

Yağış Eşiği Bazlı Heyelan Erken Uyarı Sistemi ve Afet Yönetiminde Kullanımı

¹ Dr. Emre AKÇALI *

¹ DSİ 22. Bölge Müdürlüğü Trabzon/Türkiye

Özet:

Heyelanlar, toplum hayatını derinden etkileyen doğa olaylarının başında gelmektedir. Heyelanların önlenmesinin mümkün veya rantabl görülmediği bölgelerde heyelan erken uyarı sisteminin kullanılması, can ve mal kaybının azaltılması açısından büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışmada, Türkiye’de heyelanların en çok meydana geldiği Trabzon ili için hazırlanmış olan yağış eşiği bazlı heyelan erken uyarı sistemi açıklanmıştır. Meydana gelmiş 1105 adet heyelan verisi kullanılarak hazırlanan veri tabanı 2 yıllık deneme süresinde olumlu sonuç vermiştir.

Söz konusu heyelan erken uyarı sisteminin, hazırlanmakta olan Doğu Karadeniz Taşkın İhbar Sistemine adaptasyonu ve taşkın tehlike haritalarındaki etkisi çalışma içerisinde değerlendirilmiştir.

Çalışmanın sonuç kısmında ise, heyelan erken uyarı sisteminin Afet Yönetiminde kullanılma yöntemleri ele alınmıştır.

Anahtar Kelimeler: Heyelan, Taşkın, Erken Uyarı, Afet Yönetimi

Abstract

Landslides are at the top of natural events that deeply affect community life. The use of the landslide early warning system is of great importance in reducing the loss of life and property in areas where the prevention of landslides is not possible or feasible.

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.

Data of occurred 1105 landslide were used, and this database has provided positive results in a 2-year trial period.

The adaptation of the landslide early warning system to the Eastern Blacksea Flood Warning System and the effects on flood hazard maps were evaluated in the study.

In the conclusion of the study, the methods of using the landslide early warning system in disaster management are discussed.

Key Words: Innovative Flood Control, Filter Dam, Open Check Dam

1. Giriş

Heyelanlar, depremler ve taşkınlarla birlikte ülkemizde çok sayıda kadar can ve mal kaybına neden afetlerin arasında yer almaktadır. Ülkemizde en çok heyelan yaşanan bölge Doğu Karadeniz bölgesidir. Bu bölgedeki heyelanların başlıca nedenleri yüksek yağış ortalaması, topoğrafya ve jeolojik yapıdır. Bunun yanında ormanlık alanların tarım arazilerine dönüştürülmesi, tarımsal alanlarda drenaj sistemi yapılmaması, bilinsiz kazılar ve derelerin yamaç topuklarını oyması da önemli tetikleyici nedenler arasında yer almaktadır.

*Corresponding author: Address: DSİ 22. Bölge Müdürlüğü, Yalincak Mah, Ortahisar, Trabzon TURKEY. E-mail address: emreakcali@dsi.gov.tr, Phone: +905336436505

Söz konusu heyelanların kısa sürede önlenmesi kısa vadede mümkün görülmemektedir. Buna karşın bölgedeki taşkın ve heyelan olaylarının birbirini tetikler mahiyette meydana gelmesi ve sonucunda her yıl can ve mal kayıplarının yaşanması, heyelan afeti için zarar azaltma çalışması yapılmasını zaruri kılmaktadır.

Doğu Karadeniz havzası için DSİ Genel Müdürlüğünce taşkın ihbar sistemi kurulmasına yönelik pilot çalışmalara başlanmıştır. Halen devam etmekte olan ve 5 adet münferit dere havzasını kapsayan çalışmanın akabinde, sistemin tüm Doğu Karadeniz havzasına yaygınlaştırılması planlanmaktadır.

Bunun yanında heyelanların da taşkınlardaki etkisi göz önüne alınarak, heyelan uyarısının da sisteme adaptasyonu planlanmaktadır. Sisteme dahil edilmesi planlanan söz konusu heyelan erken uyarı sistemi bu çalışmanın ana konusunu temsil etmektedir.

Hazırlanacak taşkın-heyelan erken uyarı sisteminin afet yönetiminde kullanımı da çalışmanın sonunda açıklanmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1 Heyelan Erken Uyarı Sistemi

Bir havzada yağışa bağlı olarak meydana gelmesi muhtemel heyelanlar için erken uyarı verilmesi için üç temel bileşenin bulunması gerekmektedir. Bunlar;

- I. Heyelan tahmini
- II. Yağış tahmini
- III. Heyelan risk haritasıdır.

Yukarıda sayılan bileşenlerin elde edilme durum ve yöntemleri aşağıda açıklanmıştır.

2.1.1 Heyelan Tahmini

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 [1-3]. Ancak TS 8853 [4] de 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 [5]. 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 bağılı olarak yenilme tahminleri yapılır. Coğrafi bilgi sistemleri tabanlı heyelan risk haritalaması ve heyelan – yağış eşiğı tabanlı heyelan risk değerlendirmesi kullanılan başlıca yöntemlerdir.

Yapılan bu çalışmada “**heyelan – yağış eşiğı**” tabanlı heyelan risk değerlendirmesi üzerinden heyelan erken uyarı sistemi oluşturulmuştur.

2.1.1.1 Heyelan yağış eşiğı veritabanı

2.1.1.1.1 Heyelan yağış eşiğı 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 [6-9]. Son yıllarda bazı ülkelerde heyelan erken uyarı sisteminin veritabanı olarak heyelan - yağış eşiğı kullanılmaya başlanmıştır [7,9,10,11]

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 [11]. 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.

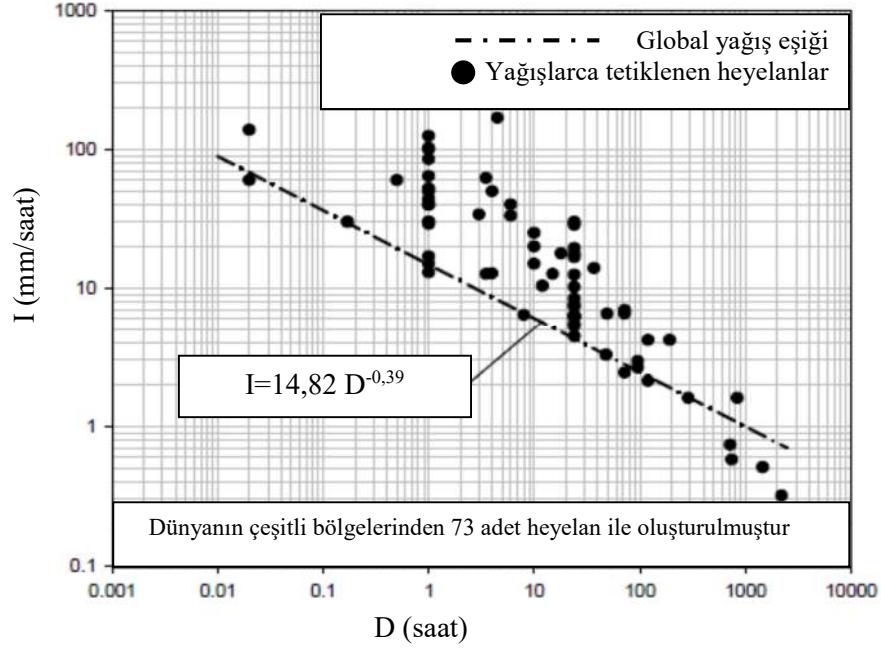
Sığ ve yüzeysel kaymalar ile çamur ve moloz akmalarını etkileyen yağış şiddeti ve yağış süresi konulu ilk çalışma 1980 yılında Nel Caine tarafından yapılmıştır [10]. Caine, dünyanın çeşitli bölgelerinde tespit edilen 73 adet heyelana ait yağış değerlerini kullanarak global ölçekte bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada yağış eşiğı olarak;

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

alt limit bağıntısı çıkartılmıştır (I = yağış şiddeti (mm/saat), D = yağış süresi (saat)) (Şekil 1).

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. Bu çalışma ile diğer araştırmacılar tarafından bulunan global yağış eşik değerleri de çalışmanın sonunda karşılaştırılmıştır.



Şekil 1. İlk global yağış eşiği [10]

2.1.1.2 Heyelan Yağış Eşiği Veri Tabanının Oluşturulması [12]

2.1.1.2.3 Heyelan verilerinin elde edilmesi

Pilot bölge olarak seçilen Trabzon ili heyelanları oluşturan yağış eşiğinin belirlenmesi amacıyla ilgili kurumlarda bulunan kayıtlar taranarak meydana gelen heyelanlara ait veriler elde edilmiştir.

- Meydana geliş zamanı belli olmayan heyelanlar çalışma kapsamı dışında bırakılmıştır.
- 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 bağıntısı yağışlar ile tetiklenen heyelanları kapsadığından stabilite kaybı nedeni yağış olmayan derin heyelanlar kapsam dışında bırakılmıştır.
- Tarımsal alanlarda meydana gelen heyelanlar çalışma kapsamına dahil edilmiştir.
- Derin kaymalar çalışma kapsamına dahil edilmemiştir.
- Heyelan - yağış eşiği bağıntısının daha güvenilir olması için aynı yağışta en az iki heyelanın meydana gelmiş olması kriter olarak kabul edilmiştir.

2.1.1.2.4 Heyelan verilerinin derlenmesi

Heyelan verileri, heyelan - yağış eşiği kriterlerine uygun heyelan bilgilerinin derlenmesi şeklinde olmuştur. Heyelanlar ilk aşamada ilçe, belde, köy ve mahalleler bazında, daha sonra meydana geliş

tarikh ve saatine göre sıralanmıştır. Ardından gerekli istatistikî çalışmalarında kullanılmak üzere parametrelere göre sınıflandırmaya tabi tutulmuştur. Çalışmada, Trabzon ilinde (1988-2010) yılları arasında meydana gelen 1105 adet heyelan verisi kullanılmıştır.

2.1.1.2.5 Yağış verilerinin elde edilmesi

Heyelan verileri elde edildikten sonra bu heyelanların meydana geldiği yerler harita üzerinde işaretlenmiştir. Daha sonra söz konusu heyelanları etkileyen yağışlarla ilgili verilerin alınabileceği Devlet Meteoroloji İşleri (DMİ) ve Devlet Su İşleri (DSİ) yağış istasyonları aynı harita üzerine işaretlenmiştir. Heyelanları etkileyen yağışları en iyi temsil edecek istasyonların belirlenmesi amacı ile harita üzerinde istasyonlar arasında Thiessen poligonu oluşturulmuştur. Seçilen istasyonlardan heyelan öncesi meydana gelen yağışların süreleri ve miktarları ilgili kurumlardan temin edilmiştir. 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;

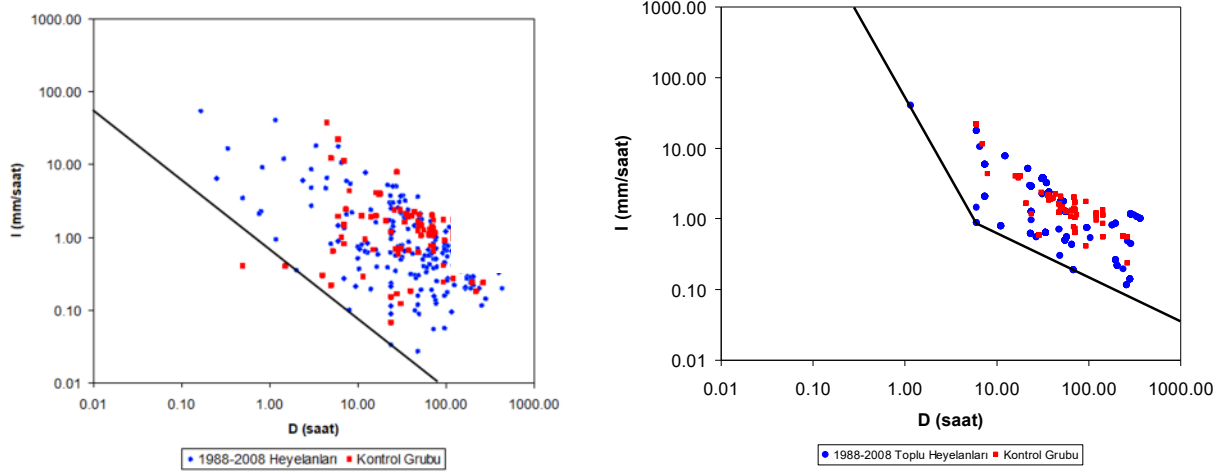
$$I = \frac{P}{D} \quad (2)$$

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

2.1.1.2.6 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 2 a). Bu eşikten daha az şiddet ve sürede meydana gelen yağışlarda heyelan meydana gelmemiştir. 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.

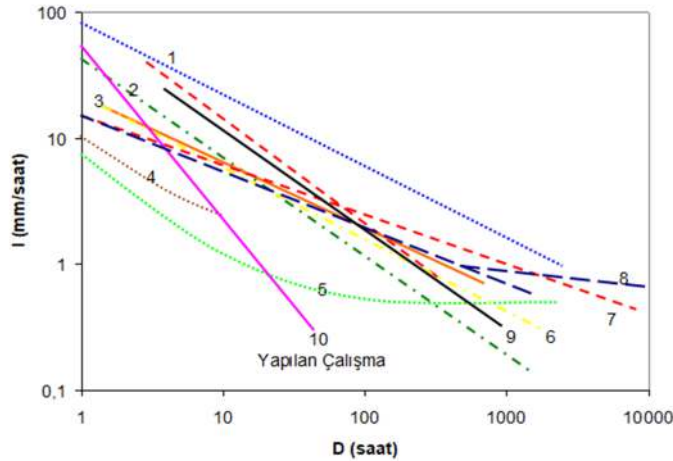
Yağış şiddet ve süresi arttıkça meydana gelen heyelan sayısı artmaktadır. Özellikle 4-5 gün süren yağışlar sonrası heyelan vakaları yoğunluk kazanmıştır. Şekil 2 b' de Trabzon ilinde aynı yağış periyotları boyunca meydana gelen toplu heyelanlar için yağış eşiği elde edilmiştir. n = heyelan sayısı olmak üzere; toplu heyelan yağış eşiği için ($n>10$) kriteri kullanılmıştır. Yağış süresi 6 saati geçince eşik değerinde belirgin bir sapma meydana gelmiştir. Bu sebeple $D>6$ ve $D<6$ saat için iki farklı eşik değeri oluşturulmuştur.



Şekil 2 (a) Heyelan - yağış eşiği

(b) Toplu heyelan - yağış eşiği

Çalışmamız sonucu elde edilen Trabzon ili yağış eşiği, global ve bölgesel yağış eşiklerinin altında yer almaktadır (Şekil 3). 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.



Şekil 3 Yağış eşiklerinin karşılaştırılması

1 Zezere (2005) [13], 2 Cancelli (1985) [14], 3 Aleotti (2004) [7], 4 Wieczorek (2005) [8], 5 Crosta (2001) [17], 6 Ceriani, (1992) [15], 7 Caine (1980) [10], 8 Guzzetti (2007) [11], 9 Dahal (2008) [16], 10 Akçalı [12]

2.1.1.3 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

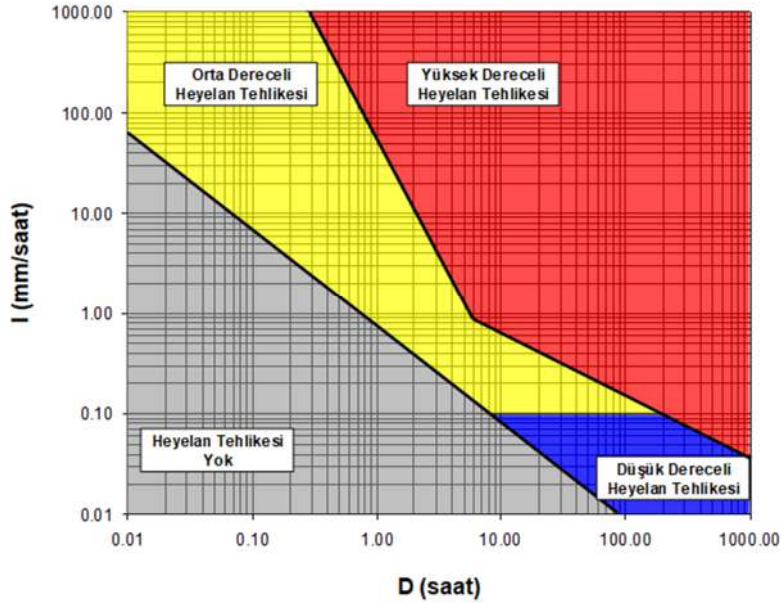
erken uyarı sistemi için veritabanı oluşturacak hale getirilmiştir (Şekil 4). Bu eşik değerlere ilave olarak günlük ortalama yağış miktarı için de yağış şiddeti bazında bir eşik belirlenmiş ($I = 0,1$ mm/sa) olup daha düşük şiddetteki yağışlar, düşük heyelan riski olarak sınıflandırılmıştır.

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 4 te birleştirilmiş ve risk bölgelerine ayrılmış hali ile “heyelan erken uyarı veritabanı” olarak isimlendirilmiştir.



Şekil 4. Heyelan erken uyarı veritabanı

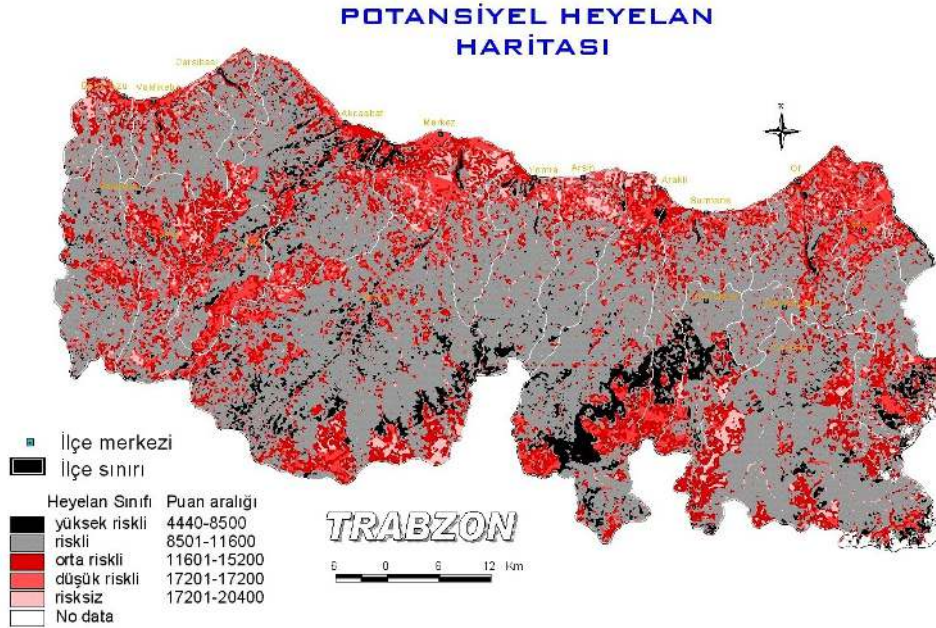
2.1.2 Yağış Tahmini

Heyelan erken uyarı sistemi için gerekli olan yağış tahmini, DOKTİS kapsamında hazırlanacak olan yağış tahmin sistemi ile bütünleşik olacaktır. Bu kapsamda Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Doğu Karadeniz Havzasını kapsayan meteoroloji radarları, otomatik meteorolojik gözlem

istasyonları (OMGİ) ve uydular vasıtası ile yağış tahmininde bulunacaktır. Bu tahminler, yağışın başlama zamanı, süresi, miktarı, şiddeti ve geçiş güzergahı gibi detaylı bilgileri kapsayacaktır.

2.1.3 Heyelan risk haritası

Yağış tahminleri ve heyelan erken uyarı veritabanı kullanılarak heyelan riski değerlendirmesi heyelan haritaları üzerinden yapılacaktır. Doğu Karadeniz Havzasında Trabzon ili için Karadeniz Teknik Üniversitesi nde bir heyelan risk haritası hazırlanmıştır [18]. Bu harita da heyelana duyarlı bölgeler, litoloji, hidroloji, yol, arazi kullanımı, arazi örtüsü ve şev eğimleri dikkate alınarak risk seviyesine göre derecelendirilmiştir (Şekil 5). DOKTİS kapsamında da Doğu Karadeniz Havzası için heyelan risk haritası hazırlanacak, haritası bulunan kesimler için ise mevcut haritalardan yararlanılacaktır.



Şekil 5. Trabzon ili potansiyel heyelan haritası [18]

2.2 Doğu Karadeniz Taşkın İhbar Sistemi ve Heyelan Erken Uyarı Sistemi Entegrasyonu

Özellikle Doğu Karadeniz Havzasında yağışların etkisi ile meydana gelen lokal heyelanlar (sığ ve yüzeysel kaymalar ile çamur ve moloz akmaları), meydana gelen taşkınların etkisini arttırmakta veya barajlanma, kesit tıkaması vb. etkilerle direkt olarak taşkına sebebiyet verebilmektedir.

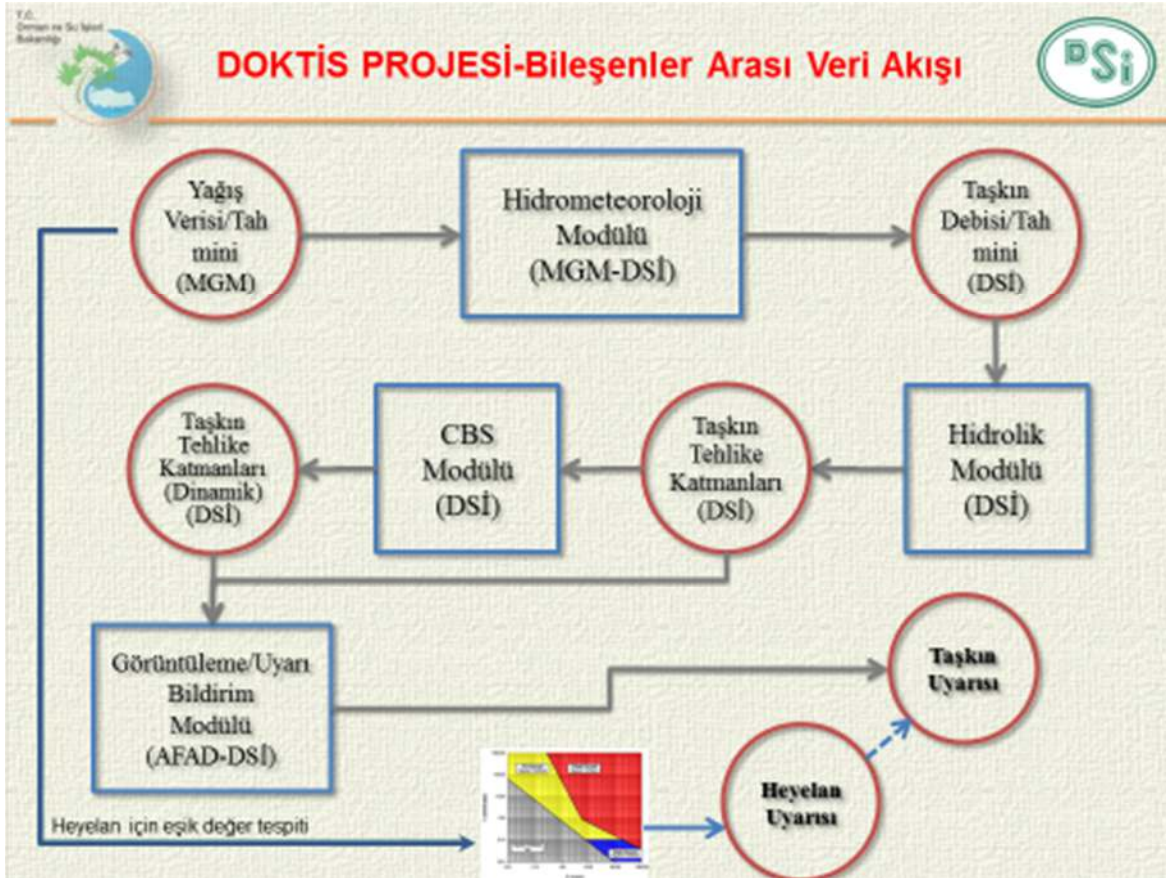
Bu nedenle DOKTİS kapsamında taşkın erken uyarısı ile birlikte, heyelan riski görülmesi halinde heyelan erken uyarısı verilecek ve taşkın erken uyarı seviyesi buna göre arttırılacaktır.

DOKTİS projesi kapsamında; geçmiş heyelan bilgileri ile öncesinde gerçekleşen yağış bilgilerinin istatistiki bilgileri analiz edilerek yağış-heyelan eşiği belirlenecektir. Yapılan bu çalışmanın akabinde Doğu Karadeniz Havzası heyelan haritası ile bütünleştirilecektir. Bu bileşenlerin elde edilme durum ve yöntemleri aşağıda açıklanmıştır.

DSİ Genel Müdürlüğü olarak, olası taşkınları önceden öngörerek gerekli ikazları ilgili birimlere zamanında yapabilmek ve böylelikle havzada yaşanacak taşkınlarla zararları en aza indirebilmek için 2016 yılında “Doğu Karadeniz Taşkın İhbar Sistemi” (DOKTİS) projesinin ön pilot çalışması 5 havza için başlatılmış olup, işletme – deneme çalışmaları devam etmektedir. Uydu, radar, akım gözlem istasyonları (AGİ), otomatik meteorolojik gözlem istasyonları (OMGİ) ve MGM’ den aldığı yağış ve akış verilerini analiz ederek modelleyecek olan sistem, taşkın tehlike haritaları hazırlanmış olan yerleşim yerlerindeki (Şekil 6) risk durumuna göre olası taşkın olaylarını önceden haber verecek ve gerekli uyarılarda bulunacaktır.

Bununla birlikte kısa vadede önlenmesi mümkün gözükmeyen heyelanların taşkınlarla olan tetikleyici etkisi nedeniyle DOKTİS içerisine entegrasyonu gerekli görülmüştür.

Proje kapsamına dahil edilen heyelan vakalarının olasılık tahmininde, zemin özelliklerinin, jeolojik ve çevre koşullarının çok değişken olduğu kabul edilerek duraylılığı olasılık ya da güvenilirlik ifadeleri ile gösteren istatistiksel-gözlemsel ve olasılık teorisine dayalı “probabilistik yöntem” tercih edilmiştir. Söz konusu yöntem ile havzada daha önce meydana gelmiş tüm heyelanlar ile bu heyelanlardan önce meydana gelen yağış miktar ile süreleri analiz edilecek ve bundan sonra meydana gelecek yağışlara göre heyelan tahmininde bulunulacaktır. Söz konusu heyelan tahmini ile taşkın tahmini ile birlikte değerlendirilecek ve gerekli uyarılarda bulunacaktır. Yapılacak DOKTİS projesine ait veri akış şeması Şekil 6 da verilmiştir.



Şekil 6. DOKTİS veri akış şeması

2.2.1 DOKTİS Sisteminin Afet Müdahale Çalışmalarında Kullanımı

AFAD tarafından, DSİ nin de talebi üzerine Trabzon ilinde Ülkemizdeki ilk Heyelan ve Taşkın Afet Müdahale Planı Çalışmalarına Trabzon ilinde başlanmıştır. Söz konusu plan, bölgedeki olası en kötü afet senaryolarına göre hazırlanmaktadır. Plan içerisinde hangi afetten hangi bölgenin etkinenebileceği, kapanacak yollar, kesilecek su, elektrik, doğalgaz, iletişim sistemleri, risk altında olan insan sayısı, okullar, öğrenci sayıları vb. pek çok parametre göz önüne alınmaktadır.

Bunun yanında afet sırasında yapılması gereken tüm kurtarma ve müdahale çalışmaları planlanmaktadır. İş makinalarının nereye müdahale edeceği, insanların kaçış ve toplanma güzergahları planlanmaktadır.

DOKTİS sisteminden uyarı alınması durumunda ise, yine senaryo kapsamında daha önceden planlanmış olan şekilde, Türkiye Afet Müdahale Planı (TAMP) na göre hareket edilecek, yöre halkının güvenli bölgelere intikali sağlanacak ve gerekli tedbirler alınacaktır.

3. SONUÇLAR

Heyelan olaylarının kısa vadede önlenmesi, özellikle Doğu Karadeniz Bölgesi için mümkün görülmemektedir. Bu nedenle heyelan tehlikesinin önceden haber alınması ve buna göre gerekli önlemlerin alınması hayati önem taşımaktadır. Bu bağlamda yapılmış olan yağış eşiği bazlı heyelan erken uyarı sisteminin, özellikle can kaybının azaltılması hususunda etkili olacağı düşünülmektedir.

DSİ tarafından hayata geçirilecek olan DOKTİS sistemi kapsamında da denemeleri yapılması öngörülen taşkın + heyelan erken uyarı sisteminin, sonuçlarının değerlendirilerek, çalışmaların ülkemize yaygınlaştırılması faydalı olacaktır.

4. KAYNAKLAR

- [1] 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, 2005Fc1, (2016),
- [2] Majidi, A., Numerical analysis of Hollar landslide, *EJGE*, vol 13B, 1-10, 2008
- [3] 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
- [4] TS 8853, Yamaç ve Şevlerin Dengesi ve Hesap Metodları–Zeminde, TSE, 1991
- [5] Önalp, A., Arel, E., Yamaç ve Şevlerin Mühendisliği, Birsen Yayınevi, 2004
- [6] Corominas, J., Landslides and climate. Keynote lecture In: *Proceedings 8th International Symposium on Landslides*, (Bromhead E, Dixon N, Ibsen ML, eds). Cardiff: A.A. Balkema, 4: 1–33, 2000
- [7] Aleotti, P., A warning system for rainfall-induced shallow failures. *Eng Geol* 73: 247–265, 2004

- [8] Wieczorek, G.F., Glade, T., Climatic factors influencing occurrence of debris flows. In: Debris flow Hazards and Related Phenomena. Springer Berlin Heidelberg, 200
- [9] Tiranti, D., Estimation of rainfall thresholds triggering shallow landslides for an operational warning system implementation, Landslides, DOI 10.1007/s10346-010-0198-8, 2010
- [10] Caine, N., The rainfall intensity–duration control of shallow landslides and debris flows. *Geogr Ann A* 62: 23–27, 1980
- [11] 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
- [12] Akçalı, E., Heyelan yağış ilişkisi analizi ve modellemesi; Trabzon ili örneği, Doktora Tezi, Sakarya Üniv, İnşaat Müh. Bölümü, Sakarya, 2011
- [13] 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
- [14] 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
- [15] 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
- [16] Dahal., R.K., Hasegawa, S., Representative rainfall thresholds for landslides in the Nepal Himalaya *Geomorphology* 100, 429–443, 2008
- [17] 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
- [18] Reis, S., Çevresel planlamalara altlık bir coğrafi bilgi sistemi tasarımı ve uygulaması: Trabzon il bilgi sistemi (TİBİS) modeli doktora tezi, KTÜ, 2003