

**JİPSLERDE DOLİNLERİN OLUŞUM  
MEKANİZMALARI AÇISINDAN SÜREKSİZLİK  
ÖZELLİKLERİNİN ETKİLERİNİN  
ARAŞTIRILMASI: KD SİVAS ÖRNEĞİ**

İNAN KESKİN  
DOKTORA TEZİ  
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİMDALI  
2011

**CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**JİPSLERDE DOLİNLERİN OLUŞUM MEKANİZMALARI  
AÇISINDAN SÜREKSİZLİK ÖZELLİKLERİNİN ETKİLERİNİN  
ARAŞTIRILMASI: KD SİVAS ÖRNEĞİ**

**İNAN KESKİN**

**JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİMDALI**

**TEZ DANIŞMANI**  
**PROF. DR. IŞIK YILMAZ**

**SİVAS**

**2011**

Bu alışma Cumhuriyet Üniversitesi Fen/Sağlık Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanmış ve jürimiz tarafından Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

|                |                           |       |
|----------------|---------------------------|-------|
| Başkan         | Prof.Dr. Reşat ULUSAY     | _____ |
| ye            | Prof.Dr. Ali YILMAZ       | _____ |
| ye            | Prof.Dr. Fikret KAçAROğLU | _____ |
| ye            | Prof.Dr. Haluk TEMİZ      | _____ |
| ye (Danışman) | Prof. Dr. Işık YILMAZ     | _____ |

#### ONAY

Bu tez çalışması, / / 2011 tarihinde Enstitü Yönetim Kurulu tarafından belirlenen ve yukarıda imzaları bulunan jüri yeleri tarafından kabul edilmiştir.

Prof.Dr. Mustafa DEğİRMENCİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

Bu tez Cumhuriyet Üniversitesi Senatosu'nun 24.09.2008 tarihli ve 009 sayılı toplantısında kabul edilen Fen/Sağlık Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Tez Yazım Kılavuzu adlı yönergeye göre hazırlanmıştır.

## ÖZET

### **JİPSLERDE DOLİNLERİN OLUŞUM MEKANİZMALARI AÇISINDAN SÜREKSİZLİK ÖZELLİKLERİNİN ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI: KD SİVAS ÖRNEĞİ**

İNAN KESKİN

Doktora Tezi, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Işık YILMAZ

2011, 139 sayfa

Jipslerin yer aldığı alanlar, Türkiye'nin yaklaşık % 5'lik bir bölümünü oluşturmaktadır olup en büyük dağılımı Sivas havzasında yer almaktadır. Sivas yöresindeki jipsler, irili ufaklı birçok karstik özelliği barındırmakta olup, bölge için değişik morfometri ve türlerdeki dolinler ana karstik özellik durumundadır. Havzada genel olarak çökme ve çözünme dolinleri en çok gözlenen dolin türleridir. Bölgedeki dolinlerin çoğunluğunu çanak şekilli dolinler oluşturmasına karşın huni şekilli dolinler de mevcut olup, yoğunlukları daha azdır. Çalışma alanında kuyu şekilli dolinler ise çok az gözlenmekle birlikte oluşumları yeni başlamış sığ dolinler bu gruba girmektedir. Doğada kayalar; tabakalanma, fisürler, faylar ve eklemlerle sınırlanmış kaya kütleleri olarak gözlenmekte olup, süreksizlikler aracılığıyla kaya kütlesi karakteristiklerinin ortaya konulması jipslerde oluşan yeraltı açıklıklarının duraylılığının anlaşılması açısından oldukça önemlidir. Buna karşın, henüz dolin oluşabilirliği analizlerinde bu özellikler koşulsal faktör olarak düşünülmemiş ve aralarındaki ilişkiler ayrıntılı olarak araştırılmamıştır. Bu tez çalışmasında, dolin oluşumu ve kaya kütlesi arasındaki ilişkiler ayrıntılı olarak araştırılarak kaya kütlesi özelliklerini temel alan dolin oluşabilirliği haritası üretilmiştir. Dolin oluşabilirliği haritalarının performans analizleri, yöntem ve modelde kullanılan kaya kütlesi parametrelerinden oluşan koşulsal faktörlerin tatmin edici olduğunu göstermektedir. Bu çalışmada, kaya kütlesi özellikleri temel alınarak oldukça hassas bir harita oluşturulmasına rağmen, dolin oluşabilirliği haritalarında tek başına bu özelliklerin kullanılması yeterli olmayabilir. Çünkü dolin oluşabilirliğini

kontrol eden çevresel, jeolojik, morfolojik, arazi kullanımı, bitki örtüsü, vb. diğer birçok faktör de söz konusudur. Bu tez çalışması ile elde edilen sonuçlar, kaya kütlesi özelliklerinin dolin oluşabilirliği analizlerinde diğer faktörlerle birlikte kullanılmasının oldukça önemli olduğunu özellikle göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Jips, dolin, kaya kütlesi, süreksizlik, dolin oluşabilirliği, koşulsal olasılık, Sivas

## **ABSTRACT**

### **INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF DISCONTINUITY PROPERTIES BY MEANS OF DOLINE OCCURENCE MECHANISMS IN GYPSUM: AN EXAMPLE FROM NE SIVAS**

İNAN KESKİN

PhD Thesis, Geological Engineering

Supervisor: Prof.Dr. Işık YILMAZ

2011, 139 pages

Gypsum covers an area of approximately 5% in Turkey and mainly distributed in Sivas basin. Many karst structures having various sizes are observed in the region, However different types of dolins which have different morphometric characteristics are the main karst type. Collapse and dissolution dolins are widespreadly observed in the basin. The dolins in the basin are generally dish shaped, However cone shaped dolins are also rarely observed. Shaft shaped dolins accompany the others and they form the doline group which are shallow and started to occur newly. Rock in nature is observed as a rock mass which is a discontinuous medium with joints, faults, fissures, fractures, bedding planes, etc. That's why a detailed description of the discontinuities, their structure, and their condition can provide valuable insights into potential rock mass behavior. Although identification of the, the rock mass characteristics by means of discontinuities is very important to find out the stability of the underground openings in gypsum, they have never been considered as conditioning factor of doline susceptibility analyses, and relationships between them have not yet been investigated in detail. In this thesis, relationships between rock mass properties and dolin formation mechanisms were investigated in detail and the doline susceptibility map based on the rock mass parameters were prepared. Evaluation of the validation of the doline susceptibility map indicated that the methodology and conditioning factors consisting of rock mass parameters used in the model can be considered as satisfactory. Although a precise map was obtained in this study considering the rock mass parameters, the results this does

not mean that the rock mass parameters are solitary enough to construct a doline susceptibility map. Because there are many other affecting factors of doline occurrence such as; environmental, geological, morphological, land-use, vegetation, etc. This thesis especially points out that the rock mass parameters must be included in the doline susceptibility analyses together with the other factors.

**Keywords:** Gypsum; doline; rock mass; discontinuity; doline susceptibility; conditional probability; Sivas (Turkey).



## TEŞEKKÜR

Çalışmanın tüm aşamalarında bilgi ve deneyimleri ile araştırma konusu ve yöntemlerinin belirlenmesinde, arazi ve büro çalışmalarının gerçekleştirilmesinde, değerlendirme ve tezin son şeklinin almasında büyük emeği geçen tez danışmanım ve değerli hocam Prof. Dr. Işık YILMAZ'a,

Tez çalışması süresince dönem raporlarını ve sunumları özenle inceleyen, önerileri ve değerli katkılarıyla tezin olgunlaşmasına büyük katkı koyan, tez izleme komitesi üyeleri Prof. Dr. Reşat ULUSAY (Hacettepe Üniversitesi) ve Prof. Dr. Fikret KAÇAROĞLU'na (Cumhuriyet Üniversitesi),

Arazi çalışmalarında desteğini ve yardımlarını gördüğüm Jeo. Yük. Müh. Mustafa YILDIRIM'a ve çeşitli dönemlerde arazi çalışmalarında bana eşlik eden stajyer öğrencilere ve

Çalışmamın her anında yanımda olan değerli eşim Yrd. Doç. Dr. Tülay EKEMEN KESKİN'e teşekkür ederim.

Sunulan tez çalışması için her türlü maddi destek, Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Başkanlığı tarafından desteklenen M-366 nolu "Jipslerde yer alan dolinlerin oluşum mekanizmaları ile kaya kütlesi özellikleri arasındaki ilişkilerin araştırılması: KD Sivas örneği." başlıklı proje kapsamında sağlanmıştır. Bu nedenle C.Ü Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu'na teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

|   | <b>Sayfa No</b> |
|---|-----------------|
| <b>ÖZET</b>   | i               |
| <b>ABSTRACT</b>   | iii             |
| <b>TEŞEKKÜR</b>   | v               |
| <b>İÇİNDEKİLER</b>  | vi              |
| <b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b>  | ix              |
| <b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b>  | xiii            |
| <br>  |                 |
| <b>1. GİRİŞ</b>   | 1               |
| 1.1. Amaç ve Kapsam   | 1               |
| 1.2. Çalışma ve Değerlendirme Yöntemleri  | 2               |
| 1.3. Coğrafi Özellikler   | 5               |
| 1.3.1. Konum  | 5               |
| 1.3.2. İklim ve Bitki Örtüsü  | 6               |
| 1.4. Önceki Çalışmalar  | 7               |
| 1.4.1. Çalışma Alanı ve Civarında Bölgesel ve Yerel Jeoloji ile İlgili Çalışmalar   | 7               |
| 1.4.2. Karst, Jips Karstı ve Jipslerin Mühendislik Özelliklerine Yönelik Çalışmalar | 13              |
| <br>  |                 |
| <b>2. İNCELEME ALANIN JEOLJİSİ</b>  | 23              |
| 2.1. Kırşehir Masifi  | 23              |
| 2.2. Tokuş Formasyonu   | 24              |
| 2.3. Hafik Formasyonu   | 24              |
| 2.4. Karacaören Formasyonu  | 27              |
| 2.5. İncesu Formasyonu  | 27              |
| 2.6. Alüvyon  | 28              |

|  |    |
|--|----|
| <b>3. JİPS KARSTI VE DOLİNLER</b>                            | 29 |
| 3.1. Jipslerin Oluşumu ve Kökeni                             | 29 |
| 3.2. Karst ve Jips Karstı                                    | 32 |
| 3.3. Dolinlerin Oluşum Mekanizması ve Sınıflandırılması      | 36 |
| 3.4. Oluşumlarına Göre Dolinler                              | 41 |
| 3.4.1. Çözünme Dolinleri                                     | 41 |
| 3.4.2. Çökme Dolinleri                                       | 45 |
| 3.4.3. Örtü Kayası Çökme Dolini                              | 51 |
| 3.4.4. Örtü Zemini Çökme Dolini                              | 51 |
| 3.4.5. Örtülmüş Dolin  | 52 |
| 3.5. Şekillerine Göre Dolinler                               | 52 |
| <b>4. JEOMORFOLOJİK ÖZELLİKLER</b>                           | 55 |
| 4.1. Drenaj Ağı ve Akış Özellikleri                          | 55 |
| 4.2. Karst Morfometrisi                                      | 57 |
| 4.2.1. Yoğunluk Analizleri                                   | 59 |
| 4.2.2. Dolinlerin Düzlemselliği ve Bazı Boyutsal Özellikleri | 62 |
| <b>5. JİPS KAYA KÜTLELERİNİN KARAKTERİZASYONU</b>            | 71 |
| 5.1. Süreksizliğin Türü                                      | 75 |
| 5.2. Süreksizlik Aralığı                                     | 76 |
| 5.3. Süreksizlik Devamlılığı                                 | 79 |
| 5.4. Süreksizlik Yüzeylerinin Pürüzlülüğü ve Dalgallığı      | 81 |
| 5.5. Süreksizlik Açıklığı                                    | 82 |
| 5.6. Dolgu Malzemesinin Özellikleri                          | 84 |
| 5.7. Süreksizlik Yüzeyinin Dayanımı ve Bozunma Derecesi      | 84 |
| 5.8. Süreksizlik Yüzeyindeki Su Durumu                       | 84 |
| 5.9. Yönelim ve Eklem Seti Sayısı                            | 84 |
| 5.10. Blok Boyutu  | 86 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>6. KAYA KÜTLE ÖZELLİKLERİNİN DOLİN OLUŞUMU ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN MODELLENMESİ</b> | 88  |
| 6.1. Hazırlayıcı Faktör Anlamlılığı Analizleri                                      | 89  |
| 6.2. Dolin Oluşumu ile İlişkili Faktörlerin Değerlendirilmesi                       | 94  |
| 6.2.1. Süreksizlik Aralığı  | 94  |
| 6.2.2. Süreksizlik Devamlılığı  | 100 |
| 6.2.3. Süreksizlik Yüzeyinin Açıklığı   | 102 |
| 6.2.4. Süreksizliğin Yönelimi ve Süreksizlik Seti (takımı) Sayısı                   | 105 |
| 6.3. Analizlerde Kullanılacak Modelin Belirlenmesi                                  | 107 |
| 6.4. Koşulsal Olasılık ( <i>CP</i> ) ve Dolin Oluşabilirliği (Duyarlılık) Modeli    | 110 |
| 6.5. Dolin Oluşabilirliği (Duyarlılık) Haritasının Performansının Sınanması         | 112 |
| 6.5.1. Uygunluk derecesi, <i>DF</i>   | 116 |
| 6.5.2. Eğri Altında Kalan Alan  | 117 |
| <b>7. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR</b>   | 119 |
| <b>8. YARARLANILAN KAYNAKLAR</b>  | 123 |

## ŞEKİLLER DİZİNİ

|   | Sayfa No |
|---|----------|
| <b>Şekil 1.1.</b> Çalışma alanının Türkiye'deki konumu ve yer bulduru haritası                                      | 3        |
| <b>Şekil 1.2.</b> Tez çalışması kapsamında uygulanan programının akım şeması  | 4        |
| <b>Şekil 2.1.</b> Çalışma alanına ait dikme kesit (ölçeksiz, Poisson vd. (1996) ve Temiz 1994' den yararlanılarak)  | 23       |
| <b>Şekil 2.2.</b> Çalışma alanının jeoloji haritası (Açıklamalar için Şekil 2.1'e bakınız) (Poisson vd. 1995' den). | 25       |
| <b>Şekil 3.1.</b> Jips-Anhidrit döngüsü (Muray, 1964)   | 31       |
| <b>Şekil 3.2.</b> Sivas Tersiyer havzasındaki jips çökellerinin genel dağılımı                                      | 35       |
| <b>Şekil 3.3.</b> Jipsin doygunluk eğrisi (Bögli, 1980'den)   | 37       |
| <b>Şekil 3.4.</b> Dolin türleri ve her bir dolin türünü tanımlayıcı ana özellikler (Waltham vd. 2005'den)           | 38       |
| <b>Şekil 3.5.</b> Ford ve Williams (1989)'a göre dolinler (a) dolin tipleri ve (b) çökme dolini tipleri             | 40       |
| <b>Şekil 3.6.</b> Lowe ve Waltham (2002)'a ve Waltham ve Fookes (2003)'a göre dolin tipleri                         | 41       |
| <b>Şekil 3.7.</b> Dolin duvarlarının aşınması ile oluşan jips tepeleri (Soğuk Çermik civarı)                        | 42       |
| <b>Şekil 3.8.</b> Çalışma alanındaki poligonal karst alanları ve çözünme dolinleri (Hafik civarı)                   | 43       |
| <b>Şekil 3.9.</b> Çalışma alanındaki poligonal karst alanları ve çözünme dolinleri (Seyfebili civarı)               | 43       |
| <b>Şekil 3.10.</b> Çalışma alanındaki poligonal karst alanları ve çözünme dolinleri (Soğuk çermik yolu civarı)      | 44       |
| <b>Şekil 3.11.</b> Basamaklar şeklinde gözlenen dolinlere bir örnek (Beypınarı GB kesimleri)                        | 45       |
| <b>Şekil 3.12.</b> Bir süreksizlik boyunca dizilmiş çökme dolinleri (Hafik Gölü KB'sı)                              | 46       |
| <b>Şekil 3.13.</b> Çökme dolinlerin oluşumunda süreksizlik ve kütle duraysızlığının etkisi                          | 47       |

|  |    |
|--|----|
| <b>Şekil 3.14.</b> Göl haline dönüşen bir çökme dolini (Büyük Lota Gölü)   | 48 |
| <b>Şekil 3.15.</b> İçi su ile dolmuş bir çökme dolini (Küçük Lota Gölü)  | 48 |
| <b>Şekil 3.16.</b> Hafik ilçesinin kuzeyinde oldukça derin bir çökme dolini (Sarı Gelin Çukuru-1)  | 49 |
| <b>Şekil 3.17.</b> Hafik ilçesinin kuzeyinde 80 m derinliğinde bir çökme dolini (Sarı Gelin Çukuru-3)  | 49 |
| <b>Şekil 3.18.</b> Seyfebeli civarındaki çökme dolini (Sivas-Hafik yolu GD kesimi)   | 50 |
| <b>Şekil 3.19.</b> İki dolin arasındaki dolin duvarının yıkılmasıyla oluşan yayvan bir çökme dolini (Hafik KB'sı)  | 50 |
| <b>Şekil 3.20.</b> Büyük bir dolin içerisinde gözlenen örtü çökme dolini (Eşek meydanı civarı)   | 53 |
| <b>Şekil 3.21.</b> Çalışma alanında gözlenen örtü çökme dolini (Buruklu KB'sı)   | 53 |
| <b>Şekil 4.1.</b> Çalışma alanı ve yakın dolayının drenaj ağı  | 56 |
| <b>Şekil 4.2.</b> Çalışma alanının üç boyutlu blok diyagramı   | 58 |
| <b>Şekil 4.3.</b> Morfometrik ölçümlerde kullanılan dolinler ve alansal dağılımları  | 59 |
| <b>Şekil 4.4.</b> Çalışma alanına ait dolin yoğunluğu dağılım haritası   | 61 |
| <b>Şekil 4.5.</b> Dolin yoğunluğu dağılımı histogramı  | 62 |
| <b>Şekil 4.6.</b> Dolinlerin uzun eksen histogramı   | 63 |
| <b>Şekil 4.7.</b> Dolinlerin kısa eksen histogramı   | 63 |
| <b>Şekil 4.8.</b> Dolinlerin uzun eksen/kısa eksen oranı (L/W) histogramı  | 64 |
| <b>Şekil 4.9.</b> Dolin uzun ve kısa eksenleri arasındaki ilişki   | 65 |
| <b>Şekil 4.10.</b> Dolin çap uzunluklarının dağılım histogramı   | 65 |
| <b>Şekil 4.11.</b> Altı şekil için dairesellik indeksi. (A dairesellik indeksi 1'e eşit olan tam bir daireyi temsil etmekte diğer tüm şekiller ise dairesellikten uzaklaşan alanlardır). (Seale 2005'den). | 67 |
| <b>Şekil 4.12.</b> Dolinlere ait dairesellik indeksi histogramı  | 68 |
| <b>Şekil 4.13.</b> Dolin alanlarının dağılım histogramı  | 69 |
| <b>Şekil 4.14.</b> Dolin çevre uzunluklarının dağılımı histogramı  | 69 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Şekil 4.15.</b> Dolin derinliği histogramı  | 70 |
| <b>Şekil 5.1.</b> Boyutlarına göre süreksizliklerin sınıflandırılması (Palmström, 1995)                                | 72 |
| <b>Şekil 5.2.</b> Çalışma alanı içerisindeki kaya kütleleri ölçümü yapılan lokasyonlar                                 | 73 |
| <b>Şekil 5.3.</b> Hat etüdü ve pencere haritasının yapıldığı bir yerlerden görünüm                                     | 75 |
| <b>Şekil 5.4.</b> Jips kaya kütlelerindeki süreksizlik aralıklarının hat etüdü yöntemiyle ölçülmesi (Seyfebeli civarı) | 77 |
| <b>Şekil 5.5.</b> Süreksizlik aralık tanımlama ölçütlerine ait histogram   | 78 |
| <b>Şekil 5.6.</b> Süreksizliklere ait eklem aralığı histogramı   | 79 |
| <b>Şekil 5.7.</b> Eklem devamlılığı histogramı   | 80 |
| <b>Şekil 5.8.</b> Jipslerdeki eklemlerin devamlılıklarından bir görünüm (Büyük Tepe civarı)                            | 81 |
| <b>Şekil 5.9.</b> Süreksizlik açıklığı histogramı  | 82 |
| <b>Şekil 5.10.</b> Jipslerdeki süreksizliklerin açıklıklarından bir görünüm  | 83 |
| <b>Şekil 5.11.</b> Jipslerdeki eklem yönelimlerinin kontur ve gül diyagramları   | 85 |
| <b>Şekil 5.12.</b> Çalışma alanındaki eklemlerin eğim yönlerine ait histogram  | 86 |
| <b>Şekil 5. 13.</b> Çalışma alanındaki eklemlerin eğim miktarlarına ait histogram                                      | 87 |
| <b>Şekil 6.1.</b> Frekans oranları ile aralık parametresinin sınıfları arasındaki ilişki                               | 92 |
| <b>Şekil 6.2.</b> Frekans oranları ile devamlılık parametresinin sınıfları arasındaki ilişki                           | 93 |
| <b>Şekil 6.3.</b> Frekans oranları ile açıklık parametresinin sınıfları arasındaki ilişki                              | 93 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>Şekil 6.4.</b> Süreksizlik aralığı dağılım haritası ve aralık değerlerine düşen dolin sayısı                                 | 95  |
| <b>Şekil 6.5.</b> Süreksizlik aralığının düşük olduğu alanlardaki dolinlerden bir görünüm (Cürekini mevki civarı)               | 96  |
| <b>Şekil 6.6.</b> Geniş alanlara yayılan küçük dolinlerden bir görünüm (Karataş civarı)   | 96  |
| <b>Şekil 6.7.</b> Derelerden uzaklıkla dolinlerin ilişkisi  | 98  |
| <b>Şekil 6.8.</b> Süreksizlik aralığının geniş olduğu alanlardaki bir dolinin uzaktan ve yakından görünümü                      | 99  |
| <b>Şekil 6.9.</b> Süreksizlik aralığının geniş olduğu alanlardaki büyük ve tekil bir görünüm sergileyen dolinlerden bir görünüm | 99  |
| <b>Şekil 6.10.</b> Süreksizlik devamlılığı dağılım haritası ve aralık değerlerine düşen dolin sayısı                            | 101 |
| <b>ekil 6.11.</b> Süreksizlik açıklığı dağılım haritası ve aralık değerlerine düşen dolin sayısı                                | 104 |
| <b>Şekil 6.12.</b> Dolin uzun ve kısa eksen yönelimleri   | 106 |
| <b>Şekil 6.13.</b> Süreksizliklerin ve dolin uzun eksenlerinin yönelimlerinin karşılaştırılması                                 | 107 |
| <b>Şekil 6.14.</b> Dolin oluşabilirliği modelinin hazırlanma aşaması  | 110 |
| <b>Şekil 6.15.</b> Dolin duyarlılık indeksi dağılımı  | 114 |
| <b>Şekil 6.16.</b> Dolin duyarlılık haritası  | 115 |
| <b>Şekil 6.17.</b> Duyarlılık sınıflarının uygunluk derecesi  | 117 |
| <b>Şekil 6.18.</b> CP modeline ait AUC eğrisi   | 118 |



## ÇİZELGELER DİZİNİ

|   | <b>Sayfa No</b> |
|---|-----------------|
| <b>Çizelge 1.1.</b> Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğü Sivas meteoroloji istasyonu verileri (1975–2008)                       | 6               |
| <b>Çizelge 1.2.</b> Dolin tipleri, oluşum süreçleri ve tanımlamada kullanılan terimler (Williams 2004)                        | 20              |
| <b>Çizelge 3.1.</b> Bazı kayaç ve minerallerin saf sudaki çözünürlükleri (James ve Kirkpatrick, 1980)                         | 36              |
| <b>Çizelge 4.1.</b> Dolinlerin uzun eksen, kısa eksen ve uzun eksen/kısa eksen oranı değerleri                                | 63              |
| <b>Çizelge 4.2.</b> Dolinlerin alan, çevre ve dairesellik indeks değerleri  | 68              |
| <b>Çizelge 5.1</b> Süreksizlik aralık tanımla ölçütleri (ISRM, 2007).   | 78              |
| <b>Çizelge 5.2.</b> Devamlılık tanımlama ölçütleri (ISRM, 2007)   | 80              |
| <b>Çizelge 5.3.</b> Açıklık tanımlama ölçütleri (ISRM, 2007)  | 83              |
| <b>Çizelge 6.1.</b> Kaya kütlesi özelliklerinin dolin oluşumunu hazırlayıcı faktör olarak ilksel değerlendirilmesine ait özet | 89              |
| <b>Çizelge 6.2.</b> Dolin oluşumuna etki eden faktörlerin frekans oranları  | 91              |
| <b>Çizelge 6.3.</b> Koşulsal olasılık modellerinden elde edilen P(A/B) sonuçları  | 113             |
| <b>Çizelge 6.4.</b> Dolin oluşabilirliği indeksleri ve duyarlılık sınıfları   | 116             |

# 1. GİRİŞ

## 1.1. Amaç ve Kapsam

Karstik arazilerdeki makro şekillerden biri olan dolinler, bölgenin karstik gelişiminin anlaşılmasında önemli özelliklerden birini oluşturmaktadır. Bu nedenle, bir karstik bölgenin jeomorfolojik ve hidrojeolojik gelişiminin belirlenebilmesi için öncelikle dolin tiplerinin iyi bilinmesi ve doğru sınıflandırmalarının yapılması büyük önem taşımaktadır. Yine dolinlerin oluşumunda önemli bir etkiye sahip olan kaya kütlesi özelliklerinin ve bölge tektoniğinin doğru olarak ortaya konulması, dolinlerin bu parametrelerle olan ilişkisinin ifade edilebilmesi açısından oldukça önemlidir.

Oluşum süreci hızlı işleyen, ya da aniden oluşan bazı dolinler (çökme dolini, örtü çökme dolini veya alüvyal dolinleri) meydana geldiği yerler açısından gerek insanların can güvenliği, gerekse mühendislik yapıları ve tarımsal faaliyetler için önemli ölçüde zarar verici olabilmektedirler (Crawford, 1982; Cooke ve Doornkamp, 1990; Nichol, 1998; Elorzo ve Santolalla, 1998; Buttrick ve Schalkwyk; 1998; Kannan, 1999; Paukstys vd., 1999; Cooper ve Saunders, 1999, 2002; Cooper ve Waltham 1999; Gongyu ve Wanfang, 1999; Kaufmann ve Quinif, 1999; Thomas ve Roth, 1999; Arkin ve Gillat, 2000; Hu vd., 2001; Cooley, 2002; Doğan ve Çiçek, 2002; Lamont-Black vd. 2002; Doğan, 2003; Colin vd., 2005; Török vd., 2006). Bu anlamda, dolinlerin türlerinin belirlenerek kaya kütleleriyle ilişkilendirilmesinin dolinlerin davranışı ve bu tür bölgelerdeki yaşam alanları, mühendislik yapıları ve tarım alanları gibi farklı kullanım alanlarında olabilecek değişikliklerin öngörülmesinde ve bölgede geleceğe yönelik olarak hazırlanacak olan arazi kullanımı planlamaları açısından önemi büyüktür.

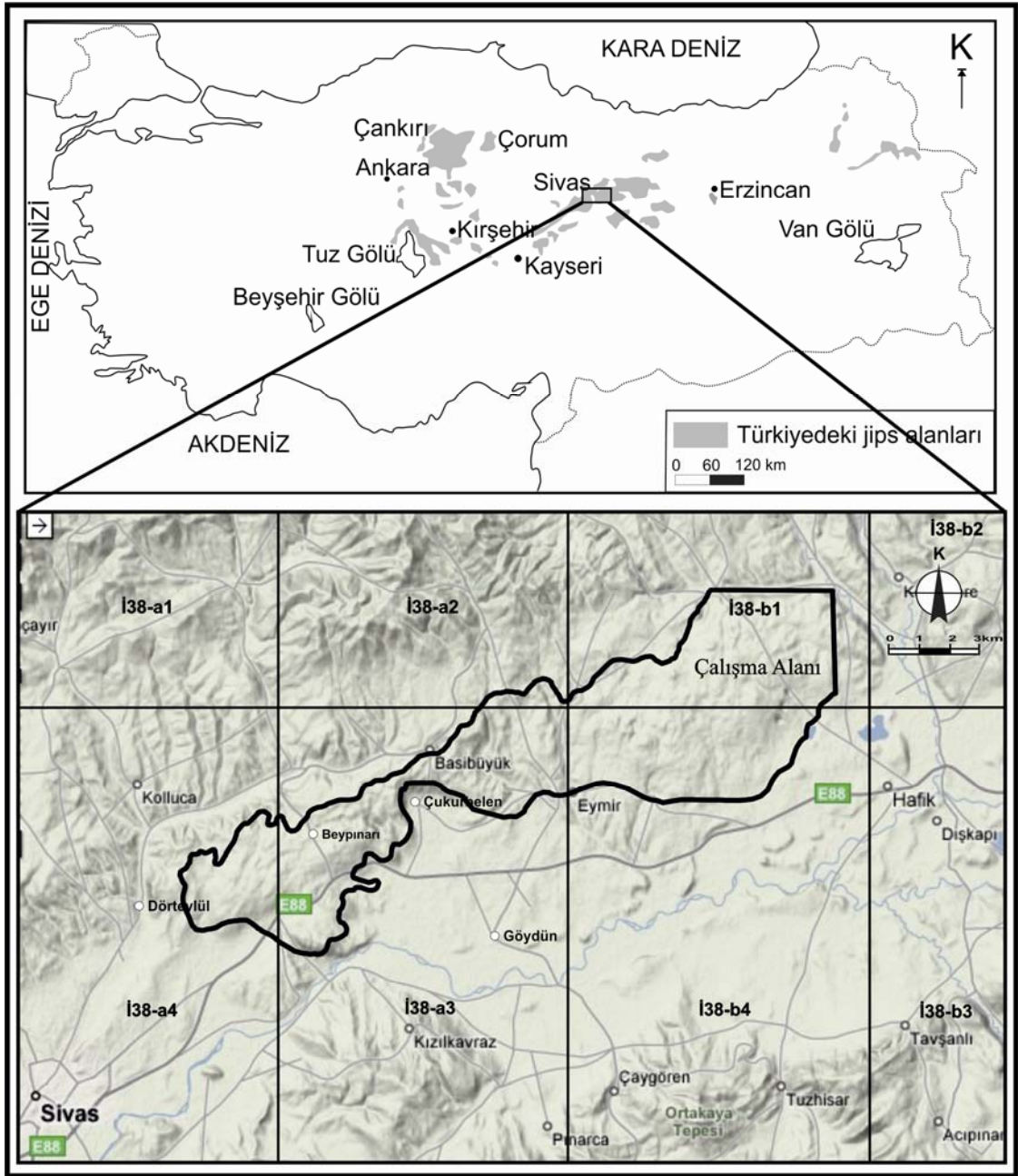
Bu tez çalışması kapsamında; Sivas'ın doğu kesimindeki jipslerde karstlaşmaya bağlı olarak oluşmuş dolinlerle kaya kütlesi özellikleri arasındaki ilişkiler belirlenerek, kaya kütlesi özelliklerinin dolin oluşumuna etki ve katkılarının araştırılması amaçlanmıştır. Bu kapsamda; jips kaya kütlelerinde oluşan dolinlerin morfometrik özellikleri (uzun eksen-kısa eksen uzunlukları, bunların oranları ve yönelimleri, dolin alanı, çevre uzunlukları, derinlikleri, dolinlerin dairesellik indeksleri ve dolin

yoğunluğu) tanımlanmıştır. Çeşitli araştırmacıların önerdikleri dolin sınıflamaları göz önünde bulundurularak, morfometrik özellikleri tanımlanan bu dolinler, sınıflandırılmış ve oluşum koşulları belirlenmiştir. Bu jipslerin kaya kütlesi özellikleri (eklem yoğunluğu, açıklık ve devamlılık) belirlenerek gerçek koordinatlarıyla CBS ortamına aktarılmıştır. Daha sonra her bir kaya kütlesi özelliğine ait alansal dağılım haritaları üretilerek bu özelliklerin dolin oluşumuna katkıları belirlenmiştir. Yine bu çalışma kapsamında kaya kütle özellikleri temel alınarak dolin oluşabilirliği haritaları üretilmiş ve çalışma alanı dolin oluşabilirliği açısından sınıflandırılmıştır.

Tezin amacı doğrultusunda, dolin yoğunluğu ve kaya kütlesi özelliklerinin belirlenebileceği lokasyonlar dikkate alınarak çalışma alanının sınırları Şekil 1.1'deki gibi belirlenmiştir. Çalışma alanı karelajlara ayrılarak, her bir alanda jipslerin kaya kütle özelliklerinin saptanacağı lokasyonlar arazide seçilip, kaya kütlesi özellikleri ölçülmüş ve/veya tanımlanmıştır. Daha sonra bu alanlardaki dolin özellikleri tanımlanmış ve elde edilen veriler sahanın tamamı için değerlendirilmiştir.

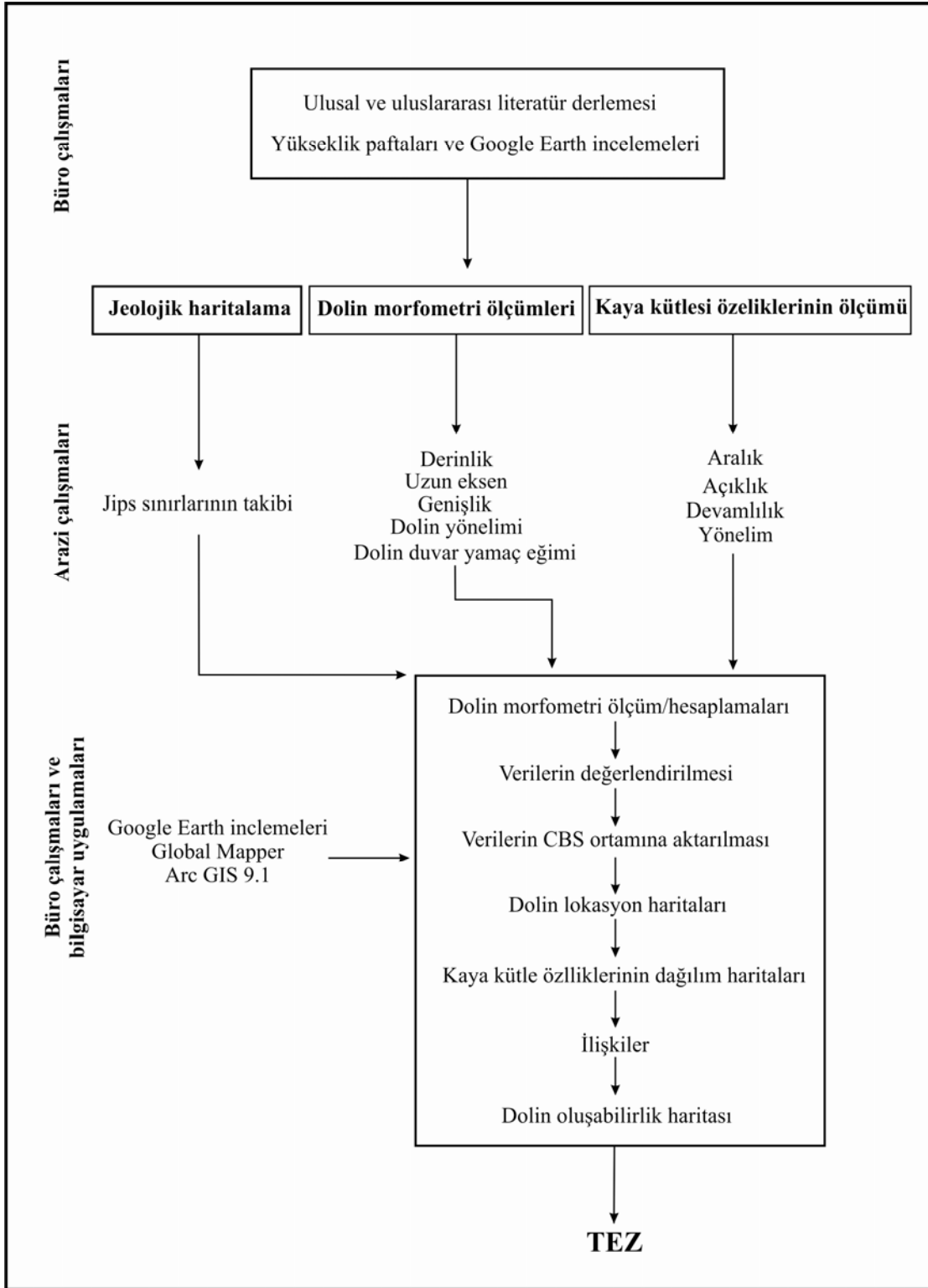
## **1.2. Çalışma ve Değerlendirme Yöntemleri**

Tez çalışmasının amacı doğrultusunda belirlenen hedeflere ulaşmak üzere yapılan değerlendirmeler, arazi çalışmaları ve büro çalışmaları olmak üzere iki aşamalı bir program çerçevesinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 1.2). Büro çalışmaları sırasında ilk aşamada literatür taraması yapılarak çalışma alanı ve konusu ile ilgili ulusal ve uluslararası kaynaklar elde edilerek kuramsal bilgiler ve güncel çalışmalar derlenmiştir. Daha sonra ise, Google Earth ve Harita Genel Komutanlığı'ndan temin edilen, yükseklik, bitki, yerleşim, ulaşım, hidrografya ve fizyoğrafya gibi katmanları içeren (DGN ve Arc Info formatlarında) çalışma alanına ait 1/25000 ölçekli sayısal yükseklik paftaları üzerinde tipik yerler ve ana yapıların gözlemlendiği alanlar saptanarak arazi çalışması programlanmıştır.



Şekil 1.1. Çalışma alanının Türkiye’deki konumu ve yer bulduru haritası

Arazi çalışmaları sırasında jipslerin süreksizlik özelliklerine ağırlık verilmiş olup, birimin sınırları ve önemli yapısal unsurları 1/25. 000 ölçekli topoğrafik haritaya aktarılmıştır. Süreksizlik özellikleri ile ilişkili olarak, çeşitli lokasyonlarda hat etütleri ve pencere haritaları yapılmış ve jipslerin kaya kütle özellikleri ayrıntılı şekilde incelenmiştir. Bu arazi çalışmalarıyla dolinlerin koordinatları, sınırları ve çeşitli morfometrik özelliklerini belirlemeye yönelik çalışmalar da yapılarak veriler elde edilmiştir.



**Şekil 1.2.** Tez çalışması kapsamında uygulanan programın akım şeması

Arazi çalışmalarından sonraki aşamada ise, inceleme alanı ve yakın çevresinin jeolojik yapısı ArcGIS 9.1 (2005) paket programı aracılığıyla Coğrafi Bilgi Sistemleri

(CBS) tabanlı bir modele yansıtılmıştır. Bu kapsamda bölgesel ve yerel ölçeklerde mevcut olan topoğrafik (1/25 000) ve jeolojik (1/25 000 ve 1/100 000 ölçekli) haritalar ile hava fotoğrafları verileri sayısal ortama aktarılmıştır. Söz konusu bu model, çalışmanın ileri aşamalarında yapılan analizlerin altlığını oluşturmuştur.

Bu aşamada ayrıca, arazi çalışmaları sırasında yapılan hat etütleri ve pencere haritalarıyla elde edilen jiplere ait kaya kütle özelliklerinin istatistiksel değerlendirilmesi yapılarak ArcGIS 9.1 (2005) programında üretilen “shape file” dosyalarında öz nitelikler olarak tanımlanmış ve analizlerde kullanılmak üzere hazır hale getirilmiştir. Karst morfolojisine yönelik arazi çalışmaları, Harita Genel Komutanlığı’ndan alınan yükseklik paftaları, hava fotoğrafları ve Google Earth görüntüleri, Global Mapper V12, ArcGIS 9.1 (2005) ve Google Earth programları ile birlikte değerlendirilerek tamamlanmıştır. Stereonet V2.46 ve Dips V 5.1 programları aracılığıyla çalışma alanındaki hakim eklem ve dolin yönelimleri tanımlanarak istatistiksel analizler yapılmıştır. Çalışmanın son aşamasında ise, ArcGIS 9.1 (2005) programı kullanılarak kaya kütle özelliklerinin dağılım haritaları yapılarak ve özelliklerin dolinlerle ilişkileri belirlenerek, çalışma alanı için kaya kütle özelliklerinin temel alındığı dolin oluşabilirliği haritası üretilmiştir.

### **1.3. Coğrafi Özellikler**

#### **1.3.1. Konum**

Çalışma alanı; Sivas kentinin yakın kuzeydoğusunda, Kızılırmak Nehri’nin kuzeyinde yer almaktadır. 1/25.000 ölçekli topoğrafik haritalarda İ38 a2, İ38 a3, İ38 a4, İ38 b1 ve İ38 b4 paftalarını içeren yaklaşık 92 km<sup>2</sup>’lik bir alanı kaplamaktadır (Şekil 1.1). Çalışma alanındaki topoğrafik yükseklik 1610 ile 1290 m arasında değişmekte olup, en düşük kotlu alanları Kızılırmak Nehri’nin yatağına yakın kısımlar oluşturmaktadır.

### 1.3.2. İklim ve Bitki Örtüsü

Karasal İç Anadolu ikliminin etkisinin altındaki çalışma alanında kışlar soğuk ve sert geçmekte ve genelde bol kar yağışı görülmektedir. Bölge kimi zaman 3-4 ay karla örtülü olabilmektedir. Yazlar sıcak, ilkbahar ve sonbahar ise genelde yağmurludur. Bölgedeki hakim rüzgar yönü KKD (Sivas İl Çevre Durum Raporu, 2008).

Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğü Sivas meteoroloji istasyonunun verilerine göre ortalama en fazla yağış 64.6 kg/ m<sup>2</sup> ile Nisan ayında, ortalama en düşük yağış ise 5.8 ile kg/m<sup>2</sup> ile Ağustos ayında gerçekleşmektedir. En yüksek ortalama sıcaklık 28 °C ile Temmuz ayında, en düşük ortalama sıcaklık ise -7 °C ile Ocak ayında gözlenmektedir (Çizelge 1.1).

**Çizelge 1.1.** Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğü Sivas meteoroloji istasyonu verileri (1975–2008)

| SIVAS                                       | Ocak  | Şubat | Mart  | Nisan | Mayıs | Haziran | Temmuz | Ağustos | Eylül | Ekim | Kasım | Aralık |
|---|---|-------|-------|-------|-------|---------|--------|---------|-------|------|-------|--------|
|   | Uzun Yıllar İçinde Gerçekleşen Ortalama Değerler (1975 – 2008)              |       |       |       |       |         |        |         |       |      |       |        |
| Ortalama Sıcaklık (°C)                      | -3.2  | -2.2  | 2.7   | 9.2   | 13.4  | 17.1    | 20.3   | 20.1    | 16.3  | 10.7 | 4.3   | -0.7   |
| Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)            | 0.9   | 2.3   | 7.9   | 15.4  | 19.8  | 23.8    | 28.0   | 28.3    | 24.7  | 18.2 | 10.0  | 3.3    |
| Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)             | -7.0  | -6.2  | -2.0  | 3.7   | 7.3   | 10.0    | 12.4   | 12.1    | 8.6   | 4.5  | -0.4  | -4.2   |
| Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)           | 2.3   | 3.4   | 4.9   | 6.1   | 8.0   | 10.5    | 11.9   | 11.5    | 9.7   | 6.4  | 3.8   | 2.1    |
| Ortalama Yağışlı Gün Sayısı                 | 12.5  | 11.9  | 13.3  | 14.4  | 14.4  | 8.5     | 3.4    | 2.6     | 4.6   | 7.8  | 9.6   | 12.3   |
| Ortalama Yağış Miktarı (kg/m <sup>2</sup> ) | 41.1  | 38.7  | 47.5  | 64.6  | 62.6  | 31.6    | 8.9    | 5.8     | 17.6  | 37.5 | 43.3  | 44.5   |
|   | Uzun Yıllar İçinde Gerçekleşen En Yüksek ve En Düşük Değerler (1975 – 2008) |       |       |       |       |         |        |         |       |      |       |        |
| En Yüksek Sıcaklık (°C)                     | 14.0  | 17.3  | 24.9  | 27.8  | 32.0  | 33.8    | 40.0   | 38.2    | 34.2  | 30.3 | 22.8  | 16.0   |
| En Düşük Sıcaklık (°C)                      | -24.8   | -29.6 | -27.6 | -8.7  | -2.0  | 1.0     | 4.8    | 4.0     | -0.6  | -5.8 | -21.0 | -27.0  |

#### **1.4. Önceki Çalışmalar**

İnceleme alanı ve çevresinde günümüze değin çok sayıda çalışma gerçekleştirilmiş olmakla birlikte, bu çalışmalarda genellikle bölgenin genel jeolojik özellikleri üzerinde durulmuştur. Mühendislik jeolojisi konusunda yapılan çalışmalar ise, genelde kayaçların özellikle jipslerin jeo-mühendislik ve karstlaşma özelliklerini belirlemeye yönelik çalışmalardır. Çalışmanın konusunu da içerisine alacak şekilde jipslerin kaya kütleleri özelliklerini ve bu özelliklerin dolinlerinin oluşum mekanizması üzerindeki etki ve katkılarını doğrudan içeren herhangi bir çalışma bulunmamaktadır.

Bu bölümde, çalışmanın amaç ve kapsamı dikkate alınarak; inceleme alanı ve yakın çevresinde bölgenin jeolojisi, özellikle jipslerin bölgedeki durumu ile tez konusu ve jips karstına ilişkin ulusal ve uluslararası literatürde yer alan çalışmaların sonuçları irdelenmiştir.

##### **1.4.1. Çalışma Alanı ve Civarında Bölgesel ve Yerel Jeoloji ile İlgili Çalışmalar**

Blumenthal (1938), çalışma alanı ve civarındaki jipsli serinin yaşının Oligosen olduğunu belirtmiştir. Stchepinsky (1939), bölgedeki jipslerin Oligosen yaşlı olduğunu ve Burdigalien kireçtaşı tabakalarının bu jipsler üzerinde uyumsuz olarak yer aldığını belirtmektedir. Nebert (1956) ise, Zara-İmranlı (Sivas) bölgesindeki Miyosen birliklerini Alt ve Üst Miyosen olarak ayırtlamıştır. Jips serisinin yaşını Miyosen'den genç olarak saptamış ve Miyosen regresyonuna bağlı olduğunu belirtmiştir. Oligosen'in yalnızca kırmızı renginden dolayı ayırtlandığını, ancak her yerde ayırtlanmanın mümkün olmadığını ifade etmiştir.

Kurtman (1961a), Sivas, Zara ve Divriği arasındaki bölgede Paleozoyik'ten Kuvaterner'e kadar değişik yaşta birimlerin yüzeylediğini ve değişik dönemlerde kıvrımlanmaya uğradıklarını belirtmiştir. Araştırmacı, Zara civarında yüzeyleyen jips tabakalarının Numulitli Eosen flişi üzerinde uyumsuz olarak yer aldığını, ancak aynı tabakaların Burdigaliyen yaşlı kireçtaşı tabakalarının da altında bulunduğunu ve bundan dolayı Eosen ile Burdigaliyen arasında bir jips oluşumunun geliştiğini ve bunların da



yaşının Oligosen olduğunu belirtmektedir. Ancak araştırmacı, jips oluşumunun Eosen'in üst seviyesinde başlayıp Oligosen ve tüm Miyosen boyunca devam ettiğini de vurgulamaktadır.

Kurtman (1961b), Sivas civarındaki jipsli serinin stratigrafik konumunu belirlemek amacıyla yaptığı çalışmada, jipsli seviyelerin lagüner ortam koşullarında çökeldiğini, hidrasyona bağlı şişme nedeniyle ilksel özelliklerinin büyük ölçüde değiştiğini ve yaşları konusunda sadece diğer tabakalarla olan ilişkilerine bakılarak karar verilmesinin güç olduğunu belirtmiştir. Ayrıca bölgede Eosen'in üst düzeylerinde de jipslerin bulunduğunu ifade ederek, jipsleri Miyosen olarak yaşlandırmıştır. Bununla birlikte Kurtman (1963), Eosen üzerine uyumsuz olarak gelen jipsli alacalı serinin iki seviye halinde olduğunu savunmakta olup, şarabi renkli ve ince dokulu birinci seviyenin Oligosen, kırmızı renkli kaba dokulu kumtaşı tabakalarının aralanmasını içeren şeklindeki ikinci seviyenin ise Miyosen yaşlı olduğunu belirtmiştir.

Norman (1964), Sivas İ38-c2 paftasını içeren bir alanda yaptığı çalışmada Oligosen çökellerini Barçın formasyonu olarak adlandırmış ve Miyosen çökellerinin açılı uyumsuzlukla Oligosen üzerine geldiğini belirtmiştir. Araştırmacı, Celalli grubunda topladığı Miyosen çökellerinin alttan üste doğru denizel şeyl ve kumtaşı, denizel kireçtaşı, jips ve kırmızı kumtaşı-çakıltası şeklinde gözlendiğini öne sürmüştür.

Demirman (1965), Divriği İ39 c4 paftasında yaptığı çalışmada temeldeki ofiyolitlerin üzerine kireçtaşı ve çakıltasından oluşan Üst Kretase - Lütesiyen yaşlı Nordun formasyonunun geldiğini, üste doğru Lütesiyen yaşlı Başyurt formasyonu, Orta-Üst Eosen yaşlı Bozbel formasyonu ve Oligosen yaşlı Gündüz formasyonunun gözlendiğini belirtmiş, tabanında jips mercikleri yer alan Alt Miyosen çökellerinin Oligosen üzerinde uyumsuz olarak bulunduğunu belirlemiştir.

Baykal ve Erentöz (1966), 1/500000 ölçekli Türkiye jeoloji haritası Sivas paftası ile ilgili açıklamalarında, havzanın temelini metamorfik kayaların oluşturduğunu belirterek, Paleozoyik, Mesozoyik ve Senozoyik yaşlı kayaç türlerini ve havzadaki orojenik hareketleri tanımlamışlardır. Bu araştırmacılar, jips serisinin Oligosen ve

Miyosen yaşı lagüner çökeller olduğunu belirtmektedirler. Araştırmacılara göre, jipsler; alt ve üst olmak üzere ikiye ayrılmakta olup, alt jipsleri Oligosen, üst jipsleri ise Miyosen yaşı olarak tanımlanmaktadır.

Kurtman (1973), “Sivas-Hafik-Zara ve İmranlı Bölgesinin Jeolojik ve Tektonik Yapısı” adlı çalışmasında, Sivas havzasının temelini Sakardağ’da yüzeylenen gnays, kuvarsit, mikaşist, serişist ve mermerlerden oluşmuş metamorfiklerin oluşturduğunu, metamorfikler üzerinde görülen en yaşlı çökelin kireçtaşı fasiyesindeki Üst Kretase tabakaları olduğunu belirtmiştir. Araştırmacı, Tersiyer’in Paleosen yaşı kireçtaşlarıyla uyumlu olarak başladığını ve Eosen volkanik katkıları içeren filiş fasiyesinde geliştiğini öne sürmüştür. Oligosen’in Eosen üzerine açılmal uyumsuzlukla gelen jipsli alacalı renkli kumtaşı ve silttaşlarından oluştuğunu öne süren araştırmacı, Miyosen’i ise Hafik ve Karacaören formasyonları şeklinde ayırtlamıştır. Karacaören formasyonunun kireçtaşı, kumlu kireçtaşı, kumtaşı ve şeyl ardalanmasından meydana geldiğini ve denizel ortamda çökeldiğini ifade etmektedir. Araştırmacı, Hafik formasyonunun ise; jips, kumtaşı, silttaşı ve konglomeradan oluştuğunu ve lagüner ortamda çökelmiş olduğunu açıklamakta ve Pliyosen’in konglomera ve kumtaşı tabakalanmasıyla temsil edildiğini ifade etmektedir. Araştırmacı, inceleme alanını Sakar Dağ-Köse Dağ yükselimi, Hafik-Zara-İmranlı çöküntüsü ve Tecer-Gürlevik yükselimi olmak üzere üç ayrı tektonik zona ayırmıştır. Tecer-Gürlevik yükseliminin güneyden kuzeye doğru Hafik-Zara-İmranlı çöküntüsü üzerine büyük bir bindirme ile itildiğini ve bu depresyonun Eosen’den Pliyosen’e kadar çok kalın bir sedimanter istif sunduğunu ileri sürmektedir.

Baysal ve Ataman (1979), “Sivas havzasındaki sülfatlı serinin sedimantolojisi, minerolojisi ve jeokimyası” adlı çalışmalarında; Sivas havzasında sölestin mercikleri içeren jipslerde Li, Sr, Mg ve F bulunduğunu, bunun yanı sıra, iz element ve ana elementler olarak killerin yer aldığını saptamışlardır. Ayrıca jipsli formasyonun taşınım tekrar çökmesi ile ikincil evaporitlerin Kızıldeniz’e benzer şekilde oluştuğunu da öne sürmüşlerdir.

Ceyhan (1987), “Sivas güneydoğusu’ndaki tuz ve jips yataklarının jeolojisi, oluşumu, kökeni ve ekonomik özellikleri” adlı çalışmasında Miyosen yaşı birimleri

Haciali ve Karayün adlı iki formasyona ayırmıştır. Alt-Orta Miyosen yaşlı Haciali formasyonu kayaç türlerine göre 4, Orta-Üst Miyosen yaşlı Karayün formasyonun ise 5 farklı üyeden oluşmaktadır. Araştırmacı ayrıca jipslerin üç farklı seviyede anhidritlerin hidrasyonu sonucu oluşmuş ikincil jipsler olduğunu açıklamıştır. İnceleme alanındaki Miyosen yaşlı birimler içerisinde gözlenen sölestin mineralleşmelerinin Alt-Orta Miyosen yaşlı Haciali formasyonu Purtepe üyesi jipsleri içerisinde, kaya tuzu zenginleşmelerinin ise Karayün formasyonundaki Eğribucak üyesi içerisinde olduğunu ileri sürmektedir.

Aktimur vd. (1988), “Munzur Dağları ile Çavuş Dağı arasının jeolojisi” adı altında Sivas havzasının doğu kesiminin jeolojisine yönelik bir çalışma yapmışlardır. Araştırmacı, Selimiye formasyonuna Oligo-Miyosen yaşını vermişler, Alt-Orta Miyosende Kemah formasyonu adı altında olistolitli jips kırıntıları, Orta-Üst Miyosen’de ise Hafik formasyonu adı altında kil ara katkılı evaporitleri tanımlamışlardır.

Gökçe ve Ceyhan (1988), Sivas’ın güneydoğusundaki Miyosen yaşlı jips çökellerinin stratigrafik ve yapısal özelliklerini inceledikleri çalışmada, Miyosen yaşlı birimleri Hacı Ali formasyonu (Alt-Orta Miyosen) ve Karayün formasyonu (Orta-Üst Miyosen) şeklinde iki litostratigrafik birime ayırmışlardır. Araştırmacılar, bu birimlerde bulunan jipslerin, anhidritlerin hidrasyonu ile oluşmuş ikincil jipsler olduklarını ve karasaldan denizele veya denizelden karasala dönüşürken gelişen sabka ortamı koşullarında çökeldiklerini belirtmişlerdir.

Gökten ve Kelling (1991), “Hafik kuzeyinde Senozoyik istifinin stratigrafisi ve tektoniği” adlı çalışmalarında; Paleosen çökellerinin yelpaze deltası sedimantasyonu ile geliştiğini ve sedimantasyonun tektonikle denetlendiğini belirtmektedirler. Eosen, Oligosen ve Miyosen’de de havza kenar faylarının aktif olduğunu ve bu fayın Pliyosen’de kenar fayına paralel gelişmiş diğer çekim fayları ile birlikte aktifleştiğini belirtmişlerdir. Araştırmacılar, Orta Miyosen’de denizel çökellerin varlığından dolayı jipsli serinin Alt Miyosen’de sonlanmış olması gerektiğini ileri sürmektedirler.

Gürsoy vd. (1992), Sivas'ın güneyinde yüzeylenen Üst Tersiyer - Kuvaterner yaşlı çökellerdeki güncel faylanmalara ilişkin çalışmalarında, fayların normal fay niteliğinde olduğunu ve Kızılırmak Nehri'nin bugünkü konumunun da bu fayların denetiminde geliştiğini öne sürmüşlerdir. Araştırmacılar, bölgedeki faylara ait verilere dayanarak, KKB-GGD yönlü bir çekme gerilmesinin varlığından söz etmişlerdir.

Poisson vd. (1992), "Hafik yöresinde Sivas havzasının Pliyosen bindirme tektoniği" başlıklı çalışmalarında; jipslerin Miyosen çökellerini üzerlediği bölgelerde tektonik dokanaklı olduğu ve Miyosen'in öne sürüldüğü kadar kalın olmadığı ve buna karşın Oligosen'in ise daha kalın olduğu görüşündedirler. Araştırmacılar, bölgede K-G yönlü tektonik kısalmanın ve buna bağlı olarak kalınlaşmanın olduğunu vurgulamışlardır. Genel tektonik taşınmanın güneye doğru ve sonrası hareketlerle de K-KD yönlü geri bindirmenin varlığını saptamışlardır. Sıkışma rejiminin tüm Sivas havzasında etkin olduğu aynı araştırmacılar tarafından belirtilmektedir.

Yılmaz (1994), Sivas ile Şarkışla arasındaki bölgenin jeolojisine yönelik çalışmalarında; Oligosen, Miyosen geçişinin uyumlu olduğunu, Miyosen çökellerinin çok küçük bir alanda (Gücük yakınında) denizel, genelde ise karasal fasiyeslerden oluştuğunu belirtmişlerdir. Karasal Miyosen çökellerini Karapınar jipsleri (gölsel) ve Sarıtepe jipsleri (gölsel) olmak üzere ikiye ayıran araştırmacı Miyosen içerisinde iki ayrı karasal jips biriminin varlığını öne sürmüştür.

Çubuk (1994), "Boğazören (İmranlı) ve Karayün (Hafik) yörelerinde (Sivas doğusu) yüzeyleyen Miyosen yaşlı birimlerin tektonostratigrafisi" adlı doktora tezinde; inceleme alanında Miyosen öncesi birimlerin Geç Kretase – Erken Eosen yerleşim yaşlı Refahiye ofiyolitli karışığı, Orta Eosen Bozbel ve Oligosen Selimiye formasyonları ile temsil edilmekte olduğunu ifade etmektedir. Aynı araştırmacı, Miyosen yaşlı birimlerin ise, Ağlıkaya ve Karayün formasyonları ile temsil edildiğini ve Sarıhacı formasyonu tarafından transgresif olarak örtüldüğünü belirtmektedir. Sivas-İmranlı arasındaki jipslerin, tuz tektoniği ile yükselerek yığıştıklarını ileri süren araştırmacıya göre, Üst Miyosen – Pliyosen yaşlı Eğerci formasyonu daha yaşlı birimleri açısız uyumsuzlukla örtmektedir.

Temiz (1994) “Sivas Tersiyer havzasının Kemah (Erzincan) ve Hafik (Sivas) yörelerindeki tektonostratigrafisi ve deformasyon biçimi” başlıklı doktora tez çalışmasında, Hafik yöresinin tektonik deformasyonunun, Sivas Tersiyer havzası ve temel kayalarını içeren bindirme sistemlerinin gelişimi ile denetlendiğini yörede izlenen bindirme sistemlerinin genel olarak kuzeyden güneye doğru tektonik taşınma yönünü belirttiğini, bununla birlikte, güneyden kuzeye doğru bindirme sistemlerinin gelişiminin de izlendiğini ifade etmektedir. Temiz (1994), jipslerden oluşan Hafik formasyonunu Oligosen olarak yaşlandırılmıştır.

Çiner ve Koşun (1996), Sivas havzası'nın Oligo-Miyosen yaşlı çökellerinde yaptıkları çalışmada, Karayün istifinde net bir şekilde izlenen iki çevrimin Erken ve Orta Miyosen transgresyonuna karşılık geldiğini belirtmişlerdir. Transgresyonun her iki çevriminde de tabandaki menderesli akarsu çökellerinin, sabka ortamının jipsler tarafından örtülmesinden sonra sığ deniz ortamı fasiyesleri tarafından üzerlenmesi şeklinde geliştiğini öne sürmüşlerdir.

Tekin (2001), Doğu-Orta Anadolu bölgesindeki Tersiyer yaşlı Sivas-Ulaş havzasında yaygın olarak sölestin içeren evaporit oluşumlarının bulunduğunu ve bunların başlıca üç zona ayrılabilirliğini belirtmektedir. Araştırmacı, bunlardan birincisinin Geç Eosen yaşlı ve laminalı bir özellik sergileyen jipsler olduğunu ve bu tip jipslerin Eosen sonundaki regresyona bağlı olarak oluşan sığ karakterli algli lagünlerde mineralleştiğini ifade etmektedir. Bunları üzerleyen ikinci jips zonunun ise Oligosen yaşlı ve başlıca iki tip fasiyes sergilediğini belirtmekte olup, bunların kalın ve masif karakterli jips fasiyesi ile kumtaşı ara tabakalı yumrulu jips fasiyesi olduğunu vurgulamıştır. Araştırmacı, Oligosenin birinci tip fasiyesi sığ sahil sabkalarında, ikinci tip fasiyesi ise, menderesli akarsuların terk edilmiş kanalları içerisinde oluştuğunu, Havzadaki üçüncü ve son evaporit zonunun ise, Erken Miyosen yaşlı masif ve tabakalı jipsler olduğunu ve bunların tabakalı olanlarının fosilli kireçtaşları ve kumtaşları ile yer yer ara tabakalı olduğunu belirtmiştir. Araştırmacı, ayrıca bölgedeki bu en genç evaporit mineralleşmesinin, Sivas Tersiyer havzasının Üst Miyosen başında güneyden gelen sınırlı bir denizel transgresyonun ürünü olduğunu ifade etmektedir.

Koşun ve Çiner (2002), Sivas Miyosen havzası birimlerinin zaman ve mekan içerisindeki ortamsal ve sedimanter özellikleri ile çökel evrimlerini belirlemek amacıyla Zara güneyinde yaptıkları çalışmalarda Erken Miyosen yaşlı Ağıkaya formasyonunu, Karayün üyesi (alüviyal yelpaze ve akarsu çökelleri), Hafik üyesi (sabka jipsleri), Karacaören üyesi (sığ denizel çökeller) ile Erken - Orta Miyosen yaşlı Eğribacak formasyonunun Sekitarla üyesi (akarsu çökelleri), olmak üzere 2 formasyon ve 4 üyeye ayırmışlardır. Bu birimleri 13 litofasiyeste tanımlayarak bu fasiyelerin sığ denizel - lagün, gel-git ortamı, playa - sabka, alüviyal yelpaze ve akarsu ortamlarının değişik litolojilerini içerdiklerini belirtmişlerdir. Araştırmacılar, Sivas havzasında geniş yayılım sunan ve yaşı tartışma konusu olan Hafik jipslerini, havzanın farklı kesimlerindeki gözlemlere dayanılarak, çalışmalarında (?)Oligosen-Alt Miyosen olarak yaşılandırmışlardır.

#### **1.4.2. Karst, Jips Karstı ve Jipslerin Mühendislik Özelliklerine Yönelik Çalışmalar**

Brune (1965); Teksas, Oklahoma ve New Mexico (A.B.D) eyaletlerindeki su yapılarının inşasında jips ve anhidritin varlığından kaynaklanan mühendislik jeolojisi sorunlarına örnekler vererek, anhidrit - jips dönüşümü sırasında ortaya çıkacak basıncın çok yüksek ( $700 \text{ kg/cm}^2$ ) olması gerektiğine işaret etmiştir.

Hack (1965), kuzey Shenandoah vadisinde (Virjinya, ABD) gerçekleştirdiği temel kayanın karakteristiği, jeolojik yapılar ve yüzey akıntıları ile dolin oluşumu arasındaki ilişkileri konu alan çalışmasında; litratürdeki diğer birçok çalışma ile uyumlu olarak dolinlerin dağılımlarını kontrol eden en önemli parametrelerden birinin, temel kayanın karakteri olduğunu vurgulamıştır. Araştırmacı dolinlerin senklinaller boyunca yoğunlaştığını ve dolin kümeleri şeklinde gözlendiğini belirttiği bu çalışmasında, yüzey akımı ve dolin dağılımı arasında belirgin bir ilişkinin olduğunu bu karstik şekillerin görülme sıklığında akıntılara yakın alanlardan çok daha uzak alanlarda artışlar olduğunu ifade etmektedir. Araştırmacı, düden/dolinlerin küçük yüzey akımlarından çok büyük yüzey akımları boyunca daha fazla gözlendiğini belirterek bunun nedenleri (1) akım için yeraltısuyunun şiddetlice içeriye akması, (2) büyük yerleşik akıntıların yakınında

yeraltısuyu eğiminin aşırı yükselmesi ve (3) düşük akıntılarda çözülmüş madde miktarı ve bazikliğın düşük olması şeklinde sıralamıştır.

Alagöz (1967), “Sivas çevresi ve doğusunda jips karstı olayları” başlıklı çalışmasında jipslerin fiziksel ve kimyasal özelliklerini irdeledikten sonra Jipslerin Sivas’ın doğusunda batıya doğru açık bir çanak şeklinde bulunduğunu ve bu çanağın 1500 m’nin üstünde yüksek platolarla, 1400 m civarında da alçak plato alanlarından oluştuğunu ifade etmektedir. Araştırmacı çalışmasında, bölgede gelişen bu karstik yapıların Pliyosen’de başlamış olan bir devrede meydana geldiğini belirtmekte olup, Sivas doğusu jips karstı alanlarını; Zara Doğu Platosu (İmranlı Puru), Zara - Hafik Platosu (Zara Puru) ve Sivas Doğu Platosu (Hafik - Sivas Puru) olmak üzere üç alt alana ayırmıştır.

James ve Lupton (1978), temellerinde anhidrit ve jips içeren su yapılarından örnekler vererek bu kayalardaki çözünme süreçlerini deneysel ve kuramsal olarak incelemişlerdir. Araştırmacılar, jips ve anhidritin çözünürlüklerinin büyük olasılıkla difüzyon mekanizmasıyla yönetildiğini ve çözünürlük hız sabitinin katı maddelerin etrafındaki sınır tabakasına yüklenen hız gradyanına bağlı olduğunu belirtmektedirler.

Ülker ve Gümüşoğlu (1982), jipsin dayanım özelliklerine ortam koşullarının etkisini araştırdıkları çalışmalarında; Sivas IV. Demir ve Çelik Fabrikası tesislerinin kurulacağı alandaki jipsler üzerine bu sanayi yapısından gelebilecek basınç ve ısıyı tek başına ve yeraltısuyu ile birlikte değerlendirmişlerdir. Yaptıkları kimyasal ve petrografik incelemelerle, oldukça saf biçimde bulduklarını belirledikleri jipslerin ( % 100  $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  ), tek eksenli sıkışma dayanımı ve elastisite modülü değerlerinin değişik ortam koşullarına bağlı olarak büyük ölçüde değiştiğini saptamışlardır. Araştırmacılar; taramalı elektron mikroskopuyla yapılan incelemelerle jipsin dayanım kaybındaki ana etkenin değişik ortam koşullarının neden olduğu kristal yapıdaki değişimler olduğunu saptamışlardır.

Zanbak ve Arthur (1986), anhidrit-jips faz geçişlerinin mühendislik ve jeokimyasal durumunu inceledikleri çalışmalarında, anhidritli kalsiyum sülfat içeren

zeminlerde şişme-büzülme gibi ciddi yapısal hasarların oluşabileceğini ve bu tip zeminlerin periyodik olarak su almasıyla hasarların daha da kötüleşeceğini belirterek, evaporitik istiflerdeki mühendislik yapılarının tasarımı için elde edilmesi gereken bilgiler ve yapılması önem taşıyan çalışmalar konusunda önerilerde bulunmuşlardır.

Karacan (1989), bu teze konu olan çalışma alanının yakın civarındaki jipslerin jeo-mühendislik özelliklerini belirlediği çalışmasında, bölgedeki jipslerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin Bell (1981)'in İngiltere'de Permian yaşlı jipsler üzerinde belirlediği fiziksel ve mekanik özellikler arasında büyük benzerliklerin olduğunu, dolayısıyla jipslerin fiziksel ve mekanik özellikleri üzerinde jeolojik yaşın önemli olmadığını ifade etmektedir. Araştırmacı, çalışma alanında lokalite olarak jipslerin indeks ve mekanik özellikleri arasında bazı farklılıklar bulunduğunu bunların başlıca nedenlerinin örneklerdeki süreksizlik yoğunluğu, çözünme dereceleri ve kristal boyutlarındaki farklar olduğunu belirtmektedir. Araştırmacı, jipslerin tek eksenli sıkışma dayanımlarının, su etkisi altında % 50'ye kadar varan oranda azalma gösterdiğini, çekilme dayanımlarında ise bu oranın daha az olduğunu belirtmekte ve dayanım azalmasının doğada yoğun süreksizliklere ve çözünme boşluklarına sahip jipslerde daha da fazla olacağını vurgulamaktadır.

Karacan (1992), "Sivas güneydoğusundaki jipslerin çözünürlük özellikleri" adlı çalışmasında; jipslerin çözünme ve borulanma özelliklerini mühendislik jeolojisi açısından değerlendirmek amacıyla, farklı seviyelerden alınan örneklerde jipslerin çözünürlük ve borulanmalarının genel olarak farklılık göstermediğini ve aynı çözünme hızına sahip olduklarını belirtmiştir. Araştırmacı, laboratuvar deneylerinin sonucuna dayanarak, jipslerdeki süreksizlikler boyunca çözünmeyle gelişecek borulanmanın özellikle ana süreksizlikleri kesen ikincil süreksizlikler tarafından denetlendiğini ifade etmektedir.

Yaoru ve Cooper (1996), Çin'in dünyanın en büyük jips yataklarına sahip olduğunu ve buradaki jipslerin Prekambriyen'den Kuvaterner'e kadar geniş bir yaş aralığında oluştuğunu belirtmektedirler. Araştırmacılar, bu jipslerin kökenlerinin ise denizel, gölsel, termal (Volkanik ve Metasomatik), metamorfik ve ikincil, ayrıca



bölgedeki karstlaşmanın oluşumunda jeolojik koşulların, iklimin ve tektonik ortamın etkin olduğunu belirtmektedirler.

Poisson vd. (1996), Sivas havzasının Orta Anadolu havzalarından biri olduğunu belirtmekte olup, ofiyolitik napların havzanın temelini teşkil ettiğini ifade etmektedirler. Araştırmacılar, Havzanın Paleosen'den Orta Eosen'e kadar bir ön ülke (foreland) gibi geliştiğini belirterek Oligosen ve erken Miyosende havzanın bazı bölümlerinde bir transgresyonun meydana geldiğini ifade etmektedirler. Araştırmacılar, havzada Arabistan ve Avrasya plakalarının birbirine doğru hareketi nedeni ile KKB yönlü bir bölgesel sıkışmanın etkin olduğunu ifade ederek Bu havzanın okyanusal temel olmaksızın Torid platformu içinde kıta içi havza olarak gelişmiş olabileceğini ileri sürmektedirler.

Değirmenci vd. (1996), "Jipsli havzalarda su sağlamada karşılaşılan kalite problemleri (Sivas örneği)" başlıklı çalışmada; içme, kullanma ve sulama suyu sağlanması açısından havzanın litolojik yapısının, özellikle jipsli formasyonların yaygın olduğu alanların su kalitesi üzerindeki etkilerini incelemişler ve Sivas çevresinde bu konuda karşılaşılan güçlükleri örnek olarak sunmuşlardır. Araştırmacılar, çalışma alanında jipslerden boşalan büyük debili Göydün ve Seyfe kaynaklarının sularının sulama suyu açısından kullanılamayacak kalitede sular olduğunu da belirtmişlerdir.

Kaçaroğlu vd. (1997), inceleme alanındaki karst akiferini boşaltan iki önemli kaynağın Göydün ve Seyfe kaynakları olduğunu ve bu kaynakların bölgedeki egemen kırık zonlarının kesişim noktalarında bulunduğunu belirtmektedirler. Araştırmacılar, bu kaynakların debilerinin ve su kimyasının yıl içerisinde fazla değişim göstermediğini, bunun nedeninin de kaynakların derin bir karst sisteminin boşalımı ve yağışlarla doğrudan etkilenmemesi olduğunu saptamışlardır. Kaynak sularının toplam çözünmüş iyonlar (tuzluluk) açısından zengin ve bu sulardaki hakim katyonların Ca ve Na, hakim anyonların ise SO<sub>4</sub> ve Cl olduğunu belirtmişlerdir. Araştırmacılar, çalışmaları sonucunda, tuzluluğu nedeniyle, Kızılırmak suyu, Seyfe ve Göydün kaynaklarının Sivas yakın çevresinde tarımsal amaçlı olarak kullanılmadığını ve ifade etmektedirler.

Karacan ve Yılmaz (1997), Sivas'ın kuzeydoğusundaki dolinlerle ilgili çalışmalarında; dolinlerin çaplarının 50-220 m arasında değiştiğini, çözünme ve/veya çökme sonucu oluştuklarını, yeraltısuyunun ise dolinlerin oluşumunda önemli bir etken olduğunu belirtmektedirler. Araştırmacılar, inceleme alanındaki masif jipslerde gelişmekte olan yeraltı boşlukları için, desteksiz olarak duraylı kalabilme süresi ve açıklık genişliğinin belirlenmesine yönelik olarak, RMR ve Q kaya kütle sınıflama sistemlerini uygulamışlardır. RMR sınıflamasına (Bieniawski 1989) göre, jipslerde doğal olarak oluşmakta olan yeraltı boşluklarının desteksiz duraylı kalabilme sürelerini 5 m açıklık için 9 yıl olarak belirlemişlerdir. Q kaya kütle sınıflama sistemine göre ise desteksiz duraylı kalabilme açıklığını 5.1 m olarak belirlemişlerdir. Araştırmacılar, yapay olarak açılan benzer bir boşluğun ise daha kısa bir sürede çökeceğini ifade etmişlerdir.

Cooper (1998), Ripon (İngiltere) bölgesindeki jipslerinde çözünme sonucu oluşan dolinlerin tehlikelerinden bahsettiği çalışmada; bölgede son 150 yılda 30 adet büyük çökmenin olduğunu ve bunun gelecekte de oluşabileceğini belirtmektedir. Araştırmacı, buradaki dolinlerin 10 – 30 m çapında 20 – 80 m derinliğinde olduğunu ve son 10 yılda ekonomik anlamda 1000 000 pound'luk zarar verdiğini belirtmektedir.

Calaforra ve Pulido-Bosch (1999), Tumuli (İspanya)'daki jipslerde gözlenen çöküntülerin şekillerinin genelde dairesele yakın olduğunu ve bunların çoğunlukla makro kristalin jipslerde gözlemlendiğini belirtmektedirler. Bu çöküntülerin kökenlerinin anhidrit-jips dönüşümüne bağlı olarak hacim artışı sonucunda mı, yoksa tektonik aktivitelerin bir sonucu olarak mı oluştuğu konusunda tartışmaların süregeldiğini ifade etmektedirler. Araştırmacılar, çalışmalarında, bu oluşumların kökenlerinin makro kristalin jipslerin çözünmesi ve aynı tabakalar içerisinde mikro kristalin jipslerin çökmesine bağlı olduğunu belirtmektedirler.

Karacan ve Yılmaz (2000), "Sivas'taki Miyosen jipslerinin jeoteknik değerlendirilmesi" başlıklı çalışmalarında; Sivas'da Miyosen'in başlıca birimi olan jipslerin geniş alanlarda dağıldığını, bu jipslerin alabastrin ve porfiriblast tipte olduğunu, içerisinde kil mineralleri, anhidrit ve kalsitin bulunduğunu belirtmektedirler.

Araştırmacılar çalışmalarında; jipslerin kristal hacmindeki azalmaya bağlı olarak dayanımlarında artışların gözleendiğini ve jipslerin 20 günlük suda bekletilmesi ile dayanımlarının yaklaşık % 55'ini yitirdiklerini vurgulamaktadırlar. Jipslerin; plastik – elastik-plastik deformasyon sergilediği, yüksek modül oranına ve orta derecede deformasyona sahip bir kaya olduğu ve dayanım ile modül oranı arasındaki ilişkiye bağlı olarak düşey gerilme koşulları altında düşey deformasyon ve yüksek yatay deformasyon gösterdikleri yazarlar tarafından ifade edilmektedir.

Yılmaz (2001), jips ve anhidritin mühendislik özelliklerinin yeraltısuyu, basınç ve sıcaklıktaki değişmelere bağlı olarak değişebileceğini belirttiği çalışmasında, jips ve anhidritin süreksizlikler ve fay zonları boyunca geçmişteki ya da günümüzdeki yeraltısuyuna bağlı olarak çözünerek karstik alanlar oluşturabileceğini ifade etmiştir.

Florea vd. (2002), Kentucky'de (ABD) ArcView yazılımı kullanarak karst haritası ve dolin dağılımını belirlemişlerdir. Plan vd. (2003) ise, Hochschwab (Viyana, Avuturya) bölgesinde Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanarak oluşturdukları dijital yükseklik modeli ile karstik beslenme havzalarında dolin risk haritalarını oluşturmuşlardır.

Denizman (2003), Suwennee (Florida – Amerika) havzasındaki karstik yapıların morfometrik ve alansal dağılımlarını Coğrafi Bilgi Sistemlerini (CBS) kullanarak tanımlamıştır. Araştırmacı, 24 adet 1/24 000 haritalık bir alanda yaklaşık 25.000 karstik yapının morfometrik parametrelerini belirlemiştir. Çalışma alanında karstik yapıların, uzunluk, genişlik, yönelim, alan, derinlik, dairesellik indeksi, çöküntü yoğunluğu, çukurlaşma indeksi ve en yakın komşuluk indeksini tanımlamıştır. Çalışmanın sonucunda bölge için ortalama karstik çöküntü yoğunluğu 6.07 çöküntü/km<sup>2</sup> toplam çöküntü alanı 331 km<sup>2</sup> ve ortalama çukurluk indeksi 14.5 olarak belirlenmiştir.

Ekmekçi (2003); lkemizde karstlaşmayı denetleyen beş ana faktör olduğunu ve bunların karbonat kayacının litolojisi, kalınlığı, etkisi altında kaldığı tektonik rejim, enerji gradyanı ve erozyon tabanı olduğunu belirtmektedir. Araştırmacı, bu faktörleri gözönüne alarak Türkiye'de genel anlamda iki tür karstlaşmanın olduğunu ifade

etmektedir. Bunlardan birincisi, karstlaşmanın başlangıcından beri hiç kesintiye uğramadan karstlaşan evrimsel karst (evolutionary), ikincisi ise kesintiye uğrayarak karstlaşan ancak daha sonrada yeniden gençleşen/faaliyete geçen (rejuvenated) karsttır.

Williams (2004), dolinleri karstik arazilerde gözlenen kapalı şekiller olarak tanımlayıp, dolin oluşumunu sağlayan mekanizmaları çözünme, çökme, bölgesel çökme ve yayılma (Suffosion) olarak belirtmiştir (Çizelge 1.2). Ancak, araştırmacı pratikte sıklıkla bu etmenlerin birlikte geliştiğini ve bunun sonucunda da dolinlerin aslında çoklu bir oluşum mekanizması sergilediğini ifade etmektedir. Bu nedenle araştırmacı çözünme olarak başlayan bir dolinin sonradan çökme mekanizmasıyla şekillenebileceğini belirtmektedir. Ayrıca araştırmacı çalışmasında karst içerisindeki süzülmenin hızlı olduğunu ancak eklemlerin sık aralıklı ve az yoğun olması durumunda derinlere süzülen suların bir dirençle karşılaşabileceğini belirtmektedir. Bu nedenle, bazı süreksizliklerin karstlaşma açısından daha uygun olduğunu ifade etmiştir. Araştırmacı bu çalışmasında; dolinlerin süreksizlik özelliklerine bağlı olarak farklı fiziksel şekillerde olabileceğini nitekim yüksek yoğunluklu, kapalı süreksizlik özelliklerine ve ince tabakalanmaya sahip ortamlarda küçük dolinlerin, masif ve geniş aralıklı ortamlarda da büyük dolinlerin bulunduğunu belirtmektedir.

Doğan ve Özel (2005), Hafik'in doğusunda yaptıkları çalışmada; bölgede karen, çözünme dolini, çökme dolini, mağara, karstik kaynak ve polye gibi birçok karstik yapının bulunduğunu ve karstlaşmanın Erken Pliyosen'de başladığını belirtmektedirler. Çalışmalarında, Hafik'in doğusunda yeraltısuyu seviyesinin Erken Pliyosen'den bu yana en az 200 m ve Erken Pliyostosen'den bu yana ise 90-100 m düştüğünü ifade etmektedirler. Çalışmada yüksek platolarda (1600-1520 m) genç karstlaşma (dolin karstı), düşük platolarda (1315-1420) ise olgun karst olduğu ifade edilmekte olup, olgun karstın iki aşamada oluştuğu vurgulanmaktadır. İlk aşamada aşırı karstik paleovadiler, uvalalar ve çökme dolinleri, ikinci aşamada da polyeler, çökme dolinleri ve derecelenmiş çökme dolinlerinin baskın olduğu belirtilmektedir.

**Çizelge 1.2.** Dolin tipleri, oluşum süreçleri ve tanımlamada kullanılan terimler (Williams 2004)

| Süreç   | Oluşan Karstik Şekil   | Tanımlamak İçin Kullanılan Terimler   |
|---|--|---|
| <p><b>1. Çözünme</b><br/>Evaporitik kayaların fiziksel ya da karbonat kayalarının kimyasal çözünmesiyle.</p>  | Temel kayada kase, fincan tabağı ya da huni görünümü kapalı çöküntüler şeklinde olup, genellikle zeminle örtülüdürler. Çöküntüler 1km'den daha küçük çapta olmakla birlikte genelde oldukça küçük boyutludurlar.   | Çözünme dolini<br>( <i>Solution doline/Sinkhole cockpit</i> )   |
| <p><b>2. Çökme</b><br/>Bu süreç konsolide olmamış örtü tabakasında ya da sağlam kayada hızlı veya yavaş şekilde oluşabilir.</p> <p>(i) Yeraltındaki bir mağaranın ani ya da aşamalı olarak çökmesidir. Çökme tamamen karstik kayaç içerisinde ve yüzeyden metrelerce aşağıda gelişebilir.</p> <p>(ii) Yeraltındaki bir mağara içerisinde karstik olmayan bir örtü kayanın aniden ya da yavaş yavaş çökmesi. Tabakalar arası karstik kaya mağaraları üzerindeki bir mağara tavanının üstteki konsolide olmuş örtü kayası aracılığıyla çökmesi. Bu durum yüzlerce metreye ulaşabilir.</p> <p>(iii) Yüzey altındaki bir boşluğu üzerleyen mekanik olarak zayıf ve konsolide olmamış sedimanlardaki ani yenilme sebebiyle oluşan yüzeydeki çökmeler. Temel kayada oluşan boşluk sayesinde temel kayası ve sediman ara yüzeyindeki malzeme borulanma yoluyla boşluğa doğru hareket eder.</p> | <p>Karstik kayalarda gelişen sarp silindirik şekilli kapalı çukurlar, tabanı yığıntı malzeme ile dolmuş, zaman zaman yüzlerce metre yüksekliğinde dik ve çıkıntılı kaya duvarlarına sahip olabilir. Bazen bir mağaraya açılan yol ya da bir göl boyutları çok az da olsa birkaç yüz metre olabilir.</p> <p>Tabanı yığıntı malzeme ile dolmuş örtü kayada gelişen sarp silindirik şekilli kapalı çukurlar. Boyutları çok az da olsa, birkaç yüz metre olabilir.</p> <p>Genellikle birkaç on metre çapında olan, tabanı malzeme dolu konsolide olmamış örtü içerisindeki sarp şekilli kapalı çöküntüler (çoğu zaman silindirik ve genç oluşumlar). Bu tür çöküntüler sıklıkla bir çözünme dolinin yakınlarındaki sediman dolguda gözlenir.</p> | <p>Çökme dolini<br/>(<i>Collapse doline/Cave-collapse sinkhole</i>)</p> <p>Örtü kayası çökme dolini /Tabakalar arası çökme dolini<br/>(<i>Caprock doline /Interstratal collapse doline</i>).</p> <p>Örtü çökme dolini<br/>(<i>Dropout doline/Cover-collapse sinkhole</i>)</p>   |
| <p><b>3. Yıkama taşıma ve yavaş çökme (Suffosion and subsidence)</b></p> <p>Yüzeysel örtü tabakalarının dereceli olarak çökmesiyle meydana gelir. Oluşum süreci, karst kanalları boyunca konsolide olmamış malzemenin tahliye olmasını içermektedir. Örtü tabakaları, doğaları gereği, heterojen bir yapıda çeşitli malzemelerden oluşmaktadır. Yıkama ve taşınma karstlaşmış temel kayada bulunan karstik çözünme kanalları boyunca kayacın kimyasal ve fiziksel olarak çözünmesi ve taşınmasını içermektedir. Üzerleyen malzemeler yavaş yavaş oturarak dereceli bir çökmenin oluşmasına olanak sağlarlar.</p>  | Örtü tabakası içerisindeki kapalı çukurlar bazen temel kaya üzerinde pencereler şeklindedir. Böyle çöküntülerde sıklıkla buzul drifti, alüvyon, lös ve kum gibi yüzeysel çökeller bulunur. Çapları genellikle sadece birkaç metredir. Ancak temel kayada gömülü olan dolin açığa çıkabilirse, daha büyükleri de gözlenebilir   | Yıkama ve taşıma ile yavaş şekilde gelişen çökme dolinleri özellikle ince taneli örtü kayalarında gözlenmektedir. Örtü çökme dolini olarak, Amerikan literatüründe konsolide olmamış kırıntılı örtü zeminlerinin dereceli olarak oturmalarıyla oluşan çöküntülerin tanımlanması için kullanılmaktadır. Bu tür dolinler, bazen eski dolinlerin açığa çıkmasıyla da gözlenmektedir. Bu tür dolinler İngiliz literatüründe ise Shakehole terimiyle tanımlanmaktadır. |
| <p><b>4. Bölgesel Çökme</b><br/>Bu süreç büyük alanlarda derindeki kademeli bir çözülmenin sonucu olarak evaporitlerdeki yavaş ve aralıklı gelişen çökmeleri kapsamaktadır.</p>   | Bir doğrultu boyunca uzanan büyük şekiller oluşabilmektedir. Oluşan çöküntüler birkaç kilometre karelik alana sahiptirler. Bu anlamda dolin teriminin ifade ettiği şekillerden oldukça büyüktürler. Yine de bu mekanizma ile bazı küçük dolinlerde şekillenebilmektedir.   | Çözünme olukları/Çöküntü depresyonları (solution trough/subsidence depression)  |

Aydın (2005), “Karstik alanlarda morfolojik yapıların CBS ile sayısal analizi ve hidrojeoloji açısından değerlendirilmesi” başlıklı çalışmasında Aydın (2005), Harmanköy - Beyyayla (Bilecik) bölgesindeki karstik alanın; jeoloji, tektonizma, yağış rejimi, süzülme, beslenme, dolaşım ve depolama özelliklerini ortaya koymuştur. Araştırmacılar, bölgedeki karstik yapıların CBS ile sayısal analizini yaparak morfoloji açısından değerlendirmiş ve çalışma alanında ortalama çöküntü yoğunluğunu, çukurlaşma ve dairesellik indislerini hesaplayıp, karstik yapıların yönelimlerini belirlemişlerdir.

Yılmaz (2006), çalışma alanına yakın bir bölgedeki ince taneli (alabastrin) ve iri taneli (porfiriblast) jipslerin fiziksel ve mekanik özelliklerini araştırmış ve jeoteknik özelliklerin tane boyuna bağlı olarak değiştiğini belirlemiştir. Araştırmacı yaptığı istatistiksel değerlendirmeyle ince taneli jipslerin (alabastrin), Schmidt çekici geri sıçrama değeri, tek eksenli sıkışma dayanımı, çekme dayanımı ve nokta yükleme dayanım indeksi değerleri ile Young modüllerinin iri taneli jipslerden daha büyük, suda dağılmaya karşı dayanım indekslerinin ise daha küçük olduğunu belirtmektedir. Araştırmacı ayrıca, ince taneli jipsleri zayıf kaya, iri taneli jipsleri ise iyi kaya olarak sınıflamıştır.

Yılmaz (2007), Zara-Sivas arasındaki bölgede CBS tabanlı karst çökme duyarlılık haritasını hazırlamış olup, karstik çöküntülerin çeşitli mühendislik yapılarına zararlar verebileceğinden bahsederek, bu tür haritalarının hazırlanmasının yararlarını vurgulamıştır. Araştırmacı çalışmasında, çökme duyarlılığı haritaları hazırlanırken, jeolojik ve hidrojeolojik özellikler (litoloji, tektonik aktivite, drenaj sistemi, kaynaklar), topoğrafik özellikler (şev açısı, şev bakışı, yükseklik), arazi kullanımı (yollardan ve yerleşim alanlarından uzaklık) ve bitki örtüsünün dikkate alınması gerektiğini belirtmiştir.

Stafford vd. 2008, Castile formasyonun yerüstü ve yeraltı özellikleri (Teksas, ABD) başlıklı çalışmalarında yaklaşık 1800 km<sup>2</sup>'lik bir alanda yayılım gösteren evaporit birimlerindeki karst gelişimini ayrıntılı incelemişlerdir. Araştırmacılar, karstik özelliklerin yüzeysel karst, yerüstü mağara gelişimleri, yeraltı mağara gelişimleri ve

tabakalar arası breşleşme olmak üzere 4 şekilde meydana geldiğini ifade etmektedirler. Formasyonda oluşan mağaraların Dünya'nın diğer bölgelerinde olduğu gibi (Klimchouk vd., 1996; Johnson ve Neal, 2003), hem gevrek hem de sünümlü yapısal deformasyon bölgeleri boyunca gözlemlendiğini ifade etmektedirler. Bu araştırmacılar, jips ve anhidritin düşük geçirimsizliğe sahip olmasından dolayı kaya kütlelerindeki süreksizliklerin çözünme kanallarının gelişimini sağlayan sıvı akımının oluşması için oldukça önemli olduğunu vurgulamaktadırlar. Araştırmacılar, bu formasyonda gelişen karst pasajlarının çoğunun eklemler ya da antiklinal eksenleri boyunca geliştiğini ifade etmektedirler. Çalışmada; Castile formasyonunda dolgulu ve dolgusuz dolinlerin bulunduğu, ancak dolgusuz dolinlerin çoğunluğunun çözünme kanallarıyla bağlantılı olduğu ifade edilmekte olup, bu dolinlerin çözünerek oyulma ya da yeraltındaki boşlukların yukarı doğru çözünerek çökmesiyle oluştuğu belirtilmektedir. Oyularak oluşan dolinlerin genelde yatay olarak uzadığı ve sıklıkla iyi gelişmiş kuru vadilere dönüştüğü, çökme ile oluşan dolinlerin ise yaklaşık dairesel ya da elipstik bir şekle ve dik dolin duvarlarına sahip olduğu yine bu çalışmada ifade edilmektedir.

## 2. İNCELEME ALANIN JEOLJİSİ

İnceleme alanı Sivasın KB'sın da yer almakta olup, çalışma alanında yaşlıdan gence doğru Paleozoik yaşlı Kırşehir Masifi, Alt orta Eosen yaşlı tokuş formasyonu, Oligosen yaşlı Hafik Formasyonu, Alt Miyosen yaşlı Karacaören formasyonu, Üst Miyosen yaşlı İncesu Formasyonu ve Kuvater Alüvyonlar gözlenmektedir (Şekil 2.1 ve 2.2).

| Üst Sistem              | Sistem   | Seri           | Formasyon               | Kaya türü   | AÇIKLAMALAR  |
|-------------------------|----------|----------------|-------------------------|---|--|
| SENOZOYİK               | TERSIYER | KUA-<br>TERNER | Alüvyon                 |   |  |
|                         |          |                | Plyosen                 | İncesu  | Tabanda çakıltaşı üste doğru iyi çimentolanmamış kumtaşı ve yer yer silttaşı ara seviyeleri  |
|                         |          |                | Miyosen<br>Alt Orta Üst | Karacaören  | Bej ve açık renkli tabakalı kireçtaşı ve kumlu kireçtaşı, marn, kumtaşı ar dalanması   |
|                         |          |                | Oligosen                | Hafik   | Beyaz, bej ve gri renkli yer yer ince-orta-kalın tabakalı çoğunlukla masif, sıkça kıvrılmış ve makaslama zonları içeren ve taban kesimlerinde yapraklanma gösteren jipsler |
|                         |          |                | Eosen<br>Alt Orta       | Tokuş   | Gri, yeşilimsi gri, kısmen kırmızı renkli çakıltaşı, Nummulites'li kireçtaşı, kumtaşı, kiltası ve şeyl ar dalanması  |
| PALEOZOYİK<br>MESOZOYİK |          |                | Kırşehir Masifi         | Altta gnays, üste doğru kuvarsit, amfibolitşist, mikaşist, serisitşist seviyeleri ve en üstte ince tabakalı beyaz ve krem renkli gri bantlar gösteren mermer gibi metamorfikler |  |

Şekil 2.1. Çalışma alanına ait dikme kesit (ölçeksiz, Poisson vd. (1996) ve Temiz 1994' den yararlanılarak)

### 2.1. Kırşehir Masifi

Sivas Havzası'nın temelini oluşturan Paleozoik-Mezozoyik yaşlı seri, altta gnays, üste doğru kuvarsit, amfibolitşist, mikaşist, serisitşist seviyeleri ve en üstte ince tabakalı beyaz ve krem renkli gri bantlar gösteren mermer gibi metamorfiklerden oluşmaktadır.



## 2.2. Tokuş Formasyonu

Sivas havzasının kuzey kesimlerinde, temel kayalar üzerinde yer alan genelde gri, yeşilimsi gri, kısmen kırmızı renkli çakıltaşı, *Nummulites*'li kireçtaşı, kumtaşı, kıltaşı ve şeyl ardalanmalarından oluşan Eosen yaşlı birim ilk kez Yılmaz ve Özer (1984) tarafından Tokuş formasyonu olarak adlandırılmıştır. Yılmaz ve Özer (1984) çalışmalarında Tokuş formasyonunun alt yüzeylerinin sığ denizel bir ortamda çökeldiğini ve Priaboniyen yaşında olduğunu, İnan ve İnan (1999) ise Erken İlerdiyen-Erken Lütésiyen aralığında ve alüvyon yelpazesi-sığ denizel ortamda depolandığını ileri sürmektedirler.

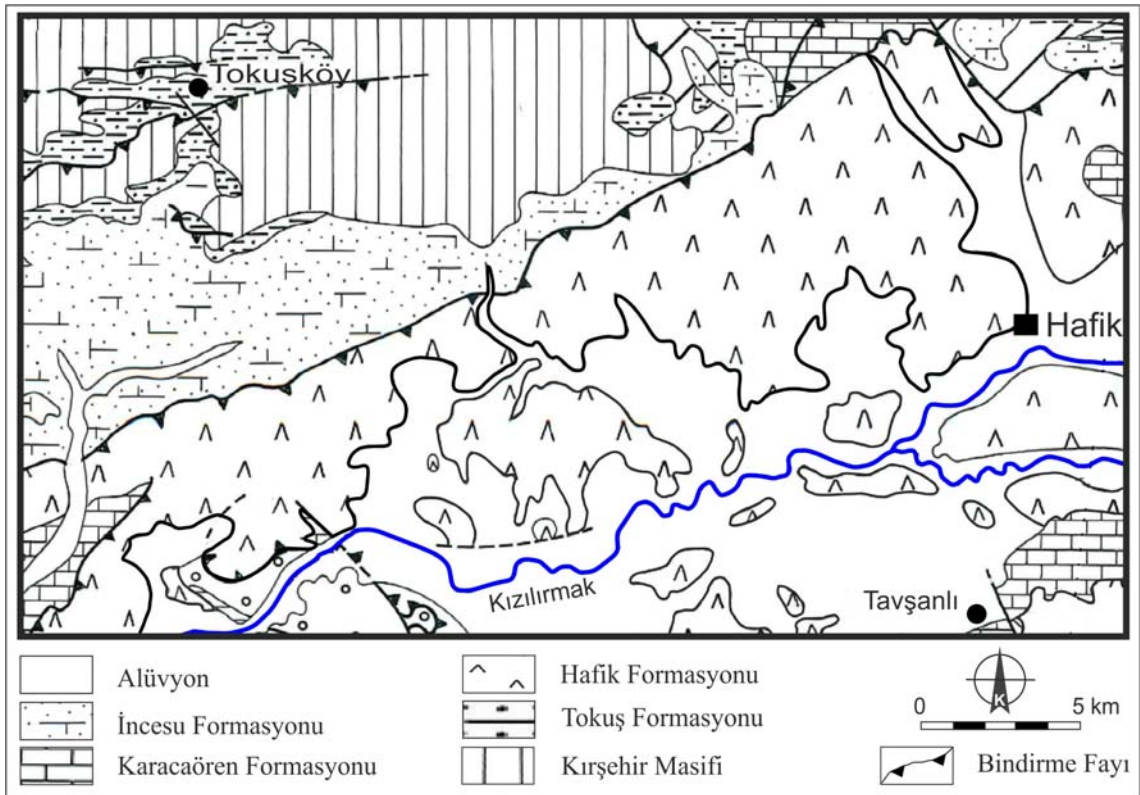
## 2.3. Hafik Formasyonu

Norman (1964) Sivas havzasında geniş yayılım sunan ve yaşı tartışma konusu olan jipslerin, Eosen ve Oligosen yaşlı kaya birimleri içerisinde yer aldığını belirtmiştir. Kurtman (1973) ise jips dizisinin Miyosen yaşlı olabileceğini ileri sürmüş ve jipsli diziyle birlikte olan kırıntılı kayaları Hafik formasyonu olarak adlandırmıştır. Bu adlandırma, birimin ağırlıklı masif jipsli düzeyi temsil ettiği öngörülerek benimsenmiştir (Yılmaz 1984; Temiz 1994; Aktimur vd. 1990; Poisson vd. 1996). Sivas havzası genelinde jipsli dizilerin Eosen, Oligosen ve Miyosen yaşlı dönemlerde oluştuğu ileri sürülmekte olup, Eosen ile Oligosen döneminde oluşan jipslerin sabkha ortamında, Miyosen yaşlı düzeylerin ise Playa ortam koşullarında oluştuğu ileri sürülmektedir. (Yılmaz vd. 1989; Yılmaz ve Yılmaz 2006). Hafik formasyonunu temsil eden jipsler ise Oligosen döneminde ve sabkha ortamında oluşan jipsli diziye karşılık gelmektedir.

Formasyon genellikle Kızılırmak vadisi ile Kuruçay dolaylarında yüzeylemekte olup çalışma alanının hakim litolojisini oluşturmaktadır (Şekil 2.2). Formasyonun, egemen kaya türü beyaz, bej ve gri yer yer ince-orta-kalın tabakalı çoğunlukla masif, sıkça kıvrımlanmış ve makaslama zonları içeren ve taban kesimlerinde yapraklanma gösteren jipslerden oluşturmaktadır (Temiz, 1994). Kalınlığı, tartışma konusu olmakla

birlikte, Aktimur vd. (1990) tarafından yaklaşık 700-750 m, Temiz (1994) tarafından, 250 m, Poisson vd. (1996) tarafından ise 100-200 m olarak ölçülmüştür.

Hafik formasyonuna ait jipslerin tabakalanma gösterdiği yüzlelerde jips tabakaları 5-6 cm'den 40-50 cm'ye kadar değişen kalınlıkta olup, genellikle kalın bir tabakalı yapıya sahiptir. Birim bazı yerlerde gri ve kırmızı ince marn ve kiltası tabakaları ile arakatlıdır. Formasyonunun özellikle üst seviyeleri tamamen jips tabakalarından oluşmuştur. Alt seviyelerde alacalı kumtaşı, siltaşı ve konglomera seviyeleri ile hem arakatlı hem de yanal geçişli olarak görülmekle birlikte, bazen küçük ve ince mercerler halindedir. Alacalı kumtaşı, siltaşı ve konglomeralar ise, kalınlıkları 1-2 cm'den 5-6 m'ye kadar değişen tabakalar içermektedir. Ancak genellikle kumtaşı tabakaları hakim durumdadır. Konglomera ve kumtaşı tabakalarında boylanma olmayıp, yer yer çapraz tabakalanma görülür. Çakıl ve kum taneleri genellikle ofiyolitlerden, kuvars, radyolarit ve andezit parçalarından oluşmaktadır (Temiz, 1994).



**Şekil 2.2.** Çalışma alanının jeoloji haritası (Açıklamalar için Şekil 2.1'e bakınız) (Poisson vd. 1996' den).

Koşun ve Çiner (2002); Hafik formasyonu olarak tanımlanan birimi Ağılıkaya formasyonunun bir üyesi olarak değerlendirmekte ve Sivas havzasının kuzeyinde gelişen sintektonik olaylar sonucu, Hafik üyesine ait masif jipslerin, havza içerisine doğru hareket edip ekaylanmış ve normal kalınlıklarının birkaç katına ulaşmış olduklarını belirtmektedirler. Çalışma alanı kuzey kesimlerinde tektonik nedenlerle bahsedilen kayma hareketleri görülürken, güney kesimlerde de sıkışma rejimi sonucu diyapirik jips yükselimleri gelişmiştir (Koşun ve Çiner, 2002). Bu diyapirik yükselimler sonucunda Hafik jipsleri yine normal konumlarından farklı stratigrafik düzeylere taşınmışlardır. Bu nedenle, çoğunluğunu masif jipslerin oluşturduğu bu üye, havzanın değişik alanlarında kendisinden daha genç yaştaki Miyosen birimleri üzerinde tektonik bir dokanakla bulunmaktadır (Koşun ve Çiner, 2002).

Sivas bölgesinde jipsli serilerin yaşı tartışmalı olmakla birlikte, Hafik formasyonunun yaşı için çeşitli araştırmacılar tarafından Oligosen-Miyosen aralığında yaşlandırmalar yapılmıştır. Hafik formasyonunu oluşturan jipsleri, ilk kez Hamilton (1867) incelemiş ve jipsli seriyi Permien-Tersiyer olarak yaşlandırmıştır (Kurtman, 1973). Stchepinsky (1939) Sivas bölgesindeki jipsli seriyi Oligosen olarak yaşlandırmıştır. Nebert (1956), Zara ve İmranlı bölgesindeki jips tabakalarının denizel Burdigalien tabakaları üzerinde regresif olarak çökeldiğini öne sürmüştür. Kurtman (1973) ise Hafik Formasyonun Alt Orta Miyosen yaşlı Karacaören formasyonu ile yanal geçişler göstermesinden dolayı, Alt-Orta Miyosen yaşında olması gerektiğini Hafik formasyonunun en üst seviyelerinin Üst Miyosene kadar geçebileceğini öne sürmüştür. Aktimur vd. (1990), Hafik formasyonunda *Amphistegina* spp., *Rotalia beccarii*, *Robulus vortex*, *Aurilina* sp., *Krithe* sp. ve *Bairdia* sp., fosillerini saptamış ve formasyonu Üst Miyosen (Tortoniyen) olarak yaşlandırmışlardır. Gökten ve Kelling (1991) ile Poisson vd. (1992) jipsli çökellerin yaşını Oligosen olarak kabul etmişlerdir. Formasyonun yaşı ile ilgili yapılan çalışmalar yukarıda özetlenmiş olmakla birlikte, Temiz (1994) bölgede yapmış olduğu çalışmasında Hafik formasyonunu, yaşı kesin olarak belirlenen diğer birimlerle olan jeolojik ilişkisine dayanarak Oligosen olarak yaşlandırmıştır.

## 2.4. Karacaören Formasyonu

İlk kez Kurtman (1973) tarafından tanımlanmış olan birim, inceleme alanının genellikle kuzey kesimleri ile Sivas il merkezi çevresinde yüzeylemekte olup, Hafik Formasyonu üzerinde açılı uyumsuzlukla konumlanmıştır. Birim, Poisson vd. (1996) tarafından üç seviyeye ayrılmış olup, birimin tabanını oluşturan kumtaşı, çakıltası ardalanmasını fosilli resifal kireçtaşları takip etmekte, bunları da marn, kumtaşı ardalanmasından oluşan üst seviye izlemektedir.

Poisson vd. (1996), birimin yer yer yama resiflerinin geliştiği sığ denizel ortam koşullarında depolandığını, Kangal (2000) ise delta, plaj, sabkha, körfez-lagün, sed adası, resif ve kısmen açık deniz olmak üzere birçok ortamda çökelmiş olabileceğini belirtmektedir. Bu formasyonun yaşı Kurtman (1973) ve Temiz (1994) tarafından Alt-Orta Miyosen, Poisson vd. (1997) tarafından planktonik foraminifer tanımlamaları sonucunda Üst Oligosen-Alt Miyosen olarak tanımlanmıştır.

## 2.5. İncesu Formasyonu

İnceleme alanın kuzey kesimlerinde yüzeyleyen birim, ilk kez Yılmaz (1980) tarafından İncesu formasyonu olarak tanımlanmış ve iki üyeye ayrılarak incelenmiştir. Birim inceleme alanında üye ayırdımı yapılmaksızın İncesu formasyonu olarak değerlendirilmiştir.

Birim Sivas bindirmesi boyunca Oligosen yaşlı Hafik formasyonu tarafından tektonik dokanakla üzerlenmektedir. İncesu formasyonun egemen kaya türünü çakıl taşları oluşturmakta olup iyi çimentolanmamış kumtaşı ve yer yer silttaşı ara seviyeleride birim içerisinde gözlenmektedir (Temiz, 1994). Gökten ve Kelling (1991), formasyonun örgülü akarsu sistemini işaret ettiğini, malzemelerin kuzey kesimlerdeki kaynaklardan türediğini ve birim içerisinde yer yer izlenen kireçtaşı düzeylerinin de küçük gölleri yansıttığını, bununda yöre yükselmesinin yavaşladığı veya tektonik etkinliğin azaldığı zamanları belirttiğini vurgulamaktadır.

Birimin kalınlığı Temiz (1994) tarafından 20-100 m, Gökten ve Kelling (1991) tarafından ise 150 m dolayında olduğu belirtilmektedir. Birimin yaşı Yalçınlar (1955) tarafından formasyonun alt kesimlerindeki konglomera ve kumtaşları içerisinde, *hipparion gracile* (KAUP), *Sus erymanthius* (GAUDRYZITTEL), *Mastodon sp.*, *Cervus sp.*, *Rhinoceros sp.*, *Griffa sp.* ve *Gazella sp.*, omurgalı faunası saptanarak Alt Pliyosen olarak değerlendirilmiştir. Kaya ve Forsten (1999), Hafik kuzeyinde yer alan Düzyayla köyü dolayında saptanan memeli fosil topluluğuna dayanarak formasyonun yaşını Üst Miyosen- Alt Pliyosen olarak değerlendirmiştir.

## **2.6. Alüvyon**

Özellikle Kızılırmak yatağı boyunca yüzeyleyen birim, inceleme sahasında yüzeyleyen tüm birimler üzerine uyumsuz olarak gelmekte ve genellikle bölgede yüzeyleyen birimlerin ayrışması, ayrışan kayaç parçalarının taşınarak dere yataklarında birikmesi ile oluşmuştur.

### 3. JİPS KARSTI VE DOLİNLER

#### 3.1. Jipslerin Oluşumu ve Kökeni

Jips ve anhidrit; kurak iklim bölgelerindeki göllerde veya iç denizlerde, açık denizle bağlantıları zaman zaman setlerle kesilen sığ denizlerin koy ve körfezlerinde, buharlaşma hızının yüksek düzeylere erişmesi sonucu oluşan yaygın evaporitik minerallerdir. Bu mineraller, diğer evaporitik minerallerle birlikte Kambriyen'den günümüze değin tüm jeolojik zamanlarda oluşmuşlardır. Jeolojik açıdan önemli sayılabilecek evaporitik istiflerin çökelebilmesi için aşağıda belirtilen dört temel koşulun sağlanması gerekmektedir (Schmalz, 1969).

1. Ortamın kuru ve genellikle yüksek net buharlaşma hızına sahip sıcak bir iklime sahip olması,
2. İçinde tuzlu suların yoğunlaşabileceği kapalı ya da kısmen sınırlanmış bir havzanın olması,
3. Sürekli veya belirli aralıklarla sağlanan deniz suyunun havzaya girmesi,
4. Biriken tuzların fiziksel koşullara uyumuna izin veren mekanizmanın gelişmesidir.

Bu koşulların sağlandığı bir ortamda kalsiyum ( $Ca^{++}$ ), sülfat ( $SO_4$ ) ve diğer iyonlar yeterli bir doygunluğa eriştiğinde kimyasal çökel bir birim olarak jips ( $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ) veya anhidrit ( $CaSO_4$ ) ve diğer tuzlar oluşmaktadırlar. Buharlaşmakta olan bir sudan jipsin mi yoksa anhidritin mi oluşacağını ortamın fizikokimyasal koşulları belirlemektedir. Evaporitlerin oluşum ortamları konusunda kabul görmüş iki kuram vardır. Bunlar;

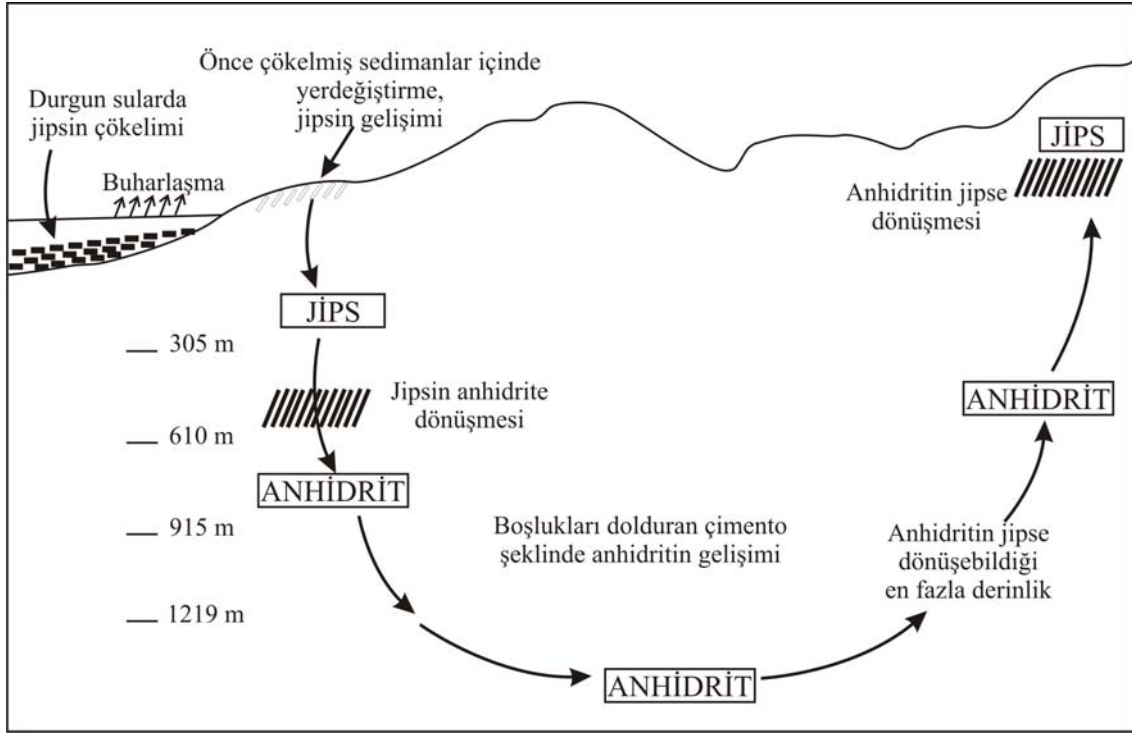
1. Sınırlanmış okyanus havzaları yada iç denizler (Bar kuramı)
2. Sabka ortamları (Sabka kuramı)
  - a) Kıyı sabkaları
  - b) Kıtasal sabkalar

Evaporitler; oluşum ortamları bakımından denizel ve denizel olmayanlar, oluşum durumlarına göre birincil ve ikincil, taşınma durumuna göre ise yerli (otokton) ve taşınmış (allokton) şeklinde sınıflara ayrılabilir (Hardie, 1984).

Evaporitik çökeltme ortamlarında sıcaklık ve buna bağlı olarak buharlaşma hızının artması sonucu mineraller çözünürlüklerine göre, çözünürlüğü az olanlar önce, çok olan ise sonra olacak şekilde sırayla çökeltmektedir. 25 °C sıcaklıkta yoğunluğu 1.025 g/cm<sup>3</sup> olan deniz suyunda buharlaşma başlarken ilk önce kalsiyum karbonat (CaCO<sub>3</sub>) çökeltmektedir. Su yoğunluğu 1.10 g/cm<sup>3</sup>'e çıktığında (derişiminin beş kat artması) jips ve 1.13 g/cm<sup>3</sup> olduğunda (derişiminin sekiz kat artması) ise anhidrit çökeltmektedir. Çökecek kalsiyum sülfat mineralinin jips mi yoksa anhidrit mi olacağını, ortamın tuzluluğu ve sıcaklığı belirlemektedir. Derişiminin beş kat artması durumunda jips, sekiz kat artması durumunda ise anhidrit çökeltmektedir. Murray (1964), olağan deniz suyunda 34 °C sıcaklığa kadar jipsin, daha yüksek sıcaklıklarda ise anhidritin çökeldiğini belirtmektedir. Bunun yanı sıra, çökeltme ortamındaki NaCl konsantrasyonunun anhidrit çökeltimini arttırdığı ve çökeltme sıcaklığını 42 °C'ye düşürdüğü belirtilmektedir (Sonnenfeld, 1975).

Murray (1964), jipsin doğadaki en yaygın orijinal kalsiyum sülfat minerali olduğunu belirterek, yaklaşık 610 m'lik bir gömülme derinliğine kadar kararlılığını koruyabildiğini ve bu derinlikten sonra anhidrite dönüştüğünü, gömülmüş anhidrit kütlelerinin yüzeye çıkmaları durumunda ise, yüzey sularının etkisi ile zamanla tekrar jipse dönüştüklerini belirtmektedir (Şekil 3.1).

Jips çökeltiminin başlayabilmesi için çözeltinin buharlaşarak belirgin bir doygunluğa ulaşması gerekir. Eardley ve Stringam (1952), ayrıca jips çökeltiminin başlaması için pH ve yükselen sıcaklıklara ihtiyaç olduğunu belirtmektedirler. Değişik kristal şeklinde jips oluşumu için ortamın pH'ının 7'den büyük olması gerekmektedir. Çünkü asidik koşullar, organik malzemenin etkisini yok etmektedir (Cody ve Cody, 1988).



**Şekil 3.1.** Jips-Anhidrit döngüsü (Muray, 1964)

Sivas havzasındaki evaporitlerin kökeni ile ilgili çalışmalara bakıldığında; Baysal ve Ataman (1979) bu evaporitlerdeki jips ve kil fraksiyonlarındaki Li, F ve Sr içeriklerine dayanarak bunların ileri derecede işlenmiş ya da yeniden çöktürülmüş veya Kızıldeniz benzeri bir ortamda çökelmiş evaporitlerin olduklarını öne sürmüşlerdir. Buna karşın Ceyhan (1987), yöredeki jipsli çökellerin açık denizle zaman zaman bağlantısı kesilen sığ deniz kıyısı ortamlarında çökeldiğini belirterek, jipslerin anhidritin bünyesine su alarak oluşmuş ikincil jipsler olduğunu belirtmektedir. Tekin (2001) ise, Sivas havzasındaki jipslerin üç zona ayrılabilirliğini belirtmekte olup, bunlardan birincisinin Geç Eosen yaşlı ve laminalı bir karakter sergileyen jipsler olduğunu ifade etmektedir. Araştırmacı, bu tip jipslerin Eosen sonundaki regresyona bağlı olarak oluşan sığ karakterli algli lagünlerde mineralleştiğini, bunları üzerleyen ikinci jips zonunun ise Oligosen yaşlı ve başlıca iki tip fasiyes sergilediğini ve bunların kalın ve masif karakterli jips fasiyesi ile kumtaşı ara tabakalı yumrulu jips fasiyesi olduğunu belirtmiştir. Oligosen yaşlı birinci tip fasiyes sığ sahil sabkalarında, ikinci tip fasiyese sahip jipsler ise menderesli akarsuların terk edilmiş kanalları içerisinde oluşmuşlardır. Havzadaki üçüncü ve son evaporit zonunun ise, Erken Miyosen yaşlı masif ve tabakalı



jipsler ve Tersiyer havzasının Üst Miyosen başında güneyden gelen sınırlı bir denizel transgresyonun ürünü olduğunu ifade etmektedir.

### 3.2. Karst ve Jips Karstı

Karst, doğal suların etkisiyle yüksek oranlarda çözünebilen ve iyi gelişmiş ikincil gözenekliliğe sahip kayaçların bulunduğu alanların tanımlanması için kullanılan bir terimdir. Bu tür alanlar kendilerine özgü hidrojeolojik ve jeomorfolojik özelliklere sahiptirler. Karst terimi, eski Yugoslavya'nın batısında, karbonat kayaçlarıyla kaplı bir bölgenin morfolojisi için kullanılan ve "kayalık, eğri-büğü, çıplak arazi" anlamlarına gelen "Krs" sözcüğünden türetilmiştir (Milonovic 1981). Karst Sözlük anlamı ile kireçtaşı gibi çözünebilen kayaçların görünüşüne verilen isim olup, "taşlık arazi" anlamında kullanılmaktadır. Karst, kireçtaşlarının çözünmesi dolayısıyla yüzeyde ve derinde oluşan makro ve mikro şekilleri ifade eden bir jeomorfoloji terimi olarak kullanılmıştır. Karst terimi günümüzde, yeryüzünde görülen karstik şekilleri ifade etmek için kullanılan uluslararası jeomorfolojik bir terim olma niteliğini kazanmış ve literatüre geçmiş olup, karstik şekilleri içeren röliyefe de "karst röliyefi" adı verilmiştir (Pekcan, 1995).

Karstik araziler, üzerlerinde örtü kayalarının bulunup bulunmamasına göre ikiye ayrılırlar. Üzerlerinde hiçbir oluşuk olmayan ve atmosferle doğrudan ilişkili karstik arazilere "çıplak karst", bunun aksine üzerleri değişik malzemelerle kaplı olanlara ise "örtülü karst" denilmektedir. Ancak bu iki yapı arasında geçişler izlenebilmekte olup, karstik yapılar artık zemin, organik maddeler, rüzgar veya akarsu çökelleriyle örtülü olabilmektedir. Çalışma alanı ve yakın çevresinde genel anlamda çıplak karst mevcut olup çoğu durumda dolinler, kalınlıkları değişiklik göstermekle birlikte dolgu malzemeleri ile örtülüdür. Bu dolgu malzemelerinden dolayı çalışma alanındaki sığ derinliklerdeki dolinler çevre halkı tarafından tarım arazisi olarak kullanılmaktadır.

Karstik araziler, üzerlerini örten oluşuklardan genç veya yaşlı olabilmektedir. Karstik yapılar üzerlerine uyumlu gelen kayaçlardan daha genç, uyumsuzluk durumunda ise karstlaşma üstteki tabakalardan daha yaşlı olabilmektedir. Karstik

yapılar bazen herhangi bir oluşuk tarafından örtülebilmekte ve mağaralar bu oluşuklarla tamamen dolabilmektedir. Bu gibi karstik yapılara “fosil karst” veya “paleokarst” denilmektedir. Doğal aşındırma, fosil karstları yüzeye çıkarabilir, bu durumda bazı karstik yapılar aşınarak geride artık karstik yapıları bırakabilmektedir. Bu anlamda çalışma alanındaki karstlaşma güncel bir karstlaşma özelliği sunmakta olup fosil karst tipine pek rastlanılmamaktadır. Ancak inceleme alanının yakın civarındaki Kızılırmak Nehri’ne yakın düşük kotlu kimi bölgelerde alüvyonla örtülmüş karstik yapıların da var olacağı unutulmamalıdır. Tümüyle geçirimsiz kayalarla çevrili ve boşalımı denize olan karstik yapılara ise, “sınırlanmış karst” denilmektedir. Çalışma alanındaki dolinlerin tümü jipsler içerisinde bulunmakta olup, geçirimsiz ikinci bir birimle sınırlanmamış olmalarından dolayı bölgedeki ana karstik unsur olan dolinler sınırlanmış bir karst özelliği sunmamaktadır.

Jips ve jips karstı dünyanın bir çok bölgesinde özellikle; Fransa (Chardon ve Nicod, 1996) İngiltere (Paukstys vd., 1999; Cooper ve Waltham, 1999; Cooper, 1998, 2002; Cooper ve Saunders, 2002; Lamont-Black vd., 2002), İspanya (Benito vd., 1998; Elorza vd., 1998; Calaforra ve Pulido-Bosch, 1999, 2003; Gutierrez vd., 2008), Litvanya (Paukstys vd. 1999), Ukrayna - Rusya (Culshaw ve Waltham 1987; Andrejchuk, 1996; Klimchouk ve Andrejchuk, 2002), Irak (Jassim vd. 1997), Suudi Arabistan (Amin ve Bankher, 1997), İtalya (Belloni vd., 1972), Almanya (Pfeiffer ve Hahn, 1972), Romanya (Bleahu, 1972), ABD (White, 1988; Johnson, 2005, 2008) ve Türkiye (Alagöz, 1967; Garipağaoğlu, 1993; Karacan ve Yılmaz, 1997; Waltham, 2002) de gözlenmektedir.

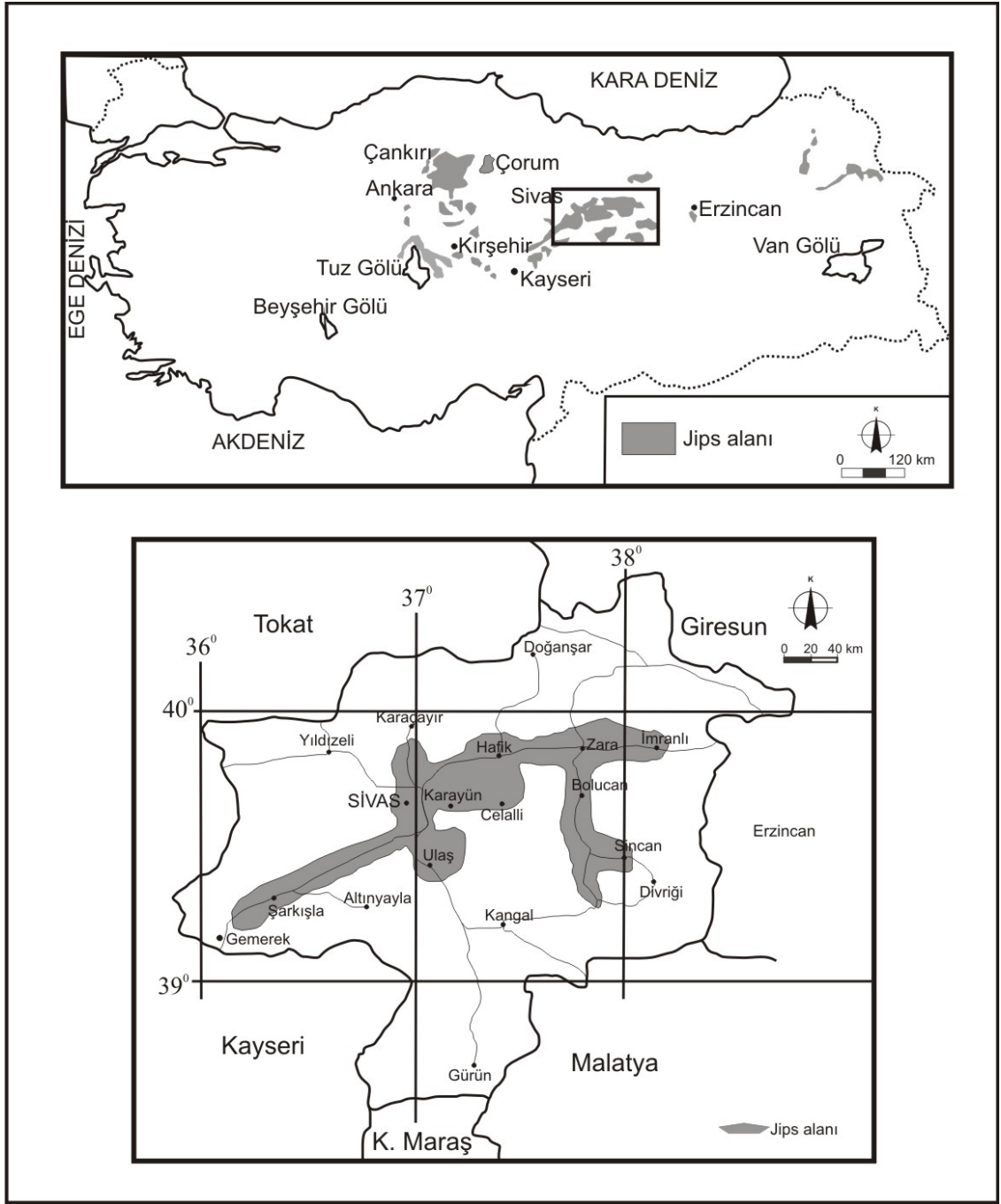
Jips karstının gözlendiği bu ülkelerin oldukça önemli bir kısmında jipslerde meydana gelen çökme olayları birçok yaşam alanı ve çeşitli mühendislik yapılarına hasarlar vererek, insan güvenliği ve ekonomi açısından doğal tehlikeler oluşturmaktadır. Aynı zamanda, jips karstının gözlendiği alanlarındaki yüzey ve yeraltısularının büyük bir kısmı, jipsin çözünmesiyle sülfatça zenginleşmektedir. Bu nedenle jipsli alanların ve karstlaşma özelliklerinin ortaya konulması, oluşabilecek doğal tehlikeler ve su kaynakları açısından da ulusal ve yerel ölçekteki planlamalarda dikkate alınmalıdır.

Jips alanları Türkiye'nin yaklaşık % 5'lik bir kısmını oluşturmakta (Boyadgiev, 1976; Jafarzadeh ve Zink, 2000) ve jipsin en büyük dağılımı Sivas havzasında yer almaktadır (Alagöz, 1967; Gökçe ve Ceylan, 1988) (Şekil 3.2). Ülkemizde Sivas, Zara ve İmranlı arasındaki geniş alanları kapsayan masif jipsler bütünüyle karstik bir görünümündedirler. Bu bölgedeki jipsler içerisinde irili ufaklı birçok karstik özellik barındırmakta olup, bölge için değişik morfometri ve türlerdeki dolinler ana karstik özellik durumundadır. İncelemeye konu olan bu bölge bu yönü ile Türkiye'de ve Dünya'daki çok önemli ve ayrıcalıklı bir jips karst alanı konumundadır. Sivas bölgesindeki jips karst alanları 300 km uzunluğunda ve 40–50 km genişliğinde batıda Gemerek'ten doğuda İmranlı'ya kadar dağılmış olup, genel olarak aşağıda verilen altı farklı alanda tanımlanmışlardır.

- 1- Sivas Karaçayır yolu,
- 2- Sivas- Hafik- Zara ve İmranlı güzergahı,
- 3- Sivas- Karayün- Celalli- Hafik güzergahı,
- 4- Sivas- Zara- Beypınarı- Sincan- Divriği güzergahı,
- 5- Sivas- Taşlıdere- Ulaş- Tecer- Kangal- Beypınarı civarı,
- 6- Sivas- Taşlıdere- Şarkışla- Yeniçubuk- Gemerek güzergahı.

Havzadaki evaporitik kayalarda tektonizma ve domlaşma yaygın olup, masif jips çökelleri çoğunlukla imbike bindirmeleri kapsayan yapısal şekiller tarafından sınırlanmıştır (Tekin, 2001). Yaygın tektonizma ve domlaşma nedeniyle, masif jips çökellerinin birçoğunun ilksel yapısal ve dokusal özellikleri yok olmuştur.

Yeryüzünde jips veya evaporit karstının görüldüğü alanlar, karbonatlı kayalar (kireçtaşı, dolomit vb.) üzerinde gelişen karstik alanlar kadar yaygın olmamakla birlikte, karstik gelişim süreci açısından, önemli alanları oluşturmaktadır. Jipsler, kireçtaşına nazaran yaklaşık 20–30 kat daha fazla çözünebilir ve genellikle daha düşük dayanımlı kayalardır (Böglü, 1980). Bu nedenle de jips karstına ait jeomorfolojik birimler kireçtaşı karstına ait şekillere göre daha hızlı gelişir. Ancak kireçtaşına göre bu birimlerde oluşan karstik yapılar daha hızlı bir şekilde tahrip olurlar. Bu durumun oluşmasında jipslerde gözlenen eklemlerin oldukça büyük önemi vardır.



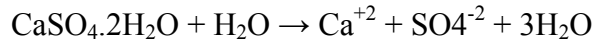
**Şekil 3.2.** Sivas Tersiyer havzasındaki jips çökellerinin genel dağılımı

Jips, kireçtaşına göre daha hızlı çözünebilir bir kayaç olup, jipslerdeki çözünme yüz yılda 1 metreyi bulmaktadır (Waltham ve Fookes, 2005). Jips ve anhidrit, kaya tuzundan sonra en fazla çözünürlüğe sahip olan evaporitik kayaçlardır (James ve Kirkpatrick, 1980). Bazı kayaçların aynı sıcaklığa sahip saf sudaki çözünürlükleri çizelge halinde Çizelge 3.1’de sunulmuştur.

**Çizelge 3.1.** Bazı kayaç ve minerallerin saf sudaki çözünürlükleri (James ve Kirkpatrick, 1980)

| Malzeme                                      | 10 °C sıcaklıktaki saf suda çözünürlük (kg/m <sup>3</sup> ) |
|--|---|
| Halit (NaCl)                                 | 360   |
| Jips (CaSO <sub>4</sub> ) * H <sub>2</sub> O | 2.5   |
| Anhidrit                                     | 2.00  |
| Kireçtaşı                                    | 0.015   |
| Kuvars                                       | 0.01  |

Jips su ile temas ettiğinde aşağıdaki tepkimeye göre çözülür (White, 1988; Ford ve Williams, 1989). Aşağıdaki denkleme göre çözünen jips Çizelge 3.1’de de görülebileceği gibi 1m<sup>3</sup> suda 2,5 kg kadar çözünebilmektedir.

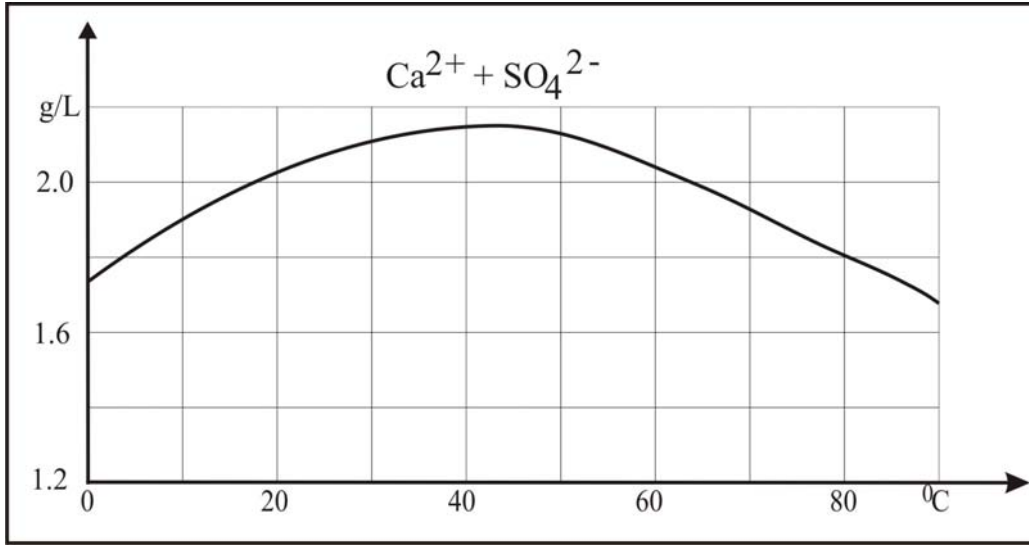


Jipsin suda çözünürlüğü, sulu çözeltinin kimyasına, sıcaklığına ve basınca bağlıdır (Elorzo vd., 1998). 25 °C’de ve 1 atmosfer basınç altında jipsin çözünürlüğü 2400 mg l<sup>-1</sup> ve kaya tuzunun çözünürlüğü 360.000 mg l<sup>-1</sup> olup, bu değer yağmur suyunda jips için 0-1.500 mg l<sup>-1</sup> ve kaya tuzu için 5-10.000 mg l<sup>-1</sup> dir (Ford ve Williams, 1989). Jipsin doygunluk eğrisi sıcaklıkla zayıf bir ilişki sunmaktadır. 0 °C’de 1 kg çözeltilde 1.76 g CaSO<sub>4</sub>, 35 °C de 2.105 g ve 45 °C de ise 2.100 g CaSO<sub>4</sub> bulunmaktadır (Böglü, 1980). Bu da jipsin çözünürlüğünün belli bir sıcaklığa kadar artmakta olduğunu, sonrasında ise sıcaklık arttıkça çözünürlüğün azalmaya başladığını göstermektedir. (Şekil 3.3). 1 Atmosfer basınç altında jipsin en fazla çözüldüğü sıcaklık 35 - 40 °C dir (White, 1988; Elorzo vd., 1998).

### 3.3. Dolinlerin Oluşum Mekanizması ve Sınıflandırılması



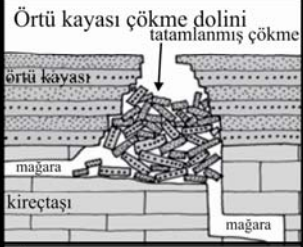


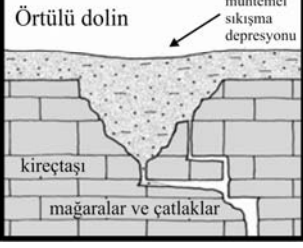
Karstik arazilerde rastlanan basit çukurlara dolin denilmekte olup, karstik arazilerin en önemli göstergelerdir. Dolin terimi, topoğrafik yüzeydeki herhangi bir çöküntüyü belirten bir Slav terimi olan “doline” kelimesinden türemiştir (Waltham vd.,

2005). Bu terim, bilimsel literatürde ilk kez Cvijic (1893) tarafından kullanılmıştır. Amerikan literatüründe “sinkhole” ve “swallow” kelimeleri de dolin için kullanılan terimlerdir (Beck, 1986; Sowers, 1996; Waltam ve Fookes, 2005; Waltham vd., 2005, Ford ve Williams, 2007). Karstik arazilerin temel jeomorfolojik şekilleri olan bu yapıların, km<sup>2</sup>'de 100-200 adet gözlemlendiği karstik bölgeler de mevcuttur. Yatay düzlemde dairesel veya oval bir görünümde olan dolinlerin derinlikleri, genellikle çaplarına oranla küçük olup, huni ve silindirik bir yapıda içleri kayalık, aşınan malzeme, su veya bitki örtüsü ile kaplı olabilmektedir.



Şekil 3.3. Jipsin doygunluk eğrisi (Bögli, 1980'den)

Dolinler genel anlamda görünüm şekillerine ve oluşumlarına göre sınıflandırılmaktadır. Konu ile ilgili ulaşılabilen uluslararası literatür ve temel kaynaklarda, araştırmacılar dolinleri çoğunlukla 4, 5 veya 6 sınıfa ayırarak incelenmiştir (Sweeting, 1973; Bögli, 1980; Jennings, 1985; Beck ve Sinclair, 1986, Culshaw ve Waltham, 1987; White, 1988; Ford ve Williams, 1989; Waltham, 1989; Lowe ve Waltham, 2002; Waltham ve Fookes, 2005; Williams, 2004; Waltham vd., 2005). Dünya karst literatüründeki en son araştırmalarda dolinler genel olarak oluşum mekanizmasına göre; çökme dolini, çözünme dolini, örtü kayası çökme dolini, örtü çökme dolini, örtülmüş dolin, alüvyal dolin (örtü sübsidans dolini) olmak üzere altı gruba ayrılmaktadır (Şekil 3.4).

|  |   |  |
|--|---|--|
|  <p>Çözünme dolini</p>            | <p>Oluşum süreci</p> <p>Yankayaç</p> <p>Oluşum hızı</p> <p>Tipik en büyük boyut</p> <p>Mühendislik tehlikesi</p> <p>Uluslararası literatürdeki diğer kullanımları</p> | <p>Yüzeysel çözünme</p> <p>Kireçtaşı, dolomit, jips, kaya tuzu</p> <p>Kararlı şekil &gt;20,000 yıl</p> <p>1-100 m derinlik</p> <p>Çatlak ve mağara direnleri zemin altına çıkmalı</p> <p>Dissolution, cocpit, doline, çözünme</p>  |
|  <p>Çökme dolini</p>              | <p>Oluşum süreci</p> <p>Yankayaç</p> <p>Oluşum hızı</p> <p>Tipik en büyük boyut</p> <p>Mühendislik tehlikesi</p> <p>Uluslararası literatürdeki diğer kullanımları</p> | <p>Mağaralardaki çatıların çökmesi</p> <p>Kireçtaşı, dolomit, jips, kaya tuzu</p> <p>Çok nadir olarak mağaralardaki hızlı yenilmeler</p> <p>100-300 m derinlik</p> <p>Zemin çökmesi, mağara çatılarının yenilmesi</p> <p>Cave collapse, cenote, çökme</p>  |
|  <p>Örtü kayası çökme dolini</p> | <p>Oluşum süreci</p> <p>Yankayaç</p> <p>Oluşum hızı</p> <p>Tipik en büyük boyut</p> <p>Mühendislik tehlikesi</p> <p>Uluslararası literatürdeki diğer kullanımları</p> | <p>Çözünebilen kayadaki mağara duvarlarının çözünmesi</p> <p>Kireçtaşı, dolomit, jipsi, üzerleyen herhangi bir kaya</p> <p>Nadir yenilmeler &gt; 10,000 yıl</p> <p>100-300 m derinlik</p> <p>Duraysız zemin, mağaralarda yenilme</p> <p>Sujacent collapse, interstratal karst, örtü kayası çökme</p>   |
|  <p>Örtü çökme dolini</p>       | <p>Oluşum süreci</p> <p>Yankayaç</p> <p>Oluşum hızı</p> <p>Tipik en büyük boyut</p> <p>Mühendislik tehlikesi</p> <p>Uluslararası literatürdeki diğer kullanımları</p> | <p>Temel kayadaki çatlaklar üzerinde boşluk oluşumu ve bu boşluklara zeminin çökmesi</p> <p>Kireçtaşı, dolomit, jips üzerindeki kohezyonlu zeminler</p> <p>Dakika, yıl, aylar içerisinde boşluklara zemin çökmesi</p> <p>10-50 m derinlik</p> <p>Zeminle örtülü kart alanlarında duraysızlık</p> <p>Subsidence, cover collapse, alluvial, örtü çökme</p> |
|  <p>Alüvyal dolin</p>           | <p>Oluşum süreci</p> <p>Yankayaç</p> <p>Oluşum hızı</p> <p>Tipik en büyük boyut</p> <p>Mühendislik tehlikesi</p> <p>Uluslararası literatürdeki diğer kullanımları</p> | <p>Temel kayadaki kırıklar boyunca zemin yıkanması</p> <p>Kireçtaşı, dolomit, jips üzerindeki kohezyonsuz zemin</p> <p>Yıl-ay</p> <p>10-50 m derinlik</p> <p>Bir yılda yavaş yok edici çökme</p> <p>Sübsidans, örtü sübsidans, alluvial</p>  |
|  <p>Örtülü dolin</p>            | <p>Oluşum süreci</p> <p>Yankayaç</p> <p>Oluşum hızı</p> <p>Tipik en büyük boyut</p> <p>Mühendislik tehlikesi</p> <p>Uluslararası literatürdeki diğer kullanımları</p> | <p>Kaya içindeki düden, çevresel değişiklik sonrası dolgu</p> <p>Kireçtaşı, dolomit, jipsdeki kaya kütlesi</p> <p>Duraylı jeolojik özellikler 10,000 yıldan daha büyük</p> <p>100-300 m derinlik</p> <p>Duraylı kayalarla çevrili zayıf dolgu üzerindeki çökme</p> <p>Filled, compaction, paleosinkhole, örtülü dolin</p>                                |

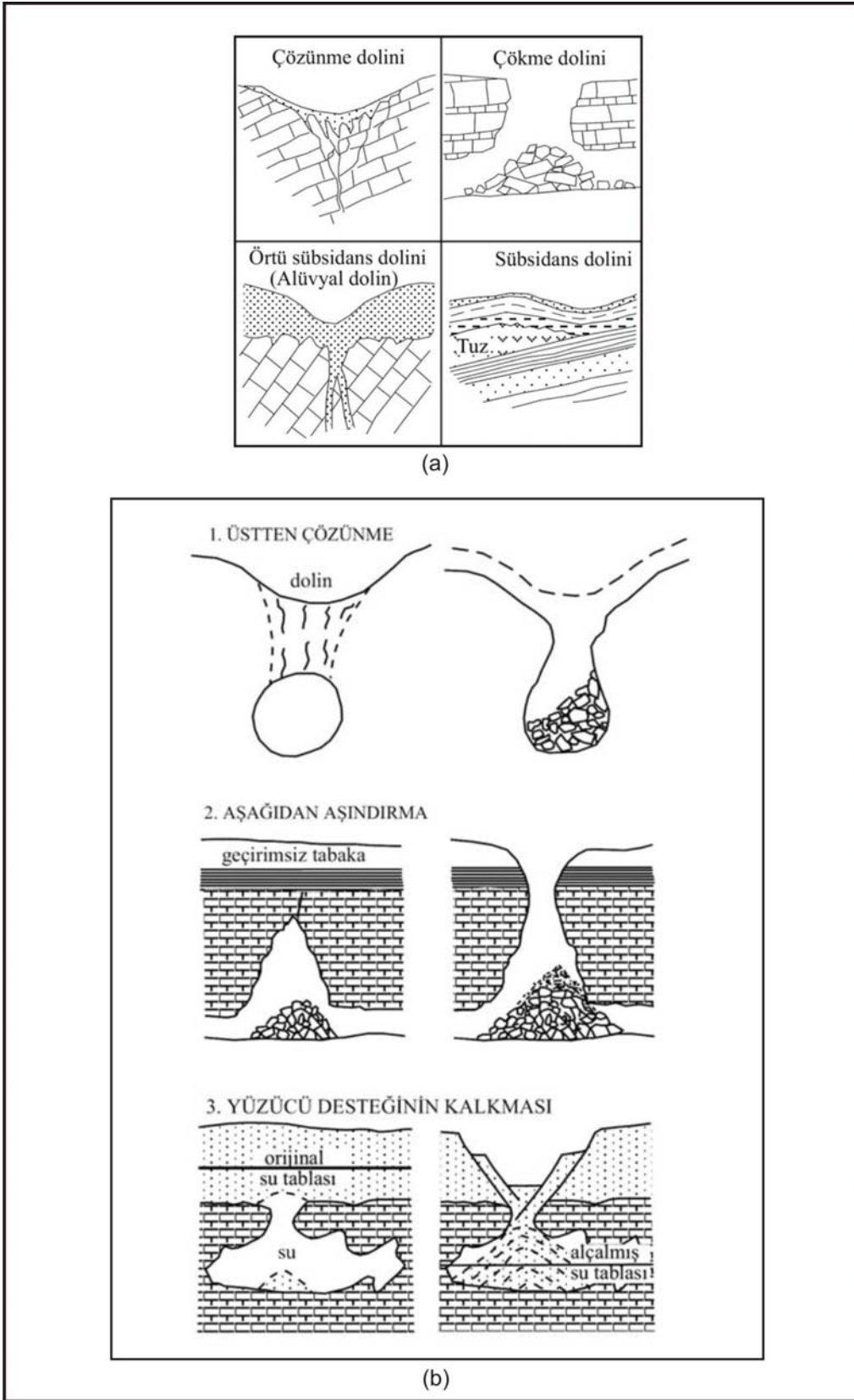
Şekil 3.4. Dolin türleri ve her bir dolin türünü tanımlayıcı ana özellikler (Waltham vd. 2005'den)

Jennings (1971) dolinleri; çözünme dolini, çökme dolini, örtü kayası çökme dolini (subjacent karst collapse doline), sübsidans dolini ve alüvyal dolin olmak üzere 5 tipe ayırarak sınıflandırmıştır. Sweeting (1973) ise Williams (1969)'dan alıntı yaparak; çözünme dolini, alüvyal dolin, çökme dolini ve çözünme-sübsidans dolini (örtü kayası çökme dolini anlamında) dört gruba ayırmıştır. Çökme dolinini ise, mağara tavanı çökme dolini ve örtü çökme dolini olarak kendi içerisinde iki kısımda değerlendirmiştir. Bögli (1980) de Sweeting (1973)'e benzer şekilde dolinleri, çözünme dolini, alüvyal dolin, sübsidans dolini ve çökme dolini olmak üzere 4 grup altında toplamıştır. White (1988) ise, çözünme, çökme, sübsidans, örtü çökme ve örtü sübsidans olmak üzere dolinleri 5 ayrı sınıfta incelemiştir. Ford ve Williams (1989) dolinleri, çözünme, çökme, alüvyal (örtü sübsidans) ve sübsidans dolini olmak üzere 4 grup altında incelemiştir (Şekil 3.5a). Yazarlar, çökme dolinlerini ise çözünme dolininin altındaki mağara tavanının çökmesiyle oluşan çökme dolini, geçirimsiz tabaka altındaki kireçtaşında meydana gelen çözünme ile oluşan çökme dolini (örtü kayası çökme dolini) ve karstik boşluk üzerindeki alüvyal örtüde yüzücü desteğinin ortadan kalkması (su tablasının alçalması) sonucunda oluşan çökme dolini olmak üzere 3 gruba ayırmıştır (Şekil 3.5 b). Waltham (1989) dolinleri; çözünme, mağara çökme, sübsidans ve örtülmüş dolin olarak 4 ana başlıkta incelemiştir.

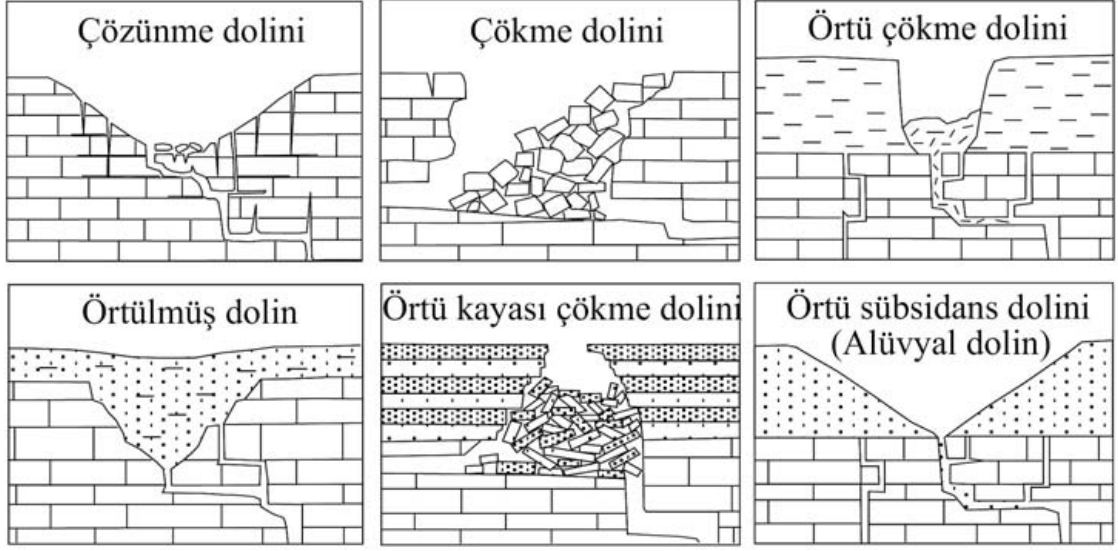
En güncel olarak Lowe ve Waltham (2002) ile Waltham ve Fookes (2005) dolinleri, çözünme dolini, çökme dolini, örtü kayası çökme dolini, örtü çökme dolini, alüvyal dolin (örtü sübsidans dolini) ve örtülmüş dolin olmak üzere 6 gruba ayırmışlar (Şekil 3.6), örtü çökme ve alüvyal dolininin aynı zamanda birer sübsidans dolini tipi olduklarını ifade etmişlerdir.

Ford ve Williams (1989)'ın sınıflamasındaki sübsidans dolini, diğer sınıflamalardan biraz farklı olarak tabakalararası karst alanında tabanda yer alan karstik kayaçtaki çözünmeye bağlı olarak yüzeydeki elastik özellikteki formasyonda meydana gelen tedrici oturmayı ya da aşağıya doğru bükülmeyi ifade etmektedir.





Şekil 3.5. Ford ve Williams (1989)'a göre dolinler (a) dolin tipleri ve (b) çökme dolini tipleri



**Şekil 3.6.** Lowe ve Waltham (2002)'a ve Waltham ve Fookes (2005)'a göre dolin tipleri

### 3.4. Oluşumlarına Göre Dolinler

#### 3.4.1. Çözünme Dolinleri

Çözünme dolini karstik arazilerde en yaygın olarak bulunan ve tanımlanması en kolay olan dolinlerdir. Çözünme dolinleri, karstik kayaç yüzeyinin kimyasal yolla çözünmesi sonucunda meydana gelen, derinlik ve genişlikleri birkaç metreden onlarca metreye ulaşabilen, şekilleri ise dairesel veya eliptik olabilen kapalı doğal çukurluklardır (Jennings, 1971; Sweeting, 1973; Bögli, 1980; White, 1988; Ford ve Williams, 1989; Lowe ve Waltham, 2002; Waltham ve Fookes, 2005). Çözünme dolini oluşumuna tabanda meydana gelen bazı küçük ölçekli çökmeler de eşlik edebilir, ancak bu çökmeler önemli sayılabilecek boyutta değildir (Waltham ve Fookes, 2005). Bu dolinlerin görünüşü çay tabağı, fincan ya da huni şekilli olabilmekte ve genellikle düşük eğimli yamaçlara sahiptirler. Çalışma alanında çözünme dolinleri en fazla gözlenen dolin türünü oluşturmakta olup, inceleme alanındaki birkaç noktadan dolin örnekleri Şekil 3.7-3.11'de sunulmuştur. Şekil 3.7'de görüldüğü gibi, inceleme alanında kimi yerlerde çözünme dolinlerinin duvarlarındaki aşınma sonucunda dolinler birbirleriyle birleşerek daha büyük dolinleri oluşturmakta ve bu duvarlardan geriye kalan kısımlar da jips tepeleri olarak gözlenmektedir.



**Şekil 3.7.** Dolin duvarlarının aşınması ile oluşan jips tepeleri (Soğuk Çermik civarı)

Çözünme dolinleri, jips kaya kütlelerindeki karstlaşma açısından zayıf zonları oluşturan süreksizlikler boyunca yağmur ve kar sularının jipsleri çözererek malzemeyi taşıması sonucu oluşmuşlardır. Jipsdeki kırık ve çatlakların oluşturduğu ikincil gözeneklilik alanlarının çevresinde karstlaşmanın ilerlemesiyle birlikte dairesel şekilli kapalı çukurluklar oluşmaya başlar daha sonra yüzey suları bu çukurlukların merkezine odaklanır ve böylece çözünme dolinlerinin şekillenmesi devam eder. Çözünme dolinlerinin sık olarak bulunduğu alanlar, dolin karst alanları olarak tanımlanabilir. Eğer karstik alandaki dolinler birbirinden alçak sırtlarla ayrılan ve birim alanda sayısı oldukça fazla olan sığ çukurluklar halinde olursa bu tip dolin karstına “poligonal karst” adı verilir (Waltham, 2002). Çalışma alanında da bu nitelikte yüzlerce dolin bulunmakta olup, bölge Waltham (2002)’ye göre poligonal karst alanı olarak tanımlanmıştır (Şekil 3.8-3.10).

Çalışma alanında çözünme dolini olarak tanımlanan dolinler genellikle 5-20 m derinliğe sahip, çoğunlukla yayvan ve bir yönde uzanım gösteren dolinler olup, dairesel

ya da dairesele yakın şekillere sahip dolinler de mevcuttur. Bu dolinler, bazen birbirlerini basamaklar şeklinde de izlemektedir (Şekil 3.11). Çalışma alanındaki bu tür dolinlerin içerisinde genellikle su bulunmamaktadır.



**Şekil 3.8.** Çalışma alanındaki poligonol karst alanları ve çözünme dolinleri (Hafik civarı)



**Şekil 3.9.** Çalışma alanındaki poligonol karst alanları ve çözünme dolinleri (Seyfebili civarı)



**Şekil 3.10.** Çalışma alanındaki poligonal karst alanları ve çözünme dolinleri (Soğuk çermik yolu civarı)



**Şekil 3.11.** Basamaklar şeklinde gözlenen dolinlere bir örnek (Beypınarı GB kesimleri)

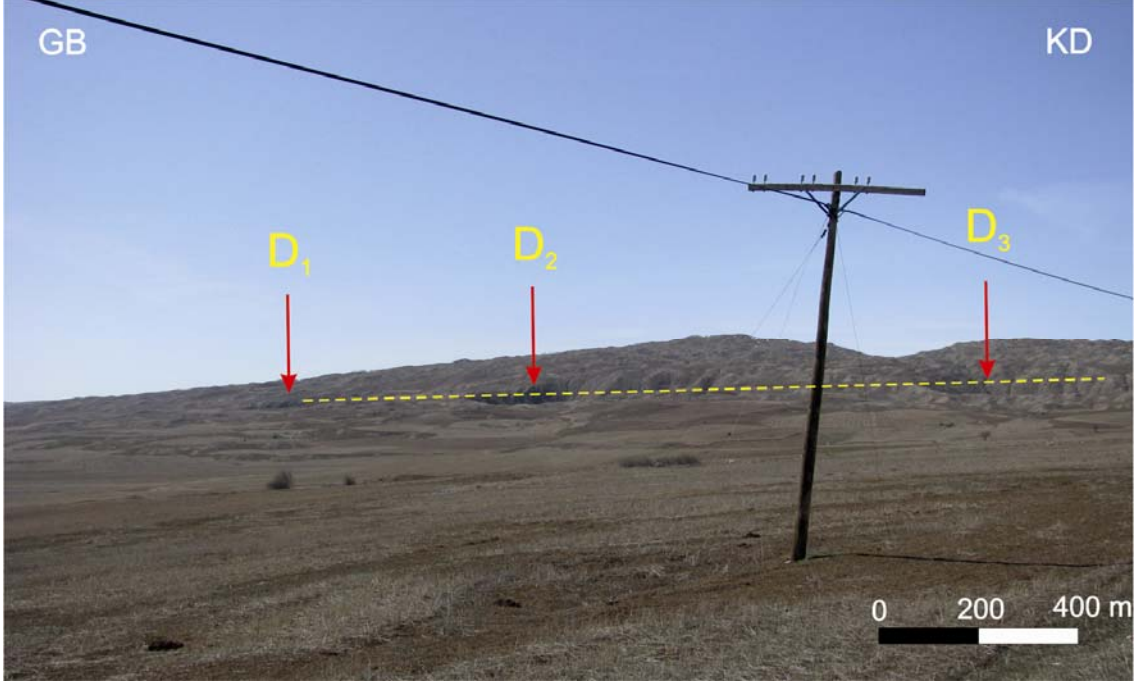
### 3.4.2. Çökme Dolinleri

Çökme dolinleri, karstik yeraltı boşlukları ya da mağara tavanlarının üzerlerindeki yükü taşıyamayacak duruma gelmesi ve süreksizliklerin denetimiyle tavanın aniden çökmesi sonucunda oluşan dolinlerdir. Bu tür dolinler, dairesel ya da huni şekilli olup dik yamaçlara sahiptirler. Çökme dolinleri, derinlikleri ile yamaç eğimlerinin fazla oluşu ve tabanlarındaki iri bloklarla çözünme dolinlerinden kolayca ayrılabilirlerdir. Çökme dolinleri içerisinde derinliği çok fazla ve doğal olarak oluşmuş gölleri de barındırmaktadır (Pekcan, 1995; Karacan ve Yılmaz, 1997; Erinç, 2001; Lowe ve Waltham, 2002). Çalışma alanının yakın civarında da bu şekilde oluşmuş içi su ile dolu derin dolinler gözlenmekte olup, bu yapılar bölgedeki önemli karstik gölleri oluşturmaktadır. Çökme dolinleri, Waltham (1989) tarafından mağara tavanı çökme dolini (cavern collapse doline) olarak da isimlendirilmektedir.

Çalışma alanındaki içleri su ile dolu çökme dolinlerinin çoğunluğu, Kızılırmak Nehri yakınındaki topoğrafik olarak daha düşük kotlarda, yeraltısuyu seviyesinin ise daha sığ derinlikte bulunduğu alanlarda yer almaktadır. Oluşum bakımından genç olan çökme dolinlerinin bazılarının içerisinde jips kaya kütlelerine ait malzemeler bir yığılım halinde görülebilmektedir. Karstik arazilerde yeraltı drenajını sağlayan mağaraların bulunduğu hatlar üzerinde bazen ardarda sıralanmış çökme dolinleri görülebilmektedir. İnceleme alanında da çökme dolinleri kimi yerlerde bir hat boyunca sıralanmış şekilde gözlenmekte olup, bu hattın yönelimi Kızılırmak Nehri'ne doğrudur (Şekil 3.12).

Çökme dolinlerinin oluşmasında karstlaşmanın ileri bir aşamada olmasının yanı sıra, karst taban seviyesi değişikliklerinin de önemli bir payı vardır. Jipsin çözünürlüğünün kireçtaşına göre 10-30 kez daha fazla olması nedeniyle (Böglü, 1980), kireçtaşındaki çözünme 100 yılda milimetreler ile ifade edilirken bu değer jipste 1 m'yi bulmaktadır (Waltham ve Fookes, 2005). Sivas jips karstı alanında yer alan çok sayıda çökme dolini de, jipste bu karstik sürecin hızını kanıtlar niteliktedir. Jips alanları dışındaki karstik alanlarda oluşan çökme dolinleri, çözünme ve çökmenin daha yavaş ilerlemesinden dolayı jipsli alanlardakilere göre daha az tehlikeli olabilmektedir. Saf kireçtaşı dayanıklı ve sert olduğundan, büyük çaptaki bir mağaranın çökmesi ender

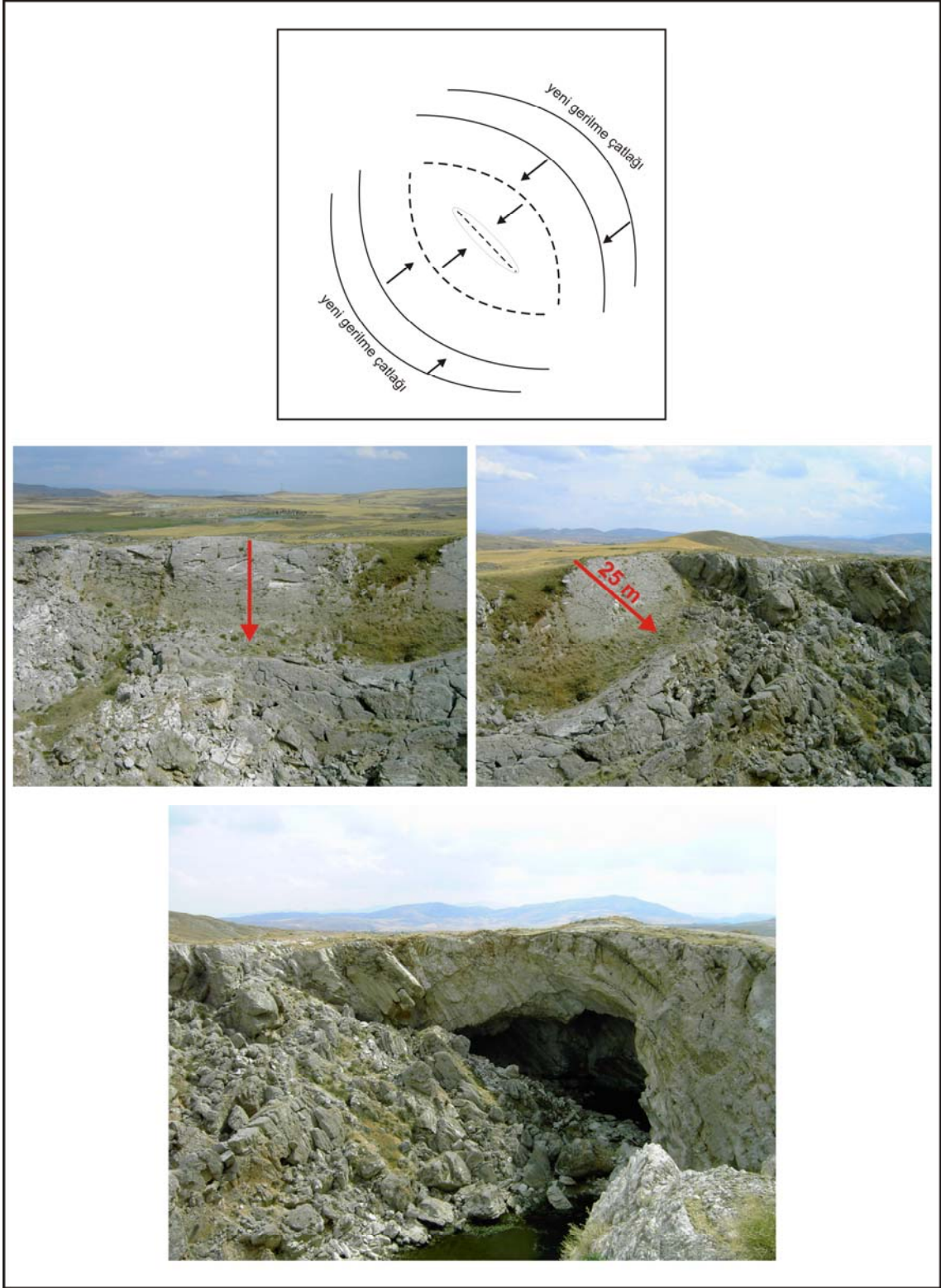
olarak gerçekleşir (Waltham ve Fookes, 2005). Bu nedenle kireçtaşı arazilerinde sık rastlanmayan bu tip dolinlerin çoğu fosil veya eskidir ve genel olarak olgun ya da yaşlı karst alanlarında görülürler (Waltham, 2002).



**Şekil 3.12.** Bir süreksizlik boyunca dizilmiş çökme dolinleri (Hafik Gölü KB'sı)

Çalışma alanı içerisinde derinlikleri 100 m'ye kadar ulaşabilen çeşitli boyutlarda birçok çökme dolini bulunmaktadır. Bu dolinlerin oluşumu gibi gelişimi de süreksizliklerle kontrol edilmekte süreksizliklerdeki bozunma ve aşınmayla tetiklenen dolin yamaçlarındaki heyelanlar dolinlerin çaplarını her geçen gün artmaktadır (Şekil 3.13). Çalışma alanındaki bu dolinlerin bazılarının içerisi su ile dolu iken, birçoğu ise kurudur. Çalışma alanında gözlenen çökme dolinlerinden bazıları Şekil 3.14-3.18'de sunulmuştur.

Çalışma alanında yapılan gözlem ve ölçümlere göre, çökme dolinleri olarak tanımlanan dolinler çözünme dolinlerine göre daha derindir. Buradaki dolinlerin birçoğu, iki dolin arasındaki duvarın erozyonla ya da dolin yamaçlarında meydana gelen heyelanlarla yıkılması sonucu tek bir dolin haline gelmektedir. Oluşan bu yeni dolinin şekli, daireselden çok elips ya da daha yayvan bir şekle sahiptir. (Şekil 3.19).



Şekil 3.13. Çökme dolinlerin oluşumunda süreksizlik ve kütle duraysızlığının etkisi





**Şekil 3.14.** Göl haline dönüşen bir çökme dolini (Büyük Lota Gölü)



**Şekil 3.15.** İçi su ile dolmuş bir çökme dolini (Küçük Lota Gölü)



**Şekil 3.16.** Hafik ilçesinin kuzeyinde oldukça derin bir çökme dolini (Sarı Gelin Çukuru-1)



**Şekil 3.17.** Hafik ilçesinin kuzeyinde 80 m derinliğinde bir çökme dolini (Sarı Gelin Çukuru-3)



**Şekil 3.18.** Seyfebeli civarındaki çökme dolini (Sivas-Hafik yolu GD kesimi)



**Şekil 3.19.** İki dolin arasındaki dolin duvarının yıkılmasıyla oluşan yayvan bir çökme dolini (Hafik KB'sı)

### **3.4.3. Örtü Kayası Çökme Dolini**

Örtü kayası çökme dolinleri, temeli oluşturan kireçtaşındaki veya diğer karstlaşabilir formasyonlardaki bir karstik boşluğun ya da mağaranın üzerinde bulunan karstik olmayan tabakanın çökmesi sonucunda oluşur (Jennings, 1971; Ford ve Williams, 1989; Lowe ve Waltham, 2002; Waltham ve Fookes, 2005; Doğan, 2004). Bu dolinler, üzerinde örtü kayasının bulunmaması durumunda oluşum mekanizması olarak çökme dolinlerine benzerler. Örtü kayası çökme dolinleri, genellikle tabakalar arası karstlaşma olmuş alanlarda ya da paleokarst arazilerinde meydana gelir.

Çalışma alanında jipsin üzerinde herhangi bir karstik olmayan kayaç bulunmamaktadır, bu nedenle inceleme alanında bu tür dolinler gözlenmemektedir.

### **3.4.4. Örtü Zemini Çökme Dolini**

Örtü çökme dolini karstlaşabilir birim üzerinde yer alan alüvyal, kolüvyal kil veya gevşek diğer kalın toprak örtülerinde meydana gelen büyük boşlukların tavanının çökmesi ile oluşur (White, 1988; Ford ve Williams, 1989; Waltham, 1989; Benito vd., 1998; 2000; Buttrick ve Van Schalkwyk 1998; Elorzo ve Santolalla, 1998; Nichol, 1998; Kaufmann ve Quinif, 1999; Arkin ve Gillat, 2000; Cooley, 2002; Doğan ve Çiçek, 2002; Waltham ve Fookes, 2005; Doğan 2004). Örtü formasyonunda yeraltına süzülen sular tarafından alüvyal malzeme yıkanarak ana kayadaki karstik kanallar aracılığıyla taşınmaya devam eder ve böylece örtü içi boşluk sürekli olarak büyür. Örtü çökme dolinleri genel olarak toprak derinliğinin arttığı yerlerde sık gerçekleşmez. Ancak, drenaj ve geçirimsizlik oranları bu durumu değiştirebilir (Waltham, 1989). Bu tip dolinler yükseltinin fazla olmadığı arazilerde ve kuru vadi tabanlarında daha çok, su tablasının yüksek ve yatay uzandığı taban seviyelerinde ise daha az görülür (Waltham, 1989).

Toprak örtüsü içindeki boşlukların büyümesinde ve gelişiminde yeraltısuyu tablasında meydana gelen seviye değişimlerinin önemi oldukça büyüktür (Prokopovich, 1985; White, 1988; Ford ve Williams, 1989; Waltham, 1989; White ve White, 1996;

Nichol, 1998; Tharp, 1999; Taqieddin vd., 2000; Cooley, 2002; Lolcama vd., 2002; Doğan ve iek, 2002; Yang ve Drumm, 2002; Salvati ve Sasowsky, 2002; Waltham ve Fookes, 2005; Doğan, 2004). Su tablasındaki bu seviye değişimleri (eğimlenme-dalgalanma-alçalma), esas olarak toprakta yıkanmayı artmasını sağlayarak dolinlerin oluşumunu tetiklemektedir.

Çalışma alanında bu tür dolinlere çok az rastlanmakta olup, var olan az sayıdaki bu tür dolinler de bazı büyük dolinlerin içerisinde gözlenmektedir. Çalışma alanındaki örtü çökme dolinlerinin çapları 5-10 m, derinlikleri ise 2-4 m arasında değişmektedir (şekil 3.20, 3.21).

#### **3.4.5. rtlmş Dolin**

rtlmş dolin, aslında bir oluşum mekanizmasından çok, karstik gelişme evresinde meydana gelen olaylar, ya da paleocoğrafya hakkında bilgi verir. Bu dolin tipi daha önceden oluşmuş çözünme veya çökme dolinlerinin toprak, alüvyon veya moren gibi gevşek malzemelerle dolması sonucunda oluşur (Waltham, 1989; Lowe ve Waltham, 2002; Waltham ve Fookes, 2005). Bazen örtülmüş dolinler üzerinde sığ çukurluklar olabilir. Bu durum, dolinin içerisini dolduran toprağın kompakt bir hale gelmesi nedeniyle oluşabilir veya derinlerdeki toprağın dolin tabanındaki karstik boşluklar aracılığıyla uzaklaştırıldığı yerlerde görülür.

Çalışma alanı içerisinde bu tür dolinlere yüzey jeolojisi gözlemleri sonucunda rastlanılmamış olmakla birlikte, inceleme alanın yakının civarında bulunan Kızılırmak Nehri yakınındaki düzlüklerde aşınarak kaybolmuş ya da içeri güncel çökellerle doldurulmuş dolinler de bulunmaktadır.

#### **3.5. Görünüm şekillerine Göre Dolinler**

Çalışma alanındaki dolinler, genel anlamda görünümlerine göre; üç grupta sınıflandırılmakta olup bunların ayrıntısı aşağıda verilmiştir.



**Şekil 3.20.** Büyük bir dolin içerisinde gözlenen örtü çökme dolini (Eşek meydanı civarı)



**Şekil 3.21.** Çalışma alanında gözlenen örtü çökme dolini (Buruklu KB'sı)

**Çanak şekilli dolinler:** Bu tür dolinlerin çapları, derinliklerine oranla çok büyüktür. Çap derinlik oranı 10/1 ve yamaç eğimleri  $10^0$ - $12^0$  arasındadır. Tabanı düz olan bu dolinlerde bazen su birikintilerine rastlanılabilmektedir.

**Huni şekilli dolinler:** Bu tip dolinlerin çapları, derinliklerine göre 2-3 kat daha büyüktür ve yamaç eğimleri  $30^0$ - $40^0$  arasında olup, tabanları dardır.

**Kuyu şekilli dolinler:** Genellikle bu tür dolinlerin çapları, derinliklerine göre daha küçük yamaçları ise kayalık ve diktir.

Sonuç olarak, çalışma alanındaki dolinlerin görünümüne göre verilen sınıflama gözeticilerle sınıflandırılırsa, çoğunlukla çanak şekilli dolinler grubunda yer aldığı görülür. Bunun yanında huni şekilli dolinlerde mevcut olmakla birlikte, az sayıdadırlar. Kuyu şekilli dolinler ise, daha da az gözlenmekle birlikte, oluşumları yeni başlamış ve derinliği az olan dolinler bu gruba girmektedir.

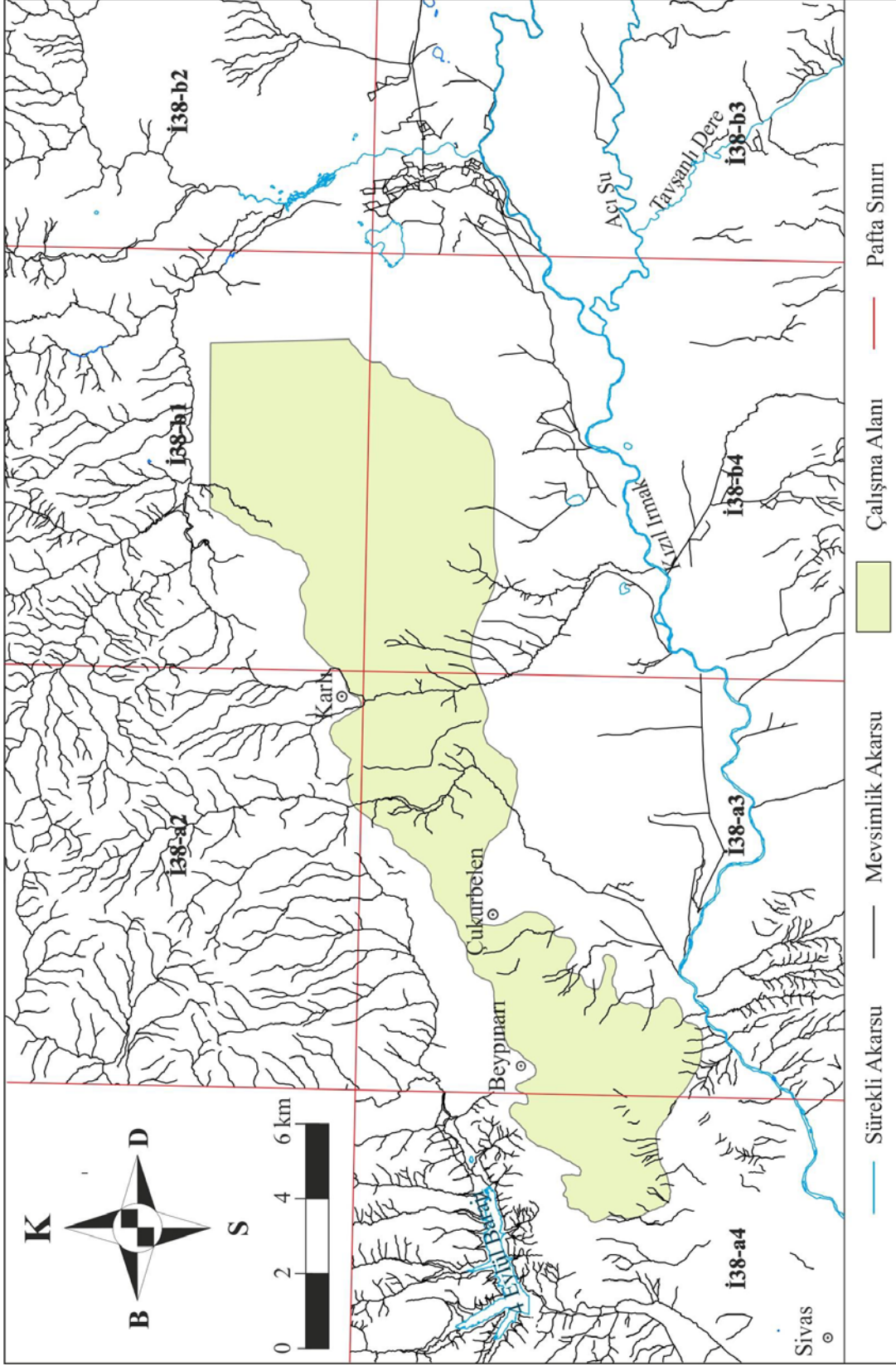
## 4. JEOMORFOLOJİK ÖZELLİKLER

Kızılırmak Nehri'nin kuzeyinde kalan çalışma alanı, D-B uzanımlı yaklaşık 10 km genişliğe sahip bir jips yayılımı sunmaktadır. Bu jips kütlesi, içerisinde farklı görünümde ve değişik koşullarda oluşmuş birbirinden farklı morfometrik özellikler sunan pek çok karstik özellik barındırmaktadır. Çalışmanın bu bölümünde, inceleme alanındaki drenaj unsurlarının genel özelliklerinin yanı sıra, bölgedeki ana karstik yapılar olan dolinlerin, yoğunlukları ve morfometrik özellikleri ayrıntılı olarak irdelenmiş ve dolinlerin temel morfometrik indekslerine ilişkin hesaplamalar sunulmuştur. Jips kaya kütlesi özelliklerinin farklılaşması ile dolinlerin morfometrik özelliklerindeki değişimler ise daha sonraki bölümlerde irdelenmiştir.

### 4.1. Drenaj Ağı ve Akış Özellikleri

Çalışma alanının yakın çevresinde oldukça yoğun olan yüzey drenaj unsurları (kuru ve sulu dereler) çalışma alanında seyrek olarak gözlenmekte olup, çalışma alanı ve yakın dolayında gelişen yüzey drenaj ağını gösteren harita Şekil 4.1'de sunulmuştur. Şekil 4.1'den de görüleceği üzere, inceleme alanı ve yakın çevresinin en önemli yüzey drenaj unsurları, başta Kızılırmak Nehri olmak üzere Acısu Nehri, Tavşanlı Deresi, Binaz Dere, Özderesi, Pire Dere ve Eskiköy Deresi'dir. İnceleme alanında jipsin çok fazla karstlaşabilir olması, yüzey drenaj ağının seyrekleşmesine hatta bazı alanlarda hiç gözlenmemesine sebep olmaktadır. Yüzey drenaj ağının azalması jipsdeki karstlaşmanın etkisiyle bölgede yeraltı drenajının etkin olmasını sağlayarak yeraltı karst kanallarının gelişimine ve karstik şekillerin oluşmasına neden olmaktadır. Tihansky (1999) çalışmasında, dolinleri yeraltısuyu drenaj ağlarının bir parçası olan dairesel şekiller olarak tanımlamaktadır. Bu anlamda çalışma alanındaki dolinler yeraltı drenajı için başlangıç aşamasını oluşturarak suların sahadan drene olmasında önemli bir rol üstlenmektedir. Bu yeraltı drenaj ağının sonlandığı noktalar, çalışma alanı yakın çevresinde gözlenmekte olan karstik kaynaklardır. Söz konusu bu kaynaklar Göydün ve Seyfe kaynakları olup, debileri sırasıyla  $1.10 \text{ m}^3/\text{sn}$  ve  $0.25 \text{ m}^3/\text{sn}$ 'dir (Kaçaroglu vd. 1997).





Şekil 4.1. Çalışma alanı ve yakın dolayının drenaj ağı

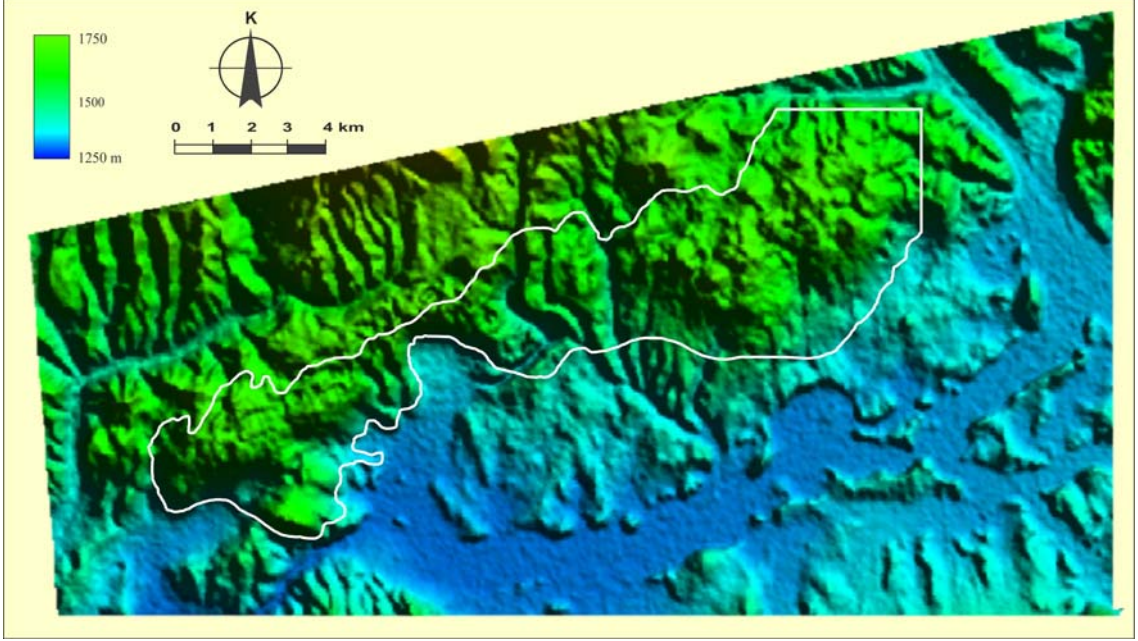
Bu karstik kaynakların debilerinin bu denli yüksek olmaları, bölgedeki yeraltı drenaj ağının büyüklüğünü ve birbirleriyle bağlantılı olduğunu ifade etmektedir. Ayrıca inceleme alanında, büyük debili bu kaynaklardan başka jipslerden boşalan küçük debilere sahip irili ufaklı birçok kaynak da gözlenmektedir. Kaçaroğlu vd. (1997) yaptıkları bilanço hesaplamalarına göre, Göydün ve Seyfe kaynaklarının boşalımlarının % 70'inden fazlasının yüzey drenaj alanı dışından (komşu havzalardan) geldiğini ifade etmektedir. Yine aynı çalışmada araştırmacılar; her iki kaynağın da debilerinin mevsimsel olarak fazla değişmediğini, kimyasal özellikler bakımından da benzerlikler sunduklarını, bundan dolayı da bu iki kaynağın aynı karst akiferinin farklı iki boşalım noktasının olduğunu ifade etmektedirler.

Çalışma alanında Kızılırmak Nehri yakınları ve 1200-1350 m kotları plato şeklinde aşınmış jips düzlüklerini, 1350-1610 m kotları ise dolinlerin yoğunlukta olduğu karstik alanları oluşturmaktadır. Analizlerin yapıldığı dolinlerin gözleendiği bu bölgeler genel olarak güneye doğru eğimli (Kızılırmak Nehri'ne doğru) yamaçları oluşturmaktadır (Şekil 4.2).

#### **4.2. Karst Morfometrisi**

Morfometri, Bates ve Jackson (1987) tarafından yeryüzünün görünümü ve arazi şekillerinin boyut ve biçiminin matematiksel analizi ile ölçümü olarak tanımlanmıştır. Karstik arazi şekilleri için morfometrik tekniklerin uygulanması, karstik şekillerin nesnel ve nicel tanımlamalarının ve analizlerinin yapılmasını sağlamaktadır. Bu analizler; dolinlerin yoğunluk, şekil, derinlik, çevre, alan ve eksenlerinin uzunluklarının ölçümleri ile yönelim gibi bazı boyutsal özelliklerini kapsamaktadır (Denizman, 2003). Karstik şekillerin dağılımı ve morfometrik özellikleri yalnızca iklim gibi küresel değişkenlerle kontrol edilmemektedir. Bunlar aynı zamanda hidroloji, hidrojeoloji, yapısal jeoloji ve karstik ortamın litolojisiyle yakından ilişkilidir. Dolin morfometrisini kontrol eden en önemli çevresel koşulların başında temel kayanın jeolojisi ve derinliği, büyük ve küçük ölçekli süreksizlikler ve yerel hidrojeolojik koşullar gelmektedir (Hack, 1965; Gao, vd., 2002; Green vd., 2002; Brezinski, vd., 2003; Hubbard, 2003). Bu nedenle karstik arazi şekillerin dağılımı ve morfometrik özelliklerinin ayrıntılı olarak

tanımlanıp, zaman içerisindeki değişimleri belirlenerek, litolojik ve çevresel etmenlerin dolinlerin morfometrik özellikleri ve dağılımları üzerindeki etkilerinin ortaya konulması karstik arazi şekillerinin daha iyi anlaşılmasında oldukça önemli olmaktadır.



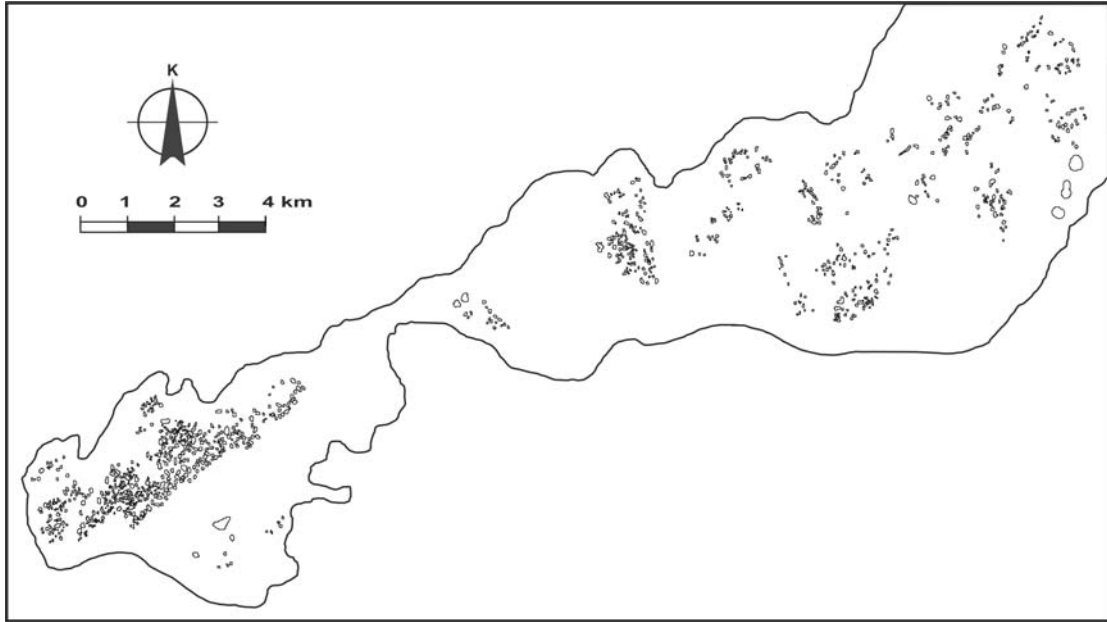
Şekil 4.2. Çalışma alanının üç boyutlu blok diyagramı

Cvijick, (1893)'in yüzlerce karstik şeklin morfometrik özelliklerini ölçerek derinlik-çap oranı ve yamaç açılarını kullanarak oluşturduğu dolin sınıflamasından başlayarak, karst morfometrisi, birçok karstik bölgede karstik yapıların ve özellikle çöküntü yapılarının sayısal olarak tanımlanmasında bir araç olarak etkin bir şekilde kullanılmıştır (Drake ve Ford, 1972; Troester vd., 1984; Williams, 1966, 1972a, 1972b; Pringle, 1973; Day 1976, 1983; White ve White 1979; Ford ve Williams, 1989; Denizman, 1998, 2003; Stafford, 2008).

İnceleme alanındaki dolinlerin morfometrik parametrelerinin belirlenmesinde, başta arazi çalışmaları olmak üzere, 1/25000 ölçekli topoğrafik haritalar, hava fotoğrafları ve Google Earth görüntüleri kullanılmıştır. Çalışma alanında irili ufaklı binlerce dolin bulunmasına karşın, analizler 940 dolin üzerinde gerçekleştirilmiş olmakla birlikte, bu dolinlerin çalışma alanı içerisindeki alansal dağılımları ve göreceli büyüklükleri Şekil 4.3'de verilmektedir. Analizler dikkate alınan 940 dolin seçilirken,

her bir dolinin çalışma alanını temsil edecek ve tüm alanı kapsayacak şekilde konumlanmış olmalarına dikkat edilmiştir. Tercih edilen bu dolinlerin derinlikleri en az 2 m'den ve çapları ise 20 m'den daha büyüktür. Dolinlerin morfometrik ve alansal dağılım parametrelerinin CBS ortamında değerlendirilmesinde, ArcGIS 9.1 (2005) ve Global Mapper 11. programları kullanılmıştır.

Morfometrik ölçümleri yapılan her bir dolinin; derinliği, alanı, çevresi, çapı, uzun ve kısa eksen uzunlukları ile yönelimleri ArcGIS 9.1 (2005) programında oluşturulan dolin "Shape File" dosyasına koordinatlarıyla birlikte öznitelikler olarak tanımlanmıştır. Elde edilen bu verilerin analiz edilmesiyle dolin sayısı ( $N_D$ ), dolin yoğunluğu ( $D_D$ ), dolinlerin uzun ve kısa eksenlerinin uzunlukları ile bunların oranı ( $L/W$ ), dolinlerin dairesellik indeksi ( $I_C$ ), toplam dolinleşmiş alan, ortalama dolin alanı ve ortalama dolin derinlikleri belirlenerek değerlendirmeler yapılmıştır.



**Şekil 4.3.** Morfometrik ölçümlerde kullanılan dolinler ve alansal dağılımları

#### 4.2.1. Yoğunluk Analizleri

Ford ve Williams (1989), dolin yoğunluğunu (depresyon-çöküntü yoğunluğu) çalışılan alandaki çöküntü sayısının toplam karstik alana oranı şeklinde tanımlayarak aşağıdaki eşitlikle ifade etmişlerdir.

$$D_D = \frac{\sum N_D}{\sum A_K} \quad \text{Eş.}$$

4.1

$D_D$ : Dolin yoğunluğu (dolin/L<sup>2</sup>)

$N_D$ : Toplam dolin sayısı

$A_K$ : Toplam karstik alan (L<sup>2</sup>).

Bu çalışma kapsamında incelenen toplam karstlaşabilir alan yaklaşık 92 km<sup>2</sup> olup, bu alan seçilirken alanın tamamen jipslerden oluşmasına, alüvyonlarca örtülmemesine ve dolinlerin yoğun olarak gözlemlendiği alanları içermesine dikkat edilmiştir. Çalışma alanındaki morfometrik özellikleri ortaya konularak haritalanan ve derinliği 2 m ve daha fazla olan dolinlerin sayısı ise 940'tır. Bu özellikler esas alınarak çalışma alanında dolin yoğunluğu, Eşitlik 4.1'den hesaplandığında, alanının tamamı için dolin yoğunluğu 10.21 dolin/km<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır. Ancak saha genelinde dolin yoğunluğu homojenlik sunmamakta olup, bazı kesimlerde yoğunluk artmaktadır. Bu kapsamda, çalışma alanı jips sınırının birbirine çok yakın olduğu Çukurbelen köyü yakınlarında iki bölüme ayrılarak dolin yoğunluğu her bir alan için ayrı ayrı hesaplandığında, alanının GB bölümü için dolin yoğunluğu 17.88 dolin/km<sup>2</sup> ve KD bölümü için ise 7.19 dolin/km<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır.

Çalışma alanında dolin yoğunluğunun dağılımının belirlenmesi amacıyla dolin yoğunluğu dağılım haritası üretilmiştir. Bunun için çalışma alanı, 10 m çözünürlüğünde hücresel veri haline getirilerek CBS ortamında bir katman olarak tanımlanmıştır. İnceleme alanının 10 m çözünürlüklü hücrelere (gridlere) bölünmesi ile 909857 hücre elde edilmiş olup, bu hücrelerin % 49'unda dolin bulunmazken (<1 dolin/km<sup>2</sup>) dolin bulunan hücrelerin oranı ise % 51 olarak hesaplanmıştır. Bu alanda 1 km<sup>2</sup>'deki her bir hücre içerisindeki dolin yoğunluğu 4.2 nolu eşitlikten hesaplanarak ArcGIS 9.1 programında 10 sınıf aralıklı dolin yoğunluğu dağılım haritası üretilmiştir (Şekil 4.4). Şekil 4.4'ten görüleceği üzere çalışma alanında dolin yoğunluğu alanın GB

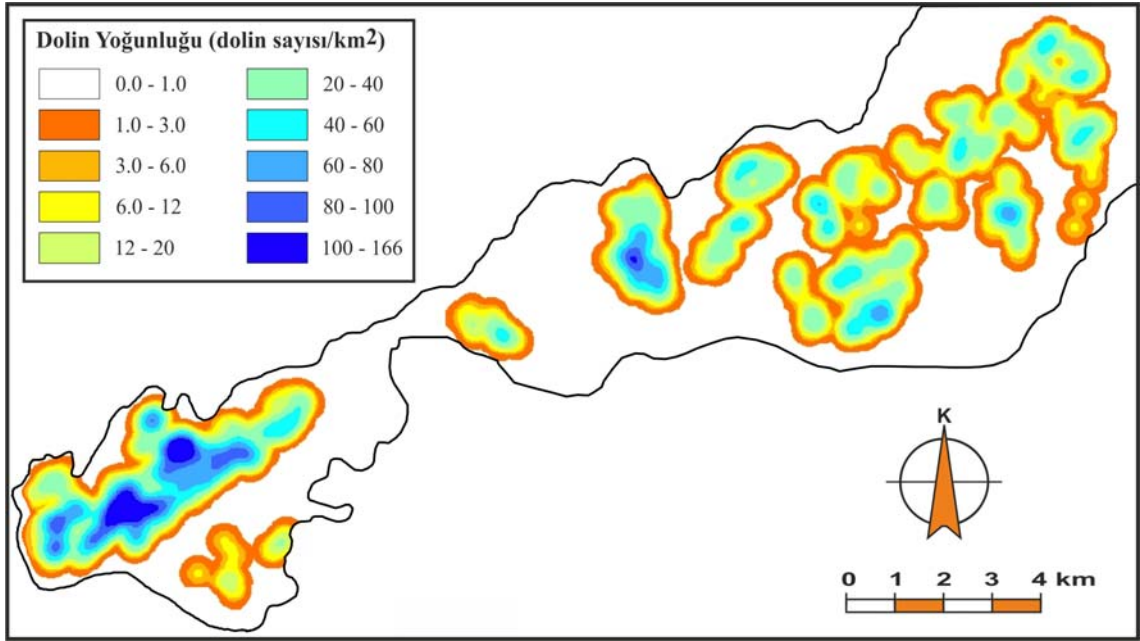
kesimlerinde artmakta, KD kesimleri ise dolinlerin yer yer yoğunlaştığı daha az yoğun alanları oluşturmaktadır.

$$D_{DH} = \frac{\sum N_{DH}}{\sum A_{KH}} \quad \text{Eş. 4.2}$$

$D_{DH}$ : Hücre içerisindeki dolin yoğunluğu (dolin sayısı/ $L^2$ )

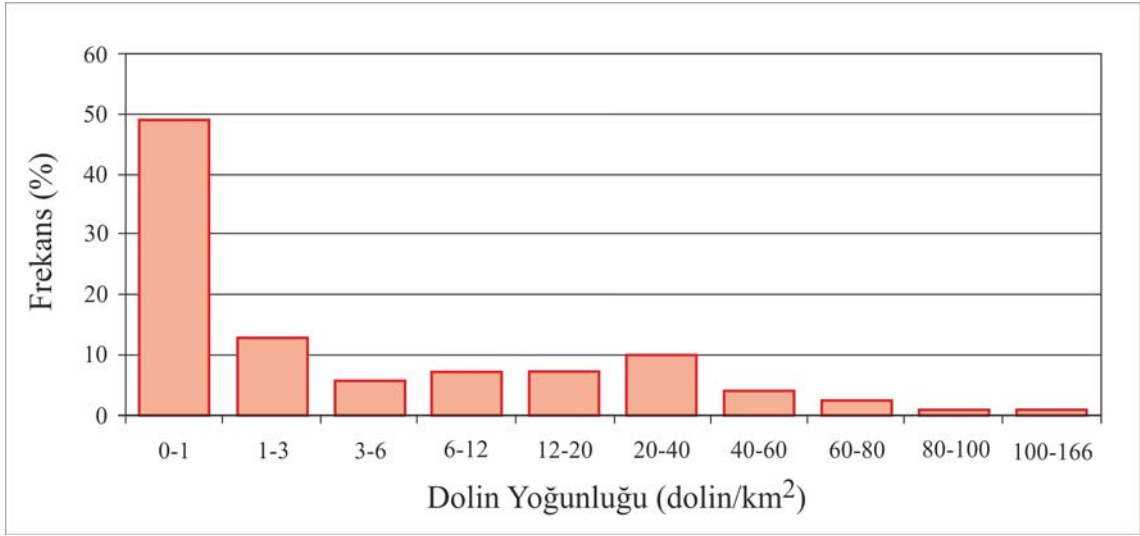
$N_{DH}$ : Hücre içerisindeki toplam dolin sayısı

$A_{KH}$ : Hücre içerisindeki toplam karstik alan ( $L^2$ )



**Şekil 4.4.** Çalışma alanına ait dolin yoğunluğu dağılım haritası

Dolin yoğunluğu haritasına göre dolin yoğunluğu 0 ile 166 dolin/km<sup>2</sup> arasında değişmektedir. Ayrıca program aracılığıyla hesaplanan ortalama ve standart sapma değerleri sırasıyla 3.6 dolin/km<sup>2</sup> ve 13.06 dolin/km<sup>2</sup>'dir. Şekil 4.5'de verilen histogramdan da görüleceği üzere, çalışma alanının yaklaşık yarısında (%49) dolin yoğunluğu 0-1 dolin/km<sup>2</sup> dir.



**Şekil 4.5.** Dolin yoğunluğu dağılımı histogramı

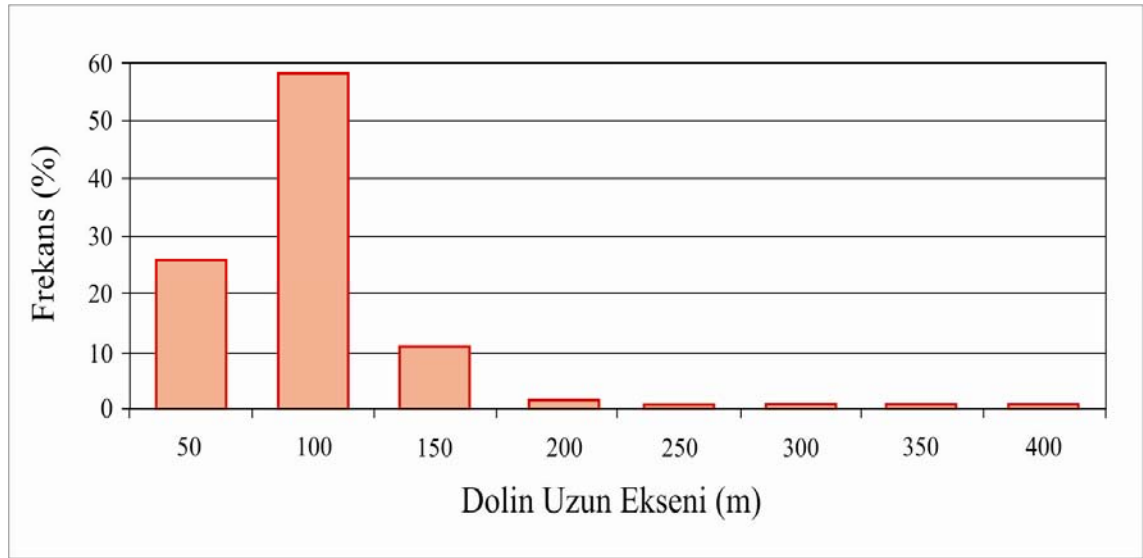
#### 4.2.2. Dolinlerin Düzlemselliği ve Bazı Boyutsal Özellikleri

Düzlemsellik, çöküntü yapısının uzun ekseninin (L) kısa eksenine (W) oranı ve dairesellik indisi ile ifade edilmektedir (Ford ve Williams, 1989; Denizman, 2003). Bir karstik yapının uzun eksenin kısa eksenine oranının 1'e eşit olması eş boyutlu dairesel çöküntüyü, 1'den büyük olması ise ovalleşen bir karstik yapıyı ifade etmektedir.

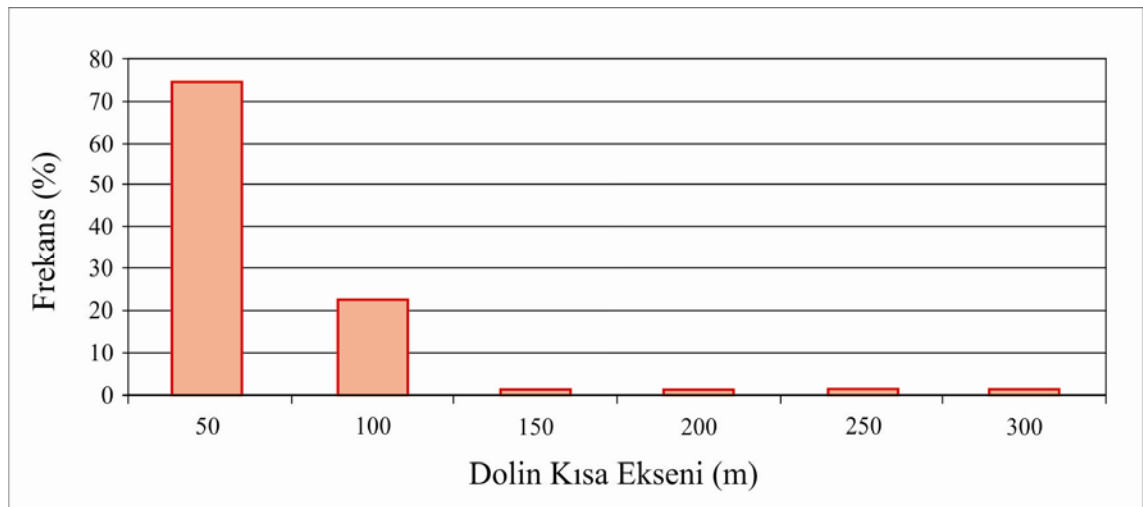
Morfometrik özellikleri tanımlanan 940 dolinin uzun eksen ve kısa eksenlerinin uzunluk değerleri ile uzun eksen/kısa eksen oranına ait basit istatistiksel değerlendirme sonuçları Çizelge 4.1'de sunulmuştur. Bu çizelgeden görüldüğü gibi dolinlerin ortalama uzun eksen değeri 68.52 m, en büyük ölçülen uzun eksen 372 m, en küçük uzun eksen değeri ise 20 m'dir. Uzun eksen ölçümlerine ait standart sapma değeri de 32.99 m olarak hesaplanmıştır. Dolinlerin kısa eksenlerin ortalama, en küçük, en büyük ve standart sapma değerleri ise sırasıyla, 42.01 m, 12 m, 282 m, 19.17'dir. Dolinlere ait bu boyutsal ölçümlerin histogramları oluşturularak Şekil 4.6 ve Şekil 4.7'de verilmiştir. Bu histogramdan görüleceği üzere, dolinlerin yaklaşık % 60'ının uzun eksen değerleri 50-100 m arasında değişmektedir. Aynı şekilde, dolinlerin yaklaşık % 75'nin kısa eksenleri ise 0-50 m arasındadır.

**Çizelge 4.1.** Dolinlerin uzun eksen, kısa eksen ve uzun eksen/kısa eksen oranı değerleri

|                 | Uzun Eksen (m) | Kısa Eksen (m) | L/W  |
|-----------------|----------------|----------------|------|
| <b>Ortalama</b> | 68.52          | 42.01          | 1.69 |
| <b>Min</b>      | 20             | 12             | 1.00 |
| <b>Max</b>      | 372            | 282            | 5.32 |
| <b>SD</b>       | 32.99          | 19.17          | 0.6  |



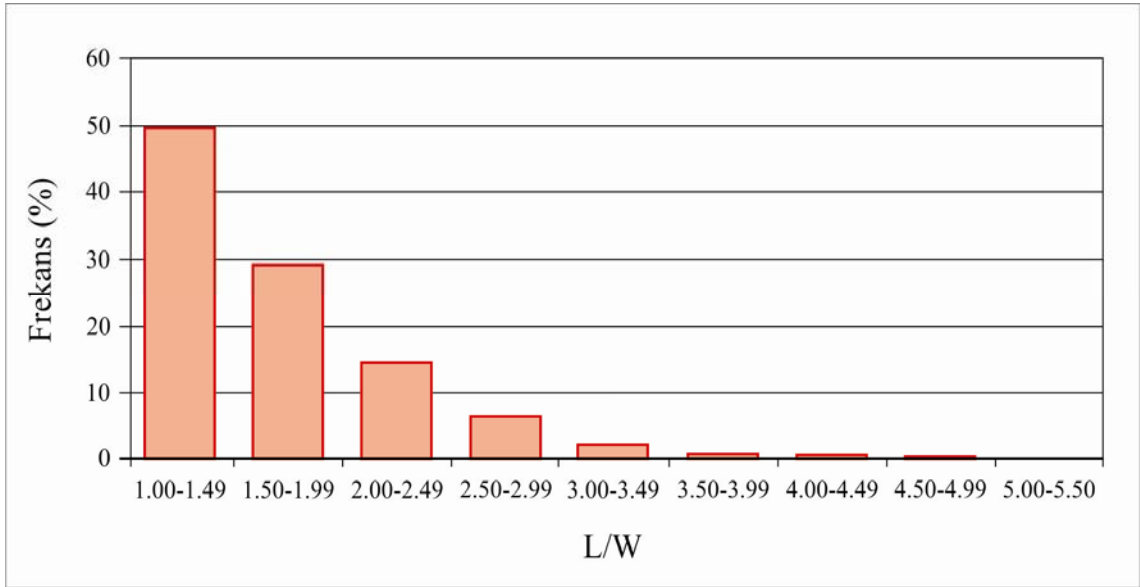
**Şekil 4.6.** Dolinlerin uzun eksen histogramı



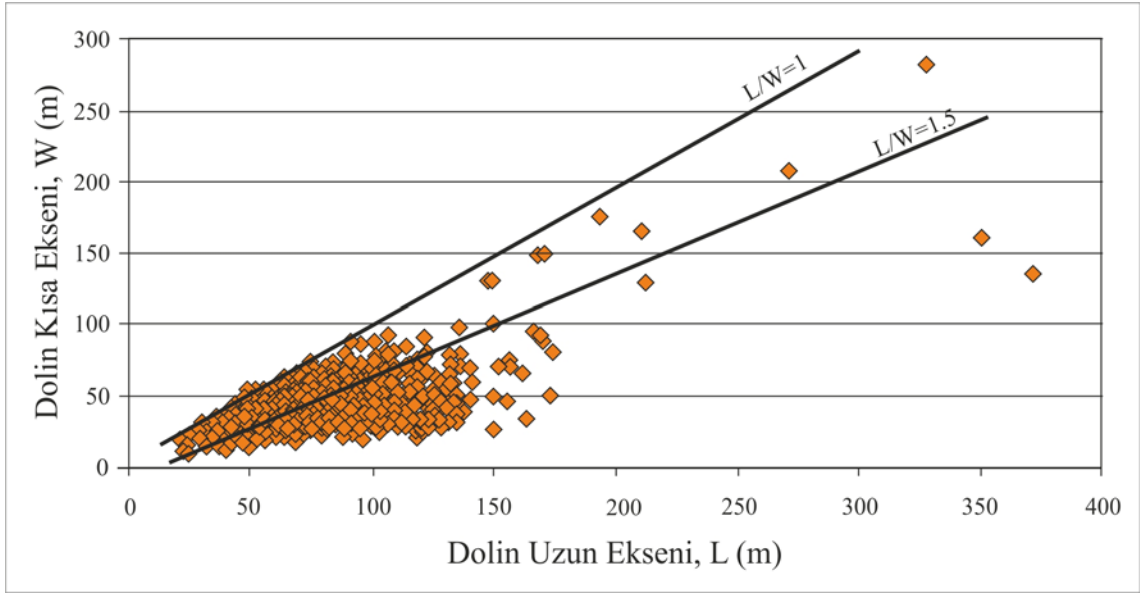
**Şekil 4.7.** Dolinlerin kısa eksen histogramı



Çizelge 4.1'deki dolinlerin uzun eksen/kısa eksen oranlarına (L/W) bakıldığında, ortalama değerin 1.69, en küçük, en büyük ve standart sapma değerlerinin ise sırasıyla 1.00, 5.32, 0.60 olduğu görülmektedir. Çalışma alanındaki dolinlerin tamamının uzun eksen/kısa eksen oranları değerlendirildiğinde dolinlerin % 48'inin L/W oranının 1-1.5 aralığında değiştiği anlaşılmaktadır (Şekil 4.8). Uzun eksen ve kısa eksen arasındaki ilişkiyi gösteren Şekil 4.9'daki grafikten görüleceği üzere, dolinlerin yaklaşık yarısı (L/W=1 ve L/W=1.5 çizgisi arasında kalan dolinler) eş-boyutlu ve dairesel dolinlerle temsil edilmektedir. Çalışma alanındaki dolinlerin uzun eksenlerinin kısa eksenlerine oranlarının 1'e yakın değerlere sahip olması nedeniyle bu dolinlerin büyük bir çoğunluğu dairesel dolinler olarak tanımlanmıştır. L/W oranının daha büyük olduğu dolinler ise eklem yönelimlerine paralel olarak uzun eksenleri boyunca dairesellikten uzaklaşmaktadır. Yine bu oranın artışıdaki bir diğer etkeni ise dolin duvarlarını oluşturan yamaç topuklarındaki oyulmalar nedeniyle yamaçlarda meydana gelen duraysızlıklar oluşturmaktadır.

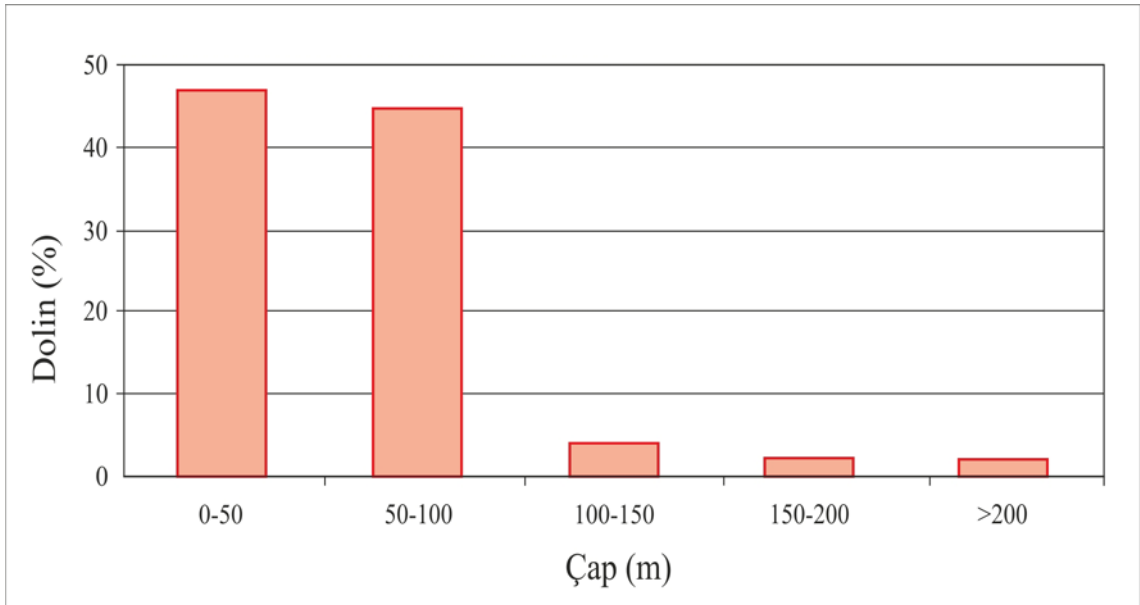


**Şekil 4.8.** Dolinlerin uzun eksen/kısa eksen oranı (L/W) histogramı



**Şekil 4.9.** Dolin uzun ve kısa eksenleri arasındaki ilişki

Alınan kısa ve uzun eksen ölçümlerinden yola çıkılarak dolinlerin çapları da “ $D=(L+W)/2$ ” eşitliği kullanılarak hesaplanmış ve çalışma alanındaki dolin çaplarının dağılımını gösteren bir histogram çizilmiş ve Şekil 4.10’da sunulmuştur. Bu histogramdan görüleceği üzere, çalışma alanındaki dolinlerin önemli bir kısmının çapları 100 m’den daha düşüktür.



**Şekil 4.10.** Dolin çap uzunluklarının dağılım histogramı

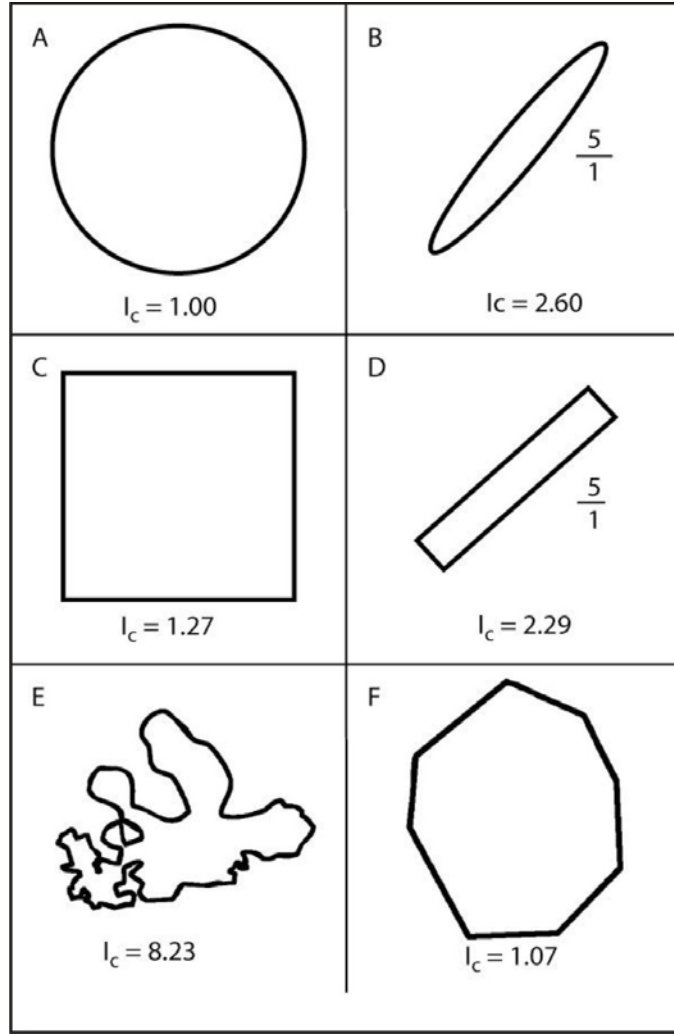
Dolinlerin uzun eksenlerinin (L) kısa eksenlerine (W) oranının yanı sıra, dairesellik indeksi de bu yapıların düzlemselliğini temsil etmekte olup, ideal dairesel yapılar için dairesellik indeksi 1 değerini almaktadır. Söz konusu değerin 1'den itibaren pozitif yönde artması ise, çöküntünün dairesellikten uzaklaşmış ovalleşen çöküntüler olduğunu göstermektedir (Şekil 4.11). Dairesellik indeksi, ölçülen karstik yapının alanı ile aynı çevreli bir dairenin alanı arasındaki oran olarak ifade edilmekte olup, her bir dolin için Bahtijarevic (1996) tarafından önerilen 4.5 nolu eşitlik esas alınarak dairesellik indeksi hesaplanmıştır. Dairesellik indeksi Bahtijarevic (1996) ve Denizman (2003) tarafından bir daireden yola çıkarak söz konusu karstik yapının nasıl bir şekli temsil ettiğinin ifadesi olarak kullanılmıştır.

$$I_C = \frac{A_M}{\pi \left(2 \frac{A_M}{P_M}\right)^2} \quad \text{Eş. 4.5}$$

- $I_C$  : Dairesellik indeksi  
 $A_M$  : Ölçülen çöküntü alanı ( $L^2$ )  
 $P_M$  : Ölçülen çöküntü çevresi (L)

Denizman (2003), dairesellik indeksinin hesaplaması için 4.5 nolu eşitliğinin ters işlevi olan 4.6 nolu eşitliğini kullanmıştır. Her iki yazar da (Bahtijarevic, 1996 ve Denizman, 2003) ölçülen karstik şekil ile aynı çaplı bir dairenin alanı arasındaki oran için dairesellik indeksi terimini kullanmışlardır.

$$I_C = \frac{A_M}{\pi \left(\frac{P_M}{2\pi}\right)^2} \quad \text{Eş. 4.6}$$

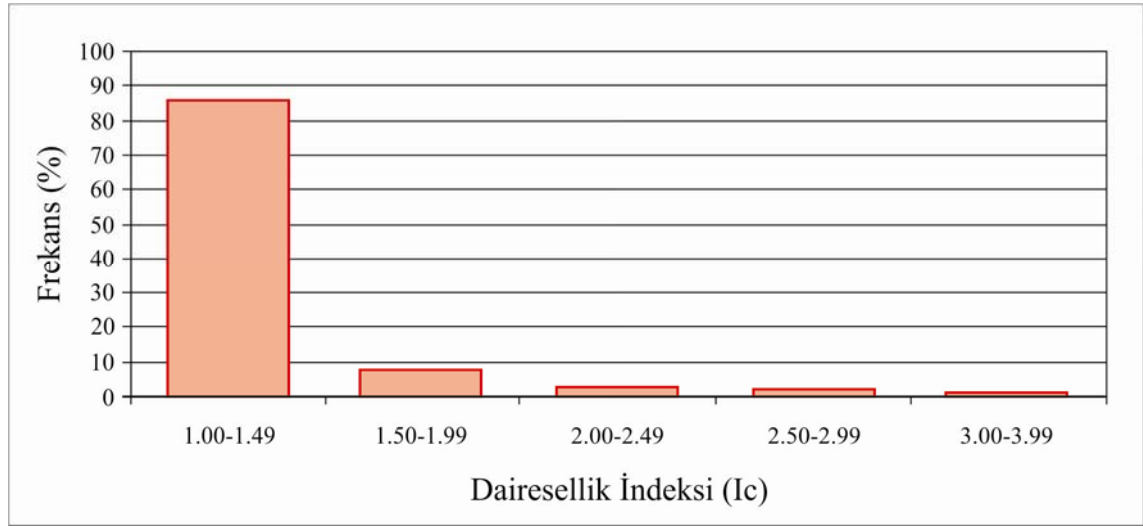


**Şekil 4.11.** Altı şekil için dairesellik indeksi. (A dairesellik indeksi 1'e eşit olan tam bir daireyi temsil etmekte diğer tüm şekiller ise dairesellikten uzaklaşan alanlardır). (Seale 2005'den).

İnceleme alanı için 4.5 eşitliği temel alınarak hesaplanan ve Çizelge 4.2'de sunulan ortalama, en büyük, en küçük dairesellik indeksi ve standart sapma değerleri, sırasıyla 1.23, 1.00, 3.37, 0.26'dır. Çalışma alanındaki dolinlerin dairesellik indeksi ve % dağılımlarını ifade edebilmek için histogram hazırlanarak Şekil 4.12 de sunulmuştur. Bu histograma göre, dolinlerin yaklaşık % 87'sinin dairesellik indeksi 1-1.5 arasında kalmaktadır. Bu husus dikkate alınarak dolinlerin büyük bir çoğunluğunun dairesel ya da dairesel çok yakın bir şekle sahip oldukları söylenebilir.

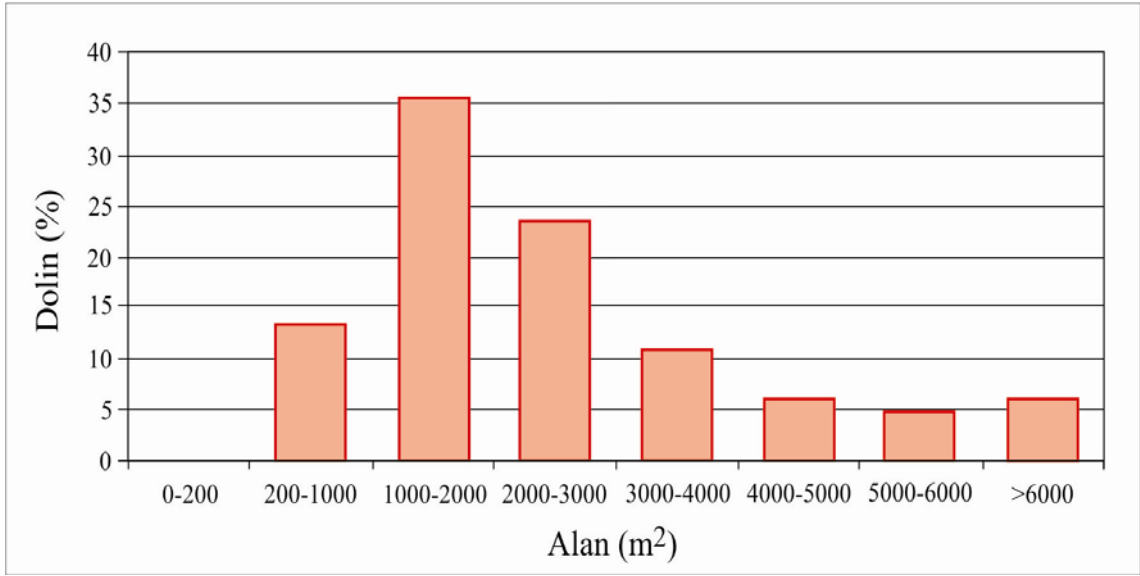
**Çizelge 4.2.** Dolinlerin alan, çevre ve dairesellik indeks değerleri

|                       | Alan (m <sup>2</sup> ) | Çevre (m) | Ic   |
|-----------------------|------------------------|-----------|------|
| <b>Ortalama</b>       | 2826.03                | 193.36    | 1.23 |
| <b>En küçük</b>       | 208                    | 52        | 1.00 |
| <b>En büyük</b>       | 70278                  | 974       | 3.37 |
| <b>Standart sapma</b> | 4119.36                | 91.78     | 0.26 |

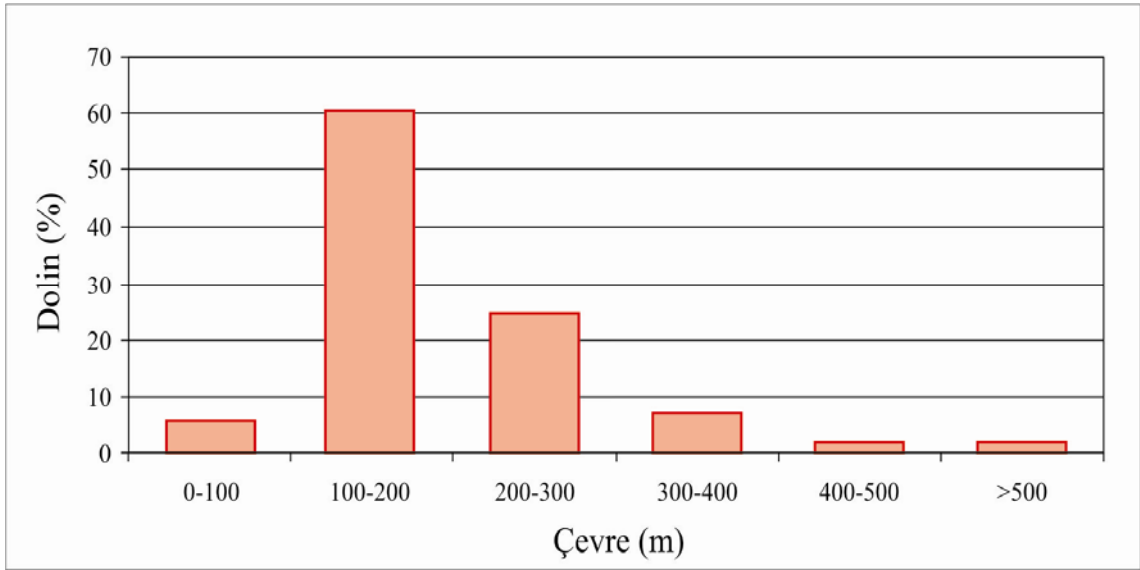


**Şekil 4.12.** Dolinlere ait dairesellik indeksi histogramı

Tez çalışması kapsamında inceleme alanındaki morfometrik özellikleri belirlenen dolinlerin derinlik, alan ve çevre ölçümleri arazi çalışmalarında lazer metre, şerit metre ve CBS gereçleri kullanılarak belirlenmiştir. Yapılan hesaplamalara göre çalışma alanındaki ortalama dolin alanı 2826 m<sup>2</sup>, en büyük dolin alanı 70278 m<sup>2</sup>, en küçük dolin alanı ise 208 m<sup>2</sup>'dir. İncelenen dolinlerin yaklaşık % 35'i 1000–2000 m<sup>2</sup> (0,001–0,002 km<sup>2</sup>) alana sahiptirler (Şekil 4.13). Bu dolinlerin çevre uzunluklarına bakıldığında ise, en büyük çevre 974 m, en küçük çevre 52 m ortalama çevre ise 193 m olarak belirlenmiş olup, dolinlerin çoğunluğunun çevre uzunluğu 100-200 m arasındadır (Şekil 4.14).



**Şekil 4.13.** Dolin alanlarının dağılım histogramı

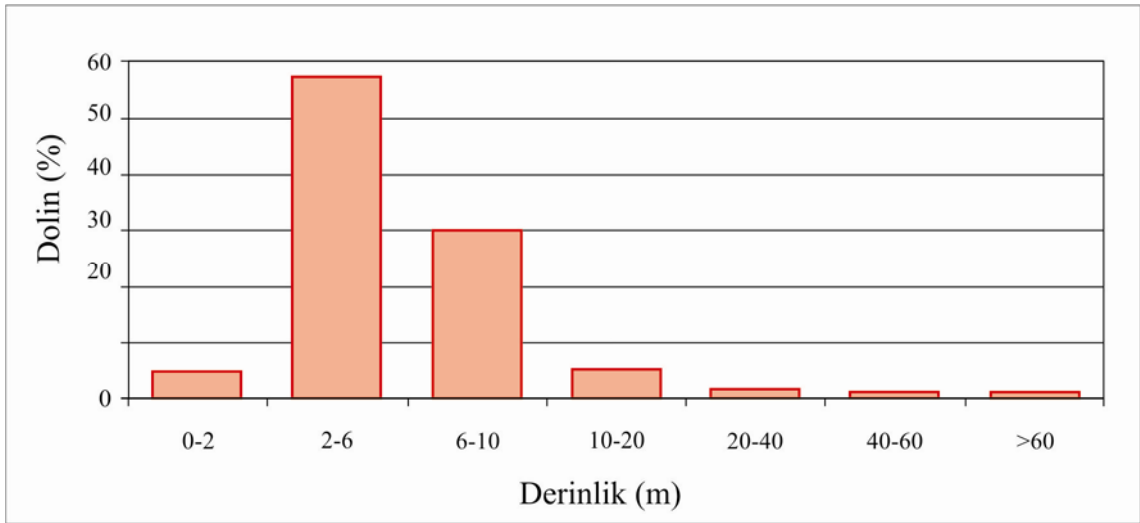


**Şekil 4.14.** Dolin çevre uzunluklarının dağılımı histogramı

Çalışma alanındaki toplam dolin alanının  $2.7 \text{ km}^2$  ve çalışma alanının tamamının jipslerden oluştuğu göz önüne alınarak, çalışma alanın tamamı karstlaşabilir alan olarak düşünülmüştür. Toplam karstlaşabilir alan Global Mapper 12 programı ile  $92 \text{ km}^2$  olarak hesaplanmıştır. Buna göre, çalışma alanındaki karstlaşmış alan toplam alanın yaklaşık % 3'ünü oluşturmaktadır. Yüzeysel karst gelişiminin bir ölçüsü olan çukurlaşma indeksi (pitting index), karstik ortamlarda yüzeydeki çöküntülerin derecesini veya yayılımını göstermekte olup, toplam karst alanının toplam çöküntü alanına oranı olarak ifade

edilmektedir (Ford ve Williams, 1989; Denizman, 2003). Çukurlaşma indeksi, 1 ile sonsuz arasında bir değer almakta ve bu değer 1 olması alanın tamamen çukurlaştığını, bir diğer ifadeyle alanın tamamen çöküntü yapısı ile kaplı olduğunu ifade etmektedir. İnceleme alanındaki toplam karstlaşabilir alan olan jips alanı toplam karstlaşmış alana (dolin alanı) oranlandığında çukurlaşma indeksi  $34.07 \text{ km}^2/\text{km}^2$  olarak hesaplanmıştır.

Çalışma alanındaki dolinlerin tabanı genel olarak güncel çökellerle doludur. Ortalama dolin derinliği 5 m, en sığ dolin derinliği 2 m ve en derin dolin ise 84 m'dir (Şekil 4.15). Çalışma alanındaki bazı dolinler tabanlarındaki bu malzemelerden dolayı çevre halkı tarafından tarım arazisi olarak kullanılmaktadır. Ancak bazı dolinlerde meydana gelen derinleşmelerden dolayı önceden tarım arazisi olarak kullanılan dolinlerin tarımsal olarak işlenmelerinin olanaksız hale gelmesi nedeniyle artık tarım arazisi olarak kullanılmadığı çevre halkı tarafından ifade edilmektedir.



Şekil 4.15. Dolin derinliği histogramı

## 5. JİPS KAYA KÜTLELERİNİN KARAKTERİZASYONU

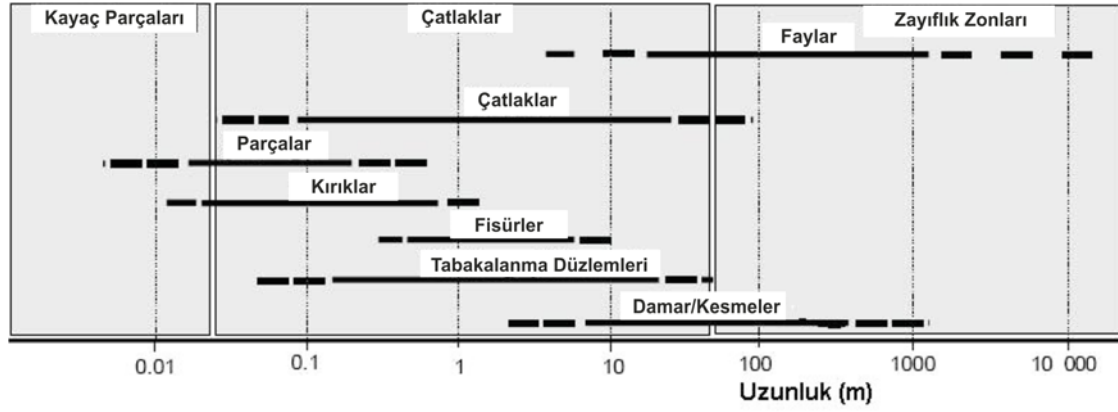
Karstlaşma, çözünürlüğün ve çözünebilen kaya kütlelerine suyun girmesinde önemli bir etken olan geçirimsizliğin bir sonucudur. Kaya kütlelerindeki geçirimsizliğin ana faktörünü ise süreksizlikler oluşturmaktadır. Karstlaşma etkisi altındaki kaya kütlelerinin davranışı; o kayanın türüne, süreksizliklerin durumuna ve kaya kütlelerinin bulunduğu ortamın çevresel koşullarına bağlıdır. Bu nedenle herhangi bir karstik yapının özellikleri, kaya türü ile birlikte süreksizlikler ve ortam koşullarının etkinliği ile şekillenmektedir. Dolinlerin oluşumuna etki eden ana faktörlerin başında da dolinlerin içinde olduğu kaya türü ve jeolojik yapısı gelmektedir (White ve White, 1979; Denizman, 2003; Florea, 2005; Bruno, vd, 2008). Bu karstik şekiller, her ne kadar farklı mekanizmalar ile oluşmuş olsalar da birbirleriyle ortak olan yönleri, bölgenin tektoniği ve buna bağlı olarak yan kayacın kütleli özellikleriyle etkileşim halinde olması ve oluşum mekanizmalarında bu özelliklerin etkinliğidir.

Süreksizlikler tarafından kontrol edilen karst şekillerinin birçok örneği mevcut olup, mağaraların içerisinde gözlenmiş olan ana eklem sistemleriyle bunların oldukça uyumlu bir durum sergiledikleri görülmüştür (Milanovic, 1981). Eklemler kaya kütlelerini kesen süreksizlik sistemlerini oluşturmakta olup, devamlı ve iyi gelişmiş ikincil boşluk ağının oluşumunda önemli bir özelliktir. Kökensel olarak ikincil olmasına rağmen, bu gözeneklilik karstlaşma sürecinde kontrol edici bir faktörü temsil eder. Dolinlerin alansal dağılımlarını denetleyen en önemli faktörlerden bir tanesi de yine hidrojeolojik özelliklerin yanı sıra temel kayanın karakteristiğidir (Hack, 1965). Bu nedenle dolinler, kaya kütlelerindeki süreksizliklerle birlikte düşünülerek değerlendirilmelidir. Bu anlamda Sivas'ın KD'sunda yer alan jipslerin bazı süreksizlik özellikleri belirlenerek süreksizliklerin bölge için ana karstik unsur olan dolinlerin oluşumu üzerindeki etkilerinin araştırılması tezin asıl amacını oluşturmuştur.

Bir kaya kütlelerindeki süreksizlikler, kaya kütlelerinin homojenliğini bozan veya değiştiren yapısal özelliklerdir. Kaya kütlelerindeki tabaka düzlemi, eklem, fay, yapraklanma, ve laminalanmalar başlıca süreksizlik türleri olarak değerlendirilmektedir. Süreksizliklerin boyutları milimetreden kilometreye varan ölçülerde değişim



göstermekte olup, süreksizlikleri Palmström (1995) tarafından Şekil 5.1’de boyutlarına göre sınıflandırılmıştır.



**Sekil 5.1.** Boyutlarına göre süreksizliklerin sınıflandırılması (Palmström, 1995)

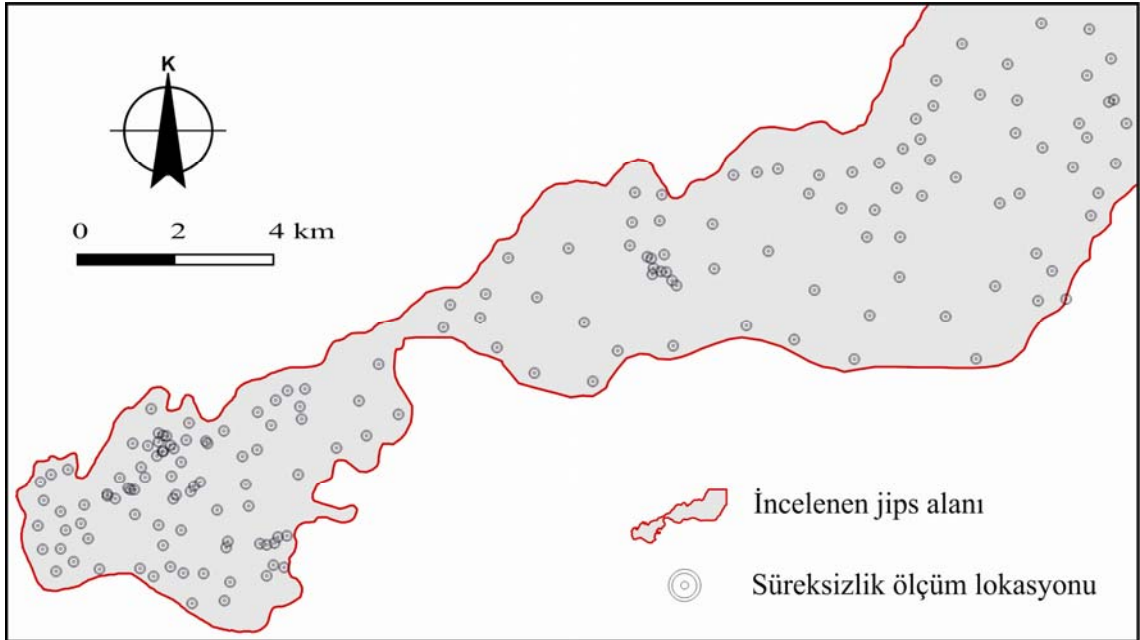
Süreksizlik özellikleri, konumları ve yönelimleri; kaya kütlelerinin deformasyon, dayanım, geçirgenlik vb. gibi özelliklerini önemli derecede etkilemektedir. (Ulusay ve Sönmez, 2002). Bu anlamda, çalışma alanındaki süreksizliklerin de jipslerdeki dolinlerin oluşumlarını denetledikleri düşünülmektedir. Kaya kütleindeki süreksizlik özelliklerinin dolinleri nasıl etkilediğini ortaya koymak amacıyla süreksizliklerin; ISRM (2007) tarafından önerilmiş olan fiziksel parametreleri;

- a) Süreksizliğin türü
- b) Süreksizliğin aralığı
- c) Süreksizliğin devamlılığı
- d) Süreksizlik yüzeyinin pürüzlülüğü ve dalgalılığı
- e) Süreksizlik yüzeyinin açıklığı
- f) Dolgu malzemesinin özellikleri
- g) Süreksizlik malzemesinin dayanımı ve bozunma derecesi
- h) Süreksizlik yüzeyindeki su durumu
- i) Süreksizliğin yönelimi ve süreksizlik seti (takım) sayısı
- j) Blok boyutu

dolin oluşumunda hazırlayıcı faktör olarak düşünülmüş, bazı özellikler ayrıntılı şekilde tanımlanarak karakteristikleri değerlendirilmiş bir sonraki bölümde ise bu faktörlerin

hangilerinin tezin amacına uygun şekilde kullanılabileceği hususu, tartışılarak dolinlerle ilişkilendirilmiştir.

Bu çalışma kapsamında yapılan süreksizlik ölçümleri inceleme alanının karelajlara ayrılmasıyla seçilmiş olan 170 farklı lokasyonda yapılmıştır (Şekil 5.2). Süreksizlik özelliklerinin belirleneceği kaya kütlesi lokasyonlarının seçiminde her bir lokasyonun öncelikle bulunduğu karelajı, bütünde ise çalışma alanının tamamında kullanılacak verileri temsil edecek lokasyonlar olmasına özen gösterilmiştir. Bu lokasyonların arasındaki mesafeler, çalışma alanındaki ölçüm yapılabilecek jips yüzleklerinin varlığına bağlı olarak kimi yerlerde birbirlerine çok yakın olurken, kimi yerlerde ise ölçüm yapılacak yüzlek bulmada yaşanan güçlükler nedeniyle aralarındaki mesafeler artmıştır. Şekil 5.2’ deki kaya kütlesi ölçümü yapılan lokasyonlardan da görüleceği gibi, bu lokasyonlar tüm dolin lokasyonları (Şekil 4.3) ile birebir çakışmamaktadır. Çünkü dolinlerin özellikle yoğunlaştığı yerlerde 5-6 dolin tek kaya kütlesi ölçüm noktası ile temsil edilebilmiştir. Bunun yanı sıra bazı dolinlerde ise toprak örtü ölçüm yapılmasına olanak tanınmamıştır.



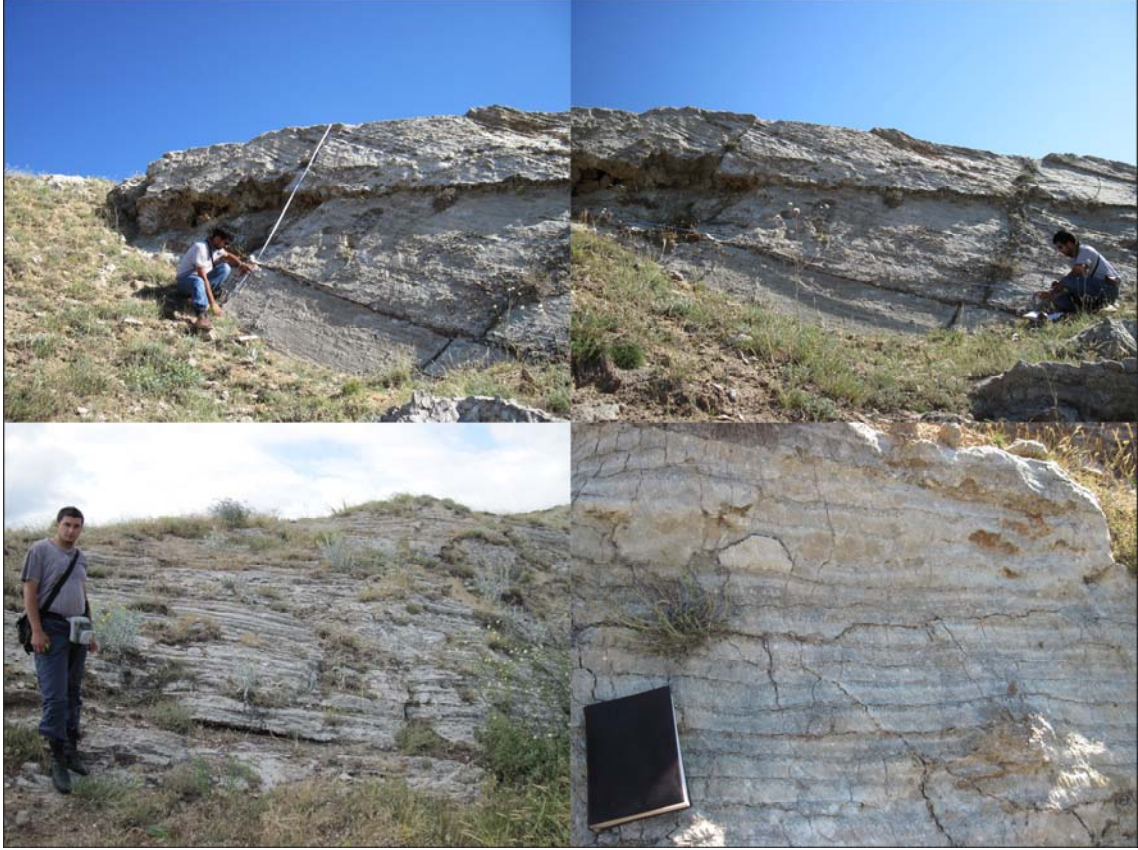
Şekil 5.2. Çalışma alanı içerisindeki kaya kütlesi ölçümü yapılan lokasyonlar

Her bir lokasyonda gerçekleştirilen ölçümler istatistiksel olarak ayrı ayrı değerlendirildikten sonra, ArcGIS 9.1 (2005) yazılımında “*Shape File*” dosyasına o lokasyonun koordinatları ile birlikte öz nitelikler olarak aktarılmıştır. Çalışmanın ilerleyen aşamalarında ise bu dosyadaki her bir parametrenin dağılım haritaları raster olarak sınıflanarak ve her bir sınıfa düşen dolin sayıları Arc GIS 9.1’de ki “Raster Calculator” aracı kullanılarak hesaplanmış ve bu parametrelerle dolinler ilişkilendirilmiştir. Bu lokasyonların arasındaki mesafeler, ölçümlerin gerçekleştirileceği jips yüzleklerini bulmada yaşanan sıkıntılar nedeniyle bazı yerlerde birbirlerine çok yakın olurken, kimi yerlerde ise bu güçlükler nedeniyle aralarındaki mesafeler artmıştır.

Süreksizlikler çeşitli yöntemlerle incelenebilmektedir. Bunların başlıcaları; hat etüdü, pencere haritası, sondaj karotlarının jeoteknik amaçlarla loglanması, yönlendirilmiş karot ve sondaj kamerası veya tarayıcısı gibi tekniklerdir. Çalışma kapsamında jips kaya kütleindeki süreksizlik ölçümleri, ölçümlerin bir hat boyunca yapıldığı hat etüdü (ISRM, 2007; Priest ve Hudson, 1976; Wittke, 1990; Priest, 2004) ve hat etütlerinin yapılamadığı bazı lokasyonlarda da yüzlek taramaya yönelik olarak pencere haritalamasıyla (Pahl, 1981) gerçekleştirilmiştir (Şekil 5.3). Bu çalışmada hat etütleri, incelenen her lokasyondaki süreksizliklerin aralıkları ve devamlıkları göz önünde bulundurularak ve uygun uzunlukta yüzlekler seçilerek biri süreksizlik doğrultusu boyunca diğeri doğrultuya dik yönde bazen de tek bir hat boyunca yapılmıştır.

Priest ve Hudson (1976)’a göre; bir kaya kütleindeki süreksizlikleri tanımlayabilmek için 1000–2000 arasında süreksizliğin incelenmesi gerekmektedir. Bu kapsamda 5–15 kadar farklı lokasyondan 150–350 kadar ölçüm yapılması ana jeolojik yapı ve kaya türlerinin temsili için gereklidir. Ancak, kaya kütleindeki süreksizlik karakterinin önemli düzeyde değişim gösterdiği yerlerde ve mühendislik tasarımlarına daha fazla önem gösterilmesinin gerekli olduğu durumlarda, ölçüm sayısını arttırmak gerekebilir. Bu anlamda hat etütlerinde seçilen yüzleklerde 150-350 arasında değişen sayıda süreksizliğin ölçüleceği hatların seçilmesine, pencere haritalamasının yapıldığı

lokasyonlarda ise, Priest (1993)'in önerdiği gibi, pencerenin her bir kenarının 30-100 süreksizliği kesecek uzunlukta olmasına dikkat edilmiştir.



**Şekil 5.3.** Hat etüdü ve pencere haritasının yapıldığı bir yerlerden görünüm

Bu tez çalışmasında, dolin oluşumunun hazırlayıcı faktörleri olduğu yaklaşımıyla yola çıkmış olan kaya kütlesi özellikleri kullanılarak “*dolin oluşabilirliği modelleri*” Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ortamında hazırlanmıştır. Kaya kütlesine ait birçok özellik olmasına karşın, modellerin üretilmesinde kullanılacak faktörlerin seçilmesi sırasında, bu faktörlerin hassas modellerin üretimini sağlayacak şekilde mümkün olduğunca tanımlayıcı ve az sayıda olmasına, aynı zamanda da seçilen özelliklerin birbirlerini tekrarlamamasına özen gösterilmiştir.

### **5.1. Süreksizliğin Türü**

Süreksizlik türleri; dokanak, tabakalanma, fay, fay zonu, makaslama zonu, eklem, foliasyon, dilinim, damar, şistozite, laminasyon, fissür vb'dir. Süreksizliklerin kaya

kütlesi içersinde aynı zamanda birer zayıflık düzlemleri olmaları nedeniyle türlerine bağlı olarak, kaya kütlelerinin dayanımı ve davranışı üzerinde farklı etkiye sahip olabilirler. Süreksizlik türlerine bağlı olarak değişen en önemli özellik, süreksizlikle birlikte meydana gelen olası yer değiştirme miktarıdır. Örneğin yer değiştirme, fay ve makaslama zonlarında birkaç santimetreden metrelere ulaşırken eklemler için yer değiştirme miktarı hemen hemen hiç söz konusu değildir. Bu tez çalışması kapsamında, bölgede çalışmaya dahil edilen masif jips kaya kütlelerindeki özellikleri tanımlanabilen hakim süreksizlik türü “*eklem*” dir. Diğer süreksizliklerin çalışma alanında gözlenememesinden dolayı süreksizliğin türü dolin oluşumunda bir etken veya dolin oluşumunu hazırlayıcı bir faktör olarak değerlendirilmemiştir.

## 5.2. Süreksizlik Aralığı

İnceleme alanında yapılan süreksizlik ölçüm çalışmaları sırasında süreksizlik aralığı ölçümleri, süreksizliklere dik yönde komşu süreksizliğe kadar olan uzaklıkların ölçülmesi ile gerçekleştirilmiştir. Aralık ölçümleri çoğunlukla hat etüdü yöntemi ile yapılmış olup, bu yöntemin yapılamadığı durumlarda pencere haritalaması yöntemi kullanılmıştır. Jipslerdeki her bir eklem seti için aralık ölçümleri şerit metre, lazermetre ve cetvel kullanılarak yapılmıştır (Şekil 5.4). Aralık ölçümleri, çalışma alanının tamamını temsil edecek şekilde planlanan 170 farklı kaya kütlesi ölçüm lokasyonunda gerçekleştirilmiştir. Kaya kütlesi özelliklerinin tanımlandığı bu lokasyonlarda yapılan her bir ölçüm kendi içerisinde istatistiksel olarak değerlendirip histogramları hazırlanarak, yığışım yapan aralık değeri o lokasyona ait enlem boylam değeri ile CBS ortamına aktarılmış ve o nokta için aralık değeri olarak tanımlanmıştır. Süreksizlik aralıklarının ölçülmesi genellikle kaya kütlesi içerisinde görünmeyen blokların boyutlarının ve boyut dağılımlarının ortaya konulması amacıyla yapılırken bu çalışmada süreksizlik aralıklarındaki değişimin dolinleri nasıl etkilediğinin ortaya konulması amacıyla yapılmıştır.

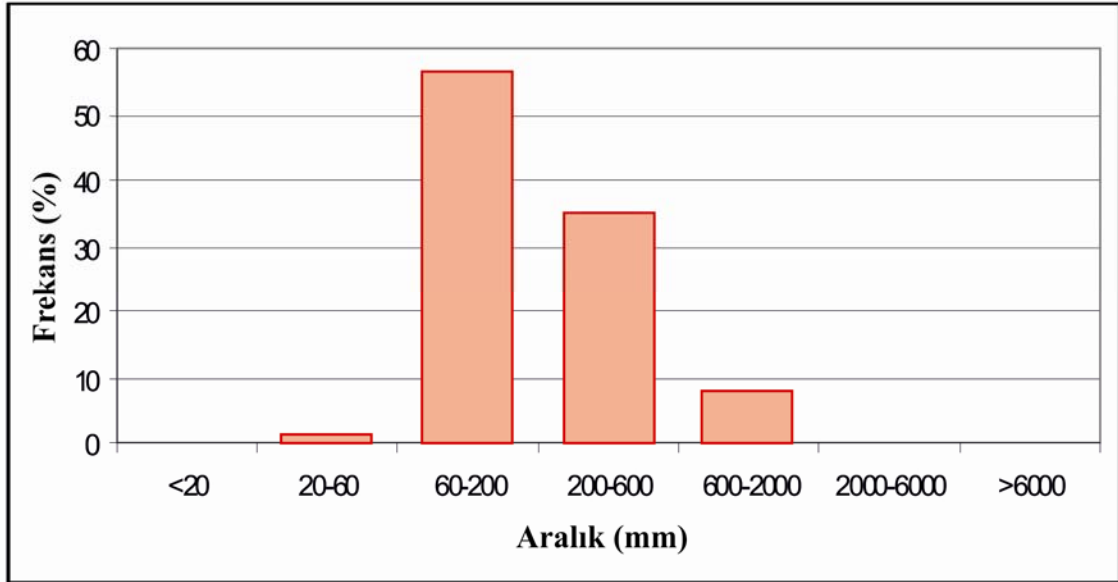
Süreksizlik aralık değerlerinin ortaya konulması jeostatistiksel bir yöntemdir. Bir topluluktan alınan aralık frekans dağılımı temel olarak negatif eksponansiyel dağılım, loğ-normal ve normal dağılım göstermektedir (Rives vd., 1992). Çalışma alanının tamamı için süreksizlik aralık ölçümleri istatistiksel olarak değerlendirildiğinde, süreksizlik aralıklarının % 50’den fazlası 60-200 mm arasında değişmekte olup, çalışma alanında 20-60 mm, 200-600 mm ve 600-2000 mm aralıklı süreksizlikler de mevcuttur. İnceleme alanındaki süreksizlik aralığı değerleri ISRM (2007) tarafından önerilmiş süreksizlik aralığı tanımlama ölçütleri esas alınarak değerlendirildiğinde, eklem aralıkları “*dar aralıklı*”dan “*geniş aralıklı*”ya kadar değişmekte olup, (Çizelge 5.1) çoğunluğu “*yakın aralıklı*” olarak tanımlanmaktadır (Şekil 5.5).



**Şekil 5.4.** Jips kaya kütlelerindeki süreksizlik aralıklarının hat etüdü yöntemiyle ölçülmesi (Seyfebeli civarı)

**Çizelge 5.1** Süreksizlik aralık tanımla ölçütleri (ISRM, 2007).

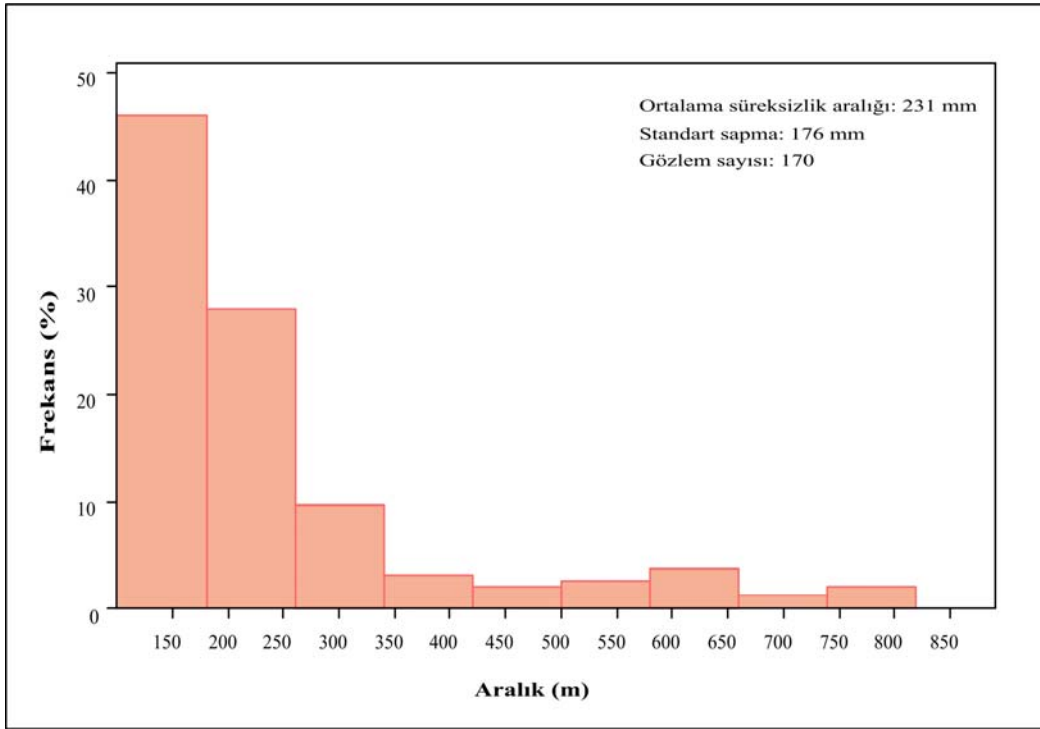
| Aralık (mm) | Tanımlama                     |
|-------------|-------------------------------|
| <20         | Çok dar aralıklı              |
| 20-60       | Dar aralıklı                  |
| 60-200      | Yakın aralıklı                |
| 200-600     | Orta derecede aralıklı        |
| 600-2000    | Geniş aralıklı                |
| 2000-6000   | Çok geniş aralıklı            |
| >6000       | İleri derecede geniş aralıklı |



**Şekil 5.5.** Süreksizlik aralık tanımlama ölçütlerine ait histogram

Süreksizlik aralık - % frekans dağılımlarındaki negatif eksponansiyel dağılım hat boyunca süreksizlik aralıklarının birbirinden bağımsız ve rastgele dağıldığını ifade etmektedir. Düzgün dağılımda bütün aralıklar eşit bulunma olasılığına sahiptir. Normal dağılımda ise ortalama aralık en çok görülen değer olmaktadır. Jeolojik ve mekanik faktörlerin etkisi ile kaya kütleleri içinde süreksizlik dağılımları iki veya daha fazla dağılım tipinin karışımı olan karmaşık modeller göstermektedir. Geniş kaya kütleleri için dağılım, negatif eksponansiyel dağılıma yaklaşmaktadır (Hudson ve Priest 1979). Çalışma alanında ölçülen aralık değerleri üzerinde yapılan istatistiksel hesaplamalara

göre, ortalama aralık değeri 231 mm, standart sapma değeri ise 176 mm olarak belirlenmiştir. Aralık histogramı daha duyarlı bir aralık değişimi ile yeniden çizildiğinde en çok yığılım olan aralık değerinin yaklaşık % 47'lik bir yüzde ile 180 mm kadar olan aralık değerlerinin oluşturduğu görülmektedir. Bu histogramdan da görüleceği üzere çalışma alanındaki süreksizlik aralığı dağılımları negatif eksponansiyel dağılım göstermektedir (Şekil 5.6).



Şekil 5.6. Süreksizliklere ait eklem aralığı histogramı

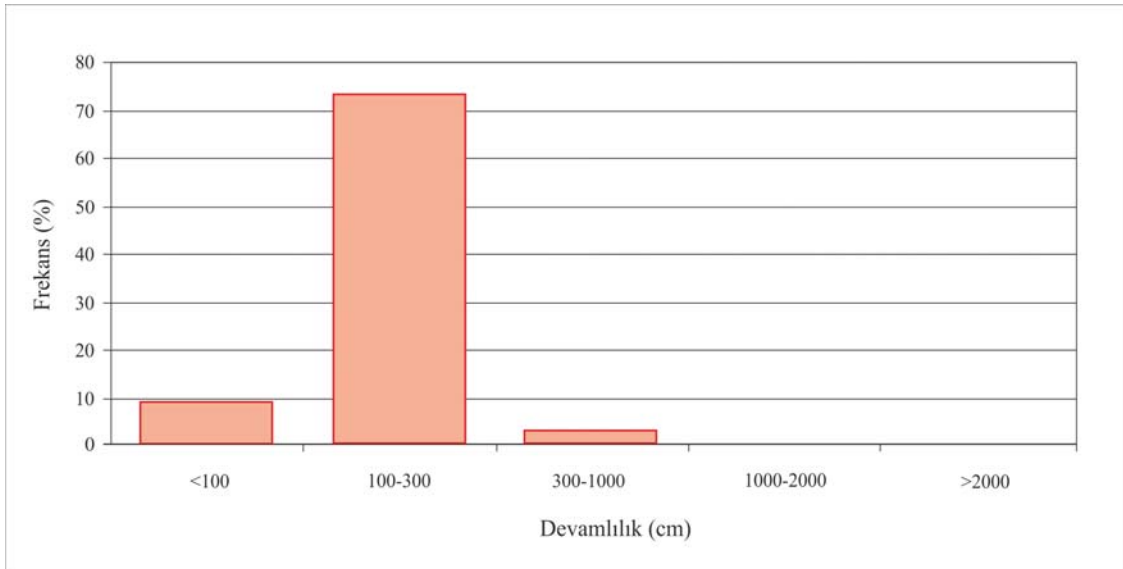
### 5.3. Süreksizlik Devamlılığı

Kaya kütlesi özelliklerinin ölçümü sırasında, süreksizliklerin boyu ve alansal uzunluğu ile belirtilen devamlılıkları da şerit metre yardımıyla ölçülerek süreksizlik izleme formlarına kayıt edilmiştir. Ölçüm lokasyonlarında eklem düzlemlerinin eğim yönündeki uzunluklarının şerit metre kullanılarak ölçülmesiyle yaklaşık olarak belirlenen eklem devamlılıklarının histogramları çizilerek frekans dağılımları belirlenmiştir. Çalışma alanındaki jipsler genelde oldukça kalın bir tabakalanma özelliği sunmakta ve çalışma alanının tamamında tabakalanmalar oldukça devamlı bir özellik



göstermektedir. Bu anlamda devamlılık analizlerinde yer yer değişkenlik sunan eklem devamlılığı parametresi kullanılmıştır.

Histogramlara göre ortalama devamlılık 159 cm, en küçük 60 cm en büyük 418 cm, standart sapma ise 63.00 dür (Şekil 5.7). Çalışma alanındaki birimlerde ölçülen eklemlerin devamlılıklarının tanımlanmasında ISRM. (2007) tarafından önerilen devamlılık tanımlama ölçütleri (Çizelge 5.2) kullanılmış olup, jipslerdeki süreksizlikler “çok düşük-düşük derecede devamlı” olarak değerlendirilmiştir (Şekil 5.8). Jips kaya kütlelerindeki eklemler çoğunlukla bir başka eklem tarafından kesilerek devamlılıkları sınırlandırılmaktadır.



Şekil 5.7. Eklem devamlılığı histogramı

Çizelge 5.2. Devamlılık tanımlama ölçütleri (ISRM, 2007)

| Tanımlama                 | Devamlılık |
|---------------------------|------------|
| Çok düşük devamlılık      | <1 m       |
| Düşük derecede devamlılık | 1-3        |
| Orta devamlılık           | 3-10 m     |
| Yüksek devamlılık         | 10-20 m    |
| Çok Yüksek devamlılık     | >20 m      |



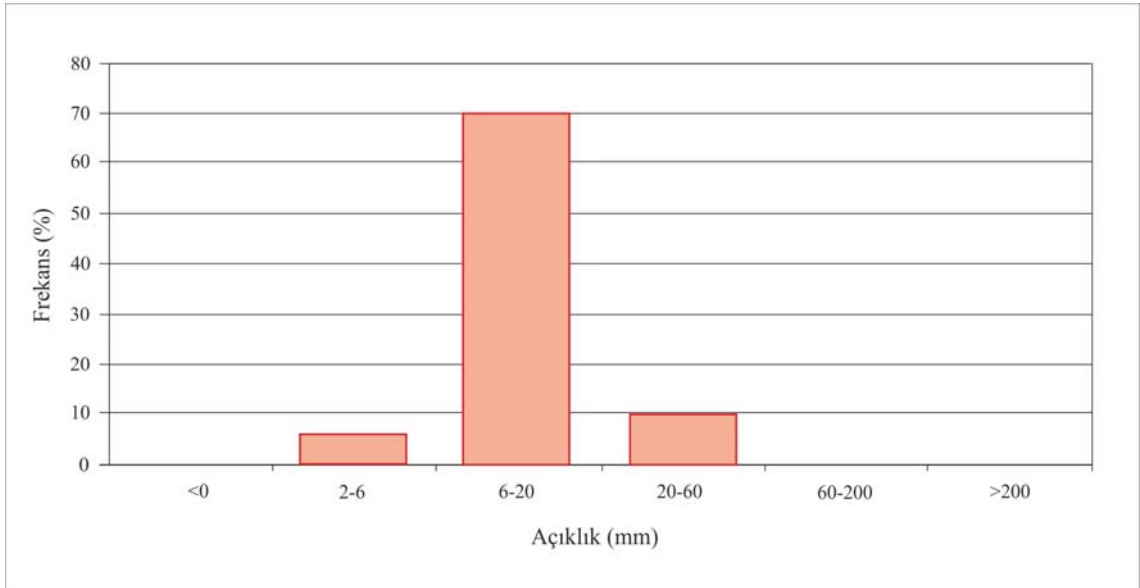
**Şekil 5.8.** Jipslerdeki eklemlerin devamlılıklarından bir görünüm (Büyük Tepe civarı)

#### **5.4. Süreksizlik Yüzeylerinin Pürüzlülüğü ve Dalgallığı**

Süreksizlik yüzeylerinin sahip olduğu pürüzlülük ve dalgallık durumu ve bunların büyüklükleri ile şekilleri, söz konusu süreksizlik yüzeylerinin makaslama dayanımını denetleyen oldukça önemli bir bileşendir. Küçük ve büyük ölçekte düzlemsellikten sapma olarak tanımlanan bu iki özellikte de söz konusu sapmalar genellikle küçük ölçeklerde kalmakta olup, kaya türüne de bağlı olarak, özellikle yüzey sularının akışı ve bunların süzülmesi ile yeraltısuyu dolaşımı sırasında zaman içerisinde kolaylıkla değişebilirler. Bu nedenle, çözünmeye duyarlı ve uzun dönemde bu özelliğini yitirebilecek olan jipslerde süreksizlik yüzeylerinin pürüzlülüğü ve dalgallığı bu tez çalışması kapsamında yukarıda belirtilen nedenlerle zamana bağlı olarak kısa sürede değişim göstereceği, dolayısıyla bu çalışmanın amacı açısından hatalı değerlendirmeye neden olabileceği düşünülerek potansiyel hazırlayıcı bir faktör olarak analizlere dahil edilmemiştir.

## 5.5. Süreksizlik Açıklığı

Süreksizlik etüdü lokasyonlarındaki ölçümler sırasında süreksizlik izleme formlarına kayıt edilen açıklık değerleri her lokasyon için ayrı ayrı histogramlar hazırlanarak tanımlanmıştır (Şekil 5.9). ISRM (2007), açıklık parametresi değerlendirilirken, her süreksizlik seti için ortalama açıklık değerinin belirlenmesi gerektiğini, ortalama açıklık değerinden daha büyük açıklık değerine sahip süreksizliklerin ise yer ve yönelimleri ile tanımlanmasını önermiştir. İnceleme alanında süreksizliklerin açıklığı, kaya yüzleklerinin yüzeyi döküntülerden temizlenerek, belirlenen etüt hattını kesen tüm süreksizliklerin açıklıklarının kumpas ve cetvel kullanılarak ölçülmüştür. Bu ölçümler istatistiksel olarak değerlendirildiğinde, ortalama açıklık 11.6 mm en küçük açıklık değeri 3 mm, en büyük açıklık değeri ise 50 mm standart sapma değerleri ise 7.64 mm olarak elde edilmiştir.



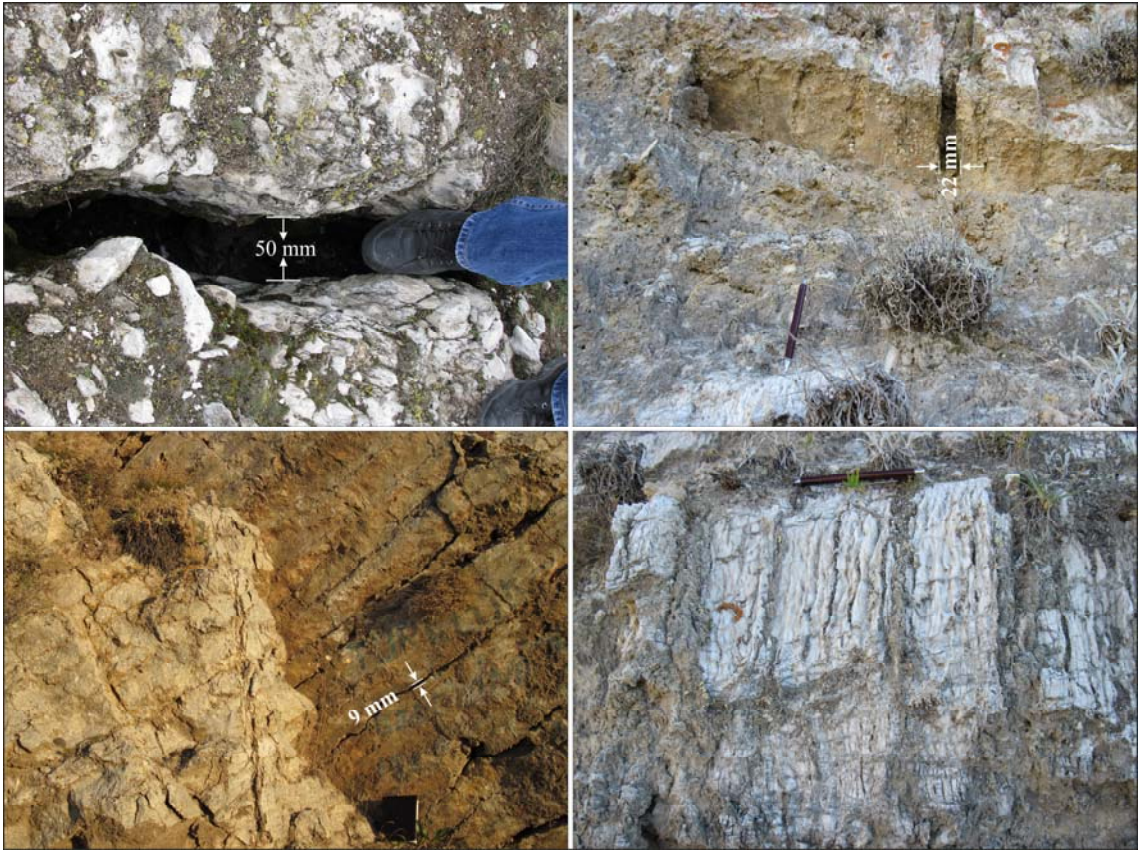
Şekil 5.9. Süreksizlik açıklığı histogramı

ISRM (2007), süreksizlik açıklıklarını tanımsal olarak Çizelge 5.3’de verildiği şekliyle sınıflandırmıştır. Çalışma alanındaki süreksizlikler bir kaya kütlelerinde ISRM (2007)’nin eklem açıklığını tanımlama ölçütleri kullanılarak tanımlanıp sınıflandırılmış olup, bölgedeki jipslerdeki süreksizlikler “boşluklu”dan “açık” yapılaraya kadar değişen

bir sınıf aralığına sahip olmakla birlikte, genelde “orta derecede geniş boşluklu yapılar” olarak değerlendirilmiştir (Şekil 5.10).

**Çizelge 5.3.** Açıklık tanımlama ölçütleri (ISRM, 2007)

| Açıklık (mm)  | Tanımlama           |                    |
|---------------|---------------------|--------------------|
| <0.1 mm       | Çok sıkı            |                    |
| 0.1 – 0.25 mm | Sıkı                | “Kapalı” yapılar   |
| 0.25 – 0.5 mm | Kısmen açık         |                    |
| 0.5 – 2.5 mm  | Açık                |                    |
| 2.5 – 10 mm   | Orta derecede geniş | “Boşluklu” yapılar |
| >10 mm        | Geniş               |                    |
| 1 – 10 mm     | Çok geniş           |                    |
| 10 – 100 mm   | Aşırı geniş         | “Açık” yapılar     |
| >100 mm       | Boşluklu            |                    |



**Şekil 5.10.** Jipslerdeki süreksizlilerin açıklıklarından bir görünüm

## **5.6. Dolgu Malzemesinin Özellikleri**

Dolgu malzemesinin kaya kütlesi davranışı ve dolin oluşumu üzerindeki olası etkisinin olabileceğinin düşünülmesine rağmen, tüm çalışma sahasında eklemleri dolduran dolgu malzemesinin yaygın olarak tek bir dolgu türünden (ikincil jips) meydana gelmesi ve olası yıkanma nedeniyle dolin oluşumunda önceki durumunun belirlenmesinin mümkün olmaması nedeniyle bu özellik değerlendirmeye alınmamıştır.

## **5.7. Süreksizlik Yüzeyinin Dayanımı ve Bozunma Derecesi**

Süreksizlik malzemesinin dayanımı ile bozunma derecesinin kaya kütlesinin dayanım ve deformasyonu üzerinde önemli bir rol oynayacağı düşünülmektedir. Bu özellikler, her ne kadar dolin oluşumunu hazırlayıcı bir faktör olarak düşünülse de, bu özelliklerin zaman içerisinde değişime uğramış olması olasılığı ve dolin oluşumunda önceki durumunun belirlenmesinin mümkün olamaması nedeniyle analizlerde dolin oluşumunu hazırlayıcı bir faktör olarak kullanılmamıştır.

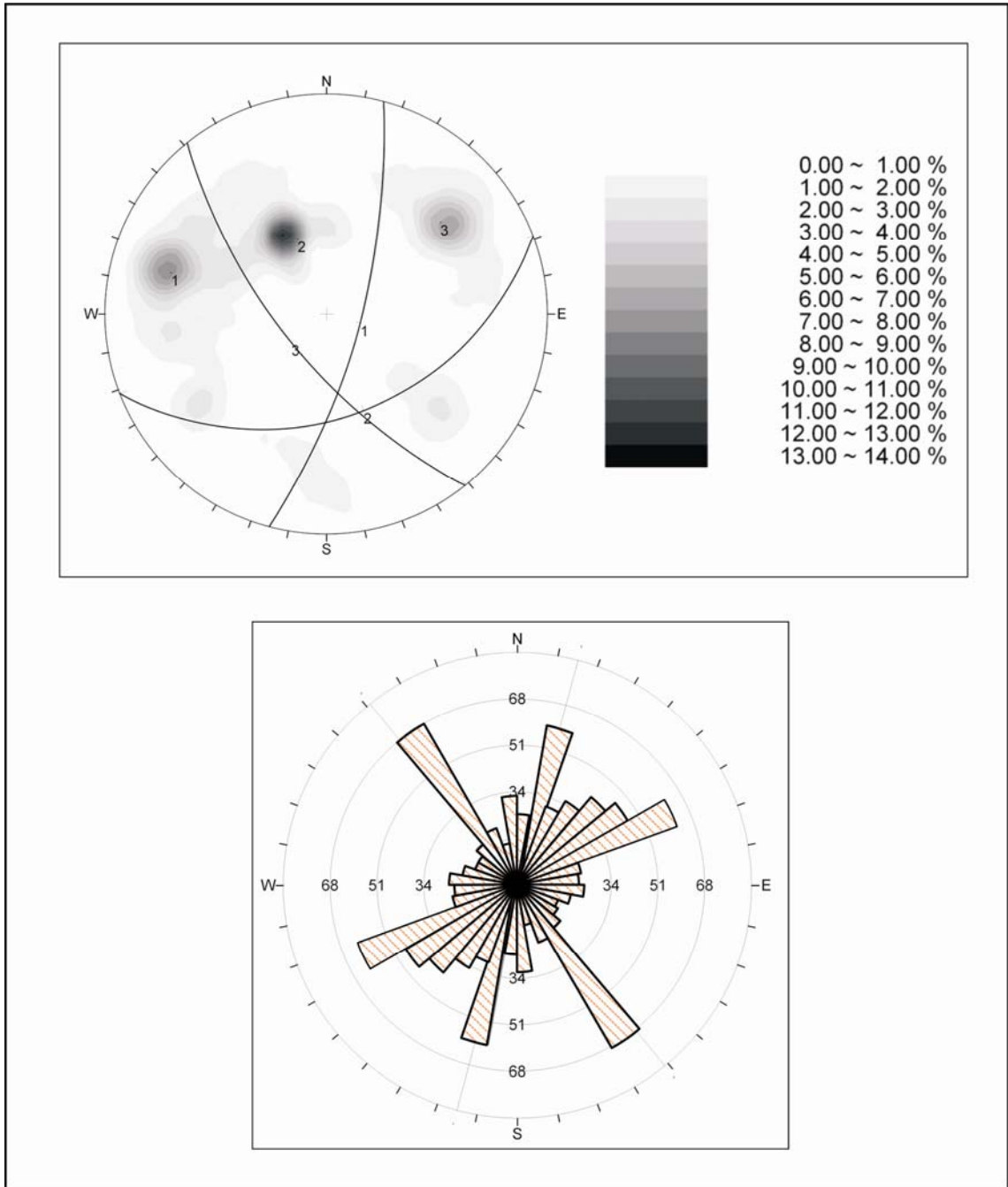
## **5.8. Süreksizlik Yüzeyindeki Su Durumu**

Süreksizlik yüzeyindeki su durumu ile ilgili yapılacak değerlendirmelerin daha çok gözleme dayanması ve su koşulunun özelliğinin mevsimsel olarak değişebilir olması nedeniyle potansiyel hazırlayıcı faktörler arasında değerlendirilmemiştir.

## **5.9. Yönelim ve Eklem Seti Sayısı**

Kaya kütlesinde, birbirine yaklaşık paralel yönde gelişmiş süreksizlik toplulukları süreksizlik seti (eklem) olarak tanımlanmaktadır. Kaya kütle sınıflamalarında kullanılan temel özelliklerden biri olan süreksizliklerin konumu, jeoteknik etütlerde eğim miktarı ve eğim yönü ile belirtilmektedir. Çalışma alanında jips kaya kütlelerindeki süreksizliklerin, set veya sistemler oluşturup oluşturmadığını belirleyebilmek için yüzlekler üzerinde birbirine dik tarama hatları boyunca gözlenen süreksizlik düzlemlerinin tümünün eğim yönleri ve eğim açıları pusula yardımı ile ölçülmüştür.

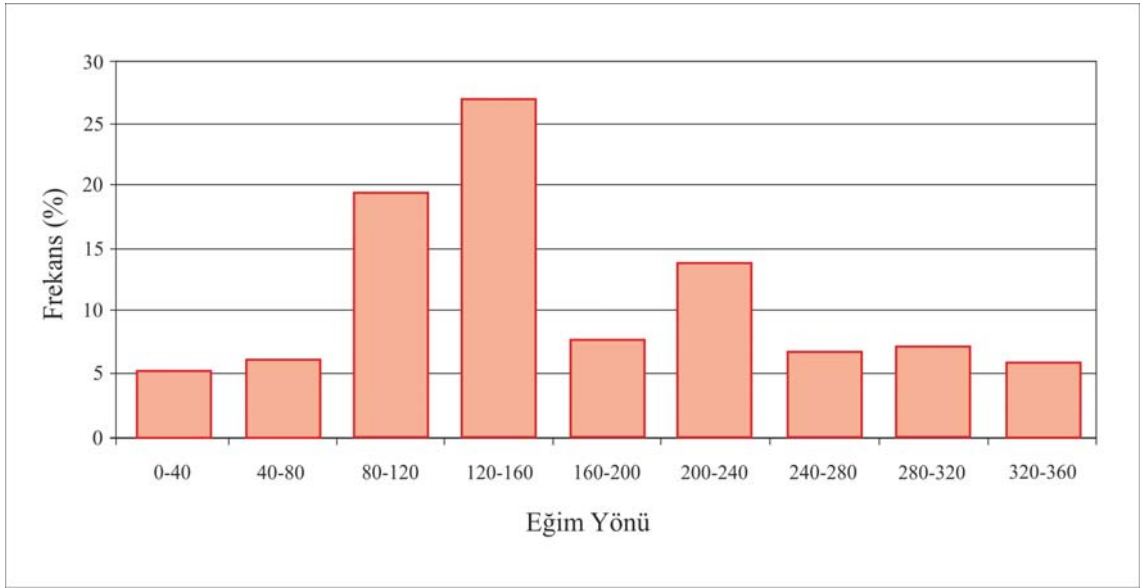
Elde edilen yönelim değerleri eş alan izdüşüm ağında değerlendirilmiş ve jipslerde gelişen süreksizliklere ait kontur ve gül diyagramları hazırlanmıştır (Şekil 5.11). Diyagram üzerinde kutupların en fazla yoğunlaştığı konturların merkezi dikkate alındığında, kaya kütesinin başlıca üç süreksizlik seti içerdiği (S1, S2, S3) ve kutuplarına karşılık gelen süreksizlik takımları için egemen yönelimler sırasıyla; (1) 70/104 (K14D/70GD) (2) 43/153 (K63D/43GD) (3) 68/233 (K37B/68GB) şeklindedir.



Şekil 5.11. Jipslerdeki eklem yönelimlerinin kontur ve gül diyagramları

Bununla birlikte, egemen yönelim değerlerinden sapma gösteren diğer tali yönelimler de vardır. Bu anlamda, eklem ölçümlerine ait veriler istatistiksel olarak değerlendirilerek hazırlanan süreksizliklerin eğim yönü ve eğim histogramları Şekil 5.12 ve Şekil 5.13'te sunulmuştur. Bu histogramlardan görüleceği üzere, bölgedeki süreksizliklerin en düşük eğim değeri  $20^0$ , en büyük eğim değeri ise  $90^0$ 'dir. Bu süreksizliklerden 43/153 konumlu set, masif jipslerde yer yer gözlenen tabaka düzlemleriyle paralel konumdaki eklemleri temsil etmektedir.

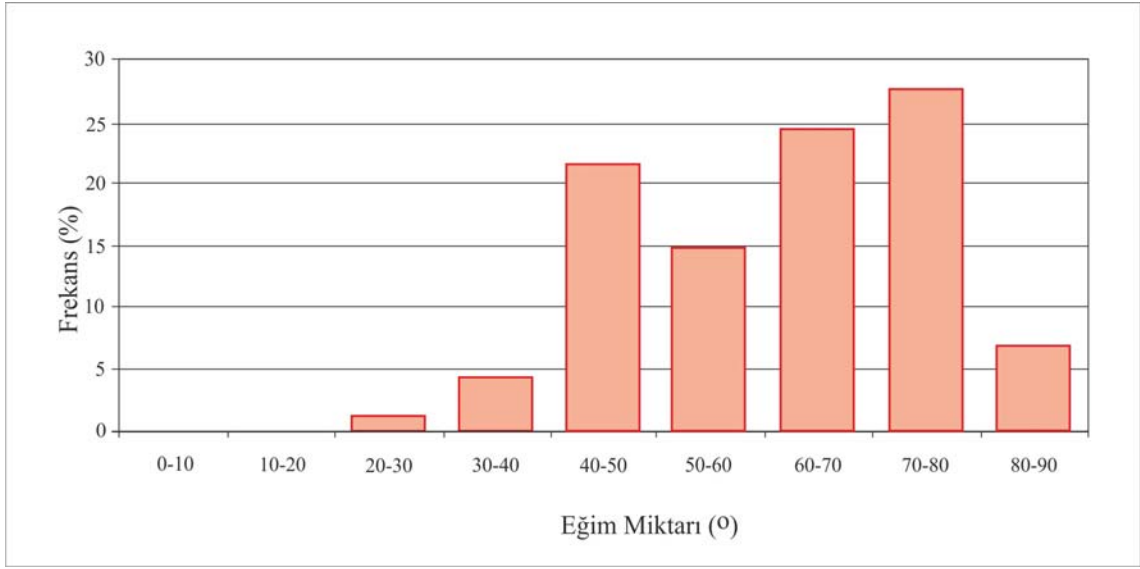
Bölge için hakim sıkışma yönünün neotektonik dönemden beri KKB ve GGD olduğu göz önüne alınarak, bu süreksizlik setlerinin sıkıştırma yönüne göre Price (1966) tarafından önerilen sınıflandırmayla sınıflandırılmışlardır. Buna göre sıkışma yönleriyle dar açılı yapan 70/104 ve 68/233 süreksizlikleri makaslama eklemleri, 43/153 süreksizliği ise tansiyon eklemleri olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 5.12. Çalışma alanındaki eklemlerin eğim yönlerine ait histogram

### 5.10. Blok Boyutu

Süreksizliklerin bu özelliğinin de süreksizlik aralığı ve eklem sıklığı ile ilgisi dikkate alınarak tekrarlanma (redundancy) oluşturacağı nedeniyle, potansiyel hazırlayıcı bir faktör olarak değerlendirilemeyeceği düşünülmüştür.



**Şekil 5. 13.** Çalışma alanındaki eklemlerin eğitim miktarlarına ait histogram



## 6. KAYA KÜTLE ÖZELLİKLERİNİN DOLİN OLUŞUMU ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN MODELLENMESİ

Duyarlılık analizinin temel amacı, tehlikeli ve riskli alanları belirlenerek doğal afetlerin zararlarını en aza indirmektir. Doğal tehlike haritaları geçmişte meydana gelen heyelan, sel, deprem ve volkan patlaması gibi doğa olaylarının oluşumunun tanımlandığı ve gelecekte benzer olayların meydana gelebilirliğinin tahmin edildiği bilgileri içerir (Varnes, 1984). Karstik arazilerde meydana gelen dolinler, dünyanın birçok bölgesinde ciddi jeolojik tehlikeler oluşturarak buralardaki mühendislik yapılarına hasarlar vermektedir. “Dolin oluşabilirliği (duyarlılığı)” modellerinin hazırlanması da, gelecekte karstik arazilerde yapılması planlanan kentleşmelerin, daha emniyetli alanlara yerleşmesinde yararlı olacaktır. Duyarlılık haritaları gelecekteki tehlikeli alanların belirlenmesine yarayacak bilgiler vermekle birlikte, seçilen faktörlerle “olay” arasındaki ilişkileri de ortaya koymaktadır. Bu tez çalışması kapsamında; bu tür modellerin oluşturulmasındaki birincil amaç dolin oluşumunu hazırlayıcı faktör oldukları düşünülen kaya kütlesi özellikleri ile dolin oluşumu arasındaki ilişkilerin ortaya konulmasıdır. Bu şekilde üretilen modellerin aynı zamanda yapılaşma güvenliği bakımından da bir altlık oluşturacağı düşünülmektedir.

Gelecekte herhangi bir karstik ortamda oluşması olası dolinlerin kestirilmesine yönelik olarak yapılacak çalışmaların temelini; mevcut dolinlerin oluşumunda ve gelişmesinde etkili olduğu gözlenen hazırlayıcı faktörlerin ayrıntılı olarak tanımlanması ve aynı zamanda da dolin envanterinin hazırlandığı çalışma alanındaki dolinlerin haritalanması oluşturmaktadır. Çünkü herhangi bir karstik ortamda gelecekte meydana gelecek dolinler, mevcut dolinlerle aynı koşullarda oluşacaklardır. Dolin envanterinin oluşturulmasında çalışma alanındaki dolinlerin konumları ve morfometrik özellikleri arazi çalışmaları sırasında ilgili ölçümlerle, GPS, hava fotoğrafları, sayısal harita ve Google Earth yardımı ile belirlenmiştir. ArcGIS 9.1 (2005) paket programında dolinler için “*Shape File*” dosyası oluşturularak çalışma kapsamında analiz edilen 940 adet doline ait yukarıda belirtilen yöntemlerle elde edilen özellikler CBS ortamına aktarılmıştır.

## 6.1. Hazırlayıcı Faktör Anlamlığı Analizleri

Bir önceki bölümde ayrıntıları verilen gerekçeler göz önünde bulundurularak gerçekleştirilen “dolin oluşumunda hazırlayıcı faktör potansiyeli açısından ilk değerlendirme” ye ait özet Çizelge 6.1’de verilmiştir. İlk değerlendirmeler sonucunda dolin oluşumunda etkin olduğu düşünülen kaya kütleleri özellikleri (aralık, devamlılık ve açıklık) daha sonra istatistiksel anlamlılıkları bakımından analiz edilmiş olup, ayrıntıları aşağıda tartışılmıştır.

**Çizelge 6.1.** Kaya kütleleri özelliklerinin dolin oluşumunu hazırlayıcı faktör olarak ilksel değerlendirilmesine ait özet

| Kaya Kütleleri Özellikleri                                | HFP  |       |
|---|------|-------|
|   | Evet | Hayır |
| Süreksizliğin türü  |      | X     |
| Süreksizliğin aralığı                                     | X    |       |
| Süreksizliğin devamlılığı                                 | X    |       |
| Süreksizlik yüzeyinin pürüzlülüğü ve dalgalılığı          |      | X     |
| Süreksizlik yüzeyinin açıklığı                            | X    |       |
| Dolgu malzemesinin özellikleri                            |      | X     |
| Süreksizlik malzemesinin dayanımı ve bozunma derecesi     |      | X     |
| Süreksizlik yüzeyindeki su durumu                         |      | X     |
| Süreksizliğin yönelimi ve süreksizlik seti (takım) sayısı |      | X     |
| Blok boyutu   |      | X     |

*HFP: Hazırlayıcı faktör potansiyeli açısından ilk değerlendirme.*

Jips kaya kütleleri üzerinde ölçülen ve ilksel değerlendirmeler sonucunda dolin oluşabilirliği (duyarlılık) üzerinde etkili olduğu düşünülen parametrelerin anlamlılığının belirlenmesinde Frekans Oranı (*FR*) yöntemi kullanılmıştır. Söz konusu yöntemde, herhangi bir katmandaki dolin frekans oranının değerlendirilmesi yapılırken kullanılan anlamlı değer “1” alınır. Bu oranın “1” den büyük olması yüksek bir ilişkiyi, “1” den düşük olması ise düşük ilişkiyi işaret etmektedir. Bu çalışmada da temel olarak Frekans Oranı (*FR*) yöntemi kullanılarak mevcut dolinlerin konumları ile jips kaya kütlelerinin seçilen özellikleri arasındaki ilişkiler analiz edilmiştir.

Daha önceki bölümlerde ayrıntısı verildiği gibi, inceleme alanından elde edilen ve olasılıkların hesaplanması için kullanılan faktörlerin öznitelik olarak tanımlandığı kaya kütleli “*Shape File*” dosyasındaki her bir parametrenin Düzensiz Üçgen Ağı (*TIN*) kurulmuştur. Daha sonra ArcGIS 9.1 (2005) paket programı yardımıyla bu *TIN*’ler CBS analiz fonksiyonları kullanılarak enterpolasyonları yapılmış ve hücreli veri formatına dönüştürülerek *eklem aralığı*, *eklem devamlılığı* ve *eklem açıklığı* dağılım haritaları üretilmiştir. Kaya kütleli özellikleriyle dolin ilişkilerini ortaya koymak amacıyla dolin envanter haritasındaki dolinler de 10 m x 10 m hücreli veri haline getirilerek diğer bir girdi parametresi olarak hazırlanmıştır (Şekil 4.3). Söz konusu envanter haritasına işaretlenen dolinler arazideki fark edilebilir dolinleri göstermekte olup, dolin envanter haritaları, genel anlamda; alanın büyüklüğüne, araziden toplanan verilere, bu verilerin kalitesine ve çalışma ölçeğine göre değişiklikler gösterebilmektedirler. Bu haritalarda gösterilebilen dolinlerin konumlarının belirlenmesi duyarlılık haritalarının üretilmesinde oldukça önemli bir aşamayı oluşturmaktadır.

Dikkate alınan her bir parametre için Frekans Oranı hesaplamalarında kullanılmak üzere, tüm çalışma alanına ait hücre sayısı (THS), her bir sınıftaki dolin sayısı (DS) ve ilgili parametreye ait sınıfların hücre sayıları (SHS) hesaplanmıştır. Daha sonra, Eşitlik 6.1’den FR değerleri hesaplanmış ve her bir parametre sınıfındaki yüzde dolin sayıları ile frekans oranları Çizelge 6.2’de toplu olarak sunulmuştur.

$$FR = \%DS / \%SHS \quad (6.1)$$

Burada; %DS ve %SHS, sırasıyla dolin oluşumunu etkileyen kaya kütleli özelliğinin her bir sınıfındaki dolin yüzdesi ve o özelliğini her bir sınıfının yüzdesidir.

Çizelge 6.2’de görüldüğü gibi, eklem aralığındaki artışa bağlı olarak frekans oranı değerleri de azalmakta olup, 56 – 132 mm ve 132 – 208 mm aralıkları için FR 1’den büyük bir değer almaktadır. Benzer şekilde, açıklığın azalmasıyla da FR değerinde dikkate değer artış gözlenmektedir. 3.02 – 7.70 mm, 7.70 – 12.38 ve 12.38-17.05 mm açıklık sınıfları için 1’den büyük FR değerleri elde edilmiştir.

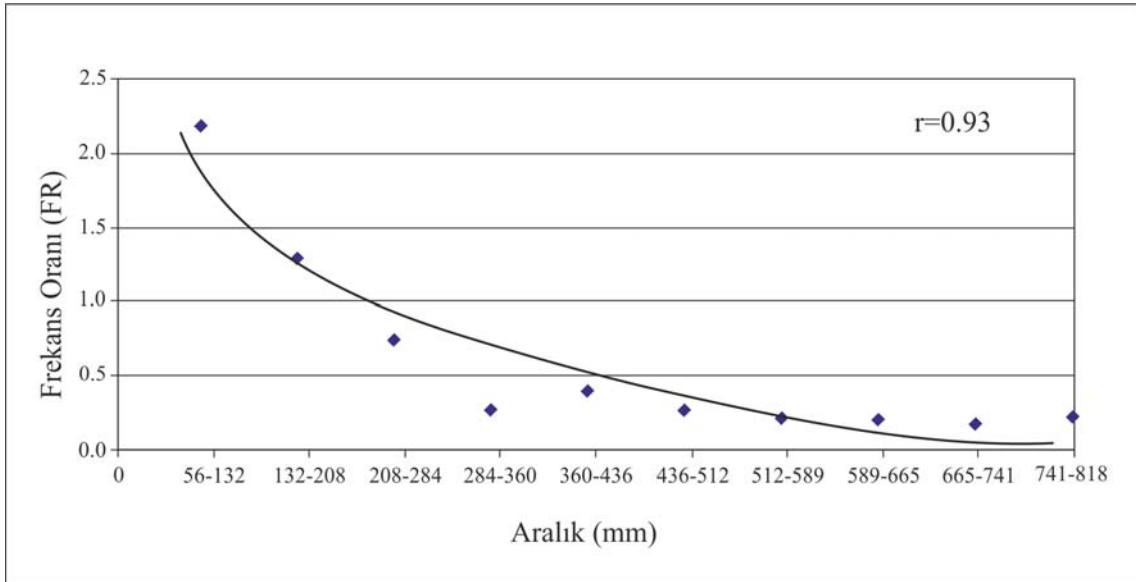
**Çizelge 6.2.** Dolin oluşumuna etki eden faktörlerin frekans oranları

| Sınıf                                | DS  | % DS  | SHS    | % SHS    | FR              |
|--------------------------------------|-----|-------|--------|----------|-----------------|
| <b><i>Eklem Aralığı (mm)</i></b>     |     |       |        |          |                 |
| 56-132                               | 65  | 10.4  | 43435  | 4.773827 | <b>2.178546</b> |
| 132-208                              | 446 | 71.36 | 514098 | 56.50316 | <b>1.262938</b> |
| 208-284                              | 82  | 13.12 | 165302 | 18.16791 | 0.722152        |
| 284-360                              | 12  | 1.92  | 70732  | 7.773969 | 0.246978        |
| 360-436                              | 8   | 1.28  | 31204  | 3.42955  | 0.373227        |
| 436-512                              | 5   | 0.8   | 29039  | 3.1916   | 0.250658        |
| 512-589                              | 3   | 0.48  | 23234  | 2.553588 | 0.187971        |
| 589-665                              | 2   | 0.32  | 16220  | 1.782698 | 0.179503        |
| 665-741                              | 1   | 0.16  | 9328   | 1.025216 | 0.156065        |
| 741-818                              | 1   | 0.16  | 7265   | 0.798477 | 0.200381        |
| <b><i>Eklem Devamlılığı (cm)</i></b> |     |       |        |          |                 |
| 55-91                                | 86  | 13.76 | 20299  | 2.231012 | <b>6.167604</b> |
| 91-128                               | 257 | 41.12 | 256253 | 28.16413 | <b>1.460013</b> |
| 128-165                              | 239 | 38.24 | 442105 | 48.59066 | 0.786983        |
| 165-200                              | 29  | 4.64  | 113813 | 12.5089  | 0.370936        |
| 200-237                              | 7   | 1.12  | 40034  | 4.400037 | 0.254543        |
| 237-273                              | 3   | 0.48  | 14596  | 1.60421  | 0.299213        |
| 273-309                              | 2   | 0.32  | 9830   | 1.080391 | 0.296189        |
| 309-346                              | 1   | 0.16  | 6075   | 0.667688 | 0.239633        |
| 346-382                              | 1   | 0.16  | 6200   | 0.681427 | 0.234802        |
| 382-418                              | 0   | 0     | 652    | 0.07166  | 0               |
| <b><i>Eklem Açıklığı (mm)</i></b>    |     |       |        |          |                 |
| 3.02-7.70                            | 150 | 24.00 | 202497 | 22.26    | 1.07837         |
| 7.70-12.38                           | 346 | 55.36 | 479148 | 52.66    | 1.05123         |
| 12.38-17.05                          | 78  | 12.48 | 109814 | 12.07    | 1.03402         |
| 17.05-21.73                          | 36  | 5.76  | 54991  | 6.04     | 0.95302         |
| 21.73-26.40                          | 7   | 1.12  | 21799  | 2.40     | 0.46747         |
| 26.40-31.08                          | 3   | 0.48  | 14991  | 1.65     | 0.29133         |
| 31.08-35.75                          | 2   | 0.32  | 10003  | 1.10     | 0.29107         |
| 35.75-40.43                          | 2   | 0.32  | 9880   | 1.09     | 0.29469         |
| 40.43-45.10                          | 1   | 0.16  | 6262   | 0.69     | 0.23248         |
| 45.10-50                             | 0   | 0.00  | 472    | 0.05     | 0.00000         |

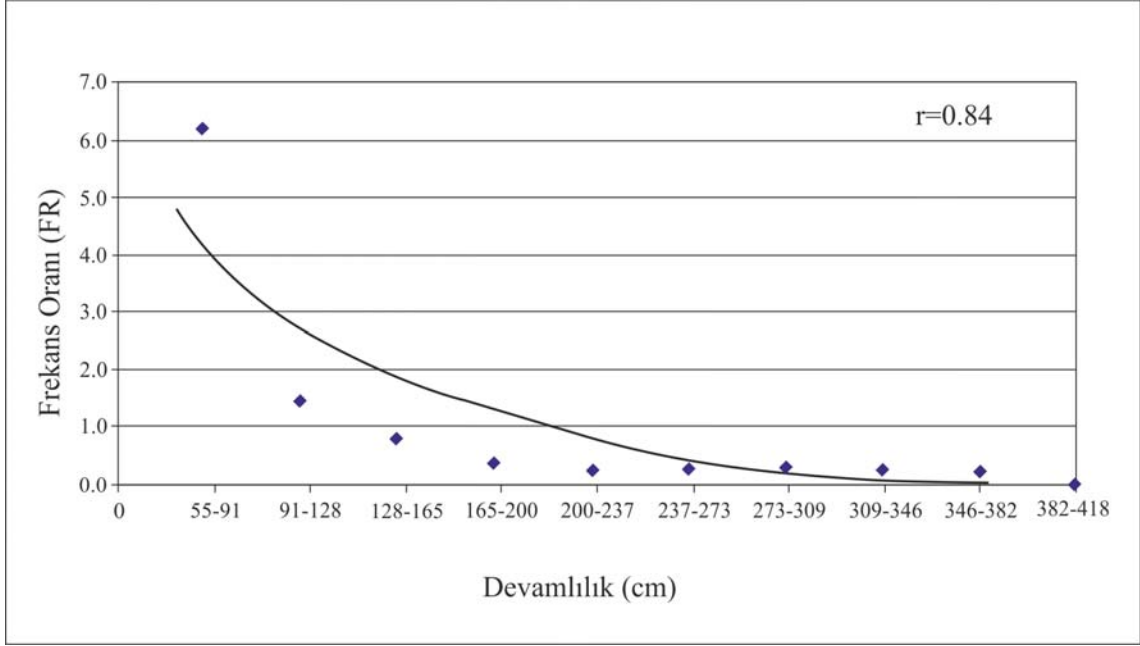
DS; her bir sınıftaki dolin sayısı, %DS; dolin oluşumunu etkileyen kaya kütle özelliğinin her bir sınıftaki dolin yüzdesi, SHS; ilgili parametreye ait sınıfların hücre sayıları %SHS; dolin oluşumunu etkileyen kaya kütle özelliğinin her bir sınıfının yüzdesi, FR; frekans oranı

FR değeri ile eklem devamlılığı arasındaki ilişki de devamlılığın artışı ile frekans oranının azalışı şeklinde olmuştur. 55 – 91 cm ile 91 – 128 cm devamlılık sınıflarında elde edilmiş olan FR değerleri 1’den büyüktür. Frekans Oranının “1” den büyük olmasının yüksek ilişki vermesine bağlı olarak, eklemlere ait aralığın ve açıklığın sırasıyla 208 mm ve 12.38 mm’den, devamlılığın ise 128 cm’den daha küçük değerlerinde dolin oluşumunun gerçekleşme olasılığının yüksek olduğu söylenebilir. Hazırlayıcı faktör anlamlılığı analizlerinden elde edilen sonuçlara göre, “1” den büyük FR değerlerinin elde edilmiş olduğu “*aralık*”, “*devamlılık*” ve “*açıklık*” parametrelerinin modele dahil edilmesine karar verilmiştir.

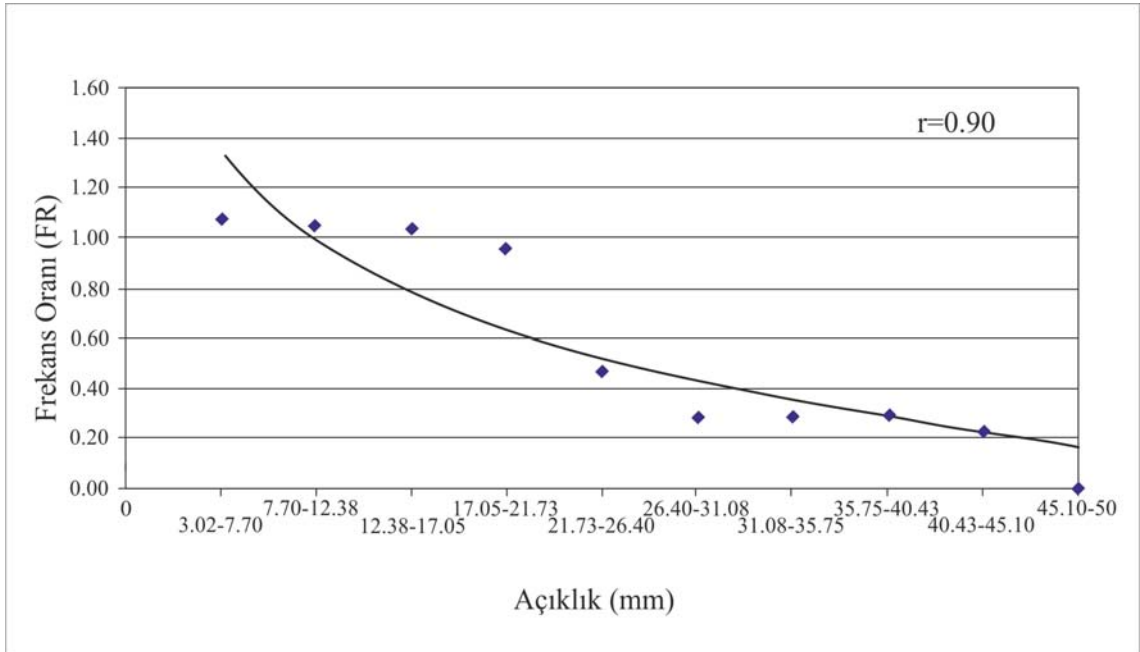
Ayrıca, frekans oranları ile süreksizlik özelliklerinin sınıfları arasındaki *regresyon ilişkileri* de analiz edilmiştir (Şekil 6.1-6.3). Frekans oranı ile açıklık, aralık ve devamlılık parametreleri arasında 0.84-0.93 korelasyon katsayıları elde edilmiştir. Bu korelasyon katsayıları da, dolin oluşumu ile süreksizlik özellikleri arasındaki değerlendirmeye bağlı olarak bu üç parametrenin (*aralık*, *devamlılık* ve *açıklık*) dolin oluşabilirliği analizlerine dahil edilmesinin gerekliliğini desteklemektedir.



**Şekil 6.1.** Frekans oranları ile aralık parametresinin sınıfları arasındaki ilişki



**Şekil 6.2.** Frekans oranları ile devamlılık parametresinin sınıfları arasındaki ilişki



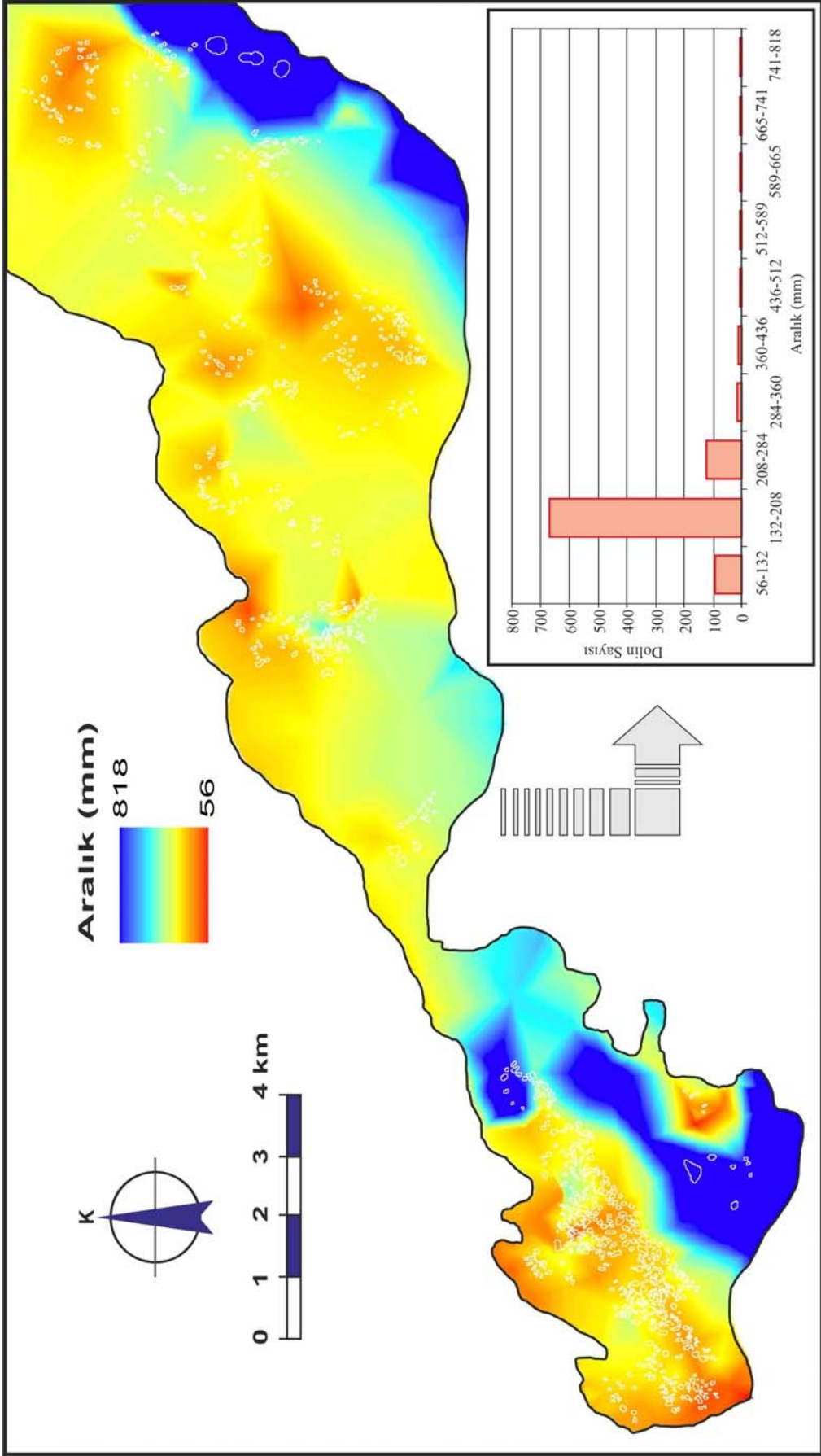
**Şekil 6.3.** Frekans oranları ile açıklık parametresinin sınıfları arasındaki ilişki

## 6.2. Dolin Oluşumu ile İlişkili Faktörlerin Değerlendirilmesi

### 6.2.1. Süreksizlik Aralığı

Süreksizlik aralığı, kaya kütlelerinin dayanım ve davranışı üzerinde önemli ölçüde bir etkiye sahip olup, özellikle yeraltı açıklıklarının duraylılıklarını doğrudan denetlemektedir. Komşu iki süreksizlik arasındaki mesafeyi tanımlayan bu özelliğe ait değerlerin azalmasıyla yeraltı açıklıklarının duraylılıkları dikkate değer biçimde azalmaktadır. Bu nedenle; çalışma sahası içerisindeki süreksizlik aralığı ve bu özelliğin tersi olan süreksizlik sıklığı çok sayıda lokasyonda ISRM (2007)'nin önerdiği yöntemler kullanılarak ayrıntılı bir şekilde araştırılmış ve süreksizlik aralığı potansiyel hazırlayıcı faktör olarak düşünülmüştür. Jips kaya kütlelerindeki süreksizlik aralığı ile dolin dağılımı haritası Şekil 6.4'de sunulmuş olup, bu haritadan da görüleceği üzere, dolinler süreksizlik aralıklarının azaldığı bölgelerde yoğunlaşmaktadır. Bu alanlardaki dolinlerin genel özelliklerine bakıldığında, dolinlerin çok geniş bir alana yayıldıkları ancak yamaç eğimlerinin düşük, derinliklerinin ise genellikle ve yaklaşık olarak 5 m'den daha az oldukları görülmektedir (Şekil 6.5-6.6). Bu tür alanlarda, eklem aralığındaki azalmayla birlikte artan çözünme potansiyeline bağlı olarak, dolinler derinleşmemekte ve diğerine yakın bir noktada yeni bir dolin oluşmaktadır.

Saha genelinde aralık değerinin düşük olduğu alanlarda dolin duvarlarındaki duraysızlık sorunları ve erozyon, süreksizlik aralığındaki azalmayla birlikte artmakta dolayısıyla bu alanlardaki dolinler, oluşan yamaç duraysızlığı sorunlarıyla aşınarak genişlemekte ve derinlikleri de buna bağlı olarak azalmaktadır. Aynı zamanda bu alanlardaki dolinler kümeler şeklinde gözlenmekte olup, aralarındaki duvarların yıkılmasıyla birbiriyle birleşmekte ya da farklı derinlikteki dolinler birbirini basmaklar şeklinde izlemektedir. Bu alanlardaki dolinlerin çoğunluğu, dolin yamaç eğimlerinin ve derinliklerinin az olması ile şekilleri de esas alınarak çözünme dolinleri olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 6.4. Süreksizlik aralığı dağılım haritası ve aralık değerlerine düşen dolin sayısı





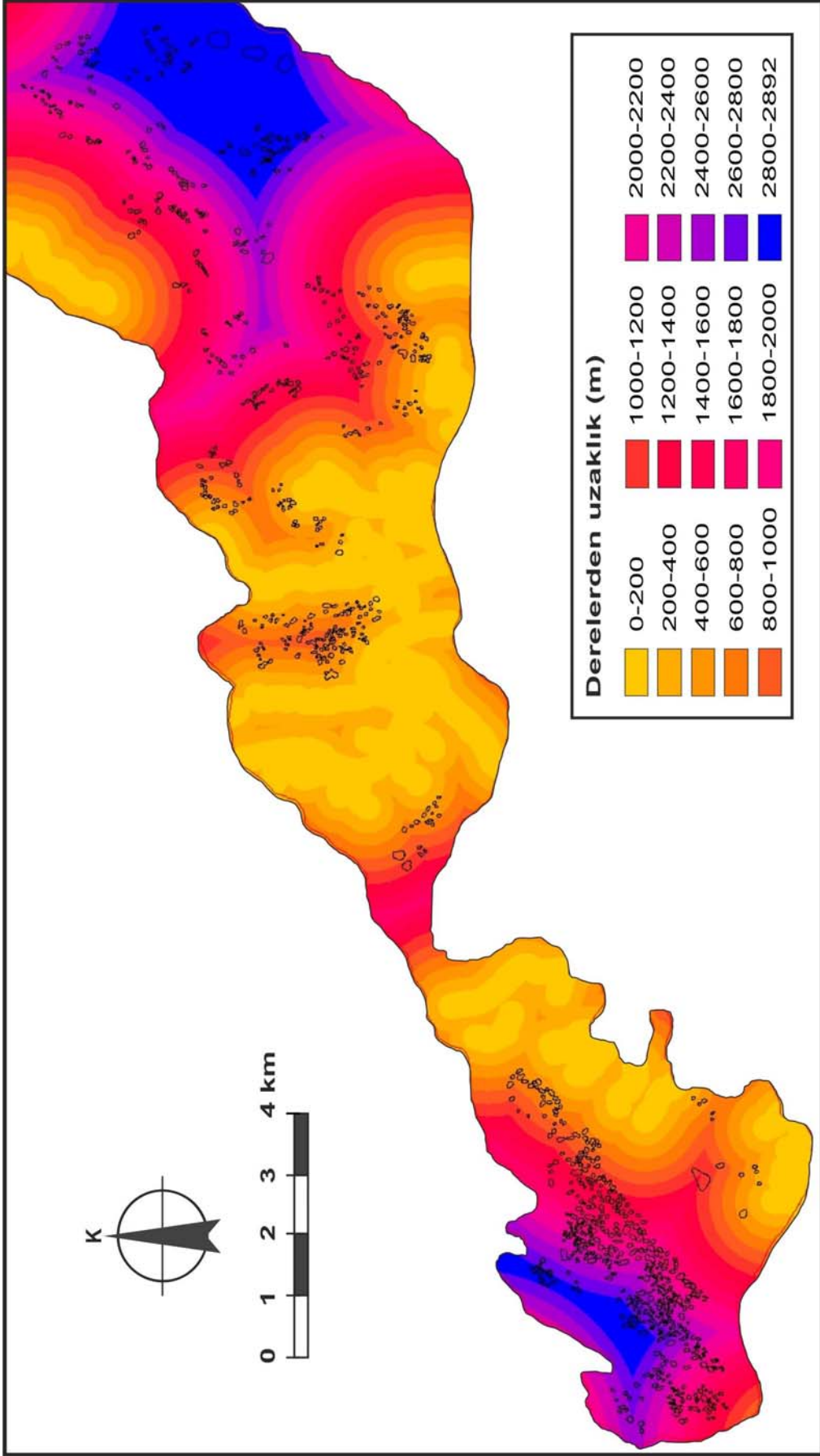
**Şekil 6.5.** Süreksizlik aralığının düşük olduğu alanlardaki dolinlerden bir görünüm (Cürekini mevki civarı)



**Şekil 6.6.** Geniş alanlara yayılan küçük dolinlerden bir görünüm (Karataş civarı)

Çalışma alanının özellikle orta kesimlerinde süreksizlik aralıklarının düşük olmasına rağmen dolin gözlenmeyen bölgeler de bulunmaktadır. Bunun nedenini, bu tür bölgelerde oldukça az gözlenen yüzey drenaj unsurlarının varlığıyla açıklamak mümkündür. Yılmaz (2007) tarafından da belirtildiği gibi, dereler karstik alanlardaki dolinlerin gözlenebilirliğini kontrol eden önemli özelliklerden biri olup, derelere yakınlık arttıkça dolin sayılarında azalma gözlenmektedir. Bu anlamda çalışma alanındaki dolinlerin derelere yakınlıkları analiz edilerek Şekil 6.7’de verilmiştir. Bu şekilden de görüleceği üzere, derelere yakınlığın 400 m’den fazla olduğu yerlerden itibaren dolin sayısında artış gözlenmektedir. Ancak derelerin üst kısımlarında daha yakın kimi noktalarda bu mesafe biraz daha düşmekte olup, bu noktalar derelerin aşındırma etkilerinin daha az olduğu üst kotları yani derelerin başlangıç yerlerini oluşturmaktadır. Bu alanlardaki yaklaşık KB-GD uzanımlı dereler buralardaki dolinleri aşındırarak günümüzde dolinlerin buralarda gözlenmemesine sebep olmuşlardır.

Aralık dağılımı haritası ve bu haritadan elde edilen grafikten de (Şekil 6.4) görüleceği gibi, inceleme alanının GB’sı ve doğusundaki bazı kesimlerde 360 mm’den daha büyük aralıklarda özellikle aralığın 360–818 mm olduğu bölgelerde de dolinler gözlenmekle birlikte buralardaki dolin sayıları toplam 940 dolin sayısı dikkate alındığında 19 adet olmak üzere çok az bir değere sahiptir. Söz konusu 19 dolin, toplam dolinlerin sadece %2’ sini oluşturmaktadır. Bu alanlardaki dolinlerin yamaçları oldukça dik, derinlikleri ise bazı lokasyonlarda 80 m’ye kadar ulaşmaktadır (Şekil 6.8). Bu alanlarda süreksizliklerin aralıklarının büyük olması; dolin duvarlarının duraylılığının artmasına, eklem yoğunluğuna bağlı olarak çözünebilecek kaya kütle yüzeyinin azalmasına ve var olan dolinin mevcut çözünme yollarıyla daha fazla çözünerek çökmesine ve derinleşmesine yol açmaktadır. Bu alanlarda dolinler çoğunlukla tekil bir durum sergilemekte ve yakın civarında çok fazla dolin oluşumu gözlenmemektedir (Şekil 6.9).



Şekil 6.7. Derelerden uzaklıkla dolinlerin ilişkisi



**Şekil 6.8.** Süreksizlik aralığının geniş olduğu alanlardaki bir dolinin uzaktan ve yakından görünümü



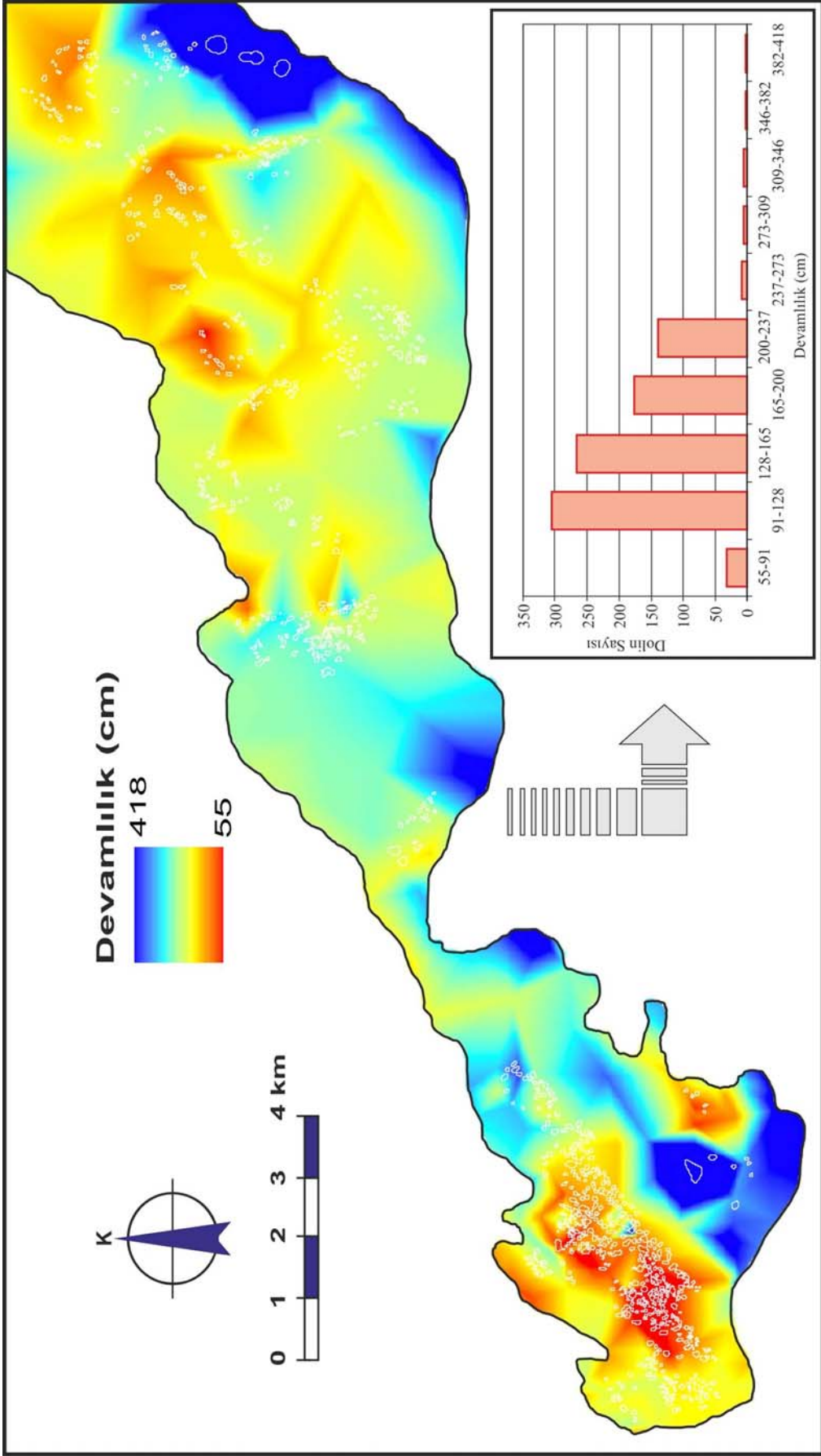
**Şekil 6.9.** Süreksizlik aralığının geniş olduğu alanlardaki büyük ve tekil bir görünüm sergileyen dolinlerden bir görünüm

Karstik kayaçların su tutma kapasitesi, çözünmeyle oluşmuş karst gözenekliliği ve eklem gözenekliliği arasındaki ilişkilere bağlıdır. Karst kanalları geniş ise, kayaçların su tutma kapasitesi düşüktür. Eklem gözenekliliğinin yoğunluğu arttığında, kayaçların su tutma kapasitesi de artar (Milanovic, 1981; Kaçaroğlu, vd., 1997). Kayaçalarda

süreksizliklerin sıklığına bağlı olarak suyun yüzey akışına geçmeden doğrudan yeraltına süzülmesi çözünebilen kayalarda karstik yapıların sayısının artmasına sebep olmaktadır. Çalışma alanında eklem sıklığının fazla olduğu yerlerde dolinlerin yoğunlaşması bu duruma bariz bir örnek oluşturmaktadır. Jips, çok eklemli ve yüksek çözünürlüğe sahip olmasından dolayı kolaylıkla çözünebilen bir kayadır. Bu tür kayalarda çözünmeler mevcut süreksizlikler boyunca oluşmaktadır. Süreksizlik yoğunluğu arttıkça buna bağlı olarak kayalarda çözünme de artmaktadır. Çözünme sonucunda kaya kütlelerinin içerisinde boşluklar meydana gelmekte ve boşlukların üzerindeki yükü taşıyamayacak duruma gelmesiyle de tavanları çökerek karstik boşlukları oluşturmaktadır. Süreksizlik aralığının tersi olarak tanımlanan eklem sıklığı ise tanımı gereği analizlerde süreksizlik aralığı kavramıyla tekrarlanma oluşturacağı için değerlendirme dışı bırakılmıştır.

### **6.2.2. Süreksizlik Devamlılığı**

Süreksizliklerin yüzeydeki iz uzunluğu olan ve aynı zamanda da süreksizliklerin düzlemdeki alansal yayılımını ifade eden devamlılık özelliği; kaya kütlelerinin duraylılığını etkileyen önemli özelliklerden biri olarak kabul edilmektedir. Yeraltı suyu dolaşımı ve dolin yamaçlarının duraylılığını da denetlemesi sebebiyle “*devamlılık*”, dolin oluşumunda potansiyel hazırlayıcı bir faktör olarak düşünülmüş ve saha genelinde seçilen lokasyonlarda hat etütleri yapılarak ölçülmüştür. Çalışma alanındaki hakim kaya türünü oluşturan ve Sivas havzasında oldukça fazla bir yayılım gösteren jipsler masif bir yapıya sahiptir. Bu nedenle de eklemlerin devamlılıkları incelenerek dolinlerle olan ilişkisi araştırılmıştır. Milanovic (1981)’e göre karstlaşmanın olduğu kayaç eğer kalın tabakalı, platform yapılı ve masif ise çok kırılımandır. Yoğun tektonik süreçler kalın kayaç kütlelerinin derin kesimlerine kadar ulaşabilecek olan suyun girişi için yaygın eklem sistemleri oluşturacaktır. Çalışma alanında kaya kütlelerine ilişkin ISRM (2007)’nin önermiş olduğu yöntemlere göre yapılan devamlılık ölçümlerinden yola çıkılarak hazırlanan eklem devamlılığı dağılım haritası Şekil 6.10’ da sunulmuştur.



**Şekil 6.10.** Süreksizlik devamlılığı dağılım haritası ve aralık değerlerine düşen dolin sayısı

Eklem devamlılığının dolin oluşumuna etki ve katkılarının açıklanması açısından bu harita ve haritadan elde edilmiş olan devamlılık ile dolin yüzdesi ilişkisini gösteren grafik (Şekil 6.10) irdelendiğinde, eklem devamlılığının 128 cm'ye kadar olan artışıyla dolin sayılarında artış gözlenmekte olup, bu değerden sonra ise devamlılığın arttığı alanlarda dolin oluşumu nispeten daha azdır. Ancak bu alanlardaki dolinlerin sayılarında azalış gözlenmesine karşın dolinlerin morfometrik özelliklerinde (çap, derinlik alan, çevre) artışlar gözlenmektedir. Devamlılığın nispeten az olduğu alanlardaki dolinler kümeler şeklinde ve küçük yayvan dolinler iken, devamlılığın nispeten arttığı alanlardaki dolinler derinleşmekte ve daha sarp bir dolin yamacına sahip olmaktadır. Ayrıca buradaki dolinler kümeler şeklinde bulunmak yerine, tekil bir durum sergilemekte ve şekilleri çoğunlukla dairesel ya da dairesele yakın olmaktadır. Devamlılığın azaldığı yerlerdeki bu alanlar aynı zamanda “aralık” değerlerinin düşük olduğu bölgeler olup, buralarda dolinler yoğunlaşmakta ancak daha küçük şekilli ve birbiri içine girmiş olarak gözlenmektedirler. Bu bölgelerdeki dolinlerin derinleşmemesi nedeniyle yamaç eğimleri düşük ve genelde poligonal şekilli olup, bazen dolinler düşük derinlikli ve bir yönde uzamış olarak gözlenmektedir. Bu tür alanlarda azalan eklem devamlılığı sayesinde eklem kesişme noktaları da azalmakta, dolayısıyla çözünme noktaları daha az inmekte ve çözücü faktör olan suyun etkisi sınırlanarak, dolinlerin daha fazla gelişmesi engellenmektedir. Bu nedenle bu alanlardaki dolinler daha küçük ve derinlikleri daha az olmaktadır.

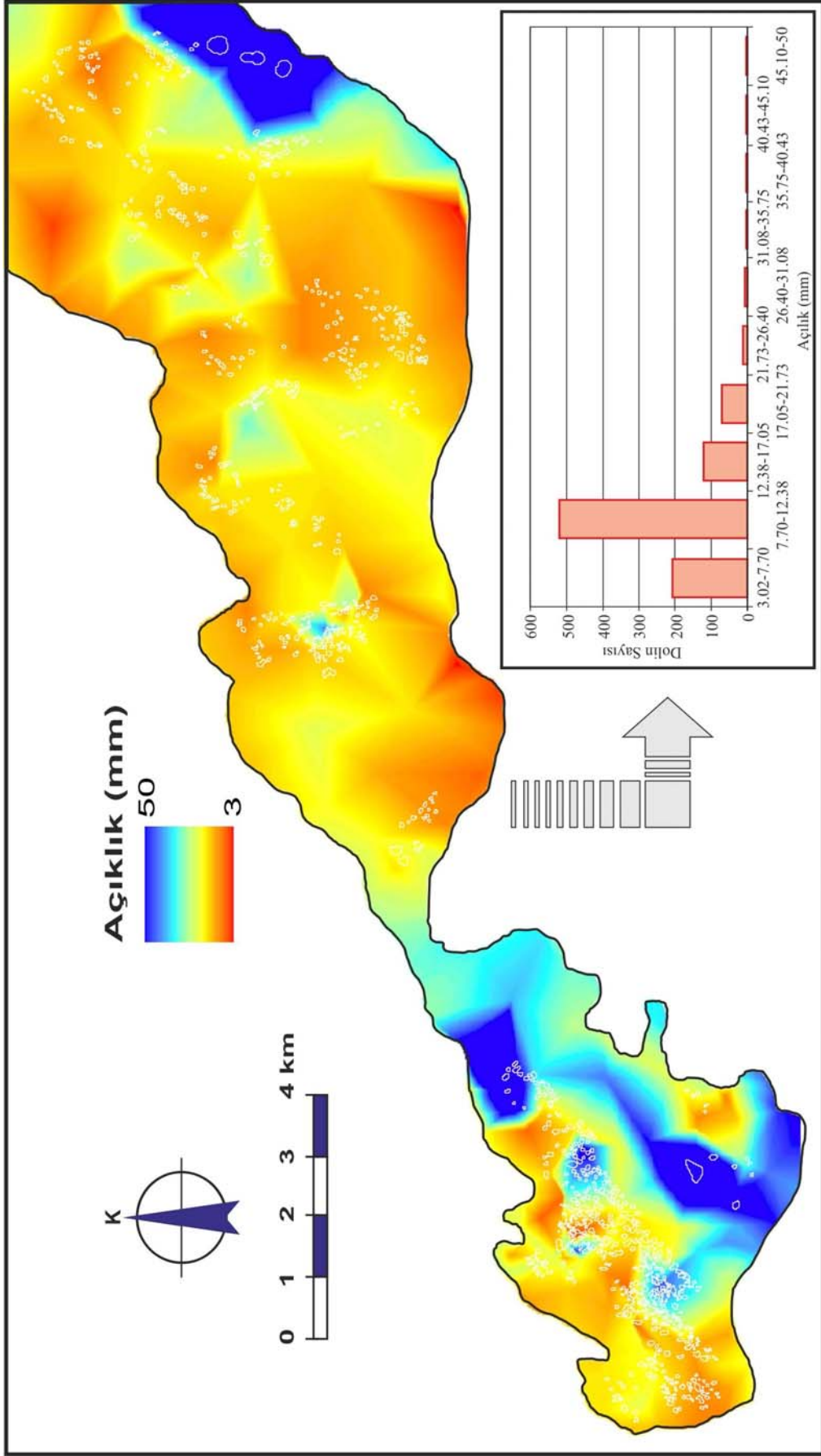
### **6.2.3. Süreksizlik Yüzeyinin Açıklığı**

Süreksizlik yüzeylerinin karşılıklı duvarları arasındaki mesafenin bir tanımı olan açıklık, kaya kütlelerinin geçirgenliği ve kaya kütlelerinin gevşemesi anlamında çok önemlidir. Özellikle kaya kütlelerinin gevşemesini denetlemesi bakımından, dolin oluşumu üzerindeki etkisinin büyük önem taşıyacağı da bir gerçektir. Bu nedenle esasen önemli bir potansiyel hazırlayıcı faktör olarak düşünülmüştür. Ancak, jips kaya kütlelerindeki açıklıkların çözünme nedeniyle zaman içerisinde artacak şekilde değişime uğramış olması olasılığının, bu süreksizlik özelliğinin analizlere dahil edilmesi açısından sorun oluşturabileceği düşünülebilir. Çalışma alanındaki jipslerin suda dağılmaya karşı duraylılıkları göz önüne alındığında, açıklığın zamana bağlı olarak çok

hızlı bir değişim göstermemiş olacağı görülmektedir. Çünkü Yılmaz ve Karacan (2005) jipslerin suya karşı dayanım indekslerinin ( $I_{d2}$ ) %91 ile %97 arasında değiştiğini rapor etmişlerdir. Bu değerlerin Gamble (1971)'in önermiş olduğu sınıflamaya göre değerlendirilmesi sonucu jipslerin “orta derecede yüksek - yüksek” arasında suda dağılmaya karşı duraylılık sınıfında yer aldıkları belirlenmiştir. Bu nedenle, açıklığın dolin oluşumunu hazırlayıcı bir faktör olarak dikkate alınıp analizlere dahil edilmesinin anlamlı olup olmayacağına daha sonraki bölümde sunulan “*hazırlayıcı faktör anlamlılığı analizleri*” ile de test edilerek karar verilmesi öngörülmüştür.

Kaya kütle özelliklerinin tanımlandığı “*Shape File*” dosyasındaki süreksizlik açıklığı değerlerinin ArcGIS 9.1 (2005) programı kullanılarak zonlanmasıyla süreksizlik açıklığı dağılım haritası oluşturulmuştur. Bu harita ile dolinlerin koordinatları birlikte çeşitli morfolojik özelliklerinin tanımlatıldığı dolin “*Shape File*” dosyasıyla üretilen dolin lokasyon haritası üst üste çakıştırılarak Şekil 6.11’de sunulan süreksizlik açıklığı ile dolin dağılımı ilişkisi haritası oluşturulmuştur. Şekil 6.11’deki haritadan ve bu haritadan elde edilen grafikten de görüleceği üzere, dolinler eklem açıklılığının yaklaşık 22 mm ve daha küçük olduğu yerlerde yoğunlaşmaktadır. Genel olarak dolinlerin yoğun görüldüğü yerlerdeki eklem açıklığı 3 ile 17 mm arasında değişmekte olup, bu açıklık değeri ISRM (2007)’in önerdiği açıklık sınıflamasına göre “orta derecede geniş boşluklu yapılar” sınıfında yer almaktadır. Çalışma alanındaki bu kesimler çoğunlukla eklem yoğunluğunun fazla olduğu bölgelerle aynı yerler olup, buralardaki dolinlerin morfometrisi ile ilgili ayrıntılar bir önceki bölümde sunulmuştur. Eklemler boyunca suyun hareketine yerçekimi neden olmaktadır. Akan suyun hızı ve miktarı kanalların ve çatlakların boyutuna ve birbiriyle bağlantı derecesine bağlıdır. Bu eklemler içinde suyun yerçekimi etkisinde serbestçe hareket edebilmesi için gerekli olan en az eklem genişliği konusunda bilim adamları arasında farklı görüşler bulunmakta olup, Lehmann (1932) suyun 1-2 mm’den daha az genişliğe sahip boşluklarda dolaşamayacağını veya hareket edemeyeceğini, Sokolov (1962) ise deneysel olarak 0.5 - 2 mikron genişlikteki boşluklarda serbest yerçekimi etkisinde hareket eden suyun bulunduğunu kanıtladıklarını belirtmektedir (Milanovic, 1981’den). Bu çalışmada da 3 mm’den dar eklem açıklığına sahip dolinlerin gözlenmemesinde eklem içerisinde suların sınırlı hareketlerinin etkili olduğu düşünülmektedir.





**Şekil 6.11.** Süreksizlik açıklığı dağılım haritası ve aralık değerlerine düşen dolin sayısı

Çalışma alanında açıklığın büyük olduğu kesimlerde sayısı az da olsa dolin gözlenmekle birlikte, bu bölgelerde dolinlerin sayılarında artışlar olmaz iken, buralardaki dolinlerin derinlikleri diğer bölgelerdekine nazaran oldukça fazladır. Yüzeysel çöküntüler ve drenaj ağının kolları, eklemler, tabakalar arası boşluklar, faylar ve çatlak zonlarından itibaren başladığı için, yüzey suyunun depolanması ve/veya yüzey akımında yoğunlaşma bu alanlarda oluşmaktadır. Bu durum, süzülmeyi ve alttaki temel kayacında meydana gelmiş olan boşluklardaki çözünmeyi arttırmaktadır. Bu kesimlerde her ne kadar yeraltı yapısı tamamen ortaya konulamamış olsa da, yüzey ölçümlerine bağlı olarak,

- a. karstlaşabilen kayaçların çözünmesi ile geriye çok az miktarlarda kalıntı malzeme kalacağı,
- b. genişleyen kırık ve çatlakların kapanmayacağı,
- c. böylece yeraltısuyu dolaşımının engellenmemiş olacağı düşünüldüğünde

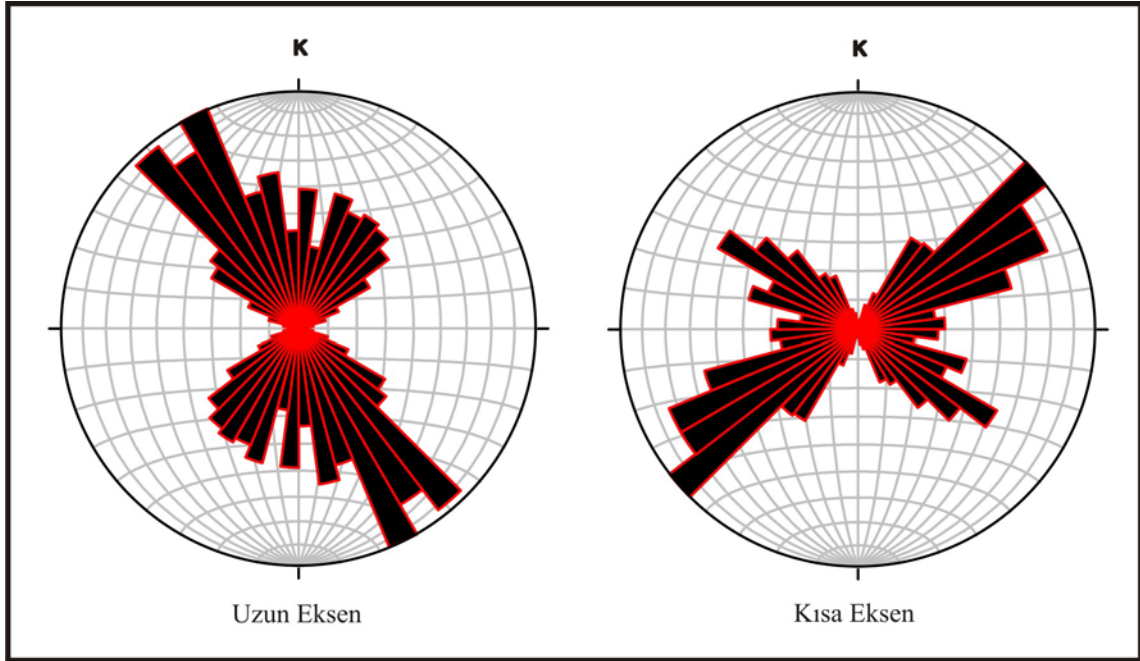
bu kesimlerdeki dolinlerde yeraltısuyunun daha derinlere ilerleyerek alttaki temel kayaçta tektonik olarak meydana gelmiş kırıkları genişletip boşluklarda çözünmeyi arttırmış ve daha büyük boşlukları oluşturmuş olabileceğinden bahsedilebilir. Buralardaki mevcut karstik boşluğun tavanında çökmeler daha derin ve dik şevlere sahip dolinlerin oluşumuna sebep olmaktadır. Çalışma alanında eklem açıklığının arttığı kısımlar incelemeye konu olan en derin dolinlerin bulunduğu bölgeleri oluşturmaktadır.

#### **6.2.4. Süreksizliğin Yönelimi ve Süreksizlik Seti (takımı) Sayısı**

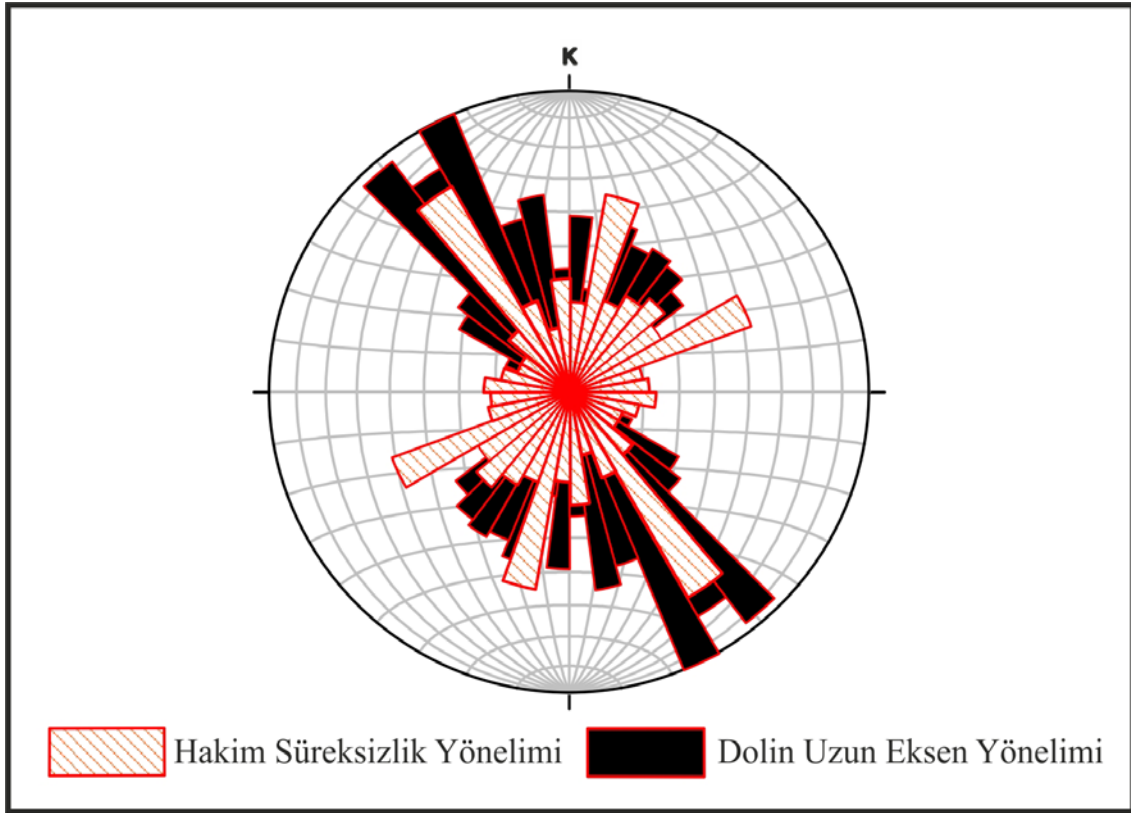
İki veya daha fazla fayın birleştiği veya kesiştiği makaslama zonları gibi zonlar karstlaşma süreçlerine karşı oldukça hassas bölgelerdir. Mağaraların ve daha küçük çözünme kanallarının dağılımı genelde tektonik ve litostratigrafik süreksizlikleri izlemektedir. Dolinler ve düdenler, daha küçük havuzlardan oluşan bir zincirle birlikte çoğunlukla bu zonlar boyunca uzanır. Çalışma alanındaki jipslerde oluşan karstik yapıların yönelimleri süreksizlikler tarafından kontrol edilmektedir.

Bu süreksizliklerin hakim yönelimlerine ait ayrıntılar, Bölüm 5’te “Yönelim ve Eklem Set Sayısı” başlığında verilmiş olup, süreksizliklerin hakim doğrultuları K30-40B, K10-20D ve K60-70D olarak belirlenmiştir. Çalışma alanında morfometrik analizleri yapılan dairesel olmayan dolinlerin uzun ve kısa eksenlerinin yönelimleri, eksenlerinin kuzeyle yaptığı açılar dikkate alınarak ölçülmüştür. Elde edilen bu yönelim değerleri, bilgisayar programı aracılığı değerlendirilerek dolin eksenlerine ait gül diyagramları çizilmiştir (Şekil 6.12). Hazırlanan bu gül diyagramından da görüleceği üzere, çalışma alanındaki dolinlerin egemen uzun eksen yönelimi K25-45B, kısa eksen yönelimleri ise K45-75D, yönünde uzanım göstermektedir.

Jipslerin içerdiği küçük ve büyük ölçekteki süreksizliklerin yönelimleri ile dolin yönelimleri arasındaki ilişkiyi belirlemek amacıyla hakim eklem yönelimleri dolinlerin uzun eksenlerinin yönelimleri ile üst üste çakıştırılarak birlikte değerlendirilmiştir (Şekil 6.13). Bu şekilden de görüldüğü gibi, dolinlerin uzun eksenleri ile 68/233 (K37B 68GB) ve kısmen de 104/70 (K14D 70GD) yönelimli süreksizliklerle paralellik göstermektedir.



**Şekil 6.12.** Dolin uzun ve kısa eksen yönelimleri



**Şekil 6.13.** Süreksizliklerin ve dolin uzun eksenlerinin yönelimlerinin karşılaştırılması

Süreksizliklerin yönelimi ve set sayıları; dolinlerin oluşumlarında, gelişimlerinde ve özellikle dolin eksenlerinin yönelimlerini denetleyen önemli bir etken parametre olarak düşünülebilir. Ancak bu parametre her bir lokasyonda üç set için farklı yönelim değerine sahip olması ve bu verilerin CBS ortamında tek bir veri haline getirilerek dağılım haritasının üretilmemesi nedeniyle dolin oluşabilirlik modellerinin oluşturulmasında kullanılan yöntemlerde girdi parametresi olarak değerlendirilememiş ve sadece yukarıda verilen genel yorumlama ile yetinilmiştir.

### **6.3. Analizlerde Kullanılacak Modelin Belirlenmesi**

Dolin oluşabilirliğinin değerlendirmesinde literatürde farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bunlardan biri duraylılık ya da nümerik tabanlı deterministik modeller olup bu modellerle münferit lokasyonlardaki duraylılığın derecesi değerlendirilmektedir (Tharp, 1999, 2002; 2003 Goodings ve Abdulla, 2002; Yang ve Drumm, 2002; Augarde vd., 2003; He vd., 2003). Belirlenmesi pahalı ve güç birçok parametreyi içeren bu

yöntemler, dolinlerin sıkça oluştuğu büyük alanlar için kullanılabilir değildir. Bir diğer değerlendirme yöntemi, uzman görüşü tabanlı doğrudan duyarlılık zon haritalarıdır (Edmonds vd., 1987). Bu haritalar, olay ve çalışma alanı hakkında oldukça iyi bilgilere sahip uzmanlar tarafından üretilen oldukça yüksek kaliteli haritalardır.

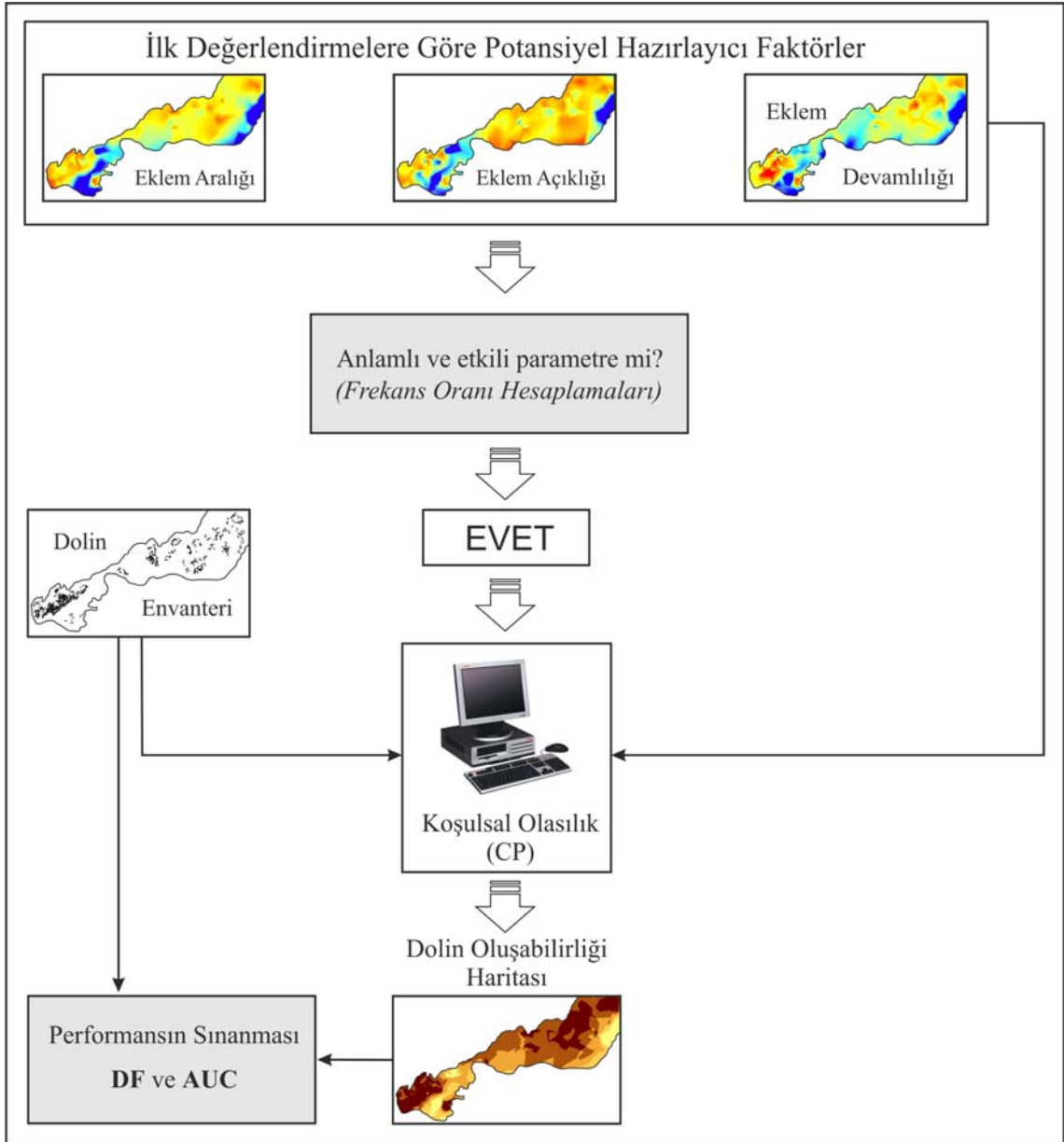
Alternatif bir diğer yaklaşım ise, dolin dağılımını baz alan duyarlılık haritalarıdır. Bazı araştırmacılar (Ogden ve Reger, 1977; Brook ve Allison, 1986; Upchurch ve Littlefield, 1988; Ragozin vd., 2005) dolinlerin yoğun olduğu alanlardan yola çıkarak dolin oluşabilirliği haritalarını üretmişlerdir. Bu amaçla kullanılan bir başka yöntem de en yakın komşuluk değeridir (Clark ve Evans, 1954). Bu kestirim yöntemleri arasında değerlendirilebilecek diğer bir yöntem de koşulsal faktörlerin yorumlanmasına dayalı yöntemlerdir. Bu dolaylı yöntemleri genel olarak sezgisel yöntemler ve istatistik ya da olasılık yöntemleri olmak üzere ikiye ayırmak mümkündür (Hansen, 1984; Carrara vd., 1995).

Literatürdeki dolin oluşabilirliği tahminine yönelik modellere ait kısa bir özet aşağıda verilmiştir. Hyland (2005); dolin dağılımı ile temel kayanın türü, temel kaya üzerindeki zeminin kalınlığı, faylardan uzaklık ve drenaj ağlarından uzaklığı iki değişkenli kapsamlı bir analizle modelleyerek dolin duyarlılığı haritası üretmiştir. Soriano ve Simon (1995), dolin yoğunluğu ve birkaç parametrenin çoklu korelasyonlarını kullanarak kuzey İspanya'daki Ebro Vadisi için duyarlılık haritası üretmiştir. Bruno vd. (2008), en yakın komşuluk değerini bir karar ağacı modeli ile yorumlayarak düşük, orta ve yüksek sınıf aralıklarını içeren bir dolin duyarlılık haritası oluşturmuştur. Galve vd. (2009); Ebro Vadisi'ndeki dolin duyarlılığının belirlenmesi için en yakın komşuluk indeksi, dolin yoğunluğu, topografik, jeomorfolojik, hidrojeolojik, jeolojik özellikleri, hidrokimyayı ve insan aktivitesini sezgisel ve olasılık esaslı modellerle analiz ederek dört farklı duyarlılık haritası üretmiş ve bunları karşılaştırmıştır. Araştırmacı çalışmasında, en güvenilir duyarlılık modellerini en yakın komşuluk indeksi ve dolin yoğunluğundan elde ettiğini belirtmekte olup, bu veriler kullanılarak üretilen haritaların oldukça kolay olduğunu vurgulamaktadır. Yılmaz (2007) ise, duyarlılık haritalarının oluşturulmasına yönelik yaptığı çalışmasında Frekans Oranı (*FR*) yöntemini kullanmış ve olasılıklı dolin oluşabilirliğinin tahminine ait ilk

sonuçları yayınlamıştır. Araştırmacı çalışmasında, litoloji, faylardan, su kaynaklarından, drenaj ağlarından, yerleşim yerlerinden ve yollardan uzaklığı, bitki örtüsünü, topografik yüksekliği, şev eğimi ve yönünü dikkate alarak çok yüksek, yüksek, orta, düşük ve çok düşük sınıf aralığını içeren çökme duyarlılığı haritası hazırlamıştır. Lamelas (2008), Zaragoza (İspanya) için coğrafi bilgi tekniklerini ve lojistik regresyon kullanarak dolin olasılık haritası üretmiştir. Araştırmacı duyarlılık haritasını üretirken litolojik bazı verileri (gözeneklilik, geçirimsizlik yapı), sondaj verilerinden elde edilen birimlerin kalınlık değerlerini, yeraltısu derinliğini, fayları, bazı jeomorfolojik özellikleri, iklim ve sulama gibi çevresel bazı faktörleri girdi parametresi olarak kullanmıştır. Lamelas (2008), lojistik regresyon ve CBS tekniği ile elde ettiği haritanın bölgesel ölçek kullanım için uygun olduğunu belirtmektedir. Ancak, ulusal ve/veya uluslararası literatürde dolin oluşabilirliği modellerinin üretilmesinde, dolin oluşumuna katkı koyan parametrelerin seçilmesinde kaya kütlesi özellikleri doğrudan dikkate alınmamıştır.

Bu tür modellerin üretilmesinde kullanılan yöntemlerin fazla karmaşık olmayan kolaylıkla uygulanabilir olmasında büyük yarar vardır. Ulusal ve/veya uluslararası literatürde değişik amaçlara yönelik olarak hazırlanmış duyarlılık modellerinin üretilmesinde yaygın olarak konvansiyonel (koşulsal olasılık, frekans oranı, lojistik regresyon vb.) ve esnek hesaplama (bulanık mantık, yapay sinir ağları, kökensel yordamlar vb. ile bunların hibritleri) yöntemlerinin kullanıldığı görülmektedir. Bununla birlikte, Yılmaz (2009a ve 2009b; 2010a ve 2010b) söz konusu karmaşık yöntemlerle konvansiyonel yöntemlerin arasında geçerlilikleri bakımından çok büyük farkların olmadığını ve dolayısıyla uygulanması mümkün olduğunca basit olan yöntemlerin (frekans oranı - FR ve koşulsal olasılık - CP) kullanımının oldukça gerçekçi sonuçlar vereceğini birçok kez vurgulamıştır.

Bu nedenlerle tez çalışması kapsamında, seçilen kaya kütlesi özellikleri ile dolin oluşumu arasındaki ilişkileri de ortaya koyacak şekilde “*Dolin Oluşabilirliği Modeli*”nin üretiminde “*Koşulsal Olasılık (CP)*” modeli kullanılmıştır (Şekil 6.14).



**Şekil 6.14.** Dolin oluşabilirliği modelinin hazırlanma aşaması

#### 6.4. Koşulsal Olasılık (CP) ve Dolin Oluşabilirliği (Duyarlılık) Modeli

Bu tez çalışmasında duyarlılık modelini üretmek için kullanılacak olan Koşulsal Olasılık (CP) yöntemi Coğrafi Bilgi Sistemleri ile oldukça uyumludur. Üretilecek duyarlılık haritalarının çoğunluğunda duyarlılık ile ilişkili faktörlerin hemen hemen tümü CP yaklaşımında dikkate alınabilmektedir. Uygun bir sayıya ayrılan her bir faktör sınıfı, farklı faktörlerin çeşitli sınıflarının olası kombinasyonlarını elde edebilmek için çaprazlanabilmektedir. Duyarlılık haritalarında her bir özel kombinasyon bir pikseli

temsil etmekte ve her bir piksel içerisindeki dolinin konumsal frekansı sonradan belirlenmektedir. Koşullu olasılık kavramında, bir olayın gerçekleşme olasılığının hesaplanması için ek bilginin kullanılmasına olanak tanınmaktadır.

Olasılık kuramında, A olayının bir diğer B olayına koşullu olasılığı (B biliniyorken A'nın olasılığı), matematiksel olarak Eşitlik 6.2 ile ifade edilmektedir.

$$P(A/B) = \frac{\text{(A ve B olayının kaç kez oluştuğu)}}{\text{(B olayının kaç kez oluştuğu)}} \quad (6.2)$$

A ile B olaylarının ortak olasılıklarını, diğer bir ifadeyle her ikisinin de gerçekleşme olasılığını ifade etmek için  $P(A \cap B)$  veya  $P(A, B)$  ifadeleri kullanılmakta olup, bu durumda matematiksel ifade Eşitlik 6.3'teki gibi olmaktadır.

$$P(A/B) = \frac{P(A \cap B)}{P(B)} \quad (6.3)$$

$$P(A \cap B) = P(B) * P(A/B) \quad (6.4)$$

Diğer taraftan, A gözlenince B'nin gözlenme olasılığı da Eşitlik 6.5'deki gibidir.

$$P(B/A) = \frac{P(B \cap A)}{P(A)} \quad (6.5)$$

A ve B olayları birbirlerinden bağımsız olduklarında, birinin gerçekleştiğini bilmek doğal olarak diğerinin olasılık hesabına etki etmez. Bu durumda ortak olasılıkları basit bir çarpım halini alır ve aşağıda verilen eşitliklerle ifade edilir.

$$P(A \cap B) = P(A) * P(B) \quad (6.6)$$

Dolayısıyla,



$$P(A/B) = P(A) \quad (6.7)$$

$$P(B/A) = P(B) \quad (6.8)$$

olur.

Bayesiyen kuralına göre birden fazla faktöre ( $B_1, B_2, \dots, B_n$ ) bağlı olarak gelişen A olayı Eşitlik 6.9 ve 6.10'daki gibi ifade edilmektedir.

$$P(A/B) = \frac{[P(B/A) * P(A)]}{P(B)} \quad (6.9)$$

$$P(A) = \sum_{i=1}^n P(A \cap B) = \sum_{i=1}^n P(A/B_i)P(B_i) \quad (6.10)$$

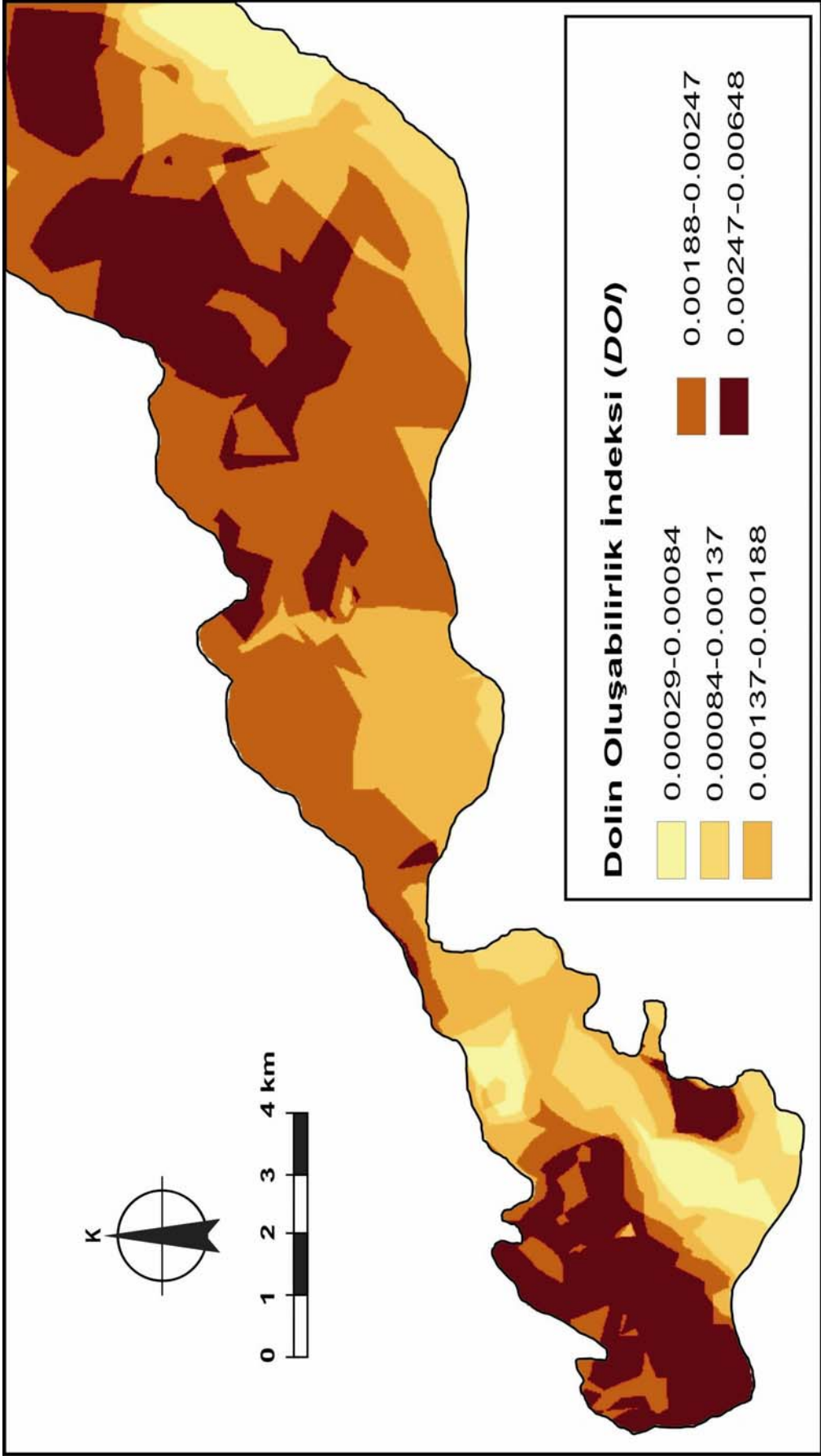
Bu çalışmada, dolin oluşabilirliği haritalarını elde etmek amacıyla bilinmesi gereken koşulsal olasılıklar Eşitlik 6.9 ve Eşitlik 6.10 kullanılarak hesaplanmış olup  $P(A/B)$ ,  $P(A)$  ve  $P(B)$  değerleri Çizelge 6.3'de toplu olarak verilmiştir. Her bir faktöre ait koşulsal olasılıkların toplanması ile elde edilen Dolin Oluşabilirlik İndeksi (*DOI*) değerleri eşit aralıklarda sınıflanarak en küçükten en büyüğe doğru sıralanmıştır. Bu değerler objektif, hiyerarşik olmayan küme analizi ile beş guruba ayrılmış ve çalışma alanı için temsili bir duyarlılık haritası oluşturulmuştur. *DOI*'nin yüksek olduğu değerler dolin oluşumunu etkileyen faktörlerin birlikteliğine karşılık gelmekte olup, çalışma alanındaki daha duyarlı alanları temsil etmektedir. Çizelge 6.4'deki gibi beş kategoriye bölünerek oluşturulan dolin oluşabilirlik haritaları, indekslerin dağılımı olarak Şekil 6.15'de ve sınıflanmış olarak Şekil 6.16'da verilmiştir.

### **6.5. Dolin Oluşabilirliği (Duyarlılık) Haritasının Performansının Sınanması**

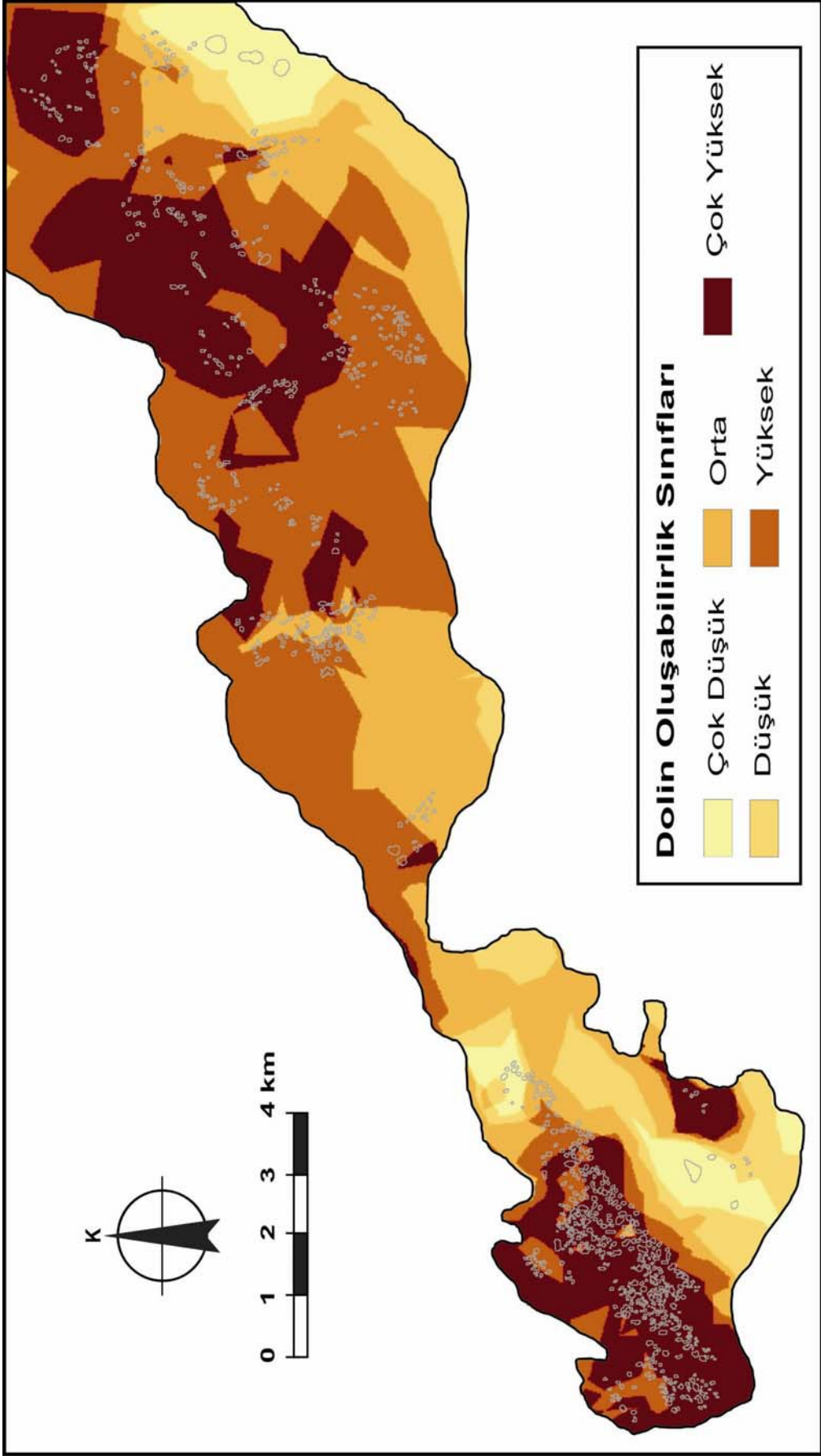
Dolin oluşabilirliği (duyarlılık) haritasının üretilmesi için yapılan analizler dolin envanter haritasındaki toplam 940 dolinin her bir duyarlılık sınıfını temsil edecek şekilde rasgele seçilen 625 tanesinin kullanılması ile gerçekleştirilmiştir. Söz konusu envanter haritasındaki geriye kalan 315 dolin ise test verisi olarak kullanılarak üretilen haritanın doğruluğu test edilmiştir.

**Çizelge 6.3.** Koşulsal olasılık modellerinden elde edilen P(A/B) sonuçları

| Sınıf                                | P(A)    | P(B)    | P(A/B)  |
|--------------------------------------|---------|---------|---------|
| <b><i>Eklem Aralığı (mm)</i></b>     |         |         |         |
| 56-132                               | 0.00007 | 0.04774 | 0.00150 |
| 132-208                              | 0.00049 | 0.56503 | 0.00087 |
| 208-284                              | 0.00009 | 0.18168 | 0.00050 |
| 284-360                              | 0.00001 | 0.07774 | 0.00017 |
| 360-436                              | 0.00001 | 0.03430 | 0.00026 |
| 436-512                              | 0.00001 | 0.03192 | 0.00017 |
| 512-589                              | 0.00000 | 0.02554 | 0.00013 |
| 589-665                              | 0.00000 | 0.01783 | 0.00012 |
| 665-741                              | 0.00000 | 0.01025 | 0.00011 |
| 741-818                              | 0.00000 | 0.00798 | 0.00014 |
| <b><i>Eklem Devamlılığı (cm)</i></b> |         |         |         |
| 55-91                                | 0.00009 | 0.02231 | 0.00424 |
| 91-128                               | 0.00028 | 0.28164 | 0.00100 |
| 128-165                              | 0.00026 | 0.48591 | 0.00054 |
| 165-200                              | 0.00003 | 0.12509 | 0.00025 |
| 200-237                              | 0.00001 | 0.04400 | 0.00017 |
| 237-273                              | 0.00000 | 0.01604 | 0.00021 |
| 273-309                              | 0.00000 | 0.01080 | 0.00020 |
| 309-346                              | 0.00000 | 0.00668 | 0.00016 |
| 346-382                              | 0.00000 | 0.00681 | 0.00016 |
| 382-418                              | 0.00000 | 0.00072 | 0.00000 |
| <b><i>Eklem Açıklığı (mm)</i></b>    |         |         |         |
| 3.02-7.70                            | 0.00016 | 0.22256 | 0.00074 |
| 7.70-12.38                           | 0.00038 | 0.52662 | 0.00072 |
| 12.38-17.05                          | 0.00009 | 0.12069 | 0.00071 |
| 17.05-21.73                          | 0.00004 | 0.06044 | 0.00065 |
| 21.73-26.40                          | 0.00001 | 0.02396 | 0.00032 |
| 26.40-31.08                          | 0.00000 | 0.01648 | 0.00020 |
| 31.08-35.75                          | 0.00000 | 0.01099 | 0.00020 |
| 35.75-40.43                          | 0.00000 | 0.01086 | 0.00020 |
| 40.43-45.10                          | 0.00000 | 0.00688 | 0.00016 |
| 45.10-50                             | 0.00000 | 0.00052 | 0.00000 |



Şekil 6.15. Dolin duyarlılık indeksi dağılımı



Şekil 6.16. Dolin duyarlılık haritası

**Çizelge 6.4.** Dolin oluşabilirliği indeksleri ve duyarlılık sınıfları

| <b>Dolin Oluşabilirlik İndeksi (DOI)</b> | <b>Duyarlılık Sınıfı</b> |
|--|--------------------------|
| 0.00029-0.00084                          | Çok düşük duyarlılık     |
| 0.00084-0.00137                          | Düşük duyarlılık         |
| 0.00137-0.00188                          | Orta duyarlılık          |
| 0.00188-0.00247                          | Yüksek duyarlılık        |
| 0.00247-0.00648                          | Çok yüksek duyarlılık    |

Duyarlılık haritalarının performansları bölgenin envanter haritasında var olan ancak duyarlılık modellerinde kullanılmayan dolinlerden yola çıkılarak test edilmiştir. Üretilen duyarlılık haritası güvenilirliğini test etmek için dolin envanter haritası ve duyarlılık haritasının karşılaştırılarak üretilen duyarlılık haritalarında kullanılan model performansları değerlendirilmiştir. Performansın sınanması amacıyla yönelik olarak aşağıda verilen iki farklı yöntem kullanılmıştır.

- a. Uygunlu derecesi, *DF* (Degree of Fit)
- b. Eğri altında kalan alan, *AUC* (Area Under Curve)

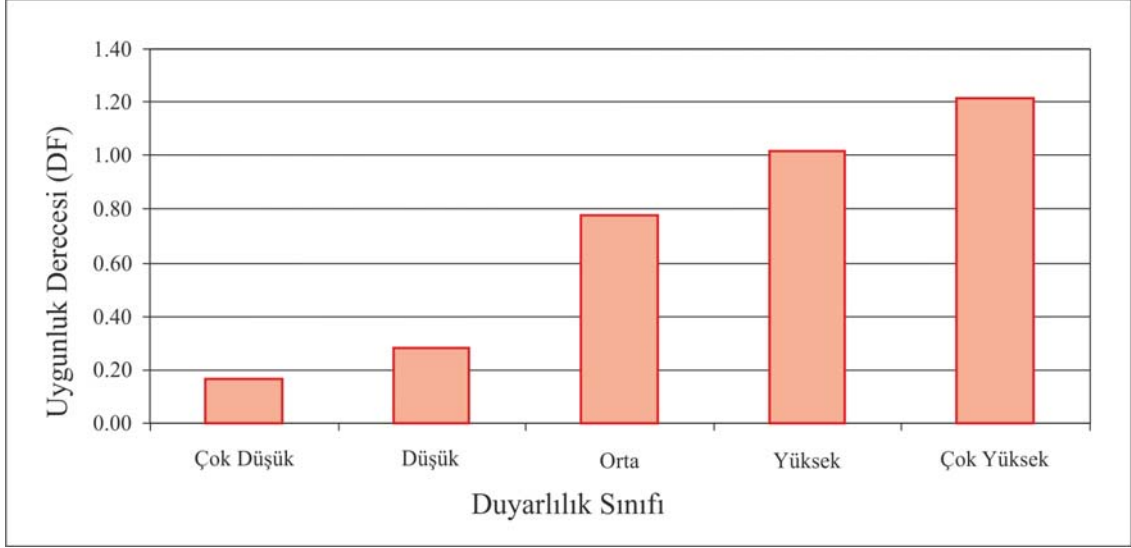
### 6.5.1. Uygunluk Derecesi, *DF*

Bu kapsamda; Irigaray (1995), tarafından önerilen ve duyarlılık haritaları için kullanılan doğrulama/geçerlilik yöntemi uygulanmıştır. Modelin doğrulanması ve geçerliliğinin test edilmesi için Eşitlik 6.11’de verilen ifade kullanılarak uygunluk derecesi (*DF*) hesaplanmıştır.

$$DF = (Z_i / S_i) / (\sum (Z_i / S_i)) \quad (6.11)$$

Burada;  $Z_i$  duyarlılık haritasının  $i$  sınıfındaki dolinden etkilenen piksel sayısı,  $S_i$  ise duyarlılık haritasının  $i$  sınıfının piksel sayısıdır.

Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, uygunluk derecesinin düşük olduğu değerler düşük duyarlılık sınıfını yüksek olduğu değerler ise çok yüksek duyarlılık sınıfını göstermektedir (Şekil 6.17).

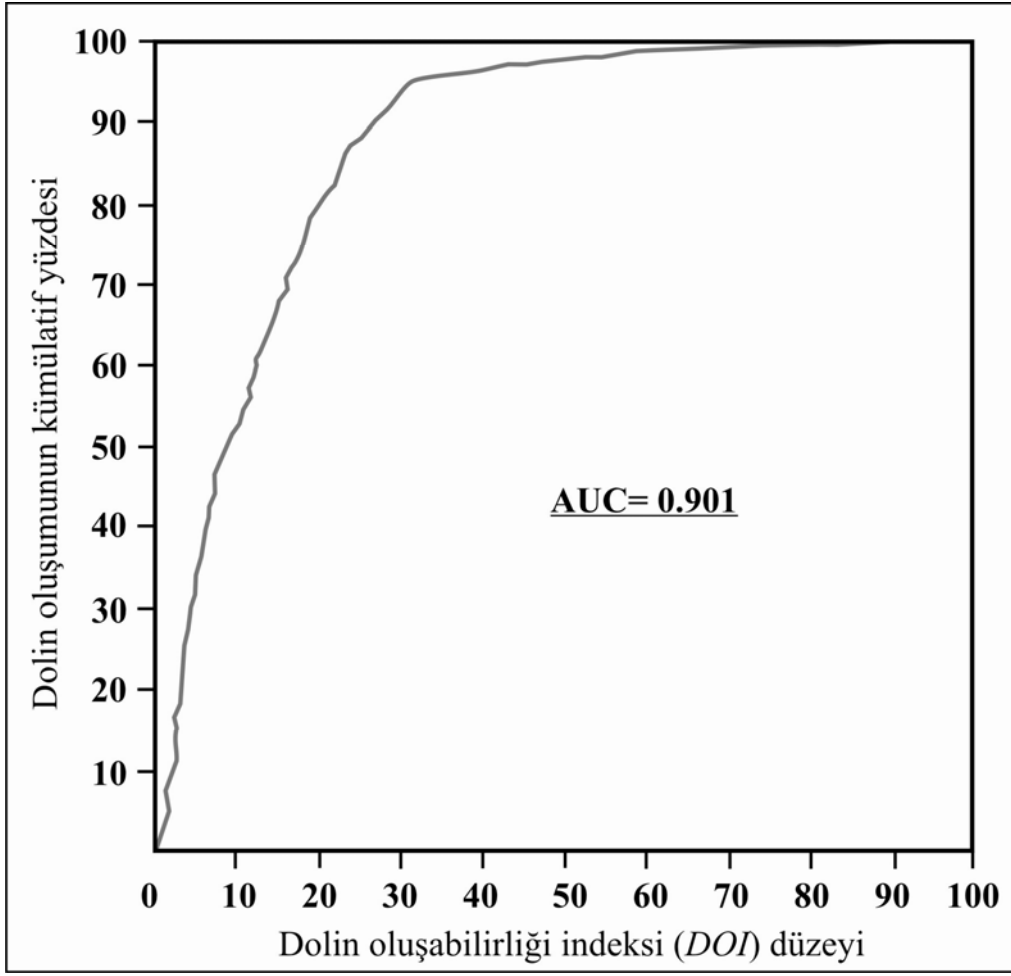


Şekil 6.17. Duyarlılık sınıflarının uygunluk derecesi

### 6.5.2. Eğri Altında Kalan Alan

Bu tür haritaların üretiminde kullanılan model performanslarının öngörülerini test etmek için kullanılan yöntemlerden bir diğeri de eğri altında kalan alan (*AUC*) analizi olup, sıklıkla kullanılan ve model performansının doğrulanmasında oldukça iyi bir göstergedir (Örneğin; Lee ve Min, 2001; Lee ve Sambath, 2006; Yılmaz, 2009b; Yeşilnacar ve Topal, 2005).

İdeal bir modelde en büyük *AUC* değeri 0.5 ile 1.0 arasında değişmekte olup, bu çalışmada da duyarlılık modelinin performansının değerlendirilmesi içinde *AUC* yöntemi kullanılmış ve elde edilen eğri Şekil 6.18'de verilmiştir. Bu tez çalışması kapsamında modelin doğrulanması ve geçerliliğinin test edilmesi için elde edilmiş olan eğri için *AUC* değeri 0.901 olup, ideal değer olan 1'e çok yakın olması nedeniyle modelin güvenilir olduğu söylenebilir.



şekil 6.18. CP modeline ait AUC eğrisi

## 7. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Karstik arazilerdeki makro şekillerden biri olan dolinler bölgenin karstik gelişim sürecinin anlaşılmasında önemli özelliklerinden birini oluşturmaktadır. Bu nedenle, bir karstik bölgenin jeomorfolojik ve hidrojeolojik gelişiminin belirlenebilmesi için öncelikle dolin tiplerini iyi bilmek ve adlarını doğru koymak gerekir. Benzer şekilde, kaya kütlesi karakteristiklerinin ve bölge tektoniğinin doğru olarak ortaya konulması dolinlerin bu parametrelerle olan ilişkisinin de değerlendirilebilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Jips alanları Türkiye'nin yaklaşık % 5'lik bir kısmını oluşturmakta olup, jipsin en büyük dağılımı Sivas havzasında yer almaktadır. Bu havzada Sivas, Zara ve İmranlı arasındaki geniş alanları kapsayan masif jipsler tümüyle karstik bir görünümündedir. Çalışma alanında, genel olarak çökme ve çözünme dolinleri en çok gözlenen dolin türleridir. Bu dolinler çoğunlukla çanak şekilli dolinler grubunda yer almakta olup, huni şekilli dolinler de mevcuttur ancak bunların yoğunlukları daha azdır. Kuyu şekilli dolinler ise çok az gözlenmekle birlikte oluşumları yeni başlamış sığ dolinler bu gruba girmektedir. Bu tez çalışmasında, Sivas'ın doğu kesimindeki jips karstına bağlı olarak oluşmuş dolinlerle kaya kütlelerinin süreksizlik özellikleri arasındaki ilişkiler belirlenerek, kaya kütlesi özelliklerinin dolin oluşumuna etki ve katkıları araştırılmıştır. Söz konusu ilişkilerin ortaya konulabilmesi için kaya kütlesi karakteristiklerinin dolin oluşumundaki potansiyel etkileri tek tek değerlendirilmiş ve etkin karakteristiklerin etkisi dolin oluşabilirliği anlamında modellenmiştir.

Çalışma alanında üç ana eklem seti bulunmuş olup, yönelimleri; 70/104 (K14D 70GD), 43/153 (K63D 43GD) ve 68/233 (K37B 68GB)'dir. Karstik yapıların yönelimleri süreksizlikler tarafından kontrol edilmekte olup, dolinlerin egemen uzun eksen yönelimi K25-45B kısa eksen yönelimi ise K45-75D yönündedir. Bölgedeki dolinlerin genel dizilimleri genellikle K40-60D ve K20-40B doğrultusuna sahip bir çizgisellik sunmakta olup, eklem yönelimleriyle uyumluluk göstermektedir. Çalışma alanındaki az sayıda gözlenen yüzey drenaj unsurlarının genel yönelimleri de belirtilen yönlerle büyük bir paralellik sunmakta ve aşınarak birleşen dolinlerin bu derelerin oluşumunda önemli bir etkisinin olduğu düşünülmektedir. Bu anlamda bölgedeki jips yayılımının KD-GB yönünde olması da genel karstlaşma yönünün gelişiminde önemli



bir etken oluşturmaktadır. Çalışma alanında uzun ve kısa eksenlerinin yukarıda belirtilen yönlerle paralel olmayan ve yaklaşık daire şeklinde olan dolinler de mevcuttur.

Çalışma alanındaki dolinler süreksizlik aralığının azaldığı bölgelerde yoğunlaşmakta olup, eklem aralığı dolin ilişkisi haritası incelendiğinde dolinlerin çoğunlukla süreksizlik aralığının 56-360 mm arasında değiştiği bölgelerde gözleendiği, ancak süreksizlik aralığının 132 mm ile 284 mm arasında olduğu yerlerde ise yoğunlaşmakta olduğu görülmektedir. Bu alanlardaki dolinlerin genel özelliklerine bakıldığında, dolinlerin çok geniş bir alana yayıldıkları, ancak yamaç eğimlerinin düşük, derinliklerinin ise 2-20 m oldukları görülmektedir. Bu alanlardaki dolinlerin çoğunluğu, dolin yamaç eğimlerinin düşük ve derinliklerinin az olması ile şekilleri temel alınarak çözünme dolinleri olarak değerlendirilmiştir. süreksizlik aralığının 360 mm'den daha büyük olduğu bölgelerde de dolinler gözlenmektedir. Ancak bu alanlardaki dolinlerin yamaçları oldukça dik, derinlikleri ise bazı yerlerde 80 m'ye kadar ulaşmaktadır. Bu alanlarda; süreksizlik aralıklarının büyük olması dolin duvarlarının duraylılığını arttırmaktadır. Düşük eklem yoğunluğu ise çözünebilecek kaya kütlelerinin yüzeyi azalmakta ve var olan dolinlerin mevcut çözünme yollarıyla daha fazla çözünerek çökmesine ve derinleşmesine yol açmaktadır. Bu alanlarda dolinler çoğunlukla kümeler şeklinde olmayıp tekil bir konum sergilemekte ve bunların yakın civarında çok fazla dolin oluşumu gözlenmemektedir. Bu bölgelerdeki dolinlerin oluşumunda ve gelişiminde çökme mekanizmasının daha etkili olduğu düşünülmektedir.

Eklem devamlılığının dolin oluşumuna etki ve katkılarının açıklanması açısından eklem devamlılığı dolin ilişkisi haritası irdelendiğinde, eklem devamlılığının arttığı alanlarda dolin oluşumunun daha az, ancak derinliklerinin ise diğerlerine göre oldukça fazla olduğu gözlenmektedir. Buradaki dolinlerin şekilleri çoğunlukla dairesel, ancak daha büyük ve yamaç eğimleri ise oldukça diktir. Devamlılığın azaldığı alanlarda ise, dolinler yoğunlaşmakta ancak daha küçük şekilli ve birbiri içine girmiş şekilde görülmektedir. Bu durum, azalan eklem devamlılığı sayesinde daha fazla eklem kesişme noktasının oluşmasıyla çözünme noktalarının artması ve daha çok alanda çözünmelerin oluşmasına sebep olmaktadır.

Çalışma alanındaki dolinlerin derelere yakınlıkları ile ilgili analizler sonucunda, derelere yakınlığın 400 m'den fazla olduğu yerlerden itibaren dolinlerin sayılarında artış gözlenmektedir. Ancak derelerin üst kısımlarında daha yakın kimi noktalarda bu mesafe biraz daha düşmekte olup, bu noktalar derelerin aşındırma etkilerinin daha az olduğu üst kotları, yani derelerin başlangıç yerlerini oluşturmaktadır. Bu alanlardaki yaklaşık KB-GD uzanımlı dereler dolinleri aşındırarak günümüzde dolinlerin buralarda gözlenmemesine neden olmuşlardır. Elde edilen bu sonuçlar, özellikle arazi kullanımı bakımından söz konusu ilişkinin dikkate alınmasının gerekliliğini büyük ölçüde ortaya koymaktadır. Dolin oluşumunun beklendiği jips kaya kütlesi ve benzeri kayaların bulunduğu yerlerde, özellikle akarsu ve derelere yakın bölgelerde, dolin gözlenmemesi dolin oluşumunun gerçekleşmeyeceği anlamına gelmemektedir. Bu gibi sahalarda mühendislik yapılarının planlanmasında daha çok derelerden uzaklaşarak araştırmaların yapılması ve yeraltı yapısının ortaya konulması özellikle önemlidir.

Literatürde dolin oluşumu duyarlılık haritalarının üretilmesine yönelik az sayıda yayınlanmış olan çalışmalarda (Hyland, 2005; Soriano ve Simon, 1995; Yılmaz, 2007; Lamelas, 2008; Galve vd., 2009) kaya türü, faylardan, su kaynaklarından, drenaj ağlarından, yerleşim yerlerinden ve yollardan uzaklık, bitki örtüsü, topoğrafik yükseklik, şev eğimi ve yönü, yeraltısuyu tablasının derinliği, iklim ve sulama gibi faktörler girdi parametresi olarak kullanmıştır. Bu tez çalışmasından elde edilen sonuçlardan da görüldüğü gibi, dolin oluşumunu denetleyen en önemli parametrelerden birinin de kaya kütesine ait parametrelerin olacağı gerçeğine karşın, ulusal ve/veya uluslararası literatürde dolin oluşabilirliği modellerinin üretilmesinde bu parametreler doğrudan dikkate alınmamıştır. Süreksizlikler aracılığıyla kaya kütlesi karakteristiklerinin ortaya konulması yeraltı açıklıklarının duraylılığının anlaşılması açısından da oldukça önemlidir. Bu nedenle bu çalışmada, temel olarak kaya kütle parametrelerini esas alan dolin duyarlılık haritalarının hazırlanması önerilmiştir.

Dolin Oluşabilirlik İndeksleri (*DOI*) koşulsal olasılık (*CP*) modeli kullanılarak hesaplanmış, “*Dolin Oluşabilirlik Haritası*” üretilmiş ve dolin duyarlılık analizlerinin performanslarının sınanmaları sonucunda, yöntem ve modelde kullanılan kaya kütlesi parametrelerinden oluşan koşulsal faktörlerin tatmin edici olduğu belirlenmiştir.

Yılmaz (2009a)'ın da belirttiği gibi, bu türden haritalar gelecekteki saha kullanımı planlamalarında kullanılmak üzere büyük değere sahiptirler. Bu tez çalışmasından elde edilen sonuçlar; bölgede geleceğe yönelik olarak hazırlanacak olan arazi kullanımı planlamaları açısından da ayrıca temel veri niteliğinde değerlendirilebilir.

Bu tez çalışmasından elde edilen sonuçlara göre de, karstlaşabilen kayalara ait kaya kütlesi özellikleri sahada oluşacak karstik şekilleri önemli ölçüde etkilemektedir. Bu nedenle karstlaşabilir kayalar üzerinde yapılması planlanan mühendislik yapılarının tasarımından önce kaya kütle karakteristiklerinin ayrıntılı bir şekilde ortaya konularak olası dolin oluşma potansiyelinin birlikte değerlendirilmesi önemlidir.

Dolin oluşabilirliğini kontrol eden çevresel, jeolojik, morfolojik, arazi kullanımı, bitki örtüsü, vb. diğer birçok çevresel faktörün de söz konusu olduğu unutulmamalıdır. Bu çalışmanın amacına yönelik olarak kaya kütle karakteristikleri, dolin oluşumundaki etkilerinin belirlenebilmesi için yalnız başına kullanılmış olmakla beraber, seçilen herhangi bir bölgede dolin oluşabilirliği haritaları üretilirken kaya kütlesi parametreleri yukarıda bahsedilen diğer faktörlerle birlikte kullanılmalıdır. Bu tez çalışması kapsamında, özellikle Yılmaz (2007) tarafından girdi olarak kullanılmış olan diğer parametreler de kullanılarak tez sahasında dolin oluşabilirliği modeli üretilmesi ve tez çalışmasında önerilmiş olan modelle karşılaştırılması da düşünülmüştür. Ancak tez çalışmalarına ayrılmış olan süre, farklı diğer girdi verilerinin elde edilmesi ve modellerin üretilmesine olanak tanımamıştır. Daha sonraki çalışmalarda, aynı sahada Yılmaz (2007) tarafından önerilmiş girdi parametreleri dikkate alınarak dolin oluşabilirlik modelinin ve bu girdilerin tez çalışmasında önerilen girdi parametreleri ile birlikte kullanımı ile diğer bir dolin oluşabilirlik modelinin elde edilmesi ve performansların karşılaştırılması planlanmaktadır.

## 8. YARARLANILAN KAYNAKLAR

- Aktimur, T., Atalay, Z., Tekirli, E. ve Yurdakul, M.E. (1988).** Munzur Dağları Çavuşdağı Arasının Jeolojisi. MTA Rap. No: 8320 (yayımlanmamış).
- Aktimur, H.T., Z., Tekirli, M.E. ve Yurdakul, M.E. (1990).** Sivas - Erzincan Tersiyer Havzasının jeolojisi. M.T.A. Dergisi 111, 25-36.
- Alagöz, C. (1967).** Sivas çevresinde ve doğusunda kart olayları; A.Ü.D.T.C.F. Yayını, 175 s.
- Amin, A. and Bankher, K. (1997).** Causes of Land Subsidence in the Kingdom of Saudi Arabia. Natural Hazards 16, 57-63.
- Andrejchuk V.N. (1996).** Gypsum karst of the pre-Ural region. 285-292. In: Klimchouk A.B, Lowe D.J, Cooper A.H and Sauro U. (Eds.) - Gypsum karst of the World. Int. Journal of Speleology Theme issue 25 (3-4).
- ArcGIS (Version 9.1), (2005).** Integrated geographical information system software, ESRI, CA.
- Arkin, Y. and Gillat, A. (2000).** Dead Sea sinkholes-an ever-developing hazard. Environmental Geology 39 (7), 711-722.
- Augarde, C.E., Lyamin, A.V. and Sloan, S.W. (2003).** Prediction of undrained sinkhole collapse. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering 129, 197-205.
- Aydın, H. (2005).** Harmanköy-Beyyayla (Bilecik) Karst Sisteminin Morfoloji-Hidrojeoloji İlişkileri açısından İncelenmesi. Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.206s. Ankara.
- Bahtijarevic, A. (1996).** Morphometric analysis of the Northern Floridan karst [MA thesis]: University of South Florida, 96 p.
- Bates, R.L. and Jackson, J. (1987).** Glossary of geology: Alexandria, Virginia, American Geological Institute, p. 788.
- Baykal, F. ve Erentöz, C. (1966).** Türkiye Jeoloji haritası, Sivas paftası izahnamesi: M.T.A. Yayını, 116 syf., Ankara.
- Baysal, O and Ataman, G. (1979).** sedimenology, minerology and geochemistry of a sulphate serie (Sivas – Turkey). Sed. Geol. V. 25, p. 67-81.

- Beck, B.F. (1986).** A generalized genetic framework for the development of sinkholes and karst in Florida, USA. *Environmental Geology Water Sciences* 8, n5-18.
- Beck, B.F. and Sicklair, W.C. (1986).** Sinkholes in Florida; An Intradacton. Florida Sinkhole Research Institute Report 85-86-4, 16pp.
- Bell, F.G., (1981).** Geotechnical properties of some evaporitic rocks: *Bulletin of IAEG*, 24, 137-144.
- Belloni, S., Martins, B. and Orombelli, G. (1972).** Karst of Italy. Karst, Important Karst Regions of The Northern Hemisphere, Herak, M., Stringfield, V.T. (ed.), 85-125, Elsevier Pub. Com. New York.
- Benito, G., Perez-Gonzalez A., Gutierrez, F. and Machado, M.J. (1998).** River response to Quaternary subsidence due to evaporite solution (Gallego River, Ebro Basin, Spain). *Geomorphology* 22, 243-263.
- Benito, G., Gutierrez, F., Perez-Gonzalez, A., and Machado, M.J. (2000).** Geomorphological and sedimentological features in Quaternary fluvial systems affected by solution-induced subsidence (Ebro Basin, NE-Spain). *Geomorphology* 33(3-4), 209-224.
- Bieniawski, Z. T. (1989).** Engineering Rock Mass Classification: Mc Graw Hill, New York, NK, 237 p.
- Bleahu, M.D. (1972).** Karst of Rumania. Karst, Important Karst Regions of The Northern Hemisphere, Herak, M., Stringfield, V.T. (ed.), 341-353, Elsevier Pub. Com. New York.
- Blumenthal, M. (1938).** Şarkı Toros mıntıkasında Hekimhan-Kangal-Hasançeşlebi irtifasında jeolojik araştırmalar: M.T.A. Derl. Rap. No: 570.
- Boyadgiev, T.G. (1976).** Contribution to the knowledge of gypsiferous soil, AGON/SF/SYR/67/522. FAO, Rome.
- Bögli, A. (1980).** Karst hydrology and physical speleology (translated by June C. Schmidt). Springer, Berlin Heidelberg New York, 284 pp.
- Brezinski, D. K., Reger, J. P., and Baum G. R. (2003).** "Geologic mapping as a basis for sinkhole susceptibility prediction, Frederick Valley Maryland." Maryland Geological Survey, *Environmental Geology & Mineral Resources Online Publications* (2003).

- Brook, G.A. and Allison, T.L. (1986).** Fracture mapping and ground susceptibility modelling in covered karst terrain: the example of Dougherty County, Georgia. Land Subsidence. IAHS Publication No. 151, pp. 595–606.
- Brune, C. (1965).** Anhydrite and gypsum problems in engineering geology; Engineering Geology, 2.1, 26-33.
- Bruno, E., Calcaterra D. and Parise M. (2008).** Development and morphometry of sinkholes in coastal plains of Apulia, southern Italy. Preliminary sinkhole susceptibility assessment Engineering Geology 99 pp. 198–209.
- Buttrick, D. Van and Schalkwyk, A. (1998).** Hazard and risk assessment for sinkhole formation on dolomite land in South Africa. Environmental Geology 36 (1- 2), 170-178.
- Calaforra, J.M. and Pulido-Bosch, A. (1999).** Gypsum karst features as evidence of diapiric processes in the Betic Cordillera, Southern Spain. Geomorphology 29, 251-264.
- Calaforra, J.M. and Pulido-Bosch, A. (2003).** Evolution of the gypsum karst of Sorbas (SE Spain). Geomorphology 50, 173–180.
- Carrara, A., Cardinali, M., Guzzetti, F. and Reichenbach, P. (1995).** GIS technology in mapping landslide hazard. In: Carrara, A., Guzzetti, F. (Eds.), Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards. Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, pp. 135–175.
- Ceyhan, F. (1987).** Sivas güneydoğusundaki tuz ve jips yataklarının jeolojisi, oluşumu, kökeni ve ekonomik özellikleri. Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi 106 s. SİVAS.
- Chardon M. and Nicod J. (1996).** Gypsum karst of france İnt. Journal Speleology 25 (3-4).
- Clark, P.J. and Evans, F.C. (1954).** Distance to nearest neighbor as measure of spatial relationships in populations. Ecology 35, 445–453.
- Cody, R. D. and Cody, A. M. (1988).** Gypsum nucleation and crystal morphology in analog saline terrestrial environments. Journal of Sedimentary Petrology 58, 247-255.

- Colin J. F. P. Jones and Anthony H. Cooper (2005).** Road construction over voids caused by active gypsum dissolution, with an example from Ripon, North Yorkshire, England, *Environ Geol* (2005) 48: 384–394.
- Cooke, R.U. and Doornkamp, J.C. (1990).** *Geomorphology in Environmental Management*. Oxford: Clarendon Pres.
- Cooley, T. (2002).** Geological and geotechnical context of cover collapse and subsidence in mid-continent US clay-mantled karst. *Environmental Geology* **42** (2002), pp. 469–475.
- Cooper, A. H. (1998).** Subsidence hazards caused by the dissolution of Permian gypsum in England: gology, investigation and remediation. *Geology Society, London, Engineering Geology Special Publication*, 15, 265-275.
- Cooper, A.H. and Waltham, A.C. (1999).** Subsidence caused by gypsum dissolution at Ripon, North Yorkshire. *Quarterly Journal of Engineering Geology* 32, 305-310.
- Cooper, A.H. and Saunders J.M. (1999).** Road and bridge construction across gypsum karst in England. *Engineering Geology* 52(1-2), 93-103.
- Cooper, A.H. (2002).** Halite karst geohazards (natural and man-made) in the United Kingdom, *Environmental Geology* 42, pp. 505–512.
- Cooper, A.H. and Saunders, J.M. (2002).** Road and bridge construction across gypsum karst in England. *Engineering Geology*.
- Crawford, N.C. (1982).** *Hydrogeologic Problems Resulting From Development Upon Karst Terrain, Bowling Green, KY. Guidebook for U.S. Environmental Protection Agency Karst Hydrogeology Workshop, Nashville, TN, 34 p.*
- Culshaw, M.G. and Waltham, A. C. (1987).** Natural and artificial cavities as ground engineering hazards: *Quarterly Journal of Engineering Geology*, v. 20. p. 139– 50.
- Cvijic, J. (1893).** Das Karstphaenomen. *Geographische Abhandlungen Wien* 5 (3), 218-329.
- Çiner, A. ve Koşun, E. (1996).** Hafik güneyindeki (Sivas Havzası) Oligo Miyosen yaşlı çökellerin stratigrafisi ve sedimantolojisi. *TPDJ Bült.* 8/1, 16-34.
- Çiner, A., Koşun, E. ve Çubuk, Y. (1995).** Sivas havzasının sedimantolojisi, ekonomik potansiyeli ve çevrimsel sedimantasyona örnekler. *Tübitak Rapor no: YBAG-064*, 112s.

- Çubuk, Y. (1994).** Boğazören (İmranlı) ve Karayün (Hafik) Yörelerinde (Sivas doğusu) Yüzeyleyen Miyosen Yaşlı Birimlerin Tektonostratigrafisi. Cumhuriyet Üniversitesi Fen. Bil. Enst. Doktora Tezi (Yayınlanmamış).
- Day, M.J. (1976).** The morphology and hydrology of some Jamaican karst depression. *Earth Surf. Process* 1, 111-29.
- Day, M.J. (1983).** Doline morphology and development in Barbados: *Annals of the Association of American Geographers*, v. 73, p. 206-219.
- Değirmenci, M., Kaçaroğlu, F. ve Cerit, O. (1996),** Jipsli havzalarda su sağlamada karşılaşılan kalite problemleri (Sivas örneği) Jeoloji Mühendisliği Bölümü 30. yıl sempozyumu KTÜ – Trabzon.
- Demirman, F. (1965).** Sincan bölgesi (Zara-Divriği) genel jeolojisi: MTA Rap., 4127 Ankara.
- Denizman, C. (2003).** Morphometric and spatial distribution parameters of karstic depressions, lower Suwannee River Basin, Florida, *J. Cave Karst Stud.* 65 (1) (2003), pp. 29–35.
- Doğan, U. ve Çiçek, İ. (2002).** Occurrence of cover-collapse sinkholes (cover-collapse dolines) in the May Dam reservoir area (Konya, Turkey). *Cave and Karst Science* 29 (3), 111-116.
- Doğan, U. (2003).** Dipsiz Göl Kapalı Havzası'ndaki Çökme ve Sübidans Dolinleri. *Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 13 (2), 1-21.
- Doğan, U. (2004).** Dolin Sınıflamasında Yeni Yaklaşımlar GÜ, Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi, Cilt 24, Sayı (2004) 249-269.
- Doğan, U. and Özel, S. (2005).** Gypsum karst and its evolution east of Hafik (Sivas-Turkey) *Geomorphology* 71, 373-388.
- Drake, J.J and Ford, D.C. (1972).** The analysis of growth patterns of two-generation populations: the examples of karst sinkholes. *Canadian Geographer* 16: 381–384.
- Eardley, A. J. and Stringham, B. (1952).** Selenite crystals in the clays of Great Salt Lake: *Jour. Sed. Petrology*, v. 22, p. 234-238.
- Edmonds, C., Green, C. and Higginbottom, I. (1987).** Subsidence hazard prediction for limestone terrains, as applied to the English Cretaceous chalk. *Geological Society Engineering Geology Special Publication* 4, 283–293.



- Ekmekçi, M. (2003).** Review of Turkish karst with emphasis on tectonic and paleogeographic controls *Acta Carsologica*, 32/2, 17, 205-218, 205-218 LJUBLJANA 2003
- Elorza, M.G. and Santolalla, F.G. (1998).** Geomorphology of the Tertiary gypsum formations in the Ebro Depression (Spain). *Geoderma* 87, 1-29.
- Erinç, S. (2001).** Jeomorfoloji II (Güncelleştirilmiş 3. Basım). İstanbul: Der Yayınları: 294.
- Florea, L. J., Paylor, R. L., Simpson, L. and Gulley, J. (2002)** Karst GIS Advances in Kentucky. *Journal of Cave and Karst Studies* 64 (1): 58-62.
- Florea, L. J. (2005).** Using state-wide GIS data to identify the coincidence between sinkholes and geologic structure. *J Cave Karst Stud* 67(2):120–124
- Ford, D. and Williams, P. (1989).** *Karst Geomorphology and Hydrogeology* John Wiley & Sons, Chichester 599 pp.
- Ford, D. and Williams, P. (2007).** *Karst Hydrogeology and Geomorphology*, John Wiley & Sons, Chichester 562 pp.
- Gao, Y., Alexander, E. C. and Tipping, R. G. (2002).** The development of a karst feature database for southeastern Minnesota. *Journal of Cave and Karst Studies*, 64.1;51–57.
- Gamble, J.C. (1971).** Durability-Plasticity Classification Of Shales And Other Argillaceous Rocks. PhD Thesis, University of Illinois (unpublished).
- Galve, J.P., Gutierrez, F., Lucha, P., Bonachea, J., Remondo, J., Cendrero, A., Gutierrez, M., Gimeno, M.J., Pardo, G. and Sanchez, J.A. (2009).** An assessment of karst collapse hazards in Guilin, Guangxi Province, China. In: Yuhr, L.B., Alexander, E.C., Beck, B.F. (Eds.), *Sinkholes in the salt-bearing evaporite karst of the Ebro River valley upstream of Zaragoza city (NE Spain). Geomorphological mapping and analysis as a basis for risk management.* *Geomorphology*, 108, pp. 145–158.
- Garipağaoğlu, N. (1993).** Ulaş Havzasında Jips Karstı Şekilleri ve Klimajeomorfolojik Açından Bir Yaklaşım. *Türk Coğrafya Dergisi*, S.28, s. 249-270, İstanbul.
- Gongyu, L. and Wanfang, Z. (1999).** Sinkholes in karstic mining areas in china and some methods of prevention. *Engineering Geology* 52, 45-50.

- Goodings, D.J. and Abdulla, W.A. (2002).** Stability charts for predicting sinkholes in weakly cemented sand over karst limestone. *Engineering Geology* 65, 179–184.
- Gökçe, A. ve Ceyhan, F. (1988).** Sivas güneydoğusundaki Miyosen yaşlı jipsli çökellerin stratigrafisi, yapısal özellikleri ve oluşumu: Cumhuriyet Üniv. Müh. Fak., *Yerbilimleri Derg.*, 5/1, 91-113.
- Gökten, E. ve Kelling, G. (1991).** Hafik kuzeyinde Senezoyik istifinin stratigrafisi ve tektoniği: Sivas-Refahiye havzası kuzey kenarında tektonik kontrol. A. Acar Jeoloji Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 113-123s.
- Green, J. A., Marken, W. J., Alexander, E. C. Jr., and Alexander, S. C. (2002).** Karst unit mapping using geographic information system technology, Mower County, Minnesota, USA. *Environmental Geology*, 42 457–461.
- Gutierrez, F.J.M., Calaforra, F., Cardona, F., Orti, D.J.J. and Garay, P. (2008).** Geological and environmental implications of evaporite karst in Spain, *Environmental Geology* 53 (2008), pp. 951–965.
- Gürsoy, H., Temiz, H., ve Poisson, A. M. (1992).** Recent faulting in the Sivas area (SivasBasin, Central Anatolia-Turkey). *C.Ü. Müh. Fak. Derg., Seri A, Yerbilimleri*, c. 9, s. 1, 11-17s.
- Hack, J. T. (1965).** Geomorphology of the Shenandoah Valley, Virginia and West Virginia, and origin of the residual ore deposits: U.S. Geology Survey Professional Paper 484
- Hansen, A. (1984).** Landslide hazard analysis. In: Brunnsden, D., Prior, D.B. (Eds.), *Slope Instability*. Wiley, Chichester, pp. 523–602.
- Hardie, L. A. (1984).** Evaporites: Marine or non-marine? *American Journal of Science*, 284, 193-240.
- He, K., Liu, C. and Wang, S. (2003).** Karst collapse related to over-pumping and a criterion for its stability. *Environmental Geology* 43, 720–724.
- Hu, R.L., Yeung, M.R., Lee, C.F., Wang, S.J. and Xiang, J.X. (2001).** Regional risk assessment of karst collapse in Tangshan, China. *Environmental Geology* 40, 1377-1389.
- Hubbard, D. A. (2003).** Use of Regional Sinkhole Mapping for Sinkhole Susceptibility 20 Maps. Sinkholes and the Engineering and Environmental Impacts of Karst, Geotechnical Special Publication No. 122, 61–71.

- Hudson, J.A. and Priest S.D. (1979).** Discontinuities and rock mass geometr, Int.J.Rock Mech.Min Sci
- Hyland, S.E. (2005).** Analysis of sinkhole susceptibility and karst distribution in the Northern Shenandoah Valley, Virginia: Implications for Low Impact Development (LID) Site Suitability Models. Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia. 56 pp.
- Irigaray, C. (1995).** Movimientos de ladera: inventoria, analisis y cartografía de susceptibilidad mediante un Sistema de Información Geográfica. Aplicación a las zonas de Colmenar (Ma), Rute (Co) y Montefrío (Gr). Thesis Doctoral, University Granada.
- İnan, N. ve İnan, S. (1999).** Tokuş formasyonunun yaşı ve çökelme ortamına ilişkin yeni bulgular (Sivas, Türkiye) Türkiye Jeoloji Bülteni 42/1, 119-130s.
- ISRM, (2007).** The complete ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring: 1974-2006. Suggested Methods Prepared by the Commission on Testing Methods, ISRM, R. Ulusay and J.A. Hudson (eds.), Compilations Arranged by the ISRM Turkish National Group Ankara, Kozan ofset, Turkey, 628 p.
- Jafarzadeh, A. A. ve Zink, J.A. (2000).** Worldwide Distribution and Sustainable Management of Soils with Gypsum. Türkiye Toprak İlimi Derneği, Bildiri Özetleri, Konya.
- James, A.N. and Lupton, A.R. (1978).** Gypsum Anhydrite in foundations of hydraulic structures: Geotechnique, 28, 249-272.
- James, A.N. and Kirkpatrick, I.M. (1980).** Design of foundations of dams containing soluble rocks and soils Q.J. Eng. Geol., 13, 189-198.
- Jassim, S.Z., Jibril, A.S. and Numan, N.M.S. (1997).** Gypsum karstification in the Middle Miocene Fatha Formation, Mosul area, Northern Iraq. Geomorphology 18, 137- 149.
- Jennings, J.N. (1971).** Karst. Cambridge: The M.I.T. Press.
- Jennings, J.N. (1985).** Karst Geomorphology, 293pp Blackwell: Oxford.
- Johnson, K.S. and Neal, J.T. (2003).** Evaporite karst and engineering/environmental problems in the United States. Norman, Oklahoma Geological Survey: 353 pp.

- Johnson, K.S. (2005).** Subsidence hazards due to evaporite dissolution in the United States. *Environ Geol* 48:395–409.
- Johnson, K.S. (2008).** Evaporite-karst problems and studies in the USA, *Environmental Geology* 53 (2008), pp. 937–943.
- Kaçaroğlu, F., Degirmenci, M. and Cerit, O. (1997).** Karstification in Miocene gypsum: an example from Sivas (Turkey). *Environmental Geology* 30, 88– 97.
- Kangal, Ö. (2000).** Sivas havzası (Sivas-Hafik arası) Alt Miyosen birimlerinin sedimentolojik incelemesi, Doktora Tezi, A.Ü. 106s.
- Kannan, R.C. (1999).** Designing foundations around sinkholes. *Engineering Geology* 52, 75-82.
- Karacan, E. (1989).** Sivas güneydoğusundaki jipslerin jeomühendislik özelliklerinin incelenmesi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 99 syf.
- Karacan, E. (1992).** Sivas güneydoğusundaki jipslerin çözünürlük özellikleri. C.Ü. *Yerbilimleri dergisi*.
- Karacan, E. and Yılmaz, I. (1997).** Collapse dolines in miocene gypsum: an example from SW Sivas (Turkey). *Environmental Geology* 29, 263-266.
- Karacan, E. and Yılmaz, I. (2000).** Geotechnical evaluation of Miocene gypsum from Sivas (Turkey) *Geotechnical and Geological Engineering* 18: 79-90.
- Kaufmann, O. and Quinif, Y. (1999).** Cover-collapse sinkholes in the “Tournaisis” area southern Belgium. *Engineering Geology* 52, 15-22.
- Kaya, T. ve Forsten, A. (1999).** Late Miocene Ceratotherium and Hipparion (Mammalia, Perissodactyla) from D.zyayla (Hafik, Sivas), Turkey. *Geobios* 32, 743–748.
- Klimchouk, A., Lowe, D., Cooper, A. and Sauro, U. (1996).** Gypsum karst of the World: thematic issue. *Int. J. Speleol.*, 25 (3-4): 307.
- Klimchouk, A.B. and Andrejchuk, V.N. (2002).** Karst breakdown mechanisms from observations in the gypsum caves of the Western Ukraine: implications for subsidence hazard assessment. In: Klimchouk A. and Lowe D. (eds.): *Implication of Speleological Studies for Karst Subsidence Hazard Assessment*. *International Journal of Speleology*, Theme issue, N 31 (1-4), 55-89. Also published in: *Speleogenesis and Evolution of Karst Aquifers* 1 (1), [www.speleogenesis.info](http://www.speleogenesis.info), 20 pages.

- Koşun, E. ve Çiner, A. (2002).** Zara güneyi (Sivas havzası) karasal-sığ denizel miyosen çökellerinin litostratigrafisi ve fasiyes özellikleri MTA Dergisi 125, 65-88.
- Kurtman, F. (1961a).** Sivas - Divriği arasındaki sahanın jeolojisi ve jipsli seri hakkında müşahedeler. M.T.A. Derg. no. 56, Ankara.
- Kurtman, F. (1961b).** Sivas civarındaki jips serisinin stratigrafik durumu. M.T.A. Derg. no. 56, Ankara.
- Kurtman, F. (1963).** Tecer dağlarının jeolojisi ve alacalı seri hakkında bazı müşahedeler. T. J.K. Bült., cilt VIII, sayı 1-2, Ankara.
- Kurtman, F. (1973).** Sivas-Hafik-Zara ve İmranlı bölgesinin jeolojik ve tektonik yapısı M.T.A. Derg. no. 80, 1-32, Ankara.
- Lamelas, M. T., Marinoni, O., Hoppe, A. and Riva J de la (2008),** Doline probability map using logistic regression and GIS technology in the central Ebro Basin (Spain), *Environmental Geology*, 54:963–977
- Lamont-Black, J., Younger, P.L., Forth R.A., Cooper, A. H. and Bonniface, J.P. (2002).** A decision-logic framework for investigating subsidence problems potentially attributable to gypsum karstification. *Engineering Geology*.
- Lee, S. and Min, K. (2001).** Statistical analyses of landslide susceptibility at Yongin, Korea. *Environmental Geology* 40, 1095–1113.
- Lee, S. and Sambath, T. (2006).** Landslide susceptibility mapping in the Damrei Romel area, Cambodia using frequency ratio and logistic regression models. *Environmental Geology* 50 (6), 847–856.
- Lehmann, O. (1932).** Die Hydrographie des Karstes [Karst Hydrology]. In *Enzyklopädie der Erdkunde [Encyclopedia of Geography]*, edited by O.Kende, Leipzig and Vienna: Franz Deuticke
- Lolcama, J, L., Cohen, H.A. and Tonkin M.J. (2002).** Deep karst conduits, flooding, and sinkholes: lessons for the aggregates industry. *Engineering Geology* 65 (2-3), 151-157.
- Lowe, D. and Waltham, T. (2002).** *Dictionary of Karst and Caves*. Lancaster: BCRA Cave Studies Series 10.
- Milanovic, P. T. (1981).** *Karst hydrogeology: Water Resources Publication*, Littleton, Colorado, USA, 434 p.

- Murray, R.C. (1964).** Orijin and diagenesis of ypsum and anhydrite. *Journal of Sedimentary*, v.34, pp. 512-525.
- Nebert, K. (1956).** Sivas vilayetinin Zara - İmranlı muntikasındaki jips serisinin stratigrafik durumu hakkında. *M.T.A. Derg.* no. 48, Ankara.
- Nichol, D. (1998).** Sinkholes at Glan Llyn on the A55 North Wales Coast Road, UK. *Engineering Geology* 50, 101-109.
- Norman, T. (1964).** 1/25000 ölçekli Sivas I 38 c2 paftası Celali (Hafik) bölgesinin temel jeolojisi: MTA Rap. No: 4114 (Yayımlanmamış)Ankara.
- Ogden, A.E. and Regeer, J.P. (1977).** Morphometric analysis of dolines for predicting ground subsidence, Monroe County, West Virginia. In: Dilamarter, R.R., Csallany, S.C. (Eds.), *Hydrologic Problems in Karst Regions*. Western Kentucky University Press, pp. 130–139.
- Pahl, P. J. (1981).** Estimating the mean lengt of discontinuity traces. *İnternational Journal of Rock Mecanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts*, 18, 221-228.
- Palmström, A. (1995).** RMi – a rock mass characterization system for rock engineering purposes. Doktora Tezi, Oslo Uni., Norveç.
- Paukstys, B., Cooper, H.A. and Arustiene, J. (1999).** Planning for gypsum geohazards in Lithuania and England. *Engineering Geology* 52, 99-103.
- Pekcan, N. (1995).** Karst Jeomorfolojisi. İstanbul: Filiz Kitabevi.
- Pfeiffer, D. and Hahn, J. (1972).** Karst of Germany. Karst, Important Karst Regions of TheNorthern Hemisphere, Herak, M., Stringfield, V.T. (ed.), 189-221, Elsevier.
- Plan, L. Decker, K. and Faber R. (2003).** Attributed sinks - a gis - tool quantifying morphological vulnerability parameters in karstic catchment areas, *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 5, 10280, Vienna.
- Poisson, A.M., Temiz, H. ve Gürsoy, H. (1992).** Pliocene thrust tectonics in the Sivas Basin near Hafik (Turkey): Southward fore thrusts and associate back thrusts. *C.Ü. Müh. Fak. Derg.*, Seri A, Yerbilimleri, c. 9, s. 1, 19-26s.
- Poisson, A., Guezou, J.C., Temiz, H., Gürsoy, H., İnan, S., Öztürk, A., Kavak, K.Ş. ve Özden., S. (1996).** Tectonic setting and evolution of the Sivas Basin, Central Anotolia, Turkey *Int. Geol. Rev.*, Vol:38, P-838-853.

- Poisson, A., Wernli, R., Lozouet, P., Poignant, A. ve Temiz, H. (1997).** Nouvelles données stratigraphiques concernant les formations oligo-miocenes marines du bassin de Sivas (Turquie). C.R. Acad. Sci. Paris, 325, 869–875.
- Price, N. J. (1966).** Fault and joint development in brittle and semi-brittle rock: Pergamon Press, London, 176 p.
- Priest, S. D. and Hudson, J. A. (1976).** Discontinuity spacing in rock. . International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts, 13, 135-148.
- Priest, S.D. (1993).** Discontinuity analysis for rock engineering. Chapman and hall, 373 pp
- Priest, S.D. (2004).** Determination of Discontinuity Size Distributions from Scanline Data, Rock Mechanics and Rock Engineering 37 (5), 347–368.
- Pringle, J. M. (1973).** Morphometric analysis of surface depressions in the Mangapu karst. MSc. Thesis, University of Auckland.
- Prokopovich, N.P. (1985).** Development of karst sinkholes and fluctuation of aquifer levels. Karst Water Resources IAHS Publ. 161, 387-397.
- Ragozin, A.L., Yolkin, V.A. and Chumachenko, S.A. (2005).** Experience of regional karst hazard and risk assessment in Russia. In: Beck, B.F. (Ed.), Sinkholes and Engineering and Environmental Impact of Karst. ASCE Geotechnical Special Publication, vol. 144, pp. 72–81.
- Rives, T., Razak, M., Petit, J.P. and Rawnsley K.D. (1992).** Joint spacing: analogue and numerical simulation. Journal of structural geology, Vol.14. Pergamon Press.
- Salvati, R. and Sasowsky, I.D. (2002).** Development of collapse sinkholes in areas of groundwater discharge. Journal of Hydrology, 264, 1-11.
- Schmalz, F. R. (1969).** Deep-Water evaporite deposition, a genetic model: A.A.P.G., 53, 4, 798-823.
- Seale, LD (2005).** Creation, analysis, and evaluation of remote-sensing sinkhole databases for Pinellas County, Florida. Masters thesis, University of South Florida, Tampa, p 55.
- Sivas Valiliği (2008).** Sivas ili çevre durum raporu. Sivas, 548s.
- Sokolov, D. S. (1962).** Osnovnie usloviya razvitiya karsta (Main conditions of karst development). Moskow, USSR

- Sonnenfeld, P. (1975).** The significance of upper Miocene (Messinian) evaporites in the Mediterranean Sea: *The Journal of Geology*, 83, 287-311.
- Soriano, A. and Simon, L. (1995).** Alluvial dolines in the central Ebro Basin, Spain: a spatial and developmental hazard analysis. *Geomorphology* 11, 295–309.
- Sowers, G.F. (1996).** Building on Sinkholes 202 pp ASCE Press New York.
- Stafford, K. W. (2008).** Hypogene karst and sulfate diagenesis of the Delaware basin: Southeastern New Mexico and Far West Texas dissertation submitted to the faculty of New Mexico Institute of Mining and Technology in partial fulfillment of the requirements for the Degree of Doctorate of Philosophy in Geology in the Department of Earth and Environmental Science Socorro, New Mexico.
- Stechepinsky, V. (1939).** Sivas vilayeti merkezi kısmının umumi jeolojisi hakkında rapor. M. T.A. Rap., no.868, Ankara.
- Sweeting, M.M. (1973).** Karst Landforms. New York: Columbia University Press.
- Taqieddin, S.A., Abderahman, N.S. and Atallah, M. (2000).** Sinkhole hazard along eastern Dead Sea shoreline area, Jordan: a geological and geotechnical consideration. *Environmental Geology* 39 (11), 1237-1253.
- Tekin, E. (2001).** Stratigraphy, Geochemistry and Depositional Environment of the Celestine-bearing Gypsiferous Formations of the Tertiary Ulaş-Sivas Basin, East-Central Anatolia (Turkey) *Turkish Journal of Earth Sciences (Turkish J. Earth Sci.)*, Vol. 10, 2001, pp. 35-49.
- Temiz, H. (1994).** Sivas Tersiyer havzasının Kemah (Erzincan) ve Hafik (Sivas) yörelerindeki tektonostratigrafisi ve deformasyon biçimi Cumhuriyet Üniversitesi Fen. Bil. Enst. Doktora Tezi Sivas, 1994.
- Tharp, T. M. (1999).** Mechanics of upward propagation of cover-collapse sinkholes. *Engineering Geology* 52, 23-33.
- Tharp, T.M. (2002).** Poroelastic analysis of cover-collapse sinkhole formation by piezometric surface drawdown. *Environmental Geology* 42, pp. 447–456.
- Tharp, T.M. (2003).** Cover-collapse sinkhole formation and soil plasticity. Sinkholes and the Engineering and Environmental Impacts of Karst. ASCE, Huntsville, Alabama, pp. 110–123.
- Thomas, B. and Roth, M.J.S. (1999).** Evaluation of site characterization methods for sinkholes in Pennsylvania and New Jersey. *Engineering Geology* 52, 147-152.



- Tihansky, A. B. (1999)**, Sinkholes, west-central Florida, excerpt from: Galloway, Devin, Jones, and Ingebritsen, S. E., 1999, Land subsidence in the United States, United States Geological Survey Circular 1182, 125, 131 pp.
- Török, A., Xeidakis, G., Kleb, B. and Marinou, P.G. (2006)**. Karst-related engineering geological hazards, a comparative study of Hungary and Greece IAEG2006 353.
- Troester, J.W., White, E.L. and White, W.B. (1984)**. A comparison of sinkhole depth frequency distributions in temperate and tropical karst regions, in Beck, B.F., ed., Sinkholes: Their geology, engineering, and environmental impact: Rotterdam, Balkema, p. 65-73.
- Ulusay, R. ve Sönmez, H. (2002)**. Kaya Kütlelerinin Mühendislik Özellikleri. TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları No. 60, 243 s. Ankara.
- Upchurch, S.B. and Littlefield, J.R. (1988)**. Evaluation of data for sinkhole-development risk models. Environmental Geology and Water Sciences 12, 135–140.
- Ülker, R. ve Gümüsoğlu, Ç. (1982)**. Türkiye Mühendislik Haberleri Kasım 1982.
- Varnes, D.J. (1984)**. Landslide Hazard Zonation: A Review of Principles and Practices Commission on Landslides of the IAEG, UNESCO, Paris.
- Waltham, A.C. (1989)**. Ground subsidence, 202pp. Blackie:Glasgow.
- Waltham, T. (2002)**. Gypsum karst near Sivas, Turkey. Cave and Karst Science 29 (1), 39-44.
- Waltham, A.C. and Fookes, P.G. (2005)**. Engineering classification of karst ground conditions. Quarterly Journal of Engineering Geology 36, 101-118.
- Waltham, T., Bell, F. and Culshaw M (2005)**. Sinkholes and Subsidence, Springer, Chichester (2005) 382 pp.
- White, E.L. and White, W.B. (1979)**. Quantitative morphology of landforms in carbonate rock basins in the Appalachian Highlands: Geological Society of America Bulletin, v. 90, p. 385-396.
- White, W.B. and White, E.L. (1996)**. Threshold for soil transport and the long term stability of sinkholes. Int. Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 32(2), 51A.

- White, W. B. (1988).** *Geomorphology and Hydrology of Karst Terrains*, 464 pp. New York, Oxford: Oxford University Press. ISBN 0 19504444 4.
- Williams, P.W. (1966).** Morphometric analysis of temperate karst landforms *Irish Speleology* 1 23-31.
- Williams, P. W. (1969).** The geomorphic effects of groundwater. In *Water, Earth, and Man*, R. J. Chorley, Ed (Methuen, London), 269-284.
- Williams, P.W. (1972a).** Morphometric analysis of polygonal karst with examples from New Guinea: *Geological Society of America. Bulletin*, v. 83, p. 761-796.
- Williams, P.W. (1972b).** The analysis of spatial characteristics of karst terrains, in Chorley, R.J., ed., *Spatial Analysis in Geomorphology*: London, Methuen, p. 135-163.
- Williams, P. W. (2004).** Doline. In: Gunn, J. (ed), *Encyclopedia of cave and Karst Science*, pp. 304-310. Fitzroy Dearborn: New York.
- Wittke, W. (1990).** *Rock mechanics*, Springer, Berlin.
- Yang, M. Z. and Drumm, E. C. (2002).** Stability evaluation for the siting of municipal landfills in karst. *Engineering Geology* 65 (2-3), 185-195.
- Yalçınlar, I. (1955).** Sivas 61/1, 61/2, 61/4 paftalarına ait jeolojik rapor: MTA Rap. 2577 (yayımlanmamış), Ankara.
- Yaoru, L. and Cooper, A.H. (1996).** Gypsum karst in China. *Int. J. Speleol.*, 25, 297-307.
- Yeşilnacar, E. and Topal, T. (2005).** Landslide susceptibility mapping: a comparison of logistic regression and neural networks methods in a medium scale study, Hendek region (Turkey). *Engineering Geology* 79, 251–266.
- Yılmaz, A. (1980).** Tokat ile Sivas arasındaki bölgede ofiyolitlerin kökeni, içyapısı ve diğer birimlerle ilişkisi: A.Ü. Fen Fakültesi Jeoloji Kürsüsü, Doktora Tezi, 136 s. Ankara (yayımlanmamış).
- Yılmaz, A. (1984).** Dumanlı dağı (Tokat) ile Çeltek dağı (Sivas) arasının temel jeoloji özellikleri ve ofiyolitli karışığın konumu: MTA. *Dergisi* 99-100 1-18
- Yılmaz, A. ve Özer, S. (1984).** Kuzey Anadolu Bindirme Kuşağının Akdağmadeni (Yozgat) ile Karaçayır (Sivas) arasındaki bölümünün temel jeoloji incelemesi ve Tersiyer havzasının yapısal evrimi. In: *Ketin Symposium*, Geological Society of

Turkey, Special Publications, Ankara, pp. 163–174 (in Turkish with English Abstract).

- Yılmaz, A., Sümengen, M., Terlemez, İ. ve Bilgiç, T., (1989).** 1/100000 ölçekli açınısama nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları serisi, Sivas-G23 paftası MTA yayınları, Ankara, 23 s.
- Yılmaz, A. (1994).** Sivas ile Şarkışla arasındaki bölgenin jeolojisi M.T.A rapor No 9090, 30 Ankara (Yayınlanmamış).
- Yılmaz, A. ve Yılmaz, H. (2006).** Characteristics features and structural evolution of a post collisional basin: The Sivas Basin, Central Anatolia, Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences*, 27, 164-176.
- Yılmaz, I. (2001).** Gypsum/anhydrite: some engineering problems *Bull Eng Geol Env* (2001) 59 : 227–230.
- Yılmaz, I. and Karacan, E. (2005).** Slaking durability and its effect on the doline occurrence in the gypsum. *Environmental Geology* 47 (7), 1010–1016.
- Yılmaz, I. (2006).** Differences in the geotechnical properties of two types of gypsum: alabastrine an porphyritic *Bull Eng Geol Env* (2001) 66 : 187–195.
- Yılmaz, I. (2007).** GIS based susceptibility mapping of karst depression in gypsum: A case study from Sivas basin (Turkey) *Engineering Geology* 90, 89-103.
- Yılmaz, I. (2009a).** Landslide susceptibility mapping using frequency ratio, logistic regression, artificial neural networks and their comparison: a case study from Kat landslides (Tokat-Turkey). *Computers and Geosciences*, 35 (6): 1125-1138.
- Yılmaz, I. (2009b).** A case study from Koyulhisar (Sivas-Turkey) for landslide susceptibility mapping by Artificial Neural Networks. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 68 (3): 297-306.
- Yılmaz, I. (2010a).** The effect of the sampling strategies on the landslide susceptibility mapping by Conditional Probability (CP) and Artificial Neural Networks (ANN). *Environmental Earth Sciences*, 60 (3): 505-519.
- Yılmaz, I. (2010b).** Comparison of landslide susceptibility mapping methodologies for Koyulhisar, Turkey: Conditional Probability, Logistic Regression, Artificial Neural Networks, and Support Vector Machine. *Environmental Earth Sciences*, 61 (4): 821-836.

**Zanbak, C. and Arthur, R.C. (1986).** Geochemical and engineering aspect of anhydrite/gypsum phase transions: Bulletin of Association of Engineering Geologists, XXIII, 4, 419-433.

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel bilgiler

|                      |   |
|----------------------|---|
| Adı Soyadı           | İnan KESKİN   |
| Doğum Yeri ve Tarihi | Adana, 20/02/1980   |
| Medeni Hali          | Evli  |
| Yabancı Dil          | İngilizce   |
| İletişim Adresi      | Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji<br>Mühendisliği Bölümü, 58140-Sivas |
| E-posta Adresi       | <a href="mailto:ikeskin@cumhuriyet.edu.tr">ikeskin@cumhuriyet.edu.tr</a>                    |

### Eğitim ve Akademik Durumu

|               |                               |
|---------------|-------------------------------|
| Lise          | Adana Gündoğdu Koleji, 1997   |
| Lisans        | Cumhuriyet Üniversitesi, 2003 |
| Yüksek Lisans | Cumhuriyet Üniversitesi, 2006 |

### İş Tecrübesi

Cumhuriyet Üniversitesi Araştırma Görevlisi, 2007

### Ödüller, Teşvikler ve Üyelikler

|            |                               |
|------------|-------------------------------|
| TUBİTAK    | Yayın Teşvik Ödülü 2006, 2009 |
| JMO        | Asil Üye, 2007                |
| MJTMK/IAGE | Asil Üye, 2008                |