

## Yağış Eşiği Bazlı Heyelan Erken Uyarı Sistem Önerisi: Trabzon İli Örneği

Emre AKÇALI\*  
Hasan ARMAN\*\*

### ÖZ

Heyelanları tetikleyen yağışların süre, miktar ve şiddetlerinin bilinmesi, heyelan tahmini ve heyelan erken uyarı sistemleri için büyük önem taşımaktadır. Yağışların belli bir eşik değeri aştıktan sonra heyelanları tetiklediği son yıllarda araştırmacılarca yapılan çalışmalar ile ortaya konulmuştur. Bu çalışmada, Türkiye’de heyelanların en çok meydana geldiği Trabzon ili için yağış eşiği belirlenmiş ve bu eşiğe bağlı bir heyelan erken uyarı sistemi önerilmiştir. Çalışmada, Trabzon ilinde (1988-2010) yılları arasında meydana gelen 1105 adet heyelan verisi kullanılmıştır. Farklı kriterlerden elde edilen yağış eşiklerine göre heyelan erken uyarı veri tabanı hazırlanmış ve bu veri tabanı 2 yıllık deneme süresinde olumlu sonuç vermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Heyelan erken uyarı, yağış eşiği, Trabzon heyelanları

### ABSTRACT

#### Landslide Early Warning System Suggestion Based on Landslide - Rainfall Threshold: Trabzon Province

Knowing the duration, intensity and amount of precipitation that triggers landslides is of great importance for understanding landslide forecasting and landslide early warning systems. In recent years, studies carried out by the researchers exhibited that the rainfalls triggering landslides occur above a certain threshold value. In this study, the threshold value of Trabzon province where most landslides occur in Turkey was estimated, and a landslide early warning system was suggested depending on this threshold. In the study, 1105 landslides data occurred in Trabzon province between the years 1988-2010 were used. Based on the rainfall thresholds obtained from different criterions, a landslide early warning database was prepared, and this database has provided positive results in a 2-year trial period.

**Keywords:** Landslide early warning, rainfall threshold, Trabzon landslides

---

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu’na 30.10.2011 günü ulaşmıştır.
- 31 Mart 2013 gününe kadar tartışmaya açıktır.

\* Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, 22. Bölge Müdürlüğü, Trabzon - emreakcali@dsi.gov.tr

\*\* Birleşik Arap Emirlikleri Üniversitesi, Fen Fakültesi, Jeoloji Bölümü, Birleşik Arap Emirlikleri - harman@uaeu.ac.ae

## 1. GİRİŞ

Heyelanlar konusunda günümüze kadar elde edilen bilgi ve deneyim, kütle hareketlerinde en önemli tetikleyici etkenin yağışlar olduğunu göstermiştir. Yapılan çalışmalar yağışların heyelanları tetiklediğini göstermesi yanında, yağışın sürekliliğinin ve şiddetinin de duraylılıkta ne denli önemli rol oynadığını göstermiştir [1]. Ancak, sığ hareketlerin dışında heyelanlarla yağış arasında kesin bir bağıntı kurulamadığı görülmüştür [2,3].

Dünyanın çeşitli iklimlerinden edinilen verilerden, sığ kaymaları ve akmaları tetikleyen unsurun yağış olduğu varsayımı ile ilk olarak Caine [4] tarafından 1980 yılında global ölçekli bir alt limit bağıntısı çıkarılmıştır. Bu alt limit, heyelanların başlaması için gerekli olan “yağış eşiği” olarak tanımlanmıştır. Ancak dünya üzerindeki bölgelerin farklı topoğrafik, jeolojik yapıları ile üzerinde yer alan bitki örtüsü ve tarım alanlarının farklılığı dolayısıyla her bölge için yeni bir heyelan yağış eşiği bağıntısının çıkarılması, bağıntının tutarlılığı ve uygulamada kullanılabilirliği açısından büyük önem taşımaktadır.

Heyelanları tetikleyen yağış eşiği, fiziksel bazlı veya istatistiksel verileri baz alan ampirik metod ile belirlenebilmektedir. Ancak Türk Standartı 8853 “Yamaç ve Şevlerin Dengesi ve Hesap Metodları – Zeminde” de belirtildiği üzere; “yerinde oluşmuş (rezidüel) zemin yamaçlarda, zeminin kayma direnci ayrışma ve yıpranma etkilerine bağlı olarak değişiklik gösterdiğinden, stabilite analizi, laboratuvar deneyleri sonucu bulunan parametrelerle başarılı şekilde yapılamamaktadır. Deneyime dayalı ampirik yaklaşımlar, yerinde oluşmuş zeminlerde en güvenilir yol olarak belirmektedir. Böyle yamaçlarda kayma çoğunlukla sonsuz yamaç biçiminde oluşmaktadır ve kesin hesap yapılması zordur” [5].

Trabzon, Türkiye’ nin en çok yağış alan Doğu Karadeniz Bölgesinde (Şekil 1) yer alan ve en çok heyelan meydana gelen ilimizdir. Bu heyelanların % 97’ si yüzeysel ve sığ kaymalar ile çamur-moloz akmaları şeklinde oluşmaktadır [6]. Bunun yanında Trabzon ili toprakları, rezidüel zeminlerden oluşmaktadır. Bu özellikleri ile Trabzon ili, heyelan - yağış eşiği araştırması için ülkemizin en uygun ve aynı zamanda en ihtiyaç duyulan bölgesi konumundadır. Yapılan bu çalışma ile Trabzon ili heyelanlarını tetikleyen yağış eşiği belirlenmiş ve bu yağış eşiği baz alınarak heyelan erken uyarı sistemi için veri tabanı oluşturulmuştur.



*Şekil 1 - Trabzon ilinin Türkiye içindeki yeri*

Benzer çalışmalardan farklı olarak münferit ve toplu heyelanlar için iki ayrı heyelan – yağış eşiği oluşturulmuş ve bu eşiklerden veri tabanı hazırlanmıştır. Ayrıca kullanılan heyelanlardan yamaç modelleri oluşturularak stabilite analizleri ile güvenlik sayılarındaki düşüş göz önüne serilmiştir.

Elde edilen heyelan erken uyarı veri tabanına temel oluşturan yağış eşikleri iki yıllık geçmiş yağış verisi ile tahkik edilmiştir. Bu tahkikler 1998-2008 yılları için oluşturulan yağış eşiklerinin 2009-2010 yılı yağışları göz önüne alınarak tahkik edilmesi ile gerçekleştirilmiş olup, daha sonra eşik değerler 2009-2010 yılları verileri ile güncelleştirilmiştir.

## **2. YAĞIŞLARIN HEYELAN OLASILIĞI TAHMİNİNDEKİ YERİ**

Heyelan olasılığını belirlemek için duraylılık hesabı yapılırken yağışların etkinliği farklı yöntemlerle ele alınmaktadır. Bu yöntemlerden en çok uygulananı, elde edilen sonucun sayısal ve kesin olduğu düşünülen deterministik yöntemlerdir. Bu yöntemde zemine sızan suyun yeraltısuyunda ve zemin birim hacim ağırlığında oluşturduğu etki göz önüne alınarak yağışın heyelanlar üzerindeki etkisi değerlendirilmektedir [7, 8, 9]. Ancak TS 8853’ de belirtildiği üzere rezidüel zemin özelliğine sahip doğal yamaçlarda stabilite analizleri başarılı bir şekilde yapılamamaktadır.

Heyelan olasılığının tahmininde kullanılan diğer yöntemler; model deneyler, piyezometreler veya toprak nemölçerler ile yağışların heyelanları tetikleme durumu değerlendirilmektedir. Bu yöntemler, gerek maliyet, gerekse işletme zorlukları açısından dezavantajlara sahiptirler.

Heyelan olasılık tahmininde kullanılan bir diğer yöntem ise zemin özelliklerinin, jeolojik ve çevre koşullarının çok değişken olduğu kabul edilerek duraylılığı olasılık yada güvenilirlik ifadeleri ile gösteren istatistiksel-gözlemsel ve olasılık teorisine dayalı (probabilistik) yöntemlerdir [3]. Probabilistik yöntemlerden istatistiksel verileri baz alan yöntemde çalışma alanında kütle hareketlerini tetikleyen etkenler istatistiksel olarak belirlenir. Güncel olarak duraylı olmasına karşın duraysızlığı tetikleyen etkenin oluşma durumuna bağlı olarak yenilme tahminleri yapılır. Coğrafi bilgi sistemleri tabanlı heyelan risk haritalaması ve heyelan – yağış eşiği tabanlı heyelan risk değerlendirmesi kullanılan başlıca yöntemlerdir.

Yapılan bu çalışmada heyelan – yağış eşiği tabanlı heyelan risk değerlendirmesi üzerinden heyelan erken uyarı sistemi oluşturulmuştur.

## **3. HEYELAN ERKEN UYARI SİSTEMİ GEREKSİNİMLERİ**

Bir bölgede yağışa bağlı olarak meydana gelmesi muhtemel heyelanlar için erken uyarı verilmesi, heyelan afetinin zararlarının azaltılması adına büyük önem taşımaktadır. Yağış eşiklerinin kullanılarak erken uyarı verilmesi de günümüzde başvurulan bir yöntem haline gelmiştir. Heyelan erken uyarı sisteminin üç temel bileşeni vardır. Bunlar aşağıda sıralanmıştır.

- I. Heyelan – yağış eşiği veri tabanı
- II. Yağış tahmini

### III. Heyelan risk haritası

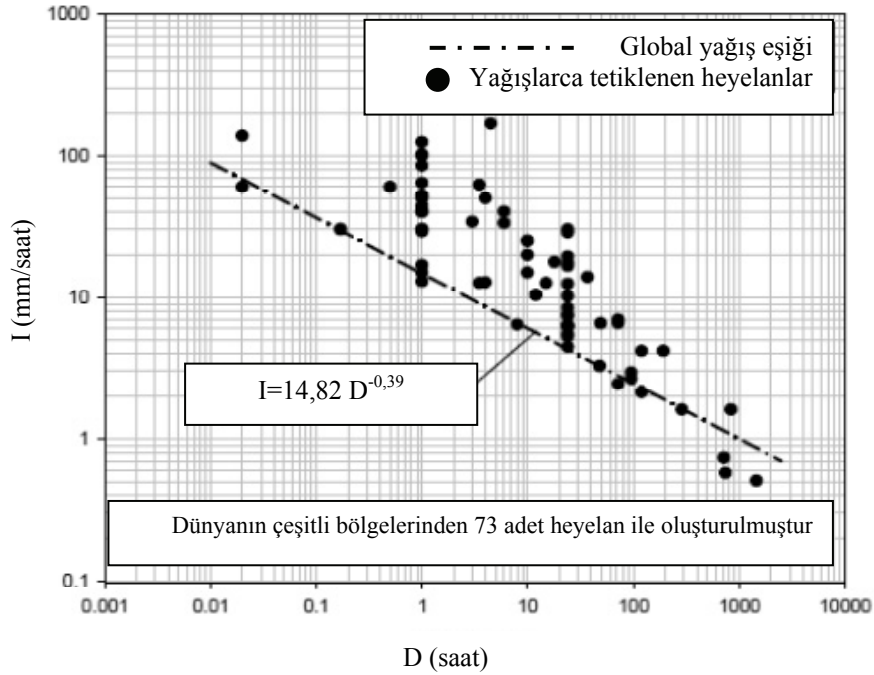
Yukarıda sayılan bileşenlerin elde edilme durum ve yöntemleri aşağıda açıklanmıştır.

#### 3.1 Heyelan Yağış Eşiği Veritabanı

##### 3.1.1 Heyelan yağış eşiği ile ilgili daha önce yapılmış çalışmalar

İstatistiksel veriler kullanılarak heyelanı başlatan yağış eşik değerinin ampirik olarak belirlenmesi, duraylılık probleminin çözümünde günümüzde kullanımı artmaya başlayan bir yöntem haline gelmiştir [2, 10, 11, 12]. Son yıllarda bazı ülkelerde heyelan erken uyarı sisteminin veritabanı olarak heyelan - yağış eşiği kullanılmaya başlanmıştır [4, 10, 12, 13].

İstatistiksel verileri baz alan ampirik yöntem, heyelanla sonuçlanan yağışların irdelenmesi ile elde edilmektedir. Eşik değer bağıntısı, heyelan, yağış şiddeti ve yağış süresi bileşenlerinin kartezyen, yarı logaritmik veya logaritmik eksenli grafiklerde işaretlenerek heyelanların alt sınırının belirlenmesi ile elde edilmektedir [13]. Bu yöntemde; heyelanların oluş zamanını, heyelandan önce meydana gelen yağış miktarını ve yağış süresini tespit etmek en önemli öğelerdir. Bunun yanında kullanılan heyelan verisi ne kadar fazla olursa, bağıntı o kadar güvenilir olmaktadır.



Şekil 2 - İlk global yağış eşiği [4]

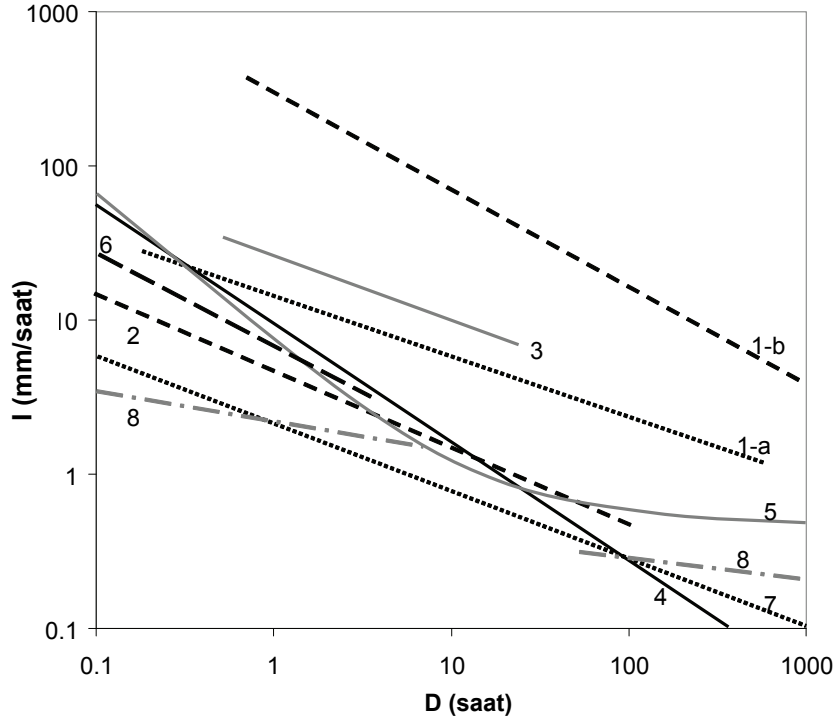
Sığ ve yüzeysel kaymalar ile çamur ve moloz akmalarını etkileyen yağış şiddeti ve yağış süresi konulu ilk çalışma 1980 yılında Nel Caine tarafından yapılmıştır [4]. Caine, dünyanın çeşitli bölgelerinde tespit edilen 73 adet heyelana ait yağış değerlerini kullanarak global ölçekte bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada yağış eşiği olarak ;

$$I = 14,82 D^{-0,39} \quad (1)$$

alt limit bağıntısı çıkartılmıştır ( $I$  = yağış şiddeti (mm/saat),  $D$  = yağış süresi (saat)) (Şekil 2).

Logaritmik ölçekte hazırlanan grafikte siyah noktalar heyelanları temsil ederken, heyelanların alt sınırından geçirilen doğru, heyelanların başlaması için gerekli eşik değeri göstermektedir.

Caine' den sonra da araştırmacılar heyelanı başlatan yağış eşiğini konu alan lokal, bölgesel ve global çalışmalar yapmışlardır. Şekil 3 te farklı araştırmacılar tarafından bulunan global yağış eşik değerleri karşılaştırılmıştır. Tablo 1 de ise bu eşik değerlere ait bağıntılar yer almaktadır.



Şekil 3- Global heyelan – yağış eşiklerinin karşılaştırılması. 1-a. Minimum yağış eşiği Caine [4]; 1-b. Maksimum yağış eşiği Caine [4]; 2. Innes [15]; 3. Jibson [18]; 4. Clarizio [16]; 5. Crosta [19]; 6. Cannon [17]; 7. Guzetti [14]; 8. İki farklı yağış periyodundan elde edilen yağış eşiği Guzetti [14]

Tablo 1 - Global yağış şiddet – süre eşikleri

Eşik No	Araştırmacı	Yağış Eşiği
1-a	Caine [4]	$I=14.82 D^{-0.39}$
1-b	Caine [4]	$I=388 D^{-0.514}$ (Maks.)
2	Innes [15]	$I=4.93 D^{-0.50}$
3	Jibson [18] ( $0,5<D<12$ )	$I=30.53 D^{-0.57}$
4	Clarizio, Gulli & Sorbino [16]	$I=10 D^{-0.77}$
5	Crosta & Frattini [19]	$I=0.48+7.2 D^{-1.00}$
6	Cannon & Gartner [17]	$I=7.00 D^{-0.60}$
7	Guzetti & Peruccacci [14]	$I=2.20 D^{-0.44}$
8	Guzetti & Peruccacci [14] ( $0,1<D<48$ )	$I=2.28 D^{-0.20}$
	Guzetti & Peruccacci [14] ( $48\leq D<1,000$ )	$I=0.48 D^{-0.11}$

Global ölçekte yapılan en son çalışma 2008 yılında Guzetti tarafından yapılmıştır [14]. Guzetti, çalışmasında Caine'nin aksine çok daha fazla heyelan verisinden yararlanmıştır. Bu tür çalışmalarda eşik değerinin güvenilirliği, veri sayısı ile doğru orantılıdır. Caine, çalışmasında sadece 73 adet heyelan vakasından yararlanmıştır. Guzetti ise çalışmasında 2626 adet heyelan vakası incelemiş olup bunların 824 adedi heyelan – yağış eşiği için kullanılabilir bulunmuş ve çalışmaya dahil edilmiştir.

Global ölçekte yapılan çalışmalar karşılaştırıldığında, Caine' den sonra elde edilen yağış eşikleri birbirine yakın olmasına rağmen, Caine' nin yağış eşiği daha yüksek bir değere sahiptir. Bunun nedeni Caine' nin çalışmasında az sayıda heyelan verisinden yararlanmış olmasıdır.

Global çalışmaların dışında bölgesel ve lokal çalışmaların da yapılmasına devam edilmektedir. Literatürde global, bölgesel ve lokal olmak üzere 125 adet heyelan yağış eşiği çalışması mevcuttur [20].

Trabzon ili heyelanlarını kapsayan bir yağış eşiği çalışması 2010 yılında Baltacı [21] tarafından yapılmıştır. Ancak söz konusu çalışmada sadece yaklaşık  $n=53$  adet veri kullanılmıştır. Bu nedenle elde edilen eşik değerinin güvenilirliği düşük kalmaktadır.

Bu çalışmaların eksik yanı deterministik heyelan stabilite analizleri ile tahkik edilmemeleri ve çoğunluğunun çok az sayıda heyelan verisinden elde edilmiş olmasıdır.

### 3.1.2 Heyelan yağış eşiği veritabanının elde edilmesi

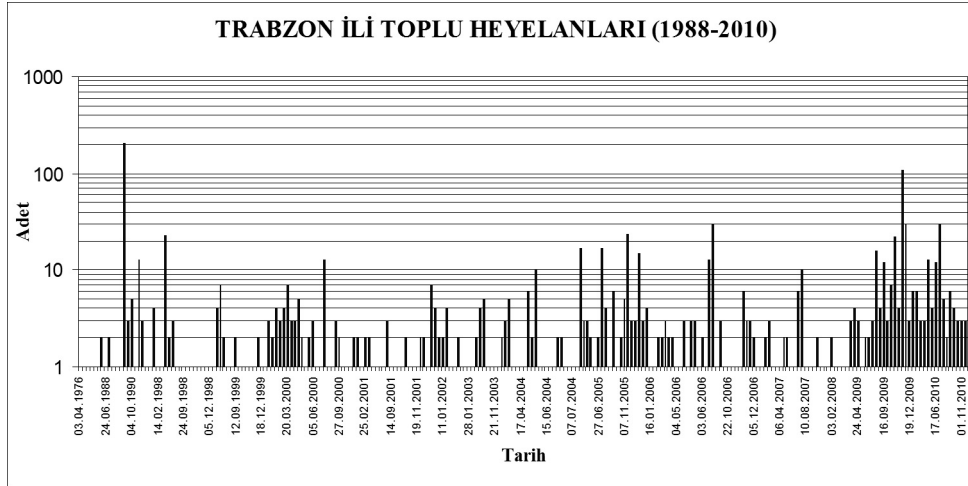
#### 3.1.2.1 Heyelan verilerinin elde edilmesi

Trabzon ili heyelanlarını oluşturan yağış eşiğinin belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmanın ilk aşamasında 1988 – 2010 yılları arasında meydana gelen heyelanlara ait veriler elde edilmiştir. Bunun için başta Trabzon Afet ve Acil Durum Müdürlüğü olmak üzere çeşitli kamu kurumları arşivleri ve literatürdeki yayınlardan yararlanılmıştır. Bu kapsamda 3000 in üzerinde heyelan raporu incelenmiştir.

### Yapılan kabuller ve sınırlamalar

Çalışmalar yapılırken bazı kabuller ve sınırlamalara sadık kalınmıştır;

- Meydana geliş zamanı belli olmayan heyelanlar çalışma kapsamı dışında bırakılmıştır. Veri yetersizliğinden dolayı bu heyelanların yağış eşiğinde kullanımı mümkün değildir.
- Boru patlaması, yol kazısı, temel kazısı gibi müdahalelerin akabindeki yağışlarda meydana gelen ve stabilite kaybı ana nedeni insan müdahalesi olan heyelanlar eşik değeri suni olarak değiştirebileceğinden çalışma kapsamına dahil edilmemiştir.
- Yağış eşiği bağımsız yağışlarla tetiklenen heyelanları kapsadığından stabilite kaybı nedeni yağış olmayan derin heyelanlar kapsam dışında bırakılmıştır.
- Tarımsal alanlarda meydana gelen heyelanlar da insan müdahaleli heyelanlardan sayılmasına rağmen, Trabzon ili heyelanlarının çok büyük kısmı (% 87) [6] tarım arazilerinde meydana geldiği için bu heyelanlar da çalışma kapsamına dahil edilmiştir. Trabzon ilinde meydana gelen heyelanlar ile ilgili kayıtlar 1900-1950 arası çok nadir iken 1950-1987 arası daha fazla veri mevcuttur. Bu döneme ait kayıtlar sadece derin heyelanlar ile ilgilidir. Ancak derin heyelanlar ile yağışlar arasında bir bağıntı kurulamamaktadır [2, 3]. Ayrıca, derin kaymalar Trabzon ili heyelanlarının yalnızca % 3 ünü temsil etmektedir. Bu sebeplerle 1988 yılı öncesi kayıtlar dikkate alınmamıştır. Ayrıca meteorolojik yağış verileri 1974 yılından itibaren tutulduğundan bu tarihten sonraki heyelan bilgileri daha büyük önem taşımaktadır.
- Yapılan incelemelerde Trabzon ilinde meydana gelen heyelanların büyük kısmının yağış periyotları sonrasında belli tarihlerde “toplu” olarak meydana geldiği tespit edilmiştir (Şekil 4). Bunun yanında yine yağışa bağlı olarak meydana gelen münferit heyelanlar da mevcuttur. Ancak yağış eşiği bağıntısının daha güvenilir olması için aynı yağışta en az iki heyelanın meydana gelmiş olması kriter olarak kabul edilmiştir. Bu sayede insan müdahalesi ile meydana getirilmiş olan heyelanların sehven bağıntıya dahil edilme olasılığı azaltılmıştır.



Şekil 4 - Trabzon ili yağışlarında meydana gelen toplu heyelanlar

### Heyelan verilerinin hazırlanması

Trabzon ili heyelanları ile ilgili veri toplama çalışmaları, kurum arşivlerinde yer alan raporların incelenmesi, heyelan - yağış eşiği kriterlerine uygun heyelan bilgilerinin derlenmesi şeklinde olmuştur.

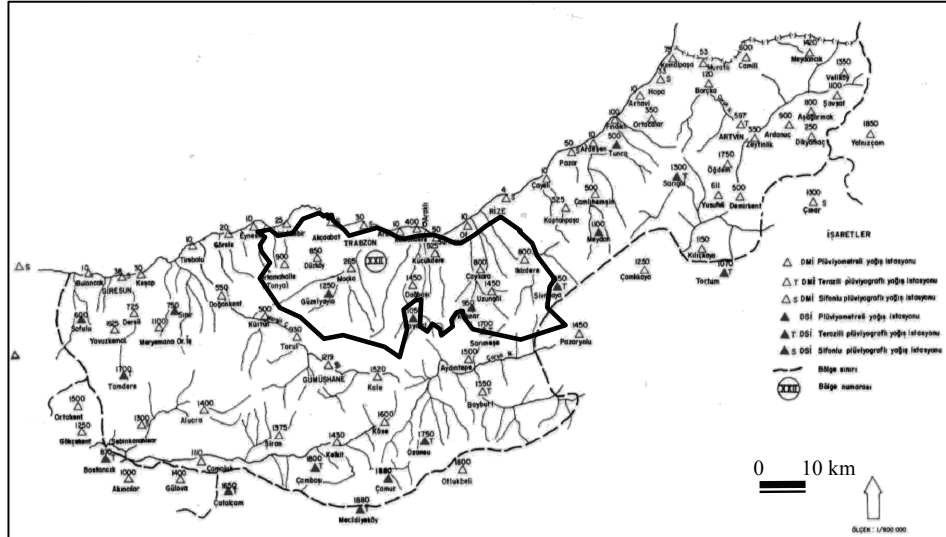
Trabzon iline bağlı 17 adet İlçe, 77 adet Belediye ve 497 adet köy bulunmaktadır. Trabzon Afet ve Acil Durum Müdürlüğündeki heyelan verileri, İlçe, belde, köy ve mahallelere göre ayrı ayrı arşivlenmiştir.

Yapılan çalışma ile heyelan verileri ilk aşamada ilçe, belde, köy ve mahalleler bazında sınıflandırılmıştır. Heyelanlar daha sonra meydana geliş tarih ve saatine göre sıralanmıştır. Meydana geliş zamanı belli olmayan heyelanlar da ayrıca derlenmiş olup heyelanlar hakkında istatistiki bilgiler elde edilmesi amacıyla kullanılmıştır. Ancak yağış eşiği bağıntısı hesabında kullanımı mümkün olmamıştır.

Trabzon ilinde 1988 – 2010 yılları arasında doğal nedenlerle meydana gelen (direk insan müdahalesi ile meydana gelmeyen) 1535 adet heyelan vakası tespit edilmiştir. Bu heyelanlar, arşivlerde kaydı veya raporu bulunan heyelanlardır. 1535 adet heyelanın 1105 adedinin meydana geliş zamanı ve yeri saptanmıştır. Belirlenen bu heyelanlar, yağış eşiği bağıntısının ilk ayağını oluşturmuştur.

### 3.1.2.2 Yağış verilerinin elde edilmesi

Heyelan verileri elde edildikten sonra bu heyelanların meydana geldiği yerler harita üzerinde işaretlenmiştir. Bu işaretleme yapılırken 1/100000 ölçekli Karadeniz Teknik Üniversitesi (KTÜ) GIS Lab haritalarından yararlanılmıştır.

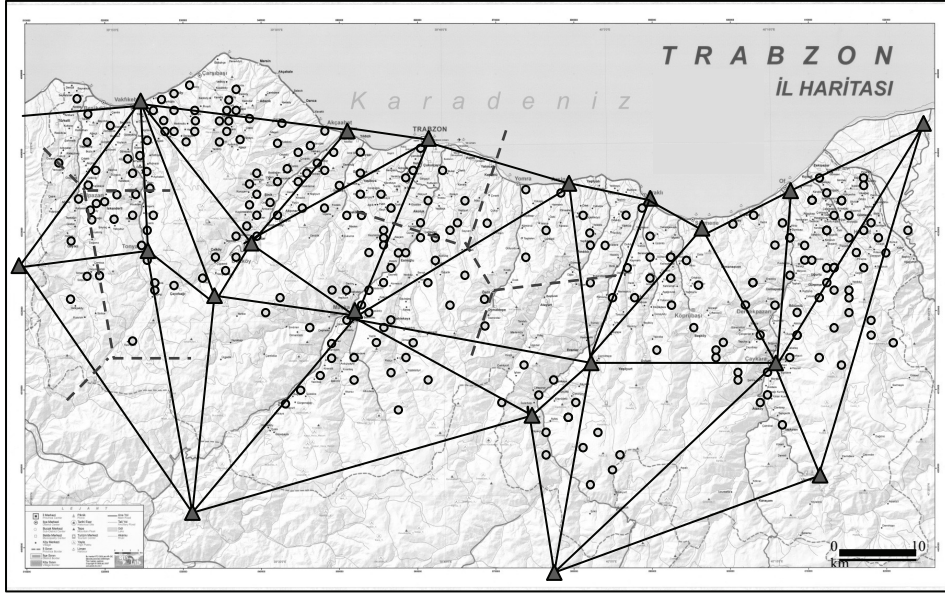


Şekil 5 - Doğu Karadeniz Bölgesi ve Trabzon ili D.M.İ. ve D.S.İ. yağış istasyonları [22]



Daha sonra söz konusu heyelanları etkileyen yağışlarla ilgili verilerin alınabileceği Devlet Meteoroloji İşleri (D.M.İ.) ve Devlet Su İşleri (D.S.İ.) yağış istasyonları aynı harita üzerine işaretlenmiştir. Çalışma kapsamında Trabzon ili heyelanlarını etkileyen yağışları temsil eden 15 adedi D.M.İ.'ye, 2 adedi D.S.İ.'ye ait olmak üzere 17 adet yağış istasyonundan yararlanılmıştır. Bu istasyonların Doğu Karadeniz havzasındaki yeri Şekil 5 te gösterilmiştir.

Heyelanları etkileyen yağışları en iyi temsil edecek istasyonların belirlenmesi amacı ile harita üzerinde istasyonlar arasında Thiessen poligonu oluşturulmuştur. Bu poligonlar yardımı ile heyelanları etkileyen yağış verilerinin alınabileceği yağış istasyonları belirlenmiştir (Şekil 6).



Şekil 6 - Trabzon ilinde 1988 – 2010 yılları arasında meydana gelen heyelanlar ve Thiessen poligonu çalışması temsili gösterim

Heyelanlar için belirlenen yağış istasyonlarından 1988 – 2010 yılları arasında oluşan saatlik bazda tüm yağış miktarları, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü [23] ile Devlet Su İşleri 22. Bölge Müdürlüğü [24]'nden temin edilmiştir.

Bu veriler, heyelan yağış eşiği kullanımına uygun hale getirilmiştir. Her bir heyelanı etkileyen yağışın başlangıç saati ile heyelanın meydana geliş saati arasındaki süre (yağış periyodu) hesaplanmıştır. Daha sonra bu süre zarfında meydana gelen yağış miktarları hesaplanmıştır. İlgili heyelanlar ile eşleştirilen yağış süre ve miktarlarından yağış şiddetleri

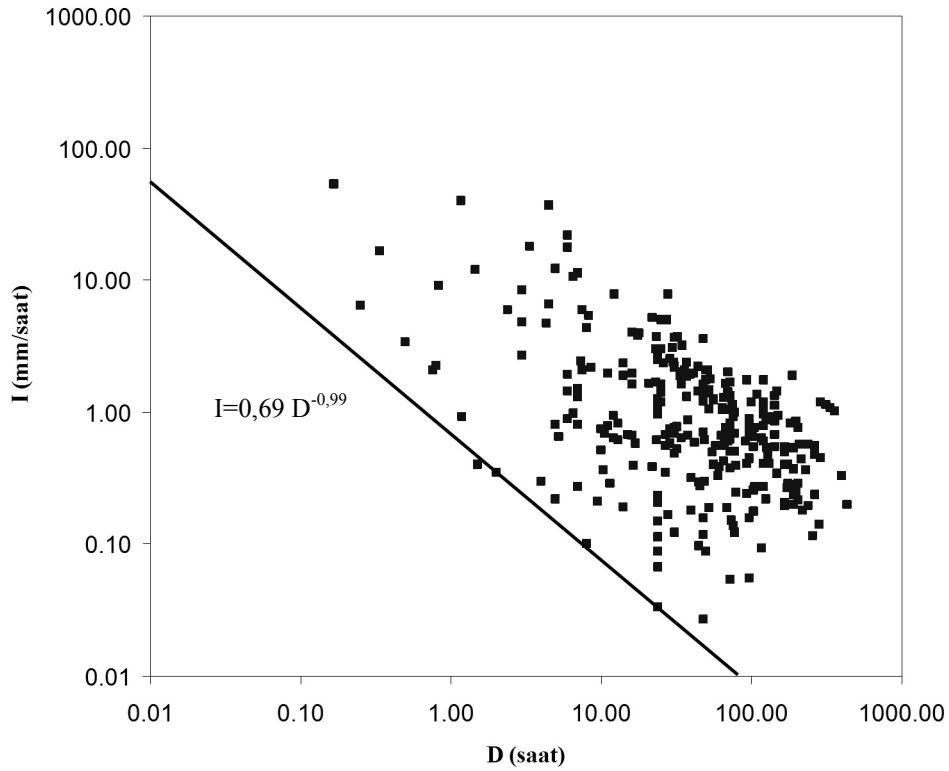
$$I = \frac{P}{D} \quad (2)$$

### Yağış Eşiği Bazlı Heyelan Erken Uyarı Sistem Önerisi: Trabzon İli Örneği

Formülü ile hesap edilmiştir. ( $I$ = Yağış şiddeti (mm/saat),  $P$ = Yağış yüksekliği (mm),  $D$ = Yağış süresi (saat))

#### Heyelan - Yağış Eşiği Bağıntısının Elde Edilmesi

Heyelan yağış eşiğinin belirlenmesinde Yağış şiddeti – Yağış süresi (ID) grafiğinden yararlanılmıştır. Elde edilen heyelanlar ve yağış şiddetleri, logaritmik ölçekte hazırlanan ID grafiği üzerinde işaretlenmiştir. İşaretlenen heyelanların alt limit doğrusu Trabzon ili heyelanlarını tetikleyen yağışların eşik değerini ifade etmektedir (Şekil 7). Bu eşikten daha az şiddet ve sürede meydana gelen yağışlarda heyelan meydana gelmemiştir. Yağış şiddet ve süresi arttıkça meydana gelen heyelan sayısı artmaktadır. Özellikle 4-5 gün süren yağışlar sonrası heyelan vakaları yoğunluk kazanmıştır.

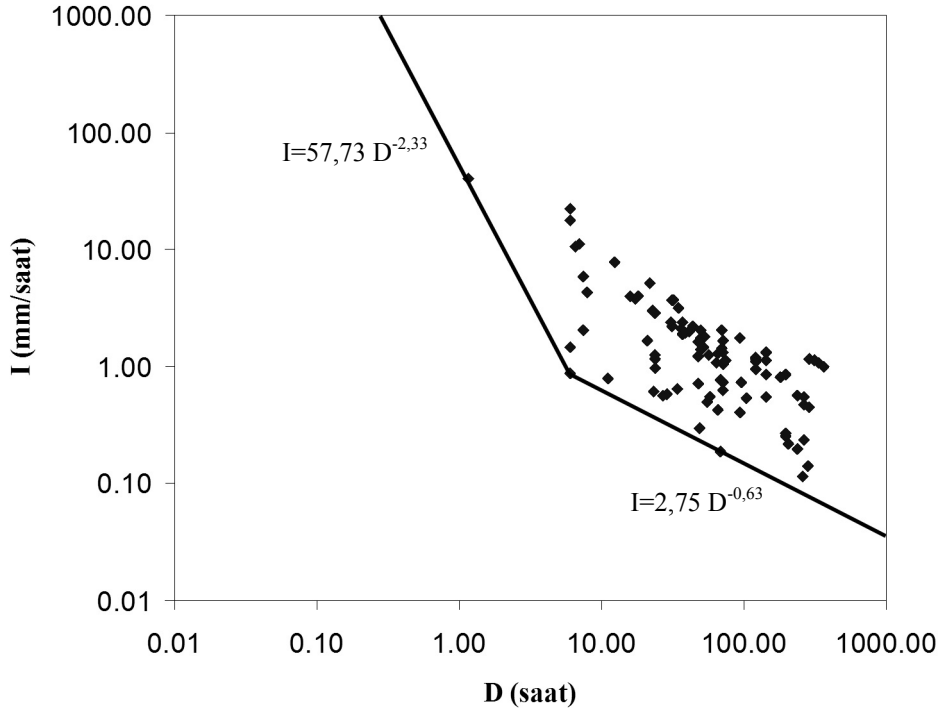


Şekil 7 - Trabzon ili heyelanlarını tetikleyen yağış eşiği 1988-2010 (Genel)

Elde edilen yağış eşiği Trabzon ilinde 1988-2010 yılları arasında meydana gelen yağışa bağlı tüm heyelanlar için belirlenmiş genel yağış eşiğidir. Bu eşik değer, tüm şev açıları, kullanım alanları, heyelan türleri ve litolojik şartlar dahil edilerek elde edilmiştir.

Trabzon ili heyelan yağış eşiği ile ilgili daha önce yapılan çalışmamızda [25] 1988-2008 yılı verileri kullanılmıştır. Bu çalışmamızda şev stabilite analizleri yapılmamış ve heyelan erken uyarı grafiği oluşturulmamıştır.

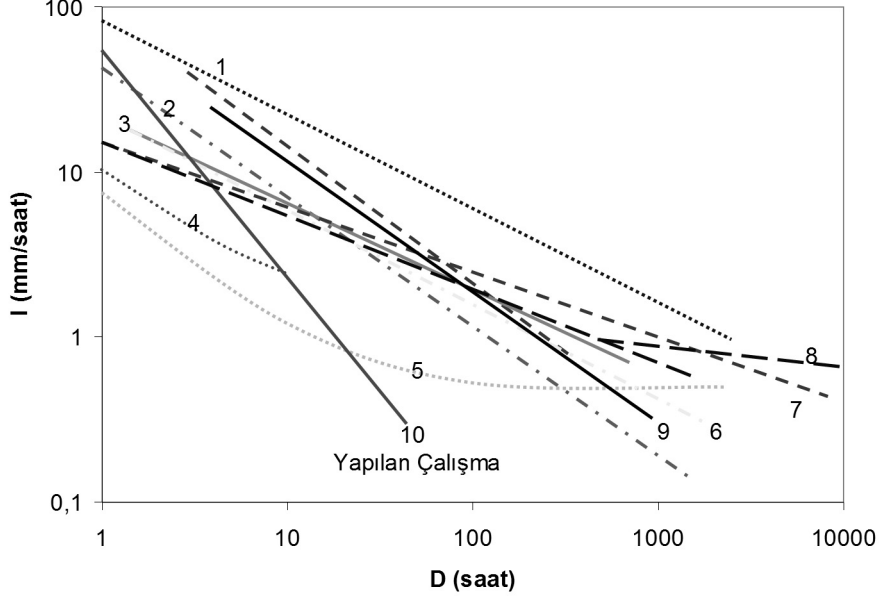
Şekil 8’ de Trabzon ilinde aynı yağış periyotları boyunca meydana gelen toplu heyelanlar için yağış eşiği elde edilmiştir.  $n$ = heyelan sayısı olmak üzere; toplu heyelan yağış eşiği için ( $n>10$ ) kriteri kullanılmıştır. Yağış süresi 6 saati geçince eşik değerde belirgin bir sapma meydana gelmiştir. Bu sebeple  $D>6$  ve  $D<6$  saat için iki farklı eşik değeri oluşturulmuştur. 1998-2008 yılları için daha önce yapılan çalışmamızda [25] kırılma noktası 8 saat olarak belirlenmiştir. Ancak son 2 yıldaki güncel veriler eklendiğinde kırılma noktası 6 saat olarak belirlenmiştir. Son iki yılda elde edilen veriler makale çalışma süresi içerisinde elde edildiğinden en güvenilir heyelan ve yağış verilerini oluşturmuşlardır.



Şekil 8 - Trabzon ili heyelanlarını tetikleyen yağış eşiği 1988 – 2010 ( $n>10$ )

### 3.1.3 Mevcut yağış eşikleri ile karşılaştırma

Literatürde, çalışma alanımız olan Trabzon veya Türkiye çevresi ile ilgili olarak daha önce hazırlanmış tek bir çalışma bulunmaktadır. Bu yüzden çalışmamız, Trabzon İli için elde edilen çalışma [21] ve diğer global eşikler ile ayrı ayrı karşılaştırılmıştır (Şekil 9, 10).

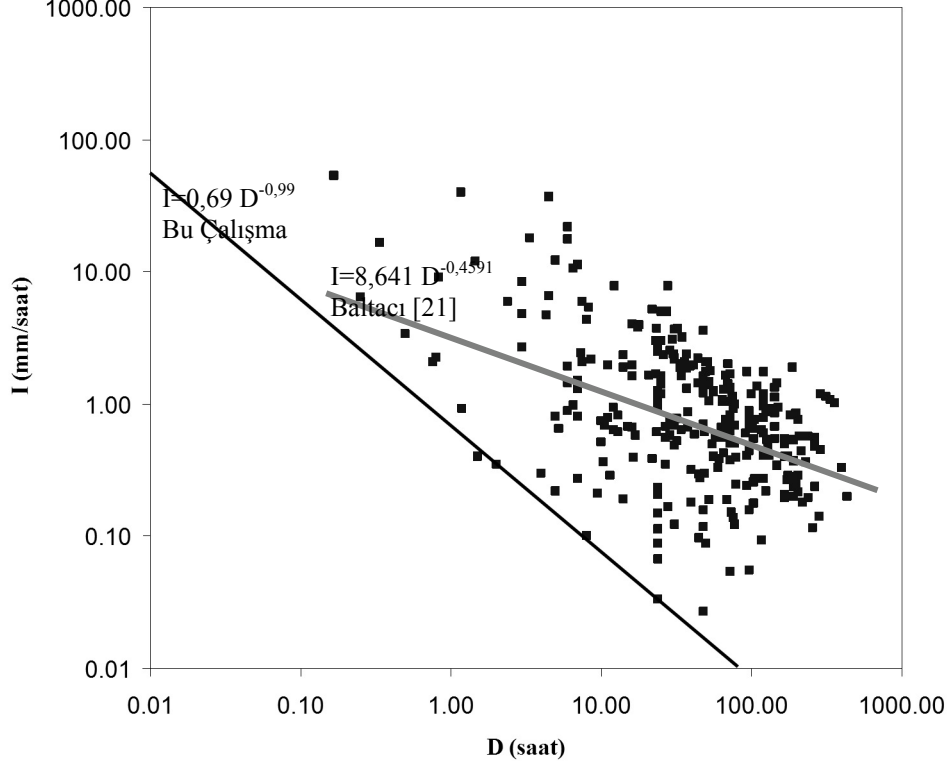


Şekil 9 - Global yağış eşikleri ile karşılaştırılma

1 Zezere (2005) [26], 2 Cancelli (1985) [27], 3 Aleotti (2004) [10], 4 Wieczorek (2005) [11], 5 Crosta (2001) [19], 6 Ceriani, (1992) [28], 7 Caine (1980) [4]11, 8 Guzzetti (2007) [14], 9 Dahal (2001) [29], 10 Yapılan çalışma (Akçalı (2011)) [6]

Çalışmamız sonucu elde edilen Trabzon ili yağış eşiği, global eşiklerin altında yer almaktadır. Yani diğer eşiklerden daha az şiddet ve sürede Trabzon ilinde heyelanlar meydana gelmektedir. Trabzon ilinin iklimi, jeolojik, jeomorfolojik özellikleri ve bunlara bağlı ayrışma hızı, yağış eşiği bağıntısının diğer eşiklere göre düşük çıkmasında önemli rol oynamıştır. Bunun dışında tarımsal faaliyetler ile ormanlık alanların tarım arazilerine dönüştürülmesi de yağış eşiği belirlenirken büyük ölçüde etkili olmuştur. Elde edilen bu sonuç, her dar bölge için kendine özgü yağış eşiği oluşturulmasının ne denli önemli olduğunu göstermektedir.

Trabzon İli için çalışmamızda hazırlanan yağış eşiği, Baltacı [21] tarafından yağış eşiği ile karşılaştırılmıştır (Şekil 10). Baltacı tarafından elde edilen eşik değeri, doğrusal konuma getirilmediğinden tarafımızdan yaklaşım yapılarak doğrusal hale getirilmiştir ve karşılaştırma yapılmıştır. Baltacı' nın yağış eşiği, çalışmamız sonucu elde edilen eşik değerin oldukça üzerinde ve tüm heyelan-yağış verilerimizin ortalamasını veren bir bölgeye isabet etmektedir. Bu durum Baltacı' nın çalışmasında kullanılan verilerin azlığından kaynaklandığı düşünülmektedir. Baltacı çalışmasında yaklaşık n=53 adet veri kullanılmıştır. Çalışmamızda ise n=1105 adet veri kullanılmıştır.



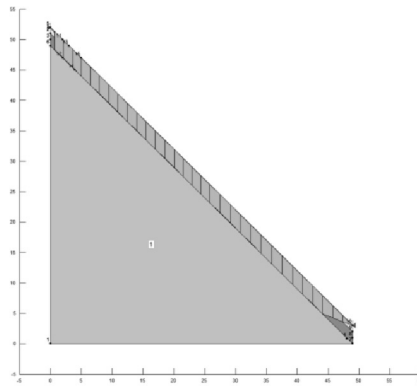
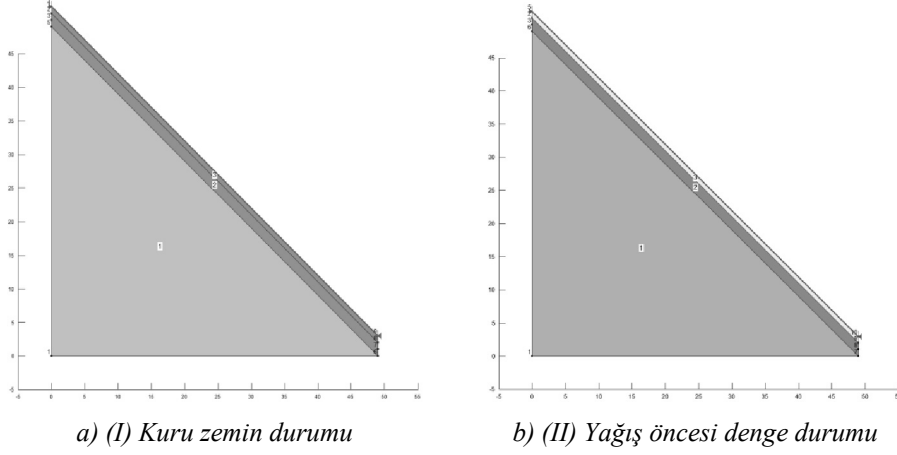
Şekil 10 - Lokal yağış eşiklerinin karşılaştırılması

### 3.1.4 Model oluşturma

Yağış almadan önce duraylı halde bulunan ve çalışmada belirlenen eşik değerden ( $I=0,69 D^{-0,99}$ ) daha fazla miktarda yağış alarak duraylılığını kaybeden 15 adet yamaç için stabilite analizi yapılarak şev güvenlik katsayıları karşılaştırılmıştır. Bu 15 adet model belirlenirken bölgeyi temsil eden jeolojik ve topoğrafik yamaçlar seçilmiştir. Yağış öncesi ve yağış sonrası duraylılık durumları dışında, kuru zemin durumu için de stabilite analizleri yapılarak toplamda 45 farklı durum için değerlendirme yapılmıştır.

- I. Durum: Kuru zemin durumu (Şekil 11a)
- II. Durum: Yağış öncesi denge durumu (Şekil 11b)
- III. Durum: Yağış sonrası heyelan durumu (Şekil 11c)

*Yağış Eşiği Bazlı Heyelan Erken Uyarı Sistem Önerisi: Trabzon İli Örneği*



*Şekil 11 - Stabilite analiz modelleri*

Stabilite analizleri, Morgenstern – Price, Spencer, GLE, Bishop, Ordinary, Janbu, Janbu genel ve Sarma metodları ile analiz yapabilen bir bilgisayar yazılımı ile yapılmıştır.

Şev eğimi, şev yüksekliği ve tabaka kalınlıkları belirlenmiş yamaçlar, sayısal analiz modeli üzerinde oluşturulmuştur. Tüm modellerde en alt tabaka sağlam kayadan oluşmaktadır. Daha sonra hedeflenen durumlar için analiz işlemine geçilmiştir. Analizler için seçilen heyelanlara ait zemin parametreleri, D.S.İ. 22. Bölge Müdürlüğü Laboratuvarı'ndan elde edilmiştir.

I. Durum: Bu modellerde yamaçları oluşturan zemin tabakaları için doğal ve doymun birim hacim ağırlıklar yerine kuru birim hacim ağırlıklar kullanılarak suyun yamaçlardaki varlığının güvenlik katsayıları üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir (Tablo 2).

II. Durum: Yağış öncesi denge durumunu temsil eden bu analizde, oluşturulan modeller için zemin parametreleri her bir tabaka için yazılıma girilmiştir. Bu yamaçlara ait zeminler için doğal birim hacim ağırlık kullanılmıştır. Bu yamaçlara ait güvenlik katsayıları hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalarda güvenlik sayısı 1 in üzerinde hesap edilmiştir (Tablo 2).

III. Durum: Yağış sonrası durum için yapılan tahkiklerde, heyelanları etkileyen (heyelan - yağış eşiğinin üzerindeki) yağışlar dikkate alınarak yağışın zemine sızma derinlikleri hesaplanmıştır. Bunun için yamaçta hakim bitki örtüsü türüne ve zemin türüne göre, yağışın akışa geçen ve zemine sızan yüzdeleri, literatürde kullanılan yağış – akış tablolarına göre belirlenmiştir [30, 31].

Belirlenen sızma miktarları, zeminlerin geçirimsizliğine göre düzeltilmiştir. Zemine düşen ve yüzeysel akışa geçmeyip sızması beklenen yağış miktarı, zemin geçirimsizliğinden büyük olduğu durumlarda; sızma miktarı = geçirimsizlik katsayısı olarak alınmıştır. Zemine düşen ve yüzeysel akışa geçmeyip sızması beklenen yağış miktarı, zemin geçirimsizliğinden küçük olduğu durumlarda ise; sızma miktarı = yağış miktarı olarak alınmış ve bu değer, eşitlik (3) de geçirimsizlik katsayısı olarak kabul edilmiştir.

Zemine sızacak yağışa göre ve porozite oranına göre yağış sonunda zemine sızan doygun zemin tabakası yüksekliği [32];

$$H = \frac{D.k}{n_e} \quad (3)$$

bağıntısı ile belirlenmiştir. H = Doygun zemin derinliği,  $n_e$ = Porozite, k = Geçirimsizlik katsayısı, D = Yağış süresini göstermektedir.

Yağışın sızarak doygun hale getirdiği ve yüksekliği belirlenen zemin tabakası için doygun birim hacim ağırlık, altındaki tabaka için ise doğal birim hacim ağırlık kullanılmıştır. Daha sonra modeller için stabilite analizleri yapılmış ve güvenlik katsayıları hesaplanmıştır (Tablo 2). Duraylılığını kaybeden bu yamaçların güvenlik katsayıları 1 in altında hesap edilmiştir.

Yağış öncesi durum heyelan öncesi doğal zemin durumuna göre % 7-26 daha güvenli iken eşik değer üzerindeki yağışın etkisi ile şevler stabilitesini kaybetmiştir. Güvenlik katsayısı ortalama % 14,4 azalmıştır.

Zeminin kuru olması halinde güvenlik sayısı, heyelanlı duruma göre % 11-54 daha güvenli çıkmaktadır. Yağışların etkisi, bu iki durumun karşılaştırmasında daha net olarak ortaya çıkmıştır. Güvenlik sayısının farkı ortalama % 25,6 dır.

Bu modelleme çalışması ile eşik değer üzerindeki yağışların Trabzon ili yamaçlarındaki etkisi karşılaştırılmıştır. Yapılan şev stabilite analizleri söz konusu yamaçlarda insan müdahalesi olmadığı varsayımı ile yapılmıştır. Şev stabilitesini etkileyen hazırlayıcı ve tetikleyici diğer faktörler şevlerin, daha düşük yağış şiddeti ve süresinde kaymasına sebep olabilecektir.

Tablo 2 - Trabzon ili heyelan modelleri için güvenlik katsayıları

Model No	Kuru zemin durumu	Yağış öncesi denge durumu	Yağış sonrası durum durumu
1	1,12	1,11	0,99
2	1,35	1,05	0,89
3	1,30	1,10	0,95
4	1,48	1,06	0,94
5	1,38	1,25	0,99
6	1,33	1,08	0,95
7	1,10	1,07	0,84
8	1,07	1,05	0,94
9	1,11	1,07	0,91
10	1,19	1,15	0,95
11	1,12	1,06	0,99
12	1,10	1,03	0,94
13	1,21	1,12	0,99
14	1,17	1,07	0,99
15	1,16	1,12	0,96

### 3.1.6 Heyelan erken uyarı veri tabanı grafiği

Yapılan çalışma sonucu elde edilen yağış eşiklerinin en önemli kullanım alanı “heyelan erken uyarı sistemi” olacaktır. Genel heyelan yağış eşiği ve toplu heyelan yağış eşiği birleştirilerek heyelan erken uyarı sistemi için veritabanı oluşturacak hale getirilmiştir (Şekil 12). Bu eşik değerlere ilave olarak günlük ortalama yağış miktarı için de yağış şiddeti bazında bir eşik belirlenmiş ( $I= 0,1$  mm/sa) olup daha düşük şiddeteki yağışlar, düşük heyelan riski olarak sınıflandırılmıştır.

Birleştirilmiş grafikte eşik değerler sınır kabul edilerek;

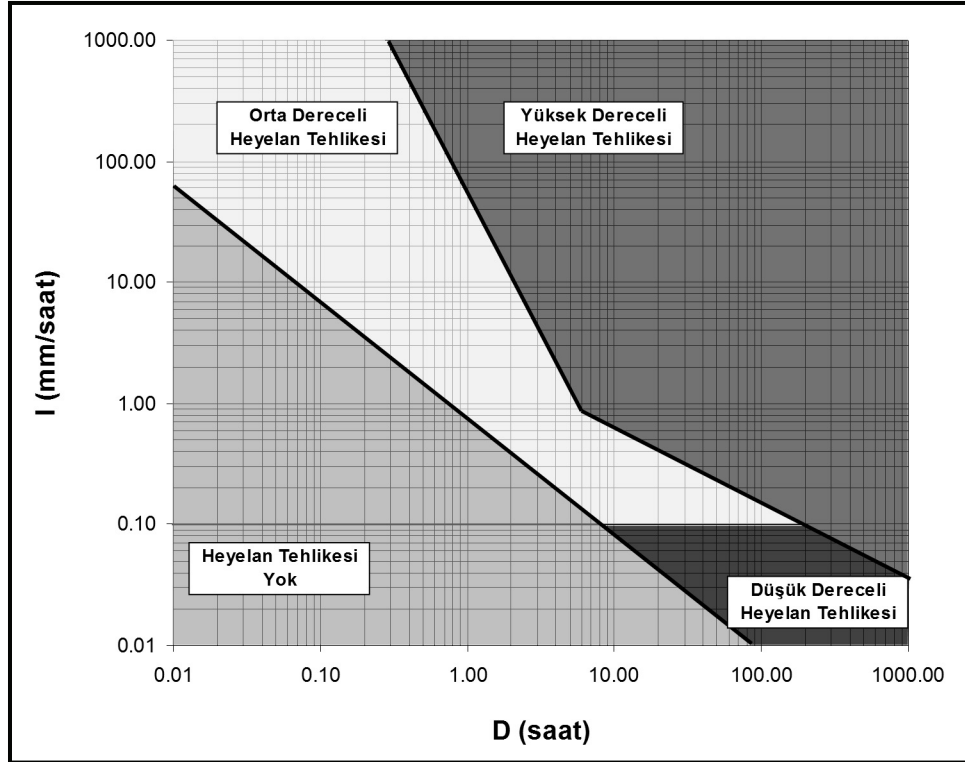
- Gri renk: Bu bölgeye tekabül eden yağış şiddet ve süresinde heyelan olması beklenmemektedir.
- Mavi renk: Genel eşik değerinin üstünde bulunmasına rağmen, günlük ortalama yağış miktarının altında yer aldığı için düşük dereceli heyelan tehlike bölgesi olarak kabul edilmiştir.



- Sarı renk: Bu bölgeye tekabül eden yağış şiddet ve süresinde münferit heyelanların meydana gelmesi muhtemeldir.
- Kırmızı renk: Toplu heyelanlar ( $n > 10$ ) baz alınarak hazırlanmıştır. Bu bölgeye tekabül eden yağış şiddet ve süresinde münferit ve toplu heyelanlar meydana gelmesi beklenmektedir.

Yukarıda belirlenen koşullar geçmiş heyelan verileri baz alınarak hazırlanmıştır. İnsan müdahalesi durumunda daha az şiddetteki yağışlarda da heyelan olaylarının meydana gelme olasılığı vardır.

Heyelan – yağış eşikleri, Şekil 10 da birleştirilmiş ve risk bölgelerine ayrılmış hali ile “heyelan erken uyarı veritabanı” olarak isimlendirilmiştir. Hazırlanan bu grafik günümüz koşulları için kullanıma uygun bir veritabanıdır. Bununla beraber söz konusu grafiğin, oluşan heyelanlar ile bu heyelanları tetikleyen yağış verileri girilerek periyodik olarak güncellenmesi gerekmektedir. Veritabanı, 1988 – 2010 verileri baz alınarak Ocak 2011 de güncellenmiştir. Grafik, Trabzon ilinde meydana gelen toplam 1105 adet heyelan olayı dikkate alınarak oluşturulmuştur.

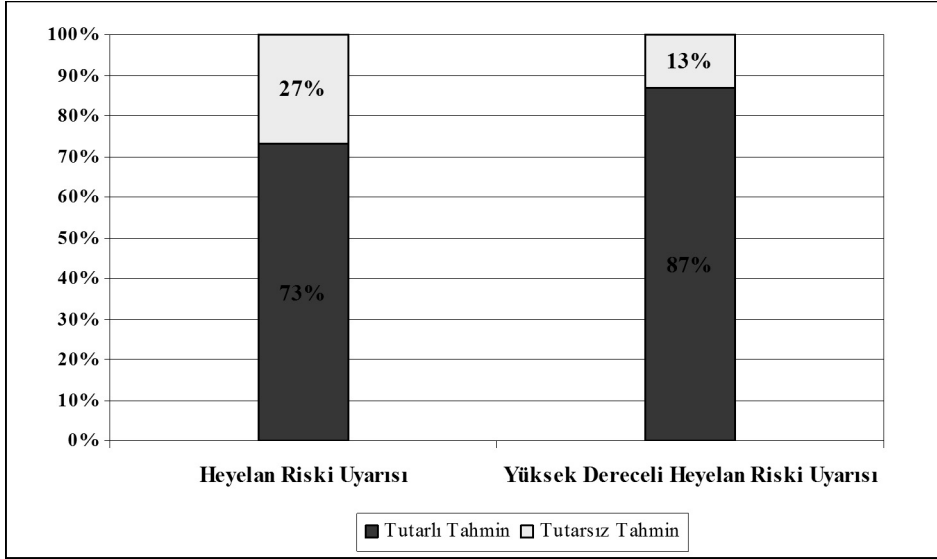


Şekil 12 - Heyelan erken uyarı veritabanı

### 3.1.7 Heyelan erken uyarı veritabanının tahkiki

Yapılan çalışmanın son aşamasında “heyelan erken uyarı veri tabanı” nını oluşturan yağış eşiklerinin tutarlılığı tahkik edilmiştir. Bunun için 1998-2008 yılları için oluşturulan yağış eşikleri [25] kullanılmış ve 2009-2010 yılları yağış verileri ile tahkik yapılmıştır. 1998-2008 ile 1998-2010 genel heyelan yağış eşikleri arasında fark bulunmamakta, toplu heyelan yağış eşikleri arasında ise ihmal edilir fark bulunmaktadır. Bu bağlamda 1998-2008 yağış eşiklerinin 2009-2010 yağış verileri ile analizi uygun görülmüştür. Yağış şiddetleri ve yağış süreleri önceden tahmin edilmesi halinde yağış eşikleri baz alınarak meydana gelmesi muhtemel heyelanlar için erken uyarı verilmesi durumunda doğruluk oranı hesaplanmıştır. Hesaplamalar genel yağış eşiği ve toplu yağış eşiği için ayrı ayrı yapılmıştır.

Yağması beklenen ve genel heyelan yağış eşiği üzerinde yer alan yağışlara göre 2009 – 2010 yılları arasında 123 kez genel heyelan tehlike uyarısı verilmesi gerekirdi. Bu uyarılardan 90 adedinden sonra heyelan olayları meydana gelmiştir. Heyelan uyarısı % 73 oranında güvenilirlik sağlamıştır (Şekil 13).



Şekil 13 - Heyelan erken uyarı tutarlılık analizi

Yağması beklenen ve toplu heyelan yağış eşiği üzerinde yer alan yağışlara göre 2009 – 2010 yılları arasında 55 kez toplu heyelan tehlike uyarısı verilmesi gerekirdi. Bu uyarılardan 48 adedinden sonra toplu veya münferit heyelan olayları meydana gelmiştir. Heyelan uyarısı % 87 oranında güvenilirlik sağlamıştır (Şekil 11).

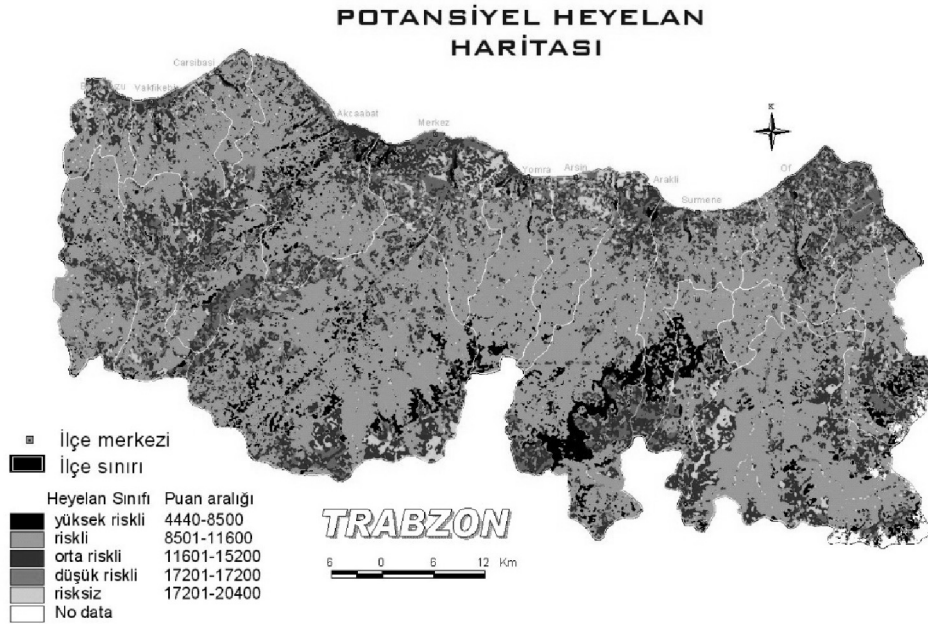
### 3.2 Meteorolojik Radar İstasyonu

Çalışmamız sonucu hazırlanan “heyelan erken uyarı veritabanı” baz alınarak, erken uyarı verilebilmesi için ayrıntılı ve güvenilir yağış tahmin değerlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Yağış tahminleri Türkiye’ de ağırlıklı olarak yer gözlem istasyonları ve uydu teknolojisi kullanılarak yapılmakta olup son yıllarda daha ayrıntılı ve güvenilir veriler sağlayan doppler radarların kullanımına da başlanılmıştır. Türkiye de halen 4 adet (İstanbul, Ankara, Balıkesir, Zonguldak) doppler radar istasyonu bulunmakta olup 2012 yılında Devlet Meteoroloji İşleri tarafından Trabzon ilinde de 1 adet istasyon kurulacaktır. Söz konusu radarın kurulması ile yağışın miktarı, süresi, şiddeti, geçiş hızı ve güzergahı hakkında önceden detaylı bilgi alınabilecektir.

### 3.3 Heyelan Risk Haritası

Yağış miktarı, yağış güzergahı, yağış saati tahminleri ve heyelan erken uyarı veritabanı kullanılarak heyelan riski belirlendikten sonra riskli görülen bölgelerin mekansal olarak uyarılması sistemin güvenilirliğini arttıracaktır. Bu nedenle Trabzon ili için heyelan risk bölgelerinin belirlendiği bir risk haritasının kullanılması gerekmektedir.

Trabzon ili için 2003 yılında KTÜ tarafından bir heyelan risk haritası hazırlanmıştır [33]. Bu harita da heyelana duyarlı bölgeler, litoloji, hidroloji, yol, arazi kullanımı, arazi örtüsü ve şev eğimleri dikkate alınarak risk seviyesine göre derecelendirilmiştir (Şekil 14). Dolayısıyla, heyelan uyarısı bu risk haritası dikkate alınarak yapıldığı takdirde daha güvenilir sonuçlar elde edilecektir.



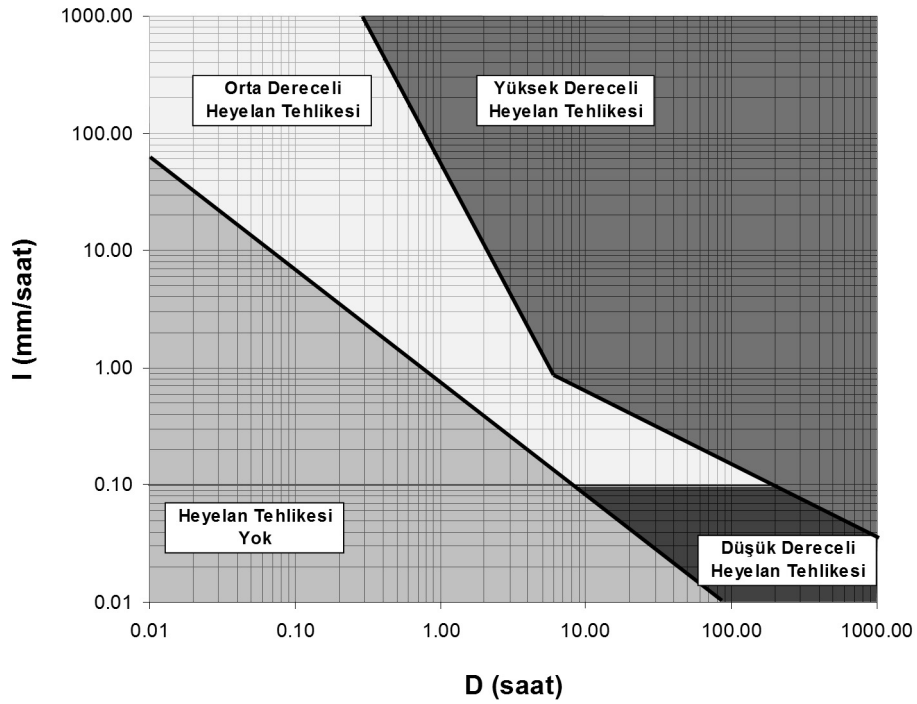
Şekil 14 - Trabzon ili potansiyel heyelan haritası [33]

#### 4. ÖRNEKLEME

Heyelan erken uyarı veritabanının kullanım şekli aşağıda fiktif değerler ile örneklendirilmiştir. Doppler radar vasıtası ile Trabzon ili Vakfikebir ilçesine şiddetli yağış düşeceği gözlemlenmiştir. Radar istasyonunda, söz konusu bölgeye 36 saatlik periyot içerisinde 72 mm yağış düşeceği tahmini yapılmıştır.

Buna göre beklenen yağış miktarı ve süresine bağlı olarak yağış şiddeti bulunur. Yağış şiddeti 2 mm/saat olarak hesap edilmiştir. Yağış şiddet ve süresi, heyelan erken uyarı veri tabanı üzerinde işaretlenir (Şekil 15). İşaretlenen nokta, yüksek dereceli heyelan tehlike bölgesine isabet etmektedir.

Trabzon ili potansiyel heyelan haritasına göre Vakfikebir ilçesindeki riskli bölgeler için erken uyarı yapılarak gerekli tedbirlerin alınması sağlanır.



Şekil 15 - Heyelan erken uyarı veritabanı kullanım örneği

#### 5. SONUÇLAR

Yapılan bu çalışmada öncelikle; Trabzon ilinde meydana gelen heyelanlar ve bunları oluşturan yağışlar incelenmiştir. Daha sonra il sınırları içerisinde 1998 – 2010 yılları arasında oluşan heyelanları tetikleyen yağışlara ait heyelan – yağış eşiği belirlenmiştir. Bu eşik değerlere bağlı olarak heyelan erken uyarı veri tabanı oluşturulmuştur. Veri tabanı 2 yıllık geçmişe yönelik tahmin metodu ile tahkik edilmiş ve yüksek oranda tutarlılık

sağlandığı görülmüştür. Ayrıca bu çalışmada dikkate alınan 15 adet heyelandan oluşturulan model şevler, stabilite analizleri ile tahkik edilmiştir.

Bu çalışma sonucu elde edilen genel ve toplu heyelan – yağış eşikleri baz alınarak heyelan erken uyarı sistemi için veritabanı oluşturacak bir birleşik heyelan uyarı grafiği oluşturulmuştur. Bu sayede Trabzon ilinde erken uyarı sistemi kurulması halinde bu veritabanı kullanılarak ilgili yerlere, gerekli uyarılar yapılacaktır. Hazırlanan bu veritabanı günümüz için kullanıma uygun olmakla beraber yağış ve heyelanların sürekli olarak devam etmesi dolayısıyla dinamik bir veritabanı olarak işlem görecektir.

Heyelan erken uyarı sisteminin çalışması için Trabzon iline ait bir heyelan risk haritası ve hassas yağış verilerinin sağlanacağı bir doppler radar gerekmektedir. KTÜ tarafından 2003 yılında Trabzon için bir heyelan risk haritası hazırlanmıştır. D.M.İ. tarafından ise 2011 yılı sonunda Trabzon ili için bir doppler radar kurulacaktır. Böylece heyelan erken uyarı sisteminin kurulması için gerekli olan bütün öğeler tamamlanmış olacaktır.

Yapılan bu çalışma ile elde edilen kazanımlar maddeler halinde sıralanabilir;

- 1) Çalışma sonucu elde edilen heyelan – yağış eşiği bağıntıları günümüzde büyük önem kazanan ve kullanılması zaruriyet haline gelen heyelan erken uyarı sistemi için veri tabanı olmuştur.
- 2) Elde edilen yağış eşiği bağıntısı, benzer araştırmalardan farklı olarak sayısal modellerle zemin parametreleri göz önüne alınarak şev stabilite analizleri ile tahkik edilmiştir.
- 3) Literatürde ilk defa toplu heyelan yağış eşikleri belirlenmiştir.
- 4) Trabzon ili için elde edilen bu bağıntılar Türkiye’ den elde edilen ve uluslararası literatüre sunulan ilk yağış eşiği bağıntısı olmuştur.
- 5) Bağıntı elde edilirken lokal sayılabilecek büyüklükte bir bölge için çok sayıda heyelan verisi (n=1105 adet) kullanılması bağıntının güvenilirliğini arttırmıştır.
- 6) Heyelan erken uyarı veritabanının güvenilirliği, geçmişe yönelik 2 yıllık deneme süresi (2009-2010) ile tahkik edilmiş ve yüksek oranda tutarlılık sağlamıştır.
- 7) Hazırlanan heyelan erken uyarı veritabanı Türkiye için bir ilk olacaktır.
- 8) Toplu heyelan yağış eşiğini de baz alan heyelan erken uyarı veritabanı literatürde ilk defa yer alacaktır.
- 9) Elde edilen bağıntı kullanılarak erken uyarı sistemi kurulması ile tahmine bağlı olarak yapılacak erken uyarılar sayesinde Türkiye’de heyelan olaylarının en çok yaşandığı Trabzon ilinde, heyelana bağlı can ve mal kayıpları azaltılacaktır. Böylece hem Trabzon iline hem de ülkemize sosyal ve ekonomik katkı sağlanmış olacaktır.
- 10) Trabzon ili heyelanları ile ilgili daha önce yapılmış çalışmalar ağırlıklı olarak heyelanların nedenlerini belirlemek ve yapısal çözümler üretmek üzerine olmuştur. Bu çalışmada ise günümüzde heyelanlardan kaçınma ve heyelan zararlarının azaltılması adına bir çalışma yapılmıştır.

## **6. TARTIŞMA VE ÖNERİLER**

Yapılan bu çalışma ile Trabzon ili heyelanları için heyelan – yağış eşikleri oluşturulmuştur. Bu eşikler aynı zamanda Trabzon ili heyelan erken uyarı sistemi için veri tabanı görevi görecektir. Çalışma yapılırken özellikle Trabzon Afet ve Acil Durum Müdürlüğünde tutulan ve genel hayata etkinliği bulunmadığı için veya mevzuata dayalı farklı sebeplerle Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığına gönderilmeyen 3000 in üzerinde heyelan raporunun incelenerek, bunlardan 1105 adet heyelanın çalışmaya dahil edilmesi, eşik değerin güvenilirliğini önemli ölçüde yükseltmiştir. Böylece;

1. Çalışmamız sonucu bulunan heyelan – yağış grafiği baz alınarak Trabzon ili için Heyelan Erken Uyarı Sistemi kurulması, can ve mal kayıplarının azaltılarak sosyal ve ekonomik katkı sağlanması açısından tavsiye edilmektedir.
2. 1988 – 2010 verileri kullanılarak elde edilen heyelan - yağış eşikleri sürekli olarak güncellenmelidir.
3. Heyelan raporlarında heyelanların meydana geliş tarih ve saatleri mutlaka belirtilmelidir.
4. Trabzon ilinde meydana gelen heyelanlar için tutulan raporlar, kamu kurum ve kuruluş arşivlerinde incelenirken bu raporların belli bir standartta olmadığı tespit edilmiştir. Bu sebeple pek çok heyelan verisi çalışmamızda kullanılamamıştır. Meydana gelen heyelanlar da tutulacak raporlar için aşağıda hazırlanan heyelan envanter formunun kullanılması bir standart sağlanması açısından tavsiye edilmektedir (Şekil 16).
5. Son yıllarda meteoroloji istasyonlarının kapanması sebebiyle, heyelanları etkileyen yağış verileri daha uzak istasyonlardan tespit edilmek zorunda kalınmıştır. Söz konusu istasyonların tekrar açılması ve sayısının artırılması, yağış verilerinin güvenilirliği açısından büyük önem taşımaktadır.
6. Ormanlık alanların tarım alanlarına dönüştürülmesinden kaçınılmalıdır. Tarım alanlarına dönüştürülmüş sahalarda aralıklı olarak derin köklü ağaçların dikilmesi teşvik edilmelidir.
7. Bir bölgede geçmiş yıllarda aşırı yağışlarda heyelan gelmemiş olmasına rağmen daha sonra, daha az miktar, süre ve şiddetteki yağışlarda heyelan olabilmektedir. Bu durum yamaçların, yağışlar dışında, başta ayrışma hızı olmak üzere farklı parametrelerden de etkilendiğini göstermektedir.
8. Heyelan erken uyarı sistemi için veritabanı olarak hazırlanan grafik, geçmiş heyelan ve yağış verilerine dayanılarak hazırlanmıştır. Bu grafik belirtilen tehlike bölgelerine bir yağış verisi isabet ettiği zaman heyelan meydana geleceğini kesin olarak ispatlamamakta birlikte geçmiş heyelan ve yağışları baz alarak heyelan meydana gelme olasılığının varlığını göstermektedir. Heyelanları etkileyen pek çok farklı parametre olduğundan, bu grafik ile kesin bir yargıya varılmamalıdır. Ancak bu eşik değerden daha az miktar yağışlarda heyelan meydana gelmediği ve eşik değerden daha fazla miktar yağışlarda ise münferit ve toplu heyelanlar meydana geldiği bilinmeli ve bu bilinçte heyelan uyarısı verilmelidir.
9. Bu uyarılar ile birlikte, arazide gerilme çatlağı, krip akma vb. belirtilerin gözlenmesi ile sistem daha uygun hareket edecektir.

HEYELAN ENVANTER FORMU			
<b>Heyelanın oluştuğu</b>		<b>Heyelanın oluştuğu</b>	
<b>İl</b> :	Trabzon	<b>Tarih</b> :	21.06.1990
<b>İlçe</b> :	Vakfikebir	<b>Saat</b> :	17:00
<b>Köy</b> :	Marna		
<b>Mah</b> :			
<b>Kayan Malzeme Türü</b>	:	Kil	
<b>Kayan Malzemenin Üzerindeki Örtü Türü</b>	:	Fındıklık	
<b>Heyelan Türü</b>	:	Düzlemsel Kayma	
<b>Kayan Malzeme Boyutları (En x Boy)</b>	:	20 x 60 m	
<b>Kayan Malzeme Derinliği</b>	:	1-2 m	
<b>YASS Derinliği</b>	:	3 m	
<b>Kayma/Akma Hızı</b>	:	Hızlı	
<b>Heyelan Nedenleri (Doğal)</b>	:	Yağış	
<b>Heyelan Nedenleri (Yapay)</b>	:	-	
<b>Genel Jeoloji</b>	:		
<b>Detaylı Heyelan Kesitinde Gösterilecek Parametreler</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Şev Yüksekliği</li> <li>- Şev Açısı</li> <li>- Kayan Malzeme kesiti</li> <li>- Kayan Malzeme Kalınlığı</li> <li>- YASS</li> <li>- Sağlam Zemin</li> <li>- Çekme Çatlağı</li> </ul>			
<b>Zemin Parametreleri (Laboratuvar Sonuçları)</b>		<b>Tabaka-1</b>	<b>Tabaka-2</b>
Zemin Sınıfı			
Doğal Su Muhtevası			
Likit Limit			
Geçirimsizlik Katsayısı			
Birim Hacim Ağırlık			
c	c'		
Ø	Ø'		
<b>Yağış Bilgileri (Meteoroloji Bölge Müdürlüğünden Alınacak)</b>			
Heyelan dan Önce Meydana Gelen Toplam Yağış Miktarı		:	
Heyelandan önce meydana gelen yağışın süresi		:	

Şekil 16 - Heyelan envanter formu

10. Heyelan erken uyarı veritabanı, doppler radarı kurulmasından sonra en az 1 yıllık deneme sürecine tabi tutulmalıdır.
11. Türkiye' de heyelanların yoğun olduğu illerden başlayarak lokal yağış eşikleri veya aynı iklimsel ve jeolojik şartlara sahip illeri kapsayacak şekilde bölgesel yağış eşikleri için çalışmalar yapılmalıdır

12. Heyelan-yağış eşikleri farklı kıstaslara (şev açısı, litoloji, örtü türü, tarımsal ürün türü, heyelan türü vb.) göre de elde edilebilmektedir [25]. Ancak, bu tür çalışmalar, “heyelan erken uyarı sistemi” nden ziyade istatistiksel veya stabilite analizlerine konu olacağından çalışmamız içinde değerlendirilmemiştir.
13. Trabzon’a komşu Giresun ve Rize illeri de Trabzon ile benzer topoğrafik, iklimsel, jeolojik ve tarımsal özelliklere sahiptir. Bu iller için yağış eşikleri çıkarılana kadar, Trabzon iline ait yağış eşiklerinden yararlanılabilir. Trabzon ili için hazırlanmış olan eşiklerin, Giresun ve Rize illeri için kullanılması, literatürde hazırlanmış global ölçekli yağış eşiklerine göre daha tutarlı tahminler yapılmasını sağlayacaktır.

### **Semboller**

- I = Yağış şiddeti  
D = Yağış süresi  
P = Yağış yüksekliği  
H = Doygun zemin derinliği  
 $n_e$  = Porozite  
k = Geçirimsizlik katsayısı  
c = Kohezyon  
Ø = Kayma direnci açısı

### **Kaynaklar**

- [1] Alkan, M., Heyelan ağaç ilişkisi tartışmasında gelinen aşama, İkinci Ulusal Heyelan Sempozyumu, Sapanca, Türkiye, sf: 35-44, 1995
- [2] Corominas, J., Landslides and climate. Keynote lecture In: Proceedings 8<sup>th</sup> International Symposium on Landslides, (Bromhead E, Dixon N, Ibsen ML, eds). Cardiff: A.A. Balkema, 4: 1–33, 2000
- [3] Önalp, A., Arel, E., Yamaç ve Şevlerin Mühendisliği, Birsen Yayınevi, 2004
- [4] Caine, N., The rainfall intensity–duration control of shallow landslides and debris flows. Geogr Ann A 62: 23–27, 1980
- [5] TS 8853, Yamaç ve Şevlerin Dengesi ve Hesap Metodları–Zeminde, TSE, 1991
- [6] Akçalı, E., Heyelan yağış ilişkisi analizi ve modellemesi; Trabzon ili örneği, Doktora Tezi, Sakarya Üniv, İnşaat Müh. Bölümü, Sakarya, 2011
- [7] Dapporto, S., Aleotti, P., Casagli, N., Polloni, G., Analysis of shallow failures triggered by the 14–16 November 2002 event in the Albaredo valley, Valtellina (Northern Italy), Advances in Geosciences, 2, 305–308, 2005



- [8] Majidi, A., Numerical analysis of Hollar landslide, *EJGE*, vol 13B, 1-10, 2008
- [9] Blatz, J.A., Take, W.A., Priyanto, D.G., Influence of a weathered zone on the susceptibility of a slope to rainfall induced instability, *Unsaturated Soils*, pp. 2291-2299, 2006
- [10] Aleotti, P., A warning system for rainfall-induced shallow failures. *Eng Geol* 73: 247–265, 2004
- [11] Wieczorek, G.F., Glade, T., Climatic factors influencing occurrence of debris flows. In: *Debris flow Hazards and Related Phenomena*. Springer Berlin Heidelberg, 2005
- [12] Tiranti, D., Estimation of rainfall thresholds triggering shallow landslides for an operational warning system implementation, *Landslides*, DOI 10.1007/s10346-010-0198-8, 2010
- [13] Guzzetti, F., Peruccacci, S., Rossi, M., Stark, C.P., Rainfall thresholds for the initiation of landslides in central and southern Europe *Meteorol Atmos Phys* 98, 239–267, 2007
- [14] Guzzetti, F., Peruccacci, S., The rainfall intensity–duration control of shallow landslides and debris flows: an update, *Landslides* 5:3–17, 2008
- [15] Innes, J.L., Debris flows. *Prog Phys Geog* 7: 469–501, 1983
- [16] Clarizio, M., Gulli, G., Sorbino, G., Mechanism of Landslides. *Proceedings of International Conference* vol. 1, pp. 585-597, 1996.
- [17] Cannon, S.H., Gartner J.E., Wildfire-related debris flow from a hazards perspective. *Debris flow hazards and related phenomena*. Springer, Berlin, pp 363–385, 2005
- [18] Jibson, R.W., Debris flow in southern Porto Rico. *Geological Society of America, Special Paper* 236, 29–55, 1989
- [19] Crosta, G.B., Frattini, P., Rainfall thresholds for triggering soil slips and debris flow. In: *Proceedings 2nd EGS Plinius Conference on Mediterranean Storms* (Mugnai A, Guzzetti F, Roth G, eds). Siena: 463–487, 2001
- [20] [HTTP://rainfallthresholds.irpi.cnr.it](http://rainfallthresholds.irpi.cnr.it), Erişim tarihi: Haziran, 2011
- [21] Baltacı, H., Şen, Ö.L., Karaca, M., Doğu Karadeniz Bölgesi heyelan-yağış ilişkisinin incelenmesi ve minimum eşik değerlerin belirlenmesi, 1. Meteoroloji Sempozyumu, Ankara, 2010
- [22] DSİ, Türkiye Maksimum Yağışları Frekans Atlası, Ankara, 1990
- [23] DMİ, Devlet Meteoroloji İşleri arşiv kayıtları 1988-2010
- [24] DSİ, Devlet Su İşleri 22. Bölge Müdürlüğü arşiv kayıtları 1988-2010

- [25] Akcali, E., Arman, H., Firat S., Saltabas, L., Gunduz, Z., Rainfall thresholds for the initiation of landslides in Trabzon province of Turkey, *International Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2010
- [26] Zezere, J.L., Trigo, R.M., Trigo, I.F., Shallow and deep landslides induced by rainfall in the Lisbon region (Portugal): assessment of relationships with the North Atlantic Oscillation. *NHESS* 5: 331-344, 2005
- [27] Cancelli, A., Nova, R., Landslides in soil debris cover triggered by rainstorms in Valtellina (central Alps - Italy). In: *Proceedings of 4th International Conference and Field Workshop on Landslides*. Tokyo: The Japan Geol. Soc., 267-272, 1985
- [28] Ceriani, M., Lauzi, S., Padovan, N., Rainfall and landslides in the Alpine area of Lombardia Region, cent. Alps, Italy. In: *Int. Symp. Bern: Interpraevent* 2:9-20, 1992
- [29] Dahal., R.K., Hasegawa, S., Representative rainfall thresholds for landslides in the Nepal Himalaya *Geomorphology* 100, 429-443, 2008
- [30] Kahveci, O., Doğu Karadeniz Bölgesinde meydana gelen sel, taşkın ve heyelanlar ile bölgedeki bitki örtüsü ve orman durumu, *Doğu Karadeniz Bölgesi, Heyelan ve Taşkınları Sempozyumu*, Trabzon, 2011
- [31] Özdemir, H., *Uygulamalı taşkın hidrolojisi*, DSİ Yayınları, Ankara, 1978
- [32] Enoki, M., Kokubu, A.A., Relation between slope stability and groundwater flow caused by rainfalls, *Slope Stability engineering*, Yagi, Yamagami & Jiang, Balkema, Rotterdam, 429-434, 1999
- [33] Reis, S., Çevresel planlamalara altlık bir coğrafi bilgi sistemi tasarımı ve uygulaması: Trabzon il bilgi sistemi (TİBİS) modeli doktora tezi, KTÜ, 2003