

DOI: 10.26650/JGEOG371149

**COĞRAFYA DERGİSİ**  
**JOURNAL OF GEOGRAPHY**  
**36 (2018)**

<http://jgeography.istanbul.edu.tr>

# Karstik Kapalı Depresyonların (Dolinlerin) Morfometrik Analizleri

## *Morphometric Analyses of Karstic Depressions (Dolines)*

Muhammed Zeynel ÖZTÜRK<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Niğde, Türkiye

### ÖZ

Dolinler (karstik kapalı depresyonlar) karstik alanların karakteristik yüzey şekillerindedir. Dolinlerin gelişimi, morfolojisi ve dağılışı üzerinde tektonik, morfolojik ve iklimsel özelliklerin büyük etkisi vardır ve bu etkenlerden dolayı dolinler karstik alanlarının morfo-tektonik gelişimi hakkında önemli ipuçları sağlar. Dolin morfometrisi ile ilgili çok fazla sayıda hesaplama olmakla birlikte bunların çok azı yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu çalışmada dolin morfometrisinde yaygın kullanılan parametreler, Dünya'dan ve Toroslar'dan örnekleri ile birlikte, açıklanmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Dolin, morfometri, Toros Dağları

### ABSTRACT

Dolines (karstic closed depressions) are surface landforms that are characteristic of karstic areas. Since tectonic, morphologic, and climatic features greatly affect doline development, morphology, and distribution, dolines can provide important information about the morpho-tectonic evolution of karstic areas. Although there are many calculations used in determining doline morphometry, but only a few are common. In this study, we review the parameters commonly used in determining doline morphometry and offer examples from around the world, specifically the Taurus Mountains.

**Keywords:** Doline, morphometry, Taurus Mountains

**Geliş tarihi/Received:** 26.12.2017 • **Kabul tarihi/Accepted:** 19.02.2018 • **Online yayın tarihi/Online published:** 30.03.2018

**Sorumlu yazar/Corresponding author:** Muhammed Zeynel ÖZTÜRK / muhammed.zeynel@gmail.com

**Atıf/Citation:** Öztürk, M. Z. (2018). Karstik kapalı depresyonların (dolinlerin) morfometrik analizleri. *Coğrafya Dergisi*, 36, 1-13.  
<https://doi.org/10.26650/JGEOG371149>



## EXTENDED ABSTRACT

Karstic terrains have distinctive surface and subsurface landforms and these areas comprise a significant component of the physical geography of Turkey. The Taurus Mountains, which is the largest and most important karstic terrain in Turkey, are highly karstified due to tectonic activity and climatic conditions. The surface of these areas is covered with lapies, dolines, uvalas, poljes, deep gorges, and paleo valleys. In this region, circular or semicircular karstic depressions are characteristic landforms with gently sloping karstic plateaus over 1500 m. Recent studies show that there are more than 140,000 dolines on twelve karstic plateaus. However, the distribution and properties of the dolines on these plateaus are not homogenous. Also, each morphometric parameter of the dolines provides important information about the morpho-tectonic evolution of karstic areas. For this reason, each doline areas must be individually investigated using morphometric techniques.

Doline morphometry is a commonly used metric in karstic surface research, since dolines are a featured indicator of karstic evolution. Currently, there are too many doline morphometric calculation methods, although a few are more commonly used. The main purpose of this study is to describe the main morphometric parameters of dolines.

The elevation at which dolines occur is determined based on their highest closed contour. Histograms are then prepared based on these elevations and doline zones are determined from the histogram analysis. For example, recent studies show that the doline zone of the Taurus Mountain corresponds to alpine zones above the treeline.

The density of dolines, i.e., the number of dolines per km<sup>2</sup>, is calculated by one of two methods—the quadrant or kernel method—which use point data to represent the centers of dolines. The spatial distribution of the doline density is used to explain correlations between the density and lithologic, geomorphologic, topographic, and structural elements. For example, there are negative correlations between doline density, drainage density, and the degrees of slope in the Taurus Mountains.

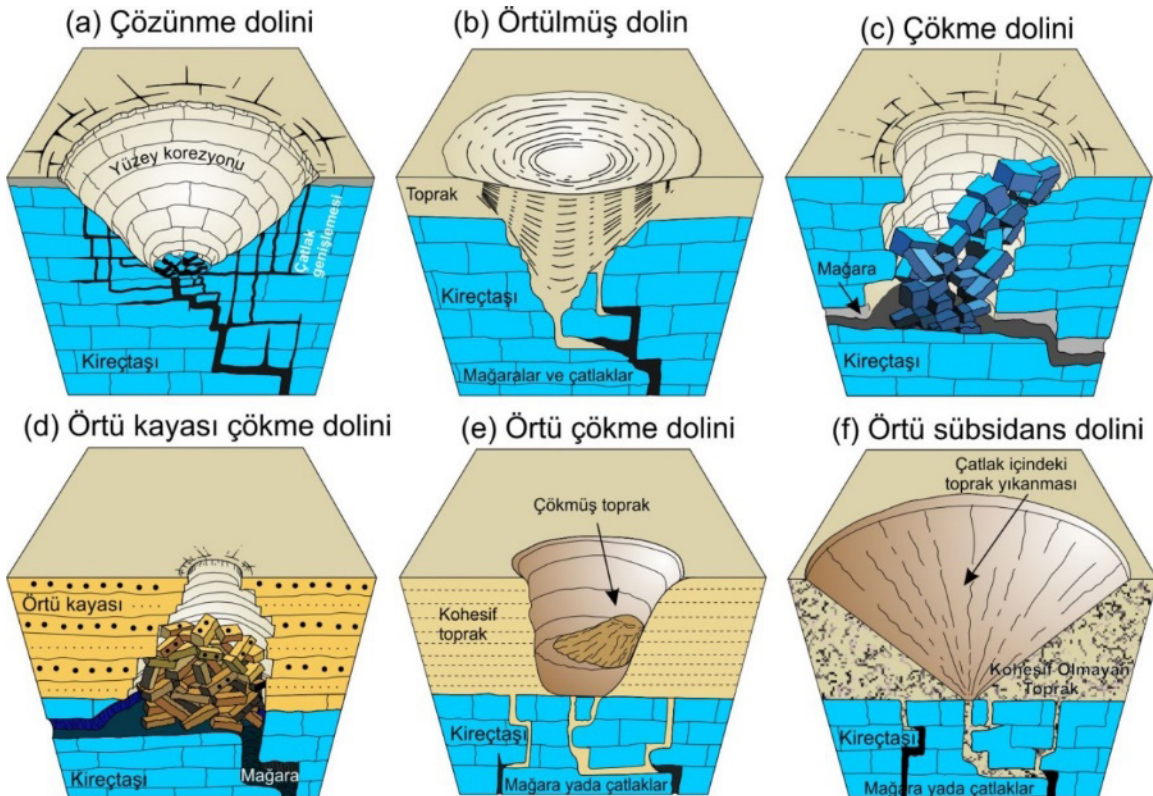
The pitting, total doline area, and corrosion intensity indexes are ratios with of the total karstic and total doline areas. They all provide information about the extent of karstification in limestones. When close to 1, these three ratios correspond to polygonal karst. The circularity index is the ratio of the area and perimeter of dolines and indicates their planimetric shapes. This ratio is high in places where paleo valleys are connected by cracks in different directions. The orientation of a doline is determined using the azimuths of the long axis and provides important information about the crack and fracture systems in doline areas. The elongation index is a ratio between the long and short axes of a doline. These two values provide important clues about the morpho-tectonic development of doline areas.

## 1. GİRİŞ

Çapları birkaç metreden 1 km'ye kadar değişen dairesel ya da yarıdairesel şekiller olan dolinler (özellikle çözünme dolinleri) orta enlemlerdeki ılıman kuşakta, özellikle Dinar Dağları gibi kıvrımlı karstik arazilerin karakteristik şekillerindedir (Ford ve Williams, 2007; Gams, 2000; Sauro, 2003). Ülkemizde de oldukça yoğun bir dağılıma sahip çözünme dolinleri özellikle Toros karst bölgesi ve Sivas jips karstı bölgesinin karakteristik yüzey şekillerindedir (Doğan ve Özel, 2005; Keskin ve Yılmaz, 2016; Nazik ve Tuncer, 2010; Öztürk, Şimşek, Utlu ve Şener, 2017a). Slav kökenli “dolina” kelimesinden türemiş olan dolinlere ülkemizde “tava”, “koyak”, “kokurdan”, “dölek”, “alan” gibi çeşitli isimler verilirken (Pekcan, 1999), uluslararası literatürde “swallet”, “swallow”, “sinkhole” (özellikle Kuzey Amerika’da) ya da “sink” denilmektedir (Erinç, 2001). Çin’de Triyas karbonatları üzerinde gelişen ve derinliği 700 metreye kadar ulaşan çökme dolinlerine “tiankeng” denilirken (Xuewen ve Weihai, 2006), İç Anadolu’da ulaşan örtü kayası çökme/örtü çökme dolinlerine “obruk” denilmektedir (Doğan, 2004). Dolinler yüzeyde çukurluklar şeklinde görüldükleri için bazı çalışmalarda negatif yerşekilleri olarak da isimlendirilmişlerdir (Liang, Du, Ge ve Li, 2014). Dolinler temel olarak çökme ve

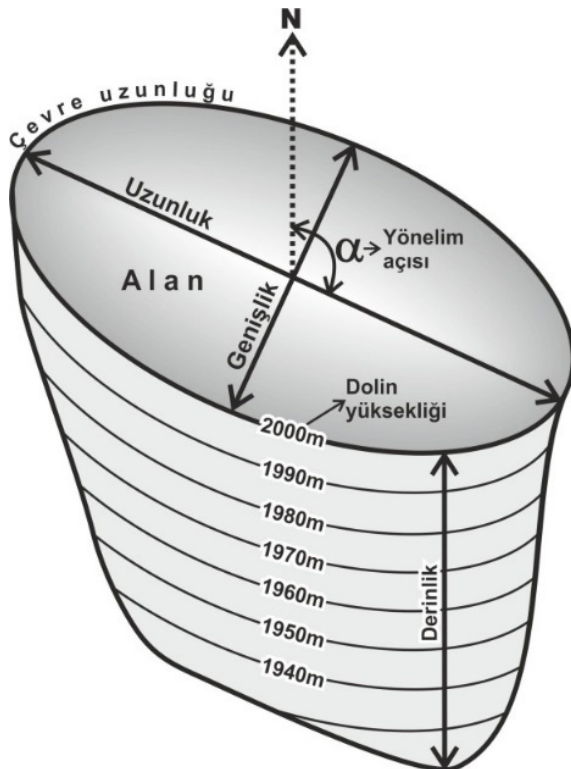
çözünme dolinleri olarak ele alınmakla birlikte dolin sınıflandırmasında dolinin geometrik şekli, boyutu, oluşum biçimi, hidrolojik yapısı, fonksiyonu, litoloji ve tektoniği gibi birçok kriter göz önünde bulundurulabilir (Car, 2001; Sauro, 2003). Son yıllarda yapılan çalışmalara göre dolinler çökme dolini, çözünme dolini, örtü kayası çökme dolini, örtü çökme dolini, örtülmüş dolin, alüvyal dolin (örtü sübsidans dolini) olmak üzere altı temel gruba ayrılmıştır (Doğan, 2004; Waltham ve Fookes, 2003; **Şekil 1**). Çökme dolinleri, toprağın donmuş olduğu polar bölgeler haricinde tüm iklim tipleri içerisinde görülürken, çözünme dolinleri yüzeysel akışın ve yağışın buharlaşmadan fazla olduğu ılıman orta enlem iklimlerindeki yüksek karstik platolar üzerinde yaygın olarak görülür (Gams, 2000). Örneğin, Dinar Dağları üzerinde de 376 binden, Batı ve Orta Toroslar üzerinde ise 140 binden fazla dolin tespit edilmiştir (Öztürk, Şimşek, Utlu ve Şener, 2017b; Pahernik, 2013).

Karstik alanlar üzerinde yaygın bir dağılıma sahip olan çözünme dolinlerinin gelişimi, morfolojisi ve dağılışı üzerinde mikro ve makro yapısal özelliklerinin yani tektonik aktivitelerin özellikle de çatlak sistemlerinin (çatlak sıklığı ve doğrultusunun) büyük etkisi vardır (Chenoweth, 1997; Faivre ve Reiffsteck, 1999). Bu özellikten dolayı dolinlerin sıralanışları ve uzanımları



**Şekil 1:** Dolin tipleri (Doğan, 2004; McCraw ve Land, 2016; Waltman ve Fookes, 2003'ten düzenlenerek).  
**Figure 1:** Doline types (rearranged from Doğan, 2004; McCraw and Land, 2016; Waltman and Fookes, 2003).

alandaki etkili olan fay ve çatlak sistemleri hakkında bilgi verir (Faivre ve Reiffsteck, 1999; Nazik, 1986; Öztürk vd., 2017a) ve dolinler karstik gelişim sürecinin önemli göstergelerinden birisi olarak kabul edilir (Doğan, 2004). Tektonik önemlerinin yanı sıra dolin ve uvalaların gelişimi paleovadi sistemleri ile de yakından bağlantılıdır (Bocic, Pahernik ve Mihevc, 2015; Nazik, 1985; Öztürk, Utlu, Şener ve Şimşek, 2017c; Waltham, Bell ve Culshaw, 2007). Bu nedenlerden dolayı dolinlerin morfometrik özelliklerinin doğru analizi, karstik alanların morfotektonik evrimi hakkında önemli ipuçları sağlamaktadır (Jeanpert vd., 2016; Jennings, 1975). Ancak bu bilgilere ulaşabilmek amacıyla dolin tiplerinin, dağılımlarının ve fiziki koşullar ile ilişkisinin doğru bir şekilde belirlenmesi gereklidir. Bu bilgilere de yoğun arazi çalışmaları ile Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) aracılığıyla gerçekleştirilen morfometrik analizleri ve haritalar sonucunda ulaşılabilir. Dolinler ya da başka bir ifade ile karstik depresyonlar küçük drenaj havzaları olarak da değerlendirildikleri için (Day, 1976) dolin morfometrisi ile havza morfometrisinde kullanılan bazı morfometrik hesaplamalar benzerlik göstermektedir. Bondesan, Meneghel ve Sauro (1999) tarafından dolinlere ait 65 farklı morfometrik parametre formüle edilmiştir. Ancak bu formüllerin çok az bir kısmı yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada dolin çalışmalarında yaygın kullanılan temel morfometrik analizlerin neler oldukları üzerinde durulacaktır (Şekil 2).



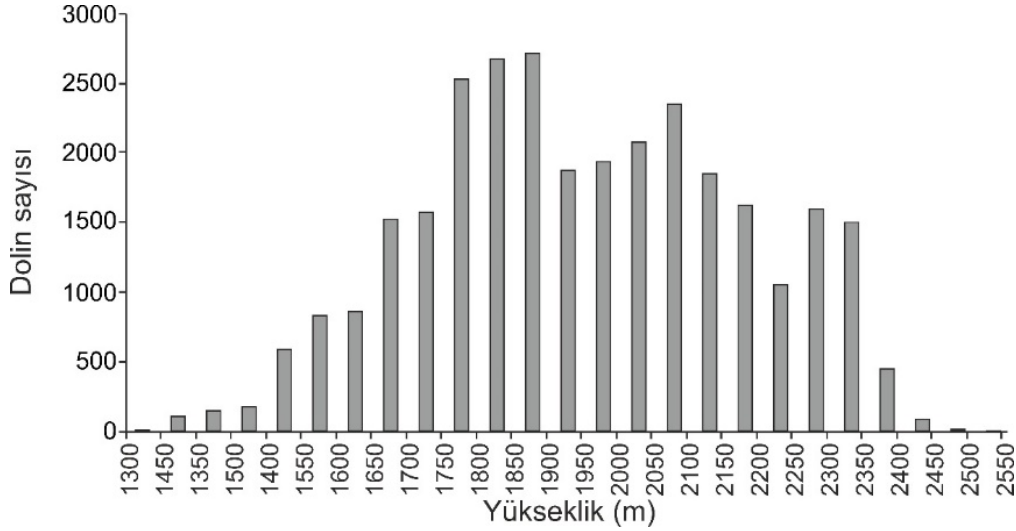
Şekil 2: Dolin morfometrisinde kullanılan temel parametreler.  
Figure 2: Basic parameters used in doline morphometry.

## 2. MORFOMETRİK ANALİZLER

Dolinler karstik alanın morfotektonik gelişim sürecinin önemli göstergelerinden birisi olmasından dolayı dolin morfometrisi yüzey karstı araştırmalarında yaygın olarak kullanılan yöntemlerden bir tanesidir. Dolinlerin nasıl oluştuklarını anlamak ve alan için ne gibi bilgiler sağladığını belirlemek için onların morfolojilerini ve boyutlarını, topografik ve jeomorfolojik birimler ile ilişkilerini, kendi içyapılarını bilmemiz gereklidir. Bu verilere ulaşmanın temel yolu ise bu şekillere ait morfometrik hesaplamaların yapılmasıdır. Çünkü morfometrik teknikler dolinlerin objektif ve kantitatif bir sistem ile tanımlanmasını ve analizinin yapılmasını sağlar (Bondesan vd., 1999). İlk dolin yoğunluğu ve dolin morfometrisi çalışması Cramer (1941) tarafından yapılmış olmakla birlikte Williams (1966; 1971; 1972) tarafından yapılan morfometri çalışmalarından sonra, dolin morfometrisinin önemi daha iyi anlaşılmiş ve günümüze kadar dünya genelinde birçok alan ile ilgili dolin morfometrisi çalışmaları yapılmıştır. Dolinlerin geometrik özellikleri çok farklı olduğundan dolayı dolinlerin sınıflandırmaları morfometrik analizlere göre yapılmaktadır. Bu sınıflandırmalar yapılırken şekle ait tek bir parametre kullanılabileceği gibi birden fazla parametreye dayanan istatistik hesaplamalara göre de yapılmaktadır (Aguilar, Bautista, Mendoza, Frausto ve Ihl, 2016; Jeanpert vd., 2016; Kobal, Bertonecelj, Pirotti, Dakskobler ve Kutnar, 2015; Liang vd., 2014; Öztürk ve Akbaş, 2016). Klasik morfometrik çalışmalar temel olarak 1/25.000 ve 1/10.000, 1/5.000 gibi topografik haritalara ve hava fotolarına dayalı olarak gerçekleştirilmiştir. Ancak son zamanlarda Lidar gibi daha yüksek çözünürlüklü sayısal arazi modellerinin ulaşılabilirliğinden dolayı dolin morfometrisi çalışmaları bu modeller üzerinden gerçekleştirilmeye başlanmıştır (Bauer, 2015; Kobal vd., 2015; Pardo-Igúzquiza, Valsero ve Dowd, 2013; Telbisz vd., 2016). Kullanılan bu kaynaklar, ele alınan dolin sayısı ve incelenen alanın büyüklüğüne göre çeşitli morfometrik hesaplamalar yapma imkânı sunar. Temel morfometrik hesaplamaların yanı sıra, yüksek çözünürlüklü sayısal arazi modellerinin yaygınlaşması yeni yöntemler geliştirilerek yeni morfometri hesaplamalarının yapılmasına imkan sağlar (Pardo-Igúzquiza vd., 2013). Örneğin Jeanpert vd. (2016) dolinleri Lidar görüntüleri kullanılarak iç yamaç eğimlerine göre sınıflandırabilmiştir.

### 2.1. Histogramlar

Histogramlar ya da dolinlerin yükseklik basamaklarına göre frekansları, dolin morfometrisi ile ilgili yapılan her çalışmada ele alınan temel parametrelerden bir tanesidir. Dolin çalışmalarında



**Şekil 3:** Bolkar Dağları'nın batısındaki platoluk alanda (Lokasyon şekil 5'te gösterilmiştir) yer alan 30 binden fazla doline ait histogram (Öztürk vd., 2017a).

**Figure 3:** Histogram belong to 30 thousand dolines located western part of Bolkar Mountains (Location showed in figure 5) (Öztürk et al., 2017a).

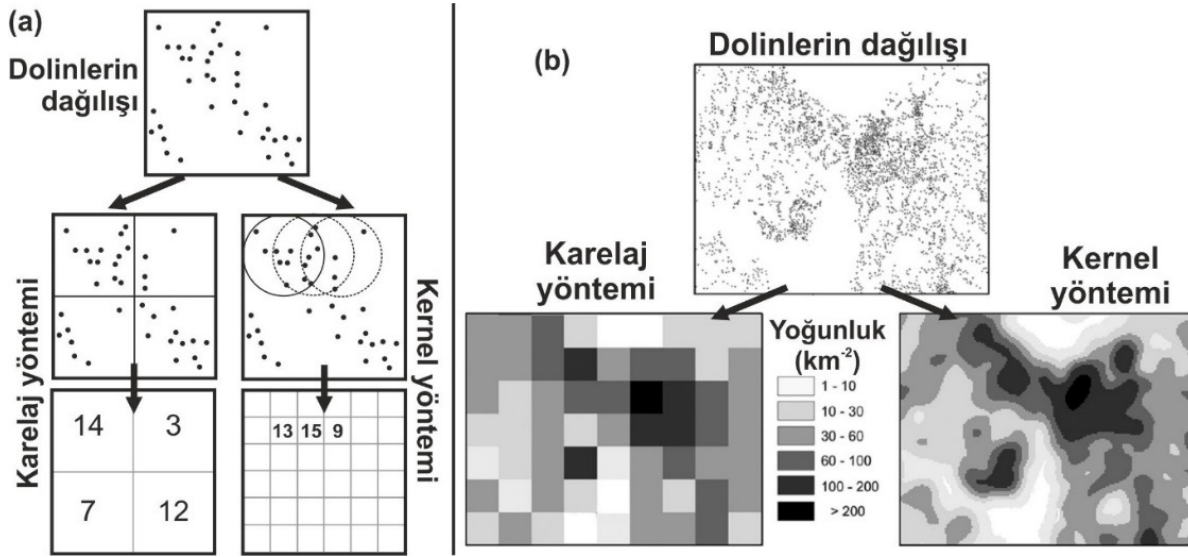
histogramlar oluşturulurken, dolini oluşturan en üst kapalı kontur eğrisinin yüksekliği dikkate alınır (Şekil 2). Tespit edilen değerlerin yükselti basamaklarına göre frekanslarının hesaplanması ile alana ait dolin histogramı oluşturulur ve bu histogramlar ile dolinlerin yükseltiye göre dağılımları açıklanır. Örneğin Orta Toroslar'da Bolkar Dağları'nın batısındaki platoluk alan üzerinde tespit edilen 30 bin doline göre; dolinlerin %75'i 1650-2250 metreleri arasında dağılım göstermektedir (Öztürk vd., 2017a). Geyik Dağları üzerinde gerçekleştirilen başka bir çalışmada kütle üzerindeki 26 binden fazla dolinin %80'inin 1700-2400 metreleri arasında bulunduğu tespit edilmiştir (Şimşek, 2017). Bu durum Toroslardaki dolin zonunun orman üst sınırı üzerindeki Alpin kuşağa karşılık geldiğini gösterir. Benzer şekilde Alpler'in doğu kesiminde yer alan Hochschwab platosunda bulunan 7100 doline göre, dolinler 1700-1900 metreleri arasında yoğunlaşmaktadır. Özellikle orta emlerdeki bu dağılım çözünme dolinlerinin oluşumunda buzul erozyonunun önemli bir etki olduğunu düşündürmektedir (Plan ve Decker, 2006). Ayrıca eski sirk alanlarının morenler ile kaplanması sonucunda morenlerin altında devam eden derine doğru akış, sirkler içerisinde örtü sübidans dolinlerinin gelişmesini sağlar. Orta enlemlerde yüksekliği 2000 metrenin altında kalan alanlarda ise, yükseklik ile birlikte dolin sayısının artması, yükseklik ile birlikte sıcaklık değerlerinin düşmesi ve yağış değerlerinin artması ile ilgilidir (Pardo-Igúzquiza vd., 2013).

## 2.2. Yoğunluk

Dolin yoğunluğu ( $D_y$ ) genel olarak dolin sayısının karstlaşma alanına bölünmesi ile elde edilir (Formül 1). Bu yoğunluk alan

hakkında tek bir değer verdiği için dolin yoğunluğunun karstik alan içerisindeki dağılışı hakkında bir ipucu veremez. Bu nedenle alan içerisinde  $\text{km}^2$ 'ye düşen dolin sayısını bulunarak dolin yoğunluğunun ( $\text{dolin}/\text{km}^2$ ) alansal dağılışı ortaya konulması gereklidir. Dolin yoğunlukları ( $\text{dolin}/\text{km}^2$ ) temel olarak iki yöntem esas alınarak belirlenir (Şekil 3). Bunlardan bir tanesi karelej olarak da isimlendirilen eşit boyutta ve homojen bir dağılım gösteren karelerden oluşan grid sistemidir (quadrat analysis) ve bu yöntemde karelerin alanı genel olarak  $1 \text{ km}^2$  olarak belirlenir (Öztürk, Şimşek ve Uflu, 2015). Ancak bu yöntemde komşu hücreler arasındaki coğrafi devamlılık tam olarak yansıtılmamaktadır. Bu nedenle yoğunluk miktarları istatistiksel hesaplamalara dayanan "çekirdek yoğunluk tahmini" olarak da isimlendirilen Kernel yoğunluk tahmin sistemine göre hesaplanır. Her iki yöntemde de yoğunluklar dolin merkezlerini temsil eden noktalara göre belirlenir (Şekil 3a). Karelej yönteminde basit ya da klasik yöntem olarak da isimlendirilir ve karelerin içerisinde kalan noktaların sayımı ile elde edilir. Kernel yönteminde de grid sisteminde olduğu gibi alan karelere bölünür. Ancak hesaplamalar o karelerin merkezine göre çizilen ve belirli yarıçap değerlerine sahip eşit boyuttaki dairelere göre hesaplanır (Şekil 3a). Yöntemde yoğunluklar daire içerisinde kalan noktaların yoğunluğu ile bu dairenin merkezinden uzaklaştıkça değişen noktasal yoğunlukların hesaplanması ile belirlenir. Böylece merkez daire ve çevresindeki diğer dairelerdeki yoğunluklar hesaba katılarak yoğunluğa coğrafi süreklilik kazandırılmış olunur (Şekil 3b).

$$D_y = \frac{\text{Dolin sayısı (D}_s\text{)}}{\text{(Karstlaşmanın alanı (A))}} \quad (1)$$



**Şekil 4:** Dolin yoğunluk hesaplamalarında yaygın kullanılan iki yöntem (a) ölçüm yöntemleri ve (b) Gorski Kotar (Hırvatistan) bölgesi için iki yöntem ile oluşturulan dolin yoğunluk haritaları (Pahernik, 2012'den düzenlenerek).

**Figure 4:** Two commonly used methods for doline density calculations (a) (a) measurement methods and (b) doline density maps drawn based on two methods for the Gorski Kotar (Croatia) region (rearranged from Pahernik, 2012).

**Tablo 1:** İki çalışmaya göre dolin yoğunluk sınıflandırmaları.  
**Table 1:** Doline density classifications according to two articles.

(a) Faivre ve Pahernik (2007)'ye göre	
Dolin yoğunluğu (Dy - dolin/km <sup>2</sup> )	Tanım
10'dan küçük (Dy < 10)	Düşük yoğunluk
10 ile 40 arası (10 < Dy < 40)	Orta yoğunluk
40 ile 70 arası (40 < Dy < 70)	Yüksek yoğunluk
70'den büyük (Dy > 70)	Çok yüksek yoğunluk
(b) Pahernik (2012)'ye göre	
Dolin yoğunluğu (Dy - dolin/km <sup>2</sup> )	Tanım
10'dan küçük (Dy < 10)	Çok düşük yoğunluk
10 ile 30 arası (10 < Dy < 30)	Düşük yoğunluk
30 ile 60 arası (30 < Dy < 60)	Orta yoğunluk
60 ile 100 arası (60 < Dy < 100)	Yüksek yoğunluk
100 ile 200 arası (60 < Dy < 100)	Çok yüksek yoğunluk
200'den büyük (Dy > 200)	Aşırı yüksek yoğunluk

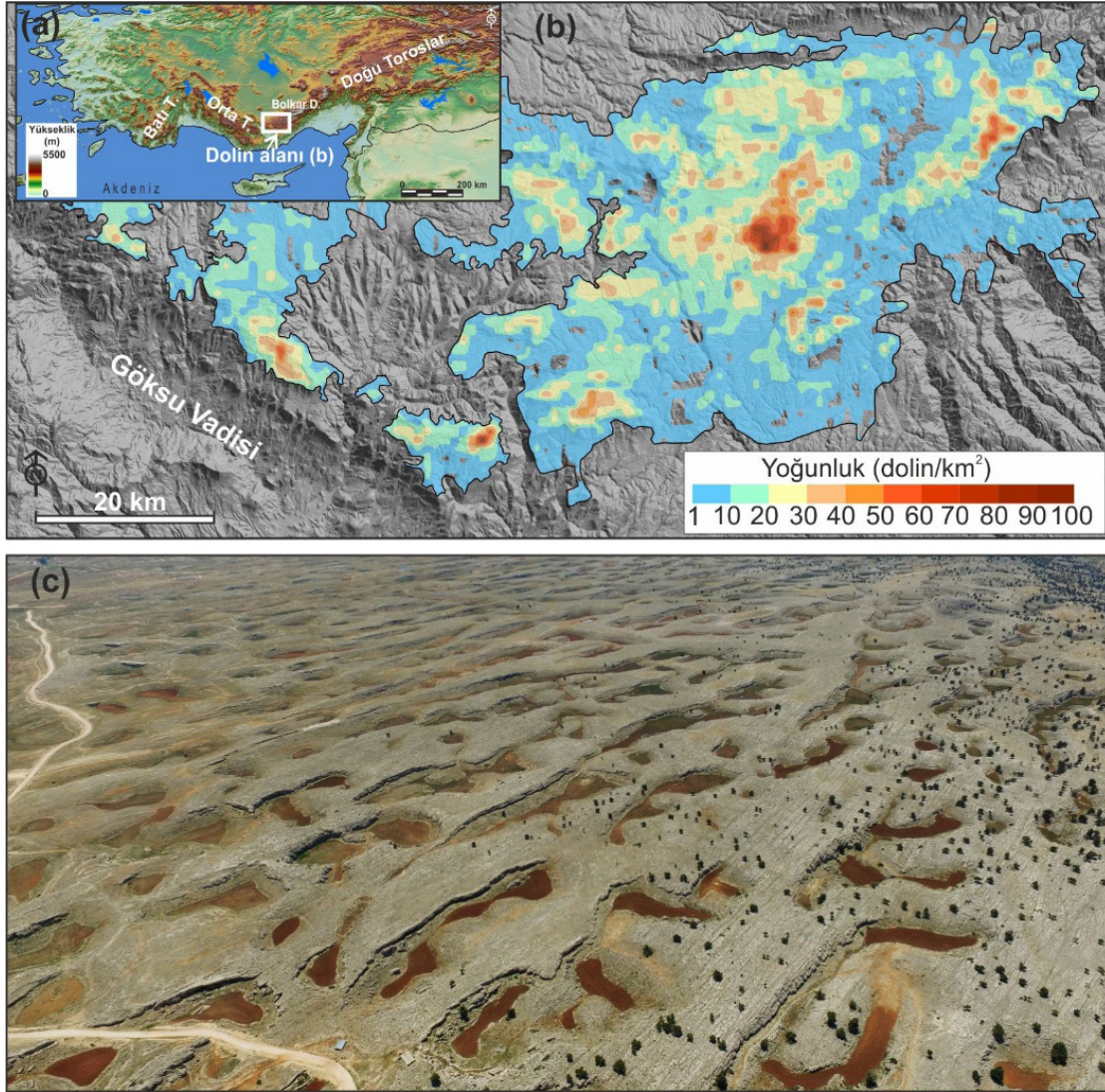
Dolin yoğunlukları (dolin/km<sup>2</sup>) hem aynı alan içerisinde hem de farklı alanlara göre oldukça fazla değişkenlik gösterir. Örneğin dolin yoğunluğu Toroslarda 187 dolin/km<sup>2</sup>'ye kadar ulaşırken, Dinarlar üzerinde 281 dolin/km<sup>2</sup>'ye kadar ulaşabilmektedir (Öztürk vd., 2017b; Pahernik, 2012). Bazı çalışmalarda dolin yoğunluklarına göre sınıflandırmalar yapılmıştır. Örneğin, Faivre ve Pahernik (2007) tarafından dolin yoğunlukları 4 sınıf içerisinde değerlendirilmiştir (Tablo 1). Bu sınıflandırmalara göre Torosların yüksek kesimlerindeki karstik platolar çok yüksek yoğunluk değerlerine (Öztürk, 2017a, 2017b; Şimşek,

2017), Dinar bölgesindeki bazı alanlar ise aşırı yüksek yoğunluk değerlerine sahiptir (Pahernik, 2012).

Dolin yoğunluklarının alansal dağılışı özellikleri haritalanarak dağılışın litoloji, topografya, tektonik özellikler ile olan ilişkileri ortaya konulabilir. Toroslarda dolinler genel olarak neritik kireçtaşları üzerinde gelişirken en yüksek yoğunluğa fay ve çatlak sisteminin yoğunlaştığı, düşük eğimli yüksek karstik platolar üzerinde arttığını ortaya koymuştur (Öztürk vd., 2017b). Başka bir çalışmada da, antiklinal yüzeyleri boyunca meydana gelen çatlak sistemlerine bağlı olarak yoğunluğun arttığını ortaya koymuştur. Bununla birlikte yoğunlukların yüksek eğimli alanlarda ve drenajın iyi geliştiği alanlarda minimuma düştüğü gözlenmiştir (Öztürk vd., 2017a). Dolin yoğunlukları ve histogramları bazı temel bilgiler sağlamak ile birlikte ele alınan alanda dolin dağılışını etkileyen parametreleri belirlemek için yeterli değildir. Bu nedenle daha detaylı morfometrik hesaplamalara ihtiyaç vardır (Day, 1976).

### 2.3. Çukurlaşma oranı ( $R_C$ ), dolin alanı oranı ( $R_D$ ) ve korasyon yoğunluğu oranı ( $R_K$ )

Çukurlaşma oranı ya da indeksi ( $R_C$ ), yüzey karstının görüldüğü alanın, o alan içerisinde bulunan dolinlerin toplam alanına bölünmesi ile elde edilir (Day, 1976; Williams, 1969, 1971; **Formül 2**). Bu orandaki değerlerin yerlerinin değiştirilmesi ile, yani dolinlerin toplam alanlarının yüzey karstının toplam alanına bölünmesi ile de dolin alanı oranı ( $R_D$ ) elde edilir (Bondesan vd., 1992; **Formül 3**). Jennings



**Şekil 5:** (a) incelenen alanın lokasyonu, (b) Bolkar Dağlarının batısındaki platoluk alanlar üzerinde dolin yoğunluğunun dağılışı (c) dolin yoğunluğunun maksimuma ulaştığı alana ait drone görüntüsü (Öztürk vd., 2017a).

**Figure 5:** (a) location of investigated area, (b) spatial distribution of doline density on plateaus located at western part of Bolkar Mountains, (a) a drone photo belong to maximum doline density area (Öztük vd., 2017a).

(1975) tarafından  $1 \text{ km}^2$ 'lik alanlar içerisindeki toplam dolin alanları belirlenerek korasyon yoğunluğu indeksi ( $R_K$ ) olarak yorumlanmıştır (Formül 4).

Çukurlaşma oranında en düşük değer 1 olabilirken, dolin alanı oranında ve korasyon yoğunluğu oranında en yüksek değer 1'dir. Bu oranlar alanın ne kadarının dolinler tarafından işgal edildiğini ve dolayısıyla karstik yüzey ayrışmasının ne kadarlık alanda etkili olduğunu göstermektedir. Dolinler yüzey suyu ile yeraltı suyu arasında geçiş sağladığından dolayı bu indisler iç akışların yoğunluğu hakkında da bir fikir verir. Her üç indiste de değerlerin 1'e yaklaşması alanda yüzeysel drenajın gelişmediğini ve yüzey suyunun tamamen dolinler tarafından yeraltı sistemine aktarıldığını gösterir (Bauer, 2015). Bu durum özellikle poligonol

karst alanlarına yaygındır. Değerlerin 1'den uzaklaşması dolinlerin daha az alan kapladığını ve yüzey drenajının geliştiğini gösterir.

$$R_C = \frac{\text{Yüzey karstının toplam alanı (km}^2\text{)}}{\text{Dolinlerin toplam alanı (km}^2\text{)}} \quad (2)$$

$$R_D = \frac{\text{Dolinlerin toplam alanı (km}^2\text{)}}{\text{Yüzey karstının toplam alanı (km}^2\text{)}} \quad (3)$$

$$R_K = \frac{\text{1 km}^2\text{'deki dolinlerin toplam alanı}}{\text{1 km}^2} \quad (4)$$

### 3.4. Uzun eksen (U), Kısa eksen (K) ve Uzama oranı ( $R_E$ )

Uzun eksen (U, uzunluk, çap ya da uzun çap) ve kısa eksen (K, genişlik ya da kısa çap) dolinlerin ve diğer jeomorfolojik birimlerin tanımlanmasında kullanılan temel parametrelerdendir. İndiste kullanılan uzun eksen (uzunluk), dolinin en üst kapalı kontur eğrisi üzerinde birbirine en uzak iki nokta arasındaki yatay mesafeyi (Denizman, 2003), kısa eksen (genişlik) uzun eksene dik ( $90^\circ$ ) bir şekilde birbirine en uzak iki nokta arasındaki yatay mesafeyi temsil eder (Bondesan vd., 1999; **Şekil 2**). Uzun eksenin kısa eksen değerine bölünmesiyle uzama oranı değerleri ( $R_E$ ) bulunarak eliptik özelliklere sahip şekillerin nasıl bir dağılışı gösterdiği bulunur (**Formül 5**). Dairesellikten uzaklık (*eccentricity*) olarak da isimlendirilen bu indis bazı çalışmalarda kısa eksen değerinin uzun eksen değerine bölünmesiyle de elde edilmiştir (Day, 1983; Ferrarese, Sauro ve Tonello, 1998). Her iki şekilde de değer 1'e yaklaşması şeklin dairesel, 1'den uzaklaşması ile eliptik özellikte olduğunu gösterir (**Şekil 6**). Basso, Bruno, Parise ve Pepe (2013) tarafından dolinler uzama oranı özelliklerine göre 4 gruba ayrılmıştır (**Tablo 2**). Çözünme dolinlerinin büyük bölümünde uzama oranı 1.5 değerinden düşüktür (Sauro, 2012). Uzama oranı dolin ve drenaj havzaları haricinde diğer morfolojik birimlere de uygulanmaktadır. Örneğin Dóniz-Páez (2015) volkan konilerini uzama oranlarına

göre sınıflandırmış ve 1 değerini dairesel, 1.1-1.2 arasını yaridairesel, 1.3-1.5 arasını yarı eliptik, 1.6-1.9 arasını eliptik, 2-2.5 arasını uzamış eliptik ve 2.6'dan büyük olanları süpereliptik olarak sınıflandırmıştır. Maclachlan ve Eyles (2013) uzama oranına göre drumlinleri 3 gruba (2'den küçük, 2 ile 4 arası ve 4'ten büyük) ayırmıştır.

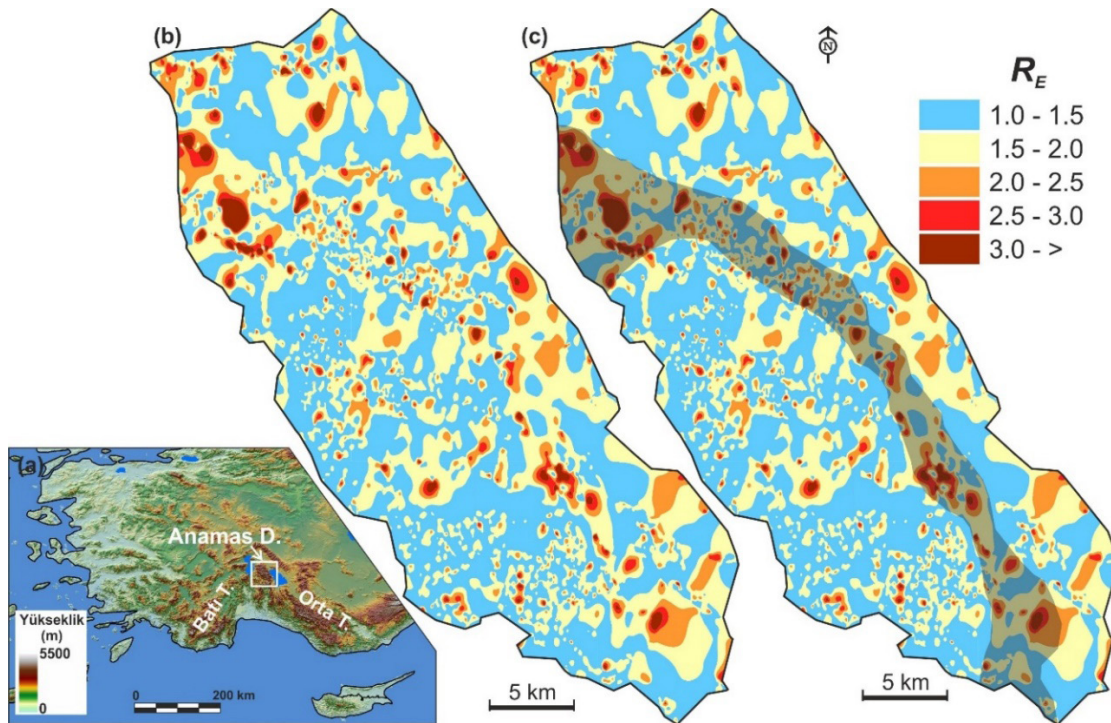
$$D_E = \frac{\text{Uzun eksen (m)}}{\text{Kısa eksen (m)}} \quad (5)$$

**Tablo 2:** Uzama oranı değerine göre dolin sınıflandırması (Basso vd., 2013).

**Table 2:** Doline classification according to elongation ratio (Basso et al., 2013).

Uzama oranı değeri ( $R_E$ )	Şeklin tanımı
1.21'den küçük ( $R_E < 1.21$ )	Dairesel, yaridairesel
1.21 ile 1.65 arası ( $1.21 < R_E < 1.65$ )	Yarı eliptik
1.65 ile 1.8 arası ( $1.65 < R_E < 1.8$ )	Eliptik
1.8'den büyük ( $R_E > 1.8$ )	Uzamış

Orta Toroslar'ın batısında ve Isparta Açısı'nın kuzey kanadında yer alan Anamas Dağı üzerindeki 10652 dolinin uzama oranına göre kütle üzerinde uzama oranı bölgesi belirlenmiştir. Bu bölgenin uzanımı Isparta Açısının uzanımına paralel olduğu tespit belirlenmiştir (**Şekil 6**).



**Şekil 6:** (a) Anamas Dağının lokasyonu, (b) 10652 dolinin uzama oranına göre kütle üzerinde  $R_E$  değerinin dağılışı ve (c) bu dağılışa göre belirlenen uzama oranı bölgesi (transparan olarak gösterilen bölge).

**Figure 6:** (a) location of Mount Anamas (a) distribution of  $R_E$  values on mount according to elongation ratios belong to 10652 dolines and (c) elongation ratio region (transparent area) determined with this distribution.



### 3.5. Alan ( $A$ ), hacim ( $V$ ), çevre uzunluğu ( $P$ ) ve dairesellik indisi ( $I_c$ )

Dolinlerin en üst kapalı kontur eğrisine göre belirlenen alan ve çevre uzunluk değerleri (**Şekil 2**) ve bu değerler aracılığıyla hesaplanan dairesellik indisi değerleri ( $I_c$ , **Formül 6**) dolinlerin geometrik şekilleri hakkında fikir veren diğer bir parametredir (Goudie, 2003). Bazı dolin çalışmalarında genel olarak drenaj havzalarının şekillerinin tanımlanmasında kullanılan Gravelius katsayısı da (Gravelius coefficient- $G_c$ , **Formül 7** ve **8**) dairesellik indisi olarak kullanılmıştır (Aguilar vd., 2016; Jeanpert vd., 2016). Her iki yöntemle de belirlenen indis planimetrik şekil (planimetric shape) olarak da isimlendirilir (Denizman, 2003). Her üç yöntemde de değer 1 olması şeklin daire biçiminde olduğunu gösterirken, 1'den uzaklaşması şekilde biçimsel bozulmanın arttığını yani daha düzensiz bir biçim aldığını göstermektedir. Dairesellik indisi değeri özellikle farklı yönlerdeki çatlak sitemlerinin ya da bir den fazla paleovadinin kesişim noktasında bulunan dolinlerde yüksek çıkmaktadır.

$$I_c = \frac{A}{\pi \left(2 \frac{A}{P}\right)^2} \quad (6)$$

$$G_c = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (7)$$

$$G_c = \frac{P}{2 \cdot \sqrt{\pi \cdot A}} \quad (8)$$

Dolinlerin genişlemesine bağlı olarak tüm parametrelerde değişimler meydana gelmektedir. Bu nedenle dolinlerin uzun eksen değeri arttıkça kısa eksen değeri de artmakta, alan değeri arttıkça çevre uzunluğu değeri de artmakta ve bu iki parametrenin artışına bağlı olarak uzama oranı arttıkça dairesellik indisi değeri de artmaktadır. Bu nedenle bu parametreler arasında sürekli olarak pozitif korelasyonlar bulunmaktadır (**Şekil 7**).

Alan ve dairesellik indisi değerleri karstik şekillerin sınıflandırmasında da kullanılmaktadır. Örneğin Aguilar vd. (2016) Meksika'nın Yukatan bölgesindeki 6700 karstik depresyonun sınıflandırmasını dairesellik indisini (Gravelius katsayısı) temel alarak yapmıştır. Çalışmada indisi değeri 1 ile 1.04 arasında olan ve alanı 1 km<sup>2</sup>'den düşük olanlar dolin, indisi değeri 1.04'ten büyük alanı ise 1 km<sup>2</sup>'den küçük olanlar uvala, indisi değeri 1.04'ten büyük ve alan değeri 1 km<sup>2</sup>'den büyük olanlar ise polye olarak sınıflandırmıştır.

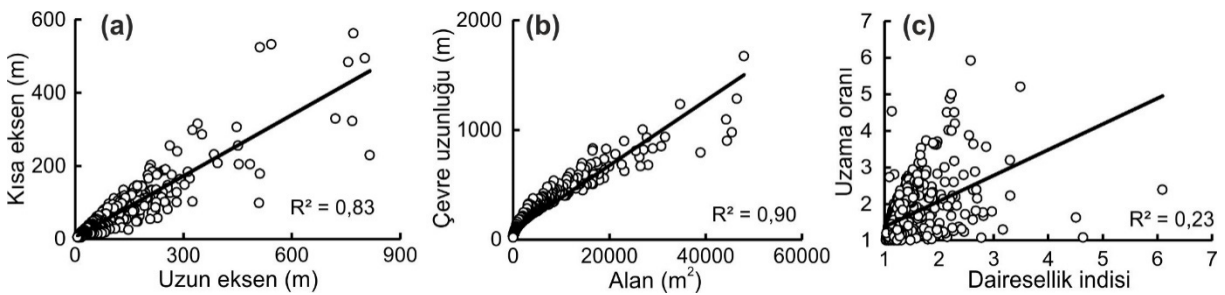
Şekilsel sınıflandırmanın yanı sıra dairesellik indisi karstlaşmanın görece olarak yaşlandırılmasında da kullanılmıştır. Brinkmann, Parise ve Dye (2008) örtü kayası çökme dolinlerin dairesellik indisinin düşük, yani dairesel formlara sahip olduğu alanlarda karstlaşmanın daha genç, dairesellik indisi değerinin büyük yani dolinlerin dairesel formlara sahip olmadığı alanlarda daha yaşlı olduğu belirtilmiştir. Aynı çalışmada dolinler alansal büyüklüklerine göre de sınıflandırılmıştır. Çalışmada alanı 27,000 m<sup>2</sup>'den küçük olanlar küçük dolinler, 27,000-97,000 m<sup>2</sup> arasında olanlar orta büyüklükteki dolinler ve 97,000 m<sup>2</sup>'den büyük olanlar ise büyük dolinler olarak ele alınmış ve haritalandırılmıştır.

Dolin çalışmalarında hacim ( $V$ ) hesabı, dolin içinin ayrıntılı ölçümleri yapılamadığından dolayı, dolinlerin koni şeklinde oldukları varsayılarak aşağıdaki formülle hesaplanır (Plan ve Decker, 2006; **Formül 9**).

$$V = Alan \cdot \frac{Derinlik}{2} \quad (9)$$

### 3.6. Çap/derinlik oranı ( $CD_o$ )

Bazı çalışmalarda iç şekil indisi (*index of internal shape*) olarak da isimlendirilen (Day, 1983), çap/derinlik oranı ilk kez Coleman ve Balchin (1959) tarafından bir kriter olarak ele



**Şekil 7:** Tahtalı Dağları üzerinde bulunan 992 karstik depresyona ait (a) uzun ve kısa eksen, (b) alan ve çevre uzunluğu, (c) uzama oranı ile dairesellik indisi değeri arasındaki değişimler (Öztürk vd., 2015'e ait verilerinden düzenlenerek).

**Figure 7:** (a) long and short axis, (b) area and perimeter, (c) elongation ratio and circularity index values of 992 karstic depressions located on Tahtalı Mountains (edited from data of Öztürk et al., 2015).

alınmıştır. Dolinlerin en alçak noktasını temsil eden derinlik (Şekil 2), özellikle çökme dolini alanlarında kullanılan önemli parametrelerden bir tanesidir. Çap/derinlik oranı özellikle çökme dolinlerinin kökeninin bulunmasında yaygın kullanılan analizlerden bir tanesidir (Bondesan vd., 1992; Day, 1976). Bu oran genel olarak çap (uzunluk) değeri, derinliğe bölünerek elde edilmekle birlikte bazı çalışmalar derinliği çapa bölerek de elde etmişlerdir (Day, 1983; Sauro, 2012). Çözünme dolinlerinde  $\text{ÇD}_0$  çok fazla değişkenlik göstermezken, çökme dolinlerinde çok farklılık gösterir. Bu nedenle çözünme dolinlerinde silindirik şekiller nadir olarak görülürken, çökme dolinlerinde silindirik şekil oldukça yaygındır. Çap ve derinlik bilgilerine dayanarak dolinlerin geometrik sınıflandırmasını da yapmak mümkündür (Tablo 3). Çap ve derinlik oranları dolin yamaçlarının eğimini de etkileyeceğinden dolayı benzer sınıflandırma dolin yamaçlarının eğimine göre de yapılmaktadır. Jeanpert vd. (2016) tarafından, yüksek çözünürlüklü Lidar görüntüleri kullanılarak yapılan analizlere göre, dolinler yamaç eğimleri  $30^\circ$ 'den fazla ise çökme,  $15^\circ$ - $30^\circ$  arasında olursa kase şekilli,  $15^\circ$ 'den az olursa düz tabanlı olarak sınıflandırılmıştır.

### 3.7. Simetri

Dolinlerin en derin noktası genel anlamda dolin iç drenajının birleştiği merkez noktasına karşılık gelir ve geometrik merkez ile uyumlu olmayabilir (Ford ve Williams, 2007). Dolin simetrisi, dolinin en derin noktasına göre hesaplanan genişlik ve uzunluk değerlerinin oranına göre belirlenir (Williams, 1972). Dolinin en derin noktasının uzun eksenini kestiği noktadan itibaren uzun eksene paralel iki uzun eksen çizgisi çizilir ve metre cinsinden değerleri bulunur ( $U_1$  ve  $U_2$ ). Benzer şekilde dolinin en derin noktasının kısa eksenini (genişliği) kestiği noktadan itibaren genişlik çizgisine paralel iki genişlik çizgisi çizilir ve metre cinsinden değerleri bulunur ( $K_1$  ve  $K_2$ ).

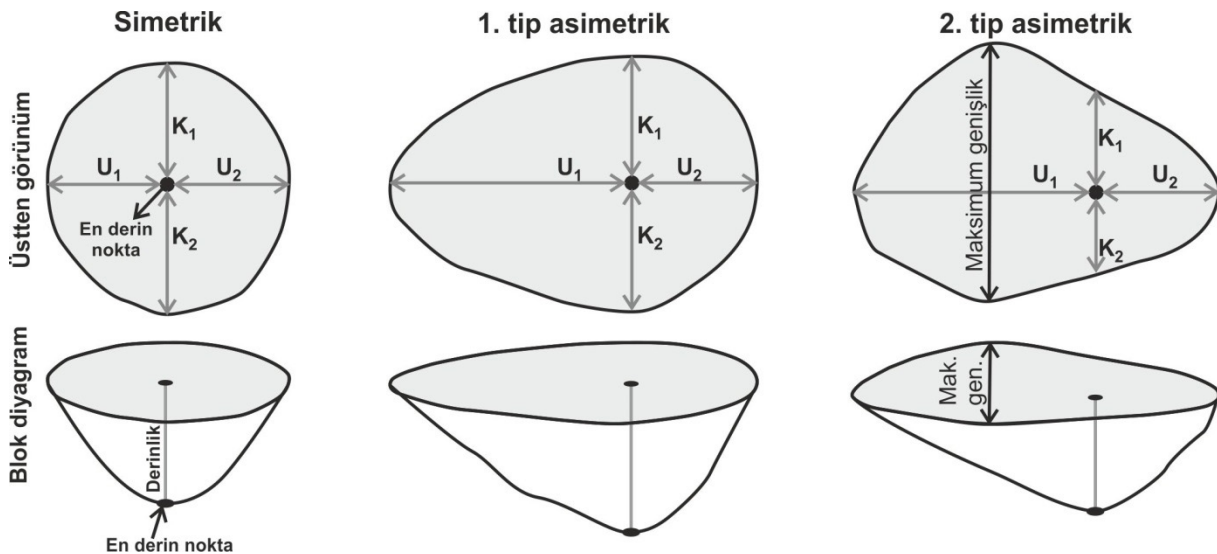
Eğer, " $U_1 = U_2$  ve  $K_1 = K_2$ ,  $K_1 + K_2 = \text{maksimum genişlik}$ " koşulları sağlanıyorsa şekil simetrik özelliktedir.

" $U_1 \neq U_2$  ve  $K_1 = K_2$ ,  $K_1 + K_2 = \text{maksimum genişlik}$ " koşulları sağlanıyorsa şekil 1. tip asimetrik özelliktedir.

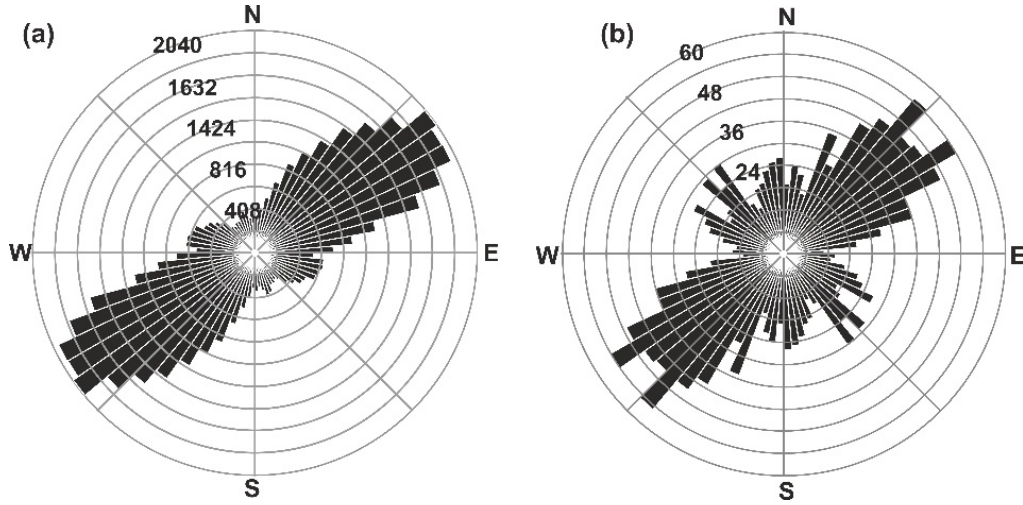
" $U_1 \neq U_2$  ve  $K_1 \neq K_2$ ,  $K_1 + K_2 \neq \text{maksimum genişlik}$ " koşulu sağlanıyorsa şekil 2. tip asimetrik özelliktedir.

**Tablo 3:** Çap/derinlik oranına göre dolinlerin sınıflandırılması ve temsili biçimleri (Bondesan vd., 1992).  
**Table 3:** Classification and representation of dolines according to diameter/depth ratios (Bondesan et al., 1992).

Çap/derinlik oranı ( $\text{ÇD}_0$ )	Şeklin tanımı	
5'ten büyük ( $\text{ÇD}_0 > 5$ )	Tabak şekilli	
2 ile 5 arası ( $5 > \text{ÇD}_0 > 2$ )	Kase şekilli	
1.5 ile 2 arası ( $2 > \text{ÇD}_0 > 1.5$ )	Koni	
1.5'ten küçük ( $1.5 > \text{ÇD}_0$ )	Silindir	



**Şekil 8:** Dolinlerin simetrik özelliklerini gösteren temsili biçimler (Williams, 1972).  
**Figure 8:** Representative forms showing symmetric properties of dolines (Williams, 1972).



**Şekil 9:** Ecemiş Fayı'nın (a) batısı (Balkar Dağları'nın batısı) ve (b) doğusundaki (Tahtalı Dağları) karstik platolar üzerinde yer alan dolinlere ait gül diyagramları (Öztürk vd., 2015; Öztürk vd., 2017a).

**Figure 9:** Rose diagrams of dolines on karstic plateaus located (a) western (Balkar Mountains) and (b) eastern part (Tahtalı Mountains) of Ecemiş Fault (Öztürk et al., 2015; Öztürk et al., 2017a).

Kısaca simetrik yapıda dolinin en derin noktası şeklin merkezindedir. Asimetrik yapılarda ise en derin noktası şeklin merkezinde değildir. Bununla birlikte 1. tip asimetride en derin nokta şekil genişliğinin en fazla olduğu noktaya karşılık gelirken, 2. tip asimetride en derin nokta şekil genişliğinin en fazla olduğu noktaya karşılık gelmez (Şekil 8).

### 3.8. Yönelim

Çatlak ve yarık sistemleri karstlaşmayı şekillendirici unsur olduklarından dolayı (Nazik, 1985), dolinlerin yönelimlerinde karstik alanlarda etkili olan çatlak ve yarık sistemleri ile uyumludur. Bu nedenle dolin yönelimleri alanın yapısal özelliklerinin yorumlanmasında kullanılan etkili bir parametredir. Dolinlerin yönelimleri uzun eksen çizgisinin kuzey ile yapmış olduğu açının (azimut açısı- $\alpha$ ) hesaplanması ile belirlenir (Şekil 2). Uzun çap yönelimi ya da çizgisellik olarak da isimlendirilen (Bondesani vd., 1992) bu değerlerden oluşturulan gül diyagramları dolinlerin uzanımında egemen olan yönün belirlenmesinde kullanılır. Yönelimler üzerinde de genel olarak çatlak sistemleri ve ana fay hatlarının uzanımı etkili olduğundan dolayı dolin yönelimlerinden elde edilen yön değerleri alandaki etkili olan fay ve çatlak sistemleri hakkında bilgi vermektedir (Öztürk vd., 2017a; Şener, Öztürk, Şimşek, Utlu ve Şener, 2017). Toroslarda yapılan çalışmalar dolin yönelimlerinin, Toros Dağlarının orografik uzanımına paralel olduklarını ancak alanın morfo-tektonik evrimine bağlı olarak alan içerisinde farklılık gösterdiğini ortaya koymuştur (Şekil 9).

Dolinlerin uzun eksen yönelimlerinin yanı sıra bazı çalışmalarda dolin sıralanmasının yönelimleri de incelenmiştir. Bu çalışmalarda genel olarak dolin merkez noktaları esas alınarak birbirine en yakın dolinler arasında çizilen çizginin yönelimi dikkate alınır (Faivaire ve Pahernik, 2007; Plan ve Decker, 2006).

### SONUÇ

Bu çalışmada karstik alanların karakteristik yüzey şekillerinden olan dolinler ile ilgili temel morfometrik hesaplamaların neler oldukları, Dünya'dan ve Türkiye'den örnekler ile açıklanmıştır. Dolinler ile ilgili çok fazla sayıda morfometrik parametre hesaplanabilmekle birlikte bunların çok azı yaygın olarak kullanılır. Bununla birlikte son yıllarda yüksek çözünürlüklü sayısal arazi modellerinin yaygınlaşmasından dolayı yeni parametrelerde geliştirilmekte ve coğrafi bilgi sistemlerindeki gelişmelere bağlı olarak hesaplanan parametreler çok fazla sayıda doline uygulanabilmektedir. Ele alınan her bir parametrenin grafikler ve haritalar ile gösterilmesi, temel istatistiksel değerlerin hesaplanması dolin gelişimini denetleyen etkenlerin belirlenmesinde ve incelenen alanın morfo-tektonik gelişiminin açıklanmasında önemli ipuçları sağlamaktadır. Örneğin histogramlar alandaki dolin zonunun belirlenmesinde, yoğunluk değerlerinin dolin yoğunluğu ile litolojik ve morfolojik birimler arasındaki ilişkinin ortaya konulmasında, yönelim açısı dolinler üzerinde etkili olan çatlak sistemlerinin doğrultusunun belirlenmesinde, uzama oranı alandaki tektonik birimlerin etkisinin belirlenmesinde, çap-derinlik oranı dolinlerin göreceli

olarak yaşlandırılmasında ve dolin tiplerinin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

**Teşekkür:** Bu çalışma Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından desteklenmiştir

## KAYNAKLAR

- Aguilar, Y., Bautista, F., Mendoza, M. E., Frausto, O., & Ihl, T. (2016). Density of karst depressions in Yucatán state, Mexico. *Journal of Cave and Karst Studies*, 78(2), 51-60. doi: 10.4311/2015ES01.24
- Basso, A., Bruno, E., Parise, M., & Pepe, M. (2013). Morphometric analysis of sinkholes in a karst coastal area of southern Apulia (Italy). *Environmental Earth Science*, 70, 2545–2559. doi:10.1007/s12665-013-2297-z
- Bauer, C. (2015). Analysis of dolines using multiple methods applied to airborne laser scanning data. *Geomorphology*, 250, 78–88. doi: 10.1016/j.geomorph.2015.08.015
- Bočić, N., Pahernik, M., & Mihevc, A. (2015). Geomorphological significance of the palaeodrainage network on a karst plateau: The Una–Korana plateau, Dinaric karst, Croatia. *Geomorphology*, 247, 55–65. doi: 10.1016/j.geomorph.2015.01.028
- Bondesan, A., Meneghel, M., & Sauro, U. (1992). Morphometric analysis of dolines. *International Journal of Speleology*, 21(1), 1–55. doi: 10.5038/1827-806X.21.1.1
- Brinkmann, R., Parise, M., & Dye, D. (2008). Sinkhole distribution in a rapidly developing urban environment: Hillsborough County, Tampa Bay area, Florida. *Engineering Geology*, 99, 169–184. doi: 10.1016/j.enggeo.2007.11.020
- Car, J. (2001). Structural bases for shaping of dolines. *Acta Carsologica*, 30(2), 239–256.
- Chenoweth, M. S. (1997). *The spatial distribution and morphometric analysis of dolines Buffalo National River, Newton County Arkansas* (Unpublished master's thesis). University of Miami, FL, USA.
- Coleman, A. M., & Balchin, W. G. V. (1959). The origin and development of surface depressions in the Mendip Hills. *Proceedings of the Geologists' Association*, 70(4), 291–309. doi: 10.1016/S0016-7878(59)80011-0
- Cramer, H. (1941). Die systematik der karst dolinen. *Neues Jahrbuch für Mineralogie und Paleontologie*, 85, 293–382.
- Day, M. (1976). The morphology and hydrology of some Jamaican karst depressions. *Earth Surface Processes and Landforms*, 1(2), 111–129. doi: 10.1002/esp.3290010203
- Day, M. (1983). Doline morphology and development in Barbados. *Annals of the Association of American Geographers*, 73(2), 206–219. doi:10.1111/j.1467-8306.1983.tb01408.x
- Denizman, C. (2003). Morphometric and spatial distribution parameters of karstic depressions, Lower Suwannee River Basin, Florida. *Journal of Cave and Karst Studies*, 65(1), 29–35.
- (Proje numarası: 115Y580). Katkılarından dolayı TÜBİTAK'a teşekkür ederim. Ayrıca, Dr. Mesut Şimşek, Yrd. Doç. Dr. M. Furkan Şener, Prof. Dr. Mehmet Şener ve Ar. Gör. Mustafa Utlu'ya Toroslardaki örnek çalışmaların hazırlanması konusundaki bilimsel katkılarından dolayı teşekkür ederim.
- Doğan, U. (2004). Dolin sınıflamasında yeni yaklaşımlar. *Gazi Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi* 24(1), 249–269.
- Doğan, U., & Özel, S. (2005). Gypsum karst and its evolution east of Hafik (Sivas, Turkey). *Geomorphology*, 71(3), 373–388. doi: 10.1016/j.geomorph.2005.04.009
- Dóniz-Páez, J. (2015). Volcanic geomorphological classification of the cinder cones of Tenerife (Canary Islands, Spain). *Geomorphology*, 228, 432–447. doi: 10.1016/j.geomorph.2014.10.004
- Erinç, S. (2001). *Jeomorfoloji II* (3.bs). İstanbul: Der Yayınları.
- Faivre, S., & Reiffsteck, P. (1999). Spatial distribution of dolines as an indicator of recent deformations on the Velebit mountain range (Croatia). *Géomorphologie: Relief, Processus, Environnement*, 2, 129–142.
- Faivre, S., & Pahernik, M. (2007). Structural influences on the spatial distribution of dolines, Island of Brač, Croatia. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 51, 487–503. doi: 10.1127/0372-8854/2007/0051-0487
- Ferrarese, F., Sauro, U., & Tonello, C. (1998). The Montello Plateau. Karst evolution of an alpine neotectonic morphostructure. *Zeitschrift für Geomorphologie Supplement Band 109*, 41–62.
- Ford, D. C., & Williams, P. W. (2007). *Karst geomorphology and hydrology*. London, UK: Chapman and Hall.
- Gams, I. (2000). Doline morphogenetic processes from global and local viewpoints. *Acta Carsologica*, 29, 123–138.
- Goudie, A. S. (2003). *Geomorphological techniques*. London, UK: Allen & Unwin.
- Jeanpert, J., Genthon, P., Maurizot, P., Folio, J.-L., Vendé-Leclerc, M., Sérino, J., ... Iseppi, M. (2016). Morphology and distribution of dolines on ultramafic rocks from airborne LiDAR data: the case of southern Grande Terre in New Caledonia (SW Pacific). *Earth Surface, Processes and Landforms* 41, 1854–1868. doi: 10.1002/esp.3952
- Jennings, J. N. (1975). Doline morphometry as a morphogenetic tool: New Zealand examples. *New Zealand Geographer*, 31, 6–28. doi: 10.1111/j.1745-7939.1975.tb00793.x
- Liang, F., Du, Y., Ge, Y., & Li, C. (2014). A quantitative morphometric comparison of cockpit and doline karst landforms. *Journal of Geographical Sciences*, 24(6), 1069–1082. doi: 10.1007/s11442-014-1139-6
- Keskin, İ., & Yılmaz, I. (2016). Morphometric and geological features of karstic depressions in gypsum (Sivas, Turkey). *Environmental Earth Sciences*, 75. doi: 10.1007/s12665-016-5845-5

- Kobal, M., Bertoncelj, I., Pirotti, F., Dakskobler, I., & Kutnar, L. (2015). Using lidar data to analyse sinkhole characteristics relevant for understory vegetation under forest cover—Case study of a high karst area in the Dinaric Mountains. *PLoS One*, *10*, e0122070. doi: 10.1371/journal.pone.0122070
- Maclachlan, J. C., & Eyles, C. H. (2013). Quantitative geomorphological analysis of drumlins in the Peterborough drumlin field, Ontario, Canada. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, *95*(2), 125–144. doi: 10.1111/geoa.12005
- McCraw, D. J., & Land, L. (2016). Sinkholes: A hidden, real New Mexico geohazard. *New Mexico Earth Matter*, *16*(1), 1–6.
- Nazik, L. (1985). *Beşşehir Gölü (Konya) yakın güneyi karst jeomorfolojisi* (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve Coğrafya Enstitüsü, İstanbul.
- Nazik, L. (1986). Beşşehir Gölü yakın güneyi karst jeomorfolojisi ve karstik parametrelerin incelenmesi. *Jeomorfoloji Dergisi*, *14*, 65–79.
- Nazik, L. ve Tuncer, K. (2010). Türkiye karst morfolojisinin bölgesel özellikleri. *Türk Speleoloji Dergisi, Karst ve Mağara Araştırmaları*, *1*, 7–19.
- Öztürk, M. Z., Şimşek, M. ve Utlü, M. (2015). Tahtalı Dağları (Orta Toroslar) karst platosu üzerinde dolin ve uvala gelişiminin CBS tabanlı analizi. *Türk Coğrafya Dergisi*, *65*, 59–68. doi: 10.17211/tcd.22648
- Öztürk, M. Z., & Akbaş, A. (2016). Clustering analysis of spatial distribution of karstic depressions on Anamas Mountain (Taurus Mountains, Turkey). *Proceedings of the GeoMed2016- IVth Geography Symposium*, 302. Retrieved from <https://drive.google.com/file/d/0BwLmYj286TziZ05YclZmZ0QwQ3c/view>
- Öztürk, M. Z., Şimşek, M., Utlü, M., & Şener, M. F. (2017a). Karstic depressions on Bolkar Mountain plateau, Central Taurus (Turkey): Distribution characteristics and tectonic effect on orientation. *Turkish Journal of Earth Sciences*, *26*, 302–313. doi: 10.3906/yer-1702-3
- Öztürk, M. Z., Şimşek, M., Utlü, M. ve Şener, M. F. (2017b, Ekim). *Batı ve Orta Toros Dağları'nda dolin yoğunluğunun alansal dağılışı özellikleri*. Uluslararası Jeomorfoloji Sempozyumu'nda sunulan bildiri, Elazığ. Erişim adresi: <http://ujes.org/konular/>
- Öztürk, M. Z., Utlü, M., Şener, M. F., & Şimşek, M. (2017). Relationship between relict valley and doline density at the Central Taurus (Turkey). *Proceedings of the International Congress on 75<sup>th</sup> Anniversary of Turkish Geography Society*, 644–645.
- Pardo-Igúzquiza, E., Valsero, J. J. D., & Dowd, P. A. (2013). Automatic detection and delineation of karst terrain depressions and its application in geomorphological mapping and morphometric analysis. *Acta Carsologica*, *42*(1), 17–24. doi: 10.3986/ac.v42i1.637
- Pahernik, M. (2012). Prostorna gustoća ponikava na području Republike Hrvatske (Spatial density of dolines in the Croatian Territory). *Hrvatski Geografski Glasnik*, *74*(2), 5–26. doi: 10.21861/HGG.2012.74.02.01
- Pekcan, N. (1999). *Karst jeomorfolojisi*. İstanbul: Filiz Kitabevi.
- Plan, L., & Decker, K. (2006). Quantitative karst morphology of the Hochschwab plateau, Eastern Alps, Austria. *Zeitschrift für Geomorphologie Supplement Band*, *147*, 29–54.
- Sauro, U. (2003). Dolines and sinkholes: Aspects of evolution and problems of classification. *Acta Carsologica*, *32*(2), 41–52. doi: 10.3986/ac.v32i2.335
- Sauro, U. (2012). Closed depressions in karst areas. In W. B. White & D. C. Culver (Eds.), *Encyclopedia of caves* (pp. 140–155). Amsterdam (The Netherlands): Elsevier.
- Şener, M. F., Öztürk, M. Z., Şimşek, M., Utlü, M. ve Şener, M. (2017, Ekim). *Dolin dağılışı ve yönelimleri üzerinde yapısal unsurların etkisi: Toroslardan örnekler*. Uluslararası Jeomorfoloji Sempozyumu'nda sunulan bildiri, Elazığ. Erişim adresi: <http://ujes.org/konular/>
- Şimşek, M. (2017, Mayıs). *Geyik Dağı kütleindeki (Orta Toroslar) karstik depresyonların dağılışı özellikleri*. Jeomorfoloji Derneği, Lisansüstü Öğrenci Sempozyumu'nda sunulan bildiri, Balıkesir.
- Telbisz, T., Látos, T., Deák, M., Székely, B., Koma, Z., & Standovár, T. (2016). The advantage of lidar digital terrain models in doline morphometry compared to topographic map based datasets – Aggtelek karst (Hungary) as an example. *Acta Carsologica*, *45*, 5–48. doi: 10.3986/ac.v45i1.4138
- Waltham, A. C., & Fookes, P. G. (2003). Engineering classification of karst ground conditions. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, *36*, 101–118. doi: 10.1144/1470-9236/2002-33
- Waltham, T., Bell, F. G., & Culshaw, M. G. (2007). *Sinkholes and subsidence: karst and cavernous rocks in engineering and construction*. Chichester: Springer Science & Business Media.
- Williams, P. W. (1966). Morphometric analysis of temperate karst landforms. *Irish Speleology*, *1*, 23–31.
- Williams, P. W. (1971). Illustrating morphometric analysis of karst with examples from New Guinea. *Zeitschrift für Geomorphologie*, *15*, 40–61.
- Williams, P. W. (1972). Morphometric analysis of polygonal karst in New Guinea. *The Geological Society of America Bulletin*, *83*(3), 761–796. doi: 10.1130/0016-7606(1972)83[761:MAOPKI]2.0.CO;2
- Xuwen, Z., & Weihai, C. (2006). Tiankengs in the karst of China. *Speleogenesis and Evolution of Karst Aquifers*, *4*(1), 1–18.

