

**EDİTÖR**

*Doç. Dr. Özlem ÖZTEKİN OKAN*

**YER BİLİMLERİ**

*Alanında Araştırmalar ve Değerlendirmeler*

**ARALIK  
2024**

**İmtiyaz Sahibi** / Yaşar Hız  
**Yayına Hazırlayan** / Gece Kitaplığı  
**Birinci Basım** / Aralık 2024 - Ankara  
**ISBN** / 978-625-388-116-0

**© copyright**

2024, Bu kitabın tüm yayın hakları Gece Kitaplığı'na aittir.  
Kaynak gösterilmeden alıntı yapılamaz, izin almadan hiçbir  
yolla çoğaltılamaz.

**Gece Kitaplığı**

Kızılay Mah. Fevzi Çakmak 1. Sokak  
Ümit Apt No: 22/A Çankaya/ANKARA  
0312 384 80 40  
[www.gecekitapligi.com](http://www.gecekitapligi.com) / [gecekitapligi@gmail.com](mailto:gecekitapligi@gmail.com)

**Baskı & Cilt**

Bizim Büro  
**Sertifika No:** 42488

**YER BİLİMLERİ  
ALANINDA ARAŞTIRMALAR VE  
DEĞERLENDİRMELER**

**EDİTÖR**

Doç. Dr. Özlem ÖZTEKİN OKAN

**gece**  
kitaplığı



# İÇİNDEKİLER

## BÖLÜM 1

### YERKABUĞUNUN DERİNLİKLERİNDE: MAGMA VE MAGMA ODASINDAKİ OLAYLAR İLE KRİSTALLENME SÜRECİ

*Gizem ARSLAN* ..... 7

## BÖLÜM 2

### HEYELAN DUYARLILIK ANALİZLERİNDE SIKLIKLA KULLANILAN İSTATİSTİKSEL YÖNTEMLER

*Samet BERBER* ..... 19



”

# BÖLÜM 1

## YERKABUĞUNUN DERİNLİKLERİNDE: MAGMA VE MAGMA ODASINDAKİ OLAYLAR İLE KRİSTALLENME SÜRECİ

*Gizem ARSLAN<sup>1</sup>*

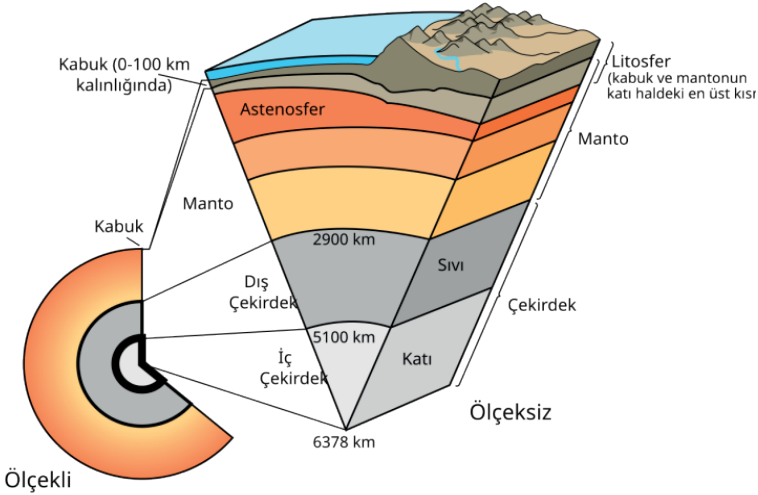
<sup>1</sup> Arş.Gör.Dr. Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, g.arslan@firat.edu.tr ORCID No: 0000-0002-8727-7509

## 1.GİRİŞ

Yer kabuğu içerisinde asılı halde katı parçalar ile erimiş gazları içeren sıcak silikat eriyiklerinden oluşan hareketli kayaç malzemesidir.

Magma, tamamen ergimiş veya çoğunlukla ergiyik + kristal (bileşimlerinde silikatlar, sülfürler, oksitler ve uçucu malzemelerin olduğu) haldeki kayaç hamurudur (McBirney ve Noyes, 1979; White ve Chappell, 1990). Oluştığı kaynak kayacın bileşimine bağlı olarak magmanın sıcaklığı yaklaşık olarak 600-1300 °C'dir.

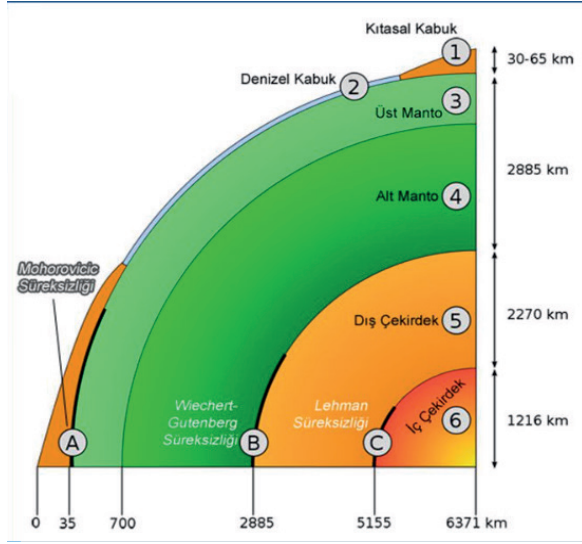
Magma; sıcaklığın artması, basıncın düşmesi veya ortama uçucu bileşenlerin ilavesiyle duraylılığını kaybetmiş katı haldeki kaynak kayacın kısmi ergimeye uğraması sonucu oluşmaktadır (Best, 1982; Boztuğ, 2001). Oluşan magma, türemiş olduğu kaynak kayaçlar ve çevresinde bulunan kayaçlardan yoğunluğunun daha düşük olması sonucu yüzeye doğru hareket eder. Yüzeye çıkan magma lav olarak adlandırılır. Magmanın nereden ve nasıl geldiğini anlamak için yerküresinin anatomisini bilmek gerekir. Bundan dolayı aşağıda yerküresinin anatomisi kısa olarak verilmiştir:



Şekil 1.1. Yerküresinin iç yapısını gösteren genel kesiti ([http 1](http://1))

Yerküresi çalışmalarla 4.6 milyar yıl olarak yaşlandırılmış olup yaklaşık 6380 km yarıçapa sahiptir. Yerküresinin yaklaşık %32'sini çekirdek oluştururken %67 den biraz fazlasını manto oluşturmaktadır. Geriye kalan kısmını da kabuk oluşturur. Kabuk, manto ve çekirdek birbirlerinden sismik dalgaların hızlarındaki ani değişimlerle (süreksizlik) ayrılmaktadır. Kabuk ile manto arasındaki süreksizlik Mohorovicic Süreksizliği olarak bilinir.



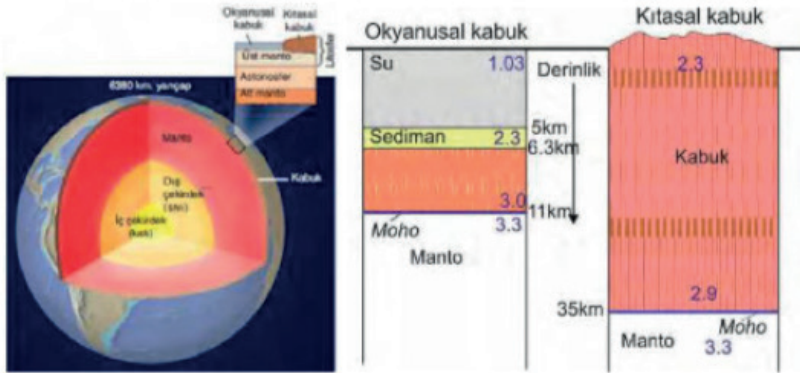


Şekil 1.2. Kabuk ile manto arasındaki Mohorovicic Süreksizliği ([http 2](http://2))

Katı halde bulunan ve yerküresinin dış katmanını oluşturan kabuk (litosfer), kalınlık, bileşim ve yoğunluk olarak birbirinden farklı olarak kıtasal ve okyanusal kabuk olmak üzere ikiye ayrılır.

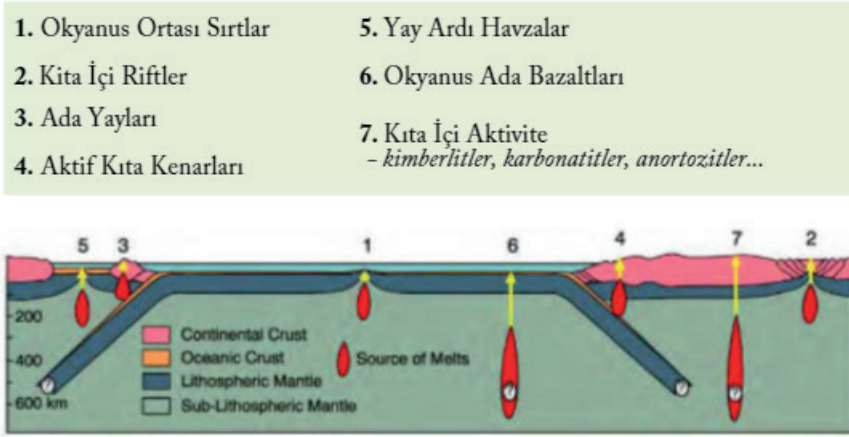
**Okyanusal kabuk**, 7-10 km arasında kalınlığa sahiptir. Yeryüzeyinin yaklaşık olarak %61' ini oluşturan okyanusal kabuk, kıtasal kabuğa oranla oldukça incedir. Koyu renklidir.

**Kıtasal kabuk**, okyanusal kabuktan daha kalındır. 35 km kalınlığındadır. Himalayalar ve Kayalık dağlarında kalınlığı 70 km'yi bulur. Üst kıtasal kabuk granodiyorit, tonalit; alt kıtasal kabuk ise diyorit, amfibolit, anortozit gibi kayaç türlerinden oluşmaktadır.



Şekil 1.3. Yerküresinin katmanları ve okyanusal-kıtasal kabuk kalınlıkları (Dirik ve Şener, 2005)

Yerküresinin dış kısmını oluşturan kabuk ve altındaki katman (litosfer) astenosfer üzerinde yüzen farklı büyüklüklerde levhalara ayrılmış olup bu levhalar birbirlerine göre üç şekilde hareket etmektedir. Levhalar birbirine yaklaşabilir, birbirinden uzaklaşabilir ya da birbirine göre yatay olarak yer değiştirebilir. Levhaların birbirlerine göre hareketlerine bağlı olarak, magmanın oluşumunu sağlayan sıcaklık, basınç ve bileşimdeki değişimler neticesinde, ortamın duraylılığı bozularak magma oluşmaya başlar. Magma oluştuğu farklı ortamlar aşağıdaki gibidir:



Şekil 1.4. Levha hareketlerine bağlı farklı ortamlarda magma oluşumu

## 2. MAGMANIN OLUŞUMU

Bir kayacın bulunduğu ortamın sıcaklığının artması, basıncın düşmesi ya da ortama uçucu bileşenlerin ilavesi sebebiyle kısmi ergimeye uğraması sonucu magma meydana gelmekte ve bu magma'nın bileşimini kısmi ergime tipi ve derecesi, ilksel kayacın bileşimi ile kısmi ergime sırasında ortamın fizikokimyasal koşulları belirlemektedir (Boztuğ, 2001). Bu sayede, benzer bileşimdeki kaynak malzemedan farklı magmalar oluşabileceği gibi farklı bileşimli kaynak malzemedan benzer bileşimde magmalar da meydana gelebilir (Patino Douce, 1996; Boztuğ, 2001).

**2.1. Kısmi Ergime:** Üst manto veya alt kabuğun sıcaklık, basınç ve bileşimde meydana gelen değişimlerden dolayı ergiyerek belirli bir miktarda eriyik oluşturması kısmi ergime olarak adlandırılır. Wilson (1989), kısmi ergimeyi fraksiyonel ergime ve yığın/denge ergimesi olmak üzere iki gruba ayırmaktadır.

**a) Fraksiyonel ergime:** Kabuk altında bulunan üst manto yukarıdan aşağıya doğru plajiyoklas lerzolit, spinel lerzolit, granat lerzolit ve yük-

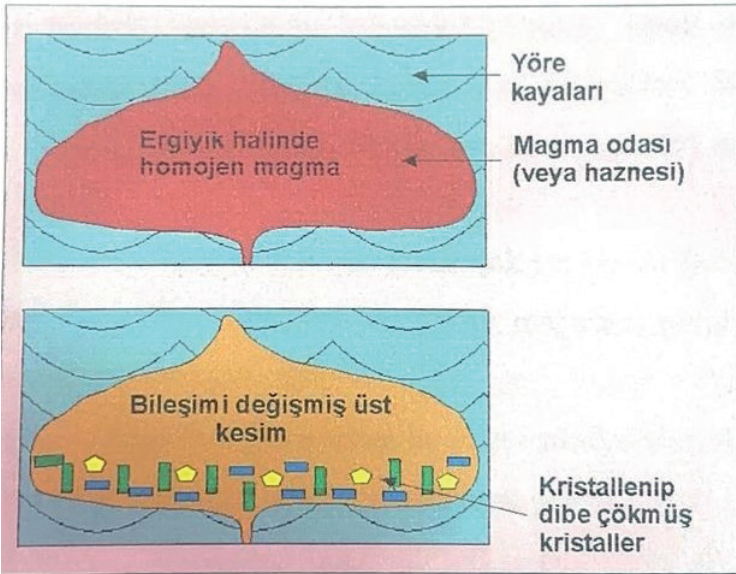
sek basınç fazı içeren lerzolitten oluřmakta olup kısmi ergimeye uęraması sonucunda oluřan magmanın yoęunluęu lerzolitinin yoęunluęundan daha azdır. Yoęunluęu dūřuk olan bu eriyik hacimsel olarak belirli bir miktara ulařmayı beklemeden diyapirik yükselmeye kaynak kayacı terkeder. Bu tūr ergimeye fraksiyonel ergime denilmektedir.

**b) Yığın/denge ergimesi:** Herhangi bir kayacın kısmi ergimesiyle oluşan magmanın yoğunluğuyla kayacın yoğunluğu arasındaki fark fazla değilse oluşan magma hacimsel olarak belirli bir miktara ulaşmadan kaynaktan ayrılmaz. Magmanın hacimsel olarak belirli bir miktara ulaşabilmesi için geçen zaman içerisinde magma, katı ile sūrekli reaksiyona girerek yeniden dengeye gelmektedir. Bu tūr kısmi ergime denge ergimesi olarak adlandırılmaktadır.

### 3. MAGMA FARKLILAşMASI

Magmanın farklılařması (diferansiyasyon) sūreci, bařlangıçta homojen bileřimde olan ana magmadan farklı kimyasal bileřimlere sahip olan magmatik kayaçların meydana gelmesine sebep olan fraksiyonel kristalleřme, likuasyon, uçucu bileřenlerin etkisi/gazla tařınma ve termogravitasyonel diffūzyon alt sūrelerinin olduęu bir sūretir.

**Likuasyon,** fiziksel olarak, yaę ile suyun birbirinden ayrılmasına benzer şekilde magmanın farklı özellikler sergileyen kısmi sıvılara ayrılması sūrecidir. Bu sūre, bazaltik bir magmadan bazı sūlfür eriyikler ile karbonatca zengin olan sıvıların ayrılmasında da önem arz edebilir.

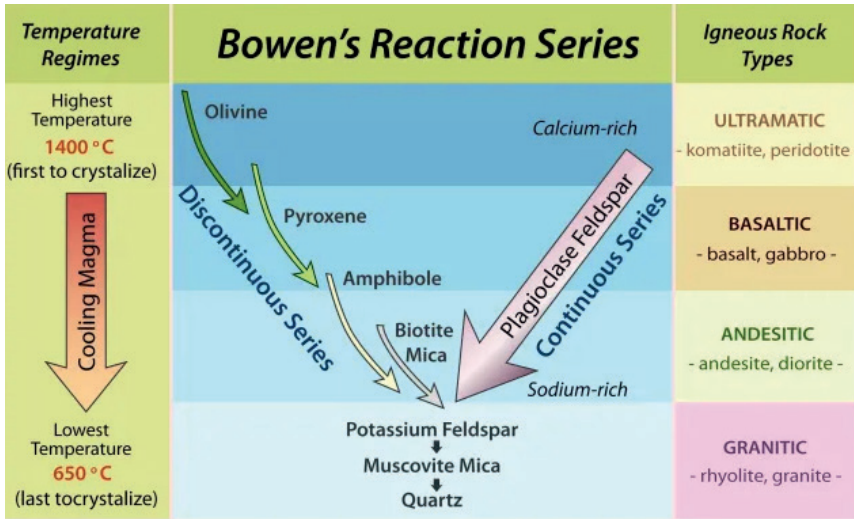


řekil 3.1. Likuasyon sūreci

**Gazla taşınma**, farklılaşmada tali bir süreç olarak etkili olmaktadır. Uçucu bileşenlerin/gazların magma odasının bir yerinden uzaklaşarak başka bir kısmında toplanması/birikmesi ve bu sırada SiO<sub>2</sub>, K, Na, Li, Be, B, Cs, Ta gibi bazı elementleri de beraberinde sürükleyerek magma odası içinde bileşimi daha farklı bölümlerin oluşmasına yol açan bir süreçtir.

**Termogravitasyonel diffüzyon**, soğumaya bağlı olarak magma kütlelerinde gelişen sıcaklık farklılıklarından ötürü bazı elementlerin diffüzyonla diğerlerinden ayrılarak magmada değişik bileşimli kısımların meydana gelmesi şeklinde tanımlanan bir süreçtir.

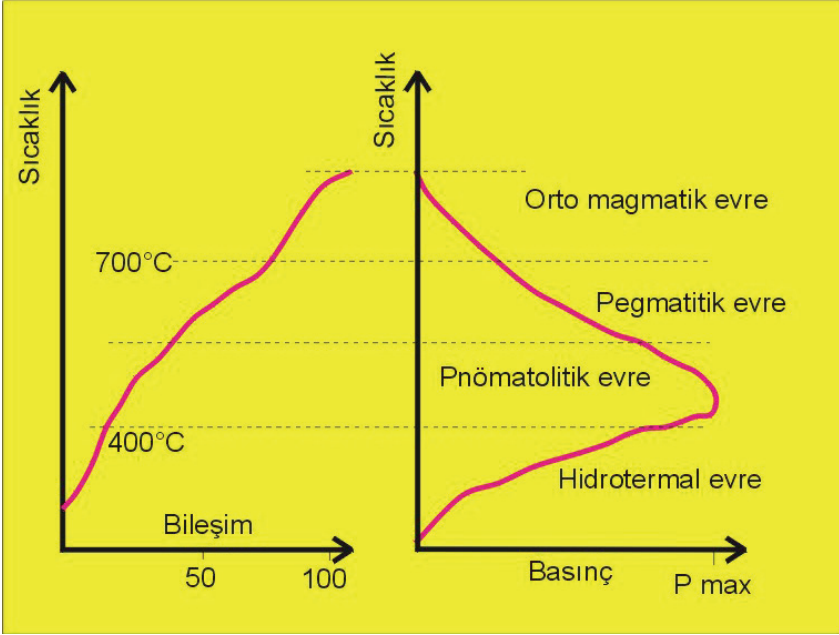
**Fraksiyonel kristalleşme**, kristallerin sıvı fazdan devamlı olarak ayrılarak uzaklaşması, bu ayrılma nedeniyle de sıvı fazın kimyasal bileşiminin sürekli değiştiği magmatik farklılaşma süreçleri içerisindeki en önemli süreçtir.



Şekil 3.2. Bowen reaksiyon serisi (Wilson, 1989)

**Magmanın kristalleşme evreleri:** Magmanın kristalleşmesi karmaşık bir süreç olup kayaç ve minerallerin göstermiş oldukları dokusal/yapısal özelliklerin incelenmesiyle magmadaki kristalleşme sırası konusunda bilgilere ulaşılabilir. İlk kristalleşen mineraller, yüksek sıcaklıklarda ve uçucu bileşenler/gazlar bakımından oldukça fakir bir magmadan oluşur ve “pirojenetik mineraller” olarak adlandırılır. Bazı magmatik kayaçları oluşturan piroksen, olivin ve Ca-plajiyoklaz gibi pirojenetik minerallerin magmadan ayrılması sonucu geriye kalan magma, H<sub>2</sub>O ile diğer uçucu bileşenler/gazlar bakımından zenginleşecek ve magmanın bu kısmından da bileşiminde hidroksilin olduğu alkalilerce zengin mika amfibol gibi “hidrojenetik mineraller” ayrılmış olacaktır.

Magmanın kristalleşme/katılaşma evreleri ortomagmatik evre, pegmatitik evre, pnömatolitik evre ve hidrotermal evre olmak üzere dört gruba ayrılmaktadır.



Şekil 3.3. Magmanın kristalleşme evreleri

**Ortomagmatik evre:** Magmatik kayaçların katılaştığı evre olup 1000°C-700°C sıcaklık aralığındadır. Bowen reaksiyon serisindeki sürekli ve süreksiz mineral serilerinin tüm mineralleri ortomagmatik evrede sırasıyla kristalleşmektedir. Magma'nın büyük bir kısmı bu evre sonunda katılaşarak geriye kalan silis, alümin, alkalilerle uçucu bileşenlerce zengin artık eriyikler kalmıştır. Ortomagmatik evreden sonra diğer evreler post-magmatik evreler olarak da adlandırılmaktadır (http 4).

**Pegmatitik evre:** Sıcaklığın giderek düşmesiyle beraber (700°C-500°C) ortomagmatik evreden geriye kalan eriyikler katılaşarak "pegmatit" adı verilen iri kristalli kayaçlar oluşmaktadır. Uçucu bileşenler magma'nın vizkozitesini azaltarak akıcılık kazandırırken, minerallerin kristalleşme olanağını artırır. Bu sayede iri kristalli kayaçlar oluşur (http 4).

**Pnömatolitik evre:** Pnömatolitik evrede arta kalan magma, ana maddesini uçucu elemanların oluşturduğu ve iç basıncı yüksek bir eriyiğe dönüşmüştür. Bu eriyiğin, büyük bir eritme gücü ve reaksiyon kabiliyetine sahiptir. Eriyik içerisinde oldukça yüksek oranlarda metal klorür, florür,

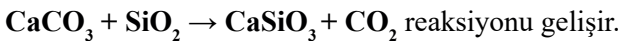
oksit ve sülfürler, çeşitli silikatlar vb. bulunmaktadır. Pnömatolit olarak adlandırılan bu eriyikler katılaştırmış olan magmatik kayacın çatlakları veya mineral sınırları içerisinde girerek ayrışım olaylarına ve yeni mineral oluşumlarına neden olurlar (turmalinleşme, greyzenleşme gibi). Pnömatolitik evre, 500°C-400°C sıcaklık aralığındadır (http 4).

**Hidrotermal evre:** Hidrotermal evre, sıcaklığın 400°C' nin altına düşmesi ile başlayıp 100°C'ye inmesine kadar devam etmektedir. Uçucu elementler içerdikleri için önceden kristalleşen maddelerden dolayı magma su bakımından zenginleşmiş eriyikler haline dönüşmüştür. Bu eriyikler içerisinde, kristalleşme noktası düşük birçok mineral erimiş halde bulunmaktadır. Hidrotermal sıvılar magmatik kayacın veya çevresindeki kayaların kırık ve çatlaklarından sızarak iki önemli oluşuma sebep olurlar (http 4). Bunlar:

- 1) Ag, Au, Zn, Hg, Cu, Sb, Pb gibi maden yatakları meydana gelir.
- 2) Kayaların hidrotermal ayrışımına maruz kalması sonucu hidratlı mineraller ortaya çıkar.
  - Piroksenler Amfibole dönüşür (Uralitleşme)
  - Feldspatlar Kaolene dönüşür (Kaolenleşme)
  - Mikalar Kloritleşir (Kloritleşme)
  - Olivin Serpantin olur (Serpantinleşme)
  - Bazı kayalar propillitleşme neticesinde gevrek ve yeşil renkli bir kayaca dönüşür. Propillit içerisinde epidot, serisit, kalsit, albit, klorit gibi mineraller bulunmaktadır. Propillitleşmeye genel olarak sülfürlü cevherleşmeye neden olan bölgelerde rastlanmaktadır.

**Magmatik asimilasyon (özümleme):** Sıcak halde olan magma temasta bulunduğu kayalarla reaksiyona girerek onları eritir ve kendi malzemesine katarak bileşimini değiştirir. Bu olaya magmatik asimilasyon (özümleme) adı verilir. Magma içerisinde kayacın parçalarının ergimesi magmanın ve yan kayacın bileşimi ile magmanın sıcaklığı gibi bazı faktörler etkisi altındadır. Magma bileşimi ile kayacın parçalarının bileşimi aynı ise asimilasyon (özümleme) meydana gelmez. Özümlemenin olması için bileşim farklılığı olmalıdır.

Magmatik asimilasyonun tipik örneği kireçtaşıyla olan reaksiyondur. Asit magmalarda;



Bu reaksiyonla vollastonit veya Ca'lu piroksenler ortaya çıkar. Bundan dolayı bir biyotit granitin kireçtaşıyla olan dokanağında amfibol ve piroksenli bir granit meydana gelir. Başlangıçtaki kayacın diyorit ise, yersel olarak gabroya dönüşür.



Şekil 3.4. Kireçtaşıyla olan özümleme olayı

Kimyasal özümlemede enerji kaynağı magmanın kendisi olan ısı enerjisi gerekir. Bir magma içinde yan kayacın özümlenen miktarı magmanın termal enerjisiyle sınırlıdır. Magmadan yan kayaca ısının taşınması, taşınmanın olduğu yerin çevresinde katılaşmayı başlatarak magmanın etrafında katı bir kayaç engeli oluşturmaktadır.

Magmanın yan kayacı asimilasyonu sonucunda kirlenmiş bir magma oluşur. Kirlenme en fazla kıtasal kabuk içerisine sokulan magmatik kütlelerde görülmektedir (Bingöl ve Beyarslan, 2005).

#### **Magmaların birbirleriyle karışmaları (magma mixing/mingling)**

Granit gibi felsik kayaçlar anklav olarak adlandırılan kayaç kapanımları içermektedirler (Didier, 1973). Felsik magmatik kayaçlar içinde değişik kökenli anklavlar bulunur (Vernon, 1983; Didier, 1984; Furman ve Spera, 1985; Castro vd., 1991). Felsik kayaçlarla olan ilişkileri, bulunuş şekilleri ve makro-mikro özellikleri dikkate alındığında anklavlar 5 gruba ayrılmaktadır. Bunlar:

- 1) Çoğunlukla plütonun kenar kısımlarında görülen yan kayaca ait erimeden kalan parçalar (ksenolit)
- 2) Kıtasal kabuğun kısmi ergimesi sonucunda oluşmuş magma içinde erimeden kalan mikalı anklavlar (restit)

3) Erken kristalleşmiş kümülüs fazlarla eş yaşlı veya mafik fazların ayrılmasıyla oluşan kümülat anklavlar (otolitler)

4) Felsik-mafik-ortaç magmaların karışımıyla oluşan mikrogranüler anklavlar

5) Felsik magmanın herhangi bir gelişme evresinde plütonizmayla eş yaşlı mafik dayk sokulumları

Farklı bileşimdeki iki veya daha fazla magma karışıp ara bilenli bir magma oluşturabilir. Eğer magmaların bileşimleri arasında çok büyük farklar varsa (bazalt ve riyolit) bu karışımı birçok faktör engelleyebilir.

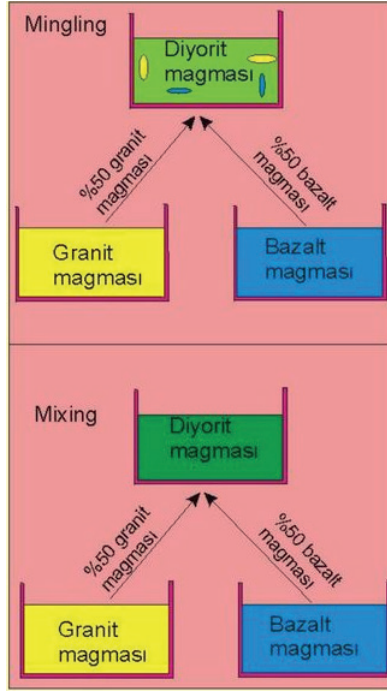
• **Sıcaklık farkı:** Bazaltik ve riyolitik magmalar farklı sıcaklıklara sahiptirler. Bu iki magma yan yana geldiğinde bazaltik magma soğuyup kristelleşirken, riyolitik magma ise ısınır ve kristalleşme varsa tekrar ergiyecektir.

• **Yoğunluk farkı:** Bazaltik magmanın yoğunluğu  $2600-2700 \text{ kg/m}^3$  iken riyolitik magmanın yoğunluğu ise  $2300-2500 \text{ kg/m}^3$  tür. Bu yoğunluk farkıyla yoğunluğu hafif olan riyolitik magmanın daha yoğun olan bazaltik magma üzerinde yüzmesine neden olacak ve karışım engellenecektir.

• **Viskozite farkı:** Bazaltik ve riyolitik magmaların viskoziteleri de farklıdır. Bazaltik magmaların viskozitesi düşükken riyolitik magmaların viskozitesi yüksektir. Bu da magma karışımını engellemektedir.

Eş yaşlı felsik ve mafik magmaların homojen karışımı olarak adlandırılan magma mixing olayında, her iki magma viskozite özellikleri bakımından “Newtoniyen (sıvı)” davranış aşamasındayken karışmaktadır. Böyle bir magma karışımı oldukça derinlerde, ilksel magma oluşum ortamlarında gerçekleşmekte olup her iki magma da kendi özelliklerini kaybederek ortaya yeni bir hibrid (melez) magma oluşmaktadır. Başka bir ifadeyle, daha basite indirgenecek olursa siyah ve beyaz boyaların aynı kapta karışmasıyla gri renkli bir boyanın meydana gelmesi gibi düşünülebilir. Eş yaşlı felsik ve mafik magmaların heterojen karışımı olarak adlandırılan magma mingling olayında ise eş yaşlı magmalardan mafik olanı viskozite bakımından “Visko-plastik” evrede, felsik olanı ise, “Newtoniyen” evredeyken karışmaktadırlar.





Şekil 3.5. Farklı bileşimdeki magmaların karışımı

#### 4. SONUÇLAR

Magma, katı haldeki yeryuvarının katmanlarını oluşturan, yüksek sıcaklıkta asılı halde kristaller ile çözülmüş gazları ihtiva eden belirli bir kimyasal bileşimdeki silikat eriyiğidir. Magma, sıcaklık, basınç ve kimyasal bileşim koşullarına bağlı olarak kristal, eriyik ve gaz fazından oluşmakta olup kristalleşme evreleri birbirinden farklıdır. Katılaşma/kristalleşme esnasında aynı magmadan farklı bileşime sahip kayalar meydana gelebilir.

## 5. KAYNAKLAR

- Best, M.G. (1982). *Igneous and metamorphic petrology*. San Francisco and Oxford (W.H. Freeman); 630pp.
- Bingöl A.F. ve Beyarslan, M. (2005). *Magmatik Petrografi ve Petroloji Ders Notları* (Yayımlanmamış).
- Boztuğ, D. (2001). Magma oluşumu, kinetiği ve katılaşması. Boztuğ, D. ve Otlu, N., (ed.), 2001, *Magmatik Petrojenez*. TÜBİTAK Lisansüstü Yaz Okulu, Jeoloji Mühendisleri Odası Yayını, 61, 19-60, Ankara.
- Castro, A., Moreno-Ventas, I. ve de la Rosa, J.D. (1991). H-type (hybrid) granitoids: a proposed revision of the granite-type classification and nomenclature. *Earth-Science Reviews*, 31, pp. 237-253.
- Didier, J. (1973). *Granites and Their Enclaves*. The bearing of enclaves on the origin of granites. *Developments in Petrology* 3. xiv + 393 pp., 168 figs, 82 tables. Elsevier Scientific Publishing Co., Amsterdam, London & New York. Price Dfl. 100.00.
- Didier, J. (1984). The problem of enclaves in granitic rocks: a review of recent ideas on their origin. *Proc. Internat. Symp. on 'Geol. of granites and their metallogenetic relations'*. Nanjing Univ., Nanjing, China, 137-144.
- Dirik, K. ve Şener, M. (2005). *Fiziksel Jeoloji*. TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, Çeviri serisi 1, 642 sf.
- Furman, T. ve Spera, F.J. (1985). Commingling of acid and basic magma and implications for the origin of I-type xenoliths, IField and petrochemical relations of an unusual dike complex at Eagle Lake, Sequoia National Park, California, USA, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 24, 151-178.
- [http 1: tr.wikipedia.org/wiki/Dünya%27nın\\_yerkabuğu](http://tr.wikipedia.org/wiki/Dünya%27nın_yerkabuğu)
- [http 2: slideplayer.biz.tr/slide/2588333/](http://slideplayer.biz.tr/slide/2588333/)
- [http 3: tr.geologyscience.com/jeoloji/bowens-reaksiyon-serisi/](http://tr.geologyscience.com/jeoloji/bowens-reaksiyon-serisi/)
- [http 4: madencilikrehberi.wordpress.com/wp-content/uploads/2012/02/maden-yataklari-1.pdf](http://madencilikrehberi.wordpress.com/wp-content/uploads/2012/02/maden-yataklari-1.pdf)
- McBirney A. R ve Noyes R.M. (1979). Crystallization and layering of the Skaergaard Intrusion. *Journal of Petrology*; 20: 487-564.
- Patino Douce, A.E. (1996). *Earth and Environmental Science Transactions of the Royal Society of Edinburgh*, vol. 87, issue 1-2, pp. 11-21.
- Vernon, R.H. (1983). Restite, xenoliths and microgranitoid enclaves in granites. *J. Proc. R. Soc. N.S.W.*, 116, pp. 77-103.
- White, A. J. R. ve Chappell, B. W. (1990). Per migma ad magma down-under. *Geological Journal* 25, 221-225.
- Wilson, M. (1989). *Igneous Petrogenesis, a Global Tectonic Approach*. 2nd Edition, Unwin Hyman, London, 466 p.

”

## BÖLÜM 2

### HEYELAN DUYARLILIK ANALİZLERİNDE SIKLIKLA KULLANILAN İSTATİSTİKSEL YÖNTEMLER

*Samet BERBER<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Arş. Gör. Dr. Balıkesir Üniversitesi Müh. Fak. Jeoloji Müh.  
Böl., Çağış Kampüsü, Balıkesir <https://orcid.org/0000-0002-8747-9346>

## 1. Giriş

Günümüzde iklim değişiklikleri ve çevresel faktörler nedeniyle doğal afetlerin sıklığı ve şiddeti artmaktadır. Bu tür doğal afetlerin olumsuz etkileri yerel halk, karar vericiler ve hükümetler açısından büyük önem taşımaktadır. Acil Durum Olayları Veri Tabanı (EM-DAT), küresel ölçekte afetlere dair istatistikleri kaydeden uluslararası bir veri kaynağıdır. EM-DAT verilerine göre, 1970'lerden itibaren her yıl meydana gelen afet sayısında artış gözlemlenmektedir. 2023 yılında, bu veri tabanı aracılığıyla toplamda 399 yıkıcı afet kaydedildiği belirtilmiştir. Yıkıcı etkisi en büyük afet türlerinden biri heyelanlardır. Guzzetti vd. (2020) ve Petley (2012) gibi yapılan çalışmalarda, iklim değişikliği kaynaklı hava olayları, ormansızlaşma ve kentleşme gibi insan faaliyetleri nedeniyle heyelan riskinin arttığını vurgulanmıştır. Heyelanlardan kaynaklı bu olumsuz etkileri azaltmak amacıyla araştırmacılar tarafından yapılan çalışmaların sayısı gün geçtikçe artmaktadır.

Heyelan, afet türlerinden biri olup, eğimli arazilerde yerçekiminin etkisiyle toprak, kaya, moloz ve diğer zemin malzemelerinin yamaç aşağı kayması veya hareket etmesi şeklinde tanımlanmaktadır (Cruden ve Varnes, 1996). Bu tür doğa olayları genellikle yoğun yağış, kar erimeleeri, depremler, volkanik faaliyetler veya insan etkisiyle yapılan hatalı arazi kullanımı gibi faktörlerle tetiklenmektedir. Heyelanların mekanizmasının anlaşılması ve etkili azaltma stratejilerinin uygulanması bu tür olayların etkilerini azaltmada önemli adımlardır. Heyelan duyarlılığı tanım olarak heyelan oluşması üzerinde etkisi olan parametrelerden faydalanılarak heyelanların meydana gelme olasılığı olan alanların göreceli sınıflandırılmasıdır (Aleotti ve Chowdhury, 1999). Geçmişte meydana gelen heyelanlardan yararlanarak gelecekte meydana gelme olasılığı olan alanları belirleyebilmek heyelan duyarlılığı çalışmalarının temelini oluşturmaktadır.

Heyelan duyarlılık analizlerinde araştırmacıların kullandığı yöntemler, Aleotti ve Chowdhury (1999) tarafından genel olarak niteliksel ve niceliksel yöntemler olmak üzere iki ana grupta sınıflandırılmıştır. Niteliksel yöntemler, uzmanların saha gözlemleri ve deneyimlerine dayalı olarak gerçekleştirdiği çalışmaları kapsarken, niceliksel yöntemler, farklı veri setlerinden yararlanılarak genellikle bilgisayar destekli ve veriye dayalı şekilde uygulanmaktadır. Bilgisayar tabanlı haritalama teknolojilerindeki ilerlemeler ve veri erişiminin kolaylaşmasıyla birlikte, heyelan duyarlılık analizlerinde kullanılan yöntemlerin çeşitliliği önemli ölçüde artmıştır.

Heyelan duyarlılık analizlerinde kullanılan istatistiksel yöntemler, heyelan olaylarının meydana geldiği alanların özelliklerini analiz ederek riskli bölgelerin belirlenmesini amaçlar. Bu yöntemler, genellikle mekânsal verilerle çalışarak heyelan oluşumunu etkileyen parametreler arasındaki

ilişkiyi inceler. Bu tür çalışmalarda en sık kullanılan istatistiksel yöntemler, Frekans Oranı, Lojistik Regresyon ve Kanıt Ağırlığı (WoE) metotlarıdır (Zhang vd., 2020; Wubalem ve Meten, 2020; Batar ve Watanabe, 2021; Chen vd., 2021; Shu vd., 2021; Bopche ve Rege, 2022; Liu vd., 2022;).

Frekans Oranı yöntemi, parametrelerin heyelan olaylarıyla ilişkisini hızlı ve doğrudan ortaya koyarak farklı veri türlerine kolaylıkla uyarlanabilir ve görselleştirmeye uygun sonuçlar üretebilir. Lojistik Regresyon analizi, bağımsız değişkenlerin heyelan oluşumu üzerindeki etkilerini istatistiksel olarak değerlendirme imkânı sunar ve özellikle ikili sınıflandırma (heyelan var/heyelan yok) gerektiren durumlarda etkili sonuçlar verir. Kanıt Ağırlığı yöntemi ise her bir parametrenin heyelan oluşumuna etkisini hesaplayarak kolay anlaşılır ve yorumlanabilir sonuçlar sağlar; ayrıca mekânsal analizler için Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile kolayca entegre edilebilir. Bu üç yöntem, kullanımlarındaki sadelik ve sonuçlarının yorumlanabilirliği ile heyelan duyarlılık analizlerinde sıklıkla tercih edilmektedir.

Bununla birlikte bu çalışma kapsamında ele alınan üç istatistiksel yöntemin belirli dezavantajları da bulunmaktadır. Frekans Oranı yöntemi, yalnızca geçmiş heyelan olaylarının verisine dayanır ve gelecekteki farklı koşulları tahmin etme kabiliyeti sınırlıdır; ayrıca parametrelerin ağırlıkları otomatik olarak belirlenmediği için sonuçlar, kullanıcıların subjektif değerlendirmelerinden etkilenebilir. Lojistik Regresyon analizi, bağımsız değişkenlerin doğrusal bir ilişki varsayımına dayandığı için karmaşık ve doğrusal olmayan ilişkilerde yetersiz kalabilir; ayrıca veri seti küçük veya dengesiz olduğunda sonuçlar güvenilir olmayabilir. Kanıt Ağırlığı yöntemi ise her bir parametrenin bağımsız olduğunu varsaydığı için parametreler arasındaki etkileşimleri dikkate alamaz ve bu da sonuçların doğruluğunu sınırlayabilir. Bu dezavantajlar, bu yöntemlerin seğimi ve uygulanmasında dikkatli bir analiz gerektirir.

## **2. Heyelan duyarlılık analizlerinde sıklıkla kullanılan istatistiksel yöntemler**

Heyelan duyarlılık analizlerinde kullanılan istatistiksel yöntemler heyelan tehlikelerinin ortaya konmasında ve değerlendirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Bu tür yöntemler çevresel parametrelerin heyelan oluşumu üzerindeki etkisini anlamamıza yardımcı olmaktadır. Ayrıca bu yöntemler genellikle geçmiş heyelan verilerine dayanarak çalışır ve çevresel parametrelerin, topografyanın ve diğer parametrelerin heyelan duyarlılığına olan etkilerini matematiksel olarak hesaplamaktadır. Bu tür çalışmalarda yapılan istatistiksel analizler, parametreler arasında ilişki kurarak heyelanların nerede meydana gelebileceğini anlamaya çalışmaktadır. Frekans Oranı, Lojistik Regresyon ve Kanıt Ağırlığı gibi yöntemler, heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulmasında yaygın olarak kullanılır ve her biri,

farklı avantajlar ve dezavantajlar sunar. Örneğin Frekans Oranı yöntemi basit ve hızlı sonuçlar sunarken, Kanıt Ağırlığı daha karmaşık bir olasılık hesaplaması yapar ve parametrelerin etkisini daha ayrıntılı ortaya koyar. Bu çalışma kapsamında heyelan duyarlılık analizlerinde en sık kullanılan yöntemlerden olan Frekans Oranı, Lojistik Regresyon ve Kanıt Ağırlığı olmak üzere üç yönteme değinilmiştir.

Frekans oranı, heyelan duyarlılığı analizlerinde en basit ve yaygın kullanılan yöntemlerden biridir. Bu yöntem, her bir parametre alt sınıfındaki heyelanlı ve heyelansız piksellerin oranlarını hesaplayarak, parametrelerin heyelan duyarlılığı üzerindeki etkisini belirler. Yüksek frekans oranı değeri, o parametrenin heyelan duyarlılığını artıran bir etkiye sahip olduğunu gösterir. Frekans oranı, verinin hızlı bir şekilde işlenmesine olanak tanırken, modelin basitliği ve görselleştirilebilirliği ile avantaj sağlar. Ancak, parametreler arasındaki etkileşimleri göz ardı etmesi ve karmaşık ilişkilerde eksik kalması gibi sınırlamaları da vardır.

Lojistik Regresyon, heyelan duyarlılık analizlerinde daha gelişmiş bir istatistiksel yöntemdir. Bu yöntem, bağımsız değişkenlerin heyelan duyarlılığını nasıl etkilediğini modellemek için kullanılır. Lojistik Regresyon, doğrusal olmayan ilişkileri modelleyebilmesi ve her faktörün etkisini sayısal olarak ifade etmesiyle avantajlıdır. Bu yöntem, daha karmaşık ve etkileşimli verilerle çalışabilme yeteneğine sahiptir ve heyelan duyarlılığını tahmin etmede yüksek doğruluk sağlayabilir. Ancak, lojistik regresyon, yalnızca doğrusal olmayan ilişkileri dikkate almaz ve etkileşimleri doğru şekilde modellemek için daha sofistike tekniklere ihtiyaç duyabilir.

Kanıt Ağırlığı yöntemi ise, Bayes teoremine dayanan ve daha olasılık temelli bir yaklaşımdır. Kanıt Ağırlığı, her bir parametrenin pozitif ve negatif ağırlıklarını hesaplayarak heyelan duyarlılığını değerlendirir. Bu yöntem, her bir parametrenin bağımsız etkisini net bir şekilde ortaya koyar ve verileri olasılık bazlı bir şekilde işler. WoE'nin avantajlarından biri, parametrik olmayan ilişkileri modelleyebilmesi ve parametrelerin etkisini daha ayrıntılı bir şekilde açıklayabilmesidir. Ancak, bu yöntem de diğer istatistiksel yöntemler gibi, faktörler arasındaki etkileşimleri göz ardı edebilir ve modelin doğruluğunu sınırlayabilir. Genel olarak, WoE, daha karmaşık veri setlerinde kullanılabilecek güçlü bir yöntemdir, ancak doğru sonuçlar elde etmek için dikkatli bir veri hazırlığı gerektirir.

Bununla birlikte, istatistiksel yöntemlerin bazı sınırlamaları vardır. Genellikle, bu yöntemler, parametreler arasındaki etkileşimleri ve karmaşık ilişkileri göz ardı edebilir, çünkü çoğu zaman parametrelerin bağımsızlık varsayımıyla çalışırlar. Oysa, doğadaki çoğu olay, özellikle heyelan gibi karmaşık doğa olayları, birden fazla parametrenin etkileşimiyle şekillenir. Bu durumda, sadece istatistiksel yöntemlerle yapılan analizler,

bazı önemli değişkenleri kaçırabilir ve sonuçların doğruluğunu olumsuz etkileyebilir. Diğer yandan, uzamsal analiz yöntemleri, özellikle Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılarak yapılan mekânsal analizler, bu tür etkileşimleri daha iyi değerlendirme imkanı sunar. CBS tabanlı yöntemler, veri katmanlarını entegre ederek mekansal ilişkileri daha iyi anlamamıza yardımcı olur, ancak bu tür analizler genellikle daha karmaşıktır ve daha fazla veri gerektirir.

Sonuç olarak, heyelan duyarlılık analizlerinde en güvenilir sonuçları elde etmek için istatistiksel yöntemlerin, uzamsal analizler ve uzman görüşleriyle birleştirilmesi gerekir. İstatistiksel yöntemler, heyelan duyarlılığını nicel olarak belirlemek için güçlü araçlar sunarken, mekânsal analizler ve diğer niteliksel yöntemler, bu riskleri daha derinlemesine anlamamıza yardımcı olabilir. İstatistiksel modeller, genellikle veri setlerinin büyüklüğüyle orantılı olarak daha doğru sonuçlar veririrken, mekânsal yöntemler, çevresel faktörlerin etkilerini görselleştirerek daha geniş bir perspektif sunar. Bu nedenle, her iki yaklaşımın birleşimi, heyelan duyarlılık analizlerinde daha kapsamlı ve güvenilir sonuçlar sağlayabilir.

## 2.1 Frekans Oranı

Heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulmasında kullanılan bu yöntem, mevcut heyelan alanları ile heyelan oluşumunu etkileyen parametreler arasındaki istatistiksel ilişkiyi analiz etmektedir. Bu hesaplama, heyelanların en çok görüldüğü yerlerin, hangi parametrelerin etkisi altında olduğunu ortaya koymak için kullanılır. Uygulama kolaylığı ve sonuçlarının anlaşılabilir olması nedeniyle, literatürde sıkça başvurulmuş yöntemlerden biridir. Frekans oranı, basit bir şekilde, bir olayın gerçekleşme olasılığının gerçekleşmeme olasılığına oranı olarak tanımlanabilir. Frekans oranının hesaplanmasında, Lee ve Talib'in (2005) önerdiği Eşitlik 1 formülü kullanılmaktadır.

$$FR = \frac{PLO}{PIF} = \frac{b}{a} \quad (1)$$

Bu yöntemde, PLO (Parametrik Heyelan Oranı), her bir parametrenin alt sınıflarındaki heyelan alanlarının toplam heyelan alanına oranını hesaplar ve bu oran b katsayısı olarak kullanılır. PIF (Parametrik Etki Faktörü) ise her parametrenin alt sınıfının alanını toplam alana oranlayarak hesaplanır ve bu oran a katsayısı olarak belirlenir. Yapılan hesaplamaların ardından, FR (Frekans Oranı) değeri değerlendirilir. Eğer FR değeri 1'den büyükse, bu parametrenin heyelan oluşumuna göreceli olarak etkili olduğunu gösterirken, 1'den küçük olması, bu parametrenin etkisinin daha az

olduğunu belirtir (Lee ve Talib, 2005).

Her bir parametre alt sınıfı için FR oranları hesaplandıktan sonra, bu değerler normalize edilerek bilgisayar ortamında haritalara aktarılır. Raster veri formatındaki her haritanın piksel başına, o noktaya ait FR değeri atanır. Seçilen tüm parametrelerin haritaları, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ortamında matematiksel olarak birleştirildiğinde, FR yöntemiyle heyelan duyarlılık haritası elde edilir (Eşitlik 2).

$$LS = \sum FR \quad (2)$$

Eşitlikte, LS heyelan duyarlılık haritasını temsil ederken, toplam FR ise her bir parametre haritasındaki her piksel için hesaplanan FR değerlerinin toplamını ifade etmektedir.

Frekans Oranı yönteminin bazı sınırlamaları da vardır. Bu yöntem, yalnızca geçmiş heyelan verilerine dayanarak çalışır, bu da gelecekteki değişikliklere ya da yeni faktörlere nasıl tepki vereceğini tahmin etmekte zorlanabileceği anlamına gelir. Ayrıca, parametreler arasındaki etkileşimleri dikkate almaz ve her parametreyi bağımsız bir şekilde değerlendirir. Bu, karmaşık ilişkileri olan bölgelerde yanlış sonuçlar elde edilmesine neden olabilir. Yine de, Frekans Oranı yöntemi, basitliği ve görselleştirilebilirliği ile heyelan duyarlılık analizlerinde etkili bir araçtır ve daha karmaşık yöntemlerle desteklendiğinde güçlü bir sonuç sağlayabilir.

## 2.2 Lojistik Regresyon

Lojistik Regresyon yöntemi, çok değişkenli istatistiksel analiz yöntemlerinden biri olup heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntem, bağımlı bir değişken ile birden fazla bağımsız değişken arasında regresyon ilişkisi kurmaya dayanan istatistiksel bir yaklaşımı temsil eder (Lee, 2005). Bu tür analizlerde bağımlı değişken, heyelan olayının meydana gelip gelmediğini ifade ederken, bağımsız değişkenler ise duyarlılığı etkileyen parametreleri göstermektedir.

Lojistik Regresyon yöntemi, 0 ve 1 gibi ikili değişkenler ile bir veya daha fazla bağımsız değişkenin analiz edilerek bir model oluşturulması esasına dayanır. Bu yöntemin heyelan duyarlılık analizinde uygulanması, bağımlı değişken olarak heyelan envanter haritasının, bağımsız değişkenler olarak ise çeşitli girdi parametrelerinin incelenmesini içerir. Başka bir ifadeyle, heyelan duyarlılığı analizlerinde bağımlı değişken, heyelanlı alanlar ve heyelanlı olmayan alanlar için sırasıyla 1 ve 0 değerini almalı, bağımsız değişkenler ise seçilen girdi parametrelerine göre belirlenmelidir. Heyelan duyarlılık analizine benzer şekilde, bağımlı değişkenin ikili (0 ve



1) olması durumunda, dağılım  $y$  tek bir değere indirgenir ve bu değer olasılığı ifade eder.

Lojistik Regresyon, řu şekilde tanımlanan lojistik fonksiyon  $f(z)$ 'ye dayanmaktadır:

$$f(z) = \frac{1}{1+e^{-z}} \quad (3)$$

Burada  $z$ , bir sabitin doğrusal toplamı ve bağımsız değişkenlerin ve bunların ilgili katsayılarının çarpımıdır.  $z$  değeri  $-\infty$  ile  $\infty$  arasında değişir, ardından  $f(z)$  0 ile 1 arasında değişir:

$$z = \alpha + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n \quad (4)$$

Burada  $\alpha$  sabittir;  $\beta_i$  ( $i = 0, 1, 2, \dots, n$ ) katsayılardır ve  $x_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) bağımsız değişkenlerdir.

Bir diğer popöler dönüşüm ise nispeten basit bir matematiksel forma sahip olan logit dönüşümüdür:

$$\text{Logit}(P) = \ln\left(\frac{P(Y=1)}{1-P(Y=1)}\right) = \alpha + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n \quad (5)$$

Burada  $p$  bir olayın meydana gelme olasılığıdır.  $P(Y = 1)/(1 - P(Y = 1))$  ifadesi sözde olasılık veya olasılık oranıdır.

Bağımsız değişkenlerin verileri ve piksellerin heyelan durumu temel alınarak, gözlenen sonuçların elde edilme olasılığını en üst düzeye çıkaran maksimum olabilirlik yöntemi kullanılarak sabit  $\alpha$  ve katsayılar  $\beta_i$  tahmin edilmiştir.

Lojistik Regresyon analizi sonucunda elde edilen regresyon katsayıları, ilgili parametrenin sonuç üzerindeki etkisini ifade eder. Pozitif katsayılar, parametre ile sonuç arasında doğru orantılı bir ilişki olduğunu gösterirken, negatif katsayılar ters orantılı bir ilişkiyi işaret eder.

Lojistik Regresyonun avantajlarından biri, modelin doğrusal olmayan ilişkileri de göz önünde bulundurabilmesidir. Bu sayede, daha karmaşık ve doğal olmayan bağıntıları modelleyerek daha güvenilir tahminler elde edilebilir. Ayrıca, Lojistik Regresyon, modelin eğitilmesinde verilerin büyük miktarlarını etkin bir şekilde kullanabilir ve farklı parametrelerin heyelan duyarlılığına olan katkılarını sayısal olarak ifade eder. Bu, sonuçların istatistiksel anlamlılığını ve güvenilirliğini artırır, bu da karar vericilerin daha doğru ve sağlam temellere dayalı risk analizleri yapmalarını sağlar.

Bununla birlikte, Lojistik Regresyon yönteminin bazı sınırlamaları da bulunmaktadır. İlk olarak, model doğrusal bağıntıları varsayar, bu da karmaşık etkileşimleri olan bölgelerde sınırlı doğrulukla sonuçlanabilir. Ayrıca, Lojistik Regresyon, veri setinin büyüklüğü ve dağılımına duyarlı bir yöntemdir; küçük ya da dengesiz veri setlerinde sonuçlar yanıltıcı olabilir. Bunun dışında, parametreler arasında çoklu doğrusal ilişki ve etkileşimler olduğunda, bu durum modelin doğruluğunu olumsuz etkileyebilir. Sonuç olarak, Lojistik Regresyon, diğer yöntemlerle birlikte kullanıldığında daha verimli sonuçlar elde edilmesini sağlar ve heyelan duyarlılık analizlerinde güçlü bir araçtır.

### 2.3 Kanıt Ağırlığı (WoE)

Kanıt Ağırlığı yöntemi, Bayes teoremine dayanan ve olayların oluşumunu tahmin etmek amacıyla kullanılan veri odaklı bir istatistiksel yaklaşımdır. İlk kez tıp alanında uygulamaya konulmuş olan bu yöntem (Spiegelhater ve Knill-Jones, 1984), daha sonra maden sahalarının potansiyel analizlerinde kullanılmıştır (Bonham-Carter vd., 1988, 1989). Bugün ise heyelan duyarlılığı araştırmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Lee vd., 2002; Qazi vd., 2023; Gentilucci vd., 2023). Kanıt Ağırlığı yönteminde, ilk olarak pozitif ağırlık ( $W^+$ ) ve negatif ağırlık ( $W^-$ ) hesaplanır (Eşitlik 6 ve 7) (Van Westen vd., 2003).

$$W^+ = \ln \left[ \frac{\left( \frac{A_1}{A_1+A_2} \right)}{\left( \frac{A_3}{A_3+A_4} \right)} \right] \quad (6)$$

$$W^- = \ln \left[ \frac{\left( \frac{A_2}{A_1+A_2} \right)}{\left( \frac{A_4}{A_3+A_4} \right)} \right] \quad (7)$$

Yukarıdaki eşitliklerde;  $A_1$ , seçilen parametre alt sınıfındaki heyelanlı piksellerin sayısını,  $A_2$ , bu parametre alt sınıfı dışındaki heyelanlı piksel-

lerin sayısını,  $A_3$ , seçilen parametre alt sınıfındaki heyelansız piksellerin sayısını,  $A_4$  ise bu alt sınıf dışındaki heyelansız piksellerin sayısını göstermektedir. Bu durumda,  $A_1 + A_2$  toplam heyelanlı alanlardaki piksellerin sayısını,  $A_3 + A_4$  ise heyelansız alanlardaki piksellerin sayısını ifade etmektedir.

Pozitif ağırlık ( $W^+$ ), bir parametre alt sınıfının heyelanların oluşumunda ne kadar önemli olduğunu gösterir.  $W^+$  değeri pozitif olduğunda, bu parametre alt sınıfının varlığının heyelanların meydana gelmesinde etkili olduğu anlamına gelir; ancak değeri negatifse, parametre alt sınıfının varlığının etkisi tersine dönmektedir. Negatif ağırlık ( $W^-$ ), parametre alt sınıfının yokluğunun heyelan oluşumundaki önemini belirlemek için hesaplanır.  $W^-$  değeri pozitif olduğunda, bu alt sınıfın yokluğunun heyelanların oluşmasında etkili olduğu kabul edilir, negatif bir değeri ise tam tersi durumu ifade eder (Van Westen vd., 2003).

$W^+$  ve  $W^-$  hesaplandıktan sonra, bu iki değeri arasındaki fark ( $C$ , Kontrast) belirlenir (Eşitlik 6). Bu fark, analiz edilen parametre alt sınıfının anlamlı olup olmadığını ve heyelan dağılımını bir bölgedeki etkileyip etkilemediğini gösteren bir gösterge sunar.

$$C = W^+ - W^- \quad (8)$$

Pozitif  $C$  değeri, incelenen parametre alt sınıfının daha yüksek bir ağırlığa sahip olduğunu ve bölgedeki olası heyelanları ayırt etmede etkili olduğunu gösterirken, negatif bir değeri bu durumun tersini ifade eder. Ayrıca,  $C$  değerinin sifıra yakın olması, modelde bu parametre alt sınıfının anlamlı bir etkisi olmadığını ve dolayısıyla heyelan duyarlılığı açısından belirleyici bir rol oynamadığını ortaya koyar.

Kanıt Ağırlığı yönteminin en büyük avantajlarından biri, her bir parametrenin bağımsız etkilerini değerlendirmesi ve her parametrenin heyelan riski üzerindeki katkısını sayısal olarak ifade etmesidir. Ayrıca, Bayes teoremine dayandığı için verilerin olasılık temelli bir şekilde modellenmesine olanak tanır ve bu da daha güvenilir sonuçlar elde edilmesini sağlar. Bu özellik, özellikle karmaşık ilişkiler ve çok sayıda parametrenin bulunduğu analizlerde faydalıdır. Verilerin normalleştirilmesi ve her parametrenin etkisinin net bir şekilde ortaya konması, karar vericilerin bölgedeki heyelan riskini daha doğru bir şekilde değerlendirmelerini sağlar.

Ancak, Kanıt Ağırlığı yönteminin de bazı sınırlamaları vardır. Bu yöntem, her parametrenin birbirinden bağımsız olduğunu varsayar, ancak

doğada çoğu zaman parametreler arasında etkileşimler bulunmaktadır. Bu etkileşimler göz ardı edildiğinde, sonuçlar yanıltıcı olabilir. Ayrıca, verinin doğru bir şekilde normalleştirilmesi gerekir, aksi takdirde elde edilen ağırlıklar hatalı olabilir. Kanıt Ağırlığı yönteminin güçlü olduğu yönlerden biri, parametrik olmayan ilişkilerin de modellenebilmesi iken, bazı durumlarda bu modelin doğruluğu, parametreler arasındaki karmaşık etkileşimlerin hesaba katılmaması nedeniyle azalabilir. Bu nedenle, Kanıt Ağırlığı yöntemi, diğer yöntemlerle birlikte kullanıldığında daha sağlam sonuçlar elde edilmesine yardımcı olur.

### 3. Sonuçlar

Ülkemiz doğal afetler açısından oldukça riskli bir bölgede yer almaktadır. En büyük ikinci yıkıcı doğa olayı olarak tanımlanan heyelanlarla da ülkemizde sıklıkla karşılaşılmaktadır. Heyelan duyarlılık çalışmaları, doğal afetlerin etkilerini önceden tahmin etmek ve bu afetlere karşı daha etkili önlemler alabilmek adına büyük önem taşır. Heyelan duyarlılık çalışmalarının önemi her geçen gün arttığından bu analizleri yaparken kullanılan yöntemler de büyük önem taşımaktadır. Bu tür çalışmalar, heyelan riski taşıyan bölgeleri belirlemek ve duyarlılık, tehlike ve risk haritaları oluşturmak için çeşitli analiz yöntemlerini kullanır. Bu sayede, yerleşim alanlarının, altyapıların ve doğal kaynakların daha güvenli bir şekilde planlanması mümkün olur. Özellikle yüksek eğimli bölgelerde, heyelanların meydana gelme olasılığı arttığı için, bu tür çalışmalar, erken uyarı sistemlerinin kurulması, afet yönetimi stratejilerinin geliştirilmesi ve olası zararların en aza indirilmesi açısından kritik bir rol oynar. Ayrıca, iklim değişikliğinin etkisiyle heyelanlar daha sık ve şiddetli hale gelebileceği için, bu çalışmalar gelecekteki riskleri daha doğru bir şekilde değerlendirmeye yardımcı olur.

Heyelan duyarlılık analizleri, aynı zamanda afet sonrası kurtarma ve iyileştirme süreçlerini de hızlandırır. Riskli bölgelerin haritalanması, hem yerel yönetimler hem de halk için hayati bilgiler sunar. Bu bilgiler, afet sırasında can ve mal kaybını azaltmak için alınacak önlemler ve yapılacak hazırlıklar konusunda yol gösterici olur. Ayrıca, çevresel faktörlerin yanı sıra, insan faaliyetlerinin heyelan oluşumu üzerindeki etkilerini anlamak, sürdürülebilir kalkınma ve çevre koruma politikalarının geliştirilmesinde de yardımcı olur. Böylece, heyelan duyarlılık çalışmaları, sadece afet öncesi değil, afet sonrası ve uzun dönemli çevresel yönetim açısından da büyük bir öneme sahiptir.

Bu çalışma kapsamında heyelan duyarlılık analizlerinde sıklıkla kullanılan üç farklı istatistiksel yöntemle değerlendirilmiştir. Frekans Oranı, Lojistik Regresyon ve Kanıt Ağırlığı metotları en çok kullanılan istatistiksel yöntemler olarak dikkat çekmektedir.

Sonuç olarak, heyelan duyarlılık analizlerinde kullanılan Frekans Oranı, Kanıt Ağırlığı (WoE) ve Lojistik Regresyon yöntemleri, her biri farklı avantajlar ve sınırlamalar sunarak heyelan duyarlılığının değerlendirilmesinde önemli araçlar olarak öne çıkmaktadır. Frekans Oranı yöntemi, basitliği ve hızlı uygulanabilirliği ile özellikle büyük veri setlerinde etkilidir ve heyelan olayları ile çevresel faktörler arasındaki ilişkiyi anlamada yardımcı olur. Ancak, bu yöntemin sınırlamaları, yalnızca geçmiş verilerle çalışabilmesi ve gelecekteki değişiklikleri tahmin etme kapasitesinin sınırlı olmasıdır. Lojistik regresyon analizi, bağımsız değişkenlerin etkilerini istatistiksel olarak modelleyebilmesi ve ikili sınıflandırma yapabilmesi ile özellikle heyelan riski tahminlerinde etkili bir yöntemdir. Bununla birlikte, doğrusal olmayan ilişkileri modellemede ve verilerin homojenliği konusundaki zorluklar, bu yöntemin sınırlamaları arasında yer alır. Son olarak Kanıt ağırlığı (WoE) yöntemi, Bayes teoremine dayalı olarak daha karmaşık bir yaklaşım sunar ve parametreler arasındaki ilişkileri daha ayrıntılı şekilde inceleme olanağı sağlar. Bu yöntem, heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulmasında güçlü bir araçtır, ancak faktörlerin bağımsızlığı varsayımı ve verinin doğru bir şekilde normalleştirilmesi gerekliliği gibi bazı zorluklar içerebilir.

Tüm bu yöntemler, heyelan duyarlılığını değerlendirmek için kullanılan farklı teknikler olsa da, her birinin uygulama alanı ve veri setine bağlı olarak değişen avantajları ve zorlukları vardır. Bu nedenle, en doğru ve güvenilir sonuçları elde edebilmek için bu yöntemlerin bir arada kullanılması, farklı veri kaynaklarının ve analiz tekniklerinin entegrasyonu ile sağlanabilir. Gelecekte, bu yöntemlerin daha da geliştirilmesi ve yeni veri kaynaklarının entegrasyonu ile heyelan risklerinin daha doğru bir şekilde tahmin edilmesi mümkün olacaktır.

#### 4. Kaynakça

- Aleotti, P. and Chowdhury, R. (1999). Landslide hazard assessment: Summary review and new perspectives. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*. <https://doi.org/10.1007/s100640050066>,
- Batar, A. K., & Watanabe, T. (2021). Landslide Susceptibility Mapping and Assessment Using Geospatial Platforms and Weights of Evidence (WoE) Method in the Indian Himalayan Region: Recent Developments, Gaps, and Future Directions. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10(3), 114. <https://doi.org/10.3390/ijgi10030114>
- Bonham-Carter, G.F., Agterberg, F.P., Wright, D.F. (1988). Integration of geological datasets for gold exploration in Nova Scotia. *Photogramm Eng Remote Sensing* 54,1585–1592
- Bonham-Carter, G.F., Agterberg, F.P., & Wright, D.F. (1989). Weights of evidence modelling: a new approach to mapping mineral potential. *Statistical applications in the earth science, geological survey of Canada*, 89(9), 171–183
- Bopche, L., Rege, P.P. (2022) Landslide Susceptibility Mapping: An Integrated Approach using Geographic Information Value, Remote Sensing, and Weight of Evidence Method. *Geotech Geol Eng* 40, 2935–2947. <https://doi.org/10.1007/s10706-022-02070-4>
- Chen, L., Guo, H., Gong, P., Yang, Y., Zuo, Z., Gu, M. (2021). Landslide susceptibility assessment using weights-of-evidence model and cluster analysis along the highways in the Hubei section of the Three Gorges Reservoir Area *Comput. Geosci.*, 156, Article 104899, 10.1016/j.cageo.2021.104899
- Cruden, D. M. and Varnes, D. J. (1996). Landslide types and process. In *Landslides: Investigation and Mitigation*, (1996).
- EM-DAT (2023). Acil Durum Olayları Veri Tabanı, 2023 Afet Yılı İncelemesi Raporu. Erişim adresi: <https://www.emdat.be/>
- Gentilucci, M., Pelagagge, N., Rossi, A., Domenico, A., & Pambianchi, G. (2023). Landslide Susceptibility Using Climatic–Environmental Factors Using the Weight-of-Evidence Method-A Study Area in Central Italy. *Appl Sci*, 13, 8617. <https://doi.org/10.3390/app13158617>
- Guzzetti, F., Mihalić Arbanas, S., Reichenbach, P., Sassa, K., Bobrowsky, P.T., Takara, K. (2020). Understanding and Reducing Landslide Disaster Risk: Volume 2 from Mapping to Hazard and Risk Zonation. ICL Contribution to Landslide Disaster Risk Reduction. Springer International Publishing AG, Cham.
- Lee, S., Choi, J., & Min, K. (2002). Landslide susceptibility analysis and verification using the Bayesian probability model. *Environ Geol*, 43,120–131
- Lee, S., Ab Talib, J. (2005). Probabilistic landslide susceptibility and factor effect analysis. *Environmental Geology*, 47, 982-990. 10.1007/s00254-005-

1228-z.

- Lee, S. (2005). Application of logistic regression model and its validation for landslide susceptibility mapping using GIS and remote sensing data, *International Journal of Remote Sensing*, 26, (7-10), 1477-1491.
- Liu, LL., Zhang, YL., Xiao, T. et al. (2022). A frequency ratio-based sampling strategy for landslide susceptibility assessment. *Bull Eng Geol Environ* 81, 360. <https://doi.org/10.1007/s10064-022-02836-3>
- Petley, D. N. (2012). Global patterns of loss of life from landslides. *Geology*, 40(10), 927-930
- Qazi, A., Singh, K., Vishwakarma, D.K., & Abdo, H.G. (2023). GIS based landslide susceptibility zonation mapping using frequency ratio, information value and weight of evidence: a case study in Kinnaur District HP India. *Bull Eng Geol Environ*, 82, 332. <https://doi.org/10.1007/s10064-023-03344-8>
- Shu, H., Guo, Z., Qi, S., Song, D., Pourghasemi, H. R., & Ma, J. (2021). Integrating Landslide Typology with Weighted Frequency Ratio Model for Landslide Susceptibility Mapping: A Case Study from Lanzhou City of Northwestern China. *Remote Sensing*, 13(18), 3623. <https://doi.org/10.3390/rs13183623>
- Spiegelhalter, D., & Knill-Jones, R.P. (1984). Statistical and knowledge approaches to clinical decision-support systems, with an application in gastroenterology. *J R Stat Soc*, 147, 35–77
- van Westen, C.J., Rengers, N., & Soeters, R. (2003). Use of geomorphological information in indirect landslide susceptibility assessment, *Natural Hazards*, 30(2003), 399-419.
- Wubalem, A., Meten, M. (2020). Landslide susceptibility mapping using information value and logistic regression models in Goncha Siso Eneses area, northwestern Ethiopia. *SN Appl. Sci.* 2, 807 . <https://doi.org/10.1007/s42452-020-2563-0>
- Zhang, Yx., Lan, Hx., Li, Lp. et al. (2020) Optimizing the frequency ratio method for landslide susceptibility assessment: A case study of the Caiyuan Basin in the southeast mountainous area of China. *J. Mt. Sci.* 17, 340–357. <https://doi.org/10.1007/s11629-019-5702-6>