



T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMİYLE
AKŞEHİR (KONYA) ÇEVRESİNİN
HEYELAN DUYARLILIK İNCELENMESİ

Tolga ALTURAL

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Haziran-2012
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Tolga ALTURAL tarafından hazırlanan "Coğrafi Bilgi Sistemiyle Akşehir (Konya) Çevresinin Heyelan Duyarlılık İncelenmesi" adlı tez çalışması 13.10.2012 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Doç. Dr. Necati Karakaya Başkan 

Danışman

Doç. Dr. Adnan ÖZDEMİR



Üye

Yrd. Doç. Dr. Mustafa Yıldız 

Üye

.....

Üye

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr.
FBE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Tolga ALTURAL

Tarih:

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMİYLE AKŞEHİR (KONYA) ÇEVRESİNİN HEYELAN DUYARLILIK İNCELENMESİ

Tolga ALTURAL

**Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Doç.Dr. Adnan ÖZDEMİR

2012, 114 Sayfa

Jüri

**Doç.Dr.Adnan ÖZDEMİR
Doç.Dr. Necati KARAKAYA
Yrd.Doç.Dr.Mustafa YILDIZ**

Heyelanlar, doğal afetler arasında en yaygın olarak gelişen kütle hareketi türü olup, can ve mal kayıplarına yol açmaktadır. Bu zararların azaltılması için, potansiyel heyelan alanlarının belirlenerek önlem alınması gerekmektedir. Bu açıdan, potansiyel alanlar için heyelan duyarlılık analizlerinin yapılması hem meydana gelebilecek zararların azaltılmasıyla ilgili önlemlerin alınması, hem de mühendislik projelerinin planlanması ve yürütülmesinde kolaylıklar sağlayacaktır. Bu çalışmada Akşehir ilçesinin batısında yaklaşık olarak 373.112 km² 'lik bir alanın heyelan duyarlılık incelemesi frekans oranları yöntemiyle yapılmıştır. İnceleme alanının Frekans oranı metoduyla üretilen heyelan duyarlılık haritası ve elde edilen sonuçlar aynı bölgede weights of evidence ve lojistik regresyon yöntemiyle üretilen harita duyarlılık haritalarıyla karşılaştırılmıştır. Çalışma alanında 90 adet heyelan belirlenmiştir. Heyelanların oluşumunda önemli rol oynayan jeolojik, topografik ve çevresel faktörler arazi çalışmaları ve bölge ile ilgili yapılmış önceki çalışmalara göre değerlendirilip CBS ortamında sayısallaştırılmıştır. Çalışma alanının heyelan duyarlılık haritası çok düşük, düşük, orta, yüksek duyarlılık olmak üzere dört sınıfa ayrılmıştır. Frekans oranı metoduyla üretilen heyelan duyarlılık haritasında her sınıf sırasıyla 181.647 km² (48.7 %), 109.074 km² (29.2 %), 59.451 km² (15.9 %) ve 22.941 km² (6.1 %) 'lik bir alana sahiptir. Bu çalışmada her modelin doğruluğu ROC (receiver operation characteristics) metoduyla değerlendirilmiştir. Ağırlıklar yöntemi, lojistik regresyon ve frekans oranı metotları için ROC eğrisi değerleri sırasıyla 0.937, 0.952 ve 0.976 bulunmuştur. Bu sonuçlar frekans oranı ve lojistik regresyon metotlarının nispeten daha iyi sonuç verdiğini göstermektedir. Üretilmiş olan heyelan duyarlılık haritasının bölgede ileriye dönük yerleşim planlamalarında duraysızlıklarla ilgili sorunların azaltılması ve önlenmesi konusunda önemli katkı sağlayabileceği düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Akşehir, coğrafi bilgi sistemleri, frekans oranı, heyelan duyarlılığı, lojistik regresyon.

ABSTRACT

MS THESIS

LANDSLIDE SUSCEPTIBILITY ASSESSMENT OF VICINITY OF AKŞEHİR (KONYA) USING GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS

Tolga ALTURAL

**The Graduate School of Natural And Applied Science Selçuk University
The Degree of Master of Science In Geological Engineering**

Advisor: Assoc.Prof.Dr.Adnan ÖZDEMİR

2012, 114 Pages

Jury

**Assoc.Prof.Dr. Adnan ÖZDEMİR
Assoc.Prof.Dr. Necati KARAKAYA
Assist.Prof.Dr. Mustafa YILDIZ**

Among various natural hazards, landslides are the most widespread and damaging. Potentials landslide-prone areas should, therefore, be identified in advance in order to reduce such damage. In this respect, landslide susceptibility assessment can provide valuable information essential for hazard mitigation through proper project planning and implementation. The study area is located west of Akşehir in Central Turkey. It covers an area of approximately 373.112 km². 90 landslides have been determined in the study area. The geological, morphological and land use maps were digitised, which all could be considered as preparatory factors of landslides, were derived from digital elevation model of the study area in GIS environment. In this study, landslide susceptibility map were evaluated by using frequency ratio method and this map were compared to maps of weights of evidence and logistic regression methods. Susceptibility classes were grouped into four categories as very low, low, moderate and high. The landslide susceptibility map obtained from frequency ratio model shows that the areas of the very low, low, moderate and high landslide susceptibility classes are 181.647 km² (48.7 %), 109.074 km² (29.2 %), 59.451 km² (15.9 %), and 22.941 km² (6.1 %) of the study area, respectively. In this study, landslide susceptibility maps were prepared using the frequency ratio, Weights of evidence and logistic regression methods, and the accuracy of each model was evaluated by calculating receiver operating characteristics. The area under the receiver operating characteristics curve value for the weights of evidence, logistic regression and frequency ratio methods were calculated as 0.937, 0.952 and 0.976 respectively. These results indicate that the frequency ratio and logistic regression models are a relatively good method of landslide susceptibility in the study area. As a consequence, the landslide susceptibility map produced herein is considered a valuable tool for reducing the landslide hazard and for the planning purposes.

Keywords: Akşehir, frequency ratio, geographical information systems, landslide susceptibility, logistic regression,

ÖNSÖZ

Selçuk Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yapmış olduğum yüksek lisans çalışmamın tez konusunun belirlenmesini sağlayan, çalışmalarım süresince beni yönlendirerek destekleyen ve tezin her aşamasında yapıcı eleştirileriyle katkı sağlayan danışman hocam Sayın Doç.Dr. Adnan ÖZDEMİR'e teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam ve hayatım boyunca her türlü desteklerini esirgemeyen, hayatımın her aşamasında yanımda olan anneme, babama teşekkürü borç bilirim.

Tolga ALTURAL
KONYA-2012

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. İnceleme Alanı	3
1.1.1. Doruklar.....	4
1.1.2. Akarsular	4
1.1.3. Ulaşım ve yerleşim	4
1.1.4. İklim ve bitki örtüsü	5
1.1.5. Ekonomik durum.....	7
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	8
3. MATERYAL VE YÖNTEM	21
3.1. Materyal	21
3.1.1. Heyelan karakteristikleri	22
3.1.2. Heyelanı etkileyen faktörler	26
3.1.2.1. Genel Jeoloji	26
3.1.2.1.1. Çaltepe kireçtaşı	29
3.1.2.1.2. Çaltepe kireçtaşı üyesi	29
3.1.2.1.3. Sultandede formasyonu	30
3.1.2.1.4. Engilli formasyonu	31
3.1.2.1.5. Harlak formasyonu	32
3.1.2.1.6. Kocakızıl formasyonu.....	33
3.1.2.1.7. Deresine formasyonu.....	34
3.1.2.1.8. Hacıalabaz formasyonu	35
3.1.2.1.9. Bağkonak formasyonu	35
3.1.2.1.10. Alüvyon.....	35
3.1.2.2. Yükseklik	36
3.1.2.3. Arazi kullanımı	38
3.1.2.4. Yağış miktarı.....	40
3.1.2.5. Rölatif geçirimsizlik	41
3.1.2.6. Eğim yönü	43
3.1.2.7. Yamaç eğim açısı	45
3.1.2.8. Arazi ıslaklık indeksi	47
3.1.2.9. Yamaç eğriliği.....	49
3.1.2.10. Yamaç profil eğriliği	51
3.1.2.11. Yamaç plan eğriliği.....	53
3.1.2.12. Fay yoğunluğu.....	54

3.1.2.13. Faydan uzaklık	56
3.1.2.14. Kaynak yoğunluğu	57
3.1.2.15. Drenaj ağından uzaklık	59
3.1.2.16. Drenaj ağı yoğunluğu	61
3.1.2.17. Akarsu aşındırma gücü indeksi	62
3.1.2.18. Sediman taşıma kapasitesi indeksi	64
3.2. Yöntem	67
3.2.1. Frekans oranı yöntemi ve heyelan duyarlılık değerlendirmesi	68
3.2.2. Lojistik regresyon yöntemi ve heyelan duyarlılık değerlendirmesi	77
3.2.3. Weight of evidence yöntemi ve heyelan duyarlılık değerlendirmesi	79
4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	82
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	94
5.2. Sonuçlar	94
5.3. Öneriler	100
KAYNAKLAR	102
EKLER	113
ÖZGEÇMİŞ	114

SİMGELER VE KISALTMALAR

CBS : Coğrafi Bilgi Sistemi

DEM : Sayısal Yükseklik Modeli

FR : Frekans Oranı

LNRF : Heyelan Nominal Risk Faktörü

LR : Lojistik Regresyon

LSI : Heyelan Duyarlılık İndeksi

SPI: Akarsu Aşındırma Gücü

WOFE : Weight of Evidence

1. GİRİŞ

Yer yüzeyi gerek doğal olaylardan gerekse insan faaliyetlerinden dolayı sürekli bir değişim halindedir. Kütle hareketleri bu faaliyetler sonucunda bozulan dengenin tamamen veya kısmen yeniden tesis oluncaya kadar meydana gelen ve çoğunlukla büyük miktarlarda malzeme (kütle) hareketine sebep olan olaylardır. Bu kütle hareketleri sonucunda can ve mal kayıpları meydana gelebilmektedir. Kütle hareketlerinin oluşumunda arazinin jeolojik özellikleri, jeomorfolojisi, arazi eğimi, değişik kökenli titreşimler, iklim koşulları, bitki örtüsü ve ayrışma etkili olmaktadır (Özdemir, 2008).

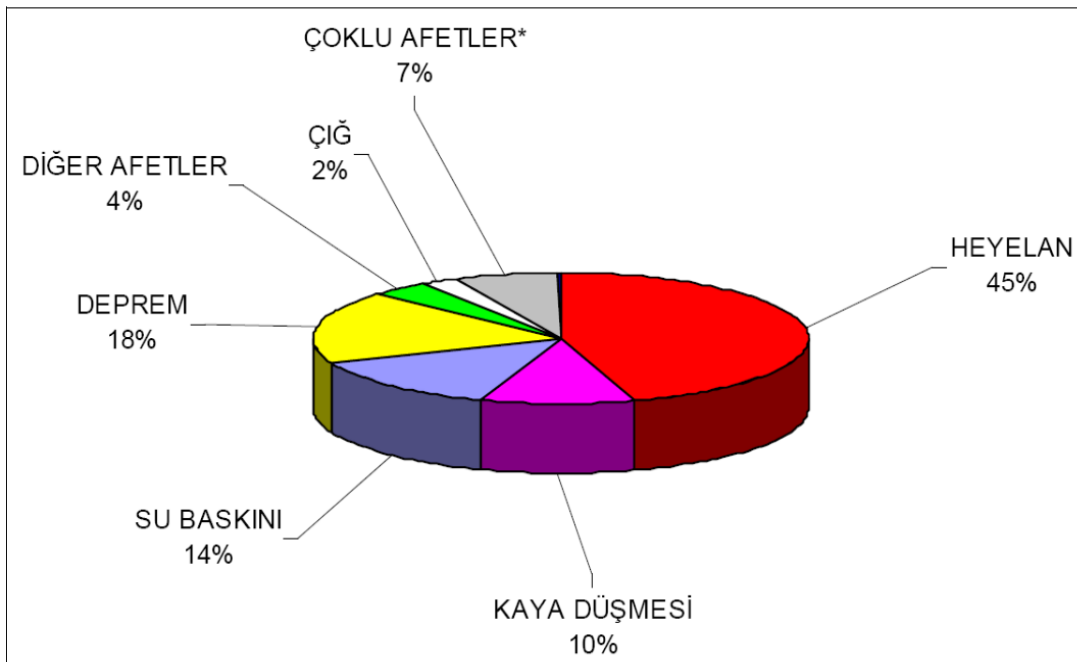
Heyelan duyarlılık analizinin temel amacı, tehlikeli ve riskli alanları tespit ederek heyelanın etkilerini azaltmaktır. Doğal tehlike haritaları geçmişte meydana gelen heyelan, sel, deprem ve volkanik patlama gibi doğal olayların oluşumunun tanımlandığı ve gelecekte böyle doğal olayların oluşumlarının tahmin edildiği bilgileri içerir (Varnes, 1984).

Türkiye’de depremler, taşkınlar ve heyelanlar en çok zarar veren afetler arasında gelmektedir. 1959-1994 yılları arasında heyelanlardan dolayı 76995 yapı Türkiye’de zarar görmüş veya yıkılmıştır (İldir, 1995). Buna ilave olarak tarım alanları ile birçok yolun zarar görmesine de neden olmuştur (Duman ve ark., 2005). 1950-2005 yılları arasında doğal afet nedeniyle ev boşaltmaların % 33’ ü heyelanlar nedeniyledir (Duman ve ark., 2009).

Heyelanların tanınması, iyileştirilmesi ve önlenmesi gibi çalışmalar sel ve deprem gibi diğer doğal olası tehlikelere oranla daha iyi bilinmektedir. Buna rağmen, heyelanlardan kaynaklanan hasar ve kayıplar gelişmiş ülkeler de dahil olmak üzere dünya genelinde giderek artmaktadır. Heyelanların doğrudan yol açtığı veya önlenmesi ve iyileştirilmesi ile ilgili yapılan dolaylı çalışmaların dünya ekonomisine getirdiği yükün yılda yaklaşık olarak 50 milyar dolar olduğu tahmin edilmektedir (Bell, 1999). Bununla ilgili ayrıca Ergünay (1999), ülkemizin son yıllarda yaşadığı yıkıcı depremleri de göz önünde bulundurarak, 70 yıllık zaman dilimi içerisinde doğal afetlerden etkilenen yapıların % 61’inin depremlerden ve yine ikinci sırada olmak üzere % 20’sinin heyelanlardan meydana geldiğini belirtmiştir.

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

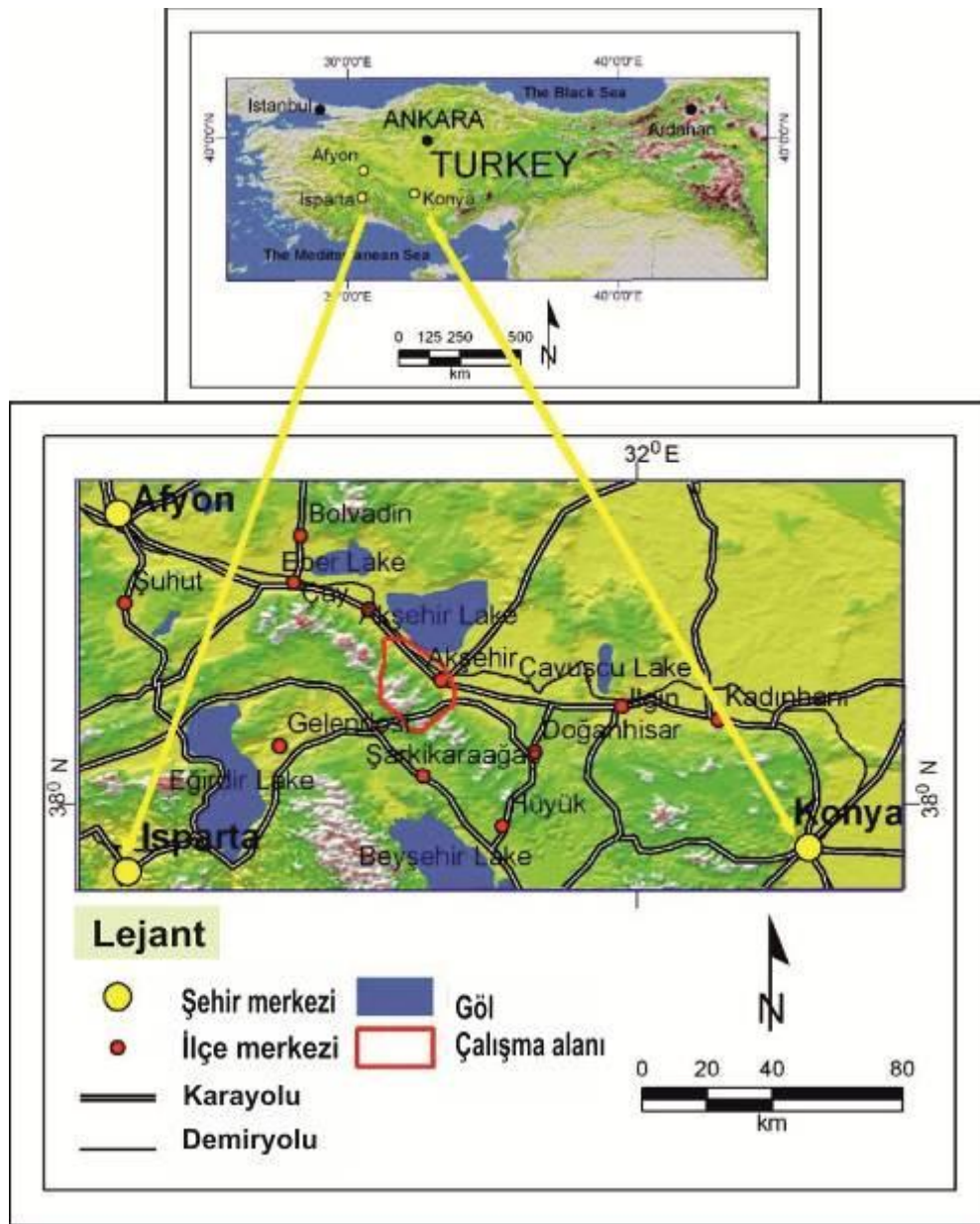
Heyelanlar, tüm Dünya’da olduğu gibi Türkiye’de de can ve mal kayıplarına neden olan önemli doğal afetleri grubunda yer almaktadır. Ülkemizde son 50 yılda meydana gelen doğal afetler incelendiğinde, heyelanların %45’lik oranla en sık gerçekleşen doğal afetdir (Şekil 1.1) (Gökçe ve ark, 2008).



Şekil 1.1. Türkiye’deki afet olay sayısının afet türlerine göre dağılımı (Gökçe ve ark, 2008)

1.1. İnceleme Alanı

Çalışma Akşehir ilçe merkezi çevresinde, Sultandağlarında yapılmıştır. Sultandağları'nın kuzey doğuya bakan yamaçlarında eğim oldukça yüksektir. Jeolojik, jeomorfolojik ve topografik faktörlerin heyelan oluşumuna uygun olması dolayısıyla ve bunun bir neticesi olarak çok fazla sayıda heyelan olması nedeniyle bu bölge çalışma alanı olarak seçilmiştir. İncelenen alan yaklaşık olarak 373 km² kadardır. Çalışma alanının koordinatları 4229000 – 4258000 kuzey enlemleri ve 349000 – 369000 doğu boylamları arasında kalmaktadır (Şekil 1.2).



Şekil 1.2. Çalışma alanı yer bulduru haritası

1.1.1. Doruklar

Bölgede doruklar genellikle, KB-GD gidişlidir. Morfolojide belirgin olan yapısal gidişler esas doruk hattını (KB-GD) oluşturur. Genellikle doruklara dik gelişen su bölümleri ayrılmıştır.

Batı Toroslar'ın en kuzey uzantısını oluşturan Sultandağı'nda sarp engebeli tepeler görülür. Yüzey şekilleri, litoloji ve yapı ile yakından ilişkilidir. Çalışma alanındaki en önemli yükseltiler arasında Tekke Dağı (2169 m), Deperce Tepe (2151 m), Kocakızıl Tepe (2204 m), Mastan Tepe (1922 m), Koca Tepe (2216 m), Kömürcü Tepe (2159 m), Kuruderebaşı Tepe (2086 m), Devlet Tepe (2032 m) sayılabilir (Ek-1).

1.1.2. Akarsular

Sultandağları KB-GD uzanımlı olmasına rağmen bu hattı yaklaşık dik kesen GB-KD gidişatlı oldukça derin vadiler de incelenen alanda bulunmaktadır. Özellikle Sultandağı'nda yağışın çok, yamaç eğiminin yüksek ve arazinin önemli bir kısmının geçirimsiz Paleozoyik yaşlı birimlerle kaplı olması yüzey sellenmesini arttırmış, buna bağlı olarak da derin vadiler gelişmiştir. Sultan Dağlarındaki drenaj ağı ile Akşehir gölüne su taşınmaktadır. İnceleme alanındaki derin vadiler kuzeyden güneye doğru sırasıyla; Koca Dere, Deliçay Dere, Çatak Dere, Cevizli Dere, Nazilli Dere, Vanvan Dere, Kayaboğaz Dere, Tekke Dere, Kumlu Dere, Çayözü Dere'dir (Ek-1).

1.1.3. Ulaşım ve yerleşim

Çalışma alanında kuzey güney istikametindeki ulaşım Afyon-Konya karayolu ve demiryoluyla, doğu-batı istikametindeki ulaşım ise Akşehir-Isparta karayolu ile kolaylıkla sağlanabilmektedir. İnceleme alanında belirtilen güzergahlarda yerleşim merkezleri arasında sefer yapan otobüslerle ulaşım kolaylıkla sağlanabilmektedir. Ayrıca demiryolu ile de ulaşım sağlanabilmektedir. Köylere ulaşım yılın her gününde mümkündür.

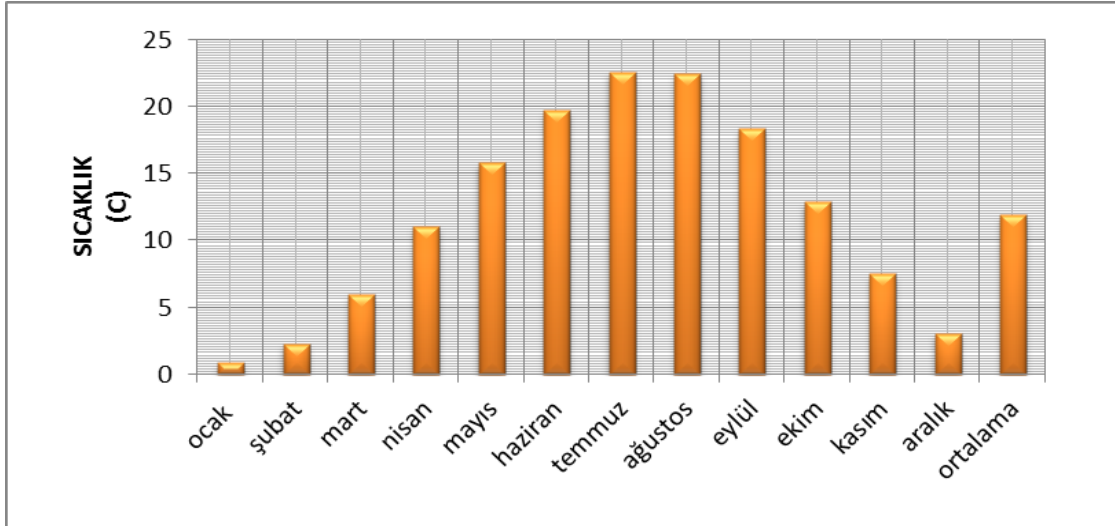
Belli başlı yerleşim merkezlerinin tamamı asfalt ve stabilize yollarla birbirine bağlanmıştır. İnceleme alanında bulunan yerleşim merkezleri Akşehir ilçesi ve buna bağlı beldeler ve köyler; Değirmenköy, Ulupınar, Yeniköy, Atakent, Tekke Köyü, Engilli, Gedil, Cankurtaran Köyü, Ilıcak'dır (Ek-1).

1.1.4. İklim ve bitki örtüsü

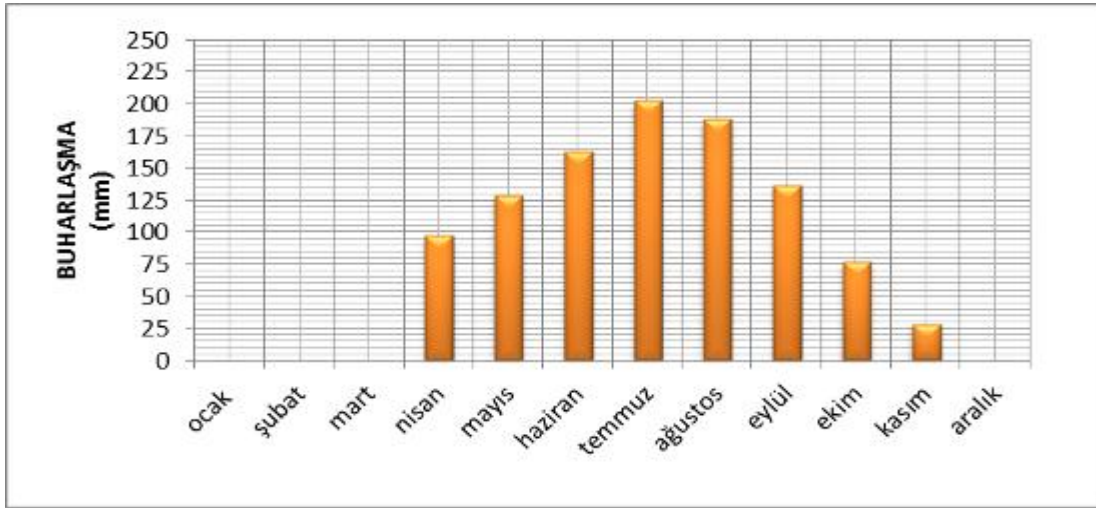
İklim özellikleri yönünden Akşehir, Karasal iklim ile Akdeniz geçiş iklim tipi arasında yer almakta, sert olmayan karasal iklim ile bozulmuş Akdeniz iklimi arasında geçiş özelliğine sahip bulunmaktadır. Akşehir meteoroloji istasyonu istasyonu sıcaklık, yağış ve buharlaşma verilerine göre yörede yazlar sıcak ve kurak, kışlar ise soğuk ve kar yağışlıdır (Taş, 2009).

Yaz aylarında yağışın az, sıcaklık ve buharlaşmanın fazla olmasından dolayı yörede kuraklık yaşanmaktadır. Yörenin sahip olduğu bu iklim özellikleri, arazi kullanımı üzerinde etkili olmuştur. Özellikle yetiştirilen tarım ürünleri ve uygulanan tarım yöntemleri iklim özelliklerinden fazlaca etkilenmiştir (Taş, 2009). Akşehir meteoroloji istasyonu sıcaklık, yağış ve potansiyel buharlaşma değerleri sırasıyla Şekil 1.3, Şekil 1.4 ve Şekil 1.5’ de verilmiştir. Yörede aylık ortalama sıcaklık en fazla Temmuz (22.6 °C) ve Ağustos aylarında (22.5 °C), en düşük sıcaklıklar ise Ocak (0.9 °C) ve Şubat (2.3 °C) aylarında ölçülmektedir. Yıllık ortalama sıcaklık ise 11.9 °C civarındadır. Yörede ortalama aylık potansiyel buharlaşma miktarı en fazla Temmuz (203.0 mm) ayında, en düşük buharlaşma miktarı ise Ocak, Şubat, Mart ve Aralık aylarındadır. Yıllık ortalama potansiyel buharlaşma miktarı 85.3 mm’dir. Yörede ortalama aylık en fazla yağış Aralık (73.8 mm) ve Ocak (76.5 mm) aylarında, en az yağış ise Ağustos (10.9 mm) ayında meydana gelmektedir. Yıllık ortalama yağış 51.2 mm civarındadır.

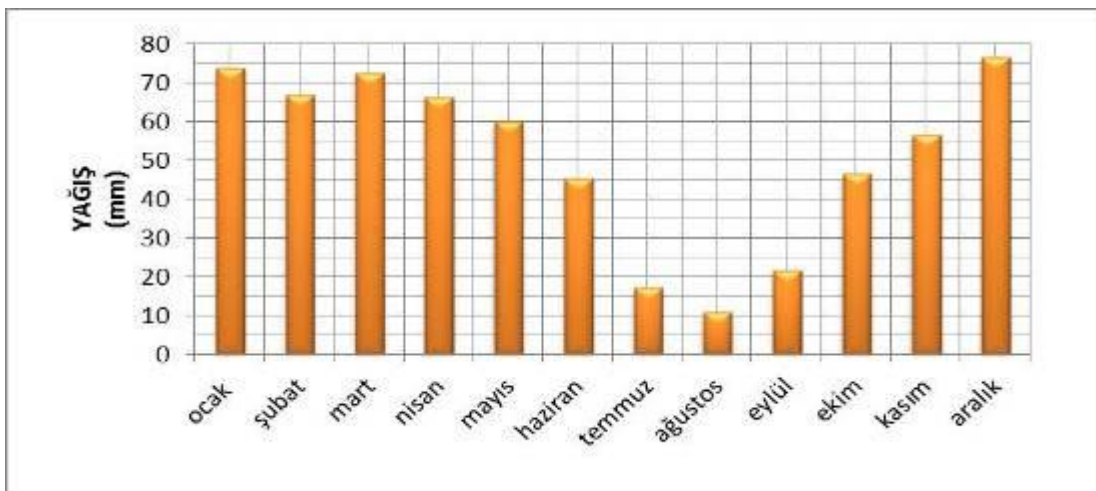
İnceleme alanının genel bitki örtüsü maki denilen çalılıklar, karağaç, çam, meşe ağaçları bulunur. Dağların eteklerine inildikçe ve özellikle ovada kiraz ağacı başta olmak üzere oldukça çeşitli meyve ağaçları da vardır.



Şekil 1.3. Akşehir meteoroloji istasyonu aylık ortalama sıcaklık değerleri (1941-2010)



Şekil 1.4. Akşehir meteoroloji istasyonu aylık ortalama buharlaşma değerleri (1941-2010)



Şekil 1.5. Akşehir meteoroloji istasyonu aylık ortalama yağış değerleri (1941-2010)

1.1.5. Ekonomik durum

Akşehir bölgesi ekonomisinde tarım, hayvancılık, sebzeçilik, küçük el sanatları, ipek halı dokumacılığı, şehir ve köylerde büyük ölçüde yer tutar. Yerleşime ve tarıma elverişli olan Akşehir bölgesinde tahılların yanı sıra; pancar, mısır, haşhaş ve meyvecilik yaygın olarak yapılmaktadır. Akşehir’de küçük işletmeler bünyesinde gıda, madeni eşya, cam ve plastik eşya sektöründe faaliyet gösteren üretim birimleri yaygındır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Gupta ve Joshi (1990); heyelan olası tehlikesinin risk değerlendirmesi için Coğrafi Bilgi Sistemi yaklaşımını kullanarak bir teknik geliştirmişlerdir. Heyelan aktivitesi ile ilgili parametreleri (litoloji, arazi kullanım, tektonik-makaslama zonundan uzaklık vb) puanlandırmışlardır. Araştırmacılar toplam 522 heyelan verisi için indeks değerler vermişlerdir. Bu indeks değerleri Heyelan Nominal Risk Faktörü (LNRF) olarak tanımlamışlar ve yüksek, orta ve düşük heyelan riski olarak üç gruba ayırmışlardır. Himalayalar'da Ramganga havzasında heyelan dağılımını aktif ve eski heyelanlar olarak tanımladıkları 522 heyelanı 4 havzada incelemişlerdir. Heyelan nominal risk faktörü (LNRF) matematiksel olarak; özel bir jeo-çevre alt kategorisindeki heyelan varlığının aynı kategori içinde farklı alt kategorilerdeki tüm heyelan ortalamasına oranıdır.

LNRF oranı derecesini: $LNRF < 0.67$ (Düşük risk); $0.67 > LNRF < 1.33$ (Orta risk); $1.33 < LNRF$ (Yüksek risk) olmak üzere üç sınıfa ayırmışlardır.

Jager ve Wiczorek (1994), A.B.D.'deki Tully vadisinde yaptıkları çalışmada olasılık temelli bir istatistiksel yaklaşımla, yamaç eğim açısı ve yamacı oluşturan malzemenin türü gibi parametreleri kullanarak inceledikleri alanın heyelan duyarlılık haritasını üretmişlerdir. Her parametrenin mevcut heyelanlarla ilişkisini inceleyerek, ilgili parametrelerin heyelana olan katkı olasılığını hesaplamışlar ve bu olasılıklardan bölgenin heyelan duyarlılık haritasını yapmışlardır.

Guzzetti ve ark. (1999), Orta İtalya'da heyelan duyarlılık değerlendirmesinde mevcut teknikleri değişik ölçekli çalışmalara uygulamışlardır. Heyelan tehlikesini tahmin edebilmenin; son 25 yıl içerisinde hükümetler ve araştırma enstitüleri tarafından tahmin edilmesine ve mevcut yöntemlerin geliştirilmeye çalışıldığını ifade edip; bir kaç değişik yöntemin bu süreç içerisinde geliştirildiğini veya test edildiğini belirtmişlerdir. Ancak yapılan birçok çalışmanın küçük ölçekli olduğu sadece birkaç çalışmanın büyük ölçekte uzun dönemli projelerle takip edildiğini ve bu sonuçların olası tehlike ve risk ile ilişkilendirildiğini tespit etmişler; günümüzde ise olası tehlike haritalarının hazırlanışı sırasında genel bir uzlaşmanın bulunmadığını vurgulamışlardır.

Heyelan tehlike haritalarını değerlendirmek başlangıçta doğru harita ünitesinin (biriminin) seçilmesini gerektirir. Bu terim tanımlanabilir engellerdeki komşu birimlerden farklı olan bir takım yer koşullarını içeren yer yüzeyi kısımlarına karşılık gelir. Analiz ölçeğinde bir harita birimi içsel homojenlik ve birimler arası heterojenliği

ifade eden alanı betimler. Haritalama ve heyelan olası tehlike değerlendirmesinde arazi kullanımı için pekçok değişik metod önerilmiştir. Bu yöntemler beş kategoriye ayrılabilir.

- 1) Grid-hücre
- 2) Arazi birimi
- 3) Tek durum ünitesi
- 4) Yamaç birimi
- 5) Topoğrafik birim

Grid hücreler referans harita birimi haline gelen alanı önceden tanımlanmış boyutlardaki karelere bölen, raster tabanlı CBS (Coğrafi Bilgi Sistemi) kullanıcıları tarafından tercih edilmektedir. Her grid hücresine hesaba katılan her faktör (morfolojik, jeolojik, arazi kullanımı vb.) için bir değer verilir. Alternatif olarak, her biri bir tek duraysızlık faktörünü haritalandıran bir yığın raster tabakaları hazırlanır. Geleneksel olarak jeomorfologlar tarafından tercih edilen arazi birimleri sıklıkla jeomorfolojik ve jeolojik farklılıkları ortaya çıkaran, doğal ortamlarda sınırlamalara malzemeler, biçimler ve süreçler arasındaki bağlantılar bazı sınırlamalara neden olan gözlemlere dayanır. Arazi birimleri pekçok yer kaynakları araştırmalarında kullanılan arazi parametrelerinin sınıflandırılması yaklaşımının temelini oluşturur. Tek durum birimleri herbir yamaç duraylılık faktörünün bir tek haritada veya katmanda birikmiş bir takım önemli sınıflara ayrılmasını içerir. Bütün katmanları sırayla karşılaştırarak homojen alanlar oluşturulmasıyla yapılan haritalardır.

Araştırılan duraylılığın türüne dayanarak, harita birimi alt havza ya da ana yamaç biriminden (alt havzanın sağ/sol tarafı) birisine karşılık gelebilir.

Yamaç birimleri topoğrafik bölümlere ayrılabilir. Topoğrafik bölümler konturların kesişmesi ve konturlara ortogonal olan akış tüpü sınırı tarafından tanımlanır. Her topoğrafik birim için yerel morfometrik değişkenler ve bütün yamaç yukarı elemanların kümülatif drenaj alanı hesaplanır.

Uygun bir harita birimi seçmek birkaç faktöre dayanır. Çalışılacak olan heyelan olayının türü; araştırmanın ölçeği; kalite, çözünürlük, ölçek ve gerekli olan tematik bilginin türü; yeterli bilgi düzenleme ve analiz gereçlerinin varlığı bölgenin haritalama birimi için olan uygun duyarlılık değerlendirmeleri üstünlükleri ve sınırlamaları bulunmaktadır. Bunların üstesinden gelmek veya bunları azaltmak için uygun olası tehlike değerlendirme metodu seçilmelidir.

Duraysız yamaçlarda faktörlerin sınıflanmasında farklı olası tehlike dereceleri için yöntemler nitel veya nicel ve doğrudan veya dolaylı olarak tanımlanabilmektedir.

Nitel yöntemler öznedir ve tehlike zonları betimsel terimlere dayanır. Nicel yöntemler olası tehlike zonlarında heyelan oluşum olaylarının sayısal olasılıklarını (tahminlerini) göstermektedir. Doğrudan yöntemler, heyelanın olası tehlikelerini ve jeomorfolojik haritaları içerir. Heyelan olası tehlike değerlendirmeleri için dolaylı yöntemler, özellikle aşamalı olarak yapılmalıdır. Bu yöntem öncelikle hedef bölgedeki heyelanların tanımlanmasını ve haritalanmasını gerektirmektedir. Bunu takiben yamaç duraysızlığı ile doğrudan veya dolaylı ilgili olan fiziksel faktör gruplarının tanımlanması ve haritalanması gerekir.

Bu işlemler yamaç yenilmesine neden olan duraysızlık faktörlerinin göreceli olarak belirlenmesinde ve birçok olası tehlike altında kalan yer yüzeyi sınıflamasına katkıda bulunurlar.

Literatürde bulunan en önemli yöntemler birkaç kategori altında gruplandırılmıştır.

Bunlar :

1. Jeomorfolojik olası tehlike haritalaması
2. Heyelan envanter haritalarının analizi
3. Deneyime dayalı veya indeks tabanlı metodlar
4. Fonksiyonel, istatistiksel tabanlı metodlar
5. Jeoteknik veya fiziksel tabanlı modellerdir.

Binaghi ve ark. (1998), heyelan tehlike zonlamasında kullanılabilecek özellikte olan belirlilik faktörü ile bulanık Demster Shafer yaklaşımlarını karşılaştırmışlardır. Heyelan tehlike haritalarında karşılaşılan en önemli güçlüğü farklı türdeki parametre haritalarının nasıl birleştirileceği sorununa dikkat çekmişlerdir. Bulanık mantık yaklaşımı, yapay sinir ağları ve kökensel algoritma gibi esnek hesaplama yaklaşımlarının, belirsizliklerin azaltılması yönünde gittikçe artarak kullanıldığını, özellikle aşırı değişkenlik gösteren jeolojik ve jeomorfolojik koşulların sağlanması durumunda ilgili yöntemlerin başarılı sonuçlar verebileceğini belirtmişlerdir. Bütün bunlar göz önüne alınarak çalışmalarında, mevcut heyelanların dağılımı, litolojik birimlerin mühendislik özellikleri, yamaç eğimi ve yönelimi, arazi kullanım potansiyeli, drenaj ve faylara olan uzaklığı girdi parametreleri olarak kullanmışlardır. Her iki yaklaşımın da heyelan tehlike zonlaması açısından önemli bir potansiyele sahip

olduğunu kısmi bilgilerin varlığında dahi uygulanabilir yöntemler olduğunu belirtmişlerdir.

Siagian ve ark. (2000); iki değişkenli analiz yöntemine dayanarak nicel duyarlılık haritalarının hazırlanmasında heyelan yoğunluğunun birim alana bölünmesiyle ve bunun faktör haritalarına ağırlıklı değer olarak atanması ile duyarlılık haritalarını oluşturmuşlardır. Alanın yoğunluğu herhangi bir parametreye bağlı olarak 1 km²'ye düşen heyelanın dağılımını verir. Ağırlık değeri ise her bir sınıf (parametre) içindeki heyelan yoğunluğunun tüm alan içinin tamamının heyelan yoğunluğu arasındaki farka eşittir.

Yoğunluk ve ağırlık hesaplaması aşağıdaki eşitliklerde verilmiştir:

$$\text{Ağırlık} = \text{yoğunluk} = \frac{\sum \text{Heyelan Alanı}}{\sum \text{Çalışma Alanı}} \quad (2.1)$$

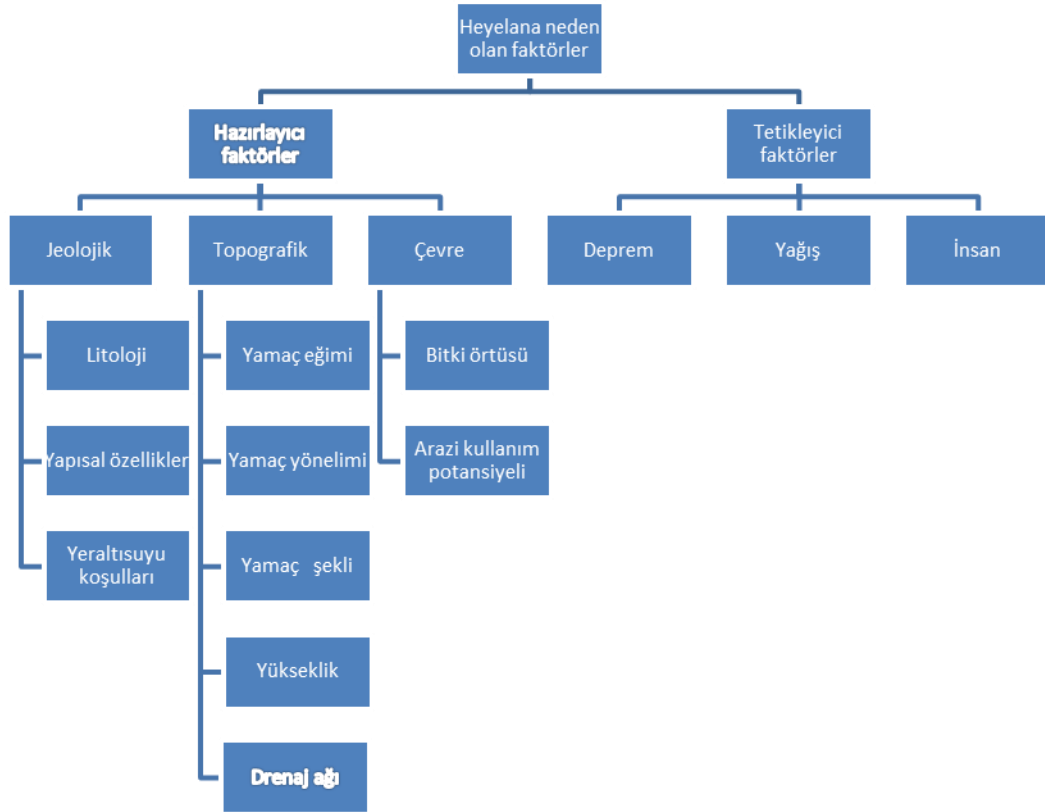
$$\text{Yoğunluk} = \frac{\sum \text{Birimdeki heyelan alanı}}{\sum \text{Birim alanı}} \quad (2.2)$$

Litoloji, arazi kullanım, yamaç eğimi ve jeomorfolojik birimlerden oluşan parametre haritalarını kullanarak uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleriyle Endonezya'nın Batı Java bölgesinde heyelan duyarlılık analizi başlıklı çalışmada iki değişkenli istatistiksel yaklaşım yöntemini kullanarak heyelan duyarlılık bölgelerini çok düşük, düşük, orta, yüksek olmak üzere dört sınıfta toplamışlardır.

Wilson ve Gallant (2000); Çalışmada özellikle topografik DEM (Digital Elevation Model) verilerinin türetilmesi yorumlanması ve değerlendirilmesiyle ilgili Coğrafi Bilgi Sistemleri yazılımları ile onların altında çalışan modüller tanıtarak kullanımlarındaki avantajlı ve dezavantajlı yönleri belirtilmiştir.

Gökçeoğlu ve Ercanoğlu (2001); Çalışmada bölgesel ölçekteki heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanması sırasında kullanılan parametrelerden kaynaklanan belirsizlikler eleştirel bir bakış açısıyla tartışılmıştır. Bu çalışmada; temel tanımlar ve belirsizlikler ile heyelan duyarlılık haritalarında kullanılan parametreler; hazırlayıcı faktörler ve tetikleyici faktörler olarak sınıflanmıştır. Hazırlayıcı faktörler de jeolojik faktörler (litoloji, yapısal özellikler ve yer altı suyu koşulları), topografik faktörler (yamaç eğimi, yamaç yönelimi, yamaç şekli, yükseklik ve drenaj ağı) ve çevresel faktörler (bitki örtüsü ve arazi kullanım potansiyeli) olmak üzere üç gruba ayırılarak incelenmiştir. Tetikleyici faktörler deprem, yağış ve insan olarak sınıflandırılmıştır.

Çizelge 2.1. Heyelanlara neden olan hazırlayıcı ve tetikleyici faktörler (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu, 2001)



Parise (2001), heyelan haritalama teknikleri ve olası heyelan değerlendirmelerinde kullanımlarıyla ilgili bilgiler vermiş ve İtalya’da Güney Apeninler’de heyelan haritalarını özellikle 4 aşamada incelemiştir (Çizelge 2.2).

1) Heyelan Envanter Haritası: Kütle hareketlerinin alansal dağılımını temsil eder. Bu haritalar yamaç hareketinin yerini, tipini ve aktivite durumuyla ilgili bilgiler sunar. Heyelanların gösterilişi tek bir nokta veya alan olarak ölçeğe bağlı olarak ifade edilir. Bu haritalar herhangi bir zamanda arazinin o andaki durumunu yansıtır. Geçmişe ait aktivitelere ilişkin bilgilerin verilebilmesine rağmen zamansal gelişimi ve değişimi hakkında bilgi vermezler. Heyelan Envanter Haritaları diğer ek haritaların üretilmesi için temel gerekliliktir. Buna rağmen asıl amacı heyelanların dağılımlarını göstermektir.

2) Heyelan Aktivite Haritası: Çok zamanlı hava fotoğrafı yorumlamasından veya periyodik araştırmalardan elde edilebilir. Şev hareketlerinin gelişimiyle ilgili zamansal değişiklikleri verir.

Çizelge 2.2. Heyelan haritalarının özelliklerinin özellikleri (Parise, 2001).

Heyelan tipi	Gerekli materyal	Veri analizleri	Haritada gösterilen veriler	Yararları
Heyelan envanteri	-Topografik harita -Hava fotoğrafları	-Hava fotoğraflarını yorumlama -Arazi çalışması -Önceki çalışmalar	- Heyelanın dağılımı, tipi ve aktivite durumu	Heyelanların alansal dağılımını gösterir ve heyelandan etkilenen ve etkilenmeyen alanların ön zonlamasını yapar.
Heyelan aktivite	-Farklı yıllara ait hava fotoğrafları seti -Tarihsel haritalar -Topografik haritalar	-Farklı yıllara ait hava fotoğraflarının yorumlanması haritaların karşılaştırılması -Arazi çalışması -Önceki çalışmalar	- Heyelanın dağılımı, tipi ve aktivite durumu -Heyelanların yönelimi	-Bunlar gelecekteki yerel yönetimler ve şehir plancılarına heyelanların sosyo-ekonomik kayıpları azaltmaya yardımcı olurlar. -Mühendislik yapılarının performansını değerlendirmek amacıyla yararlıdır.
Görece olası tehlike (duyarlılık)	- Topografik haritalar - Jeolojik haritalar - Hava fotoğrafları - Hidrolojik kayıtlar - Tarihsel sismik kayıtlar	- Hava fotoğraflarının yorumu -Arazi çalışması -Jeolojik araştırmalar -Arazi ve laboratuvar testleri	-Heyelanın dağılımı, tipi ve aktivite durumu -Heyelanların yönelimi -Jeoloji -Jeomorfoloji -Mühendislik jeolojisi özellikleri	Gelecekteki heyelanların oluşumunu zamansal olarak kapsamasa da herhangi bir gelişme planı açısından yarar sağlayabilir.
Etki derecesi	-Risk altındaki elemanların dağılımı -Risk altındaki elemanların sosyo - ekonomik değerlendirmesi	Heyelanlı alanların tetikleyici faktörlerle ilişkisi (Yağmur, deprem, insansal etkiler)	-Heyelanlanın dağılımı, tipi ve aktivite durumu -Heyelanların yönelimi - Jeoloji - Jeomorfoloji - Mühendislik jeolojisi özellikleri	Veri toplamadaki zorluklar ve değişik disiplinlerden iş birliği yapması ve haritaları zaman kaybı ve üretim açısından çok zorlaştırmaktadır.

3) Göreceli Olası Tehlike Haritası: Envanter haritasını heyelan duyarlılık haritasına dönüştürmek için en basit yol; her bir litostratigrafik birimde heyelanın kapladığı yüzdenin bulunmasıdır (Hutchinson, 1992). Bu yolla duraylı alanların geleceği ile ilgili bilgi almak ya da bir başka envanter haritasının başlangıcını oluşturmak mümkündür.

4) Etkilenme Derecesi Haritası: Amaç, heyelan olası tehlikesi altındaki elemanlar için heyelan ile elemanın birbirine olan etkisi (etkileşimi) ne bağlı olarak hasar derecesi veya hayatı kaybetme olasılığının belirlenmesidir

Clerici ve ark. (2002); Çalışmada Conditional analiz yöntemiyle heyelan duyarlılık incelemesinin nasıl yapılacağına dair prosedür verilmiştir. Bu çalışmada belirtilen analiz yönteminin GRASS yazılımıyla nasıl yapılacağı Parma'nın (İtalya) 30 km güney batısında seçilen 332 km²'lik bir alanda yapılmıştır. Çalışma sonucunda üretilen heyelan duyarlılık haritasından gelecekte heyelanların nerelerde, ne sıklıkta oluşacağı tartışılmıştır.

Dai ve Lee (2002); Bu çalışmada Coğrafi Bilgi Sistemleri kullanarak öncelikle mevcut sayısal haritalar ve hava fotoğraflarından Lantau adasındaki heyelanları harekete geçiren fiziksel parametrelerle heyelanların tekrarlanmaları arasındaki istatistiksel birliktelikler belirleyerek veri tabanı hazırlamışlardır. Bir CBS (Coğrafi Bilgi Sistemi) veri tabanı mantıksal çoklu regresyon modelinin kullanımıyla şev duraysızlığının tahmininde kullanılmıştır. Eğim derecesi, litoloji, yükseklik, yamaç yönelimi ve arazi kullanımı, yamaç morfolojisi ve drenaj sınırı yakınlığının önemli olmadığı ve bu modelde ihmal edildiği koşullarda şev duraysızlığının tahmin edilmesinde istatistiksel olarak önemli olduğunu göstermiştir. Bu model daha sonra tahmini şev duraysızlığı haritası yapımı için CBS ortamına aktarılmıştır. Bu çalışmanın sonuçları da şev duraysızlığı CBS teknolojisi ve mantıksal çoklu regresyon analizleri kullanılarak etkin bir şekilde modelleneceğini göstermiştir. Dai ve Lee (2002), meydana gelen heyelanların aşırı yağışlar sonucunda tetiklendiğini belirtmiş ve duyarlılık haritasını 4 aşamada yapmışlardır. Bu aşamalar:

1-Hongkong'daki Lantau adasındaki heyelanları tanımlamak,

2-Heyelanların oluşumuna neden olan fiziksel parametreler ve heyelanların tekrarlanmasının arasındaki ilişkisinin istatistiksel olarak belirlenmesi,

3-CBS kullanımıyla şev duraysızlığı modellenmesi için yöntem geliştirilmesi,

4-Heyelan hareketinin davranışını tanımlamak.

Heyelanlara neden olan fiziksel parametrelerin tanımlanması ve bunları CBS tabanlı mantıksal regresyon modeli ile birlikte değerlendirilmesi ile Lantau adasının bölgesel şev duraysızlığı modellenmiştir.

Süzen (2002); Çalışma alanı olarak Asarsuyu su toplama havzası ve Bolu Dağı otoyolu geçişini seçmiş ve uzaktan algılama ürünleri, jeolojik haritalar ile topoğrafik haritalar olmak üzere 3 veri tabanı kullanmıştır. Hava fotoğrafı kullanarak 4 ayrı dönemin (1952, 1972, 1984 ve 1994) heyelan envanterini çıkaran Süzen (2002) arazi kullanım haritası için de uydu görüntülerinden yararlanmıştır. Jeolojik ve topoğrafik haritalardan ve uzaktan algılama ürünleri kullanarak 13 ayrı parametre haritası üretilmiştir. Bu parametre bilgilerini bir veri tabanına aktarabilmek için, 25x25 metrelik bir grid arazi üzerine oturtulmuştur. Bölgedeki heyelan duyarlılığını, yoğunluk analizleri, istatistiksel analizler, mantıksal regresyon gibi farklı yöntemlerle ayrı ayrı değerlendirmiştir. Bunlardan mantıksal regresyonla yapılan değerlendirmelerin, bölgedeki heyelan duyarlılığını en iyi şekilde yansıttığını belirlemiştir. Heyelanlı kütlelerin özelliklerini ve heyelana neden olan koşulların içerdiği 2 farklı türdeki bilgiyi 5 ayrı veri tabanına aktararak, heyelan oluşumunda karar verme aşaması için yeni bir yaklaşım olan kök hücre (seed cell) kavramını geliştirmiştir. Çalışmada ayrıca parametre sınıflarının belirlenmesinde karşılaşılan bazı sorunların giderilebilmesi için yeni bir yöntem önermiştir. Heyelanların gelişmesindeki en önemli etkenin, insan etkisi sonucunda orman örtüsünde meydana gelen tahribatlar olduğu belirlenen bu çalışmada, yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinin mutlaka arazi gözlemleri ile karşılaştırılmasının gereği vurgulanmıştır.

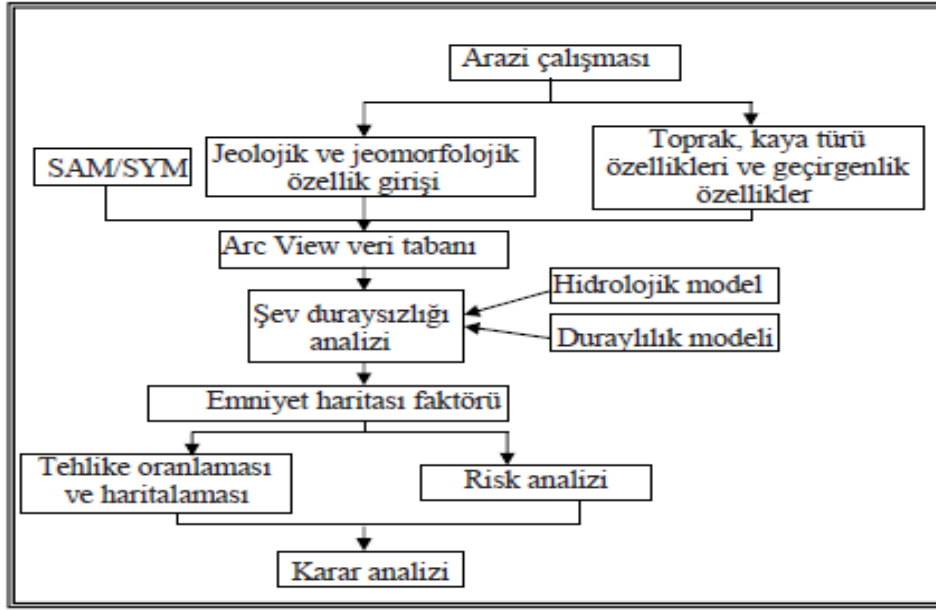
Babu ve Mukesh (2003) ; yapmış olduğu çalışma CBS'nin şev duraysızlığı analizlerinde zemin özellikleri, yükseklik gibi değişik mekânsal verilerin CBS ortamında değerlendirmesini içermektedir.

Bu çalışmalarda kullanılacak verilerde

- Jeolojik ve jeomorfolojik özellikler, kıvrımlar, faylar
- Zemin ve kaya özellik ve türleri
- Bitki örtüsünün ayrıntıları,
- Geçmiş yıllara ait yağış ve deprem kayıtları
- Hidrolojik ve duraylılık modelleri

Heyelan tehlike haritalaması için Babu ve Mukesh (2003) Çizelge 2.3' teki modeli önermektedir.

Çizelge 2.3. Babu ve Mukesh (2003) tarafından önerilen tehlike haritalaması için akış şeması.



Chau ve ark. (2004); yapmış oldukları çalışmada Hongkong'daki tarihsel heyelan verilerinin yardımı ve bu verilere jeolojik, jeomorfolojik, nüfus, iklim veya yağış verilerinde katılımıyla Coğrafi Bilgi Sistemleri ve heyelan envanteri haritası temelli sistematik bir heyelan tehlike analizi gerçekleştirmişlerdir. 1984-1988 yılları arasındaki 448 adet heyelan verisi göz önüne alınarak heyelanların günlük ve mevsimsel yağış değişimleri ile karşılaştırmışlardır. Bu çalışmanın temel amacı Hongkong adasına özel bir önem vererek ve CBS aracılığıyla tarihsel heyelan verisini birleştirerek Hongkong heyelan tehlike haritasına yoğunlaşmaktır. Özellikle heyelanların günlük ve mevsimsel dağılımları belirlenmiştir. Yağışlar ile heyelanlardan kaynaklanan ölüm ve yaralanmalar karşılaştırılmıştır. Heyelan oluşumu ve jeolojik oluşumların, yamaç eğimi açısı ile yamaç uzunluğu arasındaki ilişkiler araştırılmıştır. Hongkong da tarihsel verinin mekansal dağılımı bir heyelan tehlike zonlama haritasında önerilmiş, bunun yanında CBS teknolojisinin de kullanımıyla jeolojik, jeomorfolojik ve iklimsel veriler görselleştirilmiştir.

Lan ve ark. (2004); Çin'in güneybatısında bulunan Xiaojiang havzasında yapmış oldukları çalışmada heyelanlar ve heyelanları etkileyen faktörler arasında nicel bir ilişkiyi kesinlik modeli olarak adlandırılan model ile hesaplamışlardır. Bu modeli oluştururken heyelanları etkileyen litoloji, jeolojik yapılar, yamaç eğimi, yamaç yönelimi, yükseklik ve faya olan uzaklık faktörlerini kullanmışlardır. Havzada heyelanları aşırı yağışların tetiklediğini belirtmiş ve heyelan zonlamasını yüksek

duraylı, orta duraylı, düşük duraylı, düşük duraysız, orta duraysız ve yüksek duraysız olmak üzere altı sınıfa ayırmışlardır.

Phi ve Bac (2004); Çalışmada Kore'nin Yangsan bölgesinde seçilen çalışma alanında Bayesian yaklaşımı Coğrafi Bilgi Sistemlerinde kullanılarak heyelan tehlike haritası üretilmiştir. Çalışmada DEM, eğim, bakı, jeoloji, bitki örtüsü, arazi kullanımı, drenaj ile jeolojik çizgisel yapıların heyelan duyarlılığındaki etkisi araştırılmıştır. Çalışmada Coğrafi Bilgi Sistemleri altında kolayca üretilen haritalardan hareket edilerek belirlenen heyelan duyarlılık haritalarının jeoteknik yöntemler kullanılarak belirlenen haritalardan daha ekonomik olduğu vurgulanmıştır.

Duman ve ark. (2005); Çalışmada İstanbul Çekmece bölgesinin heyelan hassaslığı conditional probability yöntemiyle incelenmiştir. Çalışma sonucunda Danişment formasyonunun Açmalar üyesi eğim miktarı, faydan 800-1000 m ve drenaj hattından 75-100 m sınıflarında, düşük ve orta permabiliteli alanlarda heyelan duyarlılığının yüksek olduğu belirlenmiştir.

Pack ve ark. (2005); Çalışmada SINMAP 2 (A Stability Index Approach to Terrain Stability Hazard Mapping) ArcGIS altında çalışan modülle stabilite tehlike haritalarının nasıl yapılabileceğinin detayı verilmektedir. Çalışmada sonsuz yamaç stabilite modeli esas alınarak üretilen heyelan duyarlılık haritaları stabilite indeksi değerine göre altı sınıfa ayrılarak belirlenmiştir. Sayısal Yükseklik Modeli (DEM) kullanılarak heyelan duyarlılık incelemesinde etkili olan eğim, eğim yönü vb. gibi haritalar da bu modülle üretilebilmektedir.

Duman ve ark. (2006); Çalışmada İstanbul'un Çekmece bölgesi heyelan duyarlılık haritası lojistik regresyon analizi ile incelenmiştir. Çalışma sonucunda Danişment formasyonunun Açmalar üyesinin ve yine çalışmada değerlendirilen eğimin, eğim yönünün, akarsu aşındırma gücü indeksi ile düşük permeabiliteli alanların heyelan oluşumunda etkili oldukları belirlenmiştir.

Mazman ve Çan (2006); Çalışmada Bartın ilinin güneydoğusunda ve Bartın Çayı'nın ana kollarından birini oluşturan Kumluca havzasının (340 km²) heyelan duyarlılık değerlendirmeleri, coğrafi bilgi sistemleri ve çok değişkenli istatistiksel analiz yöntemleri birlikte kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Heyelanların oluşumunda önemli rol oynayan jeolojik faktörler, topografik faktörler, çevresel faktörler, arazi çalışmaları ve bölge ile ilgili yapılmış önceki çalışmalara göre değerlendirilip CBS ortamında sayısallaştırılmıştır. Heyelan duyarlılık haritası, bölgenin heyelan envanter

haritası ve heyelanları hazırlayıcı faktörlerin mantıksal regresyon analizi ile değerlendirilmesiyle üretilmiştir.

Zhu ve Huang (2006); Çalışmada bölgesel ölçekte heyelan duyarlılık incelemesinin lojistik regresyon yöntemi ile coğrafi bilgi sistemleri altında nasıl yapılabileceği tartışılmıştır. Çin’de seçilen uygulama alanında DEM kullanılarak yükseklik, eğim, eğim yönü, plan eğriliği ve profil eğriliği gibi topografik parametreler kullanılmıştır. Kazıların, arazi kullanımının, zemin tipinin faydan veya drenaj yatağından uzaklığın heyelan duyarlılığında etkisi lojistik regresyon analizi ile incelenmiştir. Çalışma sonunda heyelan oluşumunda dikkate alınan parametrelerin bu oluşumdaki katkı dereceleri bir fonksiyonla ifade edilmiştir.

Akgün ve Bulut (2007); Çalışmada Trabzon Arsin-Yomra bölgesinin Coğrafi Bilgi Sistemleri esaslı heyelan duyarlılık incelemesi yapılmıştır. Çalışmada jeoloji, jeomorfoloji, drenaj, yol vb. gibi heyelan oluşumunda etkili parametrelerin bölge heyelanları üzerindeki katkı dereceleri lojistik regresyon analizi ile belirlenmiştir.

Erener ve Lacasse (2007); Çalışmada Norveç’te Shien şehrinde bulunan hızlı killi toprak kaymaları için yapılan CBS ile oluşturulan heyelan duyarlılık haritalamasını ele almaktadır. Heyelan duyarlılık haritaları için frekans oranı metodu ve lojistik regresyon metodları olmak üzere iki farklı metod kullanılmıştır. Bu çalışma için eğim açısı, bakı, eğrilik, yükseklik topografik veri tabanından çıkarılmış, jeolojik formasyonlar ve toprak tipi jeolojik haritalardan ve jeolojik ölçümlerle elde edilmiş, tren rayı ve otoyola mesafe, nehir ve göllere olan yakınlık ve yeryüzü kullanımı ve yağış bu çalışmada dikkate alınmıştır. Sonuçlar elde var olan heyelan envanteri ile karşılaştırılmış ve çalışmanın doğruluğu test edilmiştir. Çalışma sonunda şehirleşmenin heyelana neden olan en büyük etki olduğu görülmüştür. Uygulanan ilk yöntem olan frekans oranı yaklaşımında her bir parametre için frekans oranları hesaplanmış ve heyelan duyarlılık haritası elde etmek için bu değerler tüm alandaki her harita ünitesi için çakıştırma yöntemi ile toplanmıştır. Lojistik regrasyon yönteminde ise bağımsız değişkenler, coğrafi hücrelerdeki heyelanın olma ya da olmaması ile ilişkilendirilmiş ve gelecekte olabilecek heyelanın olma olasılığını gösteren harita üretilmiştir.

Mathew ve ark. (2007); Çalışmada Hindistan’ın Himalaya bölgesinde lojistik regresyon analizi kullanılarak üretilen heyelan duyarlılık haritasının geçerliliği tartışılmıştır. Çalışmada jeoloji, jeomorfoloji, jeolojik çizgisel elemanlar, drenaj, arazi örtüsü gibi parametreler ve haritaları kullanılarak bölgenin heyelan duyarlılık haritası

çıkarılmıştır. Heyelan duyarlılığında, yamaç açısının 35-60 derece arasında, yamaç eğim açısının ise 60 dereceden fazla olan yerlerin etkili olduğu belirlenmiştir.

Meisina ve Scarabelli (2007); Çalışmada, SINMAP ve SHALSTAB yazılımları ile Northern Apennines bölgesinde Oltrepo Pavese alanında arazi stabilite haritası yapılarak farklı yazılımlardan üretilen duyarlılık haritalarının karşılaştırılması gerçekleştirilmiştir. Bu karşılaştırma sonucunda her iki yazılımın da birbirlerini destekleyen sonuçlar verdiği belirlenmiştir.

Ulusay ve ark. (2007); Çalışmada 2005 yılında oluşan Kuzulu heyelanının jeoteknik yönden değerlendirmesi yapılmıştır. Çalışmada Kuzulu heyelanının oluşum mekanizması ve tanımlanması yapılarak oluşan çamur akıntılarının çevreye etkileri değerlendirilmiştir. Çalışmada araziden alınan örneklerin indeks ve mekanik özellikleri belirlenmiş geriye analizler yapılarak kaymada etkili olan parametre değerleri belirlenmiş, gelecekte oluşacak olan depremlerin bu kütle hareketlerine etkisi incelenmiştir. Yapılan simülasyonlar sonucunda çamur akıntısı maksimum hızının 14.4 m/s ve akma hızının da 13.6 m/s olduğu belirlenmiştir.

Akgün ve Türk (2010); Bu çalışma kapsamında, heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında en fazla kullanılan yöntemlerden iki ve çok değişkenli istatistik yöntemler ile sezgisel yöntemin karşılaştırması yapılmıştır. Amaca yönelik olarak, Ayvalık ilçesi (Balıkesir) ve yakın çevresi inceleme alanı olarak seçilmiş ve toplam 45 heyelan haritalanmıştır. Morfolojik, jeolojik ve arazi kullanımı verileri, Coğrafi Bilgi Sistemleri kapsamında mevcut topoğrafik ve ilgili tematik haritalar kullanılarak üretilmiştir. Çalışma alanında, heyelana neden olan parametreler olarak; yamaç eğimi ve yönelimi, litoloji, kayaların ayrışma durumu, akarsu gücü indeksi, topografik nemlilik indeksi, drenaj ağından uzaklık, yapısal unsurların yoğunluğu, arazi ve bitki örtüsü yoğunluğu dikkate alınmıştır. Bu heyelan parametreleri, bulanık üyelik fonksiyonları yardımıyla ortak bir ölçekte standartlaştırılmıştır. Daha sonra, her bir parametrenin heyelan oluşumuna katkısı; benzerlik oranı, mantıksal regresyon ve analitik hiyerarşi yöntemleri kullanılarak incelenmiş ve bu parametrelerin ağırlık değerleri hesaplanmıştır. Her bir yöntemle belirlenen ağırlık değerleri dikkate alınarak heyelan duyarlılık haritaları üretilmiş, üretilen haritaların performansları, mevcut heyelan lokasyonları ile karşılaştırılarak EAA (Eğri Altındaki Alan) yaklaşımıyla sınanmıştır. Buna göre, EAA değerleri sırasıyla benzerlik oranı yöntemi için 0.76, mantıksal regresyon için 0.77 ve analitik hiyerarşi yöntemi için 0.89 olarak

belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre inceleme alanı için en başarılı heyelan duyarlılık değerlendirmesinin, analitik hiyerarşi yöntemi ile olduğu görülmüştür.

Ozdemir (2011a); Bu çalışmada Akşehir ilçesinin batısında yaklaşık olarak 373.112 km²'lik bir alanın heyelan duyarlılık incelemesi WOFE (Weight of Evidence) yöntemiyle yapılmıştır. Çalışma alanında 90 adet heyelan belirlenmiştir. Bu heyelanlardan 80 tanesi heyelan duyarlılık haritasının üretilmesinde, 10 tanesi ise üretilen heyelan duyarlılık haritasının doğruluğunun kontrolünde kullanılmıştır. Heyelan duyarlılık analizinde heyelana etki eden 19 faktör (Eğim, eğim yönü, ıslaklık indeksi, faya uzaklık, geçirimsizlik, arazi kullanımı, drenaj ağı yoğunluğu, sediman taşıma kapasitesi indeksi, kaynak yoğunluğu, drenaj ağından uzaklık, fay yoğunluğu, yükseklik, faya uzaklık, jeoloji, süreksizlik-yamaç eğimi ilişkisi, plan eğriliği, profil eğriliği, akarsu aşındırma gücü, yağış) kullanılmıştır. Analiz sonucunda çalışma alanının 9%'unun heyelan duyarlılığının yüksek olduğu belirlenmiştir. Çalışma alanında orta, düşük ve çok düşük heyelan duyarlılığında olan bölgeler sırasıyla 8, 23 ve 60% 'lık bir alan kapsamaktadır. Çalışma alanında yüksek heyelan duyarlılığının; Harlak ve Deresine formasyonları ile yüksekliğin 1100-1600 m, eğim açısının 25°-35° ve eğim yönünün 22.5-157.5° olduğu bölgelerde olduğu belirlenmiştir.

Ozdemir (2011b); Bu çalışmada Sultan Dağları potansiyel su kaynağı haritası FR (frekans oranı), WOFE (weight of evidence) ve LR (Lojistik Regresyon) metotlarıyla üretilmiştir. Bu haritaların üretilmesinde kaynak oluşumuyla ilişkili 17 parametre (Eğim, eğim yönü, ıslaklık indeksi, faya uzaklık, geçirimsizlik, arazi kullanımı, drenaj ağı yoğunluğu, drenaj ağından uzaklık, fay yoğunluğu, yükseklik, faya uzaklık, jeoloji, sediman taşıma kapasitesi indeksi, plan eğriliği, profil eğriliği, akarsu aşındırma gücü, yağış) kullanılmıştır. Her modelin doğruluğu ROC (Receiver Operation Characteristics) eğrisi yöntemiyle belirlenmiştir. Buna göre frekans oranı, weight of evidence ve lojistik regresyon yöntemlerinin doğruluğu sırasıyla 0.903, 0.880 ve 0.840 olarak hesaplanmıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

İnceleme alanı Türkiye coğrafya bölgelerinden İç Anadolu, Akdeniz ve Ege bölgeleri sınırında yer alır. İdari bakımdan Konya iline ve Isparta iline bağlıdır. İnceleme alanı Konya il merkezinin 135 km kuzeybatısında yer almaktadır ve toplam 373.112 km² lik bir alanı kapsamaktadır. Çalışma alanının kuzeydoğusunda Akşehir Gölü, doğusunda Akşehir ilçesi, batısında Yalvaç havzası, kuzeyinde Sultandağı ilçesi, güneyinde ise Şarkikaraağaç ilçesi bulunmaktadır (Şekil 1.2)

CBS esaslı heyelan duyarlılığının belirlenmesinde kullanılan değişkenler heyelan incelemesinin yapıldığı yerin özelliklerine ve araştırmacıya göre farklılıklar göstermektedir. Duyarlılık incelemelerinde, topografik eğim, yamaç eğim yönü, deniz seviyesinden yükseklik, yamaç profil eğriliği, yamaç plan eğriliği, yamaç tanjansiyel eğrilik, topografik nem indeksi, yeraltısu derinliği, akarsu aşındırma indeksi, akarsu sediment taşıma kapasitesi indeksi, litoloji, litolojinin ayrışma bozuşma derecesi, ayrışma-bozuşma derinliği, tabakalanma doğrultu ve eğim yönünün yamaçla ilişkisi, rölatif geçirgenlik, arazi kullanımı, süreksizlik, yer malzemesinin jeomekanik değerleri, drenaj ve yol ağı yoğunluğu, faya ve/veya drenaj ağına uzaklık, deprem ivmesi, yağış türü ve miktarı, süresi gibi çok sayıda değişken yaygın olarak kullanılabilir. Çoğunlukla bu değişkenlerden araştırmacının değerlendirmesine göre etkin olabileceği olanlar seçilerek kullanılmaktadır.

Bu çalışmanın amaçlardan birisi de daha önce Akşehir çevresinde oluşturulan duyarlılık haritalarının bir başka yöntemle değerlendirilmesidir. Burada yöntem farklılık etkisinin tam anlamıyla ortaya konulabilmesi amacıyla Akşehir çevresi heyelan duyarlılık haritası yapımında kullanılan aynı etkenler bu çalışmada da kullanılmıştır. Dolayısıyla Ozdemir (2011a) tarafından üretilerek kullanılan yamaç eğimi, yamaç eğim yönü, ıslaklık indeksi, faya uzaklık, geçirimsizlik, arazi kullanımı, drenaj ağı yoğunluğu, sediman taşıma kapasitesi indeksi, kaynak yoğunluğu, drenaj ağından uzaklık, fay yoğunluğu, yükseklik, faya uzaklık, jeoloji, plan eğriliği, profil eğriliği, akarsu aşındırma gücü, yağış miktarı haritaları ve dolayısıyla faktörleri bu çalışmada da kullanılmıştır. Arazi eğimi, yükseklik, eğim yönü, yamaç plan, profil eğrilikleri, topografik nem indeksi ve akarsu aşındırma indeksi ise DEM (Dijital Elevation Model)

haritasından üretilmiştir (Ozdemir, 2011a). Bu bölümde yukarıda sayılan haritaların özelliklerine yer verilmiştir.

3.1.1. Heyelan karakteristikleri

Çalışma alanının sayısal yükseklik modeli harita genel komutanlığınca hazırlanan 1/25000 ölçekli Afyon-L 26-b1, Afyon-L 26-b2, Afyon-L 26-b3, Afyon-L 26-b4, Afyon-L 26-c1, Afyon-L 26-c2 topografik haritalarının sayısallaştırılması ile üretilmiştir.

Harita önce coğrafi bilgi sistemi yazılımı olan ArcGIS9.3'e import edilmiş daha sonrada bilinen koordinatların tanıtılması ile harita gerçek konumuna taşınmıştır. Aynı koordinatlarda oluşturulan şekil dosyasına eş yükselti eğrileri çizilerek sayısallaştırılmıştır. Bu şekil haritası daha sonra raster formatına dönüştürülmüştür. İnceleme alanının sayısal yükseklik modeli Şekil 3.1' de verilmiştir. Sayısal yükseklik modeli 20mx20m hücre boyutlu ESRI (2008) Grid formatına dönüştürülerek analizlerde kullanılmıştır.

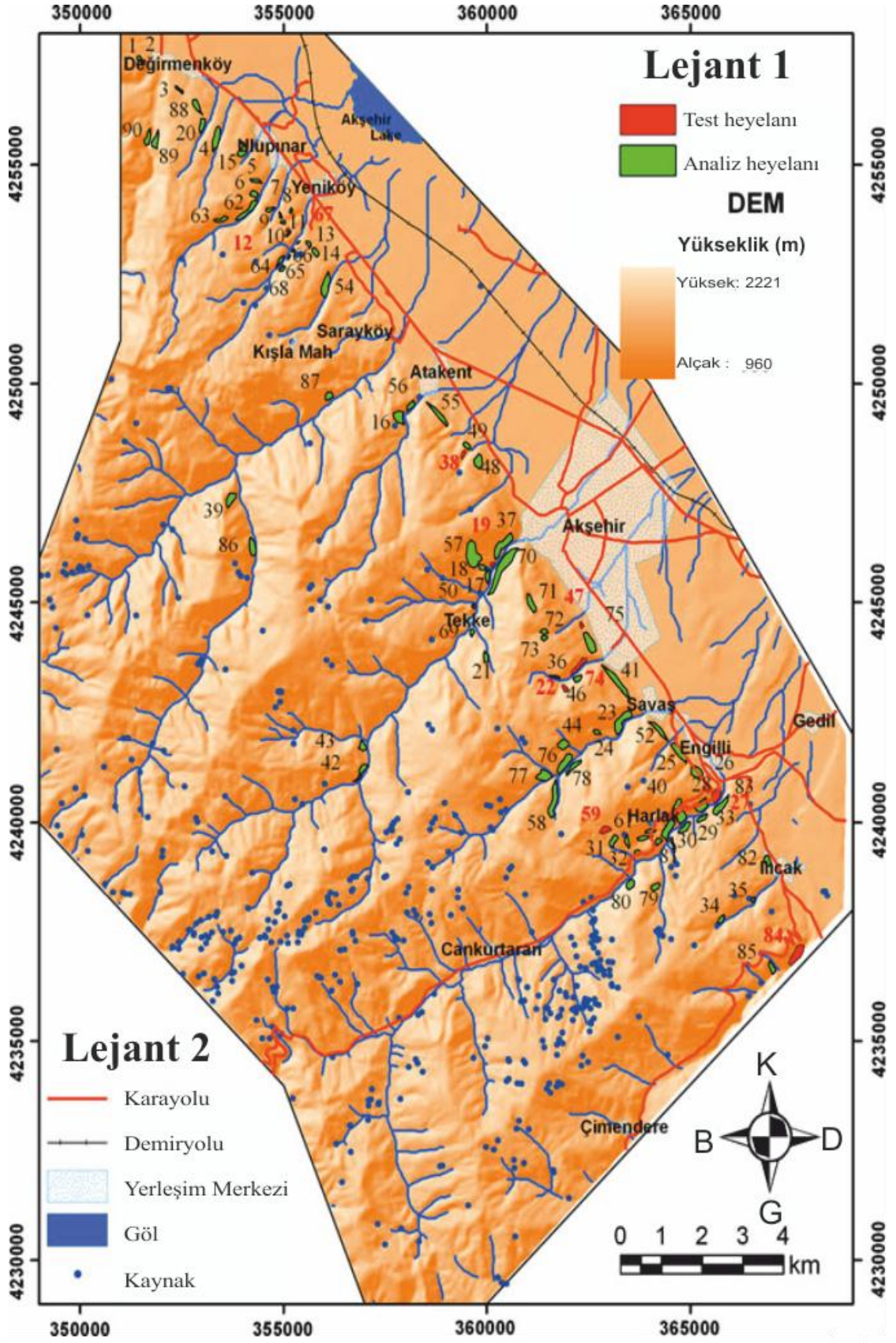
ESRI Grid formatının avantajı ArcGIS yardımıyla otomatik olarak oluşturulmasıdır. Grid hücreler referans harita birimi haline gelen alanı önceden tanımlanmış boyutlardaki karelere bölen raster tabanlı CBS (Coğrafi Bilgi Sistemi) kullanıcıları tarafından tercih edilmektedir. Burada her grid hücresine hesaba katılan her faktör (morfolojik, jeolojik, arazi kullanımı vb.) için bir değer verilir. Alternatif olarak, her biri bir tek duraysızlık faktörünü haritalandıran bir yığın raster tabakaları hazırlanır (Guzetti ve ark, 1999).

Heyelan duyarlılık değerlendirmelerinin ilk adımı, geçmişte meydana gelen heyelanlar hakkında bilgi edinmektir. Çünkü gelecekteki heyelanların mevcut ve geçmişte olmuş heyelanlarla benzer şartlar altında gerçekleşebileceği varsayılmaktadır (Lee ve ark., 2004; Yılmaz, 2009; Jadda ve ark., 2009). Bu nedenle, heyelan duyarlılık çalışmalarında ihtiyaç duyulan en önemli verilerin başında, “heyelan envanter haritaları” gelmektedir. Heyelan envanter haritaları, arazideki mevcut heyelan alanlarının alansal dağılım ve özelliklerinin gösterildiği haritalardır. Bu haritalar, arazide fark edilebilir heyelanları göstermektedir. (Cevik ve Topal, 2003; Yalçın, 2007; Reis ve ark., 2009)

Heyelan envanter haritalaması; hava fotoğraflarını yorumlama, arazi inceleme ve literatür araştırması gibi farklı teknikler kullanılarak yapılır (Jaiswal ve ark, 2010).

Mevcut heyelan yerlerinin mekansal dağılımını gösteren haritalar heyelan envanteri hakkında bilgi sağlar (Nandi ve Shakoor, 2009).

İnceleme alanı heyelan haritası, daha önce sahada yapılmış jeoloji ve jeomorfoloji haritaları ve sayısal yükseklik modelinin incelenmesi ile belirlenen heyelanların arazide tetkik edilmesi ve bunların dışında arazi çalışmaları ile belirlenen heyelanların 1/25000 ölçekli topografik haritalara çizilmesi ile oluşturulmuştur. Ozdemir (2011a) tarafından yapılan bu çalışmalarla 90 adet heyelan tanımlanmıştır (Şekil 3.1). Heyelan envanter haritasında gösterilen 90 adet heyelandan 10 tanesi üretilen heyelan duyarlık haritasının doğruluğunu test etmek amacıyla ayrılmış, 80 adet heyelan ise duyarlılık analizinde kullanılmak üzere 20mx20m hücre boyutlu ESRI GRID formatına dönüştürülmüştür. 10 test heyelanının belirlenmesinde 1 ile heyelan sayısı olan 90 arasında 10 adet tesadüf (randomize) sayılar üretilerek bu sayılara karşılık gelen numaralı heyelanlar test heyelanı olarak belirlenmiştir. Heyelan envanter haritasında yeşil renk ile gösterilen poligonlar analizde kullanılan heyelanları (80 adet), kırmızı renk ile gösterilen poligonlar ise test heyelanlarını (10 adet) göstermektedir (Ozdemir, 2011a).



Şekil 3.1 İnceleme alanı heyelan envanter haritası (Ozdemir, 2011a)



Şekil 3.2. İnceleme alanında oluşmuş heyelanlar

3.1.2. Heyelanı Etkileyen Faktörler

3.1.2.1 Genel Jeoloji

Litoloji heyelanların meydana gelmesinde etkili olan başlıca faktörlerden birisidir. Çalışma alanının Demirkol (1977) tarafından yapılan ve Ozdemir (2011a) tarafından modifiye edilen jeoloji haritası EK 1' de verilmiştir.

Demirkol (1977), “Yalvaç-Akşehir Dolayının Jeolojisi” adlı çalışmasında, Yalvaç (ISPARTA) – Akşehir (KONYA) çevresinde tabanda Alt (?) – Orta Kambriyen yaşlı Çaltepe kireçtaşının bulunduğunu ve dereceli olarak Üst Kambriyen – Alt Ordovisiyen yaşlı, Sultandede Formasyonuna geçtiğini, bunların üzerine ise Üst Jura yaşlı Hacıalabaz kireçtaşının daha üstte ise Neojen yaşlı birimlerin açılı uyumsuzlukla yer aldığını belirtmiştir. Neojen’de, akarsu fasiyesli Bağkonak Formasyonu, taşkın ovası fasiyesli Göksöğüt Formasyonu ile gölsel Yarikkaya Formasyonu’nu ayırtlamıştır.






Demirkol ve ark. (1977), “Sultandağının Stratigrafisi ve Jeoloji Evrimi” adlı çalışmada bölgede otokton ve allokton birimlerin yer aldığını belirleyerek Kaledoniyen, Hersiniyen ve Alpin orojenezlerine bağlı olarak KB-GD eksenli kıvrımların geliştiğini vurgulamıştır.

Demirkol (1982); Batı Torosların kuzey kesimindeki yer alan, daha önce ayrıntılı aydınlatılmamış Yalvaç (İsparta)-Akşehir (Konya) dolayının yeniden incelemiştir. Haritalanan alanın en yaşlı litoloji topluluğu Alt(?)- Orta Kambriyen yaşlı-Çaltepe kireçtaşı ile başlar ve düşey yönde dereceli olarak Üst Kambriyen-Alt Ordovisiyen yaşlı, bölgenin egemen litolojisini oluşturan Sultandede formasyonuna geçer. Bunların üzerine diskordansla Orta-Üst Devoniyen yaşlı Engilli kuvarsiti ve düşey dereceli geçişli Harlak formasyonu gelir. Alt Karbonifer Kocakızıl formasyonu, Permiyen ise Deresine formasyonundan oluşmuşlardır. Mesozoyik; Üst Jura, Hacıalabaz kireçtaşı ile temsil edilmiştir. Daha üstte, Neojen yaşlı kaya birimleri açılı diskordansla başlar. Neojen’de; akarsu fasiyesli Bağkonak formasyonu, taşkın ovası fasiyesli Göksöğüt formasyonu ile göl fasiyesli Yarikkaya formasyonu ayırtlanmıştır.

Eren (1990); Engilli (Akşehir) ve Bağkonak (Yalvaç) yerleşim merkezleri arasında Sultandağları orta kesiminin tektonik tarihçesini aydınlatmaya yönelik bir çalışma yapmıştır. İnceleme sahasının tabanında yer yer mermerleşmiş, fakat genelde metamorfik kireçtaşı ve dolomit, üst kesiminin ince fillit ve metakumtaşı aratabakalı yumrulu kireçtaşlarından oluşan Alt (?)-Orta Kambriyen yaşlı Çaltepe formasyonunun

yer aldığını ve bunun üzerinde metakumtaşı, fillit aralanmalı, intraformasyonel çakıl içerikli metakonglomeralardan oluşan Üst Kambriyen-Alt Ordovisiyen yaşlı Sultandede formasyonunun bulunduğunu belirtmiştir. Üst kesimlerde ise tektonik olarak yer alan Hoyran Ofiyolitine ait şeyl, grovak piroklastik konglomera-breş ara katkılı diyabazik bileşimli yastık lavlar, Üst Jura-Üst Kretase yaşlı kireçtaşı olistolitine ait kireçtaşı ve dolomitler ile bu birimleri açısız uyumsuzlukla örten Üst Miyosen-Pliyosen yaşlı genellikle alüvyal yelpaze çekellerini karakterize eden moloz ve çamur akmaları ile örgülü nehir çökellerinden oluşmuş Bağkonak formasyonu ve Yarıkkaya formasyonunun yer aldığını ifade etmiştir. Sultandağları Masifi'nde üç ayrı dağ oluşum hareketinin etkileri ve bu hareketlere bağlı kıvrımlı ve bindirmeli yapılardan söz etmiştir. Hoyran Napı'nın GD'dan KB'ya sürüklenmiş olabileceğini vurgulamıştır. Yörenin Kaledoniyen ve Hersiniyendağ oluşum hareketleri ile kıvrımlı ve bindirmeli iç yapısını kazandığını, Alpin hareketlerle naplı bir yapıyı bünyesine ekleyip sonra yoğun olarak genç-tektonik hareketlerle Üst Miyosen ve sonrası blok faylanmaların etkisinde kaldığını belirtmiştir. İnceleme alanı ve dolayında Paleozoyik, Mesozoyik ve Senozoyik'e ait birimler yaygınca yüzeylemektedir (Demirkol, 1977). Paleozoyik'te Kambriyen-Permiyen arasında birçok birim ayıklanmıştır. Alt-Orta Kambriyen yaşlı 'Çaltepe kireçtaşı' ile başlayan istif dereceli olarak bölgenin egemen şist litolojisini oluşturan 'Sultandede Formasyonuna' geçer. Sultandede formasyonu üzerinde diskordan olarak 'Engilli kuvarsiti' gelmiştir. Engilli kuvarsiti ile geçişli bulunan 'Harlak formasyonu' mor renkli şistlerden oluşur (Demirkol, 1977). Daha üstte yer alan, Karbonifer'e ait olup litolojik farklılık gösteren kireçtaşları, 'Kocakızıl formasyonu' ve 'Kartalkaya kireçtaşı' üyesidir.

Mesozoyik'te Üst Jura ve Kretase'ye ait birimler bulunmaktadır. Transgresif Üst Jura, kireçtaşı ve dolomitik kireçtaşından oluşan 'Hacıalabaz formasyonu' ile başlar. Daha üstte yer alan Neojen yaşlı birimler bunların üzerine açılı diskordanslıdır. Miyosen'deki az tutturulmuş killikum ve çakıllara 'Bağkonak formasyonu' adı verilmiştir. En genç birim olarak ise Holosen ve Pleyistosen yaşlı alüvyonlar bulunmaktadır (Demirkol,1977) (EK 1).

ÜST SİSTEM	SİSTEM	SERİ	BİRİM ADLAMLARI	KALINLIK	SİNGE	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR	
SENOZOYİK	KUVATERNER	Holosen	Yeni Alüvyon	50	Qaly		Kil, silt, kum, çakıl	
		Pleyistosen	Eski Alüvyon	100	Qale		Yer yer tutturulmuş kil, silt, kum, çakıl	
		Neojen	Bağkonak formasyonu	200	Tb		Kırmızı-Kahve; kalın-orta tabakalı konglomera, kumtaşı ve çamurtaşı ardalanması	
MESOZOYİK	JURA	Malm	Hacıalabaz formasyonu	250	Jh		AÇILI UYUMSUZLUK Gri-mavi-kül renkli; orta tabakalı, fosilli yer yer dolomitleşmiş kireçtaşı ve killi kireçtaşı	
		KARBONİFER - PERMIYEN	Orta Karbonifer	Deresinek k. kçt. üyesi	100		Cpçok	Kireçtaşı: Kahve-sarı-beyaz-toprağimsi orta kalın katmanlı killi kireçtaşı
Üst Permiyen	Deresinek formasyonu		300	Cpçd	Kalkışt: Alacalı fillit, gri-sarı kumtaşı ve radyolarit aratabakalı, gri-siyah ince tabakalı kristalize kireçtaşı-kalkışt			
PALEZOYİK	DEVÖNİYEN	Alt Karbonifer	Kocakızıl formasyonu kireçtaşı üyesi	150	Ckok		Kireçtaşı: Gri-boz, çok sert, orta katmanlı, erimeli	
			Kocakızıl formasyonu	240	Cko		Kireçtaşı: Kahverengi-kırmızımsı, çok sert, kalın katmanlı kireçtaşı	
			Harlak formasyonu	210	Ch		AÇILI UYUMSUZLUK Mor-yeşil renkli fillit, metakumtaşı ve metakonglomera ardalanması	
	KAMBRIYEN	Üst Cambriyen - Alt Ordovisiyen	Orta-Üst Devöniyen	Engilli Kuvarsiti	220	De		Kuvarsit: Gri-siyah renkli fillit, aratabakalar şeklinde siyah yumru killi metakarbonat, pembe-beyaz renkli metakuvarsit ve metakonglomera
			Engilli kuv. mercanli kçt. üyesi	40	Dem	Kireçtaşı: Gri-boz, sert, ince-orta katmanlı, eklemli, fosilli		
			Sultandede formasyonu	>200	Os	AÇILI UYUMSUZLUK Gri-yeşil-pembe renkli fillit, kahverengi gri metakumtaşı, beyaz-pembe-gri kristalize kireçtaşı ve metakonglomera ardalanması		
Alt(?) - Orta Cambriyen	Üst Cambriyen - Alt Ordovisiyen	Çalitepe yamrak kçt. üyesi	50	eçy		Yumru kireçtaşı: Alacalı-mor, sert, ince-orta katmanlı, yumru, bol fosilli		
		Çalitepe kireçtaşı	200	eç		Kireçtaşı: Gri-beyaz, laminalı kristalize kireçtaşı ve dolomit		

Şekil 3.3. İnceleme alanı genelleştirilmiş stratigrafik sütun kesiti (Demirkol, 1977'den değiştirilerek)

3.1.2.1.1. Çaltepe Kireçtaşı (Eç)

Çaltepe Kireçtaşı çalışma alanının en yaşlı kaya birimidir (Demirkol,1977). İlk kez Dean ve Monod (1970) tarafından isimlendirilmiştir. İstifin başlangıcında dolomitli kireçtaşı, sonra da şeyl katkılı yumrulu kireçtaşı vardır. Bölgede mostraları genellikle KB-GD uzanımlıdırlar. Genellikle açık koyu boz, mavi, çok az gözenekli veya gözeneksiz, çok sert, orta kalın katmanlı, kırılğan ve yeryer dolomitleşmiştir.

Formasyon, tabandan tavana doğru üç farklı birimi içermektedir. Altta gri, kızıl kahve renkli dolomit, üste doğru koyu mavi, açık-koyu gri, beyaz renkli rekrystalize kireçtaşları ve en üstte alacalı pembe, mor, kül, krem renkli tabaka yüzeyleri kil sıvmalı ve ara katkılı yumrulu kireçtaşları ile temsil edilir. Birimin, Cankurtaran köyü batısında Sultandede formasyonu üzerine bindirdiği belirlenmiştir (Demirkol, 1977).

3.1.2.1.2. Çaltepe kireçtaşı üyesi (Eçy)

Çaltepe kireçtaşı içinde üye olarak ayrılan birim, ayırtman rengi ve litolojisi ile kılavuz bir seviye oluşturur. Alacalı mor renkli, sıkı, sert, ince-orta katmanlı ve yumruludur (Şekil 3.4). Çaltepe kireçtaşı ile Sultandede formasyonu arasında yer yer görülen ve ayrı bir üye olarak ayırtlanan birim, ayırtman rengi ve yumrulu litolojisi ile klavuz bir düzeydir.

Üst sınırı Sultandede formasyonu alt sınırı ise Çaltepe kireçtaşı ile düşey dereceli geçişlidir. Kalınlık en çok 50 m dir. Formasyon Alt(?)-Orta Kambriyen yaşlıdır (Demirkol ve ark., 1977).



Şekil 3.4. Çaltepe kireçtaşı üyesi, Akşehir-Yalvaç yolu üzeri

3.1.2.1.3. Sultandede formasyonu (EOs)

İnceleme alanının ve masifin en yaygın birimini oluşturan formasyon Demirkol (1977) tarafından adlandırılmıştır.

Gri-yeşil-pembe renkli fillit, kahverengi-gri metakumtaşı, beyaz-pembe-gri kristalize kireçtaşı ve metakonglomera ardalanması şeklinde görülür. Blumenthal (1947) bu birimi ‘‘Seydişehir Şisti’’ olarak adlandırırken, Brunn ve ark. (1971) ‘‘Seydişehir Şeylleri’’ ve Haude (1972) ‘‘Seydişehir Formasyonu’’ olarak göstermiştir.

Çalışma alanında yayılımı en fazla olan formasyondur. 149.8 km²’lik bir alana yayılmıştır. Sultandede formasyonunun alt kesimi, Gumbürdek üyesi üzerinde dereceli bir geçişle, türbidit kökenli gri-yeşil-mor renkli metakumtaşı ve fillit ardalanmasıyla temsil edilir (Eren, 1990).

Sultandede formasyonunun alt kesimlerinin grovak tipi çökel kayalarının metamorfizma geçirmesinden oluştuğu söylenebilir. Metamorfizmanın en belirgin etkisi yapraklanmanın gelişmesidir (Şekil 3.5). Yapraklanma düzlemleri ince serisit pullarının yönelimiyle belirlidir (Demirkol, 1982).



Şekil 3.5. Sultandede formasyonunda görülen yapraklanma düzlemleri

Altın Çaltepe formasyonu ile uyumlu olan Sultandede formasyonu, üstten Engilli formasyonu tarafından açılı uyumsuz, Hoyran Napı ve ilişkin birimler ile bindirmeli olarak örtülmekte ve birimin yaşı Üst Kambriyen ve Alt Ordovisiyendir (Demirkol ve ark, 1977).

3.1.2.1.4. Engilli formasyonu (De)

Sultandağı bölgesindeki Engilli Köyü güneyinde bulunmasından dolayı ‘Engilli Kuvarsiti’ olarak adlandırılmıştır (Haude, 1972).

Formasyonun başlıca litolojilerini; pembe-beyaz metakuvarsitler, yer yer gri siyah fillitler, metakuvars konglomeraları ve aratabakalar şeklinde gri-siyah yumruklilli metakarbonatlar oluşturur (Eren, 1990).

Engilli kuvarsitinde fosil bulunamamıştır fakat bu formasyona ait olan ‘Engilli mercanlı kireçtaşı’ üyesinde fosil bulunmaktadır. Gri, boz renkli, sıkı, sert, orta-kalın katmanlı, eklemlili ve bol fosillidir. Birimin içerisinde *Disphyllum goldfussi* fosiline

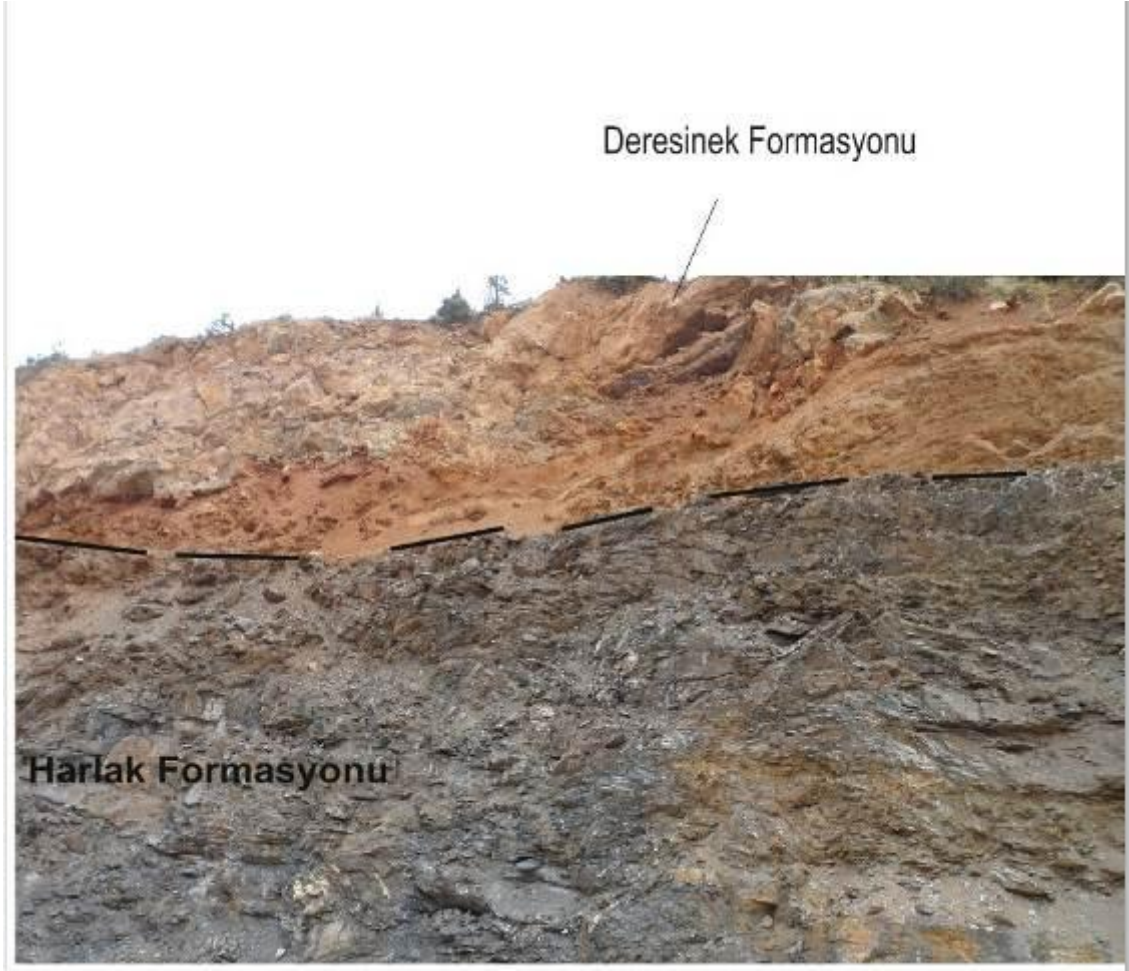
rastlanmıştır. Buna göre birimin yaşı Orta Devoniyen'dir (Abdüsselamoğlu, 1958). Sultandede formasyonu ile Engilli formasyonu arasında açısız uyumsuzluk vardır (Demirkol, 1977). Engilli formasyonu üstten uyumlu olarak Kirazlı formasyonu ile örtülmektedir (Eren, 1990). Formasyonun yaşı Orta-Üst Devoniyen'dir (Haude, 1972).

3.1.2.1.5. Harlak formasyonu (Ch)

Formasyon, başlıca genelde mor yer yer yeşil fillit ve vake türü metakumtaşı aralanmasından oluşmuş olup, içinde merceksel geometrili metakonglomera tabakalarına da rastlanılmaktadır (Eren,1990). Harlak mahallesi dolayında, mor rengi ve diğer litolojik özellikleri ile komşu birimlerden kolay ayrılan metapelitik-psammitik istif, Harlak formasyonu olarak tanımlanmıştır (Demirkol, 1977) (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Harlak formasyonunda görülen yapraklanma düzlemleri, Tekke Köyü



Şekil 3.7. Harlak formasyonu ve Deresineek formasyonu arasındaki dokanak, Akşehir-Yalvaç yolu üzeri

3.1.2.1.6. Kocakızıl formasyonu (Cko)

Formasyon adını tipik görüldüğü inceleme alanı dışında kuzeydeki Kocakızıl Tepe'den alır. Birim çok sert, kuvars damarlı, kalın katmanlı-som, düzensiz eklemlili, köşeli kırıklıdır. Arada damar durumunda dolerit vardır. Kocakızıl formasyonu içinde fosil izine rastlanmamıştır. Üzerindeki Deresineek formasyonu Orta Karboniferle başladığından birime Alt Karbonifer yaşı uygulanmıştır (Demirkol ve ark., 1977)

Kocakızıl formasyonu Kartalkaya kireçtaşı üyesi (Ckok); gri, boz renkli, çok sert, orta kalın katmanlı ve eklemlili kireçtaşlarından oluşur. Birim ismini de buradan almıştır (Demirkol, 1977).

3.1.2.1.7. Deresinek formasyonu (CPd)

Formasyon adı tipik görüldüğü inceleme alanı dışında 20 km kuzeydeki Deresinek köyünden alınmıştır (Demirkol, 1977). Genellikle Sultandede formasyonu üzerinde görülür, Sultandede formasyonunu oluşturan şistler ile aralarındaki diskordans çok belirgindir (Demirkol ve Sipahi, 1979).

Sarı, kahverenkli, sıkı tutturulmuş, çok sert, yer yer sileksit bantlı, yapraklanmalı, düzensiz eklemlili, kuvars damarlı, bol fosilli olup kristalize kireçtaşı ve kalsitten oluşur.

Formasyon içerisinde bulunan fosiller *Michelina sp.*, *Paleobigenaria sp.*, *Millerella cf. Marblensis.*, *Ozawainella angualata*, *Clima camminna sp.*, *Tetrataxis sp.* olarak belirlenmiştir (Haude, 1972). Birimin yaşı Üst karbonifer- Üst Permiyen olarak belirlenmiştir (Demirkol, 1977).

Deresinek kireçtaşı üyesi (CPçdk); kahve, sarı, beyaz renkli, sert, kuvars damarlı, sıkı tutturulmamış, yer yer toprağımsı kırıklı, orta-kalın katmanlı, eklemlili ve fosilli kireçtaşından oluşmaktadır (Şekil 3.8). Akşehir-Engilli arasında Akşehir ovasına bakan yamaçlarda Deresinek formasyonun içerisinde 4.6 km²'lik bir alanı kapsar. Birim Üst Permiyen yaşlıdır (Demirkol, 1982).



Şekil 3.8. Deresinek kireçtaşı üyesi, Akşehir- Engilli yolu üzeri

3.1.2.1.8. Hacıalabaz formasyonu (Jh)

Hacıalabaz formasyonu inceleme alanı batısında oldukça sürekli mostrası bulunan Hacıalabaz kireçtaşı ile temsil edilmiştir. Birim, yer yer ince bir taban çakıltaşı ile Paleozoyik temel üzerine diskordan olarak oturmaktadır. Üst sınırı ise Neojen yaşlı Bağkonak formasyonu ile diskordanslıdır. Adını inceleme alanı kuzeyindeki Hacıalabaz dağı'ndan alır (Demirkol ve Sipahi,1977).

Koyu gri, gri, mavi, krem renklerde, sert sıkı, az gözenekli veya gözeneksiz, çoğunlukla orta kalın fakat seyrek olarak ince katmanlı olan birim bölgesel olarak dayanımlı bir kaplumbağa kabuğu gibi alttaki oluşukları korumuştur. Kireçtaşında birincil gözeneklik ve geçirgenlik; diyajenez, yeniden billurlaşma ve dolomitleşme ile azalmıştır (Demirkol ve Sipahi,1977).

Formasyon içerisindeki *Textularia sp.*, *Eggerella sp.*, *Clypeina sp.* Üst Jura' yı işaret eder. Statigrafik olarak birimin altında açılı diskordans ile Deresine kireçtaşı üyesi bulunmaktadır. Üzerinde ise yine açılı diskordans ile Bağkonak formasyon gelmektedir.

3.1.2.1.9. Bağkonak formasyonu (Tb)

Bağkonak adı birimin geniş alan kapladığı ve tipik mevki olabilecek Bağkonak Köyü'nden alınmıştır. Formasyon Demirkol (1977) tarafından adlandırılmıştır.

İstif, genellikle pembe, krem, turuncu ve koyu kırmızı olabilen çakıltaşı, kumtaşından oluşmuştur. Çakıltaşı; koyu kırmızı, turuncu, kumlu, polijenik, kötü boylanmalı, iri çakıllı, karbonat çimentolu, kalın ve belirsiz katmanlı olup, uzaktan öbür litojilerden kolay ayırtlanır. Genellikle köşeli-az yuvarlanmış kuvarsit, kireçtaşı, şist üst temele ilişkin diğer kayalardan oluşmuştur. Birimin yaşı Neojendir (Demirkol ve Sipahi,1977).

3.1.2.1.10. Alüvyon (Qal)

Akşehir ovası boyunca uzanan eski alüvyonlar ve alüviyal yelpaze çökelleri, temelden türeme çeşitli boyutta yuvarlak çakıl, kum ve silt boyutunda yer yer tutturulmuş malzemelerden oluşmuştur (Şekil 3.9). Bu örtülerin daha sonra gelişen genç akarsu şebekeleri tarafından yeniden kazılmaları ile gevşek kırıntılardan ibaret yeni

alüvyonlar oluşmuştur. Yamaç molozları, özellikle Sultandağları etekleri boyunca Akşehir fayına koşut olarak gelişmiştir (Eren, 1990).

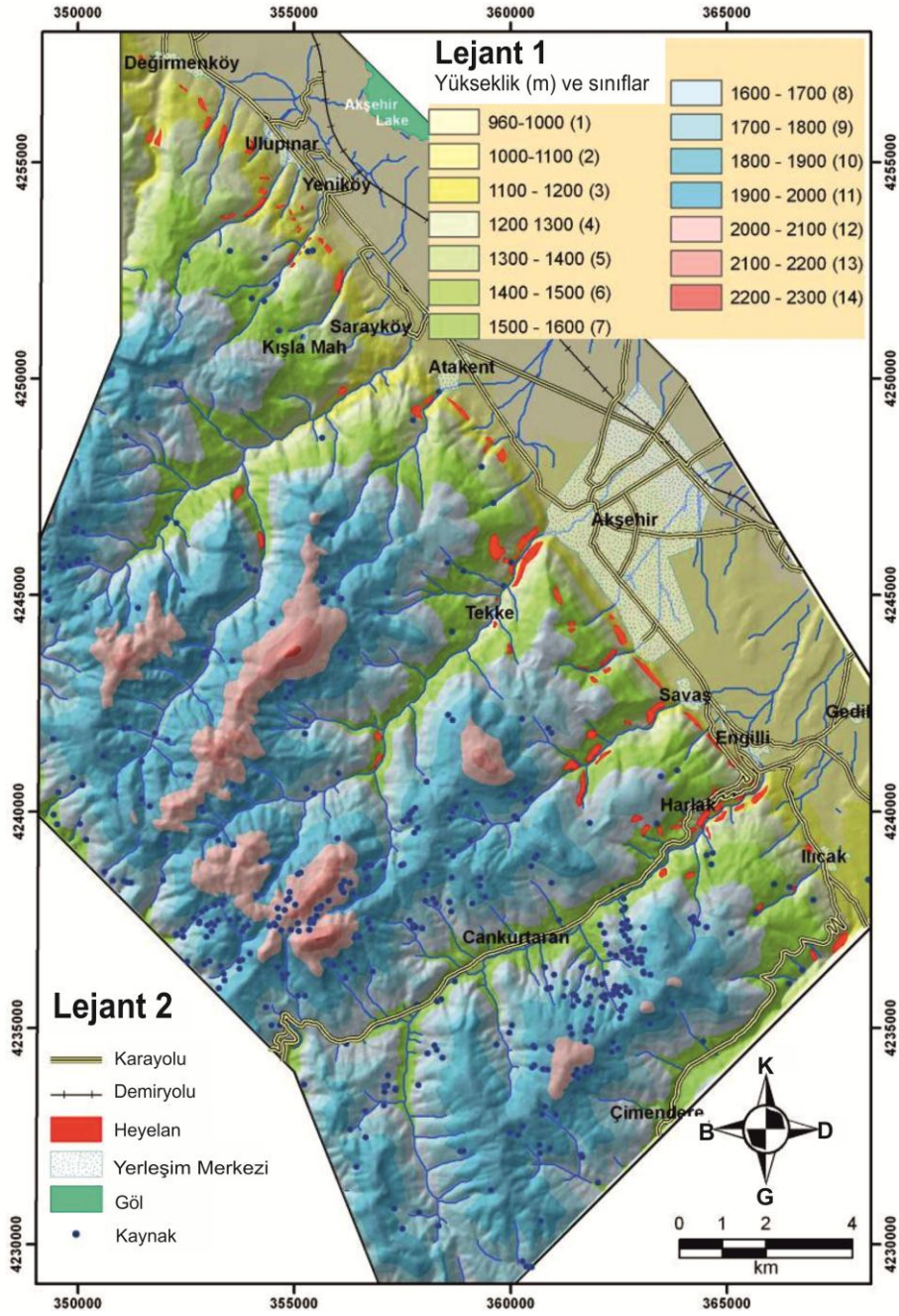


Şekil 3.9. İnceleme alanı alüvyon üzerindeki tarım arazileri, Ilıcak Köyü doğuya bakış

3.1.2.2. Yükseklik

Bazı araştırmacılar topografik (arazi) yüksekliğinin heyelan olasılık haritalarının hazırlanmasında kullanılan iyi bir faktör olduğunu söylemişlerdir (Pachauri ve Pant, 1992; Ercanoğlu ve Gökçeoğlu, 2002). Bir başka ifade ile heyelanların yüksek rakımlı yerlerde daha fazla olma eğilimi gösterdiği belirtilmektedir (Pachauri ve ark., 1998).

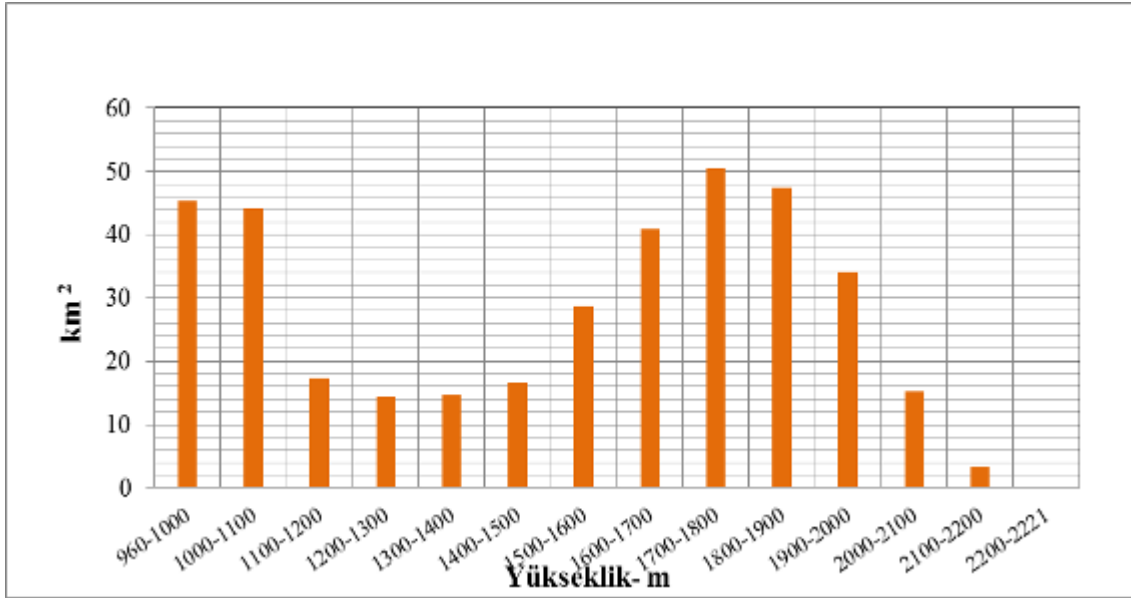
Yükseklik haritası, daha önceden üretilen DEM haritasından yararlanılarak üretilmiştir. Yükselti haritası, çalışma alanındaki kotlara göre oluşturulmuş tematik bir haritadır (Şekil 3.10). Bu haritada, arazi yüksekliğine göre incelenen alan 14 yükseklik sınıfına ayrılmıştır (Ozdemir, 2011a).



Şekil 3.10. İnceleme alanı yükselti haritası

İnceleme alanında en yüksek seviye yaklaşık 2221 m, en düşük seviye ise yaklaşık 960 m'dir. Arazi yüksekliğe göre incelenen alan genel olarak 960-1100 m arası, 1100-1500 m arası, 1500-2100 m arası ve 2100-2221 m arası olmak üzere 4 farklı grupta incelenebilmektedir. 960-1100 m yüksekliğindeki arazi yaklaşık 90 km² kadar olup toplam arazinin % 24'üne karşılık gelmektedir. Bu kesimler genelde ovada olup tarımın yapıldığı ve yerleşim olarak kullanılan alandır. İncelenen alanın 63 km²'lik (yaklaşık olarak %16.91'lik) kısmının yüksekliği 1200 ile 1500 m arasında

değişmektedir. 1500 m ile 2100 m olan dağlık kısmının yüzey alanı ise 192.19 km² (%51.52)' dir. İncelenen alanda 2100 ile 2221 m arasında zirveleri oluşturan kısmın yüzey alanı ise 3.37 km² (% 0.9)' dir (Ozdemir, 2011a) (Şekil 3.11).



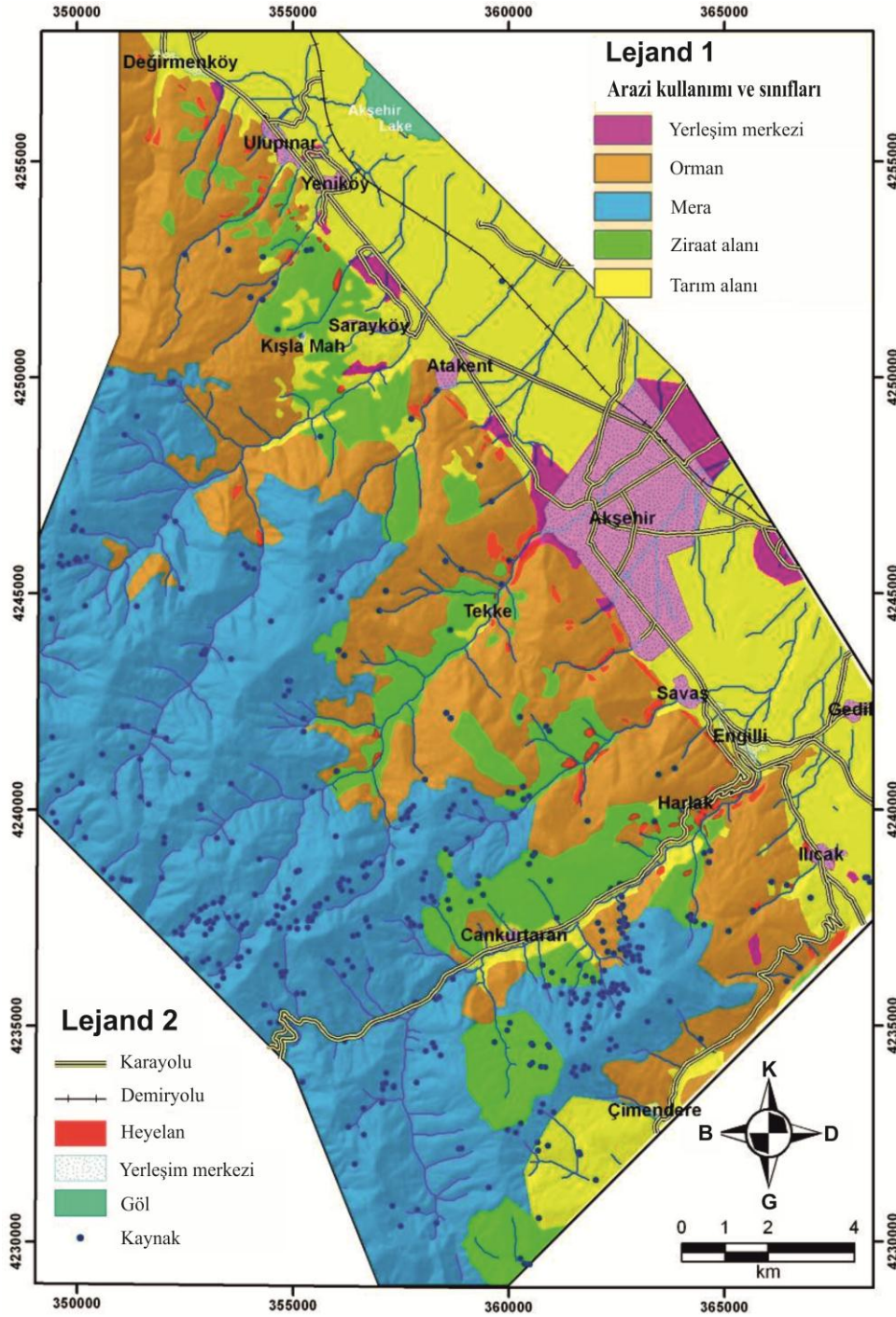
Şekil 3.11. İnceleme alanı yükseklik haritası sınıfları alansal dağılımı

3.1.2.3. Arazi kullanımı

Arazi kullanımı ve arazi örtüsü eğimli bölgelerin stabilitesini etkileyebilmektedir (Varnes, 1984). Birçok araştırmacı (Koukis ve Ziourkas 1991; Anbalagan 1992; Maharaj ,1993; Femandez ve ark, 1999; Jakob, 2000; Uromeihy ve Mahdavifar, 2000, Ercanoğlu ve Gökçeoğlu, 2002) bitki örtüsü ve arazi kullanımının yamaçların stabilitesi üzerindeki etkisini vurgulamışlardır.

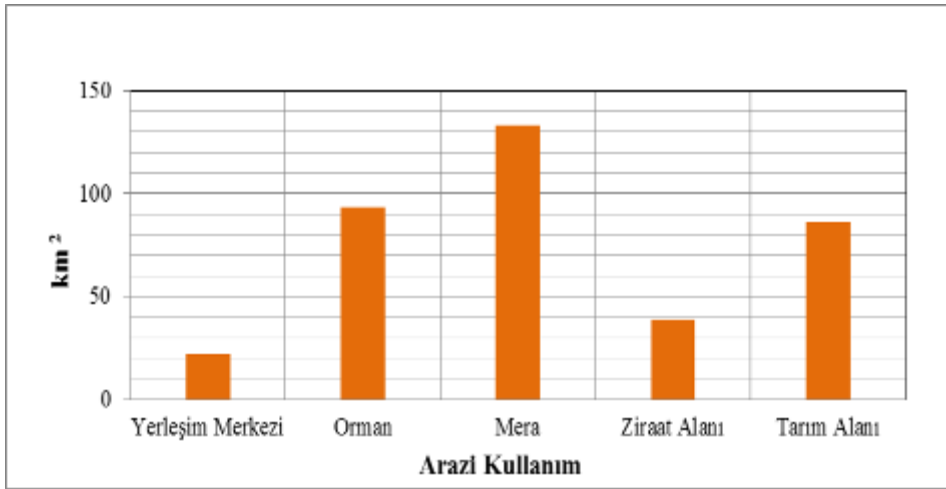
Bitki örtüsünün olduğu alanlardaki geniş ve güçlü kök sistemleri yamaç stabilitesine katkı sağlayabilmektedir (Greenway, 1987) Kıraç ve nadir arazi örtüsü ile kaplı alanlar daha hızlı erozyon ve ormanlara göre daha büyük duraysızlıklar göstermektedir (Anbalagan, 1992; Turrini ve Visintainer, 1998; Nagarajan ve ark., 2000; Dai ve ark., 2001; Cevik ve Topal, 2003; Perotto-Baldivieso ve ark., 2004).

İncelenen alanda arazi kullanım haritası Konya Orman Bölge Müdürlüğü' nden alınmıştır ve ArcMap ortamına işlenmiştir. Arazi kullanım haritası yerleşim alanı, tarım alanı, mera, orman, ziraat alanı olarak 5 sınıfa ayrılmıştır (Ozdemir, 2011a) (Şekil 3.12).



Şekil 3.12. Akşehir ve çevresi arazi kullanım haritası (Ozdemir, 2011 a)

İnceleme alanında en yaygın olarak bulunan mera alanları 133 km^2 'lik, ormanlık alanlar 93 km^2 , tarım ve ziraat alanları ise 125 km^2 lik bir yayılıma sahiptir. Yerleşim merkezleri ise inceleme alanında en az yayılıma sahiptirler (Şekil 3.13).



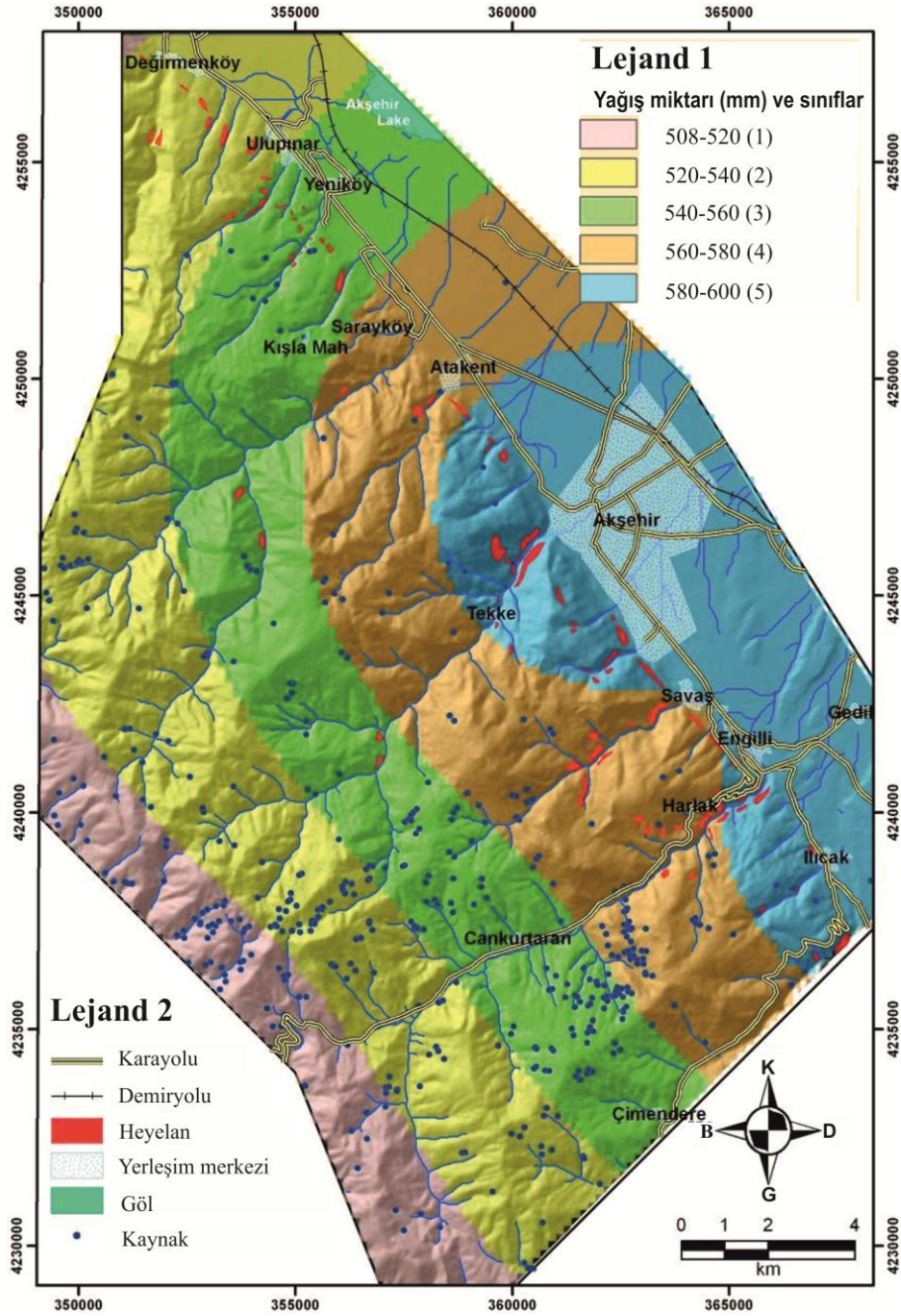
Şekil 3.13. İnceleme alanı arazi kullanım haritası sınıfları alansal dağılımı

3.1.2.4. Yağış miktarı

Heyelanların belli yönelimlere sahip yamaçlarda yoğunlaşmasında, incelenen alanın morfolojik yapısı, özellikle bölgenin genel yağış yönü ve güneş ışığı alması gibi meteorolojik olaylar etkili olmaktadır. Yoğun yağış alan yamaçlar, topografik eğim ile zeminin türü, geçirimsizliği, gözenekliliği, nem ve organik madde içeriği, bitki örtüsü ve yağışın meydana geldiği mevsim gibi birçok faktör tarafından kontrol edilen süzülme kapasitesine de bağlı olarak, hakim bakıya sahip yamaçlardaki malzeme diğer yamaçlara göre daha çabuk doygunluğa ulaşır. Buna bağlı olarak bu yamaçlarda boşluk suyu basıncının gelişmesine neden olur (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu, 2001).

Artan yağışlarla birlikte gözenek suyu basıncının artmasıyla yamaç stabilitesi bozulabilmekte (Anderson ve Sitar, 1995; Intarawichian, 2008; Iverson ve ark., 1997) ve kayaçların kesme dayanımı azalabilmektedir (Chen ve ark., 1995). Ayrıca, Dai ve Lee (2002), meydana gelen heyelanların aşırı yağışlar sonucunda tetiklendiğini belirtmiştir.

İnceleme alanının yağış haritasının oluşturulması için Akşehir yağış istasyonlarının uzun yıllar yağış ortalama değerleri kullanılarak bölgenin yağış haritası oluşturulmuştur. Haritanın oluşturulmasında öncelikle yağış istasyonlarının koordinatları belirlenmiştir. Bu koordinatlar ve yağış değerleri ArcMap ortamına girilerek burada "Spatial Analyst" araç çubuğundaki "İnterplote to raster" seçeneğinden "Inverse distance weighted" komutu vasıtasıyla incelenen alanın raster yağış haritası oluşturulmuştur (Şekil 3.14).



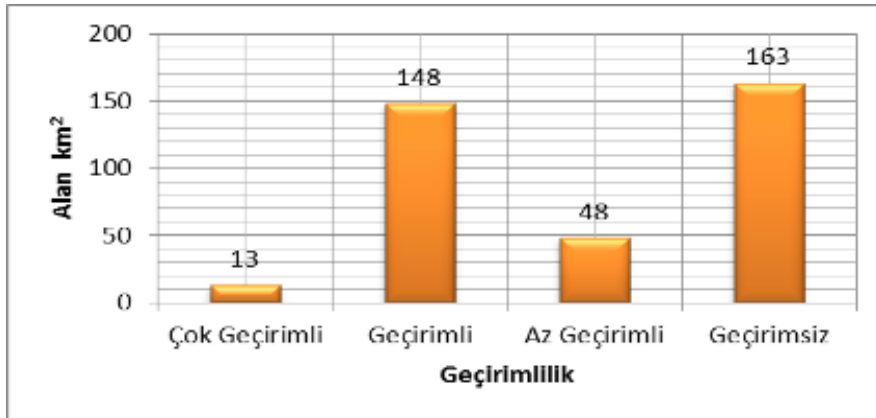
Şekil 3.14. İnceleme alanının yağış haritası ve sınıf değerleri

3.1.2.5. Rölatif Geçirimsizlik

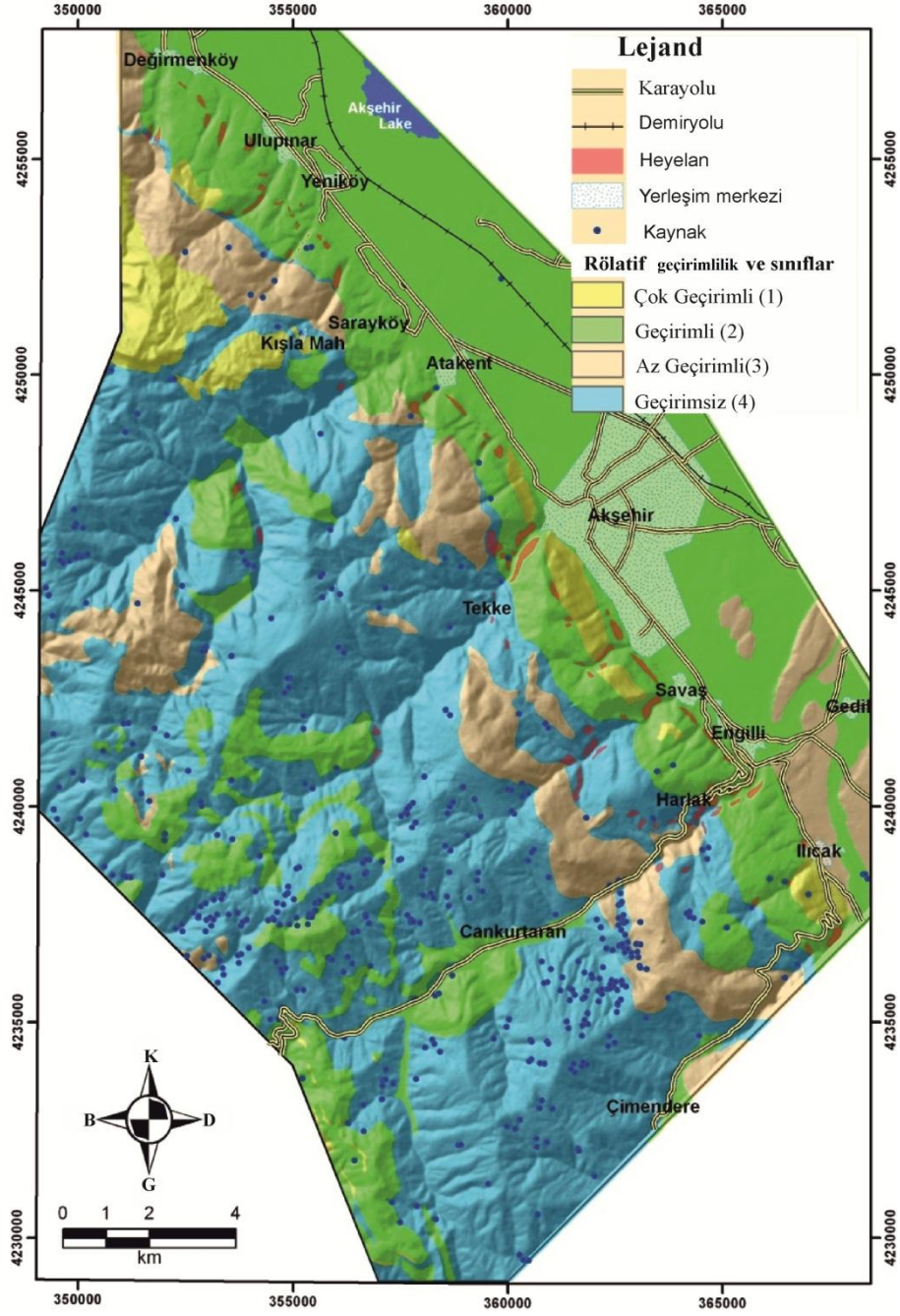
Ayrıca litolojik ve yapısal farklılıklar kayaların ve zeminlerin dayanımlarını ve geçirgenliğinde farklılıklar oluşturmaktadır (Ayalew and Yamagishi, 2005). Kütle hareketlerinin oluşmasında kayaçların litolojik, yapısal ve hidrojeolojik özelliklerinin oldukça fazla etkisi bulunmaktadır. Gevşek ve zayıf çimentolu, yoğun süreksizlik içeren kayaçların dayanımı azalmakta, bazen geçirimsizlikleri artmakta, bunun bir sonucu

olarak bünyelerine aldıkları su ile hem daha fazla zayıflamakta hemde ilave boşluk suyu basınçlarına maruz kalabilmektedirler. Bu etkenlerle kütle hareketlerinin oluşumu kolaylaşmakta veya tetiklenebilmektedir. Geçirimsizlikteki zıtlık ise kütle hareketlerinin oluşumunda etkili bir faktör olarak bilinmektedir. Bu sebeplerden dolayı incelenen alanın rölatif geçirimsizlik haritası oluşturulmuştur. Çaltepe kireçtaşı üyesi, Engilli, Hacıalabaz ve Deresineek formasyonları çok geçirimsiz formasyonlar olarak sınıflandırılmıştır. Kuvaterner yaşlı eski ve yeni alüvyon (çakıl, kum, kil-silt), Çaltepe formasyonu (kireçtaşı ve dolomit), Kocakızıl formasyonu (konglomera, kristalize kireçtaşı, dolomit, dolomitik kireçtaşı) ve Deresineek formasyonu (metamorfik kayalar, kristalize kireçtaşı, dolomit, şist) geçirgen (permeabil) formasyonlar olarak sınıflandırılmıştır. Kartalkaya, Bağkonak ve Engilli formasyonları az geçirimsiz formasyonlar olarak sınıflandırılmıştır. Seydişehir ve Harlak formasyonları (şist, fillit) ise geçirimsiz olarak sınıflandırılmıştır (Ozdemir, 2011a).

İncelenen alanın 13.36 km²'si çok geçirimsiz, 147.96 km²'si geçirimsiz, 48.42 km²'si az geçirimsizdir. İnceleme alanında en yaygın olarak geçirimsiz birimler (163.25 km²) bulunmaktadır (Şekil 3.15).



Şekil 3.15. İnceleme alanı permeabilite sınıfları ve alansal dağılımları



Şekil 3.16. İnceleme alanın rölatif geçirimsizlik haritası (Ozdemir,2011)

3.1.2.6. Eğim yönü

Eğim yönü heyelan oluşumu üzerinde dolaylı olarak etki yapmaktadır. Eğim yönü; zeminin nemliliğini, buharlaşmayı etkilemektedir (Jiménez-Pera'lvarez ve ark, 2009). Birçok araştırmacı (Carrara ve ark., 1982; Maharaj, 1993; Gökçeoglu ve Aksoy, 1996; Jakob, 2000; Nagarajan ve ark., 2000) eğim yönünü heyelana neden olan bir faktör olarak incelemiştir.

Çoğu araştırmacılar için belirli eğim yönündeki yüksek heyelan duyarlılığının hakim rüzgar yönü, kayaç yapısı ve fay yönelimiyle ilişkili olduğunu belirtmişlerdir (Ayalew ve Yamagishi, 2005; Fernandes ve ark., 2004)

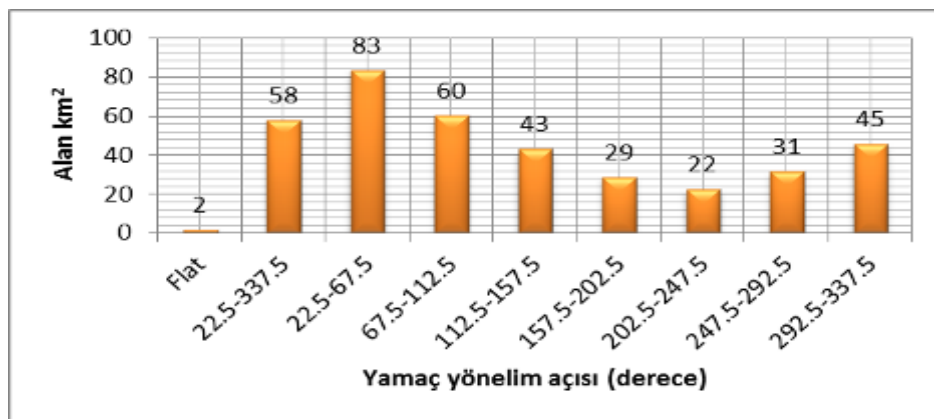
Heyelanların belli yönelimlere sahip yamaçlarda yoğunlaşmasında, incelenen alanın morfolojik yapısı, özellikle bölgenin genel yağış yönü ve güneş ışığı alması gibi meteorolojik olaylar etkili olmaktadır. Yoğun yağış alan yamaçlar, topografik eğim ile zeminin türü, geçirimsizliği, gözenekliliği, nem ve organik madde içeriği, bitki örtüsü ve yağışın meydana geldiği mevsim gibi birçok faktör tarafından kontrol edilen süzülme kapasitesine de bağlı olarak, hakim bakıya sahip yamaçlardaki malzeme diğer yamaçlara göre daha çabuk doygunluğa ulaşır. Buna bağlı olarak bu yamaçlarda boşluk suyu basıncının gelişmesine neden olur (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu, 2001).

Yamaç yönelim haritası; Ozdemir (2011a) tarafından DEM haritasından, ArcMap programında "Spatial Analyst" araç çubuğundaki "Surface Analysis" seçeneğinden "Aspect" fonksiyonu seçilerek üretilmiştir (Şekil 3.18).

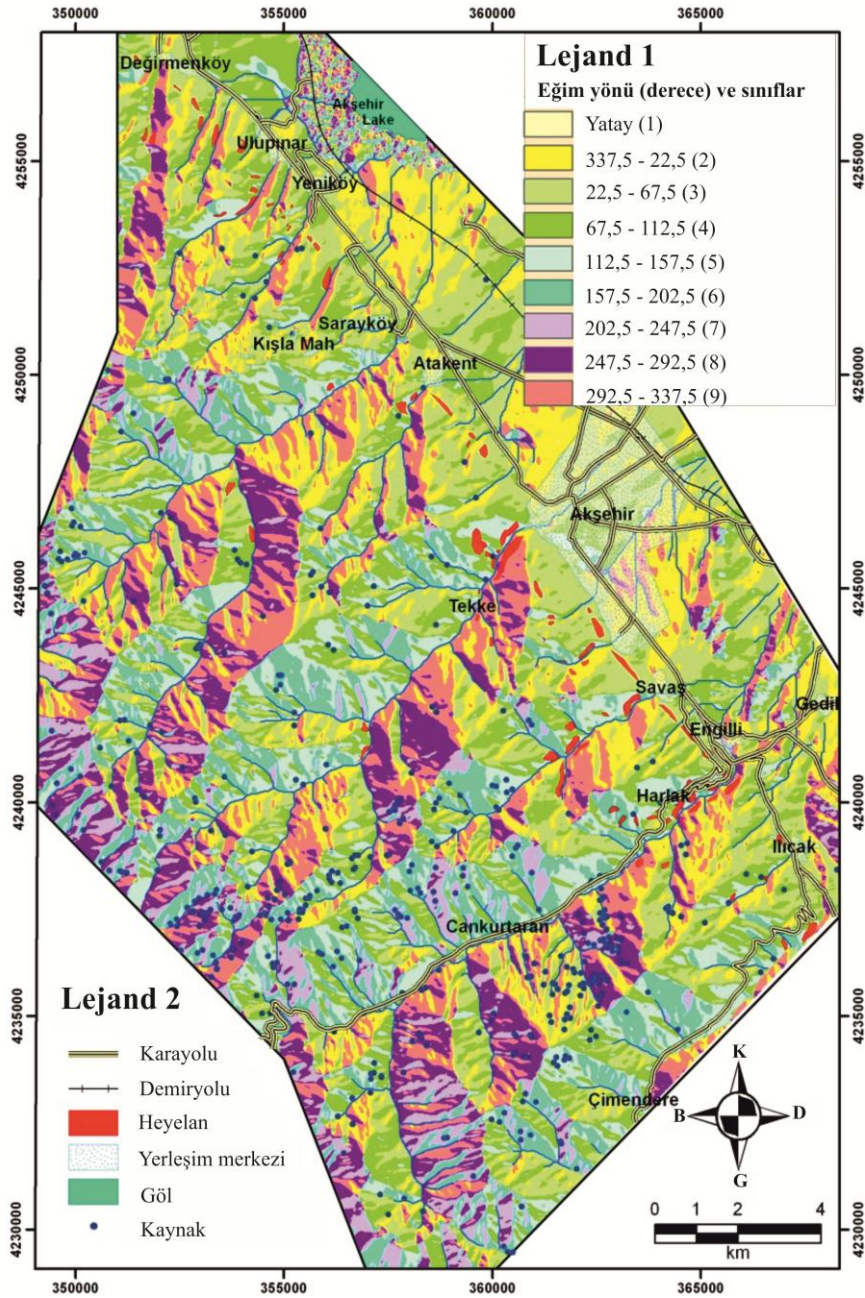
Yamaçların hangi yöne eğimli olduğunu gösteren bu haritada kuzey 0 derece alınarak saatin dönüş yönüne uygun olarak derecelendirilmiştir.

Heyelan analizinde 45 derecelik açılara göre kategorik yapı oluşturulmuştur. Eğim yönü haritası 9 sınıfa ayrılmıştır (Ozdemir, 2011a). Bu sınıflandırmada düz alanlar (0), kuzey (337.5-22.5°), kuzeydoğu (22.5-67.5°), Doğu (67.5-112.5°), Güneydoğu (112.5-157.5°), Güney (157.5-202.5°), Güneybatı (202.5-247.5°), Batı (247.5-292.5°) ve Kuzeybatı (292.5-337.5°) aralıklarındadır.

Çalışma alanında 83 km² ile 22.5-67.5° en çok görülen yamaç yönelimi değeridir. Bunu 60 km² ile 67.5-112.5°, 58 km² ile 22.5-337.5° yamaç yönelimli yamaçlar izlemektedir (Şekil 3.17).



Şekil 3.17. Yamaç yönelim açısı sınıfları alansal dağılımı



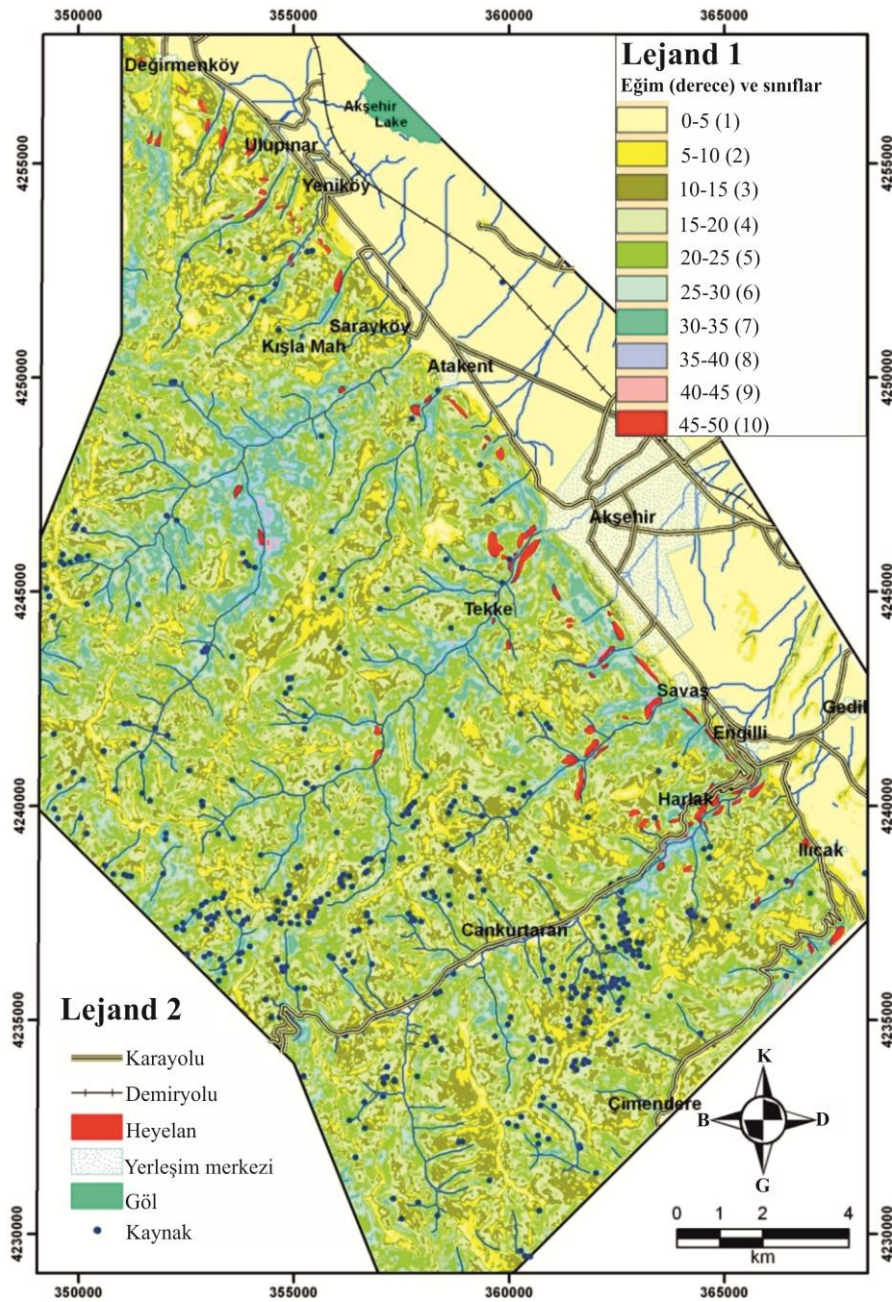
Şekil 3.18. İnceleme alanı eğim yönü haritası

3.1.2.7. Yamaç eğim açısı

Yamaç eğimi; heyelanların oluşmasına etki eden en önemli topoğrafik faktörlerden bir tanesidir. Bölgesel heyelan olasılık veya heyelan duyarlılık haritaları yapılırken bir çok araştırmacı (Roth, 1983; Borison ve Bottino, 1990; Koukis ve Ziourkas, 1991; Anbalagan, 1992; Pachauri ve Pant, 1992; Maharaj, 1993; Jager ve Wiczorek, 1994; Anbalagan ve Singh, 1996; Atkinson ve Massari, 1998; Baum ve ark.,

1998; Guzetti ve ark., 1999; Zêzere ve ark., 1999; Barredo ve ark., 2000; Guzetti ve ark., 2000; Jakob, 2000; Nagarajan ve ark., 2000) eğim değerlerini heyelanı hazırlayıcı faktörlerden biri olarak kabul etmiş ve analizlerinde kullanmışlardır. Daha önceki çalışmalar ve arazi gözlemleri eğimin artmasıyla heyelana karşı duyarlılığın arttığını göstermektedir (Yalçın, 2007).

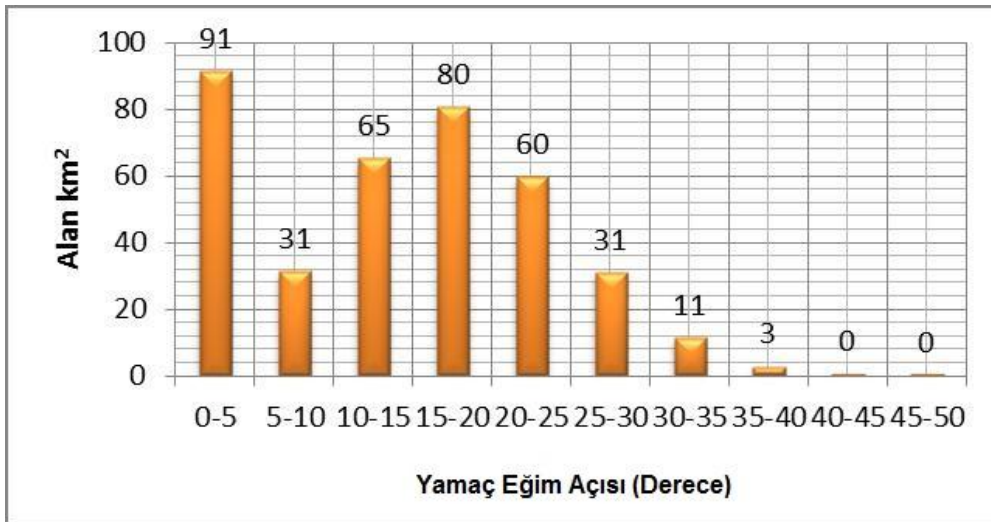
Eğim haritası DEM haritasından, ArcMap programı ile “Spatial Analyst” araç çubuğundaki “Surface Analysis” seçeneğinden “Slope” seçilerek oluşturulmuştur (Ozdemir, 2011a).



Şekil 3.19. İnceleme alanı eğim açısı haritası

İnceleme alanda yamaç eğimleri 0 derece ile 50 derece arasında değişmektedir. Eğim haritası 5° aralıklarla sınıflandırılmış ve 10 sınıfa ayrılmıştır. İncelenen alanda 91 km² ile 0-5° en çok yayılım gösteren eğim açısı derecesidir. Bunu 80 km² ile 15-20° eğim açısı değeri takip etmektedir. Çalışma alanında 30-50° arası eğim açısının görüldüğü yüzey alanı ise yaklaşık olarak 15 km²'dir.

İnceleme alanı yamaç eğim açısı sınıflarının alansal dağılımı Şekil 3.20' de gösterilmektedir.



Şekil 3.20. İnceleme alanı eğim açısı sınıfları ve alansal dağılımları

3.1.2.8. Arazi ıslaklık indeksi

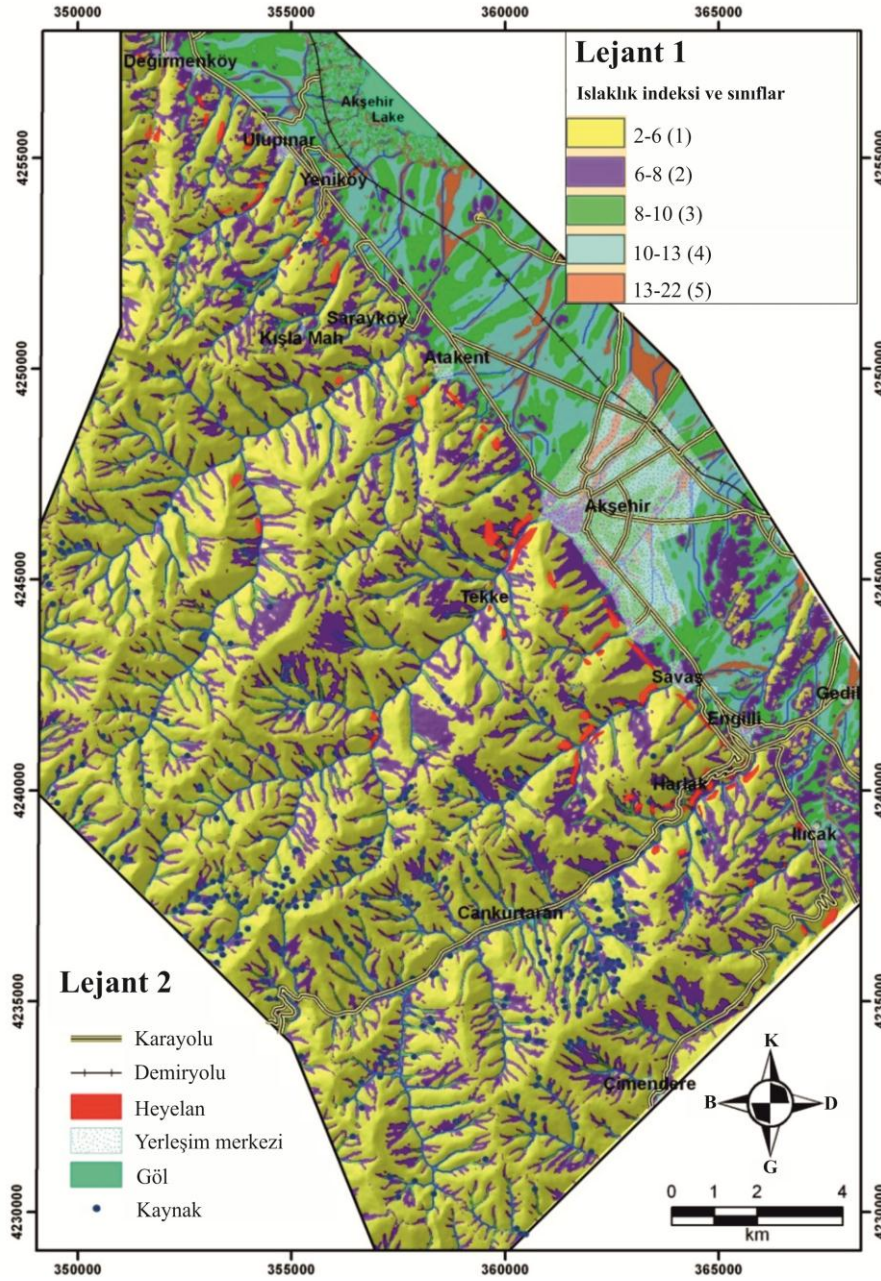
Islaklık indeksi; temel olarak zemin nem durumunu ve böylece yüzeyin topografik etkileri nedeniyle hidrolojik koşullar tarafından etkilenen heyelan alanları tahmin etmek için kullanılır (Gomez ve Kavzaoglu, 2005).

Topografik ıslaklık indeksi (TWI); havza su toplama alanı (A_s -m²/m) ile eğim açısı (S) arasındaki orandır (Moore ve ark., 1991).

$$TWI = \ln(A_s / \tan S) \quad (3.1)$$

Bu eşitlik havza su toplama alanının büyük, eğimin küçük olduğu yerlerde arazi ıslaklık indeksinin yüksek olduğunu öngörür. Bu koşullar heyelanlı bölgelerde drenaj yollarında ve su muhtevasının yüksek olduğu zonlarda görülür (Wilson and Gallant 2000).

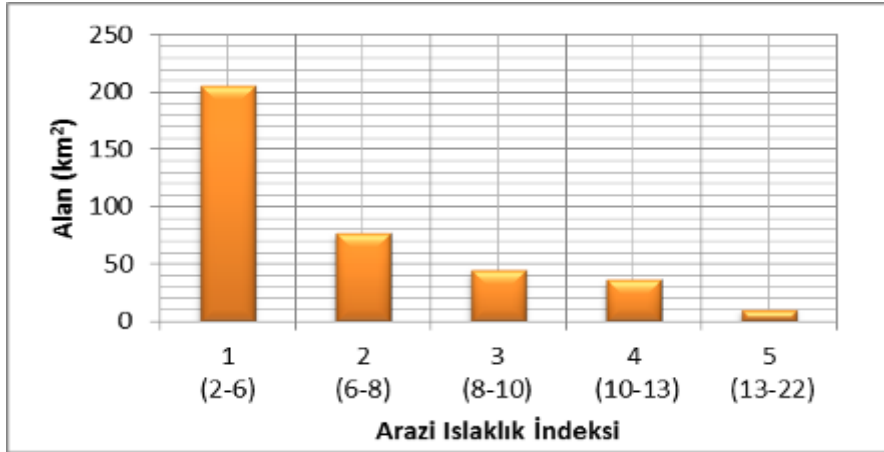
Arazi ıslaklık indeksi haritası daha önce üretilen DEM haritasından "TAS" programının "Compound Terrain Attributes" araç çubuğu yardımı ile oluşturulmuştur (Şekil 3.21).



Şekil 3.21. İnceleme alanını arazi ıslaklık indeksi haritası

Bu sınıflamada en düşük ıslaklık indeksi 1. sınıf, en yüksek indeks ise 5. sınıfa aittir. İnceleme alanında arazi ıslaklık indeksinin yüksek olduğu (13-22) bölgeler yaklaşık 10.04 km²'lik bir alanda yayılım göstermektedir. Bu bölgeler havza su toplama alanının büyük, eğimin küçük olduğu yerlerdir. Arazi ıslaklık indeksinin düşük olduğu

1. sınıf içindeki alan ise yaklaşık 205 km²'lik bir alanda yayılım göstermektedir (Şekil 3.22). 1. sınıf içindeki bu bölgeler arazide eğimin yüksek olduğu, su toplama havzasını küçük olduğu yerlerdir.



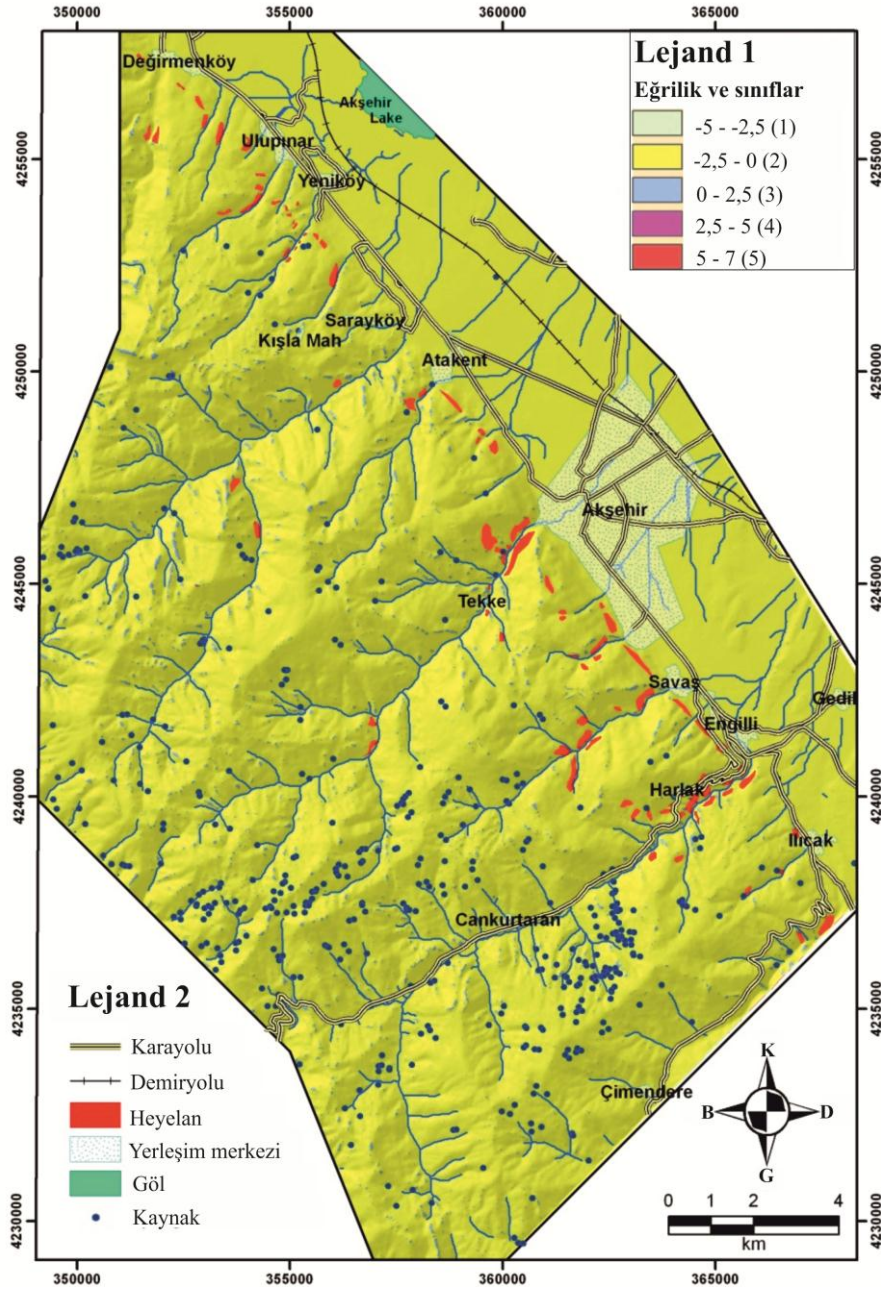
Şekil 3.22. İnceleme alanı arazi ıslaklık indeksi sınıfları ve alansal dağılımı

3.1.2.9. Yamaç eğriliği

Eğrilik değerleri, topoğrafyanın morfolojik yapısını göstermektedir (Lee ve Min, 2001; Lee ve ark., 2004; Erener ve Düzgün, 2010). Eğrilik haritaları, sayısal yükseklik modelinin ikinci türevi olarak elde edilirler ve eğimdeki değişimi gösterirler (Erener ve Düzgün, 2010). Pozitif eğrilik, bir hücrede yüzeyin yukarıya doğru dışbükey olduğunu, negatif eğrilik ise yüzeyin o hücrede yukarı doğru içbükey, sıfır değeri ise yüzeyin düz olduğunu temsil eder (Zhu and Huang, 2006). Uygulamadaki bakış açısına göre eğrilik drenaj havzasının fiziksel karakterini anlatarak heyelan davranışını anlamak için kullanılan bir yoldur

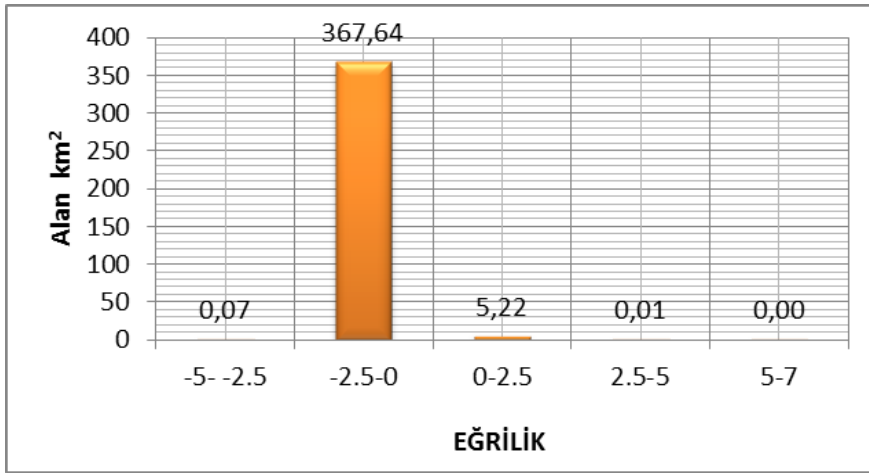
Heyelan duyarlılığının konkav ve konveks alanlarda yüksek çıkmasında buralarda yamaç şekline göre eğimin daha etkili olduğu şeklinde değerlendirilmektedir. Yüksek heyelan duyarlılığı hem konkav hemde konveks alanlarda gözlenebilmektedir.

Eğrilik haritası DEM haritasından ArcMAP programının ‘‘Spatial Analyst’’ araç çubuğu kullanılarak yapılmıştır (Şekil 3.23). Toplam eğrilikte negatif değerler konkav alanları, pozitif değerler ise konveks alanları tanımlamaktadır.



Şekil 3.23. İnceleme alanı eğrilik haritası

İncelenen alanın yamaç eğriliği 5 sınıfa ayrılmıştır. Yapılan sınıflandırmaya göre yamaç eğrilikleri -5 ile 7 arasında değişmektedir. İncelenen alanın 368 km²'sinde yamaç eğriliği negatif, geriye kalan 5 km²'lik kısmında ise yamaç eğriliği pozitifdir (Şekil 3.24). Bu da bize yamaçların tamamına yakınının konkav olduğunu göstermektedir.



Şekil 3.24. İnceleme alanı eğrilik sınıfları ve alansal dağılımı

3.1.2.10. Yamaç profil eğriliği

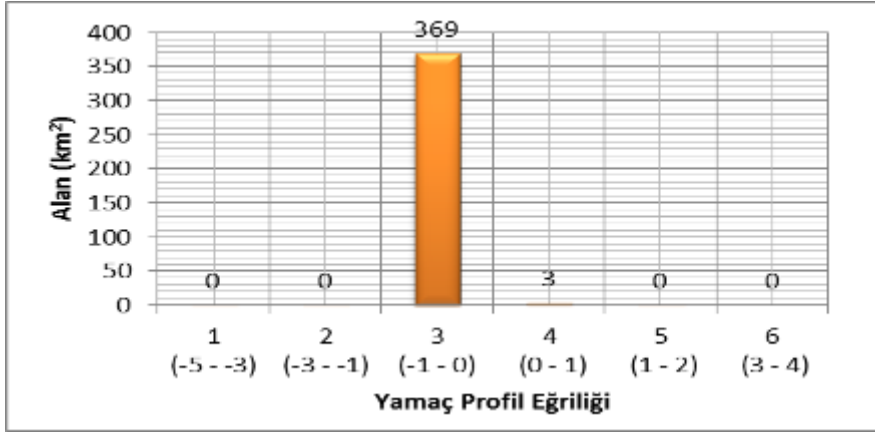
Profil eğriliğinde pozitif değerler konkav yamaçları, negatif değerler ise konveks yamaçları gösterirler.

Yukarıdaki tanıma uygun olarak profil eğrilik haritasında negatif alanlar aşındırma alanları, pozitif eğrilik gösteren alanlar ise biriktirme alanlarını göstermektedir. Profil eğriliği su akışının hızlanmasını ve yavaşlamasını ve buna bağlı olarak da malzemenin taşınmasını ve erozyonu etkiler (Wilson and Gallant, 2000).

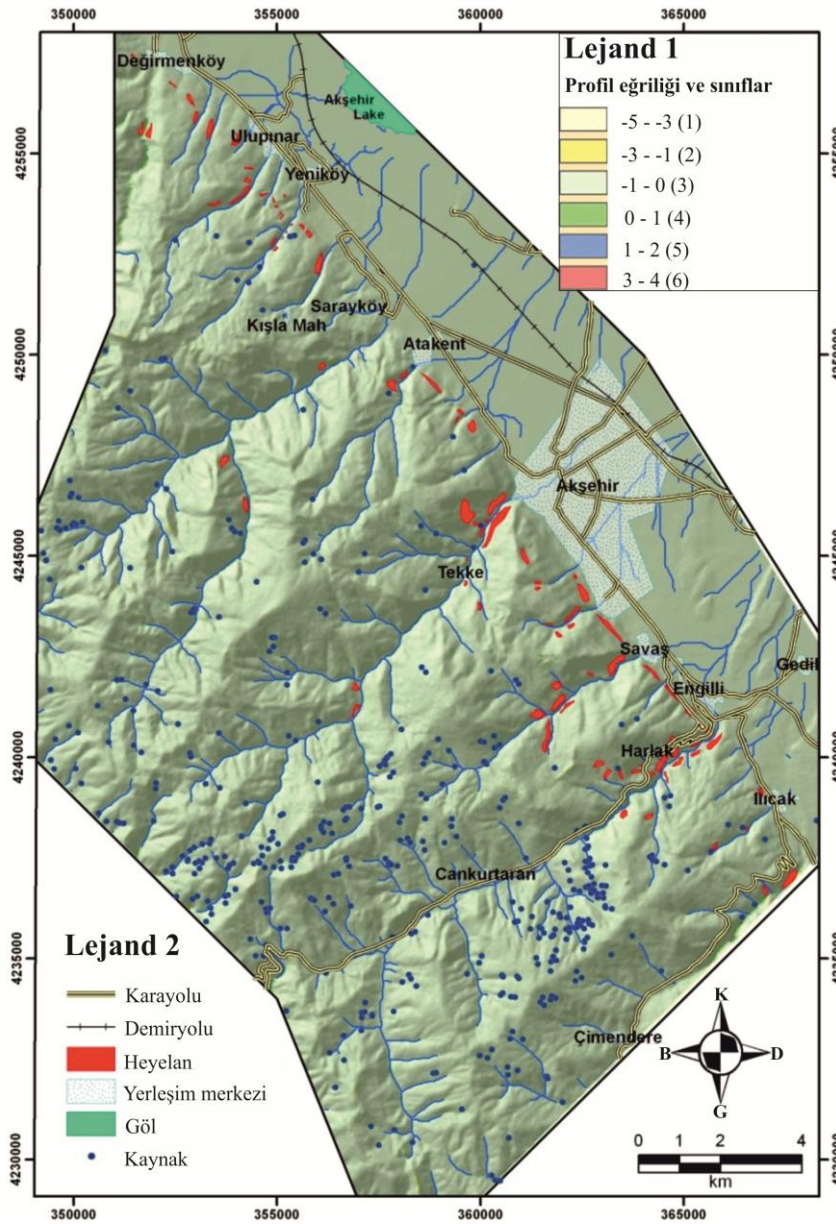
Eğrilik haritası önceden oluşturulmuş DEM haritasından ArcMap programının ‘‘Spatial Analyst’’ araç çubuğu yardımı ile hazırlanmıştır (Şekil 3.26).

İnceleme alanı yamaç profil eğrilik haritası 6 sınıfa ayrılmıştır. Yapılan sınıflandırmaya göre profil eğriliği değerleri -5 ile 4 arasında değişmektedir.

İnceleme alanının 370 km² lik bölümünde yamaç profil eğriliği negatiftir. Yaklaşık olarak 3 km² lik kısmı ise pozitif profil eğriliğindedir. Bu durum inceleme alanının % 99’unun aşındırılan arazi sınıfında olduğunu göstermektedir. Yine arazide egemen profil eğriliğinin (-1 – 0) aralığında olduğunu görmekteyiz (Şekil 3.25)



Şekil 3.25. İnceleme alanı yamaç profil eğriliği sınıfları alansal dağılım



Şekil 3.26. İnceleme alanın yamaç profil eğrilik haritası

3.1.2.11. Yamaç plan eğriliği

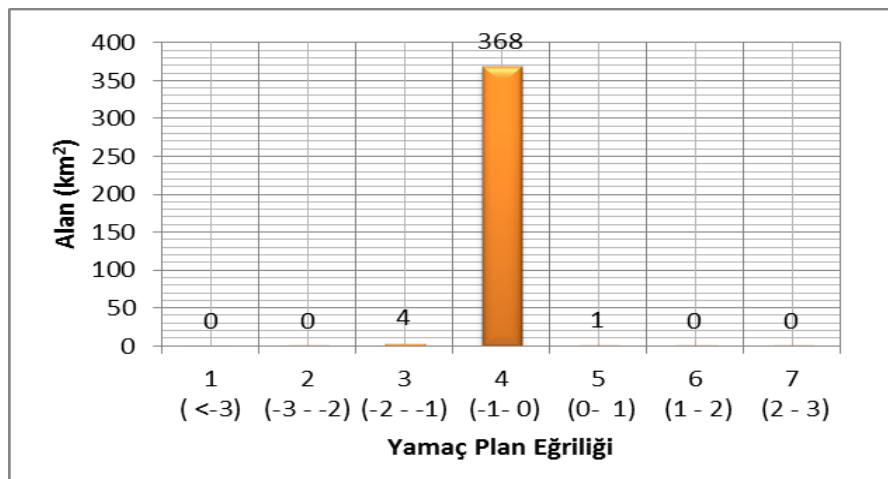
Plan eğriliği, ıraksak ve yakınsak akış alanlarını belirlenmesini sağlayan, konturlara paralel olan eğimin eğriliğidir.

Yakınsak akış alanı genellikle yüksek erozyon ve nakil potansiyelini gösterirken, ıraksak akış, düşük potansiyeli göstermektedir (Erener ve Düzgün, 2007; Erener ve Düzgün, 2010).

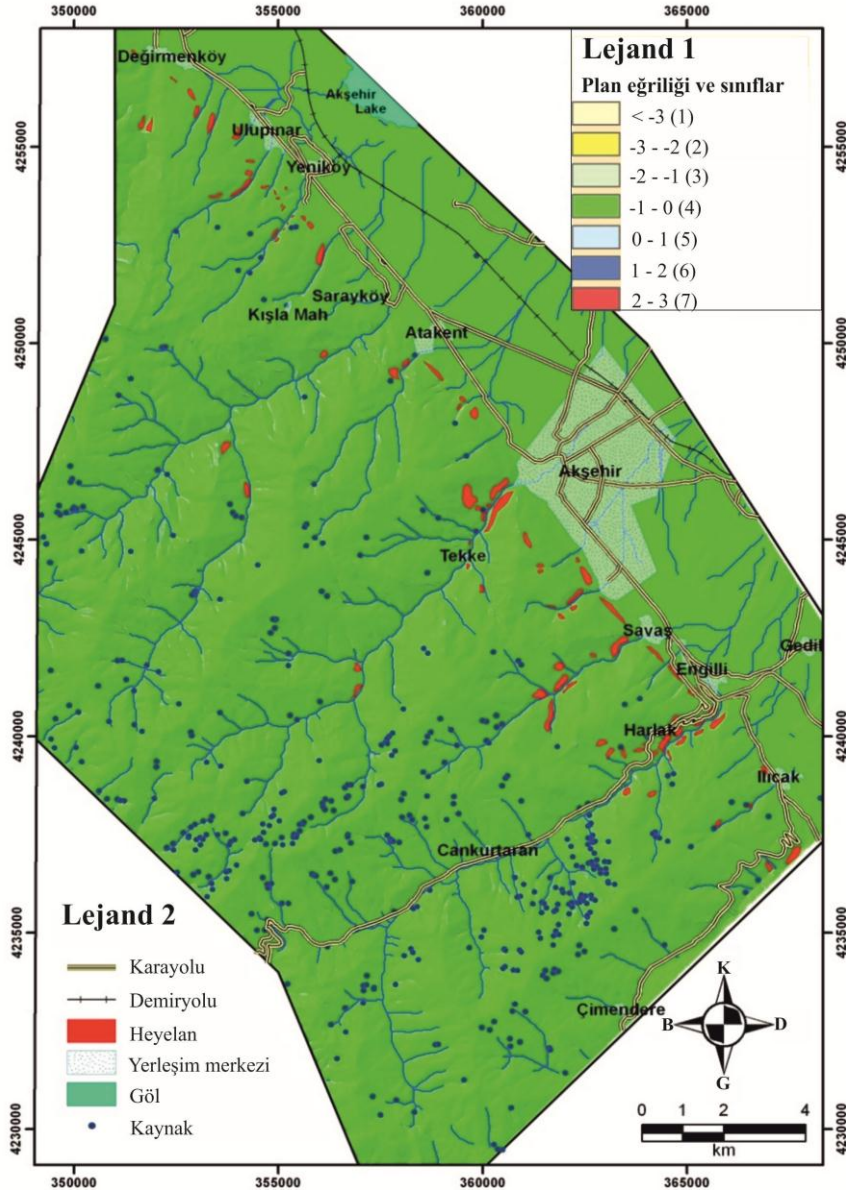
Plan eğrilik haritasında ise pozitif değerler konveks yamaçları, negatif değerler ise konkav yamaçları göstermektedir. Plan eğriliği akımın diverjansını ve konverjansını kontrol eder. Plan eğriliği akış doğrultusuna dik istikamette akımın konverjans (birleşen) veya diverjans (ayrılan) akımı gösterir (Gallant and Wilson 2000).

Plan eğrilik haritası daha önceden oluşturulan DEM haritasından yararlanılarak ArcMap programının "Spatial Analyst" araç çubuğu yardımı ile hazırlanmıştır (Ozdemir, 2011a). Bu harita eğim yönüne dik yöndeki eğriliği gösteren tematik haritadır (Şekil 3.28.)

İncelenen alanın yaklaşık %99'luk kısmında (374 km^2) plan eğriliğinin negatif olması yamaçların konkav olduğunu göstermektedir. Konkav yamaçlarda akım birbirlerine yaklaşma yönünde hareket edeceğinden aşındırma gücünün çok daha yüksek olacağını gösterir. Yamaç plan eğriliğinin pozitif olduğu alanların toplamı ise yaklaşık olarak 1 km^2 'dir (Şekil 3.27).



Şekil 3.27. İnceleme alanı yamaç plan eğriliği sınıfları alansal dağılımı



Şekil 3.28. İnceleme alanının plan eğriliği haritası

3.1.2.12. Fay yoğunluğu

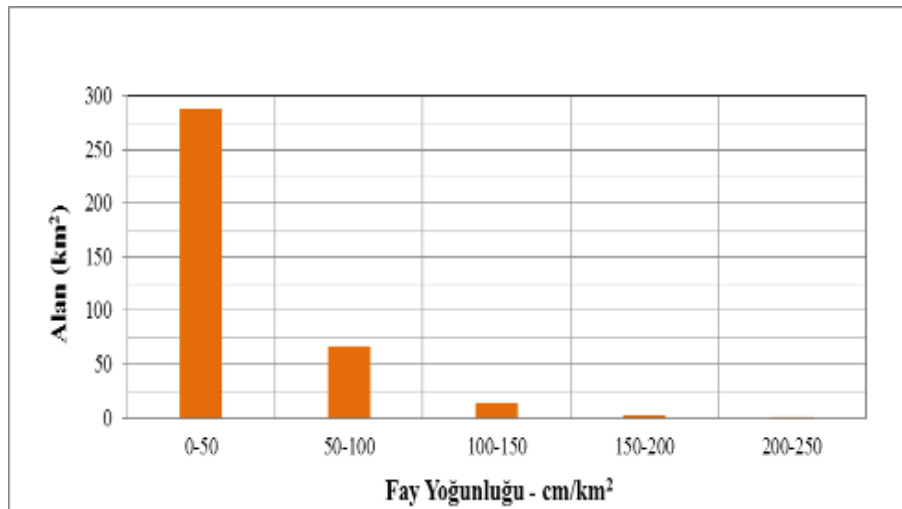
İnceleme alanında Üst Oligosende oluşan Sultandağı fayı Alpin tektonik hareketleri sonunda meydana gelmiştir ve Sultandağı'nın K ile D yamacı boyunca uzanmaktadır (Atalay, 1975). Aktif Akşehir fayı, inceleme alanının ortasında kuzeybatı güneydoğu doğrultusunda yer almaktadır. Kuvaternerin çeşitli birikme şekilleri yer yer fay dikliğini gizlese de, kuzeyde Çay ilçesiyle güneyde Doğanhisar arasında yaklaşık 80 km lik bir hat boyunca izlemek olanaklıdır. Fay düzlemi düşeye yakın bir eğimle KD' ya eğimlidir. Kuzeyde-batıdaki blok göreceli olarak yükselmiş görülmektedir (Demirkol ve ark., 1977). Ayrıca inceleme alanında birçok küçük faylar da bulunmaktadır.

Seydişehir formasyonu ile Çataltepe kireçtaşının dokanağı birçok yerde faylı bulunmaktadır. Bu fayların çoğunluğu düşeye yakın ters fay özelliğindedirler. Bu faylar ile güney bloklar yükselmiş ve farklı yaşta olan Seydişehir formasyonu ile Çaltepe kireçtaşı aynı düzeye gelmiştir. Faylar genellikle Seydişehir formasyonu ile Kocakızıl formasyonu ve Hacılabaz kireçtaşı ile Paleozoyik birimlerin dokanağında yer almaktadırlar (Demirkol ve ark., 1977).

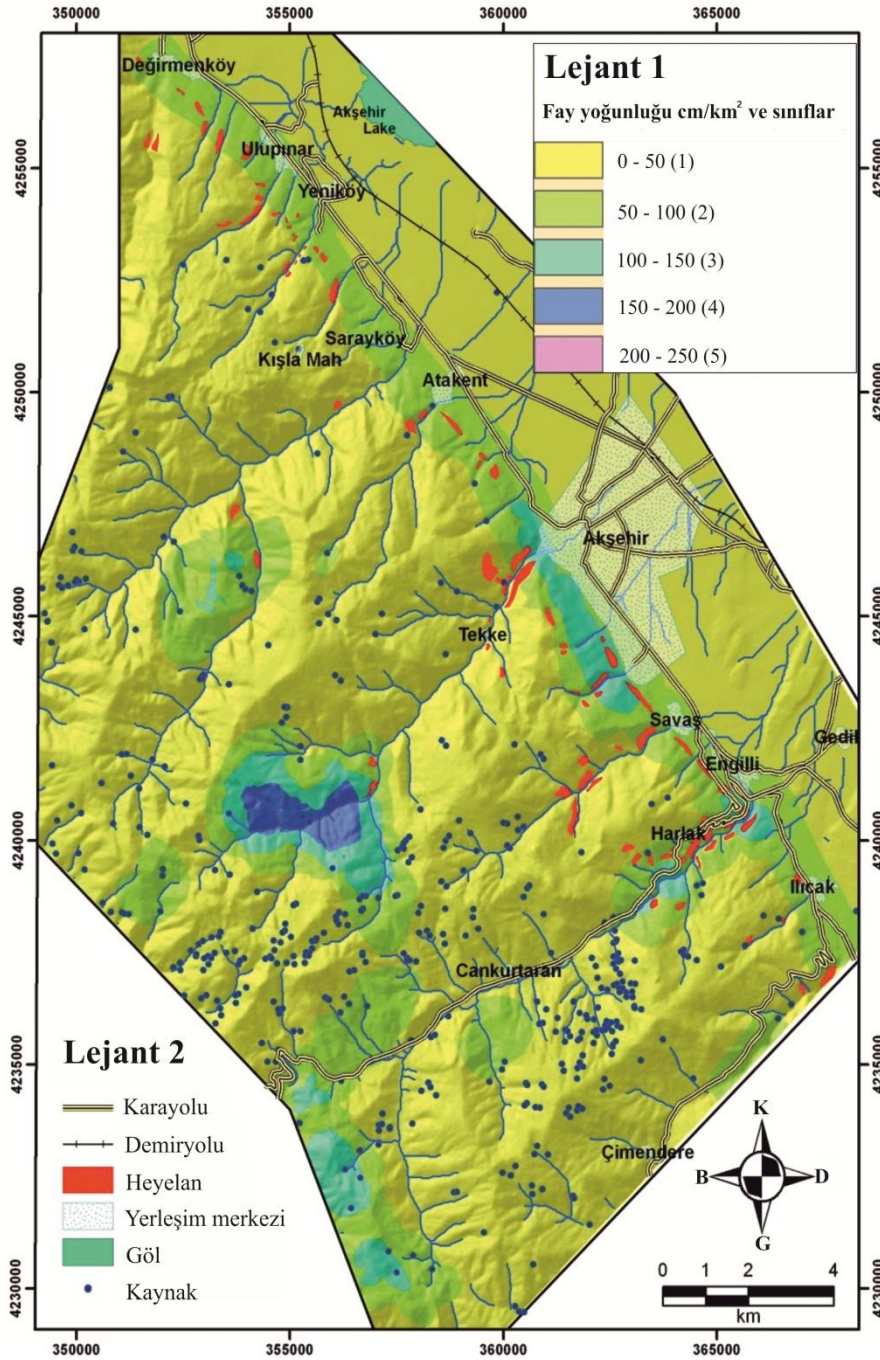
Tektonik şekil değiştirme ile kabaca kuzeybatı-güneydoğu uzanımlı kıvrımlar ve ters faylar oluşmuştur. Temel kayalarının yakınındaki çökeller diğerlerine nazaran daha fazla kıvrımlanmış ve kırılmışlardır. Veriler bölgede DKD-BGB yönlü bir sıkışmanın varlığını göstermektedir. Bölgenin yeni tektonik gelişmesinde etkili olduğu anlaşılan DKD-BGB yönlü sıkışma rejiminin batıya hareket eden Anadolu levhasının büyük bir olasılıkla Ege'de büyük bir dirençle karşılaşması sonucu meydana geldiği söylenebilir (Demirkol ve ark., 1977).

Fay yoğunluk haritası, çalışma alanındaki fayların km^2 'deki yoğunluğunu gösteren tematik haritadır (Şekil 3.30). Bu harita ArcMap programında fayların "Editor" araç çubuğu yardımıyla çizilmesinden sonra "Spatial Analyst" araç çubuğundaki "Density" seçeneği kullanılarak üretilmiştir (Ozdemir, 2011a).

İnceleme alanının fay yoğunluk haritasından da görüleceği gibi arazideki hakim fay yoğunluğu $0-50 \text{ cm/km}^2$ 'dir. Çalışma alanının %78'lik kısmında (289 km^2) fay yoğunluğu $0-50 \text{ cm/km}^2$, %18'lik kısmında ise (68 km^2) fay yoğunluğu $50-100 \text{ cm/km}^2$ 'dir. Çalışma alanının geriye kalan %4'lük kısmında ise fay yoğunluğu $100-250 \text{ cm/km}^2$ arasındadır (Şekil 3.29).



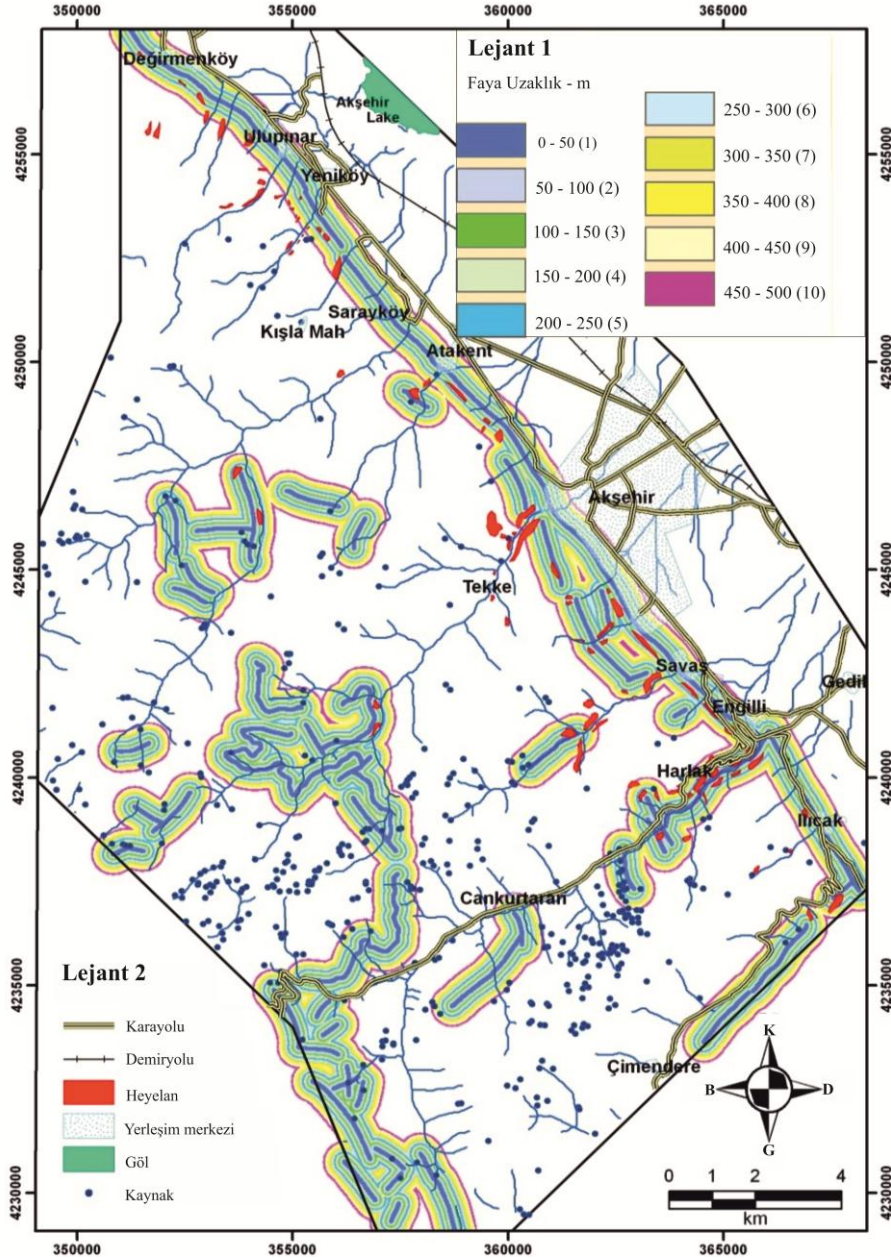
Şekil 3.29. İnceleme alanı fay yoğunluğu haritası sınıfları ve alansal dağılımları



Şekil 3.30. İnceleme alanının fay yoğunluk haritası

3.1.2.13. Faydan uzaklık

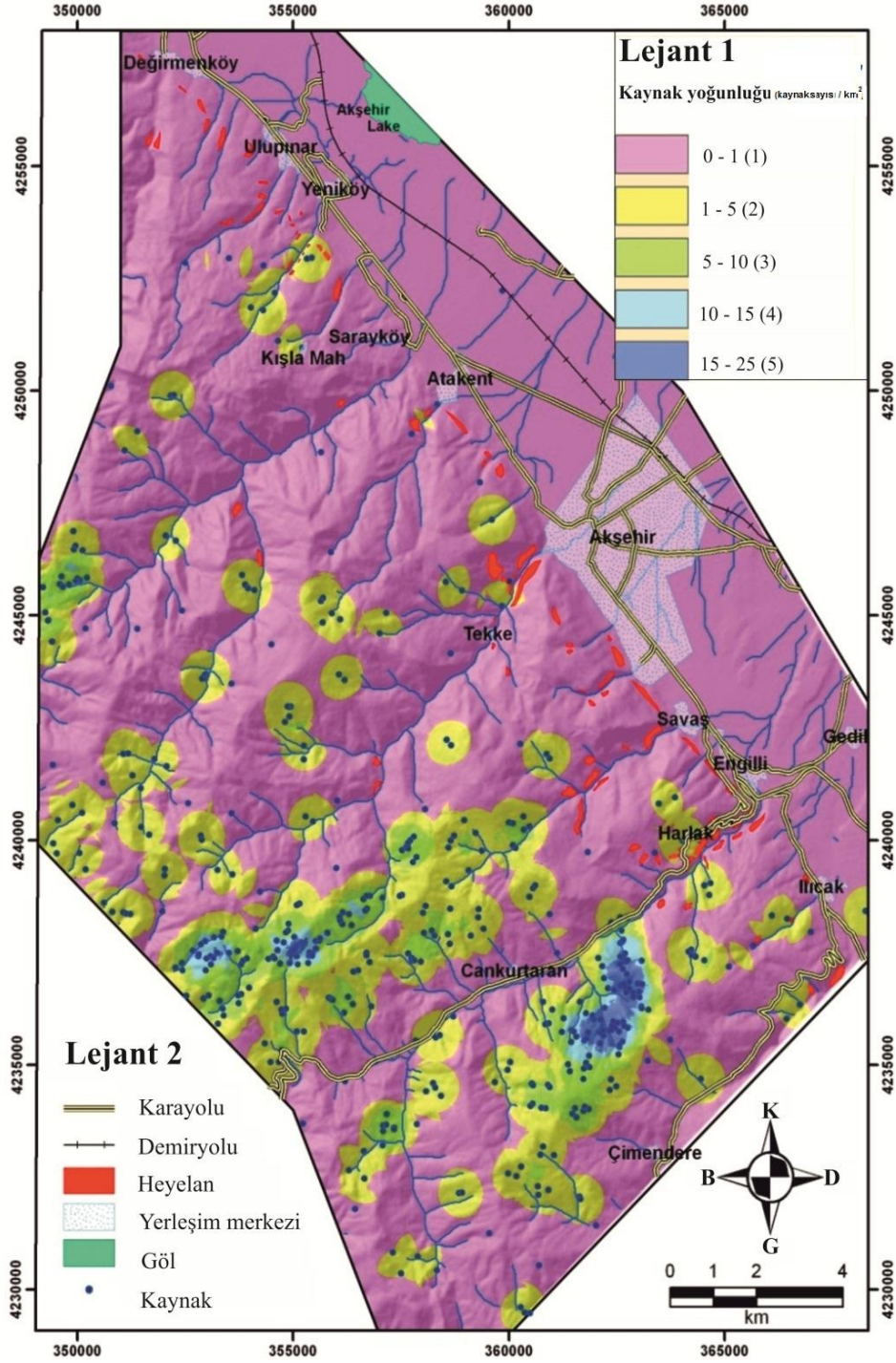
ArcMap programında fayların “Editor” araç çubuğu yardımıyla çizilmesinden sonra “Buffer” özelliği kullanılarak tüm faylardan 500 m uzaklıktaki alanlar belirlenmiştir (Şekil 3.31) (Ozdemir, 2011a).



Şekil 3.31. İnceleme alanının faydan uzaklık haritası

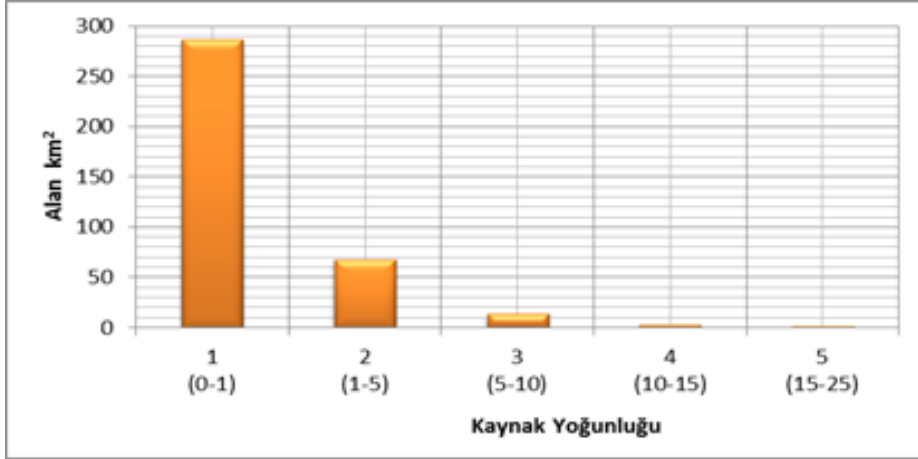
3.1.2.14. Kaynak yoğunluğu

Kaynak yoğunluğu haritası, ArcMap programında "Editor" araç çubuğu yardımıyla topografik haritalar üzerinden belirlenen kaynakların noktalanmasıyla elde edilen haritanın, "Spatial Analyst" araç çubuğundaki "Density" seçeneği kullanılarak yoğunluk haritasının üretilmesiyle elde edilmiştir. Bu harita, çalışma alanındaki su kaynaklarının km^2 'ye düşen kaynak sayısını belirten tematik haritadır (Şekil 3.32).



Şekil 3.32. İnceleme alanının kaynak yoğunluğu haritası

İnceleme alanının kaynak yoğunluk haritasından da görüleceği gibi arazideki hakim kaynak yoğunluğu 0-1 kaynak/km²'dir.



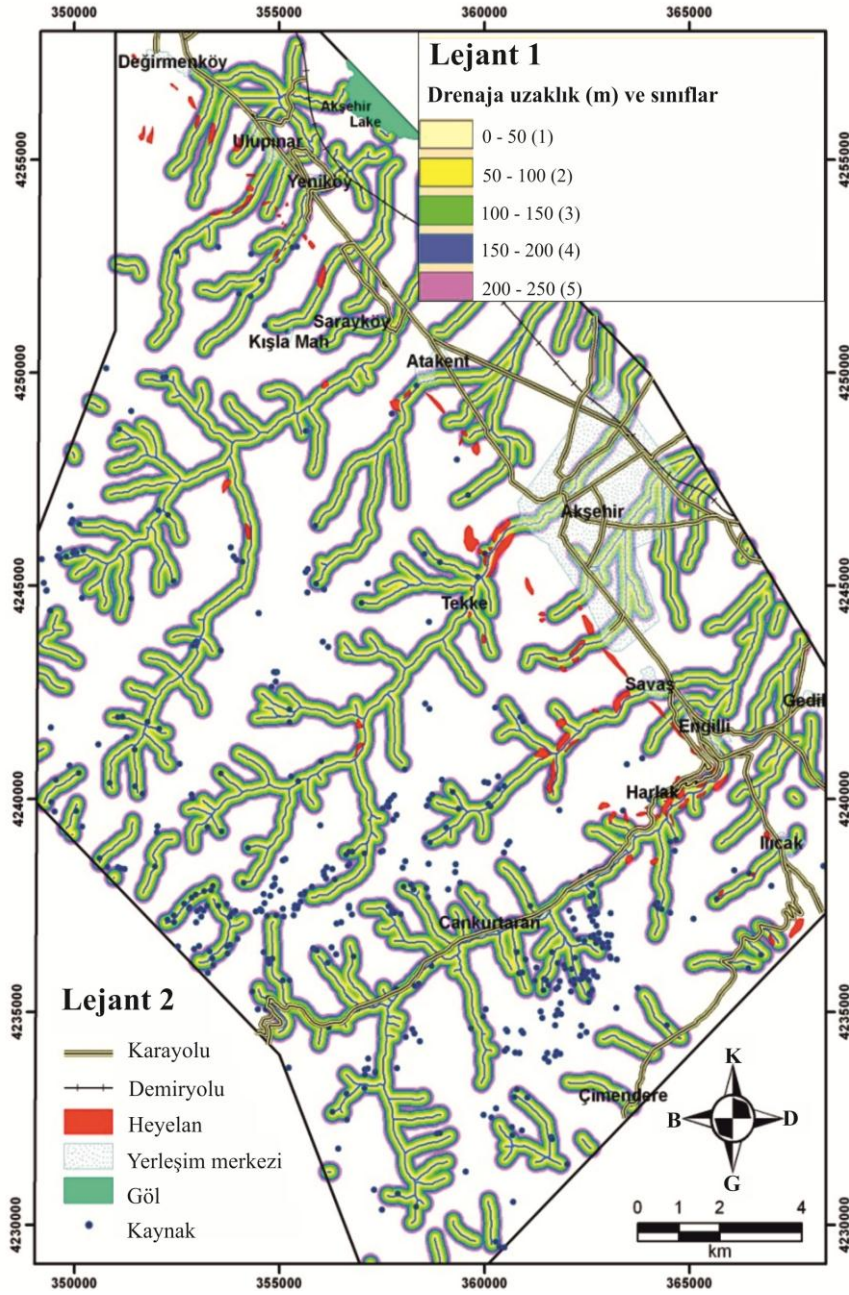
Şekil 3.33. Kaynak yoğunluğu haritası sınıfları ve alansal dağılımları

3.1.2.15. Drenaj ağından uzaklık

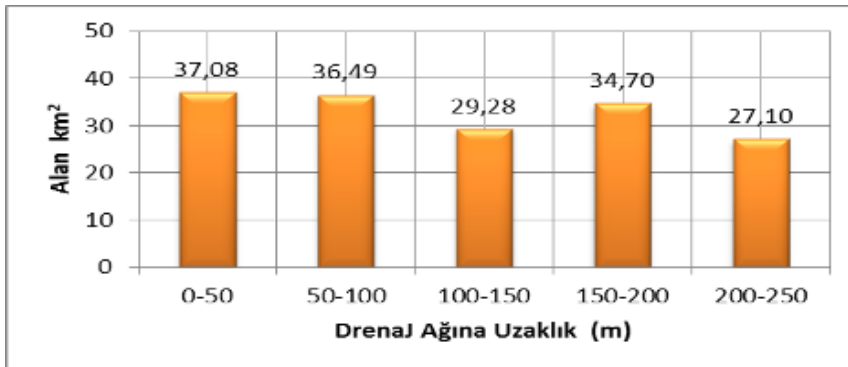
Yamaç stabilitesinde süreksizliklerin ve drenaj ağının önemli etkisi olabilmektedir.

Yamaç stabilitesini kontrol eden parametrelerin en önemlilerinden birisi de yamaçlardaki malzemenin doygunluk derecesidir. Yamaçta drenaj ağına yakınlık stabilite açısından önemli diğer bir faktördür. Akarsular, yamaç ya da şevleri ya topuktan aşındırma şeklinde ya da yamacı oluşturan malzemenin akarsu seviyesine kadar olan kısmını suya doyurma veya her iki şekilde de etkileyerek stabiliteyi bozmaktadır (Gökçeoglu ve Aksoy, 1996; Dai ve ark., 2001; Saha ve ark., 2002; Cevik ve Topal, 2003).

İnceleme alanı DEM haritasından "Terrain Analysis Using Digital Elevation Models" (TAUDEM, 2005) programı yardımıyla drenaj ağı oluşturulmuş ve elde edilen drenaj ağı ArcMap programında "Buffer" özelliği kullanılarak, drenaj ağından 250 m uzaklıktaki alanların elde edilmesiyle drenaj ağından uzaklık haritası oluşturulmuştur (Şekil 3.34).



Şekil 3.34. İnceleme alanının drenaj ağından uzaklık haritası



Şekil 3.35. Drenaj ağından uzaklık haritası sınıfları ve alansal dağılımları

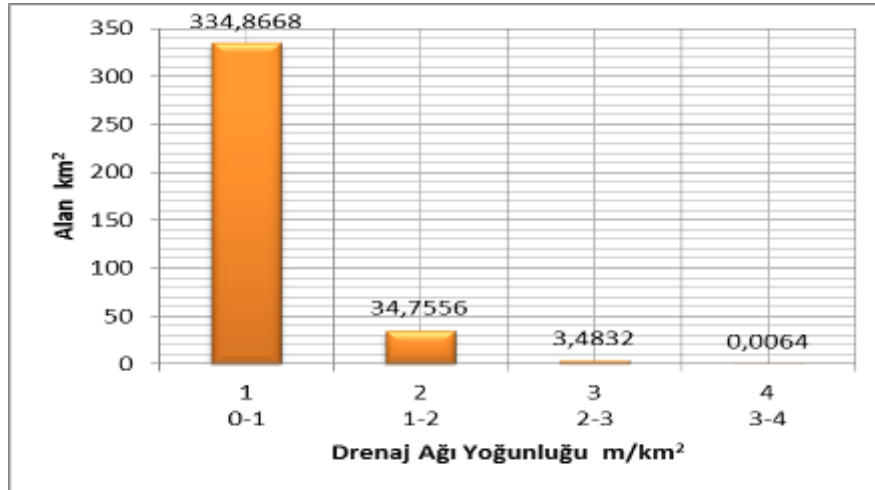
3.1.2.16. Drenaj ağı yoğunluğu

Drenaj yoğunluğu, bir akarsu havzasındaki toplam akarsu uzunluklarının o akarsu havzasının alanına oranıdır. Drenaj yoğunluğu ne kadar yüksek olursa, infiltrasyon o derecede düşük ve yüzey akışı ise o derecede hızlı olur (Pachauri ve ark., 1998; Nagarajan ve ark., 2000; Cevik ve Topal, 2003). En fazla infiltrasyon, alüvyon gibi permeabilitesi yüksek olan akarsulara bitişik yamaçlarda görülür.

Drenaj yoğunluğu; ana kayanın durumuna, yamaç eğimine, mevcut bölgesel ve yerel kırıklara bağlı olarak gelişir. Drenaj yoğunluğu; yeraltı su kaynaklarını değerlendirme açısından önemi büyüktür (Godebo, 2005).

Drenaj ağı yoğunluğu haritası, inceleme alanındaki drenaj ağının km^2 'deki yoğunluğunu gösteren tematik haritadır. Bu harita, daha önceden oluşturulan DEM haritasından TauDEM programında kullanılarak üretilmiştir. Bu üretilen drenaj ağı haritası, ArcMap programındaki "Spatial Analyst" araç çubuğundaki "Density" seçeneği kullanılarak drenaj ağı yoğunluğu haritası elde edilmiştir (Şekil 3.37).

İncelenen alanın % 90'lık kısmında (335 km^2) drenaj ağı yoğunluğunun $0-1 \text{ m/km}^2$ olduğu tespit edilmiştir. İnceleme alanının %9'luk kısmında ise drenaj ağı yoğunluğu $1-2 \text{ m/km}^2$ 'dir (Şekil 3.36).



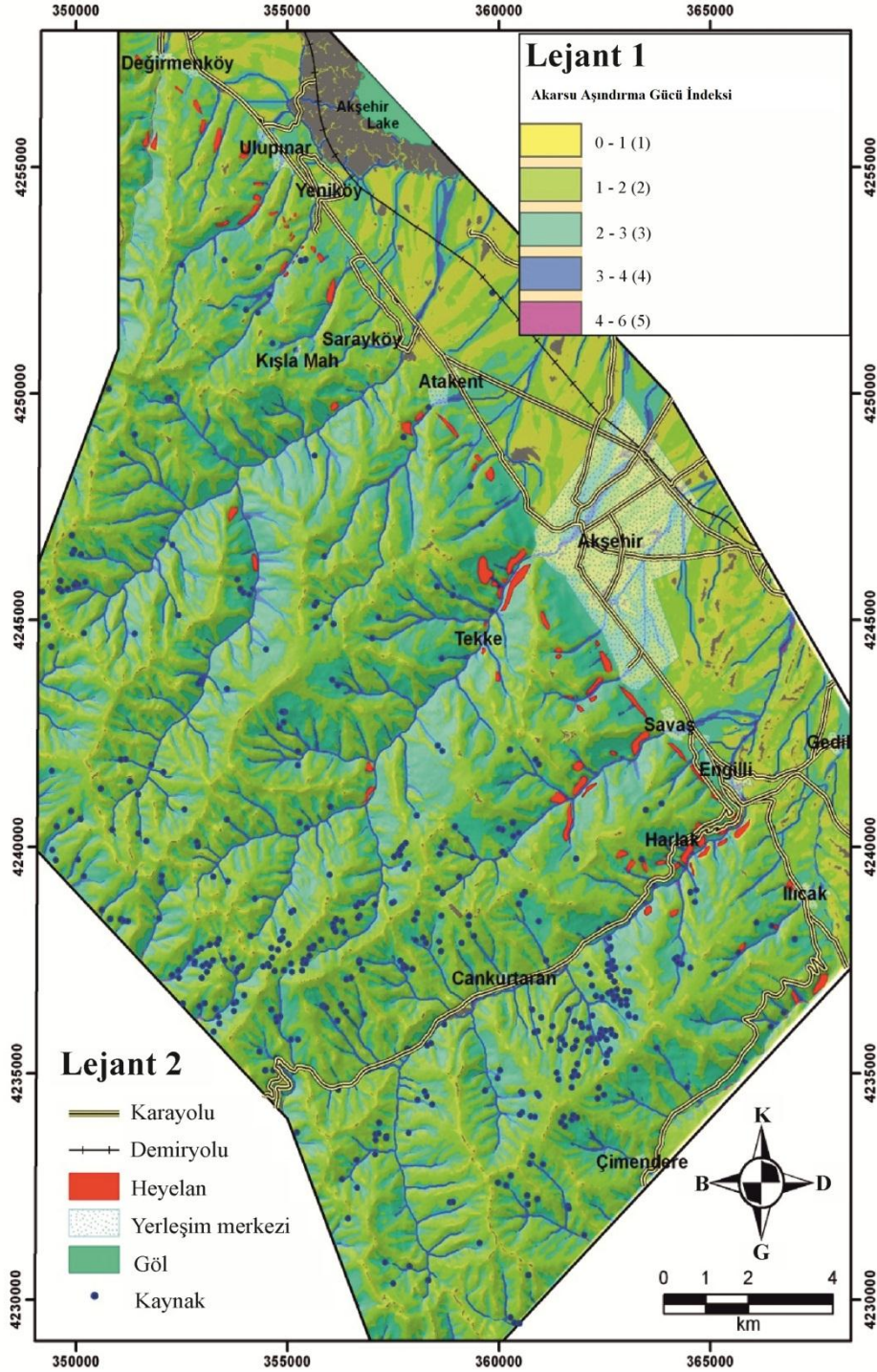
Şekil 3.36. Drenaj ağı yoğunluğu haritası sınıfları ve alansal dağılımları

Burada,

A_s : Özgül drenaj alanı (m^2/m)

S: eğimdir.

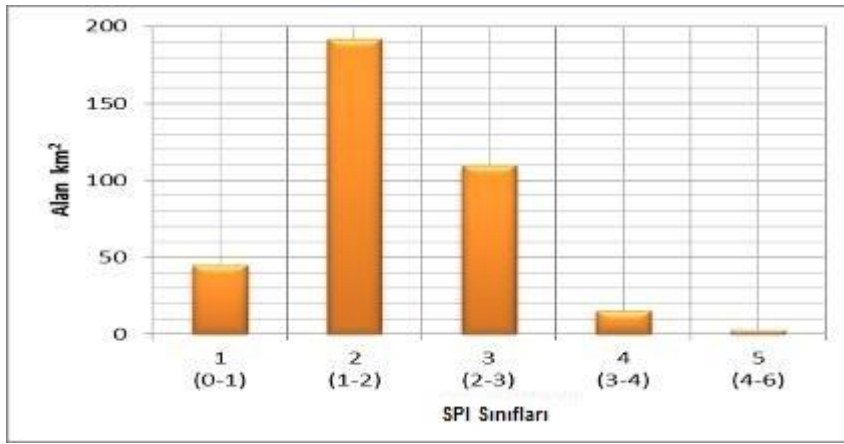
SPI haritası; inceleme alanı için oluşturulan DEM haritasından Terrain Analysis Systems (TAS) programı vasıtasıyla oluşturulmuştur (Şekil 3.38).



Şekil 3.38. İnceleme alanının SPI haritası

Oluşturulan haritanın görselliğini arttırmak için SPI değerlerin logaritmaları alınmıştır. Logaritmik akarsu aşındırma gücü indeksi haritasında LSPI değerleri 5 sınıfa ayrılmıştır. Logaritmik rölatif akarsu aşındırma gücü indeksinin en yüksek (4-6) olduğu 5. sınıfa ait alan 2.76 km²'dir. İnceleme alanında en yaygın olarak 2. Sınıfa ait SPI değerleri (1-2) bulunmaktadır (192 km²) (Şekil 3.39).

Konkav yamaçlarda akım birbirlerine yaklaşma yönünde hareket ettiğinden aşındırma gücünün buralarda çok daha yüksek olduğunu görmekteyiz.



Şekil 3.39. Log. akarsu aşındırma gücü indeksi sınıfları ve alansal dağılımları

3.1.2.18. Sediman taşıma kapasitesi indeksi

Sediman taşıma kapasitesi indeksi akış gücü teorisinden türetilmektedir (Wilson and Gallant 2000). Sediman taşıma kapasitesi indisi haritasında küçük sediman taşıma kapasitesi indisi değerleri daha çok havza sınırlarında gözlenirken büyük değerler yüksek eğimli yamaçlarda ve geniş toplama havzasına sahip yerleri gösterir (Wilson and Gallant 2004).

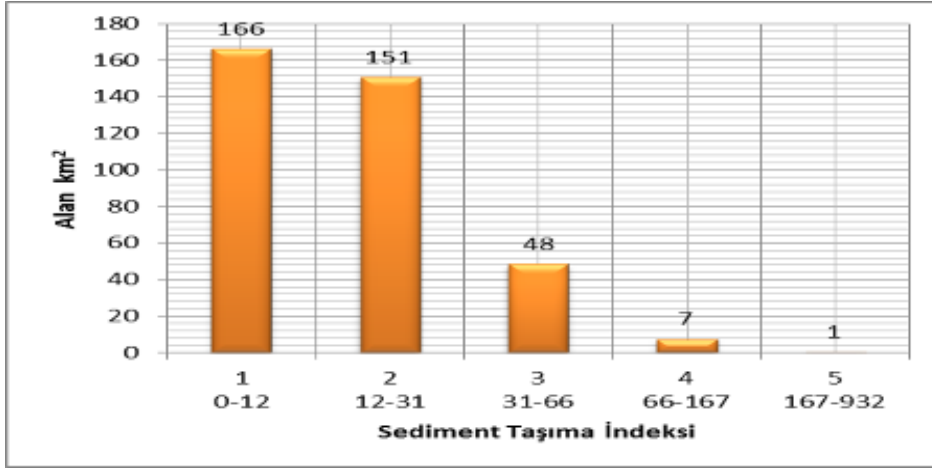
$$LS = (A_s/22.13)^{0.6} \times (\sin S/0.0896)^{1.3} \quad (3.3)$$

LS: Sediman taşıma kapasitesi indeksi

A_s: Özgül havza alanı

S: Yamaç eğimi

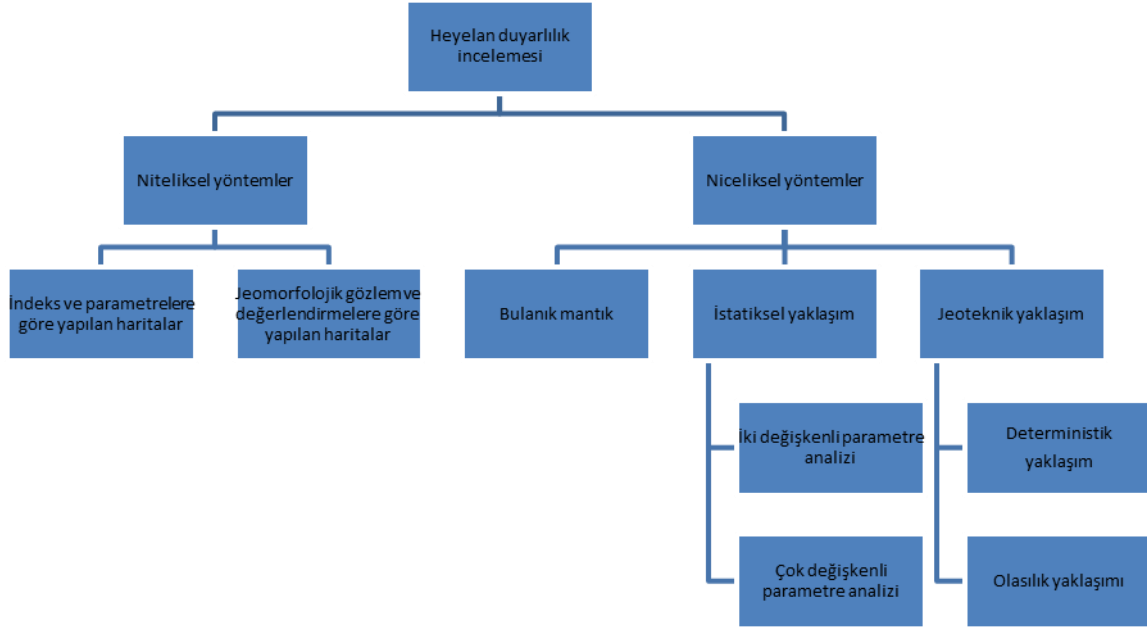
İnceleme alanında LS değerleri 0 ile 932 arasında olduğu tespit edilmiştir. Yaklaşık 1 km² lik dere içlerinde indis değerinin en yüksek olduğu (167-932) tespit edilmiştir. Daha sonra 7 km² 'lik kısımda indis değerinin (66.01-167) arasında olduğu tespit edilmiştir. İncelenen alanın 317 km² 'lik kısmında ise indis değeri 0-31 arasındadır (Şekil 3.41). Bu alanlar Şekil 4.40'de verilen haritada görüldüğü gibi tepelerin üst kısımlarında ve ovada eğimin oldukça düşük olduğu yerleri göstermektedir.



Şekil 3.41. İnceleme sediman taşıma indeksi sınıfları alansal dağılımı

3.2. Yöntem

Heyelan tehlikesini değerlendirmek için birçok metodoloji önerilmiştir. Bunlar başlıca nicel ve nitel olarak iki ana sınıfa ayrılabilirler.



Şekil 3.42. Heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulmasında kullanılan yöntemler (Aleotti ve Chowdhury, 1999'dan değiştirilerek)

Niteliksel yöntemler arazide yapılan jeomorfolojik gözlemler ve değerlendirmeler ile belirlenen indeksler kullanılarak yapılmaktadır. İndeks veya parametrelere dayanan haritalar indeks haritalarının karşılaştırılması veya birleştirilmesi ile yapılabildiği gibi mantıksal analiz yöntemlerinin uygulanması ile de yapılabilmektedir. Niteliksel yöntemlerde veriler arazi çalışmaları ile derlenir, hava fotoğrafları ile desteklenir. Arazi ve hava fotoğrafları ile özellikle de yer bilimlari konusunda ve diğer konularda uzman kişilerin bilgi ve tecrübelerine dayalı olarak incelenen alanın zon haritaları yapılarak jeomorfolojik haritalarla birlikte değerlendirilerek heyelan duyarlılık haritaları yapılır.

Niceliksel yöntemler istatistiksel analiz, jeoteknik yaklaşım ile yapay sinir ağları ve/veya bulanık mantık yöntemleri olmak üzere üç farklı şekilde uygulanabilmektedir. Heyelan duyarlılık çalışmalarında istatistiksel analiz yöntemleri ikili değişkenli analiz, çok değişkenli analiz ve matris analizi, jeoteknik yaklaşım ise deterministik ve olasılık yaklaşımı olarak uygulanabilmektedir. Nicel metodlar heyelanı kontrol eden faktörler

ile heyelan arası ilişkiyi sayısal tanımlamalarla ifade edebilmeleri nedeniyle nitel metodlara göre araştırmacıların farklı yaklaşımlarından kaynaklanan hataları minimize edebilmektedir. Nicel metod uygulaması sonrası elde edilen haritalar genellikle heyelan duyarlılık haritalarıdır (Carrara ve Merenda, 1976; Anbalagan, 1992; Soeters ve Van Westen, 1996; Wachal ve Hudak, 2000; Van Westen ve ark., 2003).

Nitel yaklaşımlar, daha çok uzman kişinin görüşüne bağlı olarak çalışma alanında yapılan arazi incelemeleri sonucu ya da heyelanı etkileyen faktörlerin indeks haritalarının birleştirilmesini esas alırlar (Erener ve Lacasse, 2007). Buna karşın nicel (kantitatif) veya istatistiksel değerlendirmeleri temel alan sınıflamaların sonuçları nitel gözlemlere oranla daha az hata içerirler. Çünkü istatistiksel değerlendirme, sahada mevcut heyelanların hangi birimlerin içerisinde dağılım gösterdiğini ortaya koymaktadır (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu, 2001).

Bu çalışmada, heyelan duyarlılık analizlerinin yapılmasında tek değişkenli olasılık analizine dayanan frekans oranı metodu kullanılmıştır. Frekans oranı metodunda heyelan lokasyonları ile heyelanı etkileyen faktörlerin mekansal ilişkisi ve bu faktörlerin her bir sınıfı için frekans değerleri CBS araçları kullanılarak hesaplanmıştır. Bu ilişkiler üst üste çakıştırma işleminde her bir faktörün değerlendirilmesinde kullanılmaktadır

Frekans oranı yöntemi, anlaşılır ve uygulaması çok kolay olan bir olasılık modeline sahiptir ve bu özelliği nedeniyle de literatürde yaygın olarak kullanılmaktadır. Frekans oranı, bir olayın gerçekleşme olasılığının gerçekleşmeme olasılığına oranı şeklinde tanımlanmaktadır (Yılmaz, 2009; Bonham-Carter, 1994).

Bu çalışmada Akşehir çevresinin heyelan duyarlılık haritası frekans oranı yöntemi ile üretilerek lojistik regresyon ve weight of evidence yöntemiyle Ozdemir (2011a) tarafından yapılmış heyelan duyarlılık haritalarıyla karşılaştırılmıştır.

3.2.1. Frekans oranı yöntemi ve heyelan duyarlılık değerlendirmesi

Heyelan duyarlılık çalışmalarında, heyelanları tahmin etmek için genellikle şu varsayım yaygın kabul görülmektedir; **“gelecekteki oluşacak heyelanlar, geçmişte meydana gelen heyelanlar ile ilişkili aynı faktörler nedeniyle oluşacaktır”**. Bu nedenle, geçmiş heyelan konumları ile heyelanı etkileyen her bir faktör arasındaki ilişkiyi (korelasyonu) ortaya koymak için “Frekans Oranı Yöntemi” kullanılmaktadır (Lee ve Pradhan, 2006). Frekans oranı yöntemiyle heyelan analizinde birçok çalışma

yapılmıştır. (Luzi ve ark., 2000; Donati ve Turrini, 2002; Lee ve ark., 2002, Lee ve Choi, 2003; Zêzere ve ark., 2004; Vijith ve Madhu, 2007; Akgun ve ark., 2008; Pradhan ve Lee, 2009). Frekans oranı metodunda, herhangi bir katmandaki heyelan frekans oranının değerlendirilmesi yapılırken ortalama değer 1 alınır. Oranın 1'den büyük olması yüksek bir korelasyona, 1'den düşük olması da düşük korelasyona işaret etmektedir (Reis ve ark, 2009).

Frekans oranı metodu ile duyarlılık haritalarının üretilmesinde, heyelanı etkileyen her bir faktörün alt kategorileri için hesaplanan frekans oranları dikkate alınmaktadır (Erener ve Düzgün, 2007; Erener ve Lacasse, 2007; Reis ve ark., 2009).

Çalışma alanında heyelanı etkileyen her bir faktörün frekans oranını hesaplamak için her bir faktör kategorilere ayrılmış ve her bir faktörün her bir alt kategorisindeki heyelan alanının piksel sayıları belirlenmiştir.

Frekans oranı (FR) aşağıdaki formül ile hesaplanabilmektedir (Erener ve Lacasse, 2007).

$$FR = PLO / PIF = (A/C) / (B/D) \quad (3.4)$$

Burada; PLO; bir faktörün bir sınıf aralığı içindeki heyelan alanının o sınıf alanına oranıdır. PIF ise; bir faktörün sınıf aralığına ait alanın toplam alana oranıdır. Daha basit anlatımla eğer;

$$PLO: A/C \quad (3.5)$$

ve

$$PIF: B/D. \quad (3.6)$$

dönüşümleri yapılırsa eşitlik 3.4 elde edilir.

Burada;

A: Alt sınıftaki heyelanlı hücre sayısı

B: Alt sınıfa ait alandaki hücre sayısı

C: Çalışma alanındaki toplam heyelanlı hücre sayısı

D: Çalışma alanındaki toplam hücre sayısı

Hesaplamalar her bir parametre için tekrarlanmıştır. Parametrelerin alt gruplarının frekans oranları bulunarak her bir parametreye ait değerler toplanarak heyelan duyarlılık indeksi (LSI) bulunur (Lee ve Talib, 2005).

$$LSI = \sum Fr (1, \dots, m) \quad (Lee ve Pradhan 2006) \quad (3.7)$$

Çizelge 3.1 Heyelana etki eden faktörler ve frekans oranları

	Sınıf		Sınıf (km ²)	Alandaki Piksel Sayısı (B)	Heyelanlı Piksel Sayısı (A)	PIF %	PLO %	Frekans Oranı
Jeolojik Formasyonlar	Qaly	1	59.2944	148236	0	15.91	0.00	0.00
	Qalo	2	23.8160	59540	0	6.39	0.00	0.00
	Tb	3	8.9764	22441	0	2.41	0.00	0.00
	Jh	4	8.1508	20377	0	2.19	0.00	0.00
	CPdl	5	34.5192	86298	2000	9.26	65.19	7.04
	CPd	6	4.6412	11603	7	1.25	0.23	0.18
	Cka	7	7.7692	19423	0	2.08	0.00	0.00
	Cko	8	17.8148	44537	28	4.78	0.91	0.19
	Ch	9	14.9964	37491	841	4.02	27.41	6.81
	Del	10	31.0552	77638	31	8.33	1.01	0.12
	De	11	0.2328	582	0	0.06	0.00	0.00
	CaOs	12	149.0904	372726	161	40.00	5.25	0.13
	Cacl	13	0.4476	1119	0	0.12	0.00	0.00
	Cac	14	11.8852	29713	0	3.19	0.00	0.00
Rölatif Geçirimsizlik	Çok Geçirimli	1	13.4724	33681	7	3.61	0.23	0.06
	Geçirimli	2	147.3296	368324	2028	39.53	66.10	1.67
	Az Geçirimli	3	47.8008	119502	31	12.83	1.01	0.08
	Geçirimsiz	4	164.0868	410217	1002	44.03	32.66	0.74
Arazi Kullanımı	Yerleşim Merkezi	1	21.8272	54568	90	5.85	2.93	0.50
	Orman	2	93.1300	232825	2205	24.99	71.87	2.88
	Mera	3	133.2464	333116	5	35.75	0.16	0.00
	Ziraat Alanı	4	38.6612	96653	683	10.37	22.26	2.15
	Tarım Alanı	5	86.2464	215616	85	23.14	2.77	0.12
Yağış (mm)	508-520	1	30.7112	76778	0	8.27	0.00	0.00
	520-540	2	92.7888	231972	320	25.00	10.43	0.42
	540-560	3	86.0464	215116	443	23.18	14.44	0.62
	560-580	4	85.0100	212525	1037	22.90	33.80	1.48
	580-600	5	76.6572	191643	1268	20.65	41.33	2.00
Yükseklik (m)	960-1000	1	45.3368	113342	0	12.16	0.00	0.00
	1000-1100	2	44.2004	110501	44	11.85	1.43	0.12
	1100-1200	3	17.3944	43486	1577	4.66	51.40	11.02
	1200-1300	4	14.3524	35881	396	3.85	12.91	3.35
	1300-1400	5	146576	36644	228	3.93	7.43	1.89
	1400-1500	6	16.6164	41541	323	4.46	10.53	2.36
	1500-1600	7	28.7948	71987	452	7.72	14.73	1.91
	1600-1700	8	40.8000	102000	48	10.94	1.56	0.14
	1700-1800	9	50.6324	126581	0	13.58	0.00	0.00
	1800-1900	10	47.3652	118413	0	12.70	0.00	0.00
	1900-2000	11	34.1328	85332	0	9.15	0.00	0.00
	2000-2100	12	15.2748	38187	0	4.10	0.00	0.00
	2100-2200	13	3.3084	8271	0	0.89	0.00	0.00
	2200-2221	14	0.0712	178	0	0.02	0.00	0.00

Çizelge 3.1 devamı

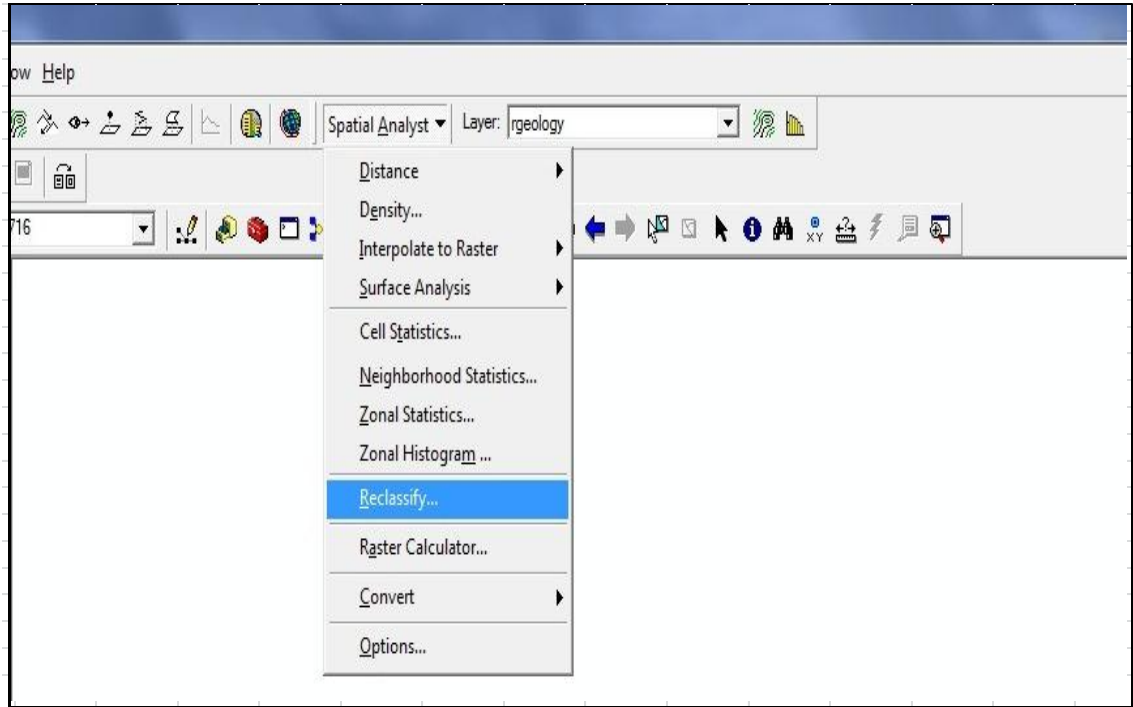
	Sınıf		Sınıf (km ²)	Alandaki Piksel Sayısı (B)	Heyelanlı Piksel Sayısı (A)	PIF %	PLO %	Frekans Oranı
Eğim Açısı (Derece)	0-5	1	91.1456	227864	6	24.44	0.20	0.01
	5-10	2	31.2916	78229	53	8.39	1.73	0.21
	10-15	3	65.2732	163183	195	17.50	6.36	0.36
	15-20	4	80.4524	201131	331	21.57	10.79	0.50
	20-25	5	59.5372	148843	653	15.96	21.28	1.33
	25-30	6	30.9196	77299	807	8.29	26.30	3.17
	35-40	7	11.3380	28345	777	3.04	25.33	8.33
	40-45	8	2.7128	6782	230	0.73	7.50	10.31
	45-50	9	0.2580	645	16	0.07	0.52	7.54
	50-55	10	0.0092	23	0	0.00	0.00	0.00
Eğim Yönü	Yatay	1	1.7560	4390	1	0.47	0.03	0.07
	22.5-337.5	2	57.5944	143986	72	15.44	2.35	0.15
	22.5-67.5	3	83.1256	207814	814	22.29	2.53	1.19
	67.5-112.5	4	59.7120	149280	906	16.01	29.53	1.84
	112.5-157.5	5	42.9988	107497	763	11.53	24.87	2.16
	157.5-202.5	6	28.5616	71404	79	7.66	2.57	0.34
	202.5-247.5	7	22.3560	55890	0	5.99	0.00	0.00
	247.5-292.5	8	31.4244	78561	43	8.43	1.40	0.17
292.5-337.5	9	45.4088	113522	390	12.18	12.71	1.04	
Eğrilik	-5 - -2.5	1	0.0672	168	0	0.02	0.00	0.00
	-2.5-0	2	367.6376	919094	3021	98.58	98.47	1.00
	0-2.5	3	5.2224	13056	47	1.40	1.53	1.09
	2.5-5	4	0.0084	21	0	0.00	0.00	0.00
	5-7	5	0.0020	5	0	0.00	0.00	0.00
Plan Eğriliği	-3 - -2	1	0.0016	4	0	0.00	0.00	0.00
	-2 - -1	2	0.0768	192	0	0.02	0.00	0.00
	-1 - 0	3	3.5912	8978	11	0.96	0.36	0.37
	0 - 1	4	368.3812	920953	3054	98.78	99.54	1.01
	1 - 2	5	0.8800	2200	3	0.24	0.10	0.41
	2 - 3	6	0.0064	16	0	0.00	0.00	0.00
	3 - 4	7	0.0004	1	0	0.00	0.00	0.00
Profil Eğriliği	-5 - -3	1	0.0048	12	0	0.00	0.00	0.00
	-3 - -1	2	0.4344	1086	6	0.12	0.20	1.68
	-1 - 0	3	369.1128	922782	3030	98.98	98.76	1.00
	0-1	4	3.2276	8069	32	0.87	1.04	1.21
	1-3	5	0.1576	394	0	0.04	0.00	0.00
	3-4	6	0.0004	1	0	0.00	0.00	0.00
Islaklık İndeksi	2-6	1	205.2396	513099	2089	55.03	68.09	1.24
	6-8	2	76.8688	192172	904	20.61	29.47	1.43
	8-10	3	44.8736	112184	62	12.03	2.02	0.17
	10-13	4	35.9048	89762	12	9.63	0.39	0.04
	13-22	5	10.0508	25127	1	2.70	0.03	0.01

Çizelge 3.1 devamı

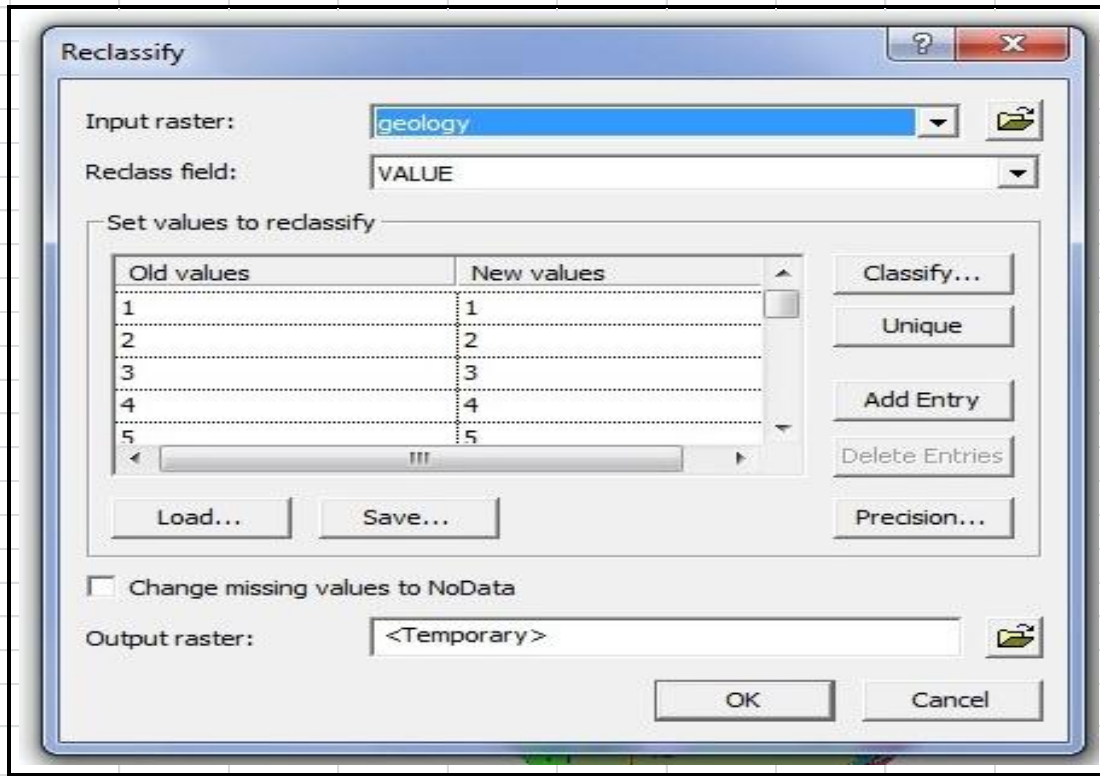
	Sınıf		Sınıf (km ²)	Alandaki Piksel Sayısı (B)	Heyelanlı Piksel Sayısı (A)	PIF %	PLO %	Frekans Oranı
Log. Akarsu Aşındırma Gücü İndeksi	1	1	44.7796	111949	6	12.30	0.20	0.02
	2	2	191.5920	478980	627	52.63	20.44	0.39
	3	3	109.6200	274050	2314	30.11	75.42	2.50
	4	4	15.2876	38219	117	4.20	3.81	0.91
	5	5	2.7568	6892	4	0.76	0.13	0.17
Sediman Taşıma Kapasitesi İndeksi	0-12	1	166.0200	415050	127	44.52	4.14	0.09
	12-31	2	150.5876	376469	934	40.38	30.44	0.75
	31-66	3	48.3668	120917	1878	12.97	61.21	4.72
	66-167	4	7.3648	18412	128	1.97	4.17	2.11
	167-932	5	0.5984	1496	1	0.16	0.03	0.20
Drenaj Ağına Uzaklık (m)	0-50	1	37.0784	92696	265	22.52	12.58	0.56
	50-100	2	36.4884	91221	749	22.16	35.57	1.60
	100-150	3	29.2800	73200	543	17.78	25.78	1.45
	150-200	4	34.7012	86753	399	21.08	18.95	0.90
	200-250	5	27.1016	67754	150	16.46	7.12	0.43
Faya Uzaklık (m)	0-50	1	11.3256	28314	124	11.56	19.24	1.66
	50-100	2	11.2868	28217	223	11.52	34.60	3.00
	100-150	3	9.5124	23781	419	9.71	65.02	6.70
	150-200	4	11.3496	28374	646	11.58	100.24	8.65
	200-250	5	9.6448	24112	238	9.84	36.93	3.75
	250-300	6	9.8432	24608	133	10.05	20.64	2.05
	300-350	7	9.0012	22503	120	9.19	18.62	2.03
	350-400	8	9.0832	22708	111	9.27	17.22	1.86
	400-450	9	8.5020	21255	121	8.68	18.78	2.16
	450-500	10	8.4296	21074	94	8.60	14.59	1.70
Drenaj Ağı Yoğunluğu (m/km ²)	0-1	1	334.8668	837167	2686	89.75	87.55	0.98
	1-2	2	34.7556	86889	377	9.32	12.29	1.32
	2-3	3	3.4832	8708	5	0.93	0.16	0.17
	3-4	4	0.0064	16	0	0.00	0.00	0.00
Fay Yoğunluğu (m/km ²)	1	1	288.9852	722463	1091	77.45	35.56	0.46
	2	2	67.3688	168422	1618	18.06	52.74	2.92
	3	3	14.0212	35053	359	3.76	11.70	3.11
	4	4	2.7344	6836	0	0.73	0.00	0.00
	5	5	0.0024	6	0	0.00	0.00	0.00
Kaynak Yoğunluğu (kaynak sayısı /km ²)	0-1	1	286.6776	716694	2775	76.83	90.45	1.18
	1-5	2	67.8912	169728	293	18.20	9.55	0.52
	5-10	3	13.8088	34522	0	3.70	0.00	0.00
	10-15	4	2.9300	7325	0	0.79	0.00	0.00
	15-25	5	1.8044	4511	0	0.48	0.00	0.00

LSI açık olarak şu şekilde de yazılabilir; $LSI = Fr(Eğim) + Fr(Eğim yönü) + Fr(İslaklık indeksi) + Fr(Faya uzaklık) + Fr(rölatif geçirimsizlik) + Fr(Arazi kullanımı) + Fr(Drenaj ağı yoğunluğu) + Fr(Kaynak yoğunluğu) + Fr(Drenaj ağından uzaklık) + Fr(Fay yoğunluğu) + Fr(Yükseklik) + Fr(Eğrilik) + Fr(Faya uzaklık) + Fr(Jeoloji) + Fr(Plan eğriliği) + Fr(Profil eğriliği) + Fr(Akarsu aşındırma gücü) + Fr(Yağış)$

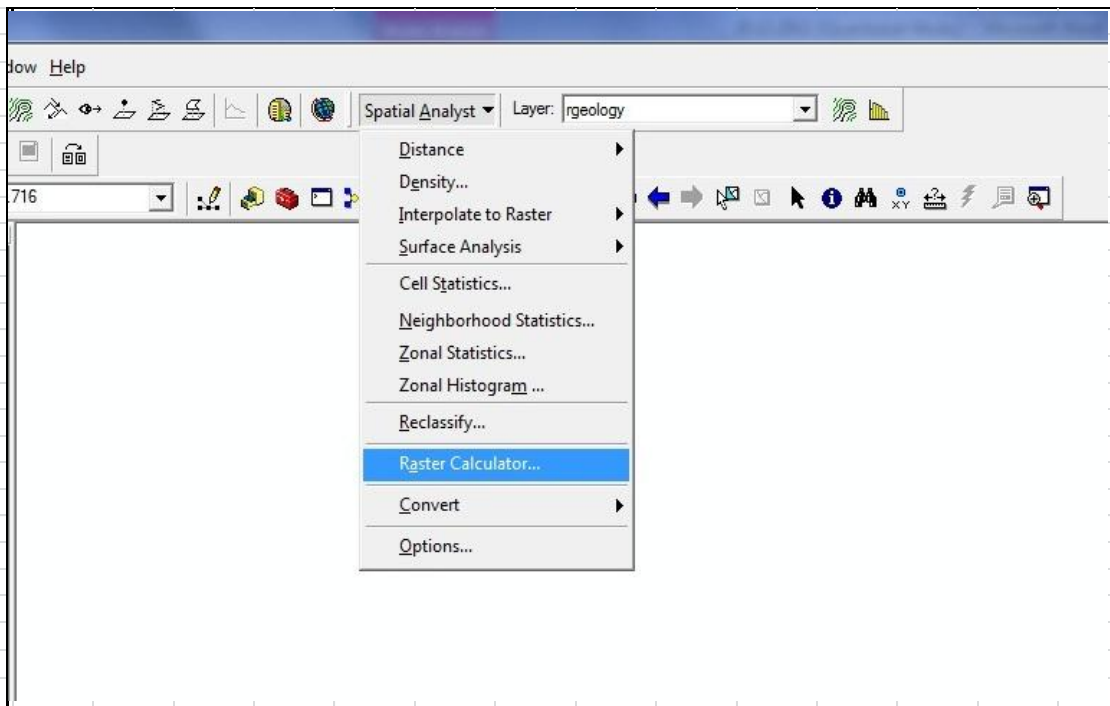
FR metoduyla heyelan duyarlılık analizi için 18 heyelan etkileyen faktör haritası kullanılmıştır. Her harita analizde kullanılabilmesi için ‘Reclassify’ seçeneği ile yeniden sınıflandırılarak ‘Integer’ hale getirilmiştir. FR methoduyla heyelan duyarlılık analizi ArcMAP programındaki ‘Spatial Analyst’ araç çubuğundaki ‘Raster Calculator’ seçeneği kullanılarak yapılmıştır. ‘Raster Calculator’da heyelan duyarlılığına etki eden 18 faktör toplanıp heyelan duyarlılık haritası oluşturulmuştur. Analiz aşamalı olarak Şekil 3.43, Şekil 3.44, Şekil 3.45 ve Şekil 3.46’ te gösterilmiştir.



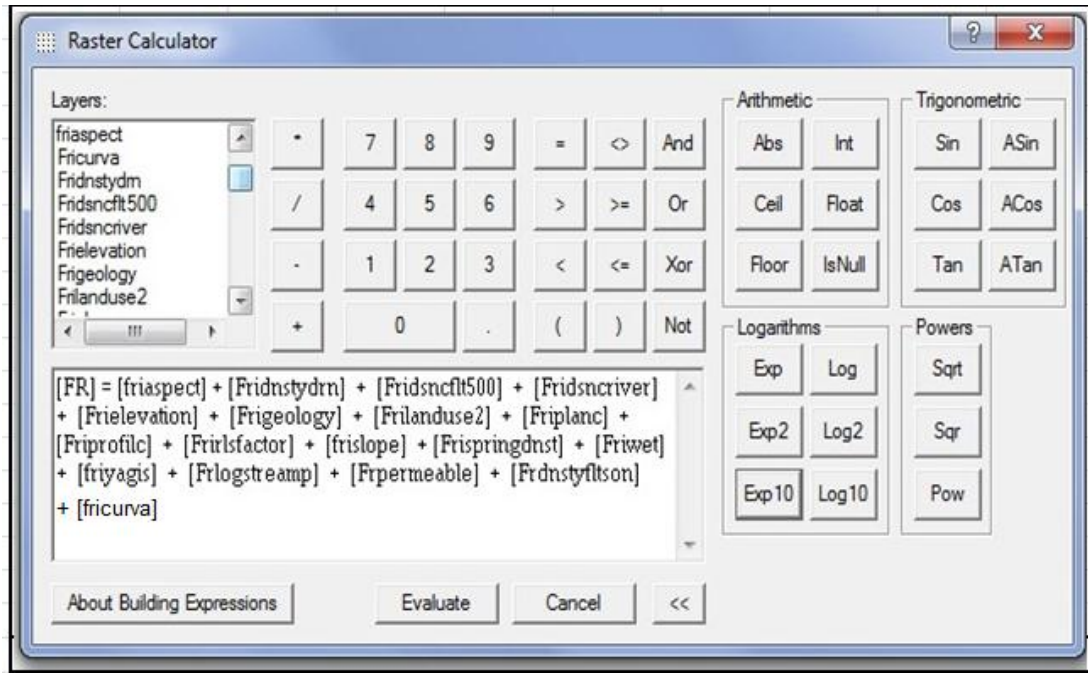
Şekil 3.43. Spatial Analyst araç çubuğundan ‘Reclassify’ in seçilmesi



Şekil 3.44. Reclassify seçeneğinin görünümü

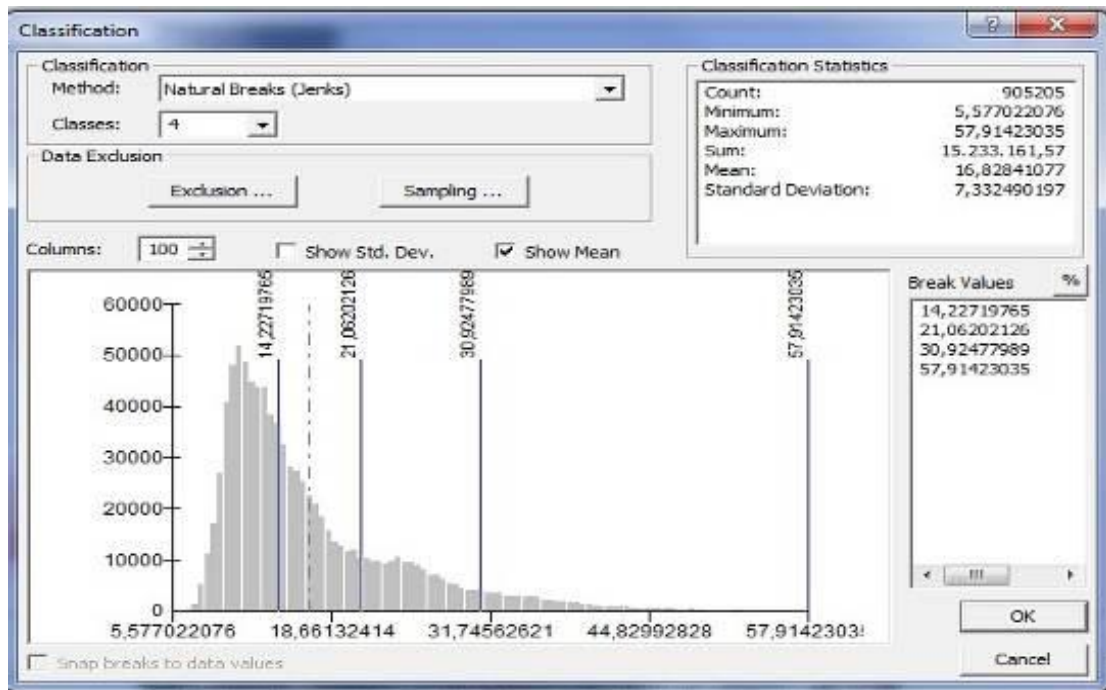


Şekil 3.45. Spatial Analyst araç çubuğunda Raster Calculator



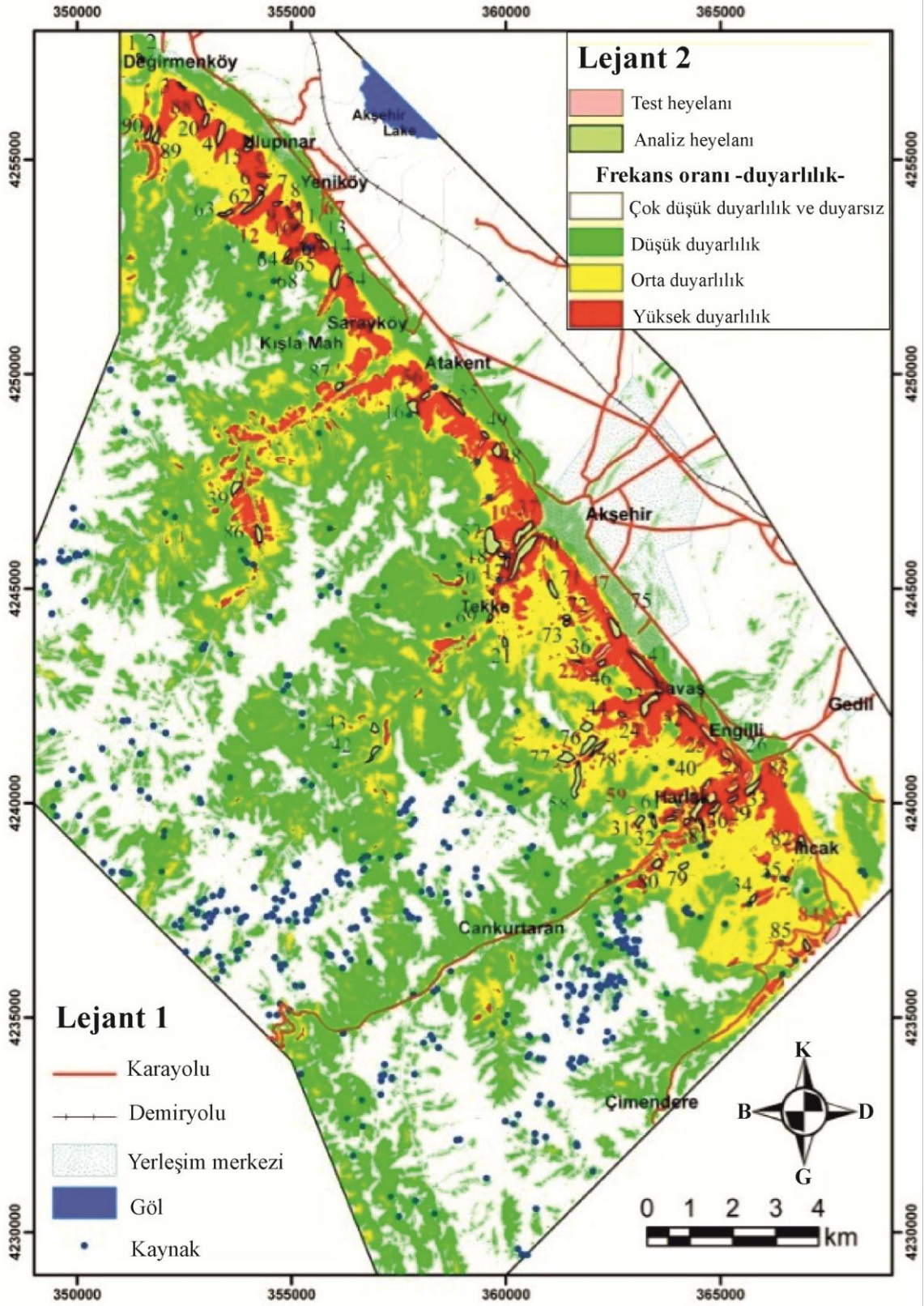
Şekil 3.46. Raster Calculator' da heyelana etki eden faktörlerin toplanması

Heyelan duyarlılık haritaları çok düşük, düşük, orta, yüksek olmak üzere 4 farklı kategoride sınıflandırılabilir (Lee ve Min, 2001). Sınıflandırma yapılırken eşit aralıklar, geometrik aralıklar, standart sapmalar ve doğal kesme yöntemleri kullanılabilir. Bu çalışmada doğal kesme (natural breaks) yöntemi kullanılarak oluşturulan frekans haritası 4 sınıfa bölünmüştür (Şekil 3.47).



Şekil 3.47. FR metodu doğal kesme yöntemi ile sınıflandırması

Üretilen heyelan duyarlılık haritası Şekil 3.48' de verilmiştir.



Şekil 3.48. Çalışma alanının Frekans Oranı metoduyla üretilen heyelan duyarlılık haritası

3.2.2. Lojistik regresyon yöntemi ve heyelan duyarlılık değerlendirmesi

Çok değişkenli istatistiksel yöntemlerden regresyon analiziyle ilgili genel bilgiler Özdamar (1999a, 1999b), Kleinbaum ve ark. (1998)'den yararlanılarak aşağıda kısaca özetlenmiştir.

Lojistik regresyon analizi (LRA) çoklu regresyon analiz (MRA) yöntemlerinden olup, sonuç değişkenlerinin kategoriksel yapıda olduğu zaman kullanılır.

Regresyon analizinin temelinde; gözlenen bir olay değerlendirilirken, hangi olayların etkisi içinde olduğunun araştırılması amaçlanmaktadır. Bu olaylar bir veya birden çok olacağı gibi dolaylı veya doğrudan da etkilenebilirler. Regresyon analizi yapılırken, gözlem değerlerinin ve etkilenilen olayların bir matematiksel gösterimle yani bir fonksiyon yardımıyla ifadesi gerekmektedir. Kurulan bu modele regresyon modeli denilmektedir. Regresyon analizi, biri bağımlı (açıklanan) değişken, diğeri bağımsız (açıklayıcı) değişken olmak üzere en az iki değişken arasındaki ortalama ilişkinin matematiksel bir fonksiyon şeklinde yazılmasıdır. Bağımlı değişken, değeri başka değişkenler tarafından etkilenen ve diğer değişkenlerin değeri değiştiğinde bu değişimden etkilenen değişkendir. Bağımsız değişkenler ise değeri rastgele koşullara göre belirlenen, bağımsız olarak değişim gösterenve başka değişkenlerin değişimi üzerine etkide bulunan değişkenlerdir.

Lojistik regresyon modelinin incelenmesi; model oluşturma, değişkenlerin önemliliğinin modelin test edilmesi, katsayıların yorumlanması aşamalarından oluşmaktadır.

Genel olarak lojistik regresyon tekniğinde heyelanın olduğu yerler bağımlı (1), heyelanın olmadığı yerler ise bağımlı ancak (0) değişken olarak alınır (Ayalew and Yamagishi, 2005).

Lojistik regresyon analizi genel olarak ikili kodlanmış heyelan konumları (Heyelan olan ve heyelan olmayan noktalar) ve heyelan gelişimine etki eden faktörler arasında fonksiyonel ilişki kurar.

İnceleme alanının LR metoduyla Ozdemir (2011c) tarafından üretilen heyelan duyarlılık haritasına göre toplam 256.375 km² (68.7%)' lik alan çok düşük duyarlılıktadır. Çalışma alanında düşük ve orta heyelan duyarlılık zonları sırasıyla 933 km² (18.2 %) ve 19.936 km² (5.3 %) 'dir. Heyelan duyarlılığının yüksek olduğu bölge ise 28.869 km² (7.7 %) 'dir (Ozdemir, 2011c).

3.2.3. Weight of Evidence yöntemi ve heyelan duyarlılık değerlendirmesi

Weight of evidence yöntemi, matematiksel olarak Van Westen ve ark. (2003) ve Chung ve Fabbri (1999) tarafından belirlenmiştir. Weight of evidence yöntemi, tanım olarak bir olayın meydana gelmesinde birden fazla etkenin olması koşulunda etkenlerin ağırlıklarını hesaplayarak birleştiren istatistiksel bir metottur. Bu metot “Bayesian teoremi” olarak bilinmektedir. Önceleri mineralizasyon değerlendirmelerinde kullanılan bu yöntem son yıllarda heyelan duyarlılık analizlerinde yoğun olarak kullanılmaktadır (Lee ve ark., 2004). Bu metod ArcSDM modülü vasıtasıyla daha kolay uygulanabilmektedir (Kemp ve ark., 2001). Yöntemin esası prior ve posterior olasılık yaklaşımları ile belirli bir alanda heyelan ve heyelan olmayan alanlarda heyelana etki eden bir faktörün heyelana katkısının belirlenmesine dayanmaktadır.

Eğer A_f ile gösterilen bir çalışma alanının belirli bir kısmında oluşan heyelan alanı A_f ise prior olasılık aşağıdaki şekilde ifade edilir;

$$P_f = \frac{A_f}{A_t} \quad (3.8)$$

Bu olasılık heyelan olma veya heyelanı oluşturan faktörlerle artabilmekte veya azalabilmektedir. A_f alanı içinde herhangi bir heyelan oluşumuna katkı sağlayan değişkenin (örneğin heyelan alanında eğimi 30-50 derece arasında olan yamaç eğiminin) olaya katkısı ise aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$P_v = \frac{T_v}{A_t} \quad (3.9)$$

Burada T_v belirli bir faktörün toplam alan (A_t) içindeki alanıdır

Heyelanı etkileyen faktörlerin her sınıftaki ağırlık değerleri aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanılır (Regmi ve ark., 2010).

Ağırlıklar aşağıdaki gibi ifade edilebilmektedir.

$$W^+ = \ln \left[\begin{array}{c} \frac{A1}{A2} \\ \frac{A3}{A4} \end{array} \right] \quad (3.10)$$

$$W^- = \ln \left[\begin{array}{c} A5 \\ A2 \\ A6 \\ A4 \end{array} \right] \quad (3.11)$$

Burada,

W^+ : n'inci sınıf içindeki j ninci parametrenin olabirliğini gösteren pozitif ağırlığı

W^- : n'inci sınıf içindeki j ninci parametrenin olamama olabirliğini gösteren negatif ağırlığıdır.

A1 gözönüne alınan sınıf içindeki heyelan alanı, A2 toplam heyelan alanı, A3 gözönüne alınan sınıftaki stabil alan , A4 toplam stabil alan, A5 diğer sınıflar içindeki toplam heyelan alanı, A6 diğer sınıflar içindeki stabil alandır.

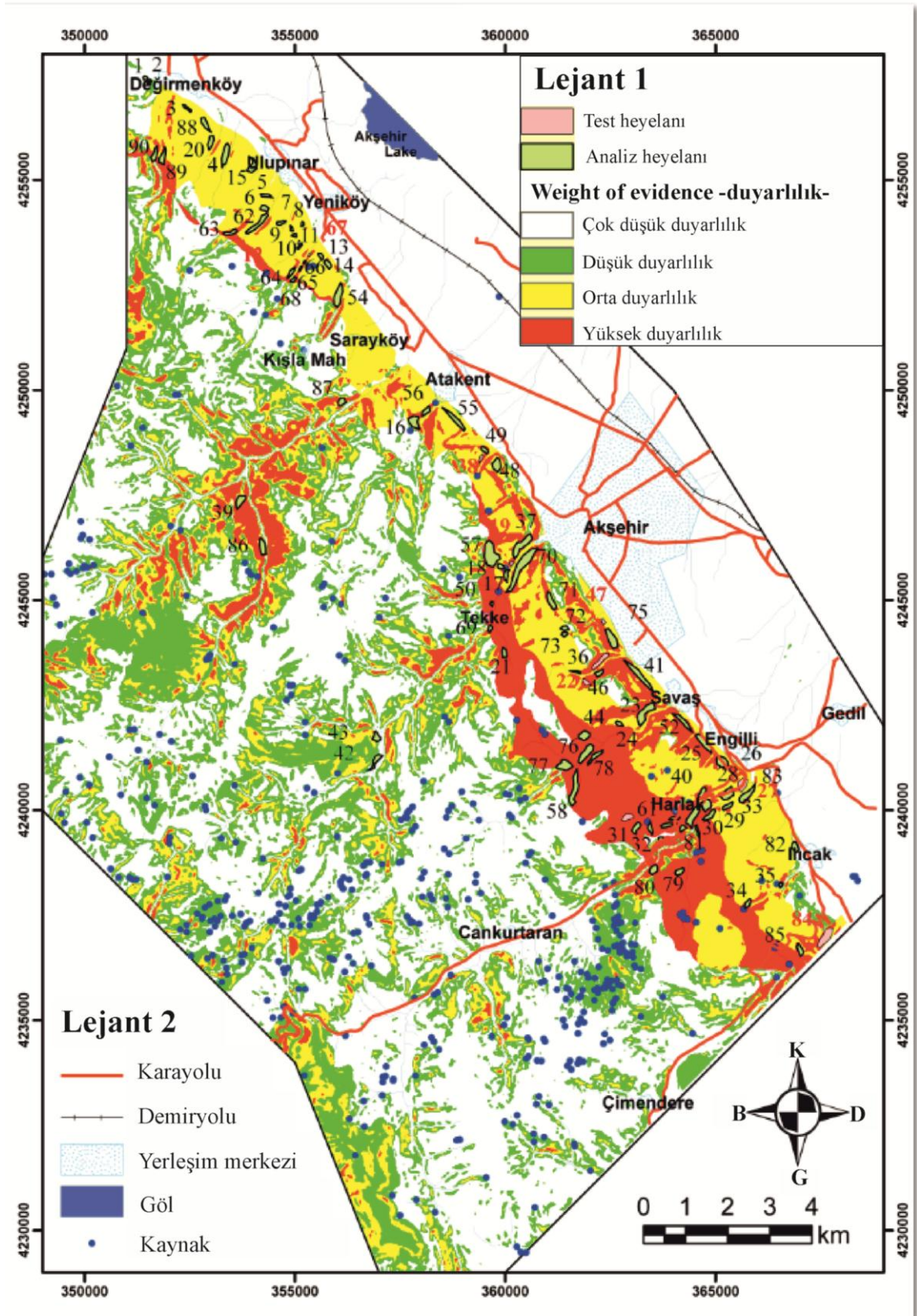
Herbir parametre için W^+ ile W^- arasındaki fark (kontrast ağırlığı) heyelan olabilme veya heyelan olmaya etki etmenin ölçüsü olarak değerlendirilmektedir.

$$C = W^+ - W^- \quad (3.12)$$

C'nin değeri 0'a yaklaştıkça ele alınan parametrenin etki derecesi azalmaktadır. Pozitif değeri etkinin artmasını, negatif değeri ise etkinin olumsuz yönde olduğunu göstermektedir. Değerinin 2 veya daha fazla olması ele alınan parametrenin heyelan olmaya oldukça yüksek oranda katkı sağladığını göstermektedir (Barbieri and Cambuli 2009).

Weight of evidence yöntemi ile Akşehir ve çevresinin heyelan duyarlılık haritası Ozdemir (2011a) tarafından üretilmiştir (Şekil 3.50).

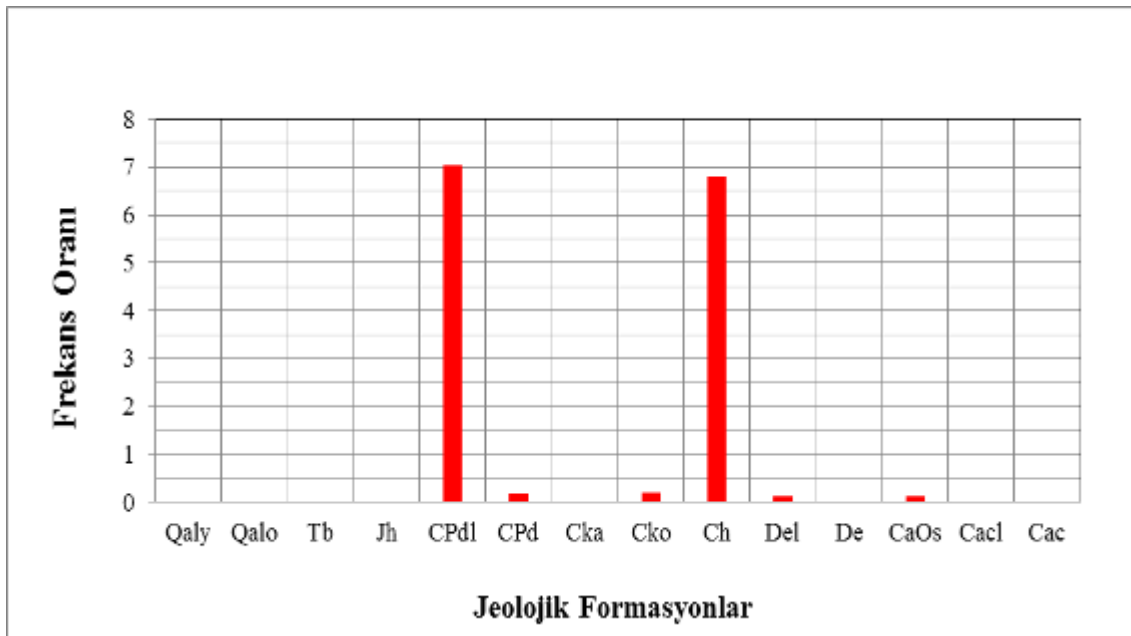
WOFE metoduyla üretilen heyelan duyarlılık haritası çok düşük, düşük, orta ve yüksek duyarlılıktaki heyelan alanları olmak üzere 4 sınıfa ayrılmış ve her sınıf sırasıyla 221.202 km² (59.3 %), 62.492 km² (16.7 %), 56.661 km² (15.2 %) ve 32.757 km² (8.8 %) 'lik bir alana sahiptir (Ozdemir, 2011a).



Şekil 3.50. Çalışma alanının Weight of Evidence metoduyla elde edilen heyelan duyarlılık haritası (Ozdemir,2011a)

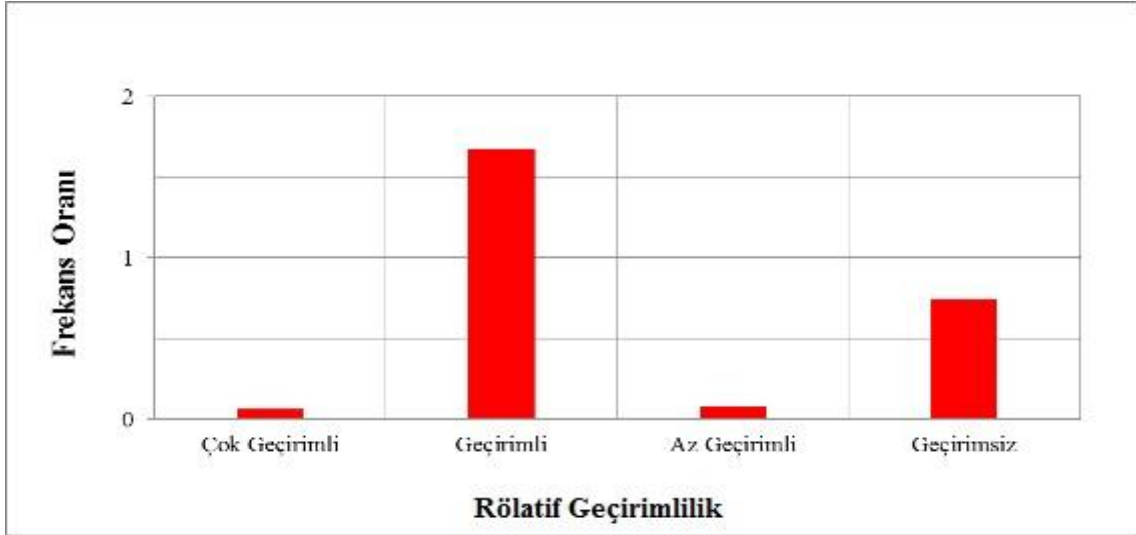
4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Çalışma alanında 14 jeolojik birim bulunmaktadır. Jeolojik birimlerden Harlak formasyonu ile Deresineek formasyonlarında heyelan duyarlılığı yüksek, genç ve eski alüvyonlar ile Bağkonak ve Hacılabaz formasyonlarında ise duyarlılık düşüktür. Harlak formasyonu genelde fillit ve şistlerden, Deresineek formasyonu ise marn ve kireçtaşlarından oluşmaktadır. Fillit ve şistler oldukça ayrıışmış, bozuşmuş ve killeşmişlerdir. Zaten zayıf dayanımlı olan fillit, şist ve marnlar su ile temas etmeleri halinde yumuşamakta ve kesme dayanımları daha da fazla düşmektedir. Bu düşük kesme dayanımı heyelan duyarlılığının artmasına neden olmaktadır. Kaymaların birçoğu kireçtaşlarının olduğu bölgelerde gelişmiş ve bu durum eklemlerin varlığı ve kireçtaşları içindeki klorit şist ve sleytin varlığı ile ilişkilidir. Yukarıda sayılan nedenler ile bu formasyonların Sultandağı'nın eğimi yüksek olan kesimlerinde yer alması birlikte düşünüldüğünde bu birimlerdeki heyelan duyarlılığının yüksek olmasının nedenleri daha iyi anlaşılmaktadır. Eğimin düşük olduğu yerlerde bulunan eski ve yeni alüvyonlar ile dayanımı yüksek olan kireçtaşından oluşan Hacılabaz kireçtaşında ise heyelan duyarlılığı oldukça düşüktür. Düşük kesme dayanımlı fillit, killi şist ile marnların heyelan oluşumunda asıl etken oldukları düşünülmektedir.



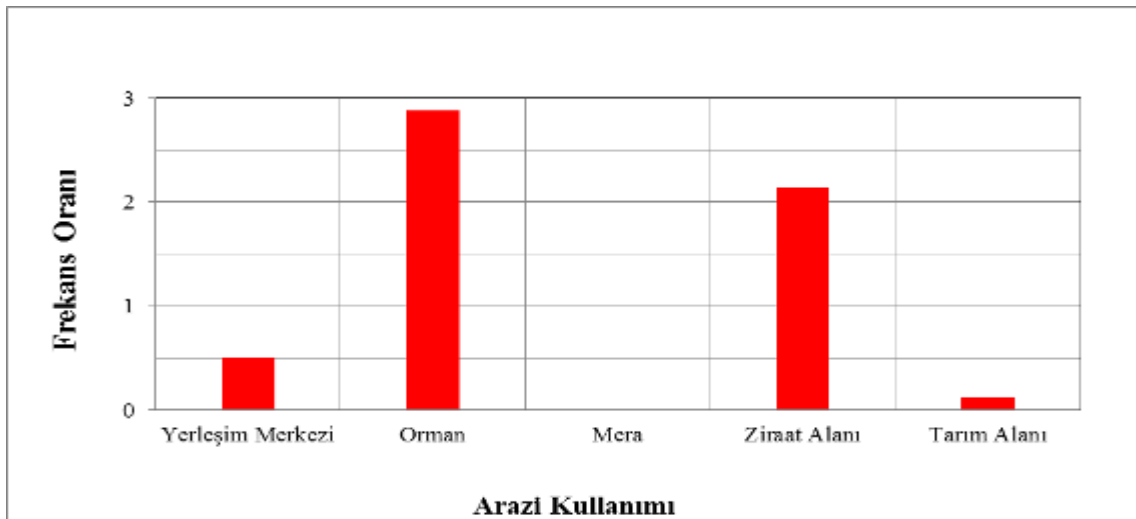
Şekil 4.1. Formasyon sınıflarına göre frekans oranları

İnceleme alanında heyelanlar geçirimli kumtaşı tabakalarında ve geçirimsiz şist, fillit, kiltası ve silttaşı birimlerinde meydana gelmektedir. Heyelan duyarlılığı geçirimliliği yüksek ve düşük olan birimlerde yüksek, geçirimli birimlerde ise düşüktür (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. Geçirimsizlik sınıflarına göre frekans oranları

İnceleme alanında frekans oranı değeri ormanlık alanlarda ve ziraat alanlarında yüksektir. Bunun nedeni bu bölgelerdeki kayaçların zayıf ve dayanımsız olmasıdır. Orman arazi örtüsü genelde sığ heyelan oluşumunu önlemekte ancak derin kaymalarda fazla etkili olamamaktadır. Tarım genelde düşük eğimli alanlarda yapılmaktadır. Bu alanlarda heyelan duyarlılığı da oldukça düşüktür (Şekil 4.3).

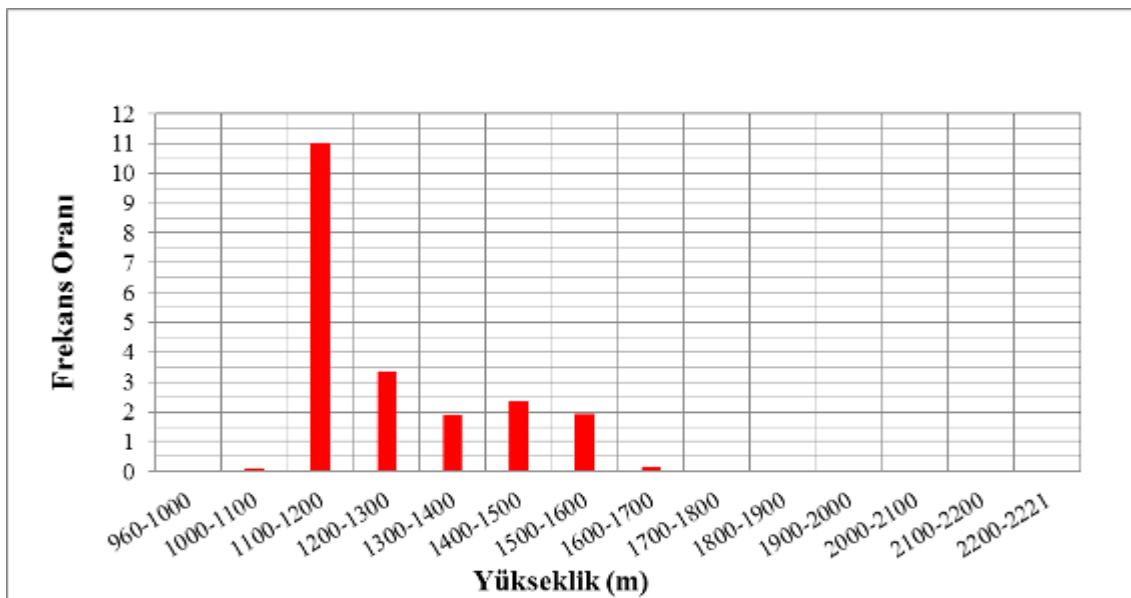


Şekil 4.3. Arazi kullanım sınıflarına göre frekans oranları

İncelenen alanda yükseklik 960 m ile 2221 m arasında değişmektedir. Genel olarak eğim arttıkça heyelan oluşum olasılığının artacağı bilinen bir gerçektir, ancak yüksek eğimli yerlerin genelde daha dayanımlı litolojilerden oluşması durumunda istisnai durumlar sözkonusu olabilmektedir (Ozdemir, 2011a).

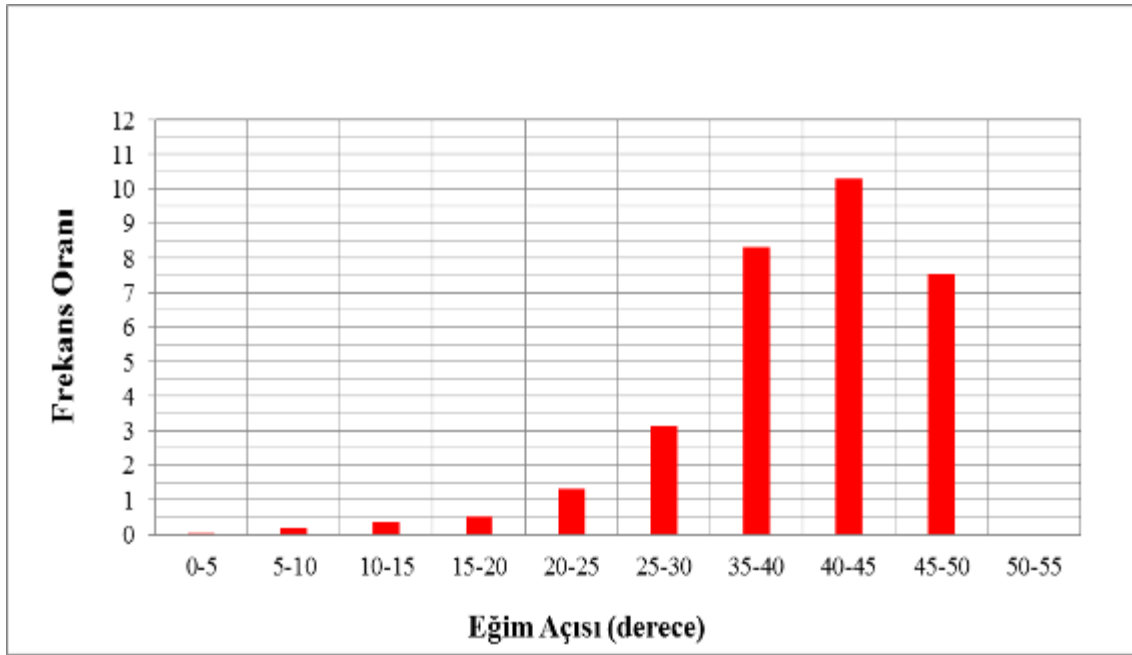
Heyelan duyarlılığı arazi yüksekliğinin genel olarak 1100 m ile 1600 m arasında olduğu alanlarda daha fazladır. Bu bölgeler aynı zamanda eğiminde yüksek olduğu bölge olması nedeniyle heyelan oluşumuna daha fazla katkı sağlamaktadır. 960-1000 m. arası ile 2000-2200 m arazi yüksekliğinde ise heyelan duyarlılığı daha düşüktür (Şekil 4.4).

Yüksekliğin düşük olduğu kesimlerin genelde ova olması ile yüksekliğin fazla olduğu kesimlerde dayanımlı litolojilerin bulunması buralardaki heyelan duyarlılığının düşük olmasına neden olmuştur.



Şekil 4.4. Yükseklik sınıflarına göre frekans oranları

İnceleme alanda yamaç eğimleri 0 derece ile 50 derece arasında değişmektedir. 20 dereceden sonra yamaç eğimi arttıkça heyelan duyarlılığı da yükselmektedir. 40-45 derece arasında heyelan duyarlılığı en yüksek seviyededir. 45 dereceden sonra yamaç eğimi arttıkça heyelan duyarlılığı düşmektedir. Buna yüksek eğimli alanlarda ya dayanımlı litolojilerin bulunması ya da buralarda kayabilecek malzeme birikiminin olmamasının etkili olduğu düşünülmektedir. Eğimin çok düşük olduğu kesimlerde de (0-20 derece) heyelan duyarlılığı oldukça düşüktür (Şekil 4.5).

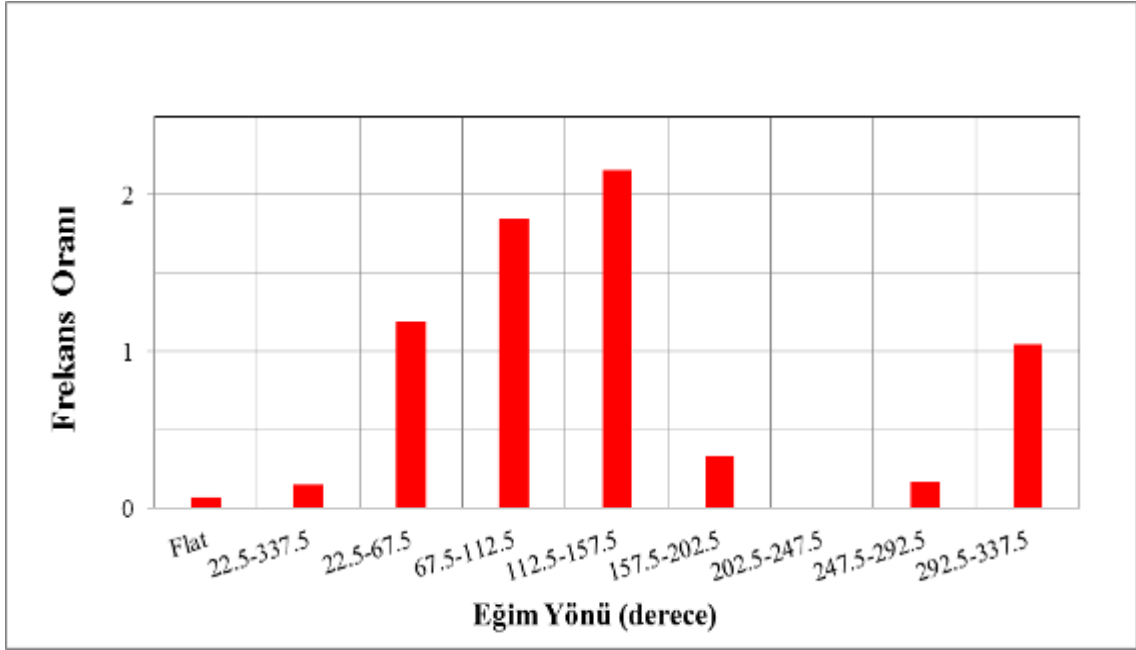


Şekil 4.5. Eğim açısı sınıflarına göre frekans oranları

Çoğu araştırmacılar için belirli eğim yönündeki yüksek heyelan duyarlılığının hakim rüzgar yönü, kayaç yapısı ve fay yönelimiyle ilişkili olduğunu belirtmişlerdir (Ayalew ve Yamagishi, 2005; Fernandes ve ark., 2004). Diğer yandan bazı araştırmacılar ise farklı alanlarda eğim yönü ve heyelan duyarlılığı arasındaki ilişkiyi gözardı etmiştir (Ayalew ve Yamagishi, 2004; Cevik ve Topal, 2003).

İnceleme alanında heyelan duyarlılığı yamaç eğim yönü, süreksizlikler ve yağış gibi parametrelerle ilişkilidir. Güneş ışığını çok alan ve bundan dolayı kuraklıktan bitki örtüsünün az geliştiği yamaçlarda heyelan duyarlılığı yüksektir.

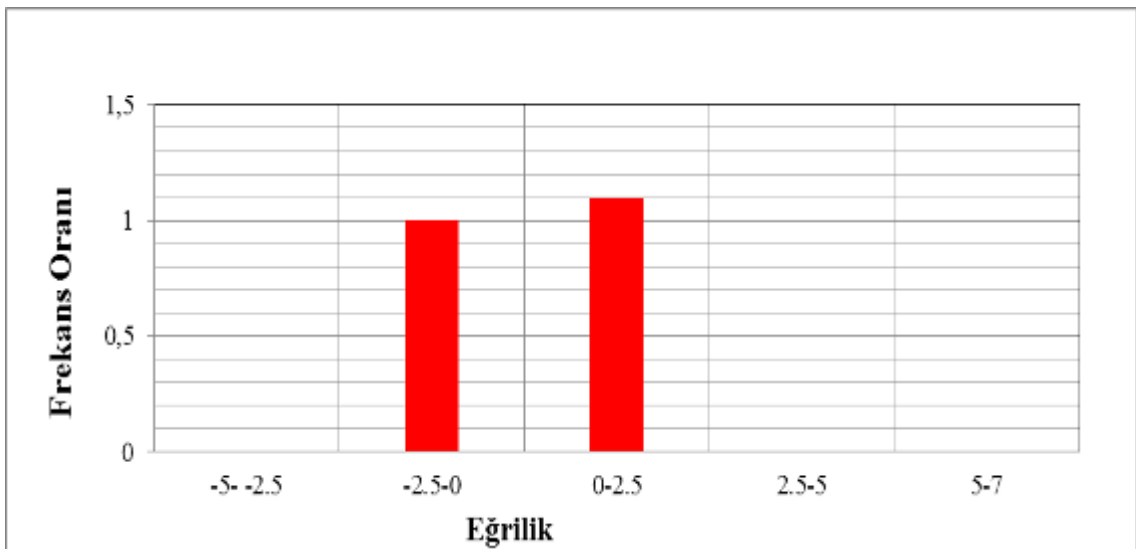
Sultandağı'nın uzun eksenini NW-SW doğrultuludur. İncelenen alanda Sultandağı doğrultusunu yaklaşık dik kesen NE-SW gidişatlı derin vadiler bulunmaktadır. Bu derin vadilerin yamaç eğim yönleri kuzeyden itibaren saat dönüş yönünde ölçülen 112.5-157.5 ve 67.5-112.5 derece konumlu yamaçlarında heyelan duyarlılığı daha yüksek, buna karşılık yatay arazilerde ve 22.5-337.5 ile 202.5-247.5 derece eğim yönünde olan yamaçlarında ise heyelan duyarlılığı düşüktür (Şekil 4.6).



Şekil 4.6. Eğim yönü sınıflarına göre frekans oranları

Toplam eğriliğin -2.5 ile 0 ve 0 ile 2.5 arasında olduğu yamaçlarda heyelan duyarlılığı daha yüksektir (Şekil 4.7).

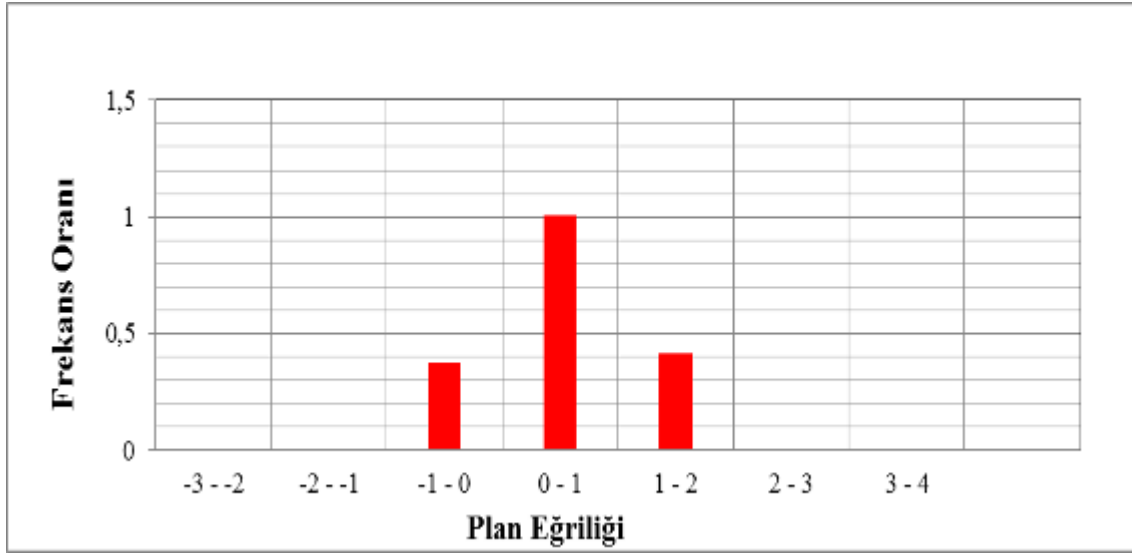
Toplam eğrilikte negatif değerler konkav alanları, pozitif değerler ise konveks alanları tanımlamaktadır. Heyelan duyarlılığının konkav ve konveks alanlarda yüksek çıkmasında buralarda yamaç şekline ziyade eğimin daha etkili olduğu şeklinde değerlendirilmektedir. Yüksek heyelan duyarlılığı hem konkav hemde konveks alanlarda gözlenebilmektedir.



Şekil 4.7. Eğrilik sınıflarına göre frekans oranları

Plan eğriliğın 0-1, 1-2 ve -1-0 olduğu yamaçlarda (depolama alanları) heyelan duyarlılığı diğer sınıflarınkine göre daha yüksektir (Şekil 4.8)

Plandaki eğriliğın mutlak değer olarak yüksek olduğu kesimlerde heyelan duyarlılığının yüksek olması heyelan oluşumun hem sırtlarda hem de vadilerde gerçekleştiğini göstermektedir.

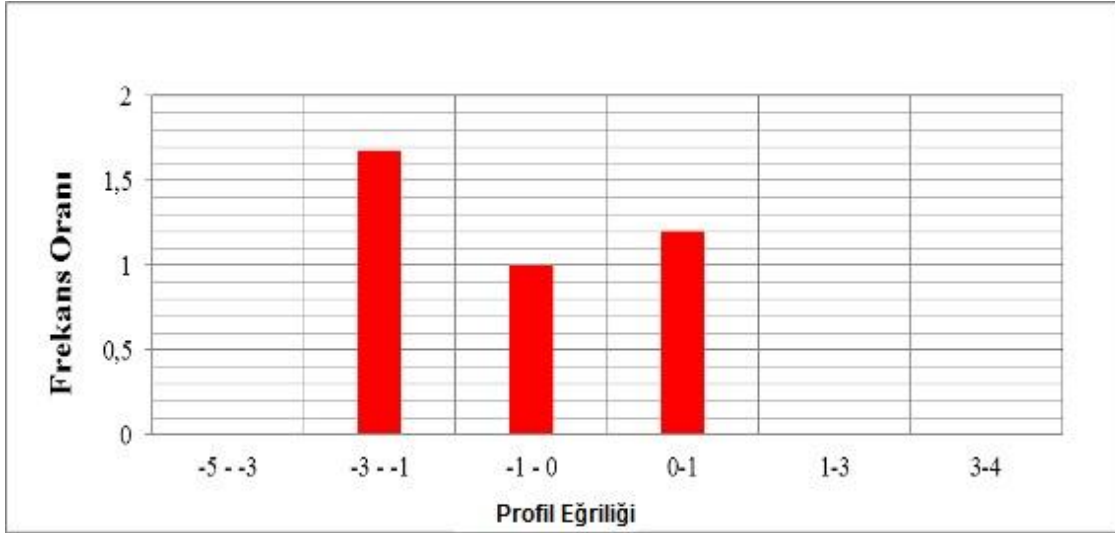


Şekil 4.8. Plan eğriliği sınıflarına göre frekans oranları

Profil eğriliği, sayısal yükseklik modelinde konturlara dik olan eğriliktir. Bu değer akışın hızlanmasını veya yavaşlamasını etkilemektedir, bu nedenle heyelan oluşumunu etkilemektedir (Erener ve Düzgün, 2007; Erener ve Düzgün, 2010).

Bilindiği üzere profil eğriliğinde, negatif değerler eğimin arttığı tümsek (sırt) (konkav), pozitif değerler ise eğimin düştüğü, depolanma (çukur) alanlarını tanımlamaktadır. Pozitif profil eğriliği, eğimin azaldığı, depolanmanın olabileceği alanları, negatif profil eğriliği ise eğimin arttığı ve aşınmanın olabileceği alanları tanımlamaktadır.

Profil eğrilik değerinin -3- -1 arasında olduğu kesimlerde heyelan duyarlılığı daha yüksektir (Şekil 4.9). Pozitif profil eğriliği değerleri diverjans akım bölgeleri olan sırtları, negatif profil değerleri ise konverjans akımların olabileceği vadi kesimlerini tanımlamaktadır.

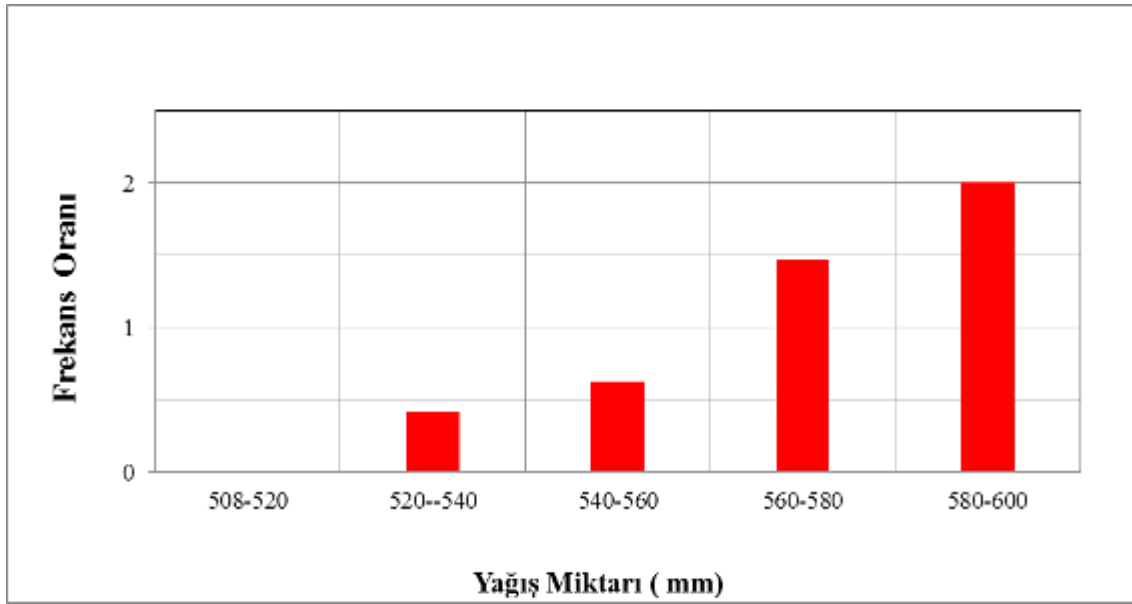


Şekil 4.9. Profil eğriliği sınıflarına göre frekans oranları

Heyelanların belli yönelimlere sahip yamaçlarda yoğunlaşmasında, incelenen alanın morfolojik yapısının, özellikle bölgenin genel yağış yönü ve güneş ışığını alması gibi meteorolojik olaylar etkili olmaktadır. Yoğun yağış alan yamaçlar, topografik eğim ile zeminin türü, geçirimsizliği, gözenekliliği, nem ve organik madde içeriği, bitki örtüsü ve yağışın meydana geldiği mevsim gibi birçok faktör tarafından kontrol edilen süzülme kapasitesine de bağlı olarak, hakim bakıya sahip yamaçlardaki malzeme diğer yamaçlara göre daha çabuk doygunluğa ulaşır. Buna bağlı olarak bu yamaçlarda boşluk suyu basıncının gelişmesine neden olur (Akıncı ve ark., 2010).

Artan yağışlarla birlikte gözenek suyu basıncının artmasıyla yamaç stabilitesi bozulabilmekte (Anderson ve Sitar, 1995; Intarawichian, 2008; Iverson ve ark., 1997) ve kayaçların kesme dayanımı azalabilmektedir (Chen ve ark., 1995).

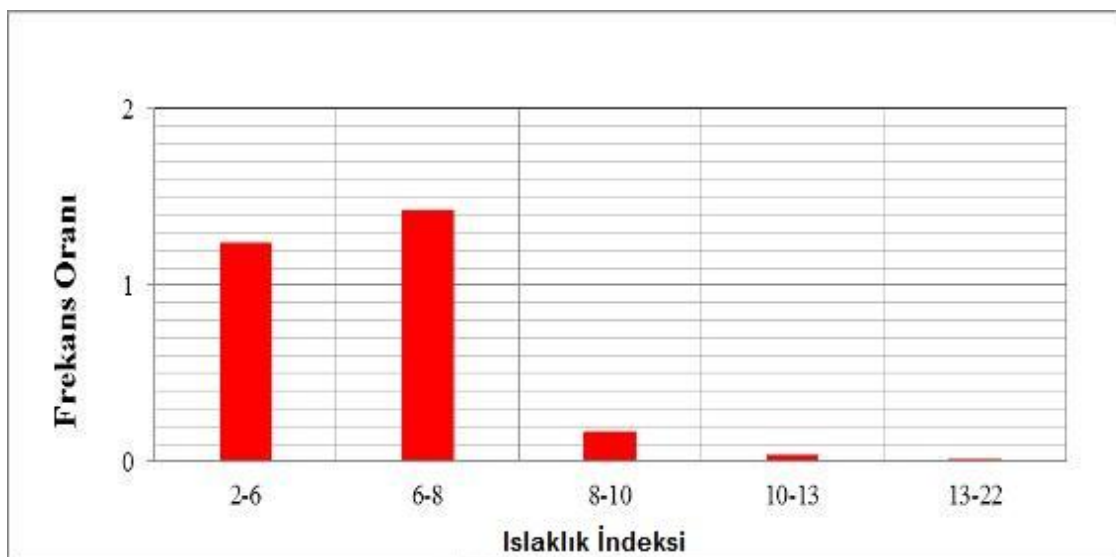
Yağışın çok fazla 580-600 mm olduğu kesimde heyelan duyarlılığının yüksek olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.10). Arazi eğimi ve yıllık yağışın düşük olduğu inceleme alanının batısında ise heyelan duyarlılığının daha düşük olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.10. Yağış miktarı sınıflarına göre frekans oranları

Islaklık indeks değeri arttıkça heyelan duyarlılığı düşmektedir. En yüksek heyelan duyarlılığı ıslaklık indeks değerinin 2-6 ve 6-8 olduğu kesimlerde gözlenmektedir (Şekil 4.11). Islaklık indeks değerinin düşük olduğu kesimler ya özgül depolama alanının küçüklüğünden veya eğimin yüksekliğinden kaynaklanmaktadır.

Arazi eğiminin yüksek olması ıslaklık indeks değerinin düşmesine ve kayma ihtimalinin artmasına neden olmaktadır.

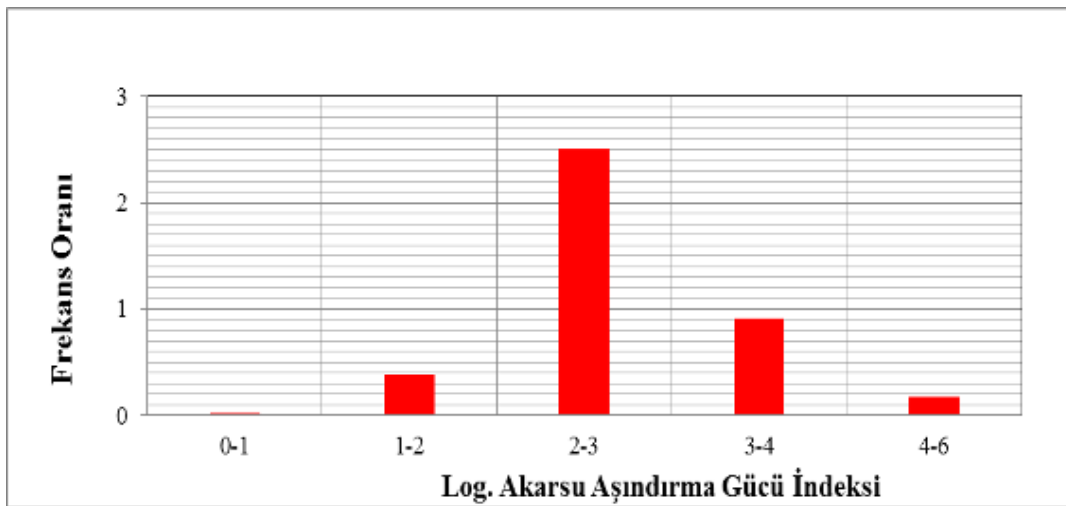


Şekil 4.11. Islaklık indeksi sınıflarına göre frekans oranları

Suyun aşındırma gücü eğim-heyelan ilişkisini doğrudan etkiler. Bu yüzden akarsu aşındırma gücü kaymayı etkileyen önemli faktörlerden biridir (Nefeslioglu ve ark., 2008). Akarsu akışı yamaçları aşındırmasıyla ya da su seviyesindeki artışlar sonucu malzemenin suya doymasıyla yamaç stabilitesini olumsuz yönde etkileyebilir (Cevik ve Topal, 2003; Dai ve ark., 2001; Yalcin, 2008).

Aşındırma gücü indeks değeri arttıkça kayma duyarlılığı da artmaktadır. Aşındırma gücü indeks değeri özgül alan ile eğimin çarpımından hesaplandığı göz önüne alınırsa eğimin artış göstermesiyle suyun hızında artacağından su aşındırma gücü indeksi ve heyelan duyarlılığı da artar (Yeşilnacar ve Topal, 2005).

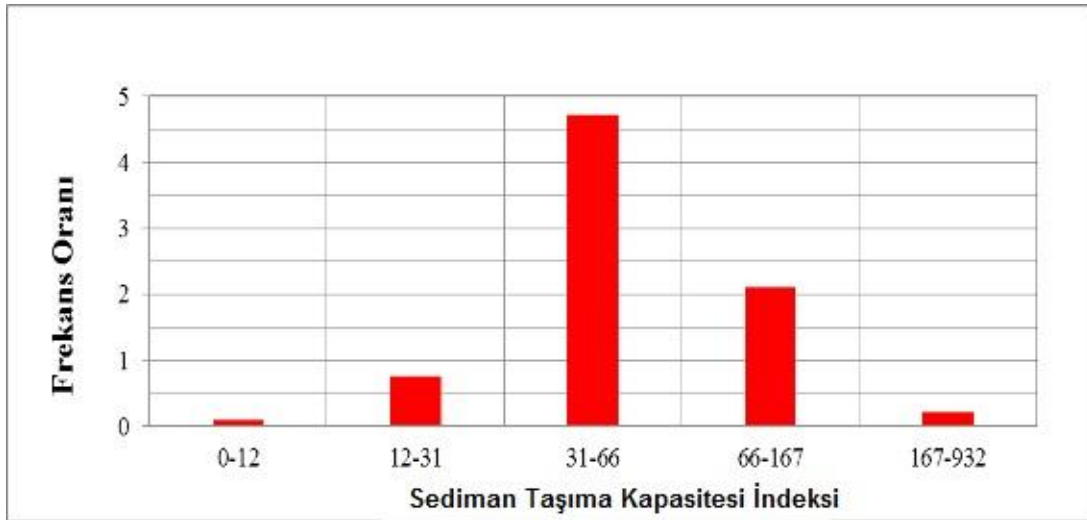
İnceleme alanında logaritmik relatif akarsu aşındırma gücü indeksinin 2-3 olduğu yerlerde heyelan duyarlılığı en yüksektir (Şekil 4.12).



Şekil 4.12. Akarsu aşındırma gücü indeksine göre frekans oranları

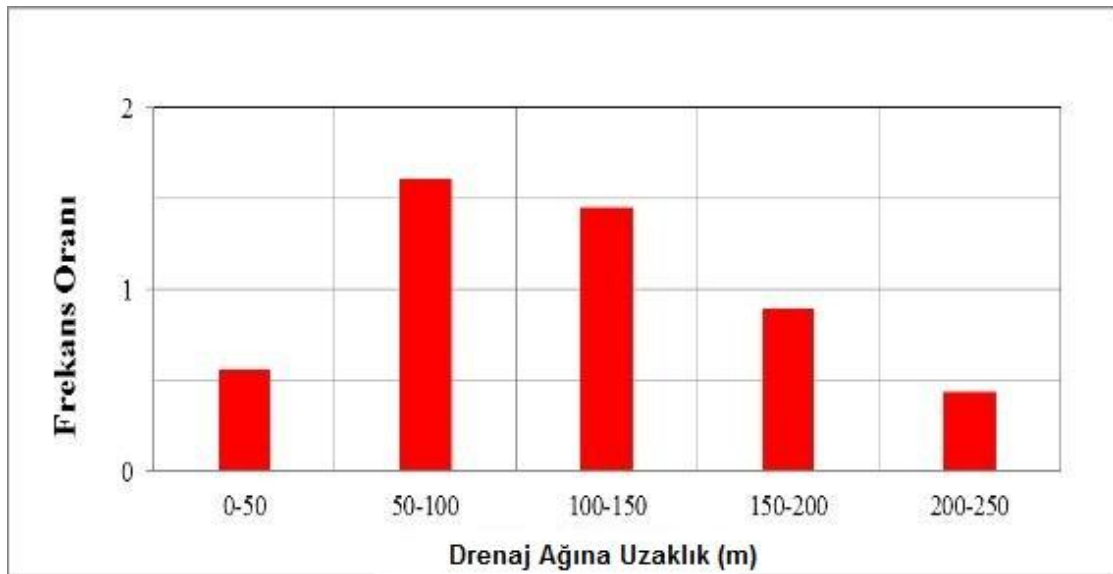
Yamaç eğimin yüksek olduğu yerlerde suyun hızı da artacağından sediman taşıma kapasitesi indeksi değeri de artar (Ozdemir, 2011a).

İnceleme alanında sediman taşıma kapasite indeksi değerinin 31 ile 66 arasında olduğu kesimlerde heyelan duyarlılığı en yüksektir (Şekil 4.13).



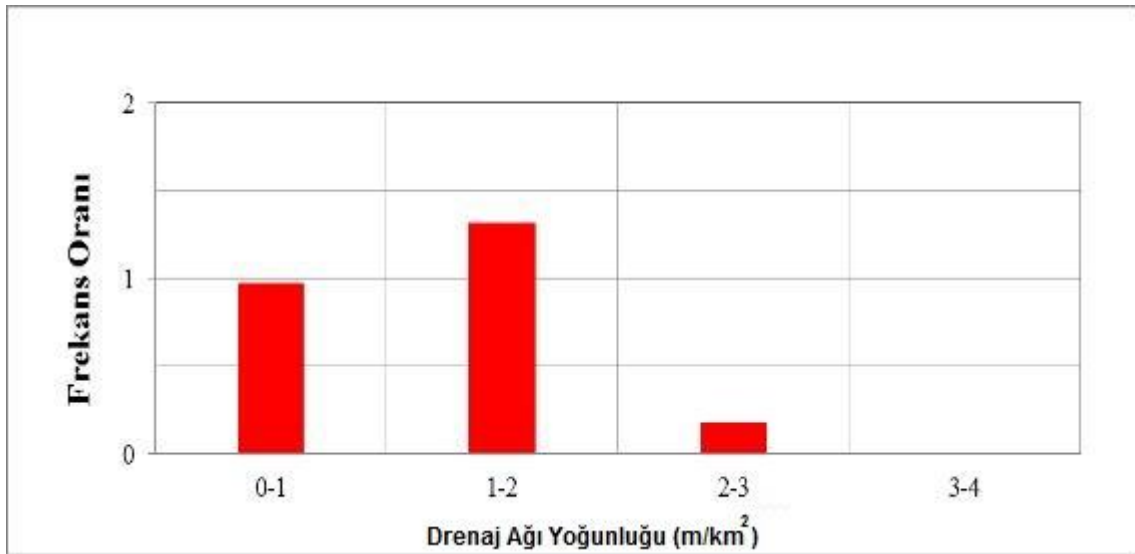
Şekil 4.13. Sediman taşıma kapasitesi indeksi sınıflarına göre frekans oranları

Genelde drenaj ağına çok yaklaşıldığında ve çok uzaklaşıldığında heyelan duyarlılığının düştüğü bilinmektedir. Ancak drenaj ağına 50-100 m aralığında heyelan duyarlılığının daha yüksek olduğu gözlenmektedir. Burada drenaj ağına çok yakın ve uzak kesimlerde eğimin düşmesinin etkili olabileceği düşünülmektedir.



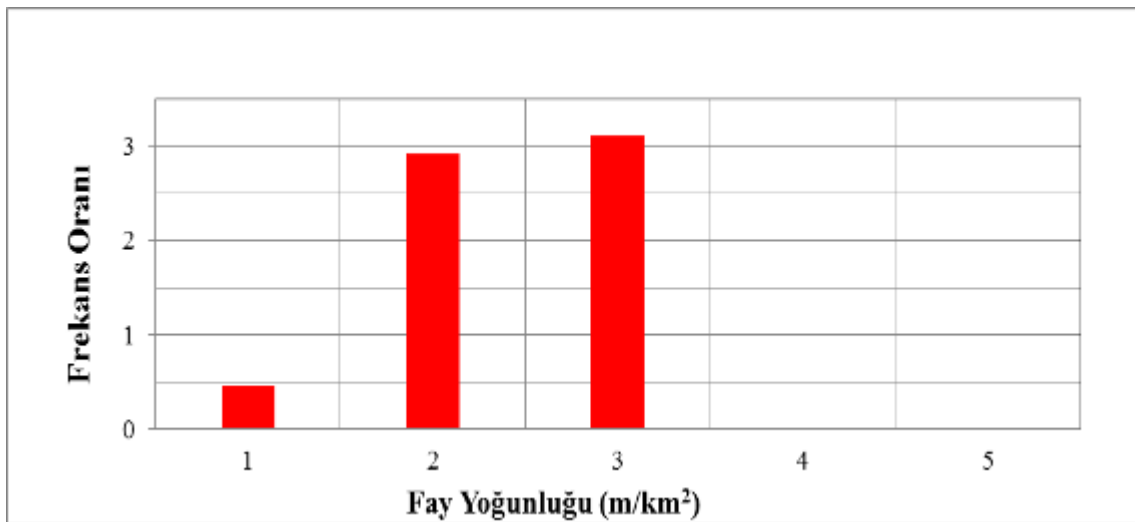
Şekil 4.14. Drenaj ağı uzaklığına göre frekans oranları

İnceleme alanında arazinin yoğun drenaj ağı ile yüzey ve yer altı suyunun kolay drene edilmesinin ve yoğun drenaj ağının olduğu kesimlerde arazinin daha küçük alanlara bölünmesinden dolayı drenaj yoğunluğu arttıkça heyelan duyarlılığı düşmektedir.



Şekil 4.15. Drenaj yoğunluğuna göre frekans oranları

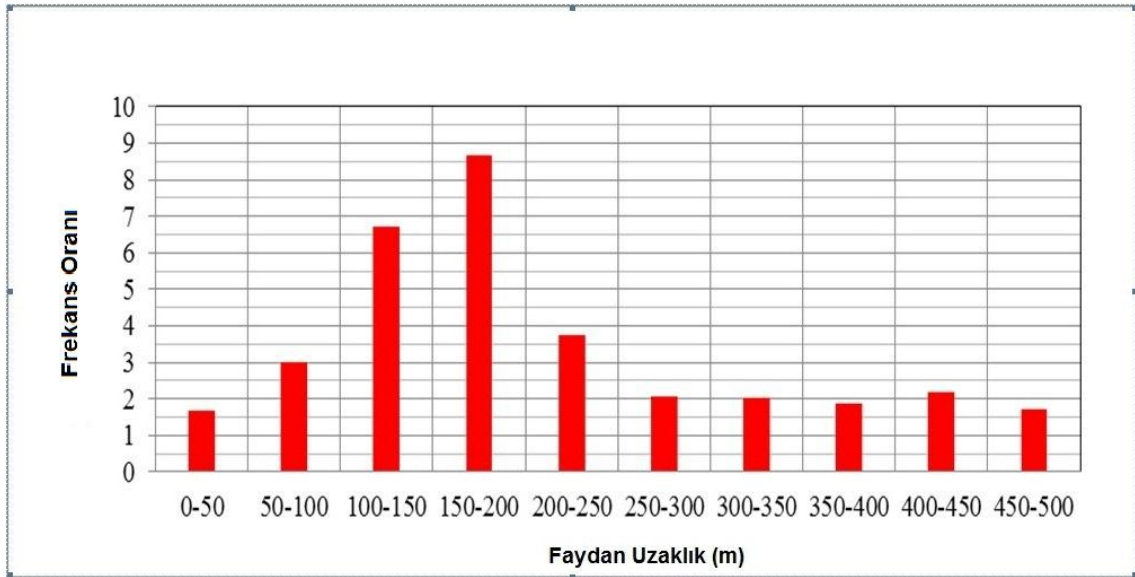
İnceleme alanında fay yoğunluğunun en yüksek olduğu (100-150 m/km²) kesimlerde heyelan duyarlılığı en yüksek değerine ulaşmakta, bundan daha düşük ve yüksek yoğunluklarda ise heyelan duyarlılığı düşmektedir (Şekil 4.16)



Şekil 4.16. Fay yoğunluk sınıflarına göre frekans oranları

Tektonizma; yamaç duraysızlığına faylanma, kırık oluşumu ile deformasyona uğramasını sağlayarak etki edebilmektedir (Khanh, 2009). Faylar, kırıklar gibi süreksizlikler kayaçların dayanımını azaltabilmektedir (Mathew ve ark., 2007).

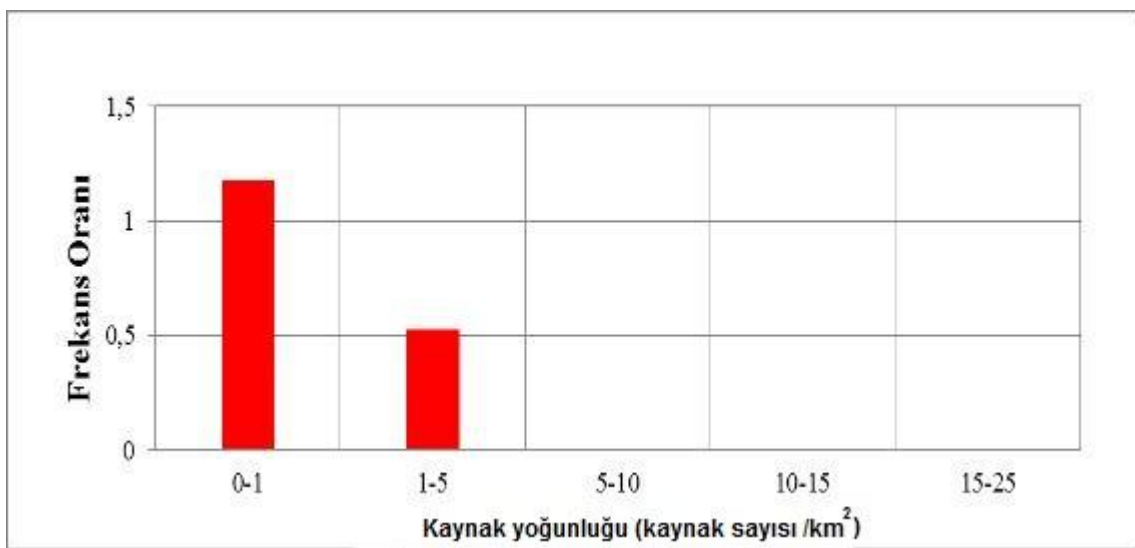
İnceleme alanında faylara uzaklığın 100 m- 200 m olduğu kesimlerde heyelan duyarlılığının daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.17).



Şekil 4.17. Faydan uzaklık sınıflarına göre frekans oranları

Kaynak yoğunluğu ile heyelan duyarlılığının ters ilişkili olduğu görülmektedir. Bunun başlıca nedeni heyelanların kaynakların fazla olmadığı geçirimsiz killi birimlerde gelişmesi asıl etkindir.

İnceleme alanında kaynak yoğunluğunun (kaynak sayısı/km²) 0-1 arasında olduğu kesimlerde heyelan duyarlılığı en yüksektir (Şekil 4.18).



Şekil 4.18. Kaynak yoğunluğu sınıflarına göre frekans oranları

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

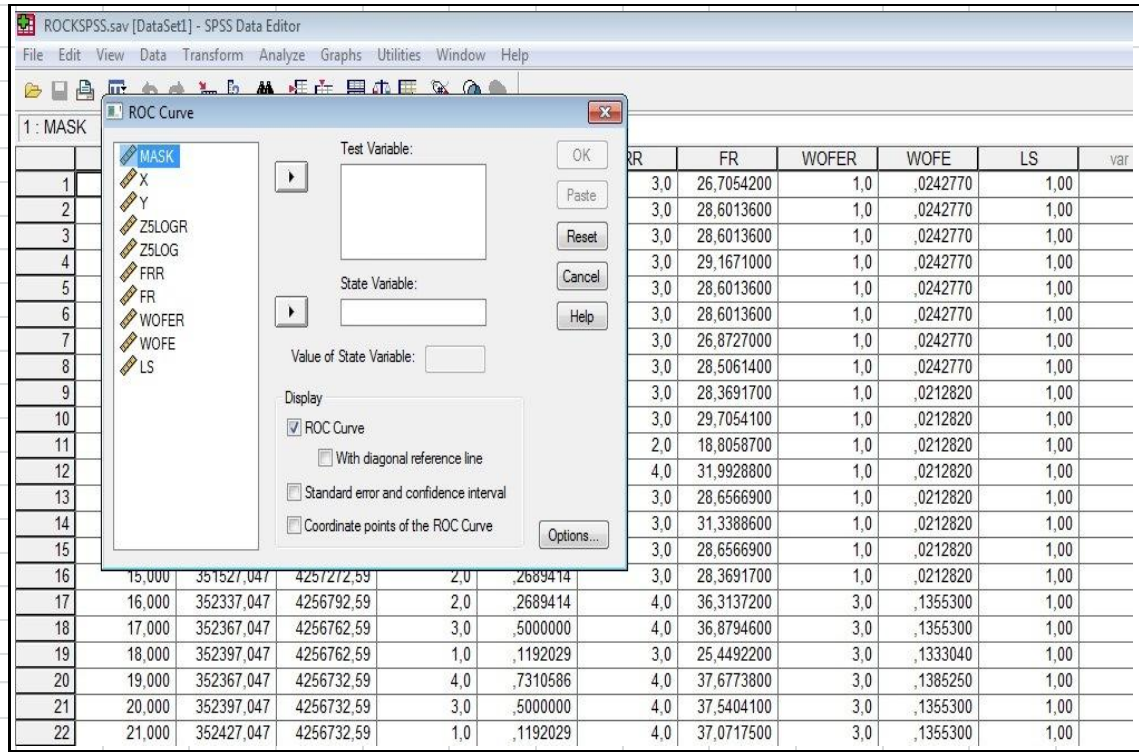
5.1. Sonuçlar

Bu çalışmada her modelin (FR, WOE ve LR) doğruluğu ROC (Receiver Operation Characteristics) hesaplamasıyla değerlendirilmiştir (Chung ve Fabbri, 2003; Mathew ve ark., 2007; Van Den Eeckhaut ve ark., 2010; Yeon ve ark., 2010; Yılmaz, 2009). ROC eğrisi altındaki alan için 0.5-1 arası değerleri modelin doğruluğunu belirlemek için kullanılır (Nandi ve Shakoor, 2009). ROC metodunu çalışma alanına uygulamak için 3068 nokta ile temsil edilen heyelanlı alanları ve rastgele seçilmiş 3016 nokta ile de heyelan olmayan alanları gösteren harita hazırlanmıştır. SPSS (2004) programının “Analiz” kısmındaki “ROC Curve” yöntemi vasıtasıyla FR, LR ve WOFE metotlarıyla üretilen heyelan duyarlılık haritalarıyla bu noktalar kesiştirilerek ROC eğrisi oluşturulmuştur. Bu işlemler aşamalı olarak Şekil 5.1- 5.4 arasında gösterilmiştir.

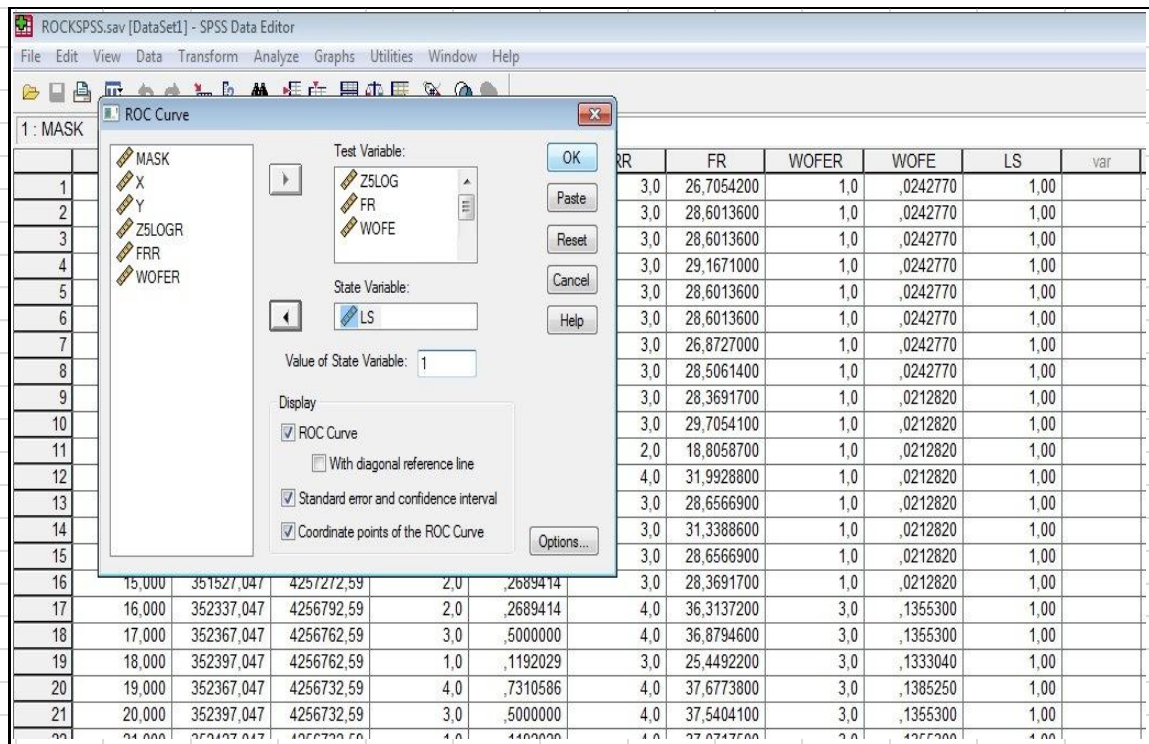
	MASK	X
1	,000	351407,0
2	1,000	351437,0
3	2,000	351467,0
4	3,000	351407,0
5	4,000	351437,0
6	5,000	351467,0
7	6,000	351497,0
8	7,000	351437,0
9	8,000	351467,0
10	9,000	351557,0
11	10,000	351587,0
12	11,000	351527,0
13	12,000	351557,0
14	13,000	351527,0
15	14,000	351557,0
16	15,000	351527,0
17	16,000	352337,0
18	17,000	352367,0
19	18,000	352397,0
20	19,000	352367,0
21	20,000	352397,0
22	21,000	352427,047

	Z5LOG	FRR	FR	WOFER	WOFE	LS	var
ROC Curve...	,2689414	3,0	26,7054200	1,0	,0242770	1,00	
ROC Curve...	,5000000	3,0	28,6013600	1,0	,0242770	1,00	
ROC Curve...	,5000000	3,0	28,6013600	1,0	,0242770	1,00	
ROC Curve...	,5000000	3,0	29,1671000	1,0	,0242770	1,00	
ROC Curve...	,5000000	3,0	28,6013600	1,0	,0242770	1,00	
ROC Curve...	,5000000	3,0	28,6013600	1,0	,0242770	1,00	
ROC Curve...	,2689414	3,0	26,8727000	1,0	,0242770	1,00	
ROC Curve...	,5000000	3,0	28,5061400	1,0	,0242770	1,00	
ROC Curve...	,2689414	3,0	28,3691700	1,0	,0212820	1,00	
ROC Curve...	,2689414	3,0	29,7054100	1,0	,0212820	1,00	
ROC Curve...	,5000000	2,0	18,8058700	1,0	,0212820	1,00	
ROC Curve...	,2689414	4,0	31,9928800	1,0	,0212820	1,00	
ROC Curve...	,2689414	3,0	28,6566900	1,0	,0212820	1,00	
ROC Curve...	,5000000	3,0	31,3388600	1,0	,0212820	1,00	
ROC Curve...	,2689414	3,0	28,6566900	1,0	,0212820	1,00	
ROC Curve...	,2689414	3,0	28,3691700	1,0	,0212820	1,00	
ROC Curve...	,2689414	4,0	36,3137200	3,0	,1355300	1,00	
ROC Curve...	,5000000	4,0	36,8794600	3,0	,1355300	1,00	
ROC Curve...	,1192029	3,0	25,4492200	3,0	,1333040	1,00	
ROC Curve...	,7310586	4,0	37,6773800	3,0	,1385250	1,00	
ROC Curve...	,5000000	4,0	37,5404100	3,0	,1355300	1,00	
ROC Curve...	,1192029	4,0	37,0717500	3,0	,1355300	1,00	

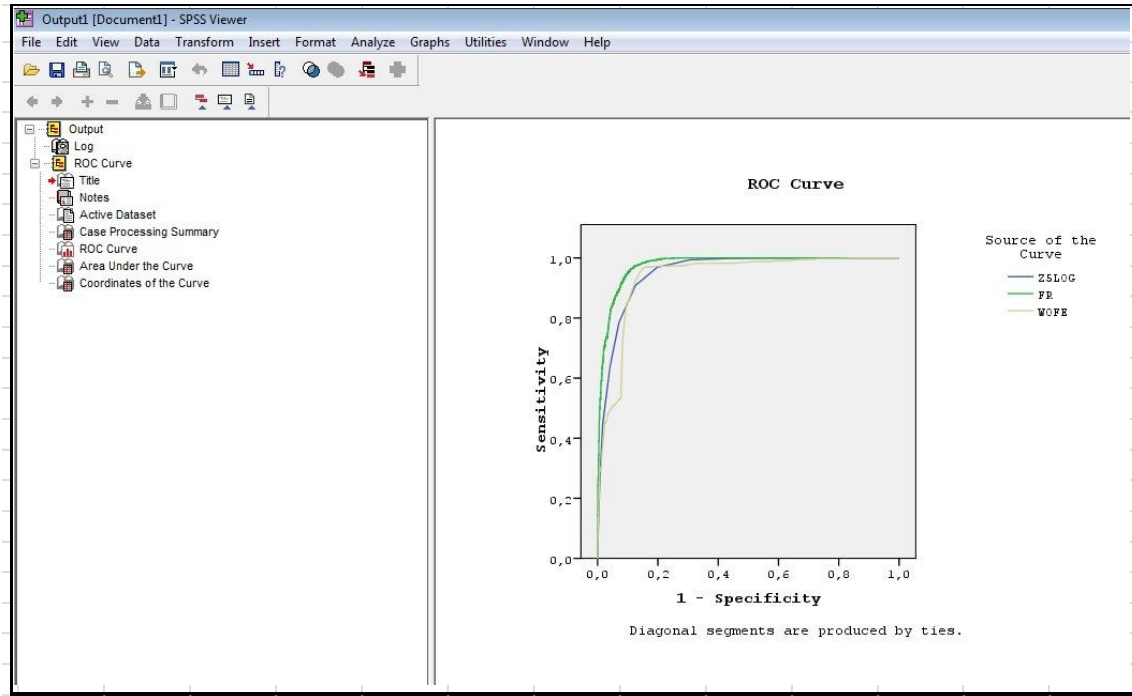
Şekil 5.1. SPSS programında Analiz araç çubuğundan ROC curve seçeneğine gidilmesi



Şekil 5.2. ROC Curve seçeneğinin görünümü

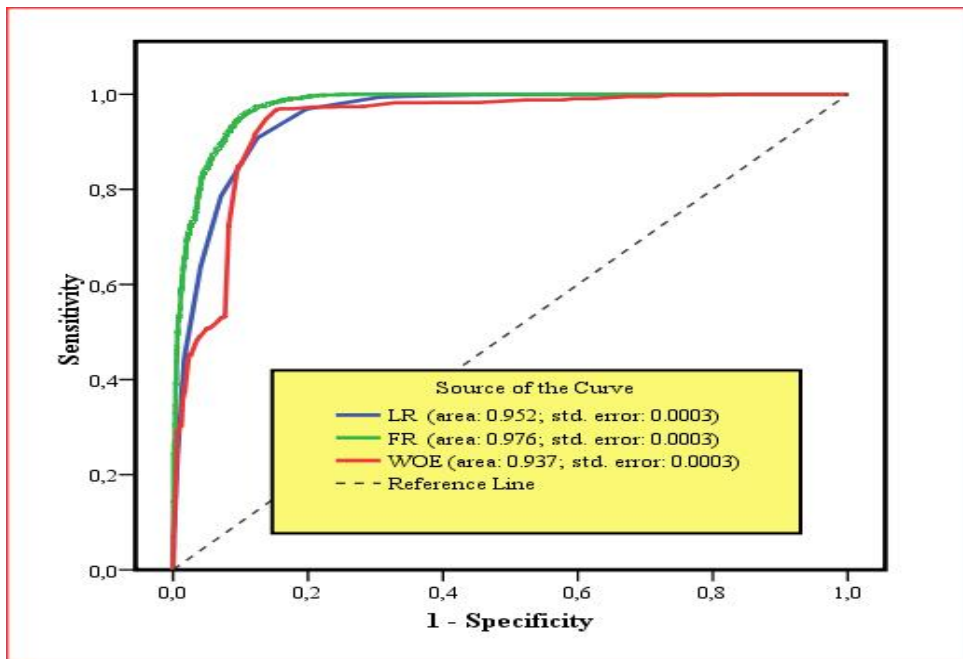


Şekil 5.3. ROC Curve'de heyelan duyarlılık haritaları ile 3068 heyelan noktasının kesitirilmesi



Şekil 5.4. Analiz sonucu üretilen ROC eğrisi

FR metodu için ROC eğrisi değeri 0.976 ve standart sapma ise 0.003' tür. WOE ve LR metodları için ise bu değerler sırasıyla 0.937 ve 0.952 olup, standart sapma 0.003'tür (Şekil 5.5). Bu sonuçlar FR ve LR metodlarının nispeten daha iyi sonuç verdiğini göstermektedir. Çalışma alanında FR metoduyla yapılan heyelan duyarlılık analizi % 97.6 doğruluk vermiştir.



Şekil 5.5. FR, WOFE, LR modelleri için ROC eğrisi

İnceleme alanında LR modelinden üretilen heyelan duyarlılık haritasına göre toplam 256.375 km² (68.7 %)’ lik alan çok düşük duyarlılıktadır. Çalışma alanında düşük ve orta heyelan duyarlılık zonları sırasıyla 933 km² (18.2 %) ve 19.936 km² (5.3 %) ‘dir. Heyelan duyarlılığının yüksek olduğu bölge ise 28.869 km² (7.7 %) ‘dir (Ozdemir, 2011a).

WOFE metoduyla elde edilen heyelan duyarlılık haritası ise çok düşük, düşük, orta ve yüksek duyarlılıktaki heyelan alanları olmak üzere 4 sınıfa ayrılmış ve her sınıf sırasıyla 221.202 km² (59.3 %), 62.492 km² (16.7 %), 56.661 km² (15.2 %), and 32.757 km² (8.8 %)’lik bir alana sahiptir (Ozdemir, 2011a).

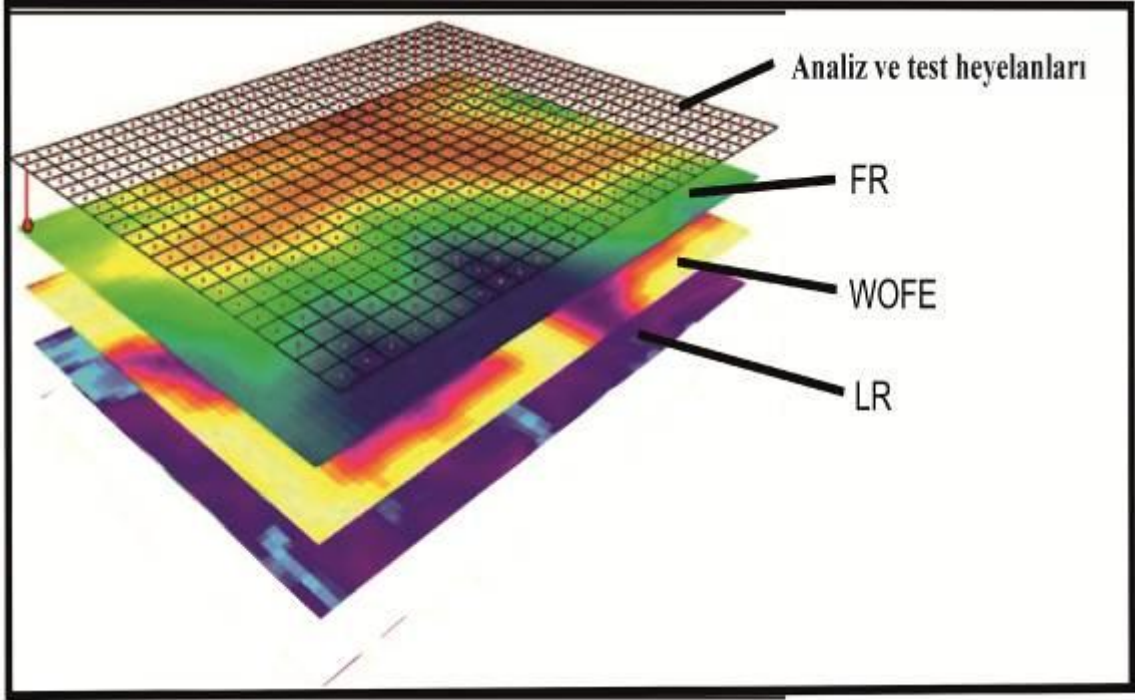
FR metoduyla elde edilen heyelan duyarlılık haritası ise çok düşük, düşük, orta ve yüksek duyarlılıktaki heyelan alanları olmak üzere 4 sınıfa ayrılmış ve her sınıf sırasıyla 181.647 km² (48.7 %), 109.074 km² (29.2 %), 59.451 km² (15.9 %) ve 22.941 km² (6.1 %)’lik bir alana sahiptir (Çizelge 5.1).

FR, WOE ve LR metotlarıyla yapılan heyelan duyarlılık analiz sonuçlarına göre elde edilen minimum–maksimum değerler sırasıyla; 5.57 - 57.9142, 0.0 - 0.4995, 0 - 0.9991 ve standart sapmalar ise 7.332, 0.0611, 0.232’dir (Çizelge 5.1).

Çizelge 5.1. LS, FR ve WOE metodu heyelan duyarlılık sınıfları ve alanlar

Duyarlılık Sınıfı	LR Metodu		FR Metodu		WOE Metodu	
	Aralık	Alan, %	Aralık	Alan, %	Aralık	Alan, %
Çok Düşük	0-0.047	68.7	5.57-14.23	48.7	0-0.033	59.3
Düşük	0.047-0.269	18.2	14.23-21.06	29.2	0.033-0.078	16.7
Orta	0.269-0.5	5.3	21.06-30.92	15.9	0.078-0.160	15.2
Yüksek	0.5-0.99	7.7	30.92-57.91	6.1	0.160-0.499	8.8

Her metodun doğruluğu ayrıca bilinen heyelan konumları karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Bunun için heyelan envanter haritasındaki 90 adet heyelan (3646 piksel) LR, WOFE ve FR analizleriyle üretilen heyelan duyarlılık haritası üzerinde konumlandırılmıştır (Şekil 5.6).

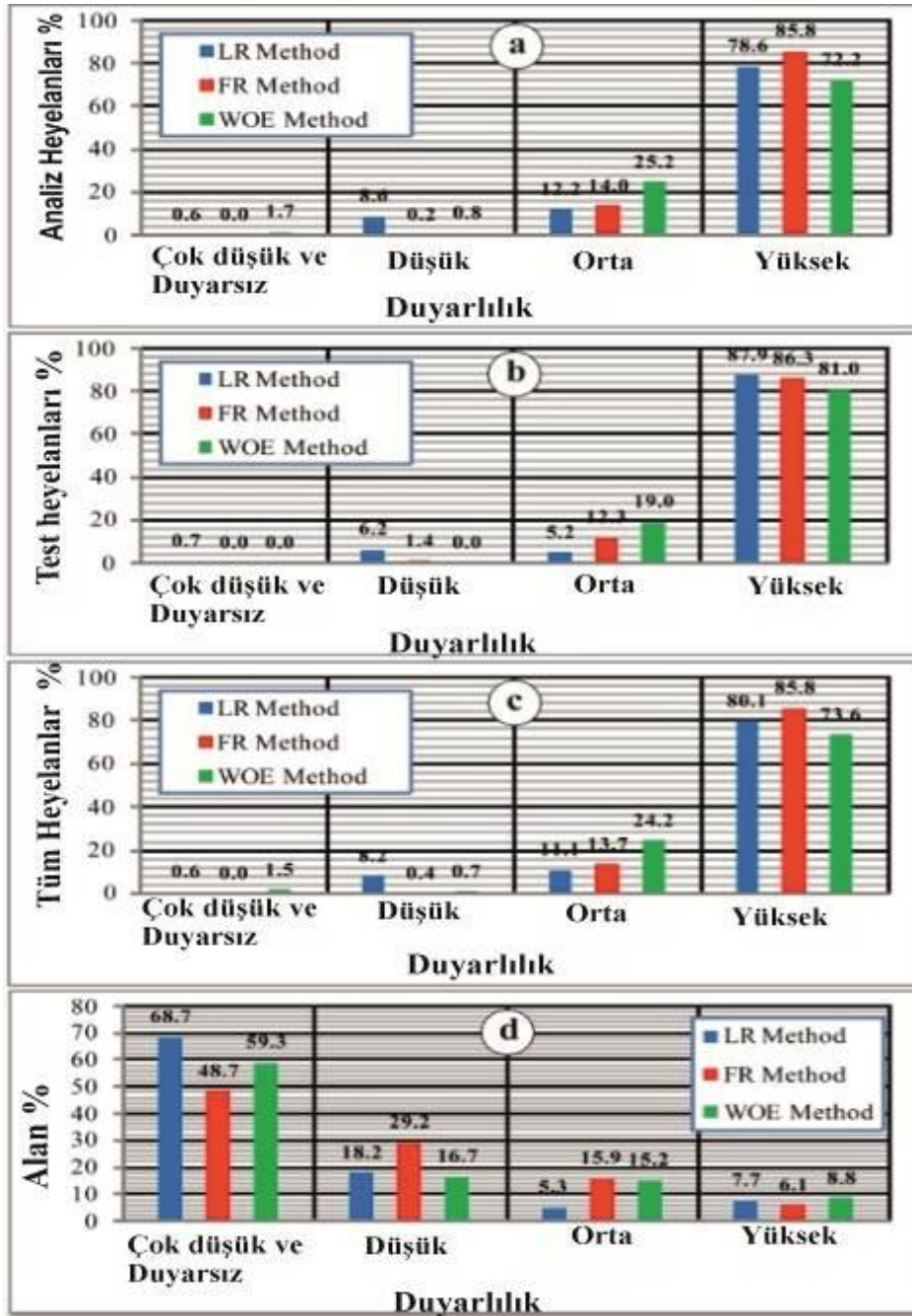


Şekil 5.6. İnceleme alanındaki heyelanların FR, WOFE ve LR duyarlılık haritalarıyla karşılaştırılması (Erener, 2009' dan değiştirilerek)

Heyelan envanter haritasındaki 90 adet heyelanın FR yöntemiyle üretilen heyelan duyarlılık haritasıyla kesiştirilmesiyle yüksek heyelan sınıfında 85.8 % heyelan olduğu belirlenmiştir.

LR ve WOFE yöntemiyle üretilen heyelan duyarlılık haritasının yüksek heyelan duyarlılığı sınıfının heyelan envanter haritasındaki 90 adet heyelan konumu ile kesiştirildiğinde ise sonuçlar sırasıyla %80.1 ve 73.6 %'dir (Ozdemir, 2011a).

FR metodu için; heyelan envanter haritasındaki test heyelanlarıyla FR yöntemiyle üretilen heyelan duyarlılık haritası kesiştirildiğinde ise test heyelanlarının % 86.3' ü yüksek heyelan duyarlılık sınıfında, 12.3%'ü orta heyelan duyarlılık sınıfında olduğu belirlenmiştir (Şekil 5.7).



Şekil 5.7. Çalışma alanındaki heyelanların farklı heyelan duyarlılık sınıflarına düşen yüzdeleri

FR, LR ve WOE yöntemleriyle üretilen heyelan duyarlılık haritaları karşılaştırmak için korelasyon analizi yapılmıştır. Korelasyon analizi genel kriterine göre korelasyon katsayıları 0-0.2 ise çok düşük korelasyon; 0.2-0.4 düşük korelasyon; 0.4-0.7 orta korelasyon 0.7-0.9, yüksek korelasyon ve 0.9-1 çok yüksek korelasyon olarak sınıflandırılmıştır (ILWIS, 2001). FR ve WOE metotları arasındaki korelasyon katsayıları 0.771, FR ve LR arasındaki 0.728, LR ve WOFE arasında ise 0.581 bulunmuştur.

Korelasyon analiz sonuçları FR ve LR, FR ve WOE metotları arasında yüksek korelasyon ; WOFE ve LR metotları arasında ise orta sınıf korelasyon değeri olduğunu göstermektedir (Çizelge 5.2).

Çizelge 5.2. Heyelan duyarlılık haritaları arasındaki korelasyon katsayıları

Duyarlılık Haritaları	LR	FR	WOE
LR	1.00	0.728	0.581
FR	0.728	1.00	0.771
WOE	0.581	0.771	1.00

FR, LR ve WOFE yöntemleri ile yapılan heyelan duyarlılık haritalarının doğruluğu sırasıyla 85.8, 80.1, and 73.6 % 'dır. Frekans oranı metoduyla üretilen inceleme alanı heyelan duyarlılık haritasındaki orta ve yüksek duyarlılık sınıflarıyla, heyelan envanter haritasındaki analiz ve test heyelanları ROC yöntemi vasıtasıyla karşılaştırıldığında FR metodunun LR ve WOFE yöntemine göre doğruluğunun daha yüksek olduğu belirlenmiştir. FR-LR ve FR-WOFE metotları arasındaki korelasyon katsayıları (0.771 ve 0.727) yüksek korelasyon sınıfındadır. LR ve WOFE metotları arasında korelasyon katsayısı (0.581) ise orta korelasyon sınıfındadır.

Bu değerlerden de anlaşıldığı üzere FR ve WOFE yöntemleriyle üretilen inceleme alanı heyelan duyarlılık haritaları birbirine daha çok benzemektedir. Korelasyon sonuçlarından FR metoduyla üretilen Akşehir ve çevresi heyelan duyarlılık haritasının diğer yöntemlere göre daha yüksek doğruluğu verdiği belirlenmiştir.

FR metodu; LR ve WOFE metotlarıyla karşılaştırıldığında heyelan duyarlılık analizi için uygulanması daha basit bir metottur (Poudyal ve ark., 2010).

5.2. Öneriler

Bu çalışmada WOE, LR ve FR yöntemleri aynı sahaya aynı faktörler kullanılarak uygulanmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Esasında heyelan duyarlılık incelemelerinde kullanılan ve bu tezin önceki kesimlerinde verilen tüm yöntemlerin aynı sahaya, aynı faktörler kullanılarak uygulanması halinde ne gibi sonuçların elde edilebileceğinin araştırılması gerekmektedir. Böylesine çok yönlü

çalışmalardan elde edilecek sonuçlar heyelan duyarlılık incelemelerinde daha duyarlı yöntemlerin ön plana çıkmasına neden olacaktır. Yapılacak bilimsel çalışmaların bu yönde olması gerektiği önerilmektedir. Böyle bir çalışmanın yapılması ve elde edilecek verilerin uygulayıcılara aktarılmasının duyarlılığı yüksek çalışmaların yapılmasına yol açacaktır. Üretilmiş olan heyelan duyarlılık haritaları bölgede ileriye dönük yerleşim planlamalarında duraysızlıklarla ilgili sorunların azaltılması ve önlenmesi konusunda önemli katkı sağlayabildiği gibi mühendisler ve planlamacılar için kalkınma eylem planlarında uygun yerlerin seçilmesinde yardımcı olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Abdüsselamoğlu, Ş., 1958, Sultandağları'nın 1/100000 ölçekli jeolojik evreleri hakkında rapor, *MTA, rapor no: 2669*, Ankara
- Akgun, A., Dağ, S. and Bulut, F., 2008, Landslide susceptibility mapping for a landslide prone area (Findikli, NE of Turkey) by likelihood frequency ratio and weighted linear combination models, *Environ Geol*, 54, 1127–1143.
- Akgün, A. and Bulut, F., 2007, GIS-based landslide susceptibility for Arsin-Yomra (Trabzon, North Turkey) region, *Environ. Geol.*, 51, 1377-1387.
- Akgün A. ve Türk N., 2010, İki ve çok değişkenli istatistik ve sezgisel tabanlı heyelan duyarlılık modellerinin karşılaştırılması: Ayvalık (Balıkesir, Kuzeybatı Türkiye) örneği, *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 34 (2), 85-112.
- Akıncı, H., Doğan S., Kılıçoğlu C., Keçeci S. B., 2010, Samsun il merkezinin heyelan duyarlılık haritasının üretilmesi, *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2, 13-27
- Aleotti, P. and Chowdhury, R., 1999, Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives, *Bulleting of Engineering Geology and the Environment*, 58, 21-44
- Anbalagan, R., 1992, Landslide hazarde valuation and zonation mapping in mountainous terrain, *Engineering Geology*, 32, 269-277.
- Anderson, S. A. and Sitar, N., 1995, Analysis of rainfall-induced debris flows, *Geotechn. Geo. Environ.*, 121, 544–552.
- Assilzadeh, H., Levy, J. K., Wang, X., 2010, Landslide Catastrophesand Disaster Risk Reduction: A GIS Framework for Landslide Preventionand Management, *Remote Sensing*, 2, 2259-2273.
- Atalay, İ. 1975, Tektonik hareketlerin Sultandağları'nın jeomorfolojisine olan etkileri, *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 18, 21-26.
- Atkinson, P. M. ve Massari, R., 1998, Generalised linear modelling of susceptibility to landsliding in the Central Appenines, Italy, *Computers And Geosciences*, 24 (4), 373–385.
- Ayalew, L. and Yamagishi, H., 2004, Slope movements in the Blue Nile basin, as seen from landscape evolution perspective, *Geomorphology*, 57, 95–116.
- Ayalew, L. ve Yamagishi, H., 2005, Theapplication of GIS- Based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan, *Geomorphology*, 65, 15-31.
- Babu, S. G. L. ve Mukesh, M. D., 2003, Risk analysis of landslides, a case study, *International Journal Of Geotechnical And Geological Engineering*, 21 (2), 113-127.

- Barbieri, G. and Cambuli, P., 2009, The weight of evidence statistical method in landslide susceptibility mapping of the Rio Pardu Valley (Sardinia, Italy) 18th World IMACS/MODSIM Congress, Cairns, Australia, 13-17. <http://mssanz.org.au/modsim09>
- Barredo, J. I., Benavides, A., Hervas, J. ve Van Westen C. J., 2000, Comparing heuristic landslide hazard assessment techniques using GIS in the Trijana Basin, Gran Canaria Island, Spain, *JAG*, 2 (1), 9-23.
- Baum, R. L., Cheleborad, A. F., ve Schuster, R. L., 1998, Landslides triggered by the winter 1996–1997, Stroms in the Puget Lowland, Washington, U.S., *Geological Survey, Open-File Report*, 98-239.
- Bell, F. G., 1999, Geological hazards, E&FN SPON, London, 631.
- Binaghi, E., Luzi, L., Pergalani, F. ve Rampini, A., 1998, Slope instability zonation: A comparison between certainly factor and fuzzy dempster- shafer approaches. *Nat. Haz.*, 17, 77-97.
- Blumenthal, M., 1947, Seydişehir-Beyşehir hinterlandındaki Toros dağlarının jeolojisi, *M.T.A. Enstitüsü yayını*, Ankara, D (2), 242.
- Bonham-Carter, G. F., 1994, Geographic information systems for geoscientists, modeling with GIS, *Pergamon Press*, Oxford, 398.
- Borisone, G. ve Bottino, G., 1990, A practical approach for hazardevaluation of rock slopes in 25 Mountainous Areas, *Proceedings Of The 6th Int. IAEG Cong., Balkema*, 1509–1515.
- Brunn, j. H., Dumont, J. H., Da Graeiansky P. Gh., Qutnic, M., Juteau, Th., Marcoux, J., Monod, O. ve Poisson, Â., 1971, Outline of the geology of the Western Taurids, in *Geology and History of Turkey* (Ed. A.S. Campell, Petroleum exploration Society of Libya, Tripoli), 225-255.
- Carrara, A., Merenda, L., 1976, Landslide inventory in northern Calabria, southern Italy, *Geol. Soc. Am Bull*, 87, 1153-1162.
- Carrara, A., Sorriso-Valvo, M., Reali, C., 1982, Analysis of landslide form and incidence by statistical technique, Southern Italy, *Catena*, 9, 35-62.
- Cevik, E., Topal, T., 2003, GIS-Based landslide susceptibility mapping for a problematic segment of the natural gas pipeline, Hendek (Turkey), *Environmental Geology*, 44 (8), 949-962.
- Chau, K. T., Sze, Y. L., Fung, M. K., Wong, W. Y., Fong, E. L., Chan, L. C. P., 2004, Landslide hazard analysis for Hong Kong using landslide Inventory and GIS, *Computers & Geosciences*, 30, 429–443.

- Chen, R. H., Lin, M. L. and Chen, H., 1995, Mechanism of initiation of debris flow. In: Cheng, F.Y., Shew, F.S. (Eds.), *Urban Disaster Mitigation, Elsevier, Oxford*, 231–243.
- Chung, C. and Fabbri, A. G., 1999, Probabilistic prediction models for landslide hazard mapping, *Photogramm Eng. Rem.*, 65, 1389–1399.
- Chung, C. and Fabbri, A. G. 2003, Validation of spatial prediction models for landslide hazard mapping, *Nat Hazards*, 30 (3), 451-472.
- Clerici A, Perego S, Tellini C, Vesco P., 2002, A procedure for landslide susceptibility zonation by the conditional analysis method. *Geomorphology*, 48, 349–364.
- CRED (Centre for research on the epidemiology of disasters), 2010, Disaster Data: A Balanced Perspective, *CRED Crunch*, 21.
- Dai, F. C., ve Lee, C. F., 2002, Landslide characteristics and slope instability modeling using GIS, Lantau Island, Hong Kong, *Geomorphology*, 42, 213-228.
- 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*, 43 (3), 381-391.
- Dean, W. T. and Monod, O., 1970, The lower paleozoic stratigraphy and faunas of the taurus mountains near Beyşehir(Turkey), *Bull. Brit. Mus. Geol.*, 19 (8), 411-426.
- Demirkol, C., 1977, Yalvaç-Akşehir dolayının jeolojisi, Doçentlik tezi, *Konya Selçuk Üniversitesi Yer Bilimleri Bölümü*, 114.
- Demirkol, C., 1982, Yalvaç-Akşehir dolayının stratigrafisi ve Batı Toroslarla denetirimi, *Jeoloji Müh. Dergisi*, 14, 3-14.
- Demirkol, C., Sipahi, H., Çiçek, S., Barka, A. ve Sönmez Ş., 1977, Sultandağı' nın stratigrafisi ve jeoloji evrimi, *MTA, Rapor No: 6305*.
- Demirkol, C. ve Sipahi, H., 1979, Bağkonak, Çimendere, Muratdağı (Isparta) yöresinin jeolojisi, *MTA Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 7, 21-38.
- Donati, L., Turrini, M. C., 2002. An objective method to rank the importance of the factors predisposing to landslides with the GIS methodology: application to an area of the Apennines (Valnerina; Perugia, Italy), *Engineering Geology*, 63 (3-4), 277-289.
- Duman, T. Y., Can, T., Gokceoglu, C., and Nefeslioglu, H.A., Sonmez, H., 2006, Application of logistic regression for landslide susceptibility zoning of Çekmece Area, Istanbul, Turkey, *Environmental Geology*, 51 (2), 241-256.
- Duman, T. Y., Can, T., Emre, O., Kecer, M., Dogan, A., Ates, S. and Durmaz, S., 2005, Landslide inventory of Northwestern Anatolia, *Engineering Geology*, 77 (1/2), 99–114.

- Duman, T. Y., Olgun, S., Çan, T., Nefeslioglu H., A., Hamzacebi S., Elmacı H., Durmaz, S. ve Corekcioglu S., 2009, Türkiye heyelan envanteri haritası Konya paftası, 1:500.000, *MTA Özel yayın serisi, 22, Ankara.*
- Ercanoglu, M., Gökçeoglu, C., 2002, Assessment of landslide susceptibility for a landslide-prone area (north of 879 Yenice, NW Turkey) by fuzzy approach, *Environmental Geology, 41, 720–730.*
- Eren, Y., 1990, Engilli (Akşehir)-Bağkonak (Yalvaç) arasında Sultandağları masifinin statigrafisi, *Türkiye Jeoloji Bülteni, 33, 39-50.*
- Erener, A., 2009, An approach for landslide risk assesment by using geographic information systems (GIS) and remote sensing (RS), *Doctor of Philospny in Geodetic and Geographic Information Technologies Department, Middle East Technical University, 1- 414.*
- Erener, A., Düzgün, H. S. B., 2007, Heyelan analizlerinde coğrafi ağırlıklandırılmış regresyon (CAR) metodu, *Türkiye Bilimsel Harita ve Teknik Kurultayı, 11.*
- Erener, A., Düzgün, H. S. B., 2010, Improvement of statistic all and slide susceptibility mapping by using spatial and global regression methods in the case of Moreand Romsdal (Norway), *Landslides, 7 (1), 5568.*
- Erener, A., Lacasse, S., 2007, Landslide susceptibility mapping using GIS, *28th Asian Conference on Remote Sensing ACRS 2007, Kuala Lumpur, Malesia.*
- Ergünay, O., 1999, A perspective of disaster in turkey: Issues and prospects, Urban settlements and natural disasters, proceedings of UIA region II workshop, chamber of architects of Turkey.
- ESRI, 2008, ArcGIS 9.3. ESRI Inc., Redlands.
- Fernandes, C. I., Del castillo, T. F., El Hamdouni, R., ve Montero, J. C., 1999, Verification of landslide susceptibility mapping: A Case Study, *Earth Surface Process and Landforms, 24, 537–544.*
- Fernandes, N. F., Guimaraes R. F., Gomes R. A. T., Vieira, B. C., Montgomery, D. R. and Greenberg, H., 2004, Topographic controls of landslides in Rio de Janeiro: field evidence and modelling, *Catena, 55, 163–181.*
- Godebo, T. R., 2005, Application of remote sensing and GIS for geological investigation and ground water potential zone identification, South eastern Ethiopian Plateau, Bale Mountains and the Surrounding Areas, <http://www.dmzone.org/papers/RangoGodebo2005.pdf>
- Gomez, H., Kavzaoglu, T., 2005, Assesment of shallow landslide susceptibilty using artificial neural networks in Jabanosa River basin, Venezuela, *Eng. Geol., 78, 11-27.*

- Gökçe, O., Özden, S., Demir, A., 2008, Türkiye’de afetlerin mekansal ve istatistiksel dağılımı, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Afet Etüt ve Hasar Tespit Daire Başkanlığı, Ankara.
- Gökçeoglu, C. ve Aksoy, H., 1996, Landslide susceptibility mapping of the slopes in the Residuel soils of the Mengen region (Turkey) by deterministic stability analyses and image processing techniques, *Engineering Geology*, 44, 147-161
- Gökçeoğlu, C. ve Ercanoğlu, M., 2001, Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında kullanılan parametrelere ilişkin belirsizlikler, *Hacettepe Üniv. Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni, Yerbilimleri*, 23, 189-206.
- Greenway, D. R., 1987, Vegetation and slope stability, In: Anderson and Richards (eds), *Slope Stability, John Wiley and Sons*, 187–231
- Gupta, R. P. ve Joshi, B. C., 1990, Landslide hazard zoning using the GIS approach-A case study from the ramganga catcment, Himalaya, *Engineering Geology*, 28, 119-131.
- Guzetti, F., Carrara, A., Cardinali, M., 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.
- Haude, H., 1972, Statigraphieund tektonik dessüdlichen Sultan Dağı (SW-Anatolien), *Z. Dtsch, Geol. Ges.*, 123, 411-421.
- Hutchinson, J. N., 1992, Keynote Paper: Landslide hazard assessment, *Proc. 6th Int. Symp. On Landslides, Christchurch*, 3, 1805-1841.
- Ildır, 1995, Türkiye’de heyelanların dağılımı ve afetler yasası ile ilgili uygulamalar, *İkinci Ulusal Heyelan Sempozyumu*, Sapanca, 1-9.
- Intarawichian, N., 2008, A comparative study of analytical hierarchy process and probability analysis for landslide susceptibility zonation in lower Mae Chaem Watershed, Northern Thailand, A Thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the Degree of Doctor of Philosophy in Geoinformatics Suranaree University of Technology Academic Year 2008, <http://sutir.sut.ac.th:8080/sutir/bitstream/123456789/3365/2/fulltext.pdf>
- Iverson, R. M., Reid, M. E. and La Husen, R. G., 1997, Debris flow mobilization from landslides, *Annu. Rev. Earth and Planetary Science*, 25, 85–138.
- Jadda, M., Shafri, H. Z. M., Mansor, S. B., Sharifikia, M., Pirasteh, S., 2009, Landslide Susceptibility evaluation and factor effect analysis using probabilistic-frequency ratio model, *European Journal of Scientific Research*, 33 (4), 654-668.
- Jager, S. and Wieczorek, G. F., 1994, Landslide susceptibility in the Tully Valley Area, Finger Lakes Region, U.S., *Geological Survey, Open-File Report (Online Version)*, 94-615.

- Jaiswal, P., Van Westen, C. J., Jetten, V., 2010, Quantitative landslide hazard assessment a long a transportation corridor in southern India, *Eng Geol*, 116, 236–250.
- Jakob, M., 2000, The impacts of logging on landslide activity at Clayoquot Soung, British Columbia, *Catena*, 38, 279–300
- Jime´nez-Pera´lvarez, J. D., Irigaray, C., El Hamdouni, R., Chaco´n , 2009, Building models for automatic landslide-susceptibility analysis, mapping and validation in ArcGIS. *J. Nat Hazards*, 50, 571–59.
- ILWIS, 2001, *ILWIS 3.0 User's Guide*. Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC) Enschede, The Netherlands, 530.
- Intarawichian, N., 2008, A comparative study of analytical hierarchy process and probability analysis for landslide susceptibility zonation in lower Mae Chaem Watershed, Northern Thailand, A Thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of doctor of philosophy in Geoinformatics Suranaree University of technology academic year, 2008, <http://sutir.sut.ac.th:8080/sutir/bitstream/123456789/3365/2/fulltext.pdf>
- Iverson, R. M., Reid, M. E. and LaHusen, R. G., 1997, Debris flow mobilization from landslides. *Annu.Rev. Earth and Planetary Sciences*. 25, 85–138.
- Kemp, L. D., Bonham-Carter, G. F., Raines, G. L. and Looney, C. G., 2001, Arc-SDM: Arcview extension for spatial data modelling using weights of evidence, logistic regression, fuzzy logic and neural network analysis <http://www.ige.unicamp.br/sdm/>.
- Khanh, N. Q., 2009, Landslide hazard assessment in muonglay, Vietnam applying GIS and remote sensing, Dissertation in fulfillment of the academic degree doctor rerumnaturalium (Dr.rer. nat.) at the Faculty of Mathematics and Natural Sciences Ernst-Moritz-Arndt-University Greifswald, http://deposit.ddb.de/cgi-bin/doksrev?idn=1009125575&dok_var=d1&dok_ext=pdf&filename=1009125575.pdf
- Kleinbaum, D. G., Kupper L. L., Muller K. E., Nizam A., 1998, *Applie dregression analysis and multivariable methods*, 3rd Edition, Duxbury Press, California, 798.
- Koukis, G., ve Ziourkas, C., 1991, Slope instability phenomena in Greece: A statistical analysis, *Bulletin of international association of engineering geologists*, 43, 47-60.
- 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.
- Lee, S., and Min, K., 2001, Statistical analysis of landslide susceptibility at Yongin, Korea, *Environmental Geology*, 40, 1095-1113.

- Lee, S., Chwae, U. and Min, K., 2002, Landslide susceptibility mapping by correlation between topography and geological structure: the Janghung area, Korea, *Geomorphology*, 46, 49–162.
- Lee, S. and Choi, U., 2003, Development of GIS based geological hazard information system and its application for landslide analysis in Korea, *Geosci J.*, 7, 243–252.
- Lee, S., Choi, J. and Min, K., 2004, Probabilistic landslide hazard mapping using GIS and remote sensing data at Boun, Korea, *Int. J. Remote Sensing*, 25 (11), 2037–2052.
- Lee, S., Pradhan, B., 2006, Probabilistic landslide hazards and risk mapping on Penang Island, Malaysia, *Earth system science*, 115 (6), 661–672.
- Lee, S., Talib, J. A., 2005, Probabilistic landslide susceptibility and factor effect analysis, *Environ Geol.*, 47, 982–990.
- Lindsay, J., 2003, The Terrain Analysis System (TAS): a tool for hydro-geomorphic applications, 1123-1130, <http://www.engineering.usu.edu/dturb/>
- Luzi, L., Pergalani, F. and Terlien, M. T. J., 2000, Slope vulnerability to earthquakes at subregional scale, using probabilistic techniques and geographic information systems, *Eng Geol.*, 58, 313–336.
- 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.
- Mathew, J., Jha, V. K. and Rawat, G.S., 2007, Application of binary logistic regression analysis and its validation for landslide susceptibility mapping in part of Garhwal Himalaya, India. *Int J Remote Sens*, 28(10), 2257–2275.
- Mazman, T., ve Çan, T., 2006, Mantıksal regresyon yöntemi ile Kumluca Havzası (Batı Karadeniz) heyelan duyarlılık değerlendirmesi, *Mühendislik Jeolojisinde Çağdaş Uygulamalar Sempozyumu*, Pamukkale Üniversitesi Denizli; 25–27.
- Meisina C., Scarabelli S., 2007, A comparative analysis of terrain stability models for predicting shallow landslides in colluvial soils, *Geomorphology*, 87, 207-223.
- Moore, I. D., Grayson, R. B. and Landson, A. R., 1991, Digital Terrain Modelling: A review of hydrological, geomorphological and biological applications, *Hydrological Processes*, 5, 3-30.
- Nagarajan, R., Roy, A., Vinod Kumar, R., Mukherjee, A. ve Khire, M. V., 2000, Landslide hazard susceptibility mapping based on terrain and climatic factors for tropical Monsoon Regions, *Bull, Eng., Geol. Env.*, 58, 275-287.
- Nandi, A. and Shakoor, A., 2009, A GIS-based landslide susceptibility evaluation using bivariate and multivariate statistical analyses, *Eng Geol*, 110, 11-20.

- Nefeslioglu, H. A., Gokceoglu, C., and Sonmez, H., 2008, An assessment on the use of logistic regression and artificial neural networks with different sampling strategies for the preparation of landslide susceptibility maps, *Eng Geol*, 97, 171-191
- Özdamar, K., 1999a, Paket programlar ile istatistiksel veri analizi-1, SPSS, MINITAB, 2.Baskı, Kaan Kitabevi, Eskişehir, 535.
- Özdamar, K., 1999b, Paket programlar ile istatistiksel veri analizi-2, SPSS, MINITAB, 2.Baskı, Kaan Kitabevi, Eskişehir, 502.
- Özdemir, A., 2008, Zemin mekaniği ve zemin mühendisliğine giriş, Selçuk Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü, *İnci Ofset*, Konya, 647.
- Ozdemir, A., 2011a, Landslide susceptibility mapping using Bayesian approach in the Sultan Mountains (Akşehir, Turkey), *Nat. Hazards*, 59, 1573–1607.
- Ozdemir, A., 2011b, GIS-based groundwater spring potential mapping in the Sultan Mountains (Konya, Turkey) using frequency ratio, weights of evidence and logistic regression methods and their comparison, *Journal of Hydrology*, doi:10.1016/j.jhydrol.2011.10.010.
- Ozdemir, A., 2011c, Landslide susceptibility mapping in the Sultan Mountains (Akşehir, Turkey) using Binary Logistic regression method and GIS, *Selçuk University, Department of Geological Engineering (yayımlanmamış)*.
- Pachauri, A. K. and Pant, M., 1992, Landslide hazard mapping based on geological attributes, *Eng. Geol.*, 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, 325-334.
- Pack, R. T., Tarboton, D. G. and Goodwin, C. N., Prasad, A., 2005, SINMAP 2, A Stability Index Approach to Terrain Stability Hazard Mapping, *technical description and users guide for version 2.0*, Utah State University.
- Parise, M., 2001. Landslide mapping techniques and their use in the assessment of the landslide hazard, *Phys. Chem. Earth*, 26 (9), 697-703.
- Perotto-Baldivieso, H. L., Thurow, T. L., Smith, C. T., Fisher R. F., Wu, X. B., 2004, GIS-based spatial analysis and modeling for landslide hazard assessment in steeplands, Southern Honduras, *Agriculture Ecosystems and Environment*, 103 (1), 165-176.
- Phi, N. Q., Bac, B. H., 2004, Landslide hazard mapping using Bayesian approach in GIS - Case study in Yangsan area, Korea, In *GeoInformatics for Spatial-Infrastructure Development in Earth & Allied Sciences (GIS-IDEAS 2004)*.
- Poudyal, C. P., Chang, C., Oh, H-J. and Lee, S., 2010, Landslide susceptibility maps comparing frequency ratio and artificial neural networks: a case study from the Nepal Himalaya, *Environ Earth Sci*, 61, 1049–1064.

- Pradhan, B. and Lee, S. 2009, Delineation of landslide hazard areas on Penang Island, Malaysia, by using frequency ratio, logistic regression, and artificial neural network model, *Environmental Earth Sciences*, doi:10.1007/s1266500902458.
- Regmi, N. R., Giardino, J. R. and Vitek, J. D., 2010, Modeling susceptibility to landslide using the weight of evidence approach: Western Colorado, USA, *Geomorphology*, 115, 172–187.
- Reis, S., Yalçın, A., Atasoy, M., Nişancı, R., Bayrak, T., Sancar, C., Ekercin, S., 2009, CBS ve uzaktan algılama teknikleri ile heyelan duyarlılık haritalarının üretimi: Rize ili örneği, *Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği V. Teknik Sempozyumu*, 4-6 Subat, Ankara.
- Roth, R. A., 1983. Factors affecting landslide-Susceptibility In San Mateo County, California, *Bulleting of Association Of Engineering Geologists*, 20 (4), 353-372.
- Saha, A. K. ,Gupta, R. P. ve Arora, M. K., 2002, GIS-Based landslide hazard zonation in the Bhagirathi (Ganga) Valey, Himalayas, *Int. J. Remote Sensing*, 23 (2), 357-369
- Siagian, Y.O.P., Nitihardjo, S., Sugalang and Hermavam., 2000, Landslide susceptibility analysis using remote sensing and geographic information system of South Ceanjur Area, West Java, Indenosia, *Report of International Resarch And Development Cooperation ITIT Project*, Japan, 11-28.
- Soeters, R., Van Westen, C. J., 1996, Slope stability:recognition, analysis and zonation, In: Turner AK, Shuster RL (eds) ‘‘Landslides: investigation and mitigation’’, Transportation Research Board, *National Research Council Special Report*, 247, 129-177.
- SPSS, 2004, SPSS 13.0 Command syntax reference, SPSS Inc. Chicago, Starkel, L., 1994
- Süzen, M.L., 2002, Data driven landslide hazard assessment Uuing geographical information systems and remote sensing, PhD. Thesis, METU *Graduate School Of Natural And Applied Sciences, Geo. Eng. Dept.*, Ankara, 196,
- Taş, B., 2009, Sultandağı İlçesi’nde tarımsal arazi kullanımı ve planlama önerileri, *Doğu Coğrafya Dergisi*, 22, 17-44.
- TAUDEM, 2005, <http://www.engineering.usu.edu/dturb/>
- Turrini, M. C., Visintainer, P., 1998, Proposal of a method to define areas of landslide hazard and application to an area of the Dolomites, Italy, *Engineering Geology*, 50, 255-265.
- Ulusay, R., Aydan, Ö., Kılıç, R., 2007, Geotechnical assessment of the 2005 Kuzulu landslide (Turkey), *Engineering Geology*, 89, 112-128.

- Uromeihy, A., MahdaviFar, M.R., 2000, Landslide hazard zonation of the Khorshroostamarea, Iran, *Bulleting Engineering Geology Environment*, 58 (3), 207-213.
- Wachal, D. J. and Hudak, P. F., 2000, Mapping landslide susceptibility in Travis County, Texas, USA, *Geojournal*, 51, 245-253.
- Wilson, J. P., Gallant, J. G., 2000, Terrain analysis principles and applications, John Wiley and Sons, Inc. New-York, 479.
- Van Den Eeckhaut, M., Poesen, J., Verstraeten, G., Vanacker, V., Nyssen, J., Moeyersons, J., van Beek, L. P. H., Vandekerckhove, L., 2007, Use of LIDAR-derived images for mapping old landslides under forest, *Earth Surface Processes and Landforms*, 32 (5), 754-769.
- Van Westen, C., Rengers, N. and 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 practices commision on landslides of the IAEG, UNESCO, Paris.
- Vijith, H. and Madhu, G., 2007, Estimating potential landslide sites of an upland Subwatershed in Western Ghat's of Kerala (India) through frequency ratio and GIS, *Environ Geol*, 55 (7), 1397-1405.
- Yalcin, A., 2008, GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): comparisons of results and confirmations, *Catena*, 72 (1), 1-12.
- Yalçın, A., 2007, Heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde analitik hiyerarşi yönteminin ve CBS'nin kullanımı, *Selçuk Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22 (3), 1-14.
- Yeon, Y-K., Han, J-G. ve Ryu, K. H., 2010, Landslide susceptibility mapping in Injae, Korea, Using a decision tree, *Eng. Geol*, 116, 274-283.
- Yesilnacar, E., Topal, T., 2005, Landslide susceptibility mapping: A comparison of logistic regression and neural networks methods in a medium scale study, Hendek region (Turkey), *Eng. Geol.*, 79 (3-4), 251-266.
- Yılmaz, I., 2009, Landslide susceptibility mapping using frequency ratio, logistic regression, artificial neural networks and their comparison: A case study from Kat landslides (Tokat-Turkey) , *Computers & Geosciences*, 35 (6), 1125-1138.
- Zêzere, J. L., Rodrigues, M. L., Reis, E., Garcia, R., Oliveira, S., Vieira, G., Ferreira, A. B., 2004, Integration of hazard and vulnerability data for the probabilistic rotational slide risk assessment in the are north of Lisbon (Portugal), *32nd International Geological Congress*, 82.

Zhu, L., Huang, J., 2006, GIS-based logistic regression method for landslide susceptibility mapping in regional scale, *Univ. Science a 2006*, 7 (12), 2007-2017.

EKLER**EK-1:** Akşehir ve çevresi jeoloji haritası

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Tolga ALTURAL
Uyruğu : TC
Doğum Yeri ve Tarihi : Üsküdar 05.02.1981
Telefon : 0543 564 15 77
Faks :
e-mail : Tolga_altural@yahoo.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Göztepe Lisesi Kadıkoy/İSTANBUL	1998
Üniversite	: SüleymanDemirel İSPARTA	2006
Yüksek Lisans	:	
Doktora	:	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2008-2010	Yapı Merkezi Ankara- Konya Hızlı Tren Projesi	Laboratuvar Sorumlusu
2011-....	Eczacıbaşı Ormanada Projesi	Kalite Kontrol Şefi

UZMANLIK ALANI: Uygulamalı Jeoloji

YABANCI DİLLER: İngilizce, Rusça

YAYINLAR