

**Makale
(Article)**

Samsun İl Merkezinin Heyelan Duyarlılık Haritasının Üretilmesi

Halil AKINCI*, **Sedat DOĞAN***, **Cem KILIÇOĞLU****, **Sevim Bilge KEÇECİ***

*Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 55139, Atakum, Samsun

**Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Kavak Meslek Yüksek Okulu, Kavak, Samsun

hakinci@omu.edu.tr

Özet

Samsun il merkezi, son 25 yılda konut ihtiyacının artması nedeniyle hızla yapılaşmaya açılmıştır. Nüfus artışının etkisiyle yapılaşma, kentnin güney sırtlarına doğru ilerlemiştir. Bu bölgede, ilgili kamu kurumlarının gözlemlediği ve sınıflandırdığı çok sayıda heyelan mevcuttur. Can ve mal kayıplarının önüne geçmek için yapılaşmaya açılan bölgelerde önceden saptanmış heyelanların yeniden değerlendirilmesi ve olası heyelan alanlarının tespit edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle çalışmada, Samsun il merkezinin heyelan duyarlılık haritasının üretilmesi amaçlanmıştır. Duyarlılık haritasının üretilmesinde, literatürde yaygın olarak kullanıldığı tespit edilen Frekans Oranı metodu kullanılmıştır. Değerlendirmelerde bölgeye ait jeolojik formasyon, yükseklik, eğim, bakı, eğrilik, plan ve profil eğriliği, yola ve akarsuya yakınlık parametreleri dikkate alınmıştır.

Anahtar Kelimeler: CBS, Heyelan, Duyarlılık Haritası, Frekans Oranı Metodu.

Production of Landslide Susceptibility Map of Samsun Province Center

Abstract

Due to the increased need for housing, Samsun province center were quickly opened construction in the last 25 years. Because of the population growth, construction progressed towards to the southern hillside of the city. Large amount of landslides observed and classified in this region by the relevant institutions. To prevent the life and property losses, it is required to evaluate pre-determined landslides and to determine probable landslide areas in the construction regions. Therefore, this study aims to create a landslide susceptibility map of Samsun province center. Frequency Ratio Method which is widely used in the literature has been used in the creation of landslide susceptibility map. The geological formation of the region, altitude, slope, aspect, curvature, plan and profile curvature, road and stream distance parameters have been considered in the landslide susceptibility evaluation.

Keywords: GIS, Landslide, Susceptibility Map, Frequency Ratio Method.

1. GİRİŞ

Afet, yerel kapasiteyi aşan, ulusal veya uluslararası düzeyde yardım gerektiren, önceden tahmin edilemeyen ve çoğu kez aniden meydana gelen, büyük zararlara, yıkımlara ve acılara neden olan bir durum veya olay olarak tanımlanmaktadır [1]. Afetler, insanlar için fiziksel, ekonomik ve sosyal kayıplara neden olan olaylardır. Örneğin, 2009 yılında dünya genelinde meydana gelen 335 doğal afet olayından, 119 milyon insanın etkilendiği, 10.655 insanın yaşamını yitirdiği ve 41,3 milyar doların üzerinde ekonomik zararın olduğu rapor edilmiştir [1].

Bu makaleye atf yapmak için

Akinci H., Doğan S., Kılıçoğlu C., Keçeci S.B., "Samsun İl Merkezinin Heyelan Duyarlılık Haritasının Üretilmesi" Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi 2010, 2(3) 13-27

How to cite this article

Akinci H., Doğan S., Kılıçoğlu C., Keçeci S.B., "Production of Landslide Susceptibility Map of Samsun Province Center" Electronic Journal of Map Technologies, 2010, 2 (3) 13-27

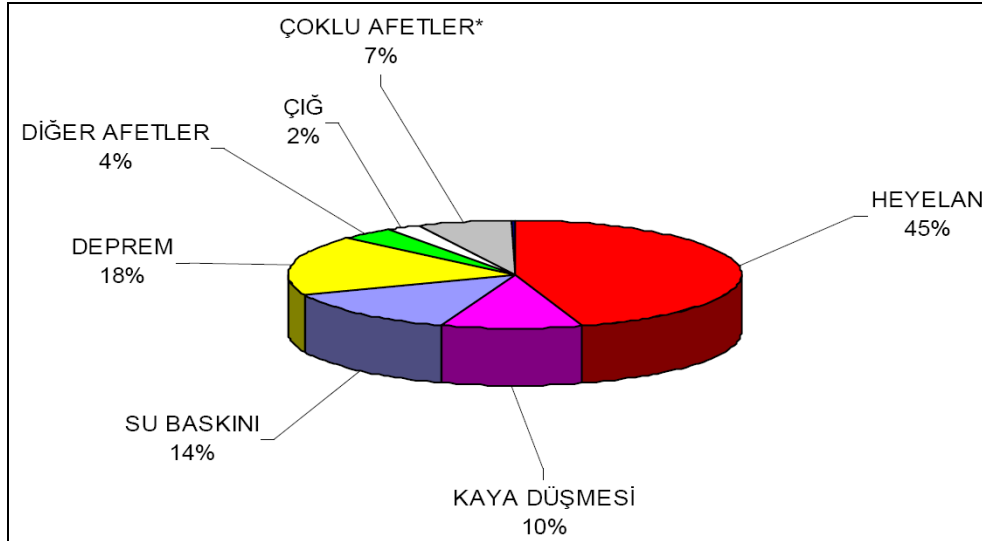
Afetlerin Epidemiyolojisi Araştırma Merkezi (CRED) tarafından 1988 yılından itibaren yönetilen ve 1900 yılından günümüze kadar dünya genelinde meydana gelen 18.000’den fazla afet ile ilgili bilgilerin tutulduğu “Uluslararası Afet Veritabanı (EM_DAT)” afetleri, “doğal ve teknolojik afetler” olmak üzere iki temel gruba ayırmaktadır. Doğal afetler, 5 alt grupta 12 afet tipini içermektedir (Şekil 1). Bu sınıflandırmadan hareketle doğal afetleri, genel olarak, “önceden tahmin edilemeyen ve oluşumu engellenemeyen biyolojik, meteorolojik, hidrolojik, iklimsel ve jeofiziksel kökenli olayların sonuçları” şeklinde tanımlayabiliriz.



Şekil 1. Doğal afetlerin sınıflandırılması [1].

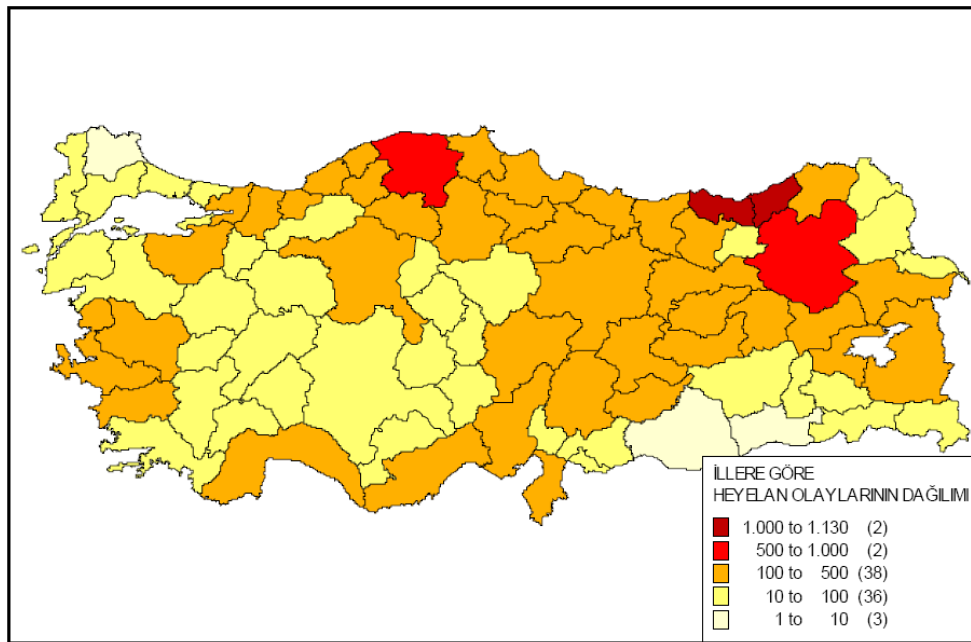
Depremler, taşkınlar ve kasırgalarla birlikte tüm Dünya’da en sık görülen doğal afetlerden biride heyelanlardır. 2010’un ilk altı aylık döneminde dünya genelinde meydana gelen doğal afetlerin %46’sını taşkınlar, %26’sını kasırgalar, %10’unu da heyelanlar oluşturmaktadır [2]. Heyelanlar, çoğu zaman, can kaybı, ekonomik zararlar, çevresel etkiler, kültürel ve doğal miras kaybı gibi büyük ölçekli sosyo-ekonomik yıkımlara neden olurlar. Şubat 2010 da büyük çamur kaymaları Portekiz’in Madeira adasında 38 kişinin ölümüne neden olmuştur. Mart 2010 da Uganda’nın Bududa bölgesinde meydana gelen heyelanda 388 kişi yaşamını yitirmiştir [2]. 6 Ağustos 2010 tarihinde Kanada Pemberton’da 1500 kişi heyelan nedeniyle tahliye edilmiştir. Ağustos 2010’da Asya’da meydana gelen seller ve heyelanlar yüzlerce insanın ölümüne neden olmuştur [3].

Heyelanlar, tüm Dünya’da olduğu gibi Türkiye’de de can ve mal kayıplarına neden olan doğal afetlerin başında gelmektedir. Ülkemizde son 50 yılda meydana gelen doğal afetler incelendiğinde, heyelanların %45’lik oranla en sık gerçekleşen doğal afet olduğunu görmekteyiz (Şekil 2). Heyelan afeti için yapılan değerlendirmede tüm illerimizin heyelandan belirli derecelerde etkilendiği görülmektedir [4]. Şekil 3. de Türkiye’de heyelan olay sayısı bazında heyelanlardan etkilenen illerin dağılımı gösterilmiştir. Heyelanların yıkıcı etkisi, Ülkemizde kendisini son olarak 26 Ağustos 2010 tarihinde acı bir şekilde göstermiştir. Rize İli’nin merkeze bağlı Gündoğdu beldesinde sağanak yağışların neden olduğu heyelan sonucunda 13 kişi hayatını kaybetmiştir. Samsun, Türkiye’de heyelanların sıkça yaşandığı illerden başında gelmektedir. Samsun Bayındırlık ve İskan Müdürlüğü’nden elde edilen veriler değerlendirildiğinde, Samsun genelinde son 25 yılda toplam 219 heyelan olayının gerçekleştiğini ve bunlardan 61 adedinin Samsun il merkezinde meydana geldiğini görmekteyiz.



Şekil 2. Türkiye'deki afet olay sayısının afet türlerine göre dağılımı [4].

Heyelanlar nedeniyle Samsun il merkezine yönelik olarak yapılan hasar dağılımı ve mikrobölgelendirme çalışmasında il merkezi, yapılaşmanın sakıncalı olduğu (mevcut yapıların boşatılması gereken) alanlar, yeni yapılaşmanın sakıncalı olduğu (mevcut yapıların dondurulacağı) alanlar ve belirli koşullarla yeni yapılaşmaya izin verilecek alanlar olmak üzere 3 bölgeye ayrılmıştır [5]. Bununla birlikte, 40-50 yıl öncesinde başlayan yapılaşmalardan çıkan hafriyatların gelişi güzel olarak şehir merkezine dökülmesi sonucunda, eğimli alanlarda kalıntı heyelanları oluşmuş ve bu alanlarda yapılaşma için “muhtemel sakıncalı alanlar” olarak değerlendirilmiştir. Buna rağmen, son 25 yılda yapılaşma ağırlıklı olarak heyelan olaylarının görüldüğü Atakum sahil kesimi ve güney sırtları, Mert ırmağı ve Kürtün ırmağı güneyi doğrultusunda gelişmiş, hatta bu alanlar 15 kat yüksekliğe kadar imara açılmıştır. Ayrıca, Doyuran (1985) tarafından sakıncalı olarak tespit edilen sahada, Eski Havaalanı-Göğüs Hastanesi hattında yeni bir bulvar açılmış ve bu bölgede de yapılaşma hızla artmıştır. MTA tarafından üretilen heyelan envanter haritasında yamaç hareketi olarak gösterilen bölgelerde, özellikle Kürtün ırmağının güneydoğu yamaçlarında benzin istasyonlarına ruhsat verilmiştir.



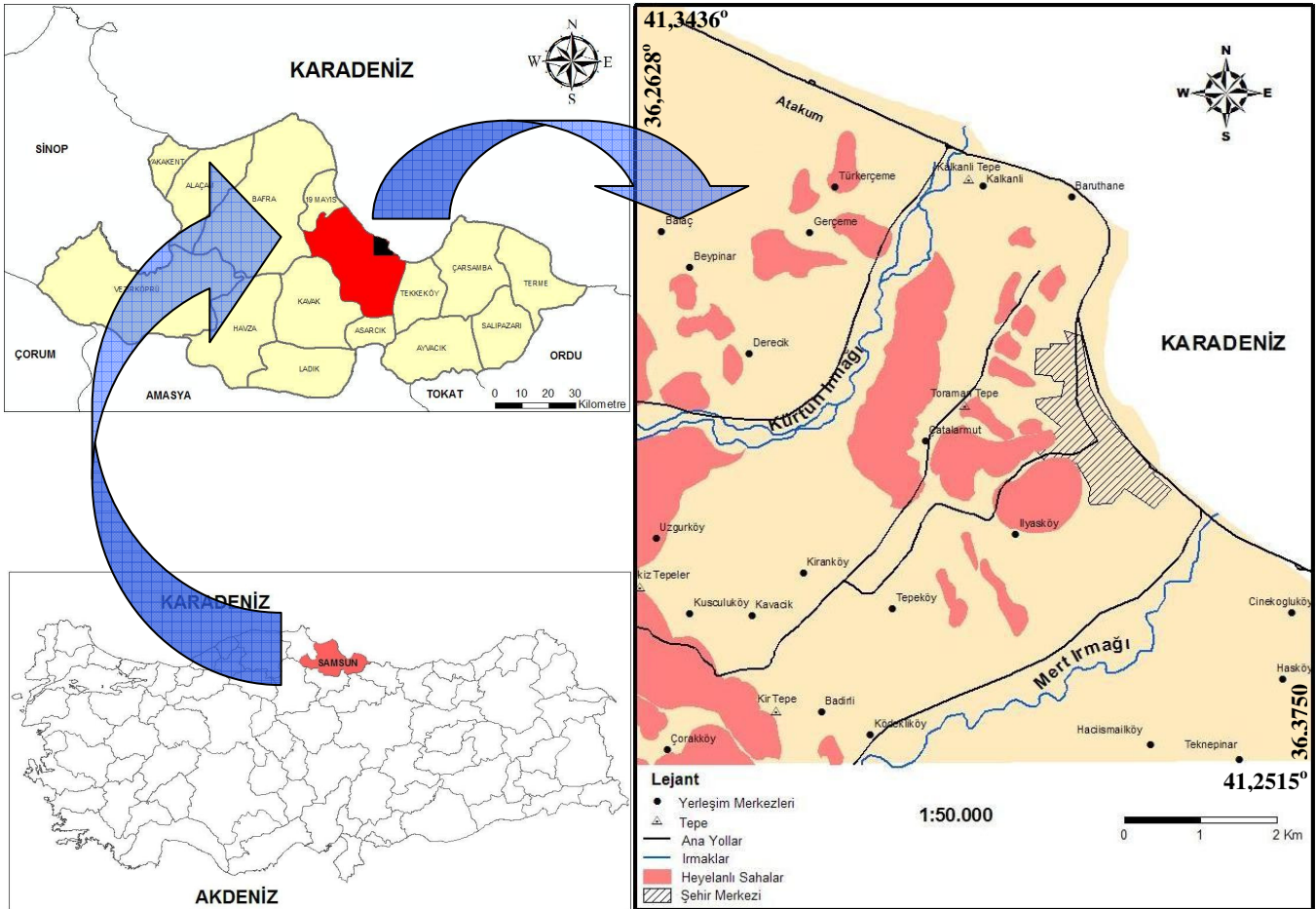
Şekil 3. Heyelan olay sayısı bazında heyelanlardan etkilenen illerin dağılımı [4].

Heyelanların ülkemizde can ve mal kayıplarına neden olan en önemli doğal afetlerin başında geldiği dikkate alındığında, olası can ve mal kayıplarının önüne geçmek için Samsun il merkezindeki heyelanların bir kez daha değerlendirilmesi kaçınılmaz olmuştur. Heyelanların sebep olduğu sosyal ve ekonomik kayıplar etkili bir planlama ve yönetimle azaltılabilmektedir. Bunun için, yerleşim alanlarının seçimi, alt yapı çalışmaları ve diğer mühendislik yapılarının inşasında jeolojik ve jeoteknik amaçlı arazi ve laboratuvar çalışmaları yapılarak, değişik bilgileri içeren farklı türde haritalar hazırlanmaktadır. Bu çerçevede hazırlanan jeolojik tabanlı en önemli haritalardan birisi de heyelan duyarlılık haritalarıdır. Heyelan duyarlılık analizinin temel amacı, tehlikeli ve riskli alanları tespit ederek heyelanın etkilerini azaltmaktır. Doğal tehlike haritaları geçmişte meydana gelen heyelan, sel, deprem ve volkan patlaması gibi doğal olayların oluşumunun tanımlandığı ve gelecekte böyle doğal olayların oluşumlarının tahmin edildiği bilgileri içerir [6, 7, 8].

Coğrafi Bilgi Sistemleri ile heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde çeşitli metotlar kullanılmaktadır. Literatürde yaygın olarak kullanıldığı tespit edilen metotlardan biriside Frekans Oranı metodudur [8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18]. Bu çalışmada da, Frekans Oranı Metodu kullanılarak Samsun il merkezinin heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir. Uygulamada, eğim, bakı, eğrilik, litoloji, yola ve akarsuya yakınlık parametreleri dikkate alınmıştır.

2. ÇALIŞMA ALANI

Samsun kenti, Kürtün ve Mert ırmakları arasında kalan bölgenin sahil kesiminde kurulmuştur (Şekil 4). Kent, kıyıya paralel olarak doğu-batı yönünde gelişmektedir. Çalışma alanı, $41^{\circ} 15' 5''$ ve $41^{\circ} 20' 37''$ kuzey paralelleri ile $36^{\circ} 15' 46''$ ve $36^{\circ} 22' 30''$ doğu boylamları arasında kalan yaklaşık 57 km^2 lik alanı kapsamaktadır.



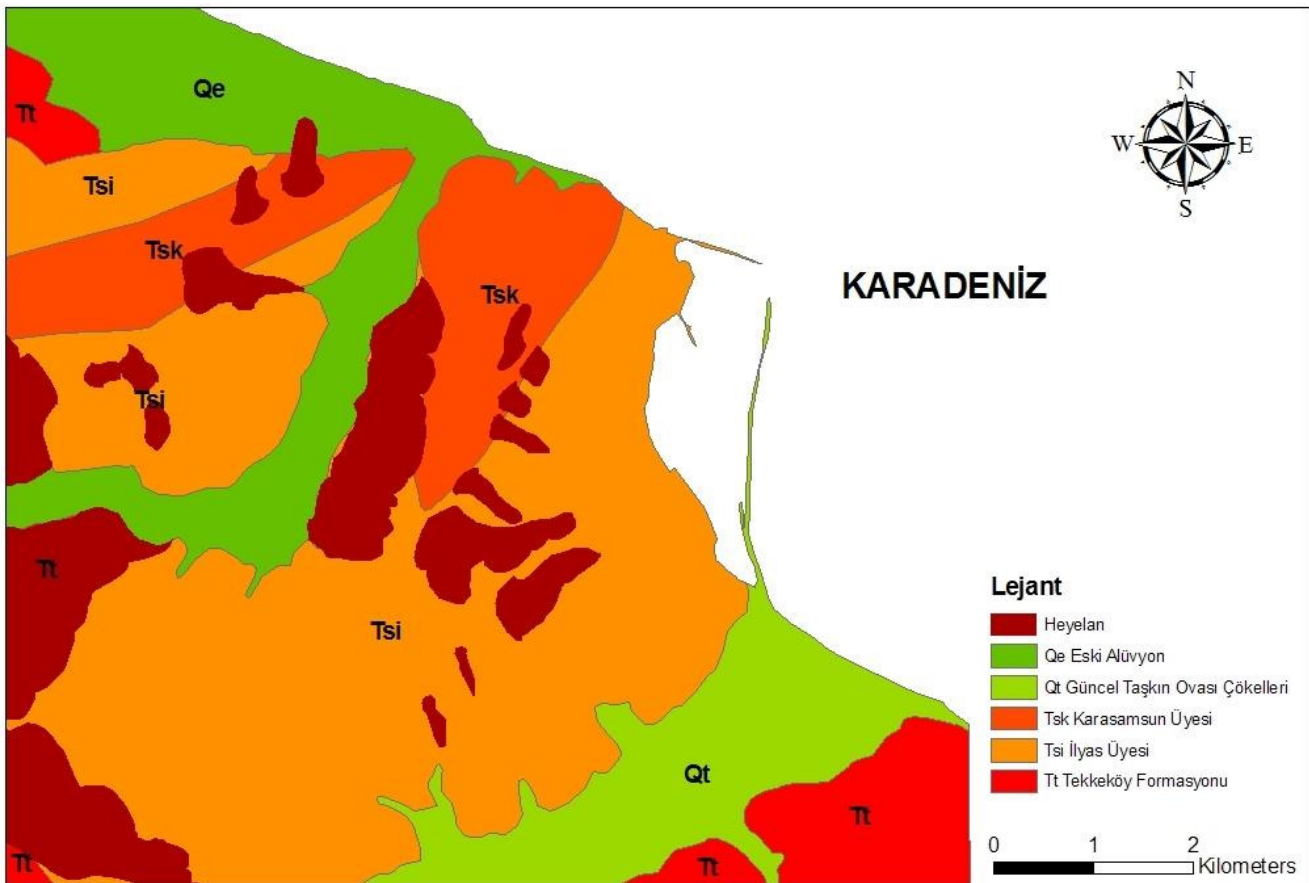
Şekil 4. Çalışma alanı haritası

2.1. Çalışma Alanının Genel Jeolojisi

Çalışma alanında 5 farklı formasyon izlenmektedir (Şekil 5). MTA tarafından yapılan çalışmalara göre Samsun ilinde, yaşlıdan gence doğru şu birimler gözlenir [19].

Tekkeköy Formasyonu (Tt): Birim KD-GB doğrultusunda uzanan Erikli Fayı ile Karadeniz arasında kalan geniş bir alanda yüzeylenmektedir. Formasyonun yaşı Orta-Üst Eosen olarak kabul edilmiştir. Birim volkanik ve volkanotortul bir istiftir. Formasyon tabanda kumtaşı, marn ve tüfit ardalanması ile bazalt ve aglomeralardan oluşmaktadır. Formasyon tabanda ince tabakalı kumtaşı, marn ve kalın tabakalı tüfit şeklindedir. Birimin 200m seviyesinde, kalınlıkları 20-25m olan iki tüfit tabakası yer almaktadır. Bu istif üst seviyelere doğru bazalt, aglomera ve tuf şeklinde devam etmektedir. Aglomeralar, tuf bir matris içerisinde andezit, bazalt, dasit, çakıl ve bloklardan meydana gelmiştir. Üst seviyelerdeki bazalt lavları ve aglomeraların varlığı ortamın kısmen sığlaştığını göstermektedir.

Samsun Formasyonu (Ts): Altta gri-mavi denizel marn, arada jips bantları içeren kırıntılıların oluşturduğu geçiş düzeyi ve en üstte silttaşı, kumtaşı ve marn merceklerini kapsayan karasal konglomera (çakıltaşı) düzeyleri ile temsil edilen sedimanter istif, yaygın olarak yüzeylendiği yerin adıyla Samsun formasyonu olarak adlandırılmıştır. Samsun formasyonunun alt düzeylerini oluşturan, denizel marn ve onun üzerindeki geçiş düzeyi İlyas Üyesi (Tsi), formasyonun en üst kesimini oluşturan konglomeralar ise Karasamsun Üyesi (Tsk) olarak adlandırılmıştır.



Şekil 5. Çalışma alanının jeoloji haritası

İlyas Üyesi (Tsi): Kürtün Irmağı batısında, Mert ve Kürtün Irmakları arasında yerleşim alanını da kapsayan bir alanda yüzeylenmektedir. Birim Lagüner-denizel bir ortamda çökelmiştir. İçerdikleri fosil topluluğuna (*Globigerine praebulloides* Blow, *Globigerinoides ruber* (Dorbigny), *Globigerinoides* sp., *Globigenina* sp., *Globigerinita* sp., *Pulleniatina* sp., *Amphistegina* sp., *Spiroloculina* sp., *Pyrgo* sp.,

Lenticulina) göre Üst Miyosen-Alt Pliyosen yaşı verilmiştir [5]. Birim, volkanik çakıllardan oluşan bir taban konglomerası ile başlamaktadır. Daha üstte gri-mavi renkli denizel marn ile kil ve jips ara bantlı kumtaşı, siltaşı ve çakıltası düzeyleri yer almaktadır. Kalınlığı yaklaşık 130m dolayındadır.

Karasamsun Üyesi (Tsk): Birim aşınımına dayanımlı olduğu için yaygın olarak Karasamsun Sırtı, Kalkanlı ve Köydüzü Sırtı, Karasamsun Mahallesi, Çatalarmut Köyü ve Toraman Tepe dolaylarında yüzeylenmektedir. İlyas üyesi ile dereceli geçişli olması nedeniyle Alt Pliyosen yaşı verilmiştir. Samsun formasyonunun üst düzeyini oluşturan karasal konglomeralardan akarsu ortamında çökelmiştir. Birimin tabanı İlyas üyesinin en üst kesimini oluşturan geçiş düzeyi ile dereceli geçişlidir; üzerine alüvyon çökelleri gelmektedir. Birim kumtaşı, siltaşı ve marn mercikleri içeren, orta sıkı tutturulmuş, yer yer iyi çimentolu konglomeralardan oluşmaktadır. Konglomera çakılları çoğunlukla andezit-bazalt türünde volkanit, az miktarda kireçtaşı, kumtaşı ve marnlardan oluşmaktadır; boylanmasız ve kalın katmanlıdır. Yer yer çapraz katmanlı siltaşı ve kumtaşı ile marn merciklerinin kalınlığı 5-10 mm'den 1-2 m'ye; uzunluğu ise 1-20m arasında değişmektedir. Üyenin kalınlığı 70m dolayındadır, Karadeniz'e doğru bu kalınlık artmaktadır.

Eski Alüvyon (Qe): Atakum sahil düzlüğü ve Kürtün ırmağı çökelleridir. Atakum sahil düzlüğünde kum, silt, kötü derecelenmiş denizel kavkılı kumlar ve Kürtün Irmağı boyunca çakıl, kum ve siltlerden oluşmuştur.

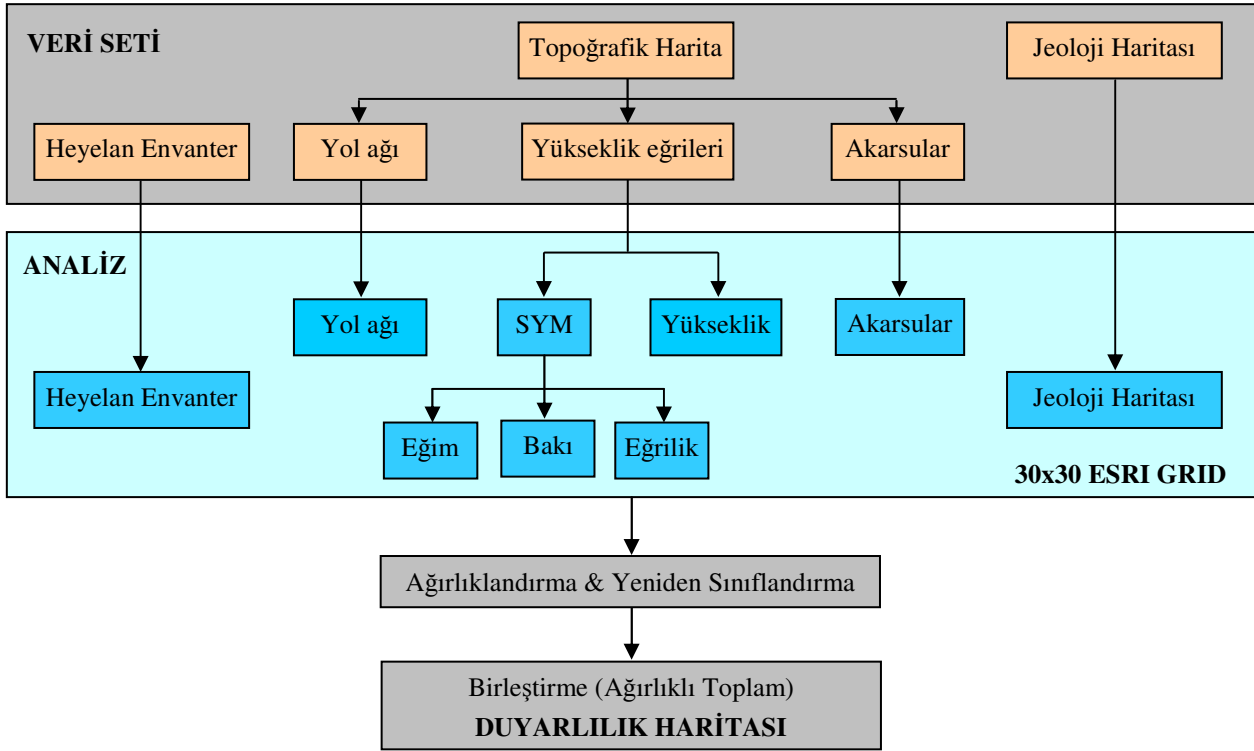
Güncel Taşkın Ovası Çökelleri (Qt): Mert ırmağı boyunca gözlenen çakıl, çok ince kum ve siltlerden oluşmuştur. Kalınlığı 10–20m arasındadır.

2.2. Çalışma Alanının Hidrojeolojisi

Çalışma alanında akifer özelliği gösteren birim; Mert Irmağı ve Kürtün Irmağı boşalım alanlarında oluşan alüvyon ile Atakum sahil düzlüğündeki alüvyondur. Bölgede değişik yıllarda yapılan içmesuyu sondaj çalışmalarına göre alüvyon kalınlıkları; Mert Irmağı alüvyon kalınlığı 20-30m arasında, Kürtün ırmağı alüvyon kalınlığı 18–20m arasında ve Atakum sahil düzlüğündeki alüvyon kalınlığı ise 17-24m arasında değişmektedir. Çalışma alanındaki akiferler önemli miktarda yeraltı suyu içerirler. Yeraltı suyu statik seviyeleri; 1,50m ile 9,50m arasında değişmektedir [19]. Mert Irmağı, Kürtün Irmağı ve Atakum sahil düzlüğü alüvyonlarında açılan içmesuyu sondaj verileri dikkate alınarak DSİ Bölge Müdürlüğü elemanları tarafından yapılan hesaplara göre; Mert Irmağı alüvyonunun yeraltı suyu rezervi 4×10^6 m³ /yıl, Kürtün Irmağı alüvyonunun yeraltı suyu rezervi $1,5 \times 10^6$ m³ /yıl ve Atakum sahil düzlüğü alüvyonunun yeraltı suyu rezervi $1,5 \times 10^6$ m³ /yıl olarak hesaplanmıştır. Çalışma alanında bulunan 5 farklı litolojiden Ts ve Tsk akifer olarak verimsiz, Qe ve Qt ise yeraltı suyu taşıyıcı özelliktedir. Bununla birlikte, çalışma sahasında açılan 83 adet içme suyu amaçlı kuyu analiz edilmiş ve yeraltı suyu tablasının topografya ile uyumlu olduğu görülmüştür.

3. ÇALIŞMA YÖNTEMİ

Çalışma alanının heyelan duyarlılık haritasını üretmek için ihtiyaç duyulan temel veriler, 1/25.000 ölçekli standart topoğrafik haritadan (Samsun-F36-b4) elde edilmiştir. Topoğrafik haritadaki akarsu ve yol ağı ile eşyükseklik eğrileri ArcGIS 9.3.1 yazılımı kullanılarak sayısallaştırılmış ve ilk olarak çalışma alanının Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) üretilmiştir. SYM, ESRI GRID formatına dönüştürüldükten sonra çalışma alanının eğim, bakı ve eğrilik haritaları üretilmiştir. Daha sonra, 1/25.000 ölçekli standart topoğrafik haritadan sayısallaştırılan akarsu ve yollara ait yakınlık haritaları üretilmiştir. MTA Genel Müdürlüğünden temin edilen 1/25.000 ölçekli sayısal heyelan envanter haritası ve jeoloji haritası, ESRI GRID formatına dönüştürüldükten sonra duyarlılık haritasının üretilmesine geçilmiştir. Elde edilen haritalar, sırasıyla heyelan envanter haritası ile değerlendirilmiş, her bir katmanın alt gruplarının heyelanlarla olan ilişkileri tespit edilmiştir. Bu veriler yardımıyla, çalışma alanının heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir. Çalışmada takip edilen yöntem genel hatları ile Şekil 6. da gösterilmiştir.



Şekil 6. Duyarlılık haritasının üretilmesinde takip edilen işlem adımları

3.1. Verilerin Temini ve Hazırlanması

Heyelan duyarlılık değerlendirmelerinin ilk adımı, geçmişte meydana gelen heyelanlar hakkında bilgi edinmektir. Çünkü gelecekteki heyelanların şimdiki ve geçmişte olmuş heyelanlarla benzer şartlar altında gerçekleşebileceği varsayılmaktadır [6, 7, 8, 20, 21, 22, 23]. Bu nedenle, heyelan duyarlılık çalışmalarında ihtiyaç duyulan en önemli verilerin başında, “heyelan envanter haritaları” gelmektedir. Heyelan envanter haritaları, arazideki mevcut heyelan alanlarının alansal dağılım ve özelliklerinin gösterildiği haritalardır. Bu haritalar, arazide fark edilebilir heyelanları göstermektedir [7, 8, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30]. Heyelan envanter haritaları, alanın büyüklüğüne, araziden toplanan verilere, bu verilerin kalitesine ve çalışma ölçeğine göre değişik şekillerde hazırlanabilir. Bu haritalar, heyelanlarla ilgili bilgilerin toplanması ya da uzaktan algılama verilerinin analizi ile üretilebilmektedir [7, 8]. Bu çalışmada, MTA Genel Müdürlüğü tarafından üretilen 1/25.000 ölçekli sayısal heyelan envanter haritası kullanılmıştır. Heyelan envanter haritasındaki 16 adet heyelan, üretilen heyelan duyarlılık haritasının doğruluğunu test etmek amacıyla ayrılmış, 30 adet heyelan ise duyarlılık analizlerinde kullanılmak üzere ArcGIS 9.3.1 yazılımında 30x30m hücre boyutlu ESRI GRID formatına dönüştürülmüştür.

Litoloji, heyelan oluşumunu etkileyen önemli parametrelerden bir tanesidir [23] ve heyelan duyarlılık çalışmalarında önemli rol oynar. Çünkü farklı litolojik birimler, heyelanlar gibi aktif jeomorfolojik süreçler için farklı duyarlıklara sahiptir. Jeomorfolojik süreçler, kısmen litolojiye ve litolojiyi oluşturan temel malzemelerin ayrışma özelliklerine bağlıdır [30, 31, 32]. Çalışma alanındaki litolojik birimler, MTA Genel Müdürlüğü tarafından üretilen 1/25.000 ölçekli sayısal jeoloji haritasından elde edilmiştir. Çalışma alanında 5 farklı litoloji bulunmaktadır. Bunların içinde bölgede yamaç hareketlerine en çok rastlanan litolojik birim, İlyas üyesidir. Birim genel olarak gri-mavi marn ve onun üzerindeki değişik litofasiyelerin ardışımından oluşan bir geçiş düzeyi ile temsil edilir. Mert ve Kürtün ırmakları arasında kalan yerleşim alanını da kapsayan geniş bir alanda yüzeylenir. Birimin önemli kısmını oluşturan gri-mavi marn serisi, yer yer ayrışarak sarı killeri meydana getirmektedir. Samsun yerleşim alanında yaygın olarak izlenen bu birim genellikle eğimli yamaçları oluşturmaktadır. Gerek yüzey ve gerekse yeraltı suyu etkisi ile akma ve sığ kayma yüzeyli heyelanların oluşumuna yol açan bu birim aynı zamanda yerleşim alanındaki başlıca jeolojik sorunlara neden olmaktadır [5].

Heyelan duyarlılık analizlerinin en önemli bileşeni eğim açısıdır [18, 32, 33, 34, 35,]. Heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesine yönelik birçok çalışmada eğim açısının öncelikli olarak dikkate alındığı görülmektedir [16, 18, 30, 32, 33, 34, 35, 36]. Daha önceki çalışmalar ve arazi gözlemleri eğimin artmasıyla heyelana karşı duyarlılığın arttığını göstermektedir [7]. Bu çalışmada, ilk olarak ArcGIS 9.3.1 yazılımı kullanılarak 1/25.000 ölçekli Standart Topoğrafik Haritadaki (STH) eşyükseklik eğrileri sayısallaştırılmıştır. Daha sonra, eşyükseklik eğrileri kullanılarak çalışma alanının SYM'i üretilmiştir. Üretilen SYM, 30x30m piksel boyutlu ESRI GRID formatına dönüştürülmüş ve çalışma alanının eğim haritası üretilmiştir. 5° aralıklarla yeniden sınıflandırılan eğim haritası, heyelan envanter haritası ile karşılaştırılarak her bir eğim grubuna karşılık gelen heyelanların yüzde olarak dağılımları tespit edilmiştir (Tablo 1). Çalışma alanındaki maksimum eğimin 40° olduğu ve eğim değerlerine göre en fazla heyelanın %68.58'lik oranla 5-10°, %16.07'lik oranla da 10°-15° eğim grubunda meydana geldiği tespit edilmiştir.

Bakı ile kitle hareketleri arasındaki ilişki uzun zamandan beri araştırılmasına rağmen, bakı-heyelan ilişkisi ile ilgili genel bir karara varılamamıştır [35, 37]. Bununla birlikte, birçok çalışmada heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında bakının da önemli faktörlerden biri olduğu vurgulanmaktadır [21, 30, 32, 36]. Gerçekte bakı, heyelanların oluşumunu kontrol edebilen süreksizlikler, yağış, rüzgar etkisi ve güneş ışığına maruz kalma gibi parametrelerle ilişkilidir [30, 32, 35, 36, 38]. Heyelanların belli yönelimlere sahip yamaçlarda yoğunlaşmasında, incelenen alanın morfolojik yapısının, özellikle bölgenin genel yağış yönü ve güneş ışığını alması gibi meteorolojik olaylar etkili olmaktadır. Yoğun yağış alan yamaçlar, topoğrafik eğim ile zeminin türü, geçirimsizliği, gözenekliliği, nem ve organik madde içeriği, bitki örtüsü ve yağışın meydana geldiği mevsim gibi birçok faktör tarafından kontrol edilen süzülme kapasitesine de bağlı olarak, hakim bakıya sahip yamaçlardaki malzeme diğer yamaçlara göre daha çabuk doygunluğa ulaşır. Buna bağlı olarak bu yamaçlarda boşluk suyu basıncının gelişmesine neden olur [7, 39]. Bu çalışmada, bakı ile heyelanlar arasındaki ilişkiyi ortaya koymak amacıyla ESRI GRID formatına dönüştürülen SYM'den çalışma alanının bakı haritası üretilmiştir. Bakı haritası, dokuz sınıfa ayrılmış ve her bir bakı grubundaki heyelan varlığı yüzdesi hesaplanmıştır (Tablo 1). Buna göre çalışma alanındaki heyelanların %17,61'inin kuzey, %16,11'inin güney, %15,63'ünün kuzeybatı ve %12,92'sinin güneybatı bakıya sahip yamaçlarda gerçekleştiği tespit edilmiştir.

Heyelan duyarlılık çalışmalarında sıkça kullanılan bir diğer parametrede yüksekliktir [30, 40, 41]. Heyelanların, yüksek rakımlı yerlerde daha fazla eğilim gösterdiği belirtilmektedir [35, 41]. Çalışma alanında yükseklikler 0-364 m arasında değişmektedir. Yükseklik değerleri 50m aralıklarla 7 kategoriye ayrılmış ve heyelan-yükseklik ilişkisi tespit edilmiştir (Tablo 1). Çalışma alanındaki heyelanların, litolojik birimin özelliği nedeniyle, %32,80 gibi büyük bir oranla 100-150m yükseklik değerlerine sahip alanlarda meydana geldiği tespit edilmiştir.

Yamaçların stabilitesini kontrol eden parametrelerin en önemlilerinden birisi de yamaçlardaki malzemenin doygunluk derecesidir. Yamaçların drenaj ağlarına yakınlığı da stabilite açısından önemli diğer bir faktördür. Akarsular, yamaç ya da şevleri ya topuktan aşındırma şeklinde ya da yamaçları oluşturan malzemenin akarsu seviyesine kadar olan kısmını suya doyurma veya her iki şekilde de etkileyerek stabiliteyi bozmaktadır [7, 8, 30, 32, 34, 36, 38]. Çalışma alanında devamlı akış gösteren akarsular, Kürtün ve Mert ırmaklarıdır. Her iki akarsuya ait grafik veri, 1/25.000 ölçekli STH'dan sayısallaştırılarak CBS veritabanına aktarılmıştır. Vektör formattaki akarsu verileri raster formata dönüştürüldükten sonra akarsulara ait yakınlık haritası üretilmiştir. Yakınlık haritası ile heyelan envanter haritası analiz edilerek çalışma alanındaki heyelanların meydana geldiği tampon bölgelerin yüzde olarak dağılımları tespit edilmiştir (Tablo 2).

Akarsulara yakınlık gibi yol ve yolun etkilediği yamaçlarda da stabilite problemleri görülmektedir [8, 15, 31, 36, 41, 42]. Yamaçlarda açılan yollar hem topografyada hem de yamaç topuğunda yük azalmasına neden olmaktadır. Topoğrafyanın değişmesi ve yük azalması yamaç gerisinde gerilme artışlarına sebep olmakta ve bu gerilme çatlaklarının gelişmesine neden olmaktadır. Yol açılmadan önce dengede olan yamaçta, daha sonra dışarıdan gelebilecek su girişi gibi negatif etkilerle duraysızlıklar meydana

gelmektedir [7, 8, 36]. Çalışma alanındaki ana yollar, 1/25.000 ölçekli STH'dan sayısallaştırılmıştır. Yol ağı, raster formata dönüştürüldükten sonra 250m aralıklarla tampon bölgeler oluşturulmuştur. Daha sonra, yakınlık haritası ile heyelan envanter haritası analiz edilerek çalışma alanındaki heyelanların meydana geldiği tampon bölgelerin yüzde olarak dağılımları tespit edilmiştir (Tablo 1).

Eğrilik değerleri, topoğrafyanın morfolojik yapısını göstermektedir [18, 21, 33]. Eğrilik haritaları, SYM'nin ikinci türevi olarak elde edilirler ve eğimdeki değişimi gösterirler [18]. Pozitif eğrilik, bir hücrede yüzeyin yukarıya doğru dışbükey olduğunu, negatif eğrilik ise yüzeyin o hücrede yukarı doğru içbükey, sıfır değeri ise yüzeyin düz olduğunu temsil eder. Uygulamadaki bakış açısına göre eğrilik drenaj havzasının fiziksel karakterini anlatarak heyelan davranışını anlamak için kullanılan bir yoldur. Plan eğriliği, ıraksak ve yakınsak akış alanlarının belirlenmesini sağlayan, konturlara paralel olan eğimin eğriliğidir. Yakınsak akış alanı genellikle yüksek erozyon ve nakil potansiyelini gösterirken, ıraksak akış, düşük potansiyeli göstermektedir. Profil eğriliği, SYM'de konturlara dik olan eğriliktir. Bu değer akışın hızlanmasını veya yavaşlamasını etkilemektedir, bu nedenle heyelan oluşumunu etkilemektedir [18, 22]. Çalışma alanının eğrilik, plan ve profil eğriliği haritaları SYM'den üretilmiştir. Alandaki eğrilik değerleri incelendiğinde heyelanların %51,43 oranla içbükey, %48,20 oranla da dışbükey yüzeylerde meydana geldiği tespit edilmiştir.

4. FREKANS ORANI YÖNTEMİYLE HEYELAN DUYARLILIK HARİTASININ ÜRETİLMESİ

Heyelan duyarlılık çalışmalarında, heyelanları tahmin etmek için genellikle şu varsayım yaygın kabul görmektedir; “gelecekteki heyelanlar, geçmişte meydana gelen heyelanlar ile ilişkili aynı faktörler nedeniyle oluşacaktır” [16, 17, 21, 43]. Bu nedenle, geçmiş heyelan konumları ile heyelanı etkileyen her bir faktör arasındaki ilişkiyi (korelasyonu) ortaya koymak için “Frekans Oranı Yöntemi” kullanılmaktadır [18, 21, 33]. Frekans oranı yöntemi, anlaşılır ve uygulaması çok kolay olan bir olasılık modeline sahiptir ve bu özelliği nedeniyle de literatürde yaygın olarak kullanılmaktadır. Frekans oranı, bir olayın gerçekleşme olasılığının gerçekleşmeme olasılığına oranı şeklinde tanımlanmaktadır [9, 16, 21, 44]. Çalışma alanında heyelanı etkileyen her bir faktörün frekans oranını hesaplamak için her bir faktör kategorilere ayrılmış ve her bir faktörün her bir alt kategorisindeki heyelanlı piksel sayıları belirlenmiştir. Frekans oranı hesabı için aşağıdaki formül kullanılmıştır.

$$FR = \frac{PLO}{PIF} \quad (1)$$

Burada PLO, heyelanı etkileyen bir faktörün her bir alt kategorisi içinde heyelan varlığının yüzdesi, PIF ise heyelanı etkileyen bir faktörün her bir kategorisinin yüzdesidir. Frekans oranı hesap tablosunda PLO, A/B ve PIF ise C/D olarak hesaplanmıştır. Bu bağıntılardaki B, çalışma alanındaki toplam heyelanlı hücre sayısını, D ise çalışma alanındaki toplam hücre sayısını ifade etmektedir [45]. Tablo 1 ve 2 de hesaplanan frekans oranı değerlerinden 1'den büyük olanlar yüksek korelasyonu, 1'den düşük olanlar ise düşük korelasyonu göstermektedir.

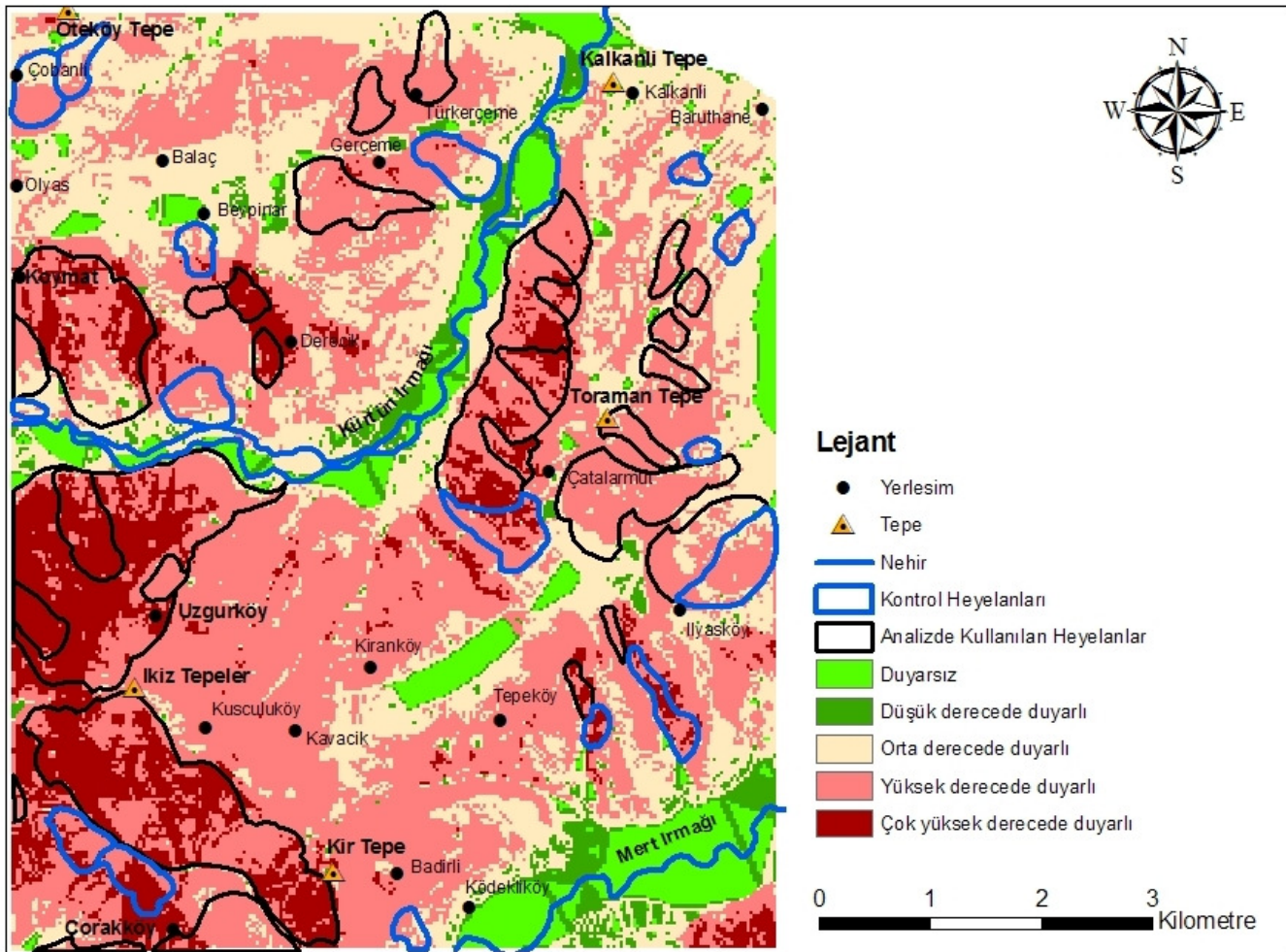
Frekans oranı metodu ile duyarlılık haritalarının üretilmesinde, heyelanı etkileyen her bir faktörün alt kategorileri için hesaplanan frekans oranları dikkate alınmaktadır [8, 22, 45]. Her bir kategori için hesaplanan frekans oranı ArcGIS 9.3.1 ortamında ilgili katmana atanmış, daha sonra tüm katmanlar üst üste çakıştırılarak, heyelan duyarlılık indeksi (LSI) bulunmuştur. Heyelan duyarlılık indeksi, 2,2–14,1 aralığında değişmektedir. Toplam frekans değeri daha sonra “duyarsız, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek derecede duyarlı” alanları belirlemek amacıyla eşit aralıklı 5 sınıfa ayrılmış ve Şekil 7.de gösterilen duyarlılık haritası elde edilmiştir.

Tablo 1. Heyelanı etkileyen parametrelerin frekans oranları

B=13888	D=63862	Heyelanlı Piksel Sayısı		Alandaki Piksel Sayısı		Frekans
Faktör	Kategori	A	PLO (%)	C	PIF (%)	Oranı
Yükseklik	0-50	545	3.92	11912	18.65	0.21
	50-100	3223	23.21	16297	25.52	0.91
	100-150	4555	32.80	15886	24.88	1.32
	150-200	2851	20.53	11554	18.09	1.13
	200-250	1806	13.00	5252	8.22	1.58
	250-300	736	5.30	2125	3.33	1.59
	300-364	172	1.24	836	1.31	0.95
Eğim	0-5	1534	11.05	22574	35.35	0.31
	5-10	9524	68.58	30540	47.82	1.43
	10-15	2232	16.07	7605	11.91	1.35
	15-20	413	2.97	2011	3.15	0.94
	20-25	75	0.54	666	1.04	0.52
	>25	110	0.79	466	0.73	1.09
Bakı	Düz	7	0.05	3926	6.15	0.01
	Kuzey	2446	17.61	11096	17.37	1.01
	Kuzeydoğu	1197	8.62	7978	12.49	0.69
	Doğu	1378	9.92	10604	16.60	0.60
	Güneydoğu	1297	9.34	10544	16.51	0.57
	Güney	2237	16.11	6297	9.86	1.63
	Güneybatı	1795	12.92	3448	5.40	2.39
	Batı	1361	9.80	2708	4.24	2.31
	Kuzeybatı	2170	15.63	7261	11.37	1.37
Formasyon	Tt	3180	22.90	6210	9.72	2.35
	Qt	0	0.00	3668	5.74	0.00
	Tsi	9156	65.93	37561	58.82	1.12
	Tsk	1041	7.50	9164	14.35	0.52
	Qe	511	3.68	7259	11.37	0.32
Eğrilik	İçbükey	7143	51.43	26003	40.72	1.26
	Düz	51	0.37	5728	8.97	0.04
	Dışbükey	6694	48.20	32131	50.31	0.96
Plan Eğriliği	İçbükey	6820	49.11	24615	38.54	1.27
	Düz	155	1.12	6687	10.47	0.11
	Dışbükey	6913	49.78	32560	50.98	0.98
Profil Eğriliği	İçbükey	6530	47.02	30540	47.82	0.98
	Düz	39	0.28	5253	8.23	0.03
	Dışbükey	7319	52.70	28069	43.95	1.20
Yola Yakınlık	0-250	2571	18.51	15750	24.66	0.75
	250-500	2768	19.93	13587	21.28	0.94
	500-750	3318	23.89	11726	18.36	1.30
	750-1000	2448	17.63	8571	13.42	1.31
	1000-1250	1829	13.17	4855	7.60	1.73
	1250-1500	859	6.19	3294	5.16	1.20
	1500-1750	58	0.42	1908	2.99	0.14
	1750-2000	37	0.27	1614	2.53	0.11
2000-2725	0	0.00	2557	4.00	0.00	

Tablo 2. Akarsuya yakınlık parametresi için frekans oranları

B=13888	D=63862	Heyelanlı Piksel Sayısı		Alandaki Piksel Sayısı		Frekans Oranı
Faktör	Kategori	A	PLO (%)	C	PIF (%)	
Akarsuya Yakınlık	0-500	2345	16.89	14527	22.75	0.74
	500-1000	3132	22.55	11748	18.40	1.23
	1000-1500	2844	20.48	11456	17.94	1.14
	1500-2000	2213	15.93	11526	18.05	0.88
	2000-2500	1847	13.30	8316	13.02	1.02
	2500-3000	1209	8.71	3387	5.30	1.64
	3000-3500	277	1.99	2158	3.38	0.59
	3500-4000	21	0.15	744	1.17	0.13

**Şekil 7.** Çalışma alanının heyelan duyarlılık haritası

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Kitle hareketlerini oluşturan etkenler genel olarak, zemin koşulları, jeomorfolojik süreçler, fiziksel süreçler ve insan etkileri olmak üzere 4 grupta toplanmaktadır. Samsun il merkezinde meydana gelen toplam 61 heyelandan 21'ine ait jeolojik etüt raporları incelendiğinde, heyelanlarının oluşumunu etkileyen faktörlerin açık ve net bir şekilde raporlarda yer almadığı görülmüştür. MTA Genel Müdürlüğü'nden temin edilen heyelan envanter haritasında da heyelanların sadece "eski" ve "yeni" heyelanlar şeklinde sınıflandırıldığı görülmektedir. Bu nedenle çalışmada, heyelanlı sahalardaki insan etkileri (örneğin topukta kazı gibi) değerlendirilememiştir. Sonuç olarak, Samsun il merkezindeki kitle

hareketlerinin öncelikli olarak zemin koşullarından kaynaklandığı belirlenmiştir. Çalışma alanındaki heyelanların %66'sı Samsun Formasyonu İlyas üyesi içeren sahalarda yer almaktadır. Bunun nedeni, bu formasyonunu oluşturan killer ve jips ara bantlarıdır. İlyas üyesi içerisindeki killerin mineralojik ve jeoteknik araştırmalarla, fiziksel ve mekanik davranışları aktiflik, şişme potansiyeli, sıvılık indisi, gebilirlik parametreleri, i sirtünme açıları vb. analiz edilmelidir. Ayrıca yapılan çalışmalara sismik etütler de eklenerak kayma yüzeyleri belirlenmelidir.

6. SONUÇLAR

Bu çalışma, Samsun il merkezinin heyelan duyarlılık haritasının üretilmesine yönelik çalışmaları içermektedir. Çalışmada, heyelan duyarlılık haritası, Frekans Oranı metodu kullanılarak üretilmiştir. Uygulamada, heyelanı etkileyen 9 farklı faktör dikkate alınmıştır. Duyarlılık haritası, “duyarsız, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek derecede duyarlı” alanlar olmak üzere 5 şekilde sınıflandırılmıştır. Üretilen heyelan duyarlılık haritasının güvenilirliğini test etmek için heyelan envanter haritası ile heyelan duyarlılık haritası karşılaştırılmış ve mevcut heyelan alanlarının duyarlılık sınıflarına göre dağılımları alansal ve yüzde olarak belirlenmiştir. Aynı şekilde, heyelan envanter haritasında yer alan ve kontrol amacıyla analizlere dahil edilmeyen 16 adet heyelanda duyarlılık haritası ile karşılaştırılmıştır. Yapılan değerlendirmelerde, mevcut heyelanların %38,2'sinin (4,76 km²) çok yüksek derecede, %53,1'inin (6,61 km²) ise yüksek derecede duyarlı bölgelerde kaldığı tespit edilmiştir. Kontrol heyelanları incelendiğinde ise, heyelanların %14,2'sinin (0,39 km²) çok yüksek derecede, %58,7'sinin de (1,63 km²) yüksek derecede duyarlı bölgede kaldığı tespit edilmiştir. Sonuç olarak, üretilen heyelan duyarlılık haritasının kontrol heyelanları ile çok yüksek ve yüksek derecede duyarlı bölgeler bazında toplamda %72,9 oranında uyumlu olduğu tespit edilmiştir.

7. KAYNAKLAR

1. Vos, F., Rodriguez, J., Below, R., Guha-Sapir, D., 2010. Annual Disaster Statistical Review 2009: The Numbers and Trends, Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED), Université catholique de Louvain, Brussels, Belgium.
2. CRED, 2010. Disaster Data: A Balanced Perspective, CRED Crunch, Issue No. 21.
3. Assilzadeh, H., Levy, J. K., Wang, X., 2010. Landslide Catastrophes and Disaster Risk Reduction: A GIS Framework for Landslide Prevention and Management, Remote Sensing, 2, 2259-2273.
4. Gökçe, O., Özden, ř., Demir, A., 2008. Türkiye'de Afetlerin Mekansal ve İstatistiksel Dağılımı Afet Bilgileri Envanteri, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Afet Etüt ve Hasar Tespit Daire Başkanlığı, Ankara.
5. Doyuran V., Lünel, T., Altınar, D., Koçyiğit, A., 1985. Samsun Yerleşim Sahası Mikrobölgeleendirme Çalışmaları, Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, Cilt 28, Sayfa 93-103.
6. Varnes, D.J., 1984. Landslide Hazard Zonation: A Review of Principles and Practices, Commission on Landslides of the IAEG, UNESCO, Natural Hazards No. 3, 61 p, Paris.
7. Yalçın, A., 2007. Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesinde Analitik Hiyerarşı Yönteminin ve CBS'nin Kullanımı, Selçuk Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 22, Sayı 3, Sayfa 1-14.
8. Reis, S., Yalçın, A., Atasoy, M., Nişancı, R., Bayrak, T., Sancar, C., Ekercin, S., 2009. CBS ve Uzaktan Algılama Teknikleri İle Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretimi: Rize İli Örneği, Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği V. Teknik Sempozyumu, 4-6 şubat, Ankara.

9. Lee, S., Evangelista, D.G., 2005. Landslide Susceptibility Mapping using Probability and Statistics Models in Baguio City, Philippines, ISPRS 31st International Symposium on Remote Sensing of Environment, 20-24 May, Saint Petersburg, Russia.
10. Lee, S., Tu Dan, N., 2005. Probabilistic landslide susceptibility mapping in the Lai Chau province of Vietnam: Focus on the relationship between tectonic fractures and landslides, *Environmental Geology*, Volume 48, Number 6, 778-787.
11. Lee, S., Pradhan, B., 2006. Probabilistic landslide hazards and risk mapping on Penang Island, Malaysia, *Journal of Earth System Science*, Volume 115, Number 6, 661-672.
12. Lee, S., Sambath, T., 2006. Landslide susceptibility mapping in the Damrei Romel area, Cambodia using frequency ratio and logistic regression models, *Environmental Geology*, Vol.50, No.6, 847-855.
13. Lee, S., Pradhan, B., 2007. Landslide hazard mapping at Selangor, Malaysia using frequency ratio and logistic regression models, *Landslides*, Volume 4, Number 1, 33-41.
14. Yılmaz, I., 2007. GIS based susceptibility mapping of karst depression in gypsum: A case study from Sivas basin (Turkey), *Engineering Geology*, Volume 90, Issues 1-2, 89-103.
15. Akgün, A., Dağ, S., Bulut, F., 2008. Landslide susceptibility mapping for a landslide-prone area (Findikli, NE of Turkey) by likelihood-frequency ratio and weighted linear combination models, *Environmental Geology*, Volume 54, Number 6, 1127-1143.
16. Yılmaz, I., 2009. Landslide susceptibility mapping using frequency ratio, logistic regression, artificial neural networks and their comparison: A case study from Kat landslides (Tokat-Turkey) *Computers & Geosciences*, Volume 35, Issue 6, 1125-1138.
17. Jadda, M., Shafri, H.Z.M., Mansor, S.B., Sharifikia, M., Pirasteh, S., 2009. Landslide Susceptibility Evaluation and Factor Effect Analysis Using Probabilistic-Frequency Ratio Model, *European Journal of Scientific Research*, Volume 33, Number 4, 654-668.
18. Erener, A., Düzgün, H.S.B., 2010. Improvement of statistical landslide susceptibility mapping by using spatial and global regression methods in the case of More and Romsdal (Norway), *Landslides*, Volume 7, Number 1, 55-68.
19. Öztekeşin, K., 2008. Samsun Kenti (Büyükşehir Belediyesi) İçmesuyu Potansiyeli, TMMOB Samsun Kent Sempozyumu, 27-29 Kasım, Samsun.
20. Carrara A., Cardinali M., Guzzetti F., Reichenbach P., 1995. GIS technology in mapping landslide hazard. In: Carrara, A., Guzzetti, F. (Eds.), *Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards*. Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, The Netherlands, 135-175.
21. Lee, S., Choi, J., Min, K., 2004. Probabilistic landslide hazard mapping using GIS and remote sensing data at Boun, Korea. *International Journal of Remote Sensing*, Volume 25, Issue 11, 2037-2052.
22. Erener, A., Düzgün, H.S.B., 2007. Heyelan Analizlerinde Coğrafi Ağırlıklandırılmış Regresyon (CAR) Metodu, 11. Türkiye Bilimsel Harita ve Teknik Kurultayı, 02-06 Nisan, Ankara.
23. Kumtepe P., Nurlu, Y., Cengiz, T., Sütçü, E., 2009. Bolu Çevresinin Heyelan Duyarlılık Analizi, TMMOB Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi, 02-06 Kasım, İzmir.

24. Hansen, A., 1984. Landslide hazard analysis. In: Brunsten, D., Prior, D.B. (Eds) Slope instability. Wiley, New York, pp 523–602.
25. Wieczorek, G.F., 1984. Preparing a detailed landslide-inventory map for hazard evaluation and reduction. Bulletin Association of Engineering Geologists, 21(3), 337–342.
26. Einstein, H.H., 1988. Special lecture: landslide risk assessment procedure. In Proceedings of 5th International Symposium on Landslides, Lausanne, Switzerland, Volume 2, pp 1075–1090.
27. Van Westen, C.J., 1994. GIS in landslide hazard zonation: a review, with examples from the Andes of Colombia. In: Price, M.F., Heywood, D.I. (Eds) Geographical information systems in landslide hazard zonation GIS applications for mountain areas. Taylor and Francis, London, pp 135–165.
28. Parise, M., 2001. Landslide mapping techniques and their use in the assessment of the landslide hazard. Physics and Chemistry of the Earth, Volume 26, Issue 9, 697–703.
29. Griffiths, J.S., Mather, A.E., Hart, A.B., 2002. Landslide susceptibility in the Rio Aguas catchment, SE Spain. Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, Volume 35, Issue 1, 9–17.
30. Çevik, E., Topal, T., 2003. GIS-Based Landslide Susceptibility Mapping for a Problematic Segment of the Natural Gas Pipeline, Hendek (Turkey), Environmental Geology, Vol. 44, No. 8, 949-962.
31. Pachauri, A.K., Gupta, P.V., Chander, R., 1998. Landslide zoning in a part of the Garhwal Himalayas, Environmental Geology, Volume 36, Numbers 3-4, 325–334.
32. Dai, F.C., Lee, C.F., Li, J., Xu, Z.W., 2001. Assessment of landslide susceptibility on the natural terrain of Lantau Island, Hong Kong, Environmental Geology, Volume 40, Number 3, 381-391.
33. Lee, S., Min, K., 2001. Statistical analyses of landslide susceptibility at Yongin, Korea. Environmental Geology, Volume 40, Number 9, 1095–1113.
34. Saha, A.K., Gupta, R.P., Arora, M.K., 2002. GIS-based Landslide Hazard Zonation in the Bhagirathi (Ganga) Valley, Himalayas, International Journal of Remote Sensing, Volume 23, Issue 2, 357-369.
35. Ercanoğlu, M., Gökçeoğlu, C., Van Asch, Th.W. J., 2004. Landslide Susceptibility Zoning North of Yenice (NW Turkey) by Multivariate Statistical Techniques, Natural Hazards, 32: 1–23.
36. Yalçın, A., 2008. GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): Comparisons of results and confirmations, Catena, Volume 72, Issue 1, 1–12.
37. Carrara, A., Cardinalli, M., Detti, R., Guzzetti, F., Pasqui, V., Reichenbach, P., 1991. GIS techniques and statistical models in evaluating landslide hazards. Earth Surface Processes and Landforms, Volume 16, Issue 5, 427–445.
38. Gökçeoğlu, C., Aksoy, H., 1996. Landslide susceptibility mapping of the slopes in the residual soils of the Mengen region (Turkey) by deterministic stability analyses and image processing techniques, Engineering Geology, Volume 44, Issues 1-4, 147–161.
39. Gökçeoğlu, C., Ercanoğlu, M., 2001. Heyelan Duyarlılık Haritalarının Hazırlanmasında Kullanılan Parametrelere İlişkin Belirsizlikler, Yerbilimleri, 23, 189-206.

40. Juang, C.H., Lee, D.H., Sheu, C., 1992. Mapping slope failure potential using fuzzy sets, *Journal of Geotechnical Engineering*, Vol. 118, No. 3, 475–494.
41. Pachauri, A.K., Pant, M., 1992. Landslide hazard mapping based on geological attributes, *Engineering Geology*, Volume 32, Issues 1-2, 81–100.
42. Ayalew, L., Yamagishi, H., 2005. The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda–Yahiko Mountains, Central Japan. *Geomorphology*, Volume 65, Issues 1-2, 15–31.
43. Chung, C. F., Fabbri, A. G., 1999. Probabilistic prediction models for landslide hazard mapping, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 65, No. 12, 1389–1399.
44. Bonham-Carter, G.F., 1994. *Geographic Information Systems for Geoscientists, Modeling with GIS*. Pergamon Press, Oxford, p. 398.
45. Erener, A., Lacasse, S., 2007. Heyelan Duyarlılık Haritalamasında CBS Kullanımı, TMMOB Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi, 30 Ekim–02 Kasım, KTÜ, Trabzon.