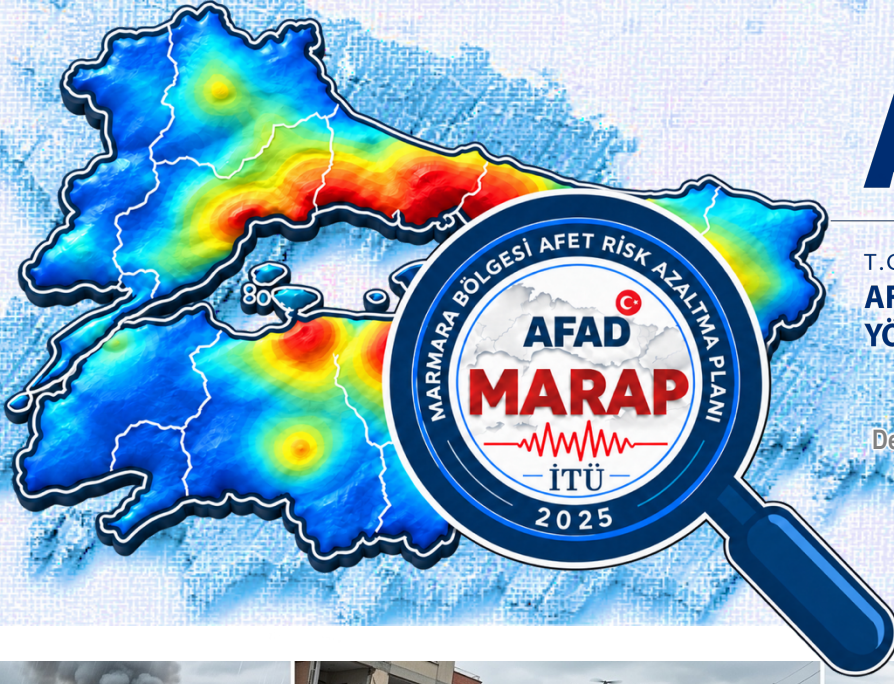




AFAD

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

Deprem ve Risk Azaltma Genel Müdürlüğü



MARAP

MARMARA BÖLGESİ AFET RİSK AZALTMA PLANI Projesi

İş Paketi No: İP-4

Haritalama: BÜTÜNLEŞİK TEHLİKE-RİSK Analizleri Sonuç Raporu



ULUSAL COĞRAFI
BİLGİ TEKNOLOJİLERİ

<http://marap.afad.gov.tr>

4

Yönetici Özeti

Bu rapor, Marmara Bölgesi Afet Risk Azaltma Planı (MARAP) Projesi 4 numaralı iş paketi (İP-4) kapsamında ayrı ayrı üretilmiş olan deprem, heyelan, sel-taşkın, iklim kaynaklı tehlikeler, orman yangını ve teknolojik afet (NaTech) tehlike ve risk yüzeylerinin tek bir bütünleşik tehlike ve tek bir bütünleşik risk yüzeyinde birleştirilmesi çalışmasını sunmaktadır. Çalışma, 11 il ve 158 ilçeden oluşan MARAP alanının tamamını, 1 × 1 km çözünürlüklü düzenli bir ızgara üzerinde kapsamaktadır.

Çalışmanın Gerekçesi ve Amacı

İP-4 kapsamında üretilen yedi tür raporu, her afet türünü kendi fiziksel süreci, kendi senaryosu ve kendi çözünürlüğü içinde ele almıştır. Bu yaklaşım tür bazlı mühendislik değerlendirmesi için gereklidir; ancak karar vericinin önündeki soru çoğu zaman tek bir türe ilişkin değildir: sınırlı bir bütçenin hangi ilçede, hangi tür için kullanılacağı sorusu, türlerin ortak bir ölçekte karşılaştırılmasını gerektirir. Ayrıca aynı hücrede birden çok türün yüksek sınıfta olması, tek tür haritalarına bakılarak görülemez. Çalışmanın amacı, bu iki soruya yanıt verebilecek, hücre bazında karşılaştırılabilir ve yeniden üretilebilir bir bütünleşik değerlendirme çerçevesi kurmaktır.

İzlenen Yöntem

Yöntem, mekânsal çok ölçütlü karar çözümlemesi (GIS-MCDA) geleneğini izlemektedir. Altı afet türünün tehlike yüzeyleri ortak 1 km ızgaraya indirgenmiş, her tür kendi raporundaki eşiklerle 1–5 ordinal ölçeğe taşınmış, türler arası ağırlıklar En İyi–En Kötü Yöntemi (BWM) ile belirlenmiş ve ağırlıklı doğrusal birleşimle bütünleşik tehlike indeksi üretilmiştir. Bütünleşik risk, İP-4 teknolojik afet çözümlemesindeki kuralla aynı yapıda ($R = \text{Tehlike} \times \text{Maruziyet} \times \text{Kırılganlık} / \text{Yönetilebilirlik}$) hesaplanmıştır. Sonuçların ağırlık belirsizliğine karşı kararlılığı 1.000 örneklemeli Monte Carlo çözümlemesiyle ölçülmüş, her hücre için ayrıca bir güven indeksi üretilmiştir.

Yöntemi Belirleyen Beş Denetim Bulgusu

Üretime başlanmadan önce girdi katmanları ortak ızgarada ölçülmüş ve beş bulgu saptanmıştır. Bu bulgular yöntemin kurgusunu doğrudan biçimlendirmiştir. Birincisi, 1 km'lik iklim ve sel katmanları ile 900 m'lik orman yangını katmanı ana ızgarayla hizalı değildir (sırasıyla 319,7 m ve 144,2 m kayma); bu nedenle indirgeme 250 m'lik ara ızgara üzerinden alan ağırlıklı yapılmıştır. İkincisi, katmanların alan kapsamı %11,0 ile %100 arasında değişmektedir; sel-taşkın tehlikesinin resmî verisi alanın yalnız %11,0'ini örtmektedir. Üçüncüsü, sınıf dağılımları dengesizdir (aşırı sıcaklıkta alanın %78,9'u tek sınıfta toplanmaktadır). Dördüncüsü, sınıf tabanları farklıdır (kimi katman 0, kimi 1 tabanlıdır). Beşincisi ve en önemlisi, bileşik Teknolojik Afet Tehlike Haritası (TATH) deprem, heyelan ve

sel tetikleyicilerini zaten içermektedir; bu yüzey bütünleşik tehlikeye doğrudan girseydi üç doğal tür ikinci kez sayılacaktı. Teknolojik afet türü bu nedenle tetikleyici içermeyen sabit bileşenle temsil edilmiştir.

Temel Sonuçlar

BWM tutarlılık oranı 0,024 ile kabul sınırının (0,10) belirgin biçimde altındadır. Elde edilen ağırlıklarda deprem 0,4265 ile ilk sırada, orman yangını 0,0592 ile son sıradadır. Bütünleşik tehlike indeksinin ortalaması 0,260, en yüksek değeri 0,949'dur. Doğal kırılımlı sınıflandırmada yüksek ve çok yüksek tehlike sınıfları toplam 20.549 km² alan kaplamaktadır. Bütünleşik tehlikede baskın tür, alanın 47.863 km²'sinde depremdir. İl ortalamalarına göre en yüksek bütünleşik tehlike Yalova (0,446), Kocaeli (0,387) ve Çanakkale'de (0,353); en düşük tehlike Kırklareli (0,069), Edirne (0,147) ve Bilecik'tedir (0,148).

Bütünleşik riskte yüksek ve çok yüksek sınıflar, gece senaryosunda 5.374 km² alan kaplamaktadır. Bu alanların il içindeki payı Sakarya'da %21,3, Çanakkale'de %16,0 ve Yalova'da %13,2 ile en yüksek düzeydedir. Gündüz ve gece senaryoları arasında alanın %99,0'ında sınıf farkı yoktur; bunun nedeni nüfus katmanlarının toplamının aynı olması (26.440.627 kişi) ve yalnız %6,7'sinin yer değiştirmesidir.

Sınırlılıklar

Üretilen yüzeyler bölgesel tarama düzeyindedir ve bağıl ölçekte tanımlıdır; mutlak olasılık, tekerrür süresi veya beklenen parasal kayıp ifade etmezler. Parsel veya tesis ölçeğinde mühendislik, sigorta ya da imar kararına tek başına dayanak yapılamazlar. Gözlenmiş olay kayıtlarıyla doğrulama aşaması, veri temini beklendiğinden bu sürümde tamamlanmamıştır. Sel-taşkın türünde alanın %89,0'ında vekil gösterge kullanılmış olması ve iklim katmanlarının poligonal yapısı, ilgili hücrelerde güven düzeyini düşüren başlıca etkenlerdir.

Arz olunur.

Eylül 2026, İstanbul

Özet

Bu rapor, MARAP Projesi İP-4 iş paketi kapsamında ayrı ayrı üretilen altı afet türüne ait tehlike yüzeylerinin tek bir bütünlüklü tehlike ve risk haritasına dönüştürülmesini konu almaktadır. Çalışma alanı 11 il ve 158 ilçeyi kapsamakta, çözümleme birimi olarak 1 × 1 km'lik düzenli hücre kullanılmaktadır. Ortak mekânsal çerçeve EPSG:5637 (TUREF / Lambert Konformal Konik Europe) olarak seçilmiş; 1 km'lik ızgara, İP-4'ün 500 m'lik çerçevesine tam yuvalanacak biçimde tanımlanarak tür bazlı ürünlerle hücre düzeyinde karşılaştırılabilirlik korunmuştur.

Türler ortak ızgaraya, değişkenin niteliğine göre farklı kurallarla indirgenmiştir: sürekli yüzeylerde ortalama, ordinal sınıflarda çoğunluk, nüfus ve sayım katmanlarında toplam. İndirgenen değerler 1–5 ordinal ölçeğe taşınmış ve her hücre, her tür için üç kapsam rejiminden birine atanmıştır: tam kapsam, tanım gereği kapsam dışı ve veri boşluğu. Tanım dışı hücrelerde ağırlıklar yerel olarak yeniden normalize edilmiştir; bu düzeltme yapılmıyorsa ilgili alanlar yapay biçimde düşük tehlikeli görünecekti. Türler arası ağırlıklar En İyi–En Kötü Yöntemi (BWM) ile belirlenmiş, tutarlılık oranı 0,024 olarak elde edilmiştir.

Bütünlüklü tehlike, ağırlıklı doğrusal birleşimle hesaplanmış ve hem sabit eşikle hem doğal kırılımla sınıflandırılmıştır. Ağırlıklı ortalamanın yüksek değerleri bastırdığı sayısal olarak gösterilmiş; bu etkiyi dengelemek üzere zarf göstergesi, çok-tehlike birikim sayacı ve karma gösterge üretilmiştir. Risk, gündüz ve gece senaryolarında hesaplanmış; çarpımsal kuralda maruziyetin öteki bileşenleri bastırdığı saptandığından maruziyet de beşli sınıfa indirgenmiş ve bu düzeltme riskin tehlikeyle sıra korelasyonunu 0,30'dan 0,68'e çıkarmıştır. Elde edilen ürünlerde yüksek ve çok yüksek tehlike sınıfları 20.549 km², yüksek ve çok yüksek risk sınıfları 5.374 km² alan kaplamakta; alanın %23,9'unda iki ve daha çok tür aynı anda yüksek sınıfta bulunmaktadır. Bulgular, bütünlüklü katmanların güven indeksi ve baskın tür katmanlarıyla birlikte, bölgesel önceliklendirmeye yönelik bir ön eleme aracı olarak kullanılmasını önermektedir.

Bu çalışmanın hazırlanmasında katkı sunan başta **AFAD**-Deprem ve Risk Azaltma Genel Müdürlüğü- Marmara Afet Risklerini Azaltma Daire Başkanlığı olmak üzere, MARAP proje çalışanlarına, İstanbul Teknik Üniversitesi proje ekibine, Ulusal Coğrafi Bilgi Teknolojileri İnovasyon Uygulama ve Araştırma Merkezi'ne, veri sağlayan kurumlara ve teknik analiz-haritalama süreçlerinde görev alan tüm akademik ve teknik personele teşekkür ederiz. Çalışmanın Marmara Bölgesi'nin deprem afetlerine karşı daha dirençli, güvenli ve sürdürülebilir bir yapıya kavuşmasına katkı sağlamasını temenni ederiz.

Prof. Dr. Tahsin YOMRALIOĞLU

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

İTÜ



ULUSAL COĞRAFI
BİLGİ TEKNOLOJİLERİ
İNOVASYON UYGULAMA
ve ARAŞTIRMA MERKEZİ



İçindekiler

Yönetici Özeti	2
Özet	4
İçindekiler	5
Şekiller Listesi.....	7
Tablolar Listesi	7
Kısaltmalar.....	7
1 BÜTÜNLEŞİK AFET TEHLİKE VE RİSK HARİTASI ÜRETİMİ	9
1.1 Bütünleşik Değerlendirmenin Gerekçesi	9
1.2 Kavramsal Çerçeve ve Yöntem Seçimi	10
1.3 Çalışma Alanı ve Ortak Mekânsal Çerçeve.....	11
1.4 1 km Çözünürlük Seçiminin Gerekçesi.....	11
1.5 Alan Oranı Katmanı ve Eşik Kuralının Reddi	12
1.6 Izgara İndirgeme Kuralları	12
2 GİRDİ ENVANTERİ VE VERİ UYUMLAŞTIRMA	13
2.1 Bulgu 1 — Izgara Hizası.....	13
2.2 Bulgu 2 — Kapsam Oranları	13
2.3 Bulgu 3 — Sınıf Dağılımlarının Dengesizliği	14
2.4 Bulgu 4 — Sınıf Tabanlarının Farklılığı	14
2.5 Bulgu 5 — Mükerrer Sayım Riski	14
3 SEÇİLİ AFET-TÜR İÇİ SINIFLANDIRMA VE NORMALİZASYON	15
3.1 Deprem.....	16
3.2 Heyelan	16
3.3 Sel-Taşkın	16
3.4 İklim	17
3.5 Orman Yangını	17
3.6 Teknolojik Afet.....	17
4 KAPSAM REJİMLERİ VE VERİ BOŞLUĞU	18
5 TÜRLER ARASI AĞIRLIKLANDIRMA.....	20
5.1 Yöntem Seçimi	20
5.2 Ağırlıklar ve Gerekçeleri	20

5.3	Ağırlık Duyarlılığı ve Eşit Ağırlıkla Karşılaştırma	21
6	BÜTÜNLEŞİK TEHLİKE	23
6.1	Birleştirme Kuralı	23
6.2	Sınıflandırma ve Sabit Eşiğin Ayırt Edicilik Sorunu	23
6.3	Yardımcı Göstergeler	24
6.4	Baskın Tür Dağılımı ve Yorumu	24
6.5	İl Bazında Bütünleşik Tehlike	26
7	TÜRLER ARASI BAĞIMLILIK DENETİMİ	27
8	BÜTÜNLEŞİK RİSK.....	28
8.1	Risk Kuralı ve Bileşenler	28
8.2	Maruziyet Baskınlığı Sorunu ve Çözümü	28
8.3	Gündüz ve Gece Senaryoları	29
8.4	İl Bazında Bütünleşik Risk.....	29
9	BELİRSİZLİK VE GÜVEN İNDEKSİ	31
10	DOĞRULAMA DURUMU VE SINIRLILIKLAR	33
11	TEMEL BULGULAR VE SONUÇLAR.....	34
12	YÖNETSEL ÇIKARIMLAR VE ÖNERİLER.....	35
13	SONUÇLAR VE GENEL DEĞERLENDİRME.....	36
14	KAYNAKÇA	39

Şekiller Listesi

Şekil 3-1 Altı afet türünün 1 km ızgarada uyumlaştırılmış tehlike sınıfları	18
Şekil 5-1 Eşit ağırlık ve BWM ağırlıklarının bütünleşik tehlikeye etkisi	22
Şekil 6-1 Bütünleşik afet tehlike haritası (BWM ağırlıkları, doğal kırılım).....	25
Şekil 6-2 Bütünleşik tehlikede baskın afet türü	25
Şekil 6-3 Çok-tehlike birikim haritası (sınıfı 4 ve üzeri olan tür sayısı).....	26
Şekil 8-1 Bütünleşik afet risk haritası — gece senaryosu	30
Şekil 8-2 Bütünleşik risk bileşenleri ve gündüz–gece farkı	31
Şekil 9-1 Bütünleşik tehlike güven indeksi	32

Tablolar Listesi

Tablo 1-1 İP-4 çerçevesi ile bütünleşik faz çerçevesinin karşılaştırması	11
Tablo 1-2 Girdi türüne göre indirgeme kuralları ve gerekçeleri	12
Tablo 2-1 Bütünleştirmede kullanılan girdi katmanları	13
Tablo 2-2 Girdi katmanlarının 1 km ızgarada alan kapsamı	13
Tablo 3-1 Türlere uygulanan sınıflandırma kuralları ve eşikleri	15
Tablo 3-2 Türlerin 1 km ızgaradaki sınıf alanları (km ²)	18
Tablo 4-1 Kapsam rejimleri ve uygulanan işlemler	19
Tablo 4-2 Türlerin kapsam rejimi alanları (km ²)	19
Tablo 5-1 BWM karşılaştırma vektörleri ve elde edilen ağırlıklar	21
Tablo 5-2 Eşit ağırlık ile BWM ağırlıklarının sonuçlara etkisi	21
Tablo 6-1 Bütünleşik tehlike sınıf alanları — üç gösterim (km ²).....	23
Tablo 6-2 İl bazında bütünleşik tehlike sınıf payları ve ortalama indeks	26
Tablo 7-1 Türler arası Spearman sıra korelasyonu	27
Tablo 8-1 Maruziyet kurgusunun risk indeksine etkisi (gece senaryosu).....	29
Tablo 8-2 Bütünleşik risk sınıf alanları (doğal kırılım, km ²)	29
Tablo 8-3 İl bazında bütünleşik risk (gece senaryosu ana gösterim).....	30
Tablo 9-1 Güven indeksi dağılımı ve sınıf kararlılığı	31

Kısaltmalar

Kısaltma	Açıklama
AFAD	Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
AHP	Analitik Hiyerarşi Süreci (Analytic Hierarchy Process)
BEKRA	Büyük Endüstriyel Kazaların Önlenmesi ve Etkilerinin Azaltılması
BWM	En İyi–En Kötü Yöntemi (Best–Worst Method)
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri

CORINE	Coordination of Information on the Environment — arazi örtüsü veri tabanı
CR	Tutarlılık Oranı (Consistency Ratio)
EPSG	European Petroleum Survey Group — koordinat referans sistemi kodu
HAND	En Yakın Drenaja Göre Yükseklik (Height Above Nearest Drainage)
İP	İş Paketi
KAF	Kuzey Anadolu Fay Zonu
MARAP	Marmara Bölgesi Afet Risk Azaltma Planı
PGA	En Büyük Yer İvmesi (Peak Ground Acceleration)
RF	Rastgele Orman (Random Forest) sınıflandırıcısı
SYGM	Su Yönetimi Genel Müdürlüğü
TARH	Teknolojik Afet Risk Haritası
TATH	Teknolojik Afet Tehlike Haritası
TUREF	Türkiye Ulusal Referans Çerçevesi

1 BÜTÜNLEŞİK AFET TEHLİKE VE RİSK HARİTASI ÜRETİMİ

1.1 Bütünleşik Değerlendirmenin Gerekçesi

İP-4 iş paketi kapsamında altı afet türü için ayrı ayrı tehlike ve risk yüzeyleri üretilmiştir. Bu yüzeyler, her türün kendi fiziksel süreci, kendi tekerrür senaryosu ve kendi mekânsal çözünürlüğü içinde geçerlidir ve tür bazlı mühendislik değerlendirmesinin vazgeçilmez altıdır. Bununla birlikte üç sorunun yanıtı, bu yüzeylerin tek tek okunmasıyla verilemez.

- Karşılaştırma sorusu: Sınırlı bir kaynağın hangi ilçede, hangi tür için kullanılacağına karar verebilmek, türlerin ortak bir ölçekte sıralanabilmesini gerektirir. Farklı birimlerde (g, mm, sınıf, olasılık) tanımlı yüzeyler doğrudan karşılaştırılmaz.
- Birikim sorusu: Aynı hücrede birden çok türün yüksek sınıfta olması, tek tür haritalarına ayrı ayrı bakılarak görülemez. Oysa çok sayıda türün üst üste bindiği alanlar, tek bir türün çok yüksek olduğu alanlardan farklı bir müdahale önceliği gerektirir.
- Bütünleşik planlama sorusu: Afet risk azaltma planları tür bazlı değil, mekân bazlı kurgulanır. Bir ilçe için hazırlanacak plan, o ilçeyi tehdit eden türlerin toplamını ve bunların göreceli ağırlığını bilmek durumundadır.

Çalışmanın amacı, bu üç soruya yanıt verebilecek, hücre bazında karşılaştırılabilir, belirsizliği ölçülmüş ve yeniden üretilebilir bir bütünleşik değerlendirme üretmektir. Bütünleşik ürün, tür bazlı ürünlerin yerine değil, onlarla birlikte kullanılmak üzere tasarlanmıştır: farklı yöntem ve çözünürlükteki girdilerin birleştirilmesi belirsizliği artırdığından, bir alanda ayrıntılı karar alınacağı zaman ilgili türün kendi raporuna ve kendi çözünürlüğüne dönülmesi gerekir.

Bütünleşik değerlendirme katma değeri, tür bazlı yüzeylerin basit bir üst üste bindirilmesinden (overlay) ibaret değildir. Alanyazında çok-tehlike çözümlemesi, üç ayrı bilgi katmanının aynı anda üretilmesi olarak tanımlanır: türlerin ortak ölçekte sıralanabilirliği, aynı mekânda birikme (concurrence) örüntüsü ve türler arası etkileşimin yönü (Kappes ve diğerleri, 2012; Tilloy ve diğerleri, 2019). Bu çalışmada üçünün de karşılığı vardır: sıralanabilirlik tür içi normalizasyonla (Bölüm 3), birikme çok-tehlike birikim göstergesiyle (Bölüm 6.3), etkileşim ise mükerrer sayımı önleyen girdi seçimi ve bağımlılık denetimiyle (Bölüm 7) ele alınmıştır. Dolayısıyla üretilen ürün, tür haritalarının aritmetik bir özeti değil, karar birimi olarak hücreyi esas alan ayrı bir bilgi katmanıdır.

Bütünleşik ürünün karar süreçlerindeki işlevi de bu çerçeveden okunmalıdır. Ürün, kaynak tahsisinde ön eleme ve önceliklendirme aracıdır; mühendislik tasarımına esas alınacak bir tasarım parametresi değildir. Bu ayrım, çok-risk çalışmalarında yaygın biçimde vurgulanan ölçek-amaç uyumu ilkesinin gereğidir

(Marzocchi ve diğerleri, 2012): bölgesel ölçekte önceliklendirme için yeterli olan bir bağıl indeks, yerel ölçekte yapısal karar için yeterli değildir. Raporun sonuç ve öneriler bölümü (Bölüm 12) bu sınırı işletsel bir kullanım kuralına dönüştürmektedir.

1.2 Kavramsal Çerçeve ve Yöntem Seçimi

Çok-tehlikeli (multi-hazard) risk çözümlemesi, tek tür çözümlemelerin toplamı değildir. Alanyazın, bütünleştirmenin önündeki üç ayrı sorunu birbirinden ayırmaktadır (Kappes, Keiler, von Elverfeldt ve Glade, 2012; Tilloy, Malamud, Winter ve Joly-Laugel, 2019).

- Ölçek ve ölçüt uyumsuzluğu: Türler farklı çözünürlük, farklı senaryo ve farklı fiziksel birimlerle üretilir; ortak bir ölçeğe taşınmadan toplanamazlar.
- Bağımlılık ve tetiklenme: Türler istatistiksel olarak bağımsız değildir. Deprem heyelanı, deprem ve sel ise teknolojik kazayı tetikleyebilir (Gill ve Malamud, 2014). Bağımsızlık varsayımıyla kurulan toplamalar, tetikleyici katmanları birden çok kez sayabilir.
- Karşılaştırılabilirlik: Farklı türlerin 'yüksek' sınıfları aynı etki büyüklüğüne karşılık gelmez; sınıf sınırları türden türe farklı dağılımlar üzerine kurulmuştur (Marzocchi ve diğerleri, 2012).

Bu üç sorun karşısında iki temel yöntem ailesi bulunmaktadır. Birincisi, tam olasılıksal çok-risk modellemesidir: her tür için olasılık dağılımları kurulur, koşullu olasılıklarla tetiklenme zincirleri modellenir ve beklenen kayıp hesaplanır. Bu yaklaşım kavramsal olarak en tutarlı olanıdır; ancak İP-4 girdilerinin bir bölümü bağıl ölçekte tanımlı olduğundan ve tür bazlı olasılık dağılımları bölge genelinde tekdüze biçimde mevcut olmadığından bu çalışmada uygulanabilir değildir. İkincisi, mekânsal çok ölçütlü karar çözümlemesidir (GIS-MCDA; Malczewski, 1999): türler ortak bir ordinal ölçeğe taşınır, uzman görüşüyle ağırlıklandırılır, ağırlıklı doğrusal birleşimle toplanır ve sonuç duyarlılık çözümlemesiyle sınanır. Bu çalışmada ikinci yaklaşım benimsenmiştir. Seçimin gerekçesi yöntemin üstünlüğü değil, eldeki verinin niteliğidir: bağıl ölçekli girdilerden mutlak olasılık üretmek, veriyi taşımadığı bir kesinliğe zorlamak anlamına gelirdi.

Benimsenen yaklaşım, Sendai Çerçevesi'nin çok-tehlikeli risk değerlendirmesi ve risk bilgisine dayalı karar alma önceliğiyle uyumludur (UNDRR, 2015). Tetiklenme zincirleri, olasılıksal olarak modellenmemekle birlikte, mükerrer sayımı önleyen bir girdi seçimi ve türler arası bağımlılık denetimiyle ele alınmıştır (Bölüm 7).

Ağırlıklı doğrusal birleşimin telafi edici (compensatory) bir birleştirme kuralı olduğu ve bu niteliğin bilinçli bir tercih olarak kabul edildiği belirtilmelidir. Telafi edicilik, bir türdeki düşük değerler başka bir türdeki yüksek değerlerle dengelenebilmesi anlamına gelir; kaynak tahsisi gibi ödünleşmenin doğal olduğu kararlarda istenen bir özelliktir. Buna karşılık, tek bir türün eşik aşımının kendi

başına belirleyici olduğu durumlarda (örneğin yapısal güvenlik kararları) telafi edici olmayan kurallar daha uygundur (Malczewski, 1999). Bu nedenle bütünleşik indeks, tek tür eşik aşımalarını gizlememesi için iki yardımcı gösterge ile birlikte sunulmuştur: baskın tür ve çok-tehlike birikimi (Bölüm 6.3). Üçlü gösterim, telafi ediciliğin yol açabileceği bilgi kaybını karar aşamasında geri kazandırmayı amaçlamaktadır.

Yöntem seçiminin sınırı da açıkça kayda geçirilmelidir. Ağırlıklı doğrusal birleşim, girdilerin en azından aralık ölçeğine yaklaşan bir yorumla toplanabildiğini varsayar; oysa bu çalışmada girdiler ordinal beşli sınıflardır. Bu gerilim, çok ölçütlü karar çözümlemesi alanyazınının bilinen bir tartışma başlığıdır ve tümüyle giderilemez. Çalışmada üç önlemlle sınırlandırılmıştır: (i) tüm türlerde aynı sınıf sayısı ve aynı yön (yüksek değer = yüksek tehlike) kullanılmış, (ii) sonuçlar sabit eşik ve doğal kırılım olmak üzere iki ayrı sınıflandırmayla birlikte raporlanmış, (iii) ağırlıkların sonuç üzerindeki etkisi Monte Carlo tabanlı duyarlılık çözümlemesiyle ölçülmüştür (Bölüm 5.3). Bu üç önlem, indeksin mutlak değerinden çok göreceli sıralamasının yorumlanmasını önermektedir.

1.3 Çalışma Alanı ve Ortak Mekânsal Çerçeve

Çalışma alanı, MARAP projesinin tanımladığı 11 il ve 158 ilçedir. Bütünleşik ürünler 1 km'lik düzenli ızgarada üretilmiştir. Izgara, İP-4'ün 500 m'lik ortak çerçevesine tam yuvalanacak biçimde tanımlanmıştır: her 1 km hücresi, aynı kökenden başlayan dört (2 × 2) adet 500 m hücreye karşılık gelir. Bu tanım, indirgemeyi bir yeniden örnekleme değil tam bir toplulaştırma işlemi hâline getirir ve İP-4 ürünleriyle hücre bazında karşılaştırılabilirliği korur (bkz. Tablo 1-1).

Tablo 1-1 İP-4 çerçevesi ile bütünleşik faz çerçevesinin karşılaştırması

Öge	İP-4 çerçevesi (girdi)	Bütünleşik faz (çıktı)
Koordinat sistemi	EPSG:5637 — TUREF / LKK Europe	Aynı
Hücre boyutu	500 m	1.000 m
Çerçeve	827 × 649 hücre	414 × 325 hücre
Sol üst köşe	X = 5.299.500 · Y = 1.899.000	Aynı köken
Maske	283.842 hücre	72.069 hücre
Alan	70.960,5 km ²	70.960,5 km ² (alan oranı ağırlıklı)
Sınıf ölçeği	1 – 5	1 – 5

1.4 1 km Çözünürlük Seçiminin Gerekçesi

Çözümleme ve raporlama biriminin 1 km olarak belirlenmesinin üç gerekçesi vardır. Birincisi veri gerçekliğidir: en kaba girdiler olan iklim ve sel-taşkın yüzeyleri zaten 1 km çözünürlükte üretilmiştir; bütünleşik ürünü 500 m'de sunmak, veride bulunmayan bir ayrıntıyı ima etmek olurdu. İkincisi kartografik okunabilirliktir: A3 paftalarda kullanılan 1:1.300.000 gösterim ölçeğinde 1 km yaklaşık 0,77 mm'ye,

500 m ise 0,38 mm'ye karşılık gelir; ikinci değer baskı ayrımının altındadır ve haritada ayırt edilemez. Üçüncüsü hesaplama pratikliğidir: hücre sayısının 283.842'den 72.069'a inmesi, 1.000 örneklemeli Monte Carlo duyarlılık çözümlemesini ve hücre bazlı sorgulanabilir veri setini uygulanabilir kılmıştır.

1.5 Alan Oranı Katmanı ve Eşik Kuralının Reddi

MARAP sınırı 1 km'lik hücreleri böldüğünden, sınırdaki hücreler kısmen doludur. Bu durumda iki seçenek vardır. Yaygın uygulama olan eşik kuralında, hücrenin yarısından çoğu çalışma alanı içinde kalıyorsa hücrenin tamamı dâhil edilir. Bu çalışmada eşik kuralı kullanılmamıştır. Gerekçesi ölçülebilir bir sapmadır: eşik kuralı uygulandığında toplam alan 71.425 km²'ye çıkmakta, yani İP-4'ün 70.960,5 km²'lik referans alanına göre %0,65'lik sistematik bir şişme oluşmaktadır. Bu sapma, alan bazlı bütün sonuç tablolarını (sınıf alanları, il payları) aynı yönde bozardı ve tür raporlarıyla karşılaştırmayı imkânsız kılardı.

Bunun yerine maskeye, en az bir dolu 500 m alt hücresi bulunan tüm hücreler alınmış (72.069 hücre) ve her hücreye alan oranı değeri yazılmıştır. Bütün alan istatistikleri hücre sayısı ile değil bu oranla hesaplanır. Yöntemin doğruluğu il düzeyinde sınanmıştır: on bir ilin tamamında 1 km'lik oranlı alan ile 500 m'lik referans alan arasındaki fark 0,0 km²'dir. Böylece çözünürlük değişimi, alan muhasebesinde hiçbir kayma yaratmadan gerçekleştirilmiştir.

1.6 Izgara İndirgeme Kuralları

Girdiler 1 km ızgaraya, değişkenin türüne göre farklı kurallarla taşınmıştır. Kural seçimi yöntemsel bir ayrıntı değildir: yanlış kural hem sınıf dağılımını hem alan istatistiğini bozar. Örneğin nüfus katmanına ortalama uygulanması, bölgedeki toplam nüfusu dörtte birine düşürürdü (bkz. Tablo 1-2).

Tablo 1-2 Girdi türüne göre indirgeme kuralları ve gerekçeleri

Girdi türü	Kural	Gerekçe
Sürekli tehlike yüzeyi	Alt hücrelerin ortalaması	Bağlı yüzeyin genel eğilimini korur
Ordinal sınıf yüzeyi	Çoğunluk; eşitlikte yüksek sınıf	Ara sınıf üretmez; eşitlikte ihtiyatlı yön
Nüfus/sayım katmanları	Toplam	Ortalama alınırsa nüfus dörtte birine düşer
İkili gösterge	VEYA / çoğunluk eşiği	Küçük ama önemli alanların kaybını önler
Alan istatistikleri	Alan oranı ağırlıklı toplam	Sınır hücrelerinde alanı korur

Çözünürlüğü hedefe yakın ancak ızgarası kaymış katmanlarda doğrudan en yakın komşu ataması, hücre boyutunun üçte birine varan sistematik yer değiştirme üretmektedir. Bu nedenle indirgeme, 250 m'lik bir ara ızgara üzerinden alan ağırlıklı olarak yapılmıştır: kaynak önce 250 m'ye taşınmış, ardından 16 alt hücre yukarıdaki kuralla toplulaştırılmıştır.

2 GİRDİ ENVANTERİ VE VERİ UYUMLAŞTIRMA

Bütünleştirmeye girecek katmanlar, üretim öncesinde ortak ızgarada ölçülerek denetlenmiştir. Bu denetim, yöntem kurgusunun varsayımlara değil ölçüme dayanmasını sağlamıştır (bkz. Tablo 2-1).

Tablo 2-1 Bütünleştirmede kullanılan girdi katmanları

Tür	Girdi katmanı	Yerel çözünürlük	Değer yapısı
Deprem	MARAP_PGA475_500m	500 m	Sürekli, 0,072–0,660 g
Heyelan	TATH bileşen heyelan 3g/50 yıl	500 m	Sürekli, 0–0,969
Sel-taşkın	Sel Tehlike Q500 + HAND göstergeleri	1.000 m	Sınıf 1–4
İklim	Dört tema tehlike yüzeyi	1.000 m	Sınıf 1–5
Orman yangını	OrmanYangini Tehlike RF 900m	900,3 m	Sınıf 0–3
Teknolojik afet	TATH sabit bileşen v8_R2	500 m	Sürekli, 0–1

2.1 Bulgu 1 — Izgara Hizası

1.000 m'lik iklim ve sel katmanlarının sol üst köşesi (5.300.319,7; 1.898.850,6), 900,3 m'lik orman yangını katmanının (5.299.355,8; 1.899.673,7) noktasındadır. Hiçbiri ana ızgaranın kökeniyle çakışmaz; yatay kayma sırasıyla 319,7 m ve 144,2 m'dir. Sonuç değerlerine yansımaları şudur: bu katmanlar en yakın komşu yöntemiyle taşınırsaydı, sınıf sınırları bir hücrenin üçte birine varan ölçüde kayacak ve özellikle dar vadi tabanı gibi ince yapıları alanlarda tehlike sınıfları komşu hücreye atlayacaktı. Bölüm 1.6'te tanımlanan ara ızgara yöntemi bu kaymayı ortadan kaldırmaktadır. İP-4 kökenli 500 m katmanlarda böyle bir sorun bulunmamaktadır; onlar ana ızgaraya tam yuvalanırlar.

2.2 Bulgu 2 — Kapsam Oranları

Katmanların maske içindeki geçerli alan oranları %11,0 ile %100 arasında değişmektedir (bkz. Tablo 2-2).

Tablo 2-2 Girdi katmanlarının 1 km ızgarada alan kapsamı

Katman	Kapsam	Alan (km ²)
Deprem (PGA-475)	%100,0	70.960,5
Heyelan (3 gün / 50 yıl)	%100,0	70.960,5
Teknolojik afet (TATH sabit bileşen)	%100,0	70.960,5
Kentsel ısı adası	%100,0	70.948,5
Orman yangını (RF)	%98,7	70.069,2
Aşırı sıcaklıklar	%95,0	67.402,0
Kuraklık ve zirai don	%78,4	55.655,2
Sel-taşkın tehlike (Q500)	%11,0	7.827,2

Bu farklılık, bütünleştirmenin en kritik sorunudur. Kapsam dışı hücrelerde ilgili türün değeri sıfır sayılırsa, o hücrelerde bütünleşik tehlike yapay biçimde düşer; oysa 'veri yok' ile 'tehlike yok' aynı şey değildir. Bu nedenle kapsam boşluklarının niteliği ayrıştırmıştır. Kuraklık ve zirai don yüzeylerinin boşluğu arazi örtüsüyle güçlü biçimde ilişkilidir: yerleşim alanlarının %43,5'i, sanayi ve altyapı alanlarının %49,5'i, su yüzeylerinin %55,6'sı kapsam dışıdır. Ancak boşluk yalnız tarım dışı alanlarla açıklanamaz; tarım alanlarının da %22,1'inde (7.845 km²) değer bulunmamaktadır. Bu ölçüm, katmanın 'tarım alanlarıyla sınırlı' sayılmasını engellemiş ve iki farklı işlem kuralının birlikte uygulanmasını gerektirmiştir (Bölüm 4).

2.3 Bulgu 3 — Sınıf Dağılımlarının Dengesizliği

Girdi katmanlarının sınıf dağılımları birbirinden çok farklıdır. Aşırı sıcaklıklar katmanının %78,9'u tek bir sınıfta (sınıf 4) toplanmakta ve sınıf 2 hiç görülmemektedir; kuraklık katmanında sınıf 4 boştur; kentsel ısı adasında en yüksek sınıf alanın yalnız %0,5'idir; orman yangını modelinin en yüksek sınıfı %0,1'in altında kalmaktadır. Sonuç değerlerine yansımaları doğrudandır: sınıf değerleri ham hâllerleriyle toplansaydı, bütünleşik indeks yaygın biçimde yüksek sınıflı türlerce sürüklenir ve harita fiilen aşırı sıcaklık haritasına benzerdi. Bu nedenle normalizasyon, tür içi dağılımı değil ordinal sıralamayı koruyacak biçimde kurulmuştur.

2.4 Bulgu 4 — Sınıf Tabanlarının Farklılığı

Teknolojik afet ve orman yangını katmanları 0 tabanlı (0–4 ve 0–3), iklim ve sel katmanları 1 tabanlıdır (1–5 ve 1–4). Ortak ölçeğe taşımada tabanların eşitlenmesi zorunludur; aksi hâlde bir sınıflık sistematik kayma oluşur ve bu kayma, beşli ölçekte %25'lik bir değer farkına karşılık gelir.

2.5 Bulgu 5 — Mükerrer Sayım Riski

Bileşik TATH yüzeyi, sabit endüstriyel tehlike bileşeninin yanı sıra deprem, heyelan ve sel-taşkın tetikleyici bileşenlerini de içermektedir. Bu yüzeyin bütünleşik tehlikeye doğrudan girmesi, üç doğal türü ikinci kez saymak anlamına gelirdi. Eşit ağırlıklı bir kurguda bunun etkisi, deprem-heyelan-sel üçlüsünün toplam ağırlığının 1/2'den $1/2 + (1/6 \times \text{tetikleyici payı})$ düzeyine çıkması, yani teknolojik afetin kendi öz katkısının azalması olurdu. Teknolojik afet türü bu nedenle tetikleyici içermeyen sabit bileşenle (TATH sabit bileşen v8_R2) temsil edilmiştir. Bileşik TATH ise türler arası etkileşimin ayrı bir gösterge katmanı olarak ele alındığı çözümlemede kullanılmak üzere saklanmıştır.

3 SEÇİLİ AFET-TÜR İÇİ SINIFLANDIRMA VE NORMALİZASYON

Uyumlaştırma iki aşamalıdır. Birinci aşamada her tür, kendi raporundaki eşiklerle beş sınıflı ordinal ölçeğe taşınır. İkinci aşamada beşli sınıf, doğrusal olarak birim aralığa aktarılır: $h = (s - 1) / 4$. Ordinal ölçeğin korunması, tür içi dağılım çarpıklığının bütünleşik indekse taşınmasını sınırlar (bkz. Tablo 3-1).

Normalizasyon tercihinin kuramsal maliyeti açıkça kaydedilmelidir. Sürekli bir yüzeyin beşli ordinal ölçeğe indirgenmesi, tanımı gereği bilgi kaybı üretir: sınıf içi değişkenlik silinir ve sınıf sınırına çok yakın iki hücre, birbirinden uzak iki hücreden daha farklı görünebilir. Buna karşılık ordinal indirgeme iki üstünlük sağlar. Birincisi, uç değerlerin bütünleşik indeksi tek başına sürüklemesini engeller; sürekli değerlerin doğrudan min–maks normalizasyonu ile toplandığı kurgularda çarpık dağılımlı bir tür (bu çalışmada teknolojik afet ve sel-taşkın) sonucu orantısız biçimde belirlerdi. İkincisi, tür raporlarının kendi sınıf tanımlarıyla birebir bağ kurulmasını mümkün kılar; böylece bütünleşik ürün ile tür bazlı ürünler arasında izlenebilir bir eşleme korunur.

Sınıflandırma kuralının türden türe değişmesi de yöntemsel bir tutarsızlık değil, bilinçli bir ayırımdır. Mühendislik anlamı taşıyan mutlak eşiklerin bulunduğu türlerde (deprem, orman yangını, teknolojik afet) sabit eşik kullanılmış; eşiklerin yalnız bağıl ölçekte tanımlı olduğu türlerde (heyelan, iklim) dağılım temelli doğal kırılım tercih edilmiştir. Bu ayırımın ölçülebilir sonucu, Tablo 1-6'daki sınıf alanı dağılımlarında görülmektedir: sabit eşikli türlerde dağılım kaynak olgunun fiziksel seyrekliğini yansıtırken, doğal kırılımlı türlerde ölçeğin tamamı kullanılmaktadır. Bu asimetri, ağırlıklandırma ve baskın tür yorumunda dikkate alınmış ve Bölüm 6.4'te ayrıca tartışılmıştır.

Tablo 3-1 Türlere uygulanan sınıflandırma kuralları ve eşikleri

Tür	Kural	Eşikler
Deprem	PGA-475 hücre ortalaması, sabit eşik	0,20 / 0,30 / 0,40 / 0,50 g
Heyelan	3 gün-50 yıl yüzeyi, doğal kırılım	0,127 / 0,263 / 0,409 / 0,570
Sel-taşkın	Q500 sınıfı bir kademe yukarı; boşlukta HAND vekili	vekil eşiği: hücrenin $\geq$ %50'si ova
İklim	Dört tema eşit ağırlık → alt indeks → doğal kırılım	1,52 / 1,87 / 2,20 / 2,74
Orman yangını	RF sınıf ortalaması, sabit eşik	0,50 / 1,50 / 2,00 / 2,50
Teknolojik afet	Sabit bileşen, 1F raporunun sabit eşikleri	0,05 / 0,15 / 0,35 / 0,60

3.1 Deprem

Deprem tehlikesi, 475 yıl tekerrür periyodu için tanımlı en büyük yer ivmesi (PGA) yüzeyinden türetilmiştir. Sürekli değerin sabit eşiklerle sınıflandırılması tercih edilmiştir; doğal kırılım kullanılmamıştır. Gerekçe, deprem tehlikesinde eşiklerin mühendislik anlamı taşımasıdır: 0,20 g, 0,30 g, 0,40 g ve 0,50 g değerleri tasarım düzeyleriyle ilişkilendirilebilir ve bölge dışı çalışmalarla karşılaştırılabilir. Doğal kırılım ise eşikleri bölgenin kendi dağılımına bağlar ve bu karşılaştırılabilirliği ortadan kaldırırdı. Sonuç dağılımı, alanın %28,8'inin (20.470 km²) en düşük sınıfta, %7,7'sinin (5.439 km²) yüksek ve çok yüksek sınıflarda olduğunu göstermektedir.

3.2 Heyelan

Heyelan için 3 günlük, 50 yıl tekerrürlü yağmur senaryosu tehlike yüzeyi kullanılmıştır. 1B raporunda sayısal sınıf sınırı verilmediğinden eşikler doğal kırılımla (tek boyutlu k-ortalama) belirlenmiş ve belgeye yazılmıştır. Bu tercih, sınıflandırmayı bölgenin kendi dağılımına bağlar; heyelan yüzeyi bağlı ölçekte tanımlı olduğundan bu kabul edilebilir bir yaklaşımdır. Ortaya çıkan dağılım altı tür içinde en dengeli olanıdır: sınıflar sırasıyla 17.544, 17.406, 15.151, 13.107 ve 7.753 km² alan kaplamaktadır.

3.3 Sel-Taşkın

Sel-taşkın, kapsam sorununun en ağır olduğu türdür. Resmî Q500 verisi alanın yalnız %11,0'ini örtmektedir. İki seçenek değerlendirilmiştir. Birincisi, yalnız resmî veriyle sınırlı üretim yapmak ve geri kalan alanı tanımsız bırakmaktır; bu durumda alanın %89,0'ında sel türü bütünleştirmeye hiç girmeyecek ve o hücrelerde bütünleşik tehlike yalnız beş tür üzerinden hesaplanacaktı. İkincisi, kapsam dışı alanları HAND tabanlı taşkın ovası göstergesiyle tamamlamaktır. İkinci seçenek benimsenmiştir; çünkü taşkın ovası göstergesi, resmî veri bulunmayan alanlarda dahi morfolojik olarak taşkına yatkın kesimleri ayırt edebilmektedir.

Sınıflandırmada resmî Q500 sınıfları bir kademe yukarı kaydırılmıştır (1→2 ... 4→5). Gerekçesi şudur: resmî taşkın haritasında yer alan her hücre, tanımı gereği taşkın yayılım alanı içindedir; bu hücrelerin en düşük sınıfa atanması, hiç taşkın verisi olmayan hücrelerle aynı sınıfa konması anlamına gelirdi. Böylece birinci sınıf, resmî veriyle taşkın alanı olarak işaretlenmemiş hücrelere ayrılmıştır. Kapsam dışı hücrelerde hücrenin yarısından çoğu taşkın ovasıysa sınıf 2, değilse sınıf 1 atanmıştır. Vekille doldurulan 63.133 km²'lik alan, kapsam rejimi katmanında ayrıca işaretlenmiş ve güven indeksinde bir kademe düşürülmüştür.

Bu kurgunun ilk denemesinde HAND taşkın ovası göstergesi ile Trakya taşkın ovası göstergesi 'veya' işlemiyle birleştirilmişti. Sonuç, alanın %76'sının ikinci sınıfa atanması oldu; çünkü Trakya göstergesi tek başına 54.737 km²'yi

işaretlemektedir. Vekil yalnız HAND taşkın ovasına indirilmiş ve çoğunluk eşiğine bağlanmıştır; böylece ikinci sınıfın alanı 53.672 km²'den 7.692 km²'ye inmiştir.

3.4 İklim

İklim kaynaklı tehlikeler dört alt temadan oluşmaktadır: aşırı sıcaklıklar, kentsel ısı adası, kuraklık ve zirai don. Bu dört tema, ana bütünleştirmeye ayrı ayrı girmemiş; kendi içinde eşit ağırlıklı bir alt indeks olarak birleştirilip tek tür gibi ele alınmıştır. Gerekçe, ağırlık dengesidir: dört tema ayrı ayrı girseydi, iklim başlığının toplam ağırlığı öteki türlerin dört katına çıkacak ve bütünleşik harita iklim ağırlıklı hâle gelecekti.

Alt indeksin sınıflandırılmasında iki seçenek denenmiştir. Dört temanın ortalamasının doğrudan yuvarlanması, alanın %78,6'sını tek sınıfta toplamış ve beşinci sınıfı hiç üretmemiştir; bunun nedeni, çoğu hücrede temaların bir bölümünün düşük sınıfta olması ve ortalamanın orta değere sıkışmasıdır. Bu nedenle sürekli alt indeks doğal kırılımla beşe ayrılmıştır. Elde edilen dağılım (8.016 / 13.422 / 16.789 / 21.297 / 11.424 km²) ölçeğin tamamını kullanmaktadır. Bu tercihin bir yan etkisi vardır ve raporun ilerleyen bölümlerinde açıkça ele alınmaktadır: ölçeğin tamamını kullanan tek tür iklim olduğu için, eşit ağırlıklı senaryoda iklim baskın tür olarak öne çıkmaktadır (Bölüm 6.4).

3.5 Orman Yangını

Orman yangını tehlikesi, 900 m çözünürlüklü Rastgele Orman (RF) sınıf yüzeyinden türetilmiştir. Kaynak katman dört sınıflıdır (0–3) ve beşli ölçeğe doğrudan eşlenemez: hangi eşleme seçilirse seçilsin ordinal ölçekte bir sınıf boş kalır. İlk denemede 0→1, 1→2, 2→4, 3→5 eşlemesi kullanılmış, üçüncü sınıf tümüyle boş kalmıştır. Bunun yerine 1 km hücre içindeki sınıf ortalaması alınmış ve sabit eşiklerle beşe ayrılmıştır; böylece geçiş kuşakları üçüncü sınıfta görünür hâle gelmiştir (4.526 km²). Kaynak modelin bilinen sınırlılığı korunmaktadır: en yüksek sınıf yalnız 22 km² kaplamaktadır. Bu bir indirgeme kaybı değildir; kaynak çalışmada bu sınıf eğitim kümesinde %1,4 ile temsil edilmiş ve modelin duyarlılığı düşük kalmıştır. Ayrım gerektiren çözümlemelerde 'sınıf ≥ 3' eşiği önerilir.

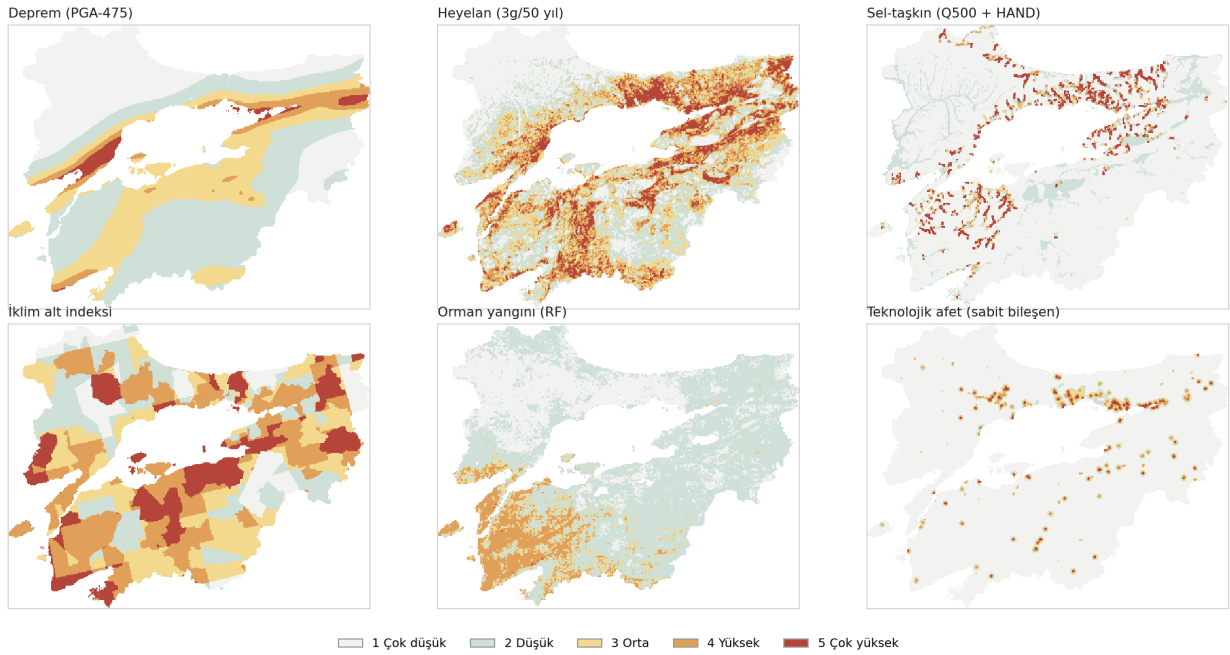
3.6 Teknolojik Afet

Teknolojik afet türü, Bulgu 5'te açıklanan mükerrer sayım nedeniyle tetikleyici içermeyen sabit bileşenle temsil edilmiştir. Sınıflandırmada 1F raporunun sabit eşikleri kullanılmıştır. Bu eşikler rapor metninde sayısal olarak verilmediğinden, bileşik TATH'ın sürekli ve beş sınıflı sürümleri hücre bazında karşılaştırılarak geri kazanılmıştır: sınıf sınırlarının tam olarak 0,05, 0,15, 0,35 ve 0,60 olduğu saptanmıştır. Böylece teknolojik afet türü, bütünleşik üründe İP-4 raporundakiyle birebir aynı eşiklerle sınıflandırılmıştır. Beklendiği gibi dağılım güçlü biçimde çarpıktır: alanın %93,4'ü en düşük sınıftadır, çünkü endüstriyel tehlike kaynakları noktasal ve koridor biçimli dağılmaktadır (bkz. Tablo 3-2 ve Şekil 3-1).

Tablo 3-2 Türlerin 1 km ızgaradaki sınıf alanları (km²)

Tür	1	2	3	4	5
Deprem	20.470	27.705	17.347	3.977	1.462
Heyelan	17.544	17.406	15.151	13.107	7.753
Sel-taşkın	57.400	7.692	1.091	1.217	3.561
İklim	8.016	13.422	16.789	21.297	11.424
Orman yangını	19.448	38.801	4.526	7.273	22
Teknolojik afet	66.274	1.511	1.495	1.113	569

MARAP bütünlük risk — girdi tehlike sınıfları, 1 km ızgara (denetim görüntüsü)



Şekil 3-1 Altı afet türünün 1 km ızgarada uyumlaştırılmış tehlike sınıfları

4 KAPSAM REJİMLERİ VE VERİ BOŞLUĞU

Her hücre, her tür için üç kapsam rejiminden birine atanmıştır. Bu ayırım, bütünlük haritalarda en sık rastlanan yanılgıyı önlemek için kurulmuştur: veri bulunmayan hücrenin düşük tehlikeli görünmesi (bkz. Tablo 4-1). K2 rejiminde ağırlık yeniden dağıtımı, hücre bazında normalize edilmiş ağırlıklı ortalamayla yapılır: bütünlük değer, yalnız o hücrede tanımlı türlerin ağırlıklarına bölünür. Bu düzeltmenin gerekçesi şudur: düzeltme yapılmıyorsa, tanımsız türün payı sıfır sayılacak ve örneğin su yüzeylerinde orman yangını türünün ağırlığı kadar bir eksilme oluşacaktı. Eşit ağırlıklı bir kurguda bu, ilgili hücrelerde bütünlük indeksin sistematik olarak 1/6 oranında düşmesi anlamına gelirdi (bkz. Tablo 4-2).

Tablo 4-1 Kapsam rejimleri ve uygulanan işlemler

Rejim	Tanım	İşlem
K1 — Tam kapsam	Tür o hücrede tanımlı ve veri var	Değer hesaplanır, ağırlık tam uygulanır
K2 — Tanım gereği kapsam dışı	Tür o hücrede fiziksel olarak ilgisiz (tarım dışı alanda kuraklık, su yüzeyinde orman yangını)	Değer tanımsız; ağırlık yerel olarak yeniden dağıtılır
K3 — Veri boşluğu	Tür ilgili ancak veri yok	Vekil göstergeyle tamamlanır; güven indeksinde kapsamdan düşülür

Tablo 4-2 Türlerin kapsam rejimi alanları (km²)

Tür	K1 tam kapsam	K2 tanım dışı	K3 veri boşluğu
Deprem	70.961	0	0
Heyelan	70.961	0	0
Teknolojik afet	70.961	0	0
Orman yangını	70.069	543	349
İklim	53.173	10.172	7.616
Sel-taşkın	7.827	0	63.133

İklim türünde rejim ataması, Bulgu 2'deki ölçüme dayanmaktadır: tarım dışı hücrelerde eksik kuraklık ve zirai don değeri tanım dışılık (K2), tarım hücrelerinde ise gerçek veri boşluğu (K3) sayılmıştır. Orman yangınında kapsam dışı alanların ağırlığı su yüzeylerindedir (o grubun %62'si) ve bunlar K2 sayılmıştır.

K2 ile K3 arasındaki ayrım biçimsel değil, sonucu doğrudan etkileyen bir ayrımdır ve iki farklı belirsizlik durumuna karşılık gelir. K2'de bilgi eksik değildir; türün o hücrede fiziksel bir karşılığı yoktur ve doğru işlem, o türü hesaptan çıkarıp kalan türlerin ağırlıklarını yeniden normalleştirmektir. K3'te ise tür ilgilidir ancak ölçüm yoktur; bu durumda hücre hesabın dışında bırakılamaz, çünkü dışarıda bırakmak tehlikenin yokluğu anlamına gelirdi. Bu nedenle K3 hücreleri vekil göstergeyle tamamlanmış, ancak tamamlanan değerlerin ölçülmüş değerle eşit güvenilirlikte olmadığı güven indeksine yansıtılmıştır. Üç rejimin ayrı bir katman olarak yayımlanmasının nedeni de budur: kullanıcı, bir hücredeki değerlerin hangi bilgi durumundan üretildiğini haritaya bakarak görebilmelidir. Rejimlerin alansal dağılımı, bu ayrımın bölgede hangi türde ne kadar ağırlık taşıdığını göstermektedir. Deprem, heyelan ve teknolojik afet türlerinde alanın tamamı tam kapsamdadır (K1); orman yangınında kapsam dışı ve boşluk alanları toplam 892 km² ile ihmal edilebilir düzeydedir. Buna karşılık iklim türünde alanın 17.788 km²'si (%25,1) K1 dışındadır ve sel-taşkında tablo tersine dönmektedir: yalnız 7.827 km² tam kapsamlı, 63.133 km² veri boşluğudur. Dolayısıyla bütünleşik üründe kapsam kaynaklı belirsizliğin neredeyse tamamı tek bir türden, sel-taşkından gelmektedir. Bu bulgu, Bölüm 9'daki güven indeksinin alanın %94,7'sinde 'orta' düzeyde kalmasının doğrudan açıklamasıdır ve resmî taşkın verisinin tamamlanmasının neden en öncelikli iyileştirme adımı olarak önerildiğini de sayısal olarak gerekçelendirmektedir.

5 TÜRLER ARASI AĞIRLIKLANDIRMA

5.1 Yöntem Seçimi

Türler arası ağırlıklar En İyi–En Kötü Yöntemi (BWM; Rezaei, 2015) ile belirlenmiştir. BWM'nin Analitik Hiyerarşi Süreci'ne (AHP; Saaty, 1980) tercih edilmesinin iki gerekçesi vardır. Birincisi karşılaştırma sayısıdır: altı ölçüt için AHP 15 ikili karşılaştırma gerektirirken, BWM 9 karşılaştırmayla yetinir; bu, uzman panelinde tutarsızlık olasılığını azaltır. İkincisi, BWM'de tutarlılık oranının doğrudan ve tek bir eniyileme probleminin çözümünden elde edilebilmesidir.

Karşılaştırma ölçütü tek ve açık tutulmuştur: 'MARAP alanında bölgesel ölçekte beklenen yıllık etki büyüklüğü ve mekânsal yaygınlık bakımından tür X, tür Y'ye göre ne kadar önemlidir?' Ölçütün tek tutulması, farklı boyutların (can kaybı, ekonomik kayıp, yaygınlık) zihinsel olarak karıştırılmasını önlemek içindir.

Elicitasyon protokolü, sonucun yeniden üretilebilirliğini sağlamak üzere yazıya geçirilmiştir. Panel üyelerine önce altı türün tanımı, kapsam durumu ve sınıflandırma kuralı sunulmuş; ardından en önemli ve en önemsiz tür belirlenmiş, son olarak bu iki referansa göre 1–9 ölçeğinde karşılaştırma vektörleri alınmıştır. BWM'nin yapısal üstünlüğü bu aşamada belirginleşir: karşılaştırmalar yalnız iki referans tür üzerinden yapıldığından, AHP'nin tam ikili karşılaştırma matrisinde sıkça görülen geçişsizlik ($A > B$, $B > C$, $C > A$) sorunu büyük ölçüde ortadan kalkar (Rezaei, 2015).

Ağırlıkların bir uzman değerlendirmesine dayanması, yöntemin en tartışmaya açık bileşenidir ve bu rapor bunu bir zaaf olarak gizlememektedir. Çok ölçütlü karar çözümlemesinde ağırlıklar, veriden türetilen değil karar vericinin değer yargısını temsil eden büyüklüklerdir (Malczewski, 1999); dolayısıyla 'doğru ağırlık' diye nesnel bir referans yoktur. Bu nedenle rapor iki koruyucu önlem içermektedir: ağırlıkların gerekçeleri tür tür yazıya geçirilmiş (Bölüm 5.2) ve sonucun ağırlıklara duyarlılığı hem eşit ağırlık senaryosu hem de Monte Carlo örneklemesiyle nicel olarak ölçülmüştür (Bölüm 5.3). Böylece okuyucu, ağırlık tercihinin kabul etmese dahi bu tercihin sonucu ne ölçüde değiştirdiğini görebilmektedir.

5.2 Ağırlıklar ve Gerekçeleri

En önemli tür deprem, en az önemli tür orman yangını olarak belirlenmiştir. Depremi ilk sırada olmasının gerekçesi, Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun Marmara segmentlerinin bölgeyi boydan boya kesmesi ve beklenen büyük depremin can kaybı ile ekonomik kayıp potansiyelinin öteki türlerin tamamının üzerinde olmasıdır. Sel-taşkınının ikinci sırada olması, yinelenme sıklığının yüksekliği ve yaygın maddi hasar üretmesiyle ilgilidir. İklim ve teknolojik afet eşit alınmıştır: iklim geniş alanlara yayılan ancak şiddeti düşük-orta düzeyde kümülatif etkiler üretirken, teknolojik afet dar alanda ancak yüksek şiddetli etkiler üretmektedir; beklenen yıllık etki büyüklüğü bakımından bu iki tür denk kabul edilmiştir. Heyelan mekânsal

olarak daha sınırlı, orman yangını ise Marmara ölçeğinde beklenen yıllık etki bakımından en düşük sıradadır (bkz. Tablo 5-1).

Tablo 5-1 BWM karşılaştırma vektörleri ve elde edilen ağırlıklar

Tür	En iyiye göre (BO)	En kötüye göre (OW)	Ağırlık	Eşit ağırlığa göre
Deprem	1	6	0,4265	2,56 kat
Sel-taşkın	3	4	0,1659	1,00 kat
İklim	4	3	0,1244	0,75 kat
Teknolojik afet	4	3	0,1244	0,75 kat
Heyelan	5	2	0,0995	0,60 kat
Orman yangını	6	1	0,0592	0,36 kat

Doğrusal min–maks modelin çözümünde $\xi^* = 0,0711$ elde edilmiş, $a_{BW} = 6$ için tutarlılık göstergesi 3,00 olduğundan tutarlılık oranı $CR = 0,024$ bulunmuştur. Bu değer, kabul sınırı olan 0,10'un belirgin biçimde altındadır; karşılaştırmaların kendi içinde tutarlı olduğu anlamına gelir.

5.3 Ağırlık Duyarlılığı ve Eşit Ağırlıkla Karşılaştırma

Ağırlık belirsizliği iki düzeyde sınanmıştır. Birinci düzeyde, tüm türlerin eşit ağırlık aldığı senaryo ayrıca hesaplanmış ve BWM sonucuyla karşılaştırılmıştır. İkinci düzeyde, ağırlık vektörü BWM ağırlıkları çevresinde Dirichlet dağılımından 1.000 kez örneklenmiş ve her hücrede baskın sınıfın görülme oranı hesaplanmıştır (bkz. Tablo 5-2).

Tablo 5-2 Eşit ağırlık ile BWM ağırlıklarının sonuçlara etkisi

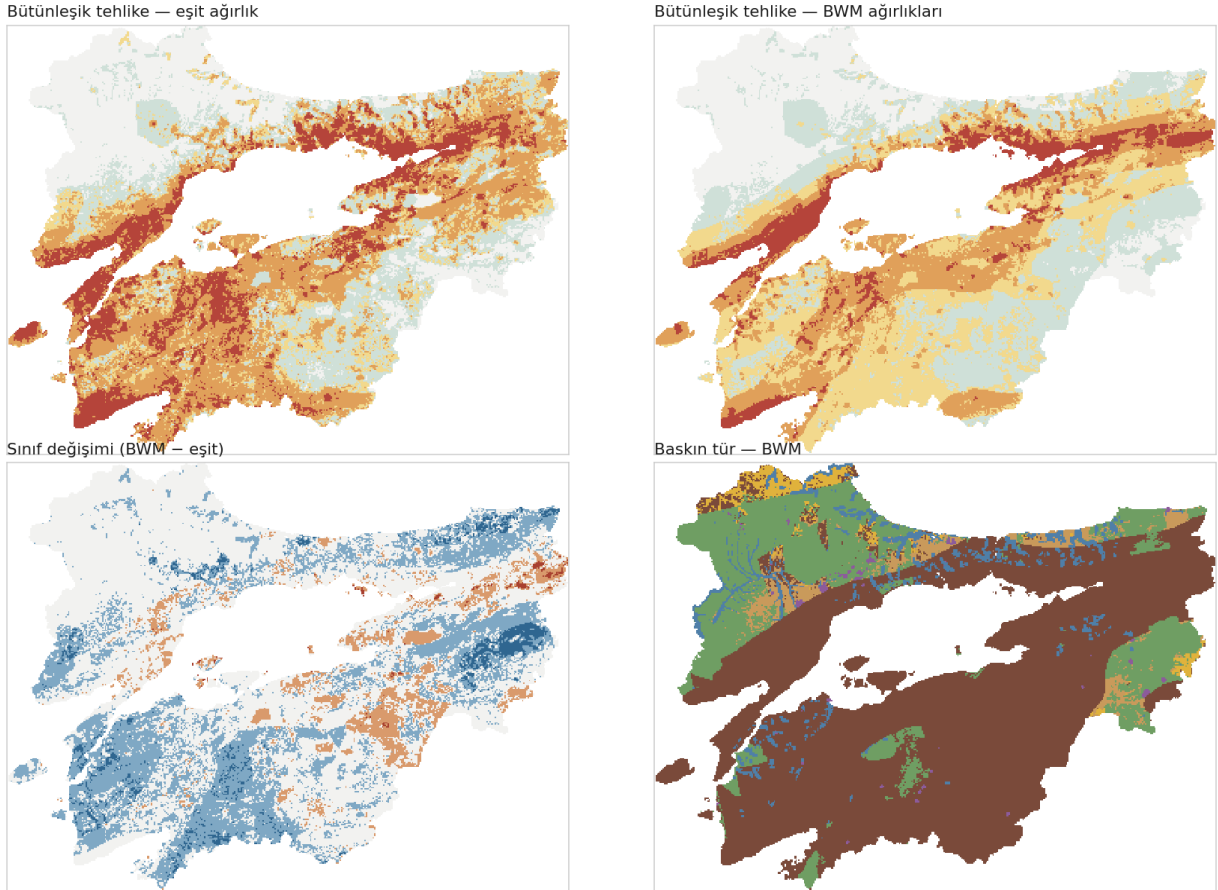
Ölçüt	Eşit ağırlık	BWM
Ortalama bütünleşik indeks	0,263	0,260
Doğal kırılım eşikleri	0,133 / 0,219 / 0,290 / 0,405	0,117 / 0,230 / 0,338 / 0,486
Sınıf 4+5 alanı (doğal kırılım)	33.620 km ²	20.549 km ²
Sınıf kararlılığı $\geq$ %80 olan alan	%73,2	%75,5
Güven indeksi 'düşük' alan	2.104 km ²	10 km ²
En geniş baskın tür	İklim, 26.034 km ²	Deprem, 47.863 km ²

İki senaryo arasındaki Spearman sıra korelasyonu 0,920'dir; yani mekânsal desen büyük ölçüde korunmaktadır. Buna karşılık sınıf düzeyinde önemli bir kayma vardır: alanın %59,1'i aynı sınıfta kalmakta, %29,8'i bir sınıf düşmekte, %7,6'sı bir sınıf yükselmektedir. Düşüşün ağırlıklı olması, BWM'de düşük ağırlık alan iklim ve heyelan türlerinin yaygın orta-yüksek sınıflarının bütünleşik indekse katkısının azalmasından kaynaklanmaktadır.

En çarpıcı fark baskın tür dağılımındadır. Eşit ağırlıkta baskın tür alanın 26.034 km²'sinde iklimdir; BWM'de ise 47.863 km²'sinde depremdir. Bu değişim, ağırlıklandırmanın yalnız bir ayar işlemi olmadığını, haritanın anlatısını doğrudan belirlediğini göstermektedir. Eşit ağırlıklı harita, iklim ve heyelan yüzeylerinin yaygınlığı nedeniyle daha düzgün dağılmış bir görüntü verirken; BWM ağırlıklı harita Kuzey Anadolu Fay Zonu'nu ve İzmit körfezi koridorunu belirgin biçimde öne çıkarmaktadır.

BWM senaryosu ana gösterim olarak benimsenmiştir. Gerekçesi üç ölçüte dayanmaktadır: (i) sınıf kararlılığı daha yüksektir (%75,5 > %73,2); (ii) düşük güvenli alan neredeyse tümüyle ortadan kalkmaktadır (2.104 km² → 10 km²); (iii) sonuç, bölgenin afet gerçekliğiyle — depremin belirleyici olduğu bir tehlike coğrafyasıyla — daha uyumludur. Eşit ağırlık senaryosu duyarlılık senaryosu olarak sette saklanmaktadır (bkz. Şekil 5-1).

MARAP bütünlük tehlike — eşit ağırlık ve BWM karşılaştırması, 1 km ızgara



Şekil 5-1 Eşit ağırlık ve BWM ağırlıklarının bütünlük tehlikeye etkisi

6 BÜTÜNLEŞİK TEHLİKE

6.1 Birleştirme Kuralı

Bütünleşik tehlike indeksi, ağırlıklı doğrusal birleşimle hesaplanmıştır. K2 hücrelerinde ağırlıklar yerel olarak yeniden normalize edilmiştir. Elde edilen indeksin ortalaması 0,260, en yüksek değeri 0,949'dur.

6.2 Sınıflandırma ve Sabit Eşiğin Ayırt Edicilik Sorunu

Sonuç, İP-4 kuralı gereği hem sabit eşikle (0,20 / 0,40 / 0,60 / 0,80) hem doğal kırılımla sınıflandırılmıştır. Sabit eşikli gösterimin bu üründe ayırt edici olmadığı saptanmıştır: yüksek ve çok yüksek sınıflar toplam yalnız 1.645 km² kaplamaktadır. Nedeni yöntemseidir ve önemlidir. Altı türün ağırlıklı ortalaması alındığında, bir hücrenin 0,60 eşiğini aşabilmesi için türlerin neredeyse tamamının yüksek sınıfta olması gerekir; oysa afet türleri doğaları gereği farklı coğrafyalarda yoğunlaşır. Ortalama alma işlemi, bu nedenle yüksek değerleri sistematik olarak bastırmaktadır (bkz. Tablo 6-1).

Tablo 6-1 Bütünleşik tehlike sınıf alanları — üç gösterim (km²)

Sınıf	Sabit eşik	Doğal kırılım	Karma gösterge (sabit eşik)
1 — Çok düşük	25.003	13.842	9.902
2 — Düşük	33.982	17.365	14.707
3 — Orta	10.330	19.205	28.278
4 — Yüksek	1.571	14.858	16.490
5 — Çok yüksek	74	5.691	1.584

Bu nedenle ana gösterim doğal kırılım olarak belirlenmiştir. Ayrıca ortalamanın bastırma etkisini dengelemek üzere karma gösterge üretilmiştir: ağırlıklı ortalama ile zarf göstergesinin ortası. Karma gösterge, birikimli etkiyi bütünüyle yok saymadan tek bir türün belirlediği uç değerleri de görünür bırakır ve üçüncü bir okuma imkânı sunar.

Sınıflandırma kuralının seçimi, kartografik bir ayrıntı değil, doğrudan karar sonucunu belirleyen bir işlemdir. Tablo 1-11'deki üç gösterim aynı sürekli yüzeyden türetilmiştir; buna karşılık 'yüksek ve üzeri' olarak nitelenen alan sabit eşikte 1.645 km², doğal kırılımda 20.549 km², karma göstergede 18.074 km²'dir. Aradaki on iki katı aşan fark, veriden değil sınıflandırma kuralından kaynaklanmaktadır. Bu nedenle raporda tek bir gösterim mutlak doğru olarak sunulmamış, üç gösterim birlikte yayımlanmış ve her birinin hangi soruya yanıt verdiği tanımlanmıştır: sabit eşik bölgeler arası karşılaştırma için, doğal kırılım bölge içi önceliklendirme için, karma gösterge ise tek tür baskınlığının gözden kaçmaması için uygundur.

Doğal kırımın bilinen sınırlılığı da kayda geçirilmelidir. Dağılım temelli sınıflandırma, sınıf sınırlarını veri setinin kendisine bağladığı için mutlak bir eşik anlamı taşımaz ve veri güncellendiğinde sınırlar kayar. Bunun pratik sonucu şudur: doğal kırımla üretilmiş 'çok yüksek' sınıf, bölgedeki göreceli en olumsuz kesimi tanımlar; başka bir bölgenin 'çok yüksek' sınıfıyla doğrudan karşılaştırılmaz. Zaman içinde izleme yapılacaksa, sınıf sınırlarının bu ilk üretimdeki değerlerde sabitlenmesi ve sonraki dönemlerin bu sabit sınırlarla sınıflandırılması önerilir; aksi hâlde sınıf değişimleri gerçek tehlike değişiminden mi yoksa sınır kaymasından mı kaynaklandığı ayırt edilemez.

6.3 Yardımcı Göstergeler

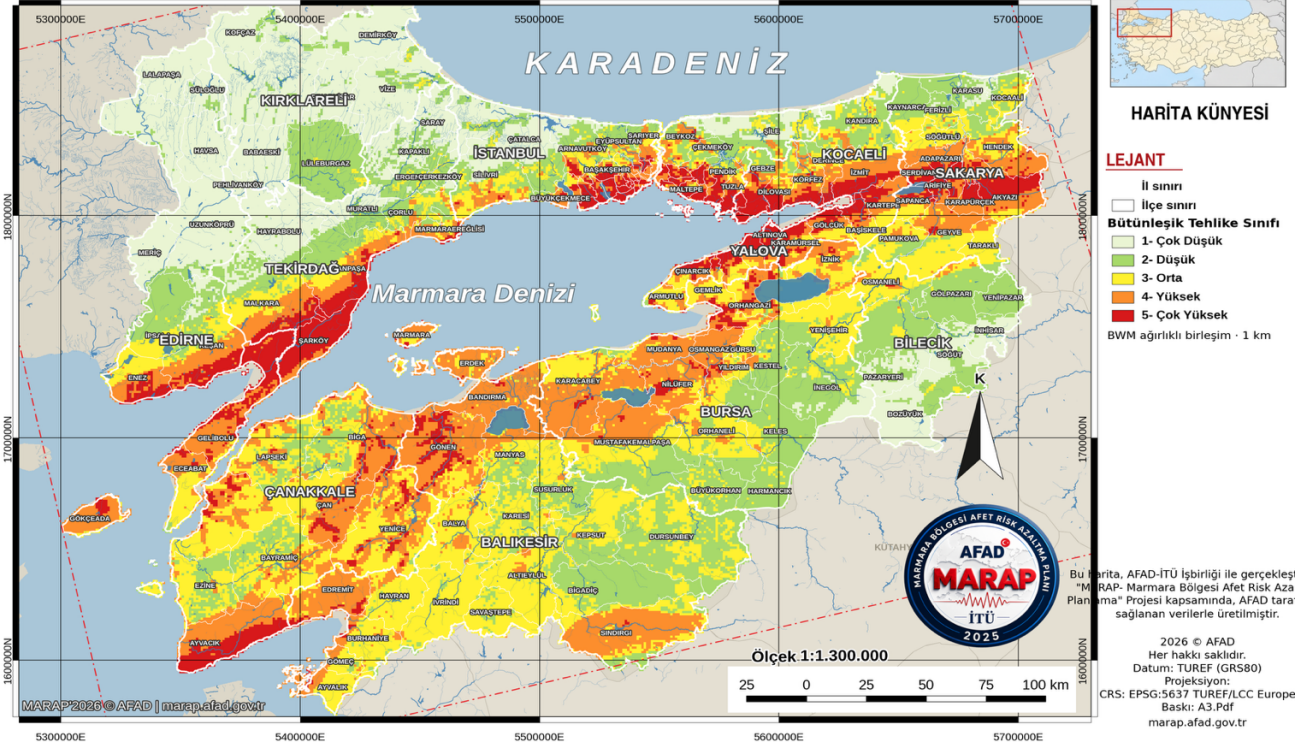
Ana kurala üç tamamlayıcı gösterge eşlik etmektedir. Zarf göstergesi, her hücredeki en yüksek tür değerini verir ve ağırlıktan bağımsız bir 'en kötü tür' okuması sağlar. Çok-tehlike birikim sayacı, hücrede kaç türün 4 ve üzeri sınıfta olduğunu sayar; bütünleşik indeksin ortalama alma eğilimini dengeler. Baskın tür katmanı ise her hücrede bütünleşik değeri en çok belirleyen türü verir ve müdahale önceliklendirmesinde doğrudan kullanılabilir.

Çok-tehlike sayacının dağılımı, birikimin bölgede istisna değil kural olduğunu göstermektedir: alanın %38,3'ünde hiçbir tür yüksek sınıfta değilken, %37,8'inde bir, %17,8'inde iki, %5,2'sinde üç tür yüksek sınıftadır. Dört ve beş türün birlikte yüksek olduğu alanlar 656 km² ile sınırlıdır; bu alanlar, çok-tehlikeli müdahale planlaması için öncelikli çekirdek bölgeler olarak değerlendirilmelidir.

6.4 Baskın Tür Dağılımı ve Yorumu

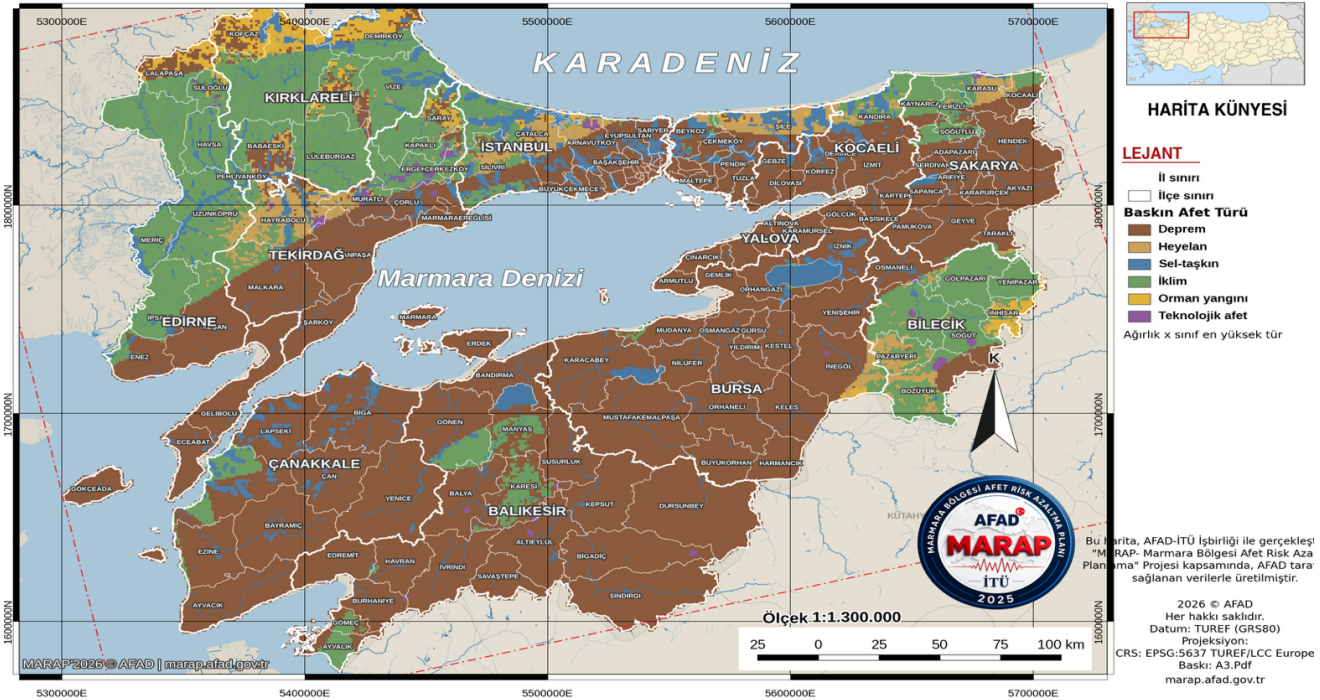
BWM ağırlıklarıyla baskın tür, alanın 47.863 km²'sinde (%67,5) depremdir. Bunu 15.120 km² ile iklim, 3.365 km² ile sel-taşkın, 2.736 km² ile heyelan, 1.526 km² ile orman yangını ve 350 km² ile teknolojik afet izlemektedir. Bu dağılımın yorumlanmasında iki noktanın gözetilmesi gerekir. Birincisi, deprem türünün ağırlığının yüksekliği (0,4265) bu sonucu doğrudan beslemektedir. İkincisi, iklim alt indeksinin doğal kırımla sınıflandırılmış olması nedeniyle 1–5 ölçeğinin tamamını kullanması, iklimi ikinci sıraya taşımaktadır; öteki türler düşük sınıflarda yoğunlaşmaktadır. Teknolojik afetin baskın tür olduğu alanın 350 km² ile sınırlı kalması, türün önemsizliğine değil mekânsal yoğunlaşmasına işaret eder: bu tür, dar koridorlarda çok yüksek değerler üretmektedir (bkz. Şekil 6-1, Şekil 6-2 ve Şekil 6-3).

MARMARA BÖLGESİ AFET RİSK AZALTMA PLANI PROJESİ
BÜTÜNLEŞİK AFET TEHLİKE HARİTASI

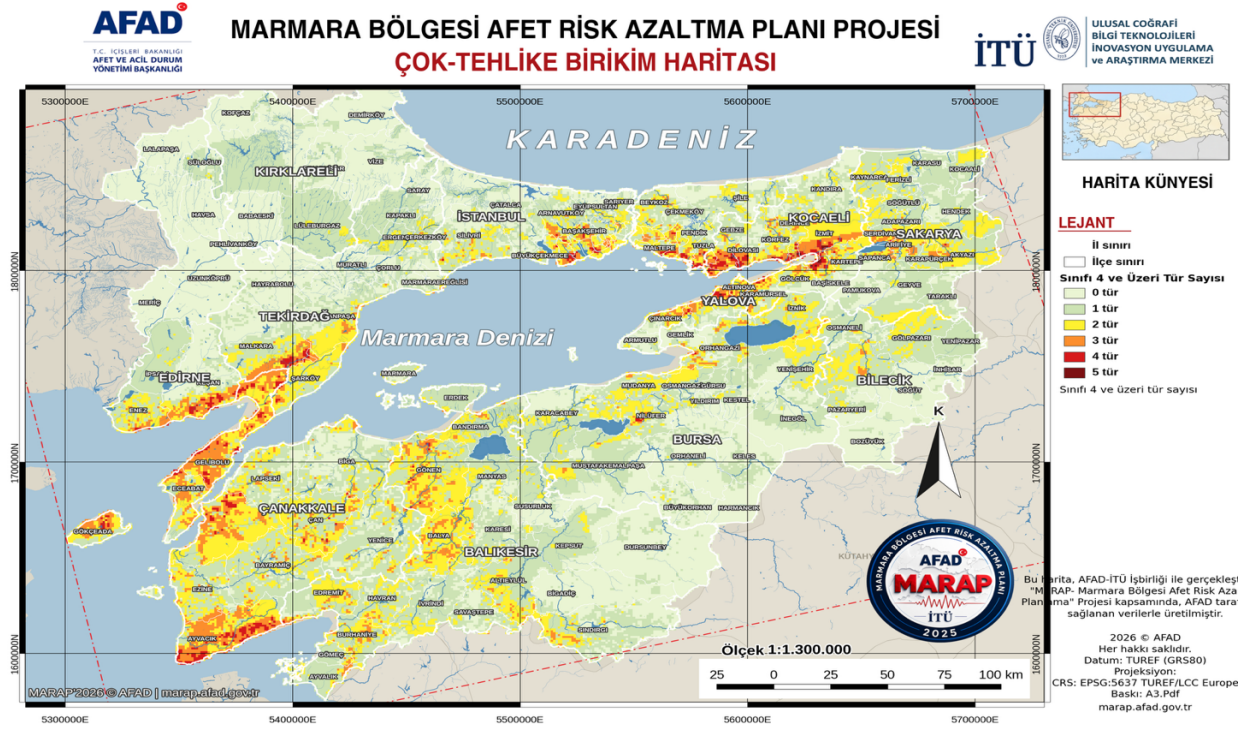


Şekil 6-1 Bütünleşik afet tehlike haritası (BWM ağırlıkları, doğal kırılım)

MARMARA BÖLGESİ AFET RİSK AZALTMA PLANI PROJESİ
BÜTÜNLEŞİK TEHLİKEDE BASKIN AFET TÜRÜ



Şekil 6-2 Bütünleşik tehlikede baskın afet türü



Şekil 6-3 Çok-tehlike birikim haritası (sınıfı 4 ve üzeri olan tür sayısı)

6.5 İl Bazında Bütünleşik Tehlike

İl ortalamalarına göre en yüksek bütünleşik tehlike Yalova, Kocaeli ve Çanakkale'dedir. Yalova'nın ilk sırada olması, ilin küçük yüzölçümünün tamamının fay zonuna ve dik yamaçlı kıyı kuşağına denk gelmesinden kaynaklanmaktadır; ilde en düşük iki sınıfın toplam payı yalnız %0,9'dur. Kırklareli'nin son sırada olması ise ilin fay zonundan uzaklığı ve topografyasının durgunluğuyla açıklanmaktadır; ilde yüksek ve çok yüksek sınıf hiç görülmemektedir (Tablo 6-2).

Tablo 6-2 İl bazında bütünleşik tehlike sınıf payları ve ortalama indeks

İl	Alan (km ²)	S1 %	S2 %	S3 %	S4 %	S5 %	Ortalama
Yalova	811	0,0	0,9	29,8	31,2	38,1	0,446
Kocaeli	3.334	3,5	18,8	22,1	29,7	25,8	0,387
Çanakkale	9.802	0,0	11,7	38,9	36,4	13,0	0,353
Sakarya	4.781	2,7	21,8	33,0	28,9	13,6	0,326
Balıkesir	14.044	0,0	24,1	47,2	26,1	2,6	0,293
Bursa	10.537	2,1	35,3	32,0	27,7	2,9	0,279
İstanbul	5.307	26,5	25,8	17,4	16,3	13,9	0,259
Tekirdağ	6.113	33,9	27,7	12,4	11,8	14,2	0,233
Bilecik	4.099	34,8	51,4	12,3	1,4	0,1	0,148
Edirne	5.945	61,6	15,8	9,8	7,3	5,4	0,147
Kırklareli	6.189	77,6	21,3	1,0	0,0	0,0	0,069

7 TÜRLER ARASI BAĞIMLILIK DENETİMİ

Ağırlıklı doğrusal birleşim, türlerin birbirinden bağımsız olduğunu varsayar. Bu varsayım, tetiklenme ilişkileri nedeniyle kuramsal olarak zayıftır. Varsayımın bu ölçekte ne kadar zedelendiğini ölçmek üzere türler arası Spearman sıra korelasyonları hesaplanmıştır (bkz. Tablo 7-1).

Tablo 7-1 Türler arası Spearman sıra korelasyonu

	Deprem	Heyelan	Sel	İklim	Orman	Teknoloji
Deprem	1,00	0,42	0,13	0,20	0,38	0,08
Heyelan	0,42	1,00	-0,06	0,11	0,25	0,05
Sel-taşkın	0,13	-0,06	1,00	0,07	-0,07	0,14
İklim	0,20	0,11	0,07	1,00	0,19	0,04
Orman yangını	0,38	0,25	-0,07	0,19	1,00	-0,08
Teknolojik afet	0,08	0,05	0,14	0,04	-0,08	1,00

En yüksek korelasyon 0,42 ile deprem–heyelan çiftindedir; bu, jeolojik olarak beklenen bir ilişkidir (fay zonuna yakın kesimlerin aynı zamanda dik yamaçlı olması). İkinci sırada 0,38 ile deprem–orman yangını gelmektedir; bu ilişki nedensel değil, topografik ortaklıktan kaynaklanan görünür bir birliktelik olarak yorumlanmalıdır. Değerlerin tamamı, raporun yöntem bölümünde belirlenen 0,60'lık uyarı sınırının altındadır. Bu sonuç, bağımsızlık varsayımının bölgesel ölçekte ve bu girdi setiyle korunabileceğini göstermektedir. Teknolojik afet türünün öteki türlerle korelasyonunun düşük kalması (en yüksek 0,14), Bulgu 5'te alınan kararın — sabit bileşenin kullanılmasının — mükerrer sayımı fiilen ortadan kaldırdığının sayısal doğrulamasıdır.

Bu denetimin ne ölçtüğü ve neyi ölçemediği açıkça ayrılmalıdır. Spearman sıra korelasyonu, iki türün tehlike sınıflarının mekânda birlikte yüksek ya da birlikte düşük olma eğilimini ölçer; bir türün ötekini tetikleme olasılığını ölçmez. Tetiklenme, koşullu bir olasılık ilişkisidir ve zaman boyutu içerir; eşzamanlı mekânsal örtüşme ise bunun ne gerek ne de yeter koşuludur (Gill ve Malamud, 2014; Tilloy ve diğerleri, 2019). Nitekim deprem–heyelan çiftinde ölçülen 0,42'lik ilişki, deprem kaynaklı heyelan tetiklenmesinin büyüklüğünü değil, iki tehlikenin aynı topografik ve tektonik kuşakta yoğunlaşmasını yansıtmaktadır. Bu ayırım, bütünleşik indeksin bir çok-tehlike örtüşme göstergesi olduğunu, bir zincirleme afet modeli olmadığını bir kez daha ortaya koymaktadır.

Korelasyon denetiminin işlevsel karşılığı, mükerrer sayım riskinin sınırlanmasıdır. Bağımsızlık varsayımı zedelendiğinde ortaya çıkan asıl sorun, ortak bir sürücü katmanın (örneğin aynı sarsıntı yüzeyinin) birden çok tür içinde yeniden kullanılması ve böylece aynı bilginin toplama iki kez girmesidir. Bu

çalışmada söz konusu risk, istatistiksel olarak değil yapısal olarak ele alınmıştır: tetikleyici içeren teknolojik afet bileşeni bütünleştirmeden çıkarılmış, yerine sabit bileşen kullanılmıştır (Bulgu 5). Tablo 1-13'teki düşük korelasyonlar bu yapısal önlemin sonucudur; önlem alınmasaydı teknolojik afet–deprem çiftinde belirgin biçimde yüksek bir ilişki beklenirdi. Bu nedenle korelasyon matrisi burada bir bulgu olmaktan çok, alınan tasarım kararının doğrulama aracı olarak okunmalıdır.

Yöntemin sınırı olarak şu kaydedilmelidir: doğrusal olmayan ya da uç değerlerde yoğunlaşan bağımlılıklar sıra korelasyonu yakalanamaz. İki tür yalnız en yüksek sınıflarında birlikte hareket ediyor, ölçeğin geri kalanında bağımsız davranıyorsa, genel korelasyon düşük çıkabilir. Bu tür kuyruk bağımlılıklarının incelenmesi kopula tabanlı yaklaşımları ve olay temelli veri gerektirir; her ikisi de bu iş paketinin veri kapsamı dışındadır ve Bölüm 10'de gelecek çalışma gündemine yazılmıştır.

8 BÜTÜNLEŞİK RİSK

8.1 Risk Kuralı ve Bileşenler

Bütünleşik risk, İP-4 teknolojik afet çözümlemesinde kullanılan kuralla aynı yapıda hesaplanmıştır: $R = \text{Tehlike} \times \text{Maruziyet} \times \text{Kırılgnalık} / \text{Yönetilebilirlik}$. Kuralın korunmasının gerekçesi, bütünleşik ürünün tür bazlı risk yüzeyleriyle aynı kavramsal dilde okunabilmesidir. Maruziyet bileşeni bu çalışmada yeniden kurulmuştur: nüfus (0,60), kritik tesis sayısı (0,25) ve yapıli alan payı (0,15). Nüfus ve tesis katmanları logaritmik dönüşümle ve %99'luk dilime bölünerek birim aralığa taşınmıştır; logaritmik dönüşümün gerekçesi, nüfus dağılımının uç değerlerinin (İstanbul'da hücre başına 35 bin kişiye varan yoğunluk) doğrusal ölçekte bütün öteki alanları sıfıra yaklaştırmasıdır. Kırılgnalık ve yönetilebilirlik bileşenleri, tutarlılık için İP-4 TARH çözümlemesinden olduğu gibi alınmıştır.

8.2 Maruziyet Baskınlığı Sorunu ve Çözümü

İlk üretimde maruziyet sürekli değer olarak kullanılmıştır. Sonuç incelendiğinde, risk indeksinin fiilen bir nüfus yoğunluğu haritasına dönüştüğü görülmüştür. Nedeni matematikseldir: çarpımsal bir kuralda sonucu belirleyen, mutlak büyüklüğü en yüksek bileşen değil, göreceli yayılımı en geniş olan bileşendir. Maruziyetin varyasyon katsayısı 1,76 iken kırılgnalığı 0,27, tehlikeninki 0,51'dir. Bu farkın sonuç değerlerine yansması ölçülmüştür: risk indeksi ile maruziyet arasındaki Spearman korelasyonu 0,97'ye çıkarken, tehlikeyle korelasyon 0,30'da kalmıştır. Yani bütünleşik tehlike için harcanan bütün çözümleme emeği, risk haritasında görünmez hâle gelmiştir.

Çözüm olarak maruziyet de öteki bileşenler gibi doğal kırılımla beşli sınıfa indirgenmiş ve s/5 biçiminde kullanılmıştır. Bu düzeltme, bileşenleri karşılaştırılabilir bir yayılıma getirmektedir (bkz. Tablo 8-1).

Tablo 8-1 Maruziyet kurgusunun risk indeksine etkisi (gece senaryosu)

Ölçüt	Sürekli maruziyet	Sınıflı maruziyet
Spearman(risk, tehlike)	+0,30	+0,68
Spearman(risk, maruziyet)	+0,97	+0,53
Spearman(risk, kırılabilirlik)	+0,26	+0,35
Sınıf 4+5 alanı	3.841 km ²	5.374 km ²

İki kurgu arasındaki Spearman korelasyonu 0,609; sınıfı değişmeyen alan %67,1'dir. Yani düzeltme, haritanın üçte birinde sınıf değiştirecek ölçüde etkilidir. Sınıflı maruziyetli kurgu ana gösterim olarak benimsenmiştir; sürekli maruziyetli sürüm, betikte tek satırlık bir değişiklik ile yeniden üretilebilir.

8.3 Gündüz ve Gece Senaryoları

Risk, gündüz ve gece olmak üzere iki nüfus senaryosunda hesaplanmıştır. İki senaryo arasında alanın %99,0'ında sınıf farkı bulunmamaktadır. Bunun nedeni, kullanılan gündüz ve gece nüfus katmanlarının toplamının aynı olması (26.440.627 kişi) ve yalnız 1.777.097 kişinin, yani toplamın %6,7'sinin yer değiştirmesidir. Farkın görüldüğü hücreler beklenen coğrafyadadır: gece riski daha yüksek çıkan alanlar konut ağırlıklı çeper yerleşimler, gündüz riski daha yüksek çıkan alanlar ise sanayi ve merkezî iş alanlarıdır. Bu bulgu üzerine, iki senaryoyu iki ayrı ürün olarak sunmak yerine gece senaryosunun ana gösterim (barınma esaslı) olarak alınması ve gündüz–gece farkının ayrı bir gösterge katmanı olarak yayımlanması kararlaştırılmıştır. Böylece pafta ve tablo sayısı ikiye katlanmadan, senaryo farkının anlamlı olduğu sınırlı alan görünür kılınmıştır (bkz. Tablo 8-2).

Tablo 8-2 Bütünleşik risk sınıf alanları (doğal kırılım, km²)

Senaryo	1	2	3	4	5
Gündüz	34.784	21.978	8.928	3.657	1.614
Gece	34.677	21.911	8.998	3.732	1.642

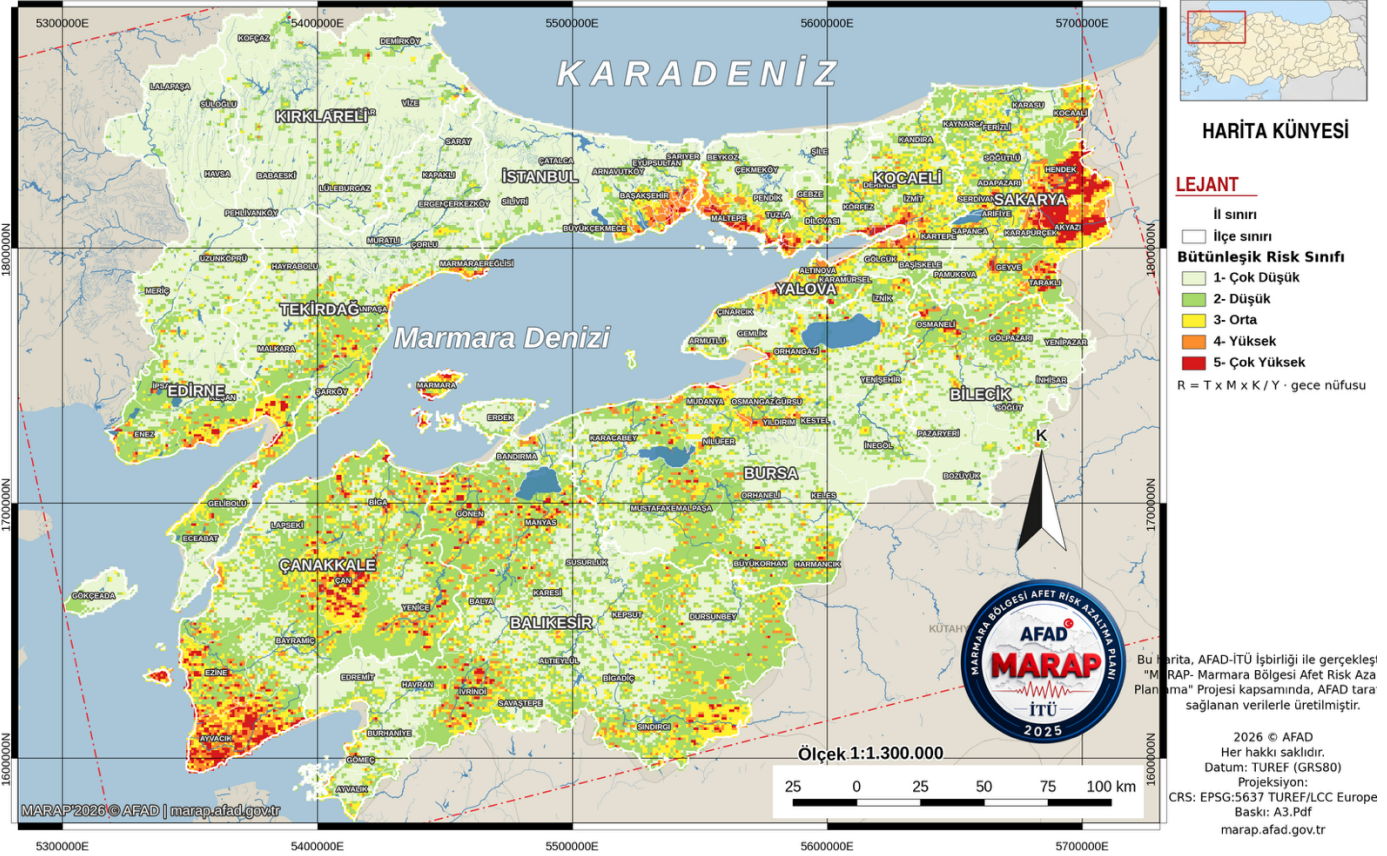
8.4 İl Bazında Bütünleşik Risk

Risk dağılımı, tehlike dağılımından belirgin biçimde ayrılmaktadır. Tehlikede ilk sırada yer alan Yalova, riskte üçüncü sıraya inmekte; tehlikede dördüncü sırada olan Sakarya riskte ilk sıraya çıkmaktadır. Bu ayrışmanın nedeni, riskin tehlikeyi maruziyet ve kırılabilirlikle ağırlıklandırmasıdır: Sakarya'da yüksek tehlike, ova tabanındaki yoğun yerleşim ve tarımsal altyapıyla çakışmaktadır. İstanbul'un ortalama risk değerinin görece düşük kalması (0,113) yanıltıcı okunmamalıdır; il ortalaması, ilin büyük bölümünün orman ve su havzası olmasından etkilenmektedir. İstanbul'da yüksek ve çok yüksek risk sınıflarının kapladığı 451,8 km²'lik alan, mutlak büyüklük olarak Kocaeli'nin (332,2 km²) ve Yalova'nın (106,8 km²) üzerindedir (bkz. Tablo 8-3, Şekil 8-1 ve Şekil 8-2).

Tablo 8-3 İl bazında bütünlük risk (gece senaryosu ana gösterim)

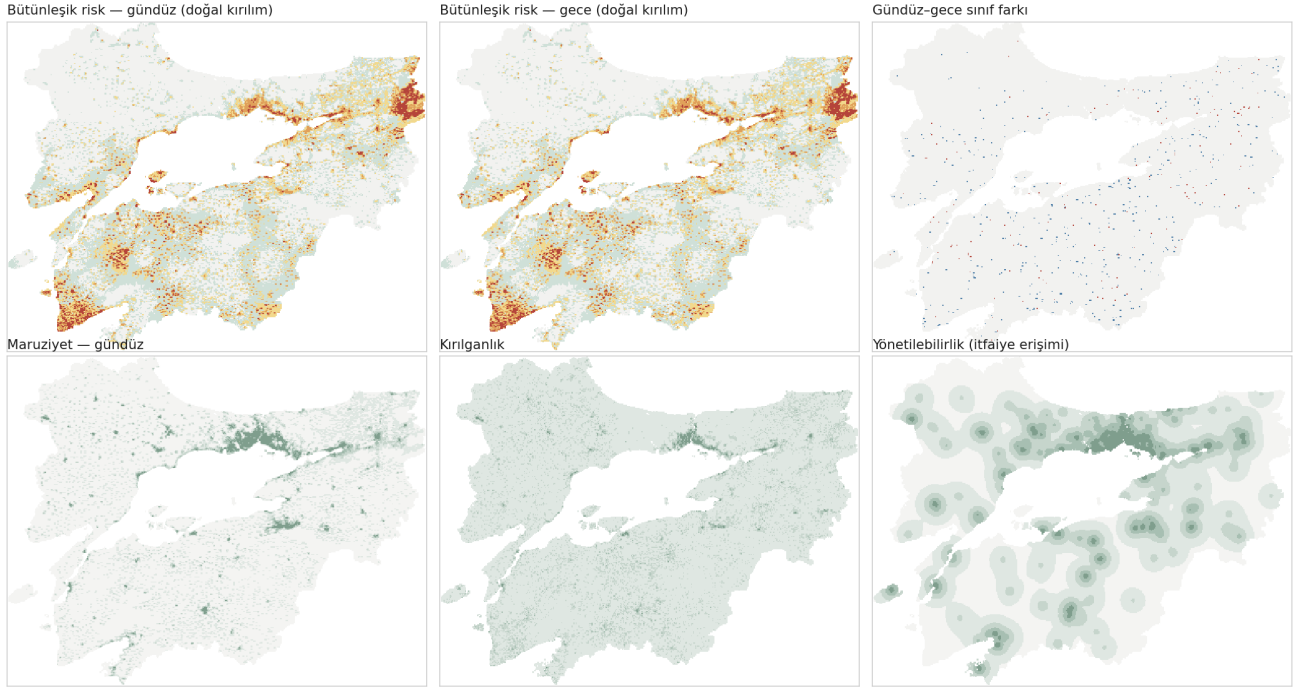
İl	Alan (km ²)	Gündüz ort.	Gece ort.	Gece S4+5 (km ²)	Gece S4+5 %
Sakarya	4.781	0,291	0,290	1.019	21,3
Çanakkale	9.802	0,240	0,241	1.565	16,0
Yalova	811	0,202	0,203	107	13,2
Kocaeli	3.334	0,200	0,201	332	10,0
Balıkesir	14.044	0,166	0,167	956	6,8
Bursa	10.537	0,132	0,133	473	4,5
İstanbul	5.307	0,113	0,113	452	8,5
Tekirdağ	6.113	0,099	0,100	191	3,1
Bilecik	4.099	0,098	0,098	112	2,7
Edirne	5.945	0,081	0,081	149	2,5
Kırklareli	6.189	0,042	0,042	18	0,3

MARMARA BÖLGESİ AFET RİSK AZALTMA PLANI PROJESİ
BÜTÜNLEŞİK AFET RİSK HARİTASI (GECE)



Şekil 8-1 Bütünlük afet risk haritası — gece senaryosu

MARAP bütünlük risk — ön hesap (eşit ağırlıklı tehlike), 1 km ızgara · denetim görüntüsü



Şekil 8-2 Bütünlük risk bileşenleri ve gündüz-gece farkı

9 BELİRSİZLİK VE GÜVEN İNDEKSİ

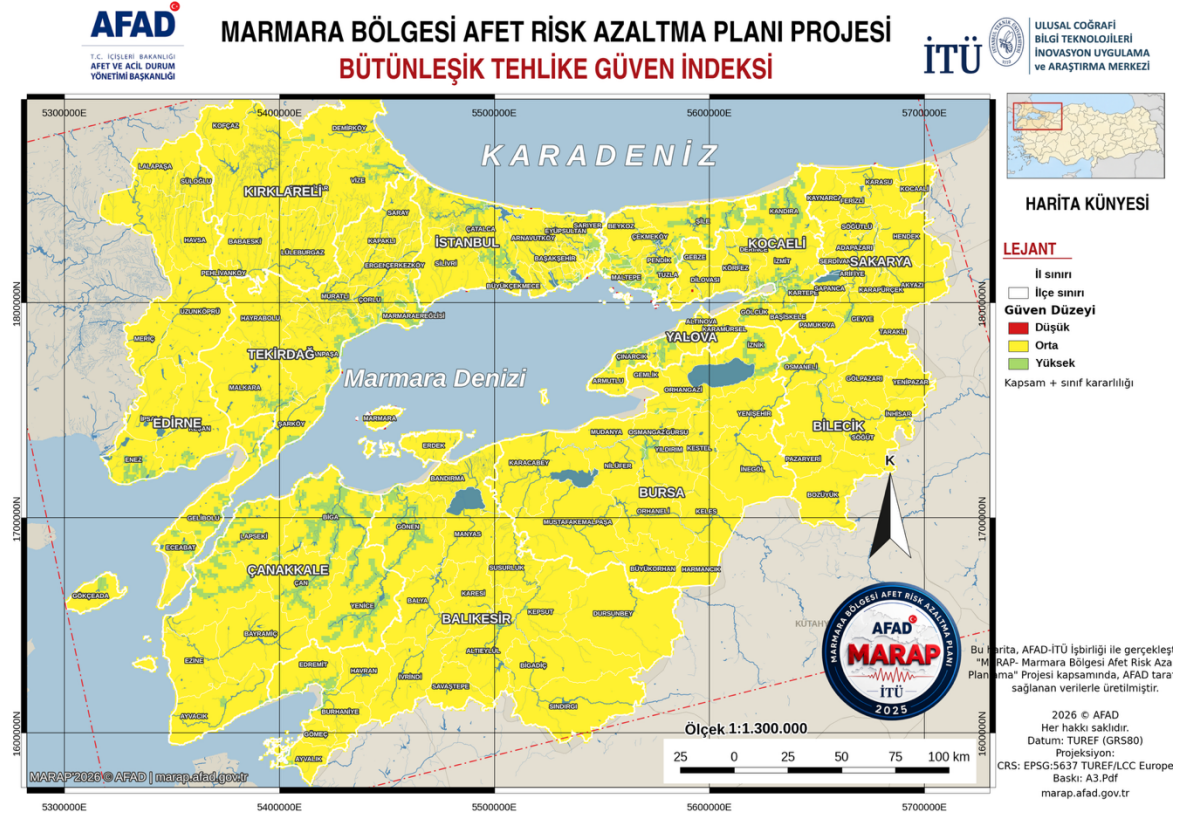
Farklı kapsam ve çözünürlükteki girdilerden üretilen tek bir sayının, hücreden hücreye aynı güvenilirlikte olmadığı açıktır. Bu nedenle bütünlük ürünü birlikte üç bileşenli bir güven indeksi yayımlanmaktadır: kapsam güveni (hücrede tam kapsamlı türlerin toplam ağırlık payı, vekil değerli türler düşülerek), sınıf kararlılığı (1.000 örnekleme Monte Carlo çözümlemesinde baskın sınıfın görülme oranı) ve girdilerin çözünürlük uyumu (bkz. Tablo 9-1).

Tablo 9-1 Güven indeksi dağılımı ve sınıf kararlılığı

Ölçüt	Değer
Güven yüksek	3.737 km ² (%5,3)
Güven orta	67.214 km ² (%94,7)
Güven düşük	10 km ² (%0,0)
Sınıf kararlılığı $\geq$ %80 olan alan	%75,5

Güven düzeyinin alanın neredeyse tamamında 'orta' çıkması, tek bir yapısal nedene dayanmaktadır: sel-taşkın türü alanın %89,0'ında vekil değerle temsil edilmekte ve bu tür kapsam hesabından düşüldüğünde etkin kapsam 0,833 düzeyine inmektedir. Bu, ürünün zayıflığı olarak değil, veri gerçekliğinin dürüst biçimde raporlanması olarak değerlendirilmelidir. Güven düzeyinin yükselmesi, ancak resmî taşkın verisinin bölge genelinde tamamlanmasıyla mümkündür. Sınıf kararlılığının %75,5 düzeyinde kalması ise hedef değer (%80) altındadır; kararlılığın düşük olduğu hücreler ağırlıklı olarak sınıf sınırlarına yakın değerlere sahip geçiş kuşaklarıdır (bkz. Şekil 9-1).

Güven indeksinin kavramsal temeli, belirsizlik türlerinin ayrıştırılmasına dayanmaktadır. Afet risk çözümlemelerinde iki belirsizlik kaynağı ayrılır: olgunun kendi rastlantısallığından doğan ve daha çok veriyle giderilemeyen aleatorik belirsizlik ile bilgi eksikliğinden doğan ve veri iyileştikçe azalan epistemik belirsizlik (Marzocchi ve diğerleri, 2012). Bu çalışmada yayımlanan güven indeksi, esas olarak ikincisini ölçmektedir: kapsam güveni verinin nerede eksik olduğunu, çözünürlük uyumu girdinin hangi ölçekte üretildiğini, sınıf kararlılığı ise ağırlık seçimindeki öznelliğin sonucu ne kadar oynattığını gösterir. Üçü de bilgi durumuna ilişkindir ve veri tabanı geliştikçe iyileşebilir niteliktedir. Buna karşılık türlerin tekerrür senaryolarındaki rastlantısallık indekste temsil edilmemektedir; bu, ürünün bir olasılıksal risk modeli olmadığının doğrudan sonucudur.



Şekil 9-1 Bütünleşik tehlike güven indeksi

Güven indeksinin kullanım kuralı da bu ayırmadan çıkmaktadır. İndeks, bütünleşik tehlike değerini düzeltmek ya da ağırlıklandırmak için değil, o değere ne ölçüde dayanılabileceğini bildirmek için üretilmiştir. Uygulamada bunun karşılığı iki katmanlı bir okumadır: yüksek tehlike–yüksek güven hücrelerinde doğrudan önceliklendirmeye gidilebilir; yüksek tehlike–orta veya düşük güven hücrelerinde ise önceliklendirmeden önce ilgili türün kendi raporuna ve daha ince çözünürlüklü verisine dönülmesi gerekir. Sınıf kararlılığının %75,5'te kalması bu kuralı daha da bağlayıcı kılmaktadır: alanın yaklaşık dörtte birinde sınıf ataması, ağırlık kümesindeki makul değişimlere karşı duyarlıdır ve bu hücrelerde tek bir sınıf etiketi üzerinden kesin karar verilmemelidir.

10 DOĞRULAMA DURUMU VE SINIRLILIKLAR

Doğrulama, beş denetimden oluşan bir plan çerçevesinde tasarlanmıştır: (i) gözlenmiş olay kayıtlarıyla karşılaştırma, (ii) il sıralamalarının tür raporlarıyla tutarlılığı, (iii) sınıf payı dengesi, (iv) normalizasyon duyarlılığı ve (v) mekânsal bütünlük. Bu sürümde (iii) ve (v) denetimleri tamamlanmıştır: hiçbir sınıf alanın %60'ını aşmamakta, alan korunumu il düzeyinde birebir sağlanmaktadır. Gözlem verisine dayalı doğrulama (i), AFAD olay veri tabanı ile orman yangını ve taşkın olay kayıtlarının temini beklendiğinden bu sürümde yapılmamıştır ve açık kalem olarak kaydedilmiştir.

Doğrulamanın kavramsal gücüğü de kaydedilmelidir. Tek tür tehlike modellerinde doğrulama, gözlenmiş olay envanteriyle model çıktısının karşılaştırılması ve ayırt edicilik ölçütleriyle (örneğin ROC eğrisi altındaki alan) nicelenmesi biçiminde yapılır. Bütünleşik indeks için bu doğrudan uygulanabilir değildir; çünkü indeksin karşılık geldiği tek bir gözlenebilir olay türü yoktur. Bu nedenle planlanan gözlem tabanlı doğrulama, indeksin kendisini değil bileşenlerini hedefleyecek biçimde tasarlanmıştır: her tür için olay kayıtlarının ilgili tür sınıflarına düşme oranı ayrı ayrı sınanacak, ardından çok-tehlike birikim göstergesinin yüksek olduğu hücrelerde birden çok türe ait olay kaydının birlikte görülme sıklığı incelenecektir. Bu iki adımlı kurgu, bütünleşik ürünün doğrulanabilir kısmını doğrulanamaz kısmından ayırmayı amaçlamaktadır.

Sonuçların yorumlanmasında gözetilmesi gereken başlıca sınırlılıklar şunlardır:

- Ürünler bölgesel tarama düzeyindedir; bağıl ölçekte tanımlıdır ve mutlak olasılık, tekerrür süresi veya beklenen parasal kayıp ifade etmez. Parsel veya tesis ölçeğinde mühendislik, sigorta ya da imar kararına tek başına dayanak yapılamaz.
- Sel-taşkın türünde alanın %89,0'ı vekil göstergeyle temsil edilmektedir. Vekil, morfolojik yatkınlığı gösterir; taşkın yayılımının hidrodinamik hesabını temsil etmez.

- İklim katmanları kaynağı gereği poligonal yapıdadır; hücre sınırları istasyon ve idari birim sınırlarını taşır ve hücre içi ayrıntı ima etmez.
- Orman yangını modelinin en yüksek sınıfı, kaynak modelin bilinen sınırlılığı nedeniyle 22 km² ile sınırlıdır.
- Tetiklenme zincirleri olasılıksal olarak modellenmemiştir; mükerrer sayım, girdi seçimiyle ve bağımlılık denetimiyle sınırlandırılmıştır.
- Ağırlıklar uzman görüşüne dayanmaktadır. Geniş katılımlı bir uzman paneli toplandığında ağırlıklar yeniden çözülmeli ve katmanlar yenilenmelidir.

Bu sınırlılıklar, ürünün kullanılamaz olduğu anlamına gelmez; kullanım alanının sınırını tanımlar. Bölgesel önceliklendirme, kaynak tahsisi ve ayrıntılı çalışma alanlarının belirlenmesi bakımından ürün amacına uygundur. Buna karşılık yapı ölçeğinde karar, sigorta fiyatlaması ve imar hakkı kısıtı gibi kullanımlar için ne çözünürlük ne de ölçek tipi yeterlidir. Gelecek sürüm için öncelik sırası şu biçimde önerilmektedir: (i) resmî taşkın verisinin bölge genelinde tamamlanması — güven indeksini en çok yükseltecek tek müdahale budur, (ii) gözlem tabanlı doğrulamanın yukarıda tanımlanan iki adımlı kurguyla yürütülmesi, (iii) ağırlıkların geniş katılımlı bir uzman paneliyle yeniden çözülmesi ve panel içi görüş dağılımının da yayımlanması, (iv) kuyruk bağımlılıklarının olay temelli veriyle sınanması. Bu dört adım tamamlandığında ürün, bağıl bir tarama katmanından ölçülmüş belirsizliğe sahip bir karar destek katmanına yaklaşacaktır.

11 TEMEL BULGULAR VE SONUÇLAR

Bu bölüm, önceki alt bölümlerde ayrı ayrı sunulan ölçümleri karar açısından anlamlı bir bütün hâlinde toplamaktadır. Bulgular üç düzeyde okunmalıdır: bölgenin tehlike ve risk deseni (mekânsal bulgular), yöntem tercihlerinin sonuç üzerindeki etkisi (yöntemsel bulgular) ve ürünün hangi kararlarda hangi güvenle kullanılabileceği (işletsel bulgular). Aşağıdaki maddeler bu üç düzeyi sırasıyla kapsamaktadır.

- Bölgenin bütünleşik tehlike deseni, Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun Marmara segmentleri boyunca uzanan kesintisiz bir yüksek tehlike bandı ile tanımlanmaktadır. BWM ağırlıklarıyla yüksek ve çok yüksek tehlike sınıfları 20.549 km² alan kaplamaktadır.
- Bütünleşik tehlikede baskın tür, alanın %67,5'inde depremdir. Bu sonuç ağırlık seçiminin doğrudan bir yansımasıdır; eşit ağırlıklı senaryoda baskın tür alanın büyük bölümünde iklim olmaktadır.
- Alanın %23,9'unda iki ve daha çok tür aynı anda yüksek sınıftadır. Çok-tehlikeli planlamanın gerekliliği, bu oranla sayısal olarak gösterilmiştir.
- Bütünleşik riskte yüksek ve çok yüksek sınıflar 5.374 km² kaplamaktadır. Riskin il içindeki payı Sakarya (%21,3), Çanakkale (%16,0) ve Yalova'da (%13,2) en yüksektir; mutlak alan olarak ise Çanakkale (1.564,8 km²), Sakarya (1.019,2 km²) ve Balıkesir (956,0 km²) öndedir.

- Tehlike sıralaması ile risk sıralaması ayrılmaktadır. Bu ayrışma, risk azaltma yatırımlarının yalnız tehlike haritasına bakılarak önceliklendirilemeyeceğini göstermektedir.
- Ağırlık seçimi tehlike haritasını belirgin biçimde etkilerken (sınıfı değişen alan %40,9), risk haritasını neredeyse hiç etkilememektedir (Spearman 0,998). Risk haritasında belirleyici olan, ağırlıklar değil maruziyetin ölçeklendirme biçimidir.

Yöntemsel düzeyde ulaşılan en genel sonuç şudur: bütünleşik bir tehlike-risk ürününde belirsizliğin baskın kaynağı girdi verisinin niteliği değil, birleştirme ve sınıflandırma tercihleridir. Aynı girdi setinden, sınıflandırma kuralına göre 'yüksek ve üzeri' alanı on iki kat farklılaşan üç geçerli gösterim üretilebilmektedir; buna karşılık ağırlık seçiminin risk haritası üzerindeki etkisi ihmal edilebilir düzeydedir. Bu asimetri, çok ölçütlü karar çözümlemesi alanyazınında vurgulanan bir bulguyla örtüşmektedir: bileşik göstergelerde sonuç, çoğu zaman ağırlıklardan çok normalizasyon ve toplulaştırma kurallarına duyarlıdır (Malczewski, 1999; Marzocchi ve diğerleri, 2012). Uygulama açısından karşılığı açıktır: bileşik göstergeler tek bir haritayla değil, kural setiyle birlikte yayımlanmalıdır.

İşletsel düzeyde ise ürünün karar zincirindeki yeri netleşmiştir. Bütünleşik tehlike ve risk katmanları, hangi ilçe ve hangi kuşakların ayrıntılı çalışmaya alınacağını belirleyen bir ön eleme aracıdır; bu işlevi, güven indeksi ve baskın tür katmanlarıyla birlikte okunduğunda yerine getirmektedir. Alanın %23,9'unda iki ve daha çok türün aynı anda yüksek sınıfta olması, tek tür odaklı planlamanın bu bölgede yapısal olarak yetersiz kaldığını göstermektedir; bu oran, bütünleşik yaklaşımın gerekliliğine ilişkin bu çalışmanın en doğrudan sayısal kanıtıdır.

12 YÖNETSEL ÇIKARIMLAR VE ÖNERİLER

Aşağıdaki öneriler, önceki bölümlerde belgelenen ölçümlerden türetilmiştir ve iki gruba ayrılmaktadır: ürünün mevcut hâliyle nasıl kullanılacağına ilişkin işletsel öneriler ile ürünün bir sonraki sürümde nasıl geliştirileceğine ilişkin kurumsal öneriler. Ayrımın gerekçesi, birinci grubun ek veri gerektirmeden bugün uygulanabilir olması, ikinci grubun ise kurumlar arası veri paylaşımına ve panel çalışmasına bağlı olmasıdır.

- Önceliklendirme ölçütü olarak tek bir harita yerine üçlü okuma önerilir: bütünleşik risk (kaynak dağılımı için), çok-tehlike sayacı (çok yönlü hazırlık gerektiren alanlar için) ve baskın tür (müdahalenin niteliği için).
- Sel-taşkın verisinin bölge genelinde tamamlanması, ürünün güven düzeyini yükseltecek tek en etkili adımdır. Alanın %89,0'ı bu tür için vekil değerle temsil edilmektedir.

- Ağırlıkların kurumsal bir uzman paneliyle yeniden belirlenmesi önerilir. Bu çalışmada kullanılan BWM kurgusu, panel verisi geldiğinde tek komutla yeniden çözülebilecek biçimde betiklendirilmiştir.
- Bütünleşik katmanların kurumsal CBS altyapısına aktarılması ve tür bazlı katmanlarla birlikte tek bir veri kataloğu üzerinden hizmete açılması önerilir.
- Yüksek risk sınıfının yoğunlaştığı ilçelerde büyük ölçekli ayrıntılı çalışmalara geçilmesi; bu çalışmalarda 1 km ızgaranın değil, tür bazlı özgün çözünürlüklerin esas alınması gerekir.

Bu önerilerin ortak dayanağı, bütünleşik ürünün karar zincirinde bir ön eleme katmanı olarak konumlandırılmasıdır. Sendai Çerçevesi'nin risk bilgisine dayalı karar alma önceliği, risk bilgisinin yalnız üretilmesini değil, belirsizliğiyle birlikte iletilmesini de gerektirmektedir (UNDRR, 2015). Bu nedenle katmanların kurumsal kullanıma açılmasında, bütünleşik tehlike ve risk yüzeylerinin güven indeksi ve kapsam rejimi katmanlarından ayrı yayımlanmaması; her paftada ve her veri servisinde bu iki yardımcı katmanın zorunlu eşlik eden bilgi olarak sunulması önerilir. Aksi hâlde, vekil veriyle üretilmiş bir hücre ile tam kapsamlı veriyle üretilmiş bir hücre kullanıcı açısından ayırt edilemez hâle gelir.

Son olarak, ürünün güncellenme rejimi kurumsal bir karara bağlanmalıdır. Girdi katmanlarının farklı kurumlarca ve farklı takvimlerle yenilediği dikkate alındığında, bütünleşik ürünün her girdi değişiminde yeniden üretilmesi yerine tanımlı bir sürüm döngüsüne (örneğin iki yıllık) bağlanması; ara dönemde yalnız girdi değişikliklerinin kayda geçirilmesi önerilir. Sürümler arası karşılaştırılabilirliğin korunması için sınıf sınırlarının ilk sürümdeki değerlerde sabitlenmesi ve her sürümde hem sabit sınırlı hem güncel dağılımlı gösterimin birlikte yayımlanması gerekir. Bu düzenleme, bütünleşik ürünü tek seferlik bir çıktı olmaktan çıkarıp izlenebilir bir gösterge setine dönüştürecektir.

13 SONUÇLAR VE GENEL DEĞERLENDİRME

Bu rapor, MARAP çalışma alanını oluşturan 11 il ve 158 ilçede, İP-4 iş paketi kapsamında ayrı ayrı üretilmiş altı afet türüne ait tehlike ve risk yüzeylerinin tek bir mekânsal çerçevede bütünleştirilmesini konu almaktadır. Çalışmanın çıkış noktası, tür bazlı ürünlerin yetersizliği değil, bu ürünlerin tek tek okunmasıyla yanıtlanamayan üç sorudur: türlerin ortak bir ölçekte karşılaştırılması, aynı hücrede birden çok tehlikenin birikmesi ve mekân esaslı bütünleşik planlama. Bu üç soruya yanıt verebilmek için 1 km çözünürlüklü, 72.069 hücreden oluşan ve 70.960,5 km²'lik alanı temsil eden ortak bir ızgara tanımlanmış; altı tür bu ızgarada uyumlaştırılmış, ağırlıklandırılmış ve birleştirilmiştir.

Yöntem olarak tam olasılıksal çok-risk modellemesi yerine mekânsal çok ölçütlü karar çözümlemesi benimsenmiştir. Bu tercih yöntemin üstünlüğüne değil, eldeki verinin niteliğine dayanmaktadır: girdilerin önemli bir bölümü bağıl ölçekte

tanımlıdır ve bölge genelinde tekdüze olasılık dağılımları mevcut değildir. Bağlı ölçekli girdilerden mutlak olasılık üretmek, veriyi taşımadığı bir kesinliğe zorlamak anlamına gelirdi. Türler arası ağırlıklar En İyi–En Kötü Yöntemi (BWM) ile belirlenmiş, ağırlıkların gerekçeleri tür tür yazıya geçirilmiş ve sonucun bu ağırlıklara duyarlılığı hem eşit ağırlık senaryosuyla hem de 1.000 örneklemeli Monte Carlo çözümlemesiyle nicel olarak ölçülmüştür.

Üretim öncesinde yapılan uyumlaştırma denetimi, raporun yöntem kurgusunu belirleyen beş bulgu üretmiştir: ızgara hizası, kapsam oranlarındaki büyük farklılıklar, sınıf dağılımlarının dengesizliği, sınıf tabanlarının türden türe değişmesi ve teknolojik afet türünde mükerrer sayım riski. Bu bulguların her biri yöntemde somut bir karara dönüşmüştür; özellikle mükerrer sayım riski, teknolojik afet türünün tetikleyici içermeyen sabit bileşenle temsil edilmesiyle giderilmiştir. Denetimin yönetsel önemi şudur: bütünleştirme kararları varsayımlara değil, ortak ızgarada yapılmış ölçümlere dayandırılmıştır.

Mekânsal bulgular üç başlıkta özetlenebilir. Birincisi, bölgenin bütünleşik tehlike deseni Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun Marmara segmentleri boyunca uzanan kesintisiz bir yüksek tehlike bandıyla tanımlanmakta; BWM ağırlıklarıyla yüksek ve çok yüksek tehlike sınıfları 20.549 km² alan kaplamaktadır. Baskın tür, alanın %67,5'inde (47.863 km²) depremdir; bunu 15.120 km² ile iklim ve 3.365 km² ile sel-taşkın izlemektedir. İkincisi, alanın %23,9'unda iki ve daha çok tür aynı anda yüksek sınıftadır; bu oran, tek tür odaklı planlamanın bölgede yapısal olarak yetersiz kaldığının en doğrudan sayısal kanıtıdır. Üçüncüsü, bütünleşik riskte yüksek ve çok yüksek sınıflar 5.374 km² kaplamakta; risk payı Sakarya (%21,3), Çanakkale (%16,0) ve Yalova'da (%13,2) en yüksek, mutlak alan bakımından ise Çanakkale (1.564,8 km²), Sakarya (1.019,2 km²) ve Balıkesir (956,0 km²) öndedir.

Bu bulguların karar açısından en kritik olanı, tehlike sıralaması ile risk sıralamasının belirgin biçimde ayrışmasıdır. Tehlikede ilk sırada yer alan iller riskte aynı sırayı korumamaktadır; çünkü risk, tehlikenin yanı sıra maruziyet ve kırılabilirliğin mekânsal dağılımına bağlıdır. Bunun doğrudan yönetsel sonucu, risk azaltma yatırımlarının yalnız tehlike haritasına bakılarak önceliklendirilemeyeceğidir. Aynı biçimde gündüz ve gece senaryolarının karşılaştırılması, barınma esaslı gece senaryosunun ana gösterim olarak benimsenmesini gerektirmiş; iki senaryo arasındaki fark ayrı ürünler olarak değil, tek bir ana gösterim ve onun duyarlılık okuması olarak sunulmuştur.

Yönetsel düzeyde raporun en genel çıkarımı şudur: bütünleşik bir tehlike-risk ürününde belirsizliğin baskın kaynağı, girdi verisinin niteliğinden çok birleştirme ve sınıflandırma tercihleridir. Aynı sürekli yüzeyden, sınıflandırma kuralına bağlı olarak 'yüksek ve üzeri' alanı 1.645 km² ile 20.549 km² arasında değişen üç geçerli gösterim üretilebilmektedir. Buna karşılık ağırlık seçiminin risk haritası üzerindeki etkisi ihmal edilebilir düzeydedir (Spearman 0,998); tehlike haritasında ise sınıfı değişen alan %40,9'a ulaşmaktadır. Bu asimetri, bileşik

göstergelerin tek bir haritayla değil, üretim kural setiyle birlikte yayımlanması gerektiğini göstermektedir.

Bağımsızlık varsayımının bu ölçekte korunabildiği de ölçülerek gösterilmiştir. Türler arası en yüksek Spearman sıra korelasyonu 0,42 ile deprem–heyelan çiftindedir ve tüm değerler yöntem bölümünde belirlenen 0,60'lık uyarı sınırının altında kalmaktadır. Bu sonuç, tetiklenme ilişkilerinin yok sayıldığı anlamına gelmez; tetiklenme, olasılıksal olarak modellenmek yerine mükerrer sayımı önleyen bir girdi seçimiyle yapısal olarak ele alınmıştır. Korelasyon matrisi bu nedenle bir bulgudan çok, alınan tasarım kararının doğrulama aracı olarak okunmalıdır.

Ürünün belirsizliği gizlenmemiş, ölçülerek yayımlanmıştır. Üç bileşenli güven indeksi, alanın %94,7'sinde 'orta' düzeye işaret etmektedir; bunun tek yapısal nedeni, sel-taşkın türünün alanın %89,0'ında vekil göstergeyle temsil edilmesidir. Sınıf kararlılığının %75,5 düzeyinde kalması, alanın yaklaşık dörtte birinde sınıf atamasının ağırlık kümesindeki makul değişimlere duyarlı olduğunu göstermektedir. Bu iki ölçüm, ürünün zayıflığı değil, veri gerçekliğinin dürüstçe raporlanmasıdır ve kullanım kuralını doğrudan belirler: yüksek tehlike–yüksek güven hücrelerinde doğrudan önceliklendirmeye gidilebilir, yüksek tehlike–orta güven hücrelerinde ise ilgili türün kendi raporuna ve daha ince çözünürlüklü verisine dönülmesi gerekir.

Bu çerçevede ürünün kullanım alanı açıkça sınırlandırılmalıdır. Bütünleşik tehlike ve risk katmanları bölgesel tarama düzeyindedir; bağıl ölçekte tanımlıdır ve mutlak olasılık, tekerrür süresi veya beklenen parasal kayıp ifade etmez. Bölgesel önceliklendirme, kaynak tahsisi ve ayrıntılı çalışma alanlarının belirlenmesi bakımından amacına uygundur; buna karşılık parsel veya tesis ölçeğinde mühendislik kararı, sigorta fiyatlama ve imar hakkı kısıtı gibi kullanımlar için ne çözünürlük ne de ölçek tipi yeterlidir. Ürün, tür bazlı raporların yerine değil, onlarla birlikte kullanılmak üzere tasarlanmıştır.

Yönetmelik düzeyde dört öneri öne çıkmaktadır. Birincisi, önceliklendirmede tek bir harita yerine üçlü okuma benimsenmelidir: bütünleşik risk kaynak dağılımı için, çok-tehlike sayacı çok yönlü hazırlık gerektiren alanlar için, baskın tür ise müdahalenin niteliği için. İkincisi, resmî taşkın verisinin bölge genelinde tamamlanması, ürünün güven düzeyini yükseltecek tek en etkili adımdır. Üçüncüsü, ağırlıklar geniş katılımlı bir kurumsal uzman paneliyle yeniden çözülmeli ve panel içi görüş dağılımı da yayımlanmalıdır. Dördüncüsü, bütünleşik katmanlar güven indeksi ve kapsam rejimi katmanlarından ayrı yayımlanmamalı; kurumsal CBS altyapısında tür bazlı katmanlarla birlikte tek bir veri kataloğu üzerinden hizmete açılmalıdır.

Son olarak, bu çalışma tek seferlik bir çıktı değil, izlenebilir bir gösterge setinin ilk sürümü olarak değerlendirilmelidir. Girdi katmanlarının farklı kurumlarca ve farklı takvimlerle yenilendiği dikkate alındığında, ürünün tanımlı bir sürüm

döngüsüne bağlanması; sürümler arası karşılaştırılabilirliğin korunması için sınıf sınırlarının bu ilk üretimdeki değerlerde sabitlenmesi gerekir. Gözlem tabanlı doğrulamanın tamamlanması, kuyruk bağımlılıklarının olay temelli veriyle sınanması ve taşkın verisindeki boşluğun kapatılmasıyla birlikte ürün, bağıl bir tarama katmanından ölçülmüş belirsizliğe sahip bir karar destek katmanına dönüşecektir. Raporun ortaya koyduğu asıl kazanım, üretilen haritalardan çok, bu dönüşümü mümkün kılan izlenebilir ve yeniden üretilebilir yöntem çerçevesinin kurulmuş olmasıdır.

14 KAYNAKÇA

- Gill, J. C. ve Malamud, B. D. (2014). Reviewing and visualizing the interactions of natural hazards. *Reviews of Geophysics*, 52(4), 680–722. <https://doi.org/10.1002/2013RG000445>
- Kappes, M. S., Keiler, M., von Elverfeldt, K. ve Glade, T. (2012). Challenges of analyzing multi-hazard risk: A review. *Natural Hazards*, 64(2), 1925–1958. <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0294-2>
- Malczewski, J. (1999). GIS and multicriteria decision analysis. John Wiley & Sons. ISBN 978-0-471-32944-2. <https://www.wiley.com/en-us/GIS+and+Multicriteria+Decision+Analysis-p-9780471329442>
- Marzocchi, W., Garcia-Aristizabal, A., Gasparini, P., Mastellone, M. L. ve Di Ruocco, A. (2012). Basic principles of multi-risk assessment: A case study in Italy. *Natural Hazards*, 62(2), 551–573. <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0092-x>
- 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. ISBN 978-0-07-054371-3. https://openlibrary.org/books/OL4425444M/The_analytic_hierarchy_process
- Tilloy, A., Malamud, B. D., Winter, H. ve Joly-Laugel, A. (2019). A review of quantification methodologies for multi-hazard interrelationships. *Earth-Science Reviews*, 196, 102881. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2019.102881>
- UNDRR. (2015). Sendai framework for disaster risk reduction 2015–2030. United Nations Office for Disaster Risk Reduction. <https://www.undrr.org/publication/sendai-framework-disaster-risk-reduction-2015-2030>