belirgindir: 8.074 kritik tesisin yalnızca %4,9'u (397 tesis) yüksek+ yangın riski sınıfındadır. Otuz beş etkin koridorun alan ağırlıklı ortalaması ise %12,7 ile bölge ortalamasının üçte biri düzeyindedir. Bulgu açıktır: Marmara'da teknolojik tehlike kaynakları, orman yangını riskinin yüksek olduğu alanlardan sistematik olarak ayrışmaktadır. Sanayi dokusu düşük yanıcı yük taşıyan, yol ağıyla çevrili ve müdahaleye açık alanlarda yoğunlaşmakta; yangın riski ise orman ve makilik örtünün hâkim olduğu iç ve güney kesimlerde toplanmaktadır. Bölge geneli ile teknolojik afet unsurlarının karşılaştırması Tablo 9-17'da verilmiştir.

Tablo 9-17 Orman yangını riski bakımından bölge geneli ile teknolojik afet unsurlarının karşılaştırması.

Gösterge	Yüksek+ yangın riski payı	Karşılaştırma
Bölge kara alanı (69.747 km ²)	%38,7	referans
Tehlike kaynağı envanteri (269 tesis)	%13,8	referansın 0,35 katı
Kritik tesisler (8.074 tesis)	%4,9	referansın 0,12 katı
Etkin koridorlar (35 koridor, 1.339 km ²)	%12,7	referansın 0,32 katı
İtfaiye istasyonları (208 istasyon)	%4,3	referansın 0,11 katı

Koridor düzeyi: yedi arayüz koridoru. Ayrışma bölgesel düzeyde geçerli olmakla birlikte, sınırlı sayıda koridorda tersine dönmektedir. Otuz beş koridorun yedisinde yüksek+ yangın riski alan payı %25'i, beşinde %50'yi aşmaktadır. Bu yedi koridor, öncelik puanı (TROP) sıralamasında 24,0–35,1 bandında yer alan ve birbirinden ayrışması güç olan ikinci kademe koridorlardır; yangın maruziyeti bu bandın içinde ayırt edici bir ölçüt sağlamaktadır. İlk dört öncelikli koridor — İzmit Körfezi (60,6), İstanbul Avrupa yakası (59,6), Gebze–Dilovası (52,3) ve Marmara Ereğlisi (47,4) — kentsel-sanayi dokusunda yer aldığından bu listede bulunmamaktadır. Yangın maruziyeti %25 ve üzerinde olan yedi koridor Tablo 9-18'da listelenmektedir.

Tablo 9-18 Orman yangını maruziyeti %25 ve üzerinde olan yedi teknolojik afet koridoru.

Koridor	İl	Alan (km ²)	TROP	Yüksek+ yangın riski (%)	İtfaiye mesafesi (km)
Çanakkale Merkez odağı	Çanakkale	6,2	24,4	91,0	5,9
Nilüfer batı sanayi alanı	Bursa	15,5	24,0	83,8	8,9
Hendek–Akyazı sanayi alanı	Sakarya	21,5	31,8	76,4	21,4
Balıkesir Sındırgı odağı	Balıkesir	8,8	33,2	56,2	49,8
Erdek kıyı alanı	Balıkesir	7,0	27,5	52,7	1,1
Gelibolu kıyı alanı	Çanakkale	9,5	35,1	39,0	8,3
Arnavutköy–Hadımköy sanayi alanı	İstanbul	20,0	31,2	39,0	3,1

Tipoloji ile ilişki. Bu yedi koridordan üçü — Nilüfer batı, Hendek–Akyazı ve Sındırgı — Bölüm 13.4'teki tipolojide zaten “C: yüksek tehlike, düşük nüfus” tipinde yer almaktadır. Söz konusu tipin öncelikli politika aracı müdahale kapasitesi ve erişim yolu planlaması olarak tanımlanmıştı; yangın maruziyeti bu tanımlı doğrulamakta ve niceliksel bir dayanak kazandırmaktadır.

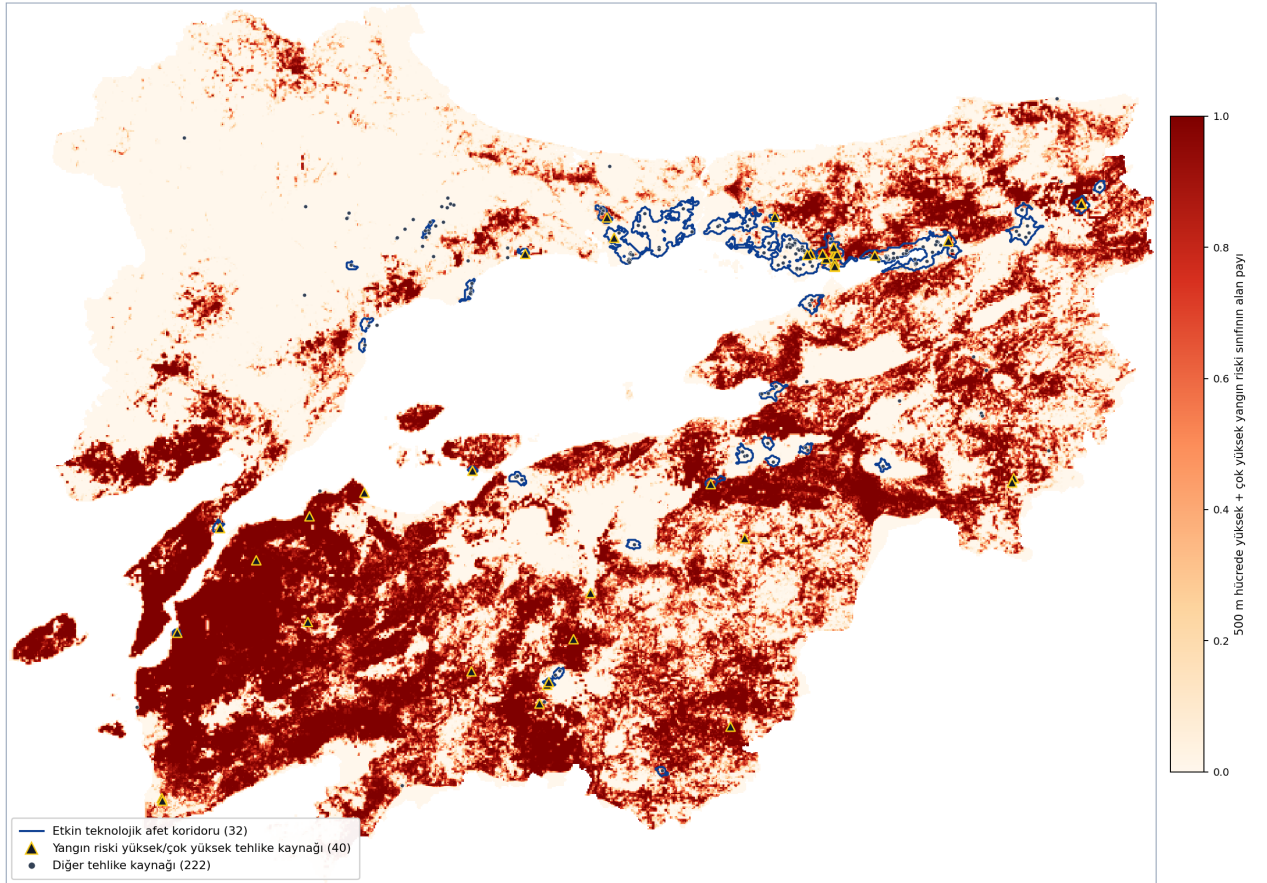
Tesis düzeyi: kırk kaynak, on kritik konum. Tesis düzeyinde, envanterdeki 269 kaynaktan 41'i ya konumu itibarıyla yüksek/çok yüksek yangın riski sınıfında bulunmakta ya da tehlike sınıfı ≥ 2 olan bir hücrededir. Bunların 18'i üst seviye, 17'si alt seviye BEKRA kuruluşudur. On tesis çok yüksek risk sınıfındadır: AKCOAT İleri Kimyasal Kaplama (Sakarya), TÜMAD Madencilik Lapseki (Çanakkale), İÇDAŞ Elektrik Enerjisi Biga (Çanakkale), ESAN Eczacıbaşı Endüstriyel Hammaddeler (Balıkesir), Çanakkale Liman İşletmesi, BPS-Balıkesir Patlayıcı Maddeler, Polimetal Madencilik (Balıkesir), CENAL Karabiga Enerji Santrali (Çanakkale), TP Petrol Yarımca Depolama ve İskele Tesisi (Kocaeli) ve BAGFAŞ Bandırma Gübre Fabrikaları.

Bu tesislerin yedisinde 1 km yarıçaptaki alanın %90'ından fazlası yüksek veya çok yüksek yangın riski sınıfındadır; üçünde bu oran %100'dür. Patlayıcı madde üretimi, gübre üretimi, akaryakıt depolama ve termik santral gibi dışarıdan gelen termik etkiye duyarlı tesis tiplerinin bu listede yoğunlaşması, arayüzün rastlantısal

olmadığını göstermektedir. Yangın riski ile koridorların ve tehlike kaynaklarının mekânsal kesişimi Şekil 9-9'de gösterilmektedir.

Yönetilebilirlik boyutu. Yangın, diğer tetikleyicilerden farklı olarak müdahale kapasitesini eş zamanlı olarak tüketmektedir. Yüksek+ yangın riskinin baskın olduğu 27.690 km²'lik alanda ortalama itfaiye mesafesi 22,1 km olup bölge ortalamasından (21,4 km) yalnızca bir miktar yüksektir; dolayısıyla bölgesel düzeyde belirgin bir erişim dezavantajı bulunmamaktadır. Buna karşılık koridor düzeyinde iki uç durum belirlemektedir: Balıkesir Sındırgı odağı hem %56,2 yangın maruziyeti hem de 49,8 km ile bölgenin en uzak itfaiye mesafesini taşımakta; Hendek–Akyazı ise %76,4 maruziyet ile 21,4 km mesafeyi birleştirmektedir. Bu iki koridorda yangın sezonunda eş zamanlı bir teknolojik olay, müdahale kapasitesinin zaten gergin olduğu bir anda ortaya çıkacaktır. Yönetilebilirlik bileşeni (Bölüm 12.6) bu iki koridor için mevsimsel olarak yeniden değerlendirilmelidir.

Orman yangını riski ile teknolojik afet koridorlarının ve tehlike kaynaklarının kesişimi
MARAP - 11 il - yangın risk sınıfları 30 m kaynak çözünürlükten alan ağırlıklı olarak indirgenmiştir



Şekil 9-9 Orman yangını riski ile teknolojik afet koridorlarının ve tehlike kaynaklarının kesişimi. Koyu tonlar 500 m hücrede yüksek ve çok yüksek yangın riski sınıfının alan payını göstermektedir.

Sınırlılıklar. Çözümleme üç sınırlılık taşımaktadır. Birincisi, tehlike modelinin yüksek sınıfındaki düşük duyarlılığı nedeniyle tesis düzeyindeki tehlike sınıfı göstergeleri muhafazakâr, yani gerçek maruziyeti eksik gösteriyor olabilir. İkincisi, tehlike katmanının ~900 m çözünürlüğü tesis ölçeğinde ayırım için kabadır; bu nedenle tesis düzeyinde 30 m risk katmanı esas alınmıştır. Üçüncüsü, yangın risk katmanı kırılabilirlik bileşeninde kritik altyapı ve yapı yoğunluğu faktörlerini barındırdığından, “tesisler yüksek risk alanındadır” türü bir okuma kısmen döngüsel; bu nedenle ayırım ölçütü olarak kırılabilirlikten arındırılmış tehlike katmanı da birlikte raporlanmıştır.

10 ÖNCELİKLİ MÜDAHALE ALANLARI VE ÖNERİLER

Çözümlemenin ortaya koyduğu tablo, kaynakların dar bir alana odaklanmasına elverişlidir. Bölge alanının %1,8'ini oluşturan 35 koridor, tehlike kaynaklarının %76'sını ve yüksek riskteki nüfusun neredeyse tamamını barındırmaktadır. Aşağıdaki öneriler bu odaklanmayı somutlaştırmaktadır.

1. Birinci öncelik — İzmit Körfezi ve Gebze–Dilovası. Bu iki koridor, bölgedeki üst seviyeli BEKRA kuruluşlarının %49'unu (59 kuruluş) barındırmakta ve en yüksek deprem tetikleyicisiyle çakışmaktadır. Bu alanda tesis bazlı nicel risk analizi ve domino etkisi değerlendirmesi ivedilikle yapılmalı; tesisler arası güvenlik mesafeleri ve ortak acil durum planları denetlenmelidir.

2. İkinci öncelik — İstanbul kentsel koridorları. Yüksek riskteki 2,63 milyon kişinin 1,91 milyonu İstanbul'dadır ve bu risk büyük tesislerden değil, konut dokusuna karışmış çok sayıda küçük kullanıcıdan doğmaktadır. Burada araç tesis denetimi değil plan kararıdır: mevcut imar planlarında tehlikeli madde kullanan işletmelerin konumlarının gözden geçirilmesi, ruhsatlandırmada mesafe ölçütünün uygulanması ve mahalle ölçeğinde tahliye planlarının hazırlanması gerekir.

3. Üçüncü öncelik — düşük nüfuslu yüksek tehlike koridorları. Marmara Ereğlisi, Yalova Altınova ve Arnavutköy gibi koridorlar risk sıralamasında geride kalmakta, çünkü çevrelerinde az insan yaşamaktadır. Ancak barındırdıkları madde miktarı ve domino potansiyeli ulusal ölçekte önemlidir. Bu alanlarda risk temelli değil tehlike temelli bir öncelik ölçütü kullanılmalıdır.

4. Dördüncü öncelik — müdahale kapasitesi. Bölge kara alanının %54,4'ü en yakın itfaiye istasyonundan 10 km'den uzaktadır ve 188 istasyonun 69'u kendisi orta ve üzeri risk sınıfındadır. İl itfaiye müdürlüklerinden resmî istasyon envanterinin temini, yol ağı üzerinden gerçek müdahale süresi hesabı ve kritik koridorlarda müdahale kapasitesinin gözden geçirilmesi önerilir.

5. Beşinci öncelik — veri iyileştirme. Çözümlemenin en zayıf halkaları sırasıyla şunlardır: tehlikeli madde taşımacılığı kaza kayıtlarının bulunmaması, boru

hattı verisinin temin edilememesi, itfaiye envanterinin eksikliği ve gündüz nüfusunun modellenmiş olması. Bu dört kalemin giderilmesi, yüzeylerin yeniden üretilmesiyle doğrudan iyileşme sağlar.

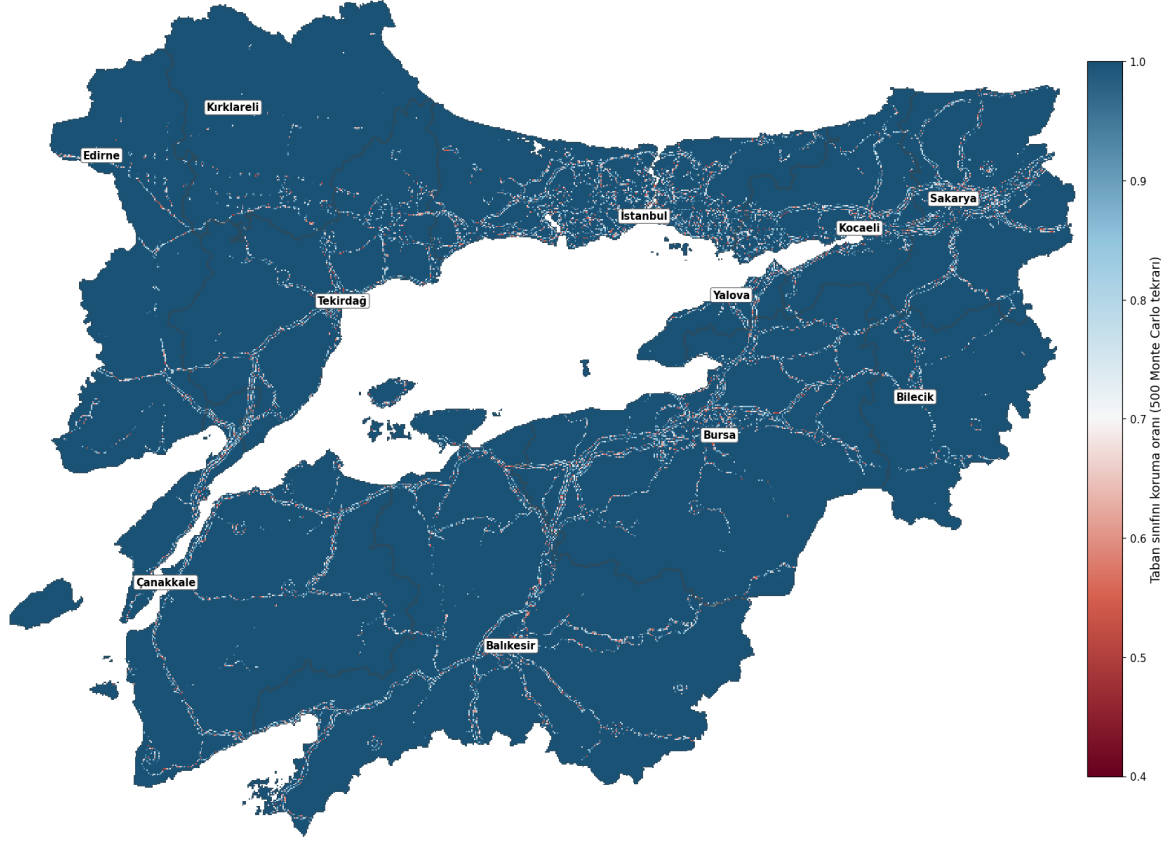
11 SINIRLILIKLAR

Çözümlemenin sonuçları aşağıdaki sınırlılıklarla birlikte okunmalıdır.

- Tehlike yüzeyi bağıl (0–1) bir tarama ürünüdür; olasılık ya da beklenen kayıp değeri değildir. Sınıflar arası karşılaştırma anlamlı, mutlak yorum değildir.
- Tehlikeli madde taşımacılığına özgü kaza kaydı bulunmadığından hareketli bileşenin kaza terimi, ağır taşıt koridorlarındaki genel kaza yoğunluğuyla temsil edilmiştir; bu bir vekil göstergedir.
- Boru hattı verisi temin edilememiştir. BOTAŞ doğalgaz ana iletim hattı ile ham petrol hatları sabit tehlike kaynağı olarak yüzeye girmemiştir.
- Yapı stoğu verisinde yapım dönemi bilgisinin %72,7'si İstanbul'daki ilişkiden aktarılmış tahmindir; kat ve yükseklik alanları %2,4 ve %1,3 oranında doludur. Kırılmalık bu nedenle taban alanı ve dönem grupları üzerinden kurulmuştur.
- Gündüz nüfusu ölçüm değil modeldir; kaynak veri setinde il toplamı sabit bir katsayıya oturtulduğundan analizde yalnız hücre içi dağılım deseni kullanılmıştır.
- İtfaiye ve kritik tesis envanteri açık kaynaklıdır ve kırsalda eksiktir; yönetilebilirlik bileşeni olduğundan düşük tahmin edilmiş olabilir.
- BEKRA envanterinde Edirne için kayıt dosyası iletilmemiş, Kırklareli ve Yalova yalnız üst seviye dosyalarıyla temsil edilmiştir. Bu üç ildeki düşük değerler, düşük tehlike değil eksik kapsam anlamına gelebilir.
- Analiz birimi 500x500 m'dir; tesis içi yerleşim, tank konumu ve salım modellenmesi bu ölçekte temsil edilemez. Öncelikli koridorlarda tesis ölçeğinde nicel değerlendirme gereklidir.

Bu sınırlılıklar, çözümlemenin bölge ve koridor ölçeğindeki önceliklendirme amacını zedelememektedir. Duyarlılık analizi (Bölüm 6.6.2), ağırlık seçimindeki ***±%20'lik belirsizliğin koridor sıralamasını değiştirmedini göstermiştir***, tek değişkenli denemelerde taban yüzeyle sıra korelasyonu hiçbir durumda 0,9991'in altına inmemiş, 500 tekrarlı Monte Carlo denemesinde ortalama sınıf değişimi %1,24'te kalmış ve bölge alanının %92,5'i bütün tekrarlarla taban sınıfını korumuştur. Kararsızlık, ağırlığa duyarlı hücrelerin toplandığı sınıf sınırı komşuluklarında yoğunlaşmakta; koridor ve il düzeyinde toplulaştırma bu hücre düzeyi salınımını büyük ölçüde söndürmektedir. Dolayısıyla bulguların dayanıklılığı bu ölçekte yeterlidir. Sınıflandırmanın ağırlık belirsizliğine karşı kararlılığı Şekil 11-1'de verilmiştir.

MARAP - TATH Sınıf Kararlılığı – Ağırlıkların Eşzamanlı $\pm\%20$ Değişimi
500 m grid - EPSG:5637 - MARAP 11 il tam kapsam (283.842 hücre - 70.960 km²)



Şekil 11-1 TATH sınıflandırmasının ağırlık belirsizliğine karşı kararlılığı (500 tekrarlı Monte Carlo, $\pm\%20$).

12 TEKNOLOJİK AFET VE NaTech RİSK AZALTMA POLİTİKALARI VE STRATEJİLERİ

Bu bölüm, önceki bölümlerde üretilen tehlike ve risk haritalarını; planlama, yatırım ve müdahale kararlarına doğrudan girdi oluşturacak politika ve stratejilere dönüştürmeyi amaçlar. Bölümün kurgusu iki katmanlıdır: yöntem, önceliklendirme mantığı, strateji paketleri, izleme göstergeleri ve yönetim yapısı bulgudan bağımsız biçimde tanımlanmış; öncelikli koridorlar, sayısal hedefler ve harita referansları gibi bulguya bağlı unsurlar ise Bölüm 5–15'te üretilen risk yüzeyleri ve sınıflandırılmış haritalar üzerinden somutlaştırılmıştır. Bu ayırım, bulgular güncellendiğinde politika çerçevesinin korunarak sayısal içeriğin yenilenebilmesini sağlamaktadır.

12.1 Bölümün Amacı ve Karar Çerçevesi

Üretilen teknolojik tehlike ve NaTech risk çıktıları; yalnızca mevcut durumu betimleyen teknik bulgular olarak değil, bölgesel risk azaltma politikalarına esas oluşturan bir karar destek altyapısı olarak değerlendirilmiştir. Yaklaşım, Sendai Çerçevesi'nin risk bilgisine dayalı karar alma ilkesiyle (UNDRR, 2015) ve NaTech risk yönetimi yazınıyla (Krausmann vd., 2017) uyumludur. Politikaların temel ilkesi, kaynakların en fazla binanın veya en büyük tesisin bulunduğu yere değil; en fazla can kaybının, çevresel zararın, ekonomik kaybın ve hizmet kesintisinin önlenebildiği müdahalelere yönlendirilmesidir.

Bu bölümde sunulan politika, strateji ve program önerileri, üretilen risk bulgularından türetilmiştir. Önerilen önceliklendirme puanı, uygulama takvimi ve izleme göstergeleri; bulguların operasyonel bir risk azaltma programına dönüştürülmesine yönelik yönetsel çerçeveyi oluşturur.

Deprem çalışmasıyla bağ. Bu bölümdeki öneriler, MARAP İş Paketi 4 deprem çalışmasının politika bölümünde açıkça dile getirilen bir ihtiyaca da karşılık vermektedir. Söz konusu çalışma, Kocaeli–Sakarya–Yalova eksenini için önerdiği politika esasları arasında sanayi tesisleri ve tehlikeli madde içeren işletmeler için deprem ve ikincil kaza (NaTech) senaryolarının hazırlanmasını saymakta; Kocaeli için de tehlikenin yerel zemin ve sanayi maruziyetiyle birleşmesi hâlinde yangın, kimyasal sızıntı ve liman kesintisi gibi NaTech sonuçlarının belirleyici hâle gelebileceğini kaydetmektedir (MARAP İP-4, 2026b). Bu raporun doğrulanmış tesis envanteri, tehlike ve risk yüzeyleri, koridor önceliklendirmesi ve strateji paketleri, söz konusu ihtiyacın bölgesel ölçekteki karşılığını oluşturmaktadır. İki çalışma aynı deprem hesap gridine dayandığından çıktılar birbiriyle doğrudan karşılaştırılabilir niteliktedir.

12.2 Bulgudan Politikaya Geçiş Mantığı

Politikalar, risk bulgularıyla doğrudan ilişkilendirilerek türetilmiştir. Aşağıdaki tablo bu geçişin mantığını göstermektedir; sol sütun Bölüm 5–15'te elde edilen bulguları, sağ sütun bunların politika karşılıklarını vermektedir.

Risk Bulgusu (Bölüm 5–15)	Politika ve Uygulama Karşılığı (tanımlı)
En yüksek bileşik riskli koridorlar: İzmit Körfezi (TROP 60,6), İstanbul Avrupa yakası (59,6), Gebze–Dilovası (52,3)	Öncelikli denetim, tesis bazlı nicel değerlendirme ve müdahale kapasitesi planlaması bu kümelere yönlendirilir.
Doğal tehlike ile çakışan kaynaklar: 269 tehlike kaynağının bulunduğu hücrelerde doğal tetikleyici ortalaması 0,465 — bölge ortalamasının (0,270) 1,7 katı; 138 kaynak taşkın etkisindeki hücrededir	Deprem/taşkın dayanıklılığı, ikincil kaza önleme ve senaryo tabanlı acil durum planları önceliklendirilir.
Yüksek küme yoğunluğu: 269 kaynağın 203'ü 35 etkin koridor içinde; en yoğun üç koridor Gebze–Dilovası (66), İzmit Körfezi (49) ve İstanbul Avrupa yakası (18)	Tesisler arası güvenlik mesafeleri, ortak altyapı yedekliliği ve bölgesel HAZMAT müdahale kapasitesi güçlendirilir.
Yüksek maruziyetli alanlar: yüksek ve üzeri risk sınıfında 2.631.380, orta ve üzeri risk sınıfında 12.134.886 kişi; bu alanlarda 1.101 kritik tesis	Erken uyarı, tahliye ve alternatif lojistik planları; imar-yapılaşma denetimi risk haritasıyla ilişkilendirilir.
Kıyı ve liman odakları: Marmara Ereğlisi terminal kuşağı (TROP 47,4), Bandırma liman ve sanayi kuşağı (36,4), Gelibolu kıyı alanı	Deniz kirliliği müdahale kapasitesi ve yangın sonrası havza koruma protokolleri geliştirilir.

12.3 Mekânsal Öncelik Yaklaşımı: Küme Bazlı Önceliklendirme

Bileşik risk sınıflandırması, tesis kümelerinin önceliklendirilmesinde temel alınmıştır. Her küme için, kapsadığı grid hücrelerinin risk değerleri bölge istatistikleriyle özetlenerek kümeler karşılaştırmalı olarak sıralanacak; orta ve üzeri riskli kümeler tesis bazlı nicel derinleşme ve kademeli envanter doğrulaması için öncelikli sıraya alınacaktır. Önceliklendirme, salt tehlike sınıfı yerine nüfus, kritik altyapı, NaTech potansiyeli ve müdahale erişimini birlikte dikkate alacaktır.

Öncelik sıralaması. Risk çıktıları üretilmiş ve önceliklendirme somutlaştırılmıştır. Küme birimi olarak, tehlike yüzeyinden nesnel bir kuralla türetilen etkin koridorlar kullanılmıştır ($TATH \geq 0,20 \cdot \text{sekiz komşuluk} \cdot \geq 6,25 \text{ km}^2$; bkz. Bölüm 13.1). Bu kuralla 35 koridor elde edilmiş; koridorlar bölge alanının %1,9'unu kaplamakla birlikte bölge nüfusunun %46'sını, envanterdeki tehlike kaynaklarının %75'ini ve kritik tesislerin %39'unu barındırmaktadır. Öncelik sıralaması, 9.4'te tanımlanan çok ölçütlü puana (bkz. Saaty, 1980; Rezaei, 2015) göre yapılmış; koridorların her biri için ayrıntılı pafta üretilmiştir (MARAP_Koridor_Paftalari.pdf). Öncelik puanına göre ilk on koridor ve temel göstergeleri Tablo 12-1'de verilmiştir.

Tablo 12-1 Öncelik puanına göre ilk on koridor ve temel göstergeleri. Ayrıntılı liste ve tüm koridorların göstergeleri MARAP_koridor_öncelik_puani.xlsx dosyasındadır.

No	Koridor	Alan (km ²)	TATH ort.	Risk ort. (gece)	Nüfus (gece)
3	İzmit Körfezi (İzmit-Körfez-Derince-Başiskele-Gölcük)	194,0	0,4332	0,2227	835.987
1	İstanbul Avrupa yakası kentsel-sanayi kuşağı	308,0	0,3491	0,2221	8.324.151
2	Gebze-Dilovası-Tuzla-Çayırova sanayi koridoru	295,0	0,3819	0,1435	813.784
12	Marmara Ereğlisi terminal kuşağı	15,5	0,3879	0,1453	7.605
11	Bandırma liman ve sanayi kuşağı	17,8	0,3116	0,2703	131.840
8	Gemlik körfez kuşağı	24,8	0,3420	0,2154	87.469
25	Balıkesir merkez (Karesi-Altıeylül) — 2. odak	7,2	0,2711	0,2335	100.031
22	Gelibolu kıyı alanı	9,5	0,3867	0,2724	30.521
4	İstanbul Anadolu yakası kentsel kuşağı	81,5	0,3307	0,2103	451.469
18	Hendek merkez sanayi odağı	11,8	0,3110	0,3292	32.543

Sıralamanın yorumu. Sıralamanın okunmasında iki husus gözetilmelidir. Birincisi, tehlike ile riskin sıralaması örtüşmemektedir: İzmit Körfezi tehlike bakımından birinci sıradayken, risk ortalaması bakımından Gelibolu ve Bandırma gibi küçük ama kalabalık kıyı-sanayi koridorları öne çıkmaktadır; çünkü risk, tehlikenin nüfus ve kırılganlıkla çarpımıdır. İkincisi, düşük nüfuslu ancak çok yüksek tehlikeli koridorlar (Marmara Ereğlisi, Yalova Altınova) risk temelli sıralamada geride kalmakta, buna karşılık barındırdıkları tehlikeli madde miktarı ve domino potansiyeli ulusal ölçekte önem taşımaktadır. Bu nedenle önceliklendirmede tek bir ölçüt değil, 9.4'teki bileşik puan esas alınmıştır.

12.4 Çok Ölçütlü Teknolojik Risk Önceliklendirme Puanı

Kümeler ve tesisler arasında ayırım yapılabilmesi için, 100 puanlık bir “Teknolojik Risk Öncelik Puanı” önerilmektedir. Puan; salt tehlikeye değil, maruziyet, kırılganlık, NaTech potansiyeli ve müdahale kapasitesine birlikte dayanır. Bileşenler ve önerilen ağırlıklar aşağıda tanımlıdır; ağırlıklar yerel önceliklere göre kalibre edilebilir. Bileşen değerleri hesaplanmış ve 35 koridorun tamamı için puanlanmıştır; yöntem ve sonuçlar aşağıda verilmektedir. Toplam 100 puan üzerinden hesaplanan skor, tesis/küme/mahalle ölçeğinde önceliklendirme ve kaynak tahsisinde kullanılacaktır.

Hesaplama yöntemi. Puanın hesaplanmasında her bileşen, 35 koridor üzerinden en küçük-en büyük (min-maks) normalizasyonuyla 0–1 aralığına getirilmiş ve tablodaki ağırlıkla çarpılmıştır. Sayım niteliğindeki ve dağılımı çarpık olan değişkenlerde (nüfus, Ek-1 madde miktarı, kritik tesis ve tehlike kaynağı sayısı) normalizasyon öncesinde karekök dönüşümü uygulanmış; böylece tek bir koridorun

ölçeği diğerlerini bastırmamıştır. Bileşenlerin karşılıkları şunlardır: tehlike bileşeni $0,65 \times$ sabit endüstriyel + $0,35 \times$ hareketli tehlike ortalaması; BEKRA bileşeni üst seviyeli kuruluş sayısı ile Ek-1 madde miktarının eşit ağırlıklı birleşimi; nüfus bileşeni gece ve gündüz nüfusunun büyüğü; altyapı bileşeni koridordaki kritik tesis sayısı; NaTech bileşeni $0,55 \times$ deprem + $0,25 \times$ sel-taşkın + $0,20 \times$ heyelan tetikleyicisi; domino bileşeni birim alandaki tehlike kaynağı yoğunluğu. Müdahale bileşeni azaltıcı niteliktedir ve en yakın itfaiye istasyonuna ortalama uzaklıkla artmaktadır; yani erişimin zayıf olduğu koridor daha yüksek puan almaktadır. Puanın bileşen bazında dağılımı Tablo 12-2'de verilmiştir.

Bileşen	Önerilen Ağırlık
Endüstriyel + hareketli tehlike sınıfı (etki zonu şiddeti)	20
BEKRA seviyesi / tehlikeli madde miktarı	15
Maruz nüfus (gündüz-gece) ve hassas kullanımlar	15
Kritik altyapı ve hizmet sürekliliği önemi	15
NaTech tetikleme potansiyeli (doğal tehlike çakışması)	15
Domino / küme yoğunluğu	10
Müdahale erişimi ve kapasitesi (azaltıcı)	10

Tablo 12-2 Teknolojik Risk Öncelik Puanının bileşen bazında dağılımı (ilk on koridor; parantez içindeki değerler bileşen tavanlarıdır).

No	Koridor	Tehlike (20)	BEKRA (15)	Nüfus (15)	Altyapı (15)	NaTech (15)	Domino (10)	Müdahale (10)	TOPLAM
3	İzmit Körfezi	12,6	15,0	4,8	7,2	15,0	5,6	0,5	60,6
1	İstanbul Avrupa yakası	12,1	5,2	15,0	15,0	9,5	2,7	0,1	59,6
2	Gebze-Dilovası-Tuzla-Çayırova	11,6	9,7	4,6	8,9	11,8	5,4	0,4	52,3
12	Marmara Ereğlisi	18,0	8,0	0,4	1,6	7,9	10,0	1,6	47,4
11	Bandırma	19,6	1,6	2,0	4,9	2,8	5,4	0,1	36,4
8	Gemlik körfezi	15,7	3,6	1,5	2,6	7,6	4,6	0,4	36,1
28	Balıkesir merkez (2. odak)	19,9	1,5	1,6	2,8	3,8	6,0	0,0	35,7
23	Gelibolu	14,5	1,3	0,9	1,9	11,6	3,7	1,5	35,3
4	İstanbul Anadolu yakası	9,7	1,5	3,5	7,5	9,6	2,8	0,1	34,7
18	Hendek merkez	18,1	1,5	0,9	1,4	2,8	3,3	5,9	33,9

Bulgular. Puan dağılımı, tek ölçütlü bakışın neden yetersiz kaldığını göstermektedir. Marmara Ereğlisi domino bileşeninde tavan puanı (10,0) ve tehlike bileşeninde 18,0 puan alırken nüfus bileşeninde neredeyse sıfır puan almakta; buna karşılık İstanbul Avrupa yakası nüfus ve altyapı bileşenlerinde tavan puanı alıp BEKRA bileşeninde geride kalmaktadır. Tehlike bileşeninin tavanı ise Balıkesir merkez (19,9) ve Bandırma (19,6) koridorlarındadır. İki koridor toplam puanda birbirine yakın olmakla birlikte tümüyle farklı politika araçları gerektirmektedir: birincisinde tesis düzeyinde nicel güvenlik değerlendirme ve domino analizi, ikincisinde plan kararları ve tahliye planlaması. Puan bu nedenle bir sıralama aracı olarak değil, bileşenleriyle birlikte okunacak bir profil olarak kullanılmalıdır.

Müdahale bileşeni. Müdahale bileşeninde Sındırgı (10,0), Hendek merkez (5,9) ve Hendek–Akyazı koridorlarının yüksek puan alması, bu alanlarda tehlikenin değil erişim zayıflığının belirleyici olduğunu göstermektedir; bu koridorlarda en yakın itfaiye istasyonuna ortalama uzaklık 25–40 km aralığındadır. Bu değerlerin açık kaynaklı istasyon envanterine dayandığı ve gerçek kapasitenin daha yüksek olabileceği, Bölüm 12.6'da belirtilen sınırlılıkla birlikte değerlendirilmelidir.

12.5 Öncelikli Strateji Paketleri

Bulgulardan bağımsız olarak tanımlanabilen, birbirini tamamlayan on strateji paketi önerilmektedir. Paketlerin önceliklendirilmesinde kullanılan çok ölçütlü puanlama yaklaşımı için bkz. Saaty (1980) ve Rezaei (2015); tesis ölçeğinde derinleşme yöntemi için Kinney ve Wiruth (1976). Her paketin somut hedef alanları, Bölüm 9'daki koridor çözümlemesiyle ilişkilendirilmiştir.

1) Endüstriyel Tehlike Kaynağı Denetimi ve BEKRA Uyum. Üst seviye BEKRA kuruluşlarında (BEKRA Yönetmeliği, 2019; Avrupa Parlamentosu ve Konseyi, 2012) güvenlik raporu, denetim ve QRA/HAZOP (IEC, 2016) çalışmalarının önceliklendirilmesi; envanterin işletmecisi ve yetkili kurum verisiyle kademeli doğrulanması.

2) NaTech ve Domino Riskine Özgü Tedbirler. Doğal tehlikeyle (deprem, taşkın, heyelan) çakışan tesislerde yapısal güçlendirme, ikincil kaza önleme, tesisler arası güvenlik mesafeleri ve zincirleme senaryolara karşı ortak planlama.

3) Kritik Altyapı ve Hizmet Süreklilik Programı. Enerji, su, haberleşme, liman ve ulaşım altyapılarında yedeklilik, taşkına/depreme dayanıklılık ve kesinti hâlinde süreklilik planları. Deprem dayanıklılığı değerlendirmesinde, MARAP İP-4 deprem çalışmasının DD-1 (2.475 yıl; 50 yılda %2 aşılma) düzeyi de esas alınmalıdır: söz konusu çalışma, DD-1 düzeyinde yüksek ve çok yüksek tehlike sınıflarının bölgesel bir koridora dönüştüğünü ve hastane, enerji üretim-dağıtım tesisi, liman, ana ulaşım koridoru ile haberleşme merkezleri için yalnızca standart DD-2 tasarım düzeyinin değil DD-1 performansının da değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır (MARAP İP-4, 2026b). Aynı ölçüt, BEKRA üst seviye kuruluşlarındaki depolama tankları, boru bağlantıları ve yangın söndürme sistemleri için de geçerlidir; bu raporun tehlike yüzeyi DD-2 düzeyine dayandığından tesis ölçeğindeki değerlendirmelerde DD-1 düzeyi ayrıca gözetilmelidir.

4) Kentsel Maruziyet ve Tahliye Planlaması. Yüksek nüfuslu ve hassas kullanımların (hastane, okul) yoğunlaştığı alanlarda erken uyarı, siren, tahliye koridorları ve imar-yapılaşma denetiminin risk haritasıyla ilişkilendirilmesi.

5) Erken Uyarı, İzleme ve Sensör Ağı. Kimya ve liman kümeleri çevresinde uçucu organik bileşik, yanıcı/toksik gaz, meteoroloji ve hava/su kalitesi sensörlerinden oluşan bir izleme ağının (ŞESİM/IoT yaklaşımıyla) önceliklendirilmesi.

6) Deniz/Kıyı ve Çevre Koruma. Kıyı tesislerinde deniz kirliliği müdahale kapasitesi, içme suyu havzalarında kaza sonrası koruma ve kirlетici taşınımı önleme protokolleri.

7) Kurumsal Yönetişim, Veri Paylaşımı ve Kapasite. AFAD, Çevre-Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, yerel yönetimler ve işletmeciler arasında veri paylaşım protokolleri; çıktıların AYDES ve ŞESİM ile bütünleştirilmesi.

8) Finansal Dayanıklılık ve Risk Transferi. Yüksek riskli tesis ve kümelerde sigorta ve risk transferi mekanizmaları; afet sonrası mali yükün azaltılması.

9) Orman Yangını Arayüzü Yönetimi. Orman yangını maruziyeti yüksek koridorlarda (Bölüm 13.5; MARAP İP-4, 2026a) yangın sezonuna özgü tedbirler: tesis çevresinde yakıt kesintisi şeridi ve bitki örtüsü yönetimi, dışarıdan gelen termik etkiye karşı depolama tankı ve proses ünitesi koruma önlemleri, yangın sezonunda artırılmış devriye ve erken uyarı, orman idaresi ile tesis işletmecileri arasında ortak müdahale protokolü. Hedef alanlar Çanakkale Merkez, Nilüfer batı, Hendek–Akyazı, Balıkesir Sındırgı, Erdek, Gelibolu ve Arnavutköy–Hadımköy koridorlarıdır; tesis düzeyinde ise çok yüksek yangın riski sınıfında bulunan on kuruluşur.

Bu paketin kapsam gerekçesi. Bölge genelinde teknolojik tehlike kaynakları ile orman yangını riski yüksek alanlar birbirinden ayrıışmaktadır: kaynakların yalnızca %13,8'i, kritik tesislerin ise %4,9'u yüksek veya çok yüksek yangın riski sınıfındadır; bölge ortalaması %38,7'dir. Bu nedenle orman yangını, bölge çapında bir teknolojik afet tetikleyicisi olarak değil, sayısı ve adresi belirli bir arayüz sorunu olarak ele alınmıştır. Kaynak tahsisi de buna göre, yedi koridor ve kırk tesisle sınırlı tutulmalıdır.

10) Havalimanı Yakıt Tesislerinde Mevzuat Uyumu. Havalimanı yakıt ikmal tesislerinin BEKRA kapsamındaki durumunun netleştirilmesi ve bildirim yükümlülüğünün izlenmesi. Jet yakıtı (kerosen), Yönetmelik Ek-1 Bölüm 2'de isim isim sayılan bir tehlikeli maddedir ve bölgedeki büyük havalimanı yakıt çiftlikleri üst seviye eşiğini belirgin biçimde aşmaktadır. Buna karşılık bu çalışma sırasında bölgedeki havalimanı yakıt tesislerinden yalnızca üçü için resmî BEKRA kaydına ulaşılabılmış; bölgenin en büyük kapasiteli tesisi olan İstanbul Havalimanı yakıt çiftliği için kayıt bulunamamıştır. Ayrıca sivil havacılık akaryakıt mevzuatı BEKRA'ya atıf yapmamaktadır. Avrupa Birliği uygulamasında eşdeğer tesisler (örneğin Amsterdam Schiphol yakıt tesisi) açıkça Seveso kuruluşu olarak sınıflandırılmaktadır. Önerilen eylemler: (i) Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı ile Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü arasında havalimanı yakıt tesislerinin bildirim durumunun teyidi; (ii) eşiği aşan tesisler için güvenlik raporu ve acil durum planı yükümlülüğünün işletilmesi; (iii) müşterek sivil-askeri meydanlarda muafiyetin kapsamına ilişkin idari görüş oluşturulması.

12.6 Uygulama Yol Haritası

Strateji paketleri kısa, orta ve uzun vadeli bir yol haritasıyla hayata geçirilecektir. Aşağıdaki çerçeve, risk çıktıları geldiğinde önceliklendirilmiş kümelerle ilişkilendirilecektir.

Vade	Odak	Beklenen Çıktı
Kısa (0-1 yıl)	Envanter doğrulama; çok yüksek riskli kümelerin denetimi; erken uyarı eşikleri	Doğrulanmış tesis verisi; öncelikli denetim listesi
Orta (1-3 yıl)	Tesis bazlı QRA/HAZOP; kritik altyapı süreklilik planları; sensör ağı pilotları	Nicel risk değerlendirmeleri; müdahale planları
Uzun (3+ yıl)	Yapısal güçlendirme/dönüşüm; risk transferi; AYDES/ŞESİM ile bütünleşik izleme	Güncellenebilir karar destek ve izleme sistemi

12.7 İzleme ve Performans Göstergeleri

Programın etkinliği, düzenli olarak izlenecek göstergelerle değerlendirilecektir. Önerilen gösterge çerçevesi şudur: doğrulanmış BEKRA/tesis envanteri kapsama oranı; çok yüksek riskli kümelerde tamamlanan QRA/HAZOP sayısı; kritik altyapı süreklilik planı tamamlanma oranı; erken uyarı ve sensör ağı kapsama oranı; müdahale erişim süresi; tesislerde tespit edilen ve giderilen uygunsuzluk sayısı; orman yangını arayüz koridorlarında yakıt kesintisi şeridi tamamlanan tesis oranı; ve tatbikat sayısı. Göstergelerin başlangıç (baz) değerleri, üretilen yüzeyler ve doğrulanmış envanter üzerinden aşağıda belirlenmiştir.

Gösterge baz değerleri. Gösterge baz değerleri, üretilen yüzeylerden hesaplanmıştır ve izlemenin başlangıç noktasını oluşturmaktadır: doğrulanmış tesis envanteri 269 kayıt (220 resmî BEKRA kuruluşu); yüksek ve çok yüksek tehlike sınıfındaki alan 546,2 km²; yüksek ve üzeri risk sınıfındaki alan 157 km² ve bu alanlarda yaşayan nüfus 2.631.380 kişi; orta ve üzeri risk sınıfındaki nüfus 12.134.886 kişi; orta ve üzeri risk sınıfındaki kritik tesis 3.593 (bunların 1.101'i yüksek ve üzeri sınıfta); koridorlarda tamamlanmış QRA/HAZOP sayısı 0; itfaiye erişiminde bölge kara alanının 10 km içindeki payı %24,6. Hedeflerin bu baz değerler üzerinden ve program dönemi için sayısallaştırılması önerilmektedir; örneğin ilk beş yılda öncelik puanı 45'in üzerindeki dört koridorda (İzmit Körfezi 61,1; İstanbul Avrupa yakası 59,4; Gebze-Dilovası 52,1; Marmara Ereğlisi 47,2) tesis düzeyinde nicel değerlendirmenin tamamlanması ölçülebilir bir hedef oluşturmaktadır.

12.8 Yönetişim ve Kurumsal Çerçeve

Politikaların uygulanması, kurumlar arası tanımlı bir yönetim yapısını gerektirir. AFAD koordinasyonunda; Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı (BEKRA), yerel yönetimler, il afet müdürlükleri, OSB yönetimleri, liman ve tesis

işletmecileri ile ilgili altyapı kurumları (enerji, su, ulaşım) rolleriyle tanımlanacaktır. Üretilen risk katmanlarının AYDES karar destek altyapısı ve MARAP-ŞESİM bileşeniyle bütünleştirilmesi; verinin güncellenebilir, izlenebilir ve müdahale planlamasına doğrudan girdi veren bir yapıya dönüşmesini sağlayacaktır.

12.9 Bölümün Bulgularla İlişkilendirilmesi

Bu bölümdeki politika ve strateji önerilerinin dayandığı sayısal bulgular ile bunların rapor içindeki karşılıkları aşağıda özetlenmektedir:

- Bölge geneli ve küme bazlı öncelik sıralaması ve gerekçeleri — 9.3'te, 35 etkin koridor ve öncelik sıralaması olarak verilmiştir.
- Teknolojik Risk Öncelik Puanının küme bazlı hesaplanmış değerleri — 9.4'te, bileşen bazında dağılımıyla birlikte verilmiştir.
- Strateji paketlerinin bağlanacağı somut hedef kümeler — Bölüm 13.4'teki beş tipli koridor tipolojisi, her tip için önerilen politika aracını tanımlamaktadır.
- İzleme göstergelerinin baz değerleri — 9.7'de verilmiştir; hedef değerlerin program dönemine göre belirlenmesi kurumsal karar gerektirmektedir.
- Harita referansları — Bölüm 6'daki Şekil 6-12 ve Şekil 6-13 (bileşik TATH), Bölüm 9'daki tehlike ve risk haritaları ile koridor bazlı pafta seti (MARAP_Koridor_Paftalari.pdf, 35 pafta).

Sayısal dayanaklar. Bu bölümdeki önceliklendirme ve izleme göstergelerinin dayandığı dosyalar teslim setinin 02_EKLER klasöründedir: koridor öncelik puanı bileşenleri EK-C'de, il ve ilçe bazlı tehlike-risk özetleri EK-B'de, tesis envanteri EK-A'da, orman yangını arayüz çözümlemesi EK-D'de, katman künyeleri EK-E'de, ağırlık duyarlılık analizi EK-F'de, sel-taşkın kapsam özetleri ise EK-G'dedir (bkz. Bölüm 17.11).

Bölümün politika çerçevesi bulgudan bağımsız biçimde kurulmuş; sayısal içeriği ise Bölüm 5–8'deki risk yüzeyleri ve sınıflandırılmış haritalar ile Bölüm 9'daki bölge ve koridor bazlı çözümlemeden türetilmiştir. Bu yapı, bulgular güncellendiğinde çerçevenin korunarak yalnızca sayısal içeriğin yenilenmesine olanak vermektedir.

13 SONUÇLAR VE GENEL DEĞERLENDİRME

Bu bölüm, raporun üç ana bölümünü (Bölüm 1–4: Giriş, Kavramsal Çerçeve ve Çalışma Alanı; Bölüm 5–8: Model Metodolojileri ve CBS İş Akışları; Bölüm 16: Risk Azaltma Politikaları ve Stratejileri) bütünleşik bir bakışla değerlendiren sonuç bölümüdür. Amaç, çalışmanın kavramsal temelini, teknik yaklaşımını ve üretilen sayısal bulgularını bir arada değerlendirmek; elde edilen tehlike ve risk yüzeylerinin ne söylediğini, hangi sınırlılıklarla okunması gerektiğini ve bundan sonra ne yapılması gerektiğini ortaya koymaktır.

Bu bölümdeki değerlendirmeler, aşağıdaki sayısal çıktıları dayanmaktadır: bölge geneli Teknolojik Afet Tehlike Haritası (TATH) ve Teknolojik Afet Risk Haritası (TARH), beş sınıflı gösterimleri, il ve ilçe bazlı çözümlemeler, etkin koridorların türetimi ve koridor bazlı öncelik sıralaması ile ağırlık belirsizliğine karşı duyarlılık analizi. Sonuçlar Bölüm 6.7–6.9’da ve Bölüm 9’da ayrıntılı olarak sunulmuştur; dolayısıyla buradaki değerlendirmeler nitel değil, üretilen yüzeylere dayalıdır.

13.1 Çalışmanın Amacı, Kapsamı ve Yaklaşımı

Çalışma, MARAP kapsamındaki İş Paketi 4 (Haritalama) altında, teknolojik afetler ve doğal tehlikelerin tetiklediği teknolojik kazalar (NaTech; Krausmann vd., 2017) için Marmara Bölgesi ölçeğinde bir tehlike ve risk haritalama çerçevesi geliştirmeyi amaçlamaktadır. İş paketinin diğer tehlike raporlarıyla (deprem, sel-taşkın, orman yangını vb.) format ve mantık bakımından bütünlük içinde olması esas alınmıştır.

Kapsam, Marmara Bölgesi’nin 11 ilini içermekte; çözümlemeler 500 × 500 m çözünürlüklü bir grid üzerinde tanımlanmaktadır. Nokta kaynaklı tehlike verileri (tesisler, olası kaza kaynakları) tampon (buffer), çekirdek yoğunluk (kernel density) ve enterpolasyon (kriging) yaklaşımlarıyla grid yüzeyine aktarılmaktadır. Metrik çözümlemeler için EPSG:5637 (TREF/TM) projeksiyonu, kaynak verinin coğrafi referansı için EPSG:4326 (WGS84) kullanılmaktadır.

Benimsenen yaklaşımın iki ayırt edici ilkesi bulunmaktadır. Birincisi, kademeli çözümleme mantığıdır: bölge genelinde grid tabanlı bir tarama (screening) yapıldıktan sonra, orta ve üzeri riskli kümelerde tesis bazlı nicel derinleşmeye (Fine-Kinney, HAZOP ve RAPID-N; Girgin & Krausmann, 2013) geçilmektedir. İkincisi, kademeli envanter doğrulamasıdır: envanterin bütünü tek seferde doğrulamak yerine, orta ve üzeri riskli kümelerdeki tesisler önceliklendirilerek doğrulanmaktadır. Bu iki ilke, kaynakları en fazla riskin bulunduğu yerlere yönlendirmeyi hedefler.

Çalışmanın tümünde benimsenen risk tanımı, tehlike, maruziyet ve kırılabilirliğin yönetilebilirlik ile ölçeklendiği bir yapıdadır: $R = (Tehlike \times Maruziyet \times Kırılabilirlik) / Yönetilebilirlik$. Bu tanım, salt tehlike şiddetini değil; maruz kalan unsurları, bunların hassasiyetini ve mevcut müdahale/yönetim kapasitesini birlikte

dikkate alarak politika üretimine elverişli bir çerçeve sunar ve Sendai Çerçevesi'nin risk bilgisine dayalı karar alma ilkesiyle (UNDRR, 2015) örtüşür.

13.2 Kavramsal ve Yasal Çerçevenin Özeti

Bölüm 1–4, teknolojik afet ve NaTech kavramlarını tanımlamış; bu olguların doğal afetlerden ayrılan yönlerini (insan yapımı kaynak, zincirleme/domino etkisi, doğal tetikleyici ile teknolojik sonucun birleşmesi) ortaya koymuştur. NaTech, bir doğal tehlikenin (deprem, taşkın, heyelan, fırtına) endüstriyel bir tesiste tehlikeli madde salımı, yangın veya patlama gibi teknolojik bir kazayı tetiklemesi olarak ele alınmış; bu ikili doğanın hem tehlike hesabında hem de müdahale planlamasında özel bir yaklaşım gerektirdiği vurgulanmıştır.

Yasal ve kurumsal çerçeve bakımından, Büyük Endüstriyel Kazaların Önlenmesi ve Etkilerinin Azaltılması Hakkında Yönetmelik (BEKRA, 2019) merkezî konumdadır. BEKRA, AB'nin SEVESO III Direktifi'nin (Avrupa Parlamentosu ve Konseyi, 2012) ulusal mevzuata aktarımıdır ve kuruluşları bulundurdıkları tehlikeli madde miktarına göre alt ve üst seviye olarak sınıflandırır. Üst seviye kuruluşlar için güvenlik raporu ve kamuyu bilgilendirme belgesi gibi ek yükümlülükler bulunması, bu kuruluşları hem risk açısından hem de açık kaynaklı doğrulanabilirlik açısından öncelikli kılmaktadır.

Bölüm 1–4 ayrıca çalışmayı MARAP'ın önceki iş paketleriyle ilişkilendirmiştir: İP-1 literatür ve mevzuat taraması (SEVESO/ŞESİM); İP-2 teknolojik afet modellemesi (RAPID-N, domino etkisi, İRAP il analizleri); İP-3 önceliklendirme çalışması (NaTech'in üçüncü sırada önceliklendirilmesi, Fine-Kinney/HAZOP/RAPID-N yöntem seti, Marmara Ereğlisi pilotu). Bu bağlam, İP-4'ün haritalama çıktısının bir boşluğu doldurduğunu ve önceki iş paketlerinin yöntemsel birikimini mekânsallaştırdığını göstermektedir.

13.3 Çalışma Alanı ve Marmara'nın Teknolojik Afet Kritikliği

Çalışma alanı olarak Marmara Bölgesi'nin seçilmesi, bölgenin eşzamanlı olarak hem Türkiye'nin en yoğun sanayi ve lojistik havzası hem de en yüksek deprem tehlikesine maruz alanlarından biri olmasından kaynaklanmaktadır. Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun Marmara Denizi boyunca uzanan kolları, yoğun BEKRA kuruluşu barındıran Kocaeli–İstanbul–Tekirdağ sanayi koridoruyla mekânsal olarak örtüşmektedir. Bu örtüşme, NaTech riskini Marmara için soyut bir olasılık değil, somut ve önceliklendirilmesi gereken bir tehdit haline getirmektedir.

Bölge; petrokimya, rafineri, gübre, ilaç, metal ve kimya sektörlerinin yoğunlaştığı organize sanayi bölgeleri, büyük limanlar ve tehlikeli madde depolama alanlarıyla karakterizedir. Tehlikeli madde kaynaklarının kıyı hattına, yerleşim alanlarına ve kritik altyapılara yakınlığı; olası bir kazanın nüfus, çevre (deniz ve içme suyu havzaları) ve hizmet sürekliliği üzerindeki etkisini büyütmektedir. Bu nitelikler,

Bölüm 5–8'de tanımlanan maruziyet ve kırılganlık katmanlarının Marmara özelinde neden belirleyici olduğunu açıklamaktadır.

13.4 Metodolojik ve Teknik İş Akışının Özeti

Bölüm 5–8, tehlikeden bileşik riske uzanan teknik iş akışını dört aşamada tanımlamıştır: (5) model metodolojileri, (6) tehlike haritalarının üretimi, (7) maruziyet ve kırılganlık haritaları, (8) bileşik risk sentezi. Bu iş akışı, her adımı QGIS araçlarıyla (Buffer, Kernel Density, Rasterize, Reclassify, Zonal Statistics, Raster Calculator, Service Area/QNEAT3, Graphical Modeler, Atlas) uygulanabilir, yinelenabilir ve belgelenebilir bir zincir olarak kurgulanmıştır.

Tehlike üretiminde, tesis kaynaklı etki zonları (yangın, patlama, toksik salım) senaryo temelli tampon ve yoğunluk yüzeyleriyle temsil edilmekte; hareketli tehlikeler ve domino etkileri 1–3–5–10 km ölçeğinde değerlendirilmektedir. Maruziyet katmanı nüfus (gündüz-gece), kritik altyapı ve hassas kullanımları; kırılganlık katmanı ise bu unsurların hassasiyet ve dayanıklılık farklarını grid düzeyinde temsil etmektedir. Yönetilebilirlik, müdahale erişimi ve kapasitesi üzerinden azaltıcı bir çarpan olarak kurgulanmıştır.

Bölüm 5–8'de (5.2 altında) özel olarak ele alındığı üzere, BEKRA üst seviye kuruluşları tehlike hesabında öncelikli nokta kaynaklar olarak kullanılmaktadır. Bu kuruluşların bulundurdıkları tehlikeli madde miktarı, etki zonu şiddetini doğrudan ölçeklendirdiğinden; envanterdeki BEKRA seviyesi, tehlike ağırlığının belirlenmesinde temel bir ölçüt olarak tanımlanmıştır.

Ağırlıklandırma için AHP/BWM gibi çok ölçütlü karar yöntemlerinin kullanılması öngörülmüş; böylece katmanların bileşik riske katkısının uzman görüşü ve tutarlılık denetimiyle belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu yönüyle iş akışı, yalnızca bir harita üretim reçetesi değil; aynı zamanda İP-2 ve İP-3'ün yöntemsel birikimini (RAPID-N, Fine-Kinney, HAZOP) mekânsal bir çerçeveye bağlayan bir köprü işlevi görmektedir.

13.5 Tesis Envanteri: Bulgular

Teknik iş akışının en kritik girdisi olan tehlike kaynağı envanteri, bu aşamada resmî kayda dayandırılmıştır. AFAD aracılığıyla iletilen BEKRA Bildirim Sistemi kayıtları temizlenip düzenlenmiş (Bölüm 6.2.1); elde edilen 221 tekil kuruluş, açık kaynaklı envanterin BEKRA kapsamı dışındaki unsurlarıyla birleştirilerek 269 kayıtlık Tehlike Kaynağı Envanteri v4.0 üretilmiştir. Envanterin öznitelik ve konum niteliği aşağıdaki tabloda özetlenmiştir. Envanterin öznitelik ve konum niteliği Tablo 13-1'de özetlenmiştir.

Birleşik envanterin coğrafi dağılımı, kavramsal beklentiyi doğrulamaktadır: kayıtların yarısından fazlası Kocaeli–İstanbul–Tekirdağ ekseninde yoğunlaşmaktadır. Bu yoğunlaşma, bölgesel tarama aşamasında en yüksek tehlike yoğunluğunun bu koridorda ortaya çıkacağına dair güçlü bir ön işarettir; ancak bu beklentinin sayısallaştırılması, grid tabanlı tehlike yüzeyinin üretilmesine bağlıdır.

Tablo 13-1 Tehlike Kaynağı Envanteri v4.0'ın öznitelik ve konum niteliği.

Gösterge	Ön Bulgu (birleşik envanter)
Toplam kayıt	269 (220 resmî BEKRA + 45 tamamlayıcı unsur + 4 açık kaynak)
BEKRA seviyesi (resmî)	121 üst seviye · 95 alt seviye · 4 kapsam dışı
Tamamlayıcı unsurlar	45 kayıt — liman, OSB, kıyı sanayi kümeleri ve havalimanı yakıt ikmal tesisleri; BEKRA bildirim yükümlüsü değil
Resmî listede karşılığı yok	4 kayıt (İGSAŞ Tekirdağ deposu, Sanofi Lüleburgaz, DowAksa, İstanbul Havalimanı yakıt ikmal tesisi)
İl bazında yoğunlaşma	Kocaeli 93, İstanbul 46, Tekirdağ 30, Balıkesir 15, Bursa 13 (resmî kayıtlar)
Konum güveni	209 yüksek + 11 onarımla belirlenmiş; 1 kayıt konumsuz

Envanter üzerinde, açık kaynaklı bir konum denetimi ve düzeltmesi de gerçekleştirilmiştir. Başlangıçta bazı kayıtların koordinatları hatalıydı (deniz içinde, yanlış ilçede veya orman alanında görünen tesisler). Liman kodları, gemi/liman veri tabanları, TÜRKLİM, Global Energy Monitor ve şirket adres bilgileri kullanılarak yürütülen denetimde 27 kaydın koordinatı düzeltilmiş; Marmara dışında (Elmadağ/Ankara) olduğu belirlenen bir kayıt envanterden çıkarılmıştır. Her kayda konum güven düzeyi ve doğrulama notu eklenerek envanterin izlenebilirliği sağlanmıştır.

Veri niteliği ve sınırlar. Envanterdeki BEKRA seviyeleri artık resmî kayıtlardır; kuruluşların bildirimleri üzerinden sistemin hesapladığı kategorilerdir. Buna karşılık üç sınırlılık geçerliliğini korumaktadır. Birincisi kapsam: Edirne için BEKRA kayıt dosyası iletilmemiş (yalnız kapasite raporu listesi paylaşılmıştır), Kırklareli ve Yalova yalnız üst seviye dosyalarıyla temsil edilmiştir; bu illerde düşük kuruluş sayısı eksik kapsamdır, düşük tehlike değildir. İkincisi konum: 11 kaydın koordinatı onarımla belirlenmiş, bir kayıt konumlandırılmamış, 39 kuruluşun 50 m yarıçapında başka bir kuruluş bulunmaktadır. Üçüncüsü ayrıntı düzeyi: koordinatlar tesis merkezlerini gösterir, tesis içi ünite ve güvenlik mesafesi bilgisi içermez; bu ayrıntı yalnızca Ek-1 Bilgi Formu iletilmiş 35 kuruluş için tank düzeyinde mevcuttur.

13.6 Ana Bulgular: Üretilen Tehlike ve Risk Yüzeyleri

Yoğunlaşma. Bileşik tehlike ve risk yüzeyleri, MARAP'ın 11 ilini bütünüyle kapsayan 827 × 649 hücrelik 500 m grid üzerinde (283.842 hücre · 70.960 km²) üretilmiştir. Çıktıların en belirgin özelliği, tehlikenin ve riskin son derece dar bir alana yoğunlaşmasıdır. Kara alanının %88,7'si ihmal edilebilir veya çok düşük tehlike sınıfındadır; yüksek ve çok yüksek sınıfların toplamı 546,2 km², yani bölge alanının binde 7,7'sidir. Risk yüzeyinde yoğunlaşma daha da belirgindir: yüksek ve üzeri risk sınıfı 157 km² ile bölgenin binde 2,2'sini kaplamaktadır. Bu yoğunlaşma bir modelleme yan etkisi değil, çarpımsal kurgunun ve NaTech olgusunun doğrudan sonucudur; tehlikeli madde bulundurmayan bir alanda doğal tehlike ne kadar yüksek olursa olsun teknolojik afet tehlikesi tanımı gereği düşüktür. Bileşik tehlike ve risk yüzeylerinin sınıf dağılımı Tablo 13-2'de verilmiştir.

Tablo 13-2 Bileşik tehlike ve risk yüzeylerinin sınıf dağılımı (sabit eşikli gösterim; risk gece senaryosu).

Sınıf	TATH alan (km ²)	TATH payı	TARH alan (km ²)	TARH nüfusu (gece)
İhmal / çok düşük	62.918	%88,67	68.751	6.891.849
Düşük	5.755	%8,11	1.487	7.465.655
Orta	1.745	%2,46	565	9.451.741
Yüksek	447	%0,63	127,0	2.223.660
Çok yüksek	95	%0,13	30,0	407.723

Alan–nüfus gerilimi. Çözümlemenin en önemli bulgusu, alan ile nüfus dağılımının karşılaştırılmasından çıkmaktadır. Yüksek ve çok yüksek risk sınıfları bölge alanının yalnız binde 2,2'sini kaplarken, bu alanlarda 2,63 milyon kişi yaşamaktadır — bölge nüfusunun %10,0'ı. Orta ve üzeri sınıflar birlikte ele alındığında etkilenen nüfus 12,08 milyona (%45,7) ulaşmaktadır. Teknolojik afet riski mekânsal olarak dar bir alana sıkışmış olmakla birlikte, bu dar alan bölgenin en kalabalık yerleşimleriyle örtüşmektedir. Riskin alan üzerinden 'ihmal edilebilir', nüfus üzerinden ise 'yaygın' görünmesi arasındaki bu gerilim, planlamada alan değil nüfus temelli önceliklendirmeyi gerektirmektedir. İl bazında tehlike ve risk göstergeleri Tablo 13-3'te verilmiştir.

Tablo 13-3 İl bazında tehlike ve risk göstergeleri.

İl	TATH ortalaması	Yüksek ve üzeri tehlike (km ²)	Risk ortalaması	Yüksek risk nüfusu
İstanbul	0,0685	196	0,0301	1.906.716
Kocaeli	0,0675	224	0,0254	401.266
Yalova	0,0397	13	0,0118	3.335
Sakarya	0,0280	45	0,0101	17.734
Bursa	0,0192	29	0,0055	141.364
Tekirdağ	0,0190	18	0,0046	36.995
Çanakkale	0,0128	9	0,0033	19.760
Balıkesir	0,0125	9	0,0031	98.947
Bilecik	0,0094	0	0,0025	5.263
Edirne	0,0056	0	0,0011	0
Kırklareli	0,0038	0	0,0009	0

İl düzeyi. İl düzeyinde tehlike Kocaeli ve İstanbul'da yoğunlaşmakta; risk sıralamasında ise İstanbul öne geçmektedir. Yüksek ve çok yüksek risk sınıfında yaşayan 2,63 milyon kişinin 1,91 milyonu (%72,5) İstanbul'dadır. Bu, aynı düzeydeki tehlikenin nüfus yoğunluğuna bağlı olarak nasıl farklı risk ürettiğinin en açık göstergesidir. Edirne ve Kırklareli'de yüksek tehlike sınıfına giren tek bir hücre bulunmamaktadır; ancak bu sonuç, 10.8'de belirtilen envanter kapsam sınırlılığıyla birlikte okunmalıdır.

Etkin koridorlar. Bölge ortalamaları yönetsel karar için yeterli çözünürlük sunmadığından, çözümleme tehlikenin fiilen kümелendiği coğrafi süreklilik alanları üzerinden sürdürülmüştür. TATH $\geq$ 0,20 hücrelerinin sekiz komşuluğa göre bağlantılı

bileşenleri hesaplanmış ve 6,25 km²'den büyük olanlar etkin koridor olarak tanımlanmıştır. Bu kuralla 35 koridor elde edilmiştir. Koridorlar bölge alanının yalnız %1,9'unu (1.339 km²) kaplamakla birlikte bölge nüfusunun %46'sını (12,12 milyon kişi), envanterdeki tehlike kaynaklarının %75'ini (203/269) ve kritik tesislerin %39'unu (3.157) barındırmaktadır. Her koridor için ayrıntılı pafta üretilmiştir (35 pafta). Öncelik puanı 45'in üzerindeki dört koridor — İzmit Körfezi (60,6), İstanbul Avrupa yakası kentsel-sanayi kuşağı (59,6), Gebze–Dilovası–Tuzla–Çayırova (52,3) ve Marmara Ereğlisi terminal kuşağı (47,4) — programın ilk aşaması için hedef alandır.

Dayanıklılık. Ağırlık seçiminin sonuca etkisi iki aşamalı olarak sınanmıştır. Tek değişkenli analizde sıra korelasyonu hiçbir durumda 0,9991'in altına inmemiş; bütün ağırlıkların eşzamanlı $\pm\%20$ değiştirildiği 500 tekrarlı Monte Carlo denemesinde ortalama sınıf değişimi %1,24'te kalmış ve bölgenin %92,5'i taban sınıfını tekrarların tamamında korumuştur. 'Yüksek ve üzeri' hücre sayısı 1.959 ile 2.348 arasında değişmiştir. Bulguların ağırlık belirsizliğine karşı dayanıklı olduğu, bu ölçekteki önceliklendirme amacı bakımından yeterlidir.

Sel-taşkın verisindeki boşluğun giderilmesi. Çalışmanın son aşamasında, devralınan sel-taşkın katmanının bölge kara alanının yalnız %6,3'ünde tanımlı olduğu belirlenmiştir. Boşluk havza bazlıdır: Meriç–Ergene ve Sakarya havzalarındaki büyük alüvyal ovalar tümüyle veri dışı kalmaktaydı. Boşluk, Copernicus DEM GLO-30 (30 m) üzerinden HAND (En Yakın Drenaja Göre Yükseklik; Rennó vd., 2008; Nobre vd., 2011) yöntemiyle giderilmiş; taşkın ovası bölge genelinde 9.537 km² olarak sınırlandırılmış ve bunun 8.024 km²'si resmî veri bulunmayan alandadır. Yöntem, bağımsız jeomorfolojik göstergelerle doğrulanmıştır: taşkın ovasının kesin göstergeleri (su kütleleri, iç bataklıklar, pirinç tarlaları) %91–100 oranında sınırlandırılan ova içinde, ova dışı araziler (sulanmayan ekilebilir alan, orman) ise yalnız %2–10 oranında içeride kalmaktadır. Düzeltmenin ardından sel bileşeninin kapsamı 18.885 km²'ye çıkmış; Kırklareli'nde %70, Edirne'de %68, Sakarya'da %28 ve Bursa'da %18 oranında tehlike artışı ortaya çıkmıştır (bu oranlar sel düzeltmesinin tek başına etkisidir; deprem verisinin yenilenmesiyle birlikte nihai değerler 10.6'daki tabloda verilmektedir). Bu düzeltme olmasaydı beş ilin teknolojik afet tehlikesi yapısal olarak düşük hesaplanmış olacaktı. Yöntem ve sınırlılıkları Bölüm 6.5.6'dadır.

Deprem verisinin yenilenmesi. Çalışmanın son aşamasında deprem tetikleyicisi de yenilenmiştir. Önceki sürümde yüzey, AFAD DD-2 figürünün deseni ile 35 resmî noktadan hesaplanan artık düzeltmenin birleştirilmesiyle elde edilen bir vekil çözümdü. MARAP'ın kendi PGA-475 veri seti — $45 \times 34 = 1.530$ düğümlü, boşluksuz ve düzenli bir grid (düğüm aralığı $\approx 10,2 \times 10,0$ km) — temin edildiğinden, yüzey doğrudan bu veriyle değiştirilmiş; seyrek noktalardan enterpolasyon gereksinimi ortadan kalkmıştır. Yeni yüzeyin bölge ortalaması 0,2574 g olup öncekinden 0,092 g düşüktür ve bölge alanının %44'ünde fark 0,10 g'yi aşmaktadır. Deprem, doğal tetikleyici bileşiminin %55'ini oluşturduğundan bu değişiklik bütün

zincire yansımış; il ve koridor düzeyindeki sıralamalar bir miktar değişmiştir. En belirgin sonuç, İstanbul'un Avrupa yakasındaki iki ayrı koridorun tek bir 308 km²'lik süreklilik alanına dönüşmesidir. Yöntem ve sınırlılıkları Bölüm 6.5.2–6.5.3'tedir.

Orman yangını arayüzü. MARAP İP-4 kapsamında ayrıca üretilen orman yangını tehlike ve risk haritaları (MARAP İP-4, 2026a), teknolojik afet çözümlemesiyle kesiştirilmiştir (Bölüm 13.5). Sonuç, çalışmanın en açık negatif bulgularından biridir: bölge kara alanının %38,7'si yüksek veya çok yüksek yangın riski sınıfındayken, 269 tehlike kaynağının yalnızca %13,8'i, 8.074 kritik tesisin ise %4,9'u bu sınıflarda yer almaktadır. Marmara'da sanayi dokusu ile yangın riskinin coğrafyası sistematik olarak ayrılmaktadır. Bu nedenle orman yangını, TATH'ın doğal tetikleyici bileşenine dördüncü katman olarak eklenmemiş; bölgesel bir tetikleyici yerine sınırlı ve adresi belirli bir arayüz sorunu olarak ele alınmıştır. Otuz beş koridorun yedisinde yüksek+ yangın riski alan payı %25'i aşmakta, kırk tehlike kaynağı yüksek veya çok yüksek risk sınıfında bulunmaktadır; bunlardan onu çok yüksek sınıftadır ve yedisinde 1 km yarıçaptaki alanın %90'ından fazlası bu sınıftadır. Bu arayüz koridorları öncelik puanı sıralamasında 24–35 bandında sıkışmış ikinci kademe koridorlar olduğundan, yangın maruziyeti bu bandın içinde ayırt edici bir ölçüt sağlamaktadır.

Havalimanı yakıt tesisleri. Envanter, çalışmanın son aşamasında havalimanı yakıt ikmal tesisleriyle genişletilmiştir. Jet yakıtı BEKRA Ek-1 Bölüm 2'de isim isim sayılan bir tehlikeli madde olmasına karşın, bölgedeki havalimanı yakıt tesislerinden yalnızca üçü resmî BEKRA kaydıyla temsil edilmekteydi; bölgenin en büyük kapasiteli tesisi olan İstanbul Havalimanı yakıt çiftliği (işletmeci beyanına göre 300.000 m³, üst seviye eşiğinin yaklaşık on katı) envanterde bulunmuyordu ve tehlike yüzeyinde 0,024 değeriyle pratikte görünmüyordu. Yedi sivil havalimanı yakıt tesisinin eklenmesiyle envanter 269 kayda çıkmış, yüksek ve üzeri tehlike alanı 546,2 km²'ye, etkin koridor sayısı 35'e yükselmiştir. Öncelik sıralaması değişmemiş, ilk dört koridorun puanları en çok 0,5 birim oynamıştır; dolayısıyla bulgu, önceliklerin değişmesi değil envanterin kapsam bütünlüğünün sağlanmasıdır. Askeri meydanlar Yönetmelik m.3(1)(a) uyarınca kapsam dışıdır ve envantere alınmamıştır.

13.7 Politika ve Strateji Çerçevesi

Bölüm 16, üretilen risk çıktılarının planlama, yatırım ve müdahale kararlarına dönüştürülmesi için bir politika ve strateji çerçevesi kurmuştur. Bölümün politika çerçevesi bulgudan bağımsız biçimde kurulmuş, sayısal içeriği ise üretilen çıktılarından türetilmiştir: küme bazlı öncelik sıralaması 35 etkin koridor üzerinden kurulmuş, Teknolojik Risk Öncelik Puanı bütün koridorlar için bileşen bazında hesaplanmış, izleme göstergelerinin baz değerleri üretilen yüzeylerden çıkarılmıştır.

Çerçevenin belkemiğini, salt tehlikeye değil; maruziyet, kırılganlık, NaTech potansiyeli ve müdahale kapasitesine birlikte dayanan 100 puanlık bir Teknolojik Risk Öncelik Puanı oluşturmaktadır. Bu puana bağlanan sekiz strateji paketi

(BEKRA denetimi ve uyum; NaTech/domino tedbirleri; kritik altyapı sürekliliği; kentsel maruziyet ve tahliye; erken uyarı ve sensör ağı; deniz/kıyı-çevre koruma; kurumsal yönetim ve veri paylaşımı; finansal dayanıklılık) kısa-orta-uzun vadeli bir yol haritası ve izleme göstergeleriyle ilişkilendirilmiştir.

Bu tasarımın yararı uygulamada görülmüştür: politika çerçevesi bulgulardan önce kurulduğu için, risk haritaları üretildiğinde bulgular doğrudan tanımlı politika karşılıklarına bağlanabilmiş ve politika üretimi gecikmemiştir. Yönetişim açısından çerçeve, AFAD koordinasyonunu; Bakanlık, yerel yönetimler, OSB ve tesis işletmecilerinin rollerini ve çıktıların AYDES ile MARAP-ŞESİM bileşenine bütünleştirilmesini öngörmektedir.

13.8 Sınırlılıklar ve Belirsizlikler

Sonuçlar aşağıdaki sınırlılıklarla birlikte okunmalıdır:

- **Ürünün niteliği.** Tehlike ve risk yüzeyleri bağlı (0–1) tarama ürünleridir; olasılık ya da beklenen kayıp değeri değildir. Sınıflar arası karşılaştırma ve önceliklendirme anlamlı, mutlak yorum değildir. Analiz birimi 500 m olduğundan tesis içi yerleşim, tank konumu ve salım modellemesi bu ölçekte temsil edilememektedir; öncelikli koridorlarda tesis ölçeğinde nicel değerlendirme gereklidir.
- **Envanterin kapsam sınırı.** BEKRA seviyeleri resmî kayıttır; ancak envanterin tamlığı il bazında değişmektedir. Edirne'de BEKRA kaydı bulunmamakta (yalnız kapasite raporu listesi paylaşılmıştır), Kırklareli ve Yalova yalnız üst seviyeyle temsil edilmektedir. Tehlikeli madde miktarları işletmeci beyanına dayanır ve bildirim tarihleri 2022–2026 arasında dağılmaktadır.
- **Konum belirsizliği.** Kayıtların bir bölümünde (özellikle 15 'Düşük' güvenli kayıt) koordinat teyidi tamamlanmamıştır; bu, tampon ve yoğunluk yüzeylerinde yerel hatalara yol açabilir.
- **Orman yangını katmanının model sınırlılığı.** Kesişim çözümlemesinde kullanılan yangın tehlike modelinin “yüksek tehlikeli” sınıfı, eğitim kümesindeki %1,4'lük temsil ve 0,25 duyarlılık nedeniyle MARAP alanında yalnızca 22 km² kaplamaktadır. Tesis düzeyindeki tehlike göstergeleri bu nedenle muhafazakârdır. Ayrıca yangın risk katmanı kırılabilirlik bileşeninde kritik altyapı ve yapı yoğunluğu faktörlerini barındırdığından, tesis maruziyeti okumaları kısmen döngüseldir; ayırım ölçütü olarak kırılabilirlikten arındırılmış tehlike katmanı birlikte raporlanmıştır.
- **Havalimanı ve askeri tesis kapsamı.** Tarifeli sefer yapılan altı havalimanının yakıt depolama kapasitesi belgelenememiş, tehlike ağırlıkları havalimanı kategorisi vekil ölçütüyle atanmıştır; bu, envanterdeki en zayıf gerekçelendirmeye sahip ağırlık grubudur. Bölgedeki yedi askeri hava meydanı ise BEKRA Yönetmeliği m.3(1)(a) muafiyeti nedeniyle envantere alınamamıştır;

muafiyet kurumsaldır ve bu meydanlardaki yakıt depolarının fiziksel tehlike potansiyelini ortadan kaldırmaz. Söz konusu tesisler bilinen ancak kapsam dışı bırakılan tehlike kaynaklarıdır.

- **Ağırlık kalibrasyonu.** Bileşik risk ve öncelik puanı ağırlıkları uzman görüşüne dayanmaktadır. $\pm 20\%$ 'lik belirsizliğe karşı iki aşamalı duyarlılık analizi yapılmış ve sonuçların dayanıklı olduğu gösterilmiştir (Bölüm 6.6.2); buna karşılık ağırlıkların AHP/BWM ile uzman paneli üzerinden resmî olarak kalibre edilmesi hâlâ önerilmektedir.
- **Sel-taşkın bileşeninin karma niteliği.** Devralınan resmî Q500 katmanının kapsam boşluğu HAND yöntemiyle giderilmiştir. Birleşik katman bu nedenle iki farklı üretim yöntemini — hidrolik modelleme ve sayısal yükseklik modeline dayalı jeomorfolojik sınırlandırma — bir arada taşımaktadır. HAND ürünü bir tekrarlanma düzeyi (Q100/Q500) taşımaz, taşkın derinliği ve hızı üretmez, koruma yapılarını (set, regülatör, baraj) hesaba katmaz ve kıyı taşkını kapsamaz. SYGM Meriç–Ergene taşkın modelinin temini hâlinde ilgili alanlarda doğrudan onunla değiştirilmesi önerilmektedir.
- **Deprem bileşeninin zemin ve düzey kısıtı.** Deprem tetikleyicisinin kaynağı olan tehlike hesapları $V_{s30} = 760$ m/s referans kaya koşulunda yürütülmüş, yerel zemin büyütmesi dâhil edilmemiştir (MARAP İP-4, 2026b). Bölgedeki sabit tehlike kaynakları ağırlıklı olarak kıyı ve ova alüvyonları üzerinde — yani büyütmenin en yüksek beklendiği zeminlerde — bulunduğundan, deprem bileşeni bu konularda gerçek yer hareketi talebini ihtiyatlı-düşük temsil etmektedir. Ayrıca yalnızca DD-2 (475 yıl) düzeyi kullanılmış; kritik altyapı bakımından belirleyici olan DD-1 (2.475 yıl) düzeyi, kaynak veri setinde bu alan bulunmadığından kapsam dışında kalmıştır. DD-1 grid verisi sağlandığında yüzey aynı aktarım yöntemiyle üretilebilir (Bölüm 6.5.7).
- **Boru hattı verisi.** BOTAŞ doğalgaz ana iletim hattı ile ham petrol hatları temin edilemediğinden sabit tehlike kaynağı olarak yüzeye girmemiştir; bu, özellikle Trakya ile İzmit–Sakarya eksenindeki tehlikenin bir miktar düşük tahmin edilmesine yol açmaktadır.
- **Müdahale kapasitesi verisi.** İtfaiye istasyonu envanteri açık kaynaklıdır ve kırsalda eksiktir; hesaplanan uzaklık ayrıca kuş uçuşudur. Yönetilebilirlik bileşeni bu nedenle olduğundan düşük, kırsal alanlardaki risk ise bir miktar yüksek tahmin edilmiş olabilir.

Genel Sonuç Değerlendirmesi

Çalışma, teknolojik afet ve NaTech tehlike-risk haritalaması için kavramsal, yasal, metodolojik ve envanter temelini kurmuş ve bu temeli sayısal çıktıya dönüştürmüştür. Kavramsal çerçeve NaTech olgusunu ve BEKRA mevzuatını Marmara bağlamına oturtmuş; teknik iş akışı tehlikeden bileşik riske uzanan zinciri uygulanabilir ve yinelenebilir adımlarla tanımlamış; envanter çalışması 269 kayıtlık,

konum denetiminden geçmiş, resmî BEKRA verisiyle zenginleştirilmiş bir tehlike kaynağı katmanı üretmiş; politika bölümü bulguların karara dönüşeceği çerçeveyi kurmuştur. Bu temel üzerinde, MARAP'ın 11 ilini bütünüyle kapsayan Teknolojik Afet Tehlike Haritası ve Teknolojik Afet Risk Haritası üretilmiş, 35 etkin koridor türetilerek önceliklendirilmiştir.

Çalışmanın ortaya koyduğu tablo, kaynakların dar bir alana odaklanmasına elverişlidir: bölge alanının %1,9'unu oluşturan 35 koridor, tehlike kaynaklarının %75'ini ve yüksek riskteki nüfusun neredeyse tamamını barındırmaktadır. Bu, teknolojik afet riskinin yönetilebilir bir sorun olduğunu göstermektedir: bölgenin tamamına yayılan deprem tehlikesinden farklı olarak teknolojik afet riski adresi belli bir olgudur ve doğru hedeflenmiş bir programla anlamlı ölçüde azaltılabilir.

Yeniden üretilebilirlik ve güncelleme. Çalışmanın en güçlü yönü, üretim zincirinin bütünüyle betiklenmiş ve belgelenmiş olmasıdır: veri hazırlamadan nihai haritalara kadar her adım yeniden üretilebilir durumdadır. Bunun iki pratik sonucu vardır. Birincisi, eksik verilerin — Meriç–Ergene taşkın rasteri, boru hatları, resmî itfaiye envanteri, Edirne BEKRA kayıtları — her biri temin edildiğinde sonuçlar yeni bir çalışma gerektirmeden güncellenebilecektir. İkincisi, envanter değişken bir varlık olduğundan — yeni bildirimler, kapasite değişiklikleri, kapanan ve açılan tesisler — haritaların güncel tutulması tek seferlik bir üretime değil, tanımlı ve düzenli bir veri akışına bağlıdır. Bu raporun kurumsal düzeydeki en somut önerisi budur.

13.9 Teslim Seti ve Ekler

Bu rapor seti, AFAD'a teslim edilmek üzere tek bir dizin yapısı altında derlenmiştir (4 NOLU İŞ PAKETİ WORKS_v260910). Raporlar 01_RAPORLAR, sayısal ekler 02_EKLER, üretilen CBS katmanları 03_CBS_CIKTILAR, haritalar 04_HARITALAR, analizde kullanılan kaynak veri katmanları ise 07_KAYNAK_VERI klasörlerinde bulunmaktadır. Kaynak veri bakımından set kendi kendine yeterlidir: analizde kullanılan bütün girdi katmanları — AFAD BEKRA kayıtları, NaTech kaynak veri seti, heyelan ve orman yangını kaynak rasterleri, sayısal yükseklik modeli paftaları, yapı stoku ve nüfus veri tabanları dâhil — sete alınmıştır. Metin içinde atıf yapılan sayısal ekler aşağıda kod, içerik ve klasör karşılığıyla listelenmiştir; setin dosya bazındaki tam dökümü, sağlama değerleriyle birlikte teslim föyünde ve teslim manifestosunda verilmiştir. Metin içi atıflarda kullanılan kod sistemi ile eklerin, çıktıların ve kaynak veri katmanlarının tam dizini EKLER bölümünde (Tablo E-1) yer almaktadır. Teslim setindeki sayısal eklerin listesi Tablo 13-4'te verilmiştir.

Tablo 13-4 Teslim setindeki sayısal eklerin listesi.

Ek	İçerik	Başlıca dosyalar	Klasör
EK-A	Tesis envanteri: doğrulanmış 269 kayıtlık tehlike kaynağı envanteri, resmî BEKRA kuruluşları, kritik tesisler ve havalimanları ile konum düzeltme günlüğü	İP4_Tesis_Envanteri_v4.xlsx MARAP_BEKRA_Kuruluslari. .geojson; MARAP_Kritik_Tesi .geojson; airports.geojson; İP4_Konum_Duzeltme_Gunlu	02_EKLER/EK- A_TESIS_ENVAN

Ek	İçerik	Başlıca dosyalar	Klasör
EK-B	Tehlike ve risk sonuç tabloları: il ve ilçe bazında TATH/TARH özetleri ile PGA il özeti	MARAP_TATH_TARH_il_ozet MARAP_ilce_ozeti.xlsx; MARAP_PGA475_il_ozeti.xls	02_EKLER/EK- B_TEHLIKE_RISK
EK-C	Koridor çözümlemesi: 35 etkin koridorun ayrıntı tablosu ve teknolojik risk öncelik puanı bileşenleri	MARAP_koridor_analizi.xlsx; MARAP_koridor_onceelik_pua	02_EKLER/EK- C_KORIDOR_AN
EK-D	Orman yangını – teknolojik tesis arayüzü çözümlemesi ve kırılmış yangın verisinin künyesi	MARAP_OrmanYangini_Tekn .xlsx; MARAP_OrmanYangini_Risk OKUBENI.txt	02_EKLER/EK- D_ORMAN_YANG
EK-E	Veri kataloğu ve kod sözlükleri: üretilen ve kullanılan tüm katmanların künyesi, yolu ve üretim durumu	MARAP_IP4_Veri_Katalogu. IP4_Tehlike_Katman_Listesi. MARAP_il_ilce_kodlari.json; MARAP_CORINE_kod_sozlu	02_EKLER/EK- E_VERI_KATALO
EK-F	Doğrulama ve duyarlılık: ağırlık duyarlılık analizi, PGA karşılaştırması, havalimanı ve kırma denetim görselleri ile deprem raporu etki değerlendirmesi	MARAP_duyarlilik_analizi.xls; karsilastirma_PGA475.png; airports_dogrulama.png; onizleme_kirpma_kontrol.png MARAP_IP4_DepremRaporu ndirmesi.docx	02_EKLER/EK- F_DOGRULAMA- LIK
EK-G	Sel-taşkın kapsam boşluğunun HAND yöntemiyle tamamlanması: doğrulama raporu, il ve ilçe bazında kapsam özetleri ve veri boşluğu tabloları	HAND_dogrulama.txt; HAND. HAND_ilce_ozeti.csv; marap_il_taskin_kapsami.csv trakya_ilce_taskin_veri_boslu	02_EKLER/EK- G_SEL_TASKIN_I
EK-H	Çevre düzeni planlarının afet ve risk hükümleri: yürürlükteki beş planın karşılaştırmalı çözümlemesi ve türetilen öneri plan hükümleri	MARAP_IP4_EK- H_CDP_Plan_Hukumleri_On 7.docx; MARAP_CDP_afet_hukumler .xlsx; OKUBENI.txt	02_EKLER/EK- H_CDP_PLAN_HI

Koridor paftaları (35 pafta) 04_HARITALAR/4B_KORIDOR_PAFTALARI klasöründe MARAP_Koridor_Paftalari.pdf ve tekil PNG arşivi olarak; tema haritaları ise 04_HARITALAR/4A_TEMA_HARITALARI klasöründe yer almaktadır. Üretilen raster ve vektör katmanların tamamı 03_CBS_CIKTILAR altında tema başlıklarına göre ayrılmıştır; koordinat sistemi TUREF / LCC Europe (EPSG:5637), hücre boyutu 500 m'dir. Sel-taşkın tetikleyicisinin HAND ile tamamlanmış sürümü ve ara ürünleri 03_CBS_CIKTILAR/3C_SEL-TASKIN klasöründedir. Kaynak veri katmanları 07_KAYNAK_VERI altında dokuz başlıkta toplanmıştır: resmî veri (7A), açık kaynak vektör (7B), arazi örtüsü ve idari sınırlar (7C), heyelan kaynak katmanları (7D), orman yangını kaynak rasterleri (7E), AFAD BEKRA ham kayıtları (7F), NaTech kaynak veri seti (7G), sel-taşkın girdi verileri (7H) ve iklim katmanları (7I).

14 KAYNAKLAR

- AFAD. (2018). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018). Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı.
- Antonioni, G., Spadoni, G., & Cozzani, V. (2009). Application of domino effect quantitative risk assessment to an extended industrial area. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 22(5), 614–624. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2009.02.012>
- Avrupa Parlamentosu ve Konseyi. (2012). Directive 2012/18/EU of the European Parliament and of the Council of 4 July 2012 on the control of major-accident hazards involving dangerous substances, amending and subsequently repealing Council Directive 96/82/EC (Seveso III). *Official Journal of the European Union*, L 197, 1–37.
- Bartos, M. (2020). pysheds: Simple and fast watershed delineation in Python [Yazılım]. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3822494>
- Büyük Endüstriyel Kazaların Önlenmesi ve Etkilerinin Azaltılması Hakkında Yönetmelik. (2019, 2 Mart). Resmî Gazete (Sayı: 30702). Aile, Çalışma ve Sosyal Hizmetler Bakanlığı, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı ve İçişleri Bakanlığı.
- Cozzani, V., Gubinelli, G., Antonioni, G., Spadoni, G., & Zanelli, S. (2005). The assessment of risk caused by domino effect in quantitative area risk analysis. *Journal of Hazardous Materials*, 127(1–3), 14–30. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2005.07.003>
- Crichton, D. (1999). The risk triangle. J. Ingleton (Ed.), *Natural disaster management* (ss. 102–103) içinde. Tudor Rose.
- Danciu, L., Nandan, S., Reyes, C., Basili, R., Weatherill, G., Beauval, C., Rovida, A., Vilanova, S., Sesetyan, K., Bard, P.-Y., Cotton, F., Wiemer, S., & Giardini, D. (2021). The 2020 update of the European Seismic Hazard Model — ESHM20: Model overview (EFEHR Technical Report 001). European Facilities for Earthquake Hazard and Risk. <https://doi.org/10.12686/a15>
- European Environment Agency. (2020). CORINE Land Cover 2018 (raster 100 m), Europe, 6-yearly — version 2020_20u1. Copernicus Land Monitoring Service. <https://doi.org/10.2909/960998c1-1870-4e82-8051-6485205ebbac>
- European Space Agency. (2019). Copernicus DEM — Global and European Digital Elevation Model (COP-DEM), GLO-30. ESA / Avrupa Birliği. <https://doi.org/10.5270/ESA-c5d3d65>
- Girgin, S., & Krausmann, E. (2013). RAPID-N: Rapid natech risk assessment and mapping framework. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 26(6), 949–960. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2013.10.004>

- International Electrotechnical Commission. (2016). Hazard and operability studies (HAZOP studies) — Application guide (IEC 61882:2016, Edition 2.0). IEC.
- Jenks, G. F. (1967). The data model concept in statistical mapping. *International Yearbook of Cartography*, 7, 186–190.
- Kinney, G. F., & Wiruth, A. D. (1976). Practical risk analysis for safety management (NWC TP 5865). Naval Weapons Center.
- Krausmann, E., Cruz, A. M., & Salzano, E. (2017). Natech risk assessment and management: Reducing the risk of natural-hazard impact on hazardous installations. Elsevier.
- MARAP İP-4. (2026a). Haritalama: Orman yangınları risk analizi sonuç raporu (İP-4-E). Marmara Bölgesi Afet Risk Azaltma Planı.
- MARAP İP-4. (2026b). Marmara Bölgesi olasılıksal deprem tehlike analizi, yapı stoku ve kayıp değerlendirmesi sonuç raporu (İP-4 Deprem Raporu). Marmara Bölgesi Afet Risk Azaltma Planı.
- Nobre, A. D., Cuartas, L. A., Hodnett, M., Rennó, C. D., Rodrigues, G., Silveira, A., Waterloo, M., & Saleska, S. (2011). Height Above the Nearest Drainage — a hydrologically relevant new terrain model. *Journal of Hydrology*, 404(1–2), 13–29. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.03.051>
- Pagani, M., Monelli, D., Weatherill, G., Danciu, L., Crowley, H., Silva, V., Henshaw, P., Butler, L., Nastasi, M., Panzeri, L., Simionato, M., & Vigano, D. (2014). OpenQuake Engine: An open hazard (and risk) software for the Global Earthquake Model. *Seismological Research Letters*, 85(3), 692–702. <https://doi.org/10.1785/0220130087>
- Pavlis, N. K., Holmes, S. A., Kenyon, S. C., & Factor, J. K. (2012). The development and evaluation of the Earth Gravitational Model 2008 (EGM2008). *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 117(B4), B04406. <https://doi.org/10.1029/2011JB008916>
- Rennó, C. D., Nobre, A. D., Cuartas, L. A., Soares, J. V., Hodnett, M. G., Tomasella, J., & Waterloo, M. J. (2008). HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM: Mapping terra-firme rainforest environments in Amazonia. *Remote Sensing of Environment*, 112(9), 3469–3481. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2008.03.018>
- Rezaei, J. (2015). Best-worst multi-criteria decision-making method. *Omega*, 53, 49–57. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2014.11.009>
- Saaty, T. L. (1980). The analytic hierarchy process: Planning, priority setting, resource allocation. McGraw-Hill.
- Showalter, P. S., & Myers, M. F. (1994). Natural disasters in the United States as release agents of oil, chemicals, or radiological materials between 1980–

1989: Analysis and recommendations. Risk Analysis, 14(2), 169–182.
<https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.1994.tb00042.x>

United Nations Office for Disaster Risk Reduction. (2015). Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015–2030. UNDRR.

Wald, D. J., & Allen, T. I. (2007). Topographic slope as a proxy for seismic site conditions and amplification. Bulletin of the Seismological Society of America, 97(5), 1379–1395. <https://doi.org/10.1785/0120060267>

Weatherill, G., Kotha, S. R., & Cotton, F. (2020). A regionally adaptable ground-motion model for shallow crustal earthquakes in Europe. Bulletin of Earthquake Engineering, 18(15), 6467–6501. <https://doi.org/10.1007/s10518-020-00899-9>

15 EKLER

Bu bölüm, rapor metninde adı geçen sayısal eklerin, CBS katmanlarının ve envanter dosyalarının teslim setindeki fiziksel karşılığını tek bir yerde toplar. Amaç, metinde bir katman veya envanter adı anıldığında okuyucunun o veriye hangi klasörden, hangi dosya adıyla ve hangi sürümle erişeceğini tereddütsüz görebilmesidir. Bölüm 13.9'da tanımlanan teslim seti yapısı esas alınmıştır; buradaki dizin, o yapının atıf amaçlı kısa gösterimidir.

Ek ve veri katmanı atıf kuralı

Aşağıdaki kural, bu raporun tamamı ve MARAP İP-4 kapsamındaki sonraki sürümler için bağlayıcıdır.

1. Yol kökü. Bütün yollar, teslim setinin kök dizini olan “4 NOLU İŞ PAKETİ WORKS_v260910” klasörüne göre verilir. Metinde kök yeniden yazılmaz; gerekirse <WORKS_v260910> kısaltmasıyla anılır.
2. Kod sistemi. Her teslim bileşenine bir kısa kod verilir: EK-A...EK-G sayısal ekler (02_EKLER), CO-3A...CO-3x üretilen CBS çıktıları (03_CBS_CIKTILAR), HR-4A ve HR-4B haritalar (04_HARITALAR), KV-7A...KV-7I kaynak veri katmanları (07_KAYNAK_VERI).
3. Atıf biçimi. Bir veri kaynağına metinde ilk kez atıf yapıldığında adın ardından köşeli parantez içinde kod ve yol verilir; sonraki geçişlerde yalnızca kod kullanılır. Örnek: SANAYITESIS_Marmara [KV-7B · 07_KAYNAK_VERI/7B_ACIK_KAYNAK_VEKTOR]; sonraki geçişlerde [KV-7B].
4. Sürüm zorunluluğu. Sürüm numarası taşıyan veri setleri sürümüyle birlikte anılır. Örnek: Tehlike Kaynağı Envanteri v4.0 (269 kayıt) [EK-A · 02_EKLER/EK-A_TESIS_ENVANTERI/IP4_Tesis_Envanteri_v4.xlsx]. Sürümsüz katmanlarda dosya adı ve teslim tarihi esas alınır.
5. Ana sicil. Kod, ad, dosya adı ve yol eşlemesinin bağlayıcı kaynağı EK-E'deki MARAP_IP4_Veri_Katalogu.xlsx dosyasıdır. Bu bölümdeki dizin ile katalog arasında çelişki bulunması hâlinde katalog esas alınır.
6. Künye bütünlüğü. Rapora yeni bir katman veya ek eklendiğinde aynı satır hem veri kataloğuna hem de bu bölümdeki dizine işlenir; dizinde karşılığı bulunmayan bir katman adı metinde kullanılmaz.
7. Teslim setine konulamayan veriler. Lisans veya gizlilik nedeniyle sete alınamayan kurumsal verilerde atıf; kaynak kurum, veri adı, temin tarihi ve erişim koşulu belirtilerek yapılır. Örnek: AFAD BEKRA ham kayıtları [KV-7F], AFAD'dan kurumsal yazışmayla temin edilmiştir.

Tablo E-1 Ek, çıktı ve kaynak veri katmanları dizini (yollar teslim seti kökü <WORKS_v260910> altındadır).

Kod	Ad / içerik	Kayıt – kapsam	Klasör (yol)
EK-A	Tesis envanteri: Tehlike Kaynağı Envanteri v4.0, resmî BEKRA kuruluşları, kritik tesisler, havalimanları, konum düzeltme günlüğü	269 kayıt (220 BEKRA + 45 tamamlayıcı + 4 açık kaynak)	02_EKLER/EK-A_TESIS_ENVANTERİ
EK-B	Tehlike ve risk sonuç tabloları: il ve ilçe bazında TATH/TARH özetleri, PGA il özeti	11 il · 158 ilçe	02_EKLER/EK-B_TEHLIKE_RISK_TABLOLARI
EK-C	Koridor çözümlemesi: etkin koridor ayrıntı tablosu ve teknolojik risk öncelik puanı bileşenleri	35 koridor	02_EKLER/EK-C_KORIDOR_ANALIZI
EK-D	Orman yangını – teknolojik tesis arayüzü çözümlemesi ve kırılmış yangın verisinin künyesi	Bölge geneli	02_EKLER/EK-D_ORMAN_YANGINI_KESISIMI
EK-E	Veri kataloğu ve kod sözlükleri: kullanılan ve üretilen tüm katmanların künyesi, yolu ve üretim durumu (ana sicil)	Tüm katmanlar	02_EKLER/EK-E_VERI_KATALOGU
EK-F	Doğrulama ve duyarlılık: ağırlık duyarlılık analizi, PGA karşılaştırması, denetim görselleri, deprem raporu etki değerlendirmesi	Bölge geneli	02_EKLER/EK-F_DOGRULAMA_VE_DUYARLILIK
EK-G	Sel-taşkın kapsam boşluğunun HAND yöntemiyle tamamlanması: doğrulama raporu, il ve ilçe kapsam özetleri, veri boşluğu tabloları	11 il · 158 ilçe	02_EKLER/EK-G_SEL_TASKIN_HAND
EK-H	Çevre düzeni planlarının afet ve risk hükümleri: karşılaştırmalı çözümleme ve öneri plan hükümleri	5 plan · 20 tema · 141 madde	02_EKLER/EK-H_CDP_PLAN_HUKUMLERI
KV-7A	Resmî veri katmanları	Kurumsal temin	07_KAYNAK_VERI/7A_RESMI_VERI
KV-7B	Açık kaynak vektör katmanları: SANAYITESIS_Marmara (24.068 tesis), OSB_Marmara (190 alan), akaryakıt_benzin (3.885 istasyon; 364 LPG/dökme gaz)	11 il	07_KAYNAK_VERI/7B_ACIK_KAYNAK_VEKTOR
KV-7C	Arazi örtüsü ve idari sınırlar: CORINE 2020 arazi örtüsü, idari birim veri seti	25.484 poligon; 11 il, 158 ilçe,	07_KAYNAK_VERI/7C_ARAZI_ORTUSU_VE_IDARI

Kod	Ad / içerik	Kayıt – kapsam	Klasör (yol)
		5.146 mahalle, 1.293 köy	
KV-7D	Heyelan kaynak katmanları	Bölge geneli	07_KAYNAK_VERI/7D_HE YELAN_KAYNAK
KV-7E	Orman yangını kaynak rasterleri	Bölge geneli	07_KAYNAK_VERI/7E_O RMAN_YANGINI_KAYNA K
KV-7F	AFAD BEKRA ham kayıtları (kurumsal yazışmayla temin; Edirne için BEKRA kayıt dosyası iletilmemiş, yalnız kapasite raporu listesi paylaşmıştır)	Ham kayıtlar	07_KAYNAK_VERI/7F_AF AD_BEKRA_KAYNAK
KV-7G	NaTech kaynak veri seti	Bölge geneli	07_KAYNAK_VERI/7G_N ATECH_KAYNAK_VERI
KV-7H	Sel-taşkın girdi verileri (Q500 ve HAND girdileri)	Bölge geneli	07_KAYNAK_VERI/7H_SE L_TASKIN_GIRDI
KV-7I	İklim katmanları	Bölge geneli	07_KAYNAK_VERI/7I_IKLI M_KATMANLARI
CO-3	Üretilen raster ve vektör katmanlar (tehlike, maruziyet, kırılabilirlik, NaTech, domino, bileşik risk); tema başlıklarına göre ayrılmıştır. Sel- taşkın HAND sürümü ve ara ürünleri 3C_SEL-TASKIN altındadır. EPSG:5637, 500 m hücre	Bölge geneli	03_CBS_CIKTILAR
HR-4A / HR- 4B	Tema haritaları (4A) ve koridor paftaları (4B; PDF ile tekil PNG arşivi)	35 koridor paftası	04_HARITALAR

Kuralın uygulanmasına örnekler

Katman atfı: “...öznitelik bakımından en zengin girdi olan 24.068 koordinatlı sanayi tesisi katmanıdır (SANAYITESIS_Marmara [KV-7B])...” — katmanın tam yolu ve dosya adı Tablo E-1 ile EK-E'deki veri kataloğundan izlenir.

Envanter atfı: “...269 kayıtlık Tehlike Kaynağı Envanteri v4.0 [EK-A · 02_EKLER/EK-A_TESIS_ENVANTERI/İP4_Tesis_Envanteri_v4.xlsx]...” — sürüm numarası atfın ayrılmaz parçasıdır; sürüm değiştiğinde metindeki atf da güncellenir.

Harita ve çıktı atfı: “...bileşik risk yüzeyi [CO-3] ve ilgili koridor paftası [HR-4B]...” biçiminde verilir.