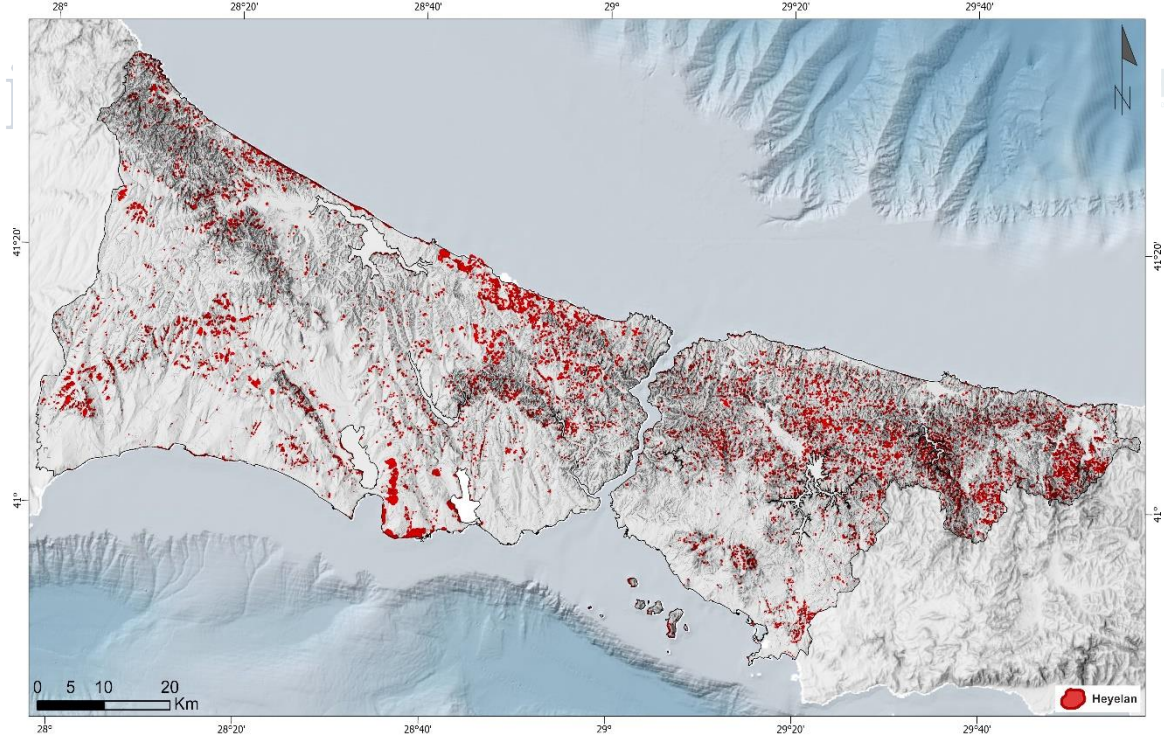


İSTANBUL İLİ GENELİNDE AFET RİSKİ ALTINDAKİ ALANLARIN BELİRLENMESİNE ALTLIK VERİ ÜRETMEK AMACIYLA YER BİLİMSEL ARAŞTIRMALARIN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ İŞİ

HEYELAN ENVANTERİ VE DUYARLILIK HARİTASININ OLUŞTURULMASI İLE TEHLİKE VE RİSK DEĞERLENDİRMESİ İÇİN YOL HARİTASININ BELİRLENMESİ

İSTANBUL İLİ HEYELAN ENVANTERİ SONUÇ RAPORU 2022



PROJE KÜNYESİ

Proje Adı:

İstanbul İli Genelinde Afet Riski Altındaki Alanların Belirlenmesine Altlık Veri Üretmek Amacıyla Yer Bilimsel Araştırmaların Gerçekleştirilmesi İşi

Heyelan Envanteri ve Duyarlılık Haritasının Oluşturulması ile Tehlike ve Risk Değerlendirmesi İçin Yol Haritasının Belirlenmesi

Projenin süresi: 30 Ay

Projeyi Destekleyen Kurum/Kuruluş:

İstanbul Büyükşehir Belediyesi Deprem ve Zemin İnceleme Müdürlüğü

BİMTAŞ Boğaziçi Peyzaj İnşaat Müşavirlik Teknik Hizmetler Sanayi Ticaret Anonim Şirketi

Projeyi Yürüten Kurum/Kuruluş:

İstanbul Teknik Üniversitesi, Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü, Katı Yer Bilimleri Anabilim Dalı

Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü

Globetech Coğrafi Bilgi Teknolojileri Yazılım Planlama Harita Enerji Eğitim Mühendislik Danışmanlık Limited Şirketi

Projenin Yürütülmesinde Sorumlu Kişiler (adı, görevi, tlf, e-posta adresi):

Prof. Dr. Tolga Görüm, Proje Yürütücüsü, 0534 073 51 10, tgorum@itu.edu.tr

Prof. Dr. Mehmet Lütfi Süzen, Proje Yürütücüsü, 0532 583 03 40, suzen@metu.edu.tr

Proje Ekibi:

GLOBETECH Coğrafi Bilgi Teknolojileri

Doç. Dr. Tolga Görüm

Prof. Dr. Mehmet Lütfi Süzen

Abdüssamet Yılmaz

Mehmet Bilgekağan Çintimur

Tolga Kaya

Volkan Çalışkan

Yeşim Kımikoğlu

BİMTAS

İsmail Yusuf DURNA

Banu BAĞDATLI

Emel ÖZTEP (Koordinatör)

İBB

Muhammet ÜNLÜ

Deniz İNAN

Nilüfer YILMAZ

Esra KALKAN ERTAN

Pınar AKSOY

Akif YEŞİLTAŞ

Esra FİTÖZ

Dr. Özlem YÜKSEKOL

Dr. Evrim YAVUZ

Tarık TALAY (Proje Sorumlusu)

İsra BOSTANCIOĞLU (Müdür Yrd.)

Kemal DURAN (Müdür)

Özlem TUT (Daire Başkanı)



İÇİNDEKİLER

Şekil Listesi	7
Tablo Listesi	12
1 KAVRAMLAR ve TANIMLAR	1
2 ÖZET	3
3 GİRİŞ	4
4 VERİ VE YÖNTEM	8
4.1 Mevcut Verilerin Analizi ve Eksiklerin Belirlenmesi	8
4.2 Heyelanların ve Heyelan Envanterlerinin Revizyonu İçin Gereken Öncelikli Verilerin Belirlenmesi	10
4.3 Heyelanlı alanların mekânsal dağılımının tespiti ve öncelikli alanların belirlenmesi	11
4.4 Heyelanların CBS tabanlı sayısal envanterlerinde yer alacak öznitelik bilgilerinin tanımlanması ve standartların belirlenmesi	17
4.5 Kırmızı Rölyef Görüntü Haritası (RRIM) Üretilmesi	18
4.6 Heyelan Envanterinin Hazırlanması	20
4.6.1 Öncelikli alanlarda önceki rapor ve yayınlar incelenmesi	20
4.6.2 Öncelikli alanlarda Uzaktan algılama ve DEM verilerinin incelenmesi.....	25
4.6.3 Heyelanların Haritalanması ve Kontrollerinin Sağlanması	28
4.7 Saha Çalışmaları ile Envanter Kontrolleri ve Doğrulaması.....	38
5 SONUÇLAR	38
5.1 İstanbul Metropolitan Alanı Heyelan Envanteri.....	38
5.2 İlçelere Göre Heyelan Envanterleri	50

5.2.1 Adalar ilçesi Heyelan Envanteri	50
5.2.2 Arnavutköy ilçesi Heyelan Envanteri	52
5.2.3 Avcılar ilçesi Heyelan Envanteri	53
5.2.4 Bağcılar ilçesi Heyelan Envanteri.....	54
5.2.5 Bahçelievler ilçesi Heyelan Envanteri	56
5.2.6 Bakırköy ilçesi Heyelan Envanteri	57
5.2.7 Başakşehir ilçesi Heyelan Envanteri.....	58
5.2.8 Bayrampaşa ilçesi Heyelan Envanteri.....	60
5.2.9 Beşiktaş ilçesi Heyelan Envanteri.....	61
5.2.10 Beykoz ilçesi Heyelan Envanteri	62
5.2.11 Beylikdüzü ilçesi Heyelan Envanteri.....	64
5.2.12 Büyükçekmece ilçesi Heyelan Envanteri.....	65
5.2.13 Çatalca ilçesi Heyelan Envanteri	66
5.2.14 Çekmeköy ilçesi Heyelan Envanteri	68
5.2.15 Esenler ilçesi Heyelan Envanteri	69
5.2.16 Esenyurt ilçesi Heyelan Envanteri	70
5.2.17 Eyüpsultan ilçesi Heyelan Envanteri	72
5.2.18 Gaziosmanpaşa ilçesi Heyelan Envanteri	73
5.2.19 Kağıthane ilçesi Heyelan Envanteri.....	74
5.2.20 Kartal ilçesi Heyelan Envanteri	76
5.2.21 Küçükçekmece ilçesi Heyelan Envanteri.....	77
5.2.22 Maltepe ilçesi Heyelan Envanteri	78

5.2.23 Pendik ilçesi Heyelan Envanteri	80
5.2.24 Sancaktepe ilçesi Heyelan Envanteri	81
5.2.25 Sarıyer ilçesi Heyelan Envanteri.....	82
5.2.26 Silivri ilçesi Heyelan Envanteri	84
5.2.27 Sultanbeyli ilçesi Heyelan Envanteri	85
5.2.28 Sultangazi ilçesi Heyelan Envanteri	86
5.2.29 Şile ilçesi Heyelan Envanteri	88
5.2.30 Tuzla İlçesi Heyelan Envanteri	89
5.2.31 Ümraniye ilçesi Heyelan Envanteri	90
5.2.32 Üsküdar ilçesi Heyelan Envanteri.....	92
5.3 Saha Çalışmaları ile Envanter Kontrolleri.....	93
5.4 İstanbul Heyelan Arşiv Envanteri.....	99
5.5 Birleştirilmiş İstanbul Heyelan Envanteri	100
6 REFERANSLAR	104

Şekil Listesi

Şekil 3.1 Jeomorfolojik ve jeomekanik heyelan kapsam alanları (ing. domains) ile hidro-meteorolojik ve sismik heyelan tetikleyici faktörlerin mekansal (yatay x eksen) zamansal (dikey y eksen) ekseninde ifadesi. Renkli poligonlar, tipik heyelan tehlike ve risk haritalama ve modelleme çalışmaları için alt kapsam alanlarını göstermektedir (Kaynak: Guzzetti 2021'den türkçeleştirilmiştir).....	6
Şekil 4.1 İstanbul ili sınırları için 2013 yılına ait havadan LiDAR verisinin mekansal olarak kapladığı alan. Haritada siyah renkle gösterilen çerçeve Büyükçekmece Mezarlığının kuzeyindeki aktif heyelan alanını gösterir	11
Şekil 4.2 Duman vd. 2006 tarafından haritalanan heyelanların dağılımı, tipleri (A) ve heyelanlara ait yoğunluk haritası (B)	13
Şekil 4.3 İBB DEZİM tarafından oluşturulan envantere haritalanan heyelanların dağılımları, tipleri (A) ve heyelanlara ait yoğunluk haritası (B)	14
Şekil 4.4 İstanbul ili için 2013 yılına ait havadan LiDAR verilerinden üretilen RRIM haritası (A) ve siyah çerçeve ile belirtilen Büyükçekmece kuzeyinde gelişmiş aktif heyelan sahasının yakından görünümü (B)	19
Şekil 4.5 RRIM haritasının üretimine ve heyelanların bu haritadan belirlenmesine ilişkin analiz adımları (Görüm 2019'dan türkçeleştirilerek).....	20
Şekil 4.6 Kırmızı Topoğrafya Görüntüleme Haritalarının (RRIM) üretilmesinde (A), heyelanların tanımlanması ve haritalanmasında takip edilen işlem adımları (Yılmaz, 2021' den yeniden düzenlenmiştir)	29
Şekil 4.7 Heyelanların haritalanmasında kullanılan haritalama altlıkları; ortofoto (A), topoğrafik gölgelendirme (hillshade) (B), Kırmızı Topoğrafya Görüntüleme Haritalarının (RRIM) (C), heyelan envanter katmanı ile Kırmızı Topoğrafya Görüntüleme Haritasının (RRIM) birlikte gösterimi	30

Şekil 4.8 2013 DEM verisi kullanarak oluşturulan heyelan envanteri (Eski) ve güncel uydu görüntüleri kullanılarak yenilenmiş heyelan envanteri (Revize)	31
Şekil 4.9 Varnes (1978) kütle hareketleri tip sınıflaması (Causes 2001’ den türkçeleştirilerek)	32
Şekil 4.10 Heyelan kayma derinliğinin hesaplanması işleminin blok diyagram ve profil gösterimi (Burns ve Madin 2009’dan yeniden düzenlenmiştir)	33
Şekil 4.11 Çekmece gölleri etrafında gelişen heyelanlara ait Topoğrafik Engebililik İndeksi (TRI) haritası	35
Şekil 4.12 Çekmece gölleri etrafında gelişen heyelanlara ait heyelan aynasının havza üst-katkı alanı ortalama eğim haritası	36
Şekil 4.13 Çekmece gölleri etrafında gelişen heyelanlara ait Topoğrafik Nemlilik indeksi haritası	37
Şekil 4.14 Heyelan aktivite durumları ve morfolojik göstergeleri (McCalpin 1984’ den Türkçeleştirilerek)	38
Şekil 5.1 Heyelanların haritalanmasında kullanılan altlıklara göre heyelanların dağılışı. 2013 LiDAR DEM verisinde olmayıp 2021 yılına ait uydu görüntüleri kullanılarak tespit edilen ve haritalanan, Avcıkoru/Şile yakınlarında hafriyat döküm alanında gelişen heyelan	39
Şekil 5.2 İstanbul il sınırları içerisinde haritalanan heyelanların dağılımı.	40
Şekil 5.3 Avrupa yakası sınırları içerisinde haritalanan heyelanların dağılımı	41
Şekil 5.4 Asya yakası ve Adalar sınırları içerisinde haritalanan heyelanların dağılımı	41
Şekil 5.5 İstanbul il genelinde haritalanan heyelanların, heyelan tipine göre dağılımı.	
Şekildeki örneklem penceresi TÜYAP bölgesinde bulunan heyelanlı alana ait akma, kayma ve karmaşık (kayma + akma) tipindeki heyelanları göstermektedir	42
Şekil 5.6 Heyelan malzeme tipi dağılışı haritası. Şekildeki örneklem penceresinde 3 farklı malzeme tipi bir arada gözlemlenmektedir	43

Şekil 5.7 İstanbul heyelanlarının, km ² başına normalize edilmiş yoğunluk dağılımı haritası .	44
Şekil 5.8 Heyelanların alansal büyüklüklerine göre dağılışı. Şekildeki örneklem penceresinde TÜYAP bölgesindeki heyelanlara ait alansal büyüklük dağılımı yer almaktadır.....	45
Şekil 5.9 Heyelanlara ait frekans ve büyüklüklerine ilişkin Power-law üstel ilişkileri	46
Şekil 5.10 Heyelanların derinlik sınıflarına göre dağılışı. Şekildeki örneklem penceresinde TÜYAP bölgesindeki heyelanlara ait heyelan derinlik bilgisi yer almaktadır	47
Şekil 5.11 Heyelanların hacim sınıflarına göre dağılışı. Şekildeki örneklem penceresinde Büyükçekmece bölgesindeki heyelanlara ait heyelan hacim bilgisi yer almaktadır	48
Şekil 5.12 Heyelanların bitki örtüsü yoğunluk sınıflarına göre dağılışı. Şekildeki örneklem penceresi orman örtüsü altındaki heyelanın tanımlama güçlüğüne ifade etmektedir	49
Şekil 5.13 Heyelanların ortalama eğim sınıflarına göre dağılışı. Şekildeki örneklem penceresinde TÜYAP bölgesindeki heyelanlara ait heyelan ortalama eğim bilgisi yer almaktadır.....	50
Şekil 5.14 Adalar ilçesi heyelan envanter haritası	51
Şekil 5.15 Arnavutköy ilçesi heyelan envanter haritası	53
Şekil 5.16 Avcılar ilçesi heyelan envanter haritası	54
Şekil 5.17 Bağcılar ilçesi heyelan envanter haritası	55
Şekil 5.18 Bahçelievler ilçesi heyelan envanter haritası	57
Şekil 5.19 Bakırköy ilçesi heyelan envanter haritası	58
Şekil 5.20 Başakşehir ilçesi heyelan envanter haritası	59
Şekil 5.21 Bayrampaşa ilçesi heyelan envanter haritası	61
Şekil 5.22 Beşiktaş ilçesi heyelan envanter haritası	62
Şekil 5.23 Beykoz ilçesi heyelan envanter haritası	63
Şekil 5.24 Beylikdüzü ilçesi heyelan envanter haritası.....	65
Şekil 5.25 Büyükçekmece ilçesi heyelan envanter haritası	66

Şekil 5.26 Çatalca ilçesi heyelan envanter haritası	67
Şekil 5.27 Çekmeköy ilçesi heyelan envanter haritası.....	69
Şekil 5.28 Esenler ilçesi heyelan envanter haritası	70
Şekil 5.29 Esenyurt ilçesi heyelan envanter haritası.....	71
Şekil 5.30 Eyüpsultan ilçesi heyelan envanter haritası	73
Şekil 5.31 Gaziosmanpaşa ilçesi heyelan envanter haritası	74
Şekil 5.32 Kağıthane ilçesi heyelan envanter haritası.....	75
Şekil 5.33 Kartal ilçesi heyelan envanter haritası	77
Şekil 5.34 Küçükçekmece ilçesi heyelan envanter haritası	78
Şekil 5.35 Maltepe ilçesi heyelan envanter haritası	79
Şekil 5.36 Pendik ilçesi heyelan envanter haritası	81
Şekil 5.37 Sancaktepe ilçesi heyelan envanter haritası.....	82
Şekil 5.38 Sarıyer ilçesi heyelan envanter haritası	83
Şekil 5.39 Silivri ilçesi heyelan envanter haritası	85
Şekil 5.40 Sultanbeyli ilçesi heyelan envanter haritası.....	86
Şekil 5.41 Sultangazi ilçesi heyelan envanter haritası	87
Şekil 5.42 Şile ilçesi heyelan envanter haritası	89
Şekil 5.43 Tuzla ilçesi heyelan envanter haritası	90
Şekil 5.44 Ümraniye ilçesi heyelan envanter haritası	91
Şekil 5.45 Üsküdar ilçesi heyelan envanter haritası	93
Şekil 5.46 Proje ekibi tarafından saha çalışmasında kontrolü sağlanan Avcıkoru / Şile yakınlarında hafriyat döküm alanında gelişen heyelan (A) ve Darılık Barajı / Şile mevkiinde akarsu yan yamaçlarında gelişen heyelanlar (B).....	94
Şekil 5.47 Çiftalan mevkiinde gelişen heyelanlar (A). Kırmızı Topoğrafya Görüntü Haritası (RRIM) ve heyelanlar (B).	95

Şekil 5.48 Ağaçlı mevkiinde gelişen heyelanlar (A). Kırmızı Topoğrafya Görüntü Haritası (RRIM) ve heyelanlar (B)	95
Şekil 5.49 Akpınar mevkiinde gelişen heyelanlar (A). Kırmızı Topoğrafya Görüntü Haritası (RRIM) ve heyelanlar (B)	96
Şekil 5.50 Çatalca mevkiinde gelişen heyelanlar (A). Kırmızı Topoğrafya Görüntü Haritası (RRIM) ve heyelanlar (B)	96
Şekil 5.51 Çatalca mevkiinde gelişen heyelanlar (A). Kırmızı Topoğrafya Görüntü Haritası (RRIM) ve heyelanlar (B)	97
Şekil 5.52 Büyükçekmece mevkiinde gelişen heyelanlar (A). Kırmızı Topoğrafya Görüntü Haritası (RRIM) ve heyelanlar (B).....	97
Şekil 5.53 Büyükçekmece mevkiinde gelişen heyelanlar (A). Kırmızı Topoğrafya Görüntü Haritası (RRIM) ve heyelanlar (B).....	98
Şekil 5.54 Firuzköy mevkiinde gelişen heyelanlar (A). Kırmızı Topoğrafya Görüntü Haritası (RRIM) ve heyelanlar (B)	98
Şekil 5.55 Avcıkoru mevkiinde gelişen heyelanlar (A). Kırmızı Topoğrafya Görüntü Haritası (RRIM) ve heyelanlar (B)	99

Tablo Listesi

Tablo 4.1 Heyelan envanterlerine ilişkin ölçeklere ait standart (Corominas vd., 2014).....	15
Tablo 4.2 CBS tabanlı sayısal heyelan envanterinde yer alacak öz nitelik bilgileri	17
Tablo 4.3 İstanbul ili kapsamında heyelana konusunda yapılan önceki çalışmaları	22
Tablo 4.4 Heyelan envanterlerinin hazırlanmasında haritalama altlığı olarak kullanılan (✓) ve kullanılmayan (-) veri katmanları	26



1 KAVRAMLAR ve TANIMLAR

Çalışma kapsamında heyelanlara ilişkin yapılan çalışımlarda kullanılan kavramlar ve tanımlar aşağıda özetlenmiştir.

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS): Mekansal verilerin toplanması, saklanması ve analiz edilmesine olanak sağlayan bilgi sistemleridir.

Heyelan Aktivite Durumu: Heyelanın zamanı ve oluştuktan sonraki dönemde durağan ve dinamik koşullardaki aktivite düzeyini ifade eder.

Heyelan Envanteri: Heyelanın konumuna, oluşum tarihine, tipine ve aktivitesine ilişkin bilgilerin kaydedildiği kataloglardır.

Heyelan Hacmi: Heyelan alanı ve heyelan derinliği gibi değerlerin kullanılması ile hesaplanan, heyelan kütesinin hacmini ifade eder.

Heyelan Kayma Derinliği: Heyelan aynasının yükseklik değeri ve deforme olmamış yamaçtan alınan ortalama eğim değeri kullanılarak hesaplanan hareket eden kütlemin minimum kayma derinliğini ifade eder.

Heyelan Tipi: Bir yamacı oluşturan malzemenin ve ilişkin yamaçtaki yer değiştirmeye bağlı hareketin tipini ifade eder.

Heyelan: Yamacı oluşturan kaya, toprak (zemin) ve molozun yerçekiminin etkisi ile eğim doğrultusunda hareket etmesidir.

Kanal Yoğunluğu: Heyelan alanı içerisinde gelişen kanalların uzunluğunun heyelan alanına bölünmesi sonucu elde edilen yoğunluk değeridir.

Kırmızı Rölyef Görüntü Haritası (RRIM): Topoğrafik açıklık değerleri kullanılarak oluşturulan gölgelendirmeden bağımsız haritalama yöntemidir.

Light Detection and Ranging (LiDAR): Kaynaktan çıkan ışınların objelere çarpıp kaynağa geri dönmesi arasında geçen süreden faydalanılarak mesafe hesaplaması yapılmasına olanak sağlayan bir uzaktan algılama teknolojisidir.

Ortofoto: Yeryüzünü temsil eden hava fotoğraflarının üretilmesinde oluşan yamukluk ve yükseklik gibi hataların giderilmesi sonucu elde edilen ölçekli ve 3 boyutlu koordinat (x, y, z) bilgisini içeren katmanlardır.

Sayısal Yükselti Modeli (DEM): Yeryüzü ve üzerindeki yapıların konum ve yükseklik bilgileri kullanılarak oluşturulan sayısal modeldir.

Topografik Nemlilik Endeksi (TWI): Homojen izotrop bir ortam ve tek tip zemin koşulu varsayımlarını dikkate alarak özgül havza alanının yamaç eğimine oranını temsil eder.

Topoğrafik Açıklık: Belirli bir noktadan topoğrafyaya bakıldığında gözlemlenebilen ve gözlemlenemeyen alanları temsil eden değerlerdir.

Topoğrafik Engebelilik İndeksi (TRI): Deformasyona bağlı olarak gelişen pürüzlülüğü temsil eder.

Uydu görüntüsü: Uydular tarafından çekilen yeryüzüne ait görüntülerdir.

Uzaktan Algılama: Uydular ve diğer hava araçları gibi platformlar kullanılarak, yeryüzü ile fiziksel temas kurmadan görüntü veya fotoğraf çekme, kaydetme ve inceleme tekniklerini ifade eder.

Yüzey Erozyonu: Topoğrafyanın üst kesimi olarak nitelendirilen alanlar; kaya, toprak, su, hava ve canlı organizmaları içeren karmaşık etkileşimlerin, doğal yaşam alanını düzenlediği ve yaşamı sürdüren kaynakların kullanılabilirliğini belirleyen heterojen, yüzeye yakın ortamları temsil eden kesimde su, buz ve rüzgar gibi faktörlerin zamana bağlı olarak yaptığı aşınımı ifade eder.

2 ÖZET

Yamacı oluşturan kaya, toprak (zemin) ve molozun yerçekiminin etkisi ile çoğunlukla deprem, ani kar erimesi ve aşırı yağış gibi tetikleyici faktörlere bağlı olarak eğim doğrultusunda hareket etmesidir. Farklı amaç, yöntem ve ölçeklerde haritalanan heyelanlar insan ve insana ait yapılar için kaçınma alanları olarak tanımlanmaktadırlar. Bu bakımdan herhangi bir heyelanın antropojenik açıdan tehlike ve risk değerlendirmesi heyelanların mekansal bakımdan nerede geliştiği bilgisinin toplanmasıyla başlar (Guzzetti vd., 2012). Bu kapsamda heyelanlara ait envanterlerin hazırlanması ve bu envanterler yardımı ile tehlike ve risk değerlendirmelerinin yapılması gerekmektedir. Heyelan envanterlerinin hazırlanması kapsamında haritalama ve analizlerin doğruluğu ve hassasiyeti açısından karşılaşılan en önemli sorunlardan biri haritalama altlıklarının topoğrafyayı temsil kabiliyetleri ve çözünürlükleridir. Yüksek mekansal çözünürlük sağlaması ve bitki örtünse bağlı sınırlamaları ortadan kaldırması nedeniyle çalışma kapsamında haritalama altlıklarının üretilmesinde, LiDAR verilerinden üretilen Sayısal Yükseklik Modelleri (DEM) kullanılmıştır. Haritalama ve heyelan bilgisinin hassasiyetinin artırılması açısından LiDAR DEM'e ek olarak çalışma kapsamında ortofotolar ve uydu görüntüleri kullanılmıştır. Bu kapsamda 2013 LiDAR DEM katmanı kullanılarak haritalanan heyelanlar 2022 yılına kadar ki ortofotolar ve uydu görüntüleri kullanılarak revize edilmiştir. Çalışma sonucunda İstanbul ili sınırları içerisinde 17764 adet heyelan haritalanmıştır. Heyelanların yapısal özelliklerinin anlaşılması açısından, haritalanan her bir heyelana ait öznitelik bilgileri hesaplanarak envantere kaydedilmiştir. Bu çalışma ile İstanbul il sınırları içerisinde gelişen heyelanların mekansal olarak nerede geliştiği ve yapısal olarak hangi özellikleri taşıdığına anlaşılması, kentsel dirençliliğin artırılması, tehlike ve risk değerlendirmelerinin doğru ve hassas bir şekilde yapılabilmesi açısından yetkili ve planlayıcıya karar desteği sağlanması amaçlanmıştır.

3 GİRİŞ

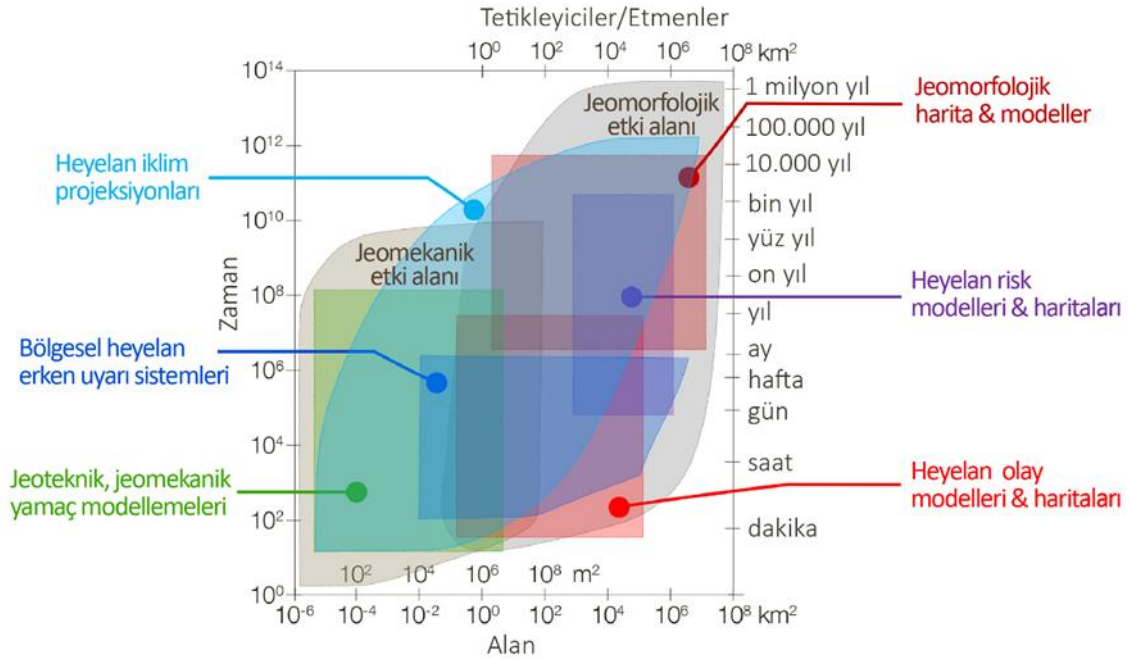
Heyelanlar, dünyanın birçok yerinde oluşturduğu büyük yıkımlar ve yarattığı ciddi tehlikeler nedeniyle, meydana geldiği bölgelerde nüfusu tehdit etmekte, can ve mal kayıplarına neden olmaktadır. Türkiye'de doğal afetlerin verdiği zararlar göz önüne alındığında, depremlerden sonra en önemli ikinci afet olan heyelanlar (Görüm ve Fidan, 2021), özellikle kentleşmenin hız kazandığı bölgelerde insanlar üzerinde doğrudan bir etkiye sahiptir. Kentsel alanlarda bulunan yapılar, şehir içi ve şehirlerarası yollar, şehrsel altyapı, fazla nüfuslanmış yerleşim yerleri heyelanların tehdidi altındadır. Bu nedenle heyelanlar özellikle yoğun kentleşmenin bulunduğu bölgelerde arazi planlanmasında dikkate alınması gereken bir doğal afet olarak karşımıza çıkmaktadır.

Heyelanlara yönelik koruyucu ve azaltıcı önlemlerin planlanması konularında öncelikle mevcut ve potansiyel kütle hareketlerinin mekansal dağılımı hakkında bilgi sahibi olunmalı ve ardından heyelanları önceden tahmin etme yeteneği geliştirilmelidir. Guzzetti, (2021) “Heyelanları ve bunların sonuçlarını tahmin etme yeteneğimizin, heyelanları kontrol eden veya koşullandıran temel süreçleri ve bu heyelanların mekansal ve zamansal oluşumlarını anlama yeteneğimizi ölçtüğüne” değinmiştir. Heyelan tehlikesini tahmin etmek, nerede, ne zaman, ne sıklıkta, kaç tane ve ne kadar büyük bir heyelan beklendiğini tahmin etmek anlamına gelir. Tüm heyelan türleri için ve tüm mekansal-zamansal ölçeklerde heyelan tahminlerinin sınırlarını belirlemek için farklı ölçek ve temalarda çalışmalara ihtiyaç vardır (Şekil 3.1) (Guzzetti vd., 2005; Lombardo vd., 2020; Guzzetti, 2021). Heyelanların birbirini takip eder şekilde geliştikleri ve daha önce meydana geldikleri yerde tekrar meydana gelme potansiyeline sahip oldukları önceki çalışmalarda ortaya konmuştur (Temme vd, 2020; Samia vd, 2017, 2020). Bu nedenle, potansiyel heyelanların nerede oluşabileceğini kestirebilmek, eski ve güncel heyelanların envanterini oluşturmakla mümkündür (Guzzetti, 2021).

Heyelanın konumuna, oluşum tarihine, tipine ve aktivitesine ilişkin bilgilerin kaydedildiği bu kataloglara heyelan envanteri adı verilir ve genel olarak bu envanterler heyelan dağılımının en basit şekliyle gösteriminin yapıldığı heyelan haritaları ve ilişkili bilgilerden oluşur (Carrara ve Merenda, 1976; Hansen, 1984; Soeters ve van Westen, 1996). Bir arazi yüzeyinde morfolojik bakımdan izler bırakan heyelanların bu tip haritalarda ifadesi; haritanın ölçeğine bağlı olarak poligon (örn. Guzzetti ve Cardinali, 1990; Duman vd., 2010; veya nokta bazlı (örn. Can vd., 2007; Nefeslioğlu vd., 2012) olabilir.

Heyelan envanter haritalarının hazırlanması, bir bölgede meydana gelmiş heyelanların sınırlarını ortaya koymak, yamaç yenilmelerinin dağılımını, türlerini, tekrarlanma sıklıklarını ve istatistiklerini araştırmak, heyelan duyarlılığını, tehlikesini, riskini belirlemek ve kütle hareketlerinin baskın olduğu bölgelerin evrimini incelemek için önem arz etmektedir (Guzzetti, 2012). Fakat böylesi öneme sahip olan heyelan envanter çalışmaları, henüz yeterli düzeye ulaşamamış, genellikle yerel ölçekte veya havza tabanlı envanterler olarak kalmıştır.





Şekil 3.1 Jeomorfolojik ve jeomekanik heyelan kapsam alanları (ing. domains) ile hidro-meteorolojik ve sismik heyelan tetikleyici faktörlerin mekansal (yatay x eksen) zamansal (dikey y eksen) ekseninde ifadesi. Renkli poligonlar, tipik heyelan tehlike ve risk haritalama ve modelleme çalışmaları için alt kapsam alanlarını göstermektedir (Kaynak: Guzzetti 2021'den türkçeleştirilmiştir)

Heyelan envanter haritaları çeşitli teknikler kullanılarak gerçekleştirilebilir. Heyelan envanter haritalamalarında kullanılan yöntemler Guzzetti vd., (2012) tarafından genel olarak değerlendirilmiştir. Stereoskopik görüntülerin (hava fotoğrafları veya çok yüksek çözünürlüklü optik uydu görüntülerinin) görsel yorumu en yaygın kullanılan yöntem olmaya devam etmekte ve belirli yerel koşullar (bitki örtüsü sınırlamaları gibi) karşılandığında optik veriler yerine LiDAR (Light Detection and Ranging) gibi, bitki örtüsüne bağımlı yorumları ortadan kaldıran teknoloji yaygın bir biçimde heyelan alanlarının belirlenmesinde kullanılmaktadır (Chigira vd., 2004; McKean and Roering 2004; Schulz 2007; van den Eeckhaut vd., 2005, 2007 and 2012; Haneberg vd., 2005; Glenn vd., 2006; Anders and Seijmonsbergen 2008; Razak vd., 2011 and 2013; Bell 2012; Petschko vd., 2016; Görüm, 2019). LiDAR araştırmalarından elde edilen

yüksek çözünürlüklü DEM (sayısal yükseklik modeli) verileri, heyelanları tespit etmek, haritalamak ve çok zamanlı çalışmalarda gözlemlemek için kullanılmıştır (Schulz, 2004; Chen vd, 2006; Ardizzone vd, 2007; Baldo vd., 2009; Corsini vd., 2009; Kasai vd, 2009; Jaboyedoff vd., 2012; Razak vd., 2011). LiDAR çalışmaları, duyarlılık analizlerinde topografik yüzeyde meydana gelen değişimleri ortaya koyabilmek adına aynı alan üzerinde çok zamanlı olarak çalışılabilir (Baldo vd., 2009). Heyelan araştırmaları için LiDAR çalışmalarıyla elde edilen yüksek çözünürlüklü DEM ve türev ürünler (örn., eğim, yamaç eğriselliği, yüzey pürüzlülüğü vb.), topografik yüzeyin görsel analizi ve morfometrik heyelan özelliklerinin tanınmasında kullanılmaktadır (Görüm, 2019). LiDAR çalışmalarının yanında yüksek çözünürlüklü optik sensörler, farklı türlerdeki heyelanları tanımak ve haritalamak için kullanılmaktadır. Pankromatik ve çok bantlı radyometrik görüntüleri birleştirme ve “pansharpening” yöntemiyle yüksek çözünürlüklü veriler elde edilebilmektedir. Bu işlemler sırasında orijinal multispektral bilginin spektral bilgisini yeni “keskinleştirilmiş” görüntüde koruyabilen algoritmalar mevcuttur (Aiazzi vd, 2007).

Bir heyelan envanteri, heyelanların dağılımını içeren tematik haritanın en basit halini ifade eder (Pašek, 1975; Hansen, 1984; Wieczorek, 1984; Duman vd., 2005; Guzzetti, 2006). Heyelan envanterleri, belirli ölçekler dahilinde heyelanlara ait coğrafi konum, oluşum tarihi bilgisi, tip, derinlik, heyelan aktivitesi gibi bilgileri içerirler. Bir heyelan envanteri, tekil heyelanlarla ilgili tarihsel dökümanların derlenmesiyle veya arşiv/güncel uzaktan algılama verileri (örn. uydu görüntüleri, hava fotoğrafları ve LiDAR verileri vb.) ve arazi çalışmaları ile edinilen bilgilere dayanılarak üretilmektedirler (Çan vd., 2013; Duman vd., 2016).

Heyelan envanter veri tabanları, heyelan aktivitesi hakkında bilgi vermelidir (tercihen, Cruden ve Varnes 1996 ve WP / WLI 1993 tarafından tanımlandığı şekilde aktivite durumu, tipi ve dağılımıyla birlikte) ve bu nedenle daha geniş alanlar için çok zamanlı heyelan envanter bilgisine ihtiyaç duyulur. Ayrıntılı haritalama ölçekleri için, aktivite değerlendirmesi genellikle

tek bir heyelan ile sınırlandırılır ve heyelanın kapsamlı gözlenmesini/izlenmesini gerektirir. Belli bir bölgedeki heyelan tehlike ve riskini öngören güvenilir bir harita üretmek için heyelanların mekansal ve zamansal sıklıklarına ilişkin çıkarımlar yapabilmek çok önemlidir ve bu nedenle heyelan tehlike veya risk araştırmalarına hem mekansal hem de zamansal olarak mümkün olduğu kadar eksiksiz ve uluslararası standartlardaki terminolojinin kullanıldığı heyelan envanteri ile başlanmalıdır (IAEG Commission on Landslides 1990).

Heyelan envanter veri tabanı veya haritaları; arşiv ve tarihsel envanterlerin yanı sıra olay envanteri, jeomorfolojik envanter (Guzzetti vd., 2012), ve çok zamanlı envanter gibi sınıflara ayrılmaktadır (Guzzetti, 2006).

Çalışma kapsamında İstanbul il genelinde yapılan heyelan envanteri çalışması LiDAR verilerinden üretilen Sayısal Yükseklik Modelleri, ortofotolar ve uydu görüntülerinin haritalama altlıkları olarak kullanıldığı bir jeomorfolojik envanter niteliği taşımaktadır. Envanter raporu kapsamında il genelinde haritalanan heyelanlara ait heyelan hareket tipi, malzeme tipi, ortalama eğim değeri, heyelan aynası yüksekliği, heyelan derinliği, hacim, alan ve haritalanan alandaki bitki örtüsü yoğunluğu gibi her bir heyelan için ayrı ayrı hesaplanan öznel bilgileri il ve ilçelere özel olarak sunulmuştur.

4 VERİ VE YÖNTEM

4.1 Mevcut Verilerin Analizi ve Eksiklerin Belirlenmesi

Heyelanların zamansal olabilirliğine ilişkin değerlendirmeler, farklı hareket mekanizması ve duyarlılık faktörlerinin dikkate alınması ile gerçekleştirilir. Heyelanların, mekansal, zamansal ve diğer yüzey süreçleri ile olan etkileşimleri bakımından sahip oldukları farklılıkların dikkate alındığı değerlendirme yaklaşımı altında ele alınması gerekmektedir. Farklı amaç, yöntem ve

ölçeklerde haritalanan heyelanlar insan ve insana ait yapılar için kaçınma alanları olarak tanımlanmaktadır. Bu bakımdan herhangi bir heyelanın mekânsal gerçekleşme olasılığına ait değerlendirme heyelanların konum olarak nerede geliştiği bilgisinin toplanmasıyla başlar. Bugün bu heyelan ve heyelana ait jeomorfolojik birimlerin detaylı ve hassas şekilde haritalanması heyelanın dinamiklerinin ve ilişkin yüzey süreçlerinin anlaşılması bakımından önemlidir.

Belirli bir alanda gelişen heyelan; bir kopma bölgesi boyunca hareket ederek, hacmi, su içeriği ve yamaç eğimine bağlı olarak enerjisini yitirir ve genel olarak hareket eden malzeme durağan hale gelerek heyelanın birikim alanını meydana getirir. Belirli bir alanda gerçekleşmiş heyelan zamana bağlı olarak tekrar aktif hale geçebildiği gibi stabilite kazanarak bu statüsünü sürdürebilir. Bu bakımdan heyelanlar uzun dönemde çevresel değişimlerden ve özellikle suya bağlı erozyonel süreçlerden de etkilenir. Dolayısıyla yüzey sularının yaptığı erozyon türü ve göreceli hızları, suyun toplanma alanları ve birim alana uyguladıkları göreceli makaslama dayanımlarının bilinmesi de önemlidir.

Yüksek çözünürlüklü Sayısal Yükseklik Modelleri (DEM) ve/veya Stereo Hava Fotoğrafları heyelanların tanımlanması, dağılımlarının haritalanması ve heyelanları hazırlayıcı faktörlere ilişkin farklı mekansal ölçeklerde bilgilerin toplanmasında temel verileri oluşturmaktadır. Bu temel altlık veriler içerisinde özellikle Light Detection and Ranging (LiDAR) yöntemi yüksek çözünürlüklü DEM verisi sağlamanın yanı sıra, bitki örtüsüne bağımlılığı ortadan kaldırdığı için günümüzde heyelan çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. LiDAR verileri, özellikle bitki örtüsüyle kaplı dağlık ve engebeli arazilerde, mekansal bilginin elde edilmesinde önemli katkılar sağlamanın yanı sıra zaman alan noktasal olarak ölçümlerin yapılabildiği yersel çalışmalara alternatif bir yöntemdir.

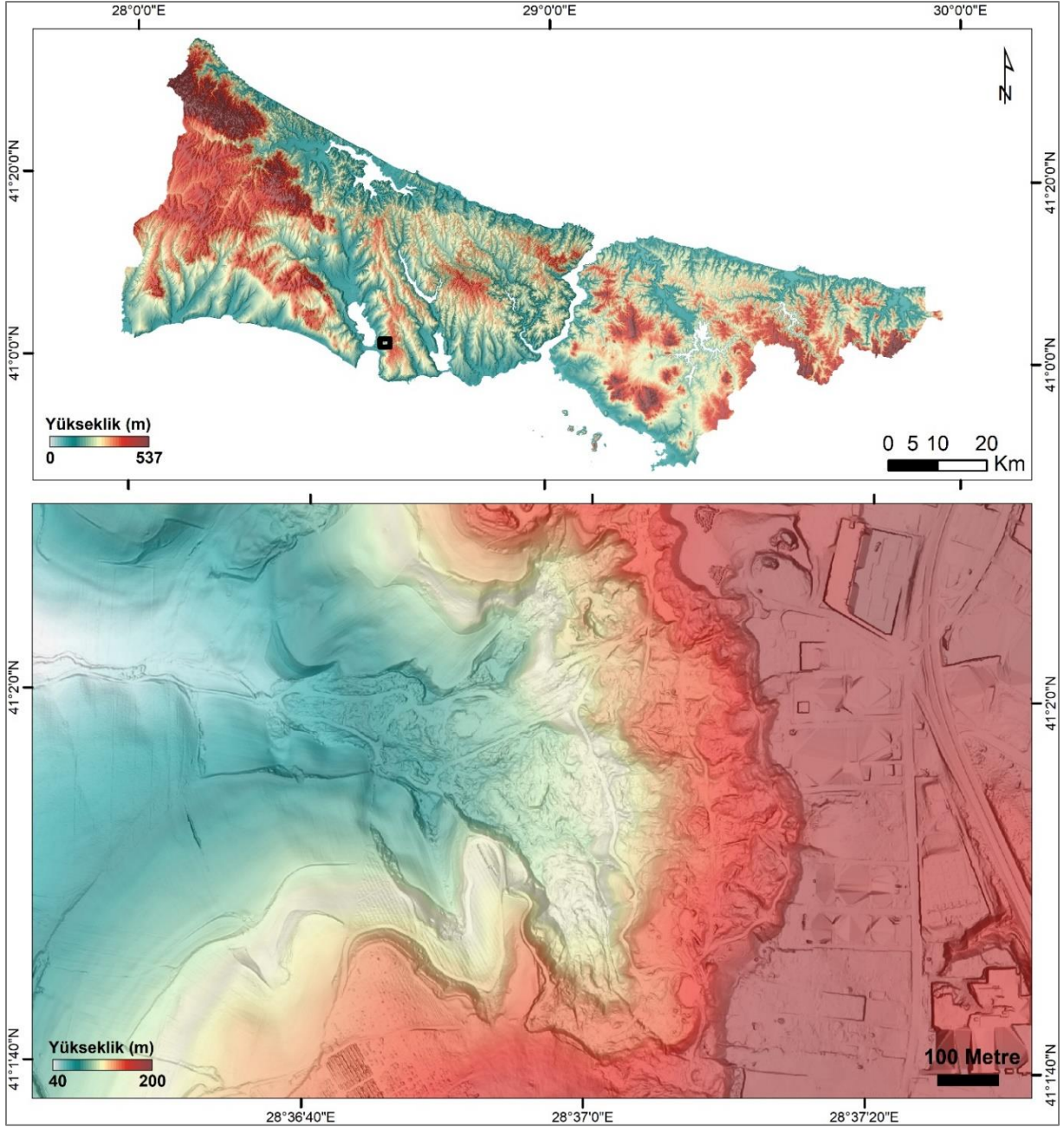
Heyelanların belirlenmesinde ve envanter haritalarının oluşturulması sonrasındaki adımı kapsayan duyarlılık çalışmalarında ise heyelan oluşumunu hazırlayan topoğrafik (örn. eğim,

bakı, vb.), jeolojik (litoloji, faya olan uzaklık, vb.), hidrolojik (akarsu aşındırma indeksi, drenaj yoğunluğu, vb.) arazi kullanım özellikleri gibi koşul parametrelerine ait bilgilere ihtiyaç duyulmaktadır.

4.2 Heyelanların ve Heyelan Envanterlerinin Revizyonu İçin Gereken Öncelikli

Verilerin Belirlenmesi

Heyelan envanterine ilişkin yapılan ön değerlendirmelerde İstanbul ilinin tamamını kapsayan en detaylı verinin 2013 yılında Haziran ve Temmuz aylarında BİMTAŞ tarafından üretilen Hava LiDAR verileri olduğu belirlenmiştir. Yersel çözünürlüğü yaklaşık olarak 0,25 m olan bu verinin 1:10,000 ölçeğinde hazırlanacak envanter için çözünürlüğü 1 m olarak belirlenmiştir. Hava LiDAR verilerinden elde edilen yüksek çözünürlüğe sahip DEM modeli (Şekil 4.1); heyelan tespitinde temel altlık olarak kullanılmıştır. Bunun yanı sıra LiDAR verisinin toplanması sırasında algılanan ortofoto mozaikleri, özellikle kaya düşmeleri, bitki ve yüzey tekstürünün yorumlanarak heyelanların belirlenmesinde kullanılmıştır. Ayrıca İBB DEZİM' in 2020 yılında tamamladığı heyelan bilgi envanteri de heyelanların tanımlanması ve yorumlanmasında kullanılmıştır. 2013 yılını temel alacak detaylı envanter oluşturulduktan sonra özellikle dörder yıl aralıklarla, 2017 ve 2021 yılları için detaylı olan 2013 yılı envanteri kullanılarak ortofoto mozaikleri temelinde yerleşim alanları ve ilişkin kazılarla ortadan kalkan heyelan alanları belirlenerek envanter revize edilmiştir. Aynı zamanda yeni oluşmuş heyelan alanları bu görüntüler kullanılarak değerlendirilmiş ve ofis çalışmalarına dayalı değerlendirmeler sonucu heyelan haritalaması tamamlanmıştır.



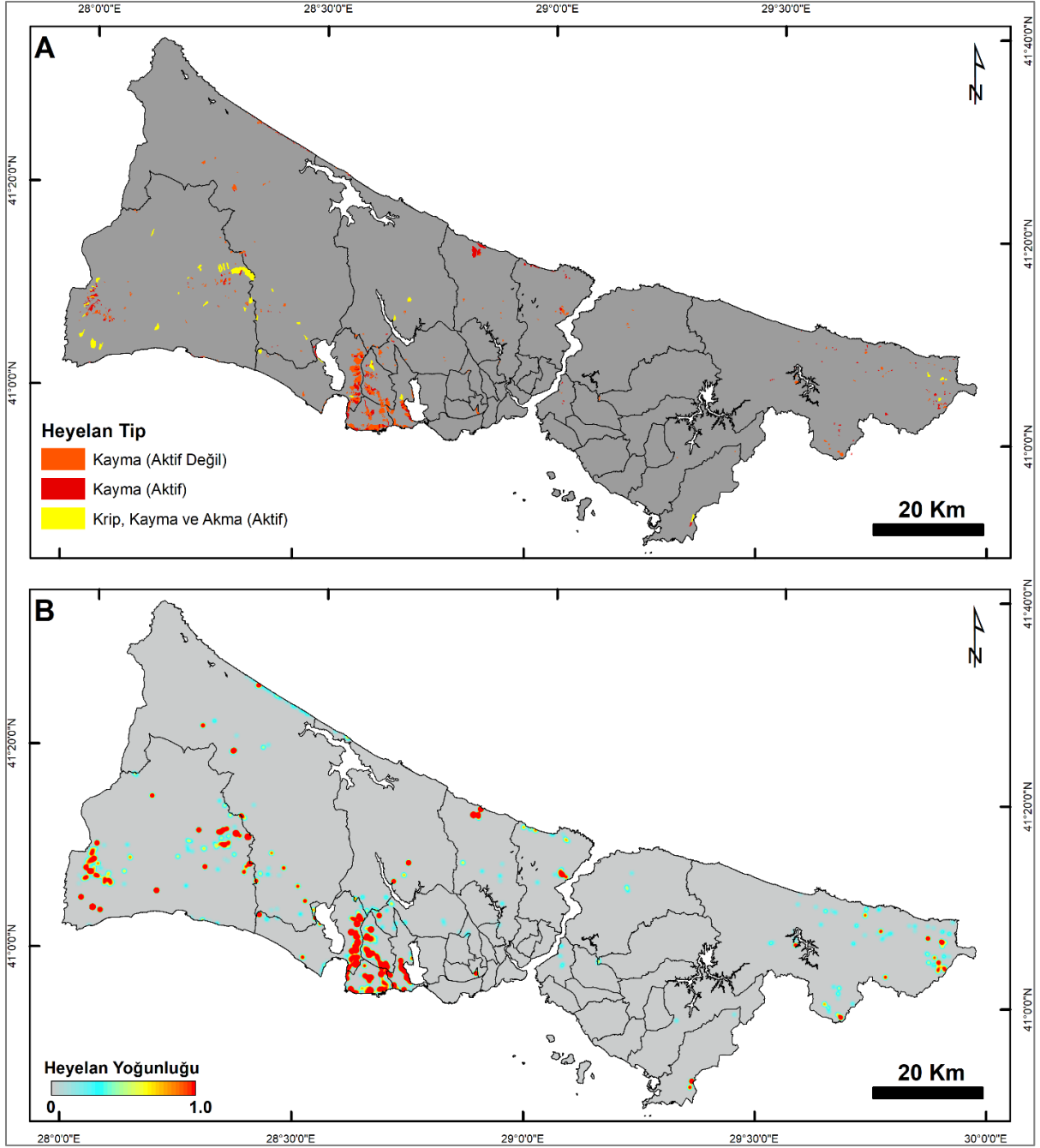
Şekil 4.1 İstanbul ili sınırları için 2013 yılına ait havadan LiDAR verisinin mekansal olarak kapladığı alan. Haritada siyah renkle gösterilen çerçeve Büyükçekmece Mezarlığının kuzeyindeki aktif heyelan alanını gösterir

4.3 Heyelanlı alanların mekânsal dağılımının tespiti ve öncelikli alanların belirlenmesi

Heyelanlı alanların mekansal tespitleri kapsamında önceki çalışmalara ait envanterler, literatür ve arşiv verileri incelenmiştir. Bu envanterler içerisinde bölge için yapılan detaylı araştırmalardan birisi olan Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) tarafından 2004

yılında “İstanbul Metropolü Batısındaki (Küçükçekmece-Silivri-Çatalca Yöresi) Kentsel Gelişme Alanlarının Yer Bilim Verileri” başlıklı özel yayına konu olan ve daha sonra bu alan için 2006 yılında Türkiye Heyelan Envanter Haritaları projesi kapsamında basılan 1/500.000 ölçekli Türkiye Heyelan Envanteri Haritası, İstanbul Paftası (Duman vd., 2006) özel yayın serisi (6) çalışmaları mevcuttur. Bu çalışmalar kapsamında ortaya konulan heyelan dağılım haritasına göre toplam 578 heyelan haritalanmıştır. Bu heyelanların büyük bir bölümü Büyükçekmece ve Küçükçekmece gölleri arasında kalan kesimde ve Silivri kesiminde yoğun bir dağılım göstermektedir. Bunun yanı sıra İstanbul’un Asya kesiminde ise Şile ilçesinin doğu ve kuzeydoğu kesimlerinde yoğunlaşmaktadır (Şekil 4.2).

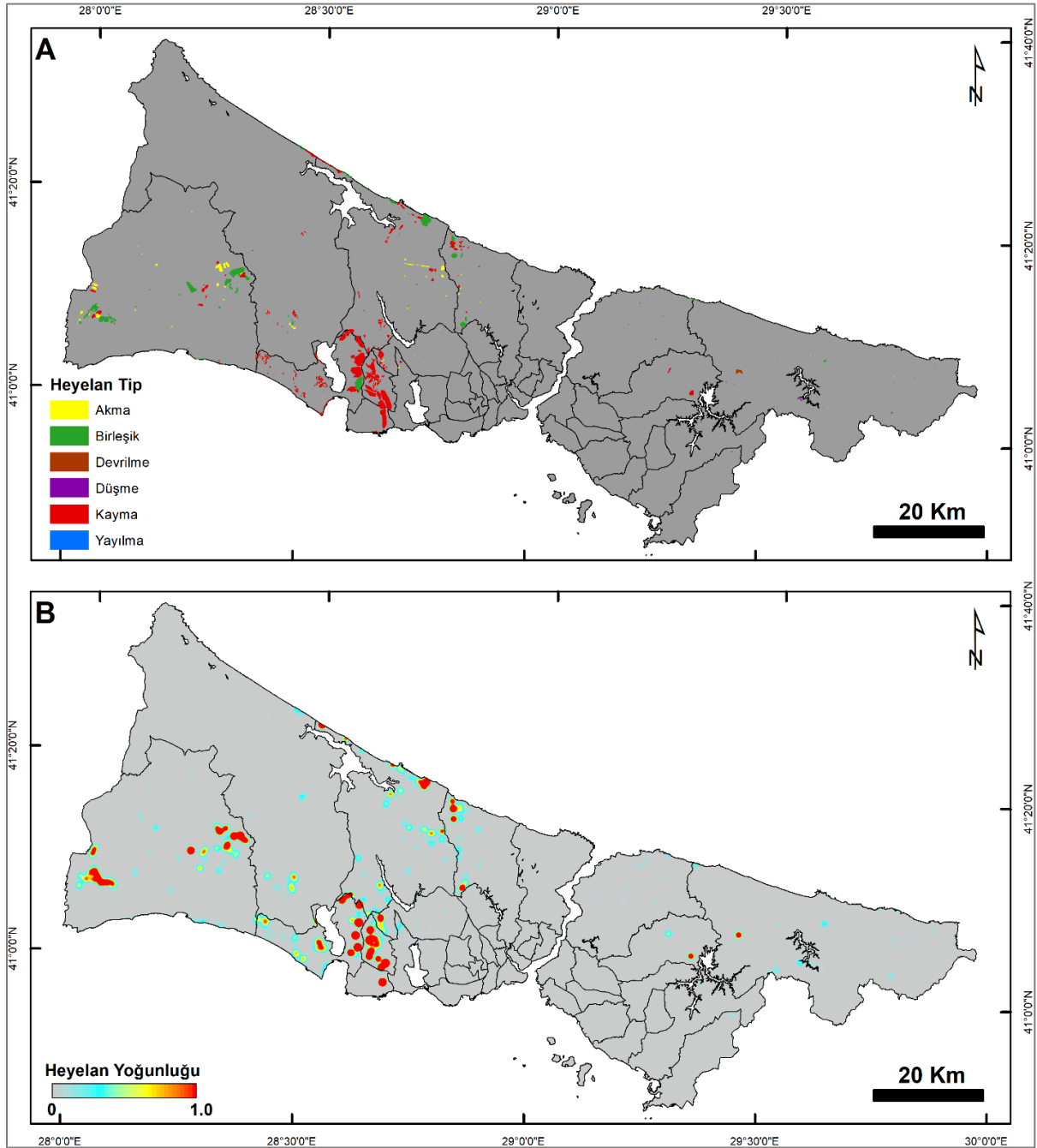




Şekil 4.2 Duman vd. 2006 tarafından haritalanan heyelanların dağılımı, tipleri (A) ve heyelanlara ait yoğunluk haritası (B)

Bu envanterin yanı sıra İBB DEZİM tarafından 2020 yılında tamamlanan Heyelan Bilgi Envanterine ait veriler heyelan öncelikli bölgelerinin belirlenmesinde değerlendirilmiştir. Büro

ve saha çalışmaları sonucu oluşturulan bu envanterde 513 adet alansal bazlı heyelanın yanı sıra 18 adet nokta bazlı heyelan yer almaktadır (Şekil 4.3).



Şekil 4.3 İBB DEZİM tarafından oluşturulan envanterde haritalanan heyelanların dağılımları, tipleri (A) ve heyelanlara ait yoğunluk haritası (B)

Yapılan değerlendirmelerde bu heyelanların Duman vd. (2016) ile örtüşen kısımlarının büyük bir kesimi Avrupa kesiminde, Büyükçekmece ve Silivri kesiminde yer alırken, Asya kesiminde

iki envanter arasında dağılım bakımından Şile çevresinde belirgin farklar olduğu gözlenmektedir. Özellikle İBB DEZİM tarafından oluşturulan envanterin aktif heyelan alanlarına yoğunlaşmış olması bu farklılığın olası nedeni olarak gösterilebilir.

İki envanter arasındaki farklılıklardan bir diğeri ise tamamlandıkları yıllardır. Duman vd. (2006) tarafından yapılan envanter 2004 ve 2006 yılları arasındaki saha çalışmaları ile tamamlanmıştır. Buna karşın İBB DEZİM tarafından oluşturulan envanter 2020 yılı içerisinde tamamlanarak yayınlanmıştır. Arada geçen on dört yıllık süre zarfında oluşan heyelanları da kapsamı bakımından İBB DEZİM heyelan bilgi envanteri daha güncel bir envanteredir.

Yaptığımız diğeri bir değerlendirme ise bu envanterlerin ölçeği konusundadır. Duman vd. (2006) diğeri bir adıyla MTA envanteri 1:25.000 ve 1:30.000 ölçekli hava fotoğraflarına dayanmaktadır. Bu kapsamda bu envanterin ölçeği orta ölçekli (1:250.000 – 1:25.000) heyelan envanterleri sınıfına karşılık gelmektedir (Tablo 4.1). İBB DEZİM tarafından üretilen envanter ise ölçeği itibarıyla (1:25.000 – 1: 5.000) yerel (ing. local) ölçekte hazırlanmıştır.

Tablo 4.1 Heyelan envanterlerine ilişkin ölçeklere ait standart (Corominas vd., 2014)

Çalışmanın Ölçeği	Etki Mesafesi	I(M)/F ^a	Tehlike Tanımlayıcısı
Ulusal <1:250.000	İçermez	Dikkate alınmaz	Heyelanların meydana geldiği idari birim (lokasyon)/yıl bilgisi yok
Bölgesel 1:250.000- 1:25.000	Genellikle içermez	Genellikle belirlenmiş (sabit) büyüklük değeri	Heyelanların km ² / yıl bilgisi yok
Yerel 1:25.000-1:5.000	İçerir	Mekana bağlı dağıtılmış büyüklük (şiddet)	Belirli bir büyüklüğe ya da şiddete sahip bir olayın yıllık meydana gelme olasılığı (tekrarlanma sıklığı) sahip bir olayın yıllık meydana gelme olasılığı

Sahaya özgü >1:5.000	İçerir	Mekana bağlı dağıtılmış şiddet	Belirli bir şiddete sahip bir olayın yıllık meydana gelme olasılığı (tekrarlanma sıklığı)
^a Şiddet (büyüklük)/frekans			

- Ulusal (<1:250.000) ve bölgesel (1:250.000-1:25.000) ölçeklerde küçük heyelanlar tekil olarak haritalanamazlar. Ulusal ölçekte yapılan çalışmalar ülke bazında mevcut problemin genel dağılımı hakkında fikir edinilmesi için yapılır. Bölgesel ölçekte yapılan çalışmalar ise bölgesel gelişme projelerinin ilk aşamalarında veya büyük mühendislik projelerinin ön değerlendirmesinde özellikle duraysız alanların genel dağılımlarının çıkarılması için yapılır.
- Yerel ölçekte (1:25.000-1:5.000) ve daha büyük ölçeklerde (>1:5.000) heyelanlar ve risk altındaki elemanlar ayrı ayrı değerlendirilmelidirler.
- Yerel ölçekteki bölgelendirmeler geniş alanlarda stabilite analizlerinin gerçekleştirilmesine imkân verir; runout mesafeleri değerlendirilebilir. Veri kalitesinden ve DEM çözünürlüğünden ciddi oranda etkilenirler. Bu ölçek planlama, erken uyarı ve acil müdahale için referans ölçektir. Ayrıca, öncelikli olarak önlem çalışmalarının yapılacağı sahaların tespitinde alan daraltma açısından bölgelendirmede temel ölçektir.
- Sahaya özgü bölgelendirme daha çok tasarım öncesi alan araştırmalarının gerçekleştirilmesi amacıyla yapılmaktadır.
- Heyelan duyarlılık ve tehlikenin ifadesi ölçeğe (haritalama birimine), heyelan tipine, değerlendirilen risk elemanına ve kabul edilebilir risk kriterlerine bağlı olarak değişir; ör. Yerel ölçekte; belirli bir büyüklükte veya şiddette heyelanın bir yıl içerisinde gerçekleşme olasılığı tehlikenin bu ölçekteki ifadesi olarak önerilmektedir (Corominas vd., 2014).

4.4 Heyelanların CBS tabanlı sayısal envanterlerinde yer alacak öznitelik bilgilerinin tanımlanması ve standartların belirlenmesi

CBS tabanlı oluşturulacak sayısal heyelan envanteri kapsamında yer alacak öznitelik bilgileri Burns ve Madin 2017 tarafından “Protocol for Landslide Inventory Mapping from LiDAR Data in Washington State” başlıklı standart belirleme çalışmasında önerilen uluslararası standart çerçevesinde belirlenmiştir. Bu çalışmada önerilen standartlara ek olarak İstanbul Metropolitan alanının ihtiyaçları doğrultusunda ek öznitelik bilgileri de deneyimlerimiz ve uzman görüşlerimiz kapsamında belirlenerek sayısal envanterdeki her bir heyelan için tanımlanmıştır. CBS tabanlı sayısal heyelan envanterinde yer alacak öznitelik bilgileri Tablo 4.2’te belirtilmiştir.

Tablo 4.2 CBS tabanlı sayısal heyelan envanterinde yer alacak öznitelik bilgileri

Öznitelik Adı	Açıklama
Heyelan_ID	Sayıların her heyelan için benzersiz olması gerekir. Bu, heyelan dikliği, kaynak ve birikim alanı ile ilişkili alt bilgilerde kullanılan birincil anahtar özniteliktir.
Malzeme_Tipi	Cruden ve Varnes (1996) sınıflandırması temelinde, kaya (K), zemin (Z) ve moloz (M) dahil olmak üzere heyelan malzemesinin türünü ifade eder.
Hareket_Tipi	Cruden ve Varnes (1996) sınıflandırması temelinde, kayma, akma, düşme ve bir alt sınıf olarak karmaşık heyelanlar (her iki hareket tipini içeren) için öncelikli hareket ve sonraki hareket dikkate alınarak isimlendirilmiştir. Örneğin, Kayma-Akma gibi.
Hareket_Kodu	"Hareket_Tipi" alanına karşılık gelen harfli kodu içerir. Biçimlendirmenin tamamı büyük harflerden oluşur. Karmaşık heyelanlar için boşluksuz tipler arasında “+” kullanılmıştır. Örneğin, ZK+ZA bir Zemin kayma-akma kompleksini belirtir.
Aktivite	Cruden ve Varnes (1996) sınıflandırması temelinde, aktivitenin durumunu ifade eder. Burada uzman görüşüne dayalı morfolojik belirteçler (örn. gerilme çatlakları, heyelan dikliğinin morfolojik bakımdan sarplığı, akarsu aşındırmasının heyelan gövdesi içerisindeki varlığı gibi) dikkate alınarak aktif, eski ve kalıntı olarak sınıflandırmalar yapılmıştır.
Egim	Heyelanın deforme olmamış komşu yamaçlarından alınan ortalama yamaç eğiminin derece cinsinden ifadesine karşılık gelir. Bu bilgi heyelanların ortalama derinliğinin hesaplanmasında değerlendirilir.
Ort_Egim	Heyelan ana gövdesinin derece cinsinden ortalama topoğrafik eğimini ifade eder.
Hs_Yukseklık	Heyelan ana dikliğinin (heyelan yarası) metre cinsinden yüksekliğini ifade eder.
Hey_Derinlik	Heyelan derinliği için temel alınan eşik değeri 5 metredir. Bu değerin altı Sığ Heyelan üstü ise Derin Heyelan olarak adlandırılmıştır.

Hacim	Kayma düzlemi yaklaşık derinliği ve heyelan alanının çarpımından elde edilen, birim olarak metre-küp cinsinden ifade edilir.
Alan	Heyelanın kapladığı yüzey alanını metre kare cinsinden ifade eder.
Genişlik	Haritalanan heyelanın ortalama genişliğini ifade eder.
Uzunluk	Haritalanan heyelanın yamaç gradyanı boyunca uzunluğunu ifade eder.
Bitki_Örtüsü	Heyelan ana gövdesi üzerinde gelişmiş bitki örtüsünün yoğunluğunu (Çok yoğun, yoğun, orta, seyrek, yok) ifade eder.
Tetikleyici	Heyelanı tetikleyen faktörü (deprem, yağış, insan, bilinmiyor) ifade eder.
Ols_Tarihi	Heyelanın oluşum tarihi biliniyorsa bu alanda belirtilir, aksi durumda, tarihi bilinmeyenler için N/A ifadesi kullanılır.
Gzlm_Tarihi	Saha gözlemi varsa bunun tarihine ilişkin bilgiyi ifade eder. Yapılmamış gözlemler için N/A ifadesi kullanılır.
Gzlm_Verisi	Saha gözlemi haricinde başka verilerden faydalanıldıysa (Örn. Hava fotoğrafı, Uydu görüntüsü, LiDAR verisi, vb.) bu alanda belirtilecektir.
Srml_Kisi	Veri girişini yapan sorumlu teknik personelin adı ve soyadını belirtir.
Ek_Açıklama	Varsa ek yorum ve hususları belirtir.

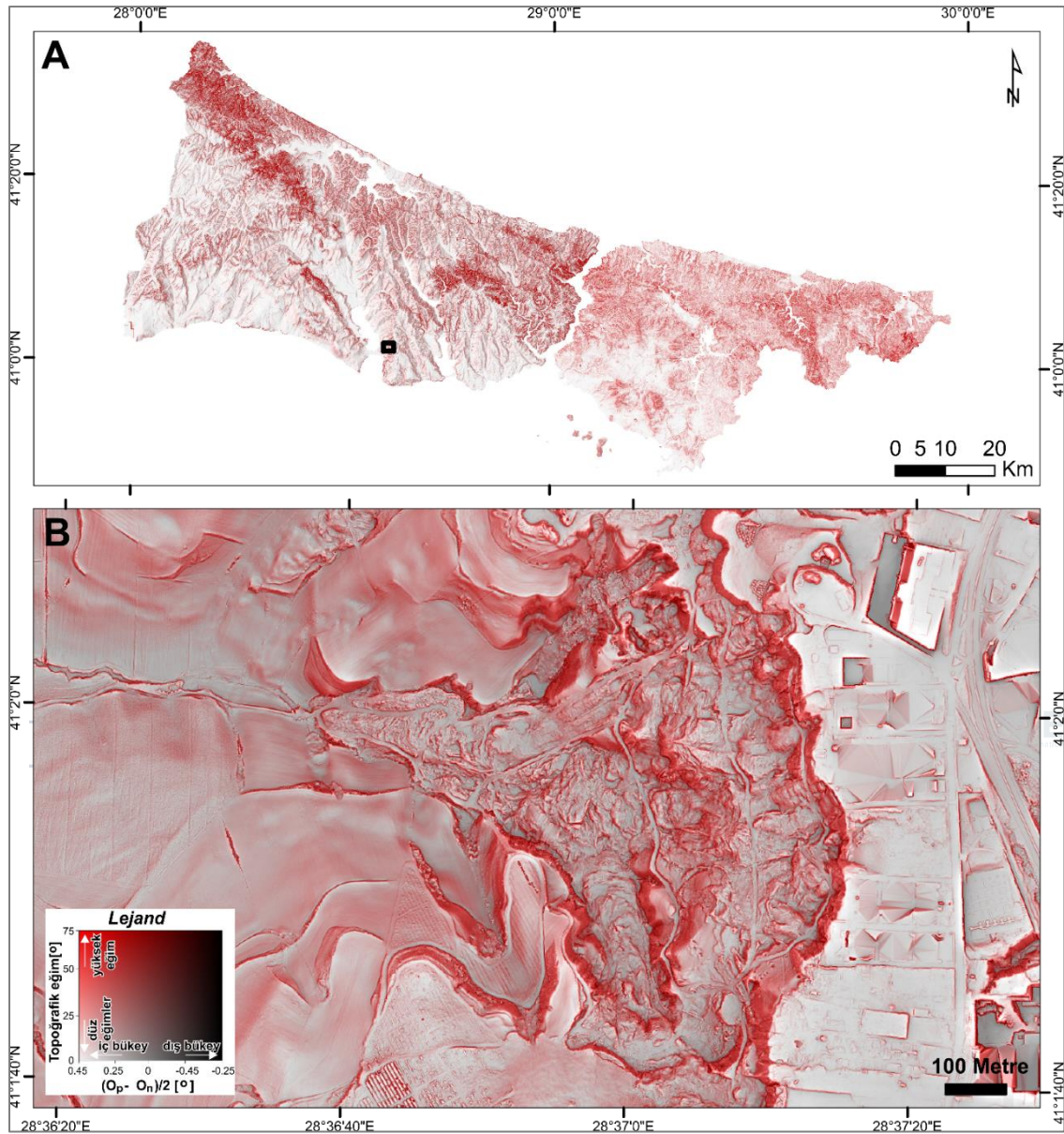
4.5 Kırmızı Rölyef Görüntü Haritası (RRIM) Üretilmesi

Sayısal yükseklik modelleri kullanılarak heyelanların tanımlanmasında gölgelendirme haritaları (ing. hillshade) gibi DEM türevlerinde gözlemlenen gölgelendirmeye bağlı 3B derinlik algısındaki bozulmaların önüne geçebilmek ve heyelan gövdelerinin, heyelanlara ait jeomorfolojik birimlerin hassas bir şekilde haritalanabilmesi için Kırmızı Topoğrafya Görüntüleme Haritaları (RRIM) (Chiba vd., 2008) üretilmiştir.

Bu görüntüleme yöntemi kırmızı renklendirilmiş eğim katmanının, topoğrafik açıklık değerleri olan pozitif açıklık (O_p) ve negatif açıklık (O_n) değerleri kullanılarak üretilen I değeri katmanı;

$$I = O_p - O_n / 2$$

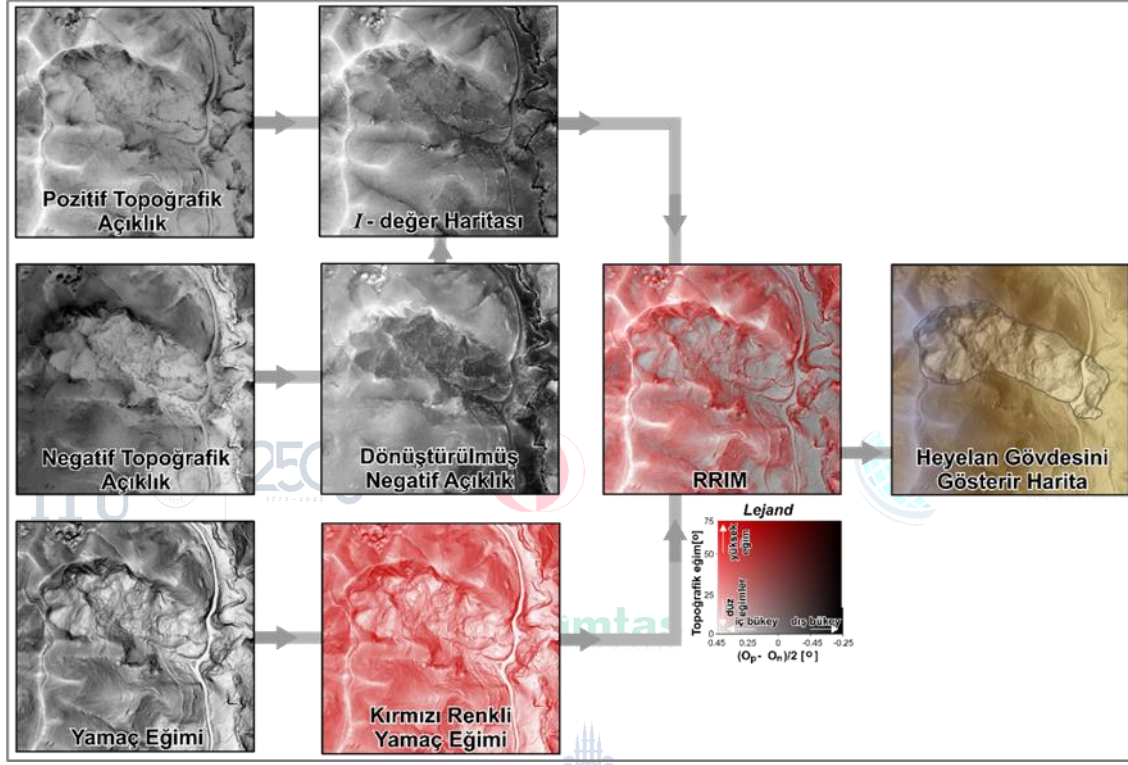
ile kombinasyonu sonucunda elde edilir (Chiba vd., 2007; Chiba vd., 2008) (Şekil 4.4). Pozitif açıklık (O_p) değeri sabit bir noktadan topoğrafyaya bakıldığında gözlemlenebilen içbükey yüzeyleri, negatif açıklık (O_n) değerleri ise dış bükey yüzeyleri (Yokoyama vd., 2002) temsil eder.



Şekil 4.4 İstanbul ili için 2013 yılına ait havadan LiDAR verilerinden üretilen RRIM haritası (A) ve siyah çerçeve ile belirtilen Büyükçekmece kuzeyinde gelişmiş aktif heyelan sahasının yakından görünümü (B)

Kırmızı topoğrafya görüntü haritaları (RRIM) özellikle topoğrafyadaki yatay/dikey eğim değerlerini ve içbükey/dışbükey yamaçları gölgelendirmeden bağımsız bir şekilde gösterebildiği için heyelanların hassas bir şekilde haritalanabilmesinde (Görüm, 2019) temel haritalama altlığı olarak kullanılacaktır. Tüm İstanbul il sınırları için LiDAR DEM verileri kullanılarak RRIM haritaları tamamlanmıştır. RRIM haritaları temel alınarak tanımlanacak heyelanlar; heyelan varlığının belirlenmesi ve duyarlılık haritalarının oluşturulması için

mümkün olan hassasiyet ve doğruluğu en üst düzeyde LiDAR verilerinin imkân verdiği en yüksek çözünürlükte haritalanacak, sözleşme kapsamında 1:5.000-1:10.000 ölçeğinde dijital olarak idareye teslim edilecektir. Temel haritalamada izlenecek aşamalar Şekil 4.5'te belirtilmiştir.



Şekil 4.5 RRIM haritasının üretimine ve heyelanların bu haritadan belirlenmesine ilişkin analiz adımları (Görüm 2019'dan türkçeleştirilerek)

4.6 Heyelan Envanterinin Hazırlanması

4.6.1 Öncelikli alanlarda önceki rapor ve yayınlar incelenmesi

İstanbul il sınırları içerisinde gelişmiş heyelanlarla ilgili çalışmalar 2000' li yılların başlarında başlamıştır. Bu kapsamda yapılan çalışmalarda çoğunlukla tekil bir heyelanın ya da bir heyelan kompleksinin oluşum ve gelişimi üzerine yoğunlaşmıştır.

İstanbul ili sınırları içerisinde gelişen heyelanlara ait çalışmalar heyelan envanter çalışmaları ile de desteklenmiştir. Bu kapsamda özellikle heyelanların yıllar içerisindeki oluşum ve

gelişimlerinin kaydedildiği İBB tarafından oluşturulan heyelan envanterleri, hava fotoğrafları ve topoğrafya haritalarından üretilen Sayısal Yükselti Modelleri (DEM) kullanılarak haritalanan heyelanları içeren, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) tarafından oluşturulan, Türkiye Heyelan Veri Tabanı (Çan vd., 2013) projesi ve İstanbul Teknik Üniversitesi Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü tarafından arşiv envanterleri ve istatistiksel metotlar kullanılarak oluşturulan Türkiye Ölümcül Heyelan Veri Tabanı (FATALDOT) (Görüm ve Fidan, 2021) bu envanter çalışmalarının en kapsamlı olanlarıdır. Oluşturulan bu envanterlerden İBB tarafından oluşturulan heyelan envanterleri yeni bir olay geliştiğinde kaydedilmesi bakımından aktif heyelanların lokasyonlarını içermektedir. MTA tarafından oluşturulan Türkiye Heyelan Veri Tabanı özellikle eski, büyük ve çözünürlük parametreleri nedeniyle tespit edilebilecek boyutta olan heyelanları içermektedir. İstanbul Teknik Üniversitesi Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü tarafından oluşturulan Türkiye Ölümcül Heyelan Veri Tabanı (FATALDOT) ölümcül heyelanların lokasyonlarını içermektedir. Bu veri tabanında dikkati çeken bir diğer konu İstanbul ili özelinde Türkiye'nin diğer alanlarıyla kıyaslandığında da insan kaynaklı (antropojenik) tetiklenen heyelanların çoğunlukta olduğu görülmektedir. Bu durum İstanbul'daki şehirleşme hızı ile de yakından ilişkilidir.

İstanbul da yapılan heyelan çalışmalarının çoğunlukla birkaç lokalitede toplandığı yapılan literatür taraması sonucunda saptanmıştır. Bu alanlar genellikle aktif, büyük ve yerleşim alanlarını tehdit edebilecek heyelanların bulunduğu alanlardır. Bu bağlamda yapılan çalışmalar özellikle Avrupa yakasının kuzeyinde yer alan maden ve dolgu sahalarında (Eyüp), yerleşim alanlarının yoğunlaştığı Avrupa Yakasının güneyindeki (Beylikdüzü, Büyükçekmece, Küçükçekmece, Avcılar) görece olarak daha aktif heyelanları bulunduğu alanları kapsamaktadır.

Heyelan çalışmaları konu dağılımına bakıldığında, genel olarak heyelan zamansal aktivite durumlarının incelenmesi (Acar vd., 2004; Kuşku ve Dalgıç, 2020; Bayık vd., 2021), derinlik (Duman vd., 2005; Yalçınkaya vd., 2015; Gürer vd., 2016; Grit ve Kanlı, 2016; Martino vd.,

2018; Karcıoğlu, 2019; Kuşku ve Dalgıç, 2020), aktivite (Duman vd., 2005; Acar vd., 2008; Bayrakdar ve Döker, 2011; Doğan vd., 2012; Yalçinkaya vd., 2015; Görüm ve Nefeslioğlu, 2015; Gürer vd., 2016; Grit ve Kanlı, 2016; Lenti vd., 2016; Martino vd., 2018; Keskinsezer ve Dağ, 2019; Kuşku ve Dalgıç, 2020), tehlike (Duman vd., 2005; Ertek ve Erginal, 2006), risk (Keskinsezer ve Dağ, 2019; Kuşku ve Dalgıç, 2020), envanter (Duman vd., 2006; Çan vd., 2013; Görüm ve Fidan, 2021), duyarlılık (Duman vd., 2006; Nefeslioğlu vd., 2010), önlem (Bayrakdar ve Döker, 2011), hız (Yalçinkaya vd., 2015; Bayık vd., 2021) ve yamaç duraylılığı (Ertek ve Erginal, 2006; Tokgöz, 2009; Özcep vd., 2010; Martino vd., 2016; Lenti vd., 2016) ile ilgi çalışmaların ön planda olduğu gözlemlenmektedir.

Literatür taramasında ulaşılan çalışmaların hem tanımlanan problem hem getirilen çözümler bakımından birçok farklı yöntem kullanılmıştır. Burada özellikle istatistik, GNSS(GPS), jeofizik, arşiv, jeoteknik, Uzaktan Algılama (UZAL) ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) gibi hem kantitatif ve gözleme dayalı yöntemler kullanılmıştır (Tablo 4.3).

Bu kapsamda literatür taraması sonucunda ulaşılan 24 çalışmada tanımlanan ve analiz edilen heyelanların genellikle anahtar lokalitelerdeki problemlere çözüm aradığı gözlemlenmiştir. Bu durum özellikle İstanbul genelinde bakıldığında farklı boyutta heyelan tehlikesine maruz kalma ihtimali olan alanların tespit edilmesine olan ihtiyacı açık bir şekilde vurgulamaktadır.

Tablo 4.3 İstanbul ili kapsamında heyelana konusunda yapılan önceki çalışmaları

SIRA	YAZAR	TARİH	MAKALE	KONU	YÖNTEM	ÇALIŞMA ALANI
1	M. Acar, M. T. Özlüdemir, R. N. Çelik, S. Erol, T. Ayan	2004	Landslide Monitoring Through Kalman Filtering: A Case Study in Gürpınar	Heyelan Zamansal Aktivite	İstatistik - GPS	Gürpınar / Beylikdüzü
2	T. Y. Duman, T. Can, R. Ulusay, M. Kecir, O. Emre, S. Ates, I. Gedik	2005	A Geohazard Reconnaissance Study Based on Geoscientific Information For Development Needs of	Heyelan Derinlik, Aktivite ve Tehlike	CBS - Jeofizik	İstanbul

			The Western Region of Istanbul (Turkey)			
3	Ertek, T.A., Erginal, A.E.	2006	Anthropogenetically Triggered Landslide Factors of The Varyant Landslide Area at Büyükçekmece, NW Turkey	Heyelan Tehlike ve Yamaç Duraylılığı	Arşiv	Büyükçekmece
4	T. Y. Duman, T. Can, C. Gokceoglu, H., A. Nefeslioglu, H. Sonmez	2006	Application Of Logistic Regression for Landslide Susceptibility Zoning of Cekmece Area, Istanbul, Turkey	Heyelan Duyarlılık ve Envanter	UZAL - İstatistik	Büyükçekmece - Küçükçekmece
5	M. Acar, M. Haberler-Weber, T. AYAN	2008	Bulanık Çıkarım Sistemleri İle Heyelan Bloklarının Belirlenmesi : Gürpınar Örneği	Heyelan Aktivite	Bulanık Mantık - GPS	Gürpınar / Beylikdüzü
6	N. Tokgöz	2009	Case Study of The Agacli Landslide–Gully Complex During Post-Coal-Mining Reclamation and Afforestation	Yamaç Duraylılığı ve Heyelan Aktivite	GPS - İstatistik	Ağaçlı / Eyüp
7	H. A. Nefeslioglu, E. Sezer, C. Gokceoglu, A. S. Bozkir, T. Y. Duman	2010	Assessment of Landslide Susceptibility by Decision Trees in the Metropolitan Area of Istanbul, Turkey	Heyelan Duyarlılık	İstatistik	İstanbul
8	F. Ozcep, E. Erol, F. Saraçoğlu, M. Haliloğlu	2010	Seismic landslide analysis: Gurpınar (Istanbul) as a case history	Yamaç Duraylılığı	Jeofizik - Jeoteknik	Gürpınar / Beylikdüzü
9	C. Bayrakdar, M. F. Döker	2011	İstanbul Kuzeyindeki Madencilik Faaliyetlerinden Kaynaklanan Mekânsal Sorunlara Bir Örnek: Çiftalan Köyü Heyelanları	Heyelan Aktivite ve Önlem	UZAL - CBS	Çiftalan Köyü / Eyüp
10	U. Doğan, D. Öz, S. Ergintav	2012	Kinematics of landslide estimated by repeated GPS measurements in the Avcılar region of Istanbul, Turkey	Heyelan Aktivite	GPS	Avcılar
11	T. Çan, T. Y. Duman, Ş. Olgun, Ş. Çörekçioğlu, F. K. Gülmez, H. Elmacı, S.	2013	Türkiye Heyelan Veri Tabanı	Heyelan Envanter	UZAL - CBS	İstanbul (Türkiye)

	Hamzaçebi, Ö. Emre					
12	E. Yalçinkaya, H. Alp, S. Martino, O. Özel, E. Görgün, L. Lenti, P. Bigarre, M.S. Arslan, B.B. Akşahin	2015	Büyükçekmece (İstanbul) Heyelan Alanının Jeofizik Yöntemlerle İncelenmesi	Heyelan Aktivite , Hız ve Derinlik	Jeofizik	Büyükçekmece - Küçükçekmece
13	T. Görüm, H. A. Nefeslioğlu	2015	Çok Zamanlı Heyelan Aktivitesinin Belirlenmesinde Jeomorfolojik Bir Yaklaşım	Heyelan Aktivite	UZAL - CBS	Firuzköy / Avcılar
14	A. Gürer, T. B. Varlı, O. M. İlkışık, Ö. F. Gürer	2016	Electrical İmaging Of the Geoenvironment Around Water İnfrastructures İn Istanbul City	Heyelan Derinlik, Aktivite	Jeofizik	Arnavutköy
15	S. Martino, P. Bigarrè, S. Coccia, C. Bourdeau, L. Lenti, O. Ozel, E. Yalcinkaya	2016	Integrated engineering-geological and numerical approach applied to the large Büyükçekmece (Turkey) landslide for evaluating earthquake-induced effects	Yamaç Duraylılığı	GPS - Jeofizik	Büyükçekmece
16	M. Grit, A. I. Kanli	2016	Integrated Seismic Survey for Detecting Landslide Effects on High-Speed Rail Line at Istanbul–Turkey	Heyelan Derinlik ve Aktivite	Jeofizik	Silivri
17	E. Yalcinkaya, H. Alp, O. Ozel, E. Gorgun, S. Martino, L. Lenti, C. Bourdeau, P. Bigarre, S. Coccia	2016	Near-Surface Geophysical Methods For Investigating The Buyukcekmece Landslide İn Istanbul, Turkey	Heyelan Derinlik ve Aktivite	Jeofizik	Büyükçekmece
18	L. Lenti, S. Martino, G. Musolino	2016	Considering Seismic Coefficient Distributions Within Slopes to Calculate Landslide Reactivation Probability	Yamaç Duraylılığı, Heyelan Aktivite	Jeofizik	Avcılar - Beylikdüzü
19	S. Martino, L. Lenti, C. Bourdeau	2018	Composite Mechanism of The Büyükçekmece (Turkey) Landslide as Conditioning	Heyelan Derinlik ve Aktivite	UZAL - GPS -	Büyükçekmece

			Factor for Earthquake-Induced Mobility		Jeofizik - İstatistik	
20	A. Keskinsezer, E. Dağ	2019	Investigating Of Soil Features and Landslide Risk İn Western-Atakent (İstanbul) Using Resistivity, MASW, Microtremor and Boreholes Methods	Heyelan Aktivite ve Risk	Jeofizik	Atakent
21	G. Karcioğlu	2019	Near-Surface Resistivity Structure Near Avcılar Landslide İn İstanbul, Turkey By 2D Inversion Of VLF Data	Heyelan Derinlik	Jeofizik	Avcılar
22	İ. Kuşku, S. Dalgıç	2020	Modeling Of Support System for Preventing Retrogressive Slide of Ambarlı Landslide İn Avcılar District, İstanbul	Heyelan Zamansal Aktivite, Derinlik ve Risk	Jeofizik	Ambarlı / Avcılar
23	C. Bayık, S. Abdikan, A. Ozdemir, M. Arıkan, F. B. Sanli, U. Dogan	2021	Investigation Of the Landslides İn Beylikdüzü-Esenyurt Districts of İstanbul from Insar and GNSS Observations	Heyelan Zamansal Aktivite ve Hız	InSAR - Çok Zamanlı SAR - GNSS	Beylikdüzü - Esenyurt
24	T. Görüm, S. Fidan	2021	Spatiotemporal Variations of Fatal Landslides İn Turkey	Heyelan Envanter	CBS - Arşiv - İstatistik	İstanbul (Türkiye)



4.6.2 Öncelikli alanlarda Uzaktan algılama ve DEM verilerinin incelenmesi

İBB Harita Müdürlüğü tarafından temin edilen 0,10 m ile 10 m arasında mekânsal çözünürlüğü olan ortofotolar (1954, 1956, 1959, 1961, 1962, 1967, 1970, 1973, 1975, 1990, 1993, 2012, 2013, 2015), 0,10 m mekânsal çözünürlüğe sahip IMG dosyaları (veri de tarih bilgisi belirtilmemiştir), 0,25 m mekânsal çözünürlüğe sahip Sayısal Yüzey Modelleri (DSM) (2012-2013), 0,20 m ile 20 m arasında mekânsal çözünürlüğe sahip Sayısal Arazi Modelleri (DTM) (1987, 2006), 1 m mekânsal çözünürlüğe sahip Sayısal Yükseklik Modelleri (DEM) (2013) ve son olarak ise Google ve ArcGIS veri tabanlarından temin edilen 0,50 m ile 1 m arasında mekânsal çözünürlüğe sahip uydu görüntüleri (2020, 2021, 2022) heyelan envanterinin oluşturulmasında haritalama altlıkları olarak kullanılmıştır (Tablo 4.4).

1996, 2006 ve 2022 yıllarına ait ortofotolar, 2005, 2013, 2016, 2017 ve 2022 yıllarına ait Sayısal Arazi Modelleri (DTM), 2006 ve 2011 yıllarına ait uydu görüntülerinin eksik olması ve bunların yanında 1996 ortofoto dosyasının hasarlı olması nedeniyle heyelan haritalama ve kontrol çalışmalarında kullanılamamışlardır.

Çalışma kapsamında özellikle ormanlık alanlarda, yüzey morfolojisini tanımlamada bitki örtüsüne olan bağımlılığı ortadan kaldırması, yüksek hassasiyette mekânsal çözünürlük sunması ve heyelan envanterlerinin oluşturulmasında diğer yöntemlere kıyasla daha doğru sonuçlar vermesi açısından (örn, Razak vd., 2011; Petschko vd., 2016); Hava LiDAR yöntemi ile oluşturulan yüksek çözünürlüklü Sayısal Yükselti Modelleri (DEM) kullanılmıştır. Bu haritalama katmanı mekânsal çözünürlük (1 m) ve morfolojiyi yansıtmadaki hassasiyeti açısından heyelan haritalamada temel altlık olarak kullanılmıştır.

Yine haritalama ve haritalanan heyelanların kontrollerinin sağlanmasında, ortofotolar, DSM, DTM, Google ve ArcGIS veri tabanlarındaki 0,50 m ile 1 m arasında mekânsal çözünürlüğe sahip uydu görüntüleri gibi haritalama altlıkları kullanılmıştır.

Özellikle heyelan envanterinin güncelliğinin sağlanması ve buna bağlı doğruluğu yüksek bir envanter oluşturulması açısından DEM, DTM, DSM ve ortofotolar kullanılarak haritalanan heyelanlar 2020, 2021 ve 2022 uydu görüntüleri kullanılarak kontrol edilmiştir.

Tablo 4.4 Heyelan envanterlerinin hazırlanmasında haritalama altlığı olarak kullanılan (✓) ve kullanılamayan (-) veri katmanları

İBB Harita Müdürlüğü Verileri Ve Diğer Veriler				
Veri Türü	Yılı	Çözünürlük	Kaynak	Envanter Durumu
Ortofoto	1954	2,5 m	HGM	✓
	1956	8,4 m	HGM	✓

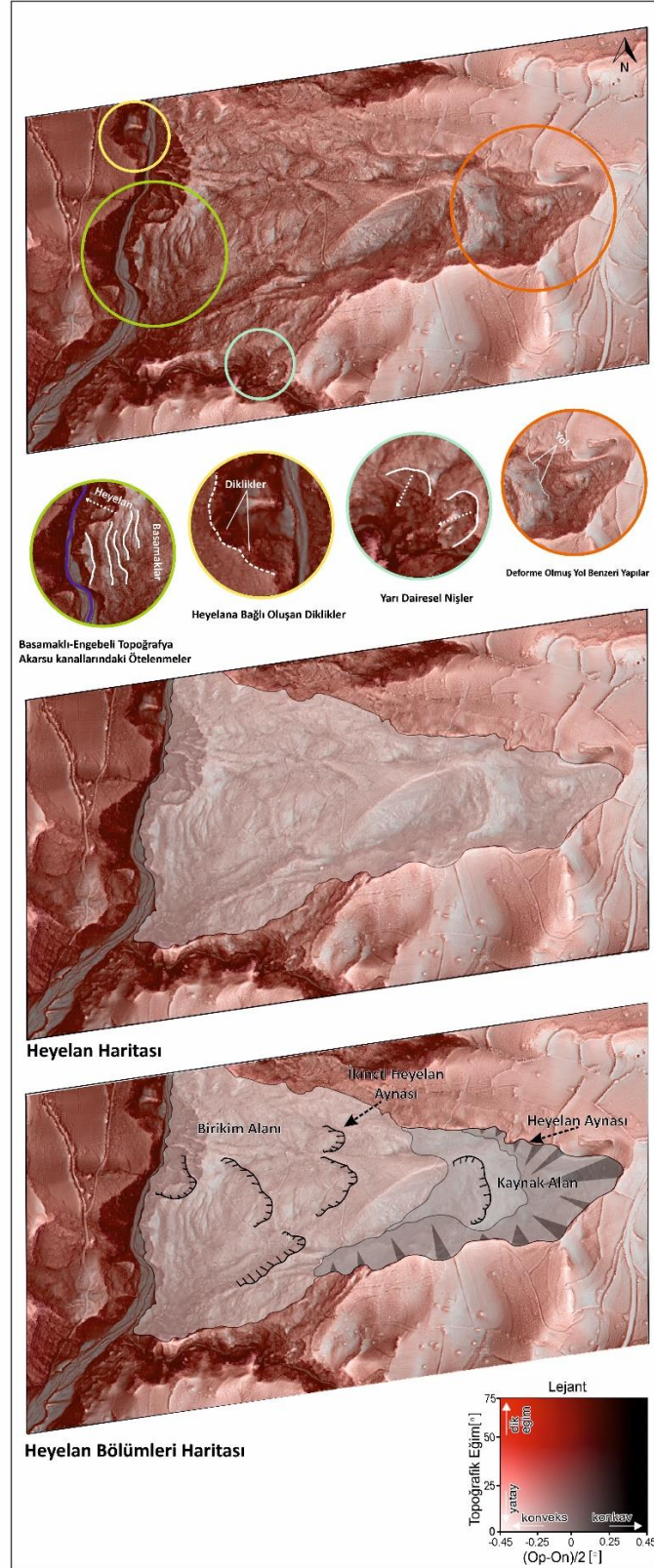
	1959	3,4 m	HGM	✓
	1961	2,5 m	HGM	✓
	1962	3,4 m	HGM	✓
	1967	1,6 m	HGM	✓
	1970	2,5 m - 5,9 m - 3,4 m	HGM	✓
	1973	5,9 m - 8,4 m	HGM	✓
	1975	3,4 m	HGM	✓
	1990	2,5 m	HGM	✓
	1993	5,9 m	HGM	✓
	1996	5 m- 10 m	İBB	–
	1996	1 m	İBB	–
	2006	1 m - 5 m	İBB	–
	2006	2 m	İBB	✓
	2012	0,10 m	İBB	✓
	2013	2,5 m - 2,7 m - 2,8 m - 0,10 m - 0,30 m	HGM-İBB	✓
	2015	2,5 m - 3 m	HGM	✓
	2022	0,20 m - 0,60 m	İBB	–
IMG	Tarih Bilgisi Yok	0,10 m	İBB	✓
DSM	2012-2013	0,25 m	İBB	✓
DTM	1987	10 m -20 m	İBB	✓
	2005	1 m	İBB	–
	2006	1 m -5 m	İBB	✓
	2013	1 m	İBB	–
	2016 - 2017	2,5 m	İBB	–
	2022	0,20 m - 0,60 m	İBB	–
Uydu Görüntüsü	2006	1 m - 5 m	İBB	–
	2011	5 m	İBB	–

	2020-2021-2022	0,50 m	Maxar	✓
DEM	2013	1 m	İBB	✓
	2021	1 m	İBB ve TKGM	✓

4.6.3 Heyelanların Haritalanması ve Kontrollerinin Sağlanması

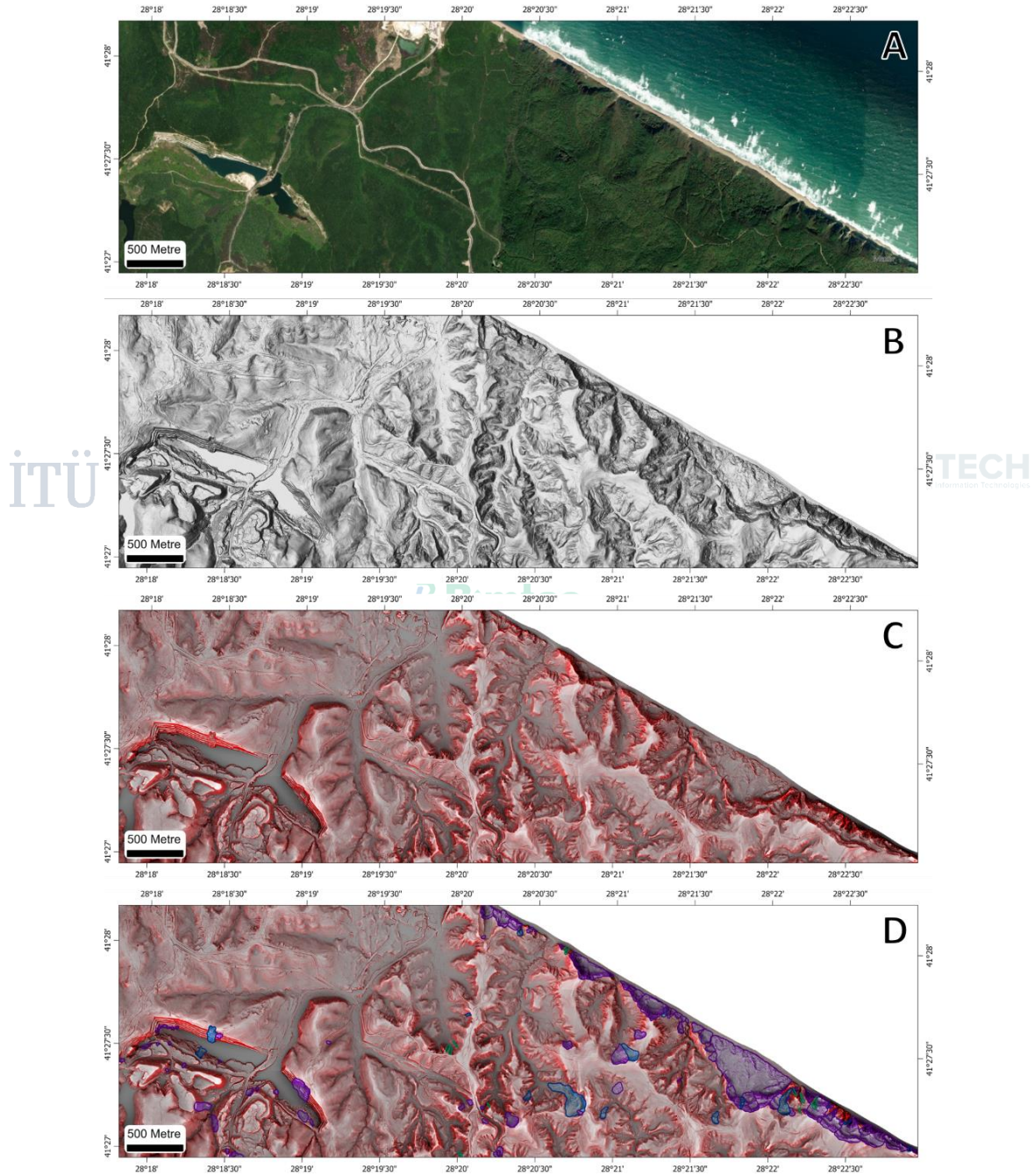
Envanter çalışmalarında temel haritalama altlığı olarak kullanılan, DEM verilerinden üretilen RRIM haritaları heyelanlara ait morfolojik deliller hassas bir şekilde gözlemlenebilmesine olanak sağlamıştır. Bu haritalama yöntemi sayesinde hem morfolojik üniteler hem de heyelan envanterinde yer alan öz nitelik bilgileri daha hassas bir şekilde hesaplanarak, kaydedilebilmiştir.

Heyelanların tanımlanmasında basamaklı-engebeli topoğrafya, heyelanlara bağlı oluşan diklikler, yarı dairesel nişleri ve deforme olmuş yol benzeri yapılar gibi yüzey morfolojisindeki değişimler (Dikau., 1996), heyelanların haritalanmasında tanımlama parametreleri olarak kullanılan parametrelerden bazılarıdır (Şekil 4.6) (Yılmaz, 2021).



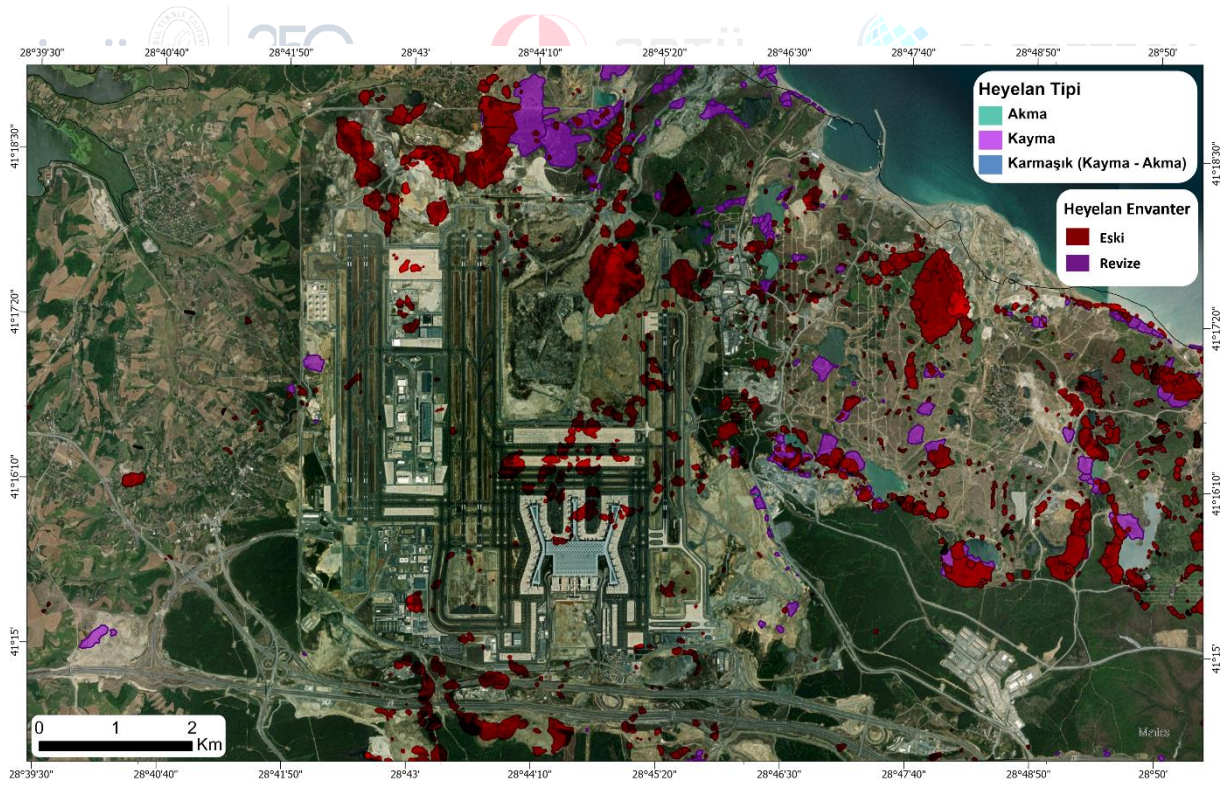
Şekil 4.6 Kırmızı Topoğrafya Görüntüleme Haritalarının (RRIM) üretilmesinde (A), heyelanların tanımlanması ve haritalanmasında takip edilen işlem adımları (Yılmaz, 2021' den yeniden düzenlenmiştir)

Heyelanların tanımlanmasında kullanılan parametreler ayrıca uydu görüntüleri, ortofotolar, DTM, DSM ve gölgelendirme haritaları kullanılarak tekrar analiz edilmiş (Şekil 4.7), böylece tanımlama doğruluğunun artırılması sağlanmıştır.



Şekil 4.7 Heyelanların haritalanmasında kullanılan haritalama altlıkları; ortofoto (A), topoğrafik gölgelendirme (hillshade) (B), Kırmızı Topoğrafya Görüntüleme Haritalarının (RRIM) (C), heyelan envanter katmanı ile Kırmızı Topoğrafya Görüntüleme Haritasının (RRIM) birlikte gösterimi

Heyelan envanterinin güncelliğini sağlamak adına antropojenik faaliyetlere bağlı arazi kullanımındaki değişiklikler güncel uydu görüntüleriyle tespit edilmiş ve buna bağlı belirli alanlarda heyelan varlığının ortadan kaldırılması ile bu heyelanlar envanterden çıkarılmıştır. Heyelan envanterinin hazırlandığı temel altlık 2013 yılına ait DEM verisi kullanılarak haritalanan 20537 heyelan güncel uydu görüntüleri kullanılarak revize edilmiş ve bunun sonucu 3240 adet heyelan envanterden çıkarılmıştır. Yapılan bu düzeltme sonucunda envanterdeki heyelan sayısı 17297 olarak güncellenmiştir. Yine DEM verisinin üretildiği yıldan günümüze kadar gelişen ve morfolojisi tanımlanabilir olan heyelanlar da uydu görüntüleri kullanılarak haritalanmıştır. Bu haritalama sonucunda 467 adet yeni heyelan envantere eklenmiş ve böylece envanterdeki heyelan sayısı 17764 olarak kaydedilmiştir (Şekil 4.8).

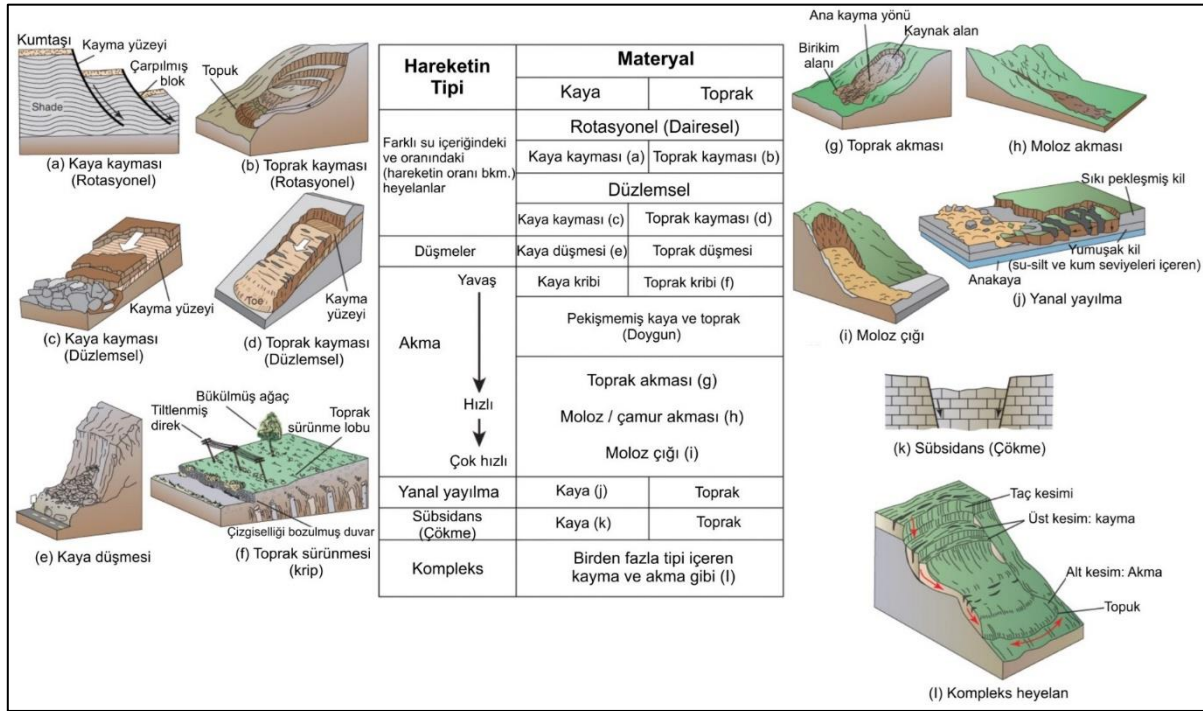


Şekil 4.8 2013 DEM verisi kullanarak oluşturulan heyelan envanteri (Eski) ve güncel uydu görüntüleri kullanılarak yenilenmiş heyelan envanteri (Revize)

4.6.4 Heyelan Öznitelik Bilgilerinin Tanımlanması

4.6.4.1 Heyelan (Hareket) Tipi

Heyelanlar Cruden ve Varnes (1996) sınıflandırması temel alınarak kayma, kayma bileşenli akma ve akma olarak sınıflandırılmıştır (Şekil 4.9). Heyelan malzeme sınıflamasında ise yine Cruden ve Varnes (1996) tarafından tanımlan malzeme tip sınıflaması baz alınarak heyelanlar, hareket eden malzemenin tipine göre üç ana kategoride sınıflanmıştır. Bu sınıflamaya göre hareket eden malzeme kaya, zemin ve moloz (antropojenik faaliyete bağlı oluşan zemin malzemesi) olarak sınıflanmıştır.

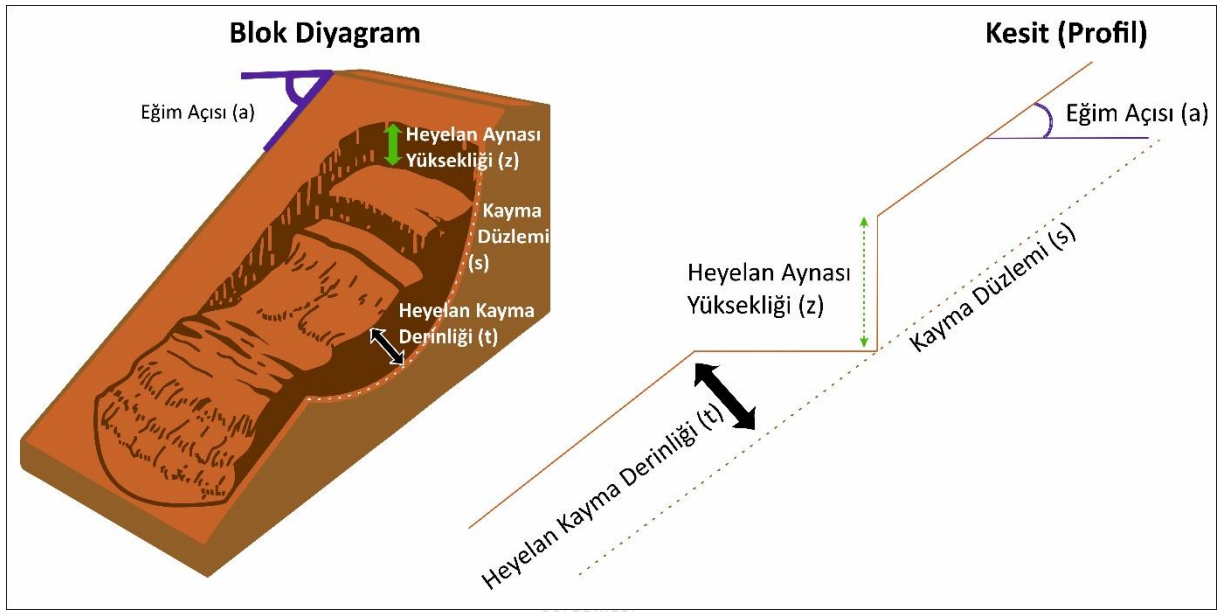


Şekil 4.9 Varnes (1978) kütle hareketleri tip sınıflaması (Causes 2001' den türkçeleştirilerek)

4.6.4.2 Kayma Derinliği

Heyelan kayma derinliklerinin hesaplanmasında Burns ve Madin (2009) tarafından önerilen protokolde yer alan heyelan aynası yüksekliği, ortalama eğim değeri ve sonrasında heyelan kayma derinliği değeri ArcGIS (v10.8) yazılımı kullanılarak hesaplanmıştır.

İlk etapta her bir heyelanın heyelan aynası yüksekliğinin hesaplanması için, farklı noktalardan en düşük ve en yüksek yükselti değerinin farkları alınmıştır. Sonrasında farklı noktalardan alınan yükselti değerlerinin ortalaması alınarak heyelan aynası yüksekliği tespit edilmiştir. Heyelan aynası yüksekliği tespit edildikten sonra ikinci adım olan ortalama eğim değerleri hesaplanmıştır. Eğim değerinin hesaplanmasında, heyelan oluşmadan önceki muhtemel yamaç eğiminin hesaplanması gerekmektedir. Bu değer, heyelana komşu olan deformasyon gelişmemiş yamaçtan alınan ortalama eğim değerinin hesaplanması ile bulunur (Şekil 4.10).



Şekil 4.10 Heyelan kayma derinliğinin hesaplanması işleminin blok diyagram ve profil gösterimi (Burns ve Madin 2009'dan yeniden düzenlenmiştir)

Heyelan derinlik sınıflamasında önceki çalışmalarda kayma derinliği sığ heyelanlar için < 2 m, derin heyelanlar için > 5 m (Sidle ve Ochiai, 2006) ya da sığ heyelanlar için ≤ 4 m, derin heyelanlar için > 4 m (Yılmaz, 2021) gibi farklı eşik değerler tanımlanmıştır, ancak genel kabul gören bir eşik değer mevcut değildir. Derinlik sınıflamasında literatürde sabit bir eşik değeri olmadığı için çalışmada Burns ve Madin (2009) tarafından önerilen protokol (Burns ve Madin, 2009; Slaughter vd., 2017) baz alınmış ve bu kapsamda yapılan heyelan derinlik (sığ-derin) sınıflamasında; 5 m eşik değeri olarak tanımlanmıştır.

4.6.4.3 Hacim ve Hız

Heyelanların hacimlerinin hesaplanmasında Burns ve Madin (2009) tarafından önerilen protokol takip edilmiştir. Bu kapsamda heyelan kayma derinliği (m) ile heyelan alanı çarpılarak (m^2) her bir heyelana ait hacim (m^3) değeri hesaplanmıştır (Burns ve Madin, 2009).

$$\text{Heyelan Hacmi } (L_v) = L_D \cdot L_A$$

Bu eşitlikte heyelan hacmi (L_v), kayma derinliğinin (L_D) heyelan alanı (L_A) ile çarpımından elde edilmektedir.

4.6.4.4 Aktivite Durumunun Tanımlanması

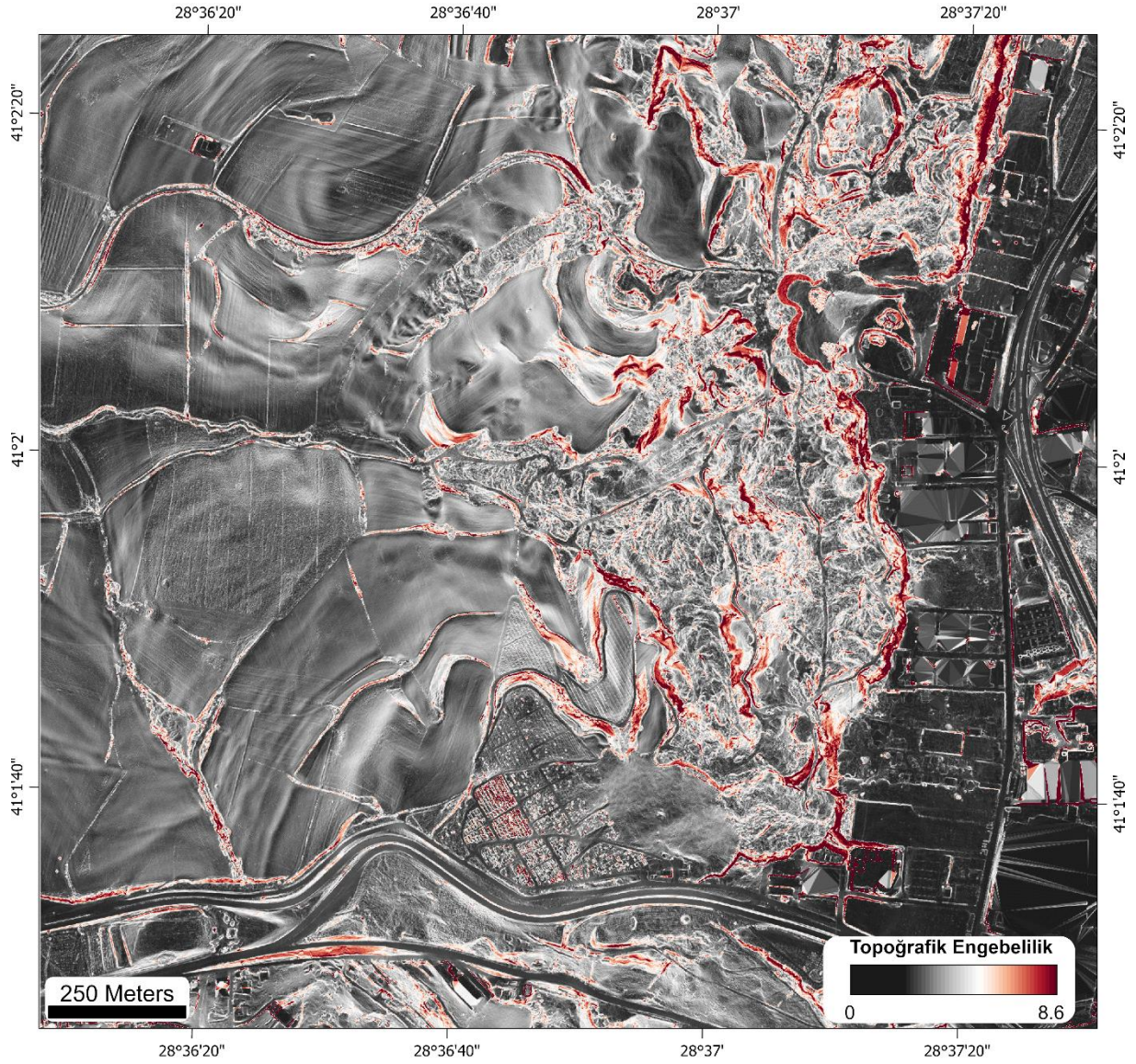
Çalışma kapsamında heyelanlara ait aktivite durumlarının tanımlanmasında ölçülebilen, objektif bir standart belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu bakımdan heyelanlara ait Topoğrafik Engebelilik İndeksi (TRI), heyelan aynasının ortalama yamaç eğimi ve heyelan içerisinde gelişen kanalların yoğunluğu hesaplanarak, bu parametrelere bağlı aktivite durum bilgisinin tespit edilmesi amaçlanmıştır.

4.6.4.4.1 Topoğrafik Engebelilik İndeksi

Riley vd., (1999) tarafından geliştirilen Topoğrafik Engebelilik İndeksi'nde (TRI) her piksel için, ilk olarak merkezdeki piksel ve etrafındaki sekiz piksele ait yükselti değerinin farkı bulunur. Sonrasında bulunan farkların kareleri alınır ardından toplanır ve tekrar kareleri alınır (Riley vd., 1999). Topoğrafik Engebelilik İndeksinde (TRI);

$$TRI = (\sum (z_c - z_i)^2)^2$$

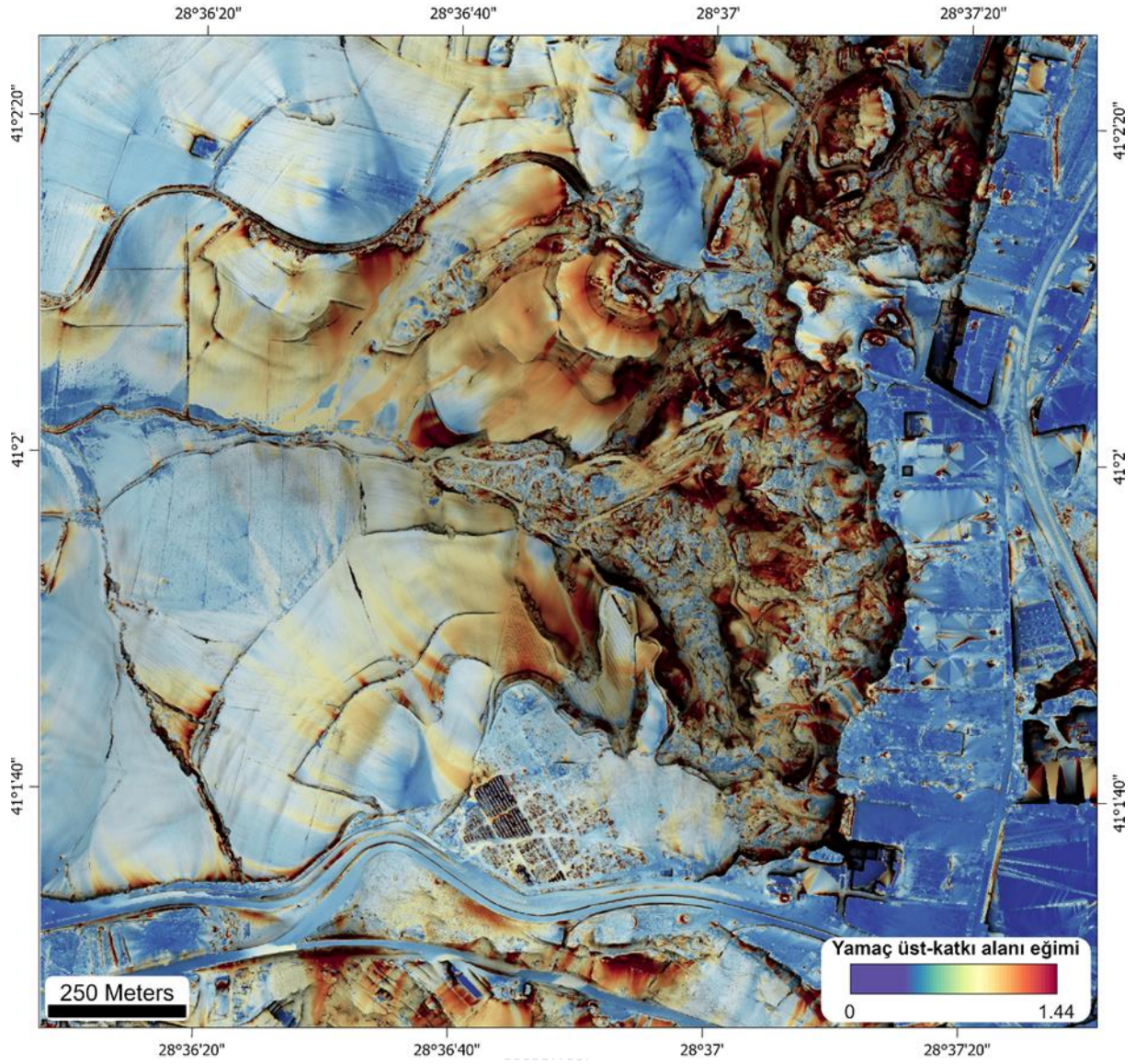
formülde z_c değeri merkezdeki pikselin yükselti bilgisini, z_i ise komşu sekiz pikselden birinin yükselti bilgisini temsil eder (Riley vd., 1999). Her bir heyelana ait morfolojik heterojenliğin tespit edilmesi için Topoğrafik Engebelilik İndeksi (TRI) üretilmiştir (Şekil 4.11).



Şekil 4.11 Çekmece gölleri etrafında gelişen heyelanlara ait Topoğrafik Engebililik İndeksi (TRI) haritası

4.6.4.4.2 Heyelan Aynasının Ortalama Eğimi

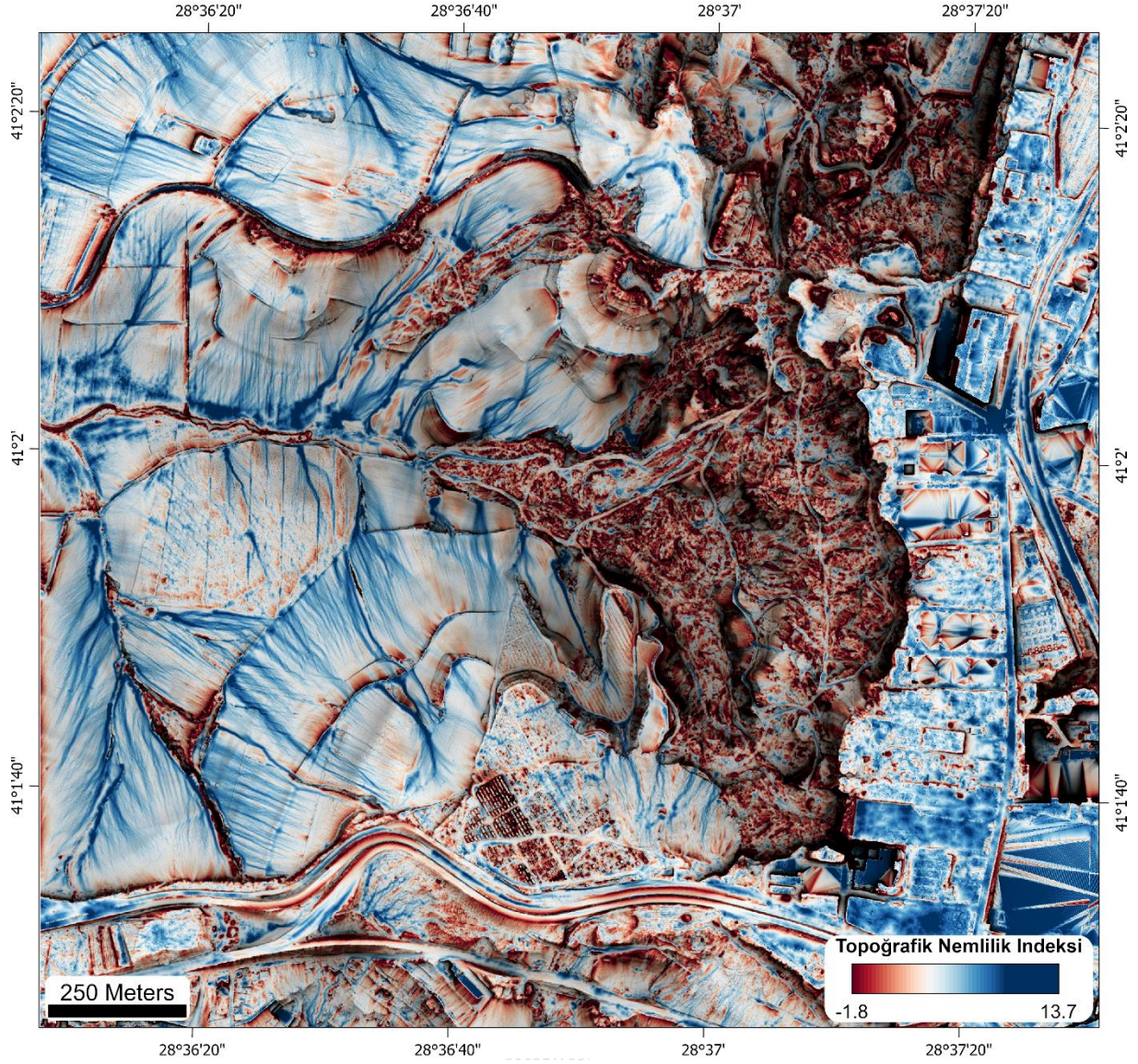
Heyelan aynasının yamaç eğimi ortalaması ArcGIS (v10.8) programı ile hesaplanmıştır. Parametrenin aktivite değerlendirmesine dahil edilmesinde, heyelan aynasının sarplığı ne kadar yüksek ise göreceli olarak heyelan aktivitesinin de yüksek olduğu kabulü esas alınmıştır (Şekil 4.12).



Şekil 4.12 Çekmece gölleri etrafında gelişen heyelanlara ait heyelan aynasının havza üst-katkı alanı ortalama eğim haritası

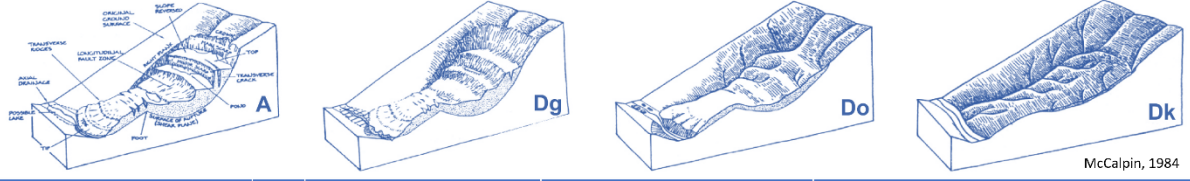
4.6.4.4.3 Kanal Yoğunluğu

Yüksek aktiviteye sahip bir heyelan birimi içerisinde kanal sisteminin gelişebilmesi için gerekli olan zaman faktörü göz önünde bulundurularak, kanal yoğunluğu değeri aktivite parametresi olarak belirlenmiştir. Heyelanlar içerisinde gelişmiş olan kanal sistemleri analiz edilmiştir. Her bir heyelan için, heyelan alanı içerisinde kalan kanal uzunluğunun heyelan alanına bölünmesi sonucu kanal yoğunluğu değerleri hesaplanmıştır (Şekil 4.13).



Şekil 4.13 Çekmece gölleri etrafında gelişen heyelanlara ait Topoğrafik Nemlilik indeksi haritası

Heyelan aktivitesinin belirlenmesinde kullanılan üç parametre her bir heyelan için ayrı ayrı hesaplanarak analiz edilmiştir. Morfolojik göstergelere bağlı olarak yapılan değerlendirmeler sonucunda heyelan aktivite durumu McCaillin, 1984 tarafından önerilen heyelan aktivite durum sınıfları (Aktif veya Yeniden aktive olmuş, Duraklamış-genç, Duraklamış-olgun, Duraklamış-kalıntı) baz alınarak envantere kaydedilmiştir (Şekil 4.14).



Aktivite Durumu	Kod	Ana Heyelan Yarası (Ayna)	Yanal Heyelan Yarası (Ayna)	Gövde
Aktif veya Yeniden aktive olmuş	A	Keskin	Keskin	Drene olmamış depresyonlar; köşeli keskin bloklar ve engebellik düzeyi yüksek bir morfoloji; yamaç eğimleri değişken çoğu yerde kaotik
Duraklamış-genç	Dg	Belirgin fakat keskin değil; sığ ve (veya) gerileyen karakterde yenilmeler içeren	Belirgin fakat keskin değil; sığ yenilmeler içeren; ana gövdeyi besleyen yanal drenaj kanalları; dere sistemlerinin sığ kaymalar eşliğinde derine aşınımın gözlenebildiği kesimler	Drene olmamış ve kısmen dreneja açılmış depresyonlar; yamaç eğimi azalmış diklikler ile ayrılmış bloklar içeren engebeli morfoloji; sığ yenilmeler içeren aşırı dikleşmiş tali aynalar (dış bükey yamaç profil özelliğini koruyan)
Duraklamış-olgun	Do	Aşınımına bağlı olarak yamaç eğimi azalmış fakat halen morfoloji belirgin	Yamaç eğimi azalmış fakat ana ayna belirgin; yan kollarla beslenen ve gövdeye doğru genişleme eğiliminde olan dereler	Drene olmayan başlamış fakat kesintili (süreksiz) drenaj deseni; belirgin olarak yatıklaştırılmış yamaç morfolojisi
Duraklamış-kalıntı	Dk	Heyelan morfolojisi belirsiz hale gelmiş ve akarsularla parçalanmış (aşırı aşınım uğramış)	Yanal (kanat yamaçlar) sınırların belirsizleştiği ve aşınım sonucu yuvarlaklaştırılmış morfoloji	Tipik drenaj deseni ve koşulları gözlenir; yumuşak ve hafif dalgalı bir morfolojiye sahiptir

Şekil 4.14 Heyelan aktivite durumları ve morfolojik göstergeleri (McCalpin 1984' den Türkçeleştirilerek)

4.7 Saha Çalışmaları ile Envanter Kontrolleri ve Doğrulaması

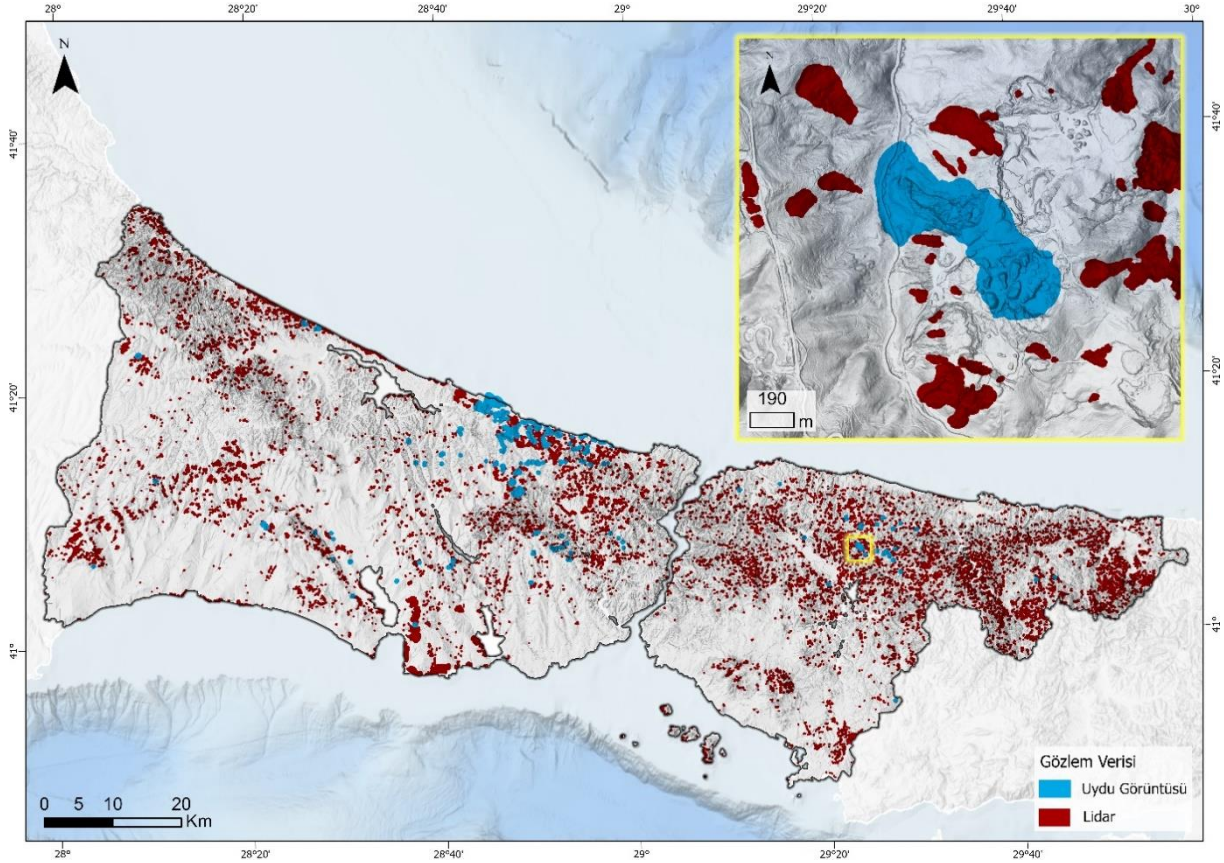
Ofis ortamından Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Uzaktan Algılama metotları kullanılarak haritalanan heyelanların anahtar lokalitelerde jeomorfoloji temelli saha kontrolleri yapılarak, haritalamada yaşanabilecek problemlerin önüne geçilmesi hedeflenmiştir. Yine saha çalışması ile haritalama sonrasında yüzey morfolojisinde ya da arazi kullanımında herhangi bir değişiklik yapılmış ise bu bilgi envantere kaydedilerek, heyelan envanterinin doğruluk ve hassasiyetinin artırılması hedeflenmiştir.

5 SONUÇLAR

5.1 İstanbul Metropolitan Alanı Heyelan Envanteri

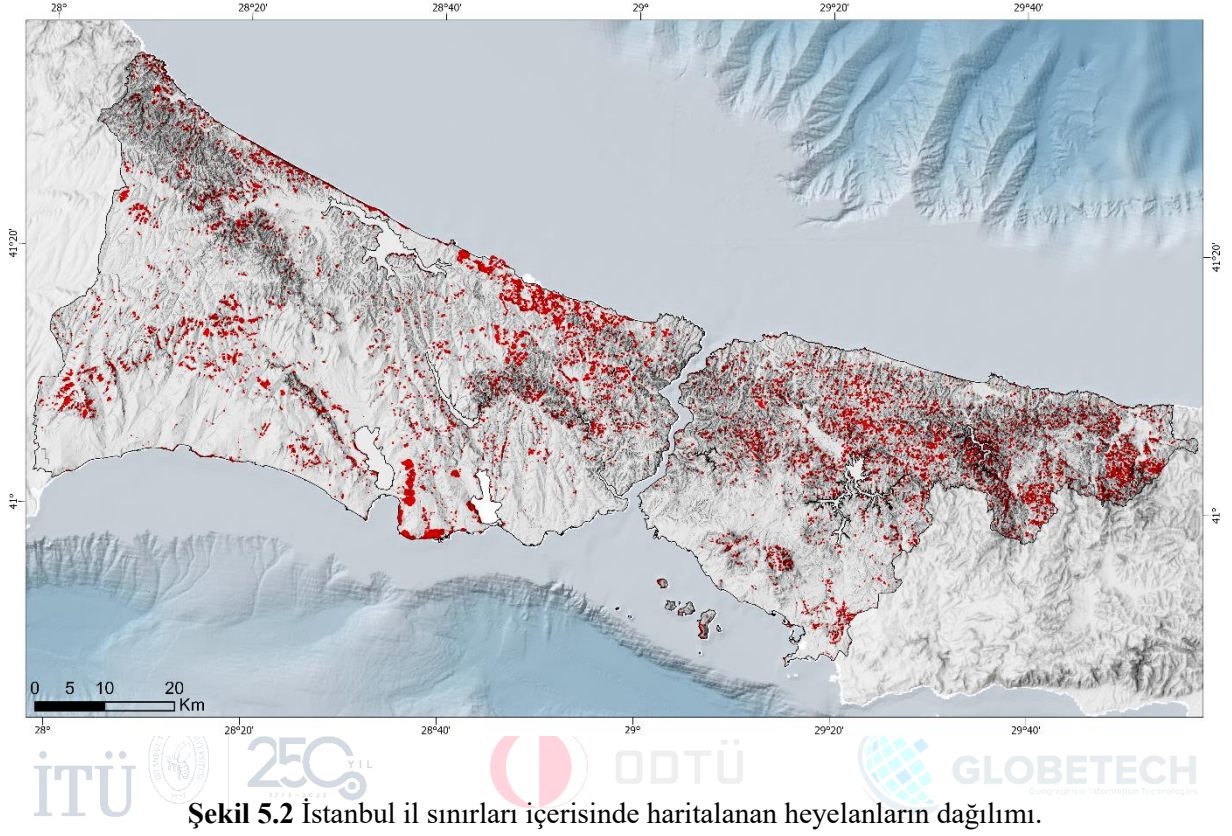
Heyelan envanteri kapsamında LiDAR Sayısal Yükselti Modeli (DEM) verisi kullanılarak toplamda 17296 adet heyelan haritalanmıştır. Envanterdeki veri doğruluğunun ve zamansal çözünürlüğün artırılması açısından il sınırlarını kapsayacak şekilde 2013 yılından günümüze kadarki yılları kapsayan uydu görüntüleri üzerinden tekrar kontrol edilmiş ve bunun kapsamda

468 adet heyelan haritalanmıştır. Bu kontrol özellikle şehrsel alanın gelişimi, doğal ve antropojenik etkenler göz önüne alındığında dinamik bir süreç olan heyelanların tanımlanmasında son derece önem arz etmektedir. Özellikle bitki örtüsü seyrek alanlarda ya da antropojenik etkenlerle oluşmuş heyelanlar bu kapsamda haritalanarak envantere kaydedilmiştir (Şekil 5.1).



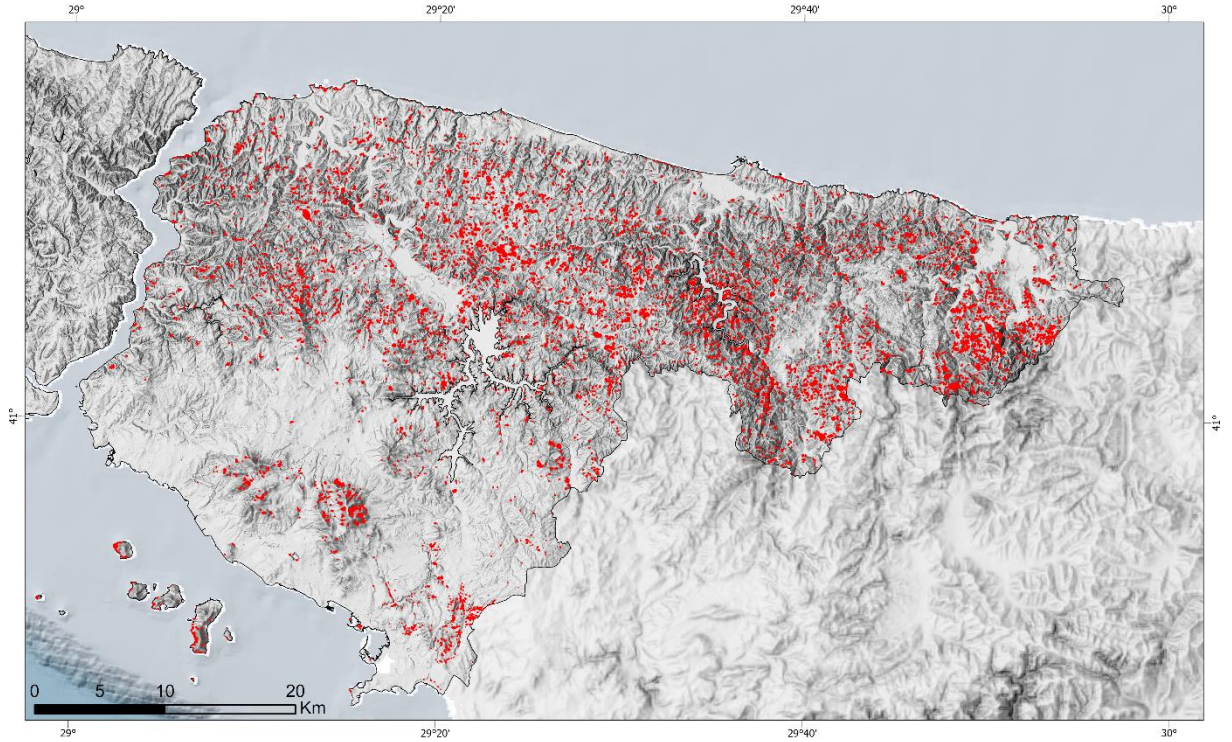
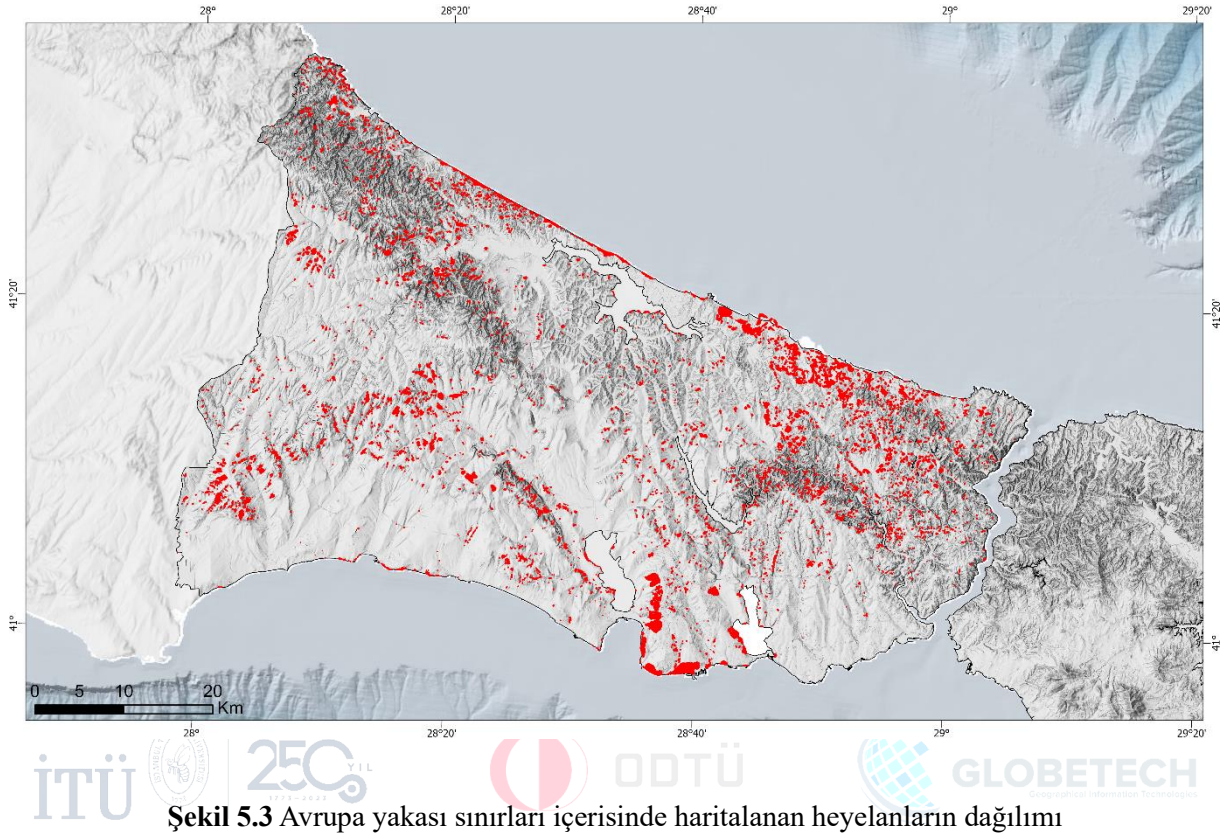
Şekil 5.1 Heyelanların haritalanmasında kullanılan altlıklara göre heyelanların dağılışı. 2013 LiDAR DEM verisinde olmayıp 2021 yılına ait uydu görüntüleri kullanılarak tespit edilen ve haritalanan, Avcıkoru/Şile yakınlarında hafriyat döküm alanında gelişen heyelan

Çalışma kapsamında İstanbul il genelinde 5345 km² 'lik alanda toplamada 17764 adet heyelan haritalanmıştır (Şekil 5.2).



Haritalanan heyelanların 9447 adeti Avrupa yakasında, 8317 adeti ise Anadolu yakası ve adalarda bulunmaktadır (Şekil 5.3).





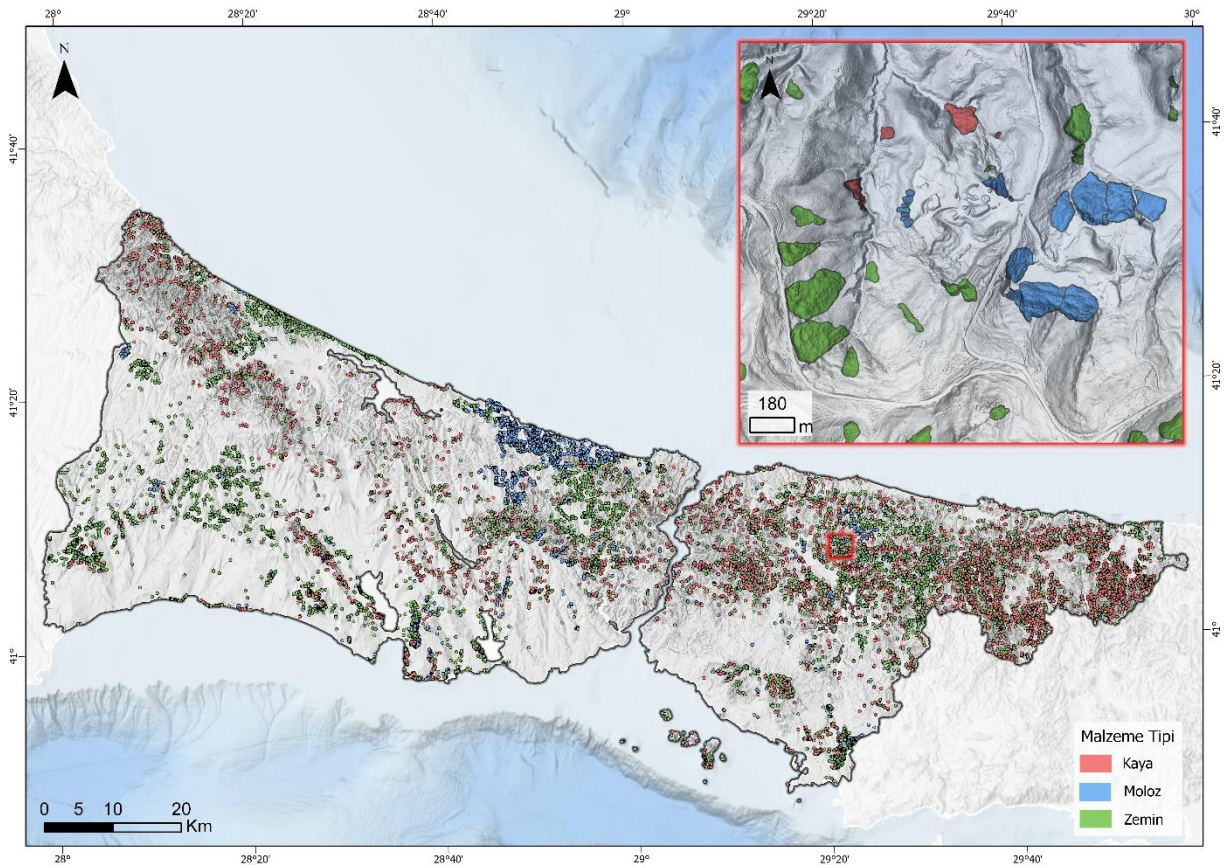
Şekil 5.4 Asya yakası ve Adalar sınırları içerisinde haritalanan heyelanların dağılımı

Heyelan tip sınıflaması kapsamında 13569 adet kayma, 2821 adet akma ve 1374 adet ise karmaşık (kayma+akma) tipinde heyelan olduğu saptanmıştır (Şekil 5.5). Bu bağlamda İstanbul

Hareket eden malzeme tipine göre ise 6634 adet heyelan kaya, 2563 adet heyelan moloz ve 8567 adet heyelan ise zemin sınıfı içerisinde yer aldığı tespit edilmiştir (Şekil 5.6). Malzeme tipi moloz olarak nitelendirilen alanların tanımlanmasında, İBB tarafından hazırlanan arazi kullanımı altlıklarından yararlanılmıştır. Bu kapsamda genel olarak yapay dolgu, ocak ve hafriyat alanları bu sınıflamanın içerisine dahil edilmiştir. Bu tip alanlar antropojenik faaliyetlere bağlı olarak deformasyon ve birikim zonlarını temsil ettikleri için heyelanlar açısından duyarlı alanları temsil etmektedirler. Bu sınıflamada ayrıca taneli birimler genel

olarak zemin ortamları, gevşek çimentolanmış ya da iyi sıkılaştırılmış birimler kaya ortamları temsil etmektedir.

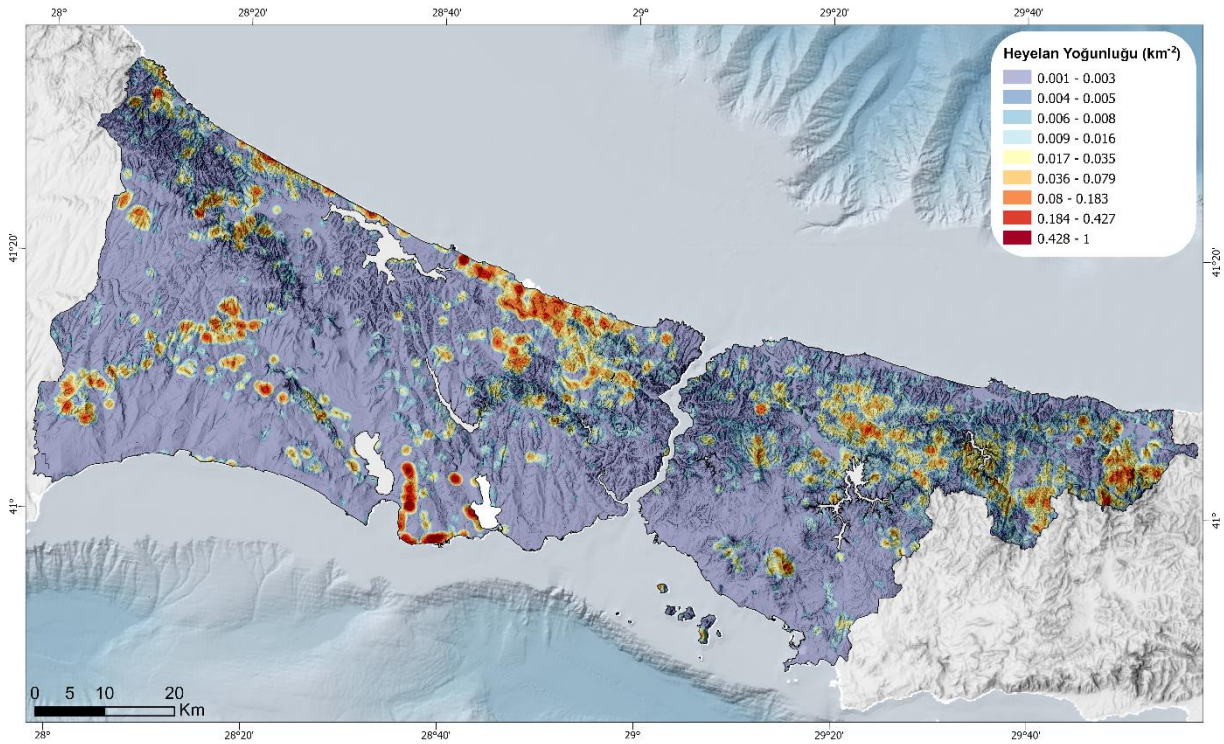
Heyelan envanterinde tanımlanan hareket tipi ve malzeme tipi katmanlarının birleştirilmesi ile heyelan “hareket kod” katmanı oluşturulmuştur. Bu katman içerisinde heyelanlar KK (Kaya Kayması), MA (Moloz Akması), MK (Moloz Kayması), MK+MA (Moloz Kayması + Moloz Akması), ZA (Zemin Akması), ZK (Zemin Kayması) ve ZK+ZA (Zemin Kayması + Zemin Akması) olarak sınıflanmıştır.



Şekil 5.6 Heyelan malzeme tipi dağılışı haritası. Şekildeki örneklem penceresinde 3 farklı malzeme tipi bir arada gözlemlenmektedir

Heyelanların yoğunlaştığı alanları tespit etmek için çalışma alanından Kernel Density metodu ile yoğunluk analizi yapılmıştır. Bu analiz sonucunda km^2 başına düşen heyelan sayısına göre envanter normalize edilmiş ve bunun sonucunda özellikle çalışma alanı içerisindeki antropojenik faaliyetlerin yoğunlukta olduğu alanlar heyelan varlığının çoğunlukta olduğu

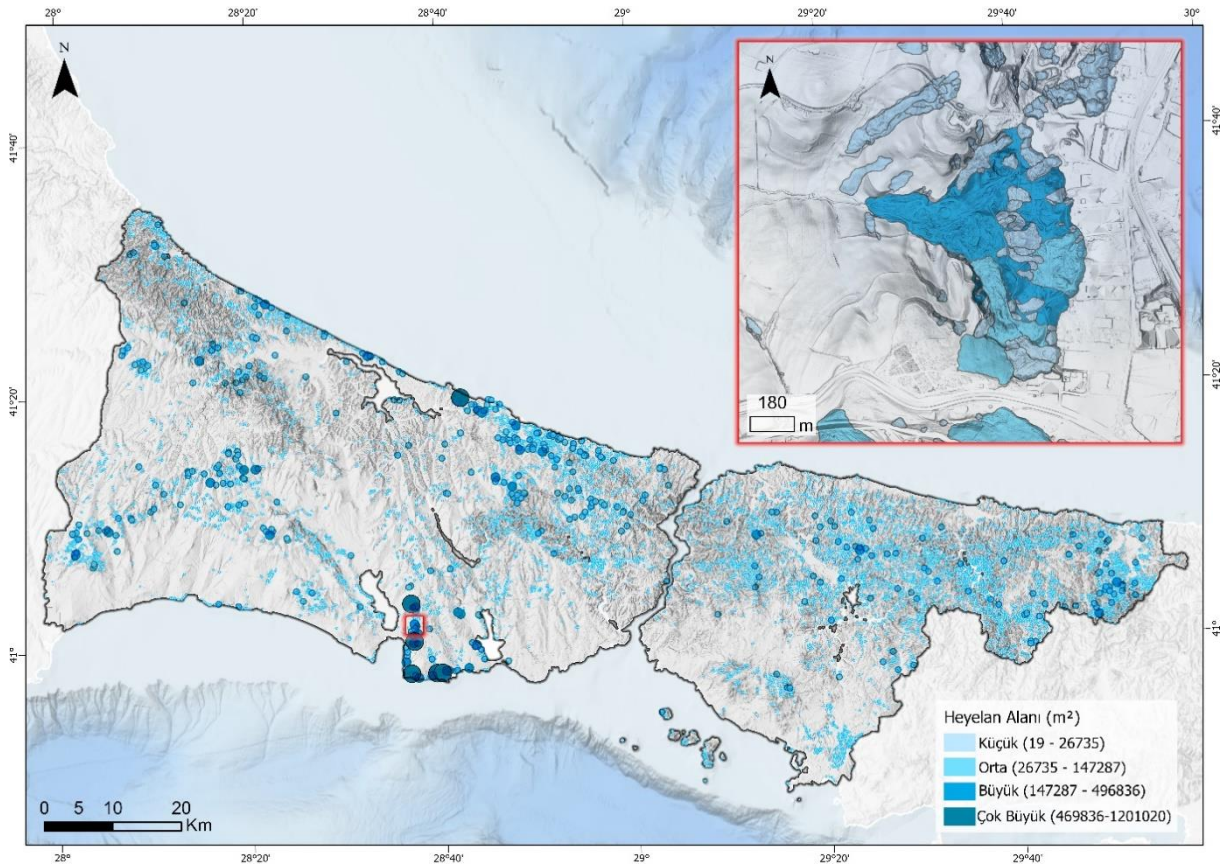
alanları temsil etmektedir. Bu açıdan bakıldığında özellikle Çekmece Göllerinin etrafı, Avrupa yakası kuzey kıyı kuşağı, Terkos Gölü çevresi, otoyol, havalimanı gibi İstanbul içerisinde kalan yapıların çevresi, özellikle kuzeydeki maden ve dolgu sahalarının çevresi, heyelanların sıklıkla görüldüğü alanları temsil etmektedir. Bunun yanında Yerleşim alanlarının geniş alanlar kapladığı ve yapılaşmanın yoğun olduğu alanlarla, arazi kullanımı açısından ormanlık alanlar heyelan yoğunluğunun az olduğu alanları temsil etmektedir (Şekil 5.7).



Şekil 5.7 İstanbul heyelanlarının, km² başına normalize edilmiş yoğunluk dağılımı haritası

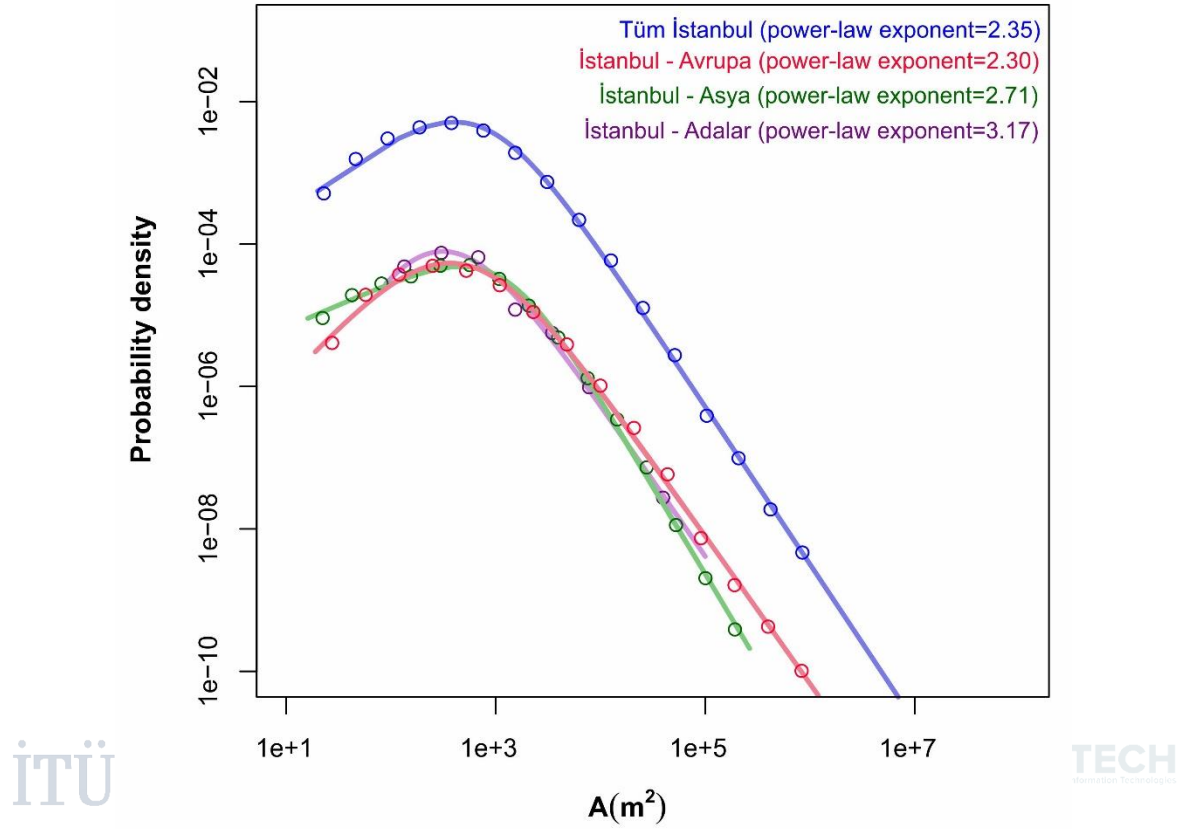
Heyelan alanları dört ayrı sınıfta (küçük-orta-büyük-çok büyük) temsil edilecek şekilde istatistiksel olarak Doğal Kırılma (Natural Breaks) metodu kullanılarak gruplandırılmıştır. Bu kapsamda çalışma alanı içerisinde toplam yüzey alanı olarak en büyük alan kaplayan heyelan tipi, 65 km² toplam yüzey alanı ile kaymalar, ikinci olarak 7,52 km² ile karmaşık (kayma bileşenli akmalara) ve en küçük toplam yüzey alanı ise 6,48 km²'lik toplam yüzey alanıyla akmalara aittir. Alansal açıdan en büyük yüzey alanına sahip heyelanın 1,2 km² ile kayma tipinde, en küçük heyelanın ise 19 m² ile akma tipinde olduğu tespit edilmiştir. Heyelanların

yüzey alanları küçük, orta, büyük ve çok büyük olarak dört sınıfa ayrılmıştır. Bu sınıflama sonucunda 19 m² ile 26735 m² arası yüzey alanına sahip 17369 adet heyelanın küçük sınıfı içerisinde, 26735 m² ile 147287 m² arası yüzey alanına sahip 356 adet heyelanın orta sınıfı içerisinde, 147287 m² ile 469836 m² arası yüzey alanına sahip 32 adet heyelanın büyük sınıfı içerisinde ve 469839 m² ile 1201020 m² arası yüzey alanına sahip 7 adet heyelanın ise çok büyük sınıfı içerisinde yer aldığı tespit edilmiştir (Şekil 5.8).



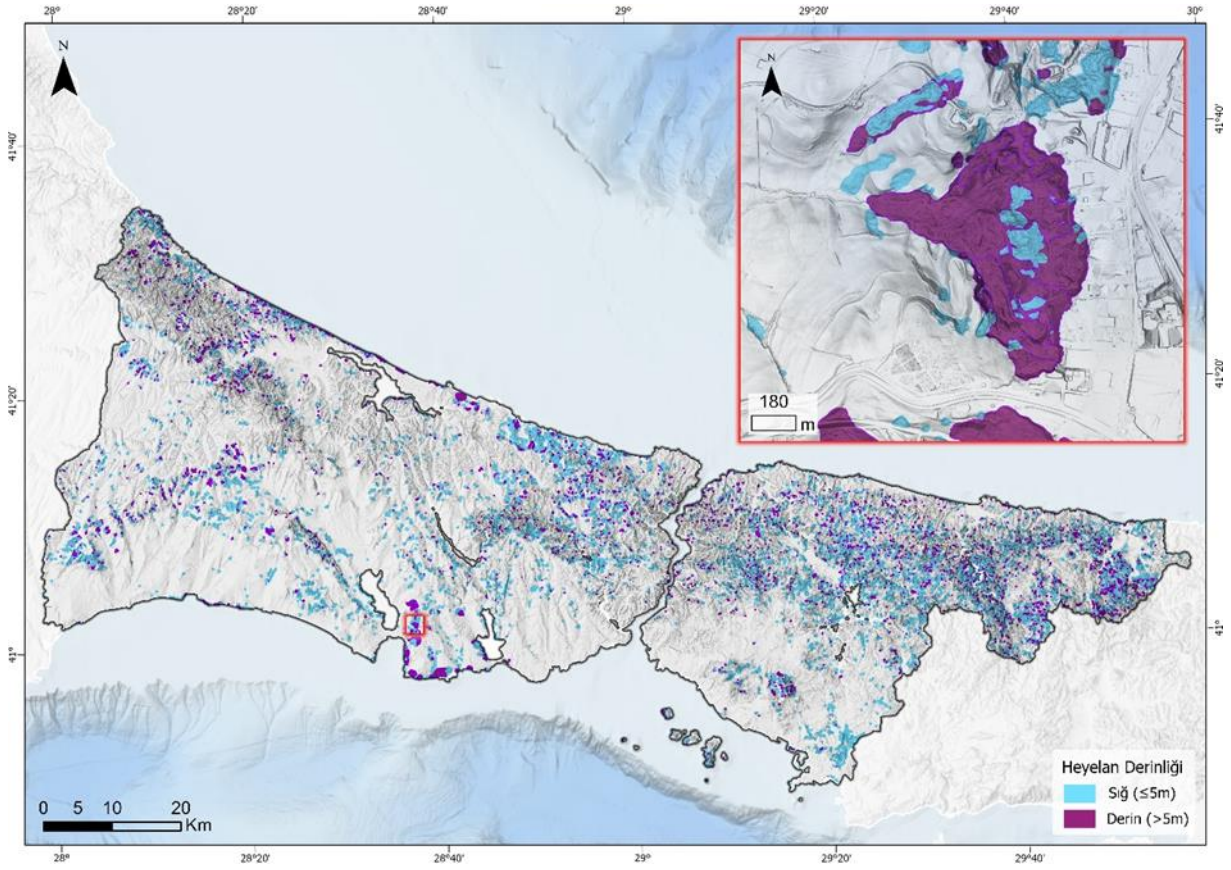
Şekil 5.8 Heyelanların alansal büyüklüklerine göre dağılışı. Şekildeki örneklem penceresinde TÜYAP bölgesindeki heyelanlara ait alansal büyüklük dağılımı yer almaktadır

Heyelanlara ilişkin frekans ve büyüklük analizleri Power-law üstel ilişkileri kapsamında hesaplanmıştır. Bu ilişkiler kapsamında İstanbul Avrupa yakasındaki heyelanların diğer alanlara göre alansal bakımdan daha büyük heyelan oluşturma olasılığına sahip olduğu belirlenmiştir. Buna karşın ortalama heyelan büyüklüklerinin olasılıkları benzer bir Power-law üstel ilişkisine sahiptir (Şekil 5.9).



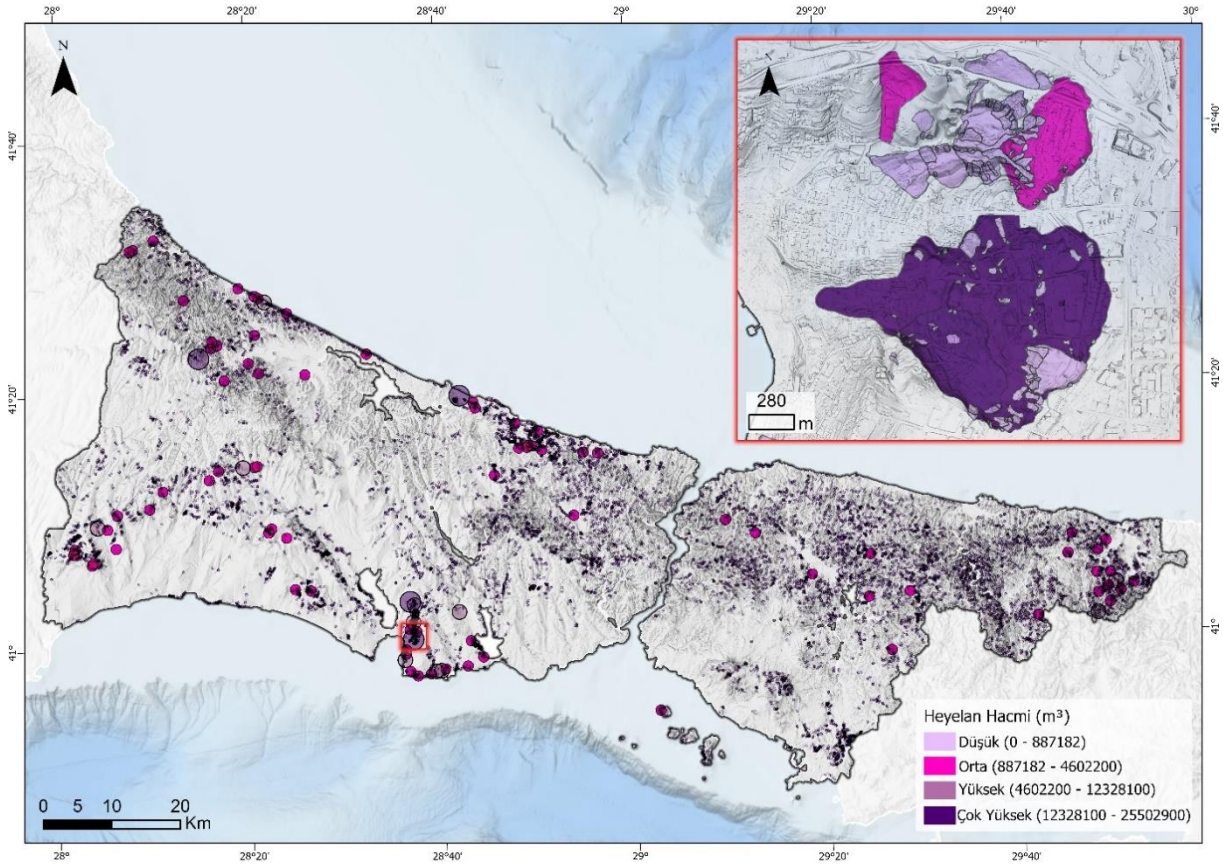
Şekil 5.9 Heyelanlara ait frekans ve büyüklüklerine ilişkin Power-law üstel ilişkileri

Heyelan derinlik hesaplaması kapsamında yapılan analizlere bağlı olarak 5 m’lik kayma derinliği eşik değeri baz alındığında, heyelan derinliği 5 m’ye eşit ya da altında değer alan heyelanlar sığ, 5 m’den büyük olan heyelanlar derin olarak tanımlanmıştır. Bu kapsamda haritalanan heyelanların 11968 adeti sığ grubu içerisinde, 5796 adetinin ise derin sınıfı içerisinde yer aldığı tespit edilmiştir (Şekil 5.10).



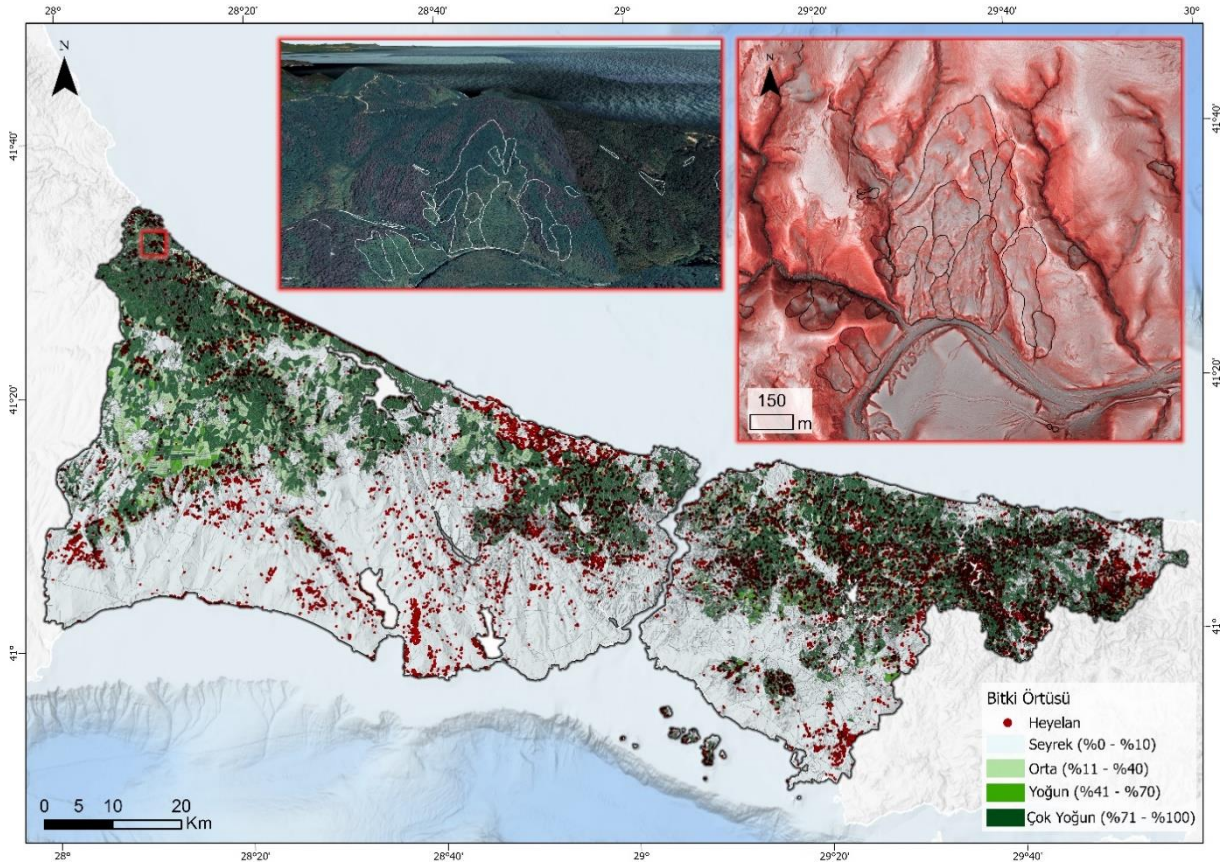
Şekil 5.10 Heyelanların derinlik sınıflarına göre dağılışı. Şekildeki örneklem penceresinde TÜYAP bölgesindeki heyelanlara ait heyelan derinlik bilgisi yer almaktadır

Heyelan alan ve heyelan derinlik hesaplamalarına bağlı olarak bu iki sayısal değerin çarpılması (Heyelan Alanı x Heyelan Derinliği) sonucu heyelan hacim bilgisi hesaplanmıştır. Bu kapsamda heyelan hacim bilgisi düşük orta yüksek ve çok yüksek olarak sınıflanmıştır. Hareket eden kütlelerin hacmine göre 17657 heyelan düşük, 90 heyelan orta, 13 heyelan yüksek ve 4 heyelan çok yüksek sınıfı içerisinde hesaplanarak heyelan envanterine kaydedilmiştir (Şekil 5.11).



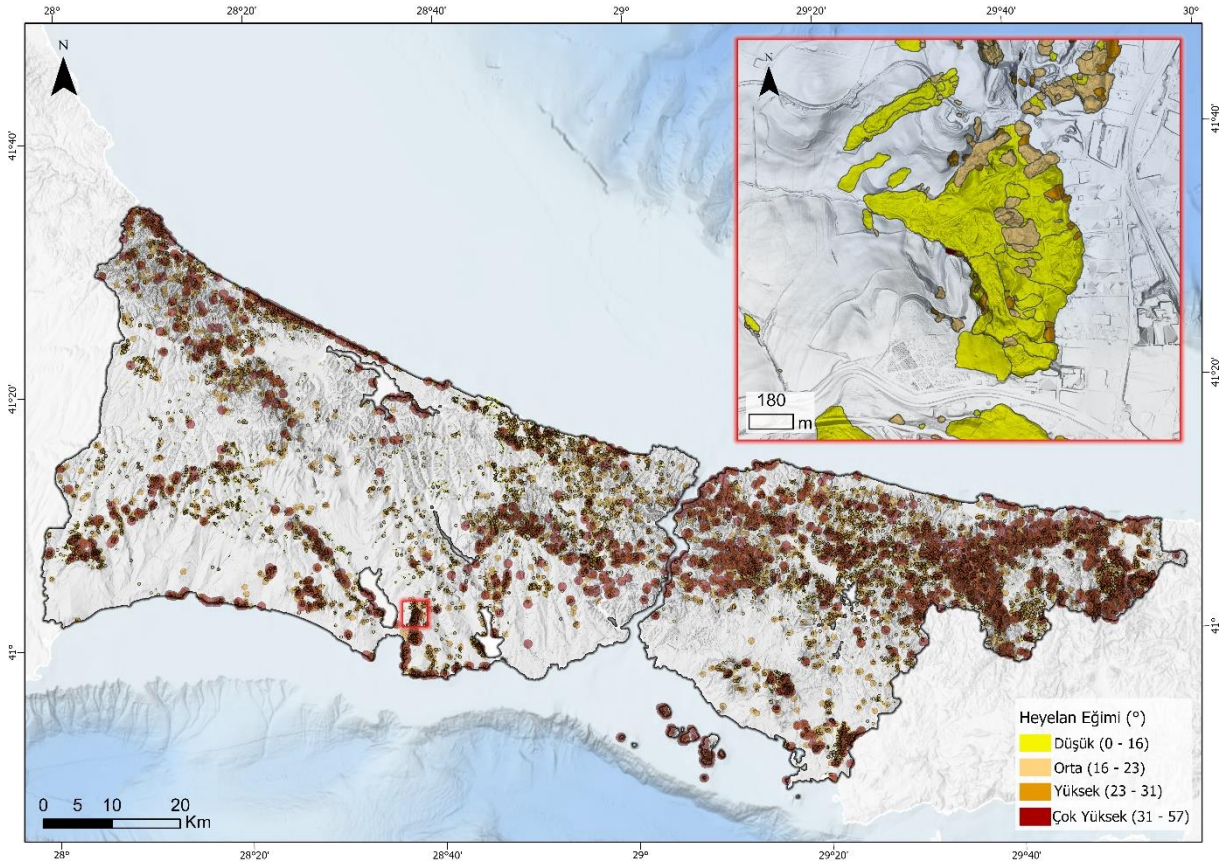
Şekil 5.11 Heyelanların hacim sınıflarına göre dağılışı. Şekildeki örneklem penceresinde Büyükçekmece bölgesindeki heyelanlara ait heyelan hacim bilgisi yer almaktadır

Heyelanların haritalanması bitki örtüsünün özellikle yoğun ve çok yoğun olduğu alanlarda, bitki örtüsünün yüzey morfolojisini tamamen örtmesi nedeniyle son derece zordur. Bu tür alanlarda LiDAR teknolojisini sunduğu nokta bulutu sınıflandırma yöntemi ile bitki örtüsünü yüzeyden kaldırılması sonucu hassas haritalama yapmasını olanak sağlamaktadır. İl sınırları içerisinde haritalanan heyelanların bitki örtüsü yoğunluk verisi ile sınıflandırılması sonucunda 8227 adet heyelanın seyrek, 2103 heyelanın orta, 198 heyelanın yoğun ve 7236 heyelanın çok yoğun bitki örtüsü sınıfı içerisinde yer aldığı saptanmıştır (Şekil 5.12). Şehrin özellikle Kuzey, Kuzeydoğu ve Kuzeybatı bölgelerindeki ormanlık alanlarda yoğunlaşan bitki örtüsüne bağlı olarak bu alanlarda yüzey morfolojisinin tanımlanması neredeyse imkansız hale gelmektedir. Sınıflama sonucunda heyelan envanterinin yaklaşık %50'lik kısmını temsil eden 7434 adet heyelanın tıpkı bu alanlarda olduğu gibi yoğun ve çok yoğun bitki örtüsü varlığının bulunduğu alanlarda gözlemlenmesi LiDAR yönteminin haritalamadaki önemini bir kez daha göstermektedir.



Şekil 5.12 Heyelanların bitki örtüsü yoğunluk sınıflarına göre dağılışı. Şekildeki örneklem penceresi orman örtüsü altındaki heyelanın tanımlama güçlüğüne ifade etmektedir

Heyelanların özellikle aktivite durumlarının temsil edilmesinde önemli bir veri kaynağı olan heyelan alanı içerisinde hesaplanan ortalama eğim değeri her bir heyelan için hesaplanmıştır. Bu kapsamda ortalama eğim değerleri düşük ($0-16^\circ$), orta ($16-23^\circ$), yüksek ($23-31^\circ$) ve çok yüksek ($31-57^\circ$) olarak dört sınıfa ayrılmıştır. Ortalama eğim hesaplaması sonucunda 4114 heyelanın düşük, 6376 heyelanın orta, 5053 heyelanın yüksek, 2221 heyelanın ise çok yüksek eğim sınıfı içerisinde yer aldığı tespit edilmiştir (Şekil 5.13). Özellikle akarsu vadilerindeki yan yamaçlarda, Kuzey kıyılarında, nispeten Avrupa yakasının güney kıyılarında, Kuzeybatı ve Kuzeydoğuda yer dağlık tepelik ve ormanlık alanlarda heyelanlar yüksek ve çok yüksek eğim değerleri ile temsil edilmektedir.



Şekil 5.13 Heyelanların ortalama eğim sınıflarına göre dağılışı. Şekildeki örneklem penceresinde TÜYAP bölgesindeki heyelanlara ait heyelan ortalama eğim bilgisi yer almaktadır

Yukarıda belirtilen analizler sonucunda 14 adet öznitelik bilgisi 17764 adet heyelanın her biri için hesaplanarak heyelan envanterlerine kaydedilmiştir.

5.2 İlçelere Göre Heyelan Envanterleri

5.2.1 Adalar ilçesi Heyelan Envanteri

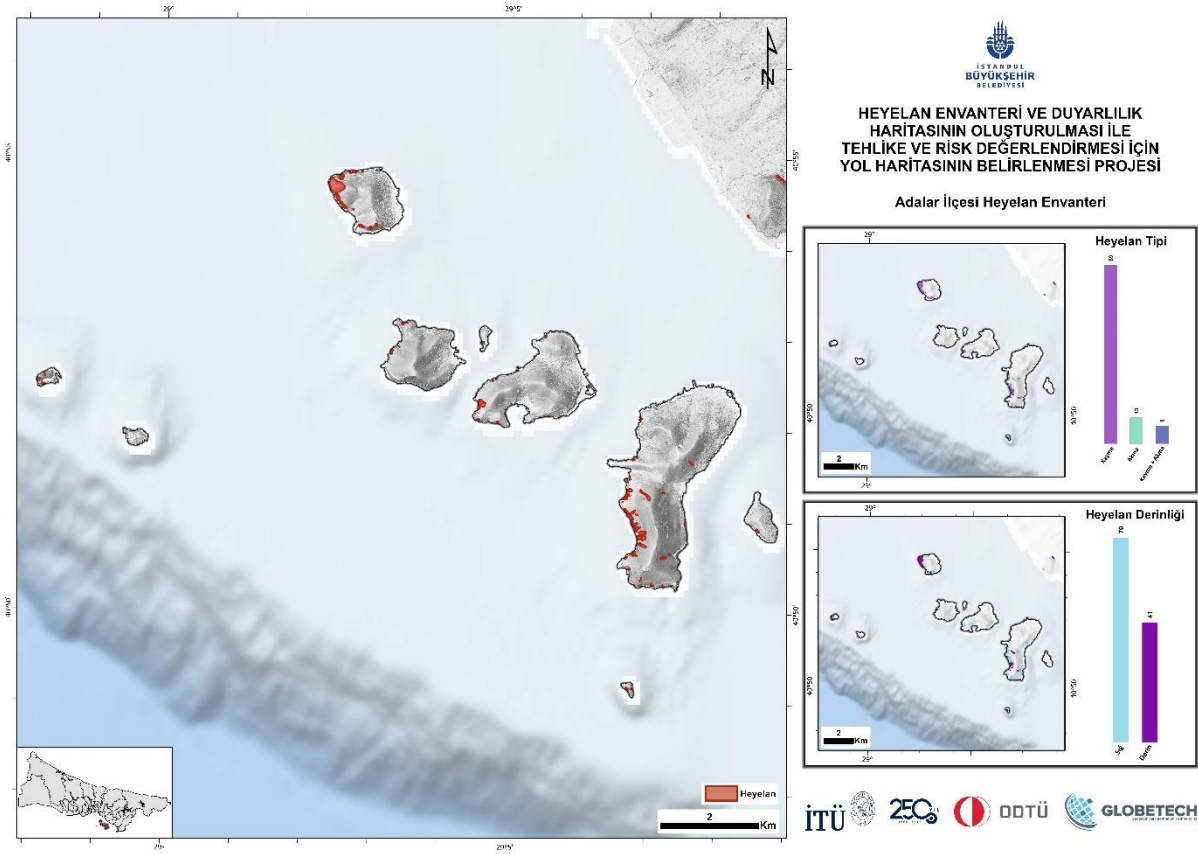
Adalar ilçesi sınırları içerisinde heyelan envanteri kapsamında 111 adet heyelan haritalanmıştır. Heyelanların tamamı 2013 LiDAR Sayısal Yükselti Modeli (DEM) verisi kullanılarak haritalanmıştır.

İlçe sınırları içerisinde heyelan hareket tip dağılımına bakıldığında, 89 adet kayma, 13 adet akma ve 9 adet ise karmaşık (kayma+akma) tipinde heyelan olduğu saptanmıştır (Şekil 5.14). Çalışma alanındaki heyelan tip deseninde hakim hareket tipi, kayma tipindeki heyelanlardır.

Hareket eden malzeme tipine göre ise 39 adet heyelan kaya, 15 adet heyelan moloz ve 57 adet heyelan ise zemin sınıfı içerisinde yer aldığı tespit edilmiştir.

Adalar ilçe sınırları içerisinde haritalanan heyelanların 70 adetinin sıg, 41 adetinin ise derin heyelan olduğu tespit edilmiştir (Şekil 5.14).

İlçe genelinde heyelanların haritalandığı alanlardaki bitki örtüsü yoğunluk sınıflarına göre dağılımına bakıldığında 44 adet heyelanın seyrek, 13 heyelanın orta, 11 heyelanın yoğun ve 43 heyelanın çok yoğun bitki örtüsü sınıfı içerisinde yer aldığı saptanmıştır.



Şekil 5.14 Adalar ilçesi heyelan envanter haritası

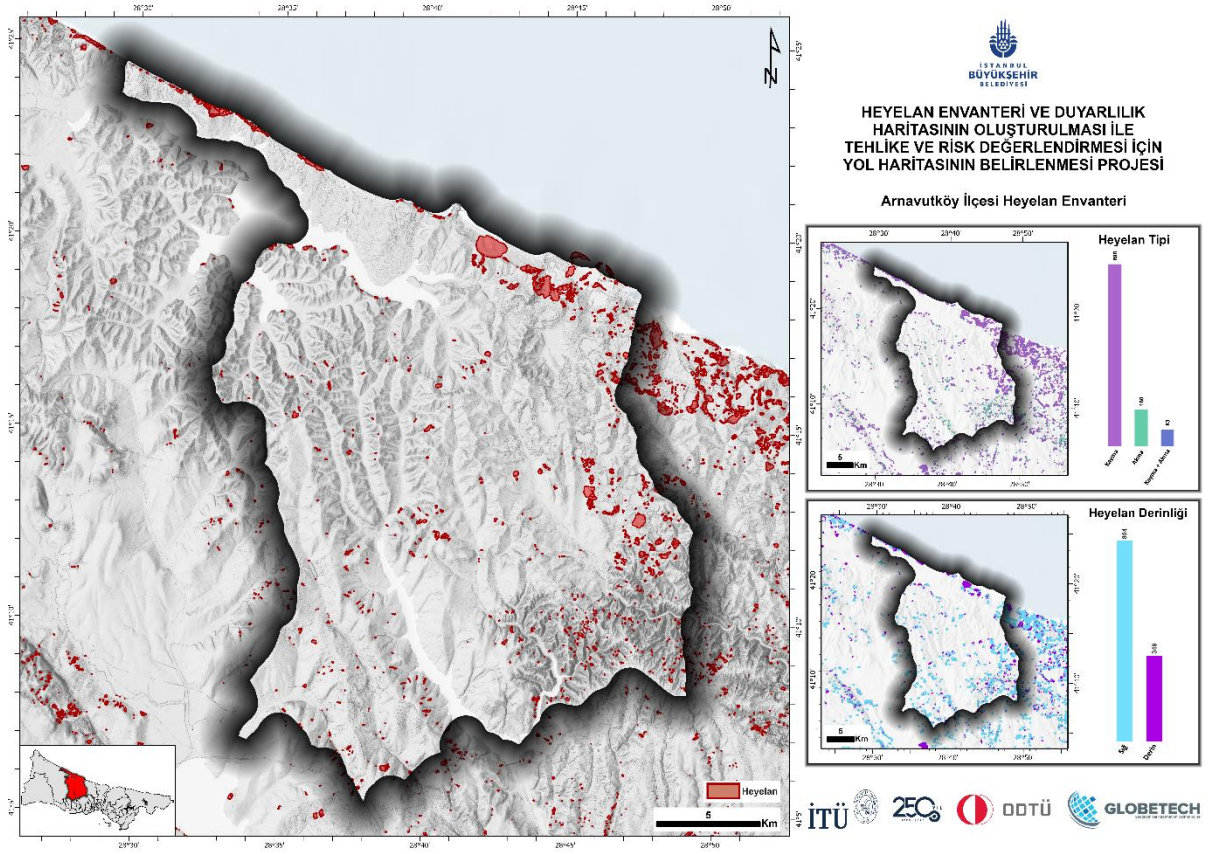
5.2.2 Arnavutköy ilçesi Heyelan Envanteri

Arnavutköy ilçesi sınırları içerisinde heyelan envanteri kapsamında 1153 adet heyelan haritalanmıştır. Heyelanların 962 adeti 2013 LiDAR Sayısal Yükselti Modeli (DEM) verisi kullanılarak, 191 adeti ise 2013 sonrası ortofoto ve uydu görüntüleri kullanarak haritalanmıştır.

İlçe sınırları içerisinde heyelan hareket tip desenin dağılışına bakıldığında, 890 adet kayma, 180 adet akma ve 83 adet ise karmaşık (kayma+akma) tipinde heyelan olduğu saptanmıştır (Şekil 5.15). Çalışma alanındaki heyelan tip deseninde hakim hareket tipi, kayma tipindeki heyelanlardır. Hareket eden malzeme tipine göre ise 310 adet heyelan kaya, 421 adet heyelan moloz ve 422 adet heyelan ise zemin sınıfı içerisinde yer aldığı tespit edilmiştir.

Arnavutköy ilçe sınırları içerisinde haritalanan heyelanların 804 adetinin sıg, 349 adetinin ise derin heyelan olduğu tespit edilmiştir (Şekil 5.15).

İlçe genelinde heyelanların haritalandığı alanlardaki bitki örtüsü yoğunluk sınıflarına göre dağılımına bakıldığında 702 adet heyelanın seyrek, 75 heyelanın orta, 11 heyelanın yoğun ve 365 heyelanın çok yoğun bitki örtüsü sınıfı içerisinde yer aldığı saptanmıştır.



Şekil 5.15 Arnavutköy ilçesi heyelan envanter haritası

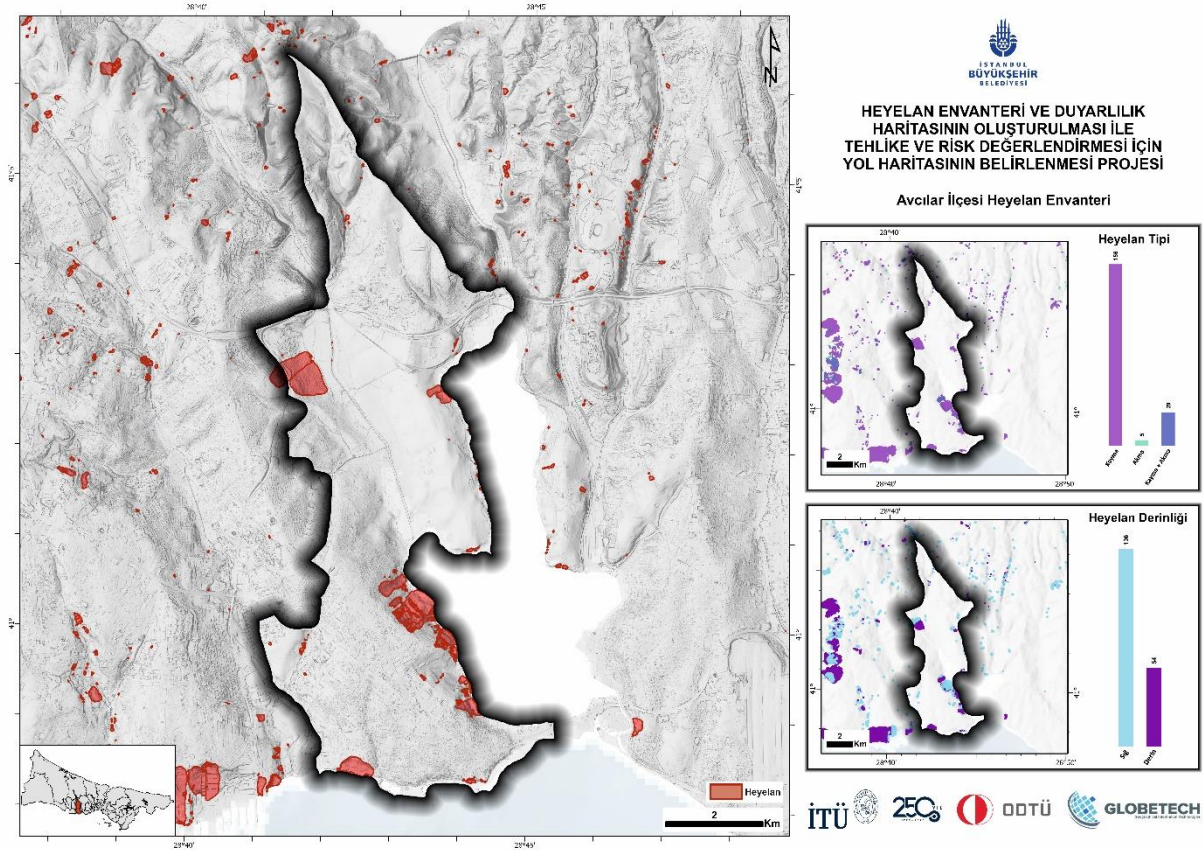
5.2.3 Avcılar ilçesi Heyelan Envanteri

Avcılar ilçesi sınırları içerisinde heyelan envanteri kapsamında 190 adet heyelan haritalanmıştır. Heyelanların tamamı 2013 LiDAR Sayısal Yükselti Modeli (DEM) verisi kullanılarak haritalanmıştır.

İlçe sınırları içerisinde heyelan hareket tip deseninin dağılışına bakıldığında, 156 adet kayma, 5 adet akma ve 29 adet ise karmaşık (kayma+akma) tipinde heyelan olduğu saptanmıştır (Şekil 5.16). Çalışma alanındaki heyelan tip deseninde hakim hareket tipi, kayma tipindeki heyelanlardır. Hareket eden malzeme tipine göre ise 35 adet heyelan kaya, 1 adet heyelan moloz ve 154 adet heyelan ise zemin sınıfı içerisinde yer aldığı tespit edilmiştir.

Avcılar ilçe sınırları içerisinde haritalanan heyelanların 136 adetinin sıg, 54 adetinin ise derin heyelan olduğu tespit edilmiştir (Şekil 5.16).

İlçe genelinde heyelanların haritalandığı alanlardaki bitki örtüsü yoğunluk sınıflarına göre dağılımına bakıldığında 190 adet heyelanın tamamının seyrek bitki örtüsü sınıfı içerisinde yer aldığı saptanmıştır.



Şekil 5.16 Avcılar ilçesi heyelan envanter haritası

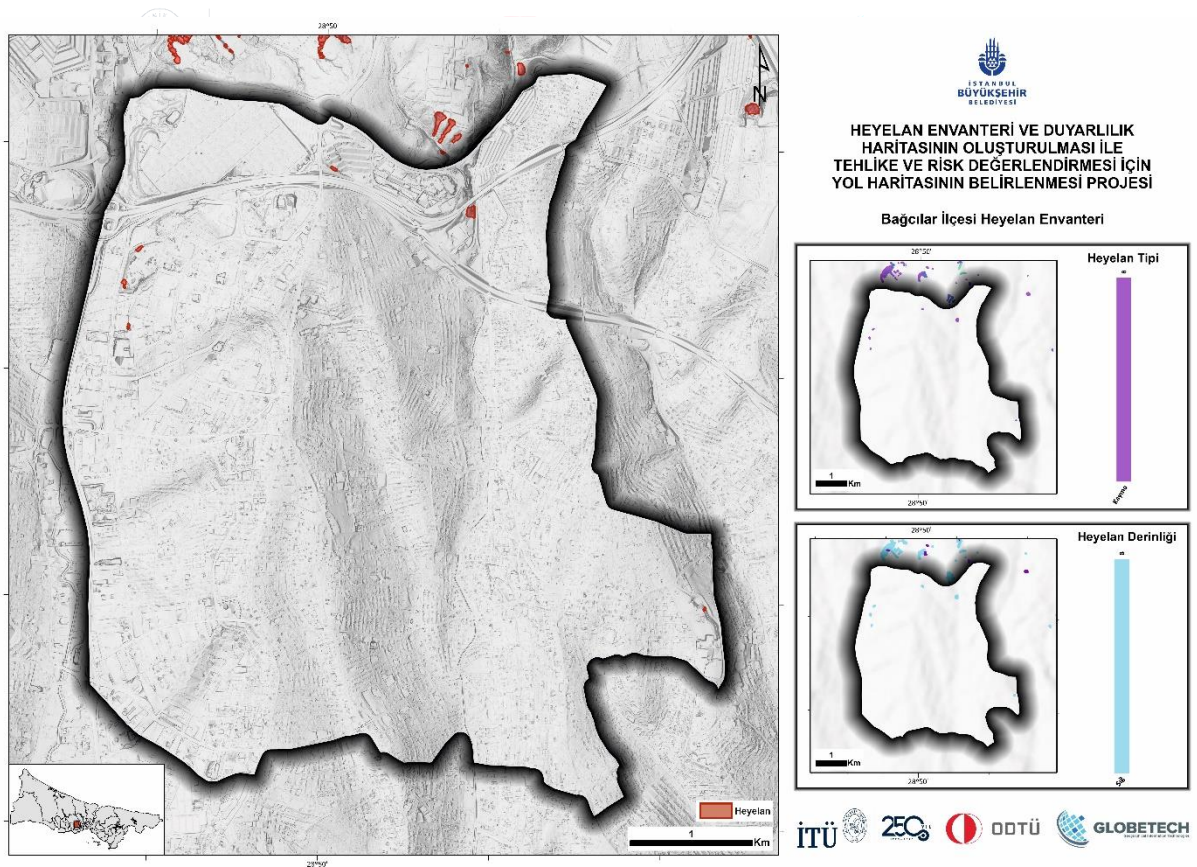
5.2.4 Bağcılar ilçesi Heyelan Envanteri

Bağcılar ilçesi sınırları içerisinde heyelan envanteri kapsamında 8 adet heyelan haritalanmıştır. Heyelanların tamamı 2013 LiDAR Sayısal Yükselti Modeli (DEM) verisi kullanılarak haritalanmıştır.

İlçe sınırları içerisinde heyelan hareket tip desenin dağılışına bakıldığında, 8 adet kayma tipinde heyelan olduğu saptanmıştır (Şekil 5.17). Çalışma alanındaki heyelan tip deseninde hakim hareket tipi, kayma tipindeki heyelanlardır. Hareket eden malzeme tipine göre ise 4 adet heyelanın kaya ve 4 adet heyelan ise zemin sınıfı içerisinde yer aldığı tespit edilmiştir.

Bağcılar ilçe sınırları içerisinde haritalanan 8 adet heyelanın, sığ heyelan olduğu tespit edilmiştir (Şekil 5.17).

İlçe genelinde heyelanların haritalandığı alanlardaki bitki örtüsü yoğunluk sınıflarına göre dağılımına bakıldığında 8 adet heyelanın tamamının seyrek bitki örtüsü sınıfı içerisinde yer aldığı saptanmıştır.



Şekil 5.17 Bağcılar ilçesi heyelan envanter haritası

5.2.5 Bahçelievler ilçesi Heyelan Envanteri

Bahçelievler ilçesi sınırları içerisinde heyelan envanteri kapsamında 1 adet heyelan haritalanmıştır. Heyelanların tamamı 2013 LiDAR Sayısal Yükselti Modeli (DEM) verisi kullanılarak haritalanmıştır.

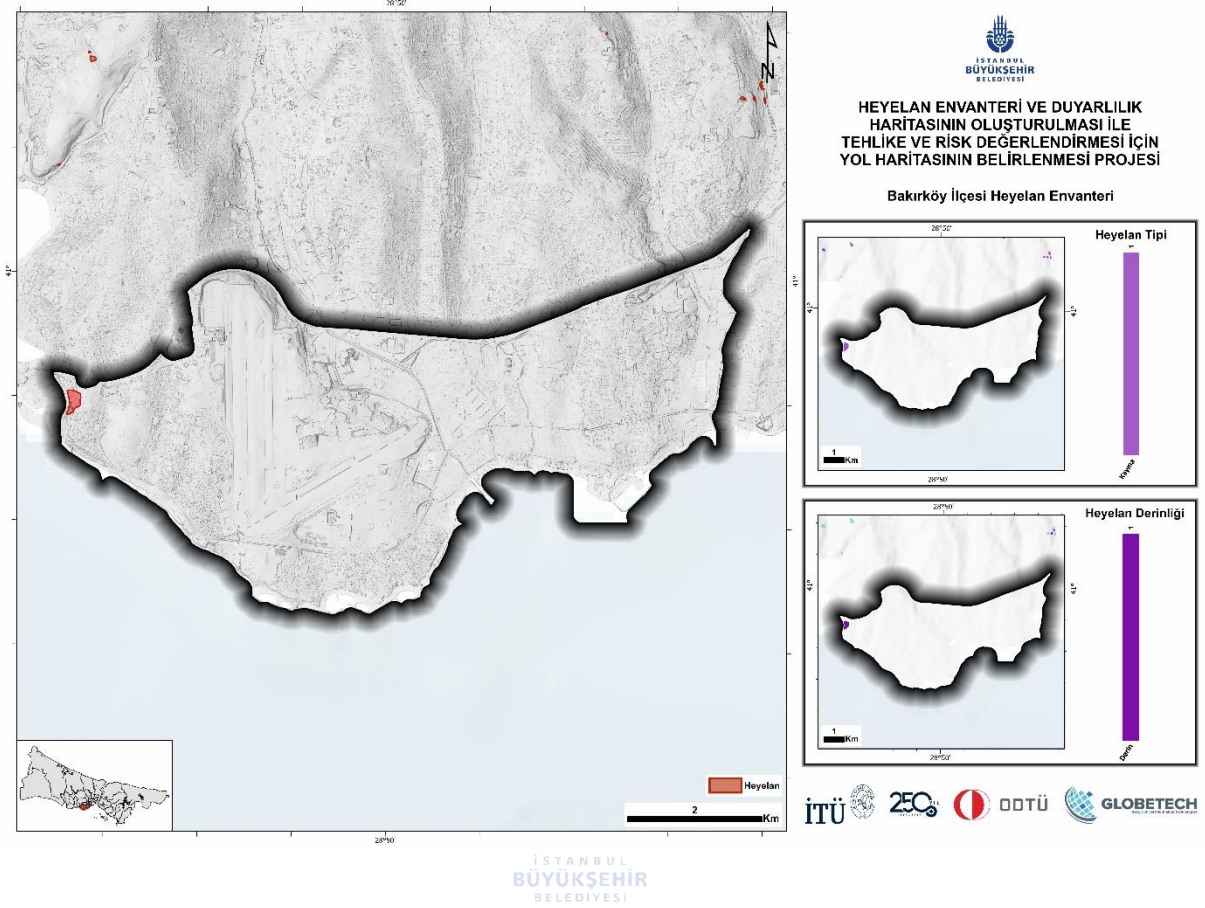
İlçe sınırları içerisinde heyelan hareket tip desenin dağılışına bakıldığında, 1 adet kayma tipinde heyelan olduğu saptanmıştır (Şekil 5.18). Çalışma alanındaki heyelan tip deseninde hakim hareket tipi, kayma tipindeki heyelanlardır. Hareket eden malzeme tipine göre ise 1 adet heyelanın zemin sınıfı içerisinde yer aldığı tespit edilmiştir.

Bahçelievler ilçe sınırları içerisinde haritalanan 1 adet heyelanın, sığ heyelan olduğu tespit edilmiştir (Şekil 5.18).

İlçe genelinde heyelanların haritalandığı alanlardaki bitki örtüsü yoğunluk sınıflarına göre dağılımına bakıldığında 1 adet heyelanın tamamının seyrek bitki örtüsü sınıfı içerisinde yer aldığı saptanmıştır.



İlçe genelinde heyelanların haritalandığı alanlardaki bitki örtüsü yoğunluk sınıflarına göre dağılımına bakıldığında 1 adet heyelanın tamamının seyrek bitki örtüsü sınıfı içerisinde yer aldığı saptanmıştır.



Şekil 5.19 Bakırköy ilçesi heyelan envanter haritası

5.2.7 Başakşehir ilçesi Heyelan Envanteri

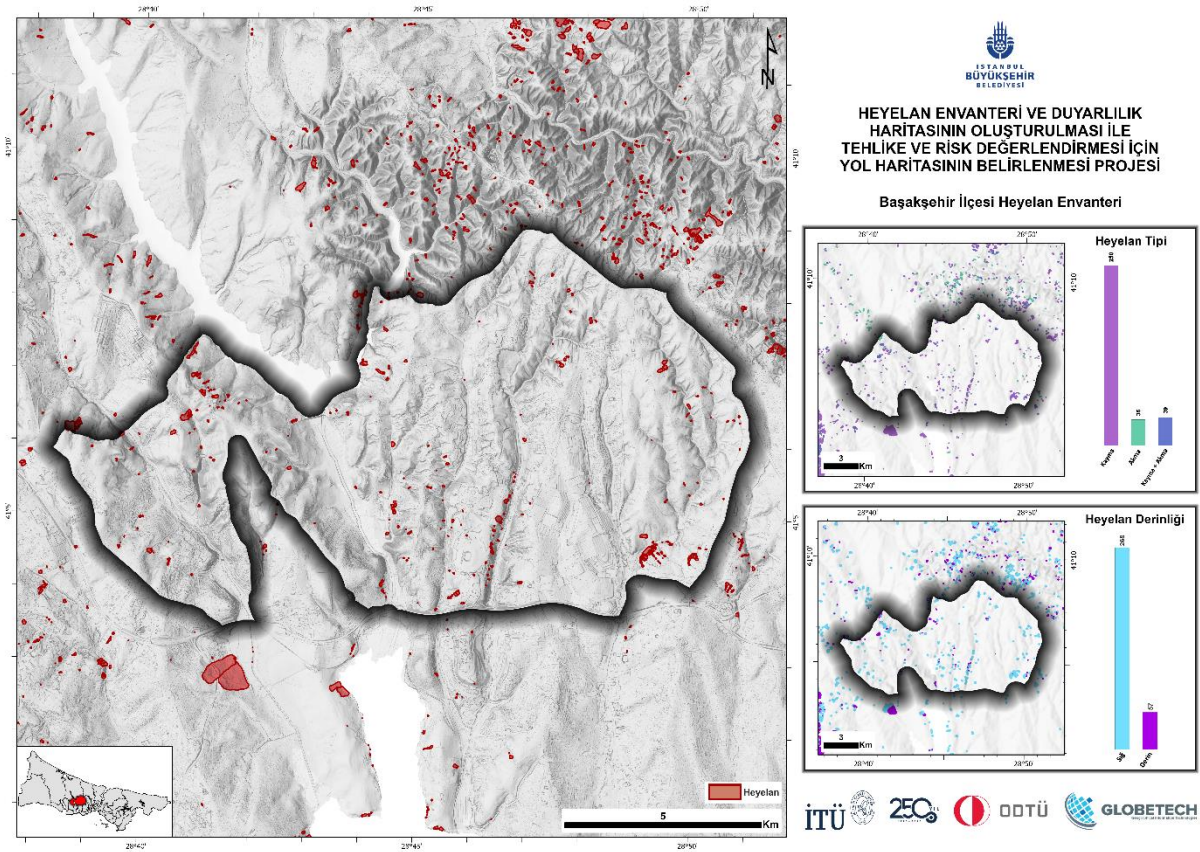
Başakşehir ilçesi sınırları içerisinde heyelan envanteri kapsamında 325 adet heyelan haritalanmıştır. Heyelanların 315 adeti 2013 LiDAR Sayısal Yükselti Modeli (DEM) verisi kullanılarak, 10 adeti ise ortofoto ve uydu görüntüleri kullanarak haritalanmıştır.

İlçe sınırları içerisinde heyelan hareket tip desenin dağılışına bakıldığında, 250 adet kayma, 36 adet akma ve 39 adet ise karmaşık (kayma+akma) tipinde heyelan olduğu saptanmıştır (Şekil 5.20). Çalışma alanındaki heyelan tip deseninde hakim hareket tipi, kayma tipindeki

heyelanlardır. Hareket eden malzeme tipine göre ise 197 adet heyelan kaya, 51 adet heyelan moloz ve 77 adet heyelan ise zemin sınıfı içerisinde yer aldığı tespit edilmiştir.

Başakşehir ilçe sınırları içerisinde haritalanan heyelanların 268 adetinin sıg, 57 adetinin ise derin heyelan olduğu tespit edilmiştir (Şekil 5.20).

İlçe genelinde heyelanların haritalandığı alanlardaki bitki örtüsü yoğunluk sınıflarına göre dağılımına bakıldığında 325 adet heyelanın tamamının seyrek bitki örtüsü sınıfı içerisinde yer aldığı saptanmıştır.



Şekil 5.20 Başakşehir ilçesi heyelan envanter haritası

5.2.8 Bayrampaşa ilçesi Heyelan Envanteri

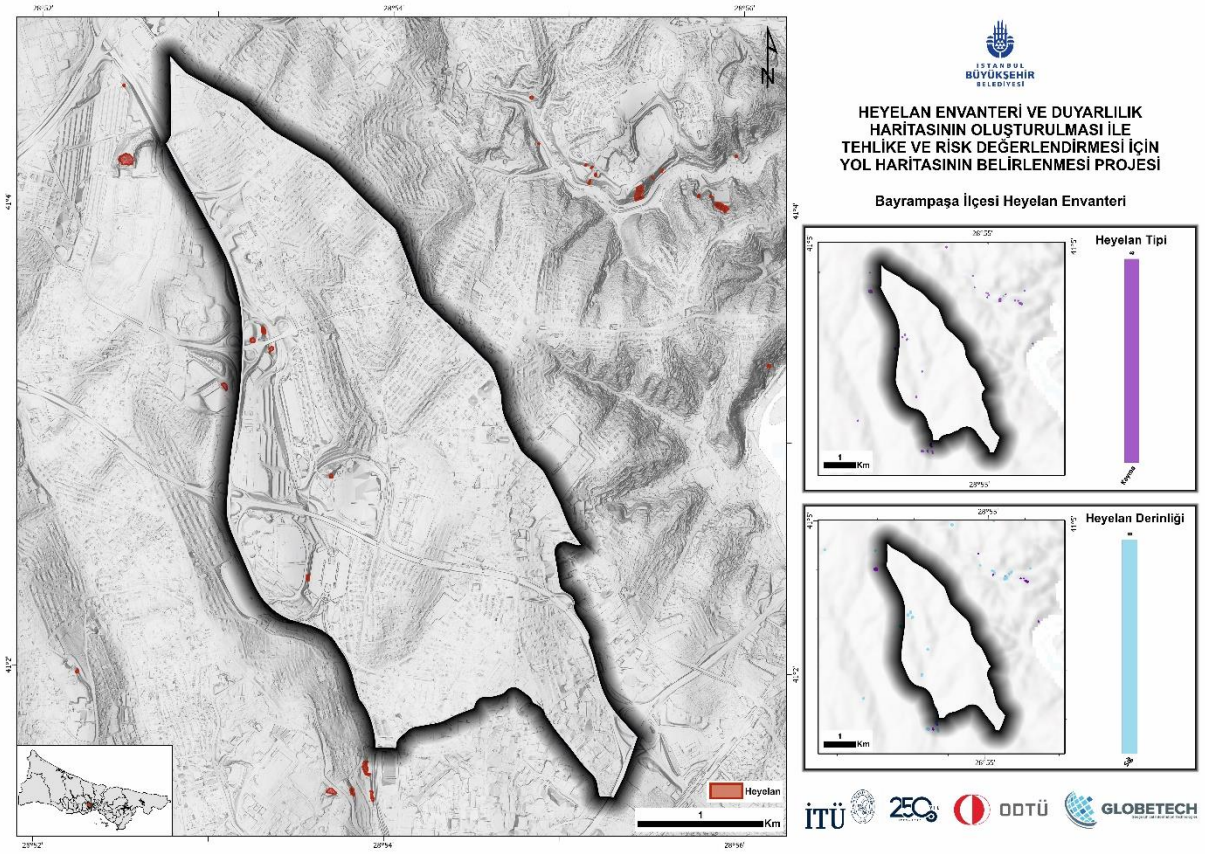
Bayrampaşa ilçesi sınırları içerisinde heyelan envanteri kapsamında 8 adet heyelan haritalanmıştır. Heyelanların tamamı 2013 LiDAR Sayısal Yükselti Modeli (DEM) verisi kullanılarak haritalanmıştır.

İlçe sınırları içerisinde heyelan hareket tip desenin dağılışına bakıldığında, 8 adet kayma tipinde heyelan olduğu saptanmıştır (Şekil 5.21). Çalışma alanındaki heyelan tip deseninde hakim hareket tipi, kayma tipindeki heyelanlardır. Hareket eden malzeme tipine göre ise 6 adet heyelanın moloz ve 2 adet heyelanın ise zemin sınıfı içerisinde yer aldığı tespit edilmiştir.

Bayrampaşa ilçe sınırları içerisinde haritalanan 8 adet heyelanın, sığ heyelan olduğu tespit edilmiştir (Şekil 5.21).

İlçe genelinde heyelanların haritalandığı alanlardaki bitki örtüsü yoğunluk sınıflarına göre dağılımına bakıldığında 8 adet heyelanın tamamının seyrek bitki örtüsü sınıfı içerisinde yer aldığı saptanmıştır.





Şekil 5.21 Bayrampaşa ilçesi heyelan envanter haritası

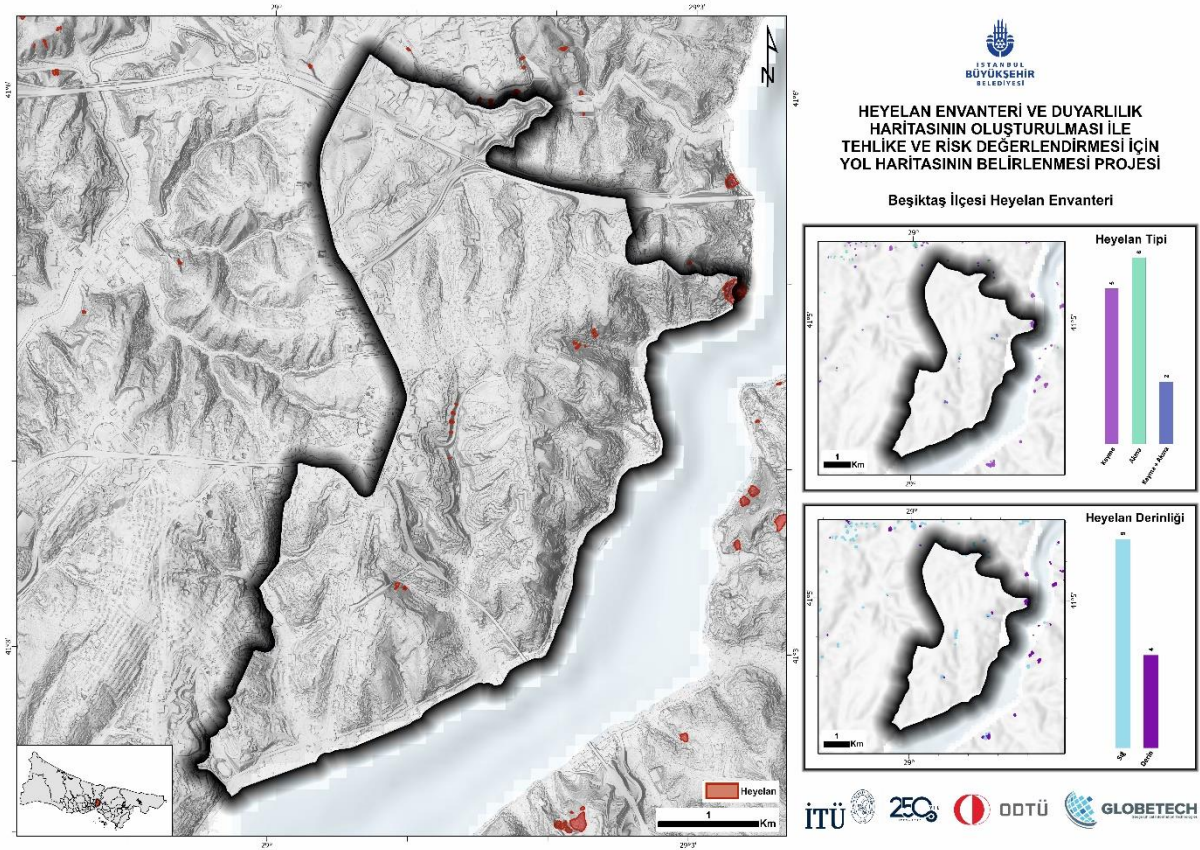
5.2.9 Beşiktaş ilçesi Heyelan Envanteri

Beşiktaş ilçesi sınırları içerisinde heyelan envanteri kapsamında 13 adet heyelan haritalanmıştır. Heyelanların tamamı 2013 LiDAR Sayısal Yükselti Modeli (DEM) verisi kullanılarak haritalanmıştır.

İlçe sınırları içerisinde heyelan hareket tip deseninin dağılışına bakıldığında, 5 adet kayma, 6 adet akma ve 2 adet ise karmaşık (kayma+akma) tipinde heyelan olduğu saptanmıştır (Şekil 5.22). Çalışma alanındaki heyelan tip deseninde hakim hareket tipi, akma tipindeki heyelanlardır. Hareket eden malzeme tipine göre ise 4 adet heyelan kaya, 1 adet heyelan moloz ve 8 adet heyelan ise zemin sınıfı içerisinde yer aldığı tespit edilmiştir.

Beşiktaş ilçe sınırları içerisinde haritalanan heyelanların 9 adetinin sıg, 4 adetinin ise derin heyelan olduğu tespit edilmiştir (Şekil 5.22).

İlçe genelinde heyelanların haritalandığı alanlardaki bitki örtüsü yoğunluk sınıflarına göre dağılımına bakıldığında 13 adet heyelanın tamamının seyrek bitki örtüsü sınıfı içerisinde yer aldığı saptanmıştır.



Şekil 5.22 Beşiktaş ilçesi heyelan envanter haritası

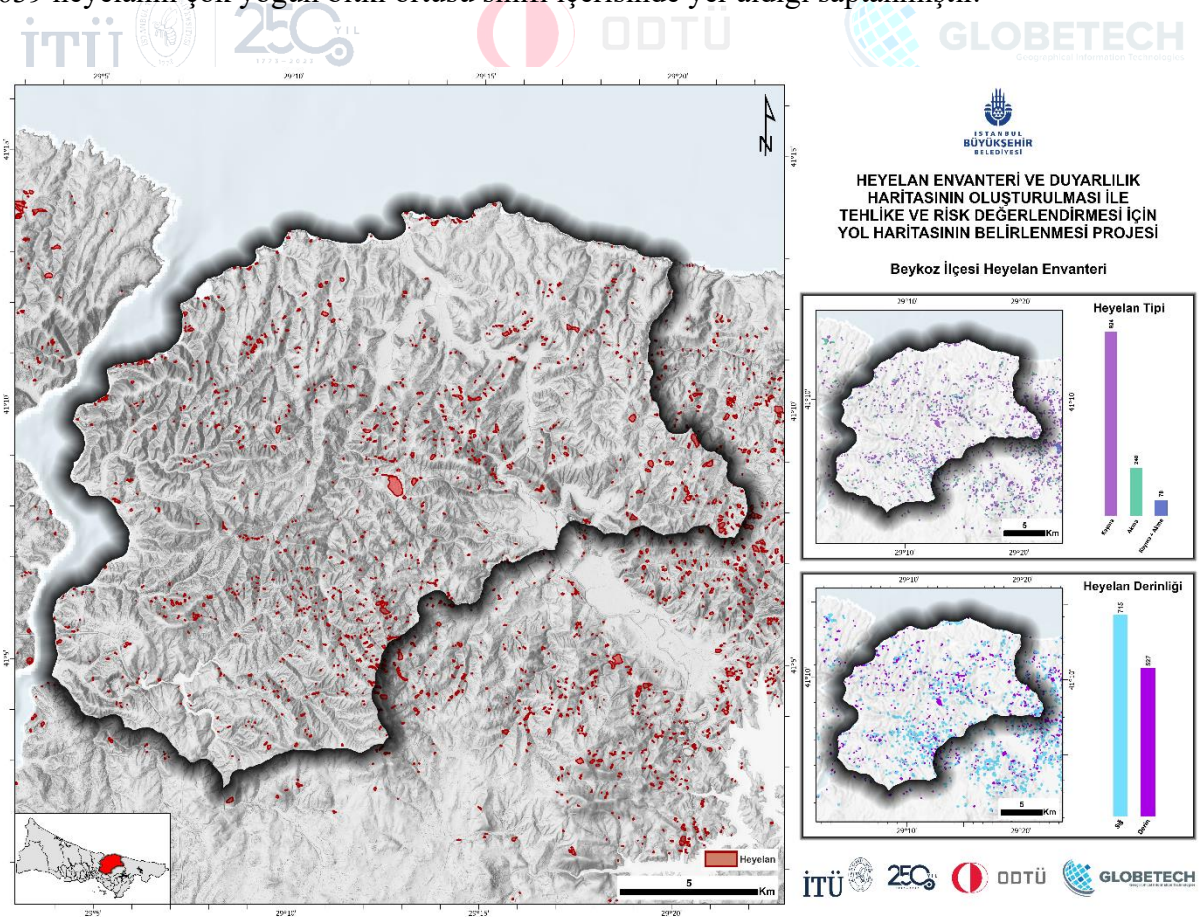
5.2.10 Beykoz ilçesi Heyelan Envanteri

Beykoz ilçesi sınırları içerisinde heyelan envanteri kapsamında 1242 adet heyelan haritalanmıştır. Heyelanların 1239 adeti 2013 LiDAR Sayısal Yükselti Modeli (DEM) verisi kullanılarak, 3 adeti ise ortofoto ve uydu görüntüleri kullanarak haritalanmıştır.

İlçe sınırları içerisinde heyelan hareket tip desenin dağılışına bakıldığında, 924 adet kayma, 240 adet akma ve 78 adet ise karmaşık (kayma+akma) tipinde heyelan olduğu saptanmıştır (Şekil 5.23). Çalışma alanındaki heyelan tip deseninde hakim hareket tipi, kayma tipindeki heyelanlardır. Hareket eden malzeme tipine göre ise 769 adet heyelan kaya, 35 adet heyelan moloz ve 438 adet heyelan ise zemin sınıfı içerisinde yer aldığı tespit edilmiştir.

Beykoz ilçe sınırları içerisinde haritalanan heyelanların 715 adetinin sıg, 527 adetinin ise derin heyelan olduğu tespit edilmiştir (Şekil 5.23).

İlçe genelinde heyelanların haritalandığı alanlardaki bitki örtüsü yoğunluk sınıflarına göre dağılımına bakıldığında 363 adet heyelanın seyrek, 229 heyelanın orta, 11 heyelanın yoğun ve 639 heyelanın çok yoğun bitki örtüsü sınıfı içerisinde yer aldığı saptanmıştır.



Şekil 5.23 Beykoz ilçesi heyelan envanter haritası

5.2.11 Beylikdüzü ilçesi Heyelan Envanteri

Beylikdüzü ilçesi sınırları içerisinde heyelan envanteri kapsamında 263 adet heyelan haritalanmıştır. Heyelanların tamamı 2013 LiDAR Sayısal Yükselti Modeli (DEM) verisi kullanılarak haritalanmıştır.

İlçe sınırları içerisinde heyelan hareket tip desenin dağılışına bakıldığında, 211 adet kayma, 7 adet akma ve 45 adet ise karmaşık (kayma+akma) tipinde heyelan olduğu saptanmıştır (Şekil 5.24). Çalışma alanındaki heyelan tip deseninde hakim hareket tipi, kayma tipindeki heyelanlardır. Hareket eden malzeme tipine göre ise 104 adet heyelan kaya, 33 adet heyelan moloz ve 126 adet heyelan ise zemin sınıfı içerisinde yer aldığı tespit edilmiştir.

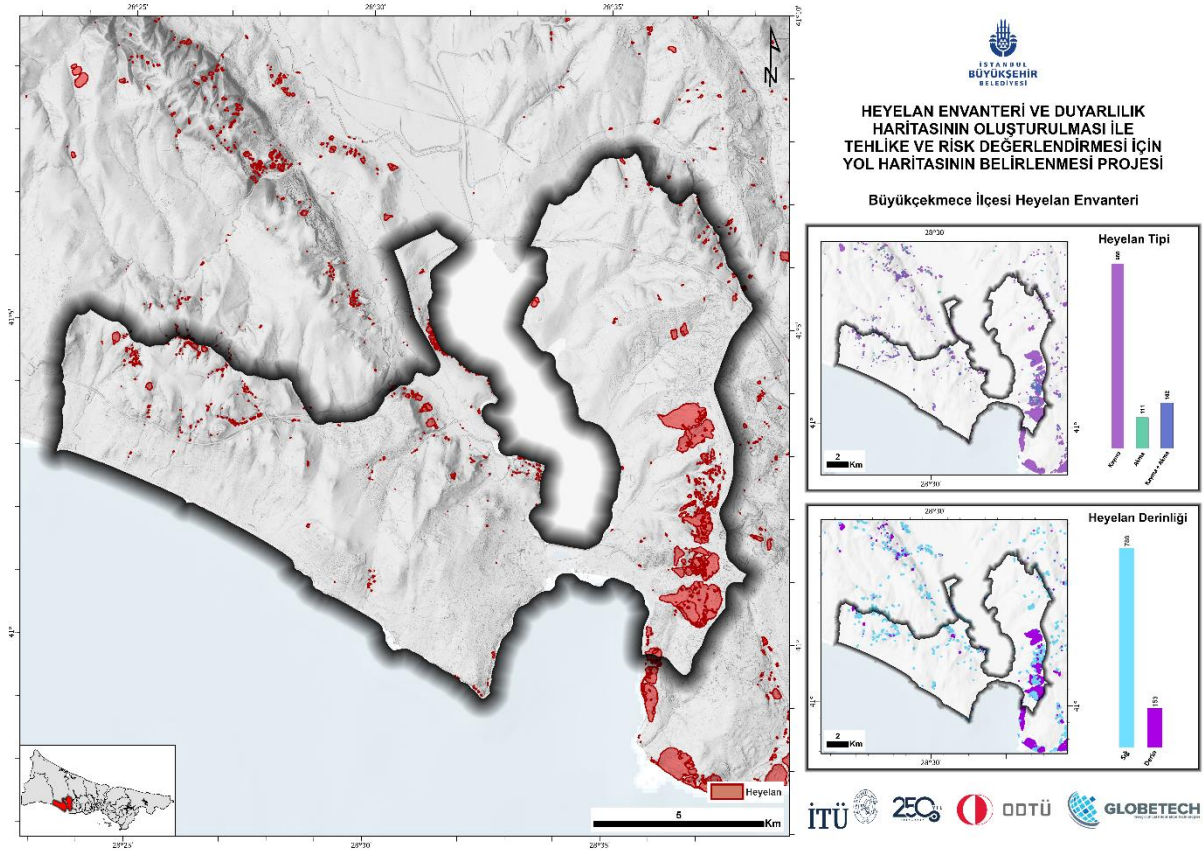
Beylikdüzü ilçe sınırları içerisinde haritalanan heyelanların 195 adetinin sığ, 68 adetinin ise derin heyelan olduğu tespit edilmiştir (Şekil 5.24).

İlçe genelinde heyelanların haritalandığı alanlardaki bitki örtüsü yoğunluk sınıflarına göre dağılımına bakıldığında 263 adet heyelanın tamamının seyrek bitki örtüsü sınıfı içerisinde yer aldığı saptanmıştır.



Büyükçekmece ilçe sınırları içerisinde haritalanan heyelanların 780 adetinin sıg, 153 adetinin ise derin heyelan olduğu tespit edilmiştir (Şekil 5.25).

İlçe genelinde heyelanların haritalandığı alanlardaki bitki örtüsü yoğunluk sınıflarına göre dağılımına bakıldığında 929 adet heyelanın seyrek, 4 heyelanın ise orta bitki örtüsü sınıfı içerisinde yer aldığı saptanmıştır.

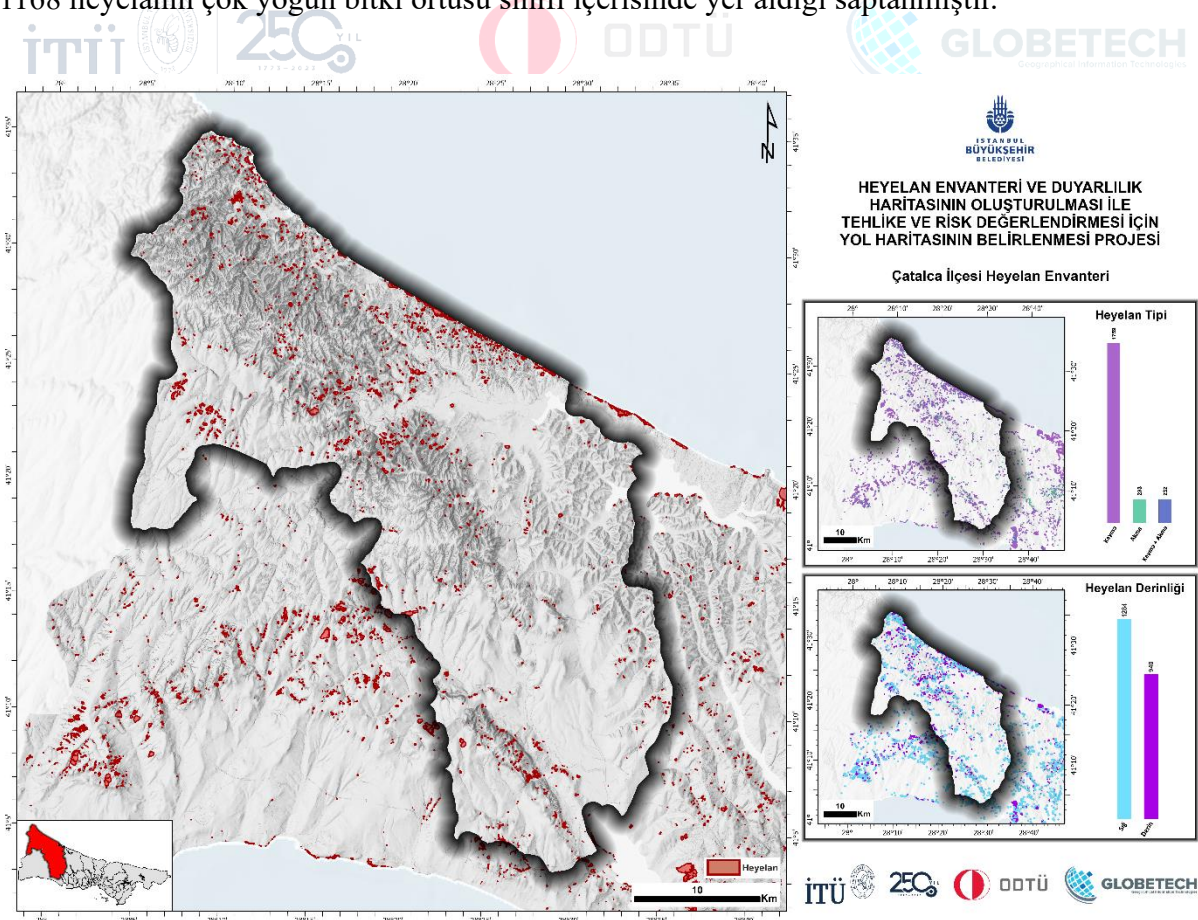


Şekil 5.25 Büyükçekmece ilçesi heyelan envanter haritası

5.2.13 Çatalca ilçesi Heyelan Envanteri

Çatalca ilçesi sınırları içerisinde heyelan envanteri kapsamında 2224 adet heyelan haritalanmıştır. Heyelanların 2202 adeti 2013 LiDAR Sayısal Yükselti Modeli (DEM) verisi kullanılarak, 22 adeti ise ortofoto ve uydu görüntüleri kullanarak haritalanmıştır.

İlçe genelinde heyelanların haritalandığı alanlardaki bitki örtüsü yoğunluk sınıflarına göre dağılımına bakıldığında 688 adet heyelanın seyrek, 324 heyelanın orta, 44 heyelanın yoğun ve 1168 heyelanın çok yoğun bitki örtüsü sınıfı içerisinde yer aldığı saptanmıştır.



Şekil 5.26 Çatalca ilçesi heyelan envanter haritası

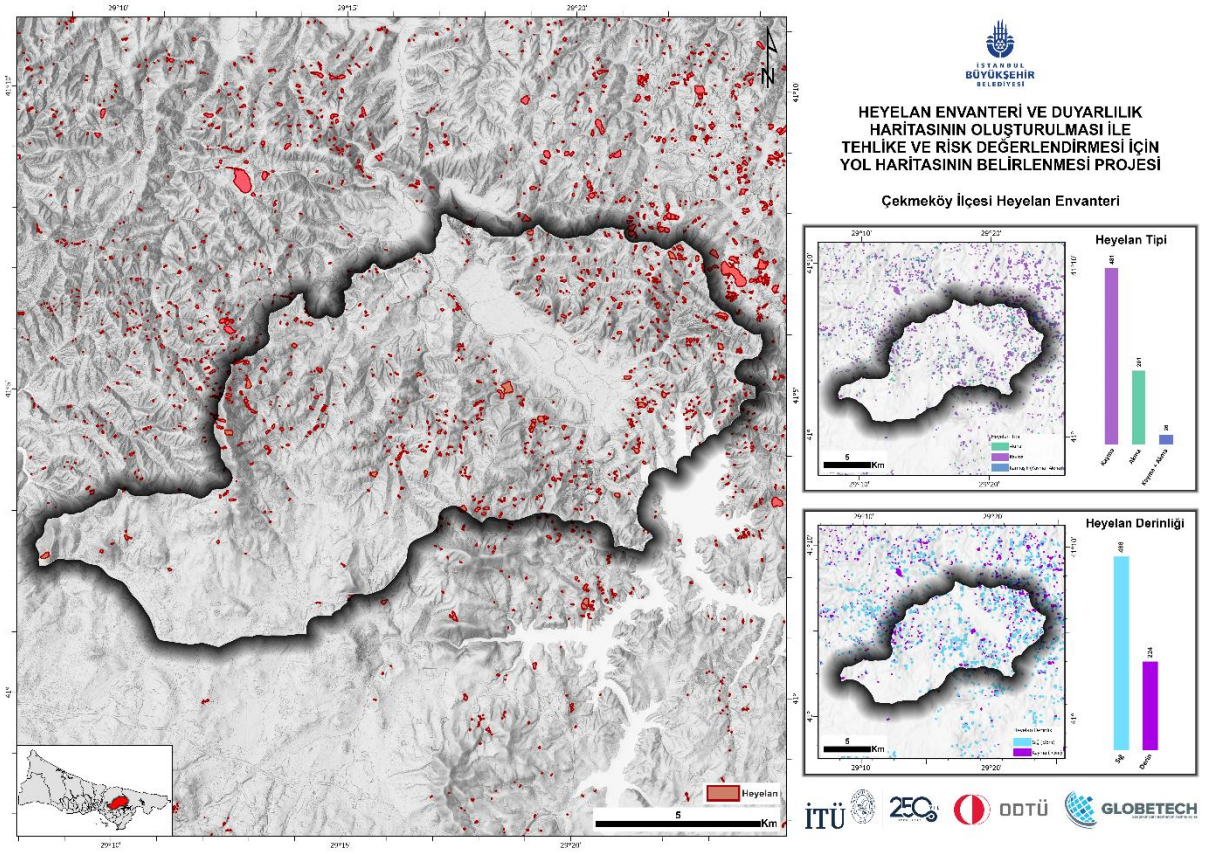
5.2.14 Çekmeköy ilçesi Heyelan Envanteri

Çekmeköy ilçesi sınırları içerisinde heyelan envanteri kapsamında 708 adet heyelan haritalanmıştır. Heyelanların 706 adeti 2013 LiDAR Sayısal Yükselti Modeli (DEM) verisi kullanılarak, 2 adeti ise ortofoto ve uydu görüntüleri kullanarak haritalanmıştır.

İlçe sınırları içerisinde heyelan hareket tip desenin dağılışına bakıldığında, 481 adet kayma, 201 adet akma ve 26 adet ise karmaşık (kayma+akma) tipinde heyelan olduğu saptanmıştır (Şekil 5.27). Çalışma alanındaki heyelan tip deseninde hakim hareket tipi, kayma tipindeki heyelanlardır. Hareket eden malzeme tipine göre ise 346 adet heyelan kaya, 45 adet heyelan moloz ve 317 adet heyelan ise zemin sınıfı içerisinde yer aldığı tespit edilmiştir.

Çekmeköy ilçe sınırları içerisinde haritalanan heyelanların 488 adetinin sıg, 224 adetinin ise derin heyelan olduğu tespit edilmiştir (Şekil 5.27).

İlçe genelinde heyelanların haritalandığı alanlardaki bitki örtüsü yoğunluk sınıflarına göre dağılımına bakıldığında 43 adet heyelanın seyrek, 121 heyelanın orta, 23 heyelanın yoğun ve 521 heyelanın çok yoğun bitki örtüsü sınıfı içerisinde yer aldığı saptanmıştır.



Şekil 5.27 Çekmeköy ilçesi heyelan envanter haritası

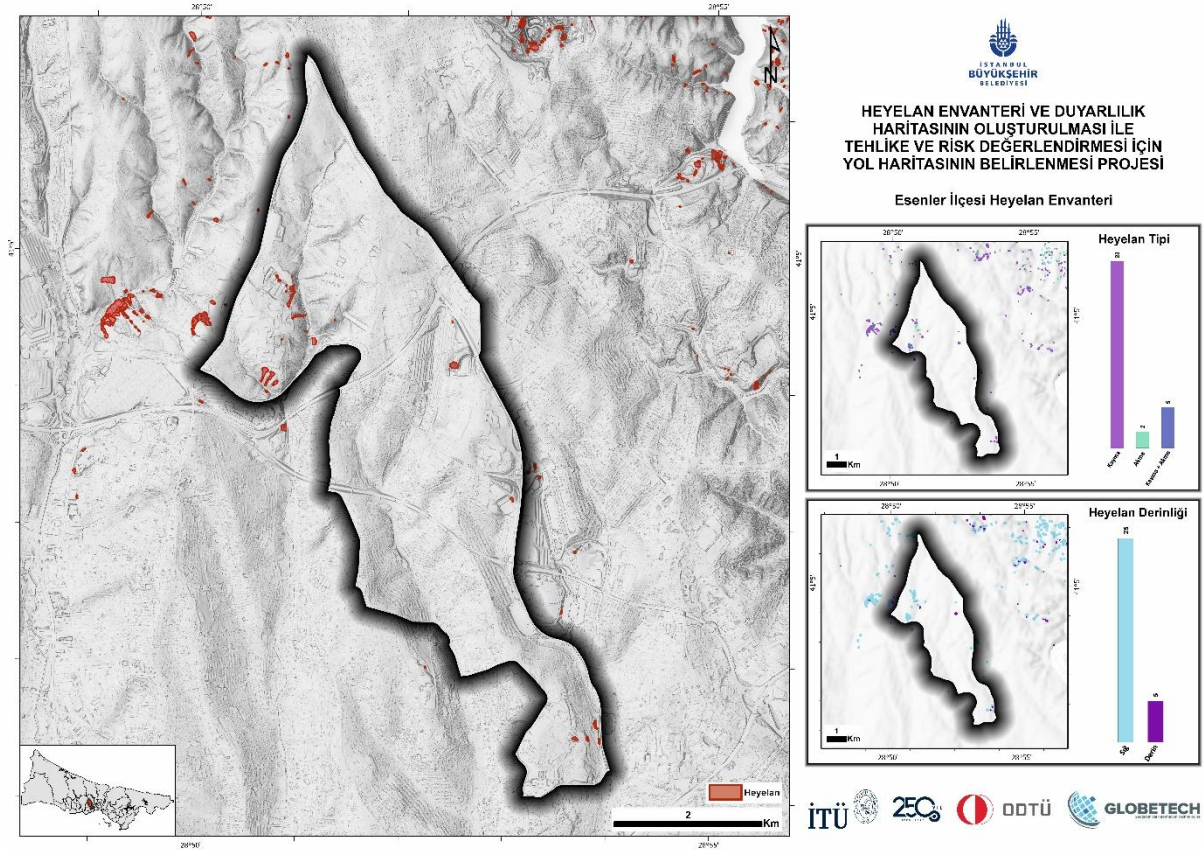
5.2.15 Esenler ilçesi Heyelan Envanteri

Esenler ilçesi sınırları içerisinde heyelan envanteri kapsamında 30 adet heyelan haritalanmıştır. Heyelanların tamamı 2013 LiDAR Sayısal Yükselti Modeli (DEM) verisi kullanılarak haritalanmıştır.

İlçe sınırları içerisinde heyelan hareket tip deseninin dağılışına bakıldığında, 23 adet kayma, 2 adet akma ve 5 adet ise karmaşık (kayma+akma) tipinde heyelan olduğu saptanmıştır (Şekil 5.28). Çalışma alanındaki heyelan tip deseninde hakim hareket tipi, kayma tipindeki heyelanlardır. Hareket eden malzeme tipine göre ise 13 adet heyelan kaya, 3 adet heyelan moloz ve 14 adet heyelan ise zemin sınıfı içerisinde yer aldığı tespit edilmiştir.

Esenler ilçe sınırları içerisinde haritalanan heyelanların 25 adetinin sıg, 5 adetinin ise derin heyelan olduğu tespit edilmiştir (Şekil 5.28).

İlçe genelinde heyelanların haritalandığı alanlardaki bitki örtüsü yoğunluk sınıflarına göre dağılımına bakıldığında 30 adet heyelanın tamamının seyrek bitki örtüsü sınıfı içerisinde yer aldığı saptanmıştır.



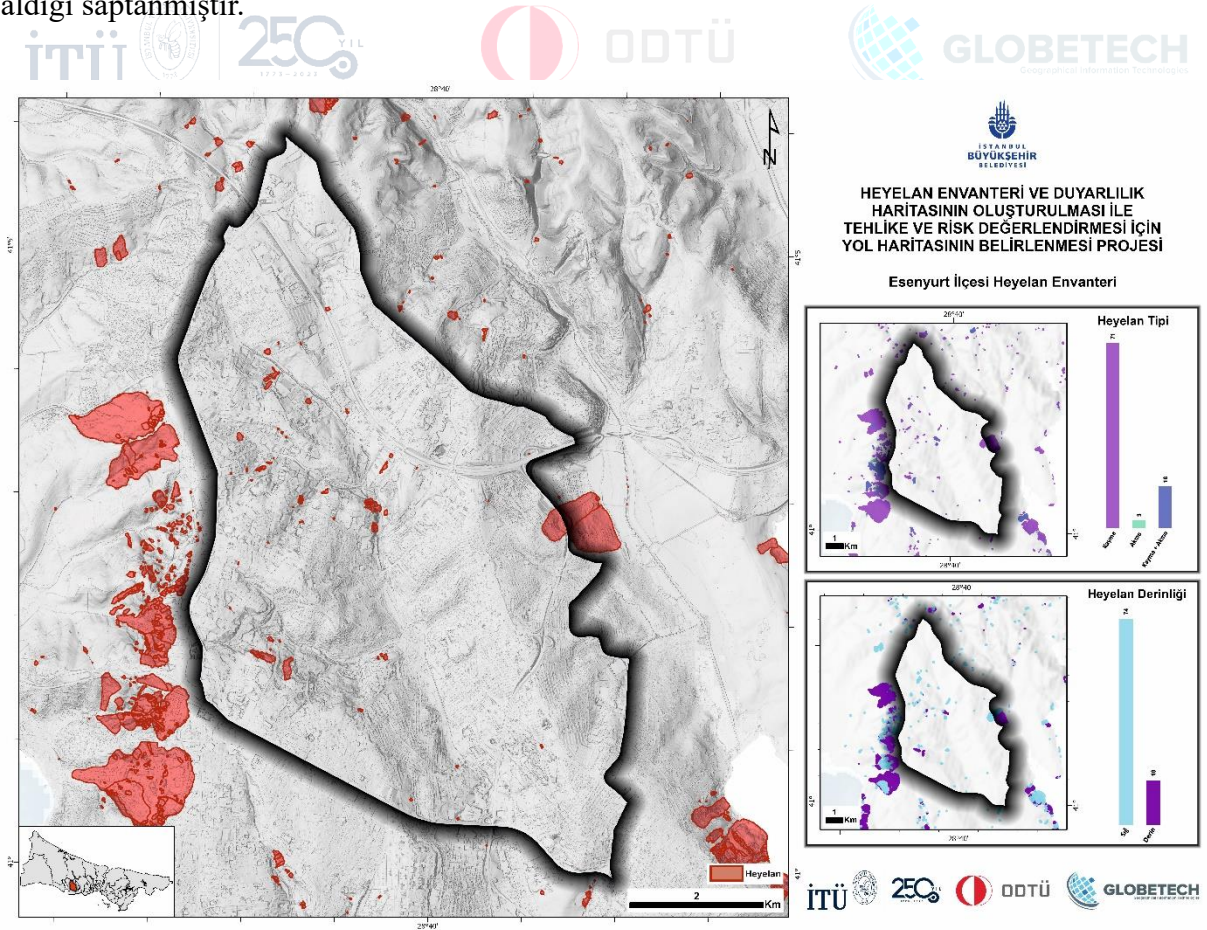
5.2.16 Esenyurt ilçesi Heyelan Envanteri

Esenyurt ilçesi sınırları içerisinde heyelan envanteri kapsamında 90 adet heyelan haritalanmıştır. Heyelanların tamamı 2013 LiDAR Sayısal Yükselti Modeli (DEM) verisi kullanılarak haritalanmıştır.

İlçe sınırları içerisinde heyelan hareket tip desenin dağılışına bakıldığında, 71 adet kayma, 3 adet akma ve 16 adet ise karmaşık (kayma+akma) tipinde heyelan olduğu saptanmıştır (Şekil 5.29). Çalışma alanındaki heyelan tip deseninde hakim hareket tipi, kayma tipindeki heyelanlardır. Hareket eden malzeme tipine göre ise 5 adet heyelan kaya, 26 adet heyelan moloz ve 59 adet heyelan ise zemin sınıfı içerisinde yer aldığı tespit edilmiştir.

Esenyurt ilçe sınırları içerisinde haritalanan heyelanların 74 adetinin sıg, 16 adetinin ise derin heyelan olduğu tespit edilmiştir (Şekil 5.29).

İlçe genelinde heyelanların haritalandığı alanlardaki bitki örtüsü yoğunluk sınıflarına göre dağılımına bakıldığında 90 adet heyelanın tamamının seyrek bitki örtüsü sınıfı içerisinde yer aldığı saptanmıştır.



Şekil 5.29 Esenyurt ilçesi heyelan envanter haritası

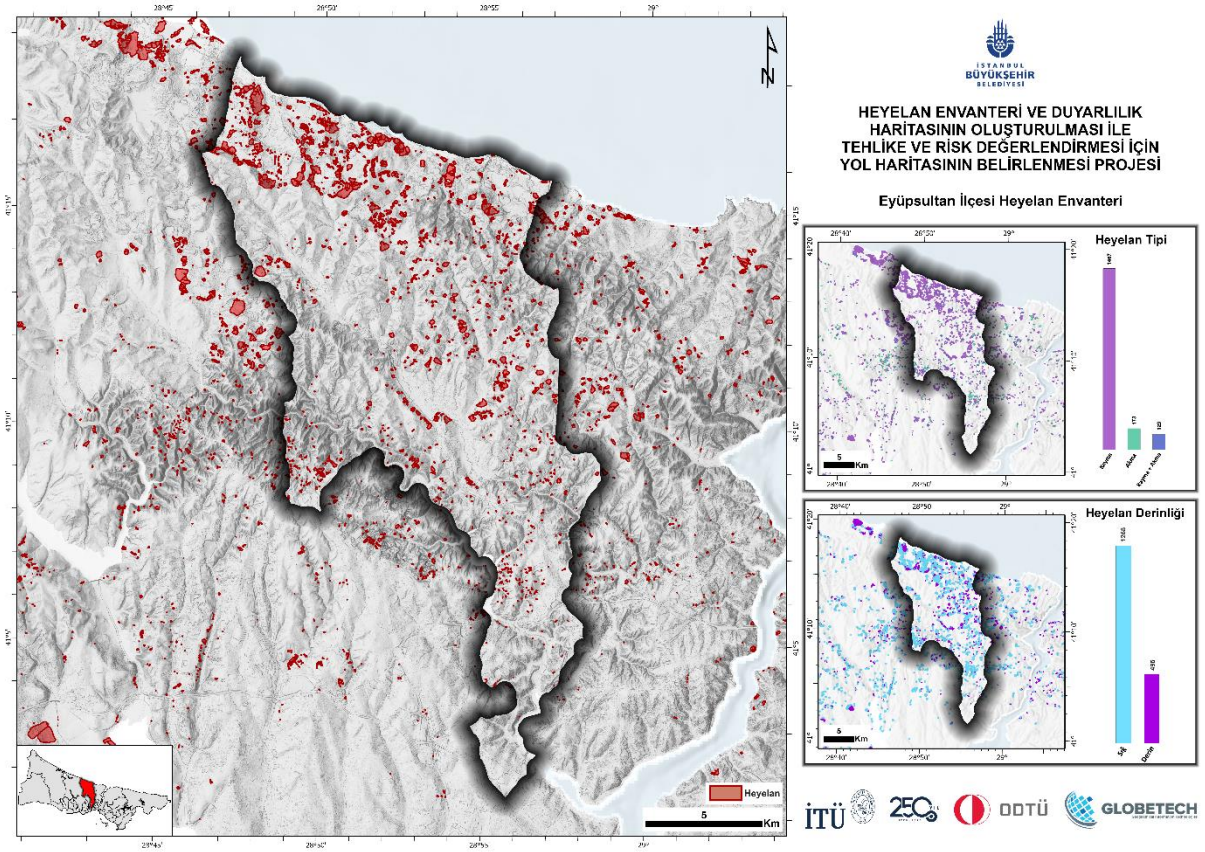
5.2.17 Eyüpsultan ilçesi Heyelan Envanteri

Eyüpsultan ilçesi sınırları içerisinde heyelan envanteri kapsamında 1769 adet heyelan haritalanmıştır. Heyelanların 1596 adeti 2013 LiDAR Sayısal Yükselti Modeli (DEM) verisi kullanılarak, 173 adeti ise ortofoto ve uydu görüntüleri kullanarak haritalanmıştır.

İlçe sınırları içerisinde heyelan hareket tip desenin dağılışına bakıldığında, 1467 adet kayma, 173 adet akma ve 129 adet ise karmaşık (kayma+akma) tipinde heyelan olduğu saptanmıştır (Şekil 5.30). Çalışma alanındaki heyelan tip deseninde hakim hareket tipi, kayma tipindeki heyelanlardır. Hareket eden malzeme tipine göre ise 151 adet heyelan kaya, 1083 adet heyelan moloz ve 535 adet heyelan ise zemin sınıfı içerisinde yer aldığı tespit edilmiştir.

Eyüpsultan ilçe sınırları içerisinde haritalanan heyelanların 1268 adetinin sıg, 495 adetinin ise derin heyelan olduğu tespit edilmiştir (Şekil 5.30).

İlçe genelinde heyelanların haritalandığı alanlardaki bitki örtüsü yoğunluk sınıflarına göre dağılımına bakıldığında 931 adet heyelanın seyrek, 282 heyelanın orta, 5 heyelanın yoğun ve 551 heyelanın çok yoğun bitki örtüsü sınıfı içerisinde yer aldığı saptanmıştır.



Şekil 5.30 Eyüpsultan ilçesi heyelan envanter haritası

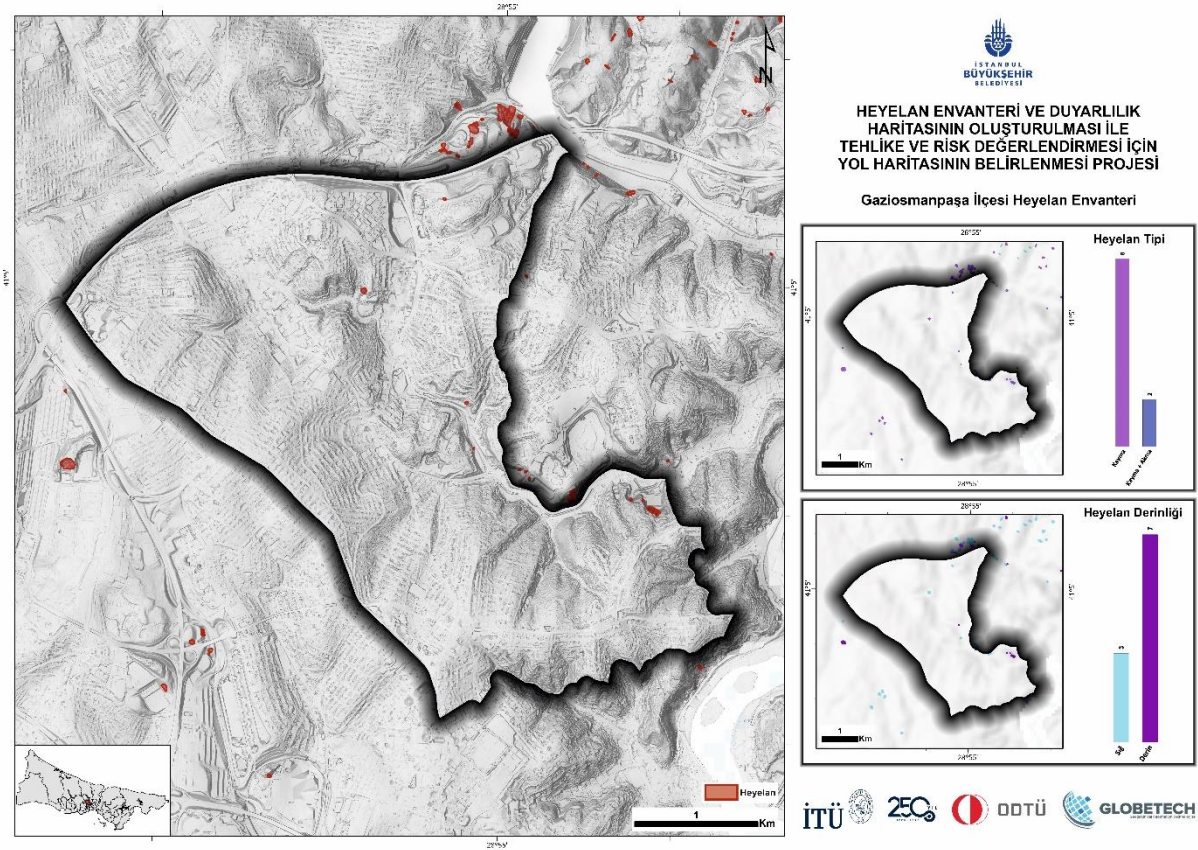
5.2.18 Gaziosmanpaşa ilçesi Heyelan Envanteri

Gaziosmanpaşa ilçesi sınırları içerisinde heyelan envanteri kapsamında 10 adet heyelan haritalanmıştır. Heyelanların tamamı 2013 LiDAR Sayısal Yükselti Modeli (DEM) verisi kullanılarak haritalanmıştır.

İlçe sınırları içerisinde heyelan hareket tip desenin dağılışına bakıldığında, 8 adet kayma ve 2 adet karmaşık (kayma+akma) tipinde heyelan olduğu saptanmıştır (Şekil 5.31). Çalışma alanındaki heyelan tip deseninde hakim hareket tipi, kayma tipindeki heyelanlardır. Hareket eden malzeme tipine göre ise 3 adet heyelan kaya, 1 adet heyelan moloz ve 6 adet heyelan ise zemin sınıfı içerisinde yer aldığı tespit edilmiştir.

Gaziosmanpaşa ilçe sınırları içerisinde haritalanan heyelanların 3 adetinin sıg, 7 adetinin ise derin heyelan olduğu tespit edilmiştir (Şekil 5.31).

İlçe genelinde heyelanların haritalandığı alanlardaki bitki örtüsü yoğunluk sınıflarına göre dağılımına bakıldığında 10 adet heyelanın tamamının seyrek bitki örtüsü sınıfı içerisinde yer aldığı saptanmıştır.



Şekil 5.31 Gaziosmanpaşa ilçesi heyelan envanter haritası

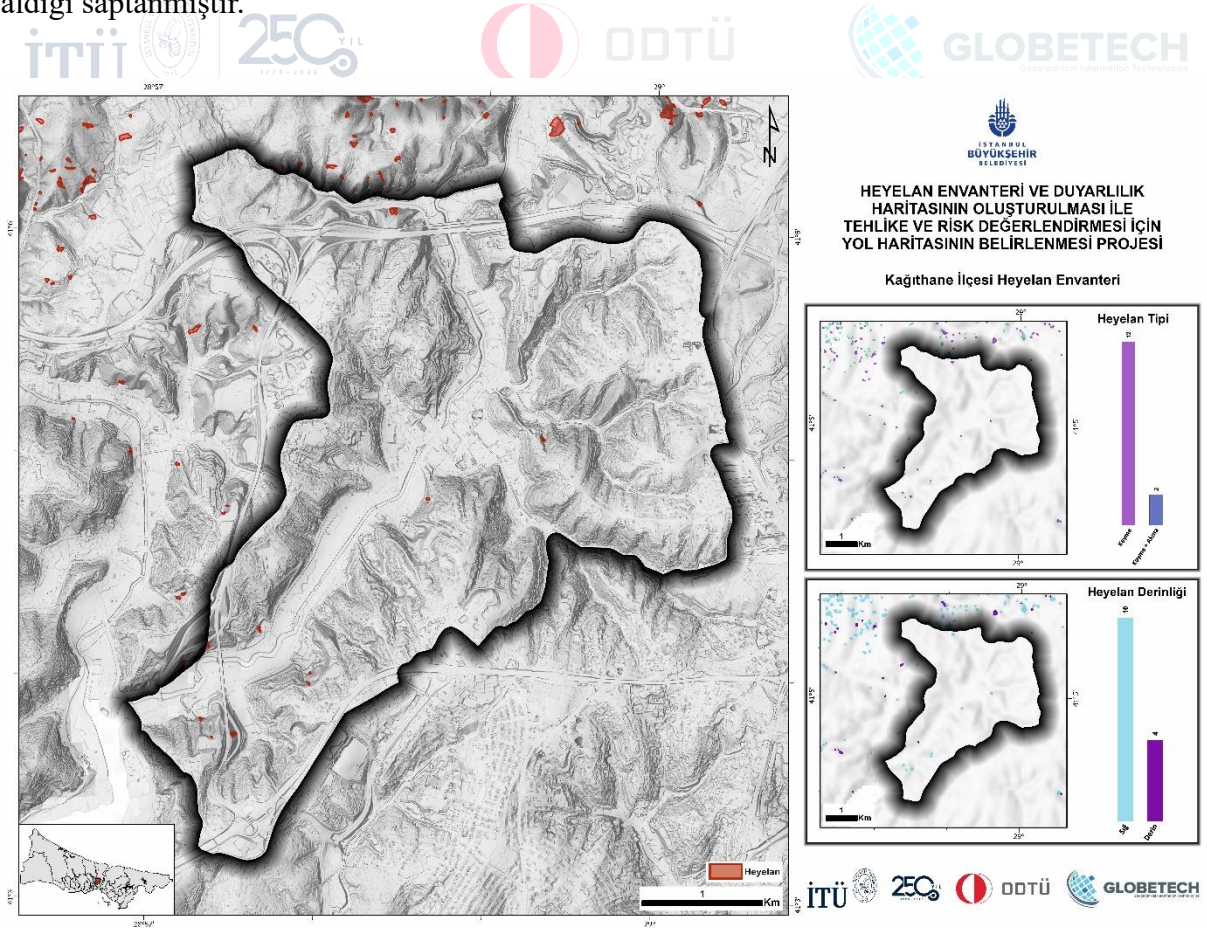
5.2.19 Kağıthane ilçesi Heyelan Envanteri

Kağıthane ilçesi sınırları içerisinde heyelan envanteri kapsamında 14 adet heyelan haritalanmıştır. Heyelanların tamamı 2013 LiDAR Sayısal Yükselti Modeli (DEM) verisi kullanılarak haritalanmıştır.

İlçe sınırları içerisinde heyelan hareket tip desenin dağılışına bakıldığında, 12 adet kayma ve 2 adet karmaşık (kayma+akma) tipinde heyelan olduğu saptanmıştır (Şekil 5.32). Çalışma alanındaki heyelan tip deseninde hakim hareket tipi, kayma tipindeki heyelanlardır. Hareket eden malzeme tipine göre ise 8 adet heyelan kaya, 2 adet heyelan moloz ve 4 adet heyelan ise zemin sınıfı içerisinde yer aldığı tespit edilmiştir.

Kağıthane ilçe sınırları içerisinde haritalanan heyelanların 10 adetinin sıg, 4 adetinin ise derin heyelan olduğu tespit edilmiştir (Şekil 5.32).

İlçe genelinde heyelanların haritalandığı alanlardaki bitki örtüsü yoğunluk sınıflarına göre dağılımına bakıldığında 14 adet heyelanın tamamının seyrek bitki örtüsü sınıfı içerisinde yer aldığı saptanmıştır.



Şekil 5.32 Kağıthane ilçesi heyelan envanter haritası

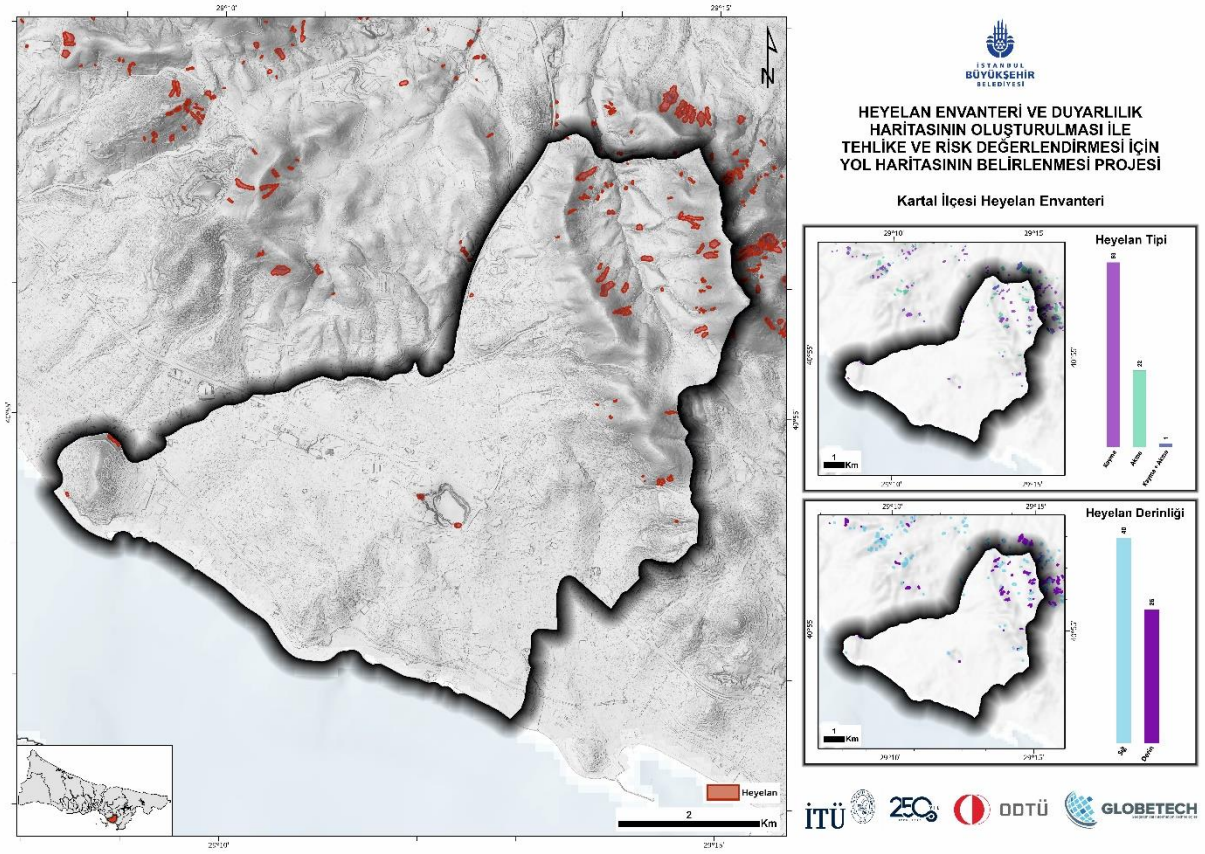
5.2.20 Kartal ilçesi Heyelan Envanteri

Kartal ilçesi sınırları içerisinde heyelan envanteri kapsamında 76 adet heyelan haritalanmıştır. Heyelanların tamamı 2013 LiDAR Sayısal Yükselti Modeli (DEM) verisi kullanılarak haritalanmıştır.

İlçe sınırları içerisinde heyelan hareket tip desenin dağılışına bakıldığında, 53 adet kayma, 22 adet akma ve 1 adet ise karmaşık (kayma+akma) tipinde heyelan olduğu saptanmıştır (Şekil 5.33). Çalışma alanındaki heyelan tip deseninde hakim hareket tipi, kayma tipindeki heyelanlardır. Hareket eden malzeme tipine göre ise 31 adet heyelan kaya, 3 adet heyelan moloz ve 42 adet heyelan ise zemin sınıfı içerisinde yer aldığı tespit edilmiştir.

Kartal ilçe sınırları içerisinde haritalanan heyelanların 40 adetinin sığ, 26 adetinin ise derin heyelan olduğu tespit edilmiştir (Şekil 5.33).

İlçe genelinde heyelanların haritalandığı alanlardaki bitki örtüsü yoğunluk sınıflarına göre dağılımına bakıldığında 24 adet heyelanın seyrek, 2 heyelanın orta, 10 heyelanın yoğun ve 40 heyelanın çok yoğun bitki örtüsü sınıfı içerisinde yer aldığı saptanmıştır.



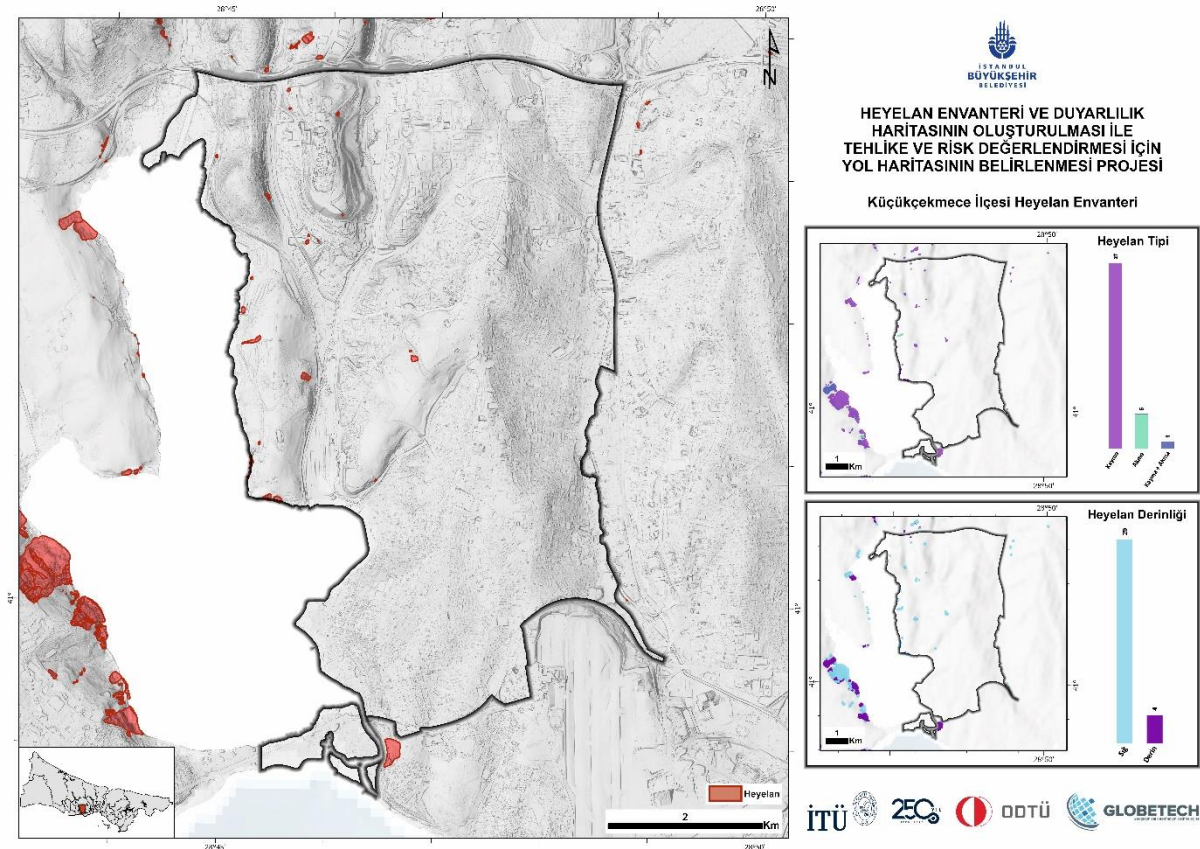
Şekil 5.33 Kartal ilçesi heyelan envanter haritası

5.2.21 Küçükçekmece ilçesi Heyelan Envanteri

Küçükçekmece ilçesi sınırları içerisinde heyelan envanteri kapsamında 33 adet heyelan haritalanmıştır. Heyelanların tamamı 2013 LiDAR Sayısal Yükselti Modeli (DEM) verisi kullanılarak haritalanmıştır.

İlçe sınırları içerisinde heyelan hareket tip deseninin dağılışına bakıldığında, 27 adet kayma, 5 adet akma ve 1 adet ise karmaşık (kayma+akma) tipinde heyelan olduğu saptanmıştır (Şekil 5.34). Çalışma alanındaki heyelan tip deseninde hakim hareket tipi, kayma tipindeki heyelanlardır. Hareket eden malzeme tipine göre ise 7 adet heyelan kaya, 6 adet heyelan moloz ve 20 adet heyelan ise zemin sınıfı içerisinde yer aldığı tespit edilmiştir.

İlçe genelinde heyelanların haritalandığı alanlardaki bitki örtüsü yoğunluk sınıflarına göre dağılımına bakıldığında 33 adet heyelanın tamamının seyrek bitki örtüsü sınıfı içerisinde yer aldığı saptanmıştır.



Şekil 5.34 Küçükçekmece ilçesi heyelan envanter haritası

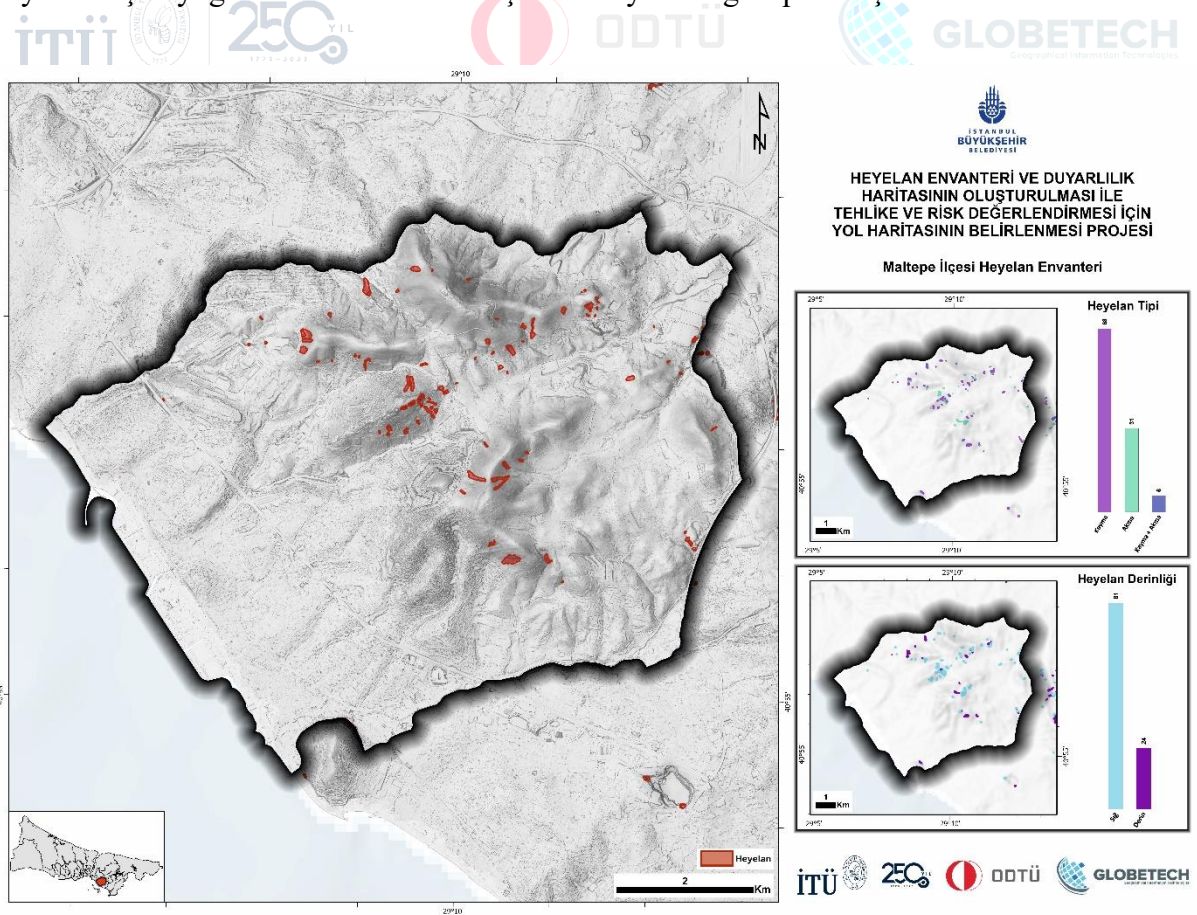
5.2.22 Maltepe ilçesi Heyelan Envanteri

Maltepe ilçesi sınırları içerisinde heyelan envanteri kapsamında 105 adet heyelan haritalanmıştır. Heyelanların tamamı 2013 LiDAR Sayısal Yükselti Modeli (DEM) verisi kullanılarak haritalanmıştır.

İlçe sınırları içerisinde heyelan hareket tip desenin dağılışına bakıldığında, 68 adet kayma, 31 adet akma ve 6 adet ise karmaşık (kayma+akma) tipinde heyelan olduğu saptanmıştır (Şekil 5.35). Çalışma alanındaki heyelan tip deseninde hakim hareket tipi, kayma tipindeki heyelanlardır. Hareket eden malzeme tipine göre ise 28 adet heyelan kaya, 32 adet heyelan moloz ve 45 adet heyelan ise zemin sınıfı içerisinde yer aldığı tespit edilmiştir.

Maltepe ilçe sınırları içerisinde haritalanan heyelanların 81 adetinin sıg, 24 adetinin ise derin heyelan olduğu tespit edilmiştir (Şekil 5.35).

İlçe genelinde heyelanların haritalandığı alanlardaki bitki örtüsü yoğunluk sınıflarına göre dağılımına bakıldığında 50 adet heyelanın seyrek, 10 heyelanın orta, 11 heyelanın yoğun ve 34 heyelanın çok yoğun bitki örtüsü sınıfı içerisinde yer aldığı saptanmıştır.



Şekil 5.35 Maltepe ilçesi heyelan envanter haritası

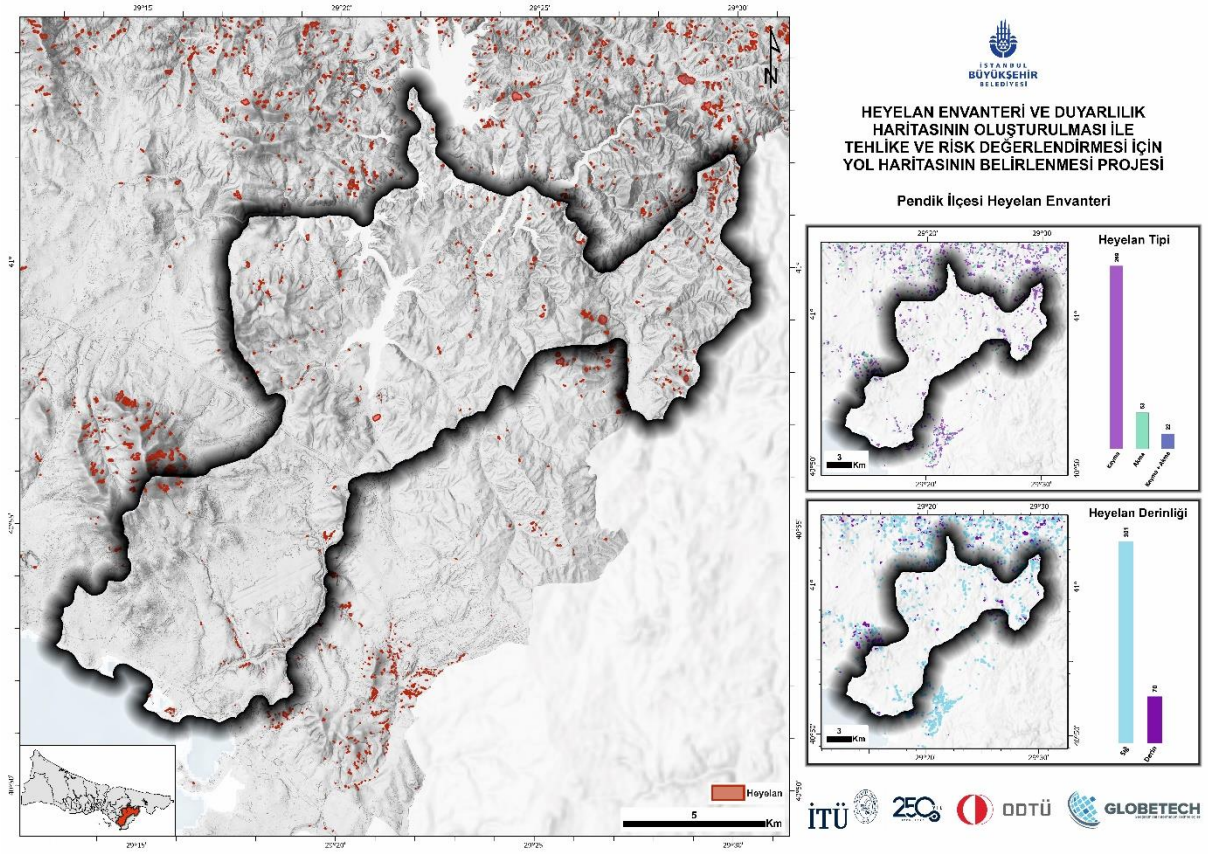
5.2.23 Pendik ilçesi Heyelan Envanteri

Pendik ilçesi sınırları içerisinde heyelan envanteri kapsamında 371 adet heyelan haritalanmıştır. Heyelanların tamamı 2013 LiDAR Sayısal Yükselti Modeli (DEM) verisi kullanılarak haritalanmıştır.

İlçe sınırları içerisinde heyelan hareket tip desenin dağılışına bakıldığında, 269 adet kayma, 53 adet akma ve 22 adet ise karmaşık (kayma+akma) tipinde heyelan olduğu saptanmıştır (Şekil 5.36). Çalışma alanındaki heyelan tip deseninde hakim hareket tipi, kayma tipindeki heyelanlardır. Hareket eden malzeme tipine göre ise 117 adet heyelan kaya, 47 adet heyelan moloz ve 207 adet heyelan ise zemin sınıfı içerisinde yer aldığı tespit edilmiştir.

Pendik ilçe sınırları içerisinde haritalanan heyelanların 301 adetinin sıg, 70 adetinin ise derin heyelan olduğu tespit edilmiştir (Şekil 5.36).

İlçe genelinde heyelanların haritalandığı alanlardaki bitki örtüsü yoğunluk sınıflarına göre dağılımına bakıldığında 285 adet heyelanın seyrek, 12 heyelanın orta, 13 heyelanın yoğun ve 61 heyelanın çok yoğun bitki örtüsü sınıfı içerisinde yer aldığı saptanmıştır.



Şekil 5.36 Pendik ilçesi heyelan envanter haritası

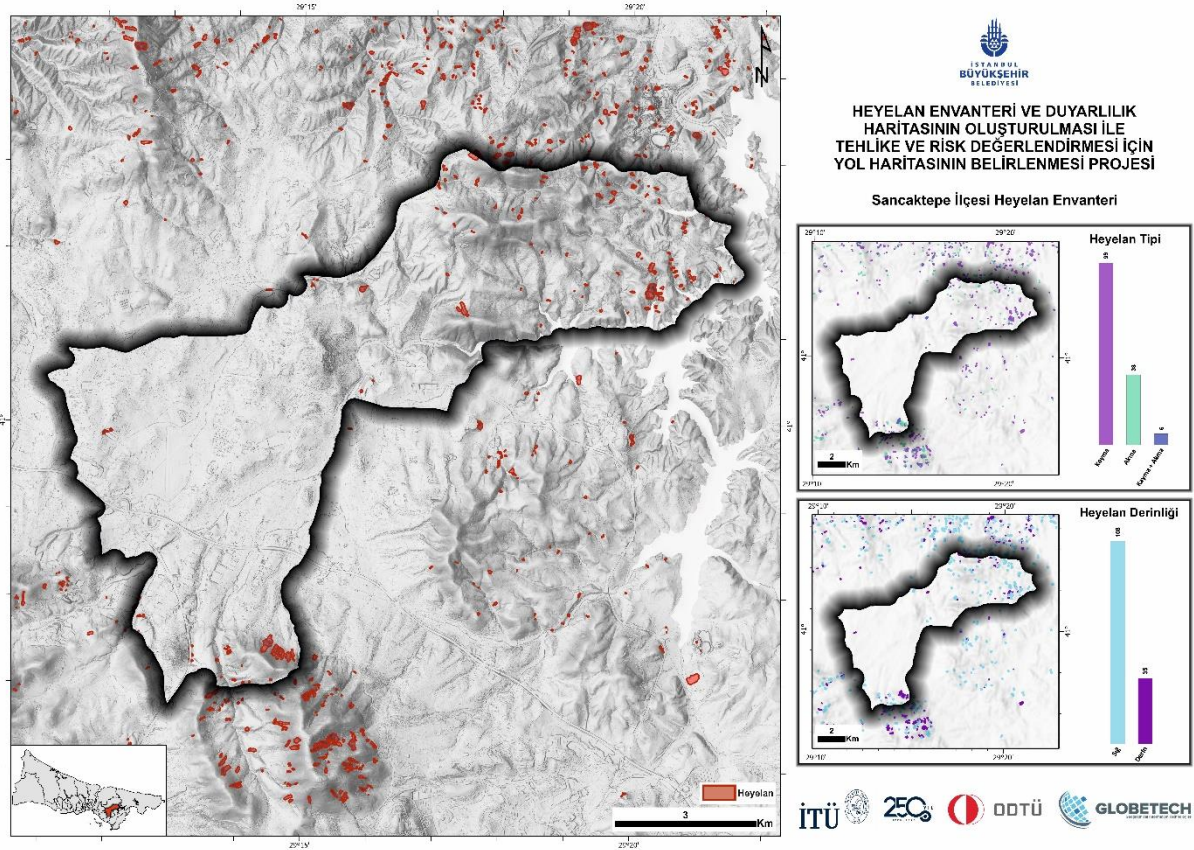
5.2.24 Sancaktepe ilçesi Heyelan Envanteri

Sancaktepe ilçesi sınırları içerisinde heyelan envanteri kapsamında 143 adet heyelan haritalanmıştır. Heyelanların tamamı 2013 LiDAR Sayısal Yükselti Modeli (DEM) verisi kullanılarak haritalanmıştır.

İlçe sınırları içerisinde heyelan hareket tip desenin dağılışına bakıldığında, 99 adet kayma, 38 adet akma ve 6 adet ise karmaşık (kayma+akma) tipinde heyelan olduğu saptanmıştır (Şekil 5.37). Çalışma alanındaki heyelan tip deseninde hakim hareket tipi, kayma tipindeki heyelanlardır. Hareket eden malzeme tipine göre ise 78 adet heyelan kaya, 13 adet heyelan moloz ve 52 adet heyelan ise zemin sınıfı içerisinde yer aldığı tespit edilmiştir.

Sancaktepe ilçe sınırları içerisinde haritalanan heyelanların 108 adetinin sıg, 35 adetinin ise derin heyelan olduğu tespit edilmiştir (Şekil 5.37).

İlçe genelinde heyelanların haritalandığı alanlardaki bitki örtüsü yoğunluk sınıflarına göre dağılımına bakıldığında 59 adet heyelanın seyrek, 4 heyelanın orta, 9 heyelanın yoğun ve 71 heyelanın çok yoğun bitki örtüsü sınıfı içerisinde yer aldığı saptanmıştır.



Şekil 5.37 Sancaktepe ilçesi heyelan envanter haritası

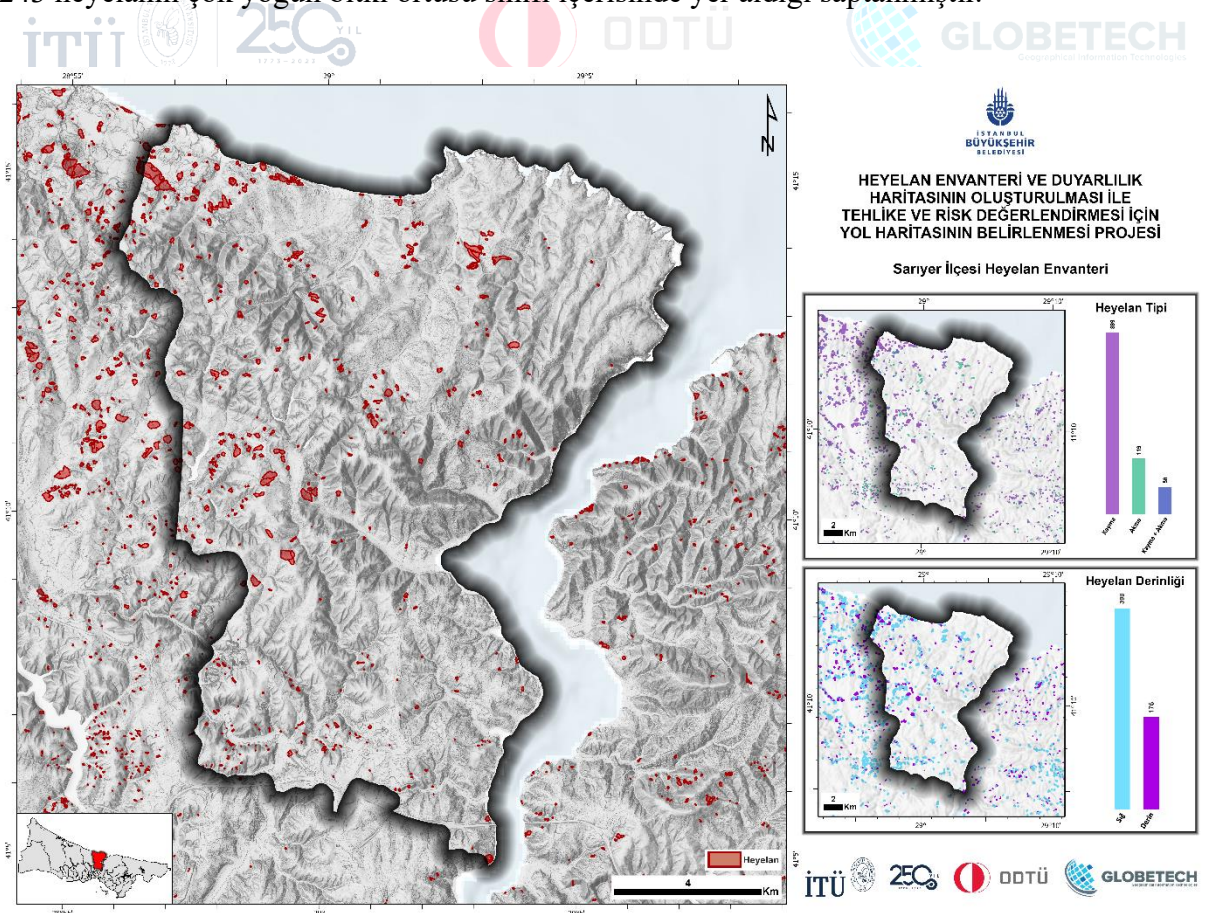
5.2.25 Sarıyer ilçesi Heyelan Envanteri

Sarıyer ilçesi sınırları içerisinde heyelan envanteri kapsamında 566 adet heyelan haritalanmıştır. Heyelanların 556 adeti 2013 LiDAR Sayısal Yükselti Modeli (DEM) verisi kullanılarak, 10 adeti ise ortofoto ve uydu görüntüleri kullanarak haritalanmıştır.

İlçe sınırları içerisinde heyelan hareket tip desenin dağılışına bakıldığında, 389 adet kayma, 119 adet akma ve 58 adet ise karmaşık (kayma+akma) tipinde heyelan olduğu saptanmıştır (Şekil 5.38). Çalışma alanındaki heyelan tip deseninde hakim hareket tipi, kayma tipindeki heyelanlardır. Hareket eden malzeme tipine göre ise 143 adet heyelan kaya, 134 adet heyelan moloz ve 289 adet heyelan ise zemin sınıfı içerisinde yer aldığı tespit edilmiştir.

Sarıyer ilçe sınırları içerisinde haritalanan heyelanların 390 adetinin sıg, 176 adetinin ise derin heyelan olduğu tespit edilmiştir (Şekil 5.38).

İlçe genelinde heyelanların haritalandığı alanlardaki bitki örtüsü yoğunluk sınıflarına göre dağılımına bakıldığında 240 adet heyelanın seyrek, 82 heyelanın orta, 1 heyelanın yoğun ve 243 heyelanın çok yoğun bitki örtüsü sınıfı içerisinde yer aldığı saptanmıştır.



Şekil 5.38 Sarıyer ilçesi heyelan envanter haritası

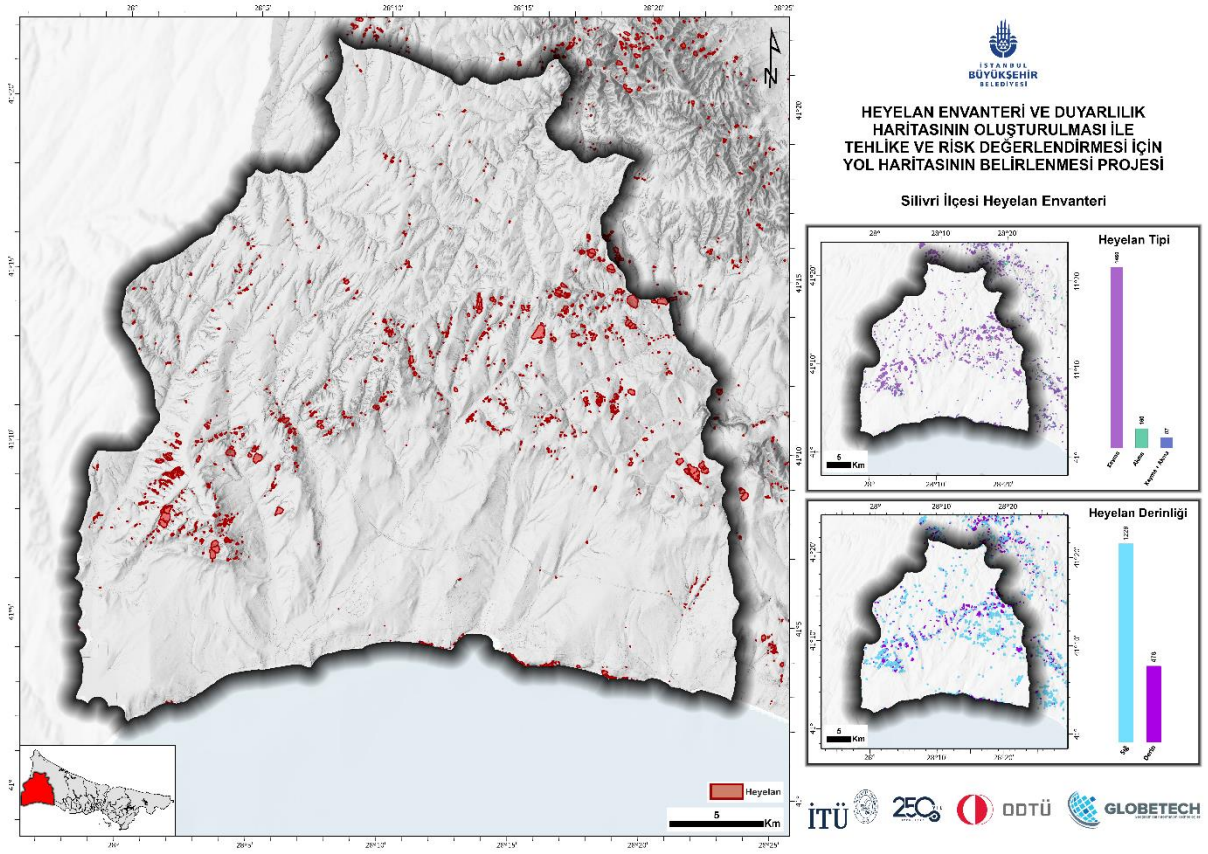
5.2.26 Silivri ilçesi Heyelan Envanteri

Silivri ilçesi sınırları içerisinde heyelan envanteri kapsamında 1707 adet heyelan haritalanmıştır. Heyelanların 1703 adeti 2013 LiDAR Sayısal Yükselti Modeli (DEM) verisi kullanılarak, 4 adeti ise ortofoto ve uydu görüntüleri kullanarak haritalanmıştır.

İlçe sınırları içerisinde heyelan hareket tip desenin dağılışına bakıldığında, 1460 adet kayma, 160 adet akma ve 87 adet ise karmaşık (kayma+akma) tipinde heyelan olduğu saptanmıştır (Şekil 5.39). Çalışma alanındaki heyelan tip deseninde hakim hareket tipi, kayma tipindeki heyelanlardır. Hareket eden malzeme tipine göre ise 179 adet heyelan kaya, 72 adet heyelan moloz ve 1456 adet heyelan ise zemin sınıfı içerisinde yer aldığı tespit edilmiştir.

Silivri ilçe sınırları içerisinde haritalanan heyelanların 1229 adetinin sığ, 478 adetinin ise derin heyelan olduğu tespit edilmiştir (Şekil 5.39).

İlçe genelinde heyelanların haritalandığı alanlardaki bitki örtüsü yoğunluk sınıflarına göre dağılımına bakıldığında 1172 adet heyelanın seyrek, 215 heyelanın orta, 31 heyelanın yoğun ve 289 heyelanın çok yoğun bitki örtüsü sınıfı içerisinde yer aldığı saptanmıştır.



Şekil 5.39 Silivri ilçesi heyelan envanter haritası

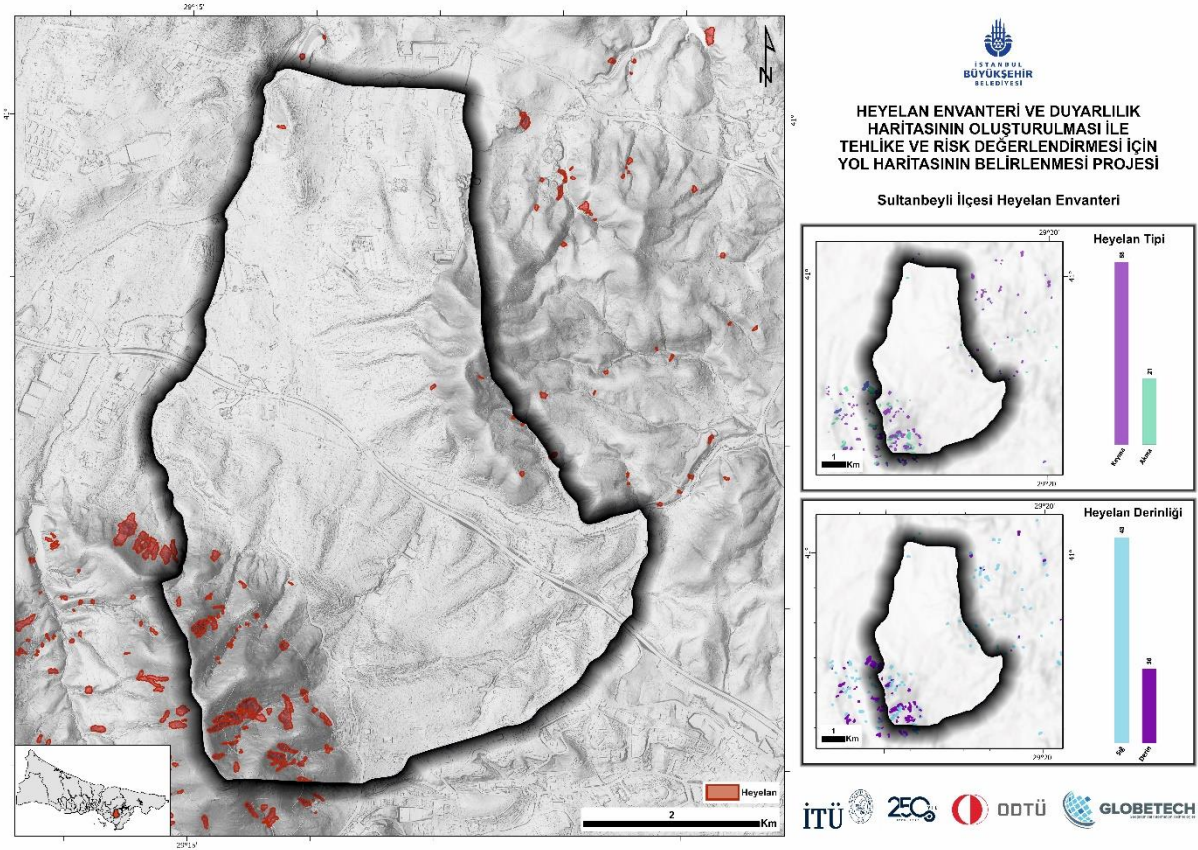
5.2.27 Sultanbeyli ilçesi Heyelan Envanteri

Sultanbeyli ilçesi sınırları içerisinde heyelan envanteri kapsamında 79 adet heyelan haritalanmıştır. Heyelanların tamamı 2013 LiDAR Sayısal Yükselti Modeli (DEM) verisi kullanılarak haritalanmıştır.

İlçe sınırları içerisinde heyelan hareket tip desenin dağılışına bakıldığında, 58 adet kayma ve 21 adet akma tipinde heyelan olduğu saptanmıştır (Şekil 5.40). Çalışma alanındaki heyelan tip deseninde hakim hareket tipi, kayma tipindeki heyelanlardır. Hareket eden malzeme tipine göre ise 48 adet heyelanın kaya ve 31 adet heyelanın ise zemin sınıfı içerisinde yer aldığı tespit edilmiştir.

Sultanbeyli ilçe sınırları içerisinde haritalanan heyelanların 43 adetinin sıg, 36 adetinin ise derin heyelan olduğu tespit edilmiştir (Şekil 5.40).

İlçe genelinde heyelanların haritalandığı alanlardaki bitki örtüsü yoğunluk sınıflarına göre dağılımına bakıldığında 12 adet heyelanın seyrek, 6 heyelanın orta, 1 heyelanın yoğun ve 60 heyelanın çok yoğun bitki örtüsü sınıfı içerisinde yer aldığı saptanmıştır.



Şekil 5.40 Sultanbeyli ilçesi heyelan envanter haritası

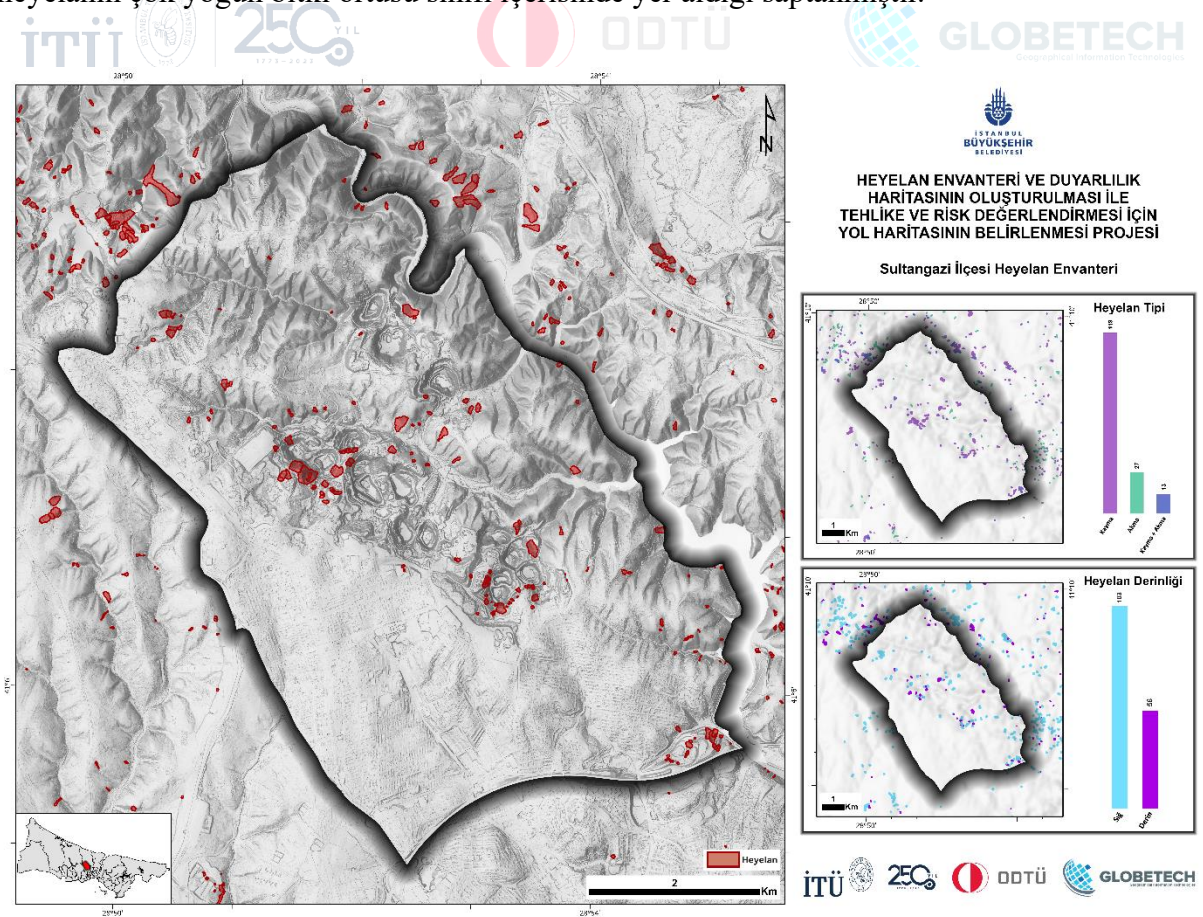
5.2.28 Sultangazi ilçesi Heyelan Envanteri

Sultangazi ilçesi sınırları içerisinde heyelan envanteri kapsamında 159 adet heyelan haritalanmıştır. Heyelanların 144 adeti 2013 LiDAR Sayısal Yükselti Modeli (DEM) verisi kullanılarak, 15 adeti ise ortofoto ve uydu görüntüleri kullanarak haritalanmıştır.

İlçe sınırları içerisinde heyelan hareket tip desenin dağılışına bakıldığında, 119 adet kayma, 27 adet akma ve 13 adet ise karmaşık (kayma+akma) tipinde heyelan olduğu saptanmıştır (Şekil 5.41). Çalışma alanındaki heyelan tip deseninde hakim hareket tipi, kayma tipindeki heyelanlardır. Hareket eden malzeme tipine göre ise 54 adet heyelan kaya, 74 adet heyelan moloz ve 31 adet heyelan ise zemin sınıfı içerisinde yer aldığı tespit edilmiştir.

Sultangazi ilçe sınırları içerisinde haritalanan heyelanların 103 adetinin sıg, 56 adetinin ise derin heyelan olduğu tespit edilmiştir (Şekil 5.41).

İlçe genelinde heyelanların haritalandığı alanlardaki bitki örtüsü yoğunluk sınıflarına göre dağılımına bakıldığında 140 adet heyelanın seyrek, 2 heyelanın orta, 3 heyelanın yoğun ve 14 heyelanın çok yoğun bitki örtüsü sınıfı içerisinde yer aldığı saptanmıştır.



Şekil 5.41 Sultangazi ilçesi heyelan envanter haritası

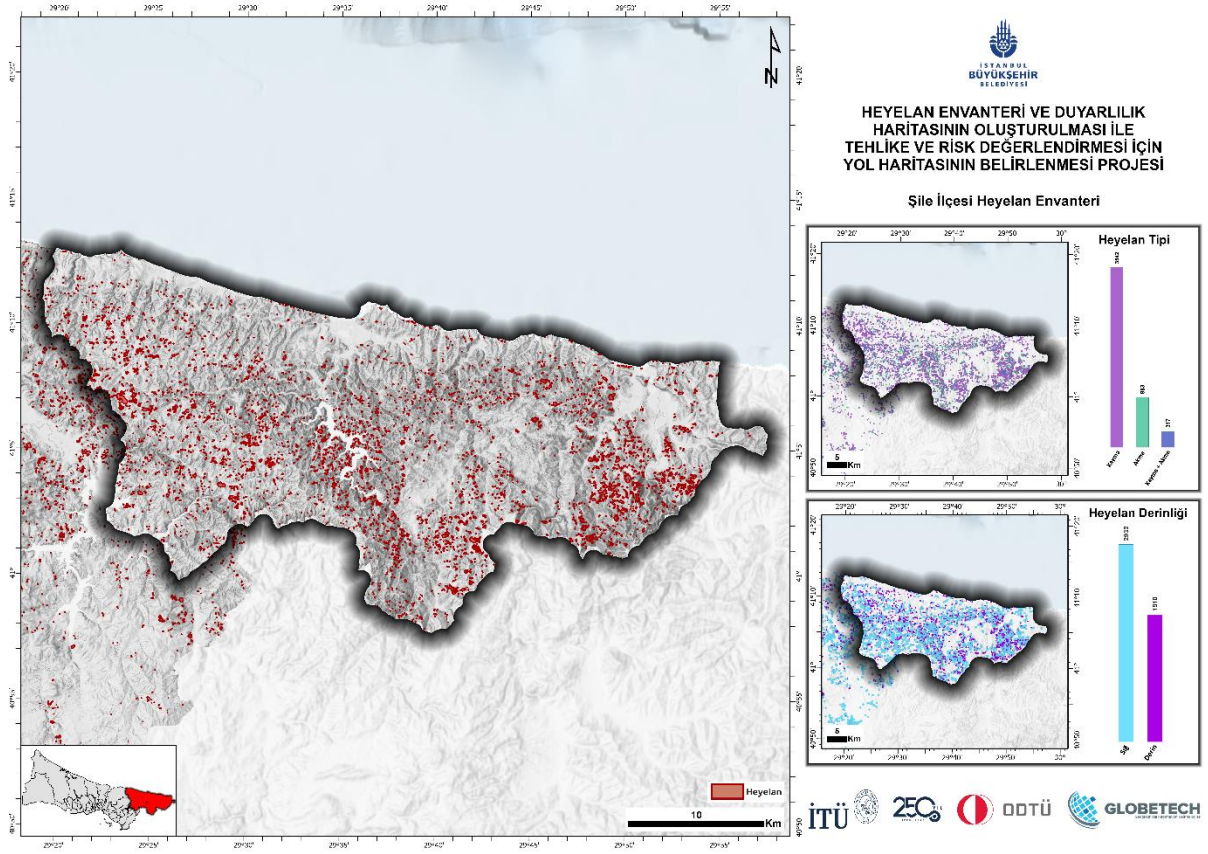
5.2.29 Şile ilçesi Heyelan Envanteri

Şile ilçesi sınırları içerisinde heyelan envanteri kapsamında 4842 adet heyelan haritalanmıştır. Heyelanların 4805 adeti 2013 LiDAR Sayısal Yükselti Modeli (DEM) verisi kullanılarak, 37 adeti ise ortofoto ve uydu görüntüleri kullanarak haritalanmıştır.

İlçe sınırları içerisinde heyelan hareket tip desenin dağılışına bakıldığında, 3542 adet kayma, 983 adet akma ve 317 adet ise karmaşık (kayma+akma) tipinde heyelan olduğu saptanmıştır (Şekil 5.42). Çalışma alanındaki heyelan tip deseninde hakim hareket tipi, kayma tipindeki heyelanlardır. Hareket eden malzeme tipine göre ise 2639 adet heyelan kaya, 119 adet heyelan moloz ve 2084 adet heyelan ise zemin sınıfı içerisinde yer aldığı tespit edilmiştir.

Şile ilçe sınırları içerisinde haritalanan heyelanların 2932 adetinin sığ, 1910 adetinin ise derin heyelan olduğu tespit edilmiştir (Şekil 5.42).

İlçe genelinde heyelanların haritalandığı alanlardaki bitki örtüsü yoğunluk sınıflarına göre dağılımına bakıldığında 1001 adet heyelanın seyrek, 703 heyelanın orta, 8 heyelanın yoğun ve 3130 heyelanın çok yoğun bitki örtüsü sınıfı içerisinde yer aldığı saptanmıştır.



Şekil 5.42 Şile ilçesi heyelan envanter haritası

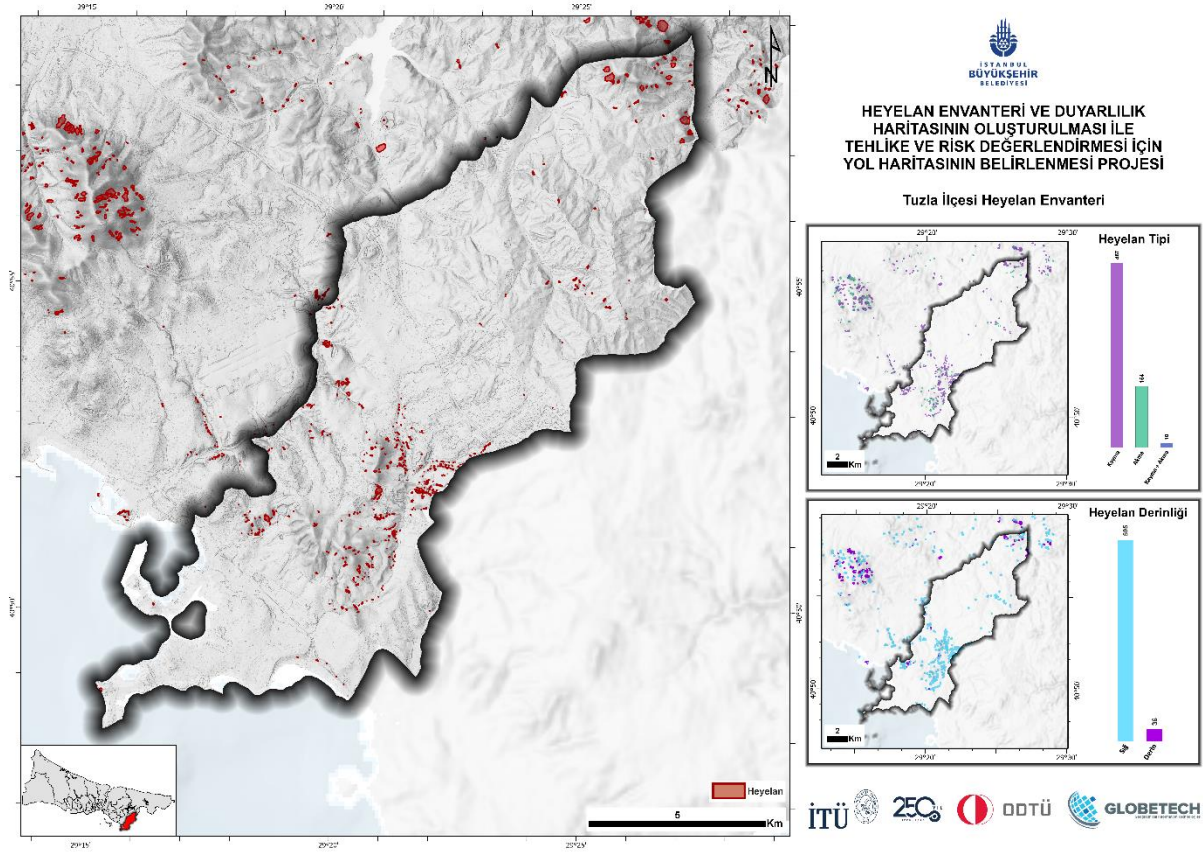
5.2.30 Tuzla İlçesi Heyelan Envanteri

Tuzla ilçesi sınırları içerisinde heyelan envanteri kapsamında 631 adet heyelan haritalanmıştır. Heyelanların 630 adeti 2013 LiDAR Sayısal Yükselti Modeli (DEM) verisi kullanılarak, 1 adeti ise ortofoto ve uydu görüntüleri kullanarak haritalanmıştır.

İlçe sınırları içerisinde heyelan hareket tip desenin dağılışına bakıldığında, 467 adet kayma, 154 adet akma ve 10 adet ise karmaşık (kayma+akma) tipinde heyelan olduğu saptanmıştır (Şekil 5.43). Çalışma alanındaki heyelan tip deseninde hakim hareket tipi, kayma tipindeki heyelanlardır. Hareket eden malzeme tipine göre ise 142 adet heyelan kaya, 110 adet heyelan moloz ve 379 adet heyelan ise zemin sınıfı içerisinde yer aldığı tespit edilmiştir.

Tuzla ilçe sınırları içerisinde haritalanan heyelanların 595 adetinin sıg, 36 adetinin ise derin heyelan olduğu tespit edilmiştir (Şekil 5.43).

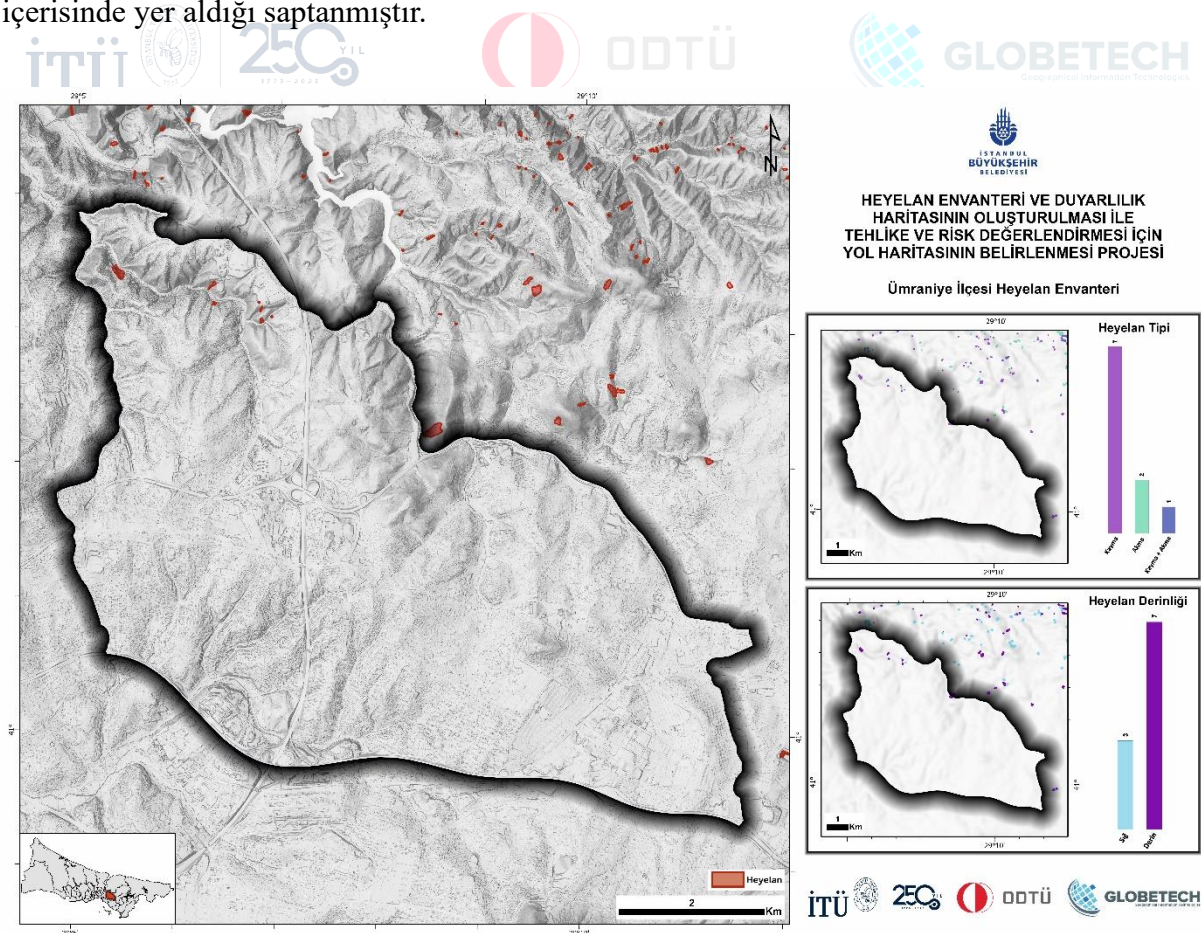
İlçe genelinde heyelanların haritalandığı alanlardaki bitki örtüsü yoğunluk sınıflarına göre dağılımına bakıldığında 571 adet heyelanın seyrek, 30 heyelanın orta, 7 heyelanın yoğun ve 23 heyelanın çok yoğun bitki örtüsü sınıfı içerisinde yer aldığı saptanmıştır.



5.2.31 Ümraniye ilçesi Heyelan Envanteri

Ümraniye ilçesi sınırları içerisinde heyelan envanteri kapsamında 10 adet heyelan haritalanmıştır. Heyelanların tamamı 2013 LiDAR Sayısal Yükselti Modeli (DEM) verisi kullanılarak haritalanmıştır.

İlçe genelinde heyelanların haritalandığı alanlardaki bitki örtüsü yoğunluk sınıflarına göre dağılımına bakıldığında 9 adet heyelanın seyrek, 1 heyelanın ise orta bitki örtüsü sınıfı içerisinde yer aldığı saptanmıştır.



Şekil 5.44 Ümraniye ilçesi heyelan envanter haritası

5.2.32 Üsküdar ilçesi Heyelan Envanteri

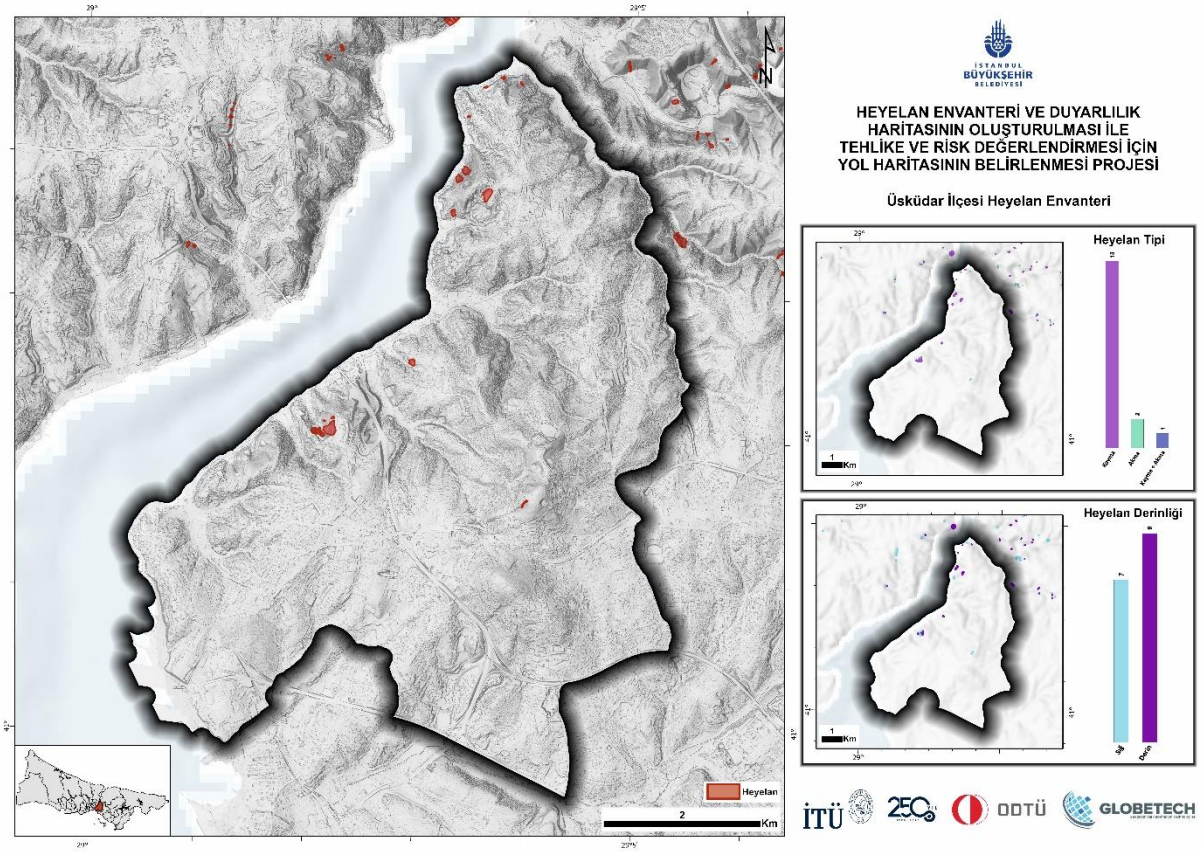
Üsküdar ilçesi sınırları içerisinde heyelan envanteri kapsamında 16 adet heyelan haritalanmıştır. Heyelanların tamamı 2013 LiDAR Sayısal Yükselti Modeli (DEM) verisi kullanılarak haritalanmıştır.

İlçe sınırları içerisinde heyelan hareket tip desenin dağılışına bakıldığında, 13 adet kayma, 2 adet akma ve 1 adet ise karmaşık (kayma+akma) tipinde heyelan olduğu saptanmıştır (Şekil 5.45). Çalışma alanındaki heyelan tip deseninde hakim hareket tipi, kayma tipindeki heyelanlardır. Hareket eden malzeme tipine göre ise 11 adet heyelan kaya, 2 adet heyelan moloz ve 3 adet heyelan ise zemin sınıfı içerisinde yer aldığı tespit edilmiştir.

Üsküdar ilçe sınırları içerisinde haritalanan heyelanların 7 adetinin sığ, 9 adetinin ise derin heyelan olduğu tespit edilmiştir (Şekil 5.45).

İlçe genelinde heyelanların haritalandığı alanlardaki bitki örtüsü yoğunluk sınıflarına göre dağılımına bakıldığında 16 adet heyelanın tamamının seyrek bitki örtüsü sınıfı içerisinde yer aldığı saptanmıştır.





Şekil 5.45 Üsküdar ilçesi heyelan envanter haritası

Ataşehir, Beyoğlu, Fatih, Güngören, Kadıköy, Şişli ve Zeytinburnu ilçe sınırları içerisinde haritalanan heyelan bulunmadığı için, ilçelere göre heyelan envanteri başlığı altında envanter bilgisi ve harita sunulmamıştır.

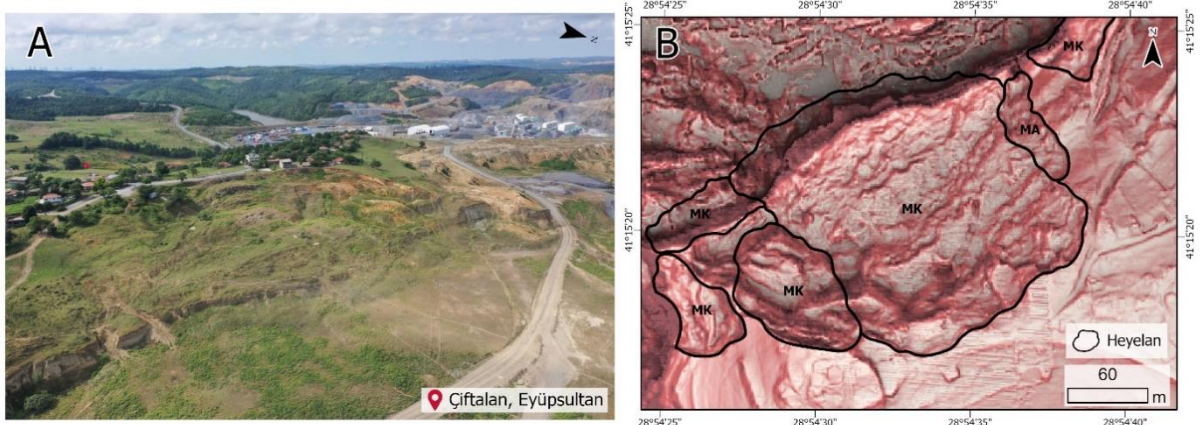
5.3 Saha Çalışmaları ile Envanter Kontrolleri

Heyelan envanterlerinin arazide kontrollerinin sağlanması kapsamında İstanbul il sınırları içerisinde 22 lokasyonda envanter kontrolü ve saha çalışması düzenlenmiştir (Şekil 5.46). Bu kapsamda özellikle hareket eden malzemenin büyüklüğü ve bitki örtüsünün açıklığının elverişli olduğu alanlarda gerekli kontroller sağlanarak envanter doğruluğunun artırılmasına katkı sağlanmıştır.



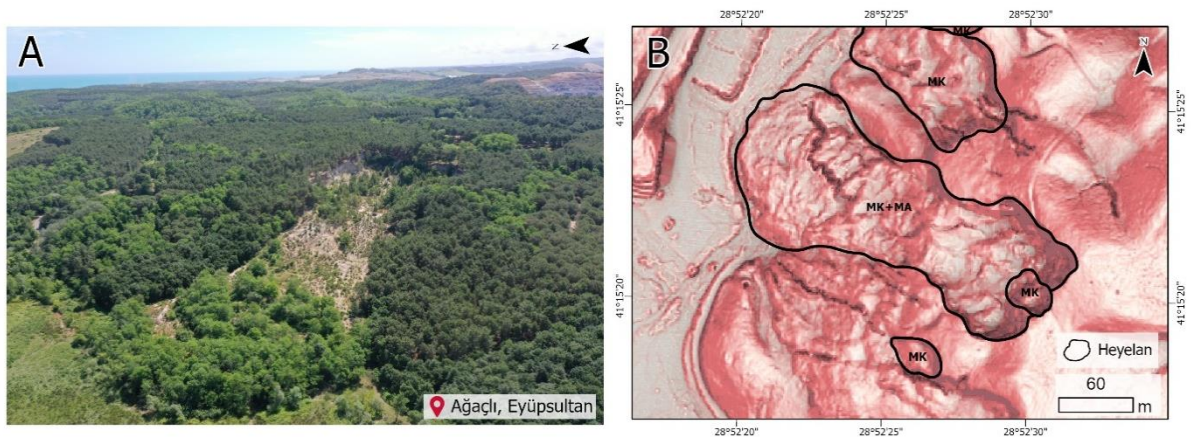
Şekil 5.46 Proje ekibi tarafından saha çalışmasında kontrolü sağlanan Avcıkoru / Şile yakınlarında hafriyat döküm alanında gelişen heyelan (A) ve Darılık Barajı / Şile mevkiinde akarsu yan yamaçlarında gelişen heyelanlar (B)

Saha çalışmaları kapsamında İstanbul Avrupa yakası kuzey kesimlerinde yayılış gösteren Ağaçlı Üyesi (Tda) ve Kıraç Üyesinde (Tik), iftalan mevkiinde gelişen kaymaların bulunduğu alana saha çalışması düzenlenmiştir. Bu kapsamda bölgede yürütölmekte olan madencilik faaliyetlerinin yamaç stabilitelere olan olumsuz etkisi ve dolayısıyla heyelan açıısından duyarlı zonların oluşmasına neden oldukları gözlemlenmiştir (Şekil 5.47).



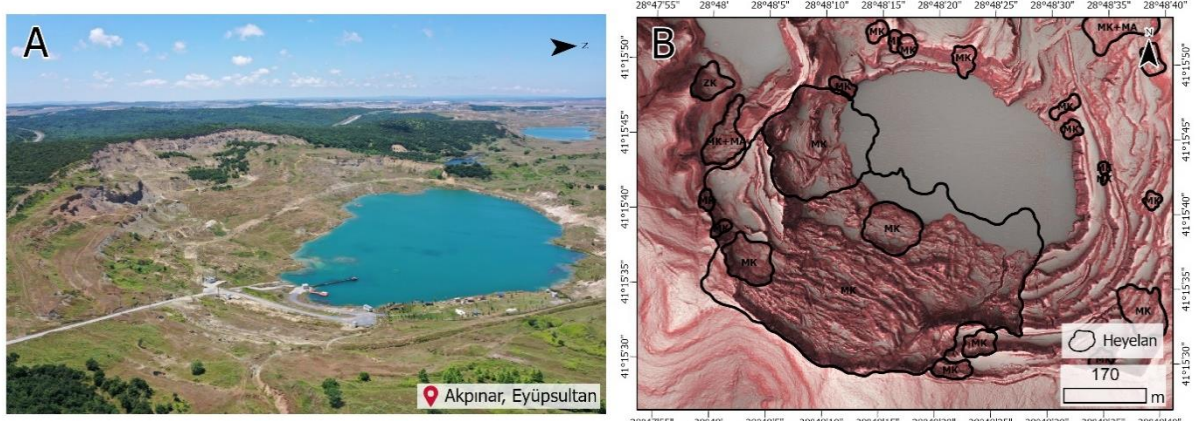
Şekil 5.47 iftalan mevkiinde gelişen heyelanlar (A). Kırmızı Topoğrafya Görüntü Haritası (RRIM) ve heyelanlar (B).

Yine Eyüpsultan ilçe sınırları içerisinde yer alan Ağaçlı mevkiinde, Ağaçlı Üyesi (Tda) üzerinde madencilik faaliyetlerine bağlı tetiklenen Ağaçlı heyelanı saha çalışması kapsamında yerinde gözlemlenmiştir (Şekil 5.48).



Şekil 5.48 Ağaçlı mevkiinde gelişen heyelanlar (A). Kırmızı Topoğrafya Görüntü Haritası (RRIM) ve heyelanlar (B)

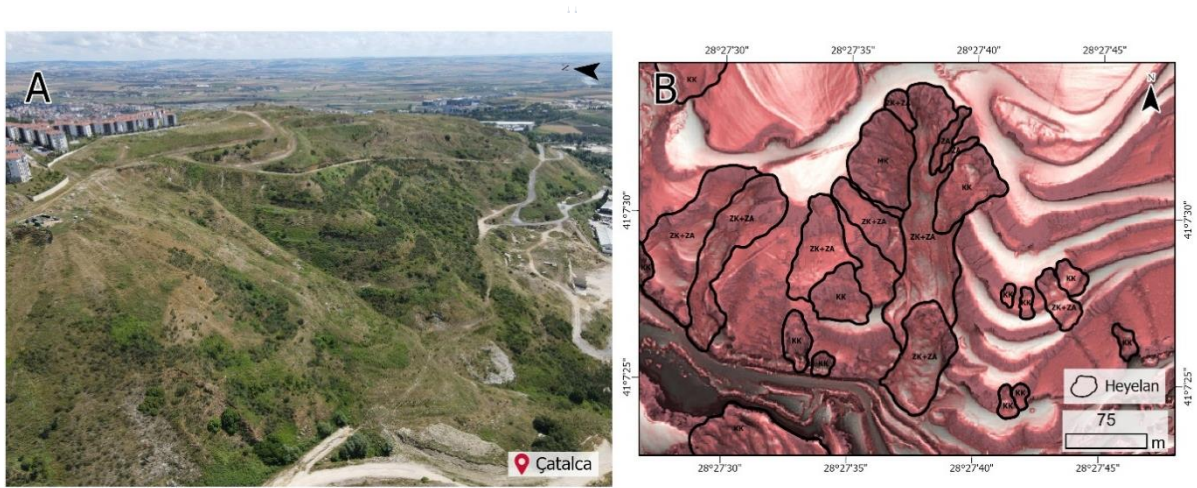
Aynı bölgede Akpınar mevkiinde Ağaçlı Üyesi (Tda) üzerinde gelişen kayma saha çalışması kapsamında yerinde gözlemlenmiştir (Şekil 5.49).



Şekil 5.49 Akpınar mevkiinde gelişen heyelanlar (A). Kırmızı Topoğrafya Görüntü Haritası (RRIM) ve heyelanlar (B)

Ağaçlı Üyesi (Tda) ve Kırış Üyesinde (Tik)'nin genel anlamda yayılış gösterdiği bölge madencilik faaliyetleri ve hafriyat döküm alanları gibi antropojenik etkiye fazlaca maruz kalması bakımında yüksek heyelan yoğunluğuna sahiptir.

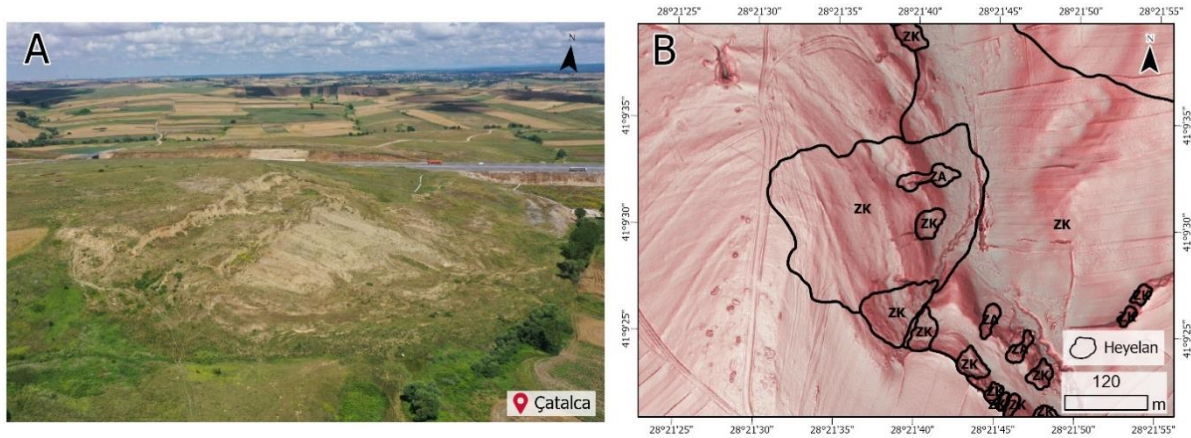
Çatalca mevkiinde Kocabayır Grubu (PTRk) üzerinde gelişen Kayma, Akma ve Kayma + Akma şeklinde gelişen heyelanlar saha çalışması kapsamında yerinde gözlemlenmiştir (Şekil 5.50).



Şekil 5.50 Çatalca mevkiinde gelişen heyelanlar (A). Kırmızı Topoğrafya Görüntü Haritası (RRIM) ve heyelanlar (B)

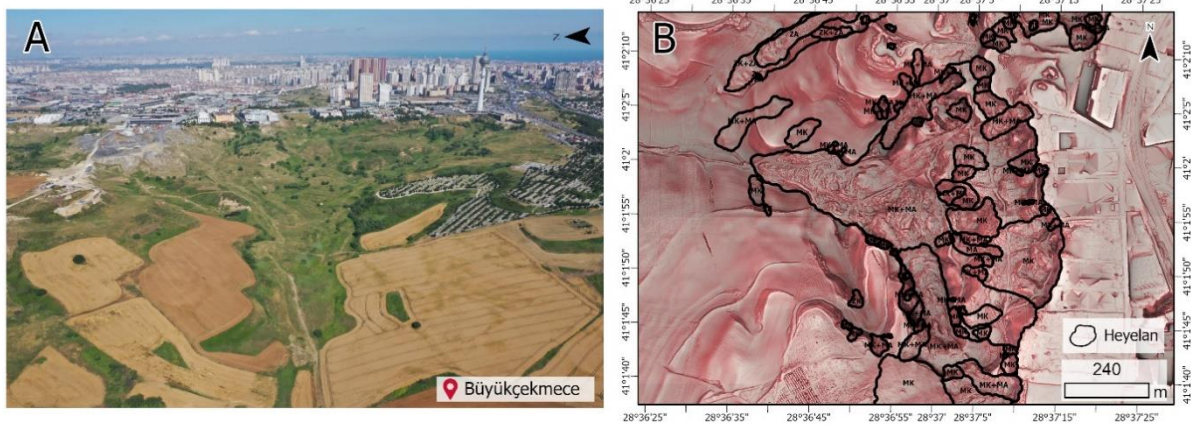
Yine Çatalca mevkiinde otoyol inşaatı esnasında yapılan yol hafriyatı ve çevre düzenleme alanında yamaç stabilitesinin bozulmasına bağlı olarak gelişen kaymalar saha çalışması

kapsamında yerinde gözlemlenmiştir. Bu alan da heyelanlar 2013 (LiDAR verisi) yılı sonrasında olduğu için uydu görüntüleri üzerinden haritalanmışlardır (Şekil 5.51).

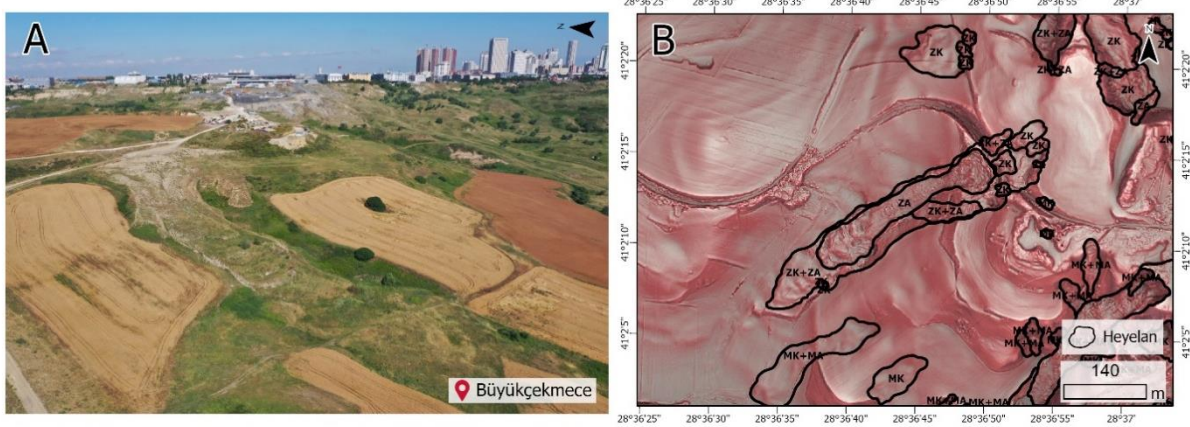


Şekil 5.51 Çatalca mevkiinde gelişen heyelanlar (A). Kırmızı Topoğrafya Görüntü Haritası (RRIM) ve heyelanlar (B)

Kıraç ve Gürpınar Üyelerinin yayılış gösterdiği Büyükçekmece mevkiinde, heyelana duyarlı malzemelerin kontrolsüz antropojenik faaliyetlere tetiklediği kayma, akma ve kayma + akma sahaları saha çalışması kapsamında yerinde gözlemlenmiştir (Şekil 5.52 ve Şekil 5.53).

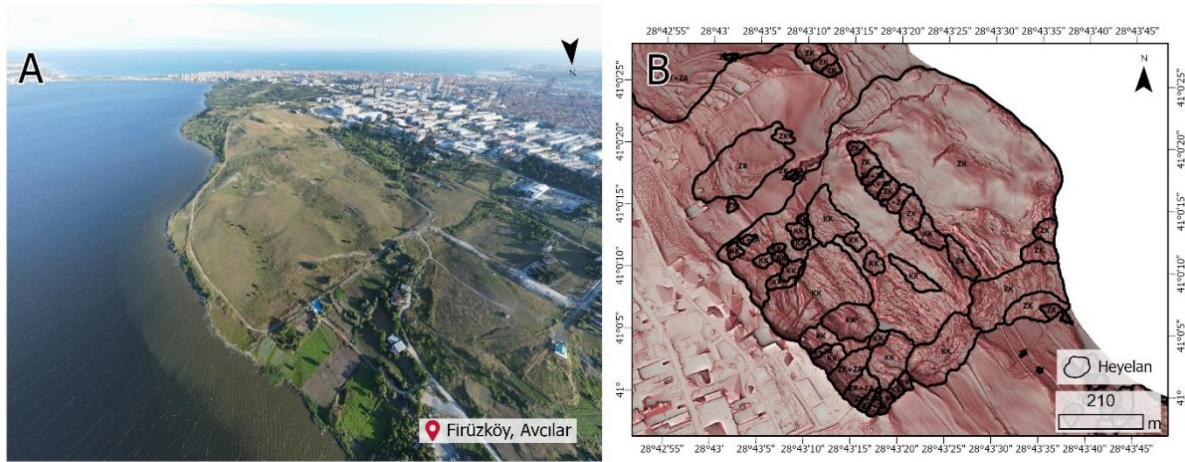


Şekil 5.52 Büyükçekmece mevkiinde gelişen heyelanlar (A). Kırmızı Topoğrafya Görüntü Haritası (RRIM) ve heyelanlar (B)



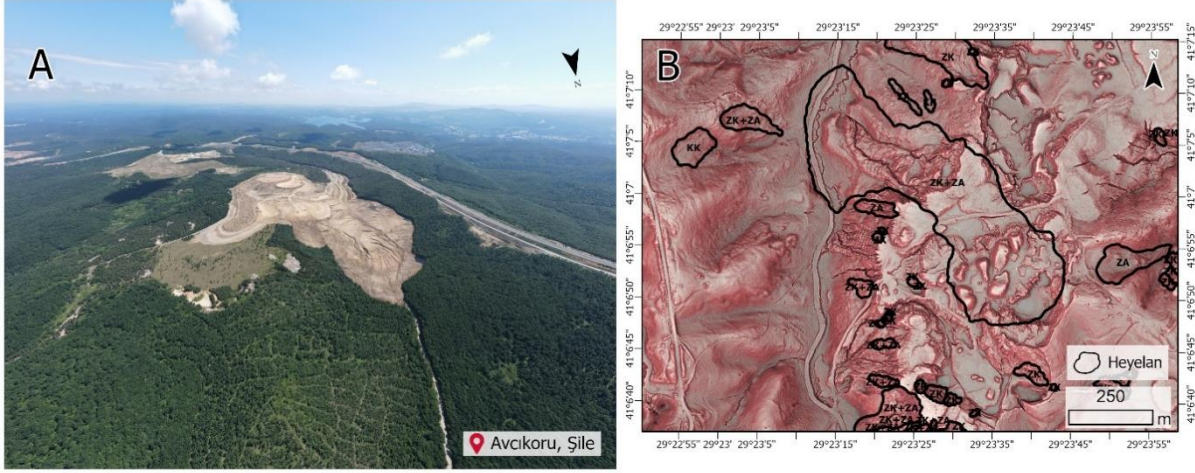
Şekil 5.53 Büyükçekmece mevkiinde gelişen heyelanlar (A). Kırmızı Topoğrafya Görüntü Haritası (RRIM) ve heyelanlar (B)

Firuzköy mevkiinde gelişen kayma ve etrafındaki şehrsel alanın bu heyelana etkisi saha çalışması kapsamında yerinde gözlemlenmiştir (Şekil 5.54).



Şekil 5.54 Firuzköy mevkiinde gelişen heyelanlar (A). Kırmızı Topoğrafya Görüntü Haritası (RRIM) ve heyelanlar (B)

İstanbul Asya yakasında Avcıkoru tabiat parkı mevkiinde yer alan hafriyat döküm alanının zaman içerisinde stabilitesinin bozulmasında bağlı olarak oluşturduğu heyelan saha çalışması kapsamında yerinde gözlemlenmiştir (Şekil 5.55).



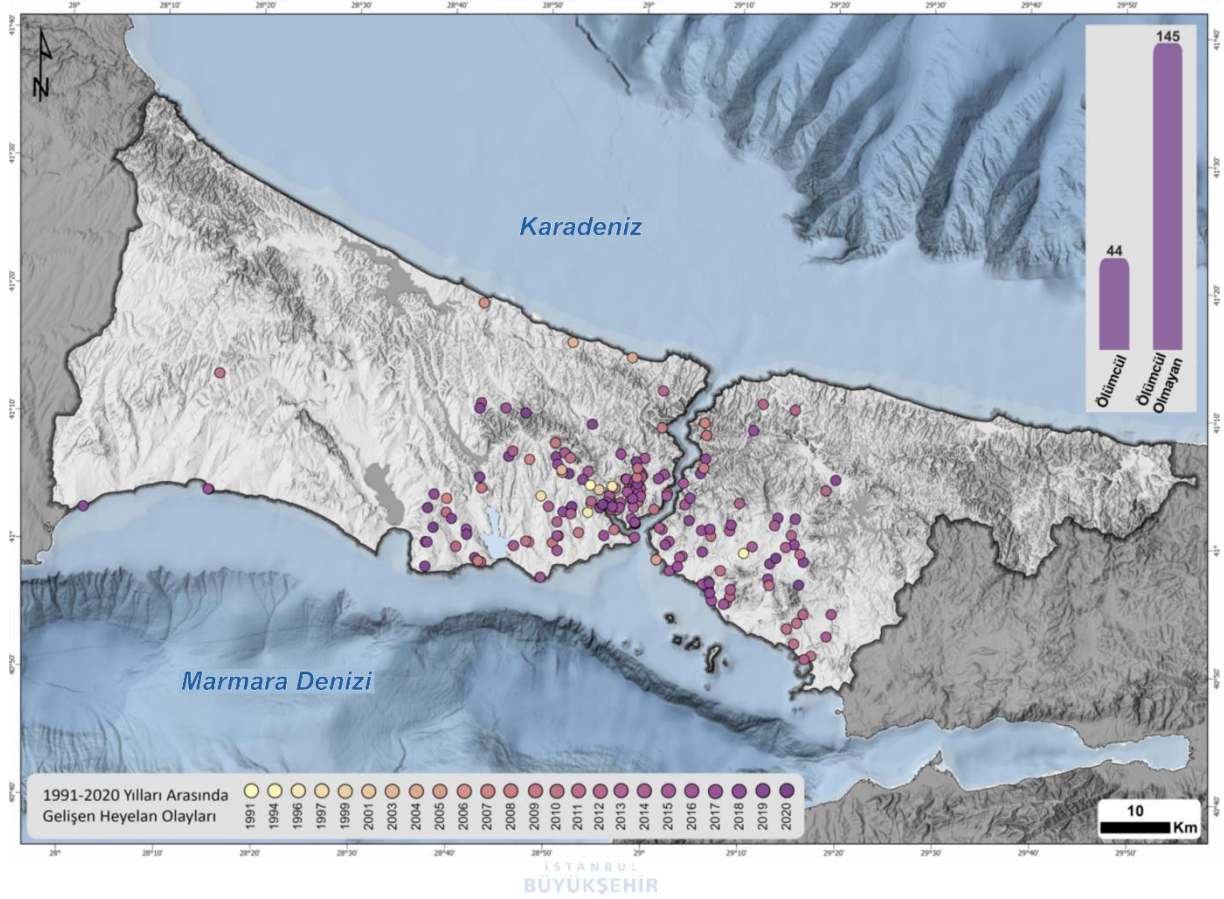
Şekil 5.55 Avcıkoru mevkiinde gelişen heyelanlar (A). Kırmızı Topoğrafya Görüntü Haritası (RRIM) ve heyelanlar (B)

İstanbul il sınırları içerisinde haritalanan 17764 adet heyelanın neredeyse yarısının bitki örtüsü yoğun ormanlık alanlarda gelişmiş olması bu alanların karar vericiler nezdinde daha iyi anlaşılması açısından dikkat çekici bir durumdur. İstanbul ili özelinde yukarıda sıralanan örnek lokasyonlarda dikkati çeken en önemli heyelan tetikleyici faktörlerden birinin antropojenik faaliyetler olduğu dikkati çekmektedir. İl sınırları içerisinde antropojenik faaliyetlere bağlı olarak gelişen birçok büyük ve küçük heyelan mevcuttur bu açıdan bakıldığında antropojenik etki İstanbul heyelan duyarlılığı açısından önem arz etmektedir. Özellikle hareket eden malzeme tipi de dikkate alındığında moloz olarak nitelendirilen antropojenik etkinin neden olduğu zemin malzemesi, şehirselleşen alan içerisinde heyelana duyarlı alanların oluşmasına neden olmaktadır. Bu tip alanların doğru planlama ve projelendirme yapılmadan yerleşime açılması kentsel dirençlilik açısından da ciddi sorun teşkil ediyor olması unutulmamalıdır.

5.4 İstanbul Heyelan Arşiv Envanteri

İstanbul özelinde tarihsel ve güncel arşiv kayıtları kullanılarak oluşturulan heyelan arşiv envanteri çalışmalarında, Görüm ve Fidan (2021) tarafından 1991-2020 yılları arasında

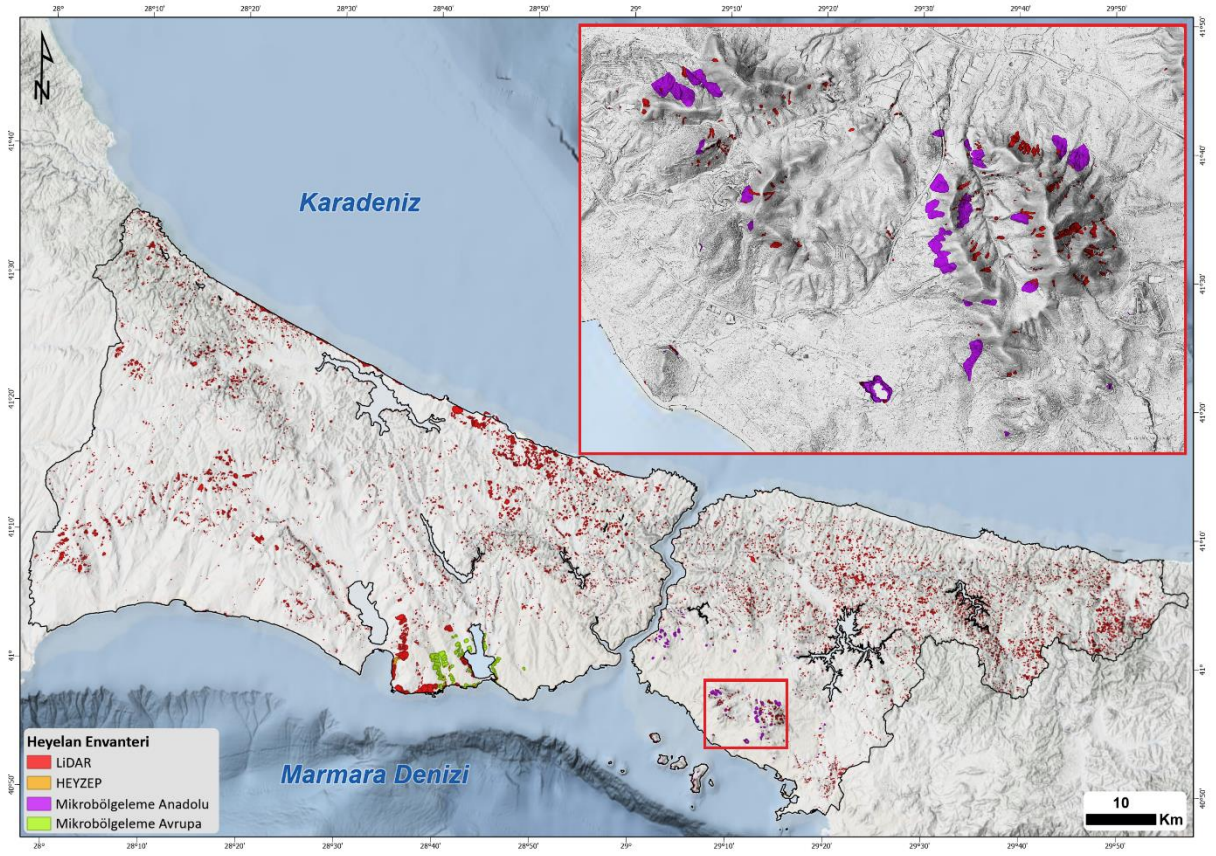
toplamda 189 adet heyelan meydana geldiği tespit edilmiştir. Bu yıllar içinde gelişen heyelan olaylarının 44'ünün ölüme neden olduğu 145'inin ise ölümlle sonuçlanmadığı saptanmıştır (Şekil 5.56) (Görüm ve Fidan, 2021).



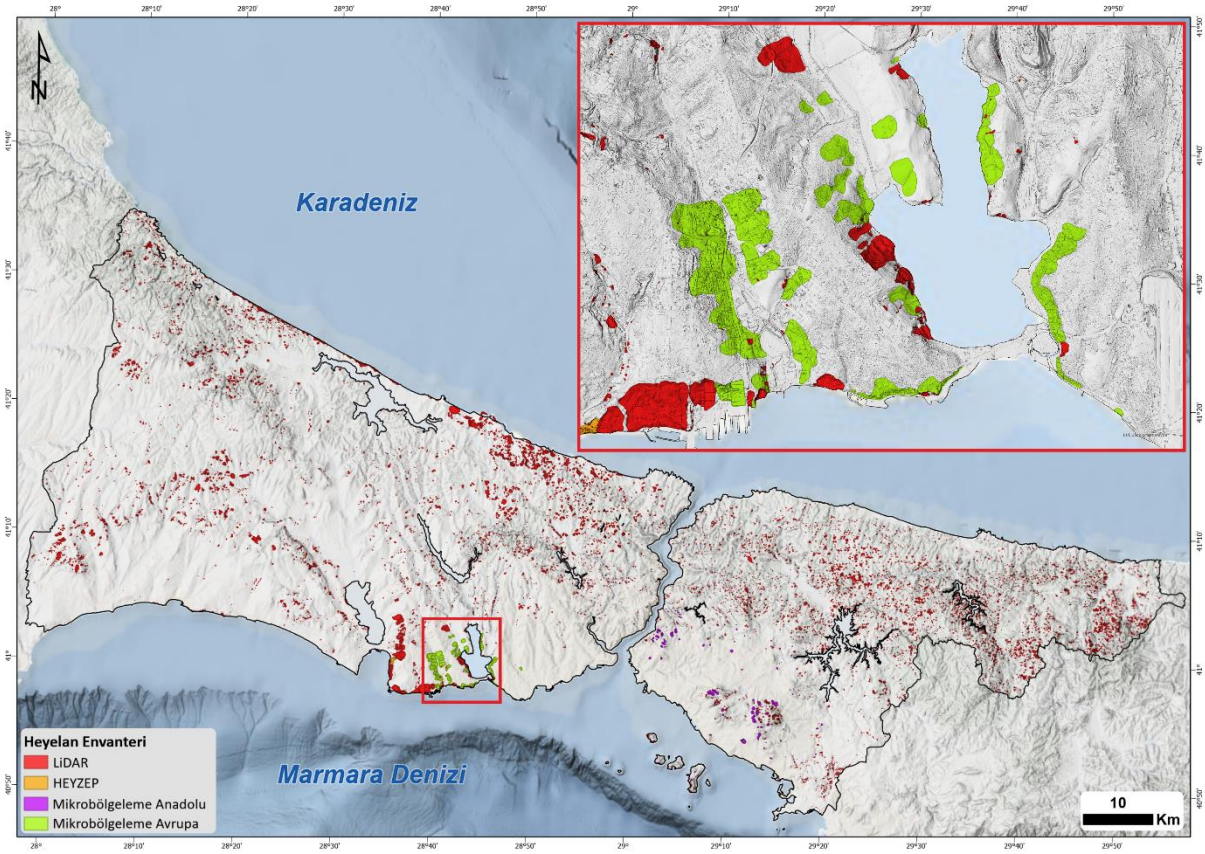
5.5 Birleştirilmiş İstanbul Heyelan Envanteri

İstanbul metropolitan alanında yapılan güncel ve geçmiş heyelan envanterlerinin birleştirilmesi sonucunda Birleştirilmiş İstanbul Heyelan Envanteri oluşturulmuştur. Bu envanter farklı dönemlerde ve farklı projeler kapsamında oluşturulmuş 4 adet heyelan envanterini içermektedir. Metropolitan alandaki yoğun antropojenik faaliyet, özellikle alt ve üst yapı çalışmaları eski heyelan alanlarının morfolojik temsiliyetlerinin kaybolmasına neden olmuştur. Envanterlerin birleştirilmesi kapsamında arazi kullanımının değiştiği bu gibi alanların birçoğu dışarıda bırakılarak, güncel tehlike içeren alanlar ve 2023 yılında tamamlanan LiDAR heyelan

101



Şekil 5.58 Birleştirilmiş İstanbul Heyelan Envanteri haritası. Şekildeki örneklem penceresi Mikrobölgeleme Anadolu projesi kapsamında haritalanan heyelan alanlarının bir bölümünü içermektedir



Şekil 5.59 Birleştirilmiş İstanbul Heyelan Envanteri haritası. Şekildeki örneklem penceresi Mikrobölgeleme Avrupa projesi kapsamında haritalanan heyelan alanlarının bir bölümünü içermektedir



Envanterlerin birleştirilmesi kapsamında İstanbul metropolitan alanında haritalanan toplamda 17984 heyelanı içeren Birleştirilmiş İstanbul Heyelan Envanteri oluşturulmuştur.

6 REFERANSLAR

Acar, M., Özlüdemir, M. T., Çelik, R. N., Erol, S., & Ayan, T. (2004, July). Landslide monitoring through Kalman Filtering: a case study in Gürpınar. In Proceeding of XXth ISPRS Congress, Istanbul, Turkey.

Aiazzi, B., Alparone, L., Baronti, S., & Selva, M. (2007, May). MS þ Pan image fusion by an enhanced Gram–Schmidt spectral sharpening. In 26th Earsel Symp. New Dev. Challenges Remote Sens., (pp. 1-2).

Anders, N., & Seijmonsbergen, H. (2008). Laser altimetry and terrain analysis: A revolution in geomorphology. GIM International, 22.

Ardizzone, F., Cardinali, M., Galli, M., Guzzetti, F., & Reichenbach, P. (2007). Identification and mapping of recent rainfall-induced landslides using elevation data collected by airborne Lidar. Natural Hazards and Earth System Sciences, 7(6), 637-650.

Baldo, M., Bicocchi, C., Chiocchini, U., Giordan, D., & Lollino, G. (2009). LIDAR monitoring of mass wasting processes: The Radicofani landslide, Province of Siena, Central Italy. Geomorphology, 105(3-4), 193-201.

Bayik, C., Abdikan, S., Ozdemir, A., Arıkan, M., Balık Sanlı, F., & Dogan, U. (2021). Investigation of the landslides in Beylikdüzü-Esenyurt Districts of Istanbul from InSAR and GNSS observations. Natural Hazards, 109(1), 1201-1220.

Bayrakdar, C., & Döker, F. (2011). İstanbul Kuzeyindeki Madencilik Faaliyetlerinden Kaynaklanan Mekânsal Sorunlara Bir Örnek: Çiftalan Köyü Heyelanları. Fiziki Coğrafya Araştırmaları: Sistematiik ve Bölgesel (ed. D. Ekinci), 507-526.

Burns, W. J., & Madin, I. (2009). Protocol for inventory mapping of landslide deposits from light detection and ranging (LiDAR) imagery.

Burns, W. J., Mickelson, K. A., & Madin, I. (2016). Landslide susceptibility overview map of Oregon. Oregon Department of Geology and Mineral Industries.

Causes, L. (2001). Landslide types and processes. US Geological Survey: Reston, VA, USA.

- Chen, R. F., Chang, K. J., Angelier, J., Chan, Y. C., Deffontaines, B., Lee, C. T., & Lin, M. L. (2006). Topographical changes revealed by high-resolution airborne LiDAR data: The 1999 Tsaoling landslide induced by the Chi–Chi earthquake. *Engineering geology*, 88(3-4), 160-172.
- CHIBA, T., SUZUKI, Y., & HIRAMATSU, T. (2007). Digital terrain representation methods and red relief image map, a new visualization approach. *Map, Journal of the Japan Cartographers Association*, 45(1), 27-36.
- Chiba, T., Kaneta, S. I., & Suzuki, Y. (2008). Red relief image map: new visualization method for three dimensional data. *The international archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences*, 37(B2), 1071-1076.
- Chigira, M., Duan, F., Yagi, H., & Furuya, T. (2004). Using an airborne laser scanner for the identification of shallow landslides and susceptibility assessment in an area of ignimbrite overlain by permeable pyroclastics. *Landslides*, 1(3), 203-209.
- Corsini, A., Cervi, F., Daehne, A., Ronchetti, F., & Borgatti, L. (2009, February). Coupling geomorphic field observation and LIDAR derivatives to map complex landslides. In *Landslides processes—from geomorphologic mapping to dynamic modelling: proceedings of the landslide processes conference*. Strasbourg (pp. 15-18).
- Cruden, D. M., Varnes, D. J., & Turner, A. K. (1996). *Landslides: investigation and mitigation*.
- Çan, T., Duman, T. Y., Olgun, Ş., Çörekçioğlu, Ş., Karakaya-Gülmez, F., Elmacı, H., ... & Emre, Ö. (2013). Türkiye Heyelan Veri Tabanı. TMMOB Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi.
- DIKAU, R. A. (1996). *Landslide recognition: identification, movement and causes* (Vol. 1). Wiley-Blackwell.
- Dogan, U., Oz, D., & Ergintav, S. (2013). Kinematics of landslide estimated by repeated GPS measurements in the Avcılar region of Istanbul, Turkey. *Studia Geophysica et Geodaetica*, 57, 217-232.
- Duman T.Y, Kecer M., Ateş S., Emre O., Gedik I., Karakaya F., Durmaz S., Olgun S., Sahin H., Gökmenoğlu O. (2004) İstanbul Metropolü Batısındaki (Küçükçekmece-Silivri-Çatalca yöresi) Kentsel Gelişme Alanlarının Yer Bilim Verileri, MTA Özel Yayınları No: 3, s 249 (Ankara).
- Duman, T. Y., Can, T. O. L. G. A., Gokceoglu, C., Nefeslioglu, H. A., & Sonmez, H. Ü. S. N. Ü. (2006). Application of logistic regression for landslide susceptibility zoning of Cekmece Area, Istanbul, Turkey. *Environmental Geology*, 51, 241-256.

- Duman, T. Y., Can, T., Emre, Ö., Keçer, M., Doğan, A., Ateş, Ş., & Durmaz, S. (2005). Landslide inventory of northwestern Anatolia, Turkey. *Engineering geology*, 77(1-2), 99-114.
- Duman, T. Y., Can, T., Ulusay, R., Keçer, M., Emre, O., Ateş, S., & Gedik, I. (2005). A geohazard reconnaissance study based on geoscientific information for development needs of the western region of Istanbul (Turkey). *Environmental geology*, 48, 871-888.
- Duman, T. Y., H. A. Nefeslioğlu, T. Çan, Ş. Ateş, S. Durmaz, Ş. Olgun, S. Hamzaçebi, and M. Keçer (2006). "Türkiye Heyelan Envanteri Haritası-1: 500.000 ölçekli İstanbul Paftası." Ankara: MTA Özel Yayınlar Serisi-6.
- Ertek, T. A., & Erginal, A. E. (2006). Anthropogenetically triggered landslide factors of the Varyant landslide area at Büyükçekmece, NW Turkey. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 177-191.
- Glenn, N. F., Streutker, D. R., Chadwick, D. J., Thackray, G. D., & Dorsch, S. J. (2006). Analysis of LiDAR-derived topographic information for characterizing and differentiating landslide morphology and activity. *Geomorphology*, 73(1-2), 131-148.
- Görüm, T. (2019). Landslide recognition and mapping in a mixed forest environment from airborne LiDAR data. *Engineering Geology*, 258, 105155.
- Görüm, T., & Fidan, S. (2021). Spatiotemporal variations of fatal landslides in Turkey. *Landslides*, 18(5), 1691-1705.
- Görüm, T., & Nefeslioğlu, H. (2015). Çok zamanlı heyelan aktivitesinin belirlenmesinde jeomorfolojik bir yaklaşım. *Türk Coğrafya Dergisi*, (65), 47-58.
- Grit, M., & Kanli, A. I. (2016). Integrated seismic survey for detecting landslide effects on high speed rail line at Istanbul–Turkey. *Open Geosciences*, 8(1), 161-173.
- Guzzetti, F. (2021). Invited perspectives: Landslide populations–can they be predicted?. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 21(5), 1467-1471.
- Guzzetti, F., Mondini, A. C., Cardinali, M., Fiorucci, F., Santangelo, M., & Chang, K. T. (2012). Landslide inventory maps: New tools for an old problem. *Earth-Science Reviews*, 112(1-2), 42-66.
- Guzzetti, F., Reichenbach, P., Ardizzone, F., Cardinali, M., & Galli, M. (2006). Estimating the quality of landslide susceptibility models. *Geomorphology*, 81(1-2), 166-184.

Gürer, A., Varlı, T. B., İlkışık, O. M., & Gürer, Ö. F. (2016). Electrical imaging of the geoenvironment around water infrastructures in Istanbul city. *Environmental Earth Sciences*, 75, 1-10.

Haneberg, W. C., Creighton, A. L., Medley, E. W., & Jonas, D. A. (2005, May). Use of LiDAR to assess slope hazards at the Lihir gold mine, Papua New Guinea. In *Proceedings, International Conference on Landslide Risk Management*, Vancouver, British Columbia.

Jaboyedoff, M., Oppikofer, T., Abellán, A., Derron, M. H., Loye, A., Metzger, R., & Pedrazzini, A. (2012). Use of LIDAR in landslide investigations: a review. *Natural hazards*, 61(1), 5-28.

Karcioğlu, G. (2019). Near-surface resistivity structure near avcılar landslide in İstanbul, Turkey by 2D inversion of VLF data. *Journal of Applied Geophysics*, 163, 73-83.

Kasai, M., Ikeda, M., Asahina, T., & Fujisawa, K. (2009). LiDAR-derived DEM evaluation of deep-seated landslides in a steep and rocky region of Japan. *Geomorphology*, 113(1-2), 57-69.

Keskinsezer, A., & Dağ, E. (2019). Investigating of soil features and landslide risk in Western-Atakent (İstanbul) using resistivity, MASW, Microtremor and boreholes methods. *Open Geosciences*, 11(1), 1112-1128.

Kuşku, İ., & DALGIÇ, S. (2020). Modeling of support system for preventing retrogressive slide of ambarlı landslide in Avcılar district, Istanbul. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 26(8), 1401-1407.

Lenti, L., Martino, S., & Musolino, G. (2017). Considering seismic coefficient distributions within slopes to calculate landslide reactivation probability. *Bulletin of engineering geology and the environment*, 76(4), 1353-1370.

Lombardo, L., Opitz, T., Ardizzone, F., Guzzetti, F., & Huser, R. (2020). Space-time landslide predictive modelling. *Earth-Science Reviews*, 103318.

Martino, S., Bigarre, P., Coccia, S., Bourdeau, C., Lenti, L., Ozel, O., & Yalcinkaya, E. (2018). Integrated engineering-geological and numerical approach applied to the large Büyükçekmece (Turkey) landslide for evaluating earthquake-induced effects. In *Landslides and Engineered Slopes. Experience, Theory and Practice* (pp. 1375-1382). CRC Press.

Martino, S., Lenti, L., & Bourdeau, C. (2018). Composite mechanism of the Büyükçekmece (Turkey) landslide as conditioning factor for earthquake-induced mobility. *Geomorphology*, 308, 64-77.

- McCalpin, J.P., 1984. Paleoseismology, Academic Press, New York. 629 pp.
- McKean, J., & Roering, J. (2004). Objective landslide detection and surface morphology mapping using high-resolution airborne laser altimetry. *Geomorphology*, 57(3-4), 331-351.
- Mustafa, A. C. A. R., Haberler-Weber, M., & Tevfik, A. (2008). Bulanık çıkarım Sistemleri ile Heyelan Bloklarının Belirlenmesi Gürpınar Örneği. *Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi*, (98), 28-35.
- Nefeslioglu, H. A., Sezer, E. B. R. U., Gokceoglu, C., Bozkir, A. S., & Duman, T. Y. (2010). Assessment of landslide susceptibility by decision trees in the metropolitan area of Istanbul, Turkey. *Mathematical Problems in Engineering*, 2010.
- Ozcep, F., Erol, E., Saraçoğlu, F., & Haliloğlu, M. (2012). Seismic landslide analysis: Gurpinar (Istanbul) as a case history. *Environmental Earth Sciences*, 66, 1617-1630.
- Petschko, H., Bell, R., & Glade, T. (2016). Effectiveness of visually analyzing LiDAR DTM derivatives for earth and debris slide inventory mapping for statistical susceptibility modeling. *Landslides*, 13(5), 857-872.
- Razak, K. A., Bucksch, A., Damen, M., van Westen, C., Straatsma, M., & de Jong, S. (2013). Characterizing tree growth anomaly induced by landslides using LiDAR. In *Landslide science and practice* (pp. 235-241). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Razak, K. A., Straatsma, M. W., Van Westen, C. J., Malet, J. P., & De Jong, S. M. (2011). Airborne laser scanning of forested landslides characterization: Terrain model quality and visualization. *Geomorphology*, 126(1-2), 186-200.
- Riley, S. J., DeGloria, S. D., & Elliot, R. (1999). Index that quantifies topographic heterogeneity. *intermountain Journal of sciences*, 5(1-4), 23-27.
- Samia, J., Temme, A., Bregt, A., Wallinga, J., Guzzetti, F., & Ardizzone, F. (2020). Dynamic path-dependent landslide susceptibility modelling. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 20(1), 271-285.
- Samia, J., Temme, A., Bregt, A., Wallinga, J., Guzzetti, F., Ardizzone, F., & Rossi, M. (2017). Do landslides follow landslides? Insights in path dependency from a multi-temporal landslide inventory. *Landslides*, 14(2), 547-558.

Schulz, W. H. (2004). Landslides mapped using LIDAR imagery, Seattle, Washington. US Geological Survey Open-File Report, 1396(11).

Schulz, W. H. (2007). Landslide susceptibility revealed by LIDAR imagery and historical records, Seattle, Washington. *Engineering Geology*, 89(1-2), 67-87.

Sidle, R., & Ochiai, H. (2006). Processes, prediction, and land use. Water resources monograph. American Geophysical Union, Washington.

Slaughter, S. L., Burns, W. J., Mickelson, K. A., Jacobacci, K. E., Biel, A., & Contreras, T. A. (2017). Protocol for landslide inventory mapping 42 from lidar data in Washington State. *Washington Geological Survey Bulletin*, 82, 1-27.

Temme, A., Guzzetti, F., Samia, J., & Mirus, B. B. (2020). The future of landslides' past—a framework for assessing consecutive landsliding systems. *Landslides*, 17(7), 1519-1528.

Tokgöz, N. (2010). Case study of the Agacli landslide–gully complex during post-coal-mining reclamation and afforestation. *Environmental Earth Sciences*, 59, 1559-1567.

Van Den Eeckhaut, M., Kerle, N., Poesen, J., & Hervás, J. (2012). Object-oriented identification of forested landslides with derivatives of single pulse LiDAR data. *Geomorphology*, 173, 30-42.

Van Den Eeckhaut, M., Poesen, J., Verstraeten, G., Vanacker, V., Moeyersons, J., Nyssen, J., & Van Beek, L. P. H. (2005). The effectiveness of hillshade maps and expert knowledge in mapping old deep-seated landslides. *Geomorphology*, 67(3-4), 351-363.

Van Den Eeckhaut, M., Poesen, J., Verstraeten, G., Vanacker, V., Nyssen, J., Moeyersons, J., ... & Vandekerckhove, L. (2007). Use of LIDAR-derived images for mapping old landslides under forest. *Earth Surface Processes and Landforms*, 32(5), 754-769.

Varnes D. J. (1978) Slope movement types and processes. In: Schuster RL, Krizek RJ (eds), *Landslides analysis and control*, special report, vol 176. Transportation Research Board, National Academy of Sciences, New York, pp 12-33.

Varnes, D. J., & Cruden, D. M. (1996). Landslide types and processes. *Landslides: investigation and mitigation*, Transportation Research Board special report, 247.

Yalcinkaya, E., Alp, H., Ozel, O., Gorgun, E., Martino, S., Lenti, L., ... & Coccia, S. (2016). Near-surface geophysical methods for investigating the Buyukcekmece landslide in Istanbul, Turkey. *Journal of Applied Geophysics*, 134, 23-35.

Yalçinkaya, E., Alp, H., Martino, S., Özel, O., Görgün, E., Lenti, L., ... & Akşahin, B. B. Büyükçekmece (İstanbul) Heyalan Alanının Jeofizik Yöntemlerle İncelenmesi.

Yılmaz, A. (2021). Hava LiDAR Verileri ile Enerji Nakil Hatlarının Yer Seçiminde Jeomorfolojik Haritalama Tabanlı Bir Yaklaşım. İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, (Basılmamış Yüksek Lisans Tezi), İstanbul.

Yokoyama, R., Shirasawa, M., & Pike, R. J. (2002). Visualizing topography by openness: a new application of image processing to digital elevation models. *Photogrammetric engineering and remote sensing*, 68(3), 257- 266.

