

FREKANS ORANI METODU KULLANILARAK SAMSUN İL MERKEZİNİN HEYELAN DUYARLILIK HARİTASININ ÜRETİLMESİ

Halil Akıncı¹, Sedat Doğan¹, Cem Kılıçoğlu²

¹OMÜ, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Harita Müh.Bölümü, Samsun, hakinci@omu.edu.tr, sedatdo@omu.edu.tr

²OMÜ, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Kavak Meslek Yüksekokulu, Kavak, Samsun, cemopanpe@hotmail.com

ÖZET

Samsun il merkezi, son 25 yılda konut ihtiyacının artması nedeniyle hızla yapılaşmaya açılmıştır. Nüfus artışının etkisiyle yapılaşma, kentin 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, baki, eğrilik, plan ve profil eğriliği, yola ve akarsuya yakınlık parametreleri dikkate alınmıştır.

Anahtar Sözcükler: Coğrafi Bilgi Sistemi, Heyelan, Frekans Oranı Metodu, Duyarlılık Haritası

ABSTRACT

PRODUCTION OF LANDSLIDE SUSCEPTIBILITY MAP OF SAMSUN CITY CENTER BY USING FREQUENCY RATIO METHOD

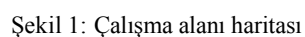
Due to the increased need for housing, Samsun province center were quickly opened construction in the last 25 years. Because of the population growth, construction progressed towards to the southern hillside of the city. Large amount of landslides observed and classified in this region by the relevant 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: Geographical Information System, Landslide, Frequency Ratio Method, Susceptibility Map

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 (Vos vd., 2010). 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 (Vos vd., 2010). 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. EM_DAT’ın sınıflandırmasından hareketle doğal afetleri, genel olarak, “önceden tahmin edilemeyen ve oluşumu engellenemeyen biyolojik, meteorolojik, hidrolojik, iklimsel ve jeofiziksel kökenli olayların sonuçları” şeklinde tanımlayabiliriz.

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 %45’ini taşkınlar, %19’unu kasırgalar, %10’unu heyelanlar, %9’unu kuraklık, %7’sini depremler, %7’sini ekstrem sıcaklıklar, %2’sini volkan patlamaları ve %1’ini de yangınlar oluşturmaktadır (CRED, 2010). 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 (Assilzadeh vd., 2010). Mart 2010 da Uganda’nın Bududa bölgesinde meydana gelen heyelanda 388 kişi yaşamını yitirmiştir (CRED, 2010). 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 (Assilzadeh vd., 2010). 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. Heyelan afeti için yapılan değerlendirmede tüm illerimizin heyelandan belirli derecelerde etkilendiği görülmektedir (Gökçe vd., 2008). Heyelanların yıkıcı etkisi, Ülkemizde kendisini son olarak 26 Ağustos



1.2 Çalışma Alanının Genel Jeolojisi

Çalışma alanında 5 farklı formasyon izlenmektedir. MTA tarafından yapılan çalışmalara göre Samsun ilinde, yaşlıdan gence doğru şu birimler gözlenir (Öztekeşin, 2008).

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 matriks 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 mercceklerini kapsayan karasal konglomera (çakıltası) 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.

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 (*Globigerina praebuloides* 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 (Doyuran vd., 1985). Birim, volkanik çakıllardan oluşan bir taban konglomerası ile başlamaktadır. Daha üstte gri-mavi renkli denizel marn ile kil ve jips ara bantlı kumtaşı, silttaşı ve çakıltası düzeyleri yer almaktadır.

Karasamsun Üyesi (Tsk): Birim aşınma 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, silttaşı ve marn merccekleri 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 silttaşı ve kumtaşı ile marn mercceklerinin 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 10–20 m arasındadır.

2. 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.

2.1 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 (Lee et al., 2004; Yılmaz, 2009; Jadda et al., 2009). 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 (Çevik and Topal, 2003; Yalçın, 2007; Reis et al., 2009). 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 üretilmektedir (Yalçın, 2007; Reis et al., 2009). 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 30x30m hücre boyutlu ESRI GRID formatına dönüştürülmüştür.

Litoloji, heyelan oluşumunu etkileyen önemli parametrelerden bir tanesidir (Kumtepe et al., 2009) ve heyelan duyarlılık çalışmalarında önemli rol oynar. Çünkü farklı litolojik birimler, heyelanlar gibi aktif jeomorfolojik süreçler için farklı duyarlılıklara sahiptir. Jeomorfolojik süreçler, kısmen litolojiye ve litolojiyi oluşturan temel malzemelerin ayrışma özelliklerine bağlıdır (Pachauri et al., 1998; Dai et al., 2001; Çevik and Topal, 2003). 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 litofasiyeslerin 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 (Doyuran vd., 1985).

Tablo 1: Heyelanı etkileyen parametrelerden bir kısmının frekans oranları

B=13888	D=63862	Heyelanlı Piksel Sayısı		Alandaki Piksel Sayısı		Frekans Oranı
Faktör	Kategori	A	PLO (%)	C	PIF (%)	
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

Heyelan duyarlılık analizlerinin en önemli bileşeni eğim açısidir (Dai et al., 2001; Lee and Min, 2001; Saha et al., 2002; Ercanoğlu et al., 2004; Ercener and Düzgün, 2010). Heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesine yönelik birçok çalışmada eğim açısının öncelikli olarak dikkate alındığı görülmektedir (Dai et al., 2001; Lee and Min, 2001; Saha et al., 2002; Çevik and Topal, 2003; Ercanoğlu et al., 2004; Yalçın, 2008; Yılmaz, 2009; Ercener and Düzgün, 2010). Daha önceki çalışmalar ve arazi gözlemleri eğimin artmasıyla heyelana karşı duyarlılığın arttığını göstermektedir (Yalçın, 2007). 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 hücre 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 (Carrara et al., 1991; Ercanoğlu et al., 2004). Bununla birlikte, birçok çalışmada heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında bakının da önemli faktörlerden biri olduğu vurgulanmaktadır (Dai et al., 2001; Çevik and Topal, 2003; Lee et al., 2004; Yalçın, 2008). Gerçekte bakı, heyelanların oluşumunu kontrol edebilen süreksizlikler, yağış, rüzgar etkisi ve güneş ışığına maruz kalma gibi parametrelerle ilişkilidir (Gökçeoğlu and Aksoy, 1996; Dai et al., 2001; Çevik and Topal, 2003; Ercanoğlu et al., 2004; Yalçın, 2008). 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 (Gökçeoğlu and Ercanoğlu, 2001; Yalçın, 2007). 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 (Juang et al., 1992; Pachauri and Pant, 1992; Çevik and Topal, 2003). Heyelanların, yüksek rakımlı yerlerde daha fazla eğilim gösterdiği belirtilmektedir (Pachauri and Pant, 1992; Ercanoğlu et al., 2004). 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 (Gökçeoğlu and Aksoy, 1996; Dai et al., 2001; Saha et al., 2002; Çevik and Topal, 2003; Yalçın, 2007; Yalçın, 2008; Reis et al., 2009). 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.

Akarsulara yakınlık gibi yol ve yolun etkilediği yamaçlarda da stabilite problemleri görülmektedir (Pachauri and Pant, 1992; Pachauri et al., 1998; Ayalew and Yamagishi, 2005; Akgün et al., 2008; Yalçın, 2008; Reis et al., 2009). 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 (Yalçın, 2007; Yalçın, 2008; Reis et al., 2009). Çalışma alanındaki ana yollar, 1/25.000 ölçekli STH'dan sayısallaştırılmıştır. Yol ağı, raster formata dönüştürüldükten sonra yollara ait yakınlık haritası üretilmiştir. Daha sonra, yakınlık haritası ile heyelan envanter haritası analiz edilerek çalışma alanındaki heyelanların meydana geldiği tampon bölgelerin yüzde olarak dağılımları tespit edilmiştir.

Eğrilik değerleri, topoğrafyanın morfolojik yapısını göstermektedir (Lee and Min, 2001; Lee et al., 2004; Erener and Düzgün, 2010). Eğrilik haritaları, SYM'nin ikinci türevi olarak elde edilirler ve eğimdeki değişimi gösterirler (Erener and Düzgün, 2010). 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, iraksak ve yakınsak akış alanlarının belirlenmesini sağlayan, konturlara paralel olan eğimin eğriliğidir. Yakınsak akış alanı genellikle yüksek erozyon ve nakil potansiyelini gösterirken, iraksak akış, düşük potansiyeli göstermektedir. Profil eğriliği, SYM'de konturlara dik olan eğriliktir. Bu değer akışın hızlanmasını veya yavaşlamasını etkilemektedir, bu nedenle heyelan oluşumunu etkilemektedir (Erener and Düzgün, 2007; Erener and Düzgün, 2010). Çalışma alanının eğrilik haritaları SYM'den üretilmiştir. Alandaki eğrilik değerleri incelendiğinde heyelanların %51,43 oranla içbükey, %48,20 oranla da dışbükey yüzeylerde meydana geldiği tespit edilmiştir.

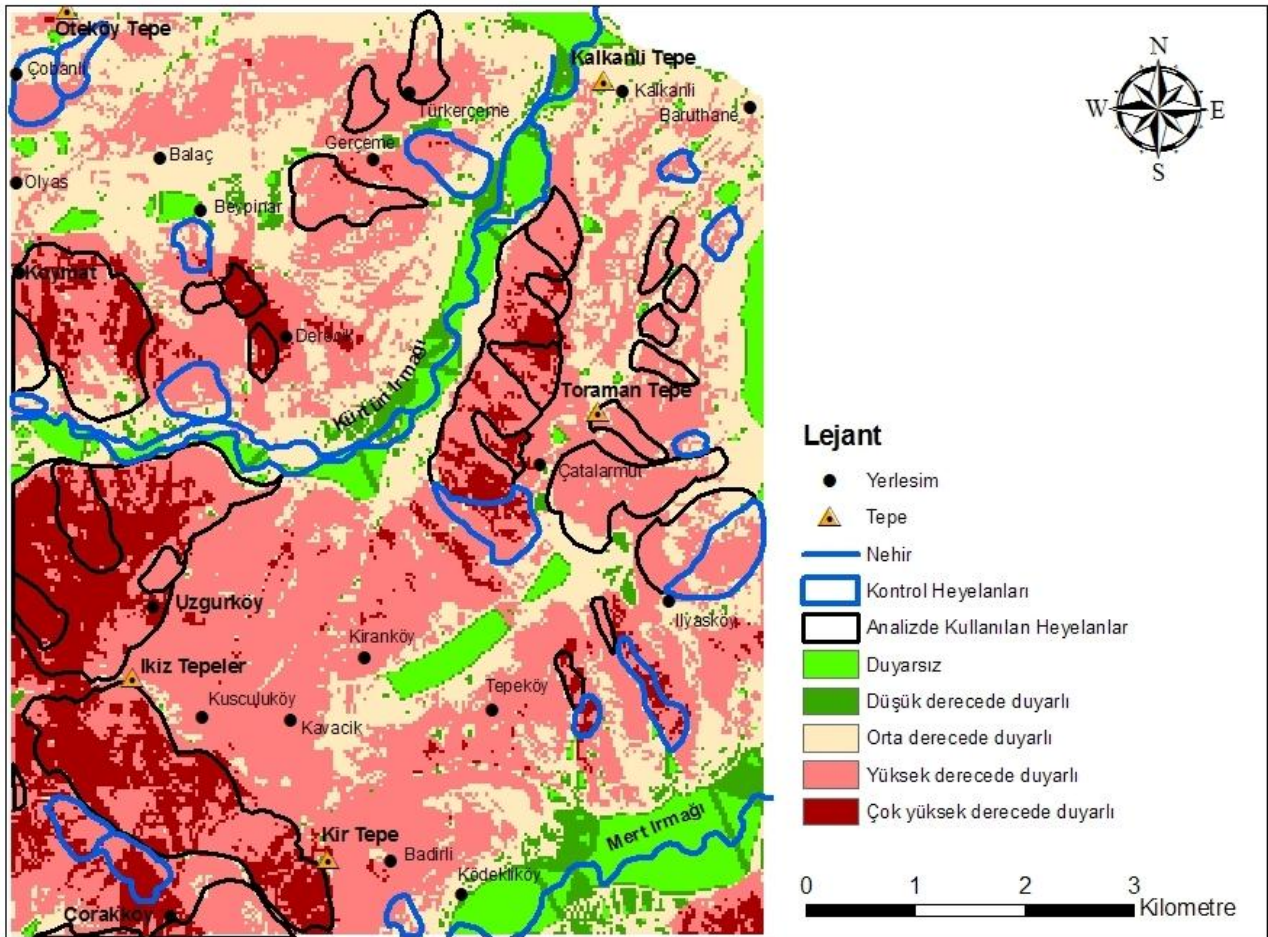
3. HEYELAN DUYARLILIK HARİTASININ ÜRETİLMESİ

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” (Lee et al., 2004; Yılmaz, 2009; Jadda et al., 2009). Bu nedenle, geçmiş heyelan konumları ile heyelanı etkileyen her bir faktör arasındaki ilişkiyi (korelasyonu) ortaya koymak için “Frekans Oranı Yöntemi” kullanılmaktadır (Lee and Min, 2001; Lee et al., 2004; Erener and Düzgün, 2010). 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 (Bonham-Carter, 1994; Lee et al., 2004; Lee and Evangelista, 2005; Yılmaz, 2009). 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 hücre 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 (Erener and Lacasse, 2007). 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 (Erener and Düzgün, 2007; Erener and Lacasse, 2007; Reis et al., 2009). 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 2.de gösterilen duyarlılık haritası elde edilmiştir.



Şekil 2: Çalışma alanının heyelan duyarlılık haritası

4. 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 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 killi ve jips ara bantlarıdır. İlyas üyesi içerisindeki killerin mineralojik ve jeoteknik araştırmalarla, fiziksel ve mekanik davranışları aktiflik, şişme potansiyeli, sıvılık indisi, göçebilirlik parametreleri, iç sürtünme açıları vb. analiz edilmelidir. Ayrıca yapılan çalışmalara sismik etütler de eklenerek kayma yüzeyleri belirlenmelidir.

5. 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.

KAYNAKLAR

- 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 Geol.*, 54(6), 1127-1143
- 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.
- 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.
- Bonham-Carter, G.F., 1994. *Geographic Information Systems for Geoscientists, Modeling with GIS*. Pergamon Press, Oxford, p. 398.
- 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.
- 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.
- CRED, 2010. Disaster Data: A Balanced Perspective, CRED Crunch, Issue No. 21.
- 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.
- Doyuran V., Lünel, T., Altın, D., Koçyiğit, A., 1985. Samsun Yerleşim Sahası Mikrobölgelendirme Çalışmaları, *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, Cilt 28, Sayfa 93-103.
- 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.
- 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.
- 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.
- Erener, A., Lacasse, S., 2007. Heyelan Duyarlılık Haritalamasında CBS Kullanımı, TMMOB Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi, 30 Ekim-02 Kasım, KTÜ, Trabzon.

Gökçe, O., Özden, Ş., Demir, A., 2008. Türkiye’de Afetlerin Mekansal ve İstatistiksel Dağılımı Afet Bilgileri Envanteri, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Afet Etüt ve Hasar Tespit Daire Başkanlığı, Ankara.

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.

Gökçeoğlu, C., Ercanoğlu, M., 2001. Heyelan Duyarlılık Haritalarının Hazırlanmasında Kullanılan Parametrelere İlişkin Belirsizlikler, *Yerbilimleri*, 23, 189-206.

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.

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.

Kumtepe P., Nurlu, Y., Cengiz, T., Sütçü, E., 2009. Bolu Çevresinin Heyelan Duyarlılık Analizi, TMMOB Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi, 02-06 Kasım, İzmir.

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.

Lee, S., Evangelista, D.G., 2005. Landslide Susceptibility Mapping using Probability and Statistics Models in Baguio City, Philippines, 31st International Symposium on Remote Sensing of Environment, Saint Petersburg, Russia.

Lee, S., Min, K., 2001. Statistical analyses of landslide susceptibility at Yongin, Korea. *Environmental Geology*, Volume 40, Number 9, 1095–1113.

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.

Öztekeşin, K., 2008. Samsun Kenti (Büyükşehir Belediyesi) İçmesuyu Potansiyeli, TMMOB Samsun Kent Sempozyumu, 27-29 Kasım, Samsun.

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.

Pachauri, A.K., Pant, M., 1992. Landslide hazard mapping based on geological attributes, *Engineering Geology*, Volume 32, Issues 1-2, 81–100.

Reis, S., Yalçın, A., Atasoy, M., Nişancı, R., Bayrak, T., Sancar, C., Ekerçin, 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.

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.

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), Brussels, Belgium.

Yalçın, A., 2007. Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesinde Analitik Hiyerarşi Yönteminin ve CBS’nin Kullanımı, Selçuk Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 22, Sayı 3, Sayfa 1-14.

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.

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.

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*, 35(6), 1125-1138.