

KALKINMA YOLUNDA DOĞAL AFETLER RAPORU



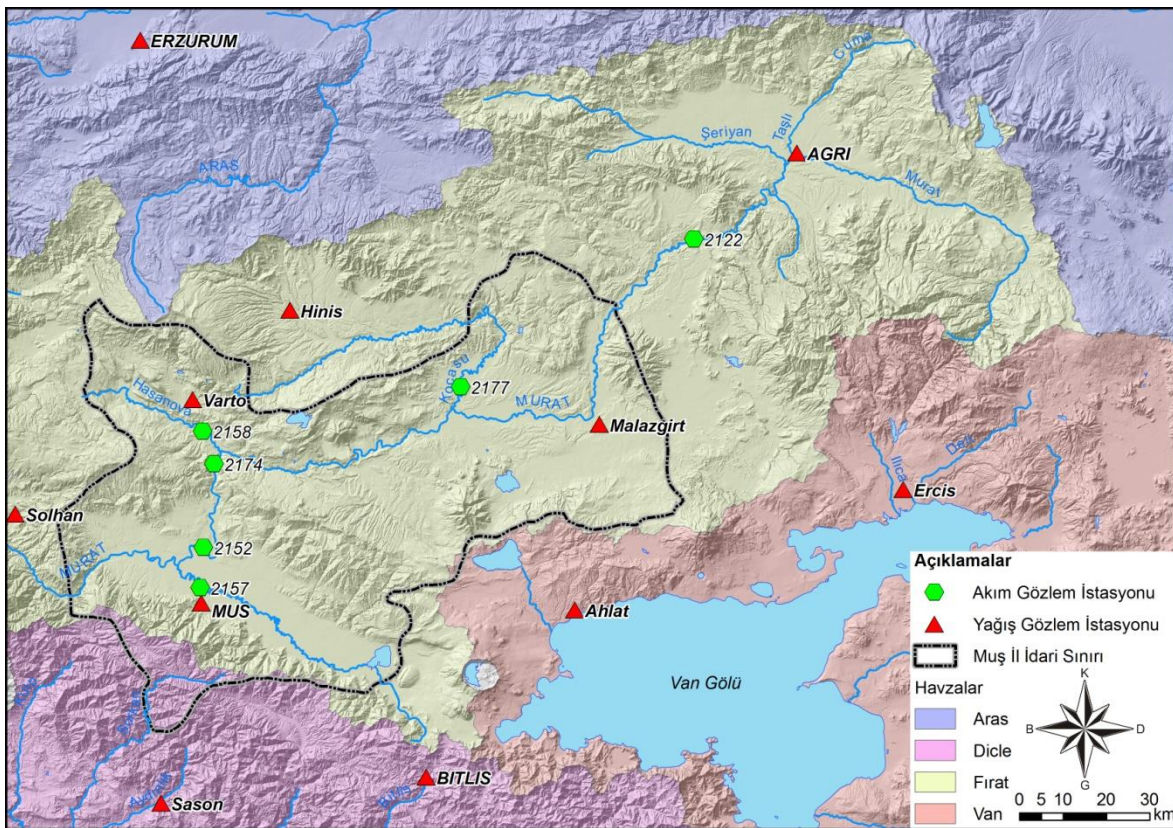
İÇİNDEKİLER

Muş ve Çevresi Hidrolojik Kuraklık Analizi	3
<i>Harun AYDIN</i>	
Muş İlinin Meteorolojik Kuraklık Analizi	23
<i>Hasan TATLI</i>	
Muş İlindeki Kütle Hareketleri ve Kütle Hareketlerine Duyarlı Alanların Analizi	37
<i>Tolga GÖRÜM</i>	
Muş İlinde Doğal Tehlike Kaynağı Olarak Sel ve Taşkınlar, Sel ve Taşkına Duyarlı Alanların Analizi	81
<i>İskender DÖLEK</i>	
Muş İli ve Civarının Depremselliği	129
<i>Alper Demirci ve Yunus Levent Ekinci</i>	
EKLER.....	151



2. VERİ ve YÖNTEM

Bu çalışma kapsamında, Muş ili idari sınırları içinde meydana gelen hidrolojik kuraklık dönemlerinin belirlenmesi amacı ile inceleme alanı ve yakın çevresinde yer alan Meteoroloji (MGİ) ve Akım (AGİ) gözlem istasyonlarında gözlenen aylık toplam yağış (1960-2014) ve aylık ortalama akım (1960-2012) değerleri kullanılmıştır (Şekil 1). Bu bölüm kapsamında Normalleştirilmiş Yağış İndeksi, Debi-Süreklilik İndisi ve Kümülatif Eklenik Sapma Yöntemleri ile Muş ilinde meydana gelen hidrolojik kuraklık analizi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. İnceleme alanı hidrolojik gözlem ağı haritası.

2.1. Normalleştirilmiş Yağış İndeksi (NYİ)

NYİ analizi için Muş ili idari sınırları içinde yer alan üç (Muş, Malazgirt, Varto) adet MGİ'da gözlenen aylık toplam yağış değerleri kullanılırken inceleme alanı dışında ise sekiz (Ağrı, Erzurum, Hınıs, Solhan, Sason, Bitlis, Ahlat ve Erciş) adet MGİ'da gözlenen aylık toplam yağış değerleri kullanılmıştır. Söz konusu veriler Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünden temin edilmiştir.

NYİ, belirlenen zaman diliminde (1, 3, 6, 9, 12, 24, 36 ay, vb.) verinin ortalamadan olan farkının serinin standart sapmasına bölünmesi ile elde edilmektedir (McKee vd., 1993). En

az 30 yıllık aylık veri serisine sahip her hangi bir parametre (yağış, sıcaklık, akım, vb.) için bu yöntem uygulanabilir. NYİ hesaplamaları için istenilen zaman (1, 3, 6, 9, 12, 24, 36 ay, vb.) ölçeğindeki veri toplamının frekans dağılımı, Gamma olasılık dağılımına uydurulur. Gamma dağılımından elde edilen kümülatif olasılık değerleri, standart sapması bir ve ortalaması sıfır olan normal dağılım (X) değişkenine dönüştürülmesi ile NYİ değerleri elde edilmektedir (McKee vd., 1993; Hayes vd., 1999; Wu vd., 2001; Hınıs, 2013). Örneğin bu tanımı yağış verisi için yazacak olursak:

$$X = \frac{(O_i - \bar{O}_i)}{\sigma_i}$$

burada; O_i : i zamanında gerçekleşen yağış miktarını, \bar{O}_i : veri serisine ait ortalama yağış miktarını ve σ_i : veri serisine ait standart sapma değerini ifade etmektedir.

Yağışlardaki azalma kısa dönemde zemin neminde hissedilebilirken yeraltı suyu, yüzey suyu veya baraj ve gölet gibi su biriktirme tesislerinde daha uzun zaman diliminde hissedilmektedir. Dolayısı ile tarımsal kuraklık analizleri için 3 aylık NYİ sonuçları kullanılabilirken, hidrolojik kuraklık analizleri için ise 9 ay veya daha uzun süreli NYİ sonuçlarının kullanılması önerilmektedir (Labeledzki, 2007; Hınıs, 2013). Bu çalışma kapsamında 12, 24 ve 36 aylık zaman dilimlerine ait NYİ değerleri hesaplanmıştır. NYİ değerleri dikkate alınarak yapılan kuraklık değerlendirmesinde indisin negatif olduğu zaman periyodu “kurak dönemi” ve pozitif olduğu zaman periyodu ise “yağışlı dönemi” karakterize etmektedir (McKee vd., 1993). McKee vd. (1993) tarafından önerilen NYİ sınıflaması Çizelge 1’de verilmektedir.

Çizelge 1. NYİ sınıflaması (McKee vd., 1993).

SPI	Kuraklık Kategorisi
$2 \leq$	Çok Aşırı Nemli
1.99 - 1.5	Aşırı Nemli
1.49 – 1.0	Orta Derece Nemli
0.99 – (-0.99)	Normal
(-1.0) – (-1.49)	Orta Derece Kurak
(-1.5) – (-1.99)	Aşırı Kurak
$-2 \geq$	Çok Aşırı Kurak

2.2. Debi-Süreklilik İndisi veya Q_{90}

Debi-Süreklilik İndisi, akarsu akımlarında hidrolojik kuraklık analizinin yapılması için sıkça kullanılan nicel bir değerlendirme yöntemidir (Hisdal vd., 2000). Debi-Süreklilik eğrisi en düşük akımlardan taşkınlarla kadar nehrin akış durumunu gösteren en uygun

araçlardan biridir. Günlük veya aylık ortalama akış verilerini kullanarak elde edilen debi-süreklilik eğrileri gerçekte istenilen bir periyotta belirlenen bir debi değerinin zamanın kaçta kaçında mevcut olduğunu gösteren kümülatif (yığışmalı) frekans dağılımıdır (Özdemir vd.,2007). Smakhtin (2004) debi-süreklilik eğrisinin % 70 - % 99 aralığının dizayn amaçlı düşük akım aralığı veya Q_{70} - Q_{99} aralığı olduğunu ifade etmiştir. Örneğin Q_{95} , gözlem yapılan zamanın % 95'inde aşılması beklenen akış olarak yorumlanmaktadır. Q_{75} , Q_{90} ve Q_{95} akımları akademik çalışmalarda ve çeşitli ülkelerdeki konuyla ilgili kurumlarda en sık kullanılan debi-süreklilik indisleridir (Pyrce, 2004). Sunulan çalışma kapsamında, proje alanında gözlenen uzun yıllar aylık ortalama akım değerleri kullanılarak Q_{90} debi süreklilik indisi hesaplamaları gerçekleştirilmiştir. Başka bir ifade ile gözlem yapılan veri serisi içinde zamanının % 10'unda gözlenen düşük akım değerleri belirlenmiş ve söz konusu debi değerinin altında kalan akım değerleri hidrolojik olarak kurak dönemi karakterize etmektedir (Gustard vd., 1992; Hisdal vd., 2000).

Bu bağlamda Muş ili ve yakın dolayında yer alan AGİ'da 1960-2012 tarihleri arasında gözlenen uzun yıllar aylık ortalama akım değerleri kullanılmıştır. Söz konusu AGİ'ri Murat Nehri (EİE 21-22, EİE 21-74, EİE 21-52), Kocasu (EİE 21-77) Hasanova EİE 21-58) ve Karasu (EİE 21-57) akarsuları üzerinde yer almaktadır (Şekil 1). Muş ili idari sınırları içinde meydana gelen yüzeysel akım miktarının belirlenmesi amacı ile söz konusu AGİ'rine ait drenaj alanı-akış katsayısı ilişkisi incelenmiştir. Bu ilişki, AGİ'de ölçülen akım değerinin söz konusu AGİ'nin drenaj alanına bölünmesi ile elde edilmektedir. Akış katsayısı, birim zaman içinde birim alanda meydana gelen akım miktarının $l/s/km^2$ türünden ifadesidir. Yağış rejimi ve havza karakteristikleri benzer olan ve ana akarsuya yapay veya dış kökenli katkıların olmadığı havzalarda, ana akarsuyun çeşitli noktalarındaki akış katsayıları arasında önemli bir farklılık gözlenmemektedir. Dolayısı ile söz konusu AGİ'ri için hesaplanan aylık akış katsayısı değerleri kullanılarak Muş ili idari sınırlarına, ilin kuzeydoğusunda giren akım ile güneybatısında çıkan akım değerleri hesaplanmıştır. Giriş ve çıkış akımları arasındaki fark ise il sınırları içinde meydana gelen toplam yüzeysel akış miktarı olarak kabul edilmiş ve debi-süreklilik indisi ile 12 aylık ortalama akım değerleri kullanılarak hidrolojik kuraklık analizi gerçekleştirilmiştir.

Debi-Süreklilik İndisi ile gerçekleştirilen hesaplamalarda Muş ili sınırları içinde 1960-2012 yılları arasında kalan 53 yıllık sürede gözlenen aylık ortalama akımlar kullanılmıştır. 1960-2012 yılları arasında gözlenen aylık ortalama akım verileri ardışık olarak dizilmiş ve 625 adetlik veri elde edilmiştir. Her bir ardışık seri değeri, toplam veri sayısına bölünmüş

ve söz konusu debi değerinin gözlemlendiği zaman belirlenmiştir. Elde edilen zaman değerine karşılık gelen debi değerleri grafiğe aktarılmıştır. Daha sonra gözlem yapılan zamanın % 90 (Q_{90})'inde gerçekleşen akım değeri belirlenmiş ve bu debinin altında gerçekleşen yüzeysel akışlar kurak dönem olarak sınıflandırılmıştır.

3. BULGULAR

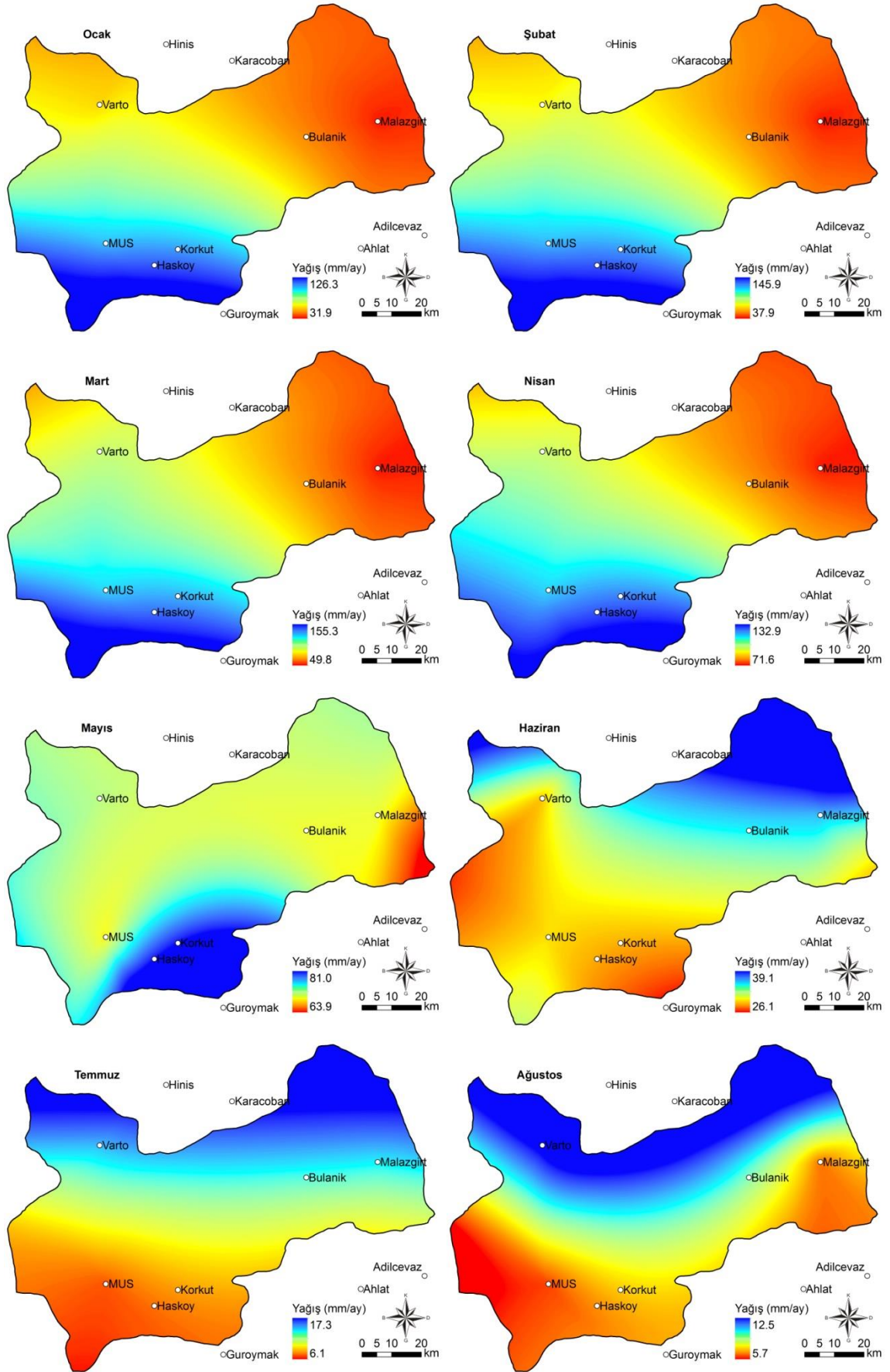
3.1. Yağış

Muş ili idari sınırları dikkate alınarak oluşturulan uzun yıllar (1960-2014) ortalama aylık ve yıllık toplam yağış değerlerinin alansal dağılımı sırası ile Şekil 2 ve 3'de verilmektedir. İnceleme alanı için hesaplanan uzun yıllar aylık ortalama toplam yağış değeri 53.7 mm olup 7.7 mm (Ağustos) ile 93.6 mm (Nisan) arasında değişmektedir (Çizelge 2). Yıl içinde Haziran -Eylül ayları arasında kalan aylar dışında kalan diğer aylarda gerçekleşen aylık ortalama toplam yağış değeri uzun yıllar aylık ortalama toplam yağış değerinin (53.7 mm) üzerinde gerçekleşmektedir. Başka bir ifade ile inceleme alanında Yaz ayları dışında kalan aylarda gerçekleşen yağış miktarı bölgede gözlenen aylık ortalama yağış değerinin üzerinde gerçekleşmektedir. Bununla birlikte il sınırları dikkate alındığında en yüksek yağış ilin güney-güneybatı-batı sınırı boyunca meydana geldiği görülmektedir (Şekil 2).

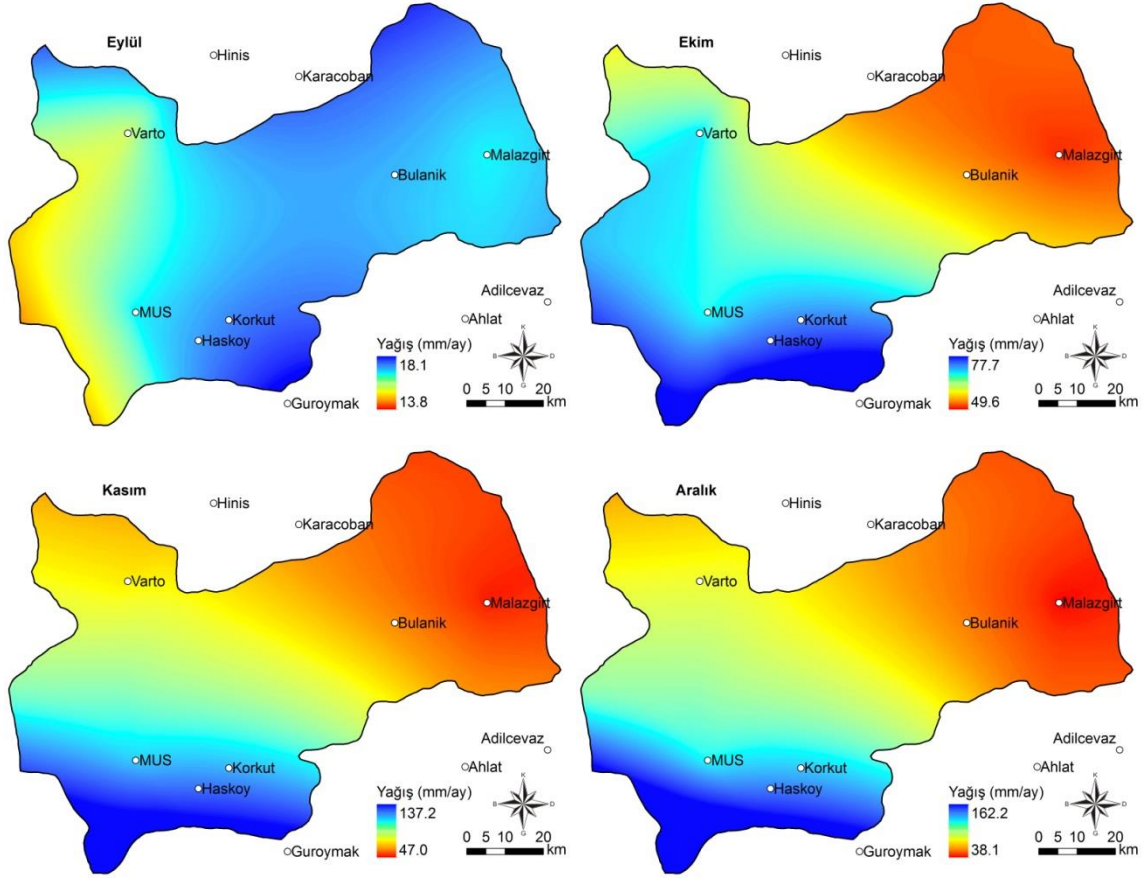
Çizelge 2. Muş ili uzun yıllar (1960-2014) aylık yağış gözlemlerine ilişkin bilgi.

	Oca	Şub	Mar	Nis	May	Haz	Tem	Ağu	Eyl	Eki	Kas	Ara	Top
Ortalama	60.0	73.3	82.8	93.6	68.7	29.7	10.0	7.7	16.1	59.5	73.4	70.0	650.6
En Düşük	31.9	37.9	49.8	71.6	63.9	26.1	6.1	5.7	13.8	49.6	47.0	38.1	459.5
En Yüksek	126.3	145.9	155.3	132.9	81.0	39.1	17.3	12.5	18.1	77.7	137.2	162.2	1053.9

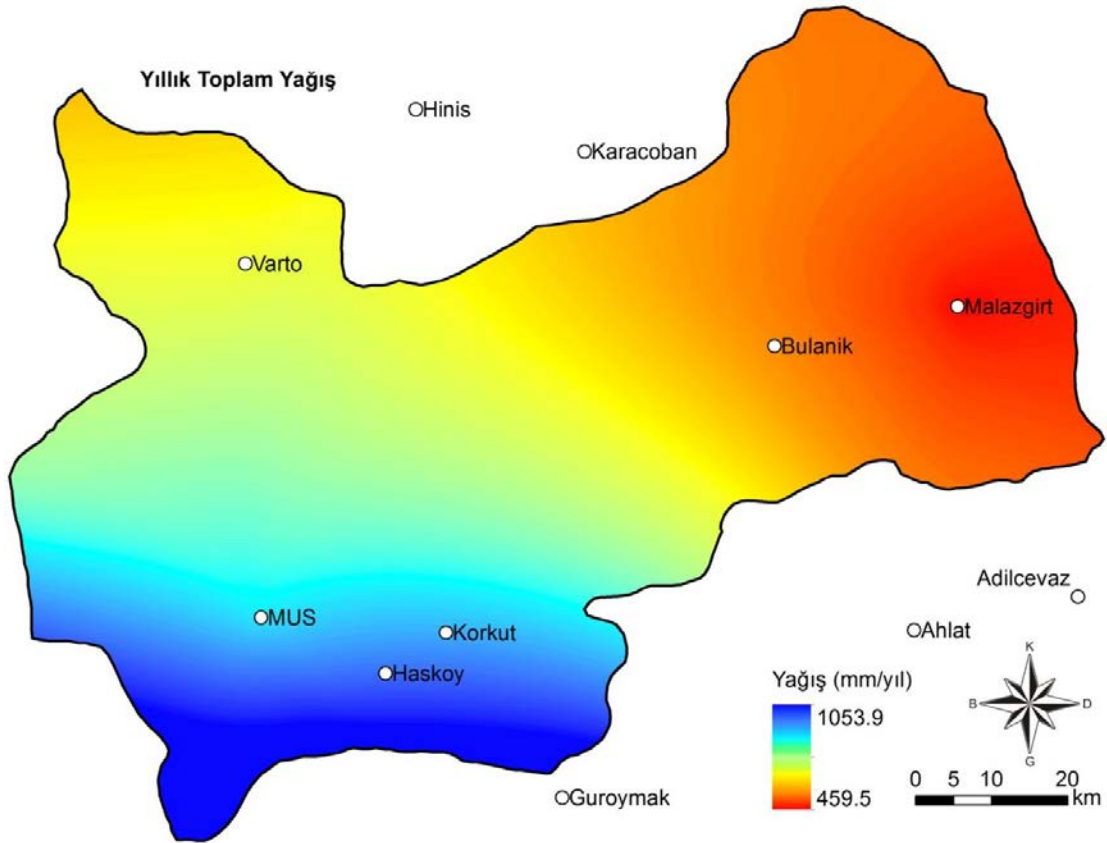
İnceleme alanında 1960-2014 yılları arasında kalan 55 yıllık sürede gözlenen yıllık ortalama toplam yağış miktarı 650.6 mm olup en düşük yağış 459.5 mm ile ilin doğu-kuzeydoğu sınırlarında gözlenirken en yüksek yağış ise 1053.9 mm ile ilin güney-güneybatı sınırları boyunca gözlenmektedir (Şekil 3; Çizelge 2).



Şekil 2. Muş ili uzun yıllar (1960-2014) aylık ortalama toplam yağış dağılımı.



Şekil 2. Devam ediyor.



Şekil 3. Muş ili uzun yıllar (1960-2014) yıllık ortalama toplam yağış dağılımı.

3.2. Normalleştirilmiş Yağış İndeksi

Muş

Muş MGİ'da gerçekleştirilen yağış gözlemleri ile hesaplanan 12, 24 ve 36 aylık zaman dilimlerini kapsayan NYİ değerlerinin zamansal grafiği ile aylık toplam yağış değerleri Şekil 4'de ve bu değerlerin frekans dağılımı ise Şekil 5'de verilmektedir. Şekil 4'de görüldüğü üzere özellikle 24 ve 36 aylık zaman dilimleri ile gerçekleştirilen kuraklık hesaplamaları hidrolojik kuraklığın değerlendirilmesi için daha anlamlı gözükmektedir. Muş MGİ'da 1960-2014 yılları arasında gözlenen aylık toplam yağış değerleri mevsimsel olarak artış ve azalış gösterirken uzun yıllar içinde bölgede hüküm süren yağışlarda anlamlı bir artışın veya azalışın olmadığı söylenebilir. Buna karşın ardışık zaman (24 ve 36 ay) dilimleri için gerçekleştirilen NYİ hesaplamalarında ise 1969-1972, 1978-1986, 1995-2001 ve 2006-2010 yılları arasında kalan zaman dilimlerinde farklı şiddetlerde hidrolojik kuraklık gözlenmekle birlikte nemli (yağışlı) koşulların 1960'dan günümüze doğru arttığını göstermektedir (Şekil 4). 1960-2014 yılları arasında kalan zamanın yaklaşık % 63.7'sinde gerçekleşen yağışlar normal ve % 18.4'ünde gerçekleşen yağışlar nemli koşulları temsil ederken % 18.0'inde gerçekleşen yağışlar ise kurak koşullar ile temsil edilmektedir (Şekil 5). Başka bir ifade ile 1960-2014 yılları arasında gözlem yapılan 660 ayın % 18'inin kurak geçtiği söylenebilir.

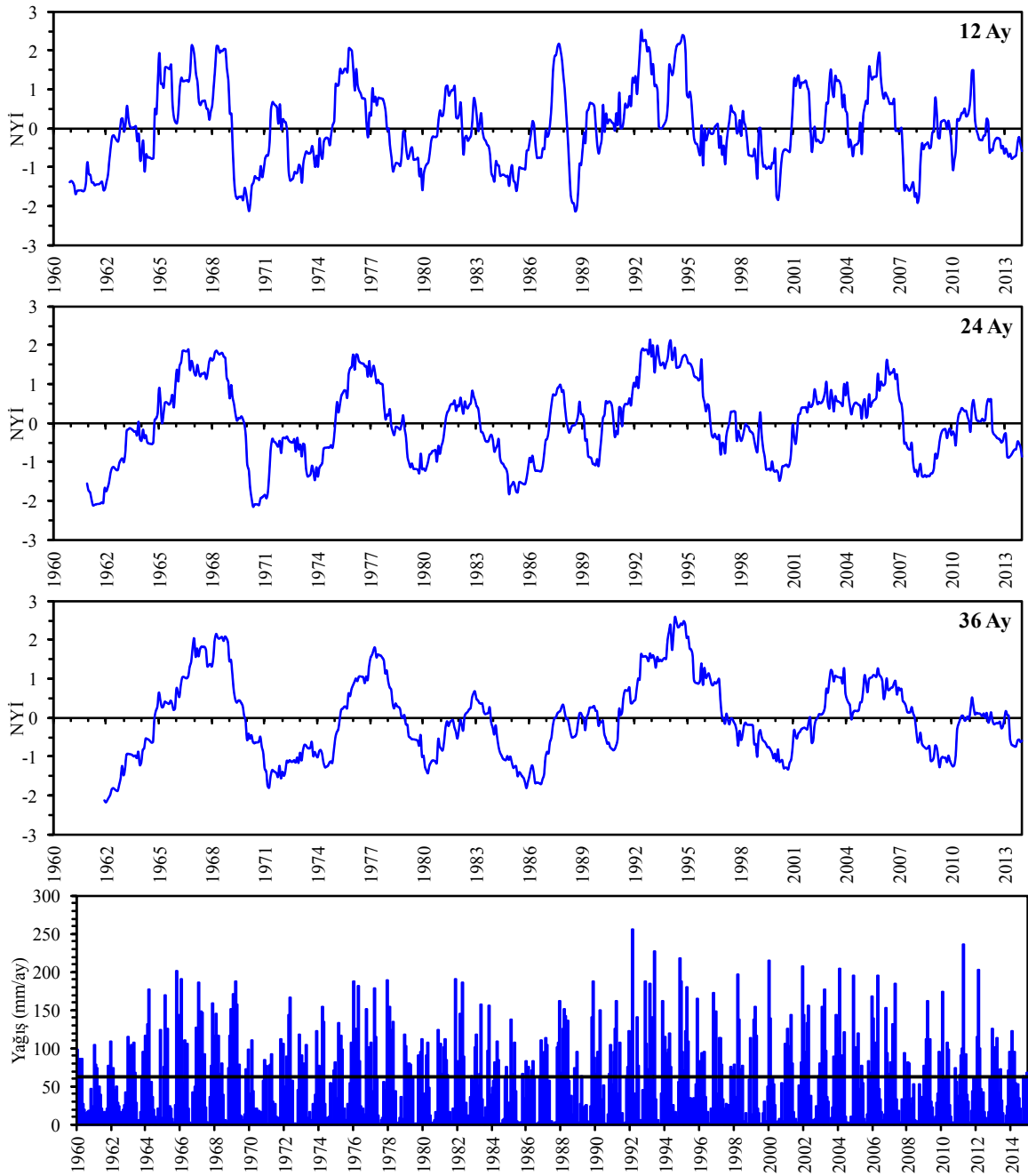
Malazgirt

Malazgirt MGİ'da gerçekleştirilen yağış gözlemleri ile hesaplanan 12, 24 ve 36 zaman dilimlerini kapsayan NYİ değerlerinin zamansal grafiği ile aylık toplam yağış değerleri Şekil 6'da ve bu değerlerin frekans dağılımı ise Şekil 7'de verilmektedir. Şekil 6'da görüldüğü üzere özellikle 24 ve 36 aylık zaman dilimleri ile gerçekleştirilen kuraklık hesaplamaları hidrolojik kuraklığın değerlendirilmesi için daha anlamlı gözükmektedir. Malazgirt MGİ'da 1960-2014 yılları arasında gözlenen aylık toplam yağış değerleri mevsimsel olarak artış ve azalış gösterirken uzun yıllar içinde bölgede hüküm süren yağışlarda anlamlı bir artışın veya azalışın olmadığı söylenebilir. Buna karşın ardışık zaman (24 ve 36 ay) dilimleri için gerçekleştirilen NYİ hesaplamalarında ise 1969-1972, 1974-1983, 1995-2001, 2004-2008 ve 2011-2014 yılları arasında kalan zaman dilimlerinde farklı şiddetlerde hidrolojik kuraklık gözlenmekle birlikte nemli (yağışlı) koşulların 1960'dan günümüze doğru arttığını göstermektedir (Şekil 6). 1960-2014 yılları arasında kalan zamanın yaklaşık % 64.4'ünde gerçekleşen yağışlar normal ve % 19.7'sinde

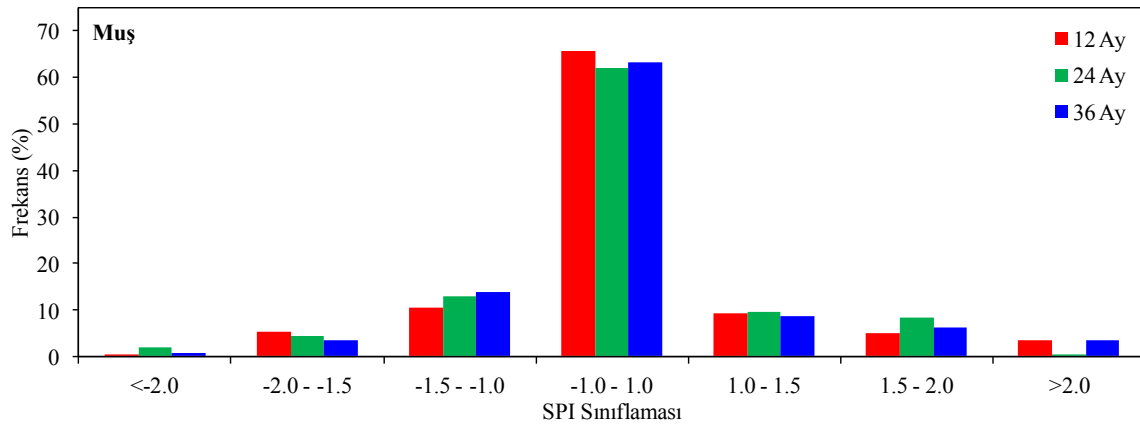
gerçekleşen yağışlar nemli koşulları temsil ederken % 15.9'unda gerçekleşen yağışlar ise kurak koşullar ile temsil edilmektedir (Şekil 7). Başka bir ifade ile 1960-2014 yılları arasında gözlem yapılan 660 ayın % 15.9'unun kurak geçtiği söylenebilir.

Varto

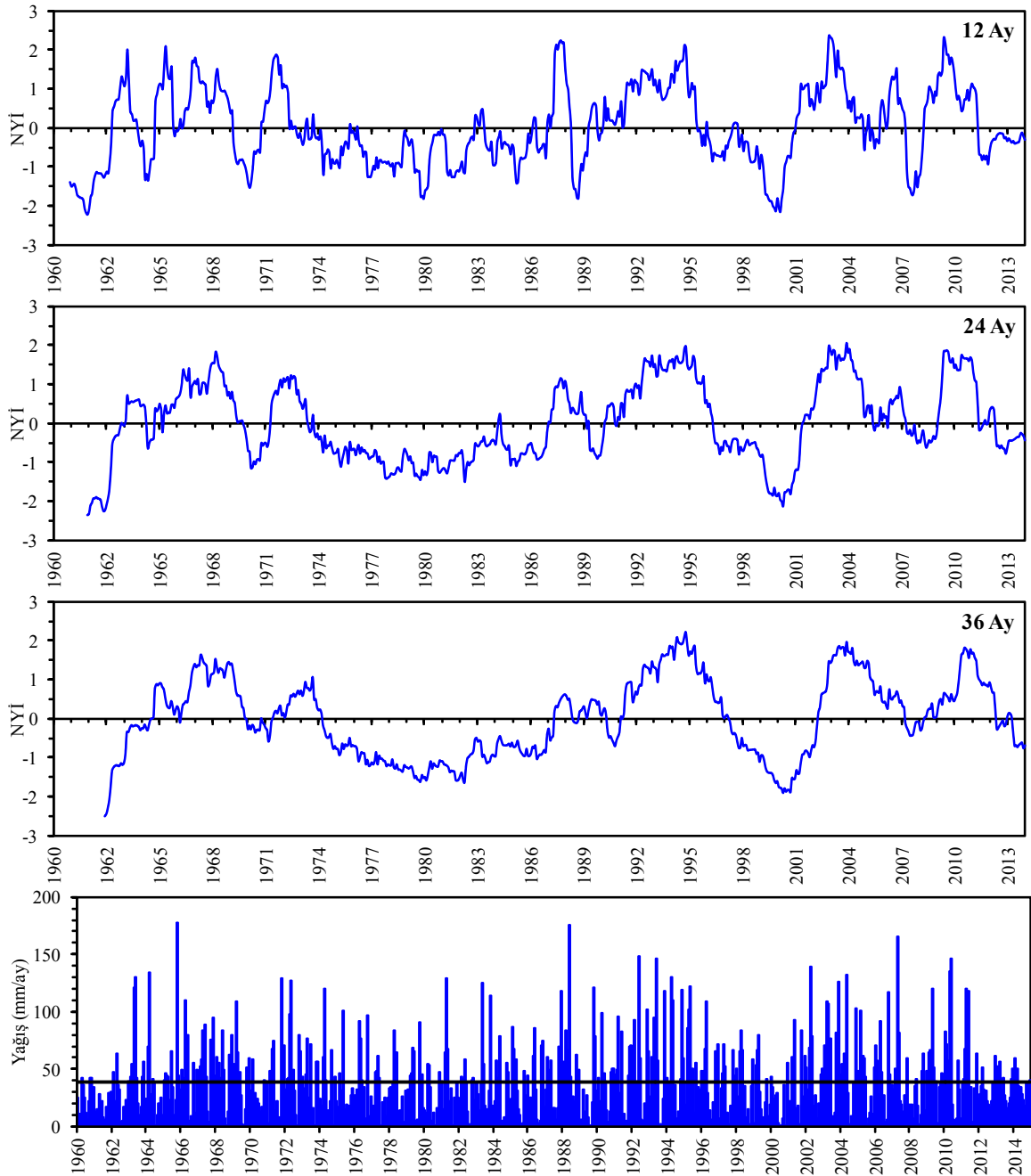
Varto MGI'da gerçekleştirilen yağış gözlemleri ile hesaplanan 12, 24 ve 36 zaman dilimlerini kapsayan NYİ değerlerinin zamansal grafiği ile aylık toplam yağış değerleri Şekil 8'de ve bu değerlerin frekans dağılımı ise Şekil 9'da verilmektedir. Şekil 8'de görüldüğü üzere özellikle 24 ve 36 aylık zaman dilimleri ile gerçekleştirilen kuraklık hesaplamaları hidrolojik kuraklığın değerlendirilmesi için daha anlamlı gözükmektedir. Varto MGI'da 1960-2014 yılları arasında gözlenen aylık toplam yağış değerleri mevsimsel olarak artış ve azalış gösterirken uzun yıllar içinde bölgede hüküm süren yağışlarda anlamlı bir artışın veya azalışın olmadığı söylenebilir. Buna karşın ardışık zaman (24 ve 36 ay) dilimleri için gerçekleştirilen NYİ hesaplamalarında ise 1968-1976, 1982-1985, 1989-1991, 1995-2001 ve 2004-2011 yılları arasında kalan zaman dilimlerinde farklı şiddetlerde hidrolojik kuraklık gözlenmekle birlikte nemli (yağışlı) koşulların 1960'dan günümüze doğru arttığını göstermektedir (Şekil 8). 1960-2014 yılları arasında kalan zamanın yaklaşık % 68.1'inde gerçekleşen yağışlar normal ve % 16.5'inde gerçekleşen yağışlar nemli koşulları temsil ederken % 15.4'ünde gerçekleşen yağışlar ise kurak koşullar ile temsil edilmektedir (Şekil 9). Başka bir ifade ile 1960-2014 yılları arasında gözlem yapılan 660 ayın % 15.4'ünün kurak geçtiği söylenebilir.



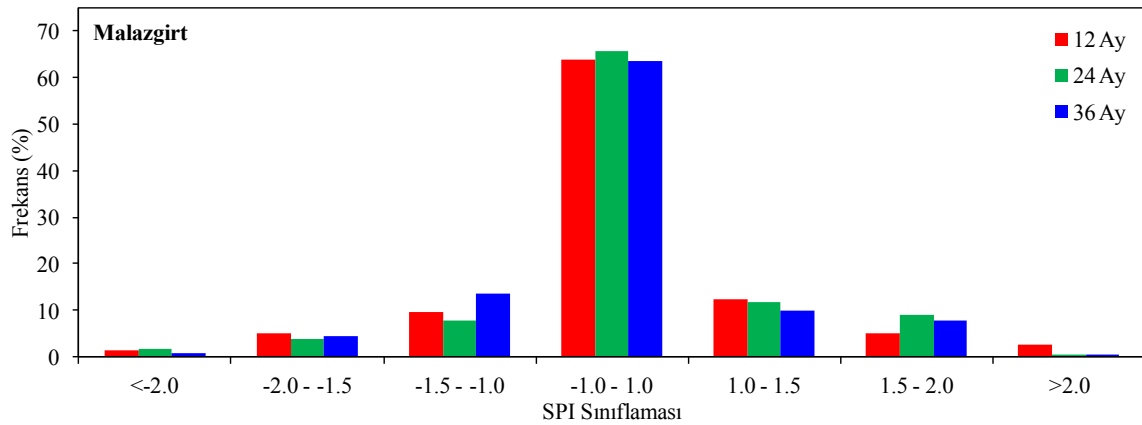
Şekil 4. Muş - 1960-2014 yılları arası aylık toplam yağış değeri ve 12, 24 ve 36 aylık normalleştirilmiş yağış indisi değerleri.



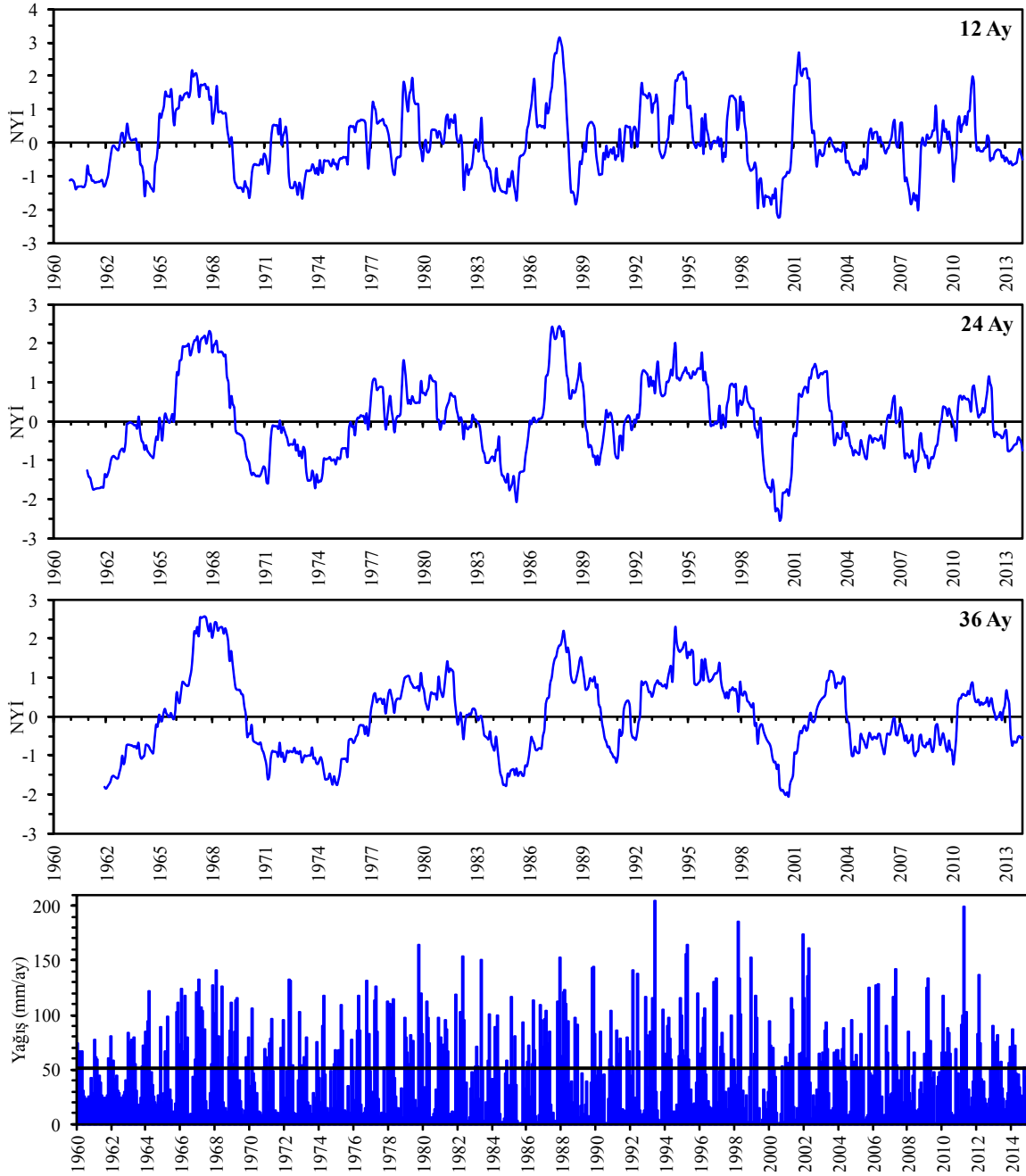
Şekil 5. Muş - 1960-2014 yılları arası 12, 24 ve 36 aylık NYİ frekans dağılımı.



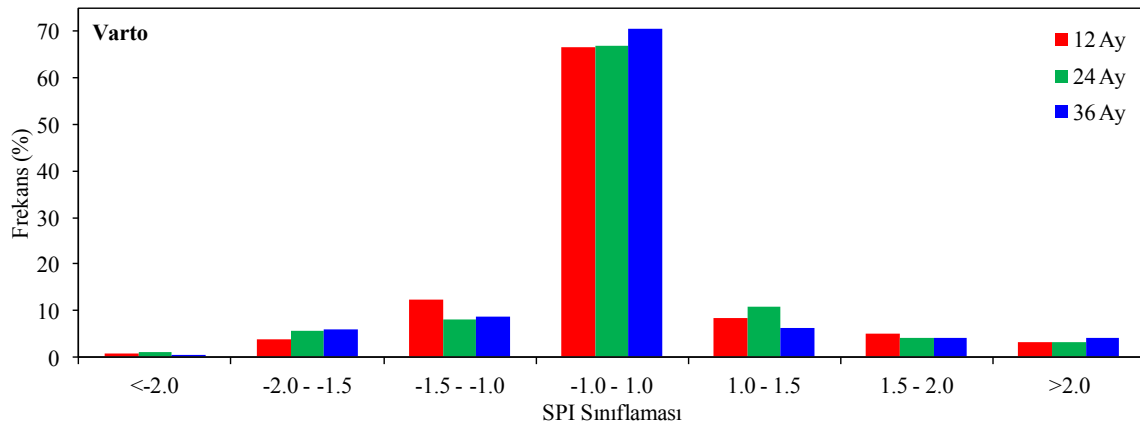
Şekil 6. Malazgirt - 1960-2014 yılları arası aylık toplam yağış değeri ve 12, 24 ve 36 aylık normalleştirilmiş yağış indisi değerleri.



Şekil 7. Malazgirt - 1960-2014 yılları arası 12, 24 ve 36 aylık NYİ frekans dağılımı.



Şekil 8. Varto - 1960-2014 yılları arası aylık toplam yağış değeri ve 12, 24 ve 36 aylık normleştirilmiş yağış indisi değerleri.

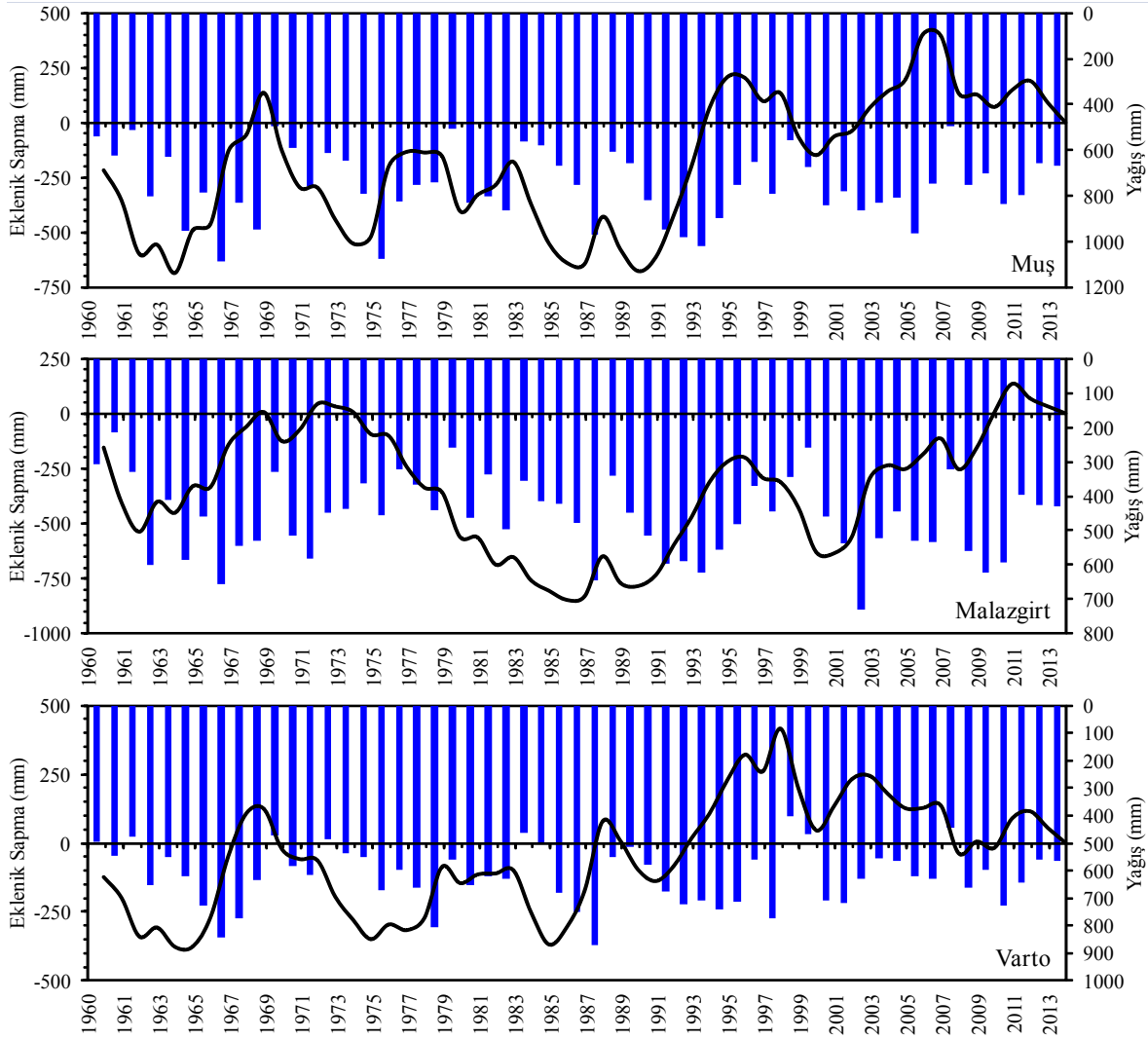


Şekil 9. Varto - 1960-2014 yılları arası 12, 24 ve 36 aylık NYİ frekans dağılımı.

3.3. Kümülatif Eklenik Sapma

Muş, Malazgirt ve Varto MGİ yağış değerleri için çizilen Eklenik Sapma Grafiği Şekil 10'da verilmekte olup 1960-2014 yılları arasında kalan dönem içindeki kurak ve yağışlı dönemler belirlenmiştir. Şekil 10'da eklenik sapma eğrisindeki artış bölgede yağışlı dönemleri işaret ederken azalış ise kurak dönemleri işaret etmektedir. Muş ve Varto MGİ için elde edilen grafikte kurak ve yağışlı dönemler 1960-1995 yılları arasında paralellik gösterirken 1995-2014 yılları arasında ise farklılık göstermektedir. İlin doğusunda yer alan Malazgirt MGİ'da gözlenen kurak ve yağışlı dönemler ise Muş ve Varto istasyonlarına oranla farklılık göstermektedir (Şekil 10). Bu durum ilin kuzeydoğu, doğu ve güneydoğusunda hüküm süren meteorolojik olayların diğer kesimlere oranla farklı olmasından kaynaklandığını işaret etmektedir.

Muş MGİ'da 1989 yılından itibaren günümüze kadar geçen sürede kaydedilen yağış değerleri, bu noktada yağışlı dönemin olduğunu işaret ederken, Varto MGİ'da ise 1997 yılından itibaren günümüze kadar kaydedilen yağış değerleri kurak dönemi işaret etmektedir. Söz konusu iki istasyonda gözlenen yağış değerleri 1960 yılından itibaren incelendiğinde ise yağışlı koşulların istasyon bölgelerinde baskın olduğunu göstermektedir. Diğer taraftan Malazgirt MGİ'nun bulunduğu bölgede ise 1972-1987 yılları arasında uzun bir kurak dönem yaşanmasına karşın 1987 yılından itibaren günümüze kadar geçen dönemde ise yağışlı koşulların baskın olduğu görülmektedir (Şekil 10). Genel olarak Muş ili sınırları içinde geçmiş dönemlerde kurak koşulların yaşanmasına karşın günümüzde yağışlı dönemler baskın konumdadır. Bununla birlikte bu bölüm kapsamında gerçekleştirilen kurak ve yağışlı dönemlere ilişkin değerlendirmeler normalleştirilmiş yağış indeksi değerlendirmeleri ile paralellik ve benzerlik taşımaktadır.



Şekil 10. Muş, Malazgirt ve Varto MGI'rı 1960-2014 yılları arası kümülatif eklenik sapma grafiği.

3.4. Debi-Süreklilik İndisi (Q_{90})

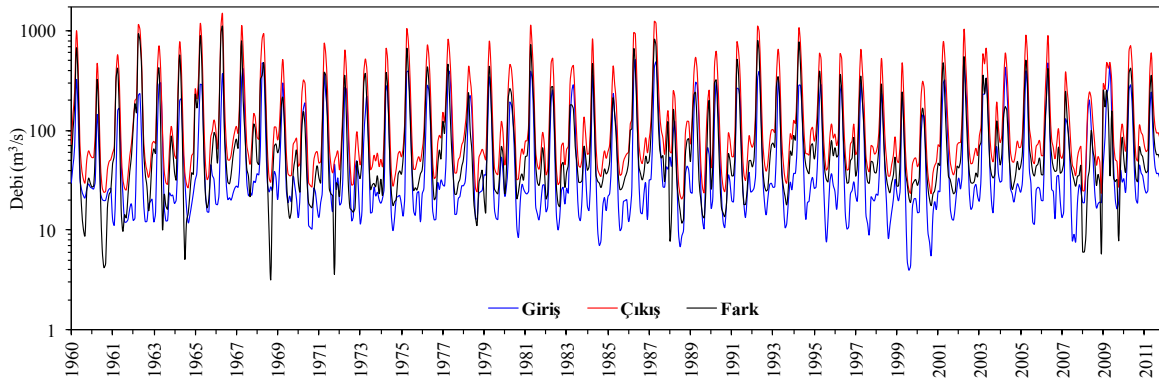
Muş ili idari sınırlarında 1960-2012 yılları arasında meydana gelen yüzeysel akım miktarındaki değişimin ortaya konması amacı ile il sınırları içinde yer alan AGİ'da gözlenen akım değerleri değerlendirilmiş, bu istasyonlar için aylık akış katsayısı değerleri hesaplanmış ve bu katsayılar ile yüzeysel akımın gözlenmediği noktalar için akım değerleri elde edilmiştir. Muş ili idari sınırlarına ilin kuzeydoğusunda giren akım ile güneybatısında çıkan akım değerleri elde edilmiştir. İl sınırlarına giren ve çıkan yüzeysel akım miktarları arasındaki fark ise il sınırları içinde meydana gelen toplam yüzeysel akış miktarı olarak kabul edilmiş (Çizelge 3) ve debi-süreklilik indisi ile 12 aylık ortalama akım değerleri kullanılarak hidrolojik kuraklık analizi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra gözlem yapılan

zamanın % 90 (Q_{90})'inde gerçekleşen akım değeri belirlenmiş ve bu debinin altında gerçekleşen yüzeysel akışlar kurak dönem olarak sınıflandırılmıştır.

Çizelge 3. Muş ili yüzeysel akım miktarları.

	Giriş		Çıkış		Fark	
	(m^3/s)	($\times 10^6 m^3/yıl$)	(m^3/s)	($\times 10^6 m^3/yıl$)	(m^3/s)	($\times 10^6 m^3/yıl$)
Ortalama	72.46	2285.1	177.28	5590.7	104.82	3305.5
En Düşük	3.91	123.2	20.42	643.9	3.25	102.5
En Yüksek	506.26	15965.4	1450.96	45757.5	1081.76	34114.5

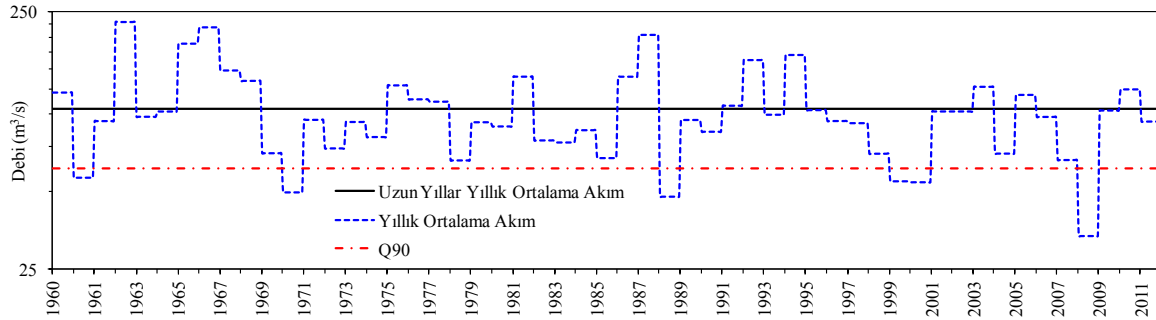
Muş iline ilin kuzey doğusunda Murat Nehri aracılığı ile giren akım miktarı 1960-2014 yılları arasında kalan dönemde $3.907 m^3/s$ (Ağustos 2000) ile $506.260 m^3/s$ (Mayıs 1987) arasında değişmekte olup ortalama $72.461 m^3/s$ olarak hesaplanmıştır (Çizelge 3, Şekil 11). 1960-2014 yılları arasında il sınırlarında Murat Nehri ile çıkan ortalama akım miktarı $177.278 m^3/s$ olup $20.418 m^3/s$ (Ağustos 1989) ile $1450.960 m^3/s$ (Mayıs 1967) arasında değişmektedir. İl sınırı içinde meydana gelen yüzeysel akım miktarları giren ve çıkan akım arasındaki fark olup ortalama, en düşük ve en yüksek yüzeysel akım miktarları sırası ile $104.818 m^3/s$, $3.250 m^3/s$ (Eylül 1969) ve $1081.764 m^3/s$ (Mayıs 1967) olarak gerçekleşmiştir (Çizelge 3, Şekil 11). Murat Nehrinin Muş ili çıkışındaki akım miktarının ($177.278 m^3/s$) yaklaşık % 59'u il sınırları içinde meydana gelen yüzeysel akım miktarından kaynaklanmaktadır.



Şekil 11. Muş ili yüzeysel akım miktarları (1960-2012).

Muş il sınırları içinde 1960-2012 yılları arasında meydana gelen yıllık ortalama yüzeysel akım miktarları Debi-Süreklilik İndisi yöntemi dikkate alınarak değerlendirilmiş ve gözlem yapılan zamanın % 90'ında gerçekleşen yüzeysel akım miktarı hesaplanmıştır. Söz konusu değer $61.701 m^3/s$ olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan Q_{90} değerinin altında kalan yıllık ortalama akım değerleri kurak dönemi karakterize ederken üstünde kalan değerler ise

yağışlı dönemi karakterize etmektedir (Şekil 12). Şekil 12'de de görüleceği üzere 1961, 1971, 1989, 2000-2001 ve 2009 yıllarında gerçekleşen yüzeysel akım miktarları, hesaplanan Q_{90} değerinin ($61.701 \text{ m}^3/\text{s}$) altında gerçekleşmiştir. Başka bir ifade ile yüzeysel akım miktarları dikkate alındığında, söz konusu yıllarda hidrolojik kuraklığın il genelinde baskın olduğunu anlamına gelmektedir.



Şekil 12. Muş ili 1960-2012 yılları arası aylık ortalama akım miktarı grafiği.

4. SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında Muş ili sınırları içinde yer alan üç adet MGI'da 1960-2014 yılları arasında gözlenen yağış değerleri ve 1960-2012 yılları arasında meydana gelen yüzeysel akış miktarları dikkate alınarak Normalleştirilmiş Yağış İndeksi, Kümülatif Eklenik Sapma ve Debi-Süreklilik yöntemleri kullanılarak Muş ili idari sınırları ölçeğinde hidrolojik kuraklık analizi gerçekleştirilmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda;

Muş ili sınırları dikkate alındığında, ilin güney-güneybatı sınırlarında meydana gelen yağış miktarı (1053.9 mm/yıl) diğer kesimlere oranla daha yüksektir. Bu durum bölgede meydana gelecek olası yağış eksikliğinde, özellikle ilin doğu-kuzeydoğu kesimlerinde kalan alanların hidrolojik kuraklıktan daha fazla etkileneceği şeklinde yorumlanmıştır.

Değerlendirmeye alınan üç (Muş, Malazgirt ve Varto) adet MGI'da gözlenen aylık ortalama toplam yağışların az bir oranla 1960 yılından itibaren günümüze kadar geçen 55 yıllık sürede arttığını göstermektedir. Bölgede gözlenen yağışlardaki artış gelecek dönemlerde hidrolojik kuraklığın Muş ili sınırları içinde küçük oranda etkili olacağı şeklinde yorumlanmıştır.

Her üç yöntem ile yapılan değerlendirme sonuçları paralellik göstermekle birlikte yağışları dikkate alan NYİ ve Kümülatif Eklenik Sapma yöntemleri daha uzun süreli (ardışık bir kaç yıl) hidrolojik kuraklığın bölgede yaşandığını işaret etmektedir. Fakat yüzeysel akımlar ile gerçekleştirilen hesaplamalar ise söz konusu kuraklığın daha kısa sürede gerçekleştiğini

göstermektedir. Hidrolojik olarak bir bölgedeki yağışların azalması bağlı olarak yüzeysel akışın azalmasını gerektirmektedir. Fakat Muş örneğinde ki söz konusu farklılık, il sınırları içinde farklı noktalarda akarsulara drene olan yeratışularından kaynaklandığı şeklinde yorumlanmıştır. Dolayısı ile Muş ili sınırları içinde gözlenecek bir kaç yıllık hidrolojik kuraklığın etkisi, ilde gerçekleşecek yüzeysel akımlarda daha az hissedilecektir. Hidrolojik açıdan avantajlı bir durum oluşturan, yağış ve yüzeysel akım arasındaki söz konusu farklılığın, gelecekte olası hidrolojik kuraklık yönetiminde dikkate alınması önem taşımaktadır.

KAYNAKLAR

- Gustard, A., Bullock, A., Dixon, J.M., 1992. Low flow estimation in the United Kingdom. Report 40 no. 108, Inst. of Hydrology, Wallingford, UK.
- Hayes, M.J., Svoboda, M.D., Wilhite, D.A., Vanyarkho, O.V., 1999. Monitoring the 1996 drought using the standardized precipitation index. Bull. Am. Meteorol. Soc., 80(2):429-438.
- Hınıs, M.A., 2013. Bütünleşik Kuraklık İndeksi ile Aksaray da Hidrometeorolojik Kuraklık Analizi. Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., 28(4): 711-721.
- Hisdal, H., Tallaksen, L.M., 2000. Drought Event Definition. Assessment of the Regional Impact of Droughts in Europe (ARIDE), Technical Report No. 6. Department of Geophysics, University of Oslo, Oslo, Norway.
- Hisdal, H., Tallaksen, L.M., Stahl, K., Zaidman, M., Demuth, S., Gustard, A., 2000. Hydrological Drought – Streamflow. In Hisdal, H., Tallaksen, L.M. (eds.) Drought Event Definition. Assessment of the Regional Impact of Droughts in Europe (ARIDE), Technical Report No. 6. Department of Geophysics, University of Oslo, Oslo, Norway.
- Keskin F., Şorman A.Ü., 2010. Assessment of the dry and wet period severity with hydrometeorological index. International Journal of Water Resources and Environmental Engineering, 2(2): 29–39.
- Kıymaz, S., Güneş, V., Asar, M., 2011. Standartlaştırılmış Yağış İndeksi ile Seyfe Gölünün Kuraklık Dönemlerinin Belirlenmesi. GOÜ Ziraat Fakültesi Dergisi, 28(1): 91-102.
- Labeledzki, L., 2007. Estimation of Local Drought Frequency in Central Poland Using the

- Standardized Precipitation Index SPI. *Irrigation and Drainage*, 56: 67-77.
- McKee, T.B., Dosken, N.J., Kleist, J., 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. *Eight Conference on Applied Climatology*, 17-22 January, Anaheim, California. 179-184.
- Orhan, O., 2014. Konya Kapalı Havzası'nda Uzaktan Algılama ve CBS Teknolojileri İle İklim Değişikliği ve Kuraklık Analizi. Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Aksaray (yayınlanmamış).
- Özdemir A.D., Karaca Ö., Erkuş M.K., 2007. Akarsularda Ekolojik Dengenin Korunması için Düşük Akım Hesabı. *Nehir Havzaları Yönetimi Uluslararası Kongresi*, 22-24 Mart 2007, Antalya.
- Özlu, H., 2007. Kuraklık ve Su Yönetimi. İklim Değişimi ve Su Ekonomisi Paneli, G. Ü.Bilim ve Teknoloji Stratejileri Araştırma ve Geliştirme Merkezi, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Pyrce, R., 2004. Hydrological Low Flow Indices and Their Uses, *Watershed Science Centre*, Trent University, Canada,
- Sırdaş, S., Şen, Z., 2003. Meteorolojik kuraklık modellemesi ve Türkiye uygulaması. *İTÜ Mühendislik Dergisi*, 2(2): 95-103.
- Smakthin, V., Revenga, C., ve Döll, P., 2004. Taking into Account Environmental Water Requirements in Global Scale Water Resource Assessments, *Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture Research Report 2*, Comprehensive Assessment Secretariat, Colombo, Sri Lanka.
- Tonkaz, T., Çetin, M., 2005. Şanlıurfa'da Kuraklık Şiddetinin Standardize Yağış İndisi (SPI) ile Belirlenmesi ve Kuraklık Gidiş Analizi. *GAP IV. Tarım Kongresi*, 21-23 Eylül 2005, Şanlıurfa.
- Tuna, H., Malkoç, F., Yılmaz, Ö., 2009. Çoruh Havzasında SPI ile Kuraklık Analizi ve Çevresel Etkileri. *Doğu Karadeniz Bölgesi Hidroelektrik Enerji Potansiyeli ve Bunun Ülke Enerji Politikalarındaki Yeri*, 13-15 Kasım 2009, Trabzon, 114-129.
- Ülke, A., Baran, T., 2005. Köprüçay Yıllık Akım Verilerine Uygun Olasılık Dağılım Fonksiyonu ve Kuraklık Analizi. *Antalya Yöresinin İnşaat Mühendisliği Sorunları Kongresi*, 22 Eylül 2005, Antalya.

- Wilhite, D.A., Glantz, M.H., 1985. Understanding the drought phenomenon: The role of definitions. *Water International*, 10(3): 111-120.
- Wu, H., Hayes, M.J., Weiss, A., Hu, Q., 2001. An evaluation of the standardized precipitation index, the china-Z index and the statistical Zscore. *Int. Journal of Climatology*, 21:745-758.
- WMO, 1997. Extreme Agrometeorological Events. World Meteorological Organization, CagM-X Working Group, Geneva.

MUŞ İLİNİN METEROLOJİK KURAKLIK ANALİZİ

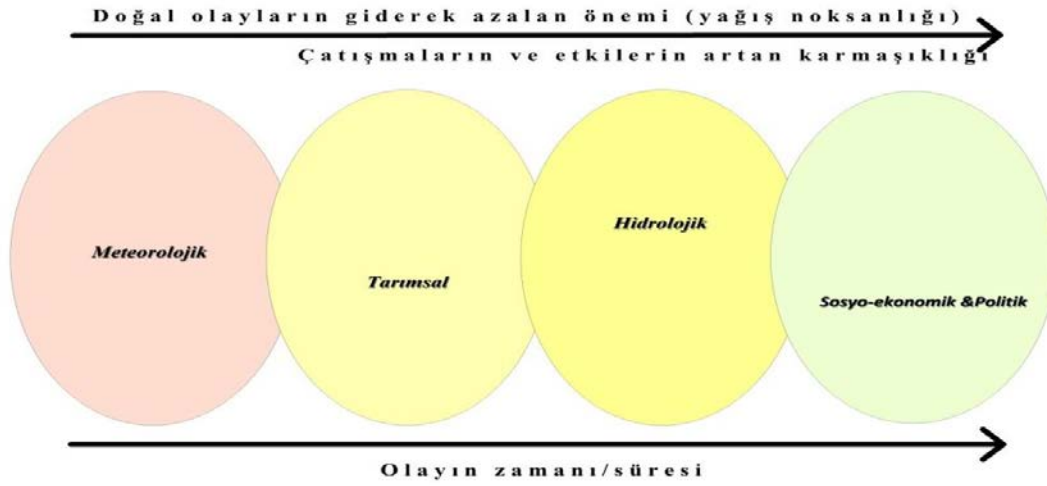
Doç. Dr. Hasan TATLI

Çanakkale 18 Mart Üniversitesi

1. Giriş

Hava ve iklim süreçleri yaşamsal etkilere sahiptirler. Dolayısıyla, iklim sisteminde olabilecek değişiklik ve/veya değişkenlikler doğrudan ona bağlı alt sistemlerinde, bazen gecikmeli de olsa yanıtını bulur. Bu yanıtlardan biri de *meteorolojik kuraklıktır*. Kuraklık süreci ilk adımda meteorolojik olarak, yani yetersiz yağış ile başlar ve onu takipeden dönemde topraktaki neminin azalması ile birlikte bitkilerin ihtiyaç duyduğu suyun en alt düzeye düşmesiyle *tarımsal kuraklık* başlar. Diğer taraftan, yağış yetersizliğinden dolayı akarsuların debilerinin azalmasıyla barajlardaki suların seviyesinin düşmesi *hidrolojik kuraklık* olarak adlandırılır. Nüfusun çok büyük kesimi kent ve daha alt yoğun-yerleşim (ilçe ve kasaba) yaşamaktadır. Kuraklığın bu kesim üzerindeki etkisi sosyo-ekonomik kuraklık olarak adlandırılır (Wilhelmi ve Wilhite, 2002; Tatli ve Türkeş, 2011; Tatli, 2015). Örneğin Türkiye’de 2007 ve 2008 yılları arasındaki yağışların miktarının ortalamanın altında gerçekleşmesi ile ilk önce meteorolojik kuraklık ve daha sonra ise sosyo-ekonomik kuraklığa dönüşerek, büyük şehirlerde su kesintisine sebep oldu ve uzun süre su sıkıntısı yaşandı.

Yukarıda verilen açıklamaları temsili olarak bir diagram ile gösterecek olursak Şekil 1’deki durum ortaya çıkar. Bu şekil, Wilhite ve Smith (2005) isimli araştırmacıların çalışmasından esinlenerek tekrar çizilmiştir.



Şekil 1. Kuraklığın oluşum dönemlerindeki türleri

İklim değişikliğinin şiddetlenmesi ile birlikte, kuraklığın çevresel etkilerinin, olumsuz anlamda çok daha derin hissedilebilir hale gelmesine neden olmuştur. Araştırmacıları, bu doğal afet üzerine çalışmalarını artırmış ve yaşanan/yaşanabilecek olası sorunları en aza indirebilecek cevaplar aramaya itmiştir. Bu cevaplardan biri kuraklığın izlenmesidir. Bir başka deyimle, kuraklığın doğuracağı sonuçların önceden hesaplanması, *kuraklık yönetimi* ile de afetin şiddetinin azaltılması yoluna gidilmiştir (Wilhelmi ve Wilhite, 2002). Kuraklığın izlenmesi ve gerekli veri alt yapısının oluşturulmasından sonraki aşama, kuraklığa maruz kalabilecek bölgenin, bu doğal afete karşı direncinin, yani duyarlılığının belirlenmesidir.

Kuraklığı yaratan en önemli faktör yağıştır, şiddetli rüzgâr, sıcaklık, toprak nemi gibi diğer faktörler ise kuraklığın büyüklüğünü etkiler. İklimsel faktörlerin yarattığı meteorolojik kuraklık neticesinde hidrolojik ve ardından tarımsal ve ekonomik kuraklık gerçekleşmektedir. Meteorolojik kuraklığın tanımlanmasında birçok değişik model kullanılmakta ve düşen yağış miktarı bu modellerinin esas girdisini oluşturmaktadır. Yaygın olarak kullanılan meteorolojik kuraklık belirleme yöntemlerinden biri de McKee vd. (1993) tarafından tanımlanan Standartlaştırılmış Yağış İndisi (SYİ)'dir. Bu yöntem kuraklığı belirleme ve izleme amacıyla geliştirilmiştir ve yöntem için ihtiyaç duyulan tek meteorolojik değişkenin yağış olması uygulamasını kolay kılmıştır. Bu amaçla yapılan çalışmalarda, Sönmez vd. (2005) kısa zaman süreleri için Doğu ve Güney-Doğu Anadolu'da orta şiddetli kuraklık yaşanırken, ülkenin iç kesimlerinde kuraklığın daha şiddetli görüldüğü belirtilmiştir. SYİ ve PDSI ile yapılmış birçok çalışma literatürde mevcuttur (Wu vd., 2001, 2007; Pamuk vd., 2004; Türkeş ve Tatlı, 2009; Tatlı, 2015).

Palmer (1965) tarafından tanımlanan Palmer Kuraklık Şiddet İndisi (PDSI), kuraklığın tanımlanmasında yaygın olarak kullanılan başka bir yöntemdir. Toprak su bütçesi eşitliğine dayanan bu yöntem, topraktaki su depolanmasını da içerdiği için bir hidrolojik kuraklık belirleme yöntemi olarak da kabul edilebilir. Dai vd. (2004), 1870-2002 yılları arasındaki dönem PDSI ile küresel boyutta incelemiş ve kuzey ve güney Afrika, Ortadoğu, Moğolistan, Doğu Avustralya'da kuraklaşma ve Amerika Birleşik Devletleri, Arjantin ve Avrasya'nın bir bölümünde ise nem artış trendi belirlemişlerdir. Brázdil ve diğ. (2009) Çek Cumhuriyetinde bu yöntemi kullanarak 1881–2006 yılları arasındaki kurak dönemlerin sürelerinin ve şiddetlerinin arttığını, kurak dönemlerin bahar döneminde arpa, kış döneminde buğday, yem ve çayır bitkilerinde verim azalmalarına neden olduğunu ifade etmişlerdir. Tatlı ve Türkeş (2011), tüm Türkiye'nin PDSI ve Palmer Hidrolojik Kuraklık İndeksi (PHDI) haritalarını çıkararak; bu indekslerin Ampirik Ortogonal Fonksiyonunun (EOF) paternlerini ortaya çıkarmışlardır.

SYİ ve PDSI gibi birçok yöntem ile kuraklığın şiddeti, zamansal ve mekânsal dağılımları belirlenebilir. Ancak kuraklığın zararlarını en aza indirebilmemiz için etkilenecek bölgenin kuraklığa ne ölçüde dayanabileceğini, başka bir tanımla duyarlılığını bilmememiz gerekir. Duyarlılık, bir sistemin, alt-sistemin ya da sistem bileşeninin tehlike, düzensizlik ya da stres kaynağının zararlı etkisine maruz kaldığındaki dayanım derecesi olarak tanımlanabilir (Turner vd., 2003). Wilhelmi ve Wilhite (2002) ise duyarlılığı bir sosyoekonomik sistemin veya fiziksel varlıkların doğal tehlikelerin etkisine karşı duyarlılığı ya da esnekliği olarak ifade etmiştir.

İklim değişikliğinin küresel ısınma ve yağışlarda azlık veya iklim alt-bölgelerinde düzensizlikler ve yağış türlerinde değişime yol açacağı öngörülmektedir. Türkiye'nin de diğer Akdeniz bölge ülkeleri gibi iklim değişikliğinden en çok etkilenecek yerlerden biri olduğu tahmin edilmektedir (Tatlı vd., 2004,2005). İklim değişikliği etkilerinin kıyı bölgelerindeki hissiyatı iç bölgelere rağmen daha şiddetli olacağı tahmin edilmesine karşın, Muş ve çevresinde kar yağışı yerine yağmurların yer alacağı tahmin edilmektedir. Yani, yağış miktarında pek değişiklik olmasa bile, doğal baraj vazifesi gören kar yağışının yerini yağmura ve sıcaklıklardaki artışa bağlı olarak kar örtüsünün erken erimesinden kaynaklanabilecek birçok olumsuzluk öngörülmektedir.

Bu projede, gelecekte Muş ve çevresindeki yağışların, dolayısıyla kuraklığın ne olacağı konusunda 3 çeşit iklim senaryosuna göre 2100 yılına kadar simülasyonlar (benzeşimler)

yapılmıştır. Aşağıdaki alt bölümlerde, uygulanan yöntem konusu etraflıca tanıtılmıştır.

2. Veri Ve Yöntem

Muş ve çevresinin 1940-2010 yılları arası, aylık yağış verileri ele alınmış ve test amacıyla kullanılmıştır. Burada uygulanan yaklaşım iklimin yerel-ölçeğe indirgenmesidir. Kısaca, bu sürece ölçek küçültme (İng. Downscaling) denir (Tatlı vd. 2004, 2005; Tatlı, 2013, 2015). Ölçek küçültme, büyük-ölçekli Genel Sirkülasyona dayalı koşturulan iklim modelinin sonuçlarını kullanarak, söz konusu ilgili küçük alan ve/veya noktaya etkisini bulabilme sürecidir. İki tür ölçek küçültme mevcuttur. Birinci yol, dinamik ölçek küçültmedir. Burada, büyük-ölçekli kaba çözünürlüklü iklim modelin içine yerleştirilen daha küçük-ölçekli bölgesel iklim modelinin çalıştırılmasıdır. İç içe (nested) veya kısıtlı-alan (limited-area) olmak üzere çeşitli yaklaşımları vardır. Burada izlenen yaklaşım; büyük-ölçekli iklim sonuçlarının daha dar-kapsamlı bölgesel iklim modelinin sınır ve başlangıç verilerini üretmesidir. İklim senaryoları, büyük ölçekli-iklim modelinin sınır şartlarını belirler; teknik deyimini ile buna fiziksel parametrizasyon denir. İklim modelinin, en önemli aşamasını kapsar. Yani, fiziksel parametrizasyon ne kadar doğru yapılırsa, model sonuçları da o kadar gerçeği temsil eder. Dolayısıyla, istenilen senaryoya göre büyük-ölçekli iklim koşturularak, kaba-çözünürlüklü ağ üzerindeki model sonuçları daha küçük-ölçekli bölgesel iklim sınır-başlangıç verisi olarak aktarılarak, yerel-ölçekli etkisinin simülasyonu yapılmış olur.

Her ne kadar ismi *dinamik-ölçek* olsa da, yani *hidrodinamik* diferansiyel denklemlerin çözülmesi sonucu iklim çıktılarını elde ediliyorsa da, aslında sonuçları istatistikselemdir. Çünkü çalkantılardan arındırılmış, yani bölgesel ortalama iklim bilgisini vermektedir. Karşılaştıracak olursak, iklim modelleri hava tahmin modellerine benzer olarak, anlık meteorolojik olayın durumunu (state) vermemekte, aksine söz konusu iklim elemanın ortalama (istatistiksel bir büyüklük) bilgisini tahmin etmektedir. Dolayısıyla, iklim modellerini kullanarak; örneğin fırtınalar, hortumlar vb. ekstrem (uç) değerli meteorolojik olaylar veya konvektif yağışları tahmin edemeyiz. İklim modelleri ancak konvektif-olmayan yağışları tahmin edebilir. İklim modellerinin koşturulduğu mekânsal ölçek çok büyük olduğundan dolayı, bulutlar gibi meteorolojik büyüklükler modellerde görülemez. Kısaca, iklim modelleri her ne kadar fiziksel temelliye de ürettikleri ürünleri istatistikselemdir.

Bu düşünceden hareketle, yukarıda kısaca açıklanan iklim modellerine benzer olarak, büyük-ölçekli iklim modelinin sonuçları ile yerel-ölçekli değişkenler arasında bölgesel bir dinamik

model değil de istatistiksel model yerleştirilirse, dinamik model bakış açısına denk bir istatistiksel yöntem elde edilir. Bu ikinci bakış açısına istatistiksel-ölçek küçültme (SİÖK) denir. Dinamik ölçek küçültmeye (DİÖK) göre avantajları ve dezavantajları vardır. SİÖK'nin DİÖK'ye göre dezavantajı, istatistiksel modeldeki parametrelerin sabit kalması ve fiziksel bir anlamının olmamasıdır. Diğer taraftan, SİÖK yaklaşımı DİÖK'e göre çok daha ekonomiktir, örneğin çok pahalı süper bilgisayar donanımlarına ve iklim modelleme konusunda yetkin (az bulunan) uzman bilgisine gereksinim duymamaktadır (Tatli, 2013).

Bu çalışmada, İÖK yaklaşımı tercih edilmiştir. Ayrıca, Muş ve çevresinin kuraklık olaylarını temsil eden büyüklük olarak SYİ kullanılmıştır. Tüm dünyada gelecek 100 yıl içinde, atmosferdeki sera emisyon gazları ve ülkelerarası gelişmişlik düzeyi aynı kalması koşulu altında, yani ülkelerin şundaki sosyo-ekonomik durumun korunması koşulu altında geliştirilen iklim senaryosuna göre oluşturulan büyük-ölçekli iklim modeli türüne teknik olarak *kontrol* ismi verilir (IPCC, 2007; Tatli, 2013). Bu çalışmada, ayrıca **SRES A2** ve **B2** olmak üzere 2 farklı senaryo daha uygulandı.

SRES A2: Bu senaryo kötümser senaryo olarak da adlandırılır. Burada,

- i) Ülkelerin gelişmişliği sosyo-ekonomik anlamda kuvvetli,
- ii) Bölgesel, pragmatik anlamda dünya ekonomisi ve teknolojisinde gelişmelerin insan sağlığı üzerine *olumlu-etki* ettiğini kabul eder. Yani yüksek seviye C (karbon) emisyonunu (salım) kabul eden bir yaklaşımdır.

SRES B2: İyimser senaryo olarak da bilinir. Bu yaklaşımda, ülkelerin doğal ekolojik çevreyi koruyan, ancak sürdürülebilir anlamda gene bölgesel bir büyümeyi öngören, düşük seviye karbon salımını varsayan bir modeldir.

Bu projede, tüm bu senaryoları kullanarak 2100 yılına kadar verilerini kullandığımız iklim modeli Kanada'nın İkinci Kuşak Küresel İklim Modelidir. Kısaca **CGCM2** olarak bilinen bu modelin çıktılarında; aylık yağışlar, Muş iline en yakın 4 adet grid noktasında bulunan büyük-ölçekli iklim verileri kullanıldı (Model ile ilgili detaylı bilgi, <http://www.Cccma.ec.gc.ca/models/models.shtm> ve Flato vd. 2000, ya da IPCC-veri dağıtım merkezi: <http://www.mad.zmaw.de/IPCCDDC/html/ddcgcmdata.html>). Tesadüfen bir grid noktası, coğrafi olarak tam Muş ilinin üzerine düşmektedir. CGCM2 modelinin atmosfer bileşeni 32 spektral dalgaya ayrılmış olan spektral tabanlı bir modeldir. Alt-ölçeği, yaklaşık olarak

$3.75 \times 3.75^\circ$ çözünürlüklü ve 10 seviyeli dikey bileşene sahiptir.

Bu çalışmada kullanılan yöntem, istatistiksel ölçek-küçültme yaklaşımıdır (Tatli vd. 2004, 2005; Tatli, 2013). Aşağıda ölçek küçültme kısaca tanıtıldı. Basitçe,

$$y = f(x) \quad (1)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada y vektörü GCM içinde öngörülemeyen veya küçük-ölçekli iklim değişkenleri ve x vektörü ise GCM tarafından benzeşimi (simülasyonu) yapılabilen büyük-ölçekli iklim değişkenleri temsil etmektedir. Ayrıca, f fonksiyonu x ile y arasında istatistiksel dönüşümü temsil etmektedir. Bu çalışmada, y vektörü istasyonlarda ölçülmüş aylık yağışlardan elde edilmiş olan 12-aylık SYİ kuraklık sınıflarını ve x vektörü ise CGCM2'nin Kontrol, **SRES A2** ve **B2** senaryolarına bağlı olarak koşturulan modellerden elde edilmiş olan Muş iline en yakın gridlerden bulunan büyük-ölçekli yağışlardan elde edilen 12-aylık SYİ kuraklık sınıflarıdır [SYİ ve uyarlanmış-SYİ ile ilgi geniş bilgi, Türkeş ve Tatli (2009)'dan görülebilir].

Buradaki tüm büyük ve küçük ölçekli veriler, iki tabanlı sayıdır (binary). Yani **kuraklık var (1)** ve **kuraklık yok (0)** şeklindedir. Ancak, kuraklık sınıfları 2'den fazla olduğundan, çoklu-nominal (multi-nominal) şeklinde ele alınmıştır (Tatli, 2015). Örneğin, 2 sayılı sistem yerine 7 sayılı sistem kullanılmıştır. Şöyle ki, $y (i)$, $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$ sayıları ile *aşırı nemli*, *çok nemli*, *orta-nemli*, *normal*, *orta-kurak*, *şidetli-kurak* ve *aşırı-kurak* sınıfları kodlandı. Her bir senaryo için, yerel-ölçekli SYİ sınıflar ile büyük-ölçekli SYİ sınıfları arasında, çoklu-nominal lojistik-regresyonlar kurularak, kuraklık sınıflarının doğrudan ölçek küçültmesi elde edildi. Lojistik-regresyon modeli,

$$\text{logit}[P(y)] = \ln[\text{odds}] = \ln\left[\frac{P(y)}{1-P(y)}\right] = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n \quad (2)$$

şeklinde gösterilebilir. Burada $P(y)$, y değişkenin meydana gelme olasılığını ve *logit* fonksiyonu ise onun *odd*'larının [(başarım olasılığı)/(başarısızlık olasılığı) oranı] doğal logaritmasıdır. x_i ($i = 1, 2, \dots, n$), büyük-ölçekli tahmin edici değişkenleri temsil etmektedir. Diğer taraftan, b_i ($i = 0, 1, 2, \dots, n$) ise lojistik-regresyonun katsayılarıdır. Bu katsayılar, bu çalışmada, Newton-Raphson (Tabachnick ve Fidell, 1996) yaklaşımı ile elde edildiler. Şöyle ki:

1) Başlangıçta, $\mathbf{b}^T = 0$ alınır.

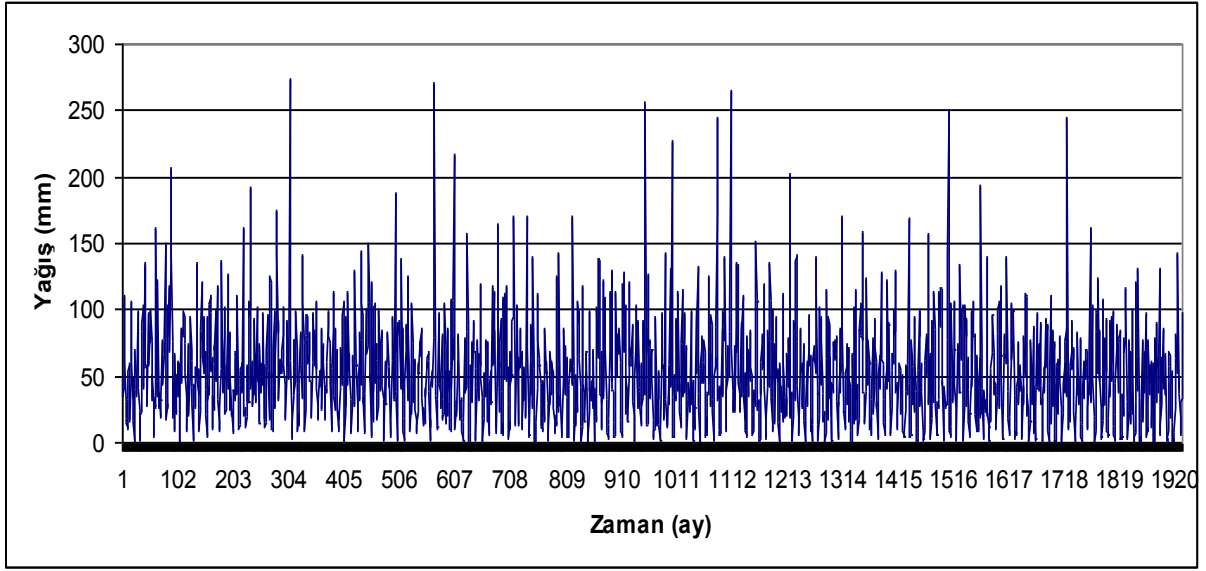
2) Ve bu katsayılar ardışık olarak aşağıdaki algoritma uygulanarak güncellenirler.

$$\mathbf{b}_k = \mathbf{b}_{k-1} + (\mathbf{X}^T \mathbf{V}_{k-1} \mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}^T (y - p_{k-1}) \quad (3)$$

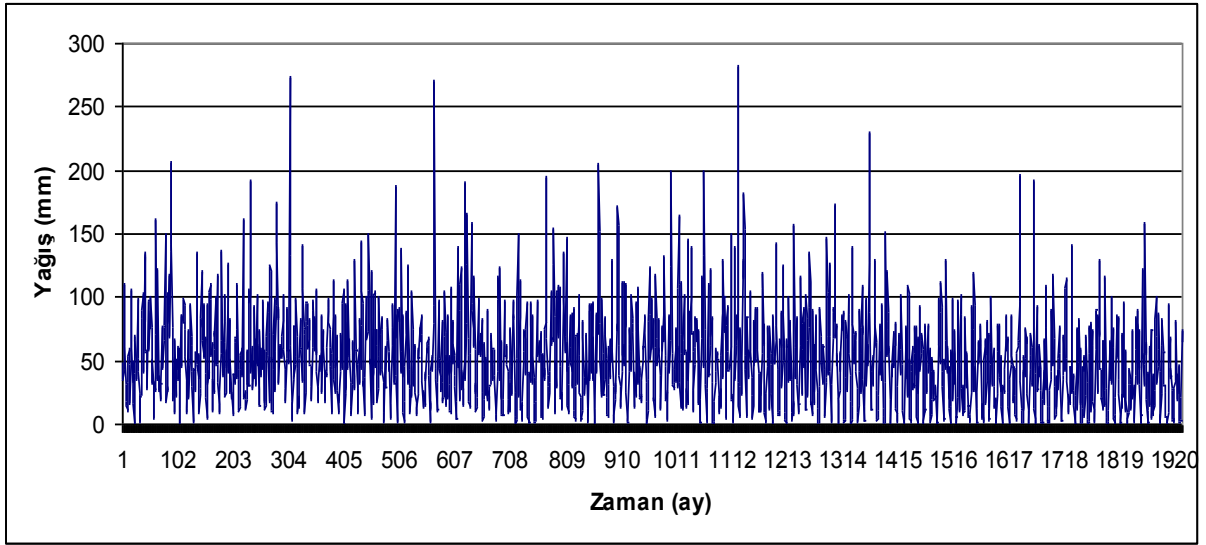
burada k , iterasyon adıdır. \mathbf{X} -matrisi tahmin edicileri, yani bu çalışmaya göre, bu matrisin sütunları her bir grid noktasındaki büyük-ölçekli SYİ kuraklık sınıfı değerleridir. P ise küçük ölçekli, yani istasyonlardaki kuraklık sınıfı değerleridir. Ancak, kuraklık sınıfları 0 (*sıfır*) ve 1 (*bir*) ikililerden oluşmakta, yani bu çalışmaya göre, 0 (sıfır) “kuraklık yok” ve 1 (bir) ise “kuraklık var” şeklinde kodlandı. \mathbf{V}_{k-1} matrisi ise asal köşegen elemanları $P_{i,k-1}(1-P_{k-1})$ ’lerden oluşan ağırlık katsayılarını temsil eden bir köşegen matrisidir.

3. Bulgular

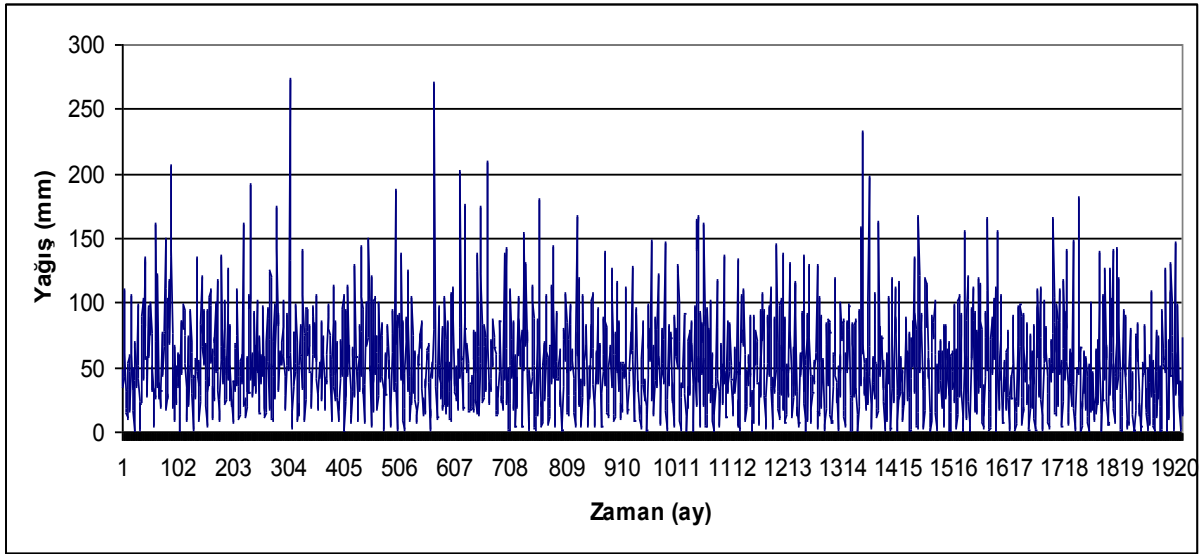
Kontrol, **SRES A2** ve **B2** senaryolarına bağlı olarak koşturulan büyük-ölçekli model sonuçlarının küçük-ölçek şeklinde, Muş iline indirgenmiş SYİ sonuçları, sırasıyla Şekil 1,2 ve 3’de görülmektedir. Bu şekillerden görüleceği üzere, iklim değişikliği senaryolarına göre, yağış miktarı açısından, Muş ilinin çok fazla, olumsuz anlamda, etkilenmeyeceği sonucu çıkmaktadır. Ancak unutulmaması gereken, bu durum yağış miktarı açısından irdelenmiştir. Oysa Muş ve çevresinde yağış çoğunlukla kar şeklinde olduğundan, iklim değişikliğinden dolayı yağış türü değişebilir. Örneğin, kar örtüsü sıcaklıkların artması ile birlikte erken erime döneminde başlayabilir bu da **gizli kuraklığa** neden olabilir. En can alıcı nokta ise aylarca kar örtüsü olarak kalan kar örtüsü, adeta *doğal baraj* görevi görürken, yağış miktarı değişmese bile, yağış türünün değişmesi ile birlikte, Muş ve çevresinde yeni **su toplama yapılarının**, yani barajların inşaa edilmesini gerektirebilir.



Şekil 1. Kontrol senaryosuna göre Muş ilinin aylık toplam yağışları. Zaman eksenini Ocak 1940 yılında başlamakta ve 2100 yılının Aralık ayında bitmektedir.

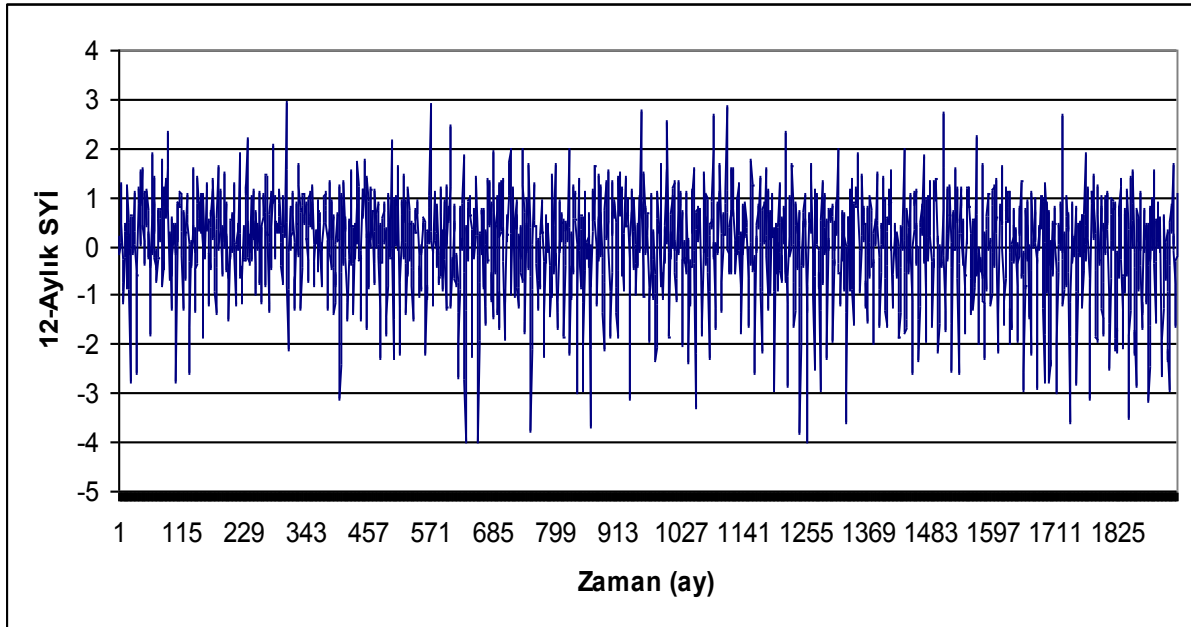


Şekil 2. A2 senaryosuna göre Muş ilinin aylık toplam yağışları. Zaman eksenini Ocak 1940 yılında başlamakta ve 2100 yılının Aralık ayında bitmektedir.

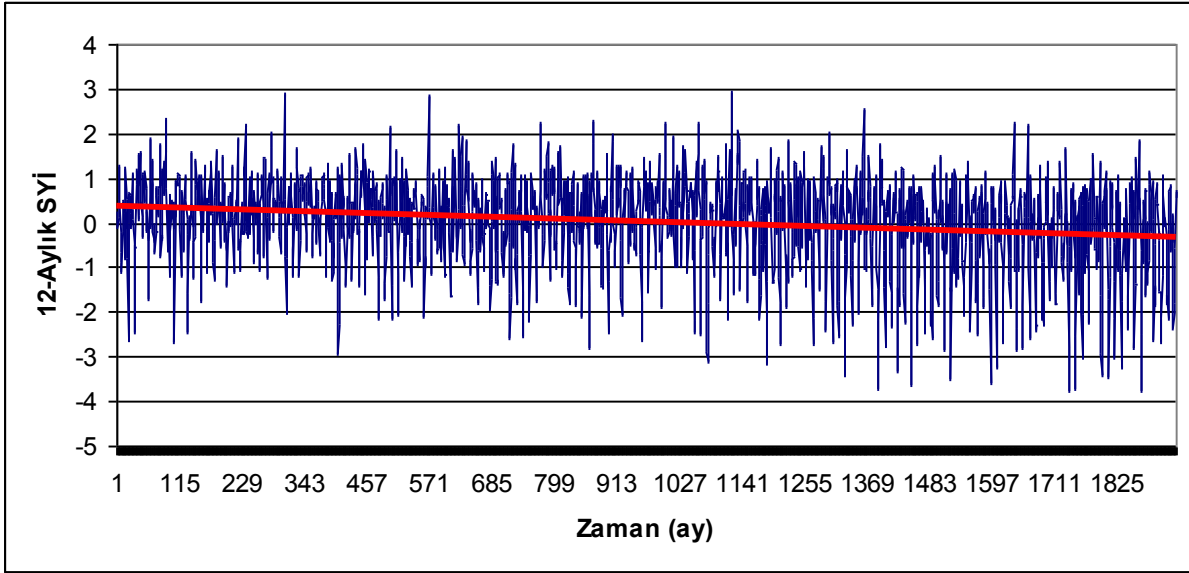


Şekil 3. B2 senaryosuna göre Muş ilinin aylık toplam yağışları. Zaman eksenini Ocak 1940 yılında başlamakta ve 2100 yılının Aralık ayında bitmektedir.

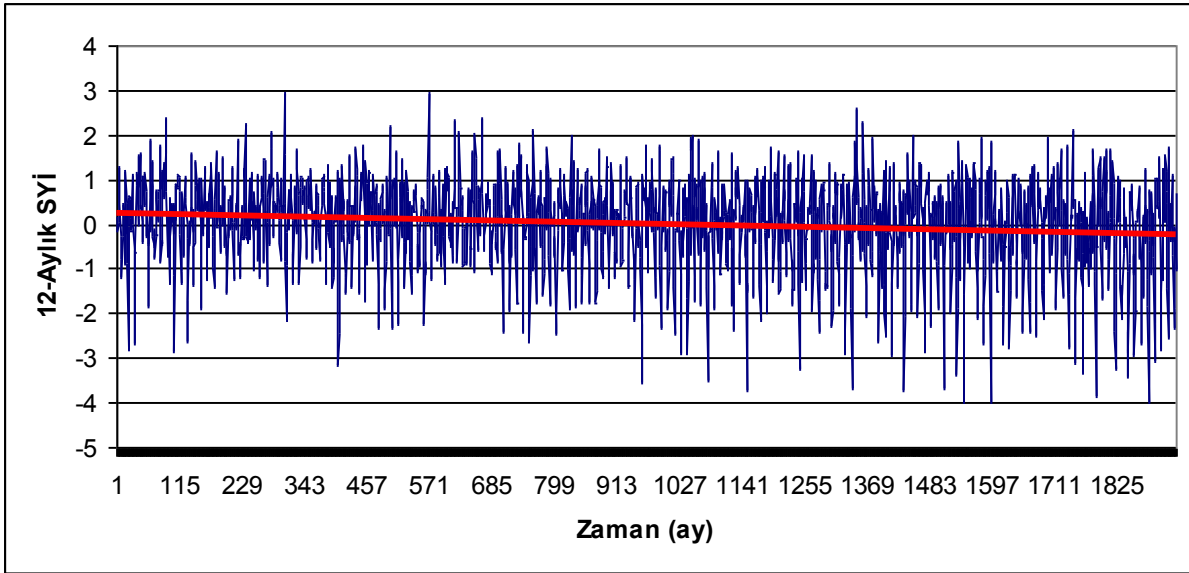
Benzer şekilde her 3 senaryoya göre, Muş ilinin SYİ değerleri sırasıyla Şekil 4,5 ve 6'da görülmektedir. Sonuçların gerçek durumla karşılaştırılması amacıyla, Muş iline ait gözlemlenmiş aylık toplam yağışlarının 12-aylık SYİ değerleri de hesaplanmış ve Şekil 7'de verilmiştir. Muş iline ait SYİ değerleri 1947 yılından itibaren mevcuttur.



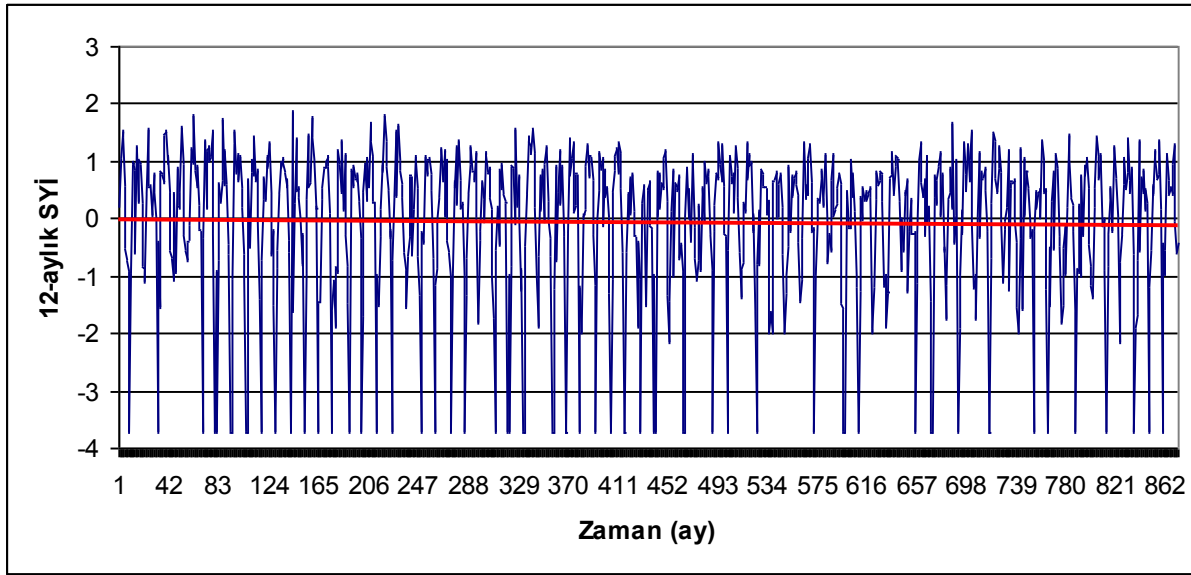
Şekil 4. Kontrol senaryosuna göre Muş ilinin 12-aylık SYİ değerleri. Zaman eksenini Ocak 1940 yılında başlamakta ve 2100 yılının Aralık ayında bitmektedir.



Şekil 5. A2 senaryosuna göre Muş ilinin 12-aylık SYİ değerleri. Zaman eksenini Ocak 1940 yılında başlamakta ve 2100 yılının Aralık ayında bitmektedir.



Şekil 6. B2 senaryosuna göre Muş ilinin 12-aylık SYİ değerleri. Zaman eksenini Ocak 1940 yılında başlamakta ve 2100 yılının Aralık ayında bitmektedir.



Şekil 7. Muş iline ait, gözlenmiş yağışlardan elde edilen 12-aylık SYİ değerleri. Zaman eksenini Ocak 1947 yılında başlamakta ve 2010 yılının Aralık ayında bitmektedir.

Tüm 3 Senaryoya göre sonuçların ne ifade ettiğini açıklamak istersek, 12-aylık SYİ değerlerinin uzun dönem olasılık değeri hesaplanarak sonuçları Tablo 1’de verilmiştir. Şimdiki durumu veren **Kontrol** modeline göre, diğer **kötümser (A2)** ve **iyimser (B2)** senaryolarına göre elde edilen nemli ve kuraklık sınıflarının uzun-dönem olasılık değerlerine göre, Muş ve çevresinde **Normal (uzun-dönem ortalama)** koşullarında bir azalma bekleyebiliriz. Örneğin **Normal** koşullarda azalma, **A2** senaryosuna göre yaklaşık %3-4 civarında **azalma** beklenmektedir. Diğer taraftan, **B2** senaryosuna göre ise % 4-5 civarında **artma** beklenmektedir. Tüm sonuçlar Tablo 1’de görülebilir.

Tablo 1. Muş iline ait, **Kontrol**, **A2** ve **B2** senaryolarına göre 12-aylık SYİ değerlerinin uzun dönem olasılık değerleri. Sonuçların anlamını açıklayabilmek için **Kontrol** senaryosu referans alınmalıdır.

Model	Aşırı Nemli	Nemli	Orta Nemli	Normal	Orta Kurak	Kurak	Aşırı Kurak
Kontrol	0.065	0.012	0.001	0.885	0.035	0.001	0
A2	0.063	0.014	0.001	0.858	0.063	0.001	0
B2	0.057	0.001	0.006	0.893	0.043	0	0

4. Kaynaklar

- Brázdil R, Trnka M, Dobrovolný P, Chromá K, Hlavinka P, Žalud Z. 2009. Variability of droughts in the Czech Republic, 1881–2006. *Theoretical and Applied Climatology* **97**: 297–315.
- Dai A, Trenberth KE, Qian T. 2004. A global data set of Palmer Drought Severity Index for 1870–2002: relationship with soil moisture and effects of surface warming. *Journal Hydrometeorology* **5**: 1117–1130.
- Flato GM, Boer GJ, Lee WG, McFarlane NA, Ramsden D, Reader MC, Weaver AJ. 2000. The Canadian Centre for Climate Modeling and analysis global coupled model and its climate. *Climate Dynamics* **16**: 451-467.
- IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. (2007) Climate change 2007: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt KB, Tignor M, Miller HL (Editors)). Cambridge University Press, Cambridge.
- McKee TB, Doesken NJ, Kleist J. 1993. The relationship of drought frequency and duration of time scales. *Presented at the Eighth Conference on Applied Climatology. American Meteorological Society*, Jan 17-23, Anaheim CA, 179-186.
- Palmer WC. 1965. *Meteorological Drought*. Weather Bureau Research Paper No. 45, U.S. Department of Commerce, Washington, D.C. p 58
- Pamuk G, Özgürel M, Topçuoğlu K, 2004. Standart yağış indisi (SPI) ile Ege bölgesinde kuraklık analizi. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* **41**: 99-106.
- Sönmez FK, Kömüscü AÜ, Erkan A, Turgu E. 2005. An analysis of spatial and temporal dimension of drought vulnerability in Turkey using the standardized precipitation index. *Natural Hazards* **35**:243–264
- Tabachnick BG, Fidell LS. 1996. Using *Multivariate Statistics*. Harper Collins, New York.

- Tatli H, Türkeş M. 2011. Empirical orthogonal function analysis of the Palmer drought indices. *Agriculture and Forest Meteorology* **151**: 981-991, doi:10.1016/j.agrformet.2011.03.004.
- Tatli H, Dalfes HN, Mentés SS. 2004. A statistical downscaling method for monthly total precipitation over Turkey. *International Journal of Climatology* **24**: 161-180.
- Tatli H, Dalfes HN, Mentés SS. 2005. Surface air temperature variability over Turkey and its connection to large-scale upper air circulation via multivariate techniques. *International Journal of Climatology* **25**:331-350.
- Tatli H. 2013. *Statistical Downscaling and Applications*. Lap Lambert Academic Publishing, Germany.
- Tatli H. 2015. Downscaling standardized precipitation index via model output statistics. *Atmósfera* **28**: 83-98.
- Turner BLII, Kasperson RE, Matson PA, McCarthy JJ, Corell RW, Christensen L, Eckley N, Kasperson JX, Luers A, Martello ML, Polsky C, Pulsipher A, Schiller A. 2003. A framework for vulnerability analysis in sustainability science. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* **100**: 8074–8079.
- Türkeş M, Tatli H. 2009. Use of the standardized precipitation index (SPI) and modified SPI for shaping the drought probabilities over Turkey. *International Journal of Climatology* **29**: 2270–2282. DOI: 10.1002/joc.1862
- Wilhelmi OV, Wilhite DA. 2002. Assessing vulnerability to agricultural drought: A Nebraska case study. *Natural Hazards* **25**: 37–58.
- Wilhite DA, Smith B. 2005. Drought as a natural hazard: understanding the natural and social context. In: Wilhite DA (ed) *Drought and water crises: science, technology, and management issues*. CRC Press, Boca Raton, FL, pp 3–29
- Wu H, Hayes MJ, Welss A, Hu Q. 2001. An evaluation the standardized precipitation index, the China-z index and the statistical z-score. *International Journal of Climatology* **21**: 745-758.

MUŞ İLİNDEKİ KÜTLE HAREKETLERİ VE KÜTLE HAREKETLERİNE DUYARLI ALANLARIN ANALİZİ

Yrd. Doç. Dr. Tolga Görüm

İstanbul Üniversitesi

Giriş

Kütle hareketleri, kaya, moloz veya zeminin yamaç aşağı doğru hareketi olarak tanımlanmaktadır (Cruden, 1991). Aşırı yağış, ani kar erimesi, deprem, volkanik aktivite ve antropojenik etkiler gibi faktörler ile veya bu faktörlerin çeşitli kombinasyonları sonucu tetiklenen kütle hareketleri, dünyada yıllık yaklaşık 4,5 milyar dolar ekonomik zarara ve 1062 insanın hayatını kaybetmesine yol açmaktadır (Petley, 2012). Ülkemizde ise, doğal afet kaynaklı kayıplar dikkate alındığında, depremlerden sonra en fazla can ve mal kaybına yol açan afetin kütle hareketleri olduğu bilinmektedir (İlçir, 1995). Son yüz yılda, dünyada yaşanan hızlı nüfus artışının bir sonucu olarak, şehirler ve banliyölerdeki hızlı ve plansız gelişime bağlı olarak, yeni yerleşim alanlarına duyulan gereksinim artmaktadır. Engebeli ve dağlık bölgelerde oluşturulan yeni kent ve yerleşim alanlarında insanoğlu ve kütle hareketlerine bağlı afetler doğrudan etkileşim içerisine girmektedir. Sonuç olarak, kütle hareketlerine ilişkin can kayıpları ve ekonomik zararlar her geçen gün artmaktadır.

Kütle hareketlerinin oluşumu, tipleri ve dağılımı mekandaki tetikleyici ve hazırlayıcı koşulların karakteristiklerine bağlıdır (Guzzetti vd., 2007). Heyelan dağılımını ve bu dağılımın deseni tetikleyici koşulun büyüklüğüne ve sahanın jeolojik (zemin özellikleri, eklem yoğunluğu, tabaka doğrultu ve eğimi vb.), jeomorfolojik, hidrolojik ve topoğrafik koşullar tarafından kontrol edilir. Genel olarak bu doğal koşullar bölgesel olarak farklılıklar göstermektedirler. Bu farklılıklar heyelanların dağılımlarının bölgeden bölgeye değişmesine neden olmaktadır. Jeolojik, jeomorfolojik ve iklimik doğal koşulların her bölge de farklı olmasının yanı sıra fizyografik, litolojik veya iklimsel bakımdan sınırlandırılmış küçük bir alanda dahi doğal koşullar homojen bir yapı göstermeyebilmektedir. Bu bakımdan heyelan dağılımlarının, orta ölçekli çalışmalar kapsamında, bölgesel anlamlılığını ortaya koymak gerekir. Doğal koşulların öneminin

belirlenmesinin bir takım sınırlayıcıları mevcuttur. Bunun nedeni; heyelanların tipleri, boyutları ve yoğunluklarının mekansal ve zamansal olarak farklılıklar göstermesinden ileri gelir (Van Westen vd., 2005; Gokceoglu vd., 2005; Guzzetti vd., 2007). Bu mekansal ve zamansal farklılıklar ile birlikte heyelanın gerekleştigi alanı deforme etmesi sonucu doğal koşullardan elde edilecek bilgiler değişkenlik gösterir (Suzen and Doyuran 2005; Gorum vd., 2008). Çoğu zaman bunları ayrıntılı olarak ortaya koymak zamana yayılmış iyi bir veriyle mümkündür.

Bir bölgede heyelanlar, geçmişte olduğu gibi, gelecekte de aynı jeolojik, jeomorfolojik ve iklimatik koşullar altında oluşabilir. Bu bakımdan doğal koşulları ortaya koymak heyelanın mekansal ve zamansal olabilirliği açısından son derece önemlidir. Bunun ayrıntılı olarak anlaşılması heyelan duyarlılık ve tehlikesinin tanımlanmasını sağladığı gibi k t le hareketleri süreçlerinin denetimi ile gelişen yer Őekillerinin uzun dönem evriminin anlaşılmasına da imkan verir. K t le hareketlerinin neden olduğu doğrudan veya dolaylı kayıplar dikkate alındığında, koruyucu önlemler ve zararları azaltmaya yönelik uygulamalar, mevcut ve potansiyel k t le hareketlerinin alansal dağılım bilgisini gerektirmektedir. Bu amaçla, uzaktan algılama yöntemleri kullanılarak heyelan envanter haritaları  retilenmektedir (Nefeslioglu vd., 2008). Uzaktan algılama görüntüleri üzerinde, jeomorfolojik birimlerin tekstür, renk, doku, ve Şekil karakteristiklerinin kolay yorumlanabilmesi, uzaktan algılama görüntülerinin k t le hareketlerini içeren envanter haritalarının oluşturulmasında yaygın bir Şekilde de kullanılmasını sağlamaktadır. (van Westen vd., 2005; Görüm vd., 2011). Buna karşılık, herhangi bir alanda gelecekte olacak k t le hareketlerinin, zamanının kestirilmesi oldukça zordur. Bu g c l ğ n aşılması amacıyla, jeoloji mühendisleri ve jeomorfoloqlar tarafından farklı teknikler kullanılarak k t le hareketi duyarlılık ve tehlike haritaları hazırlanmaktadır. K t le hareketi duyarlılığı; tetikleyici faktörlerin değerlendirilmediği koşullar altında k t le hareketinin mekansal olabilirliliği olarak ifade edilmektedir (Dai, 2002). Bununla birlikte, heyelan tehlikesi, belirli bir zaman aralığında belirli bir bölge için potansiyel olarak zarar üretebilecek bir olayın (k t le hareketinin) zamansal olasılığı olarak tanımlanmaktadır (Varnes, 1984). Son on yılda, Coğrafı Bilgi Sistemleri (CBS) ve Uzaktan Algılama (UA) konusunda yeni teknoloji ve yöntemlerin gelişimi, bölgesel ve orta ölçekte k t le hareketi duyarlılık ve tehlike haritalarının  retilenmesini kolaylaştırmış ve yaygınlaştırmıştır.

Bu genel çerçevede, bu kısımda Muş ili sınırları içerisindeki kütle hareketleri, bunların dağılımı ve kütle hareketlerine duyarlı alanlar jeolojik ve jeomorfolojik açıdan değerlendirilecektir. Bu değerlendirmelere geçilmeden önce dünya ve ülkemizde benzer çalışmaları içeren bir literatür ve bu literatürün eleştirel değerlendirilmesi yapılmıştır. Bu kısmı takip eden diğer bir başlık altında Muş ilinin genel jeolojik ve jeomorfolojik özellikleri, ve daha sonraki kısımlarda ildeki kütle hareketlerinin mekansal dağılım karakteristikleri, duyarlılıkları ve ilişkin analiz sonuçlarına yer verilmiştir.

Heyelan Dağılımını Kontrol Eden Doğal Koşullar Konusunda Yapılmış Önceki Çalışmalar

Çalışmanın bu kısmında uluslararası literatürde heyelan dağılımını üzerinde etkili olan doğal koşulların dikkate alındığı önceki çalışmalara değinilecektir. Bu bakımdan geniş bölgelerin yersel analizini kolaylaştıran coğrafi bilgi sistemleri ve uzaktan algılama tekniklerinin bölgesel heyelan çalışmalarındaki kullanımının giderek arttığı 1990-2007 arasındaki 93 adet çalışma dikkate alınmıştır. Çalışmaların bir çoğu heyelan duyarlılık ve tehlike çalışmaları içerisinden seçilmiştir. Bu çalışmaların bir çoğunun heyelan duyarlılık ve tehlike çalışmaları içerisinden seçilmesinin temelindeki sebep; herhangi bir bölgede heyelanlar geçmişte olduğu gibi gelecekte de aynı koşullar altında oluşacaktır yaklaşımıdır. Buna bağlı olarak koşul parametreleri ile heyelanın gerçekleşmesi ve dağılımı ile arasında sıkı bir ilişki vardır. Dolayısıyla koşul parametrelerini esas alan çalışmalarda kullanılan parametre haritaları ve bu parametre haritalarının zamansal olarak gelişimi ile çalışmalarda kullanım oranlarını ortaya koymak dağılım ilişkilerinin anlaşılması bakımından önemlidir. Bu bakımdan ele alınan uygulama çalışmalarının yanı sıra heyelan dağılımını kontrol eden parametrelerin belirlenmesine katkı koyan diğer çalışmalara da yer verilecektir. Bu çalışmalar içinden doğal koşul parametrelerine yön veren, bu bakımdan önem arz edenleri, koydukları katkı ölçüsünde, zamansal olarak detaylandırılmaya çalışılmıştır.

Bilindiği gibi heyelan çalışmalarında bir bölgede gerçekleşen hareketi denetleyen iki önemli olgu vardır. Bunlardan ilki heyelanı tetikleyen faktörler bir diğeri ise hazırlayıcı faktörlerdir. Her iki olgu da dağılım koşulları üzerinde etkilidir. Bu iki olgu günümüz heyelan literatüründe heyelan

duyarlılık ve tehlikesinin ortaya konmasında kullanılmaktadır. Bunlardan duyarlılık, tetikleyici faktörlerin değerlendirilmediği koşullar altında, söz konusu kütle hareketine ilişkin mekansal olabilirlik olarak ifade edilmektedir (Dai vd., 2002). İkinci kavram olan tehlike terimi Varnes (1984) tarafından, potansiyel olarak zarar verme kapasitesine sahip belirli bir olayın (heyelan), belirli bir lokasyonda ve belirli bir zaman aralığında gerçekleşme olasılığı olarak tanımlanmaktadır. Günümüzde belirli bir temele oturmuş heyelan duyarlılık ve tehlike çalışmaları, heyelan dağılımı ve bu dağılım üzerinde etkili olan doğal ve beşeri koşulların mekansal ve zamansal etkileşimini temel alırlar. Bölgesel ve orta ölçekli heyelan dağılımları çerçevesinde son yıllarda Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Uzaktan Algılama teknolojilerinin gelişmesi, bölgesel ve orta ölçekli heyelan duyarlılık ve tehlike haritalarının üretilmesine olanak tanımaktadır. GIS temelli heyelan duyarlılık ve tehlike analizlerine ilişkin derleme ve sınıflandırmalara Soeters and Van Westen (1996), Carrara et al. (1995), Guzetti et al. (1999) ve Aleotti and Chowdury (1999) tarafından yapılan çalışmalarda rastlanmaktadır. Van Westen et al. (2005) söz konusu çalışmalara bağlı olarak heyelan duyarlılık ve tehlike analiz yöntemlerinin dört ana grup altında toplanabileceğini ifade etmektedirler. Bunlar, heyelan envanteri temelli olasılık yaklaşımı (Chau vd., 2004; Guzetti vd., 2005), sezgisel yaklaşım (doğrudan; jeomorfolojik haritalama veya dolaylı; parametre haritalarının çakıştırılarak ortak alanların tespit edilmesi) (Pachauri and Pant, 1992; Gökçeoğlu and Aksoy, 1996; Pachauri vd., 1998; Wachal and Hudak, 2000; Ayenew and Barbieri, 2005), istatistiksel yaklaşım (iki değişkenli veya çok değişkenli) (Carrara vd., 1991; Jade and Sarkar, 1993; Atkinson and Massari, 1998; Guzetti vd., 1999; Baeza and Corominas, 2001; Lee and Min, 2001; Clerici vd., 2002; Ercanoglu vd., 2004; Suzen and Doyuran, 2004a, b; Ayalew and Yamagishi, 2005; Can vd., 2005; Gokceoğlu vd., 2005; Duman vd., 2006), deterministik yaklaşım (Terlien vd., 1995) olarak sıralanmaktadır. Bununla birlikte, literatürde son yıllarda söz konusu analizlerin bilgi temelli yapay zeka yöntemleri ile gerçekleştirilmesine ilişkin çalışmalara da rastlanmaktadır (Juang vd., 1992; Ercanoglu and Gokceoğlu, 2002 ve 2004; Gomez and Kavzoglu, 2005; Lee vd., 2003 ve 2004; Yesilnacar and Topal, 2005). CBS temelli heyelan duyarlılık ve tehlike analizlerine ilişkin tüm bu yaklaşımların ortak hedefe yönelik çıkış noktaları; heyelanlar geçmişte olduğu gibi gelecekte de aynı koşullar altında oluşacaktır. Bu bakımdan bu çalışmalara altlık oluşturacak koşullar ayrıntılı olarak tanımlanmalı, uzman görüşü ile sahanın heyelan dağılımını kontrol eden faktörler

belirlenip değerlendirilerek analize tabi tutulmalıdır. Aksi takdirde sonuçların güvenilirliği sağlanamaz.

Heyelanların dağılımını kontrol eden doğal koşulların ve buna bağlı olarak heyelan duyarlılık ve tehlikesinin yaygın bir biçimde kullanımı bilgi sistemleri teknolojilerinin giderek geliştiği dönemlere karşılık gelir. Bunun en önemli nedeni; zamana bağlı büyük hacimli veriler bilgi sistemleri ve özellikle coğrafi bilgi sistemleri aracılığıyla daha hızlı analiz edilebilir güncellenebilir olmasından kaynaklanmaktadır. Bu kapsamda Carrara'nın 1983 yılında yaptığı çalışma milat niteliğindedir. Bu çalışmayı takip eden ve heyelan duyarlılık çalışmalarında ve dolayısıyla heyelan dağılımı ve bunu kontrol eden doğal koşullar konusunda yazarın çığır açan çalışması Umbria (İtalya) bölgesinde 1991 yılında yaptığı çalışmadır. Bu çalışmada üzerinde durduğu ve gelecek yıllarda birçok çalışmaya yön verdiği en önemli nokta şudur; bir bölgede heyelanlar, geçmişte olduğu gibi, gelecekte de aynı jeolojik, jeomorfolojik ve iklimik koşullar altında oluşabilir, bu bakımdan geçmişte heyelana duyarlı olan koşullardan yola çıkılarak geleceğe ilişkin mekânsal bazı kestirimler yapılabilir. Bu çalışmadan sonra 1990 yıllarının ortalarına kadar doğal koşulları dikkate alan birçok heyelan çalışması yapılmıştır. Bu çalışmaların içinde en önemli olanı Van Westen'nin 1993 yılında yapmış olduğu çalışmadır. Rio Chinchina (Kolombiya) bölgesindeki heyelanların tehlike zonlamasını yaptığı çalışmasında bölgeye ait heyelan dağılım koşullarını detaylı incelemiş ve bunlara ait parametre haritalarını üreterek günümüzde heyelan duyarlılık ve tehlike çalışmalarında kullanılan hemen hemen tüm yöntemleri kullanarak analiz etmiştir. Bu çalışmadaki en önemli nokta değişik analiz yöntemlerine tabi tutulan koşul parametrelerinin analiz yöntem türüne göre nasıl kullanılması gerektiği ve nelere dikkat edileceğidir. Bu tanımlamalar ve heyelan dağılım koşullarına ait verinin toplanması, değerlendirilmesi ve analizinin örnek bir alandan yola çıkarak uygulaması niteliğindeki bu çalışma sonraki çalışmaların esaslarını belirlemiştir. Bu bakımdan yapıldığı dönemin çok ötesinde bir çalışmadır. Bu çalışma aynı zamanda yazarın 1996 yılında Soeters ile birlikte "Slope Instability Recognition, Analysis and Zonation" başlıklı çalışmasının alt yapısını oluşturmuştur. Bu çalışmada uzaktan algılama (UA) ve CBS teknolojilerinin heyelan dağılım tespitinde, haritalanmasında ve analizlerinde önemli bir araç olduğunun altını çizen yazarlar analiz ölçekleri ile koşul parametreleri arasındaki ilişkiyi de ortaya koymuşlardır. Bu ilişki dağılımın koşullarını ortaya koymak için kullanılan koşulların hangi ölçekte (regional, medium and large) iyi sonuçlar verebileceğine dayanmaktadır. Bu çalışmada günümüzde de etkin bir

şekilde kullanılan uzaktan algılama tekniklerinin heyelan çalışmaları için ne denli önemli olduğu; hava fotosu ve uydu görüntülerinden hangi parametrelerin sağlanabileceği ve bunların heyelan çalışmalarındaki kullanım biçimlerinin esasları ifade edilerek vurgulanmıştır. Bu dönemlerde heyelan dağılım çalışmaları ile tetikleyici faktörler arasındaki ilişkiyi ortaya koymak için de bir çok çalışmaya rastlanır (Solonenko, 1970; McCalpin, 1986; Nikonov 1988; Jibson and Keefer, 1988; Crozier, 1992; Schuster vd., 1992; Jacoby vd., 1992; Tibaldi, 1995; Gonzelez-Diez et. al., 1999; Polemio and Sdao, 1999; Crozier, 1999; Borga vd., 2002). Bu çalışmalardan özellikle Crozier'in 1992 yılında ve Gonzelez-Diez et. al., 1999 yılında yapmış oldukları çalışmalar önemlidir. Crozier (1992) Taranaki bölgesinde (Yeni Zelanda) yapmış olduğu çalışmada sismik kökenli heyelanları incelemiştir. Sismisite doğal bir koşul değil de tetikleyici bir koşul olmasına rağmen bu çalışma heyelanların kronolojileri bakımından önemlidir. Göreceli özelliklerine göre sınıfladığı heyelan gruplarının içerisinde yaşlandırılabilir heyelanlardan elde ettiği mutlak yaş verileri ile tarihsel depremleri ve bunların etkileri bu çalışma ile ortaya konmuştur. Çalışmada elde edilen ^{14}C yaşları ile paleosismik çalışmalar kapsamında açılan hendeklerden elde edilen yaşların korelasyonu sonucu iki adet depremin bu bölgedeki heyelanların muhtemel tetikleyicisi olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Taranaki bölgesindeki heyelanların dağılımını bu depremlerle açıklayan araştırmacı, etki sahası içerisinde olmasına karşın diğer alanlarda gözlenmeyen heyelanları litolojik ve morfolojik (topografik eğim) koşulların farklılığına dayandırmıştır. 1999 yılında Guzzetti vd.'nin "Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy" başlıklı çalışmalarında var olan yöntemleri tartışmalarının yanı sıra dağılımı kontrol eden koşullar ve bunların heyelan tehlike çalışmaları açısından bölgesel önemleri vurgulanmıştır. Bu dağılım koşullarını etkileyen faktörlerin RS teknikleri ile birlikte zamana dağılmış heyelan envanterleri oluşturarak daha iyi anlaşılacağını belirtmişlerdir. Guzzetti ve çalışma arkadaşları 90'lı yıllardan bugüne kadar bölgesel heyelan duyarlılık ve tehlikesi konularının yanı sıra heyelan dağılımı ve dağılımı kontrol eden parametrelerle ilgili çok önemli çalışmalar yapmışlardır. 1999 yılında Umbria ve Marche (Italy) bölgelerinde yapmış olduğu çalışmanın yanı sıra; 2004 yılında Landslides triggered by the 23 November 2000 rainfall event in the Imperia Province başlıklı çalışmasıyla, 2005 yılında "Probabilistic landslide hazard assessment at the basin scale" başlıklı çalışmasıyla, 2006 yılında "Temporal and size distributions of landslides in the Callazzone area (Italy)" başlıklı çalışmasıyla, 2007 yılında "Distribution of

landslides in the Upper Tiber River basin (Italy)” ve “Rainfall thresholds for the initiation of landslides” başlıklı çalışmalarıyla heyelan dağılımı ve bu dağılımı kontrol eden süreçlerin anlaşılmasına önemli katkılar koymuşlardır. Bölgesel heyelan çalışmalarının günümüzde de etkin bir şekilde sürdüğü İtalya’da heyelan çalışmaları ve buna dayalı envanter-dağılım haritaları ciddi olarak 1980’lerin başında başlamıştır. Bu açıdan Türkiye’ye bakıldığında, bölgesel heyelan dağılım ve duyarlılığı konusunda uluslararası literatüre ilk giren çalışma Gokceoglu and Aksoy’un 1996 yılında Mengen-Bolu bölgesinde yaptıkları çalışmadır. Topografik ve yapısal jeolojik parametrelerin ağırlıklı kullanıldığı çalışma Türkiye’de ilk olması bakımından önemlidir. 2000 yıllara gelindiğinde Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü’nün (MTA) başlattığı Türkiye heyelan envanter projesi, orta (1:25 000), bölgesel (1: 100 000) ve ulusal (1: 500 000) ölçekte 2010 yılında tamamlanmıştır. Bu envanter kısmen günümüz heyelanlarını yansıtıyorsa da ağırlıklı olarak 1990 yılına kadar olan hava fotoğraflarından elde edilen heyelanları içermektedir. 2000’li yıllar dünyada olduğu gibi bölgesel heyelan çalışmaları açısından Türkiye’de de bir kırılma noktasıdır. Bu yıllarda Türkiye’de yapılan çalışmaların sayısındaki artış çok belirgindir. Bu çalışmaların artışıdaki önemli katkı Gokceoglu ve Ercanoğlu’nun 2000 yılında ulusal bir dergide “Uncertainties on the parameters employed in preparation of landslide susceptibility maps (Critical Review)” yapmış oldukları tanıtıcı makaledir. Bu çalışmadan sonra günümüze kadar geçen sürede uluslararası literatüre önemli katkılar sağlayacak çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalardan heyelan dağılımı üzerinde etkili doğal koşullara katkı açısından en önemlileri; Suzen and Doyuran 2002; Gokceoglu vd., 2005; Can vd., 2005; Nefeslioglu vd., 2007 and Gorum vd., 2008’dir. Bu çalışmalardan ilki olan Suzen ve Doyuran’ın çalışmadaki en önemli katkıları “seed cell” olarak adlandırdıkları heyelanın çevresindeki koşullardan aldıkları bilgiden hareketle ürettikleri duyarlılık haritasıdır. Bu yöntemin heyelan geometrisine ve zamansal olarak önceki koşulların yeniden yapılandırmasına ilişkin sıkıntılar varsa da bölgesel heyelanların olmadan önceki şartlarının tanımlanmasındaki yararı bakımından son derece önemli bir çalışmadır. Diğer bir önemli çalışma ise, 2005 yılında Gokceoglu et al. tarafından 17 Mart 2005’te gerçekleşen ve 14 kişinin ölümüyle sonuçlanan Kuzulu heyelanı (Sivas) yakın çevresinde yapmış oldukları bölgesel heyelan duyarlılık çalışmasıdır. Bu çalışmada topoğrafik nemlilik indeksi (TWI) üzerinde duran araştırmacılar bu parametrenin önemini bu bölge için vurgulamışlardır. Kuzulu heyelanın gerçekleştiği alanda ve yakın çevresinde eski bir heyelanının engebeli topografyası içerisinde TWI aracılığıyla geçirimsizliğin arttığı zonları tespit eden

araştırıcılar Kuzulu heyelanı ve yakın çevresindeki heyelanlar için bu depresyonlar içine dolan karların ani olarak erimesinin bu heyelanı tetiklediği sonucuna varmışlardır. Bu durum Kuzulu heyelanı çevresindeki diğer heyelanları da bu nedenle duyarlı hale getirdiğini belirtmişlerdir. Yine aynı yıl (2005) Can vd. tarafından Batı Karadeniz bölgesinde yapılan çalışmada 1998 yılındaki heavy rainfall aracılığıyla tetiklenen toprak akmaları incelenmiştir. Batı Karadeniz bölgesinde heyelanları ana tetikleyici faktörün uzun süren ve yoğun yağışların olduğunu belirten araştırmacılar bu bölgede geniş alanlar kaplayan Eosen fiľlerinin de hazırlayıcı bir faktör olarak buna katkıda bulunduğu sonucuna ulaşmışlardır. Nefeslioglu et al. tarafından 2007 yılında tektonik bakımdan aktif bir bölge olan Kelkit vadisinde (Sivas) yaptıkları çalışma koşul parametlerinden ziyade bu koşulların farklılığını yaratan tektonik olaylar bakımından önemli bir çalışmadır. Sağ yanal doğultu atımlı Kuzey Anadolu Fay Sistemi Sisteminin bir segmenti üzerine karşılık Kelkit vadisinin her iki yakasındaki (kuzey ve güney) doğal koşullar sağ yanal fay nedeniyle farklılık gösterir. Bu bakımdan fayın kuzeyinde dolayısıyla Kelkit vadisinin kuzeyinde yer alan kesim heyelanların dağılımının yoğun olduğu ve duyarlılığın arttığı bir kesim iken güney kesimler dağılımının ve duyarlılığın düştüğü kesimlere karşılık gelmektedirler. Bu durumun gerçekleşmesindeki en önemli etken, fayın sağ yanal hareketine bağlı olarak gerçekleştirdiği atım ve dolayısıyla her iki blokta meydana gelen litolojik farklılık ve litolojiye bağlı gelişen farklı morfolojik süreçlerdir. Böyle bir ilişkinin ortaya konulduğu çalışma tektoniğin yarattığı farklı doğal koşulların heyelan dağılımına olan etkisi bakımından önemlidir. 2008 yılında Gorum vd. tarafından Melen Boğazında (Düzce) yapılan çalışma ise bir parametre haritası olarak jeomorfolojinin kullanılması açısından önemlidir. Araştırıcılar “yeniden yapılandırma metodu” adını verdikleri yöntemle önceki çalışmalarda da bir çok araştırıcı tarafından kullanılan (Van Westen vd., 2000; Lee and Min, 2001; Duman vd., 2006; Coelho-Netto vd., 2006; Zezere vd., 2006) jeomorfolojik birimlerin bir parametre olarak heyelan duyarlılık çalışmalarında nasıl kullanılması gerektiğini ortaya koymuşlardır. Topografyanın dolayısıyla topografik veriden üretilen türevlerin yeniden yapılandırmasını da içeren çalışma doğal koşul parametrelerinin değerlendirilmesi bakımından önemli bir çalışmadır.

Duyarlılık haritalarının oluşturulmasında, dağılım koşullarının denetimi açısından önemli olduğu düşünülen çalışmalardan sonra, dünya genelinde bölgesel heyelan çalışmalarında en çok kullanılan parametreler nelerdir, hangi parametreler bir arada kullanılmış, önem dereceleri nelerdir ve bunların yakın zamanda ki bilimsel-teknolojik gelişimlerle ilişkisi irdelenmeye

çalışılmıştır. Bu bakımdan 1990-2007 arasında yapılan 400 çalışma içinden seçilen, dağılım koşullarını denetleyen koşul ve tetikleyici parametreler açısından, 93 adet çalışma dikkate alınmıştır (Tablo 1). Seçilen 93 adet çalışma içerisinde en fazla kullanılan ilk beş koşul parametre; eğim, litoloji, bakı, topoğrafik yamaç eğrisellikleri ve yapısal çizgiselliklerdir.

Araştırmacı		Yöntem	Bölge	PARAMETRELER																																																																																																																																
				Doğal Koşullar														Topografya ve Morfoloji										Çevresel				Tetikleyici Faktörler*																																																																																																				
				Jeoloji							T1							T2							T3							T4							T5							T6							T7							T8							T9							T10							T11							T12							Ç1							Ç2							Ç3							T1							T2							T3		
Choubey and Litoria (1990)	Overlay	Garhwal Himalaya, India	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	Ç1	Ç2	Ç3	T1	T2	T3																																																																																																						
Van Westen and Bonilla (1990)	Overlay	Central Cordillera, Colombia	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	Ç1	Ç2	Ç3	T1	T2	T3																																																																																																						
Carrara et al. (1991)	Multivariate Statistic	Tescio Umbria, Italy	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	Ç1	Ç2	Ç3	T1	T2	T3																																																																																																						
Anbagan (1992)	Overlay	Kathgodam, India	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	Ç1	Ç2	Ç3	T1	T2	T3																																																																																																						
Chang (1992)	Overlay	Taiwan	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	Ç1	Ç2	Ç3	T1	T2	T3																																																																																																						
Choubey et al. (1992)	Overlay	Uttarkashi-Tehri, India	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	Ç1	Ç2	Ç3	T1	T2	T3																																																																																																						
Mehrotra et al. (1992)	Overlay	Garhwal Himalaya, India	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	Ç1	Ç2	Ç3	T1	T2	T3																																																																																																						
Juang et al. (1992)	Fuzzy Logic	Kaohsiung, Taiwan	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	Ç1	Ç2	Ç3	T1	T2	T3																																																																																																						
Pachauri and Pant (1992)	Overlay	Aglar, India	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	Ç1	Ç2	Ç3	T1	T2	T3																																																																																																						
Guillande et al. (1993)	Overlay	Tahiti	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	Ç1	Ç2	Ç3	T1	T2	T3																																																																																																						
Jade and Sarkar (1993)	Multivariate Statistic	Srinagar, India	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	Ç1	Ç2	Ç3	T1	T2	T3																																																																																																						
Maharaj (1993)	Multivariate Statistic	St. Andrew, Jamaica	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	Ç1	Ç2	Ç3	T1	T2	T3																																																																																																						
Mejia and Wohl (1994)	Overlay	Medellin, Colombia	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	Ç1	Ç2	Ç3	T1	T2	T3																																																																																																						
Terlien et al., (1995)	Deterministic Modelling	Prisca, Costarica	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	Ç1	Ç2	Ç3	T1	T2	T3																																																																																																						
Terlien et al., (1995)	Multivariate Statistic	Monizales, Colombia	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	Ç1	Ç2	Ç3	T1	T2	T3																																																																																																						
Chung et al. (1995)	Multivariate Statistic	Cordillera, Colombia	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	Ç1	Ç2	Ç3	T1	T2	T3																																																																																																						
Carrara et al. (1995)	Multivariate Statistic	Carpina, Italy	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	Ç1	Ç2	Ç3	T1	T2	T3																																																																																																						
Gokceoglu and Aksoy (1996)	Overlay	Bolu-Mengen, Turkey	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	Ç1	Ç2	Ç3	T1	T2	T3																																																																																																						
Abdolmasov and Obradovic (1997)	Fuzzy Logic	Belgrad, Yugoslavia	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	Ç1	Ç2	Ç3	T1	T2	T3																																																																																																						
Chowdhury and Flenje (1997)	Overlay	Wollongong, Australia	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	Ç1	Ç2	Ç3	T1	T2	T3																																																																																																						
Atkinson and Massari (1998)	Bivariate Statistic	Central Apennines, Italy	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	Ç1	Ç2	Ç3	T1	T2	T3																																																																																																						
Nagarajan et al. (1998)	Overlay	Ghat, India	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	Ç1	Ç2	Ç3	T1	T2	T3																																																																																																						
Pachauri et al. (1998)	Overlay	Deharadun, India	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	Ç1	Ç2	Ç3	T1	T2	T3																																																																																																						
Fernandez et al. (1999)	Matrix Analyses	Cordoba, Spain	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	Ç1	Ç2	Ç3	T1	T2	T3																																																																																																						
Guzzetti et al. (1999)	Multivariate Statistic	Umbria-Marche, Italy	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	Ç1	Ç2	Ç3	T1	T2	T3																																																																																																						
Luzi and Pergalani (1999)	Overlay	Lombardi, Italy	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	Ç1	Ç2	Ç3	T1	T2	T3																																																																																																						
Parise and Jibson (2000)	Overlay	Northridge California, USA	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	Ç1	Ç2	Ç3	T1	T2	T3																																																																																																						
Nagarajan et al. (2000)	Overlay	Konkan Coast, India	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	Ç1	Ç2	Ç3	T1	T2	T3																																																																																																						
Uronoethy and Mahdaviifar (2000)	Fuzzy Logic	Khorsrostan, Iran	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	Ç1	Ç2	Ç3	T1	T2	T3																																																																																																						
Van Westen et al. (2000)	Overlay	Alpago-Belluno, Italy	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	Ç1	Ç2	Ç3	T1	T2	T3																																																																																																						
Wachal and Hudak (2000)	Overlay	Travis County-Texas, USA	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	Ç1	Ç2	Ç3	T1	T2	T3																																																																																																						
Baeza and Corominas (2001)	Multivariate Statistic	E.Pyrenees, Spain	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	Ç1	Ç2	Ç3	T1	T2	T3																																																																																																						
Dai et al., (2001)	Multivariate Statistic	Lantau Island, Hong Kong	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	Ç1	Ç2	Ç3	T1	T2	T3																																																																																																						

Bunlardan ilk iki koşul parametresinin oranı % 86'nın üzerindedir. Bu koşul parametreleri (eğim ve litoloji) hemen hemen tüm çalışmalarda dikkate alınmıştır. Bunu takiben gelen topoğrafik bakışım, yamaç eğriselliği ve yapısal çizgisellikler gibi diğer koşulların ortalama oranı % 45'dir. Doğal koşulların dışında çevresel faktörler içerisinde yer alan arazi kullanım parametresinin de çalışmalar içerisinde dikkate alınma oranı yüksektir. Çalışmaların yıllara göre dağılımında 2000 li yıllar çalışmaların yükselişe geçtiği dönem olarak karşımıza çıkar. Bu dönemde çalışma sayısındaki artış heyelan çalışmalarındaki ilerleyişin yanı sıra teknolojik imkanların dünyanın bir çok yerinde kullanımının özellikle de geniş kitle iletişim aracı olan internetin kullanımının arttığı dönemlere karşılık gelir. İnternetin bilgiye ulaşmada sağladığı kolaylığın yanı sıra GIS ve RS konularındaki teknolojik gelişmeler uydu görüntülerinin kullanımının yaygınlaşması çalışmaların hem kalite hem de sayı olarak artmasına neden olmuştur. Bu gelişime, jeomorfolojik birimlerin ölçümüne dayanan, 1950'li yıllarda Strahler'in çalışmalarıyla öncülüğünü yaptığı ve daha sonraları Melton (1957, 1958a and 1958b), Evans (1963, 1969a and 1969b), Chorley'nin (1966) çalışmalarıyla 1970'li yıllarda gelişmeye başlayan ve 2000'li yıllarda Moore (1991) ve Wilson and Gallant (2000) ile gelişimine ve GIS'e adaptasyonu ile devam edilen morfometri de büyük katkılar sağlamıştır. Günümüzde morfolojik-topografik heyelan koşul parametrelerinin üretildiği sayısal yükseklik modelleri (DEM) ve bunlardan üretilen morfometrik türevler 1990'yıllardan beri heyelan çalışmalarında etkin bir biçimde kullanılmaktadır. 2000'li yıllarda GIS'in kullanımı yaygınlaştıktan sonra morfometrik türevlerin kullanımı buna bağlı olarak da heyelan çalışmalarına katkıları artmıştır. Günümüzde heyelan dağılım koşulları bakımından yeni türevlerin araştırıldığı çalışmaların sayısı giderek artmaktadır. Bu gelişmelere bir de LIDAR gibi detaylı sayısal yükseklik modelleri eklenmesi çalışmaların doğruluğunu ve hassasiyetini arttırmıştır. Bunun yanı sıra çözünürlükleri, kapsamları, detayda sundukları imkanlar artan uzaktan algılama teknolojilerinde yaşanan gelişmeler çalışmaların son yıllarda yaygınlaşmasının başlıca nedenleri arasında gösterilebilir.

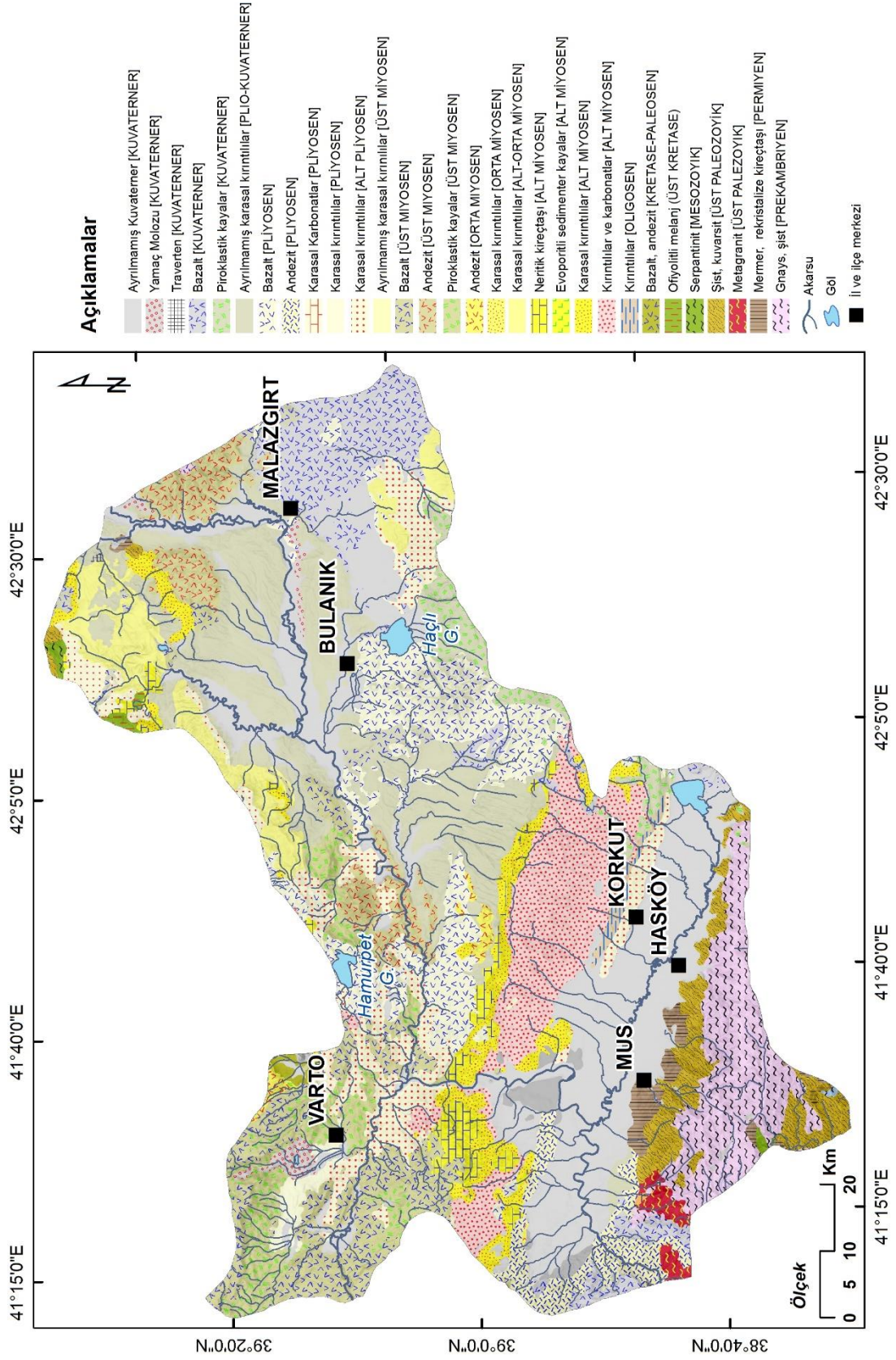
Sonuç olarak son dönemlerde heyelan dağılımı konusunda bilim ve teknoloji alanındaki gelişmeler çalışmaların sayısına ve kalitesine katkıda bulunmuştur. Buna karşılık kimi çalışmada heyelan dağılımında etkili olduğu düşünülen doğal koşullara ait parametreler ayrıntılı bir şekilde incelendikten ve dağılım ilişkileri saptandıktan sonra çalışmaya dahil edilirken bir çok çalışmada kullanılan parametrelerin bu ilişkiyi gözetmediği görülmüştür. Bu tip yaklaşımların yer aldığı çalışmalar, önceki çalışmalara dayanarak genel kabul gören parametreleri kullanmayı tercih

etmişlerdir. Oysaki doğal koşullar bölgeden bölgeye farklılık göstermektedir. Bu bakımdan incelenen sahaya ait doğal koşullara ve geçmişte olan heyelan dağılımına ait ayrıntılı bilgi, doğru sonuçlara ulaşmak için iyi bir şekilde analiz edilmelidir. Bununla birlikte inceleme sahasındaki doğal koşulların ve tetikleyici faktörlerin zamansal değişimi, kısacası sahanın heyelanların oluşmaya başladığı günden zamanımıza kadar geçen süredeki jeolojik, jeomorfolojik ve iklimik evrimi, dağılımının anlaşılmasındaki anahtar noktalardır. Bununla birlikte doğal koşullar açısından önceki satırlarda incelenen tüm çalışmalarda en önemli nokta; dağılımı denetleyen koşulların bölgeden bölgeye çok değişken olduğu ve başarıya ulaşmada incelenecek sahaya ait koşulların çok iyi analiz edilmesi ile buna karar veren mekanizmanın geçmiş deneyimlerinin ve bilgi birikiminin iyi olması gerektiğidir.

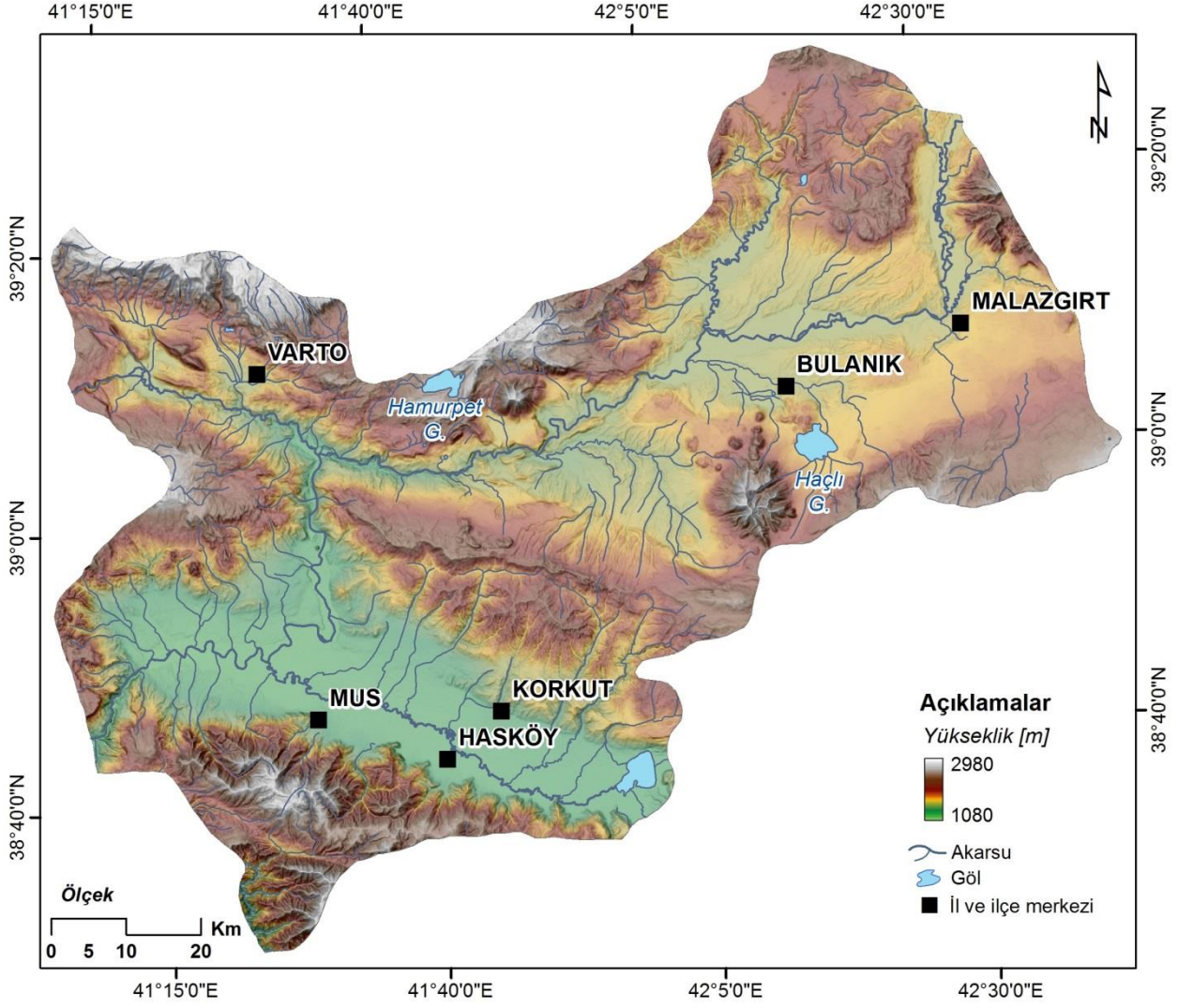
Çalışma Alanın Fiziki Coğrafik Özellikleri

Tektonik kökenli bir ova olan Muş Ovası'nın güneyinde Paleozik metamorfik şistler şistleri ve kuzeyinde Tersiyer sedimenter birimleri içeren araziler bulunmaktadır. Volkaniklerin daha ziyade ilin doğusunda ve batısında bulunduğu alan Neojen öncesi temel üzerinde kalınlığı yüzlerce metreyi bulan göl kökenli karbonatlı birimler, killi, kumlu ve marn içeren depolar bulunur (Atalay, 1991). Bölgede Kavaterner birimleri dağ eğriselliği boyunca gelişmiş kolüvyal konilerle, ova tabanında Murat ve Karasu nehirleri tarafından taşınan ve biriktirilen alüvyal depolarla temsil edilmektedir (Şekil 1).

Çalışma alanı kuzeyden ve güneyden yüksek dağlık alanlarla sınırlandırılmış bir dağ içi ovasından oluşur. Muş Ovası'nı Murat ve Karasu nehirleri drene ederler (Şekil 2). Bölge jeomorfolojisinde önemli yeri olan bu iki ana akarsu sisteminin kuruluşu Plio-kuvaternere dayanır. İlin kuzeyinden ve ovanın orta kesiminden topladıkları suları güney batıdaki Gürgüre boğazı aracılığıyla Fırat nehrine ulaştıran bu sistemler genel olarak menderesli bir akarsu özelliği gösterirler. Kar suları ile beslenen bu akarsu sistemleri, genel olarak, düzenli bir rejime sahiptirler.

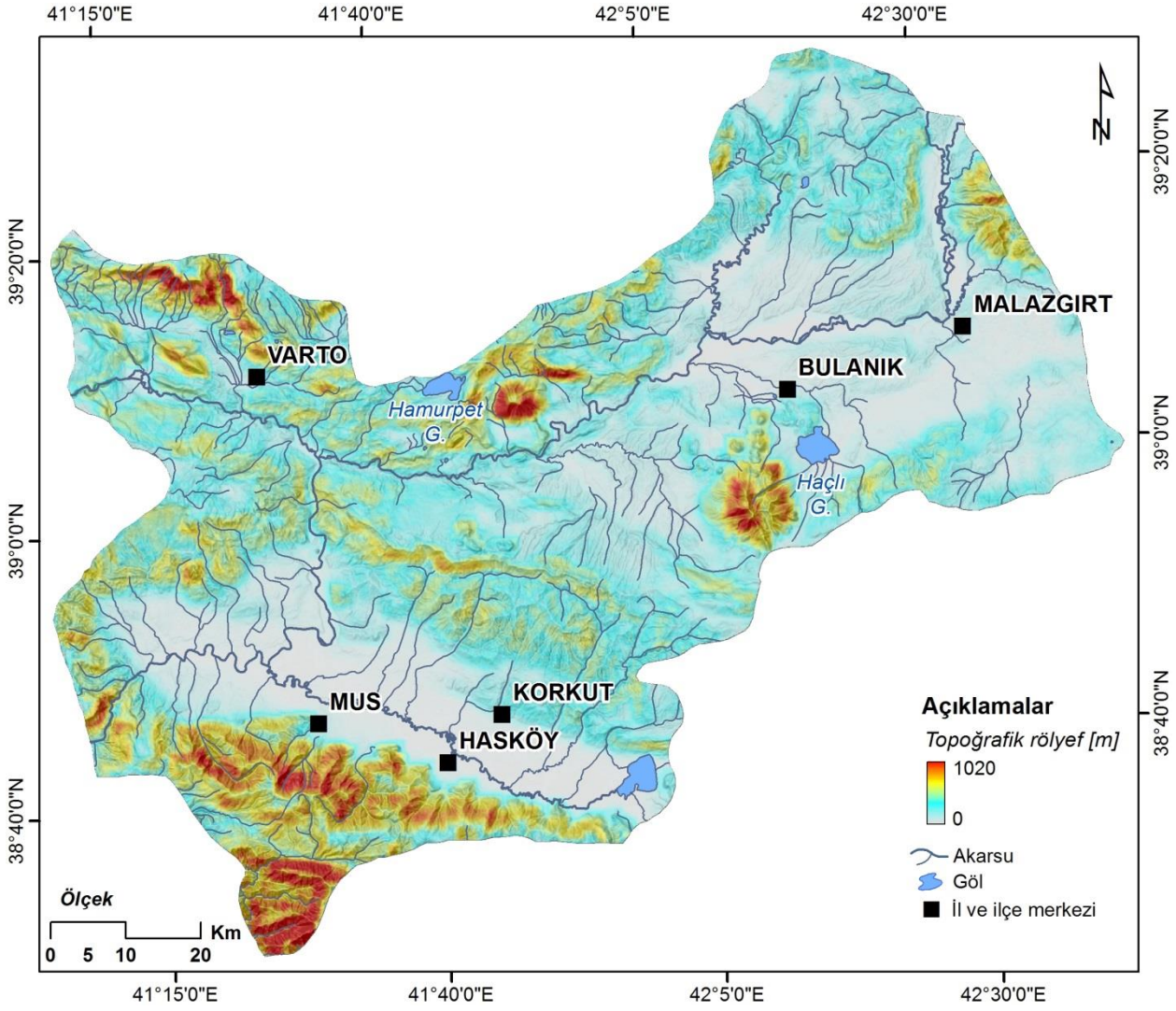


Şekil 1: Muş ili jeoloji haritası (MTA, 2002, 1:500,000 ölçekli Erzurum ve Van paftalarından derlenmiştir)



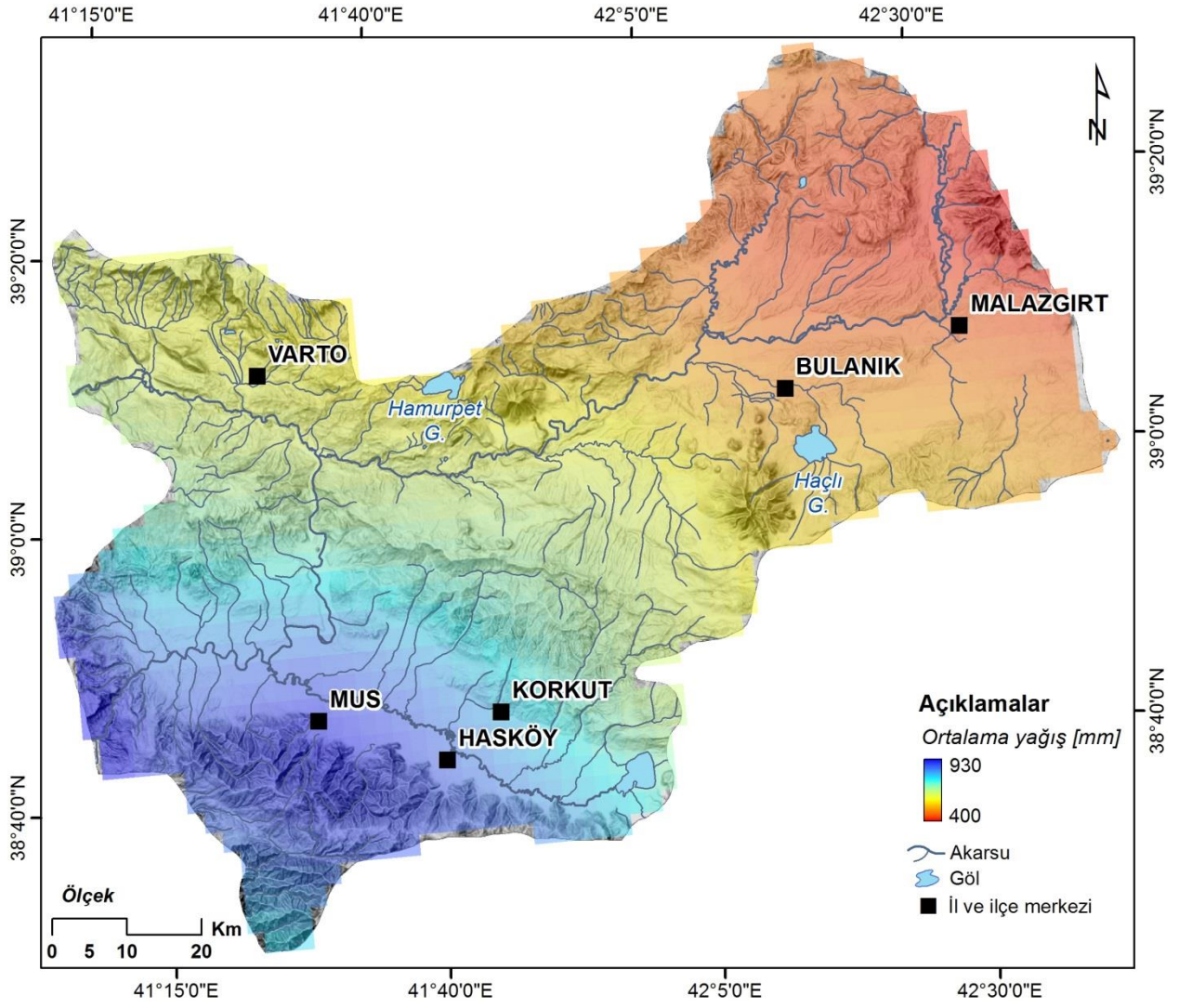
Şekil 2: Muş ilinin sayısal yükseklik modeli ve ana akarsu ağı haritası.

Ortalama yükseltisi 1680 metre olan ildeki topoğrafik rölyef (*minimum ve maksimum yükselti farkının oranı*) değerleri bakımından en yüksek kesimler güneyde yer alır (Şekil 3). Bu kesimler aynı zamanda bölgenin en eğimli kesimlerini oluşturur. Bölgede topoğrafik rölyef değerlerinin yüksek olduğu kesimleri Hamurpet Gölü batısı ve Haçlı Gölü güneybatısındaki volkanik alanlar ile Varto ilçesinin kuzeyindeki Şerafettin Dağları güney yamaçları oluşturur. Diğer alanlardaki engebellik oranı görece olarak daha düşüktür. Ortalama eğimin 5° - 10° değerleri arasında olduğu alanda en düşük eğimlere ova tabanında rastlanırken en yüksek eğim değerlerine ($50^{\circ} >$) güneyde, Genç Dağları'nda rastlanır.



Şekil 3: Muş ilinin topoğrafik rölyef haritası.

Muş ili çevresinin yağış özelliklerine bakıldığında, ilin kuzeyi ve güneyi arasında ortalama yağış değerleri arasında belirgin farklılıklar gözlenir (Şekil 4). Bulanık ve Malazgirt ilçelerinde 400 mm'den düşük olan değerlerin Varto ilçesinde 600 mm dolayında ve en yüksek değerlerin (900 mm>) Muş merkezinin güneyinde yer aldığı gözlenir. Yağışın genel olarak kar olarak düştüğü ilde ortalama yağış değerleri 600-650 mm arasındadır. Karasal iklim özelliklerine sahip ilde kış ayları soğuk ve yağışlı iken yaz döneminde yağışlar konveksiyonel olarak gözlenir ve genel olarak düşük yağış etkinliği hâkimdir.

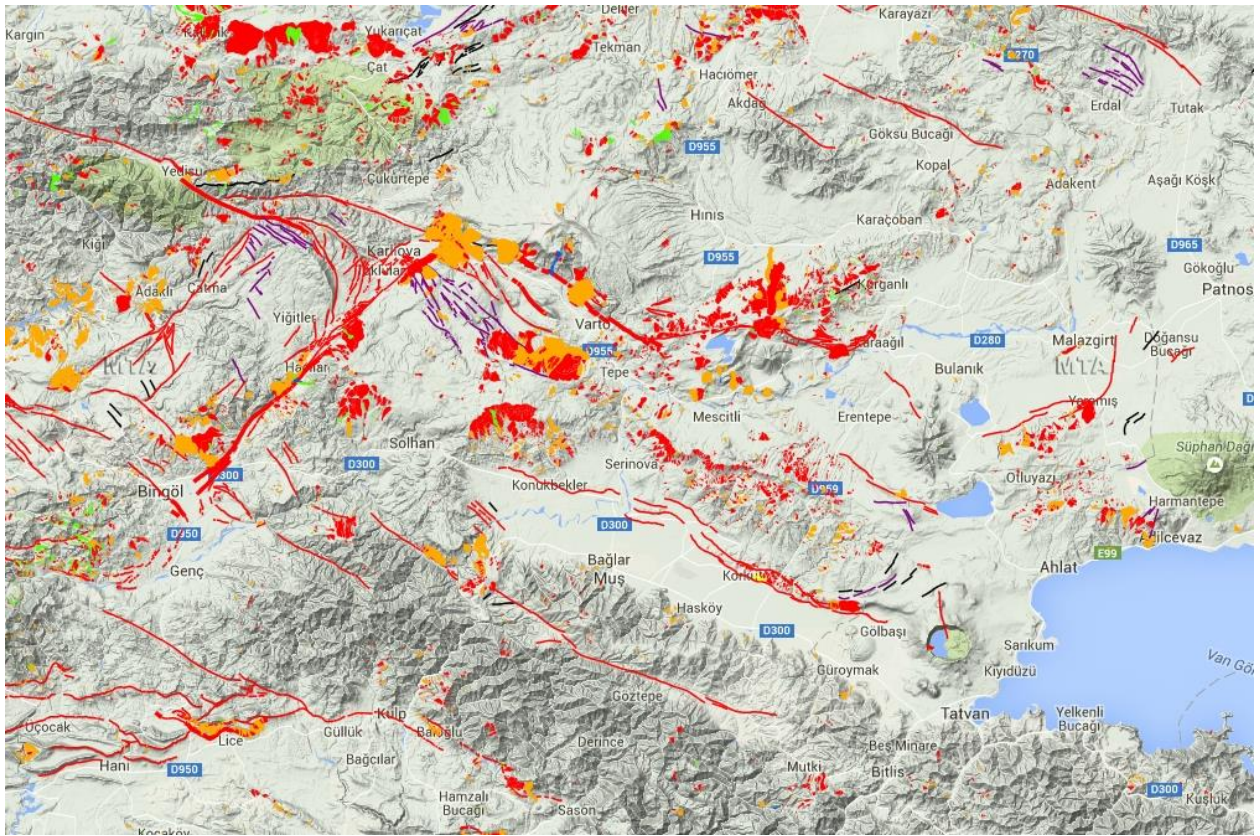


Şekil 4: Muş ilinin ortalama yağış haritası. Ortalama yağış değerleri Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) verilerinden bu çalışma için üretilmiştir.

Muş İlinde Yaşanmış Önceki Kütle Hareketleri, Kütle Hareketlerinin Dağılımı ve Dağılımı Kontrol Eden Faktörler

Muş ili sınırları içerisinde gelişmiş kütle hareketleri genel olarak Korkut ve Varto ilçeleri sınırları içerisinde dağılım göstermektedirler (Şekil 5). Buna karşın AFAD kayıtlarında (Tablo 2) etkilenen hane bakımından en fazla olay Muş merkeze bağlı yerleşimlerde ve Malazgirt ilçesinde kaydedilmiştir. 1963 yılında gerçekleşen Kale ve Dere Mahallelerini etkileyen heyelandan dolayı toplam 192 hane etkilenmiştir. Bunun yanı sıra 1968 yılında Dere Mahallesi'nde

gerçekleşen ve bir çok insanın hayatını kaybetmesiyle sonuçlanan heyelanın (Şekil 6) Çar Çayı'nı geçici olarak setlediği rapor edilmiştir (AFAD, 1970). Heyelanın birikim zonundaki kerpiç yapı stoklarının 26'sının bu heyelandan etkilendiği bunun sonucunda 10'un üzerinde insanın yaşamını yitirdiği bilinmektedir (AFAD, 1970; Mehmet Aydın, TRT Muhabiri sözlü görüşme).



Şekil 5: Muş ilinde yer alan kütle hareketlerinin dağılım haritası (MTA 2010 tarafından üretilmiştir). Kırmızı renk: aktif derin kaymaları, turuncu renk: aktif olmayan derin kaymaları ve yeşil renk: aktif akmaları gösterir. Kaynak: <http://yerbilimleri.mta.gov.tr/anasayfa.aspx>

Tablo 2 : AFAD kayıtlarına göre Muş il ve ilçelerinde yaşanmış kütle hareketleri ve bu afetten etkilenen hane sayısı.

No	Etkilenen İlçe	Etkilenen Köy/Mah.	Afet Türü	Afet Tarihi	Afetten etkilenen hane
1	Bulanık	Seçme	Heyelan	1970	0
2	Bulanık	Eskiyol	Heyelan	1990	14
3	Hasköy	Yarkaya	Heyelan ve Su Baskını	1968	15
4	Korkut	Karakale	Kaya düşmesi	1983	38
5	Korkut	Çalaplı	Heyelan ve Taşkın	1974	7
6	Korkut	Durucak	Heyelan	2007	11
7	Malazgirt	Muryan Köyü	Heyelan	1969	13
8	Malazgirt	Molladerman	Heyelan	1970	25
9	Malazgirt	Güzelbaba	Heyelan	1969	8
10	Malazgirt	Bahçe	Heyelan	1988	12
11	Malazgirt	Bahçe	Heyelan	2007	2
12	Malazgirt	Nurettin	Heyelan	1987	8
13	Merkez	Dumulusu	Heyelan	2006	2
14	Merkez	Eralan	Heyelan	1970	4
15	Merkez	Sağlık	Çığ	1983	1
16	Merkez	Cevzlidere	Heyelan ve Çığ	1970	20
17	Merkez	İnardı	Heyelan,Çığ ve Deprem	1970	15
18	Merkez	Donatım	Heyelan	1969	2
19	Merkez	Dağdibi	Heyelan	1970	20
20	Merkez	Derecik	Heyelan	1968	41
21	Merkez	Suvaran	Heyelan	1968	4
22	Merkez	Karlıdere	Heyelan	1968	9
23	Merkez	Ilıclar	Heyelan	1968	6
24	Merkez	Kale Mah.	Heyelan	1963	192
25	Merkez	Kale Mah.	Heyelan	1967	12
26	Merkez	Dere Mah.	Heyelan	1968	26
27	Merkez	Yamaç	Heyelan	1990	1
28	Merkez	Başparmak	Heyelan	1980	13
29	Merkez	Toprakkale	Heyelan	1994	0
30	Merkez	Savaşçılar	Heyelan	1988	9
31	Varto	Sürügüden	Heyelan	1982	1



Şekil 6: Dere Mahallesi'nde 1968 yılında gerçekleşen derin kayma türündeki heyelanın birikim zonunun görüntüsü (Kaynak: Muş Kültürü, Facebook sayfası).

Farklı aktivite, tip ve boyutlarda olan kütle hareketleri genellikle kayma türünde heyelanlardan oluşur (MTA, 2010). MTA tarafından haritalanan heyelanların sayısı 800'ün üzerindedir. Fakat yaptığımız saha çalışmaları bir çok yeni ve askıdaki (ing. *dormant*) heyelanın haritalanmadığını göstermiştir. Dolayısıyla gerçekte varolan heyelanlar haritalanan rakamın çok üzerindedir.

İl sınırları içerisinde gelişmiş heyelanların dağılımı belirgin bir desene sahiptir. Heyelanların Korkut ilçesi kuzeyinde yer alan ve MTA (2008) tarafından aktif bir bindirme fayı olarak haritalanmış Muş Fay Zonu'nun tavan bloğunda yer alan heyelanların büyük bir kısmı halen aktif heyelanlardır (Şekil 5). Alansal bakımdan daha büyük heyelanların Varto ilçesi ve Konukbekler Köyü'nün kuzeyinde yer aldığı görülmektedir. 2014 ve 2015 dönemlerinde yaptığımız saha gözlemlerinde bu heyelanların bir çoğunun daha eski heyelan kütlelerinin içerisinde yeniden hareketlenen kütleler olduğu tespit edilmiştir (Şekil 7). Genellikle derin hareketler olan (kayma düzleminin derinliği $5>$) bu heyelanların belirli litolojik ve yapısal zonlarda dağılım göstermektedir.



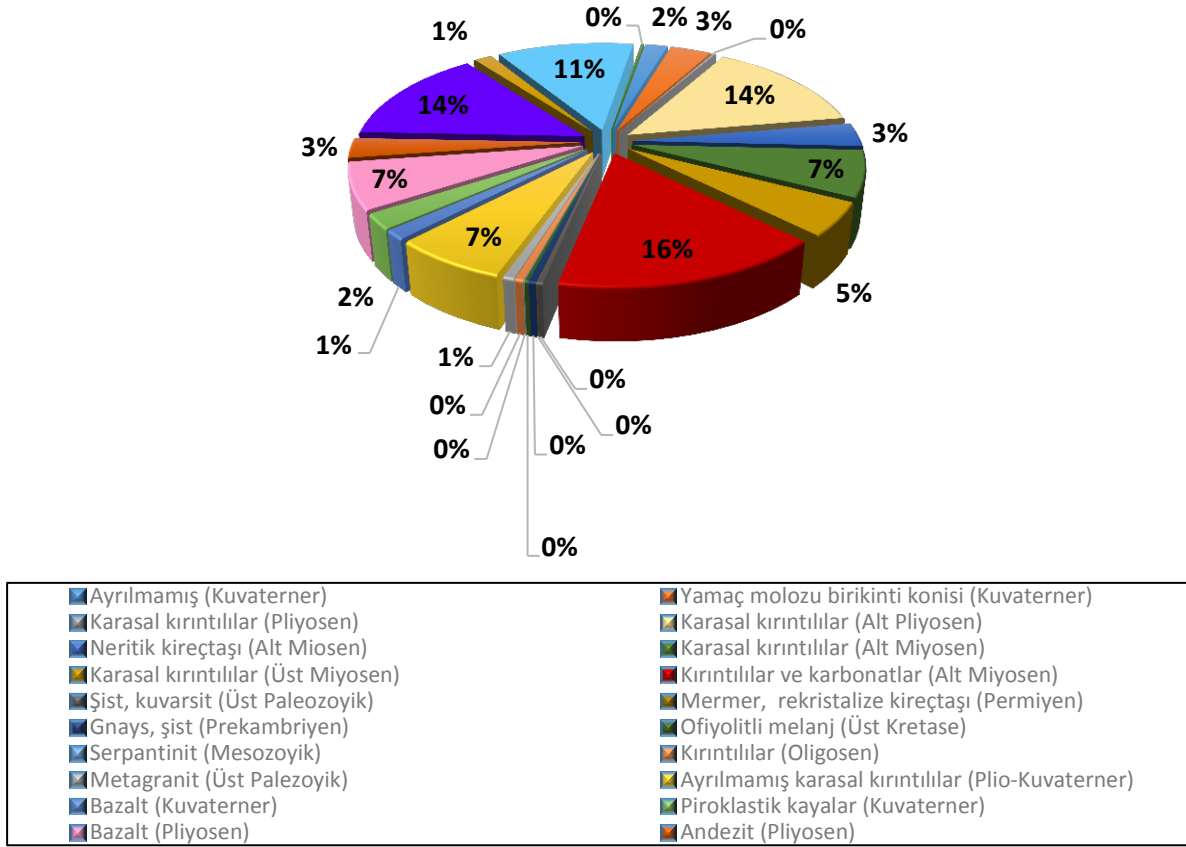
Şekil 7: Eski heyelan kütlelerinin ana gövdelerinde yeniden hareketlenen kesimler. (A) Ağartı Köyü üst yamaçlarında ve (B) Mercimek Kale dolaylarında tarihsel heyelanlar içerisinde gelişmiş ikincil heyelanlar.

Bölgede yağışlı ilkbahar dönemi ve bu dönemde eriyen kar suları ile hidrolojik bilançoda belirgin artışlar söz konusudur. Bu tip artışların söz konusu dönemlerde sığ heyelanların gelişimi üzerinde tetikleyici bir mekanizma olarak etkisi büyüktür. Son iki yıllık dönemde ana ulaşım ağları ve bazı kırsal yerleşimlerin doğrudan bu heyelanlardan etkilendiği gözlenmiştir. Bunlardan bazıları çok yüzeysel ve yavaş hareket eden tipde heyelanlarken bazılarının çok daha ani olduğu rapor edilmiştir (Şekil 8).

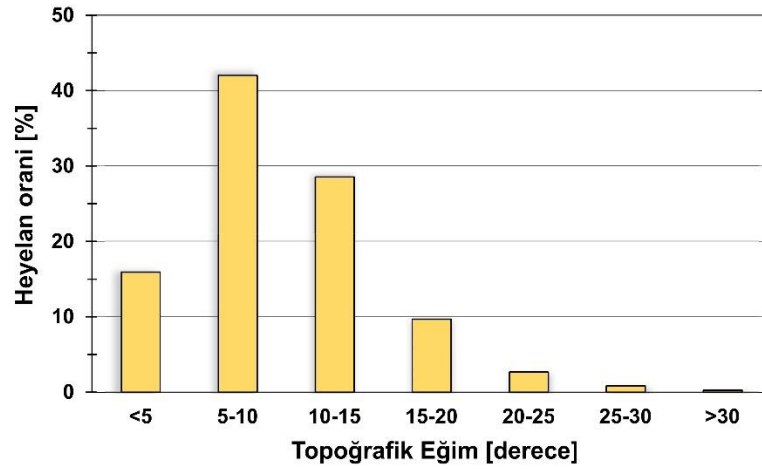


Şekil 8: İlkbahar döneminde (2014-2015) gelişen sığ ve aktif heyelanlara örnekler. (A) Kızılağaç beldesinde gelişmiş sığ kaymalar, (B) Varto yolu üzerinde gelişen heyelana bağlı yolda oluşan deformasyon, (C) Şahinler Köyü mevkiinde yolda gelişen sığ bir kayma, (D) Ağartı köyünde 2014 yılında gelişen heyelana bağlı olarak oluşan yapı hasarları.

İl sınırları içerisinde gerçekleşmiş heyelanlı alanlar litolojik bakımdan en fazla Alt Miyosen yaşlı karasal kırıntılılar ve karbonatlı kayalarda gelişmişlerdir. Toplam heyelan oranı %16 olan bu birimden sonra en fazla heyelan içeren birimler sırasıyla; Üst Miosen yaşlı bazaltlar (%14), Alt Pliyosen yaşlı karasal kırıntılılar (%14) ve Üst Miyosen yaşlı piroklastik kayalardır (%11). Litolojik birimlerin heyelan oranları Şekil 9’da detaylı olarak verilmiştir. Sahada özellikle az pekişmiş ve karbonatlı birimlerin heyelana daha fazla duyarlı olduğu genel dağılıma bakılarak söylenebilir. Topoğrafik bakımdan yeterli eğim koşullarının olduğu ve söz konusu litolojik birimlerde yükselen heyelan oranları bölgede genel olarak 5°-20° derece eğim değerleri arasında yoğunlaşır (Şekil 10).



Şekil 9: Muş ilinde litolojik birimlere göre heyelan oranları (%).



Şekil 10: Muş ilinde topoğrafik eğim sınıflarına göre heyelan oranları (%).

Eğim değerlerine bakıldığında, 5-10 derece arasındaki eğim sınıfı heyelanları % 42'sini içerir. Bu sınıftan sonra en fazla heyelan oranına sahip eğim grubu % 28 ile 10-15 derece arasındaki sınıftır (Şekil 10).

Muş İlinde Kütle Hareketlerine Duyarlı Alanların Analizi

Veri ve Yöntem

Çalışmanın bu kısımda ilin kütle hareketlerine karşı olan duyarlılığı değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmeler sırasında altlık olarak 1:25000 ölçekli topoğrafik paftalardan elde edilen Sayısal Yükseklik Modeli kullanılmıştır. Kullanılan SYM'nin yersel çözünürlüğü 30m'dir. Bu veriden morfometrik analizlerin yapılmasında ve heyelan duyarlılığında kullanılan eğim, akarsu gücü indeksi gibi topoğrafik türevlerin üretilmesinde de yararlanılmıştır. Bunun yanı sıra çalışmada, 1:500000 ölçekli olarak MTA tarafından üretilen jeoloji haritaları kullanılmıştır.

Yöntem olarak Negnevitsky (2002) tarafından önerilen koşullu olasılık yaklaşımı kullanılmıştır. Koşullu olasılık yaklaşımını Negnevitsky (2002); "A olayının gerçekleşme olasılığını B'nin olma koşuluna bağlıdır" şeklinde tanımlamıştır. Daha detaylı olarak, koşullu olasılık yöntemi heyelan oluşumunu hazırlayan ve heyelan gelişimini denetleyen faktörleri dikkate alır. Bu bakımdan heyelanların içerisinde geliştiği koşullar aynı zamanda gelecekte gelişebilecek heyelanlar için benzer koşulları ifade ettiği gibi bu yaklaşım ile bir takım nedenlerden dolayı eksik haritalanan heyelanların yarı-otomotize kestirilmesinde de kullanılabilir (Gökçeoğlu vd., 2005). Yöntemde her bir koşul uygun sınıf aralıklarına ayrılır ve bu sınıf aralıklarına karşılık gelen alanların heyelan alanlarına oranı hesaplanarak olasılık değerleri tanımlanır (yöntemin detayları için bkz. Clerici vd., 2002). Koşullu olasılığın matematiksel ifadesi aşağıda ifade edilen formüldeki (eş. 1) gibi tanımlanmaktadır (Negnevitsky, 2002)

$$P(A|B) = N_{A-B} / N_B \quad (1)$$

burada $P(A|B)$ A ve B'nin kaç defa olabileceğini, ve N_B B'nin kaç defa meydana gelebileceğini ifade eder. A'nın ve B'nin kaç defa olabileceği veya her ikisinin olma olasılığı "ortak olasılık" olarak tanımlanır (Gökçeoğlu vd., 2005). Matematiksel olarak $P(A \cap B)$ şeklinde ifade edilir. B'nin farklı yollarla olabilirliği B'nin olasılığını ifade eder, $P(B)$;

$$P(A|B) = P(A \cap B)/P(B) \quad (2)$$

Benzer olarak B olayının koşullu olasılığı A olayının eşit şekilde gerçekleşmesine bağlıdır. Bu durumda;

$$P(B|A) = P(B \cap A)/P(A) \quad (3)$$

Bundan dolayı;

$$P(B \cap A) = P(B|A) \times P(A) \quad (4)$$

Koşullu olasılık değiştirilebilir, bu bakımdan;

$$P(A \cap B) = P(B \cap A) \quad (5)$$

Bundan dolayı;

$$P(A|B) = [P(B|A)]/P(A) \quad (6)$$

Yöntemin sonuncu eşitliği ise literatürde Bayes teoremi olarak bilinir. Bu teorem bir rassal değişken için olasılık dağılımı içinde koşullu olasılıklar ile marjinal olasılıklar arasındaki ilişkiyi gösterir (Bayes, 1763). Bu esasa göre A olayının varlığı biri diğerinden bağımsız olmayan birdizi olaya bağlıdır.

B_1, B_2, \dots, B_n .

Bu kurala göre eşitlik 6'da verilen formül aşağıdaki biçimde türetilebilir:

$$P(A \cap B_1) = P(A|B_1) \times P(B_1)$$

$$P(A \cap B_2) = P(A|B_2) \times P(B_2)$$

:

:

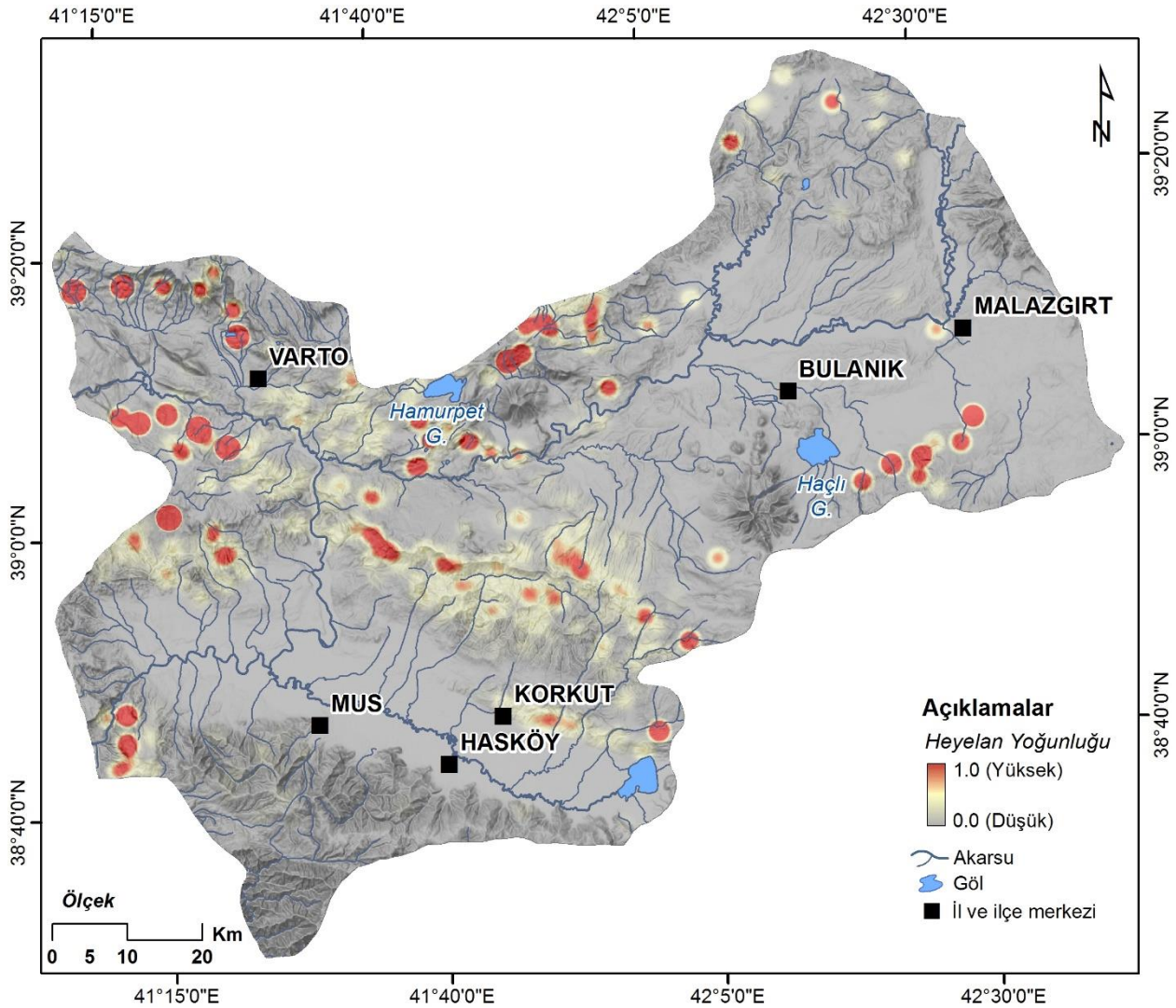
$$P(A \cap B_n) = P(A|B_n) \times P(B_n)$$

veya bunların bileşkesi aşağıdaki eşitlikteki gibi ifade edilebilir;

$$P(A) = \sum_{i=1}^n P(A \cap B_i) = \sum_{i=1}^n P(A|B_i) \times P(B_i) \quad (7)$$

Çalışmada 2014-2015 yıllarında farklı dönemlerde yaptığımız saha gözlemleri ve kütle hareketlerinin dağılımını ve bunları kontrol eden faktörlerin tanımsal istatistik değerlerine ve sezgisel değerlendirmelere göre kütle hareketlerinin duyarlılığını ortaya koyulmasında: litoloji, topoğrafik eğim, rölyef ve topuk aşındırmasının etkin olduğu sahada akarsu gücü indeksi koşul

parametreleri olarak kullanılmıştır. Sınıf aralıklarının hesaplanmasında herhangi bir yaklaşım dikkate alınmamıştır. Sahadaki genel dağılımı ve diğer faktörlerle karşılaştırmak için MTA tarafından oluşturulan heyelan envanteri kullanılarak yoğunluk haritaları üretilmiştir. (Şekil 11).



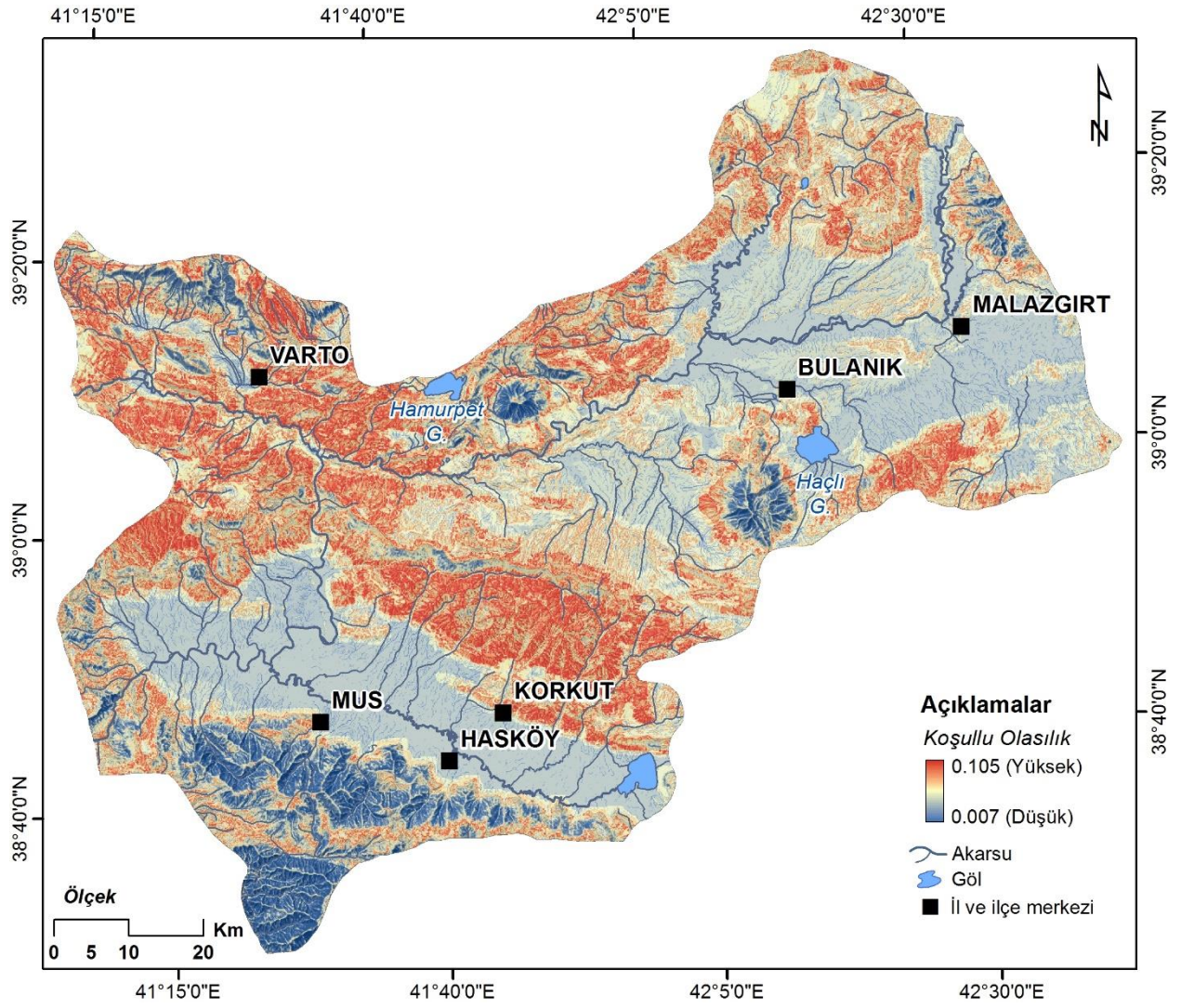
Şekil 11: Muş iline ait heyelan yoğunluk haritası. Yoğunluk hesaplamaları sırasında örneklem dairesinin yarıçapı 2 km olarak seçilmiştir. Yoğunlukta MTA tarafından oluşturulan ve 1:500000 ölçeğinde yayınlanmış heyelan envanter haritası ve buradaki heyelandan etkilenen alanlar temel alınmıştır.

Bu çalışmada yukarıda, yöntem kısmında özetlenen ve bu özeti sonucunda verilen 7 numaralı eşitlik sahada kütle hareketlerinin duyarlılığının ortaya konulmasında kullanılmıştır. Sahadaki

tüm heyelanlar için uygulanan olasılık değerleri her bir koşul parametresi için ayrı ayrı hesaplanmış daha sonra bu olasılık değerleri toplanarak duyarlılık haritası oluşturulmuştur.

Muş ilinin heyelan duyarlılığı

Koşullu olasılık yöntemi kullanılarak oluşturulan duyarlılık haritası Şekil 12’de verilmiştir.



Şekil 12: Muş iline ait kütle hareketi duyarlılık haritası.

Tablo 3: Parametrelere ilişkin koşullu olasılık değerleri

Sınıflar	Parametre Piksel Sayısı	Heyelan Piksel Sayısı	P(A/Bi)	P(Bi)	P(A)
Litoloji					
Ayrılmamış (Kuvaterner)	197971	1615	0.00815776	0.186410036	0.001521
Yamaç molozu birikinti konisi (Kuvaterner)	6442	2881	0.44722136	0.006065805	0.002713
Karasal kırıntılılar (Pliyosen)	6567	193	0.029389371	0.006183505	0.000182
Karasal kırıntılılar (Alt Pliyosen)	68373	12171	0.178008863	0.064380204	0.011460
Neritik kireçtaşı (Alt Miosen)	19273	3025	0.156955326	0.01814751	0.002848
Karasal kırıntılılar (Alt Miyosen)	33970	5865	0.17265234	0.031986245	0.005523
Karasal kırıntılılar (Üst Miyosen)	40554	4224	0.10415742	0.038185758	0.003977
Kırıntılılar ve karbonatlar (Alt Miyosen)	74235	13720	0.184818482	0.069899879	0.012919
Şist, kuvarsit (Üst Paleozoyik)	30378	275	0.009052604	0.028604008	0.000259
Mermer, rekristalize kireçtaşı (Permien)	8818	21	0.002381492	0.008303053	0.000020
Gnays, şist (Prekambriyen)	59156	370	0.006254649	0.055701452	0.000348
Ofiyolitli melanaj (Üst Kretase)	1517	181	0.119314436	0.001428411	0.000170
Serpantinit (Mesozoyik)	1213	42	0.034624897	0.001142164	0.000040
Kırıntılılar (Oligosen)	4126	434	0.105186621	0.003885053	0.000409
Metagranit (Üst Paleozoyik)	5812	571	0.09824501	0.005472595	0.000538
Ayrılmamış karasal kırıntılılar (Plio-Kuvaterner)	141718	5912	0.041716649	0.133442057	0.005567
Bazalt (Kuvaterner)	60233	1190	0.019756612	0.056715558	0.001121
Piroklastik kayalar (Kuvaterner)	21887	1946	0.088911226	0.020608859	0.001832
Bazalt (Pliyosen)	85836	5875	0.068444476	0.080823413	0.005532
Andezit (Pliyosen)	23454	2539	0.108254456	0.022084351	0.002391
Bazalt (Üst Miyosen)	63049	12311	0.195260829	0.059367111	0.011592
Andezit (Üst Miyosen)	37099	1290	0.034771827	0.03493252	0.001215
Piroklastik kayalar (Üst Miyosen)	40960	9883	0.24128418	0.038568048	0.009306
Andezit (Orta Miyosen)	4594	166	0.036134088	0.004325723	0.000156
Diğer litolojik birimler	24784	0	0	0.023336682	0.000000
Rölyef					
<100	301894	2437	0.00807237	0.284264217	0.002295
100-200	252768	12652	0.050053804	0.238007041	0.011913
200-300	227223	30605	0.13469147	0.213953799	0.028818
300-400	139997	26873	0.191954113	0.131821559	0.025304
400-500	71828	9391	0.130742886	0.067633442	0.008843
500>	68309	4742	0.069419842	0.064319942	0.004465
Eğim					
<5	498287	13845	0.027785192	0.469188404	0.013036
5-10	275133	36497	0.132652208	0.259065987	0.034366
10-15	149635	24799	0.165729943	0.140896726	0.023351
15-20	74533	8375	0.112366334	0.070180477	0.007886
20-25	39044	2290	0.058651777	0.036763937	0.002156
25-30	19015	651	0.034236129	0.017904576	0.000613
>30	6370	243	0.038147567	0.005998009	0.000229
Akarsu güç indeksi					
<0.2	608317	31558	0.051877557	0.572792954	0.029715
0.2-0.5	191804	20419	0.106457634	0.180603172	0.019227
0.5-1.0	124340	16448	0.132282451	0.117078885	0.015487
1.0-3.0	111791	15143	0.135458132	0.105262712	0.014259
3.0>	25765	3132	0.121560256	0.024260395	0.002949

Duyarlılık analizinde kullanılan parametreler ve bunlar için hesaplanan koşullu olasılık değerleri Tablo 3’de verilmiştir. Her bir alt parametre için hesaplanan koşullu olasılık değerlerinin karşılık geldiği piksellerin toplanarak oluşturulduğu haritada (Şekil 12) kullanılan parametrelerden en önemli faktörün sırasıyla litoloji, topoğrafik eğim, ve rölyef ve akarsu gücü olduğu ortaya koyulmuştur.

Koşullu olasılık değerlerine bakıldığında; Muş il merkezinin güneyinde yer alan Genç Dağları (Bitlis Dağları) metamorfik serileri üzerinde heyelan duyarlılığı çok düşüktür. Bu alanların dışında eğimin düşük olduğu Muş ve Bulanık ovalarında ve dağlık alanların çevresindeki etek düzlüklerinde ve görelî olarak daha alçak alanlarda da bu oran çok düşüktür. Bu bakımdan bu ve benzeri alanlarda gelecekte de heyelan görülme olasılığı çok düşüktür. Haçlı Gölü’nün güneybatısındaki Pliyosen yaşlı bazaltlarda ve Hamurpet Gölü’nün doğusundaki andezitlerde kütle hareketi duyarlılık değerleri düşüktür. Buna karşın Varto ve Korkut ilçelerinin kuzeyinde, Haçlı Gölü (Bulanık) doğusunda duyarlılık değerlerinin çok yüksek olduğu ortaya koyulmuştur (Şekil 12).

Sonuçlar

Projenin bu kısmında Muş ili sınırları içerisindeki kütle hareketleri ve buna ilişkin gelecekte kütle hareketlerine duyarlı alanların mekansal değerlendirilmesinin sonuçları aşağıda ana maddeler halinde özetlenmiştir.

- Muş ili kütle hareketleri bakımından son derece yüksek duyarlılığın gözlemlendiği bir alandır. AFAD kayıtlarına bakıldığında sınırlı olayın kaydedildiği görülür. Buna karşın olayların bir çoğu dağlık ve insanı etkilemeyen koşullarda geliştiği için bu etki düşük olarak algılanabilir. Bunun yanı sıra bir çok alanın, özellikle dağ alanlarındaki köy ve mezraların, heyelandan ciddi bir biçimde etkilenmesine karşın gerekli kayıtların tutulmamış olması bu etkiyi daha düşük göstermektedir.
- Kütle hareketi duyarlılığı Muş ili güney kesimlerinde çok düşükken Varto ve Korkut ilçelerinde bu oranın çok yüksek olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Kütle hareketlerinin özellikle belirli litolojik birimlerde meydana geldiği ortaya koyulmuştur. Buna göre; heyelanlar litolojik bakımdan en fazla Alt Miyosen yaşlı karasal kırıntılılar ve karbonatlı kayalarda gelişmişlerdir. Toplam heyelan oranı %16 olan bu birimden sonra en fazla

heyelan içeren birimler sırasıyla; Üst Miosen yaşlı bazaltlar (%14), Alt Pliyosen yaşlı karasal kırıntılılar (%14) ve Üst Miyosen yaşlı piroklastik kayalardır (%11).

- Kütle hareketlerinin büyük bir çoğunluğu ani kar erimeleri ve bahar dönemindeki yoğun yağışlarla tetiklenmektedir. Buna karşın Muş Fay Zonu olarak bilinen ve MTA tarafından haritalan bindirme bileşenli fayın ve Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun devamı olan kollarda (Varto ilçesi ve yakın çevresi) heyelanların yoğunlaşması tektoniğin kütle hareketleri üzerindeki etkisini işaret ettiği gibi gelecekte bu alanlarda sadece hidro-meteorolojik koşulların değil depremlerin de bu tip hareketleri tetikleyebileceğini ifade eder. Dolayısıyla bu alanlarda sadece depremin kendisi değil onun ikincil olarak neden olacağı doğal afetler de dikkate alınmalıdır.
- Çok eski ve geniş alanları etkilemiş kütle hareketleri içeren ildeki gelişmiş daha orta ölçekli kütle hareketleri genel olarak bu eski kütleler içerisinde gelişmişlerdir. Bu süreç özellikle Varto ilçesi ve çevresinde belirgindir. Özellikle Bilek, Ağartı, Çataklı, Buzlugöze, Hüseyinoğlu, Çataklı, Karaköy, Kızılağaç, Savaşçılar, Karaköy, Bulanık-Varto yolu ve Muş-Kulp yolunun 30. kilometresi önemli oranda heyelan tehlikesi taşımaktadır. Bu alanlarda daha detaylı etüdlerin ve önleme çalışmalarının yapılması gerekmektedir.

Kaynaklar

- Abdolmasov, B. and Obradovic, I., 1997. Evaluation of geological parameters for landslide hazard mapping. Proceedings of the International Symposium on Engineering Geology and the Environment. 23-27 June 1997, Athens, Greece, P.G. Marinos, G.C. Koukis, G.C. Tsiambaos and G.C. Stournaras (eds.), Balkema, 471-476.
- Aleotti, P. and Chowdury, R., 1999. Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives. Bull. Eng. Geol. Environ., 21-44.
- Altinli, I.E., 1963. Hydrogeology and geology of Inegol Basin. Ist. Univ. Fac. of Sci. Monographs (Natural Sciences Part) 18 V.3-4, 173-199 (In Turkish).
- Anbalagan, R., 1992a. Terrain evaluation and hazard zonation for environmental regeneration and land-use planning in mountainous terrain. India. Proceedings of 6th International Symposium on the Landslides, 10-14 February 1992, Christchurch, England, D.H. Bell (ed.), Balkema, 861-868.
- Ardel, A., 1943. Morphologic Characteristics of Southern Marmara Region's Basins. Turkish Geography Journal. 2: 1-14 (In Turkish).
- Ardel, A., 1944. Geomorphology of Uludag. Turkish Geography Journal. 5-6: 35-60 (In Turkish).
- Ardel, A., 1947. Inegol plain and vicinity (Geomorphological Analysis). Turkish Geography Journal. 9-10: 50-67 (In Turkish).
- Atkinson, P.M. and Massari, R. 1998. Generalised linear modelling of susceptibility to landsliding in the Central Apennines, Italy. Computers & Geosciences, 24, 4, 373-385.
- Atkinson, P.M., and Massari R. 1998. Generalised Linear Modelling Of Susceptibility To Landsliding In The Central Apennines, Italy. Computers & Geosciences Vol. 24, No. 4, pp. 373-385.
- Ayalew L., Yamagishi H., Ugawa N., 2004. Landslide susceptibility mapping using GIS-based weighted linear combination, the case in Tsugawa area of Agano River, Niigata Prefecture, Japan. Landslides 1:73-81.
- Ayalew, L., Yamagishi, H., Marui, H., Kanno, T., 2005. Landslides in Sado Island of Japan Part II. GIS-based susceptibility mapping with comparisons of results from two methods and verifications. Engineering Geology, 81, 432-445.
- Ayalew, L., Yamagishi, H., Marui, H., Kanno, T., 2005. Landslides in Sado Island of Japan Part II. GIS-based susceptibility mapping with comparisons of results from two methods and verifications. Engineering Geology, 81, 432-445.
- Aynew, T. and Barbieri, G., 2005. Inventory of landslides and susceptibility mapping in the Dessie area, northern Ethiopia. Engineering Geology, 77, 1/2, 1-15.
- Baeza, C. and Corominas, J., 2001. Assessment of shallow landslide susceptibility by means of multivariate statistical techniques. Earth Surface Processes and Landforms, 26, 1251-1263.
- Baeza, C., and Corominas J., 2001. Assessment of shallow landslide susceptibility by means of multivariate statistical techniques. Earth Surf. Process. Landforms 26, 1251-1263.

Borgaa, M., Fontanaa G.D., and Cazorzib F., 2002. Analysis of topographic and climatic control on rainfall-triggered shallow landsliding using a quasi-dynamic wetness index. *Journal of Hydrology* 268 56–71.

Budetta, P., Santo, A., Vivencio, F., 2007. Landslide hazard mapping along the coastline of the Cilento region (Italy) by means of a GIS-based parameter rating approach. Doi:10.1016/j.geomorph.2006.10.034.

Can, T., Nefeslioğlu, H.A., Gökçeoğlu, C., Sönmez, H., Duman, T.Y., 2005. Susceptibility assessments of shallow earthflows triggered by heavy rainfall at three catchments by logistic regression analyses. *Geomorphology*, 72, 250-271.

Carrara A., Cardinali M., Detti R, Guzzetti F., Pasqui V., Reichenbach P., 1991. GIS techniques and statistical models in evaluating landslide hazard. *Earth Surf Process Landforms* 16: 427–445.

Carrara, A., 1983. A multivariate model for landslide hazard evaluation. *Mathematical Geology*. 15, 403–426.

Carrara, A., Cardinali, M., Guzzetti, F. and Reichenbach, P., 1995. GIS Technology in Mapping Landslide Hazard. Carrara A., and Guzzetti F., (Editors), *Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards*, Kluwer Pub., Dordrecht, the Netherlands, 135-175.

Carrara, A., Crosta, G., Frattini P., 2007. Comparing models of debris-flow susceptibility in the alpine environment. *Geomorphology (Inpress)* Doi:10.1016/j.geomorph.2006.10.033.

Castellanos Abella, E.A., Van Westen, C. J., 2007. Generation of a landslide risk index map for Cuba using spatial multi-criteria evaluation. *Landslides* DOI 10.1007/s10346-007-0087-y.

Castellanos Abella, E.A., Van Westen, C.J., 2007. Qualitative landslide susceptibility assessment by multicriteria analysis: A case study from San Antonio del Sur, Guantánamo, Cuba. *Geomorphology (Inpress)* Doi:10.1016/j.geomorph.2006.10.038.

Cevik E., and Topal T., 2003. GIS-based landslide susceptibility mapping for a problematic segment of the natural gas pipeline, Hendek (Turkey). *Environmental Geology* 44:949–962.

Chang, S.C., 1992. The simprecise mapping and evaluation system for engineering geological and landslide hazard zonation. *Proceedings of 6th International Symposium on the Landslides*, 10-14. February 1992, Christchurch, England, D.H. Bell (ed.), Balkema, 905-910.

Chau K. T., and Chan J. E., 2005. Regional bias of landslide data in generating susceptibility maps using logistic regression: Case of Hong Kong Island. *Landslides* 2: 280–290.

Chau, K.T. and Chan, J.E., 2005. Regional bias of landslide data in generating susceptibility maps using logistic regression Case of Hong Kong Island. *Landslides*, 2, 280-290.

Chorley, R.J., 1966. The application of statistical methods to geomorphology. In Dury, G.H. (Ed.) *Essays in Geomorphology* (Heinemann, London), 275-387.

Choubey, V.D., and Litoria, P.K., 1990. Landslide hazard zonation in the Garhwal Himalaya, A terrain evaluation approach. *Proceedings of 6th International Association of Engineering Geology Congress*, 6-10 August 1990, Amsterdam, Netherlands, D.G. Price (ed.), Balkema, 65-72.

- Choubey, V.D., Chaudhari, S., and Litoria, P.K., 1992. Landslide hazard zonation in Uttarkashi and Tehri districts, U.P. Himalaya, India. Proceedings of 6th International Symposium on the Landslides, 10-14 February 1992, Christchurch, England, D.H. Bell (ed.), Balkema, 911-917.
- Chowdhury, R.N., and Flentje, P.N., 1997. Relevance of mapping for slope stability in Greater Wollongong area, New South Wales, Australia. Proceedings of International Symposium on Engineering Geology and the Environment. 23-27 June 1997, Athens, Greece, P.G. Marinos, G.C. Koukis, G.C. Tsiambaos and G.C. Stournaras (eds.), Balkema, 569-574.
- Chung, C. J., Fabbri, A., and Van Westen, C. J.: 1995. Multivariate regression analysis for landslide hazard zonation, In: A. Carrara and F. Guzzetti (eds), Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards, Kluwer, pp 107–133.
- Clerici, A., Perego S., Tellini C., and Vescovi P., 2002. A procedure for landslide susceptibility zonation by the conditional analysis method. *Geomorphology* 48 349–364.
- Clerici, A., Perego, S., Tellini, C., Vescovi, P., 2006. A GIS-based automated procedure for landslide susceptibility mapping by the Conditional Analysis method: the Baganza valley case study (Italian Northern Apennines). *Environ. Geol.*, DOI 10.1007/s00254-006-0264-7.
- Coelho-Netto, N.L., Avelar, A.S., Fernandes, M.C., Lacerda, W.A., 2006, Landslide susceptibility in a mountainous geocosystem, Tijuca Massif, Rio de Janeiro: The role of morphometric subdivision of the terrain. *Geomorphology*, 87(3): 120-131.
- Conoscenti, C., Di Maggio, C., Rotigliano, E., 2007. GIS-analysis to assess landslide susceptibility in a fluvial basin of NW Sicily (Italy). *Geomorphology (Inpress)* Doi:10.1016/j.geomorph.2006.10.039.
- Crozier, M.J., 1986. *Landslides: Causes, Consequences & Environment*. Croom Helm Pub., London.
- Crozier, M.J., 1992. Determination of paleosismicity from landslides. In *landslides (Glissements de terrain)* (D.H. Bell, ed.), Int. Symp., 6th, Christchurch, New Zealand, 1992, Vol.2, pp1173-1180. A.A. Balkema, Rotterdam.
- Crozier, M.J., 1999. Prediction of rainfall-triggered landslides: a test of the antecedent water status model. *Earth. Surf. Processes Landf.* 24:825–833.
- Cruden, D.M., Varnes, D.J., 1996. Landslide types and processes. In: Turner, A.K., Schuster, R.L. (Eds.), *Landslides, Investigation and Mitigation*. . Transportation Research Board Special Report, vol. 247. National Academy Press, Washington D.C., pp. 36–75.
- Dai, F.C., and Lee C.F., 2003. A spatiotemporal probabilistic modeling of storm-induced shallow landsliding using aerial photographs and logistic regression. *Earth Surf. Process. Landforms* 28, 527–545.
- Dai, F.C., Lee C.F., Li J., and Xu Z.W., 2001. Assessment of landslide susceptibility on the natural terrain of Lantau Island, Hong Kong. *Environmental Geology* 40 (3).
- Dai, F.C., Lee, C.F., Ngai, Y.Y., 2002. Landslide risk assessment and management: an overview. *Engineering Geology*, 64,65-87.

- Duman, T.Y., Çan, T., Gökçeoğlu, C., Nefeslioğlu, H.A., Sönmez, H., 2006. Application of logistic regression for landslide susceptibility zoning of Cekmece Area, Istanbul, Turkey. *Environmental Geology*, 51, 241-256. *Engineering Geology*, 32, 81-100.
- Ercanoglu, M. and Gokceoglu, C., 2002. Assessment of landslide susceptibility for a landslide-prone area (north of Yenice, NW Turkey) by fuzzy approach. *Environmental Geology*, 41, 720-730.
- Ercanoglu, M. and Gokceoglu, C., 2004. Use of fuzzy relations to produce landslide susceptibility map of a landslide prone area (West Black Sea Region, Turkey). *Engineering Geology*, 75, 229-250.
- Ercanoglu, M., Gokceoglu, C., Van Asch, T.W.J., 2004. Landslide susceptibility zoning north of yenice (nw turkey) by multivariate statistical techniques. *Natural Hazards*, 32, 1-23.
- Erguvanli, K. 1954. Geology of Inegol-Domanic Regions. Directorate of Mineral Research and Exploration of Turkey (MTA) Report No: 2374, 204pp (In Turkish).
- Ermini, L., Catani, F., Casagli, N., 2005. Artificial Neural Networks applied to landslide susceptibility assessment. *Geomorphology*, 66, 327-343.
- Evans, I.S., 1963. Map analysis of mean slope. *Geographical Articles (Cambridge)* 2: 34-40.
- Evans, I.S., 1969. The geomorphology and morphometry of glaciated mountains. In Chorley, R.J. (Ed.), *Water, Earth and Man (Methuen, London)*, 369-380.
- Evans, I.S., 1972. General geomorphology, derivatives of altitude and descriptive statistics. In: Chorley, R.J. (Ed.), *Spatial Analysis in Geomorphology*. Harper and Row, NY.
- Evans, I.S., 1981: General geomorphometry. In: Goudie, A. (ed.) *Geomorphologic Techniques*. Allen and Unwin. London. (395 p.): 31-37.
- Fernandez, C.I., Del Castillo, T.F., El Hamdouni, R., and Montero, J.C., 1999. Verification of landslide susceptibility mapping: A case study. *Earth Surface Process and Landforms*. 24, 537-544.
- Garcia-Rodrigueza, M.J., Malpicab, J.A., Benitoa, B, and Diaz M., 2007. Susceptibility assessment of earthquake-triggered landslides in El Salvador using logistic regression. *Geomorphology (Inpress)* Doi: 10.1016/j.geomorph.2007.06.001.
- Gokceoglu, C. and 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. *Eng. Geol.*, 44, 147-161.
- Gokceoglu, C. ve Ercanoglu, M., 2001. Uncertainties on the parameters employed in preparation of landslide susceptibility maps. *Yerbilimleri*, 23, 189-206 (In Turkish).
- Gokceoglu, C., Sonmez, H., Nefeslioglu, H.A., Duman, T.Y., Can, T., 2005. The 17 March 2005 Kuzulu landslide (Sivas, Turkey) and landslide-susceptibility map of its near vicinity. *Engineering Geology* 81 65-83.
- Gomez, H. and Kavzoglu, T., 2005. Assessment of shallow landslide susceptibility using artificial neural networks in Jabonosa River Basin, Venezuela. *Engineering Geology*, 78,11-27.
- Gonzalez-Diez A., Remondo, J., Díaz De Terán J.R., and Cendrero A., 1999. A methodological approach for the analysis of the temporal occurrence and triggering factors of landslides. *Geomorphology* 30: 95-113.

- Goral, M., 1970. Groundwater reserve report of Bursa-Inegol-Yenisehir plains. D.S.I. 120pp. Ankara.
- Gorum, T., Gonencgil, B., Gokceoglu, C., Nefeslioglu, H.A., 2007. Implementation of reconstructed geomorphologic units in landslide susceptibility mapping: the Melen Gorge (NW Turkey). *Nat Hazards* DOI 10.1007/s11069-007-9190-6.
- Gorum, T., Fan, X., van Westen, C. J., Huang, R. Q., Xu, Q., Tang, C., & Wang, G. 2011. Distribution pattern of earthquake-induced landslides triggered by the 12 May 2008 Wenchuan earthquake. *Geomorphology*, 133(3), 152-167.
- Guillande, R., Gelugne, P., Bardintzeff, J.M., Brousse, R., Chorowicz, J., Deffontaines, B., Parrot, J.F., 1993. Cartographie automatique de zones a aleas de mouvement de terrain sur l'ile de Tahiti a partir de donnees digitales. *Bulletin Societe Geologique de France*, 164 (4), 577-583.
- Guinau, M., Pallas, R., Vilaplana, J.M., 2005. A feasible methodology for landslide susceptibility assessment in developing countries A case-study of NW Nicaragua after Hurricane Mitch. *Engineering Geology*, 80, 316-327.
- Gulla, G., Antronico, L., Iaquina, P., Terranova O., 2007. Susceptibility and triggering scenarios at a regional scale for shallow landslides. *Geomorphology* (Inpress) Doi: 10.1016/j. geomorph.2007.10.005.
- Guzzetti, F., Carrara, A., Cardinali, M., and Reichenbach, P., 1999. Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy, *Geomorphology*, 31, 181-216.
- Guzzetti, F., Cardinali, M., Reichenbach, P., Cipolla, F., Sebastiani, C., Galli, M., Salvati, P., 2004. Landslides triggered by the 23 November 2000 rainfall event in the Imperia Province, Western Liguria, Italy. *Engineering Geology*. 73: 229–245.
- Guzzetti, F., Reichenbach, P., Cardinali, M., Galli, M., Ardizzone, F., 2005. Probabilistic landslide hazard assessment at the basin scale. *Geomorphology* 72, 272–299.
- Guzzetti, F., Galli, M., Reichenbach, P., Ardizzone, F., and Cardinali M., 2006. Landslide hazard assessment in the Collazzone area, Umbria, Central Italy. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 6, 115–131.
- Guzzetti, F., Ardizzone, F., Cardinali, M., Galli, M., Reichenbach, P., Rossi, M., 2007. Distribution of landslides in the Upper Tiber River basin, central Italy. *Geomorphology* (Inpress) Doi:10.1016/j.geomorph.2007.07.015.
- Guzzetti, F., Peruccacci, S., Rossi, M., Stark, C.P., 2007. The rainfall intensity duration control of shallow landslides and debris flows: an update. *Landslides* (Inpress) DOI 10.1007/s10346-007-0112-1.
- He, Y., and Beighley B.E., 2007. GIS-based regional landslide susceptibility mapping: a case study in southern California. *Earth Surf. Process. Landforms* (Inpress) DOI: 10.1002/esp.1562. Iran. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 58, 207-213.
- Jacoby, G.C., Williams, P.L., and Buckley, B.M., 1992. Tree ring correlation between prehistoric landslides and abrupt tectonic events in Seattle, Washington. *Science* 258, 1621-1623.
- Jade, S. and Sarkar, S., 1993. Statistical models for slope instability classification. *Engineering Geology*, 36, 91-98.

- Jibson, R.W., and Keefer, D.K., 1992. Analysis of seismic origin of a landslide in the New Madrid seismic zone. *Seismol. Res. Lett.* 63(4).
- Juang, C.H., Lee, D.H., and Sheu, C., 1992. Mapping slope failure potential using fuzzy sets. *Journal of Geotechnical Engineering ASCE*, 118 (3), 475-494.
- Juang, C.H., Lee, D.H., Sheu, C., 1992. Mapping slope failure potential using fuzzy sets. *J. Geotech. Eng. Div., ASCE* 118, 475-493.
- Kalafatcioglu, A., 1961. Geology report of between Bilecik-Kutahya-Tavsanli-Harmancik and Inegol Settlements. Directorate of Mineral Research and Exploration of Turkey (MTA) Report no: 2821, 243pp (In Turkish).
- Kanungo, D.P., Arora, M.K., Sarkar, S., Gupta, R.P., 2006. A comparative study of conventional, ANN black box, fuzzy and combined neural and fuzzy weighting procedures for landslide susceptibility zonation in Darjeeling Himalayas. *Engineering Geology* 85 347–366.
- Kellogg, K.S., 2001. Tectonic controls on a large landslide complex: Williams Fork Mountains near Dillon, Colorado. *Geomorphology* 41: 355–368.
- Korup, O., 2005. Geomorphic imprint of landslides on alpine river systems, southwest New Zealand. *Earth Surf. Process. Landforms* 30, 783–800.
- Lan, H.X., Zhou C.H, Wang L.J., Zhang H.Y., Li R.H., 2004, Landslide hazard spatial analysis and prediction using GIS in the Xiaojiang watershed, Yunnan, China. *Engineering Geology* 76 109–128.
- Lang, A., Moya, J., Corominas, J., Schrott, L., and Dikau, R., 1999. Classic and new dating methods for assessing the temporal occurrence of mass movements. *Geomorphology* 30: 33–52.
- Lee S., and Min K., 2001. Statistical analysis of landslide susceptibility at Yongin, Korea. *Environmental Geology* 40: 1095-1113.
- Lee S., Chai J., 2004. Landslide susceptibility mapping using GIS and the weight-of-evidence model. *Int. J. Geographical Information Science* Vol. 18, No. 8, 789–814.
- Lee S., Ryu J.H., Lee M.J., and Won J.S., 2003. Use of an artificial neural network for analysis of the susceptibility to landslides at Boun, Korea. *Environmental Geology* 44:820–833.
- Lee, S, Ryu J.H., Min K, and Won J.S., 2003. Landslide susceptibility analysis using GIS and artificial neural network. *Earth Surf. Process Landforms*. 28, 1361–1376.
- Lee, S., 2005. Application of logistic regression model and its validation for landslide susceptibility mapping using GIS and remote sensing data. *International Journal of Remote Sensing*. Vol. 26, No. 7, 10, 1477–1491.
- Lee, S., and Sambath, T., 2006. Landslide susceptibility mapping in the Damrei Romel area, Cambodia using frequency ratio and logistic regression models. *Environ Geol* 50: 847–855.
- Lee, S., Choi J., and Min K., 2002a. Landslide susceptibility analysis and verification using the Bayesian probability model. *Environmental Geology* 43:120–131.
- Lee, S., Chwae U., and Min K., 2002b. Landslide susceptibility mapping by correlation between topography and geological structure the Janghung area, Korea. *Geomorphology* 46 149–162.

- Lee, S., Ryu, J.H., Kim, I.S., 2007. Landslide susceptibility analysis and its verification using likelihood ratio, logistic regression, and artificial neural network models: case study of Youngin, Korea. *Landslides* (Inpress) DOI 10.1007/s10346-007-0088.
- Luzi, L., and Pergalani, F., 1999. Slope instability in static and dynamic conditions for urban planning: the "Oltre Po Pavese" case history (Regione Lombardia-Italy). *Natural Hazards*, 20, 57-82.
- Maharaj, R., 1993. Landslide processes and landslide susceptibility analysis from an upland watershed: A case study from St. Andrew, Jamaica, West Indies. *Engineering Geology*, 34, 53-79.
- McCalpin, J.P., 1986. Relative dating and age classification of landslides. *Assoc. Eng. Geol., Abstr. Prog. 29th Annu. Meet., San Francisco*, p.56.
- McKenzie, D. P., 1972, Active tectonics of the Mediterranean region: *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, v. 30, pp. 109-185.
- Mehrotra, G.S., Sarkar, S., and Dharmaraju, R., 1992. Landslide hazard assessment in Rishikesh-Tehri area, Garhwal Himalaya, India. *Proceedings of 6th International Symposium on the Landslides*, 10-14 February 1992, Christchurch, England, D.H. Bell (ed.), Balkema, 1001-1007.
- Mejia-Navarro, M., and Wohl, E.E., 1994. Geological hazard and risk evaluation using GIS: methodology and model applied to Medellin, Columbia. *Bulletin of Association of Engineering Geologists*, 31(4), 459-481.
- Melchiorre, C., Matteucci, M., Azzoni, A., Zanchi, A., 2007. Artificial neural networks and cluster analysis in landslide susceptibility zonation. *Geomorphology* (Inpress) Doi:10.1016/j.geomorph.2006.10.035.
- Melton, M.A. 1958a. Geometric properties of mature drainage systems and their representation in an E₄ phase space. *Journal of Geology* 66:35-54.
- Melton, M.A. 1958b. Correlation structure of morphometric properties of drainage systems and their controlling agents. *Journal of Geology*. 66: 442-460.
- Melton, M.A., 1957. An analysis of the relations among elements of climate, surface properties and geomorphology. Office of Naval Research, Geography Branch, ONR Task no: 389-042, Tech. Report no: 11, Department of Geology, Columbia Univ. 102p.
- Moore, I.D., Grayson, R.B., Ladson, A.R., 1991. Digital terrain modeling: a review of hydrological, geomorphological, and biological applications. *Hydrological Processes* 5, 3-30.
- Nagarajan, R., Anupam Mukherjee, A.R., And Khire M.V., 1998. Temporal remote sensing data and GIS application in landslide hazard zonation of part of Western ghat, India. *Int. J. Remote Sensing*, Vol. 19, no. 4, 573-585.
- Nagarajan, R., Roy, A., Vinod Kumar, R., Mukherjee, A., and Khire, M.V., 2000. Landslide hazard susceptibility mapping based on terrain and climatic factors for tropical monsoon regions. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 58, 275-287.
- Nefeslioglu, H.A., Duman, T.Y., Durmaz, S., 2007. Landslide susceptibility mapping for a part of tectonic Kelkit Valley (Eastern Black Sea region of Turkey). *Geomorphology* (Inpress) Doi:10.1016/j.geomorph.2006.10.036.

- Nikonov, A.A., 1988. Reconstruction of the main parameters of old large earthquakes in Soviet Central Asia using paleoseismogeological method. *Tectonophysics* 147,297-312.
- Pachauri, A. K. and Pant, M., 1992. Landslide hazard mapping based on geological attributes. *Engineering Geology*, 32, 81-100.
- Pachauri, A. K., Gupta P. V. and Chander R., 1998. Landslide zoning in a part of the Garhwal Himalayas. *Environmental Geology* 36 (3-4), 325-334.
- Parejas, E., 1941. Tectonic of Turkey. *Ist. Univ. Fac. Of Sci. Monographs (Natural Sciences Part) 1*: 70-99 (In Turkish).
- Parise, M., and Jibson R.W., 2000. A seismic landslide susceptibility rating of geologic units based on analysis of characteristics of landslides triggered by the 17 January, 1994 Northridge, California earthquake Mario. *Engineering Geology* 58 251-270.
- Parrot, J.F., 1993. Cartographie automatique de zones a aleas de mouvement de terrain sur l'île de Tahiti a partir de donnees digitales. *Bulletin Societe Geologique de France*, 164 (4), 577-583.
- Penck, W., 1918. *Die Tektonischen Grundzüge Westkleinasiens*. Stuttgart.
- Petley, D. (2012). Global patterns of loss of life from landslides. *Geology*, 40(10), 927-930.
- Philippon, A., 1918. *Reisen und Forschungen im Westlichen Kleinasien*. III. Heft, *Pet. Mittl. Erg.* 117. Gotha 1913-Kleinasien. *Handbuch der Regionalen Geologie*, Heidelberg.
- Pondard, N., Armijo, R., King, G., Meyer, B., and Flerit, F., 2007. Fault interactions in the Sea of Marmara pull-apart (North Anatolian Fault): Earthquake clustering and propagating earthquake sequences. *Geophysical Journal International (Inpress) GJI-06-0112.R2*.pp. 17-90.
- Pradhan, B., Singh, R.P., Buchroithner, M.F., 2005. Estimation of stress and its use in evaluation of landslide prone regions using remote sensing data. *Advances in Space Research*, 37(4): 698-709.
- Reilinger, R., McClusky, S., Vernant, P., Lawrence, S., Ergintav, S., Cakmak, R., Ozener, H., Kadirov, F., Guliev, I., Stepanyan, R., Nadariya, M., Hahubia, G., Mahmoud, S., Sakr, K., ArRajehi, A., Paradissis, D., Al-Aydrus, A., Prilepin, M., Guseva, T., Evren, E., Dmitrotsa, A., Filikov, S.V., Gomez, F., Al-Ghazzi, R. and Karam, G., 2006, GPS constraints on continental deformation in the Africa-Arabia-Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions. *Journal of Geophysical Research*, 111, B05411, doi:10.1029/2005JB004051.
- Remondo, J., Gonzalez-Diez A., Díaz De Terán J.R., and Cendrero A., 2003. Landslide Susceptibility Models Utilising Spatial Data Analysis Techniques. A Case Study From The Lower Deba Valley, Guipuzcoa (Spain). *Natural Hazards* 30: 267-279.
- Remondo, J., Sato, J., Gonzalez-Diez, A., Díaz De Teran, J.R., and Cendrero A., Human impact on geomorphic processes and hazards in mountain areas in northern Spain. *Geomorphology* 66 69-84.
- Research, 111, B05411, doi:10.1029/2005JB004051.
- Rishikesh-Tehri area, Garhwal Himalaya, India. Proceedings of 6th International Symposium on the Landslides, 10-14 February 1992, Christchurch, England, D.H. Bell (ed.), Balkema, 1001-1007.
- Ruff, M., and Czurda, K., 2007. Landslide susceptibility analysis with a heuristic approach at the Eastern Alps (Vorarlberg, Austria). *Geomorphology (Inpress) Doi:10.1016/j. geomorph. 2006.10.032*.

- Saha, A.K., Gupta, R.P., Sarkar, I.S., Arora, M.K., Csaplovics, E., 2005_An approach for GIS-based statistical landslide susceptibility zonation-with a case study in the Himalayas. *Landslides*, 2, 61-69.
- Santacana, N., Baeza B., Corominas J., De Paz A., and Marturia J., 2003. GIS-Based Multivariate Statistical Analysis for Shallow Landslide Susceptibility Mapping in La Pobla de Lillet Area (Eastern Pyrenees, Spain). *Natural Hazards* 30: 281–295.
- Scheidegger, A.E., 1998. Tectonic predesign of mass movements, with examples from the Chinese Himalaya. *Geomorphology* 26: 37–46.
- Schuster, R.L., Logan, R.L., and Pringle, P.T., 1992. Prehistoric rock avalanches in the Olympic Mountains, Washington. *Science* 258, 1620-1621.
- Sengör, A. M. C., 1979, The North Anatolian Transform Fault: its age, offset and tectonic significance: *Journal of the Geological Society of London*, v. 136, pp. 269-282.
- Sengör, A.M.C., Tüysüz, O., Imren, C., Sakıncı, M., Eyidoğan, H., Görür, N., Le Pichon, X. and Rangin, C., 2005, The North Anatolian Fault: A new look, *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, 33, 1-75.
- Singh, L.P., Van Westen, C.J., Ray, P.K.C. Pasquali, P., 2005. Accuracy assessment of InSAR derived inputmaps for landslide susceptibility analysis a case study from the Swiss Alps. *Landslides*, 2, 221-228.
- Soeters, R. and Van Westen C. J.: 1996. Slope Instability Recognition, Analysis and Zonation, In: Turner, A. K. and Schuster, R. L. (eds), *Landslides, investigation and mitigation*, Transportation Research Board, National Research Council, Special Report 247, National Academy Press, Washington D.C., U.S.A., pp 129–177.
- Solonenko, V.P., 1977. Landslides and collapses in seismic zones and their prediction. *Bull. Int. Assoc. Eng. Geol.*, 15, 4-8.
- Strahler, A., 1952. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. *Geological Society of America Bulletin* 63, 1117–1142.
- Suzen, M.L. and Doyuran, V., 2004a. Data driven bivariate landslide susceptibility assessment using geographical information systems: a method and application to Asarsuyu catchment, Turkey. *Engineering Geology*, 71, 303-321.
- Suzen, M.L. and Doyuran, V., 2004b. A comparison of the GIS based landslide susceptibility assessment methods: multivariate versus bivariate, *Environmental Geology*, 45, 665-679.
- Terlien, M.T.J., Van Westen, C.J., and Van Asch, Th.W.J., 1995. The use of deterministic models in landslide hazard assessment. Carrara A., and Guzzetti F., (Editors), *Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards*, Kluwer Pub., Dordrecht, the Netherlands, 57-77.
- Thierry, Y., Malet, J.P., Sterlacchini, S., Puissant A., Maquaire O., 2007. Landslide susceptibility assessment by bivariate methods at large scales: Application to a complex mountainous environment. *Geomorphology* 92 38–59.
- Thomas Bayes (1763), "An Essay towards solving a Problem in the Doctrine of Chances. By the late Rev. Mr. Bayes, F. R. S. communicated by Mr. Price, in a letter to John Canton, A. M. F. R. S.", *Philosophical Transactions, Giving Some Account of the Present Undertakings, Studies and Labours of the Ingenious in Many Considerable Parts of the World* 53:370–418.

- Tibaldi, A., Ferrari, L., and Pasquare, G., 1995. Landslides triggered by earthquakes and their relations with faults and mountain slope geometry: An example from Ecuador. *Geomorphology* 11, 215-226.
- Turner, A.K., Schuster, R.L. (Eds.), 1996. Landslides: investigation and mitigation. Transportation Research Board Special Report, vol. 247. National Research Council, Washington, D.C. 673 pp.
- Uromeihy, A., and Mahdaviar, M.R., 2000. Landslide hazard zonation of Khorshrostan area, Iran. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 58, 207-213.
- Van Den Eechaut, M., Vanwalleghem, T., Poesen, J., Govers, G., Verstraeten, G., Vandekerckhove, L., 2006. Prediction of landslide susceptibility using rare events logistic regression A case-study in the Flemish Ardennes (Belgium). *Geomorphology*, 76(3-4): 392-410.
- Van Westen C.J., Rengers N., and Soeters R., 2003. Use of geomorphologic information in indirect landslide susceptibility assessment. *Natural Hazards* 30(3):399-419.
- Van Westen C.J., van Asch T.W.J., Soeters R., 2005. Landslide hazard and risk zonation why is it still so difficult? *Bull. Eng. Geol. Environ.* 65:176-184.
- Van Westen, C. J., Soeters, R., and Sijmons, K., 2000. Digital Geomorphological landslide hazard mapping of the Alpago area, Italy, *Int. J. Appl. Earth Observ. Geoinformation* 2(1), 51-59.
- Van Westen, C.J., 1993. Application of Geographic Information System to landslide hazard zonation. ITC-Publication No.15, ITC, Enschede, 245pp.
- Van Westen, C.J., and Bonilla, J.B.A., 1990. Mountain hazard analysis using a PC-based GIS.
- Van Westen, C.J., Renger, N., Soeters, R., 2003. Use of geomorphological information in indirect landslide susceptibility assessment. *Natural Hazards*, 30, 399-419.
- Varnes, D.J., 1984. Landslide hazard zonation: a review of principles and practice, *Natural Hazards*, 3. UNESCO. Paris. 63 pp.
- Wachal, D.J and Hudak P.F., 2000. Mapping landslide susceptibility in Travis County, Texas, USA. *GeoJournal* 51: 245-253.
- Wachal, D.J. and Hudak, P.F., 2000. Mapping landslide susceptibility in Travis County, Texas, USA. *GeoJournal.*, 51, 245-253.
- Wang, H.B. and Sassa, K., 2005. Comparative evaluation of landslide susceptibility in Minamata area, Japan. *Environ. Geol.*, 47, 956-966.
- Weirich, F., and Blesius, L., 2006. Comparison of satellite and air photo based landslide susceptibility maps. *Geomorphology*, 87(4):352-364 .
- Wilson, J.P., Gallant, J.C., 2000. *Terrain analysis principles and applications*. Wiley, Toronto Canada. 479 pp.
- Yesilnacar, E. and Topal, T., 2005. Landslide susceptibility mapping A comparison of logistic regression and neural networks methods in a medium scale study, Hendek region (Turkey). *Engineering Geology*, 79, 251-266.
- Zaruba, Q., and Mencl, V., 1982. *Landslides and their control. Developments in geotechnical engineering vol.31*. Elsevier Pup. 324pp. New York.

Zezeze, J. L., Oliveira, S. C., Garcia, R.A.C., Reis, E., 2006. Landslide risk analysis in the area North of Lisbon (Portugal): evaluation of direct and indirect costs resulting from a motorway disruption by slope movements. *Landslides* DOI 10.1007/s10346-006-0070z.

Zezeze, J.L., Garcia, R.A.C., Oliveira, S.C., Reis, E., 2007. Probabilistic landslide risk analysis considering direct costs in the area north of Lisbon (Portugal). *Geomorphology* (Inpress) Doi:10.1016/j.geomorph.2006.10.040.

MUŞ İLİNDE DOĞAL TEHLİKE KAYNAĞI OLARAK SEL VE TAŞKINLAR, SEL VE TAŞKINA DUYARLI ALANLARIN ANALİZİ

Yrd.Doç.Dr. İskender DÖLEK

Muş Alparslan Üniversitesi

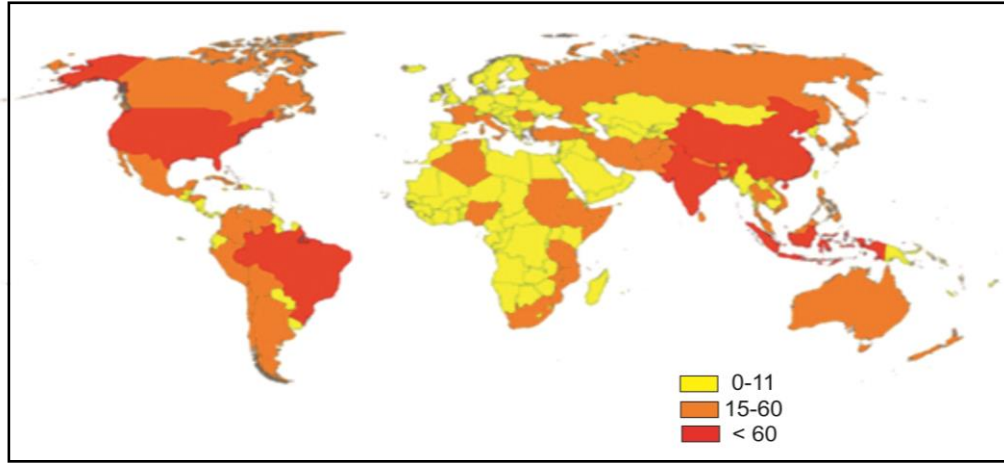
Giriş

Su insan yaşamı için en önemli unsurlardan biridir. Adeta doğanın denge halini yansıtır, azlığı kuraklığa neden olurken fazlası sel ve taşkın gibi doğa olaylarına neden olabilir. Dünya üzerinde yağmurlar yağmaya başladığından beri (çöller, el değmemiş ormanlar dahil) dünyanın her tarafında seller olmaktadır. Tarihin her döneminde sel ve taşkınlar insanların yaşam alanlarında meydana geldiğinde birer doğal afete dönüşmüşlerdir. Örneğin; Milattan Önce 3200 yılında Fırat Nehri taşmış, bugün Irak olarak adlandırılan Ur şehrini 2,4 metrelik bir çamurla kaplanmıştır.

Sel ve taşkınlar çok farklı nedenlere bağlı olarak meydana gelebilmektedir. Yağışın şekli, yağışın yoğunluğu, drenaj ağı ve geometrisi, toprak özellikleri, bitki örtüsü gibi doğal birçok faktör yanında; ormanların ve tarım alanlarının yerleşmeye açılması, şehirleşme, sanayileşme, ulaşım gibi, insan kaynaklı etkenlerden dolayı sel ve taşkınlar oluşabilmektedir (Dölek, 2015).

Sel ve taşkınlar düşük frekanslı ama fiziksel altyapıya, insan güvenliğine ve sosyo-ekonomik etkinliklere yüksek etkisi olan afetlerdir. OFDA, CRED ve EM-DAT'ın 1992 ve 2001 yılları arasında kalan dönemi kapsayan 2005 yılında yaptığı bir çalışmada belirtilen yıllar arasında 2257 adet afet rapor edilmiş bunlar içerisinde en sık görülen hidro-meteorolojik afet % 43'lük bir oranla seller olmuştur. Bu yaşanan sellerde yaklaşık 100.000'den fazla insan ölmüş ve 1,2 milyar kişide değişik şekillerde etkilenmiştir (Kadıoğlu, Özdamar 2008).

Dünya Meteoroloji (WMO) Örgütüne göre ise sadece 1980’li yıllarda dünyada 700.000 kişi meteorolojik afetlerden dolayı hayatının kaybetmiştir (MMO,1999). 1900- 2008 yılları arasında 2238 taşkın meydana gelmiş, yaklaşık 2 milyar kişi etkilenmiş 3 milyon kişi hayatını kaybetmiştir. Bu taşkınlar sonucunda 200 milyar dolar maddi hasar meydana gelmiştir (uluslararası acil afetler veri tabanı). Son 20 yılda sel, deprem, yangınlar, fırtına ve volkan patlamaları sonucunda ölen 560 bin kişinin % 49’u sel ve taşkınlar sonucunda hayatını kaybetmiştir. Son 20 yıl içerisinde en fazla can kaybının yaşandığı doğal afetler sel ve taşkınlar olmuştur.



Şekil 1: 1974-2003 Yılları Arasında Gerçekleşen Ülkelere Göre Taşkın Afetleri:

Türkiye’de Sel ve Taşkınlar

Ülkemizde en sık görülen meteorolojik kökenli doğal afetler dolu, sel taşkın, don, orman yangınları, kuraklık, şiddetli yağış, şiddetli rüzgâr, yıldırım, çığ kar ve fırtınalardır ((Kadioğlu, 2012). Heyelanlarla birlikte hidro-meteorolojik afetler özellikle son yıllarda giderek artan bir şiddette ve sıklıkta meydana gelmekte. Önümüzdeki yıllarda küresel iklim değişimi ve ülkemizde artan çarpık şehirleşmelerden dolayı, (kuraklık, heyelan, ani seller ve deniz suyu seviyesi yükselmesi gibi) hidro – meteorolojik afetlerde ve kentsel yerleşimlerimizde riskleri artıran doğal tehlikelerde önemli artışlar beklenmektedir (Kadioğlu, Özdamar 2008). Normal iklim şartlarında bile iklimin değişken karakteri, kuraklıklara veya

sellere neden olabilmektedir. Bu afetler yarı kurak iklim bölgesinde yer alan ülkemizde sosyo-ekonomik yaşantımızı da çok olumsuz bir şekilde etkilemektedir.

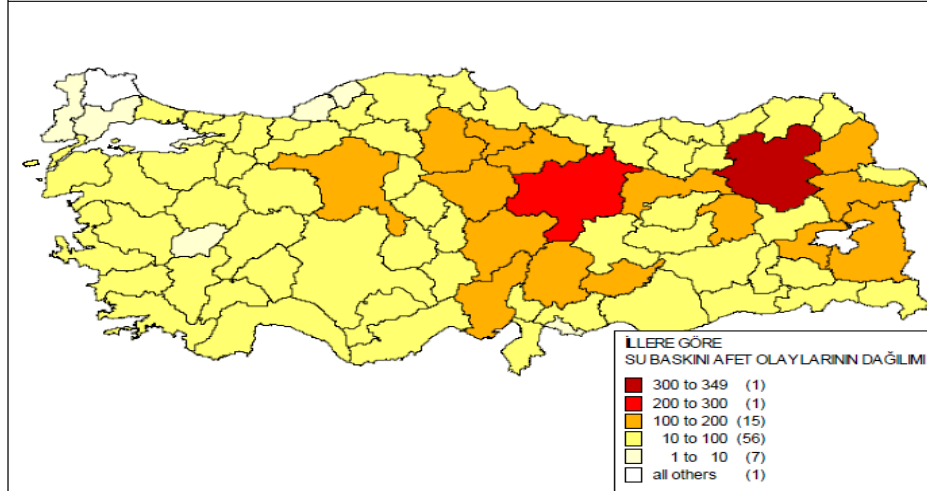
Türkiye’de de şiddetli sağanak yağışlardan dolayı ya da uzun süren hafif yağışlar veya ani kar erimeleri gibi nedenlerden dolayı seller oluşabilmekte, büyük can ve ekonomik kayıplar meydana gelebilmektedir. 15-16 Ağustos 1982 Ankara, 18-20 Haziran 1990 Trabzon, 16-17 Mayıs 1991 Doğu Anadolu, 1994 Marmaris, 1995 İkitelli, Senirkent, Rize ve 4 Kasım 1995 de İzmir’de, 21 Mayıs 1998 Batı Karadeniz, 23 Mayıs 1998 Hatay, 24 Ağustos 2015 Hopa’da (Artvin) büyük sel afetleri yaşanmıştır. Sadece 1995 yılı içerisinde yaşanan sellerde 150 kişi hayatını kaybetmiştir.

DSİ verilerine göre 1975-2012 yılları arasında 889 adet taşkın olayı meydana gelmiş, bu taşkınlar sonucunda 685 can kaybı yaşanırken, 862.854 hektar tarım arazisi taşkına maruz kalmış, 150 milyon tl. zarar meydana gelmiştir.

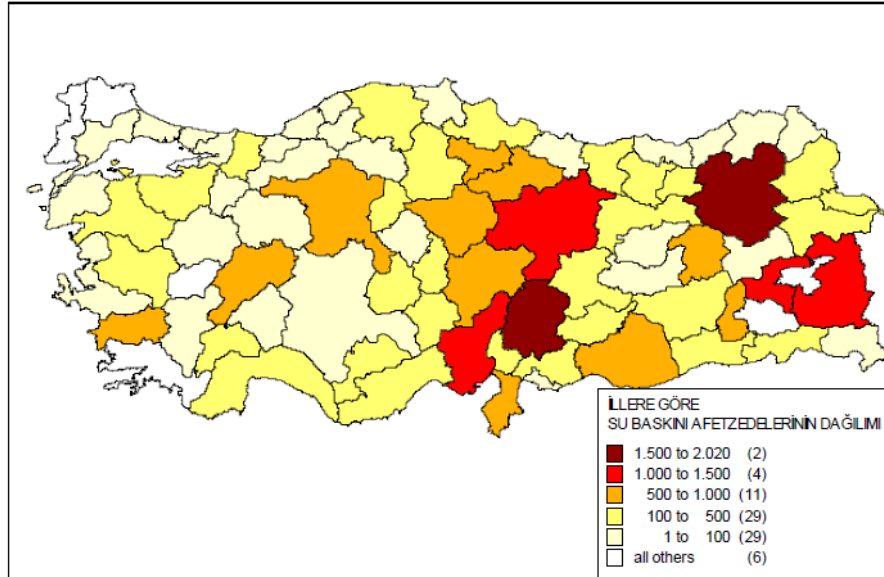
AFAD kayıtlarına göre 1967-1987 yılları arasında akarsularda görülen sel ve taşkın olay sayısı tüm hidro-meteorolojik afetler içerisinde %33 iken 1998-2008 yılları arasında bu oran %14’e düşmüştür. Ülkemizde meydana gelen sel ve taşkınlarda azalma eğilimi olduğu düşünülürken 1963 yılında 140 civarında rekor sel ve taşkın yaşanırken 2010 yılında 160 civarında sel ve taşkın gerçekleşerek yeni bir rekor rakama ulaşılmıştır (Kadioğlu, 2012).

Şüphesiz bu artışlar sadece küresel iklim değişimi ile açıklanamaz. Köylerden kentlere yaşanan göçler, dere ve sel yataklarında artan yerleşmeler, yanlış arazi kullanımı da yaşanan sel ve taşkın sayısının artmasında etkili olmaktadır (Kadioğlu, 2012).

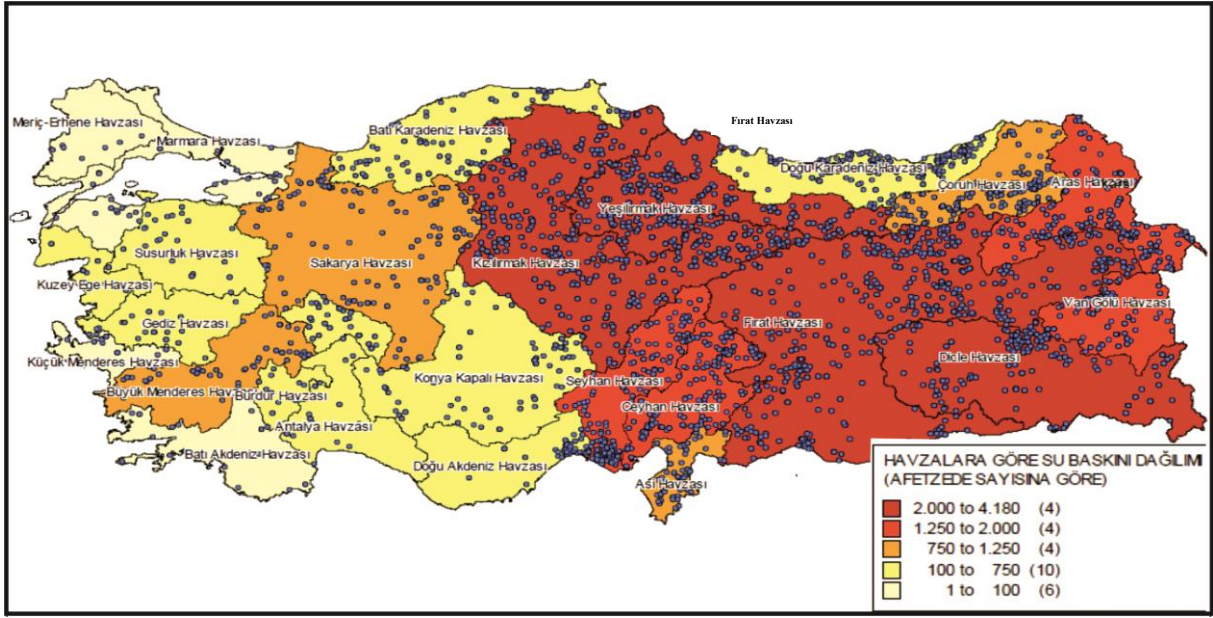
Afet işleri genel Müdürlüğünün verilerine göre Kırklareli hariç tüm illerimiz de su baskını olayı yaşanmıştır. Toplam su baskını olay sayısı 4067 dir. 80 ilde toplam 22157 afetzede su baskınlarından etkilenmiştir. Su baskını olayları en fazla Erzurum (349), Sivas (299), Kahramanmaraş (187), Kayseri (187) ve Adana (185) illerinde gerçekleşmiştir (Şekil 2) (Gökçe, Özden ,2008).



Şekil 2: Su baskın sayısının illere göre dağılımı ((Gökçe, Özden ,2008).



Şekil 3: Su baskınlarından etkilenen afetzede sayılarının illere göre dağılımı (Gökçe, Özden ,2008).



Şekil 4: Afettede sayısına göre havzalara göre su baskını dağılımı (Gökçe, Özden, 2008).

Türkiye de bulunan 26 ana su havzası su baskını olayları açısından (afettede sayıları) incelendiğinde Kızılırmak, Yeşilirmak, Fırat ve Doğu Karadeniz havzalarında su baskını sayısının daha fazla yoğunlaştığı görülür. Seller birer doğa kanunudur. Atmosfer hareketliliği, meteorolojik sistem ve hidrolojik çevrim içinde bazı bölgelerin kimi zaman sulak kimi zaman kurak periyotlar yaşaması doğaldır. Önemli olan ülkemizde sel, heyelan, çığ ve kuraklığı izlemek, önemsemek ve zamanında önlem alabilmektir. Hidro - meteorolojik bir afet olan sel ve taşkınlar, afete neden olan diğer doğa kökenli tehlike kaynaklarından oluşum biçimleri ve etki süresi bakımından farklılık gösterir. Doğru yönetilebildikleri takdirde, zararları asgari seviyelere indirilebilecek doğa kökenli tehlike kaynaklarıdır.

Muş İlinde Yaşanan Sel ve Taşkın Olaylarının Etkileri

Sel ve taşkınlar düşük frekanslı ama fiziksel altyapıya, insan güvenliğine ve sosyo-ekonomik etkinliklere etkisi fazla olan afetlerdir. Bu afetler meydana geldikleri bölgelerde direkt etkili olabildikleri gibi dolaylı bir şekilde de etkili olabilirler. Bu şekliyle sel ve taşkınlar oldukça kompleks bir yapıya sahiptirler. Sel ve taşkınların direk etkileri sel yada taşkın suyunun etkisi ile meydana gelen boğulmalar, yaralanmalar şeklindedir. Dolaylı etkileri ise heyelan, kaya

düşmesi gibi başka doğa olaylarını da tetiklemeleri yanında sel ve taşkın suyundan kaynaklanan enfeksiyonlar, taşkın suyu içerisinde serbest kalan kimyasal kirleticilere maruz kalmanın yaratacağı olumsuz etkilerdir (Korkanç, Korkanç 2006). Bütün doğal afetlerde olduğu gibi sel ve taşkınlar da geri kalmış ve alt yapının yetersiz olduğu bölgelerde hem daha fazla etkili olmakta hem de etkilerinin ortadan kalkması daha uzun zaman almaktadır.

Muş iline ait sel ve taşkın envanteri (Tablo1) incelendiğinde meydana gelen sel ve taşkınların etkilerinin can ve mal kayıpları ile sınırlı olmadığı görülür. Sel ve taşkınların tetiklemesi ile sel ve taşkın esnasında oluşan kütle hareketleri, yolların tahrip olması yada yolların sel ve taşkın suları altında kalması, köprülerin yıkılması, ulaşımın kesintiye uğraması, eğitim-öğretim faaliyetlerinin aksaması sel ve taşkınların Muş ilinde ki etkileri olarak gösterilebilir.

1963, 2003 yıllarında yaşanan seller, boyutları dışında meydana gelen can kayıpları ile de dikkat çekicidir. Bu tarih aralığında yaşanan sel ve taşkınlarda 9 vatandaşımız hayatını kaybederken çok sayıda hayvan telef olmuştur (Tablo1).

1968, 2011 ve 2012 yıllarında yaşanan sel ve taşkınlar esnasında kayıtlara geçen birçok kütle hareketi de meydana gelmiştir (Tablo1). 2011 yılında yaşanan sel ve taşkınlarda, oluşan yada yeniden aktivite kazanan heyelanlarla bazı köy yolları tahrip olmuştur. Kıyıbaşı köyü, Kendala, Aligedik, Dumlusu köylerinin şehir merkezi ile bağlantıları kesilmiştir. Kıyıbaşı, Dumlusu, Göçmenler, Akkonak, Aligedik, Aşağı ve Yukarı Fındıklı, Karaağaç ve Mescitli köy yolları bir süre ulaşımına kapanmıştır. 2000 yılında meydana gelen sel esnasında Varto ilçesinde Murat çayının bir kolu olan Kaynarca çayı üzerinde yer alan köprü kemerlerinin bir bölümü yıkılmıştır (Foto 1).



Foto 1: 2000 yılında meydana gelen selden zarar gören Varto Kaynarca Köprüsü

Muş ili ekonomik anlamda ülkemizin en geri kalmış illerinden biridir. Alt yapı anlamında da yetersiz bir konumdadır. Çoğu köy de içme suyu ortak bir şebeke ağı ile evlere götürülemez. Açılan sondaj kuyuları yada basit tulumlarla insanların su ihtiyacı karşılanmaktadır. Sel ve taşkınlardan sonra yeraltı su seviyesinin değişmesi, sel ve taşkın sularının bir bölümünün bu sulara karışması, herhangi bir arıtma işleminden geçirilmeden kullanılan içme sularının kalitesini ciddi anlamda düşürmekte, temiz içme suyu temini önemli bir sorun haline gelmektedir. Bozulan su kalitesi doğal olarak düşük kaliteli içme suyu kullanımından kaynaklanan hastalıkları da tetiklemektedir ¹.



Foto: 2 Sungu beldesinde taşkında sular altında kalan karayolu.

¹ İlde sel ve taşkınlardan sonra meydana gelen sağlık problemleri ile ilgili herhangi bir çalışma yapılmamıştır.

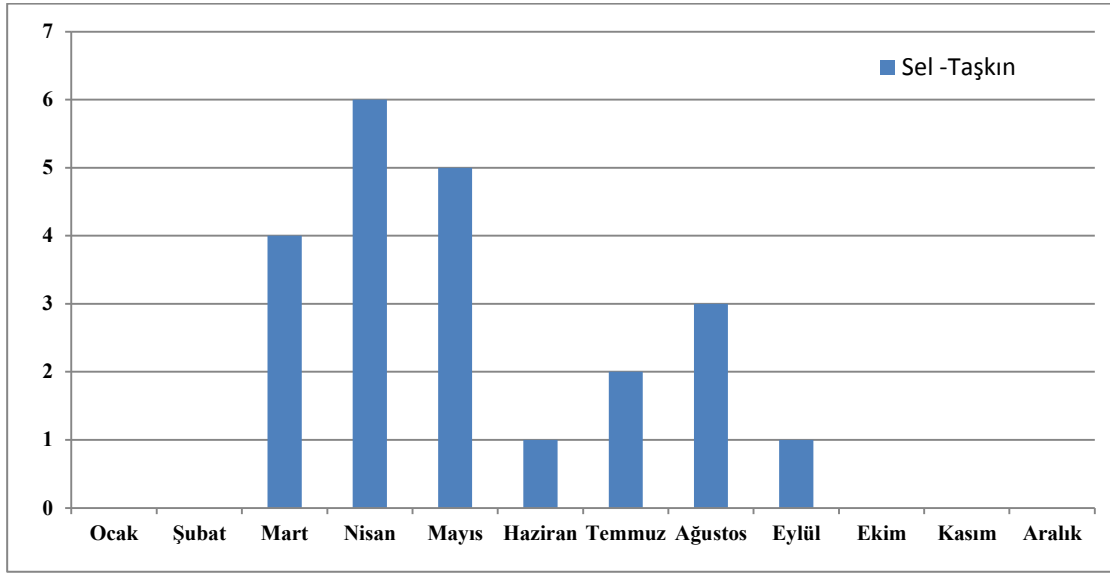
Muş ilinde 1963- 2015 yılları arasında meydana gelen sel ve taşkın kayıtları incelendiğinde (Tablo 1), 1990 yılından sonra bir artışın olduğu ancak 2000 yılından sonra sel ve taşkın sayısında daha belirgin bir artış olduğu görülecektir (Grafik 3). 1963-1990 yılları arasında 11 adet sel ve taşkın olayı yaşanırken, 1990-2000 yılları arasında 2 adet sel ve taşkın olayı kayıtlara geçmiştir (Tablo1). 2000 yılından sonra ise 19 adet sel ve taşkın olayı meydana gelmiştir. 2000 yılından sonra ülkemizde ve dünyada sel ve taşkın sayılarında bir artış söz konusudur. Bu durum daha çok küresel ısınma ile açıklanmaya çalışılsa da bu sadece küresel iklim değişimi ile açıklanamaz. Köylerden kentlere yaşanan göçler, dere yataklarında artan yerleşmeler, yanlış arazi kullanımı da yaşanan sel ve taşkın sayılarının artmasında etkili olan unsurlardır.

Muş ilinde nüfusun artmaya devam etmesi, imar planının çok yakın bir zamanda yürürlüğe girmesi, köylerden yaşanan göçler, kırsal alanlardaki yapılaşmaların kontrol edilemeyişi, dere yataklarındaki yapılaşma gibi unsurlar sel ve taşkınların ilde gelecekte de önemli bir sorun olacağını düşündürmektedir.

Muş İlinde 1963-2015 Yılları Arasında Yaşanan Sel ve Taşkınların Değerlendirilmesi

Sel ve taşkın tehlikesi ve riskinin belirlenmesi için tarihsel süreçte meydana gelen sel-taşkın olaylarının tarihleri, oluşum dönemleri, periyotları ve yarattığı zararların belirlenebilmesi önemlidir. Önceki yıllarda meydana gelen sel ve taşkınların belirlenip lokasyonlarının işlenmesi ile oluşturulan sel ve taşkın envanter haritaları, duyarlılık ve risk haritalarının hazırlanma sürecinde ki ilk basamak olması bakımından da önemlidir². Envanter haritaları üzerinden yapılan analizler sel ve taşkına duyarlı alanların belirlenmesinde kullanılacak önemli verileri de sağlar.

² Daha önce yaşanan sel ve taşkınların işlenmesi ile oluşturulan envanter haritaları meydana gelen sel ve taşkınların yeri, konumu, büyüklüğünü içermelidir. Bunların yeralıp almaması haritanın güvenilirliğini direkt etkiler. Envanter haritaları ile de sel ve taşkın yerleri sel ve taşkına neden olan faktörler belirlenip özellikleri ortaya konulmaya çalışılır. Buradan elde edilen verilerle oluşturulan duyarlılık haritaları gelecekte sel ve taşkın olabilecek alanların sınıflandırılması esasına dayanır.



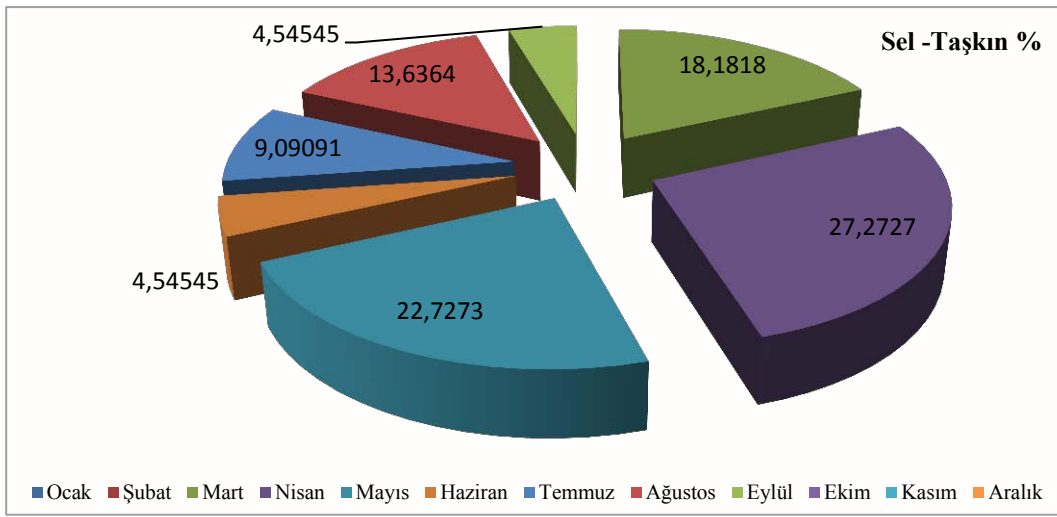
Grafik 1: 1963-2015 yılları arasında aylara göre yaşanan sel ve taşkın sayıları

1963 – 2015 yılları arasında Muş ili sınırları içerisinde 32 adet sel ve taşkın olayı yaşanmıştır³. Sel ve taşkın olaylarının 19 tanesi 2000 yılından sonra yaşanırken; 2000 yılından önce 13 sel ve taşkın tespit edilebilmiştir. 1963- 2015 yıllarını kapsayan zaman aralığında gerçekleşen sel ve taşkın sayıları için yapılan trend analizini gösteren Grafik 3 incelendiğinde; 1990 yılından sonra bir artma eğiliminin olduğu ancak 2000 yılından sonraki artışın daha dikkat çekici olduğu görülür.

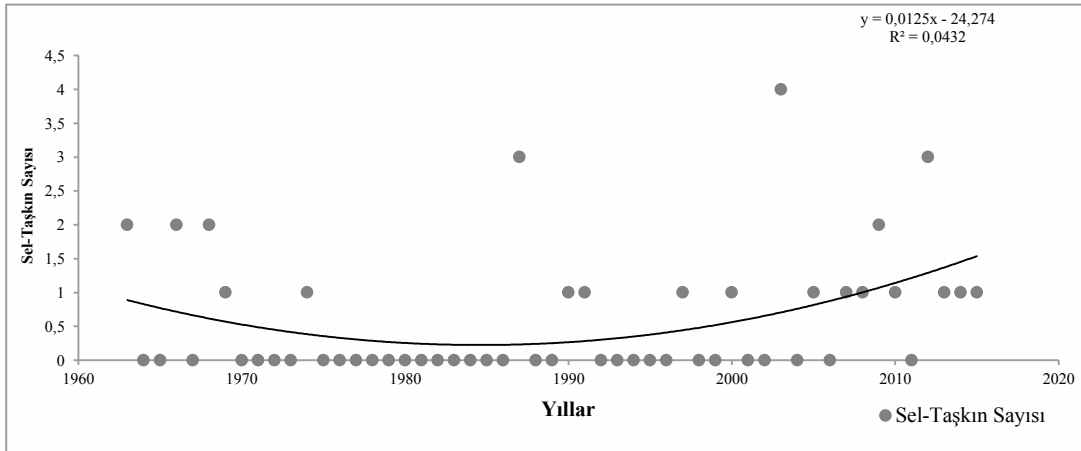
1963-2015 yılları arasında yaşanan sel ve taşkınları gösteren Grafik 3 incelendiğinde bu yıllar arasında en fazla sel ve taşkın Nisan ayında yaşandığı görülür. Nisan ayı içerisinde 6 sel ve taşkın olayı gerçekleşmiştir (Grafik 1). Nisan ayı içerisinde yaşanan sel ve taşkınlar toplam taşkınların %27,27 sini oluşturur (Grafik 2). Bu şekliyle Muş ilinde sel ve taşkın tehlikesi bakımından en kritik ayın Nisan olduğu ifade edilebilir. Nisan ayında yaşanan sel ve taşkın sayısının fazla olmasında bu ayda düşen yağış miktarı önemli bir etkidir. Nisan ayı Muş ilinde en fazla yağışın düştüğü aydır (106,11 mm) (Grafik 4). Yağış miktarı Nisan ayı içerisinde meydana gelen sel ve taşkınlar için hazırlayıcı bir faktör olarak değerlendirilebilir. Ancak bazı yıllarda kar örtüsünün erimeden yerde kalması, bu kar örtüsü üzerine düşen

³ Ülkemizde kayıt altına alınan afetler genelde can ve mal kayıplarının yaşandığı olaylardır.

yağışların karın erime hızını artırması ile oluşan su fazlası sel ve taşkınlar yaşanmasında tetikleyici bir unsurdur. Nisan ayından sonra en fazla sel ve taşkınların yaşandığı ay Mart'tır (Grafik 1). Muş ilinde 1963-2015 yılları arasında yaşanan sel ve taşkın olaylarının % 18,18 sinin gerçekleştiği bu ay aynı zamanda Nisan ayından sonra en fazla yağışın düştüğü aydır (105,91) (Grafik 4). Yağış miktarı, karın yerde olması sel ve taşkınlar için hazırlayıcı faktörler olarak değerlendirilebilir. Sağanak yağışlar, ani sıcaklık artışı gibi unsurların bu ayda yaşanan sel ve taşkınlar için tetikleyici faktörler olduğu söylenebilir.



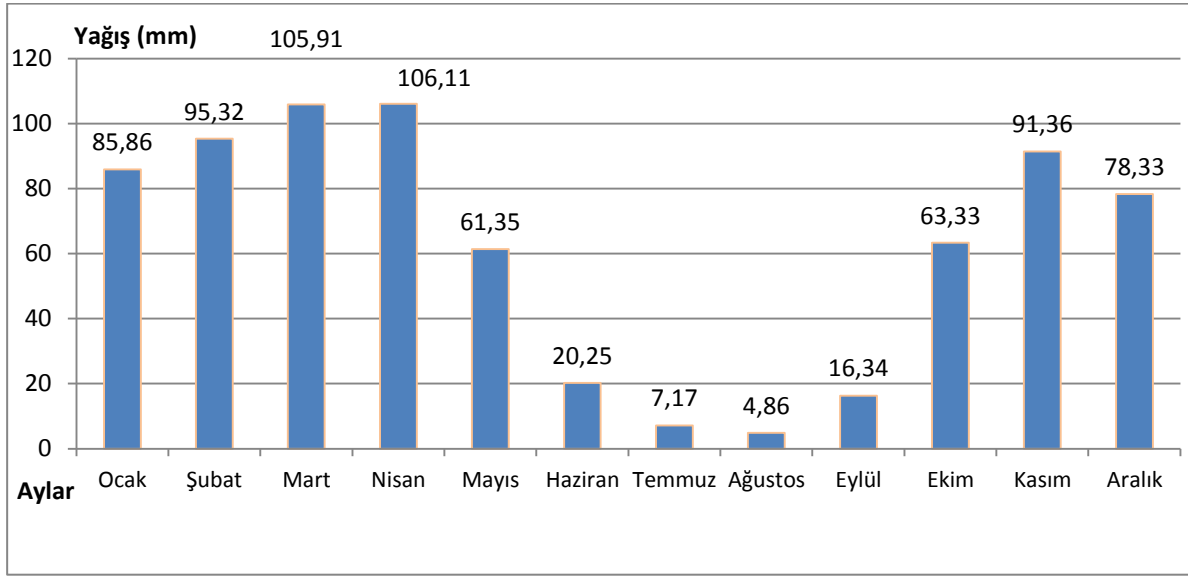
Grafik:2 1963-2015 yılları arasında yaşanan sel ve taşkınların oranları



Grafik:3 1963-2015 yılları arasında meydana gelen taşkın sayıları ve trend analizi

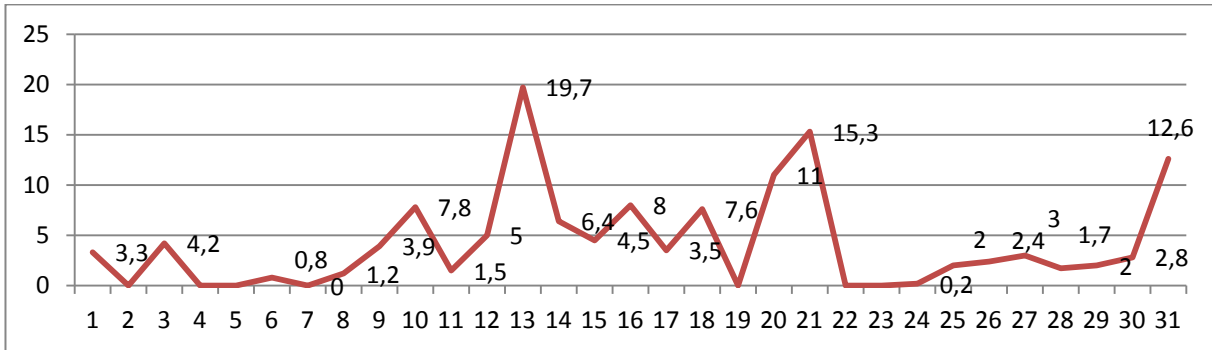
Tablo:1 1963-2015 yılları arasında Muş ilinde yaşanan sel, taşkın tarihleri ve etkileri

No	Etkilenen ilçe	Etkilenen Köy/Mahalle	Afet Türü	Afet tarihi	Afetten etkilenen Hane	Can Kaybı	Diğer
1	Merkez	Sungu	Taşkın	1963	11		
2	Malazgirt	Molladerman	Sel	1963		3	
3	Merkez	Kıyık	Taşkın	1966	15		
4	Varto	Koçyatağı,Görgü	Sel	1966	17		
5	Merkez	Karaağaç	Taşkın	1969	11		
6	Merkez	Üçdere	Taşkın	1968	5		
7	Hasköy	Yarkaya	Sel	1968	15		
8	Korkut	Calaplı	Sel	1974	7		
9	Bulanık	Sultanlı	Taşkın	1987	41		
10	Bulanık	Rüstemgedik	Taşkın	1987	10		
11	Merkez	Şenova	Taşkın	1987			
12	Bulanık	Yazbaşı	Taşkın	1990	18		
13	Malazgirt	Aynalıhoca	Taşkın	1997	10		
14	Varto	Kaynarca	Sel	2000			Kaynarca Köp. Hasar
15	Bulanık	Okcular	Sel	2003			
16	Merkez/Korkut	Karşıyaka	Taşkın	2003	20		
17	Merkez	Derecik, Ilca	Sel/Taşkın	2003		6	
18	Bulanık	Dokuzpınar, Hoşgeldi, Oludere	Sel	2003	240		32 Araç Hasar gördü
19	Malazgirt/Korkut/Merkez	Düzkişla, Kıyık, Kumluca, Kocatarla	Sel/Taşkın	2004			
20	Varto	Çaylar, Tuzluca	Sel	2005			40 hayvan Telef
21	Bulanık	Merkez	Sel/Taşkın	2007	35		10 Hayvan Telef
22	Varto	Erdoğan, Akçatepe, Boyalı, Beşikkaya, Üçyayla	Sel	2008			
23	Merkez	Kıybaşı,	Taşkın	2009			70 hayvan telef
24	Merkez	Tüten, Akpınar, Susurağı, Kutlugün		2009			
25	Hasköy	Sungu, Erentepe Beldeleri	Sel/Taşkın	2010		1	300 ev etkilenmiş
26	Sungu	Düzkişla	Sel/Taşkın	2011			
27	Varto	Tuzla	Sel	2012			İçme suyu şebekesi, 60 Hayvan Telef
28	Varto	Erdoğan	Sel	2012			
29	Merkez, Sungu	Karakuyu,	Sel/Taşkın	2012			
30	Sungu/Hasköy/Korkut	Düzkişla, Kocatarla, Gölyazlı, Karakale	Sel/Taşkın	2013	50		Köprü Hasar
31	Merkez	Sudurağı	Sel	2014			40 hayvan Telef
32	Merkez	Yoncaöz	Taşkın	2015			Çok Sayıda Hayvan Telef



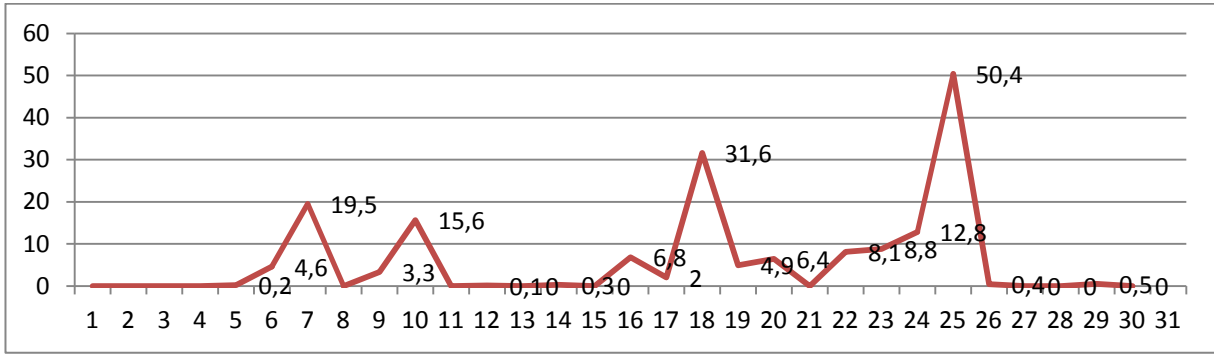
Grafik:4 Muş iline ait aylık ortalama yağış miktarları

31 Mayıs 1963 tarihinde meydana gelen yağışlardan en fazla etkilenen yer Malazgirt İlçesi nin Molla Derman köyü olmuştur. Bir ev sel sularının etkisi ile yıkılmıştır. Sel suları ile yıkılan ev enkazı altında kalan 3 kişi ölmüştür. 31 Mayıs'tan önceki günlerin yağışlı geçmesi 31 Mayıs'ta aylık toplam yağışın yaklaşık %20 sinin (Grafik 5) kısa bir sürede düşmesi, eğim özellikleri gibi faktörler selin yaşanmasında etkili olmuştur. Köyün çevresine göre daha alçak bir yerde olması, köydeki sel tehlikesini artıran bir unsur olarak değerlendirilebilir.



Grafik 5: Mayıs ayına (1963) ait günlük yağış grafiği

7, 8-13 Nisan 2003 tarihinde meydana gelen sel ve taşkınlar ilin farklı kesimlerinde etkili olmuştur. Bulanık ilçesinin Okçular köyü (7 Nisan), Muş Çayının taşması ile Muş Merkezde Karşıyaka mahallesi, Karasu ırmağının taşması ile Muş ovasının bir bölümü, Korkut ilçesindeki Hongu Deresinin taşması ile de 8 Nisanda ilçenin bir bölümü sel ve taşkınlardan olumsuz etkilenmiştir. 8 Nisanda meydana gelen sağanak yağışla birlikte Muş deresinin kaynak kısmına yakın yerlerde bulunan karların hızla erimesi Muş deresinin taşmasına neden olmuştur. Özellikle Muş deresinin yatağı içerisinde yer alan evler bu durumdan olumsuz etkilenmiştir. Bugün Muş deresinin taşkın alanında hızla devam eden yapılaşma taşkın riskini artıran bir durumdur (Foto1). 13 Nisan'da Bulanık İlçesinde yer alan (bugün bu alan Alparslan II Barajının suları altında kalmıştır) Okçular köyünde tekrar sel yaşanmıştır⁴.



Grafik 6: Nisan ayına (2003) ait günlük yağış grafiği

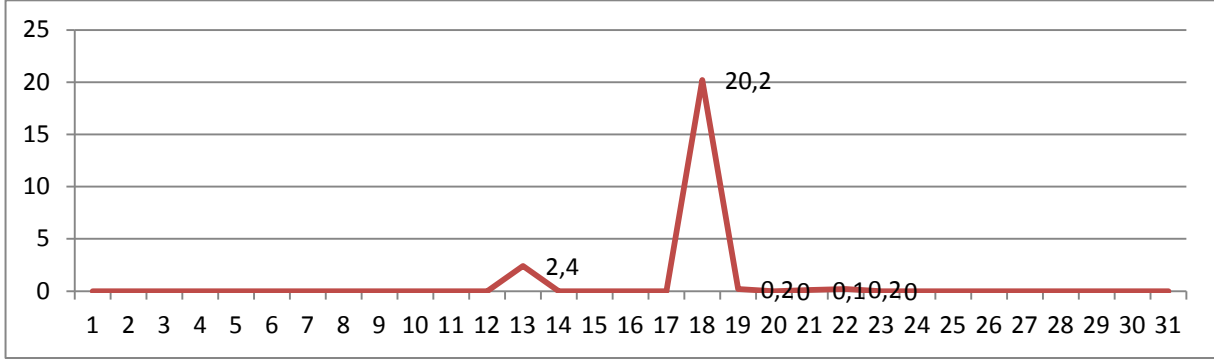
⁴ Muş Meteoroloji istasyonuna ait Nisan ayı günlük yağış grafiği incelendiğinde 13 Nisanda düşen yağış miktarının 0,10 mm olduğu görülür. Okçular köyünde yaşanan sel muhtemelen kar erimeleri sonucunda yaşanmış olmalıdır.



Foto:3 8 Nisan 2003'de taşan Muş deresinin yatağı içerisinde bugün yaşanan yoğun yapılaşma sel ve taşkın riskini artıran önemli bir unsurdur. Derenin ıslah edilerek yatağının daraltılması ileriki yıllarda yeni sorunlara neden olacaktır.

18 Eylül 2003 tarihinde meydana gelen Muş'un bazı köylerinde gece başlayan ve aralıksız süren sağanak yağış sonucunda meydana gelen sel de Ilıca Köyü'nde 4 vatandaşımız Derecik Köyü'nde de, çadırdaki yaşayan 2 vatandaşımız hayatını kaybetmiştir. 18 Eylül 2003'de düşen yağış Eylül ayının ortalama yağış miktarından fazladır. Eylül ayının uzun yıllar yağış ortalaması 16,34 mm iken (Grafik 4) 18 Eylül'de 20,2 mm yağış düşmüştür (Grafik 7).

Bu tarihte yaşanan sel ve taşkın alt yapının yetersiz olduğu alanlarda sel ve taşkınların ne kadar etkili olduğunu gösteren çarpıcı bir örnektir. Muş İline yaz döneminde farklı illerden çalışmak yada dilenmek için çok sayıda aile gelmekte ve geçici konutlarda (çadırlarda) yaşamaktadırlar. Bu aileler temizlik, banyo, içme suyu gibi ihtiyaçları için suya yakın yerleri, dere yataklarını seçmektedirler. Bu ailelerin sel tehlikesine karşı uyarılmaları, en azından bu konuda bilinçlendirilmeleri gerekmektedir.

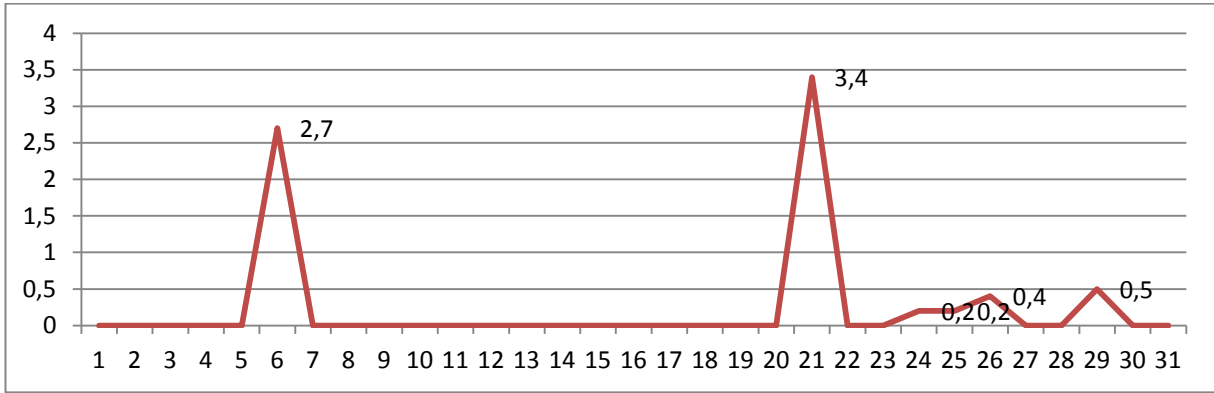


Grafik 7: Eylül ayına ait (2003) ait günlük yağış grafiği

26 Temmuz 2009 Merkeze bağlı Kıyıbaşı, Köyünde gece meydana gelen şiddetli yağışla birlikte köydeki birçok konutu su basmıştır. Kıyıbaşı köyünün Murat ırmağına yakın bir yamaçta bulunması, arazinin bitki örtüsünden yoksun olması, yağışın hızla yüzeysel akışa geçerek sele dönüşmesine neden olmuştur. Yağış köy ve yakın çevresini olumsuz etkilemiştir. Köyde sel sularına kapılan 70 koyun telef olmuştur. Bu tarihte Muş meteoroloji istasyonunda ölçülen yağış değeri 0,2 mm gibi çok düşük bir değerdir (Grafik 8). Kıyıbaşı köyünün lokal olarak daha fazla yağış alması, eğim özellikleri gibi unsurlardan dolayı selden etkilendiğini düşünebiliriz.

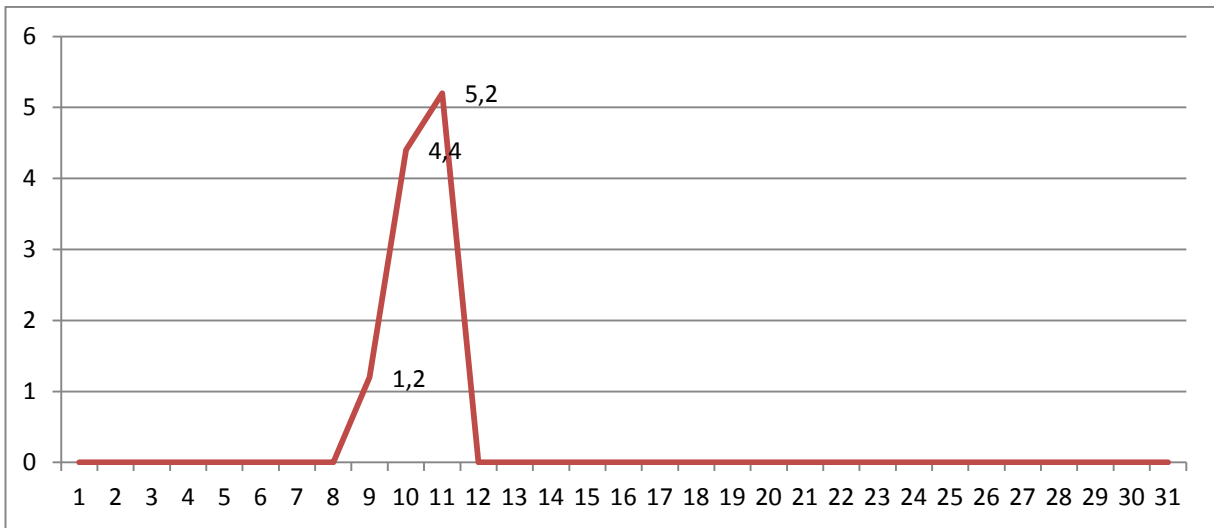


Foto 4: Kıyıbaşı köyü



Grafik 8: Temmuz ayına (2009) ait günlük yağış grafiği

3 Ağustos 2009 tarihinde Tüten, Akpınar, Su Durağı ve Kutlugün köylerinde yaşanan sel bu yerleşmeleri olumsuz etkilemiştir. Muş meteoroloji istasyonunda bu tarihte herhangi bir yağış kaydı görülmemektedir. (Grafik 9). Tüten, Akpınar, Su Durağı ve Kutlugün köylerinde sele neden olan yağışların lokal yağışlar olduğu söylenebilir. Tüten, Akpınar, Su Durağı ve Kutlugün köylerinin yüksek bir kütleli etek kısmında yer almaları, yamaçların bitki örtüsünden yoksun oluşu hem selin meydana gelmesinde hem de selle taşınan malzeme miktarının artmasında ki önemli unsurlardır (Foto2).

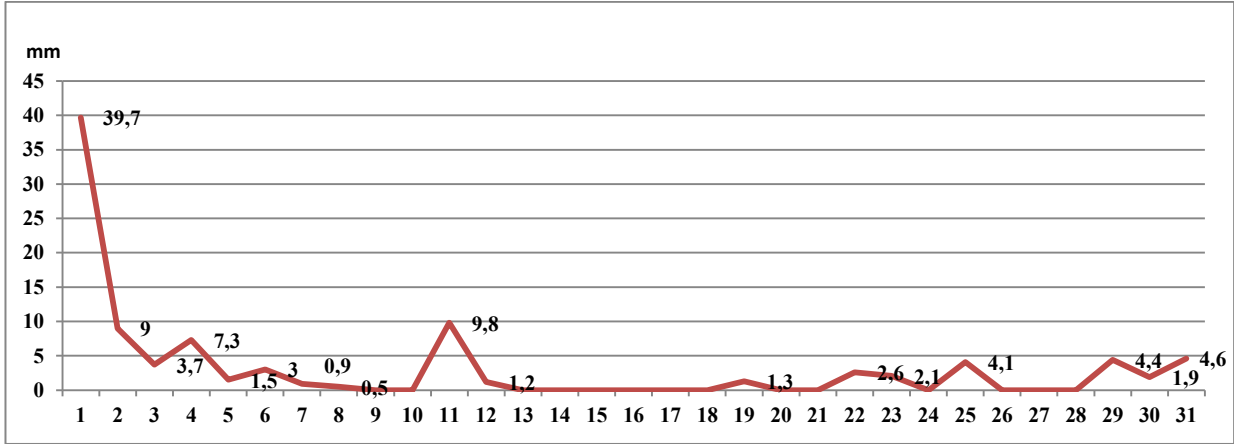


Grafik 9 : Ağustos ayına (2009) ait günlük yağış grafiği

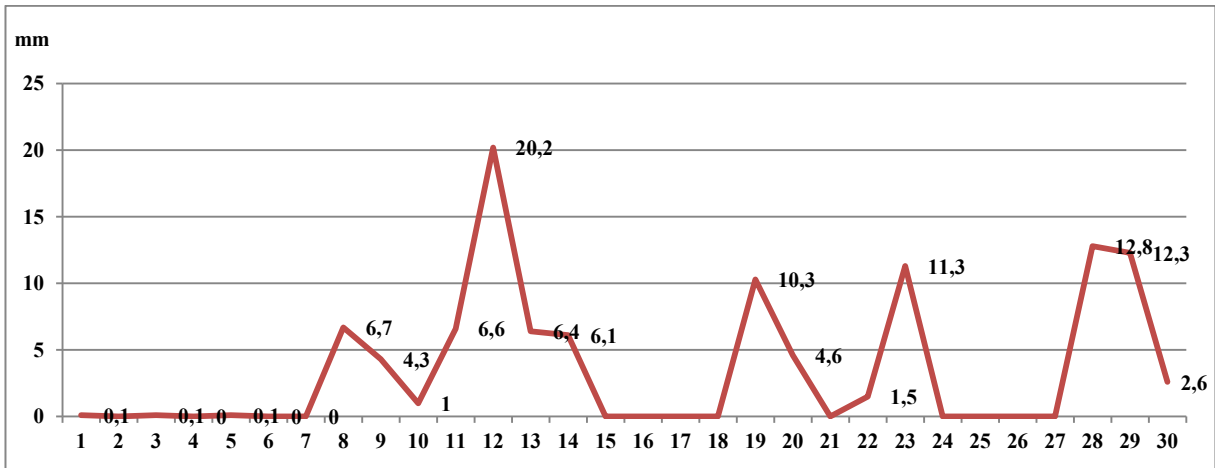


Foto: 5 Ağustosta yaşanan sel sonrasında Akpınar köyü.

9,10,12 Mayıs 2010 tarihinde meydana gelen yağışlar Hasköy ilçesi ile Sungu ve Eretepe beldelerinde sel ve taşkına neden olmuştur. Eretepe beldesinde 300 ev sel ve taşkın sularından etkilenmiş eşyaları sel sularından kurtarmak isteyen bir kişi hayatını kaybetmiştir. 11 Nisan'da Muş meteoroloji istasyonunda kaydedilen yağış miktarı 9,8 mm'dir. Bu tarihlerde meydana gelen sel ve taşkınları sadece yağış miktarı ile açıklamak pek olanaklı gözükmemektedir. Nisan ayı içerisinde 17 günün yağışlı geçmesi 1 Mayıs'ta Mayıs ayının 61,3mm olan ortalama yağış miktarının (Grafik 4) %50'sinden fazlasının (39,7 mm) bir günde düşmesi (Grafik 10), diğer koşullarla birleştiğinde bu tarihlerde yaşanan sel ve taşkınları açıklamaktadır. Nisan ayı içerisinde düşen yağışlar Karasu ve yan kollarının taşıdığı su miktarının artmasına neden olmuştur. Hasköy ve Sungu yerleşim alanlarında eğim değerlerinin çok düşük olması akarsu yataklarından geçen su miktarının az olmasına neden olmakta, bu bölümde akarsu yatak derinliğini azaltarak akarsuların sutaşıma kapasitelerini düşürmektedir. Hasköy ve Sungu yerleşmelerinin bulunduğu alanın düşük eğim değerlerine sahip olması aynı zamanda çevreden gelen yüzey sularının buralarda toplanmasına neden olmaktadır. Gerek Hasköy gerekse Sungu yerleşmelerinin akarsu kenarında yer alması, akarsu taşkın yataklarının da yerleşmeye açılmış olması bu alanlarda sel ve taşkın tehlikesini artıran önemli unsurlardır. Özellikle Hasköy'ün güneyinde ki dağlık kütlenin daha fazla yağış alması Hasköy ilçesini sellere karşı daha savunmasız bir hale getirmektedir.

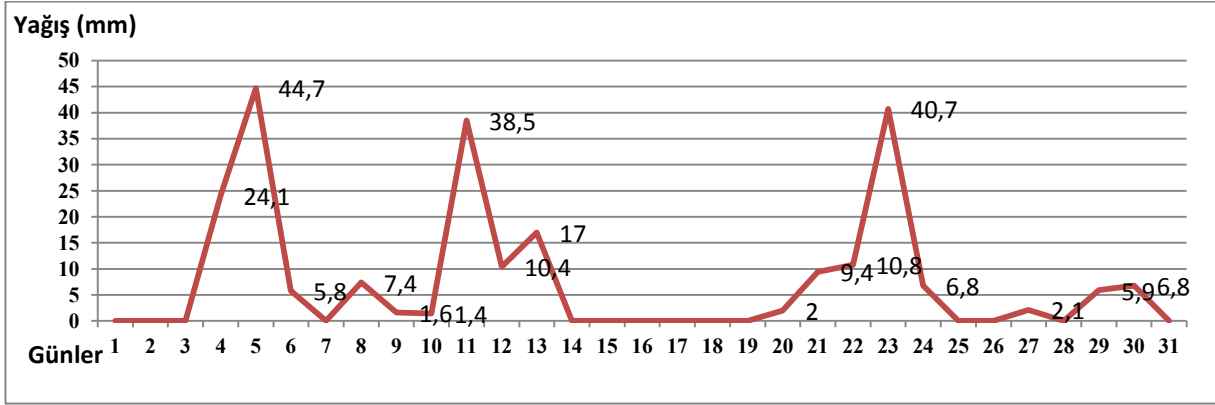


Grafik 10: Mayıs ayına (2010) ait günlük yağış grafiği



Grafik 11: Nisan ayına (2010) ait günlük yağış grafiği

9,10 Nisan 2011 de Sungu ve Düz kışla beldelerini ve çevrelerindeki tarım alanlarının büyük bir bölümünü sular altında bırakan sel ve taşkın yaşanmıştır. 4-5 Nisan'da düşen 68,8 mm yağış, Nisan ayının 106mm olan ortalamasının yarısından fazladır. Sungu ve Düzkişla beldelerini ve çevrelerindeki tarım alanlarının büyük bir bölümünü sular altında bırakan sel ve taşkınları sadece bu tarihlerde meydana gelen yağışlarla açıklayamayız. 3 Nisan'dan itibaren başlayan yağışlar aynı zamanda yerdeki karın hızla erimesine neden olurken, düşük eğim değerleri (Sungu Beldesinin büyük bölümünde eğim değeri 0° ye yakındır) yüzey sularının hareketini zorlaştırmıştır. 4-5 Nisan yağışları ve bu yağışların etkisi ile eriyen kar, sel ve taşkınları hazırlarken, 9 ve 10 Nisanda da düşen yağışlar sel ve taşkınları tetiklemiştir.



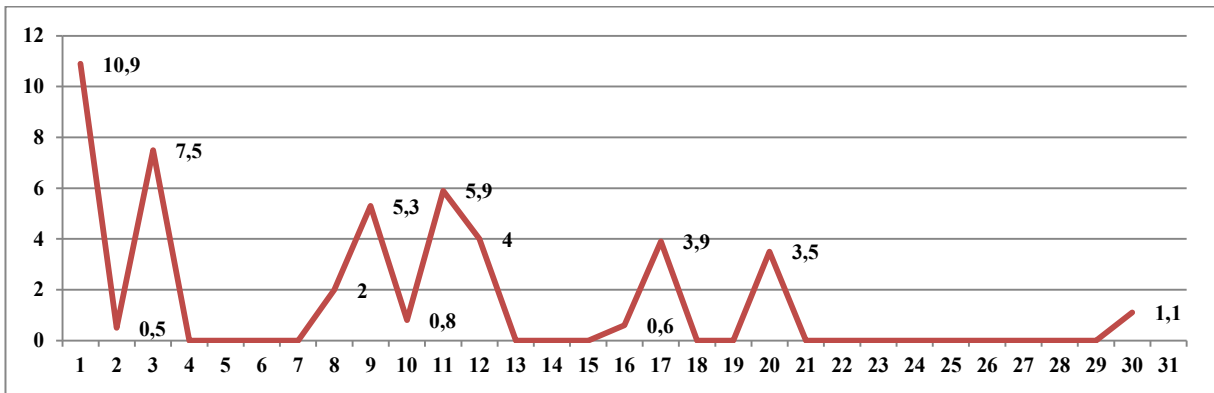
Grafik 12: Nisan ayına (2011) ait günlük yağış grafiği





Foto 6: A, B, C, D 10 Nisan 2011’de sel ve taşkın suları altında kalan sahalarda (Sungu ve yakın çevresi).

9 Nisan 2012 tarihinde Karasu ırmağı ve kollarının taşması ile Karakuyu Köyü, Sungu beldesinin bir bölümü, çevresindeki tarım alanları Karasu Irmağının taşan suları altında kalmıştır. Mart ayının son günleri ile Nisan ayının hemen başında düşen yağışlar (Grafik 13) yerdeki karın erimesini hızlandırırken, toprak nemini de artırarak toprakların infiltrasyon kapasitesini azaltmıştır. Mart ayında meydana gelen yağışlar, Nisan ayının ilk günlerinde düşen yağışlarla eriyen kar örtüsü Karasu Irmağının debisini artırarak taşkına hazırlayan faktörlere dönüşmüştür. 9 Nisan da düşen yağış ise taşkına tetiklemiştir.

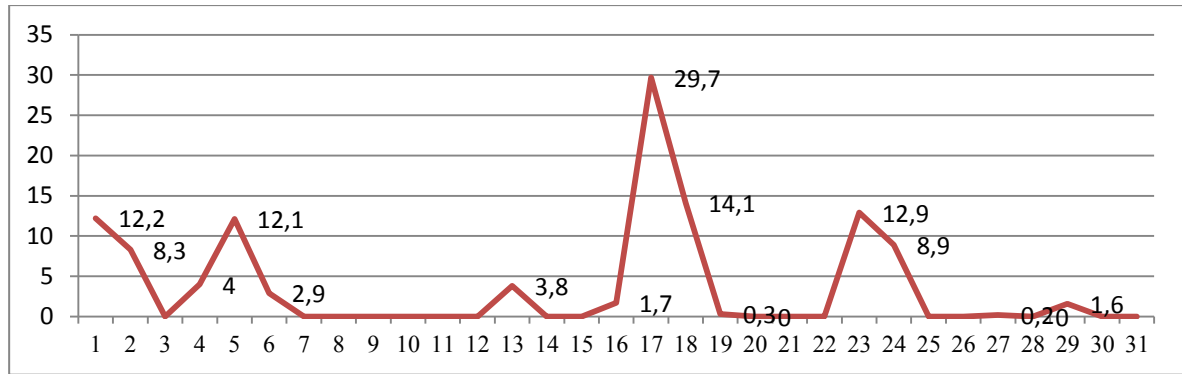


Grafik 13: Nisan ayına (2012) ait günlük yağış grafiği



Foto 7: A ve B 9 Nisan 2012’de Karasu ve kollarının taşmasıyla sel ve taşkınlardan etkilenen saha.

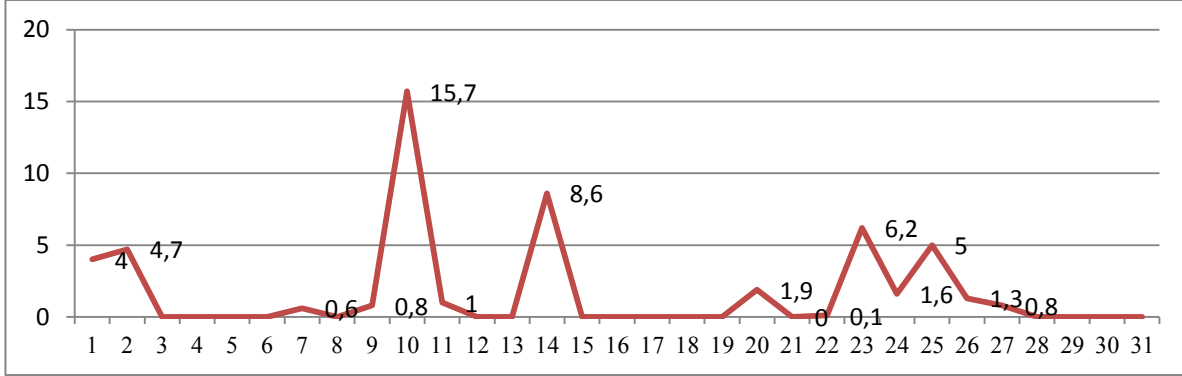
18-19 Mart 2013’de sel ve taşkınların meydana gelmesinde de Mart ayının 105 mm olan ortalama yağış miktarının yaklaşık %25’i olan 43,8mm yağış (Grafik 14) bu iki günde düşmesi sel ve taşkınların yaşanmasında önemli bir etkidir. Bu tarihlerde meydana gelen sel ve taşkınlar Sungu, Hasköy, Düzkışla beldeleri ile Kocatarla, Gölyazı, Karakele Köyün de (Korkut) etkili olmuştur. Yağışlarla birlikte yerdeki karın hızla erimesi, eğimin az olduğu yerlerde bu suların birikmesi, Havaalanı yolu olarak bilinen karayolunun güzergâhının Sungu da suyun hareketini engellemesi (yol dolgu yapılarak ova tabanından 1,5 - 2 m. yüksektedir) sel ve taşkın boyutunun artmasına etki alanının genişlemesine neden olan unsurlardır.



Grafik14: Mart ayına (2013) ait günlük yağış grafiği

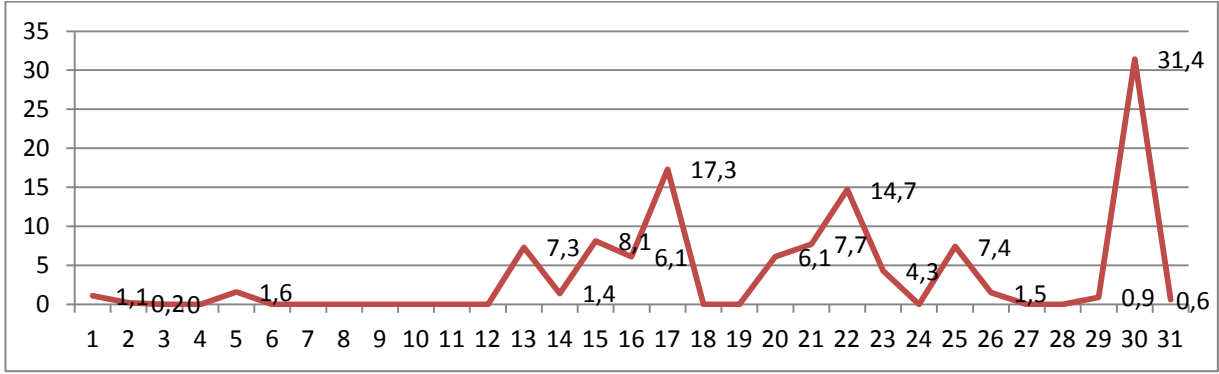
9-10 Mayıs 2014 tarihinde yaşanan sel de Mercimekkale köyünün kuzeyinde yer alan Sudurağı köyünde 40 koyun telef olmuştur. Yağmur suları eğim değeri yüksek yamaçlardan tarafından hızla Murat ırmağına ulaşınca, Murat ırmağının suları da bu yüzey suları ile hızla

yükselmiştir. O an için Murat ırmağının sığ bölümlerinde bulunan koyun sürüsü sel sularına kapılarak telef olmuştur.



Grafik 15: Mayıs ayına (2014) ait günlük yağış grafiği

30 Mart 2015 tarihinde meydana gelen sel ve taşkın da yağışlarla birlikte, yağışın etkisiyle eriyen kar örtüsü önemli bir faktördür. Mart ayının 105 mm olan ortalama yağış miktarının yaklaşık % 30'u 31,4 mm. 30 Mart'ta gerçekleşmiştir. Bu yağış Mart ayında erimeden toprak üzerinde kalmış kar örtüsünün erime hızını artırmıştır. 30 Mart 2015'te meydana gelen sel ve taşkınlardan Yoncaöz Köyü etkilenmiştir. Yoncaöz köyü Karasu ırmağına yakın, eğimin az olduğu ve çevreden gelen suların da toplanabileceği bir konumdadır. Köyün bir bölümü Karasu'nun eski menderesleri içerisinde kalmaktadır. Eğimin az olmasından dolayı enerjileri düşük Karasuya ait yan dereler yataklarını fazla derine kazamadıkları için su taşama kapasiteleri bu bölümde azdır. Ayrıca 12 Mart'tan itibaren aralıklarla da olsa devam eden yağışlar (Grafik 16) da yan kollara ait küçük vadilerin su ile dolmasına neden olmuştur. 30 Mart'ta ki yağış ise küçük derelerin yataklarında taşıyabileceğinden daha fazla bir suyu oluşturunca taşan sular Yoncaöz köyüne zarar vermiştir.



Grafik 16: Mart ayına (2015) ait günlük yağış grafiği

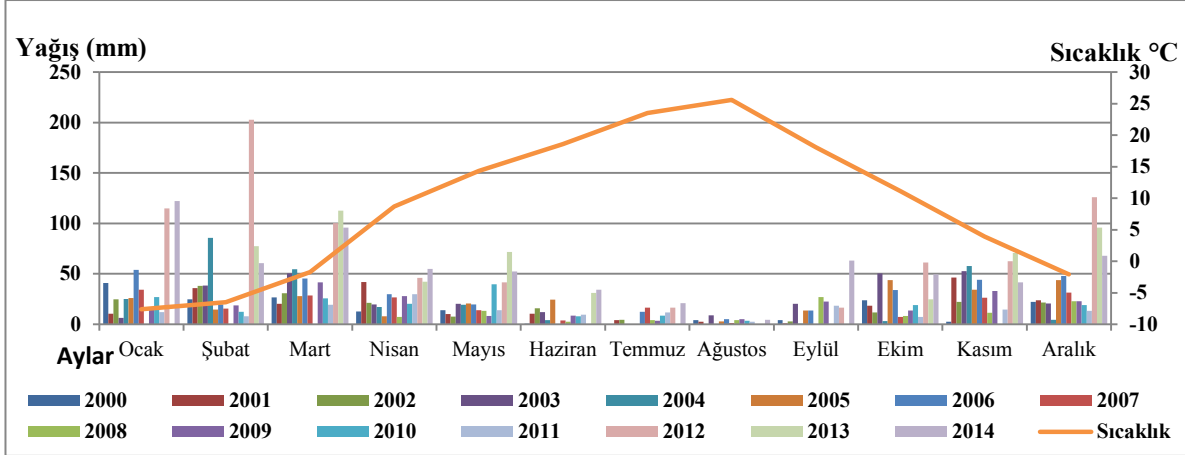
Muş İlinde Sel ve Taşkınlara Neden Olan Faktörler:

Sel ve taşkınlar çok farklı nedenlere bağlı olarak meydana gelmektedir. Sel ve taşkınlar yağış şekli ve yoğunluğu, drenaj ağı ve geometrisi, toprak özellikleri, bitki örtüsü (Campana vd. 2001, Viglione vd. 2010) gibi doğal birçok faktörler ile tarım alanlarının açılması, şehirleşme, sanayileşme ve ulaşım gibi (Xian vd. 2007, Karabulut vd. 2007, Semadeni vd. 2008, Shi 2007, Villarini vd. 2009, Wheather vd. 2009) insan kaynaklı faktörlerden dolayı da oluşabilmektedir. Gerek çalışmayı çok fazla dağıtmadan gerekse sınırlandırmak adına birbiriyle yaklaşım itibariyle benzerlik gösteren, konuyla ilgili bazı araştırmacıların (Gürgen 2004, Turoğlu 2005, Şen 2009, Oğuzhan vd 2010) sel ve taşkın zararlarını artıran unsurlar adıyla çalışmalarında ifade ettiği ve bizimde saha gözlemlerimizle paralellik gösteren faktörler üzerinde kısaca durulacaktır. Buna göre Muş ilinde sel ve taşkınların büyüklük ve zararlarına etki eden faktörleri meteorolojik faktörler, jeomorfolojik faktörler ve insan müdahalesi esaslı sosyal faktörler olarak üç başlık altında sınıflandırılmak mümkündür.

1.Meteorolojik faktörler

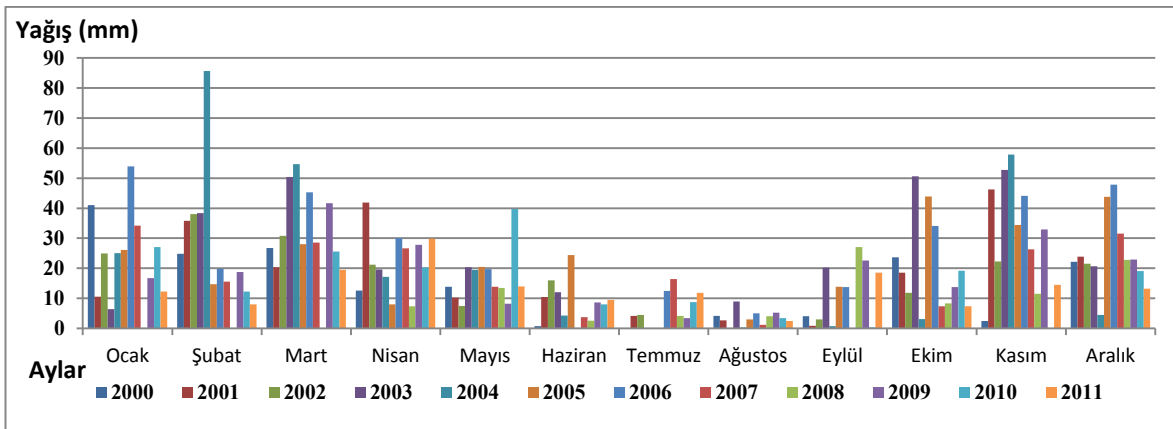
Sel ve taşkınlara neden olan meteorolojik faktörlerin başında şiddetli yağışlar ve kar erimeleri gelmektedir. Günümüzde mevcut gelişmiş atmosfer tahmin modelleri ve hidrolik tabanlı yöntemlerle taşkına neden olabilecek meteorolojik faktörler tahmin edilerek taşkın zararları (can ve mal kayıpları) azaltılabilmektedir. Genel bir neden olarak ifade edilse de Muş ovasında yaşanan 2011 ve 2012 yıllarında, sel ve taşkınlarda şiddetli yağışlar, kar erimeleri sel ve taşkınlara neden olmuştur. Gerek saha gözlemleri gerekse yapılan analizler şiddetli

yağış ve kar erimelerinin Muş ilinde sel ve taşkınları hem hazırlayıcı hem de sel ve taşkınları tetikleyen önemli meteorolojik faktörler olduğunu göstermektedir.



Grafik 17: Muş İline ait uzun yılları kapsayan yağış ortalamaları

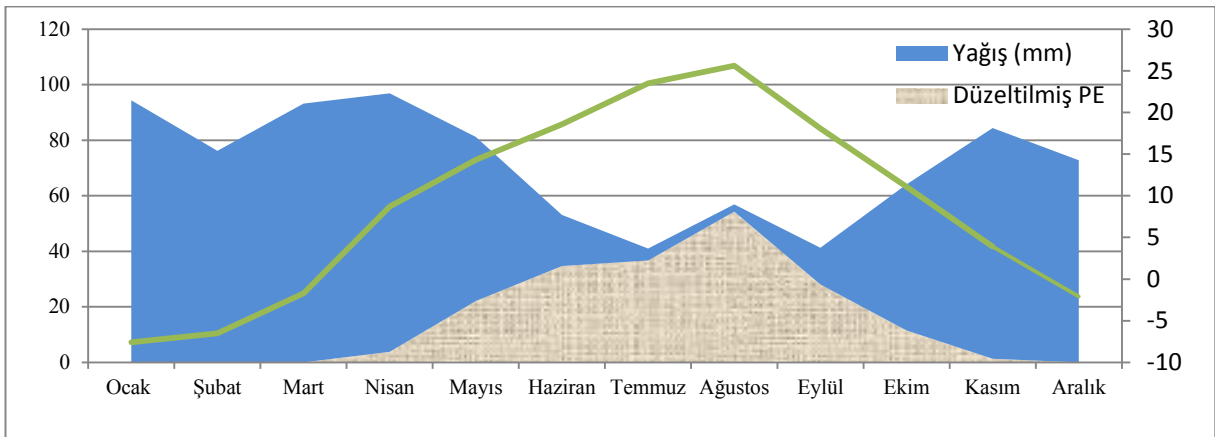
İnceleme sahasına ait uzun yılları kapsayan maksimum yağışları gösteren grafik incelendiğinde (Grafik,17) Ocak, Şubat, Mart ve Nisan aylarının yanında Ekim, Kasım aylarının da maksimum yağışların yoğunlaştığı aylar olduğu görülecektir. Ocak, Şubat, Aralık ayları ile Mart ayının ilk haftaları, sıcaklık ortalamalarının 0 C °'nin altında olması bu aylardaki yağışların hem kar şeklinde gerçekleşebileceği hem de erimeden ve yüzeysel akışa geçmeden yerde kalabileceğini göstermektedir.



Grafik 18: Muş İline ait uzun yılları kapsayan maksimum yağış grafiği

Nisan ayı gerek maksimum yağışlar açısından gerekse Şubat ve Mart aylarında yerde erimeden kalan karın artan sıcaklıklardan dolayı erimeye başladığı, aynı zamanda yerdeki karın üzerine düşen yağmurun etkisiyle de karın erime hızının arttığı sel ve taşkınlar açısından kritik bir aydır. 10 Nisan 2011’de meydana gelen sağanak yağışlar (Grafik,12) da yamaçlarda yer alan karlar daha hızlı bir şekilde erimiş, akarsu yataklarına taşınan su miktarının artmasına neden olmuştur. Bu durum sel ve taşkınlar için tetikleyici faktörlerden biri olmuştur. Seli tetikleyen maksimum yağışlardan önce gerçekleşen ve birkaç gün süren sağanak yağışlar ana akarsular ve yan kollarının su ile dolmasına neden olmakta özellikle ova tabanlarında düşük eğim değerlerinden dolayı yağışla oluşan yüzey suyunun tahliyesi yavaş bir şekilde gerçekleşmektedir. Sonrasında meydana gelen sağanak yağışlar yada onları takiben oluşan kar erimeleri sel yada taşkınları tetiklemektedir(Grafik12) (Foto 8).

Kar erimleri ve sağanak yağışlar dışında, toprak nemliliği de sel ve taşkınlar için neden olan, inceleme sahasında su fazlasının yaşanmasının nedenlerinden biridir. Thornthwaite metoduna göre oluşturulmuş Muş iline ait su bilançosu incelendiğinde (Grafik, 3) Nisan ayından Haziran sonuna kadar olan devrede toprakta su fazlasının olduğu görülebilir. Bu durum Nisan’dan, Haziran sonuna kadar olan devrede toprakların infiltrasyon kapasitesini azaltarak; gerek yağışın, gerekse eriyen karın büyük bir bölümünün yüzeysel akışa geçmesini kolaylaştıran bir faktördür.



Grafik 19 Thornthwaite metoduna göre oluşturulmuş Muş iline ait su bilançosu



Foto: 8 Yerdeki kar örtüsü üzerine düşen yağış karın erime hızını artırır, diğer faktörlerle birleşerek sel ve taşkınları tetikler.

2. Jeomorfolojik faktörler

Muş ilinde yaşanan sel ve taşkınlara neden olan faktörlerden biride ilin jeomorfolojik özellikleridir. Jeomorfolojik özellikler adı altında ilin yükselti, eğim, bakı gibi özellikleri değerlendirilmiştir. Bu doğal unsurlar bu çalışmada sel ve taşkın duyarlılık haritalarının oluşturulmasında kullanılan parametreler başlığı altında daha detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

3. İnsan faktörü

Taşkın riski taşıyan alanlarda önceden önlem alınmaksızın süregelen kontrolsüz kentleşme faaliyetlerinin dünyanın her yerinde taşkın afetinin temel nedeni olduğu belirtilmektedir (Oğuzhan vd. 2010). İnsan etmeni ve faaliyetleri sel ve taşkınların zarar derecesini artıran bir unsur olarak kısada olsa ayrı bir başlık altında burada belirtilecektir. İnceleme sahası içerisinde özellikle taşkın riskinin yüksek olduğu yerler, alçak ve düzlük sahalar hem tarım alanı hem de yerleşim alanı olarak kullanılmaktadır. Alt yapının yetersiz/olmadığı yerlerde içme suyu, temizlik gibi temel ihtiyaçlarını karşılamak için suya yakın alanlar yerleşim alanı olarak seçilmektedir. Akarsu morfolojisi dikkate alınmadan sadece ihtiyaçlar gözetilerek yapılan bu yerleşmeler akarsu taşkın yatağına da karşılık gelmektedir (Foto 9). Akarsu yatağında fazla suyun tahliye edildiği bu alanlarda ki yerleşmeler taşkın sularından olumsuz etkilenmektedir.

Taşkından olumsuz etkilenebilecek ovadaki yerleşmeler daha çok köy yerleşmeleri şeklindedir. Bu yerleşim alanlarının çoğunun alt yapısı yetersizdir. İçme, sulama suyu elde etmek amacıyla ya da hayvancılık faaliyetlerinde kullanmak için su kenarları tercih edilmektedir. Özellikle su kenarları, taşkın yatakları, taşkınlarla taşınan mil gibi malzemelerle doğal olarak gübrelendiğinden den, tarım alanı olarak bu sahaları cazip hale getirmektedir. Su kenarlarında yerleşim alanlarının yoğunlaşması, taşkın alanlarının yoğun tarımsal faaliyetlerde kullanılması, meydana gelen sel ve taşkınlarda zararın boyutlarını da artırmaktadır. Hasköy, Sungu, Korkut yerleşmeleri bir akarsu kenarına kurulmuş yerleşim

alanlarıdır. Yerleşmelerin bir bölümü akarsu taşkın yatağı içerisinde yer almaktadır. Sık sık taşkınlardan olumsuz etkilenme nedenlerinden biride budur.

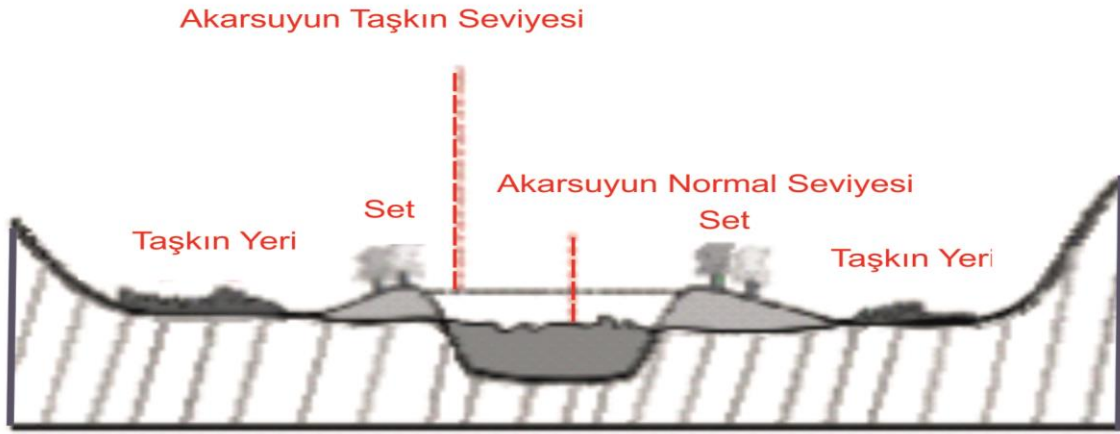


Foto:9 Yerleşim alanının bir bölümü Sungu Deresinin taşkın yatağı içerisinde kalan Sungu beldesi.

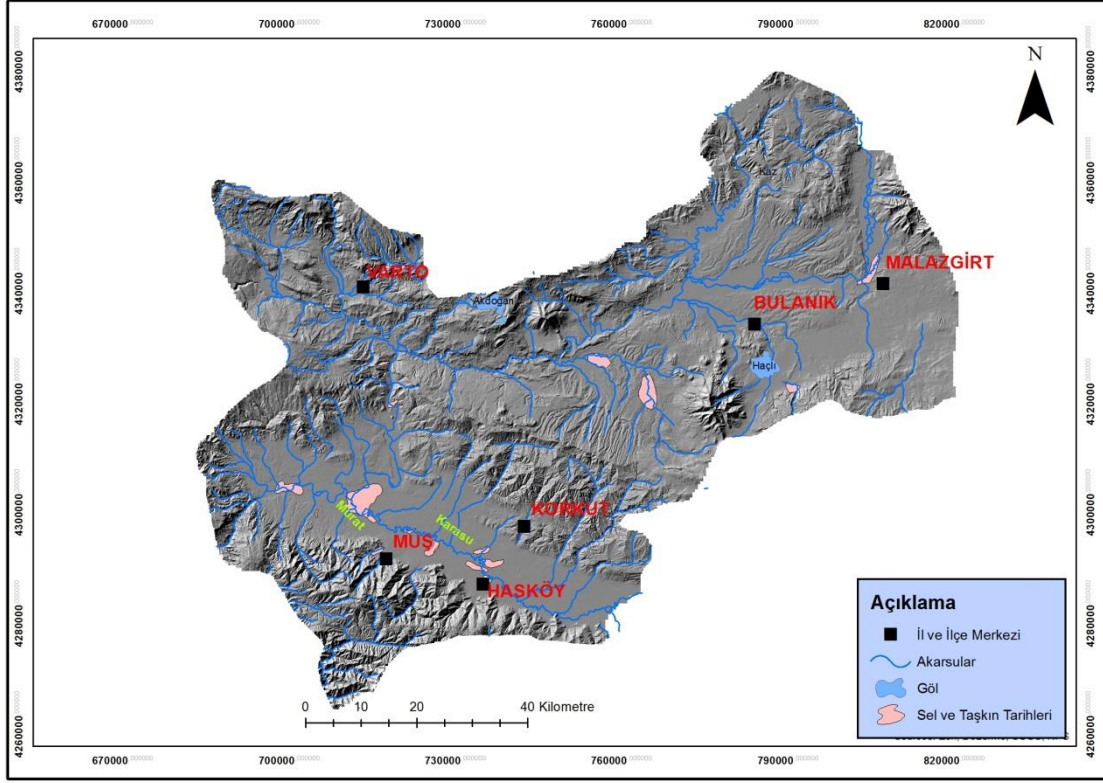
Muş ilinde Sel ve Taşkına Duyarlı Alanların Analizi

Çalışmanın bu bölümünde Muş ilinde sel ve taşkına duyarlı alanlar değerlendirilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla arazi gözlemleri ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılarak yapılan analizlerle elde edilen veriler doğrultusunda sel ve taşkın duyarlılık haritaları üretilmiştir. Sel ve taşkın duyarlılık haritalarının oluşturulmasında iki temel mantık vardır. Geçmiş ve bugün, geleceğin anahtarıdır (geçmişte ve bugün sel ve taşkına maruz kalmış alanlar, gelecekte de sel ve taşkına maruz kalabilirler bu nedenle sel ve taşkın envanteri temel unsurdur). İkinci bir gerekçe ise geçmişte ve bugün, sel ve taşkınların oluşumunda etkin olan hazırlayıcı parametreler, gelecekte de benzer koşullarda sel ve taşkın oluşumuna neden olabilirler (sel ve taşkın parametreleri temel unsurdur).

Veri ve Yöntem

Bu çalışmada daha önce meydana gelen sel ve taşkınların etkili olduğu alanlar CBS ile analiz edilerek, sel ve taşkınları hazırlayıcı temel parametreler belirlenerek sel ve taşkın duyarlılık haritalarında kullanılacak ölçütlerde belirlenmeye çalışılmıştır. Bunun için eğim, bakı, yükselti gibi parametrelerin değerlendirilmesinde altlık olarak 1:25000 ölçekli topoğrafik paftalardan elde edilen Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) ile inceleme sahasına ait Lansat uyusuna ait 2000 yılına ait görüntülerden bant kombinasyonları ile elde edilen NDVI kullanılmıştır. Kullanılan SYM'nin yersel çözünürlüğü 30m'dir. Bu veriden yararlanarak sel ve taşkına neden olan jeomorfolojik parametrelerin üretilmesinde yararlanılmıştır. Belirlenen her bir parametre kendi içerisinde ağırlıklandırılarak, (Yükselti, Bakı, Eğim, Toprak Grupları, NDVI) her bir parametre için ayrı ayrı duyarlılık haritası oluşturulmuştur. Bu haritalar için her bir ölçüt alt bileşenlerine ayrılmıştır. Her bir alt bileşene kendi içerisinde 1 ile 5 arasında değişen değer ataması yapılarak yeniden ağırlıklandırılmıştır. 1 çok az, 2 az, 3 orta, 4 yüksek ve 5 çok yüksek değerlerini ifade etmektedir. Sel ve taşkın duyarlılık haritalarının oluşturulmasında yeniden sınıflandırılan her bir ölçüte ait haritalara (Yükselti, Bakı, Eğim,

Toprak Grupları, NDVI) 1 ile 5 arasında değer ataması yapılarak, haritalar çakıştırılarak, sel ve taşkın için duyarlılık haritaları elde edilmiştir.



Şekil 5: Muş iline ait sel ve taşkın envanter haritası

Tablo:2 Taşkın Duyarlılık haritasında kullanılan parametrelerin ağırlıklı değerleri

YÜKSEKLİK	EĞİM	BAKI	TOPRAK	NDVI
4	5	3	2	4

Tablo:3 Sel Duyarlılık haritasında kullanılan parametrelerin ağırlıklı değerleri

YÜKSEKLİK	EĞİM	BAKI	TOPRAK	BİTKİ ÖRTÜŞÜ
2	5	3	1	4

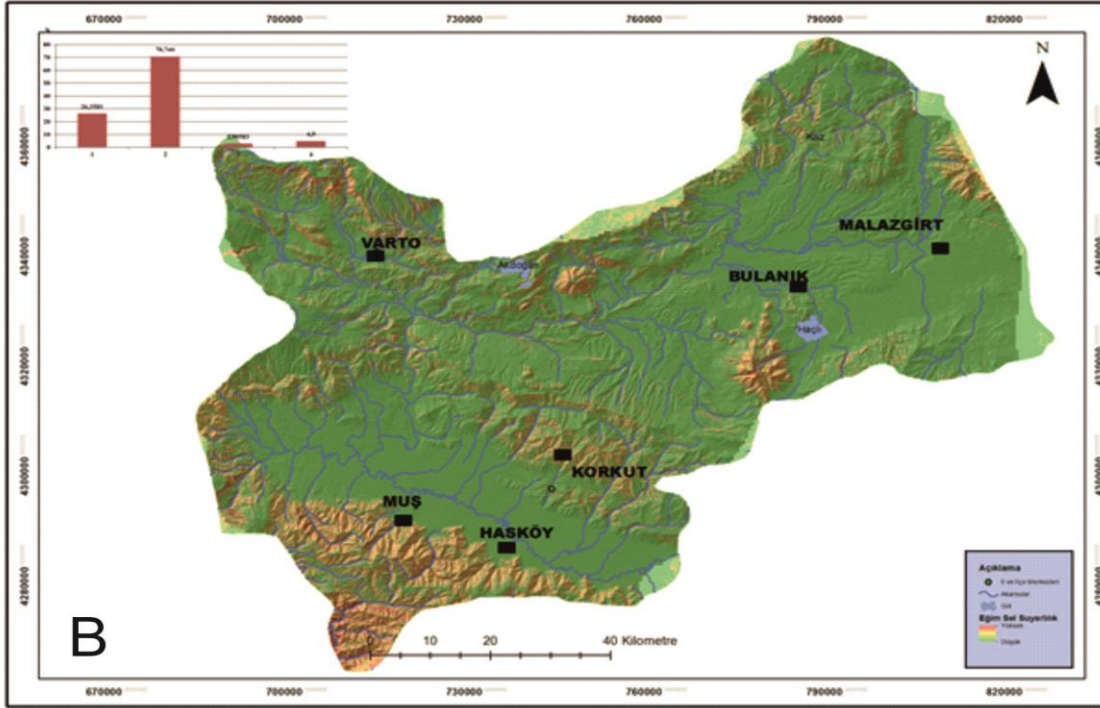
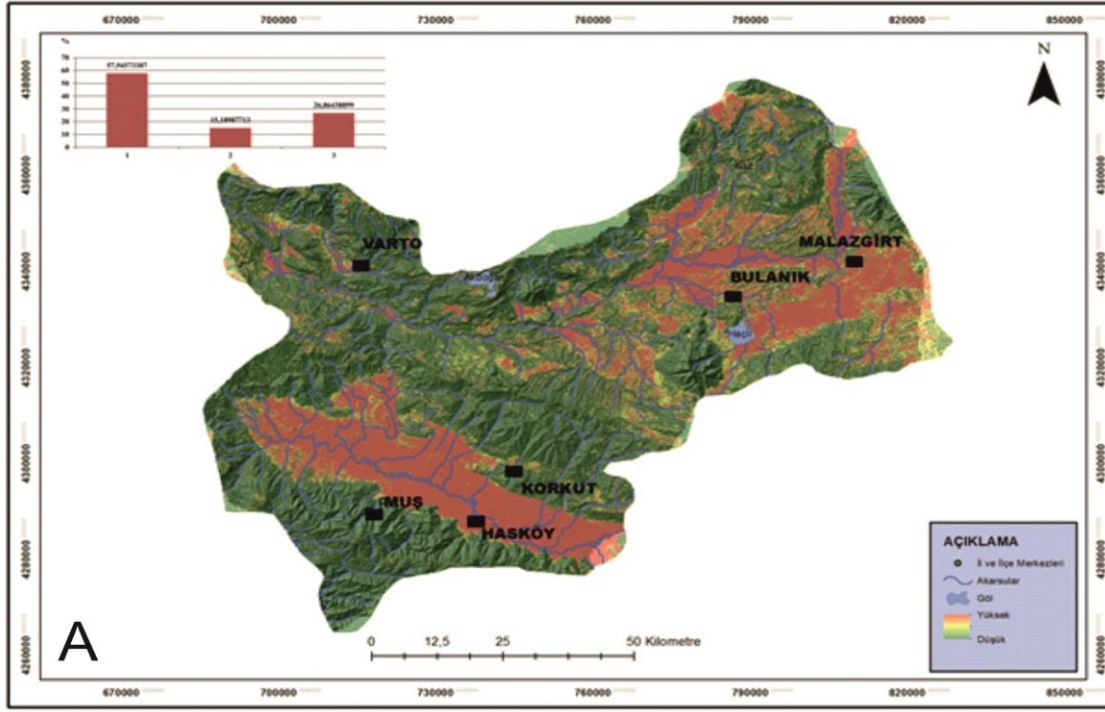
Sel ve Taşkın Duyarlılık Haritalarının Üretilmesinde Kullanılan Parametreler:

1.Eğim

Bir yamaçtaki iki nokta arasındaki yükseklik farkının bu iki nokta arasındaki yatay uzaklığa oranı, yamaç eğimi olarak tanımlanmaktadır. Diğer bir ifadeyle, yamaç eğimi, dikkate alınan bu iki noktayı birleştiren çizginin, yatayla oluşturduğu dar açığa verilen isimdir. Bu parametre SYM' dan (Sayısal Yükseklik Modeli) üretilmektedir

Eğim; yüzeysel akış, toprak nemi, taban suyu ve akarsu akımını etkilediği için sel ve taşkınların meydana gelmesinde önemli bir faktör olarak değerlendirilmektedir. Eğim değerleri yerçekimine bağlı olarak gerek suyun akış hızını, buna bağlı olarak malzemelerin taşınmasını ve taşınan malzeme boyutunu, bunların depo edileceği, suyun da birikebileceği alanları belirlemektedir (Dölek 2008, Görüm 2008). Eğim, yağışın yüzeysel akışa geçiş süresini etkilemekte ve eğimin düşük olduğu yerlerde suyun daha fazla yüzeyde kalmasına neden olmaktadır. Bu nedenle alçak, düz ve düze yakın alanlar bu çalışmada yüksek taşkın duyarlılığına sahip yerler olarak değerlendirilmiştir. Taşkına duyarlı alanlarının belirlenebilmesi için yapılan eğim analizlerinde, 0-2° eğim aralığında olan yerler taşkınlar için duyarlılığın çok yüksek olduğu alanlar olarak kabul edilmiştir. Çok yüksek taşkın duyarlılık oranına sahip yerler sahanın yaklaşık %26,864'lük bölümünü oluşturmaktadır (Tablo 2). Muş ovası ile Bulanık ve Malazgirt ovalarının bir bölümü çok yüksek taşkın duyarlılığına sahip yerlerdir.

Sadece eğim parametresi kullanılarak oluşturulan sel duyarlılık haritasında (Şekil 6B) sel için yüksek duyarlılığa sahip olan yerler %4,9 luk bir değere sahiptir (Tablo 3). Yüksek sel duyarlılığına sahip alanların oranı düşük olsa da bu eğim aralığında yerleşmelerin bulunması sel tehlikesini artıran bir unsur olarak değerlendirilebilir. Sadece eğim parametresine göre oluşturulan sel duyarlılık haritasında yüksek sel duyarlılığına sahip yerler Muş Ovasının güneyinde yer alan dağlık kütlenin bir bölümü ile Haçlı Gölünün kuzeybatısında kalan sahalardır (Şekil 6B).



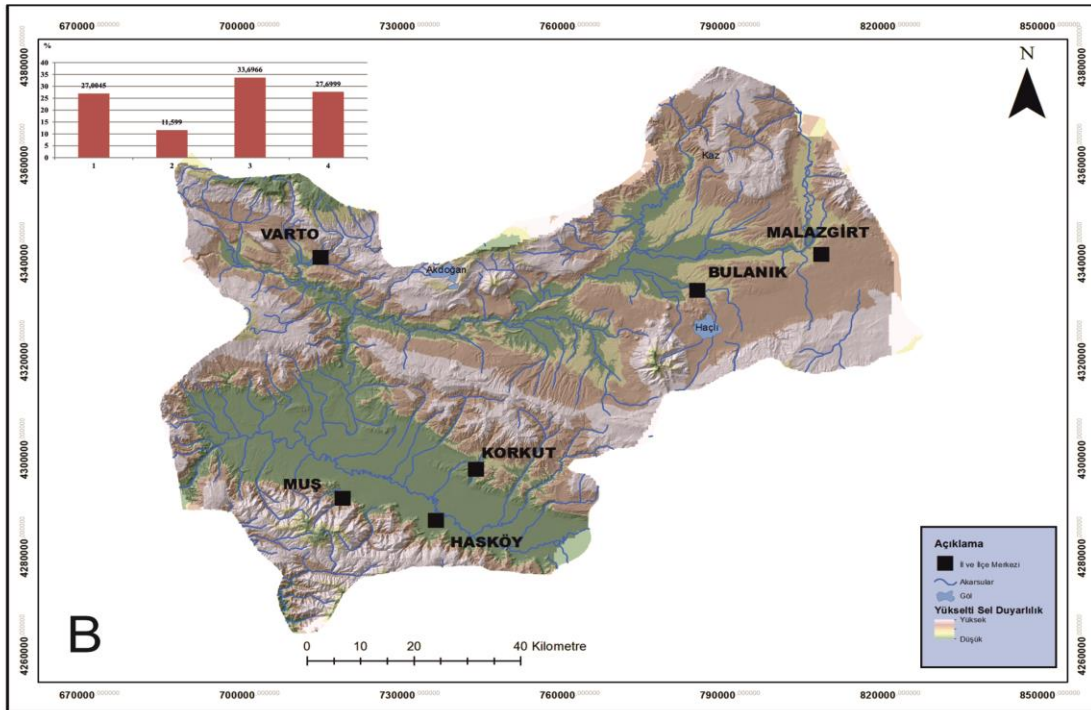
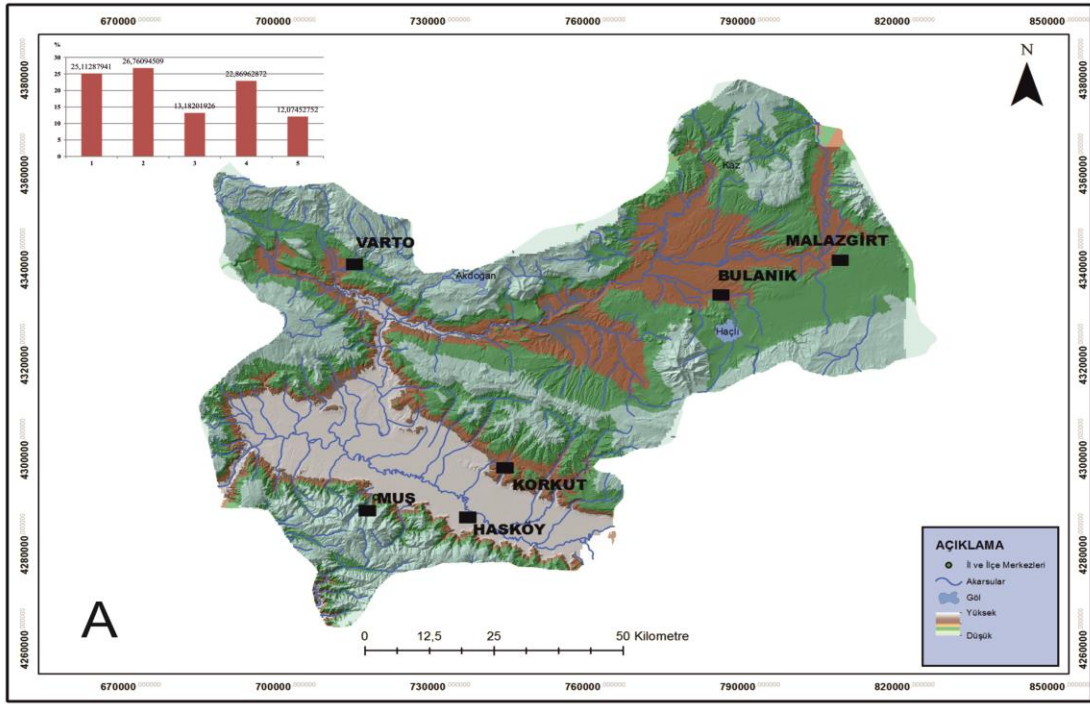
Şekil 6 Eğim parametresine göre oluşturulmuş Sel (A) ve taşkın (B) duyarlılık haritaları

2.Yükselti

Yükseklik, sıcaklık ve sıcaklık ortalamaları üzerinde etkili olduğu gibi yağış miktarı, yağış türü ve buharlaşma miktarı gibi unsurlar üzerinde de etkili olan bir faktördür. Teorik olarak düşünülürse deniz seviyesinden daha yükseğe çıkıldıkça sıcaklığın düşmesi, yağın kar miktarının artması, bir yükseltiye kadar yağış miktarının artması beklenebilir. Ayrıca, düşük kotlara düşen kar kütleleri, sıcaklık-yükseklik ilişkisine bağlı olarak, üst kotlara göre çok daha çabuk erime eğilimindedir. Yine yüksek kotlarda rüzgâr hızı çok daha fazla olmakta iken düşük kotlarda rüzgâr hızında önemli düşüşler meydana gelebilmektedir. Bu nedenle sel ve taşkın haritalarının oluşturulmasında bu çalışmada yükselti de bir ölçüt olarak kullanılmıştır. Bu parametrenin oluşturulmasında SYM (Sayısal Yükselti Modeli) kullanılmakta, ancak vektörel yükseklik değerlerinden üretilen raster formattaki SYM, doğrudan analizlere sokulmaktadır.

Yükselti faktörü için oluşturulan taşkın duyarlılık haritasında (Şekil 7B) yüksek - çok yüksek duyarlılık oranına sahip olan yerlerin sahada yaklaşık % 33'lik bir alan kapladığı görülür (Tablo 4). Sadece yükselti parametresi dikkate alınarak oluşturulan taşkın duyarlılık haritasında yüksek – çok yüksek duyarlılık oranına sahip yerler Muş ovasının büyük bir bölümü ile Murat ırmağının ovanın kuzeyindeki dağlık kütleleri yarıdığı bölüm ile Murat ırmağının Muş ovasını terkettiği bölümlere karşılık gelmektedir.

Yine sadece yükselti değerleri kullanılarak oluşturulan sel duyarlılık haritasında (Şekil 7A) ise çok yüksek duyarlılığa sahip alanların sahada %27,69'lık bir orana sahip olduğu görülür (Tablo 3). Oluşturulan taşkın duyarlılık haritasında yüksek duyarlılık oranına sahip olan yerlerin fazla olması; farklı nedenlere bağlı olarak oluşan fazla suyun alçak sahalarda, ova tabanında toplanacağını da gösterir.

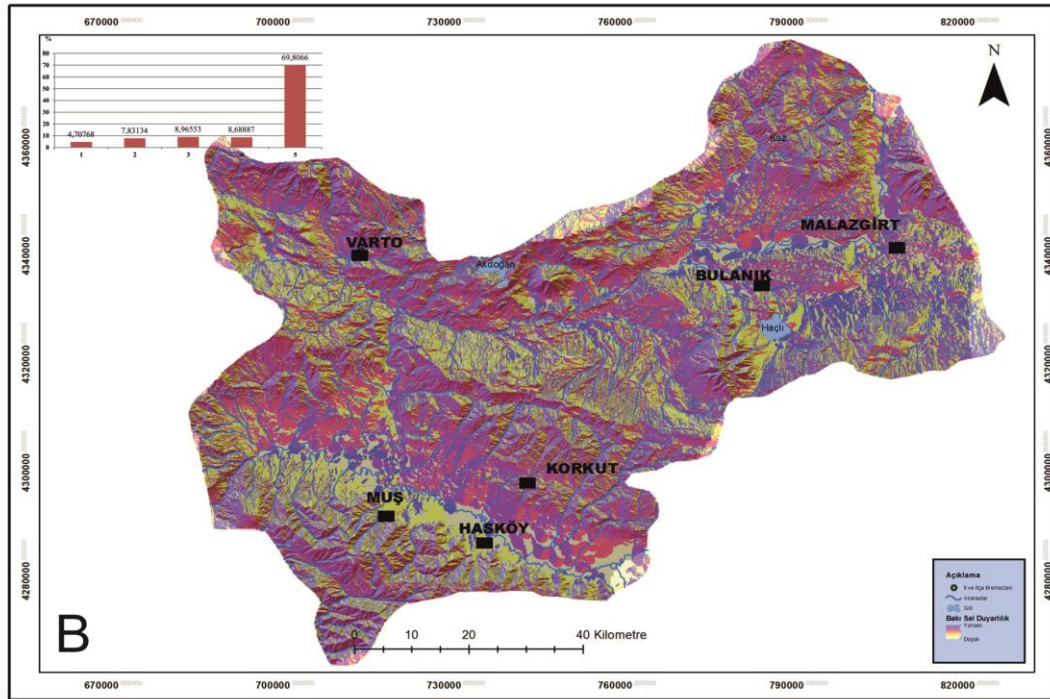
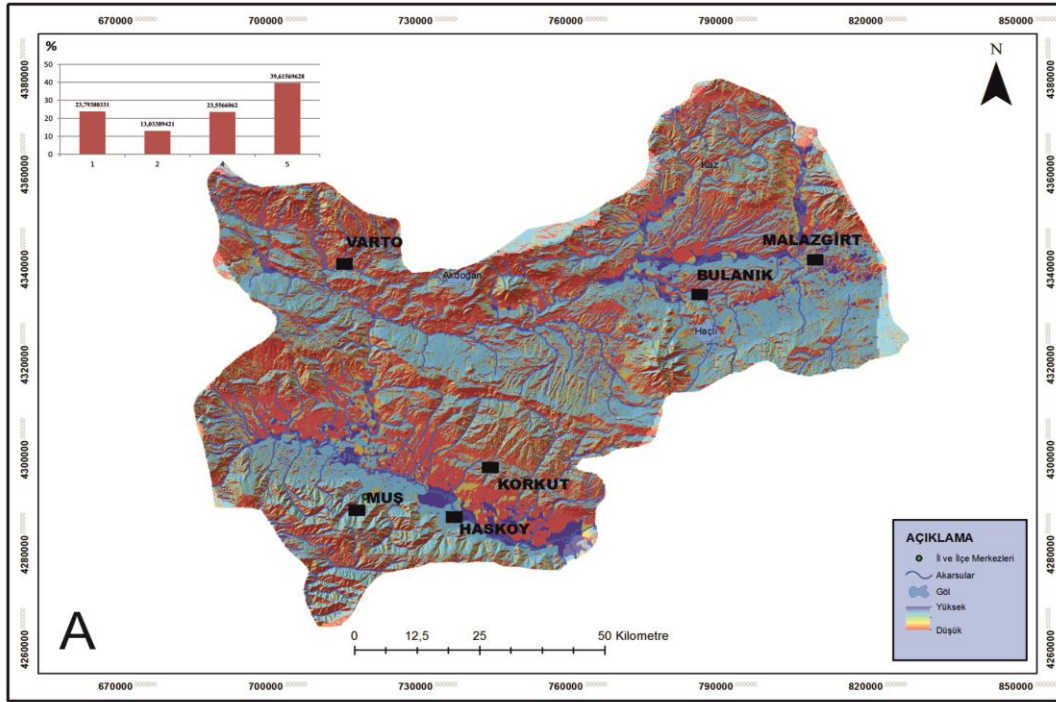


Şekil 7 Yükselti parametresine göre oluşturulmuş Sel (A) ve Taşkın (B) duyarlılık haritaları

3.Bakı

Bakı kavramı veya yamaç yönelimi, yamacın coğrafi yön olarak hangi yöne baktığını ifade etmekte olup, yamacın baktığı yönün azimut cinsinden kuzeyle yaptığı açı olarak tanımlanmaktadır. Bu tanım ayrıca, güneş ışığını alma/almama, buharlaşma, su tutma/tutmama gibi kavramlarla da ilişkilendirilerek, duyarlılık değerlendirmelerinde sıklıkla kullanılan bir parametredir. Yamaçlara ilişkin bakı değerleri 0° ile 360° arasında değişmektedir. Bakı parametresinin analizlerde kullanılmasında ki temel ilke yamacın baktığı yön ile güneş ışığını alma /alamama, rüzgar yönü, hava akımı gibi bölgesel özelliklerin birarada değerlendirilebilmesidir.

Türkiye kuzey yarım kürenin orta kuşağında yer aldığından dolayı; kuzeye bakan yamaçlarda güneşlenme süresi daha kısadır. Bu durum sıcaklık ortalamalarını etkilediği gibi dolaylı olarak buharlaşma miktarı ve karın yerde kalma süresini de etkiler. Ancak bakının özellikle taşkınlar açısından önemi düz veya düze yakın yerlerin yağmur ve eriyen kar sularının birikebileceği, taşkın riskinin yüksek olduğu sahalardan kaynaklanır. Bakı faktörüne bağlı olarak oluşturulan taşkın duyarlılık haritasında (Şekil 5B) Yüksek duyarlılık oranına sahip yerler %69'luk bir orana sahiptir (Tablo 4) . Sungu Beldesi ile Hasköy ilçesi duyarlılığın yüksek olduğu yerlerdir. Sel duyarlılığı açısından yüksek duyarlılık oranına sahip yerler ise %39'luk (Şekil 8A) bir orana sahiptir (Tablo 3).

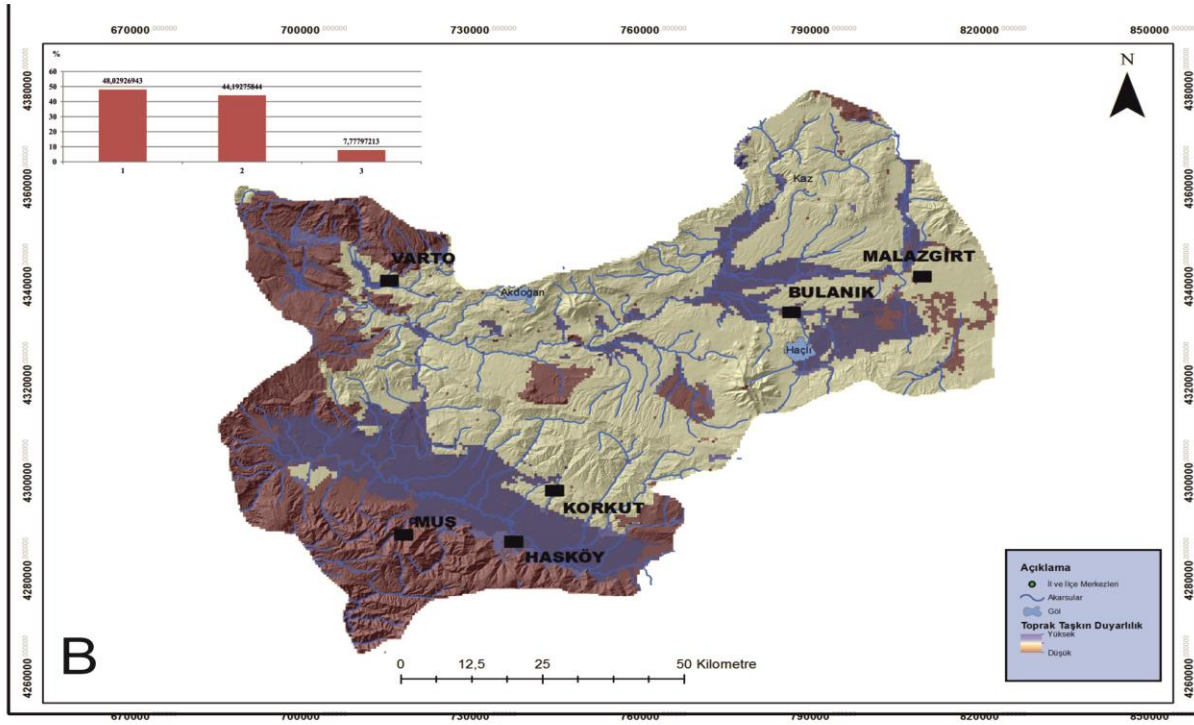
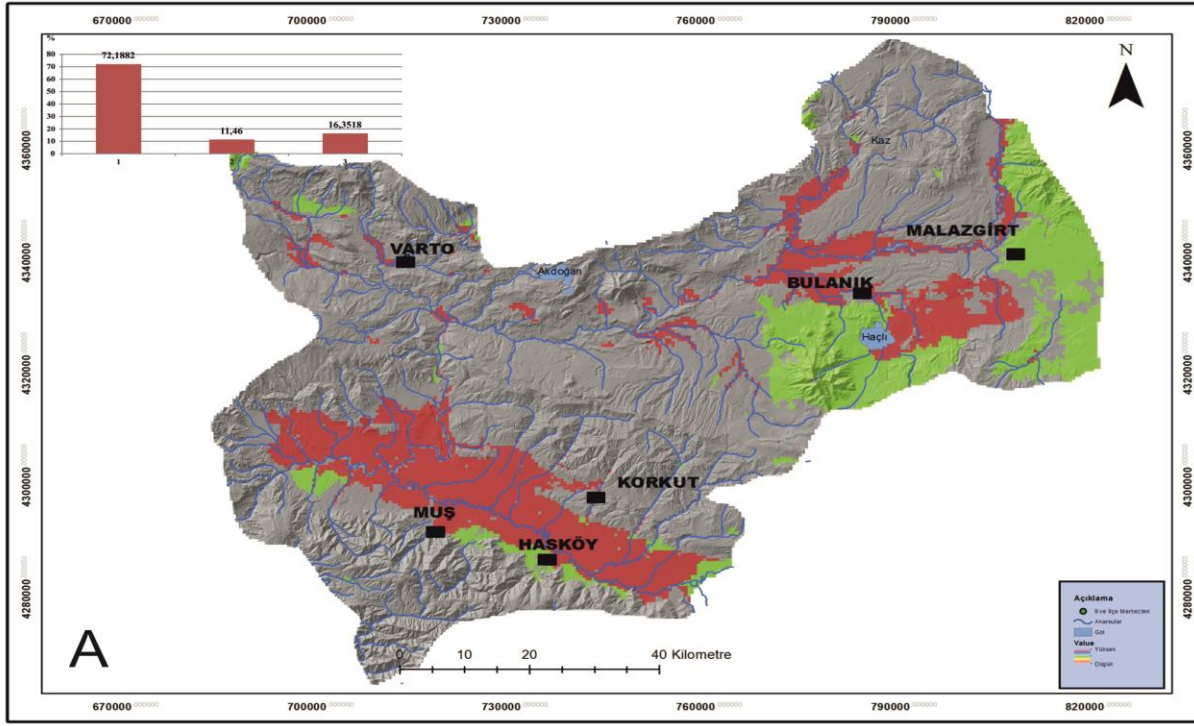


Şekil 8: Bakı parametresine göre oluşturulmuş Sel (A) ve Taşkın (B) duyarlılık haritaları

4.Toprak özellikleri

Muş Ovası'nda farklı özelliklerde toprak tiplerine rastlanmaktadır. Ancak en yaygın olarak görülen toprak türü vertisollar ile alüvyonlardır. Akarsu boyları ve yakın çevrelerinde alüvyal topraklar daha yaygın olarak görülürken, dağlık kesimlerin ovaya açılan bölümlerinde kolüvyal topraklar ön plana çıkmaktadır (Atalay, 1983; Sönmez 2005). Alüvyal toprakların bulunduğu sahalarda özellikle tabansuyu seviyesinin yüksek olması bu toprakların geçirimsizlik düzeylerini azaltmaktadır.

Toprak grupları kullanılarak oluşturulan sel duyarlılık haritasında duyarlılık oranı orta derecede taşkına duyarlı alanlar inceleme sahasının %16,351'ük bir bölümünü oluşturur (Tablo 3). Toprak grupları kullanılarak oluşturulan taşkın duyarlılık haritasında ise orta derecede taşkın duyarlılığına sahip yerler (Şekil 9B) inceleme sahasının yaklaşık % 7,77'sini oluşturmaktadır (Tablo 4).Genelde taşkın duyarlılığının yüksek olduğu yerler vadi tabanların da yeralan alüvyon toprakların bulunduğu bölümlere karşılık gelmektedir (Şekil 9A).

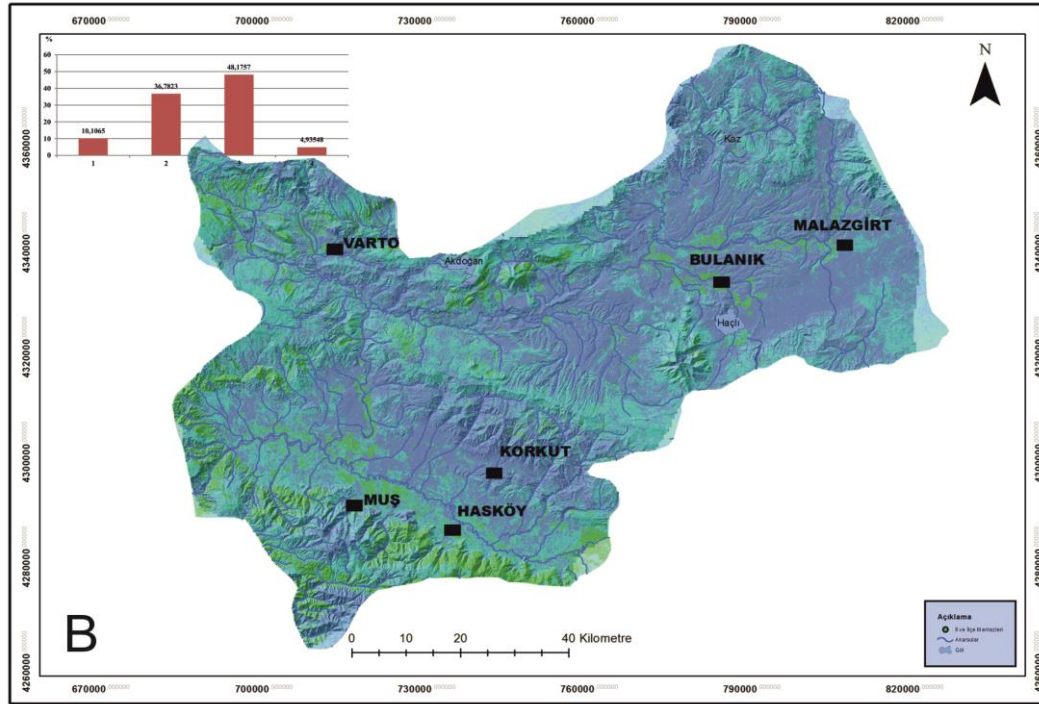
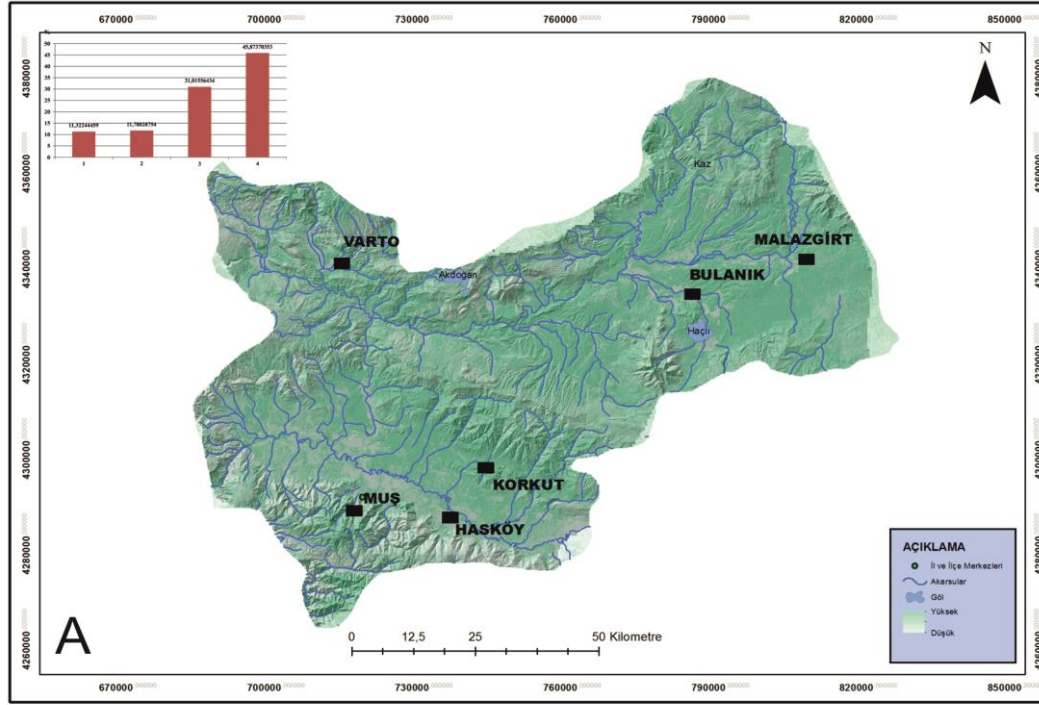


Şekil 9: Toprak parametresine göre oluşturulmuş Sel (A) ve Taşkın (B) duyarlılık haritaları

5.Bitki örtüsü özellikleri

Bitki örtüsü sel ve taşkınların sıklık ve şiddetleri üzerinde etkili olan unsurlardan birisidir. Değişik eğim ve yükselti değerlerinde yer alan bitki örtüsü yüzeysel akışı azaltarak, yavaşla tarak, sel ve taşkınlar üzerinde önleyici bir rol oynamaktadır. Sahadaki bitki örtüsü bu etkiyi yüzeysel akışı azaltarak, zeminin infiltrasyon kapasitesini arttırarak gerçekleştirmektedir. Bu etkiler bitki örtüsünün bozulması, tahrip edilmesi oranında da zayıflamaktadır (Görcelioğlu, 2003, Turoğlu 2005). Bu çalışmada bitki örtüsünün varlığı yada yokluğu ve yoğunluğu dikkate alınarak analizler yapılmıştır. Bu analizler için uydu görüntüsü kullanılarak sayısal içerikli bitki örtüsü indeks haritası (NDVI) kullanılmıştır.

Bitki örtüsü kullanılarak oluşturulan taşkın duyarlılık haritasında yüksek taşkın duyarlılığına sahip alanların oranı % 45,873'dir (Tablo 4). Yüksek sel duyarlılığına sahip alanlar %4,935, orta derecede sel duyarlılığına sahip alanların oranı ise %48,175'tir. (Tablo 3). Özellikle sel ve taşkın duyarlılığının yüksek olduğu alanlar inceleme sahasında doğal bitki örtüsünün tahrip edildiği alanlara karşılık gelmekte ve bu alanlar inceleme sahasında daha çok tarım alanı olarak kullanılmaktadır (Şekil 10B, 10B).



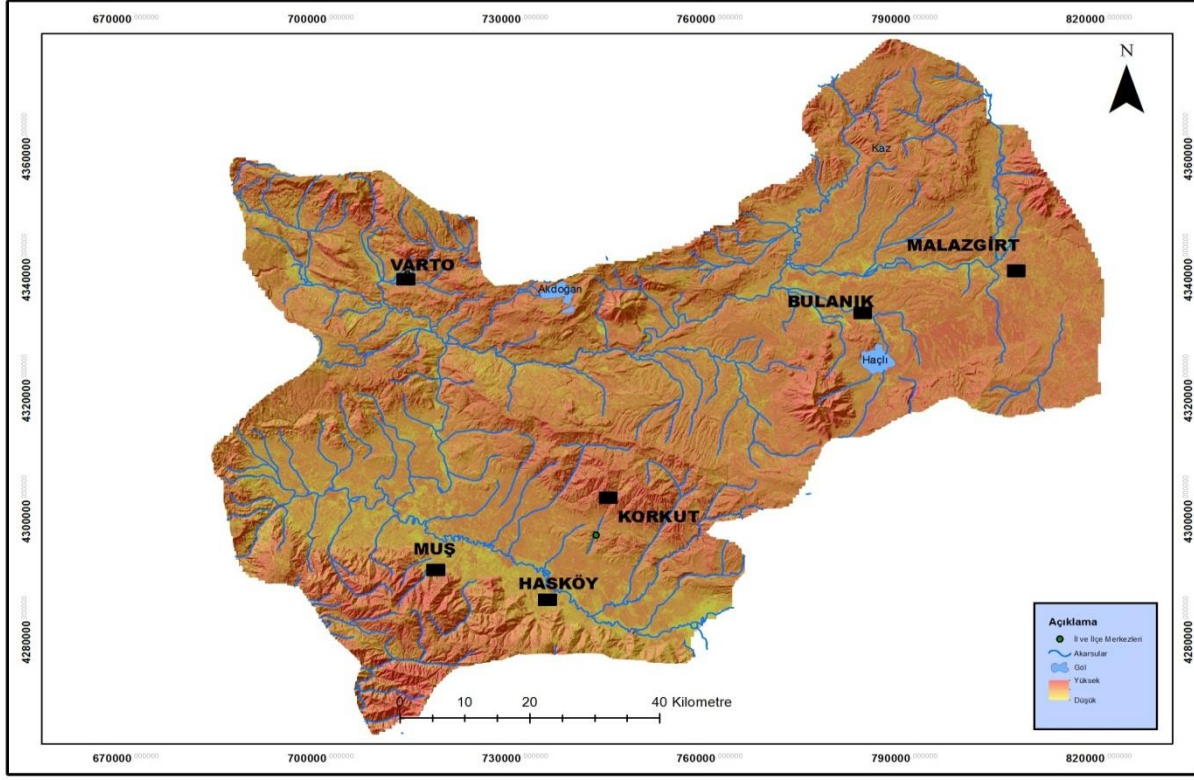
Şekil 10: NDVI parametresine göre oluşturulmuş Sel (A) ve Taşkın (B) duyarlılık haritaları

Tablo:4 Sel duyarlılık haritasının oluşturulmasında kullanılan her bir parametreye ait duyarlılık oranları ile sahaya ait sel duyarlılık oranı

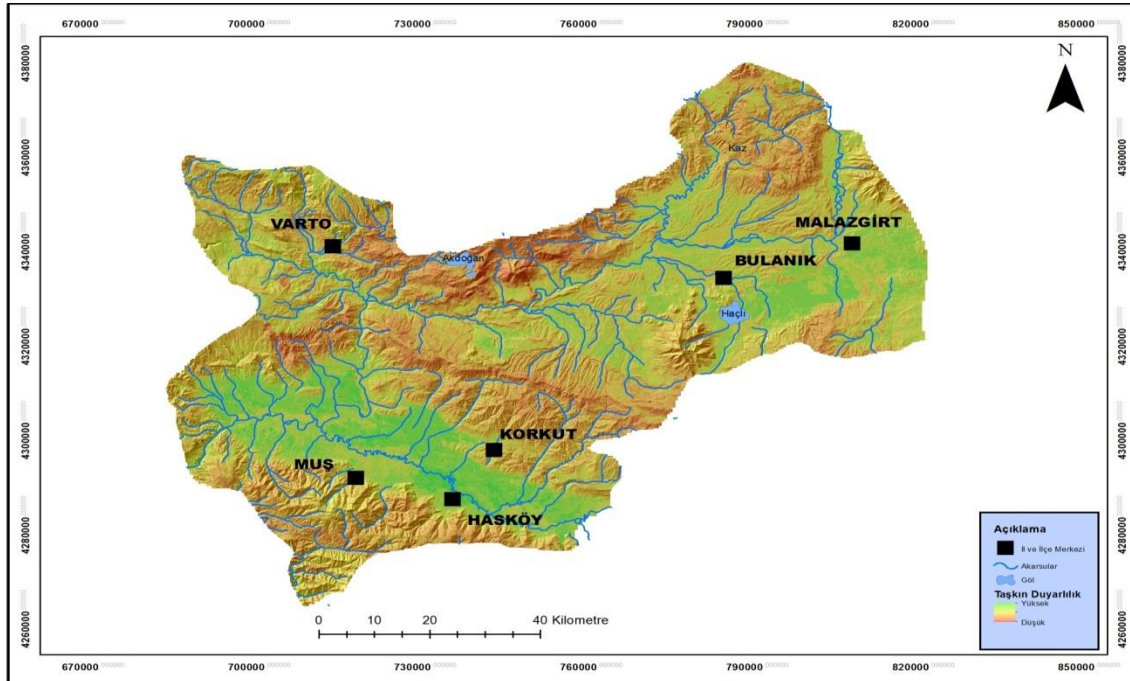
	Eğim	Bakı	Yükselti	NDVİ	Toprak	Sel Duyarlılık Oranları
Çok az (1)	26,350	4,707	27,004	10,106	72,188	4,01484
Az (2)	70,744	7,831	11,599	36,782	11,459	19,2355
Orta (3)	2,905	8,965	33,696	48,175	16,351	21,375
Yüksek (4)	4,9	8,688	27,699	4,935	-	47,7467
Çok yüksek (5)	-	69,806	-	-	-	7,6274

Tablo:5 Taşkın duyarlılık haritasının oluşturulmasında kullanılan her bir parametreye ait duyarlılık oranları ile sahaya ait Taşkın duyarlılık oranı

	Eğim	Bakı	Yükselti	NDVİ	Toprak	Taşkın Duyarlılık Oranları
Çok az (1)	57,945	23,793	25,112	11,3244	48,029	2,9349
Az (2)	-	13,033	26,760	11788	44,192	31,646
Orta (3)	15,898	23,556	13,182	31,015	7,777	38,326
Yüksek (4)	-	39,615	22,869	45,873	-	16,614
Çok yüksek (5)	26,864	-	12,074	-	-	10,478



Şekil 11: Sel Duyarlılık Haritası



Şekil 12: Taşkın Duyarlılık Haritası

Sonuç

1963–2015 yılları arasında AFAD, Sivil Savunma, Valilik kayıtları ile yerel gazetelerin taranması sonucunda Muş ili idari sınırları içerisinde gerçekleşmiş 32 adet değişik boyutlarda ve farklı konumlarda sel ve taşkın olayı belirlenmiş, bunlar envanter haritasına işlenmiştir.

Muş ili sınırları içerisinde gerçekleşen sel ve taşkınların daha çok Mart ayından başlayıp Eylül ayına kadar devam eden bir zaman dilimine yayıldığı görülmektedir. Bu zaman aralığı yılın yarısından fazlasında il sınırları içerisinde sel ve taşkınların meydana gelebileceğini ifade etmektedir. Sel ve taşkın olaylarının bu kadar uzun bir zaman dilimine yayılması ilin iklim ve jeomorfolojik koşullarının bir sonucudur.

Muş ilinde sel ve taşkınlar için en kritik ay Nisan'dır. En fazla sel ve taşkın olayının yaşandığı Nisan'ı Mart ayı takip etmektedir. Nisan ve Mart aylarının en fazla yağışın düştüğü dönemler olması dışında, bazı yıllarda karın erimeden yerde kalması ve bu kar örtüsü üzerine düşen yağmurun karın erime hızını artırması sel ve taşkınları tetikleyen önemli bir unsurdur.

Muş ili sınırları içerisinde meydana gelen sel ve taşkınlar can ve mal kayıpları dışında ulaşımı, alt yapıyı olumsuz etkilemektedir. Can ve mal kayıpları dışında yaşanan sel ve taşkınların kütle hareketlerini tetiklemesi sel ve taşkınların etkisinin artarak daha kompleks doğa olaylarına dönüşmelerine neden olmaktadır.

Sel ve taşkınlar yer altı su seviyesini etkilemektedir. Sel ve taşkınlar esnasında özellikle su şebekesi bulunmayan sondaj kuyuları yada basit tulumlarla içme suyu elde edilen kırsal alanlarda su kalitesi düşmektedir. Sudan kaynaklı hastalıklar yaşanmaktadır. Sel ve taşkınların insan sağlığı üzerine etkileri üzerine ilde yapılmış herhangi bir çalışma yoktur. Bu yönde yapılacak bir çalışma sel ve taşkınların etkilerini daha geniş bir şekilde değerlendirme olanağı sunacaktır.

Muş ili sınırları içerisinde 1990 yılından itibaren sel ve taşkın olay sayısında bir artış terendi dikkat çekicidir. Ancak 2000 yılından sonra yaşanan artış daha belirgindir. Artan nüfus, çarpık kentleşme, küresel ısınma, vadi içlerindeki kırsal yerleşmeler, bitki örtüsünün tahribatı

gibi faktörler ve bunların etkileri düşünüldüğünde gelecekte de sel ve taşkınların sayısı ve etkisi olarak il için önemli bir doğal tehlike kaynağı olacağı söylenebilir.

Ovada meydana gelen sel ve taşkınlar iklim koşullarından dolayı kısa olan tarım süresini daha da kısaltmaktadır. Sel ve taşkınlar dolaylı olarak tarımsal gelir kaybına neden olmaktadır.

Muş ili sınırları içerisinde yaşanan sel ve taşkınların meydana gelmesinde sadece iklim koşulları etkili değildir. Muş il sınırları içerisinde sel ve taşkınların yaşanmasında jeomorfolojik koşullarda önemli bir unsurdur. Muş ovasında ortalama eğim değerleri düşüktür. Sungu beldesinin bulunduğu alanda eğimin sıfıra yakın olması, yağışla birlikte bazı dönemlerde kar erimeleri ile oluşan fazla suyun bu alanlarda birikmesine neden olmaktadır. Sungu beldesinin jeomorfolojik koşulları belde de sel ve taşkınların yaşanmasında önemli bir unsurdur.

Kıyık köyü 'de sel ve taşkınlardan en fazla etkilenen yerleşmelerden biridir. Eğim koşulları yanında, Murat ırmağının yan kollarının birleşme alanında olması sel ve taşkın tehlikesini artıran önemli bir unsurdur.

İl sınırları içerisinde yürütülen Karasu ve Murat ırmaklarını ıslahı projeleri bu ana akarsular üzerindeki sel ve taşkınları önlemeye yöneliktir. Ancak bu projenin genişletilerek yan derelerini de kapsayacak şekilde sürdürülmesi gerekir. İl sınırları içerisinde meydana gelen sel ve taşkınların büyük bir bölümü bu ana akarsuların yan kolları üzerinde gerçekleşmiştir.

Muş ilinin % 54 lük bölümü sel riskinin yüksek ve çok yüksek olduğu alanlardır. Bu durumun yaşanmasında ki en önemli faktör eğim ve yükselti özellikleridir.

Muş ilinde yüksek ve çok yüksek taşkın riskine sahip alanlar ilin %24 lük bir bölümüdür. Alt yapının çoğu yerde olmadığı yada yetersiz olması, tarımsal su ihtiyacı yanında içme ve kullanma suyu ihtiyaçlarından dolayı akarsu kenarlarının yerleşme alanı olarak seçilmesi taşkın tehlikesini artıran önemli bir unsurdur.

Kaynakça

Atalay İ. (1983). Muş Ovası ve Çevresinin Jeomorfolojisi ve Toprak Coğrafyası. Ege Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Yayınları N0: 24 İzmir.

Campana, Nestor A., Carlos E.M. Tucci. (2001) Predicting floods from urban development scenarios: case study of the Diluvio Basin, Porto Alerge, Brazil. Urban Water, no.3

Coeur, D, ve Lang M., (2008) “Use of documantary sources on the past floodeventsfor flood risk management and planning”. Comptes Rendus Geoscience,no 340

Gökçe O., Özden Ş., Demir A. (2008) Türkiye’de Afetlerin Mekânsal ve İstatistiksel Dağılımı Afet Bilgileri Envanteri . Ankara

Dölek İ. (2013) Muş'ta Yaşanan Sel ve Taşkınlara Neden Olan Doğal Faktörlerin Analizi . Marmara Coğrafya Dergisi Sayı: 28, Temmuz - 2013, S. 408-422 İstanbul – Issn:1303-2429 E-Isbn 2147-7825

Dölek İ. (2015)Sungu Beldesi ve Yakın Çevresinde (Muş) Sel ve Taşkına Duyarlı Alanların Belirlenmesi Marmara Coğrafya Dergisi Sayı: 31, Ocak - 2015, S.258-280 İstanbul

Dölek İ. (2014)Türkiye fiziki coğrafyası. Pegem yayıncılık . Ankara Ed. Hamza akengin, İskender dölek.

Dölek İ. (2008). Bolaman Çayı Havzasının (Ordu) Uygulamalı Jeomorfolojik Etüdü (Basılmamış Doktora Tezi) İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü. İstanbul.

Dölek İ. (2010). Doğu Karadeniz’de Taşkın Alanlarının CBS Yardımı İle Belirlenmesi ve Risk Yönetimi: Bolaman Çayı Örneği. 2. Ulusal Jeomorfoloji Sempozyumu. Afyonkarahisar.

EM-DAT (2005) The OFDA/CRED İnternational Disaster Database – www.em-dat.net
Universite Catholigue de Louvain-Brussels-Belgium

Gürgen G. (2004). Doğu Karadeniz Bölümünde Maksimum Yağışlar ve Taşkınlar Açısından Önemi. Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi, Cilt 24, Sayı 2. (79 – 92)

Görüm T. (2008). Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanılarak Heyelan Duyarlılık Analizi: Melen Boğazı ve Yakın Çevresi (Basılmamış Yüksek Lisans Tezi) İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Kadioğlu M., Özdamar E. (2008) Afet Zararlarını Azaltmanın Temel İlkeleri. JICA Türkiye Ofisi, Yayın no:2. Ankara

Kadioğlu M. (2012) Türkiye’de İklim Değişikliği Risk Yönetimi. Türkiye Ulusal Bildirimi. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. Ankara

Karabulut, M. Ersin K., Sandal K. ve Gürbüz M. (2007) 20 Kasım – 9 Aralık Mersin Sel Felaketleri: Meteorolojik ve Hidrolik Açından Bir İnceleme. KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi. 10 no.1

Turoğlu, H. Özdemir, H. (2005). Bartın’da Sel ve Taşkınlar. Çantay Kitabevi. İstanbul

Korkanç Y., Korkanç, M. (2006) Sel ve Taşkınların İnsan Hayatı Üzerindeki Etkileri. Zkü Bartın Orman Fakültesi Dergisi. Cilt:8 Sayı:9

MMO (1999). Meteorolojik Karakterli Doğal Afetler ve Meteorolojik Önlemler Raporu, TMMOB meteoroloji Mühendisleri Odası

Semadeni, D., Annette, C.H., Gilbert S. and Gustafsson L.G., (2008) The Impacts Of Climate Change And Urbanisation On Drainage In Helsinborg, Sweden: Suburban Stormwater. Journal of Hydrology.

Shi, P. J., Jing Z., Jing A.W., Yi G., and Guo-Y.Q., (2007) The effect of land use/cover on surface runoff in Shenzhen region, China. Catena

Şen Z. (2009). Taşkın Afet ve Modern Hesaplama Yöntemleri. Su Vakfı Yayınları. İstanbul.

Oğuzhan Vd. (2009). Doğu Karadeniz Bölgesinde Yaşanan Taşkın Olayları, Taşkın Koruma Tesisleri ve Bu Tesislere Yapılan Müdahaleler. Ulusal Taşkın Sempozyumu 22-24 Mart, Afyonkarahisar.

Viglione, A., Giovanni Battista C., Jürgen K., Roos W., Marco B., ve Günter B., (2010) Quantifying space –time Dynamics of flood event types. Journal of Hydrology.

Villarini G., James A. S., Francesco S. Bales J., Bates P.D., and Krajewski, F. (2009) Flood Frequency Analysis For Nonstationary Annualpeak Records İn An Urban Drainage Basin. Advances İn Water Resources.

Wheather H. And Evans E. (2009) Land use, Water management and future flood risk.

Xian, G. Mike, C. and Junstan S. (2007) Analysis Of Urban Devopment And Its Enviromental Impact On The Tampa Bay Watershed. Journal of environmental Managemant,

MUŞ İLİ VE CİVARININ DEPREMSELLİĞİ

Yrd. Doç. Dr. Alper Demirci
Bitlis Eren Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Yunus Levent Ekinci
Bitlis Eren Üniversitesi

1. Giriş

Yerkabuğu ölçeğinde, tüm Dünya'da olduğu gibi Türkiye'de de, aktif faylar, belirli zaman aralıklarıyla büyük deprem üretme potansiyeline sahiptirler. Bu fayların, hangi tekrarlanma aralığında, kaç büyüklüğünde deprem üretecekleri, nereden kırılacağı, ne kadarlık bir yüzey kırığı oluşturacağı, hangi tür fay davranışı sergileyeceği ve sergiledikleri tektonik rejimin türü her zaman merak edilen sorular arasındadır. Bu soruların cevabı, sismik açıdan aktivitesi yüksek bir bölgede, deprem risk ve tehlikelerinin ne olduğunu ortaya çıkarırken, aynı zamanda depremlere karşı alınacak önlemlerin derecesini de belirleyebilmektedir. Bu kapsamda, özellikle yakın civarındaki büyük deprem üretme potansiyeline sahip faylar tarafından etki altında bulunan Muş İli'nin deprem aktivitesi açısından incelenmesi büyük önem arz etmektedir. Ayrıca, literatürde Muş İli'ni kapsayan bu tür çalışmaların azlığı, bu çalışmanın ortaya çıkmasına neden olan en büyük etkenler arasındadır. Çalışma kapsamında bölgede ve yakın civarında tarihsel ve aletsel (>1900) dönemde meydana gelmiş depremler ele alınmış, ayrıca bölgedeki faylar ve bu fayların ürettikleri büyük depremler daha yakından incelenmiştir. Çalışmada, bölgede az veya çok hasar meydana getirmiş birçok depreme ait farklı merkezler ve araştırmacılar tarafından çözümlenmeleri yapılarak odak mekanizma parametreleri elde edilmiş deprem verileri kullanılmıştır. Bu veriler ışığında Coulomb gerilme analizleri ile bölgedeki güncel gerilme durumları ortaya çıkarılmış ve bölgedeki muhtemel deprem potansiyeline sahip alanlara dikkat çekilmiştir.

2. Jeolojik ve Tektonik Özellikler

Ülkemizde gerek tarihsel gerekse de aletsel dönemde yoğun bir sismik etkinliğe sahip bölgelerden biri de Doğu Anadolu Bölgesi'dir. Bölgedeki genel tektonizma, Türkiye'nin de tektonik gelişiminin ana nedenlerinden biri olan Arap levhası ile Anadolu levhasının çarpışması sonucu Karlıova Üçlü Birleşim noktasında birleşen sağ yanal doğrultu atımlı Kuzey Anadolu Fayı ve sol yanal Doğu Anadolu Faylarının etkisi altındadır. Ayrıca, bu çarpışma nedeni ile gelişen ve Karlıova Üçlü birleşim noktasının doğusunda bulunan genellikle KB-GD doğrultulu sağ yanal ve KD-GB doğrultulu sol yanal faylar bölgedeki kompleks tektonik yapının önemli oluşumlarıdır.

Çalışma alanı, Tersiyer çökellerinin yaygın olduğu birimler arasındaki yaş ilişkilerinin belirlendiği ilginç bir bölge görünümündedir. Güneyde Bitlis dağları ile sınırlı olan bu havza, yaklaşık doğu-batı uzanımlıdır. Kuzeyde Bingöl yanardağı ve Hamurpet yükselimi ile Hınıs havzasından, Nemrut yanardağı ile de Ahlat-Adilcevaz-Van gölü havzalarından ayrılmaktadır. Muş havzasında istif şöyledir; Alt Miyosen yaşlı Adilcevaz kireçtaşları, Akitaniyen yaşlı Abulbahar formasyonunun üzerinde, geçişli bir dokanakla yer alır (Ünal 1970). Muş düzlüğünün kuzey bölümünde yaygın olan birimde, batıda kireçtaşları, buna karşılık doğuda killi ve kumlu kireçtaşları egemendir. Burdigaliyen yaşlı olan birim denizel fasiyestedir (Şaroğlu ve Yılmaz, 1986).

2.1. Bölgeyi Etkileyen Önemli Fay ve Fay Toplulukları

2.1.1. Malazgirt Fayı

Değişik doğrultu ve boyutlu birkaç kırıktan oluşan Malazgirt Fayı sol yanal doğrultu atımlı fay özelliğine sahiptir (Şaroğlu vd, 1987; Dhont ve Chorowicz 2006). Genel doğrultusu KD-GB olup Malazgirt ilçesinin 8 km doğusunda yer alır ve toplam uzunluğu yaklaşık 20 km dir (Örgülü vd, 2003). Fay Süphan ve Cemalverdi yanardağları arasında yer almakta olup her iki yanardağdan türemiş lavları kesmektedir. Tutak Fayına dik doğrultuda olan Malazgirt Fayı tarafından ötelenmiş dere yatakları fayın sol yanal nitelikli olduğunu ve de en azından Kuvaterner içinde aktivite göstermiş olduğuna işaret eder. Sismik olarak aktif durumda olan

Malazgirt fayı (Bozkurt, 2001) üzerinde 28.04.1903 ve 27.01.1907 tarihlerinde M: 6.3 büyüklüğünde iki deprem meydana gelmiştir (Özdemir vd, 2006, Işık vd, 2012).

2.1.2. Muş Bindirmesi

Muş havzasının kuzey kenarında bulunan faylar genellikle D-B doğrultulu yüksek açılı bindirmelerden oluşmaktadır (Pearce vd, 1990; Örgülü vd, 2003; Karaoğlu vd, 2004) ve yaklaşık olarak 100 km uzunluğundadır. Van Gölü'nün batısında bulunan Muş bindirmesi güneydoğuya doğru devam etmekte olup olası bir depremde bölgedeki birçok yerleşim birimini etkileyeceği düşünülmektedir (Ulusoy vd, 2008). Bazı kaynaklarda Otluk Fayı olarak da geçmekte olup Muş havzasını kuzeyden sınırlayan fay sistemi olarak bilinir. Nemrut stratovolkanının batısında bulunan fay genel olarak kıvrımlı bir yapıda bulunmayıp hafifçe eğimli bir yapı özelliği gösterir ve sağ yanal atımlı doğrultulu fay özelliği taşımaktadır (Karaoğlu vd., 2005, Işık vd., 2012).

2.1.3. Varto Fay Zonu

Varto Fay Zonu üç segmentten oluşur. Bu fayın segmentleri kuzeyden güneye doğru, Varto, Leylekdağı ve Çayçatı segmenti olarak adlandırılmaktadır. Kuzeyde yer alan Varto segmenti, KB – GD yönlü bir hat şeklinde uzanan doğrultu atımlı sağ yönlü bir faydır. Leylek Dağı segmenti ve Çayçatı segmenti ise bindirme bileşenli doğrultu atımlı sağ yönlü fay karakteri göstermektedir (Akyüz vd., 2010, Dölek 2014).

2.1.4. Birinci Fay Zonu

Ketin (1977) ye göre yapılan çalışmada bölgedeki faylar 4'e ayrılmış ve bu fay Birinci Fay zonu olarak isimlendirilmiştir. İki kısımdan oluşan bu fay zonunun ilk kesimi Varto-Van gölü arasında bulunmaktadır. Birinci fay zonunun ikinci kesimi ise Van Gölü'nün kuzeydoğu ucundan başlamakta ve İran sınırına doğru uzanmaktadır. Van Gölü yakınındaki dere yatağının ve civardaki küçük dere yataklarının sağ yönlü olarak ötelenmiş olmaları bu fayların doğrultu atımlı ve sağ yönlü olduklarını kısmen göstermektedir (Kaynak 2007, Işık vd., 2012).

2.1.5. Karlıova Üçlü Birleşim Noktası ve Doğu Anadolu Fayı (DAF) Bingöl Segmenti

Karlıova üçlü birleşim noktasının yakınında, Kuzey Anadolu Fayı ile Doğu Anadolu Fayı'nın periyodik olarak birbirlerini ötelemesi sonucu, KB-GD ve KD-GB doğrultulu kısa uzunluklarda sağ ve sol yönlü doğrultu atımlı fay takımları gelişmiştir. Karlıova birleşim noktası ile Muradiye arasında kalan bölümde, Malazgirt'in doğusunda 20 km uzunlukta KD-GB doğrultulu sol yönlü Malazgirt Fayı ve Erciş ile Adilcevaz arasında uzanan 30 km uzunlukta sol yönlü Süphan Fayı yer almaktadır. Diğer taraftan KB-GD doğrultulu ve sağ yönlü 20 km uzunlukta Erciş Fayı ile Muradiye ilçesinin hemen yakın kuzeydoğusu ile İran sınırları arasında uzanan 45 km uzunlukta Hasan Timur Gölü fayları bulunmaktadır (Sezer 2008, Gülkan vd., 1993). Sezer (2008)'e göre sismik tehlike bakımından Karlıova (Bingöl) deprem yöresi, yüksek ivme gösteren yerler olarak bir sıralamaya tabi tutulacak olursa; Kuzey Anadolu Fay Zonu, Malazgirt Fay Zonu ve civarı 1'nci; Güneydoğu Bindirmesi ve Muş Bindirmesi 2'nci; Doğu Anadolu Fay Zonu 3'ncü dereceden sismik tehlikeye sahip alanlar olarak belirtilmiştir.

2.2.Tarihsel Dönem Deprem Aktivitesi

Muş ve yakın çevresinde bulunduğu karmaşık tektonik yapı nedeniyle tarihsel dönemde meydana gelmiş ve izleri günümüze kadar ulaşmış birçok depremden literatürde farklı çalışmalarda bahsedilmektedir. Bu depremlere ait bilgilere sadece anlatılan hikayelerden, tarihi yapılar üzerindeki araştırmalardan ve bu depremlerin yeryüzünde bıraktığı izlerden ulaşılmıştır. Şüphesiz ki bu denli aktif bir tektonizmaya sahip çalışma alanında başka tarihsel depremlerin de yaşanmış olduğu gerçeği unutulmamalıdır. Tablo 1'de 20.YY öncesi meydana gelen depremler yer almaktadır.

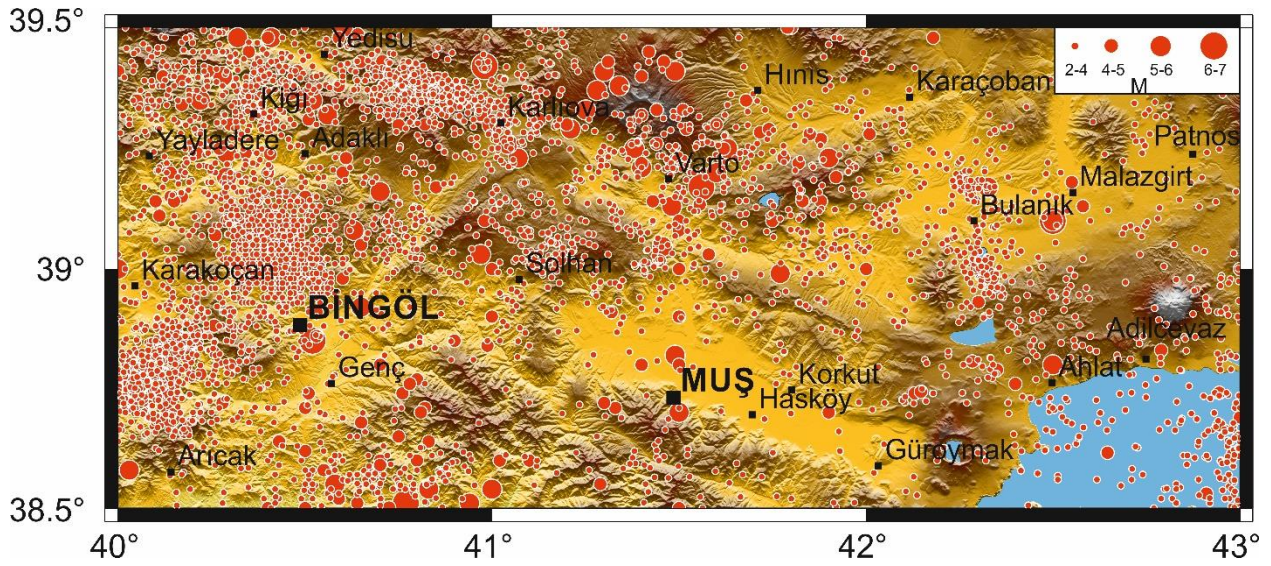
Tablo 1. Muş ve çevresinde 20. YY'den önceki önemli depremler (Işık vd., 2012'e göre, Şaroğlu vd, 1987; Ergin vd, 1967; Tüysüz 2005; Koçyiğit 1983; Barka ve Kadinsky-Cade 1988; Koçyiğit 2005a; Koçyiğit 2005b; Toker vd., 2007; Demirtaş 1998; Wallace 1968).

No	Tarih	Enlem	Boylam	Bölge	M	I
1	461	39,1	42,5	Malazgirt		X
2	1012	39,1	42,5	Malazgirt		VII
3	1097	38,5	43,4	Van - Bitlis		VII
4	1101	38,5	43,5	Ahlat - Van		VI
5	1110	38,5	43,5	Ahlat - Van		VIII
6	1111	38,5	42,7	Ahlat - Van		IX
7	1208	38,7	42,5	Ahlat - Van - Bitlis - Muş	6,5	
8	1245	38,74	42,5	Ahlat - Bitlis- Van - Muş		VIII
9	1246	38,9	42,9	Ahlat - Erçiş -Van		VIII
10	1275	38,4	42,1	Bitlis- Ahlat -Erciş - Van		VII
11	1276	38,9	42,5	Bitlis- Ahlat -Erciş - Van		VIII
12	1282	38,9	42,9	Ahlat - Erçiş		VII
13	1345	39,1	42,5	Malazgirt		VIII
14	1363	38,7	41,5	Muş ve çevresi		IX
15	1415	38,5	43	Van Gölü		V
16	1416	38,5	43	Van Gölü		VII
17	1439	38,5	42,1	Nemrut		VI
18	1441	38,35	42,1	Nemrut		VIII
19	1444	38,5	43,4	Nemrut - Van		VI
20	1546	38,5	43,4	Van - Bitlis		V
21	1582	38,35	42,1	Bitlis ve civarı		VIII
22	1646	38,5	43,4	Van ve civarı		VII
23	1647	39,15	44	Van - Muş -Bitlis		IX
24	1648	38,3	43,7	Van ve civarı	6,7	VIII
25	1670	38	42	Hizan - Siirt	6,6	
26	1682	38,4	42,1	Bitlis		
27	1696	39,1	43,7	Çaldıran - Bitlis	6,8	X

28	1701	38,5	43,4	Van ve çevresi		VIII
29	1704	38,5	43,4	Van		VII
30	1705	38,4	42,1	Bitlis	6,7	IX-X
31	1715	38,7	43,5	Van - Erçiş	6,6	VIII
32	1869	38,4	42,1	Bitlis ve çevresi		VII
33	1871	38,5	43,4	Van -Nemrut	5,5	VII
34	18.05.1881	38,35	42,1	Nemrut	6,7	
35	30.05.1881	38,5	43,4	Van - Nemrut	7,3	IX
36	1884	37,5	42,5	Bitlis - Pervari	6,9	
37	1891	38,8	42,5	Malazgirt-Adilcevaz	5,5	VIII
38	1892	39,1	42,5	Malazgirt - Muş		VII
39	1895	39,1	42,5	Malazgirt-Adilcevaz		VIII

2.3. Aletsel Dönem Deprem Aktivitesi

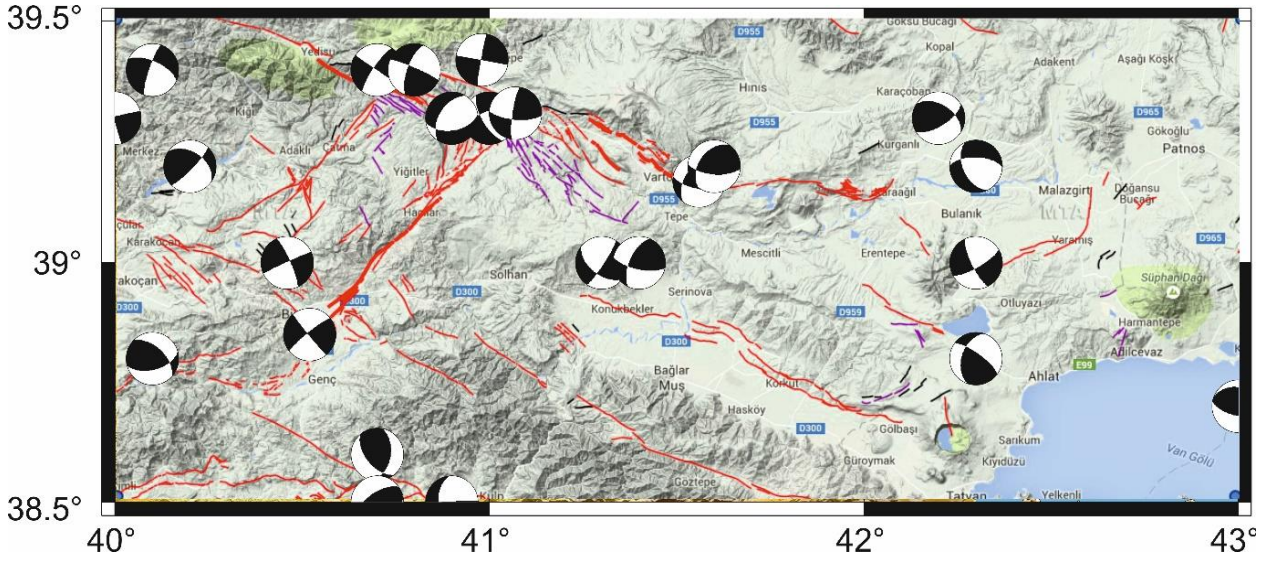
Türkiye’de deprem ağının genişletilmesi ve depremlerin daha yüksek çözünürlükte kaydedilmesi çalışmaları 1992 Erzincan depremi ile hız kazanmıştır (Kalafat ve ark., 2005). Dolayısıyla bu tarihten sonra gerçekleşen depremlere ait gerek lokasyon gerekse de büyüklük tayinlerinin daha düşük hatalarla belirlenmiş olacağından, çalışma alanı ve yakın civarında, 1990 yılı sonrası gerçekleşen deprem aktivitesi ele alınmıştır. Aletsel dönemde bölgede meydana gelen deprem sayıları da bu görüşü desteklemektedir (Şekil 1). Özellikle 2000 yılından sonra bölgedeki kümülatif deprem sayısı artışı çalışma alanı civarındaki sismik ağ gelişimi ile doğru orantılıdır.



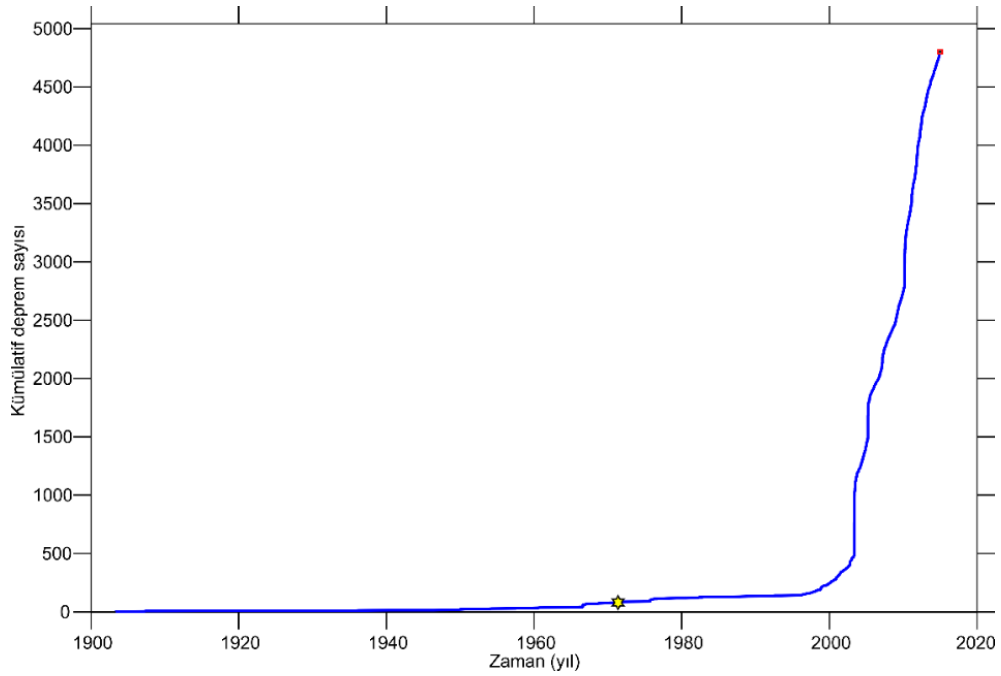
Şekil 1. Çalışma alanı ve çevresindeki deprem aktivitesi.

Çalışma alanında, aletsel dönemde meydana gelmiş ve moment tensör ters çözümü ile odak mekanizma çözümlenmeleri yapılmış depremler Şekil 2’de görülmektedir. Ayrıca bu depremlere ait düzlemsel odak parametreleri Tablo 2’de gösterilmektedir. Hemen hemen her tür baskın fay tipinin gözlemlendiği odak mekanizmaları incelendiğinde, çalışma alanındaki karmaşık faylanma hareketleri açıkça görülmektedir. Özellikle Varto Fay zonu üzerinde gerçekleşen 2 depremin de aynı karakterde olması bu fayın baskın hareketinin ters bileşenli doğrultu atımlı faylanma karakterinde olduğu görülmektedir. Bulanık civarında meydana gelen depremlere bakıldığında, buradaki faylanma hareketlerinin genel olarak doğrultu atımlı fakat küçük bir miktar da normal bileşen içerdiği görülmektedir. Dolayısıyla buradaki tekil faylar oblik faylanma ile karakterize edilebilir. Karlıova üçlü birleşim noktasının DAFZ kolunda bulunan Bingöl segmenti literatürdeki birçok gözlemsel çalışmada da belirtildiği gibi doğrultu atımlı bir hareket sergilemektedir. Karlıova üçlü birleşim noktası, kaynak parametreleri açısından yakından incelendiğinde bölgenin en karmaşık tektonik oluşumu olduğu göze çarpmaktadır. Farklı karaktere sahip birçok faydan oluşan bu bölge ülkemiz açısından da en önemli tektonik oluşumlardan biri olarak karşımıza çıkmaktadır (Şekil 2). Çalışma alanındaki aletsel dönem deprem etkinliği incelendiğinde bölgede meydana gelen depremlerin büyük çoğunluğunun 2.7-3.3 büyüklükleri arasında değiştiği gözlenmektedir. Bu depremlerin büyük çoğunluğunun yaklaşık 2000 yılından sonra gerçekleştiği göz önüne alındığında bölgedeki yoğun sismik

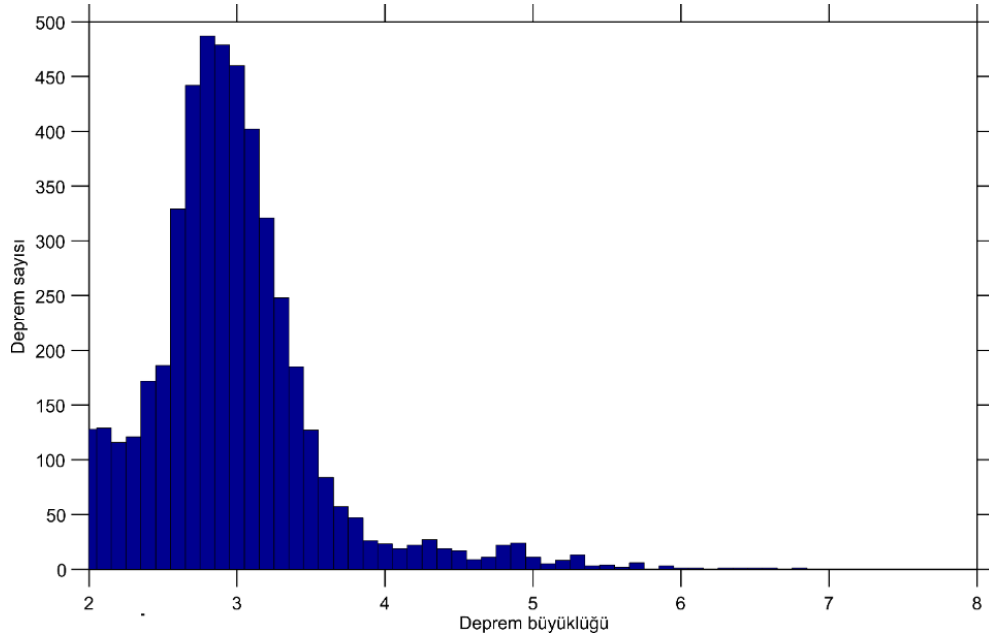
aktivitenin, günümüzde devam ettiği ve gelecekte devam edeceğinin bir göstergesi olduğu söylenebilmektedir (Şekil 3, 4).



Şekil 2. Çalışma alanındaki diri faylar ve bu faylar üzerinde meydana gelmiş büyük depremlere ait odak mekanizmaları.

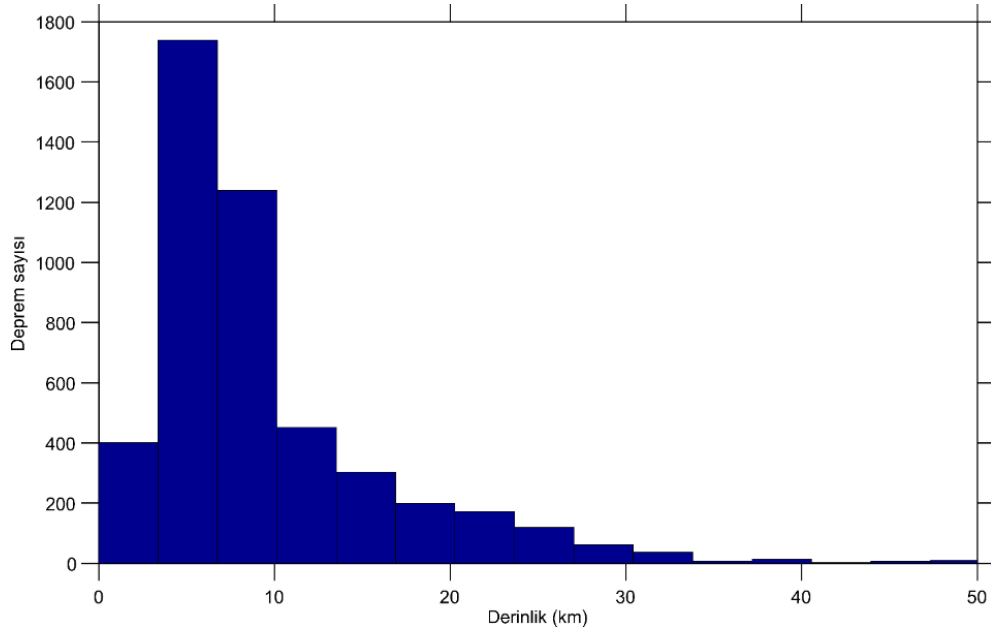


Şekil 3. Çalışma alanı ve civarında yıllara göre gerçekleşmiş kümülatif deprem sayıları.



Şekil 4. Çalışma alanı ve yakın civarında meydana gelen farklı büyüklüklere ait deprem sayıları.

Bölgedeki depremler incelendiğinde sığ derinlikler dikkat çekmektedir. Özellikle depremlerin büyük çoğunluğunun yaklaşık 5-10 km civarında olması bu bölgedeki etkin sismojenik zonun bu derinlik aralıklarında olduğu sonucunu ortaya çıkarmaktadır. Ayrıca bölgedeki depremlerin yaklaşık %75'lik kısmının sığ derinliklerde meydana gelmiş olması bu depremlerin yeryüzünde yarattığı hasar etkisi açısından da önemli bir veri olarak karşımıza çıkmaktadır (Şekil 5).



Şekil 5. Çalışma Alanı ve civarında gerçekleşmiş farklı derinliklere ait deprem sayıları.

3. Coulomb Gerilme Değişimleri

Fay düzlemleri üzerinde gelişen büyük depremler statik veya dinamik stres transferi aracılığıyla yakın alanlarda başka depremleri tetikleyebilmektedir ve literatürde bu tür faylar üzerinde gerçekleştirilmiş bir çok bilimsel çalışma bulunmaktadır (Harris ve ark., 1995; Caskey ve Wesnousky, 1997; Nostro ve ark., 1997; Harris ve Simpson, 1998; Gombert ve ark., 2001). Bir depremin başka bir depremi tetikleyebilmesi için o bölgede en az 0.5 bar'lık bir gerilme artışı yeterli olmaktadır (King ve ark., 1994). Yöntem temel olarak, deprem üretmiş olan bir faya ait düzlemsel parametreler ve deprem parametreleri kullanılarak alıcı fay veya faylar üzerinde yarattığı gerilme değişimlerinin hesaplanmasına dayanmaktadır. Bir çok çalışmada doğrultu atımlı, eğim atımlı veya oblik atımlı gibi farklı fay türleri alıcı fay olarak değerlendirilerek hesaplamalar yapılmışken (Reasenber ve Simpson, 1992; King ve ark., 1994; Stein ve Lin, 2006), kompleks tektonizmaya sahip ve bir çok fay ve fay topluluklarının bulunduğu bölgelerde, alıcı fay konumundaki fayların düzlemsel parametrelerini tam anlamıyla belirlenememesinden dolayı alıcı fay veya faylar optimal olarak konumlanmış modellere göre belirlenmektedirler (Toda ve ark., 1998; Mallman ve Zoback, 2007; Xu ve ark., 2010).

Çalışmada Coulomb gerilme değişimi (ΔCFF) aşağıdaki bağıntı (1) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\Delta CFF = \Delta\tau + \mu(\Delta\sigma_n + \Delta P) \quad (1)$$

Bağıntıda $\Delta\tau$ alıcı fayda oluşan kayma gerilmesindeki ko-sismik değişimi, $\Delta\sigma_n$ normal gerilme değişimini ve μ faydaki statik sürtünme katsayısını, ΔP ise boşluk suyu basınç değişimini ifade etmektedir. Fay zonunda, $\Delta P = -\beta' \Delta\sigma_{kk} / 3$ ve $\sigma_{xx} = \sigma_{yy} = \sigma_{zz}$ olduğunu düşünerek $\Delta\sigma_n = \Delta\sigma_{kk} / 3$ şeklinde yazılabilmektedir. Bu işlem sonucunda ΔCFF , (2) bağıntısı şeklinde yazılabilmektedir. Bağıntıda $\mu' = \mu(1 - \beta')$ olarak hesaplanmaktadır. σ_{kk} gerilme tensörü matrisinin diyagonal elemanlarının toplamını ifade etmekle birlikte β' ise Bulk modülü ve kırılma hacmindeki sıvı muhtevası ile hesaplanan ve teorik olarak 0 ile 1 arasında değişen Skempton katsayısını ifade etmektedir (Harris, 1998). Bu işlemler sonrası ΔCFF ;

$$\Delta CFF = \Delta\tau + \mu' \Delta\sigma_n \quad (2)$$

şeklini almaktadır. Bölgesel gerilme tensörü elemanları (σ^{ij}) ve 3.20 bağıntısı kullanılarak optimal yönelimli alıcı fay düzlemi (Doğrultu (A), eğim (δ) ve sapma açıları (λ)) (3) bağıntısındaki gibi hesaplanabilmektedir (Xu ve ark., 2010).

$$\begin{aligned} \Delta CFF = & \sin \lambda (-0.5 \sin^2 A \sin 2\delta \sigma^{11} + 0.5 \sin 2\delta \sin 2A \sigma^{12} + \cos 2\delta \sin A \sigma^{13} \\ & - 0.5 \sin 2\delta \cos^2 A \sigma^{22} - \cos 2\delta \cos A \sigma^{23} + 0.5 \sin 2\delta \sigma^{33}) \\ & + \cos \lambda (-0.5 \sin \delta \sin 2A \sigma^{11} + \sin \delta \cos 2A \sigma^{12} + \cos 2\delta \cos A \sigma^{13} \\ & + 0.5 \sin \delta \sin 2A \sigma^{22} + \cos \delta \sin A \sigma^{23}) + \mu' (\sin^2 \delta \sin^2 A \sigma^{11} - \sin^2 \delta \sin^2 2A \sigma^{12} \\ & - \sin 2\delta \sin A \sigma^{13} + \sin^2 \delta \cos^2 2A \sigma^{22} + \sin 2\delta \cos A \sigma^{23} + \cos^2 \delta \sigma^{33}) \end{aligned} \quad (3)$$

Eşitlik 3'te girilen doğrultu (A), eğim (δ) ve sapma (λ) açısı değerleriyle Coulomb gerilme değişimi hesaplanabilmektedir. Buna göre en yüksek Coulomb gerilme değişimini veren fay düzlemi parametreleri optimal yönelimli alıcı fay olarak tanımlanmaktadır.

Bu temel bilgiler ışığında, doğrultu atımlı fayların egemen olarak bulunduğu bu çalışma alanında deprem kaynaklı Coulomb gerilme değişimleri, bölgedeki optimal yönelimli doğrultu atımlı fay topluluklarının varsayımı esas alınarak matlab tabanlı Coulomb 3.3 yazılımı yardımıyla hesaplanmıştır (Toda ve ark., 2011). Hesaplamalarda kayma modülü (μ) 3×10^{10} Pa, Poisson oranı 0.25 ve sürtünme katsayısı (μ^1) ise 0.4 (Harris ve Simpson, 1998) olarak ele alınmıştır. Ayrıca hesaplamalarda kullanılan fay düzlemi parametreleri çalışma alanında aletsel dönemde meydana gelmiş ve ulusal ve uluslararası çeşitli deprem merkezleri tarafından yapılan çözümlerden elde edilmiştir. Ayrıca hesaplamalarda, depremin büyüklüğü ile doğru orantılı olarak fay genişliği ve uzunluğu gibi parametreler de hesaplamalara katılmıştır. Bu fiziksel parametreler Wells ve Coppersmith (1994) tarafından geliştirilen ampirik bağıntılar kullanılarak hesaplanmıştır.

Muş ili depremselliğinin ele alındığı bu çalışmada, Muş il sınırları içerisinde kalan yerleşim alanlarını etkileyebilecek deprem senaryolarının geliştirilebilmesi amacıyla, bölgedeki güncel Coulomb Gerilme durumu, bölgede aletsel dönemde meydana gelmiş orta ve büyük ölçekteki depremlerin faylanma mekanizmaları kullanılarak hesaplanmıştır (Şekil 2). Bölgedeki aktif fayların çokluğu ve kompleks bir düzene sahip olması sebebiyle hesaplamalarda alıcı fay olarak optimal yönelimli fay toplulukları varsayımı yapılmıştır. Hesaplamalar Muş ili ve yakın civarını kapsayacak şekilde ve farklı derinlikleri de içine alacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Bölgede aletsel dönemde meydana gelmiş ve odak mekanizmaları çeşitli merkezler ve araştırmacılar tarafından çözülmüş depremlere ait bilgiler Tablo 2’de verilmektedir.

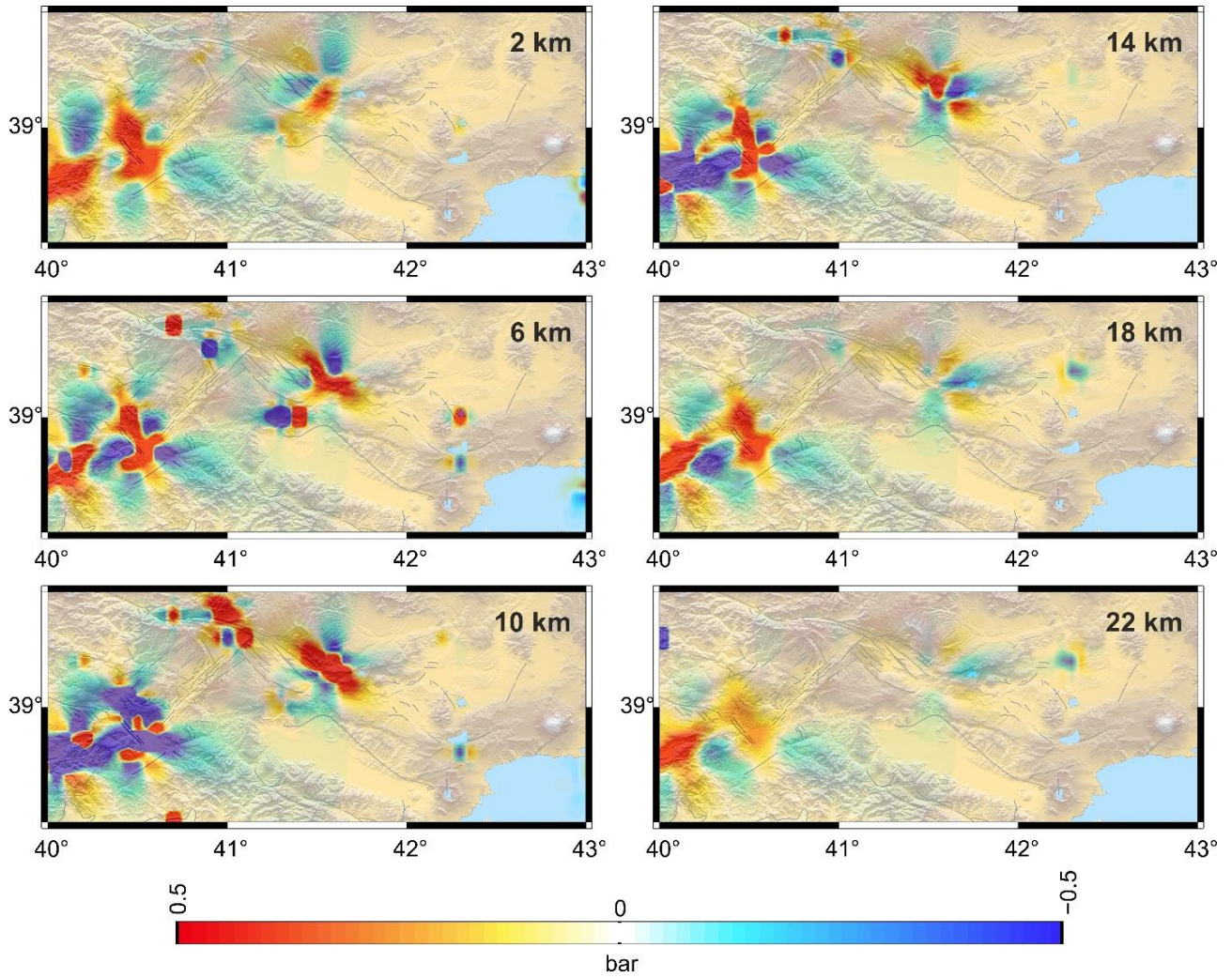
Tablo 2. Coulomb gerilme değişimleri hesabında kullanılan deprem parametreleri (Tan vd, 2008; Taymaz, 1997; Tan ve Taymaz; 2004; Taymaz vd, 1991, Tan, 2004, Kalafat vd, 2009).

Enlem (°)	Boylam (°)	Derinlik	Doğrultu	Eğim	Sapma	Büyükük	Oluş Tarihi
42.20	39.30	11	58	65	48	3,70	11.4.2015
40.90	38.50	6	176	47	177	3,30	22.2.2015
40.10	39.40	4	196	85	-31	4,10	9.2.2015
40.10	39.40	6	199	80	-27	3,60	9.2.2015
40.70	38.60	8	141	55	56	3,80	16.3.2014
41.60	39.70	7	293	74	157	3,90	17.9.2013
41.30	39.00	6	33	83	-37	5,10	17.9.2013
41.40	39.00	6	102	69	148	4,60	16.9.2013
40.00	39.30	22	165	87	175	4,10	18.11.2012
40.70	38.50	10	235	61	77	4,20	28.4.2012
42.30	39.20	20	272	62	-132	5,00	26.3.2012
43.00	38.70	4	101	61	85	5,20	14.11.2011
40.70	39.40	6	310	46	-83	4,20	8.10.2011
42.30	39.00	5	60	75	-15	4,50	22.2.2011
40.10	38.80	12	231	67	-2	6,10	8.3.2010
41.00	39.30	12	149	68	-24	5,10	25.8.2007
42.30	38.80	8	306	74	48	4,10	5.5.2007
40.10	38.80	6	313	53	134	4,70	26.1.2007
40.70	39.40	12	124	89	168	4,70	1.11.2006
40.80	39.40	4	293	84	22	4,10	21.7.2006
40.90	39.30	6	213	50	-125	4,90	2.7.2006
40.20	39.20	8	44	80	46	4,50	3.6.2006
40.46	39.00	10	336	80	-178	5,70	1.5.2003
41.07	39.31	10	95	70	170	4,80	13.4.1998
40.52	38.85	10	231	82	3	5,90	22.5.1971
40.98	39.42	10	100	90	177	5,30	20.8.1966
41.56	39.17	10	100	65	130	5,80	19.8.1966
41.60	39.20	10	95	65	125	5,20	7.3.1966

Elde edilen sonuçlar ışığında, 6 farklı derinlik için hesaplanan gerilme durumlarının bölgede meydana gelmiş büyük depremlerin civarında artış gösterdiği görülmektedir (Şekil 6).

Özellikle Varto Fayının bulunduğu kesimde 14 km derinliğe kadar belirgin bir gerilme artışı görülürken bu derinlikten sonra bölgedeki gerilmelerin düştüğü gözlenmektedir. Dolayısıyla bu bölgedeki gerilme artışı yaklaşık 14 km'ye kadar muhtemel deprem tehlikesinin varlığını göstermektedir. Özellikle sığ kesimlerde Varto Fay Zonundaki depremlerin Muş bindirmesi olarak adlandırılan düşük açılı fayın batı ucunda gerilme artışına sebebiyet verdiği gözlenmektedir. Bu bölgedeki gerilme artışı bu bindirmeli fay üzerinde sığ kesimlerde deprem hareketine neden olabileceği söylenebilmektedir. Çalışma alanında göze çarpan diğer bir gerilme artışı bölgesi, alanın batısında bulunan Doğu Anadolu Fay Zonu'nun (DAFZ) Karlıova-Bingöl Segmentidir. Bölgede geçmişten bu yana önemli ve büyük depremler meydana gelmiş olmasına rağmen, bu depremlerin bölgedeki diğer fay veya fay topluluklarına olan etkisini ele alan bir çalışma bulunmamaktadır. Bölgede meydana gelen depremler önemli ölçüde gerilme değişimine neden olmaktadır. Hesaplanan her derinlik için önemli ölçüde gerilme artışının gözlemlendiği bölgede, potansiyel büyük ölçekli depremlerin Muş yerleşimi için büyük tehlike arz ettiği söylenebilmektedir. Bu bölge, yüzeyden yaklaşık 22 km derinliğe kadar olan kısımdaki kümülatif gerilmeler ve geçmiş büyük magnitüdü depremlerin varlığı dikkate alındığında, çalışma alanında muhtemel deprem potansiyeli açısından en riskli alanı oluşturmaktadır.

Diğer yandan, çalışma alanında Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) ve Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun (KAFZ) birleşme bölgesi olan Karlıova üçlü birleşim noktasında, özellikle yaklaşık 6 - 14 km derinlikler arasında gerilme artışı görülmektedir. Bu bölgenin kompleks faylanma mekanizması bölgedeki gerilme artışıyla direkt olarak ilişkilendirilmemesi gerekmektedir. Bölgede farklı karakterde birçok fay ve fay topluluklarının bulunması sebebiyle bu bölgede depremlerin her zaman büyük bir risk teşkil ettiği aşikârdır. Dolayısıyla bu bölge gerilme değişimleri ile birlikte birçok deprem parametresinin dikkate alınarak daha detaylı olarak değerlendirilmesi gerekmektedir.



Şekil 6. 6 farklı derinlikteki Coulomb gerilme değişimleri.

4. Sonuçlar

Muş ili ve yakın civarının depremsellik açısından incelendiği bu çalışmada, bölgenin sismik açıdan aktif ve detaylı ele alınması gereken önemli sismojenik zonlara sahip olduğu görülmektedir. Bölgede gerek tarihsel gerekse de aletsel dönemde meydana gelmiş depremler incelendiğinde, bölgedeki fayların büyük çoğunluğunun aktif fay olarak tanımlanabileceği söylenebilir. Çalışma kapsamında aletsel dönemde sayısal deprem kayıtları ve moment tensör ters çözümü tekniği kullanılarak odak mekanizma çözümleri kullanılmış ve bölgedeki güncel gerilme durumu hesaplanmıştır. Şüphesiz ki sayısal deprem kayıtları var olmayan ve dolayısıyla çalışmaya eklenemeyen depremler de bölgedeki gerilme durumuna önemli etki gösterecektir. Fakat tarihsel depremlerin bu tür çalışmalara katkısı sadece paleosismoloji çalışmaları ile elde

edilen veriler ile mümkün olmaktadır. Bölgedeki gerilme durumunun daha detaylı bir şekilde ortaya çıkarılabilmesi için tarihsel deprem izlerinin paleosismoloji çalışmalarıyla ortaya çıkarılması gerekmektedir.

Elde edilen sonuçlara göre çalışma alanında özellikle sığ kesimlerde (< 6 km) Muş Fayı (Bindirmesi)'nin batı kesimlerine doğru artan gerilmeler dikkat çekmektedir. Kuzeydeki Varto Fay zonunda meydana gelen depremlerin ortaya çıkardığı bu gerilme Muş Fayı'ndaki bindirmenin kuzeye doğru olduğu düşünüldüğünde bu fay üzerinde olası bir deprem riskini arttırmaktadır. Aynı zamanda, Varto Fay Zonunda ileride meydana gelecek aynı karaktere sahip depremler bu gerilme değişimini daha da artıracakını düşündürmektedir. Bölgede Muş ili yerleşimini 1. derecede etkileme potansiyeline sahip en riskli fay zonu Muş Bindirmesi olarak dikkat çekmektedir. Diğer taraftan Karlıova üçlü birleşim noktasının DAFZ kolunda bulunan Bingöl Segmenti'de deprem potansiyeli açısından önemli bir yere sahiptir. Bu bölgedeki depremlerden kaynaklanan gerilme artışı her ne kadar Muş ili sınırları içerisine ulaşmasa da bu segment büyük deprem üretme potansiyeli sebebiyle dikkat çekilmesi gereken bir durumdur.

Muş İli'nde deprem kaynaklı yapı hasarlarının önüne geçilebilmesi amacıyla Muş Yerleşiminde yapılacak binalar için detaylı zemin etüt çalışmalarının mutlaka yapılması gerekmektedir. Ayrıca binaların Türkiye Deprem Yönetmeliğinin deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkındaki esaslarına uygun olması, imara yeni açılacak veya açılması düşünülen alanların ise öncelikle detaylı mikro-bölgeleme çalışmaları sonrasında planlanması kaçınılmaz bir gerçektir.

KAYNAKLAR

Akyüz, S., Sancar, T., Zabcı, C. 2010. Karlıova Üçlü Eklemi Civarında Göynük Fayı (Bingöl) Ve Varto Fayının (Muş) Morfotektoniği Fay Geometrisi Ve Kayma Hızı. Tübitak Proje No 109y/160. İstanbul

Barka A.A., Kadinsky-Cade K. 1988. Strike-Slip Fault Geometry in Turkey and Its Influence on Earthquake Activity, *Tectonics*, 7 (3), 663-684.

Bozkurt, E. 2001. Neotectonics of Turkey –a Synthesis, *Geodinamica Acta*, 14, 3-30.

Caskey S.J., Wesnousky S.G., 1997. Static stress changes ve earthquake triggering during the 1954 Fairview Peak ve Dixie Valley earthquakes, Central Nevada, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 87, 521-527.

Dhont D., Chorowicz J. 2006. Review of the Neotectonics of the Eastern Turkish-Armenian Plateau By Geomorphic Analysis of Digital Elevation Model İmagery, *International Journal of Earth Science*, 95, 34–49.

Demirtaş R. 1998. Türkiye’deki Sismik Boşluklar ve 27 Haziran 1998 Ceyhan (Adana) Depremi (Ms=6.3), *Depremsellik*, s. 24-28.

Dölek İ., 2014. Muş Depremleri (Eylül 2013) ve Muş İlinin Depremselliği. Makalelerle Muş. Muş Alparslan Üniversitesi Yayınları. Mayıs 2014 ISBN: 978-605-5137-03-8.

Emre Ö., Duman T.Y., Özalp S., Elmacı H., Olgun Ş., Şaroğlu F., 2013. Türkiye Diri Fay Haritası, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Özel Yayın Serisi-30, Ankara-Türkiye.

Ergin K., Güçlü U., Uz Z., 1967. Türkiye ve Civarının Deprem Katalogu, İTÜ, Maden Fakültesi Yayını No: 24, 136s.

Haktanrı T., Elcuman H. 2007. Bingöl İli ve Çevresinde Kaydedilmiş Yıllık Ekstrem Depremlerin İstatistiksel frekans Analizi ve Yörenin Depremselliği, Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 16-20 Ekim 2007, İstanbul, s. 359-369.

Harris R.A., Simpson R.W., Reasenber P.A., 1995. Influence of static stress changes on earthquake locations in southern California, *Nature*, 375:221-224.

Harris R.A., Simpson R.W. 1998. Suppression of large earthquakes by stress shadows: A comparison of Coulomb ve rate-and-state failure, *J. Geophys. Res.*, 103:24.439-24.451.

Gomberg J., Reasenber P.A., Bodin P., Harris R.A., 2001. Earthquakes triggering by seismic waves following the landers ve hector mine earthquakes, *Nature*, 411:462-466.

Gülkan P., Koçyiğit A., Yüçemen M.S., Doyuran V., Başöz N., 1993. En Son Verilere Göre Hazırlanan Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğüne 92-03-03-18 No.lu Proje Sonuç Raporu, Rapor No: 93-01 Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi.

Gündoğdu O., 2009. Van ve Çevresinin Deprem Tehlikesi, Van Kent Sempozyumu, 1-3 Ekim 2009, TMMOB Van İl Koordinasyon Kurulu, Van, s.97-116.

Işık E., Aydın M.C., Bakış A., Özlük H.M., 2012. Bitlis ve Civarındaki Faylar ve Bölgenin Depremselliği: BEÜ Fen Bil. Der. 1(2):153-169.

Kalafat D., Yilmazer M., Kekovalı K., Kafadar N., Öğütçü Z., Horasan G., Güneş Y., Suvarıklı M., 2005. Türkiye’de kurumsal ölçekte deprem ağının gelişimine bir örnek: Kandilli Rasathanesi ve DAE Deprem Ağının gelişimi ve modernizasyonu, Aktif Araştırma Grubu 9.Toplantısı, Sivas, p.1-2.

Kalafat, D., Kekovalı, K., Güneş, Y., Yilmazer, M., Kara, M., Deniz, P., Berberoğlu, M., 2009. Türkiye ve çevresi Faylanma-Kaynak Parametreleri (MT) Kataloğu (1938-2008). Boğaziçi Üniversitesi Yayınları.

Ketin İ., 1977. Van Gölü İle İran Sınırı Arasındaki Bölgede Yapılan Jeoloji Gözlemlerinin Sonuçları Hakkında Kısa Bir Açıklama, Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, Ankara, 20: 79-85.

King G.C.P., Stein R.S., Lin J., 1994. Static stress changes ve the triggering of earthquakes. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 84:935-953.

Koçyiğit A., 2005a. 2005.01.25, Mw 5.9 Sütluçe (Hakkari) Depreminin Kaynağı: Başkale Fay Kuşağı, GD Türkiye, Beşinci Ulusal Deprem Sempozyumu, Sözlü Sunum, 23-25 Mart 2005, Kocaeli, 2s.

Koçyiğit A., 2005b. 2005.03.12-14 Kızılçubuk (Karlıova- Bingöl) Depremleri (Mw 5.7-5,8) ODTÜ, Müh. Fak, Jeoloji Müh., Aktif Tektonik.

Koçyiğit A., 1983. Doğu Anadolu Bölgesi'nin depremselliği ve gerekli çalışmalar, Yeryuvarı ve İnsan, 8(3):25-29.

Mallman E.P., Zoback M.D., 2007. Assessing elastic Coulomb stress transfer models using seismicity rates in southern California ve southwestern Japan. J. Geophys. Res., 112:B03304.

Nostro C., Cocco M., Belardinelli M. E., 1997. Static stress changes in extensional regimes: An application to southern Apennines (Italy), Bull. Seismol. Soc. Am., 87:234-248.

Örgülü G., Aktar M., Türkelli N., Sandvol E., Barazangi M. 2003. Contribution to the seismotectonics of the Eastern Anatolian Plateau from moderate and small size events, Geophys. Res. Lett.,30(24):1-12.

Ünal A., 1970. Muş bölgesi 1 :25 000 ölçekli Erzurum J47-c4, Muş K47-b4-cl-c2 paftalarının detay petrol etüdü raporu: MTA Rap., 4754 (yayımlanmamış).

Pearce J.A., Bender J.F., De Long S.E., Kidd W.S.F., Low P.J., Güner Y., Şaroğlu F., Yılmaz Y., Moorbath S., Mitchell J.G., 1990. Genesis of Collision Volcanism in Eastern Anatolia, Turkey, Journal of Volcanology and Geothermal Research, 20 December 1990, 44(1-2): 189-229.

Reasenber P.A., Simpson R.W., 1992. Response of regional seismicity to the static stress change produced by the Loma Prieta earthquake. Science 255:1687-1690.

Stein R.S., Lin J., 2006. Seismic constraints and Coulomb stress changes of a blind thrust fault system, 2: Northridge, California. U.S. Geological Survey, Open-File Report, 2006-1158.

Sezer L. İ. 2008. Karlıova (Bingöl) Yöresinin Depremselliği. Ege Coğrafya Dergisi. 17 (1-2): 35-50.

Şaroğlu F., Güner Y., Kidd M.S.F., Şengör A.M.C., 1980. Neotectonics Of Eastern Turkey: New Evidence For Crustal Shortening and Thickening in a Collision Zone EOS, vol.61, April 22, p.360.

Şaroğlu F., Yılmaz Y., 1986. Doğu Anadolu'da neotektoniğin gelişime başlıca etkileri: TJK 1986, Bildiri özetleri, s.5.

Şaroğlu F., Emre Ö., Boray A., 1987. Türkiye'nin Diri Fayları ve Depremsellikleri, MTA, Derleme Rapor No: 8174, 394 s.

Toker M., Krastel S., Demirel-Schlueter F., Demirbağ E., Imren C., 2007. Volcano-Seismicity of Lake Van (Eastern Turkey), A Comparative Analysis of Seismic Reflection and Three Component Velocity Seismogram Data and New Insights Into Volcanic Lake Seismicity, International Earthquake Symposium Kocaeli, 22-26 October 2007, p.103- 109.

Tüysüz O., 2005. Neotectonics and Seismicity of Turkey, ITU, Eurasia Institute of Earth Sciences, 70p.

Taymaz T., 1997. Active Tectonics of the Eastern Anatolian Region: The Source Parameters of the Destructive Earthquakes and Tectonic Settlement. Technical Report, TÜBİTAK YBAG, 100, 1997–1268 (yayınlanmamış).

Tan O., Taymaz T. 2004. Seismotectonics of the Caucasus and surrounding regions: source parameters and rupture histories of Recent destructive earthquakes. AGU Fall Meeting, Session T14, San Francisco-California, EOS Transactions 85 (47).

Taymaz T., Eyidoğan H., Jackson J., 1991. Source parameters of large earthquakes in the East Anatolian Fault Zone (Turkey). *Geophysical Journal International* 106, 537–550.

Tan O., Tapirdamaz C., Yoruk A., 2008. The earthquake catalogues for Turkey. *Turk. J. Earth. Sci.* 17:405-418.

Tan O., 2004. The Source Mechanism Properties and Rupture Histories of the Caucasian, Eastern Anatolian and North Western Iranian Earthquakes. PhD Thesis, İstanbul Technical University, İstanbul, Turkey (yayınlanmamış).

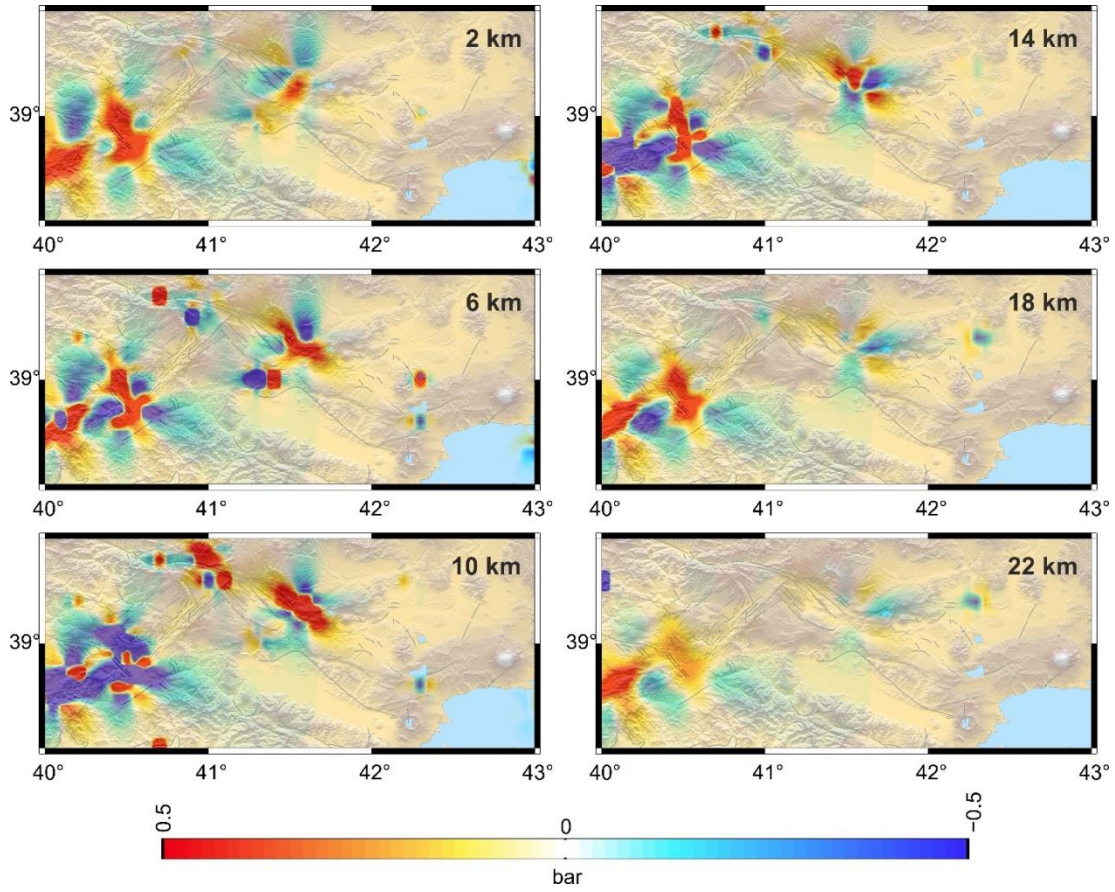
Toda S., Stein R.S., Reasenber P.A., Dieterich J.H., 1998. Stress transferred by the Mw=6.5 Kobe, Japan, shock: Effect on aftershocks ve future earthquake probabilities, *J. Geophys. Res.*, 103:24.543-24.565.

Toda S., Stein R.S., Sevilgen V., Lin J., 2011. Coulomb 3.3 graphic-rich deformation ve stress-change software for earthquake, tectonic, ve volcano research ve teaching-user guide. US. Geol. Surv. Open File Rep., 2011-1060.

Wallace R.E., 1968. Earthquake of August 19,1966, Varto Area, Eastern Turkey, Bulletin of seismological Society of Amerika, 58 (11):11-45.

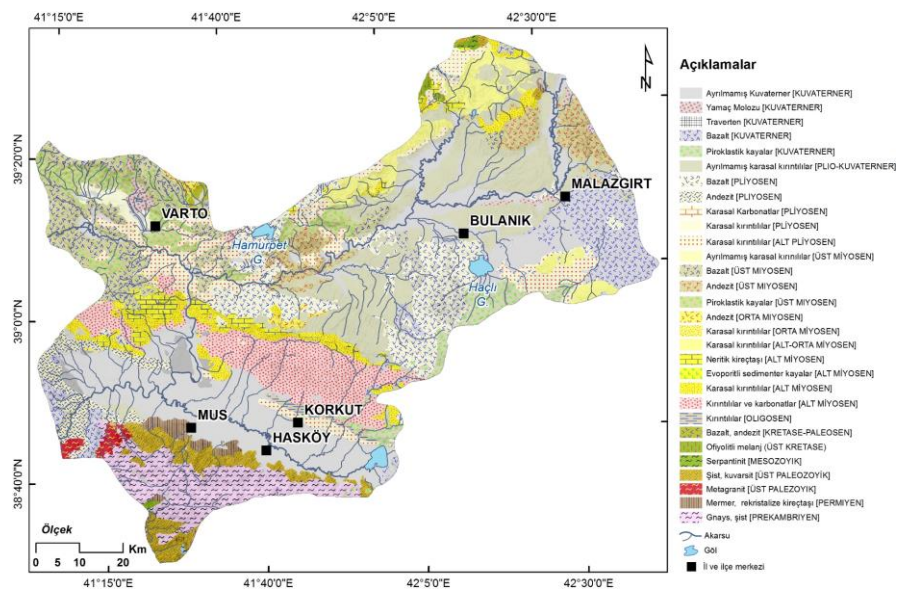
Wells D.L., Coppersmith K.J., 1994. New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, ve surface displacement: Bull. Seism. Soc. Am., 84:974-1002.

Xu C., Wang J., Li Z., Drummond J., 2010. Applying the Coulomb failure function with an optimally oriented plane to the 2008 Mw 7.9 Wenchuan earthquake triggering. Tectonophysics, 419:199-126.

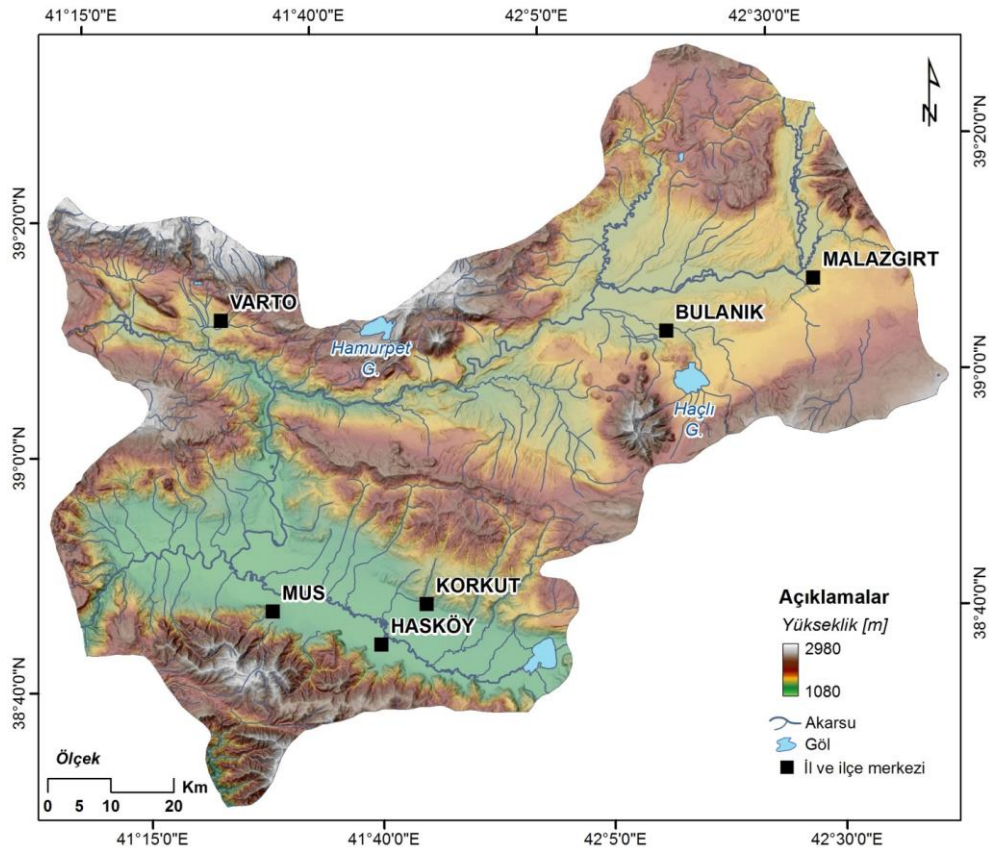


Şekil 6. 6 farklı derinlikteki Coulomb gerilme değişimleri.

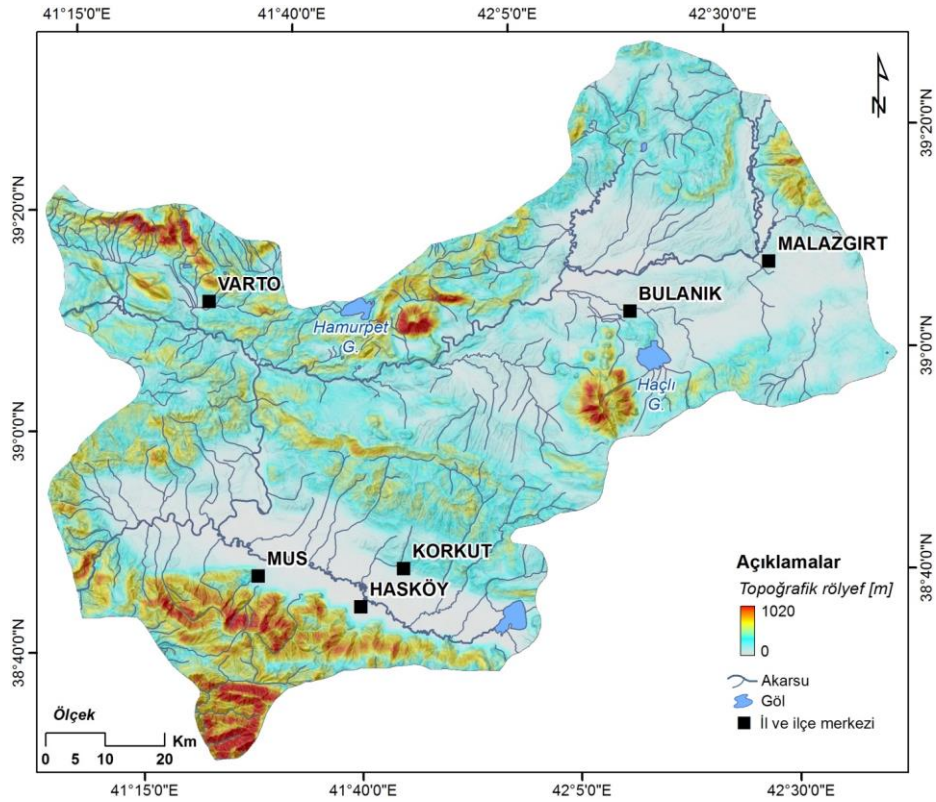
MUŞ İLİNDEKİ KÜTLE HAREKETLERİ VE KÜTLE HAREKETLERİNE DUYARLI ALANLARIN ANALİZİ



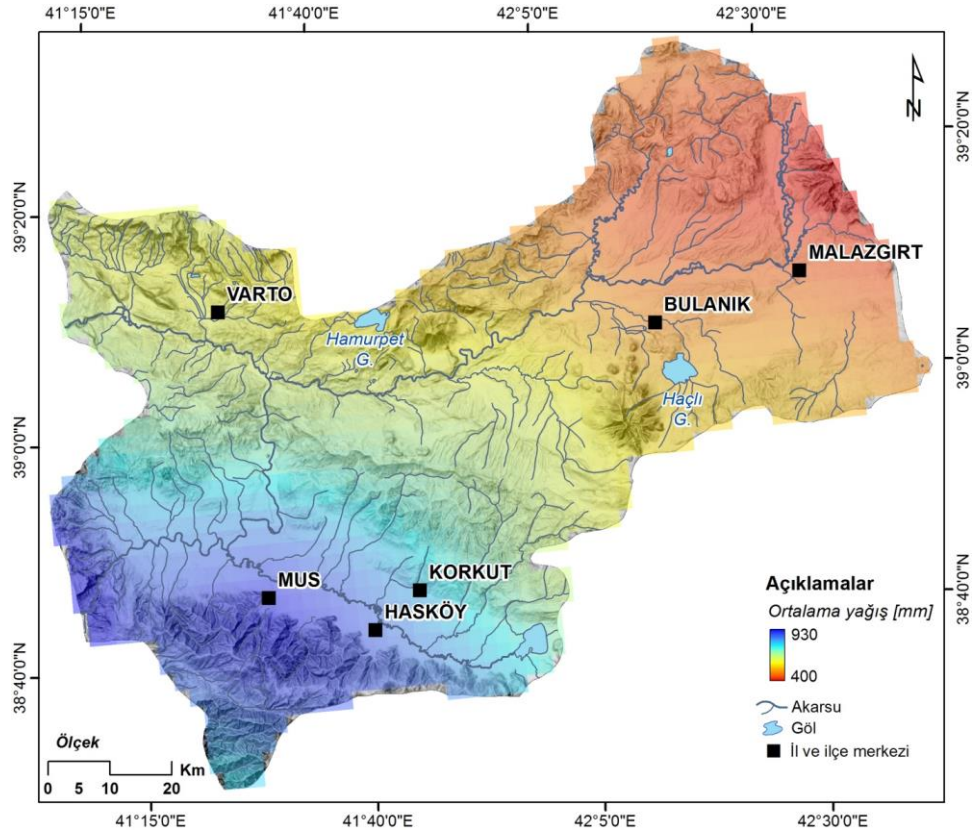
Şekil 1: Muş ili jeoloji haritası (MTA, 2002, 1:500,000 ölçekli Erzurum ve Van paftalarından derlenmiştir)



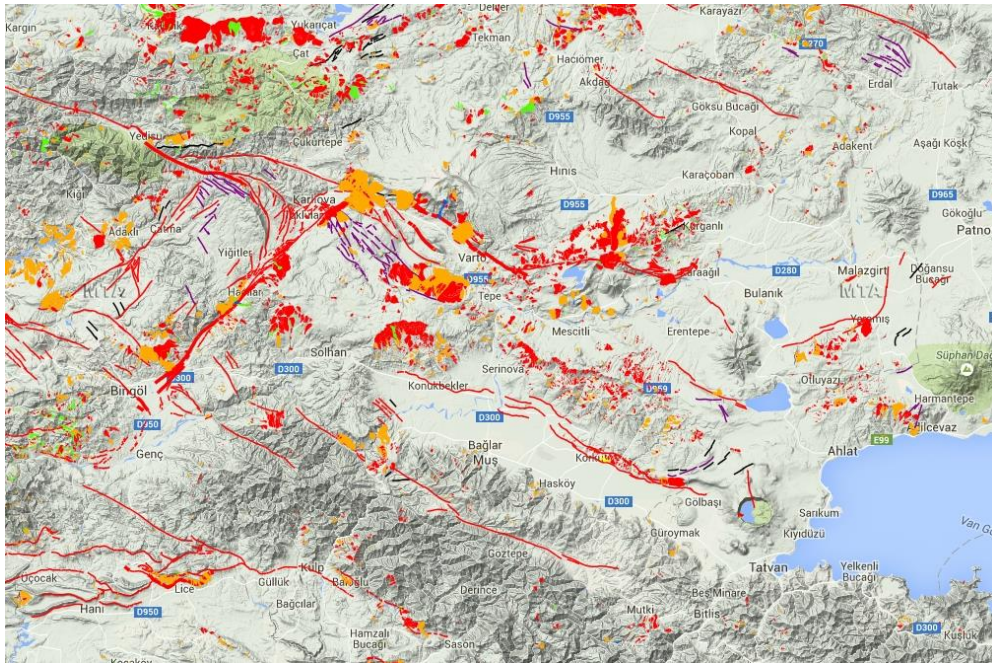
Şekil 2: Muş ilinin sayısal yükseklik modeli ve ana akarsu ağı haritası.



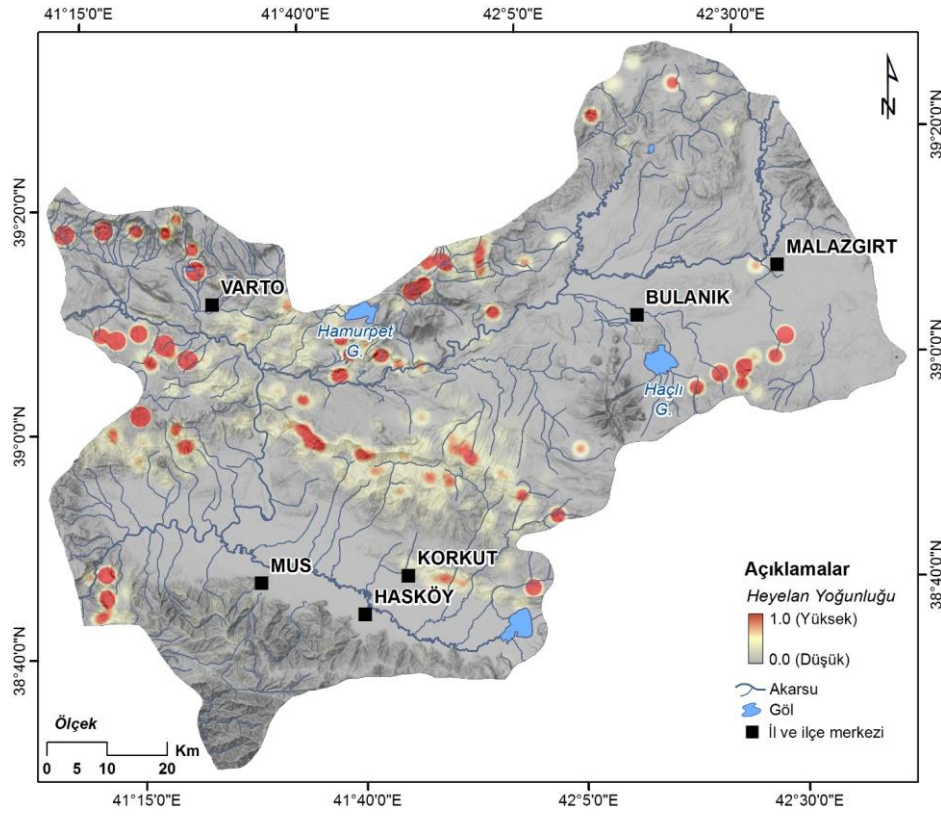
Şekil 3: Muş ilinin topoğrafik rölyef haritası.



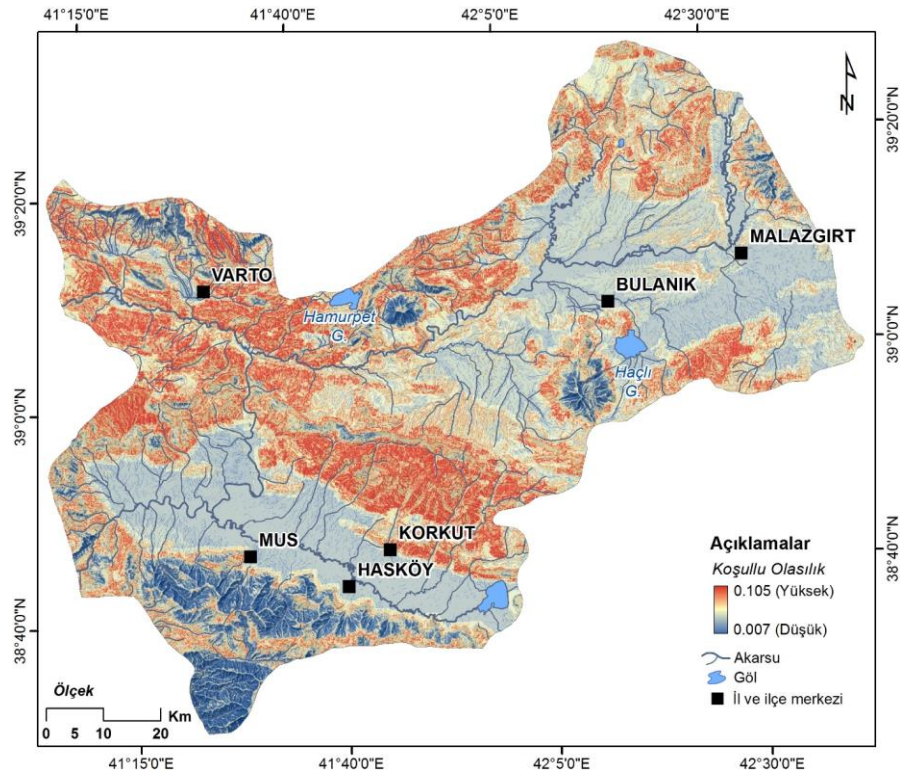
Şekil 4: Muş ilinin ortalama yağış haritası. Ortalama yağış değerleri Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) verilerinden bu çalışma için üretilmiştir.



Şekil 5: Muş ilinde yer alan kütle hareketlerinin dağılım haritası (MTA 2010 tarafından üretilmiştir). Kırmızı renk: aktif derin kaymaları, turuncu renk: aktif olmayan derin kaymaları ve yeşil renk: aktif akmaları gösterir. Kaynak: <http://yerbilimleri.mta.gov.tr/anasayfa.aspx>

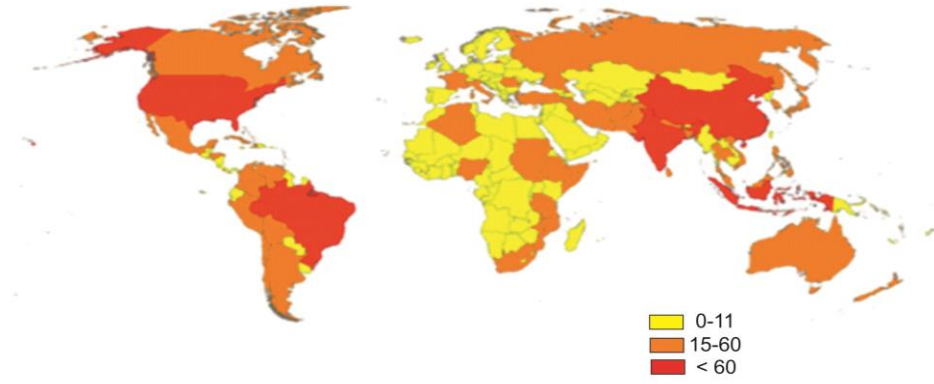


Şekil 11: Muş iline ait heyelan yoğunluk haritası. Yoğunluk hesaplamaları sırasında örneklem dairesinin yarıçapı 2 km olarak seçilmiştir. Yoğunlukta MTA tarafından oluşturulan ve 1:500000 ölçeğinde yayınlanmış heyelan envanter haritası ve buradaki heyelandan etkilenen alanlar temel alınmıştır.

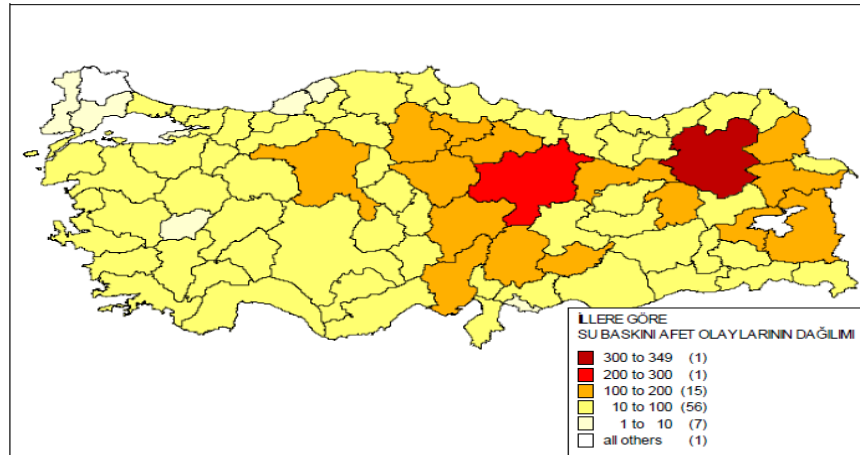


Şekil 12: Muş iline ait kütle hareketi duyarlılık haritası.

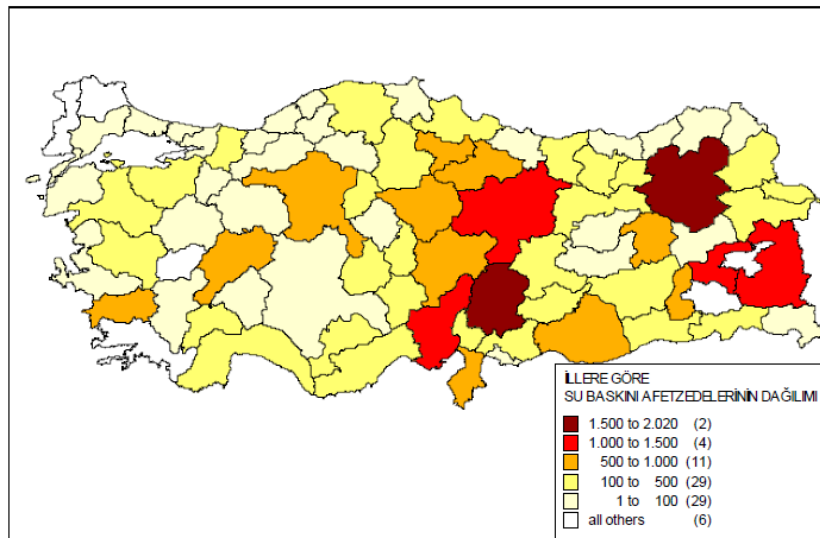
MUŞ İLİNDE DOĞAL TEHLİKE KAYNAĞI OLARAK SEL VE
TAŞKINLAR, SEL VE TAŞKINA DUYARLI ALANLARIN ANALİZİ



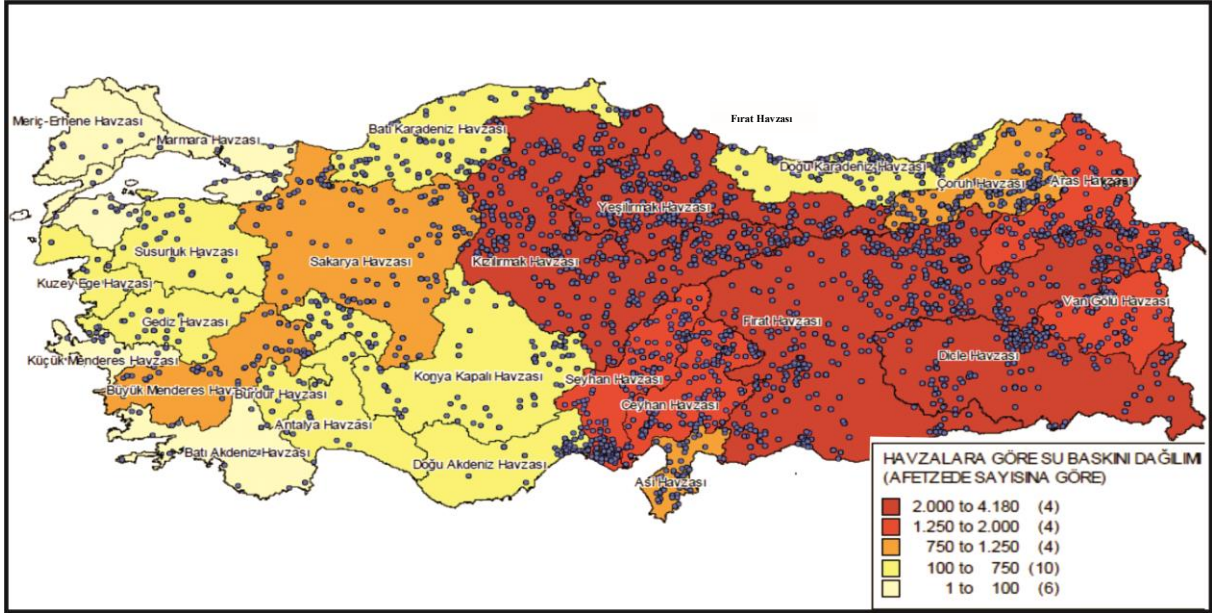
Şekil 1: 1974-2003 Yılları Arasında Gerçekleşen Ülkelere Göre Taşkın Afetleri:



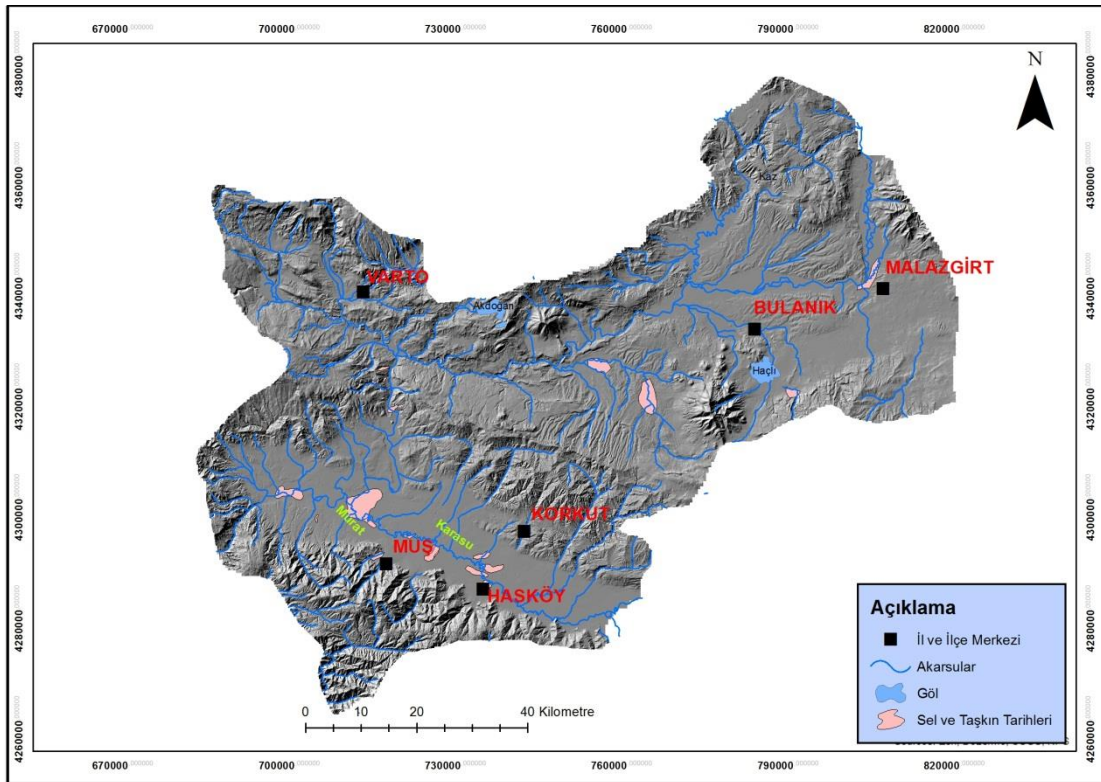
Şekil 2: Su baskın sayısının illere göre dağılımı ((Gökçe, Özden ,2008).



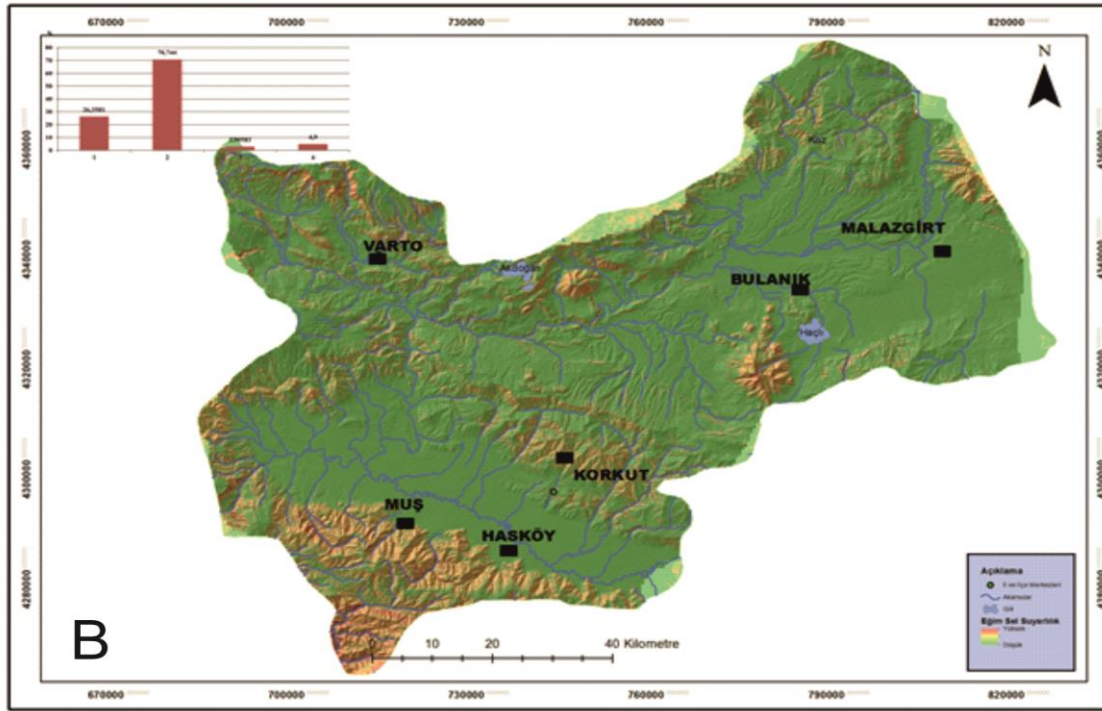
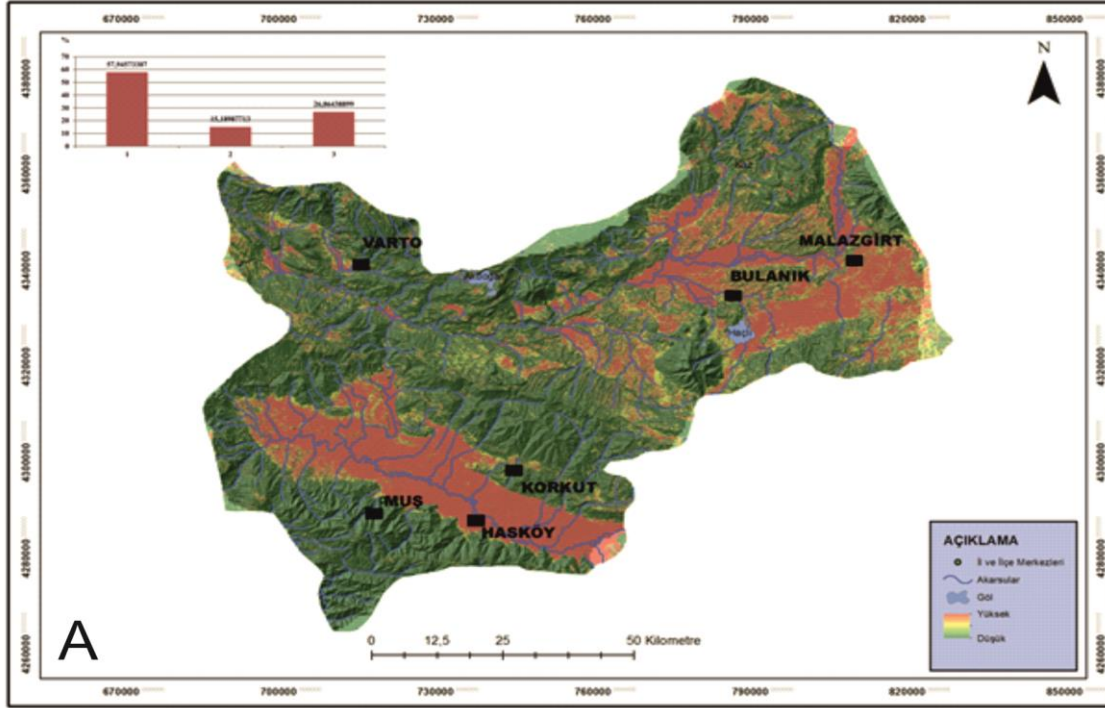
Şekil 3: Su baskınlarından etkilenen afetzede sayılarının illere göre dağılımı (Gökçe, Özden ,2008).



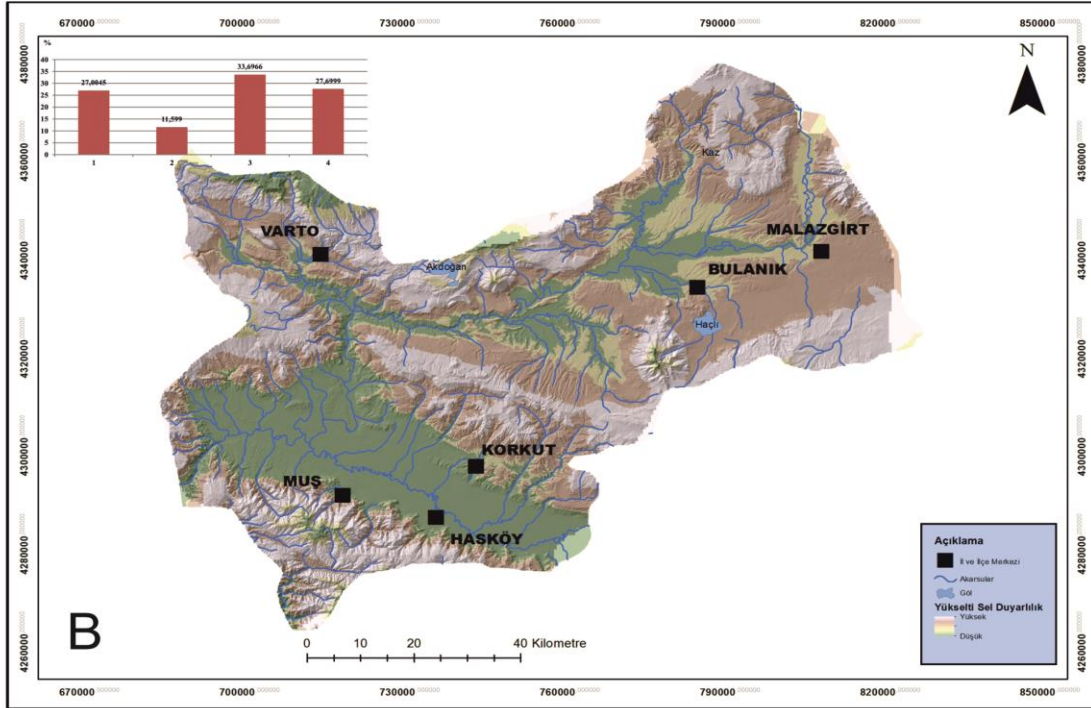
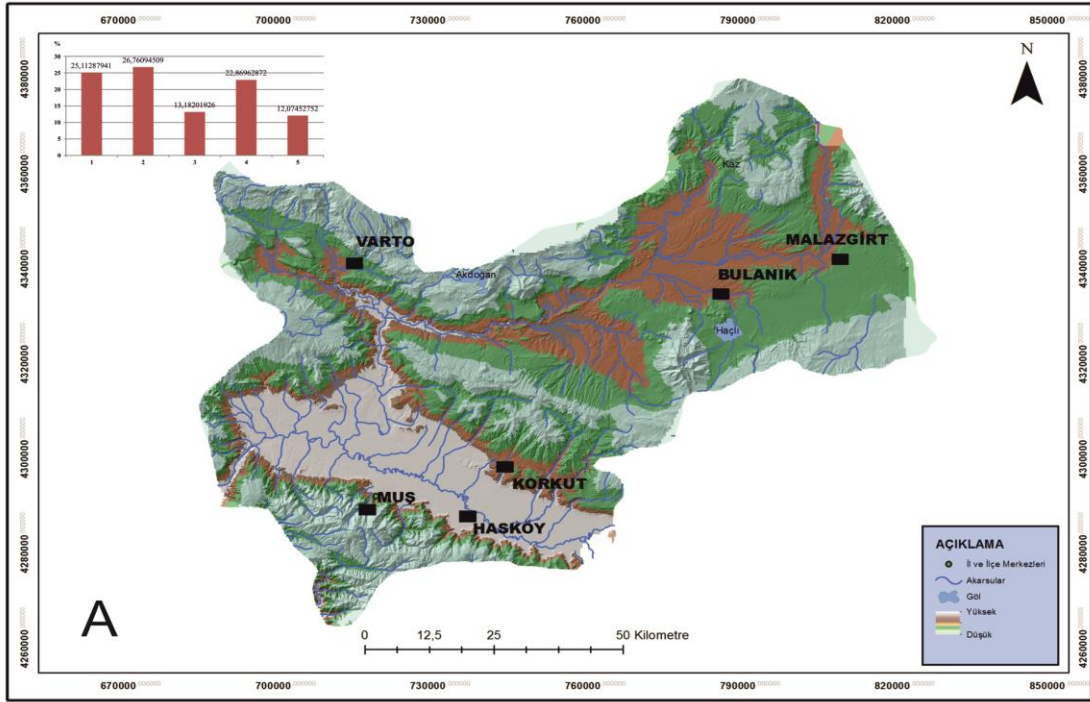
Şekil 4: Afetlerde Sayısına Göre Havzalara Göre Su Baskın Dağılımı (Gökçe, Özden, 2008).



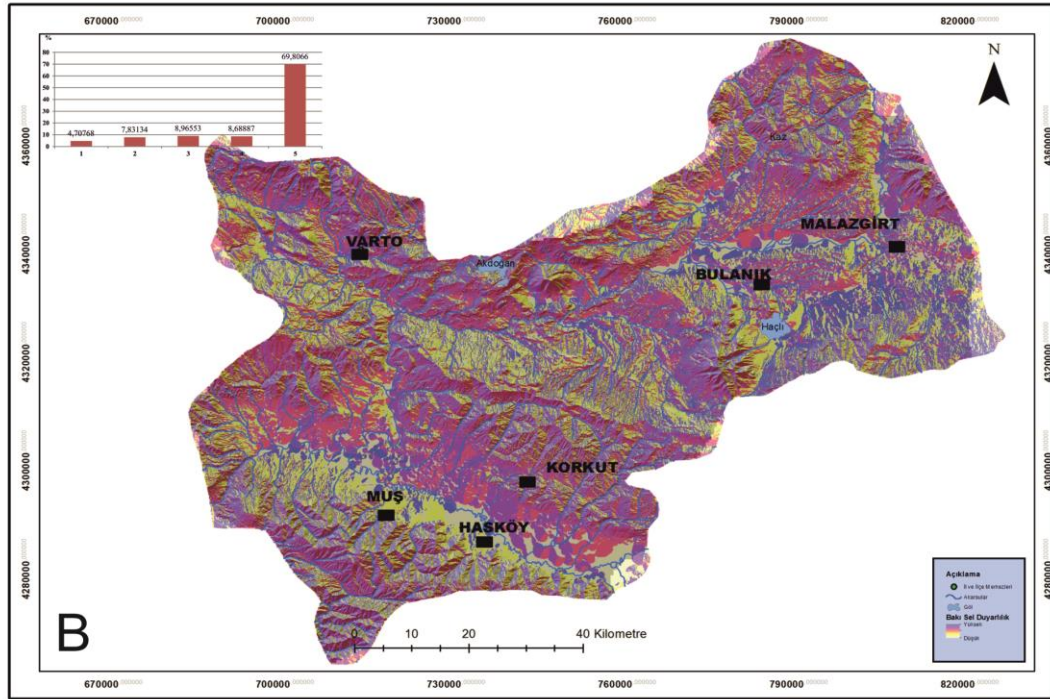
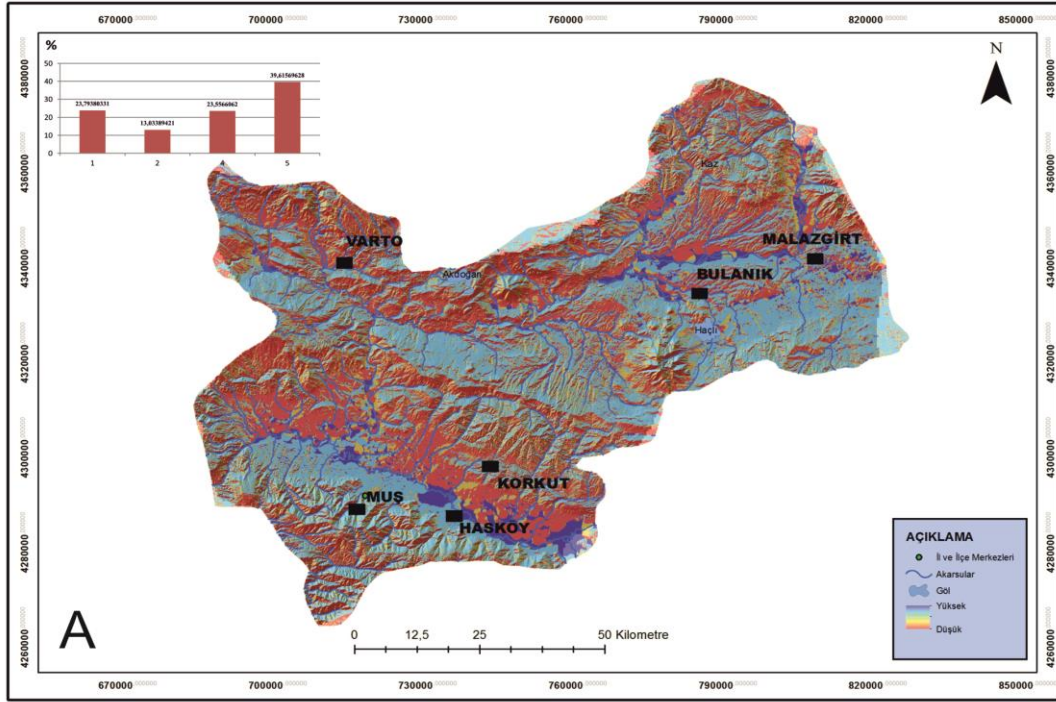
Şekil 5: Muş İline Ait Sel ve Taşkın Envanter Haritası



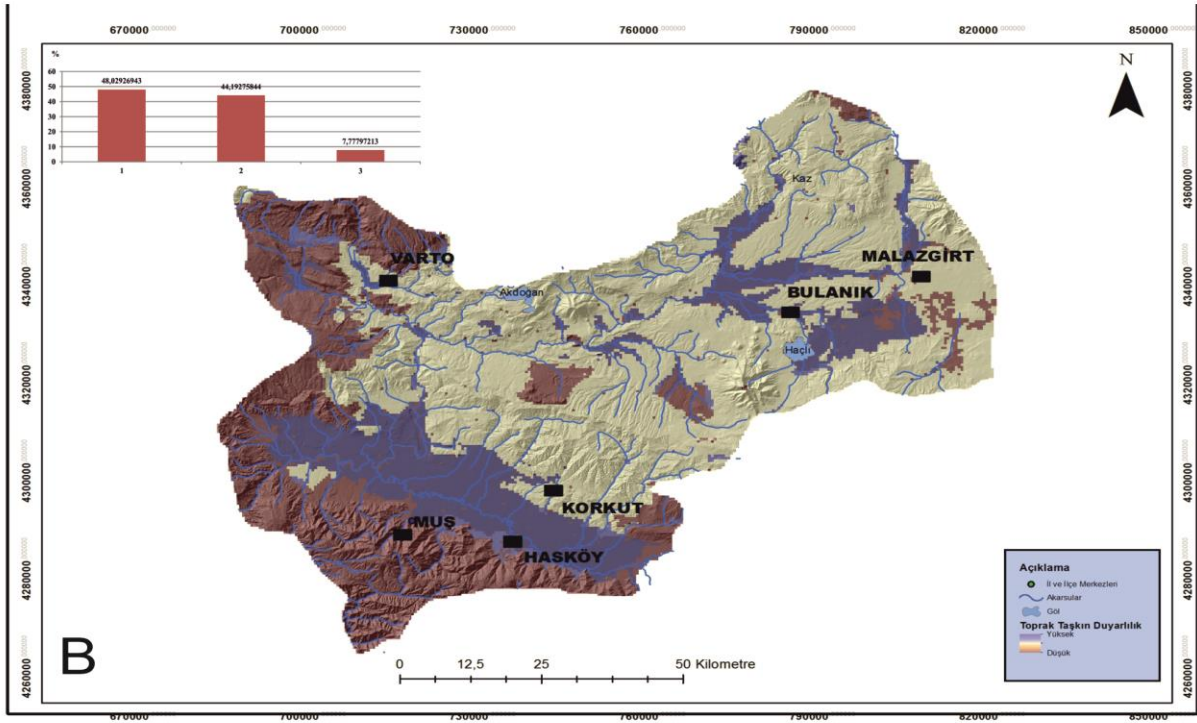
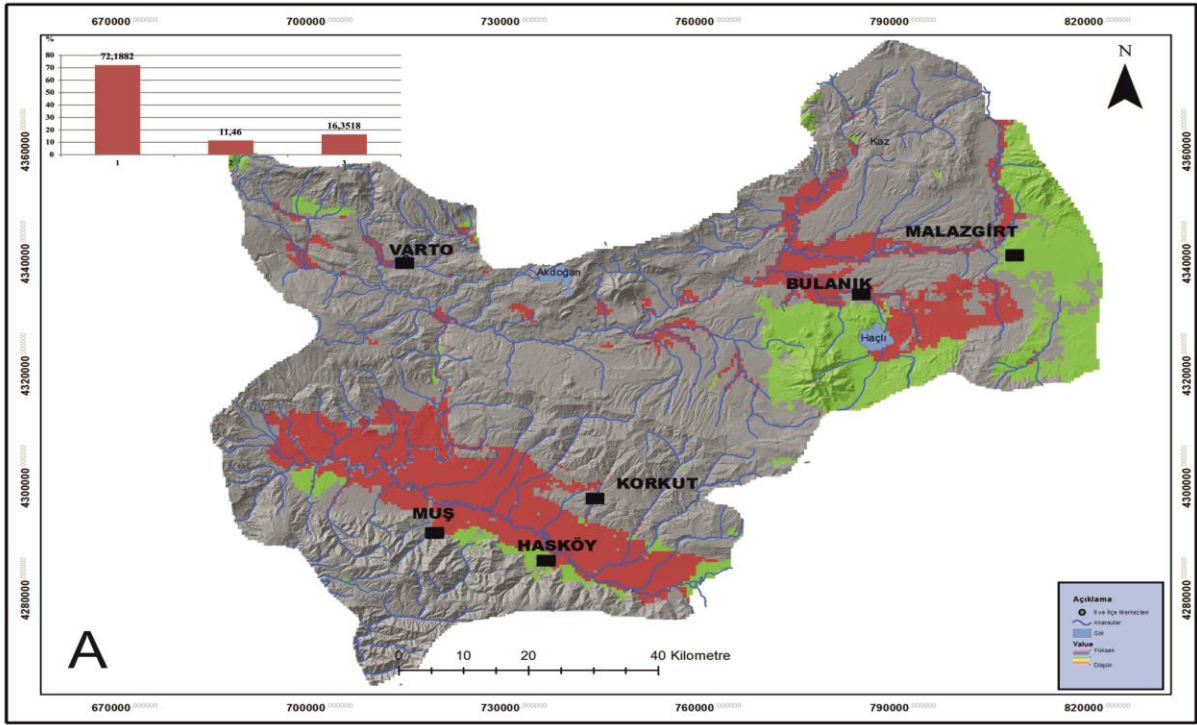
Şekil 6 Eğim parametresine göre oluşturulmuş Sel (A) ve taşkın (B) duyarlılık haritaları



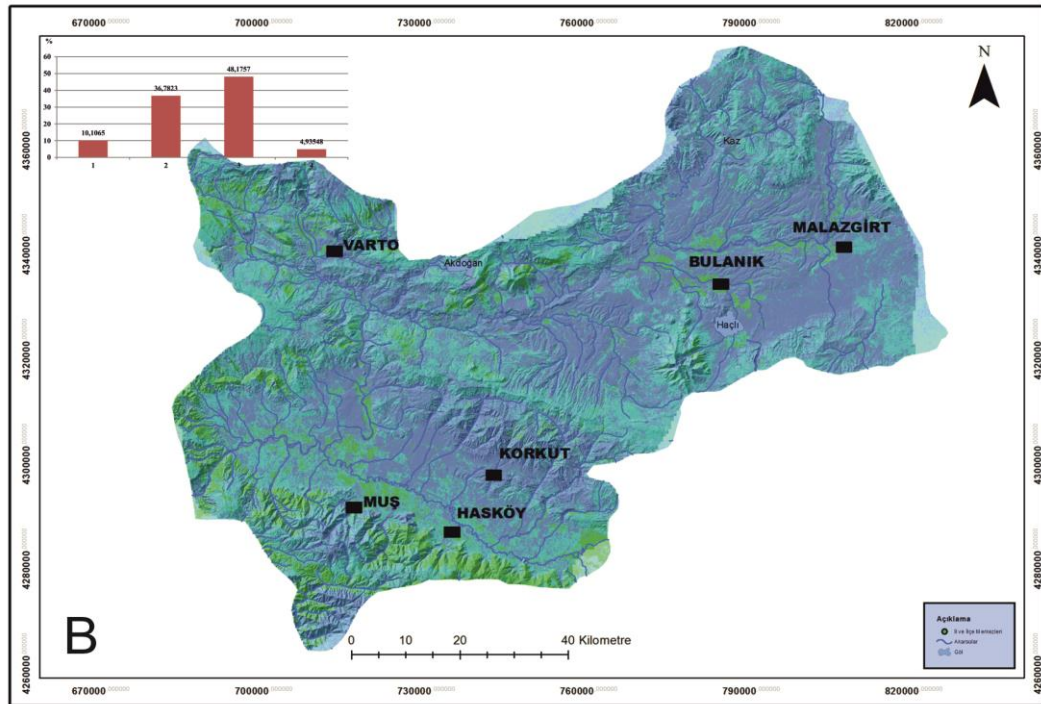
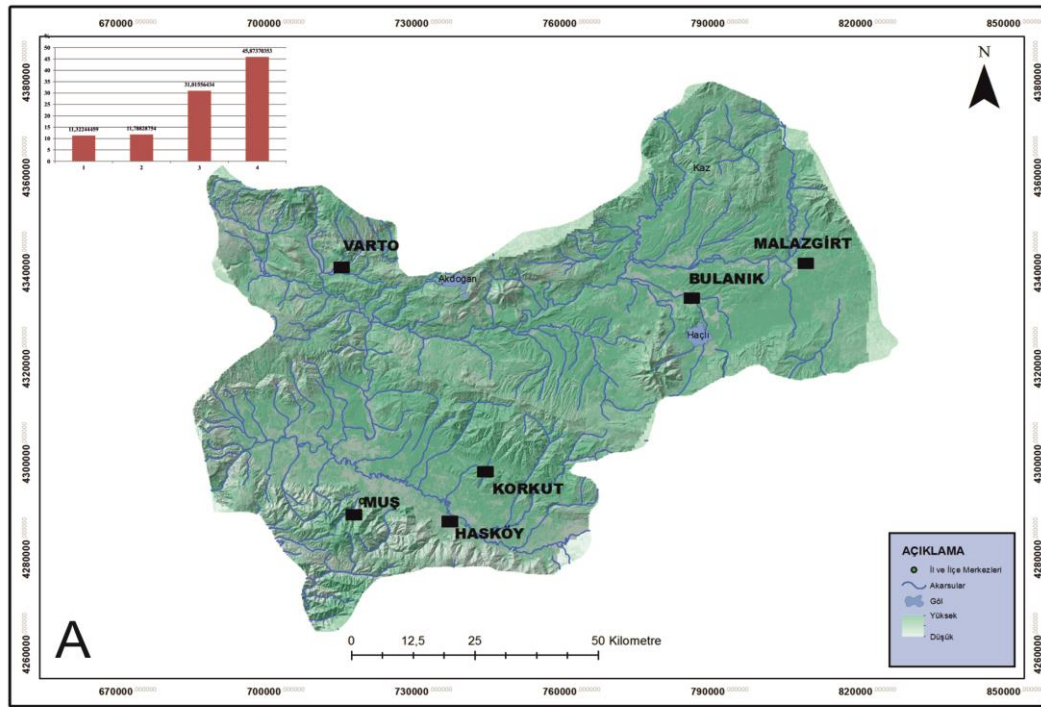
Şekil 7 Yükselti parametresine göre oluşturulmuş Sel (A) ve Taşkın (B) duyarlılık haritaları



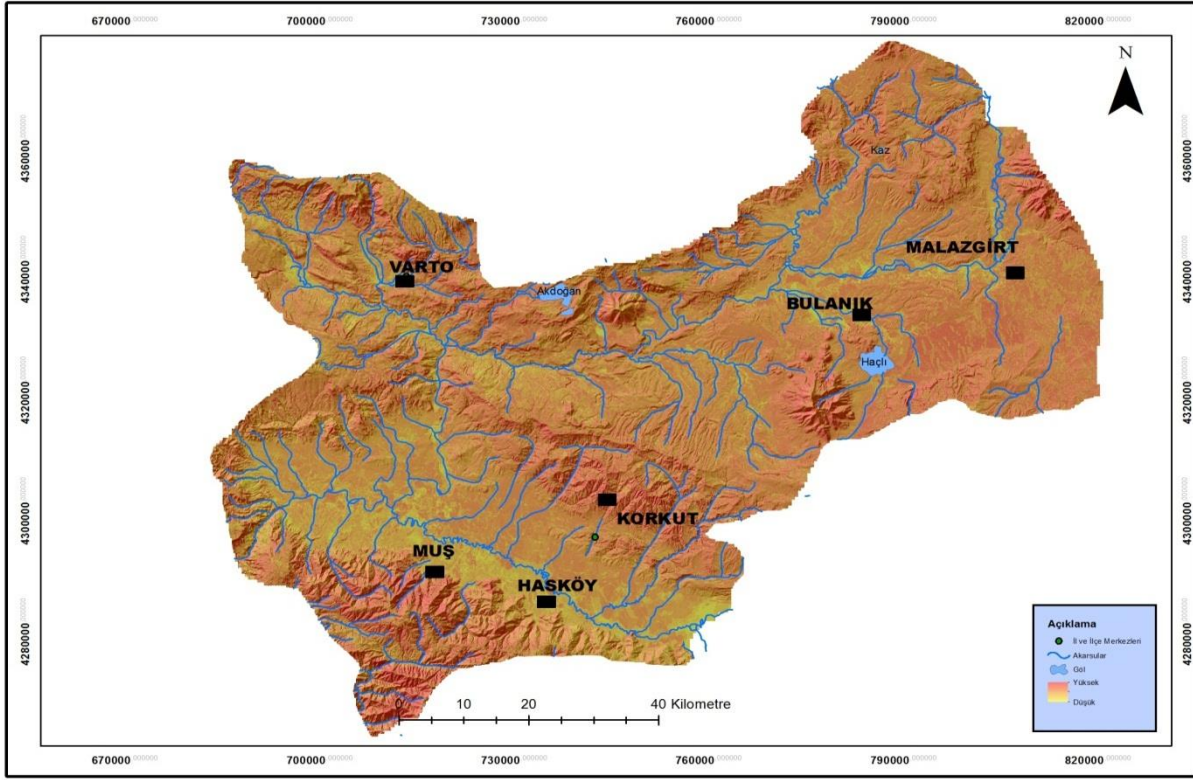
Şekil 8: Bakı parametresine göre oluşturulmuş Sel (A) ve Taşkın (B) duyarlılık haritaları



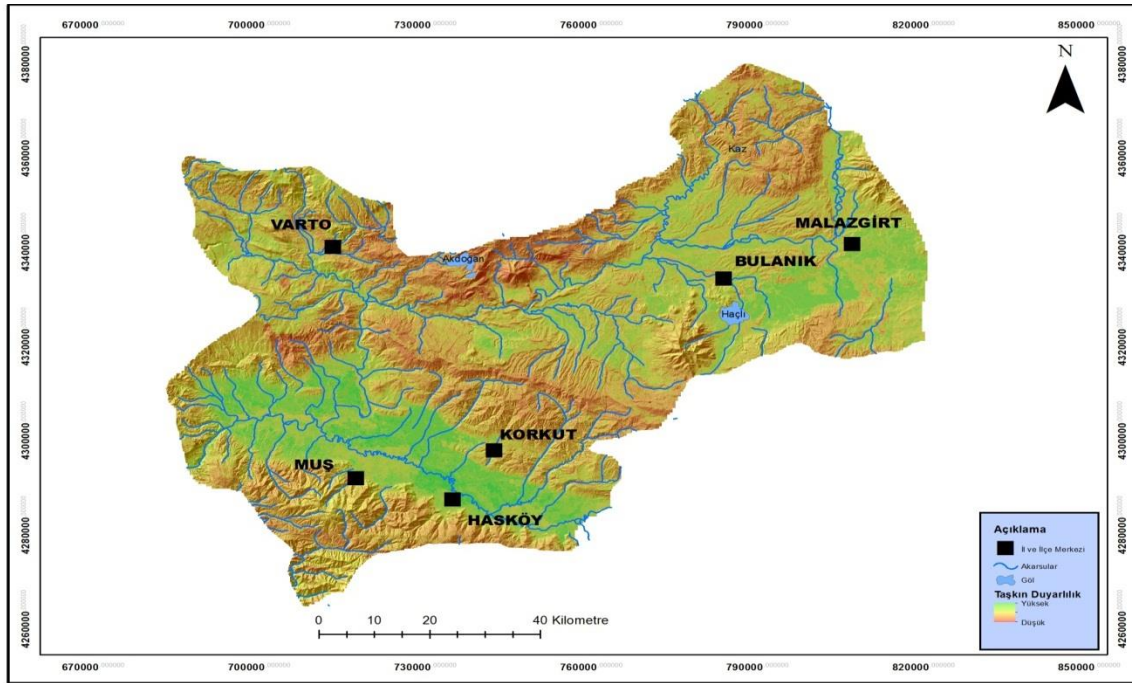
Şekil 9: Toprak parametresine göre oluşturulmuş Sel (A) ve Taşkın (B) duyarlılık haritaları



Şekil 10: NDVI parametresine göre oluşturulmuş Sel (A) ve Taşkın (B) duyarlılık haritaları

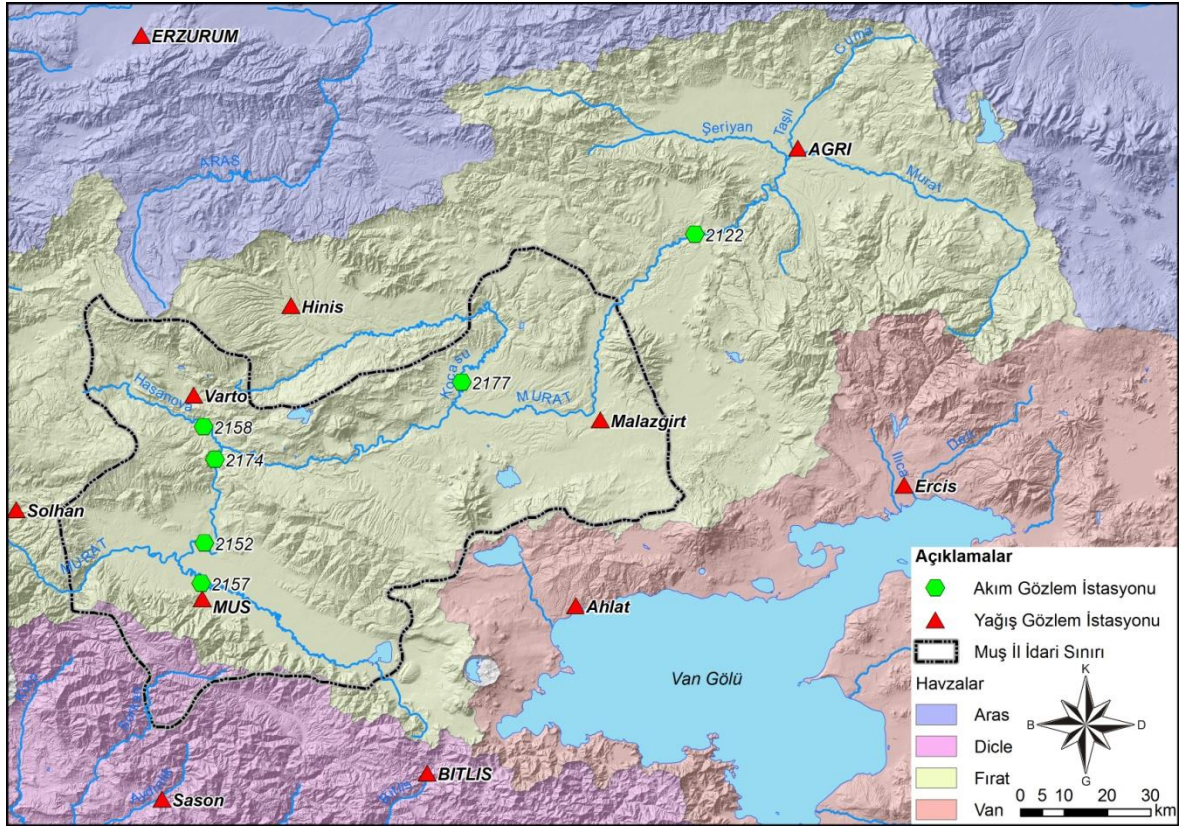


Şekil 11: Sel Duyarlılık Haritası

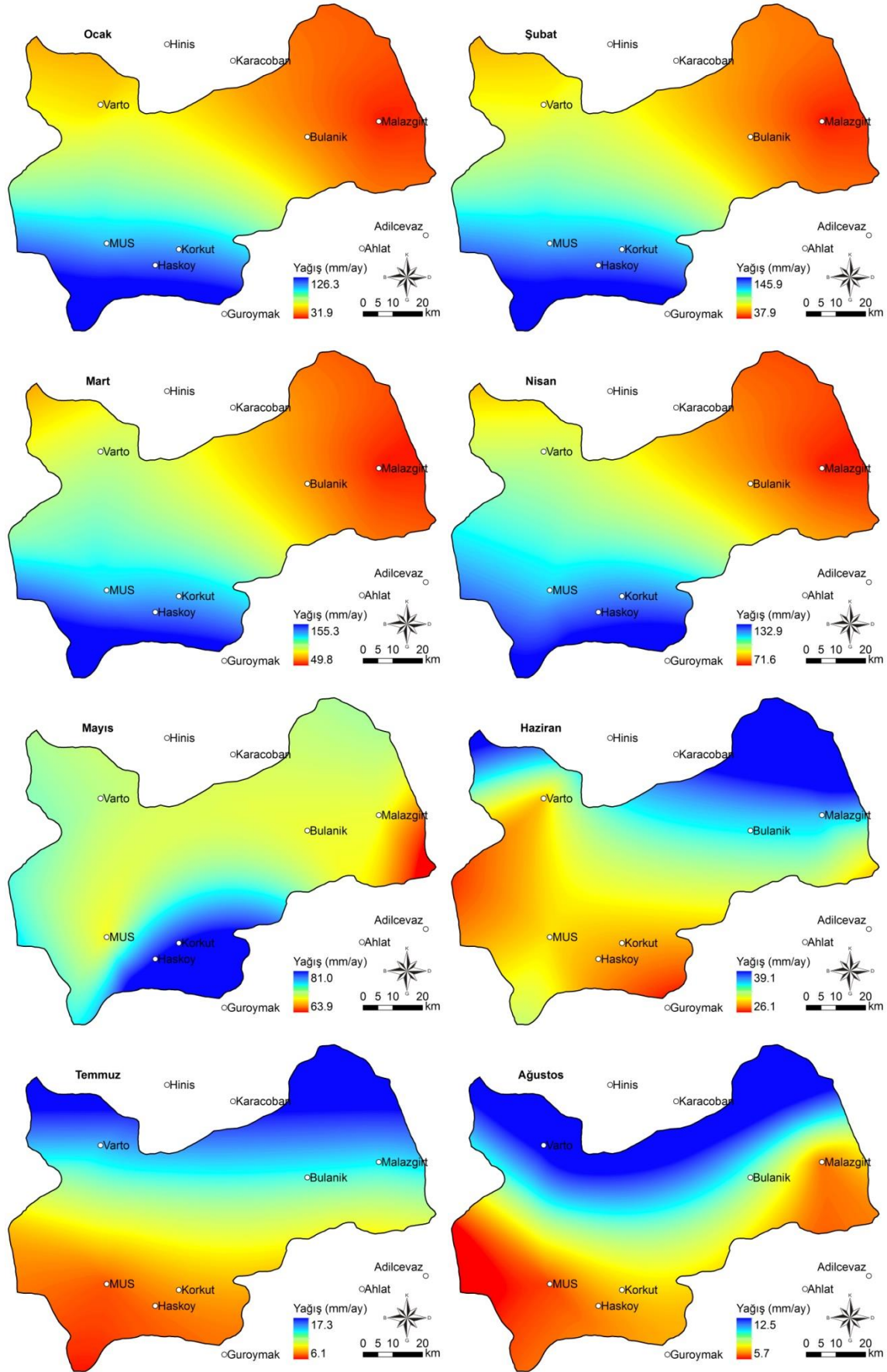


Şekil 12: Taşkın Duyarlılık Haritası

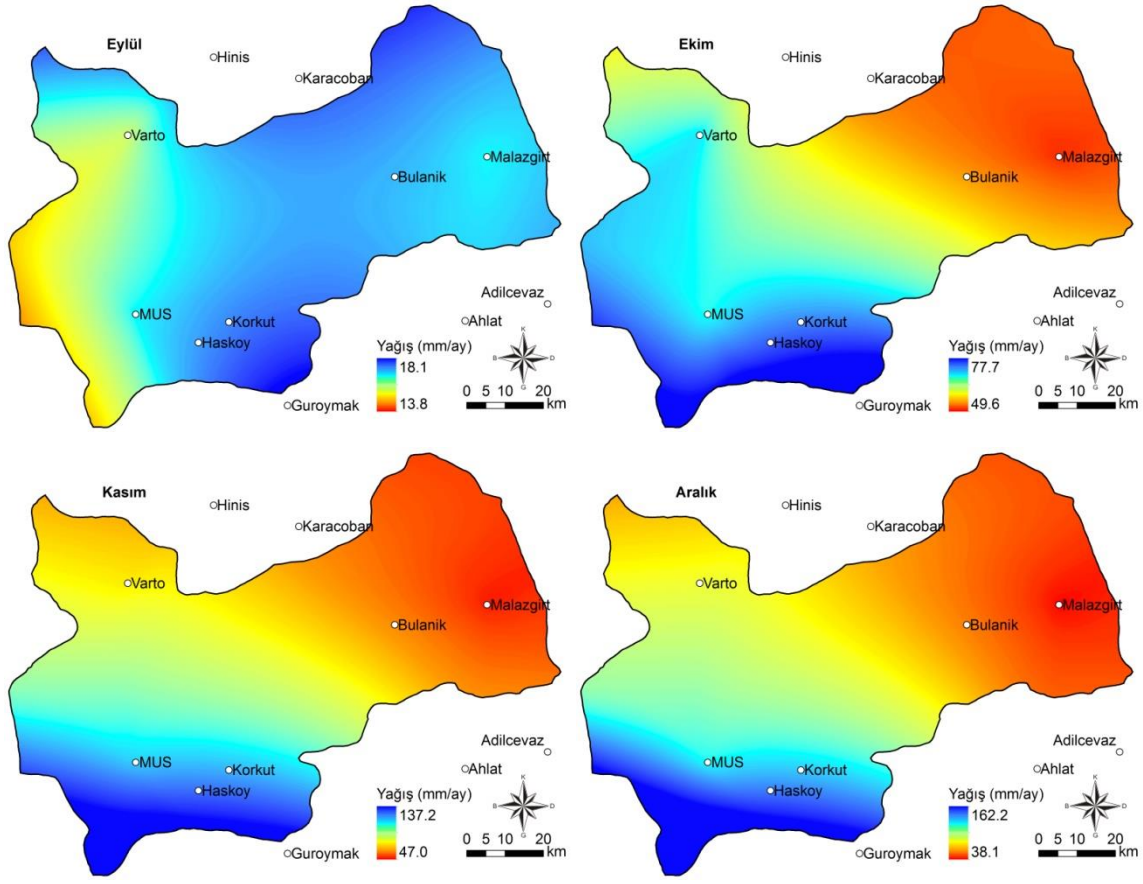
MUŞ ve ÇEVRESİ HİDROLOJİK KURAKLIK ANALİZİ



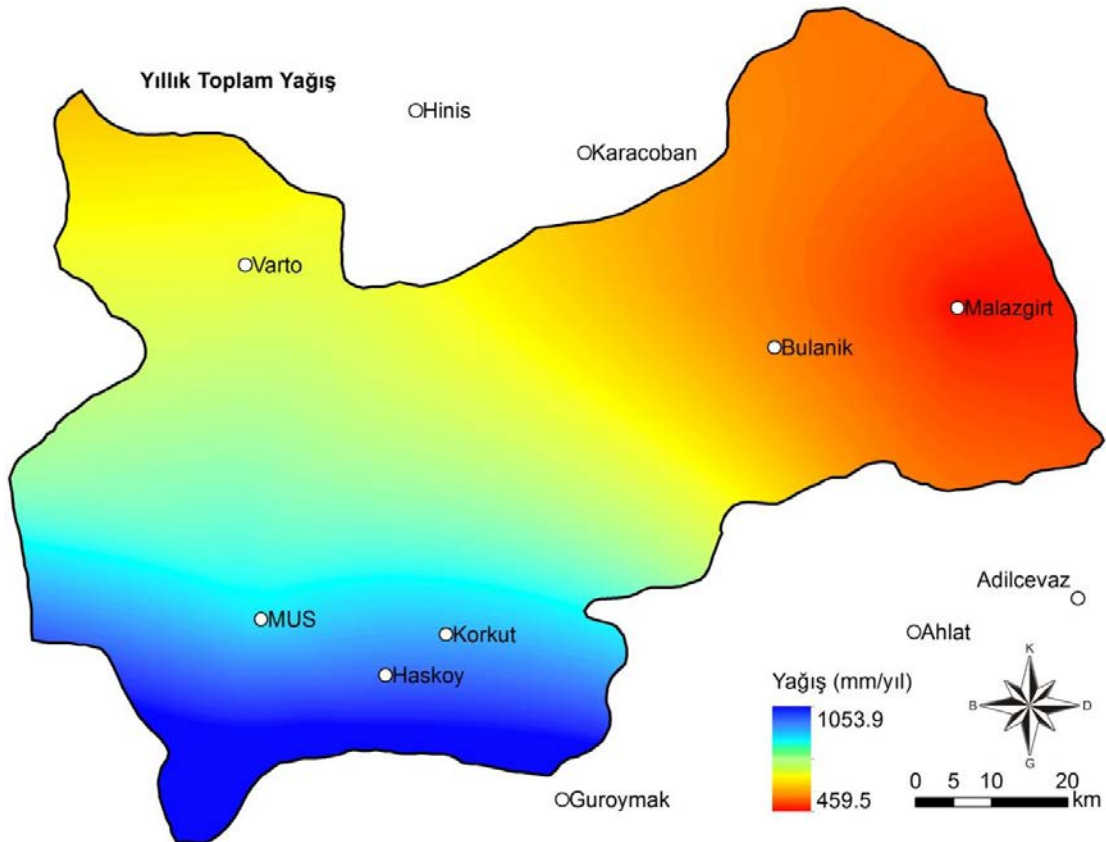
Şekil 1. İnceleme alanı hidrolojik gözlem ağı haritası.



Şekil 2. Muş ili uzun yıllar (1960-2014) aylık ortalama toplam yağış dağılımı.



Şekil 2. Devam ediyor.



Şekil 3. Muş ili uzun yıllar (1960-2014) yıllık ortalama toplam yağış dağılımı.

KALKINMA YOLUNDA DOĞAL AFETLER RAPORU



🏠 Şerefiye Mah. Cumhuriyet Cad. 943. Sok. No:1 65140 İpekyolu / Van

☎ Tel : (0432) 215 65 55 (pbx) / Faks : (0432) 215 65 54 - (0212) 381 79 93

🌐 E-mail : bilgi@daka.org.tr / Web : www.daka.org.tr



www.facebook.com/doguanadolukalkinmaajansi
www.twitter.com/DAKA_org_tr