



Bozdağ (Karaburun Yarımadası) Kütlesi Üzerinde Dolinlerin Morfotektonik Gelişimi
Morphotectonic Development of Dolines on Mt. Bozdağ (Karaburun Peninsula)

Mehmet Furkan Şener*

İzmir Bakırçay Üniversitesi, İnsan ve Toplum Bilimleri Fakültesi, Coğrafya Bölümü, İzmir, Türkiye

• Geliş/Received: 10.11.2023 • Düzeltilmiş Metin Geliş/Revised Manuscript Received: 29.11.2023 • Kabul/Accepted: 30.11.2023
• Çevrimiçi Yayın/Available online: 04.04.2024 • Baskı/Printed: 30.04.2024

Araştırma Makalesi/Research Article

Türkiye Jeol. Bül. / Geol. Bull. Turkey

Öz: Bu çalışmada Karaburun Yarımadası'nın kuzeyinde yer alan Bozdağ Kütlesi üzerindeki dolinlerin morfotektonik ve morfojenetik özellikleri incelenmiştir. Çözünme dolinleri orta enlemlerdeki yüksek karstik platoların karakteristik yüzey şekillerindedir ve dolin morfometrileri karstik platoların morfotektonik gelişim özelliklerinin incelenmesinde sıklıkla kullanılan yöntemlerden bir tanesidir. Bu çalışmada dolinlerin alansal dağılımları, yoğunlukları ve morfometrik özelliklerinin belirlenmesi için yüksek çözünürlüklü sayısal yükseklik modeli üzerinden otomatik çıkarım tekniği kullanılmıştır. Dolinlerin belirlenmesinin ardından alan, çevre uzunluğu, dairesellik indisi, uzunluk, genişlik ve uzama oranları gibi farklı morfometrik parametreler hesaplanmıştır. Yapılan analizler ve elde edilen sonuçlara göre, alanda toplam 564 dolin tespit edilmiştir ve maksimum yoğunluk 74 dolin/km²'ye kadar ulaşmaktadır. Ortalama yüksekliği 1.080 metre olan dolinlerin tamamı Camiboğazı Formasyonu olarak adlandırılan kireçtaşları üzerinde yer almaktadır. Dolinler paleotektonik evrimi ile başlayan ve Karaburun Platformu'nun İzmir-Ankara Zonu'nda Kretase döneminde etkisi altında kaldığı tektonik aktivitelere bağlı olarak yaklaşık KB-GD doğrultusunda, alandaki çizgiselliklere paralel bir yönelim göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Bozdağ, Camiboğazı, dolin, Karaburun, morfotektonik.

Abstract: This study investigated the morphometric and morphogenetic characteristics of dolines in the Bozdağ Massif, located in the north of Karaburun Peninsula. Dissolution dolines are one of the characteristic surface features of mid-latitude high karst plateaus, and doline morphometry is one of the methods commonly used to study the morphotectonic evolution characteristics of karst plateaus. In this study, an automatic extraction technique was used with a high-resolution digital elevation model to determine the areal distribution, density and morphometric characteristics of dolines. After the dolines were identified, several morphometric parameters such as area, perimeter, circularity index, length, width and elongation rates were calculated. According to the analyses and results obtained, a total of 564 dolines were detected in the area, with a maximum density of 74 dolines/km². All the dolines, with an average elevation of 1,080 metres, are located on limestone from the Camiboğazı Formation. The dolines extend in roughly NW-SE direction, parallel to lineaments in the area, which formed in relation to tectonic processes that started with palaeotectonic evolution and influenced the Karaburun platform in the İzmir-Ankara zone during the Cretaceous period.

Keywords: Bozdağ, Camiboğazı, doline, Karaburun, morphotectonic.

GİRİŞ

Orta enlemlerdeki yüksek karstik platoların karakteristik yüzey şekillerinden olan, genelde dairesel ve yarı dairesel şekillere sahip olan ve çapları 1 km'ye kadar ulaşabilen çözünme dolinleri (Gams 2000; Sauro 2003; Ford ve Williams 2007) ülkemizde özellikle Toros karst kuşağı ve Sivas-Çankırı jipsleri üzerinde yaygın bir gelişim göstermektedirler (Doğan ve Özel 2005; Keskin vd., 2017; Nazik ve Poyraz 2017; Öztürk vd., 2018a; Nazik vd., 2019; Gökkaya vd., 2021; Poyraz vd., 2021; Ataol ve Şimşek 2022; Çetinkaya vd., 2023). Çözünme dolinleri Toros karst kuşağı içerisinde özellikle Orta Toroslarda ve Sivas jips karstı alanında bindirme fayları ile sınırlandırılmış ya da antiklinal eksenlere karşılık gelen yüksek karstik platolar üzerinde maksimum yoğunluklara ulaşmaktadır (Öztürk vd., 2017a, 2018a; Şimşek vd., 2020; Poyraz vd. 2021). Maksimum dolin yoğunlukları Orta Toroslar'da 186 dolin/km² ye, Sivas jips karstında 237 dolin/km² ye, Doğu Toroslarda ise 128 dolin/km² ye kadar çıkmaktadır (Öztürk, vd. 2018a; Çetinkaya vd. 2023; Poyraz vd. 2021).

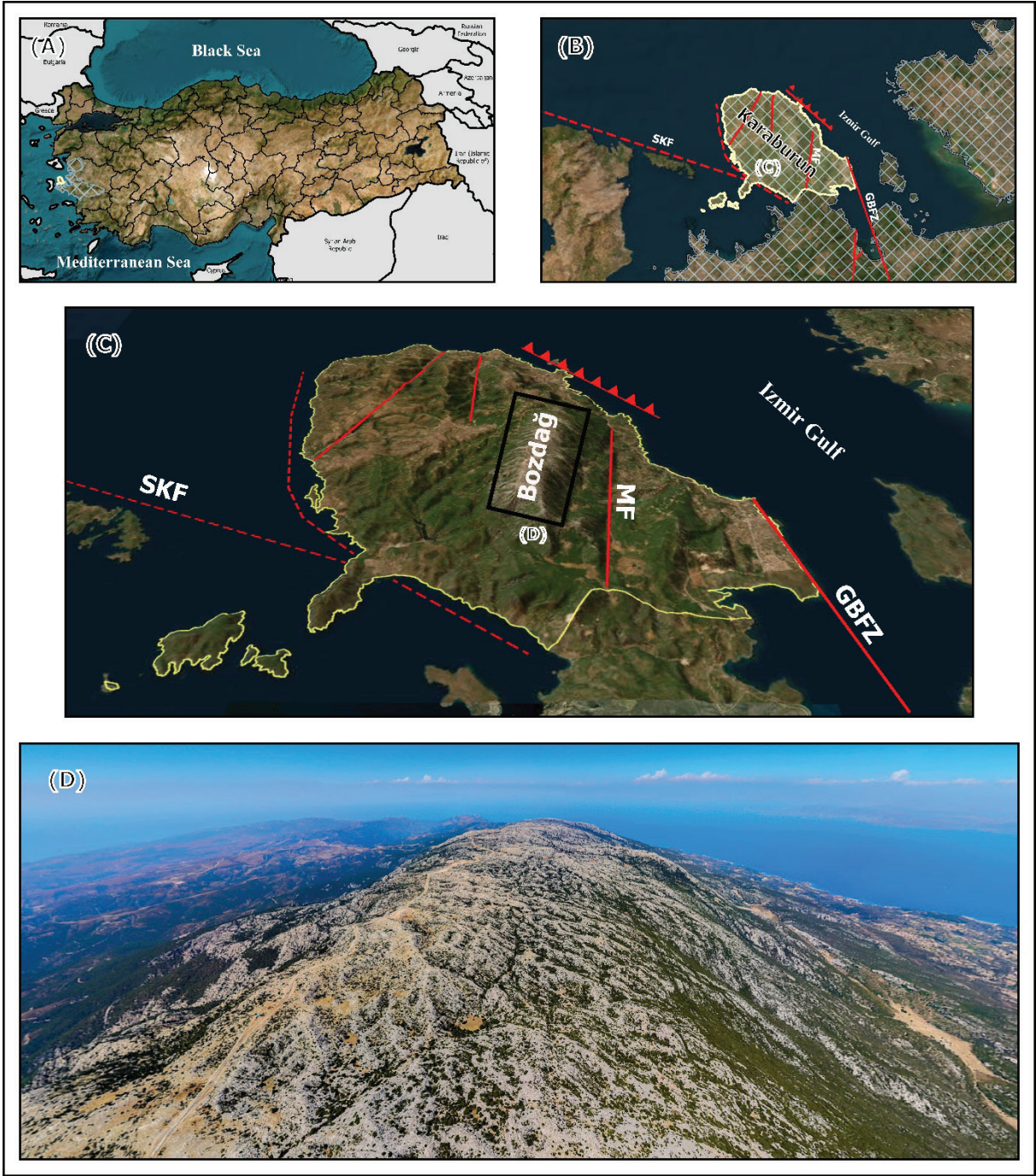
Dolinler karstik alanın morfotektonik ve morfojenetik gelişimlerinin anlaşılmasında kullanılan önemli parametrelerden bir tanesi olmasından dolayı; dolin morfometrisi yüzey karstı araştırmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Şimşek vd., 2019a; Şener vd., 2023;). Başka bir ifade ile dolinlerin sahip oldukları morfometrik özellikler karstik alanların morfotektonik gelişim özellikleri hakkında önemli ipuçları sunmaktadır. Özellikle dolin yönelimleri karstik alanda egemen olan fay ve çatlak sistemlerinin doğrultuları hakkında önemli ipuçları sağlamaktadır (Nazik, 1986; Faivre ve Reiffsteck 1999; Öztürk vd.

2018b). Bu morfometrik özelliklerin dağılışımdan yola çıkarak Toroslar'daki karstik platoların morfotektonik gelişimleri konusunda birçok çalışma yapılmıştır (Şener ve Öztürk 2019; Öztürk, 2020; Aydın ve Tuncer, 2021; Şimşek vd., 2019b).

Çözünme dolinleri yoğun olarak Toros karst kuşağı boyunca görülmekle birlikte; ülkemizin birçok kesiminde bulunan karstik kuşaklar veya bölgeler üzerinde de görülebilmektedir. Bu alanlardan bir tanesi ülkemizin batı ucunda bulunan Karaburun Yarımadası'nın kuzey kesiminde yer alan ve en yüksek noktası 1.218 metre olan Bozdağ Kütlesidir. Bu çalışma kapsamında Bozdağ Kütlesi üzerindeki dolinlerin morfometrik özellikleri incelenmiş ve alandaki yapısal unsurlarla ilişkilendirilerek açıklanmaya çalışılmıştır.

ÇALIŞMA ALANI

Çalışma alanı Karaburun Yarımadası'nın kuzeyinde 26°28'51"- 26°31'56" doğu boylamları ile 38°30'48" 38°35'35" kuzey enlemleri arasında kalan 28 km²'lik alanı kapsamaktadır (Şekil 1A ve 1B). Çalışma alanı kuzey-güney doğrultusunda 8,4 km uzunluğa, doğu-batı doğrultusunda 3,4 km genişliğe sahiptir. Alanın tamamı Camiboğazi Formasyonu olarak adlandırılan resifal kireçtaşlarından oluşmaktadır. Bölge Köppen-Geiger iklim sınıflandırmasına göre Csa harfleriyle gösterilen ve tipik Akdeniz iklimine karşılık gelen ılıman iklim kuşağı içerisinde yer almaktadır (Öztürk vd., 2017b). Yıllık ortalama sıcaklığın 16 °C olduğu alanda yıllık toplam yağış değeri 730 mm'dir. Alandaki en yüksek nokta 1.218 metre ile Akdağ Tepesi'dir (Şekil 1).



Şekil 1. A) Çalışma alanı yerbulduru haritası, B) İzmir körfezi içerisindeki konumu, C) Çalışma alanı ve yakın çevresinde bulunan yapısal unsurlar, D) Bozdağ kütesinin genel görünümü (Foto: Burak Büyükbayraktar; GBFZ: Gülbahçe Fay Zonu; MF: Mordoğan Fayı; SKF: Sakız-Karaburun Fayı)

Figure 1. A) Location map of the study area, B) Location within the Gulf of Izmir, C) Structural elements in the study area and immediate surroundings, D) General view of the Bozdağ massif (Photo: Burak Büyükbayraktar; GBFZ: Gülbahçe Fault Zone; MF: Mordoğan Fault; SKF: Sakız-Karaburun Fault)

YAPISAL ÖZELLİKLER

Batı Anadolu'nun paleotektonik evriminde KD-GB yönünde uzanan üç tektonik kuşak birbirinden ayırt edilir (Erdoğan 1990). En doğudaki kuşak, metamorfik kaya topluluklarından oluşan Menderes Masifi'dir. İkinci kuşak İzmir-Ankara Zonu, daha batıda yer alan ve platform tipi karbonat aralanması içeren üçüncü kuşak ise Karaburun Kuşağı olarak adlandırılmaktadır. Şengör ve Yılmaz (1981) Batı Anadolu tektonik sınıflandırmasında bu son kuşağı Sakarya kıtasının devamına dahil etmişlerdir. Orta-Geç Miyosen'den itibaren oluşmaya başlayan ve Batı Anadolu'nun graben yapılarını oluşturan D-B doğrultulu neotektonik yapılar bu Paleotektonik kuşakları boydan boya kesmektedir (Şengör, 1980). Daha önceki araştırmacılar, İzmir-Ankara Zonu'nun Menderes Masifi'nin üzerine güney yönünde düşük açılı faylar boyunca bindirdiğini belirtmişlerdir (Dürr, 1975; Dürr vd., 1978; Channel vd., 1979; Şengör ve Yılmaz, 1981; Akdeniz vd. 1982; Akkök, 1983; Özkan vd., 2011). Bu bindirme fayları boyunca meydana gelen yer değiştirmenin kıtasal ölçeğe ulaştığı ve Likya Napları'nın köklerinin İzmir-Ankara Zonu'nda bir yerde yer aldığı ve Menderes Masifi üzerinden güneye doğru ilerleyerek bugünkü konumlarını aldıkları ileri sürülmüştür (Dürr, 1975; Şengör ve Yılmaz 1981; Akkök vd., 1985). Karaburun Kuşağı, Anadolu'nun paleotektonik kuşaklarının en batısında yer alır ve Triyas'tan Geç Kretase'ye kadar uzanan kalın ve sürekli bir karbonat platformu ortaya çıkar (Çakmakoglu ve Bilgin 2006).

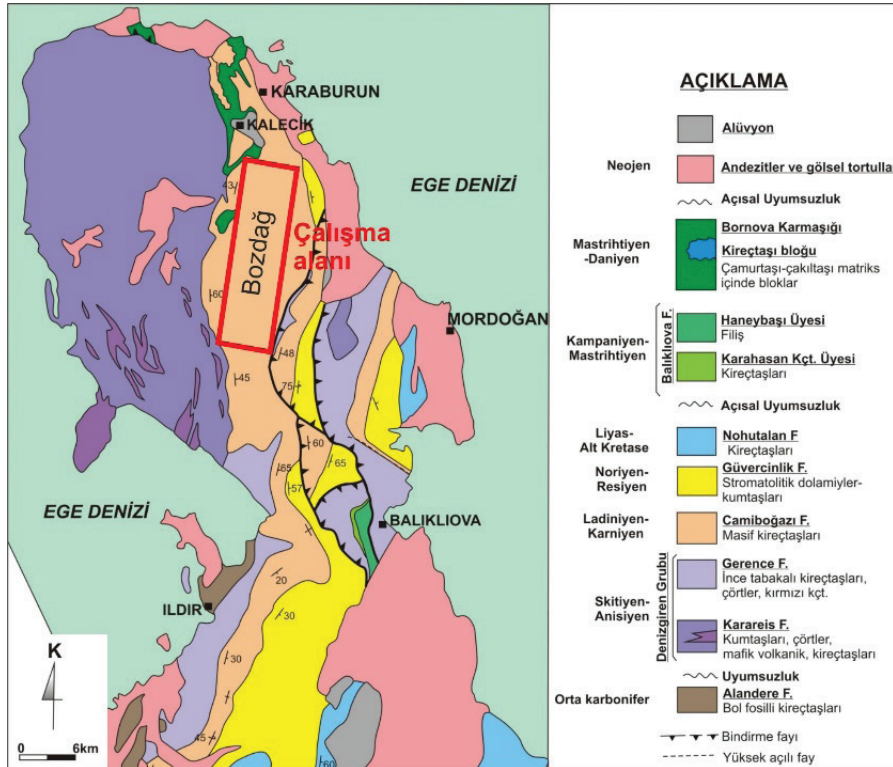
Devoniyen formasyonları KKB doğrultulu ve 30° ila 60° eğimlidir. Devoniyen tabakalarını örten Erken Karbonifer kireçtaşları, çökeltme sırasında denizlerin hem stabilitesini hem de derinliğini göstermektedir. Uyumlu Erken Karbonifer ve Devoniyen tabakaları Hersiniyen Orojenezi sırasında kıvrılmışlardır ve kıvrımlar KB yönünde uzanmaktadır. Karaburun platformunun stratigrafik kayıtları, İzmir-Ankara Zonu'nun

ilk açılışının Erken Kretase'den sonra ve büyük olasılıkla Geç Kretase döneminde gerçekleştiğini göstermektedir. İzmir-Ankara Zonu içerisindeki kireçtaşı bloklarından elde edilen stratigrafik ve paleontolojik veriler de Geç Triyas'tan Geç Kretase'ye kadar hakim bir platform durumu olduğunu ve Geç Kretase'de bir havza oluştuğunu göstermektedir. Neojen oluşumlarının genel bir KB eğilimine sahip olması gerekmesine rağmen, bu dönemdeki tüm tektonik hareketler ve bu kayaçların fiziksel özellikleri, yani kırılmaya yatkınlıkları nedeniyle, daha sonra herhangi bir yönde böyle bir eğilim gözlemlenmemiştir. Aksine, dalım 10°-25° arasında değişmiştir. Çalışma alanı doğudan Gülbahçe Fay Zonu (GBFZ) ve Mordoğan Fayı (MF) ile sınırlandırılmıştır. GBFZ ve MF, Karaburun Yarımadası'nın doğu sınırını ve Urla Havzası'nın batı sınırını belirleyen yaklaşık K-G yönlü sağ yanal doğrultu atımlı bir faydır (Geçkin vd., 2022). Türkiye Diri Fay Haritası, GBFZ'nin uzunlukları 21 ila 24 km arasında değişen üç bölüme ayrıldığını ve MF'nin 12 km uzunluğunda olduğunu göstermektedir (Emre vd. 2018; Şekil 1C ve 1D). Ayrıca Tan (2013), Sığacık Körfezi'nin kuzeyinde yer alan GBFZ ve MF'nin KB-GD yönlü sol yanal doğrultu atımlı bir fay olarak tanımlamıştır ki bu yönelim Bozdağ Kütlesi üzerindeki dolin yönelimleriyle örtüşmektedir. Çalışma alanı batıdan ise KB-GD yönlü Sakız-Karaburun Fayı (SKF) ile sınırlandırılmıştır (Altınok vd., 2005). SKF, K-G yönlü Bozdağ Kütlesi (1.212 m yüksekliğindeki Akdağ zirvesiyle) ve Karaburun Yarımadası'nın (415 km²) omurgasını oluşturur. Ayrıca, önemli Neotektonik değişimlere rağmen, Paleozoyik melanj üzerinde diskordans halinde duran kalın Mesozoyik platform, bölgeyi hâlâ etkileyen önemli Neojen uzantıyla bağlantılıdır (Altınok vd. 2005; Şekil 1c ve Şekil 1d).

STRATİGRAFİK ÖZELLİKLER

Çalışma alanı Karaburun Yarımadası'nın kuzey kesiminde yer alan ve Camiboğazı Formasyonu olarak adlandırılan masif kireçtaşlarından oluşan Bozdağ kütlesini kapsamaktadır (Şekil 2). Karaburun Yarımadası stratigrafik kesitinde en yaşlı birim, Erken ve Orta Karbonifer yaşlı Alandere Formasyonu'dur. Erken Triyas yaşlı formasyon üzerinde yer alır ve dikey ve yatay doğrultular boyunca fasiyes değişiklikleri gösteren kaya birimleri ile temsil edilir. Denizgiren Grubu olarak adlandırılan bu birimler içerisinde Karareis ve Gerence Formasyonları ayırtlanmıştır. Karareis Formasyonu kumtaşları, yataklı-siyah çörtler, pelajik kireçtaşları ve mafik volkaniklerin ara katkılarında oluşurken, Gerence Formasyonu baskın olarak ammonitik kırmızı kireçtaşları, ince yataklı gri kireçtaşları ve çörtlü kireçtaşlarından

oluşmaktadır. Karareis ve Gerence Formasyonları yanal olarak birbirlerine geçişlidir ve yaşları Erken-Orta Triyas'tır (Kalafatçıoğlu, 1961). Çalışma alanının içinde yer aldığı Camiboğazı Formasyonu bu birimlerin üzerinde bir dokanak halinde yer alır. Camiboğazı Formasyonu Erdoğan vd., (1990) göre 400-1.000m kalınlığında, beyaz, pembemsi beyaz, açık gri renkli masif kireçtaşlarından oluşur. Litolojik özellikleri nedeniyle, çevresinde bulunan kayalara göre sarp bir morfoloji gösterirler. Camiboğazı Formasyonunun en açık mostraları Ildır'ın doğusunda Camiboğazı mevkiinde görülür. Bu noktadan kuzeye kalınlaşarak devam eden birim, Karaburun Yarımadası'nın en sarp kesimlerini ve yüksek tepelerini oluşturur. Birim altta, Gerence Formasyonu ve üstte Güvercinlik Formasyonu ile geçişlidir (Brinkmann vd. 1972).



Şekil 2. Karaburun Yarımadası'nın jeoloji haritası ve stratigrafisi (Erdoğan vd., 1990).

Figure 2. Geological map and stratigraphy of the Karaburun Peninsula (Erdoğan et al., 1990).

Çakmakçoğlu ve Bilgin (2006), birimin yaşını Ladiniyen-Karniyen olarak belirlemişlerdir. Güvercinlik Formasyonu Camiboğazi Formasyonu üzerinde uyumlu olarak yer alır ve alg stromatolitleri, megalodon içeren kireçtaşları ve kumtaşı ara katkılarında oluşur. Bu birimin yaşı Üst Triyas olarak verilmektedir (Erdoğan vd., 1990). Baskın olarak kalın yataklı neritik kireçtaşları ile temsil edilen Nohutalan Formasyonu, Güvercinlik Formasyonu'nu dereceli olarak üzerler ve Erken Jura'dan Erken Kretase'ye kadar değişen bir yaş verir. Erken Triyas'tan Erken Kretase'ye kadar uzanan bu Mesozoyik kayalarının üzerinde, karbonatlı kayalar ve fliş fasiyesindeki kumtaşlarından oluşan Geç Kretase (Kampaniyen-Maastrichtiyen) yaşlı Balıklıova Formasyonu uyumsuz olarak yer alır (Kalafatçıoğlu 1961; Erdoğan vd., 1990; Şekil 2). Yukarıda özetlenen stratigrafiye sahip Karaburun Kuşağı, Bornova Melanjı olarak adlandırılan bloklu bir birim tarafından her yönden çevrelenmiştir. Yüksek derecede makaslanmış fliş matriksine sahip bu bloklu birim, Geç Kretase-Paleosen zaman aralığında İzmir-Ankara Zonu'nda oluşmuştur. Karaburun Kuşağı ile Bornova Melanjı arasındaki sınır ilişkileri, Karaburun Platformu'nun açılma sırasında İzmir-Ankara zonu içine tektonik olarak bir nap şeklinde taşındığını göstermektedir (Erdoğan vd., 1990; Kalafatçıoğlu, 1961).

VERİ ve YÖNTEM

Dolin morfometrisi çalışmalarında büyük oranda 1/25.000 ölçekli topoğrafya haritaları kullanılmaktadır (Day, 1983; Denizman, 2003; Öztürk 2018a). Ancak uzaktan algılama alanında yaşanan gelişmelerin bir sonucu olarak farklı çözünürlükte sayısal yükseklik modellerinin (SYM) üretilmeye başlanmasıyla birlikte bu yüksek çözünürlüklü SYM verileri üzerinden otomatik ya da yarı otomatik çıkarım tekniklerine göre dolinleri çizilmeye ve bunlara göre

morfometrik özellikler belirlenmeye başlanmıştır (Chen vd., 2018; Telbisz 2021) or residual hills, are frequently mentioned landforms in the context of humid tropical karsts as they are dominant surface elements there. Residual hills are also present in temperate karsts, but generally in a less remarkable way. These landforms have not been thoroughly addressed in the literature to date, therefore the present article is the first attempt to morphometrically characterize temperate zone residual karst hills. We use the methods already developed for doline morphometry, and we apply them to the “inverse” topography using LiDAR-based digital terrain models (DTMs. Çözünürlüğü 1 ile 90 metre arasında değişen LİDAR, ASTER, ALOS, PALSAR, SRTM gibi küresel verilerden otomatik ya da çıkarım tekniklerine göre çok sayıda dolin morfometrisi çalışması yapılmıştır (Siart vd., 2009; Jeanpert vd. 2016; Jones vd., 2018; Theilen-Willige, 2018; Zumpano vd., 2019; Qiu vd., 2020; Telbisz, 2021) this paper examines the application and quality of digital elevation models (SRTM and ASTER DEMs. Küresel ya da ulusal ölçekte ulaşılabilen bu verilerin yanı sıra insansız hava araçlarından üretilen sayısal yükseklik modellerinden de otomatik çıkarım yöntemi ile dolinler belirlenmeye başlanmıştır (Utlu ve Öztürk 2023). Otomatik çıkarım teknikleri sayesinde çok sayıda dolin kısa sürede belirlenebilmektedir.

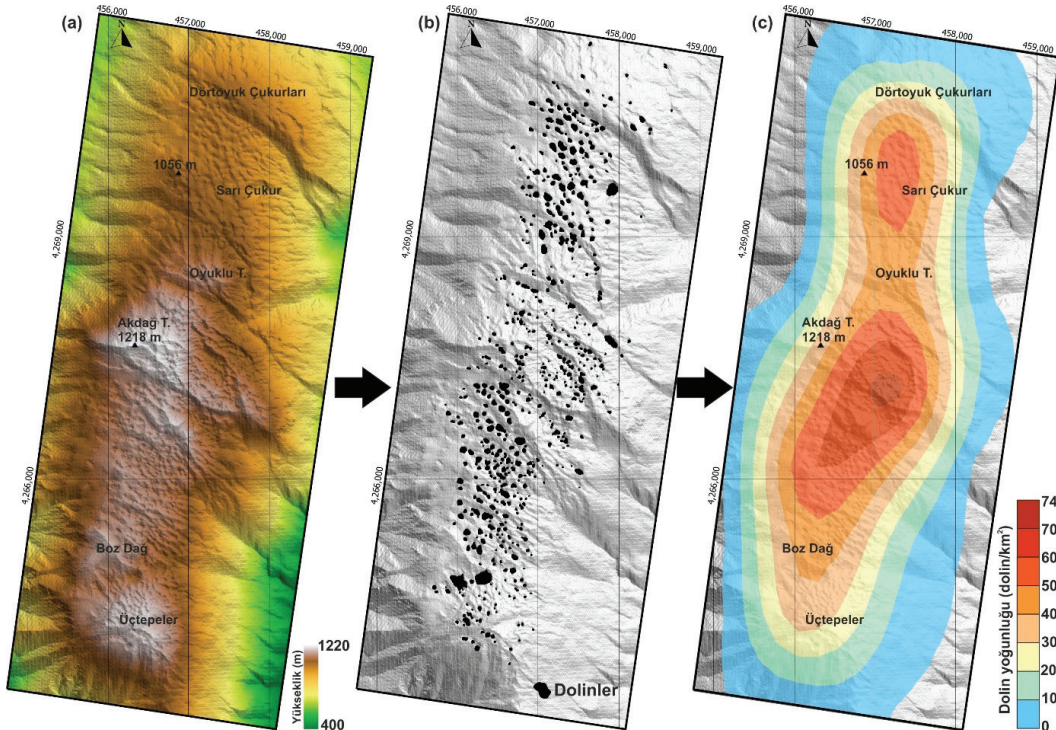
Bu çalışmada da Utlu ve Öztürk (2023) tarafından kullanılan otomatik çıkarım tekniği Harita Genel Müdürlüğü'nden temin edilen 5 metrelik sayısal yükseklik modeline uygulanmıştır. Yöntemde ilk olarak orijinal SYM verisi içerisindeki çukur alanlar doldurulmakta, ardından doldurulan SYM verisi orijinal SYM verisinden çıkarılarak dolin alanları belirlenebilmektedir. Bu yöntemin en önemli avantajlarından bir tanesi de dolinlere ait derinlik bilgilerinin elde edilmesidir. Klasik yöntemde yani 1/25.000 ölçekli topoğrafya haritalarında birçok dolin tek bir yükseklik eğrisiyle temsil edildiği için dolinlerin derinlikleri

hakkında bilgi elde edilememektedir. Ayrıca alansal çözünürlüğün 5 metre olması topografya haritalarından daha fazla dolinin tespit edilmesine imkan sağlamaktadır.

Dolinlerin otomatik şekilde elde edilmesinin ardından dolinlere ait morfometrik özellikler hesaplanmıştır. Tespit edilen her bir doline ait yükseklik, alan, çevre uzunluğu, dairesellik indeksi, uzun ve kısa eksen, derinlik, uzama oranı, uzun eksenin kuzey ile yaptığı açı özellikleri hesaplanmıştır. Elde edilen veri setine ait temel istatistiksel hesaplamalar yapılmış ve CBS (Coğrafi Bilgi Sistemleri) ortamında haritalandırılmıştır. Elde edilen morfometrik hesaplamalar alanında jeolojik ve tektonik gelişim özellikleri ile ilişkilendirilerek dolinlerin alanın morfotektonik gelişimi hakkında bizlere sağladığı bilgiler derlenmiştir.

BULGULAR

Dolinler Bozdağ kütlesinin merkezi kesiminde dağılış göstermektedirler. 28 km²'lik bir alanda yapılan otomatik çıkarıma yöntemine göre alanda toplam 546 adet dolin tespit edilmiştir (Şekil 3a ve 3b). 1/25.000 ölçekli haritalara göre alanda toplam 210 adet dolin bulunmaktadır. Bu açıdan 5 metre çözünürlüğe sahip SYM verisinde topografya haritasının 2,5 katı daha fazla dolin tespit edilmiştir. Kernel yöntemiyle 1 km² için belirlenen yoğunluk değerlerine göre maksimum yoğunluk kütleinin merkezi kesiminde 74 dolin/km²'ye kadar yükselmektedir (Şekil 3c). Pahernik (2012) tarafından yapılan dolin yoğunluk sınıflandırmasına göre çalışma alanının sadece %4,6'lık kesimi yüksek dolin yoğunluğuna sahiptir. %33,4'ü orta yoğunluk değerlerine sahip iken %62'si düşük ve çok düşük yoğunluk değerlerine sahiptir (Şekil 3).



Şekil 3. a) Bozdağ'a ait sayısal yükseklik modeli, **b)** bu modelden otomatik çıkarım tekniği kullanılarak belirlenen dolinlerin dağılışı ve **c)** belirlenen dolinlere göre 1 km²'deki dolin yoğunluğunun dağılışı.

Figure 3. a) Digital elevation model of Bozdağ, **b)** distribution of dolines determined from the model using automatic extraction technique, and **c)** distribution of doline density per km² according to the dolines identified.

Kütlenin uzanış doğrultusuna paralel bir şekilde yoğunluk bölgeleri K-G doğrultusunda uzanmaktadır ve dolin yoğunluğu merkezi kesimden çevreye doğru gidildikçe azalmaktadır. Çevreye doğru yoğunluğun azalmasının en önemli nedenleri eğimin ve akarsu yoğunluğunun artmasıdır. Toroslarda yapılan çalışmalara göre dolin yoğunlukları ile km^2 'deki eğim değerleri ve drenaj yoğunlukları ile dolin yoğunlukları arasında negatif korelasyonlar bulunmaktadır. Artan eğim koşulları yüzeysel akışı hızlandırarak akarsu vadilerinin oluşmasını sağlamakta ve akarsuların zaman içinde büyümesiyle karstik platolardaki dolin morfolojileri bozulmaktadır (Öztürk 2020; Şener ve Öztürk 2019). Dolin morfometrisi açısından en önemli parametrelerden bir tanesi dolinlerin en üst kapalı kontur eğrilerine göre belirlenen yükseklik değerleridir. Bu yükseklik değerlerinin dağılışı yüzey karstlaşma seviyesi hakkında bilgiler sağlamaktadır. 564 adet dolinin yükseklik değerlerine göre dolinler 799 metre ile 1.204 metre yükseklikleri arasında dağılışı gösterirler. %90'ının 989 ile 1.170 metreleri arasında bulunan dolinlerin ortalama yükseklikleri 1.080 metredir. Ortalama dolin yüksekliklerine kütle Toroslar'daki ortalama dolin yüksekliklerinden daha düşük bir ortalamaya sahiptir. Ortalama dolin yükseklikleri Batı Toroslarda 1.720 m (Şener vd., 2023), Orta Toroslarda 1.857 (Öztürk, 2018b) ve Doğu Toroslar'da ise 2.020 metredir (Çetinkaya vd., 2023). Ancak bu değerler Batı, Orta ve Doğu Toroslardaki bazı kütlelerde oldukça düşük seviyelere inebilmektedir. Örneğin Batı Toroslarda Karlık Dağı'nda ortalama dolin yüksekliği 976 metreye (Şener vd., 2023), Doğu Toroslar'daki İnceburun Dağları'nda ise 1.131 metreye kadar inmiştir (Çetinkaya vd., 2023).

Alansal büyüklüklerine göre dolinler 106 m^2 ile 25 bin m^2 arasında değişen alanlara sahiptir. Ortalama alan büyüklüğünün 1.450 m^2 olduğu dolinler Batı, Orta ve Doğu Toroslardaki dolinlere göre oldukça küçüktür. Ancak bu değerler yöntemsel farklılıklardan da kaynaklanmaktadır. Batı, Orta ve Doğu Toroslardaki dolinlerin tamamı $1/25.000$ ölçekli haritalara göre hesaplanmıştır ve bu haritalarda küçük ölçekli dolinler gösterilememektedir. Ancak SYM verisinin çözünürlüğü arttıkça daha küçük dolinler tespit edilebilir (Utlu ve Öztürk 2023). Çalışma alanında 5 metre çözünürlüğe sahip SYM verisi kullanıldığı için daha küçük dolinler belirlenebilmiştir.

Alan ve çevre uzunluklarına göre belirlenen dairesellik değeri dolinlerin geometrik şekilleri hakkında fikir veren önemli bir parametredir. Değerin 1 olması dolinlerin dairesel olduklarını ve 1'den uzaklaşması ise dairesel şekillerini kaybettiklerini göstermektedir (Day, 1983). Dolinler dairesel şekillerini iki şekilde kaybetmektedir. Bunlar dolinin drenaj özellikleri ve alanda etkili olan yapısal unsurlardır. Dolinler eğer paleovadiler (flüviyokarstik uvalalar) içerisinde gelişme gösterir ve dolinin merkezi kesiminde birden fazla akarsu drene olursa dolinler dairesel formlarını kaybederek daha karmaşık görünüm alırlar (Öztürk, 2020). Yapısal olarak ise özellikle bindirme alanlarında ekili olan farklı yönlerdeki çatlak sistemlerinin kesişiminde bulunan dolinler dairesel formlarından uzaklaşmaktadır (Öztürk vd., 2018b). Bozdağ'daki dolinlerin dairesellik değeri ortalama 1,26 civarındadır. Maksimum değer 2,74'e kadar çıkmakla birlikte dolinlerin %90'ı 1,06 ile 1,64 arasında dairesellik değerlerine sahiptir (Çizelge 1). Bu değerlere göre alandaki dolinlerin genel olarak dairesel şekillere sahip oldukları söylenebilir.

Çizelge 1. Bozdağ dolinlerine ait morfometrik özelliklerin istatistiksel dağılımı.

Table 1. Statistical distribution of morphometric features of Bozdağ dolines.

	Yükseklik (m)	Alan (m ²)	Çevre Uzunluğu (m)	Dairesellik	Uzunluk (m)	Genişlik (m)	Uzama Oranı	Derinlik (m)
Mak	1.204	25.013	702	2,74	242	176	3,23	28,00
95%	1.170	4.428	282	1,64	107	65	2,36	9,00
90%	1.150	3.260	230	1,51	86	56	2,06	8,00
75%	1.119	1.794	172	1,33	62	43	1,75	6,00
Ort.	1.080	1.450	133	1,26	49	32	1,56	4,38
25%	1.041	354	74	1,13	28	18	1,29	2,00
10%	999	199	56	1,08	20	13	1,14	1,00
5%	989	156	48	1,06	18	11	1,10	1,00
Min	799	106	40	1,03	14	8	1,02	0,00

Dolinlerin geometrik şekilleri hakkında bilgi sağlayan diğer bir parametre uzama oranı değeridir. Bu değer dolin uzunluğunun genişliğine bölünmesiyle elde edilmektedir. Dairesellik değerinde olduğu gibi uzama oranının 1 olması dolinin dairesel olduğunu, 1'den uzaklaşması ise eliptik bir görünüme sahip olduğunu göstermektedir. Alandaki ortalama uzama oranı değeri 1,56'dır. Dolinlerin %90'ında ise bu değer 1,10 ile 2,36 arasında değişmektedir (Çizelge 1). Bu değerlere göre alandaki dolinler dairesel ve yarı eliptik formdadır (Basso vd., 2013). Dolinlerin eliptik bir özellik kazanmasındaki en önemli neden alandaki tektonik aktivitelerdir. Özellikle antiklinal eksenleri, bindirme hatlarının ön kısımları, normal fayların etkili olduğu alanlarda dolinler eliptik şekillere sahiptirler (Öztürk vd., 2017b; 2018b).

Bu çalışmada elde edilen 5 m çözünürlüğe sahip SYM verileri sayesinde dolinlere ait derinlik bilgileri ortaya konulmuştur. Maksimum derinliğin 28 metreye çıktığı alanda ortalama dolin derinliği 4,38 metredir (Çizelge 1). İnsansız hava aracından alınan görüntülerden elde edilen yüksek çözünürlüklü SYM verilerine göre Orta Toroslar'da ortalama dolin derinliği 7,43 metredir ve maksimum derinlik 31,22 metreye kadar ulaşmaktadır (Utlu ve Öztürk 2023). Bu değerlere

göre dolin derinlikleri Orta Toroslar'daki karstik platolara yakın değerlerdedir.

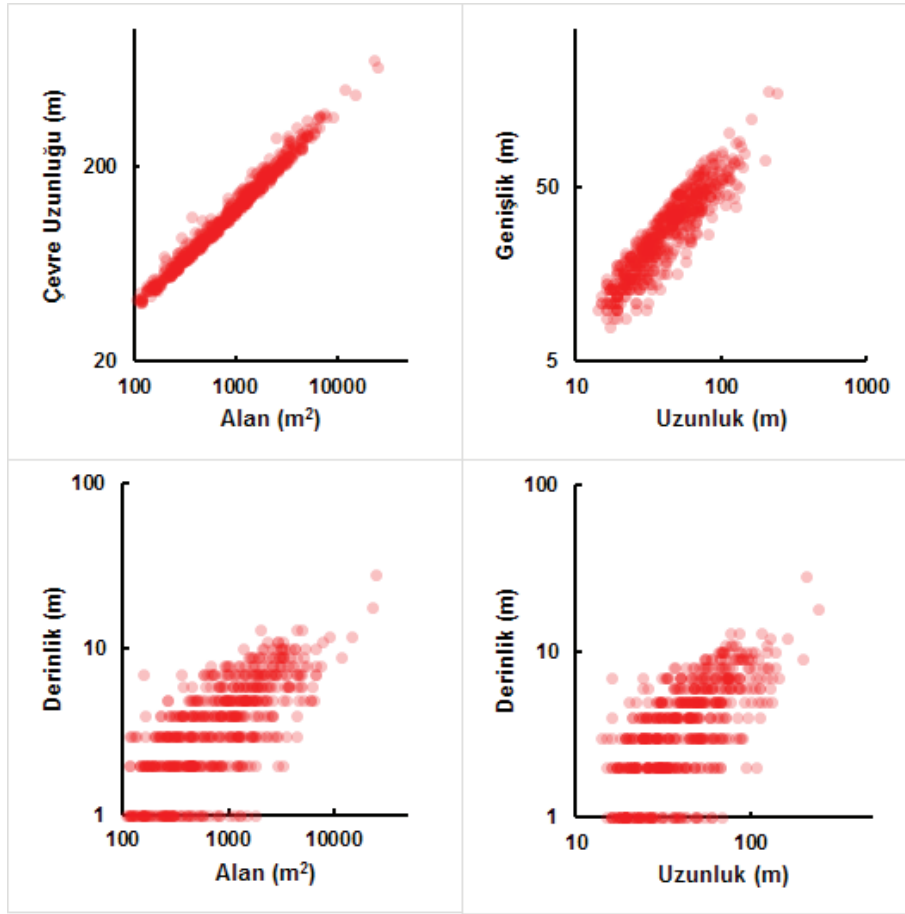
Dolinlerin morfometrik parametreleri arasındaki alansal ilişkiler büyük oranda pozitif yöndedir (Çizelge 2). Başka bir ifadeyle dolin alanının artması çevre uzunluğunun, uzunluk, genişlik ve derinlik değerlerinin artmasına neden olmaktadır. Bu nedenle bu değerler arasında yüksek pozitif korelasyonlar bulunmaktadır (Şekil 4). Morfometrik değerler arasında uzama oranı ve genişlik değeri ile derinlik ve uzama oranı değeri arasında zayıf da olsa negatif korelasyonlar görülmektedir (Çizelge 2).

Çizelge 2. Dolinlere ait morfometrik parametreler arasındaki korelasyon matrisi

Table 2. Correlation matrix for morphometric parameters of dolines

	Alan	Çevre Uzunluğu	Dairesellik	Uzunluk	Genişlik	Uzama Oranı
Çevre U.	0,92					
Dairesellik	0,20	0,34				
Uzunluk	0,89	0,99	0,39			
Genişlik	0,90	0,94	0,11	0,89		
Uzama Oranı	0,02	0,11	0,71	0,22	-0,18	
Derinlik	0,70	0,73	0,07	0,69	0,76	-0,13

Dolin morfometrisi açısından en etkili parametrelerden bir tanesi dolin uzun eksenlerinin kuzey ile yaptığı açıdır. Bu açılardan elde edilen yönelimler genel olarak karstik alanlardaki tektonik hatların yorumlanmasında ve karstik alanların morfotektonik gelişimlerinin yorumlanmasında kullanılmaktadır (Öztürk vd., 2018b; Şener vd., 2023). Bu çalışmada da 564 dolinin her birine ait uzun eksen yönelimleri hesaplanmış, dolin yönelimlerini tektonik açıdan yorumlayabilmek için alandaki tüm çizgisellikler belirlenmiş (Şekil 5a) ve bunlara ait gül diyagramı oluşturulmuştur (Şekil 5b ve 5c).



Şekil 4. Dolinlere ait korelasyon parametreleri saçılım diyagramları (grafiklerdeki ölçekler logaritmiktir).

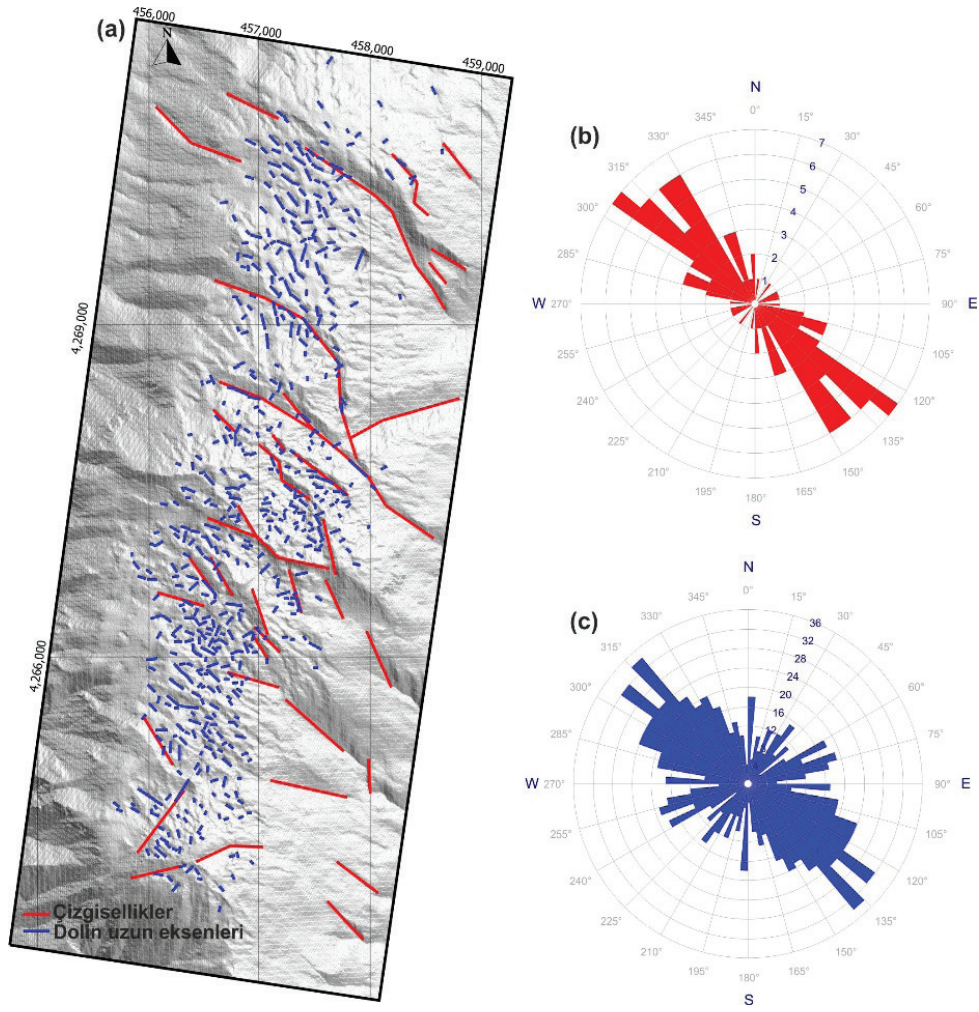
Figure 4. Scatter diagrams for correlation parameters of dolines (scales in the graphs are logarithmic).

Elde edilen yönelimlere göre alandaki dolin yönelimleri ve çizgisellikler birbirlerine paralel olarak KB-GD doğrultusunda uzanmaktadır. Bu yönelimler bölgenin paleotektonik yapılarının uzanımına paralel bir uzama göstermektedir (Erdoğan, 1990).

SONUÇLAR

Karaburun Yarımadası'nın kuzeyinde yer alan Bozdağ kütesini oluşturan Camiboğazı Formasyonu üzerinde toplam 564 adet dolin tespit edilmiştir. Maksimum yoğunluk 74 dolin/km²'ye kadar yükselmektedir. Maksimum değer açısından

alan yüksek yoğunluk değerine sahip olmakla birlikte alanın büyük bölümü düşük ve çok düşük yoğunluk değerlerine sahiptir. Dolin yoğunlukları artan drenaj yoğunlukları ve eğim koşulları nedeniyle platonun kenar kesimlerine doğru azalmaktadır. Dolinlerin ortalama yüksekliği 1.080 metre olup, Toros sistemindeki karstik platolardan daha düşük bir ortalama değere sahiptir. Benzer durum diğer parametrelerde de görülmektedir. Yani çalışma alanı Toroslardaki karstik platolara göre daha alçak bir konumda bulunmakta ve dolinlerin alansal değerleri Toroslara göre daha küçüktür.



Şekil 5. Çalışma alanındaki a) dolinlere ait uzun eksen yönelimleri ile alandaki çizgiselliklerin dağılımı, b) çizgiselliklerin yönelimi, c) dolinlerin yönelimi

Figure 5. a) Long axis orientations of dolines and distribution of lineaments in the area, b) orientation of lineaments, and (c) orientation of dolines

Ancak alansal değerlerdeki bu düşüklük dolin çıkarımındaki farklılıklardan kaynaklanmaktadır. Toroslarda yapılan çalışmalar genel olarak 1/25.000 ölçekli topografya haritalarına göre yapıldığından dolayı küçük dolinler tespit edilememiştir. Ancak bu çalışmada daha yüksek çözünürlüklü SYM verisi kullanıldığı için daha küçük dolinler de tespit edilebilmiştir. SYM verisinin sağladığı en önemli parametrelerden bir tanesi de derinlik değeridir. Alandaki dolinlerin

ortalama derinliği 4,3 metredir. Dolinlerin gelişim özelliğine göre morfometrik parametreler arasında alan, çevre uzunluğu, uzunluk, genişlik ve derinlik değerleri arasında yüksek pozitif korelasyonlar bulunmaktadır. Alandaki dolinler KB-GD doğrultusunda alanda tespit edilen çizgiselliklere paralel bir uzanım göstermektedir. Bu durum Batı Anadolu'nun Paleotektonik evrimi ile başlayan ve Karaburun Platformunun İzmir-Ankara Zonu'nda Erken-Geç Kretase döneminde etkisi

altında kaldığı tektonik aktivitelere bağlı olarak alandaki dolinlerin KB-GD doğrultusunda uzanım göstermeleriyle açıklanabilir.

EXTENDED SUMMARY

Dissolution dolines, which generally have circular and semicircular shapes and can reach diameters of up to 1 km, show widespread development in our country, especially in the Taurus karst belt and Sivas-Çankırı gypsum. Dissolution dolines reach maximum density within the Taurus karst belt, especially in the Central Taurus, and Sivas gypsum karst areas, which are limited by thrust faults, or on high karst plateaus corresponding to anticline axes (Ford and Williams 2007; Öztürk et al., 2018a & b). As dolines are one of the important parameters for understanding the morphotectonic evolution of karst areas, doline morphometry is widely used in surface karst research (Poyraz et al., 2021; Şener et al., 2023). Although dissolution dolines are mostly found along the Taurus karst belt, they can also be found in karst rocks in many parts of our country. This study investigated the morphometric characteristics of dolines in the Bozdağ Massif, which is one of these areas and is located on the Karaburun Peninsula of Izmir, and attempted to explain the dolines by associating them with structural elements in the area. The study area covers an area of 28 km² in the north of Karaburun Peninsula, between 26°28'51" - 26°31'56" eastern longitude and 38°30'48" - 38°35'35" northern latitude. According to the Köppen-Geiger climate classification, the region is located in the temperate climate zone, indicated by the letters Csa, which corresponds to the typical Mediterranean climate (Öztürk et al., 2017a & b). The study area is bounded by the Gülbahçe fault zone and the Mordoğan fault from the east and the NW-SE trending Sakız-Karaburun fault from the west. In addition, the study area includes the Bozdağ Massif, which is located in the northern

part of the Karaburun Peninsula and consists of massive limestones from the Camiboğazı Formation (Figure 1 and 2). Dolines are distributed in the central part of the Bozdağ massif. A total of 546 dolines were detected in the area according to the automatic extraction method carried out for an area of 28 km² (Figure 3). According to the density values determined per km² by the kernel method, the maximum density increases to 74 dolines/km² in the central part of the mass. According to the elevation values of 564 dolines, the dolines are distributed between 799 and 1,204 metres. The average elevation of the dolines, 90% of which are between 989 and 1,170 metres, is 1,080 metres. The average circularity value of the dolines in Bozdağ is around 1.26. Although the maximum value is up to 2.74, 90% of the dolines have circularity values between 1.06 and 1.64. In addition, the average elongation rate value in the area is 1.56. This value varies between 1.10 and 2.36 in 90% of the dolines (Figure 4). The long axis orientations of each of the 564 dolines were calculated and rose diagrams were constructed. According to the obtained orientations, the doline orientations in the area start with the Izmir-Ankara zone in the Late Cretaceous and extend parallel to each other in NW-SE direction, compatible with the Gülbahçe fault zone and the Mordoğan fault, which are active today (Figure 5). This situation reveals the influence of structural elements in the area on the doline formation process and shows that the current tectonic activity in the area can be interpreted in terms of doline orientations.

ORCID

Mehmet Furkan Şener  <https://orcid.org/0000-0003-0865-0852>

KAYNAKLAR / REFERENCES

Akdeniz, N., Öztürk, Z., Konak, N., Çakır, H. M., Serdaroğlu, M., Armağan, F. & Çatal, E. (1982). İzmir Manisa dolaylarının stratigrafi ve yapısal

- özellikleri. *Türkiye Jeoloji Kongresi Bildiri Özetleri* (pp. 49–50).
- Akkök, R. (1983). Structural and Metamorphic Evolution of the Northern Part of the Mendere Massif: New Data from the Derbent Area and Their Implication for the Tectonics of the Massif. *The Journal of Geology*, 91(3), 342–350.
- Akkök, R., Satır, M. & Şengör, A. M. C. (1985). Mendere masifinde tektonik olayların zamanlaması ve sonuçları. *Ketin Sempozyumu* (pp. 93–94).
- Altınok, Y., Alpar, B., Özer, N. & Gazioglu, C. (2005). 1881 and 1949 earthquakes at the Chios-Cesme Strait (Aegean Sea) and their relation to tsunamis. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 5(5), 717–725. <https://doi.org/10.5194/nhess-5-717-2005>
- Ataol, M. & Şimşek, M. (2022). Çankırı jips platosu üzerindeki Çözünme dolinlerinin morfometrik özellikleri. *Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi*, 8, 48–60. <https://doi.org/10.46453/jader.1070171>
- Aydın, S. & Tuncer, K. (2021). Bozdağ'da (Denizli) dolinlerin morfometrik özellikleri. *Türk Coğrafya Dergisi*, 78, 33–48. <https://doi.org/10.17211/tcd.1013232>
- Basso, A., Bruno, E., Parise, M. & Pepe, M. (2013). Morphometric analysis of sinkholes in a karst coastal area of southern Apulia (Italy). *Environmental Earth Sciences*, 70(6), 2545–2559. <https://doi.org/10.1007/s12665-013-2297-z>
- Brinkmann, R., Flügel, E., Jacopshagen, V., Lechnert, H., Rendel, B. & Trick, P. (1972). Trias, Jura und Unterkreide der Halbinsel Karaburun (West Anatolien). *Geology and Paleontology*, 6, 139–150.
- Çakmaköglü, A. & Bilgin, Z. R. (2006). Karaburun Yarımadası'nın Neojen Öncesi Stratigrafisi. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 132, 33–62.
- Çetinkaya, G., Şimşek, M. & Öztürk, M. Z. (2023). Doğu Toroslardaki çözünme dolinlerinin morfometrik özellikleri. *Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi*, 10, 20–33. <https://doi.org/10.46453/jader.1201290>
- Channel, J., Dargenio, B. & Horvath, F. (1979). Adria, the African promontory, in mesozoic Mediterranean palaeogeography. *Earth-Science Reviews*, 15(3), 213–292. [https://doi.org/10.1016/0012-8252\(79\)90083-7](https://doi.org/10.1016/0012-8252(79)90083-7)
- Chen, H., Oguchi, T. & Wu, P. (2018). Morphometric analysis of sinkholes using a semi-automatic approach in Zhijin County, China. *Arabian Journal of Geosciences*, 11(15), 1–14. <https://doi.org/10.1007/s12517-018-3764-3>
- Day, M. (1983). Doline morphology and development in Barbados. *Annals of the Association of American Geographers*, 73(2), 206–219. <https://doi.org/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.
- Doğan, U. & Özel, S. (2005). Gypsum karst and its evolution east of Hafik (Sivas, Turkey). *Geomorphology*, 71(3–4), 373–388. <https://doi.org/10.1016/J.GEOMORPH.2005.04.009>
- Dürr, S. (1975). *Über Alter und geotektonische Stellung des Mendere-Kristallins, SW Anatolien und seine Aequivalente in der Mittleren Aegaeis*. University of Marburg/Lahn.
- Dürr, S., Altherr, R., Keller, J., Okrusch, M. & Seidel, E. (1978). The median Aegean crystalline belt: Stratigraphy, metamorphism. In H. Closs, D. Roeder, & K. Schmidt (Eds.), *Alps, Apennines and Hellenids* (pp. 455–476). Stuttgart, Schweizerbart.
- Emre, Ö., Duman, T. Y., Özalp, S., Şaroğlu, F., Olgun, Ş., Elmacı, H. & Çan, T. (2018). Active fault database of Turkey. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 16(8), 3229–3275. <https://doi.org/10.1007/s10518-016-0041-2>
- Erdoğan, B. (1990). Tectonic Relations Between İzmir-Ankara Zone and Karaburun Belt. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, 110, 1–15.
- Erdoğan, B., Altıner, D., Güngör, T. & Özer, S. (1990). Stratigraphy of Karaburun Peninsula. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, 111, 1–20.

- Faivre, S. & Reiffsteck, P. (1999). Spatial distribution of dolines as an indicator of recent deformations on the Velebit mountain range-Croatia. *Géomorphologie*, 5(2), 129–142. <https://doi.org/10.3406/morfo.1999.983>
- Ford, D. & Williams, P. (2007). *Karst Hydrogeology and Geomorphology*. West Sussex, England: John Wiley & Sons Ltd., <https://doi.org/10.1002/9781118684986>
- Gams, I. (2000). Doline morphogenetic processes from global and local viewpoints. *Acta Carsologica*, 29(2), 123–138. <https://doi.org/10.3986/ac.v29i2.453>
- Geçkin, B. Ş., Sözbilir, H., Özkaymak, Ç., Softa, M., Spencer, J. Q. G., Şahiner, E., Meriç, N. & Deliormanlı, A. H. (2022). Evidence of surface rupture associated with historical earthquakes on the Gülbahçe Fault Zone (İzmir, Türkiye) and its application for determination of the surface fault-rupture hazard zone. *Natural Hazards*, 114(2), 2189–2218. <https://doi.org/10.1007/s11069-022-05467-9>
- Gökkaya, E., Gutiérrez, F., Ferk, M. & Görüm, T. (2021). Sinkhole development in the Sivas gypsum karst, Turkey. *Geomorphology*, 386, Article 107746. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2021.107746>
- Jeanpert, J., Genthon, P., Maurizot, P., Folio, J.-L., Vendé-Leclerc, M., Sérino, J., Join, L.L. & 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(13), 1854–1868. <https://doi.org/10.1002/esp.3952>
- Jones, C. J. R., Springer, A. E., Tobin, B. W., Zappitello, S. J. & Jones, N. A. (2018). Characterization and hydraulic behaviour of the complex karst of the Kaibab Plateau and Grand Canyon National Park, USA. *Geological Society Special Publication*, 466(1), 237–260. <https://doi.org/10.1144/SP466.5>
- Kalafatçıoğlu, A. (1961). *Karaburun Yarımadası'nın jeolojisi*. *MTA Dergisi*, 56(6), 40–49.
- Keskin, Ş., Şener, M., Şener, M. F. & Öztürk, M. Z. (2017). Depositional environment characteristic of Ulukışla evaporites, central Anatolia, Turkey. *Carbonates and Evaporites*, 32, 231–241. <https://doi.org/10.1007/s13146-016-0292-7>
- Nazik, L. (1986). Beyşehir Gölü yakın güneyi karst jeomorfolojisi ve karstik parametrelerin incelenmesi. *Jeomorfoloji Dergisi*, 14, 65–77.
- Nazik, L. & Poyraz, M. (2017). Türkiye karst jeomorfolojisi genelini karakterize eden bir bölge: Orta Anadolu Platoları karst kuşağı. *Türk Coğrafya Dergisi*, 68, 43–56. <https://doi.org/10.17211/tcd.300414>
- Nazik, L., Poyraz, M., & Karabıyıkoglu, M. (2019). Karstic Landscapes and Landforms in Turkey. In C. Kuzucuoglu, A. Çiner, & N. Kazancı (Eds.), *Landscapes and Landforms of Turkey* (pp. 181–196). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-03515-0_5
- Özkan, R., Şener, M., Helvacı, C. & Şener, M. F. (2011). Hydrothermal alterations and relationship with thermal waters at Aliğa (İzmir) geothermal field. *Yerbilimleri Dergisi*; 32(1), 141–168.
- Öztürk, M. Z. (2018a). Karstik Kapalı Depresyonların (Dolinlerin) Morfometrik Analizleri. *Cografya Dergisi*, 36(36), 1–13. <https://doi.org/10.26650/JGEOG371149>
- Öztürk, M. Z. (2018b). *Orta Toroslar'da Dolinlerin Dağılışı ve Morfometrik Özellikleri*. Kriter Yayınevi.
- Öztürk, M. Z. (2020). Fluvio-karstic evolution of the Taşeli Plateau (Central Taurus, Turkey). *Turkish Journal of Earth Sciences*, 29(5), 733–746. <https://doi.org/10.3906/yer-1908-1>
- Öztürk, M. Z., Çetinkaya, G. & Aydın, S. (2017a). Köppen-Geiger İklim Sınıflandırmasına Göre Türkiye'nin İklim Tipleri. *Coğrafya Dergisi*, (35), 17–27. <https://dergipark.org.tr/iucografya/issue/32204/330955>
- Öztürk, M. Z., Şımşek, M., Utlu, M. & Şener, M. F. (2017b). Karstic depressions on Bolkar Mountain plateau, Central Taurus (Turkey): Distribution characteristics and tectonic effect on orientation.

- Turkish Journal of Earth Sciences*, 26, 302–313. <https://doi.org/10.3906/yer-1702-3>
- Öztürk, M. Z., Şener, M. F., Şener, M. & Şimşek, M. (2018a). Structural controls on distribution of dolines on Mount Anamas (Taurus Mountains, Turkey). *Geomorphology*, 317, 107–116. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2018.05.023>
- Öztürk, M. Z., Şimşek, M., Şener, M. F. & Utlu, M. (2018b). GIS based analysis of doline density on Taurus Mountains, Turkey. *Environmental Earth Sciences*, 77, Article 536. <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7717-7>
- Pahernik, M. (2012). Spatial density of dolines in the Croatian Territory. *Croatian Geographical Bulletin*, 74(2), 5–26. <https://doi.org/10.21861/HGG.2012.74.02.01>
- Poyraz, M., Öztürk, M. Z. & Soykan, A. (2021). Sivas jips karstında dolin yoğunluğunun CBS tabanlı analizi. *Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi*, 6, 67–80. <https://doi.org/10.46453/jader.863090>
- Qiu, X., Wu, S.-S. & Chen, Y. (2020). Sinkhole susceptibility assessment based on morphological, imagery, and contextual attributes derived from GIS and imagery data. *Journal of Cave and Karst Studies*, 82(1), 1–17. <https://doi.org/10.4311/2018ES0118>
- Sauro, U. (2003). Dolines and sinkholes: Aspects of evolution and problems of classification. *Acta Carsologica*, 32(2), 41–52. <https://doi.org/10.3986/AC.V32I2.335>
- Şener, M. F. & Öztürk, M. Z. (2019). Relict drainage effects on distribution and morphometry of karst depressions: A case study from Central Taurus (Turkey). *Journal of Cave and Karst Studies*, 81(1), 23–35. <https://doi.org/10.4311/2018ES0111>
- Şener, M. F., Şimşek, M., Utlu, M., Öztürk, M. Z. & Sözbilir, H. (2023). Morphotectonic development of surface karst in Western Taurus (Türkiye). *Carbonates and Evaporites*, 38(4), 78. <https://doi.org/10.1007/s13146-023-00900-x>
- Şengör, A.M.C. (1980). *Türkiye'nin Neotektoniği'nin esasları*. Türkiye Jeoloji Kurumu, Konferans Serisi 2.
- Şengör, A. M. C. & Yılmaz, Y. (1981). Tethyan evolution of Turkey: A plate tectonic approach. *Tectonophysics*, 75(3–4), 181–241. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(81\)90275-4](https://doi.org/10.1016/0040-1951(81)90275-4)
- Siart, C., Bubbenzer, O. & Eitel, B. (2009). Combining digital elevation data (SRTM/ASTER), high resolution satellite imagery (Quickbird) and GIS for geomorphological mapping: A multi-component case study on Mediterranean karst in Central Crete. *Geomorphology*, 112(1–2), 106–121. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2009.05.010>
- Şimşek, M., Utlu, M., Poyraz, M. & Öztürk, M. Z. (2019a). Geyik Dağı kütlesinin yüzey karstı jeomorfolojisi ve kütle üzerindeki karst-buzul jeomorfolojisi ilişkisi. *Ege Coğrafya Dergisi*, 29(2), 97–110.
- Şimşek, M., Öztürk, M. Z. & Turoğlu, H. (2019b). Geyik Dağı üzerindeki dolin ve uvalaların morfolojik önemi. *Türk Coğrafya Dergisi*, 72, 13–20. <https://doi.org/10.17211/tcd.501724>
- Şimşek, M., Utlu, M. & Öztürk, M. Z. (2020). Gidengelmaz Dağları'nın Yüzey Karstı Özellikleri (Orta Toroslar). Birinci, Ç. K. Kaymaz & Y. Kızılkın (Eds), *Coğrafi Perspektifte Dağ ve Dağlık Alanlar (Sürdürülebilirlik-Yönetim-Örnek Alan İncelemeleri)* (s. 1–18). Kriter Yayınevi.
- Tan, O. (2013). The dense micro-earthquake activity at the boundary between the Anatolian and South Aegean microplates. *Journal of Geodynamics*, 65, 199–217. <https://doi.org/10.1016/j.jog.2012.05.005>
- Telbisz, T. (2021). LiDAR-based morphometry of conical hills in temperate karst areas in Slovenia. *Remote Sensing*, 13(14), 2668. <https://doi.org/10.3390/rs13142668>
- Theilen-Willige, B. (2018). Detection of karst features in the Black Hills area in South Dakota/Wyoming, USA, based on evaluations of remote sensing data. *Geosciences*, 8(6), 192. <https://doi.org/10.3390/geosciences8060192>
- Utlu, M. & Öztürk, M. Z. (2023). Comparison of morphometric characteristics of dolines delineated from TOPO-Maps and UAV-DEMs.

Environmental Earth Sciences, 82(7), 165. <https://doi.org/10.1007/s12665-023-10862-x>

Zumpano, V., Pisano, L., & Parise, M. (2019). An integrated framework to identify and analyze karst sinkholes. *Geomorphology*, 332, 213–225. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2019.02.013>