

DENİZLİ'DE KARSTLAŞMA VE KARST JEOMORFOLOJİSİ

Deniz ÖZGÜR

**Mayıs 2025
DENİZLİ**

DENİZLİ’DE KARSTLAŞMA VE KARST JEOMORFOLOJİSİ

Pamukkale Üniversitesi
Sosyal Bilimler Enstitüsü
Yüksel Lisans Tezi
Coğrafya Anabilim Dalı

Deniz ÖZGÜR

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Oruç BAYKARA

Mayıs 2025
DENİZLİ

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğini beyan ederim.

Deniz ÖZGÜR

ÖNSÖZ

Bu çalışma Batı Toroslar Karst Alanı'nın batı kenarında, Akdeniz Bölgesi ile Ege Bölgesi sınırında yer alan Denizli ilinin karstlaşma ve karst jeomorfolojisi özelliklerini belirlemek amacıyla ortaya koyulmuştur. Bu çalışmada sahanın jeolojik, jeomorfolojik, morfometrik, speleolojik özellikleri, genel fiziki coğrafya ve karst – insan ilişkisi konuları ele alınmıştır. Özgün değer olarak daha önce literatürde bulunmayan karstik şekiller envantere kazandırılmış, bilinen yeryüzü şekilleri ise fotogrametri yöntemi ile detaylı şekilde yeniden haritalandırılmıştır.

Çalışma beş bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde Dünya'da ve Türkiye'de karst jeomorfolojisinin özelliklerine yer verilmiştir. İkinci bölümde çalışma sahasının genel özellikleri ile kullanılan materyal ve metotlar ele alınmıştır. Üçüncü bölümde Denizli'de karstlaşmayı etkileyen faktörler ele alınarak bu faktörler ile karstik şekiller arasındaki ilişki değerlendirilmiştir. Çalışmanın dördüncü bölümünde Denizli'de yer alan karstik aşınım ve birikim şekillerine ait elde edilen bilgiler ve bu şekillerin genel özellikleri değerlendirilmiştir. Çalışmanın beşinci bölümünde ise sonuç kısmına yer verilmiştir.

Denizli'de karst ve özellikle mağara araştırmalarına başladığım günden itibaren her zaman yanımda olup beni destekleyen, yer altının en karanlık ve soğuk noktalarında varlığıyla içimi aydınlatan ve ısıtan sevgili eşim Melike ÖZGÜR'e sonsuz teşekkürlerimi ve sevgilerimi sunarım. Yıllardır tanıdığım, örnek aldığım ve öğrencisi olmaktan gurur duyduğum, yüksek lisans sürecimde de danışmanım olarak engin tecrübeleri ile bana yol göstermeye devam eden Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Oruç BAYKARA'ya sonsuz anlayışı, sabrı ve özverisi için teşekkür ederim. Tezin son halini alması için gösterdikleri büyük katkılardan ve önemli tavsiyelerinden dolayı Prof. Dr. Yıldırım ATAYETER ve Dr. Öğr. Üyesi Selahattin AKŞİT'e teşekkürü bir borç bilirim. Arazi çalışmalarının tek kişi tarafından yürütülmesi imkânsız olan ölçüm, arazi tarama ve mağara araştırması kısımlarında kendi işlerini bırakarak yardımına koşan Rojin AKKAYA, Mustafa BENDERLİ, Huma Nur DOYRAN, Elif Nur GÖKÇAY, İsmail KESTERLİ, Mustafa KONDAKÇI, Yiğit Ahmet SAYAN ve Aybike YAŞAR'a mükemmel bir ekip oldukları için teşekkürlerimi sunarım.

Deniz ÖZGÜR

Denizli - 2025

ÖZET

DENİZLİ'DE KARSTLAŞMA VE KARST JEOMORFOLOJİSİ

ÖZGÜR, Deniz

Yüksek Lisans Tezi

Coğrafya Anabilim Dalı

Tez Yöneticisi: Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Oruç BAYKARA

Mayıs 2025, IX + 107 sayfa

Bu çalışma, Batı Anadolu horst-graben sistemi ile Toros Kuşağı'nın batı ucunun kesişiminde yer alan Denizli ilinin karst jeomorfolojisini kapsamlı şekilde incelemeyi amaçlamaktadır. Bölgenin sahip olduğu zengin karstik potansiyele rağmen, literatürde genel karst sistemine yönelik bütüncül çalışmaların eksikliği dikkat çekmektedir. Bu tezde mevcut çalışmalar yeni araştırmalar ve gözlemlerle desteklenerek makro ve mikro ölçekli karstik şekillerin dağılımı, morfometrik özellikleri ve jeotermal süreçlerle ilişkileri ortaya konulmuştur.

Çalışmada, MTA ve HGM verileri kullanılarak haritalar oluşturulmuş dolin, çökme dolini, doğal köprü ve mağara gibi alanlarda ise insansız hava aracıyla elde edilen görüntüler üzerinden fotogrametri yöntemi uygulanmıştır. Arazi çalışmalarında on adet mağaranın ölçümleri yapılarak BCRA 3C standardında haritaları üretilmiştir. Elde edilen veriler ışığında Denizli'de etkili olan karstlaşma süreçleri değerlendirilmiştir.

Araştırma kapsamında Denizli ili sınırlarında 844 çözünme dolini, 3 çökme dolini, 16 mağara ve 2 düden incelenmiştir. Çalışmanın bulguları, polyelerin, dolinlerin ve mağaraların ağırlıklı olarak Mezozoik yaşlı kireçtaşlarında geliştiğini; jeotermal kaynaklara bağlı traverten, düden ve tufa mağaralarının ise daha genç Kuvaterner yaşlı Çürüksu Graben kenarlarında yoğunlaştığını göstermiştir.

Bu tez, Denizli'nin karst jeomorfolojisine ilişkin bütüncül bir çerçeve sunarak bölgedeki karstik sistemlerin jeotermal süreçlerle etkileşimini belgelemekte ve literatüre yeni mağara ve dolin oluşumları kazandırmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Karst Jeomorfolojisi, Speleoloji, Denizli

SUMMARY

KARSTIFICATION AND KARST GEOMORPHOLOGY IN DENİZLİ

ÖZGÜR, Deniz

Master Thesis

Geography Department

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Mehmet Oruç BAYKARA

May 2025, IX + 107 pages

This study aims to comprehensively examine the karst geomorphology of Denizli Province, located at the intersection of the Western Anatolian horst-graben system and the western edge of the Taurus Belt. Despite the region's rich karstic potential, the literature lacks integrative studies that address the general karst system in a holistic manner. In this study, existing research is supported by new observations and field investigations to reveal the spatial distribution, morphometric characteristics, and geothermal associations of karstic landforms at both macro and micro scales.

Using data from the General Directorate of Mineral Research and Exploration (MTA) and the General Command of Mapping (HGM), thematic maps were produced; in areas such as dolines, collapse dolines, natural bridges, and caves, the photogrammetry method was applied based on images acquired via unmanned aerial vehicles (UAVs). During fieldwork, ten caves were measured and mapped in accordance with the BCRA 3C standard. The karstification processes active in Denizli were evaluated in light of the obtained data.

Within the scope of the research, 844 solution dolines, 3 collapse dolines, 16 caves, and 2 ponors within the borders of Denizli Province were examined. The findings indicate that poljes, dolines, and caves have mostly developed in Mesozoic-aged limestones, while travertines, ponors, and tufa caves associated with geothermal activity are concentrated along the margins of the younger Quaternary-aged Çürüksu Graben.

By presenting a holistic framework for the karst geomorphology of Denizli, this study documents the interaction between karst systems and geothermal processes and contributes new doline and cave formations to the scientific literature.

Keywords: Karst Geomorphology, Speleology, Denizli

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	i
ÖZET	ii
SUMMARY	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix

BİRİNCİ BÖLÜM

GİRİŞ

1.1. Karstlaşma ve Karst Jeomorfolojisi	1
1.2. Türkiye’de Karst Jeomorfoloji	7

İKİNCİ BÖLÜM

ÇALIŞMA SAHASININ GENEL ÖZELLİKLERİ

2.1. Çalışmanın Kapsamı.....	8
2.2. Araştırma Sahasının Genel Özellikleri.....	8
2.3. Önceki Çalışmalar	15
2.4. Materyal ve Metod	17

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

KARSTLAŞMAYI ETKİLEYEN FAKTÖRLER

3.1. Jeolojik Özellikler	26
3.2. Jeomorfolojik Özellikler.....	27
3.3. İklim	32
3.4. Hidrografiya	38
3.5. Toprak ve Bitki Örtüsü.....	40
3.6. Zaman	43
3.7. İnsan Etkisi	43

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

DENİZLİ’NİN KARST JEOMORFOLOJİSİ

4.1. Karstik Aşınım Şekilleri.....	46
4.1.1. Doğal Köprü	48
4.1.2. Dolinler	49
4.1.3. Düden (Subatan /Ponor)	54
4.1.4. Hum	56
4.1.5. Kanyon.....	57
4.1.6. Lapyalar	59
4.1.7. Mağaralar	60
4.1.8. Polyeler ve Flüvyo - Karstik Depresyonlar	86
4.1.9. Uvalalar.....	90

4.2. Karstik Birikim Şekilleri	91
4.2.1. Damlataşlar (Speleotemler)	91
4.2.2. Traverten - Tufa	95
SONUÇ	99
KAYNAKLAR	101

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1: İstria Yarımadası'nın Kuzeyinde Carso Platosu (Magini vd., 1620) (Harita sol taraf kuzey olacak şekilde çizilmiştir)	1
Şekil 2. Karstik arazi şekilleri (Şahinci, 1991)	5
Şekil 3: Türkiye'de çözünebilir kayaçlar ve araştırma sahasının lokasyonu (Konak ve Şenel, 2002'den değiştirilerek)	9
Şekil 4: Denizli İli Yıllık Toplam Yağış ve Ortalama Sıcaklık Grafiği (1957 - 2024 MGM)	10
Şekil 5: Denizli İli Morfometri Haritası.....	11
Şekil 6: Denizli İli Jeoloji Haritası (Konak ve Şenel 2002'den düzenlenmiştir).....	13
Şekil 7: Çürüksu Havzası Jeoloji Haritası (Konak ve Şenel 2002'den düzenlenmiştir)	14
Şekil 8: Farklı konumlarda fotogrametri için alınan görüntü sayıları.....	18
Şekil 9: Dereköy Mağaraları'nın girişleri çevresinde alınan görüntülerin dağılışı	19
Şekil 10: Dereköy Mağaraları'nın girişleri çevresinde alınan görüntülerin örtüşme miktarları	20
Şekil 11: Dereköy Mağaraları'nın girişleri çevresinde alınan görüntülerin sapma yön ve miktarları. (Dikey eksen, renk geçişiyle gösterilen sapma miktarlarını (metre cinsinden) ifade etmektedir; yatay eksen şeklin sünme yönü ve miktarı ile gösterilmiştir)	21
Şekil 12: Kelkara Düdeni'nde alınan görüntülerin dağılışı	22
Şekil 13: Mağara içi bir görünüm (solda) ile aynı alanın mağara haritasında gösterimi (solda)	23
Şekil 14: Mağara ölçümünlerinde yaygın kullanıma sahip lazermetre (solda) ile klinometre/pusula (sağda)	24
Şekil 15. Mağara sembolleri	25
Şekil 16. Çal'ın 17,7 km kuzeybatısında Büyük Menderes Nehri çevresinde yatay tabakalar (a), traverten platformu (b) ve eski bir traverten ocağı içerisinde yer alan Çalçakırlar Mağarası (c) (Fotoğraf 600 m yükseklikte doğuya doğru çekilmiştir).....	29
Şekil 17. Yenidere yatağı ve Tavas Ovası (Fotoğraf 1390 m yükseklikte doğuya doğru çekilmiştir).....	30
Şekil 18: Denizli İli Jeomorfoloji Haritası	31
Şekil 19: Denizli İli Yıllık Toplam Yağış Dağılışı (Fick & Hijmans 2017'ye göre oluşturulmuştur).....	33
Şekil 20: Denizli İli Yıllık Ortalama Sıcaklık Dağılışı (Fick & Hijmans 2017'den düzenlenmiştir)	35
Şekil 21: Denizli İli Köppen-Geiger İklim Zonları (Taşoğlu vd. 2024'ten düzenlenmiştir)	37
Şekil 22: Denizli İli Hidrografi Haritası	39
Şekil 23. Küçükdağ üzerinde bulunan dolin ve uvalalar ile ardıc ağaçlarının ilişkisi (Fotoğraf 1570 m yükseltide doğuya doğru çekilmiştir).....	41
Şekil 24: Denizli Arazi Örtüsü Haritası (CLC 2018).....	42
Şekil 25. Keloğlan Mağarası'nda aydınlatma sistemlerinin çevresinde gelişen lamba florası.....	45
Şekil 26: Denizli'de Karstik Şekillerin Dağılışı	47
Şekil 27. Kurtlar Köprüsü'nün 3B modelinden elde edilmiş bir kesit	48
Şekil 28. Karakaya Köprüsü ve çevresindeki arı kovanları (Fotoğraf KB'da GD'ya doğru çekilmiştir)	49

Şekil 29: Küçükdağ Çözünme Dolinleri	50
Şekil 30: Gümüşdere Çökme Dolini	51
Şekil 31. Gümüşdere Çökme Dolini'ne ait morfometri haritası ile 3B model görünümleri.....	52
Şekil 32: Ataağırıcukur Çökme Dolini.....	53
Şekil 33. Ataağırıcukur (a) ve Gölbaşı (b) çökme dolinlerinin morfometri haritaları	54
Şekil 34. Buruk Düdeni izdüşürülmüş kesiti (üstte) üzerinde oturtulmuş 3B model kesiti ve plan üzerine oturtulmuş morfometrei haritası (altta) (Tuncer, 2023'ten düzenlenerek)	55
Şekil 35. Kelkaya Düdeni'nin görünümü (a)(kuzeyden güneye görünüm), düdenin girişi (b), düdenin iç duvarlarındaki karnabahar oluşumları (c)	56
Şekil 36. Kızılca Ovası'nın genel görünümü (Fotoğraf 1400 m yükseklikte GB'dan KD'ya doğru çekilmiştir)	57
Şekil 37: Acıpayam Kanyonu.....	58
Şekil 38. Denizli'de rastlanan lapyra tipleri. a) Delikli Lapyalar, b) Oluklu Lapyalar, c) Diyaklaz Lapyaları, d) Olgun Diyaklaz Lapyaları.....	59
Şekil 39: Denizli mağaralarının uzunlukları (metre) (mavi: önceki çalışmalar, kırmızı: yeni ölçümler)	60
Şekil 40. a) Kale Tepe'nin morfometri haritası, b) Kale Tepe ve Alacain Mağaraları'nın genel görünümü, c) Yarım kubbe biçiminde ve çok katlı Alacain Mağaraları.....	62
Şekil 41. Aslanini Mağarası'nın planı	63
Şekil 42.Traverten ocağı içerisinde Çalçakırlar Mağarası'nın girişi (a), Perde oluşumları (b), Mağara bulutu (c), Uç kısmı mağara bulutu ile kaplanmış bir sarkıt (d), Sarkıtlar (e), Eğimli mağara bulutu yüzeyi (f,g) ..	65
Şekil 43. Çalçakırlar Mağarası planı	66
Şekil 44. Dereköy Mağaraları ve çevresini gösteren blok diyagram	67
Şekil 45: Dereköy Mağarası Planı	68
Şekil 46. Hancıkavağı Mağarası'nın girişi (a), Yolcukavağı Mağarası'nın girişi (b), Hancıkavağı Mağarası girişinin ve birikinti konisinin üst kesiminin içeriden görünümü (c), Alg ve yosunlarla kaplanmış speleotemler (d), kuzey kolda bulunan göl (e), speleotem bakımından zengin güney kol (f), güney kolda bulunan küçük traverten havuzları ve mağara incisi (g) ...	71
Şekil 47. Hancıkavağı ve Yolcukavağı mağara sistemi planı.....	72
Şekil 48: Höyük 2 Mağarası Planı	74
Şekil 49: İmrallı Mağarası Planı	75
Şekil 50. a) Kaklık Mağarası'nın çökme ile açılmış olan ağızı, b) doğudaki su girişi, c) Kaklık Mağarası içindeki traverten havuzları, d) batıdaki su girişi	77
Şekil 51. Kaklık Mağarası Planı (Kumsar ve Aydan, 2020) (solda) ve fotogrametri ile oluşturulmuş 3B modelinin kuşbakışı görünümü (sağda).....	78
Şekil 52. Kapız Mağarası girişi ve girişini kapatan duvarlar	79
Şekil 53. Karkın Karlığı'nın planı ve açık kesiti.....	80
Şekil 54: Keloğlan Mağarası girişi ve önündeki tesisler.....	81
Şekil 55. Keloğlan Mağarası planı (Baykara, 2014'e göre Nazik, 1998).....	81
Şekil 56. Merdivenlikuyu Mağarası açık kesiti (Samuk, 2007).....	82
Şekil 57: Uçansu Mağarası'nın güneybatı ucunda uyumsuzluk.....	83
Şekil 58: Uçansu Mağarası Planı	84

Şekil 59: Zırtlantaşı Mağarası'nın girişi	85
Şekil 60. Zırtlantaşı Mağarası planı	86
Şekil 61: Barz Polyesi	87
Şekil 62: Denizli polyeleri ve çevresinin morfometri haritası	88
Şekil 63: Denizli polyeleri ve çevresinin jeoloji haritası	89
Şekil 64 Küçükdağ üzerinde bulunan dolin ve uvala örneklerine ait ortomozaik (üstte) ve morfometri haritası (altta)	91
Şekil 65. Çalçakırlar Mağrası'nda sarkıtların içindeki su kanallarının alttan görünümü	92
Şekil 66 Keloğlan Mağarasında sarkıt, dikit ve sütunlar	93
Şekil 67. Çalçakırlar Mağarası'nda sütun oluşturma safhasına gelmiş sarkıt ve dikit örneği	93
Şekil 68. Pamukkale çevresinde yer alan bazı traverten tipleri. a) Teras tipi travertenlerin havadan görünümü (Url 11) b) Kendiliğinden oluşan kanal tipi travertenler	96
Şekil 69: Kamara Traverten Sırtı. a) traverten sırtının tabakalı yapısı, b) traverten sırtı ve kaplıca, c) su çıkışının gerçekleştiği yarık	97
Şekil 70: Aksu kenarındaki şelallerde su akışı (solda) ve kireç ile kaplanmış dal parçaları (sağda).....	98
Şekil 71. Aşağıdihdere'de taş ocaklarından yuvarlanarak gelen kaya bloklarının zarar verdiği bir ev (Url 12)	100

SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ

3B	Üç Boyutlu
BCRA	British Cave Research Association
CLC	Corine Land Cover
CO ₂	Karbondioksit
DEÜMAK	Dokuz Eylül Üniversitesi Mağara Araştırma Kulübü
DEM	Digital Elevation Model
DSİ	Devlet Su İşleri
İZMAD	İzmir Mağara Araştırma Derneği
MAD	Mağara Araştırma Derneği
MTA	Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
SYM	Sayısal Yükselti Modeli
TKb	Batı Toroslar Karst Alanı

BİRİNCİ BÖLÜM

GİRİŞ

1.1. Karstlaşma ve Karst Jeomorfolojisi

Karst kelimesi Slovence «kayalık arazi» anlamına gelen «karra» ve «kras» kelimelerinden türetilmiştir. Önceleri yalnızca Trieste Körfezi'nin (İtalya) kuzeydoğusunda ve İstria Yarımadası'nın (Hırvatistan) kuzeyinde yer alan platonun ismi olarak kullanılmıştır (İtalyanca: Carso) (şekil 1), daha sonra da tüm dünyada benzer yapıdaki arazilere verilen bir ad olmuştur (Magini vd., 1620; Alagöz, 1944; Kranjc, 2011; Pekcan, 2024). Karstik arazilerde anakaya oldukça geçirgen olduğu için bu bölgelerde akarsu ağı çok seyrek, karstlaşma yeraltında devam eder (Şahinci, 1991). Bu tip araziler flüvyal topoğrafyada olduğu gibi düzenli bir eğim izlemezler, sık sık kapalı çukurlar veya bir düdenle sona eren kör vadiler bulundurmaktadırlar. Toprak örtüsü ancak dolin, uvala ve polye gibi şekillerin tabanlarında görülür. Toprak ve suyun kıtlığı tarımı olumsuz etkilemekte, yalnız hayvancılığa müsaade etmektedir (Alagöz, 1944; Erinç, 2015).



Şekil 1: İstria Yarımadası'nın Kuzeyinde Carso Platosu (Magini vd., 1620) (Harita sol taraf kuzey olacak şekilde çizilmiştir)

Karst arazileri Dünya üzerinde oldukça yaygındır ve tüm kıtalarda yüzlerce konumda karstik şekillere rastlamak mümkündür (Mason vd., 2016). Dünya'nın buzullar hariç kıtasal alanların yaklaşık %20'si karbonat kayaçları ile kaplıdır, ancak yüzey ve yüzeye yakın karbonat kayaçlarının çıkıntıları buzsuz kıtasal alanın yaklaşık %11'ini kaplar (Ford & Williams, 2007). Özellikle kuzey yarımkürede karbonatlar çok yaygındır. Başlıca karst bölgeleri arasında Avrupa, Asya, Kuzey ve Orta Amerika ile Karayipler yer alır. Güney Amerika, Avustralya ve Afrika'da da karst alanları bulunur, ancak yaygın değildir (Beynen, 2011).

Karstik araziler, birçok bölge ve büyük şehir için hayati önem taşıyan önemli yeraltı suyu kaynaklarını barındırır. Karstik su kaynakları, dünya nüfusunun önemli bir kısmı için içme suyu sağlamaktadır (Ford & Williams, 2007). Bazı Avrupa ülkelerinde toplam içme suyu arzının %50'sini karstik kaynaklar oluşturur. ABD'nin Mississippi Nehri'nin doğusundaki alanın %40'ı karstik akiferlerle kaplıdır (Ford & Williams, 2007; Fleury, 2009).

Karstik araziler önemli bir kaynak çıkarım alanıdır. Kireçtaşı, mermer ve traverten gibi kayaçlar dünya çapında yapı malzemesi olarak kullanılır. Çinko, kurşun ve gümüş gibi mineraller karbonat kayaçlardan çıkarılır. Orta Doğu petrol rezervlerinin çoğu karbonat kayaçlar içerisinde bulunur (Beynen, 2011).

Karst alanları; kısa mesafede değişen ve özgün karakterler oluşturan ortamları ile pek çok endemik canlı türüne ev sahipliği yapmaktadır. Mağara sistemleri nadiren araştırılmış troglobiyotik ekosistemlerin habitatlarını oluşturur (Ford & Williams, 2007). Mağaralar; jeoloji, jeomorfoloji, biyoloji, klimatoloji gibi çeşitli bilimsel disiplinler için bilgi deposudur (Fleury, 2009). Damlataslar, geçmiş jeolojik dönemlere ait paleoiklimsel kayıtları içerir (Baykara, 2014).

Karstlaşma üzerinde jeolojik özelliklerin önemli bir etkisi bulunmaktadır. Bu etki, kayaçların litolojisi ve yapısı aracılığıyla kendini gösterir. Karst topoğrafyası, özellikle kireçtaşı (kalker), dolomit, mermer, jips (alçıtaşı) ve kayatuzu gibi çözünebilir kayaçların, suların içerdiği karbonik asitin çözücü etkisiyle aşınması sonucu oluşan kendine özgü bir arazi tipidir (Alagöz, 1944; Ford & Williams, 2007; Beynen, 2011; Erinç, 2015). Karstik şekiller, jips ve tuz gibi evaporitler üzerinde kireçtaşına göre hızlı oluşurlar ve çok daha kısa ömürlüdürler. Traverten ve Tufa ise karstik birikim ile oluşurlar ancak oluşumlarının ardından suyun etkisinde kalırlarsa çözünerek yeni aşınım ve birikim şekilleri oluşturabilirler (Nazik, 2018).

Bütün kalker sahalar karstlaşmaya uğramayabilir veya uğradığında aynı tip karstik şekiller oluşturmayabilir. Karstlaşma olması için yalnız kalkerin varlığı yeterli değildir, belirli şartların gerçekleşmesi gerekmektedir (Erinç, 2015). Kayacın kimyasal özellikleri, saflığı, gözenekliliği ve geçirgenliği gibi litolojik özellikler ile jeomorfolojik özellikler, iklim, bitki örtüsü ve zaman karst gelişiminde önemli rol oynar. Özellikle iyi gelişmiş ikincil boşluklar (çatlaklar) suyun kayaç içinde hareket etmesi için yollar oluşturduğundan kritik öneme sahiptir (Bögli, 1980; Ford & Williams, 2007).

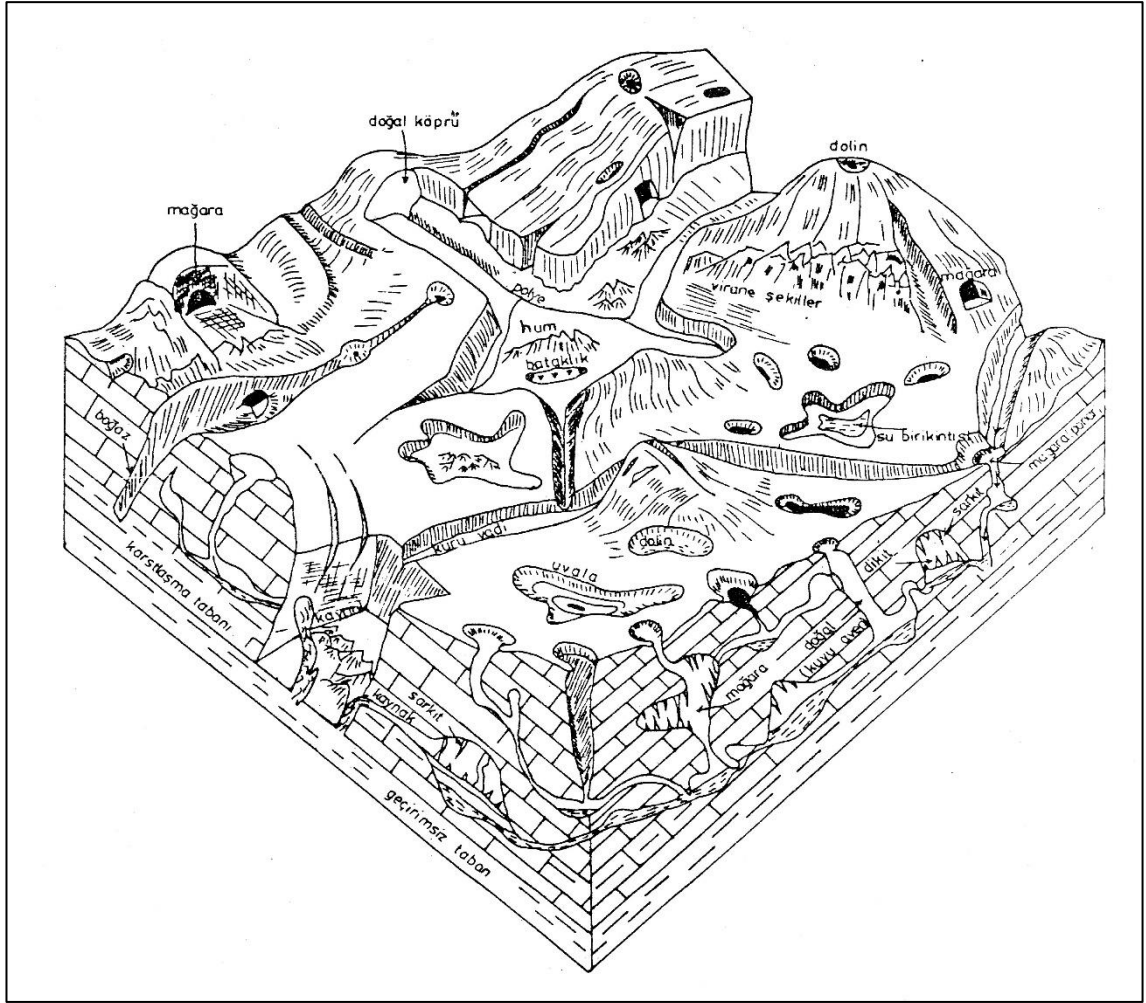
Topoğrafyanın eğimi suyun sızmasını ve yüzey drenajını etkileyerek karstlaşmayı yönlendirebilir. Yapısal ve tektonik özellikler, faylar, tabakalanma düzlemleri gibi süreksizlikler, suyun akışı ve çözünmenin ilerlemesi için önemli yollar sağlar (Bögli, 1980; Ford & Williams, 2007). Bu nedenle, karstik şekiller genellikle yapısal doğrultuları takip ederek gelişebilir (Öztürk vd., 2017).

İklim elamanlarından yağış ve sıcaklık, çözünme hızını doğrudan etkiler. Örneğin Tropikal Karst alanlarında çözünme hızlı olabilir ancak şekillerin kalıcılığı daha az olacaktır. Soğuk iklimlerde ise suyun sıvı halde bulunduğu dönem kısa olduğu için karstlaşma sınırlıdır (Veress, 2020). Bitki örtüsü ve toprak örtüsü de toprak içindeki CO₂ miktarını artırarak veya suyun kayalarla sızmasını etkileyerek dolaylı olarak karstlaşmayı etkiler (Veress, 2020). Zaman faktörü de karstik şekillerin gelişiminde rol oynar (Atalay, 2005). Karstlaşma süreci, tektonik hareketler veya iklim değişiklikleri gibi nedenlerle kesintiye uğrayabilir veya hızlanabilir, bu da aynı sahada birden fazla döneme ait (polisiklik) karstik şekillerin bulunmasına neden olabilir (Beynen, 2011).

Karst topoğrafyası, yüzeyde (egzokarst) ve yeraltında (endokarst) çeşitli şekiller meydana getirir (Goldscheider & Drew, 2007). Yüzeydeki en tipik özelliklerden biri, huni veya kâse şeklinde olabilen kapalı çukurluklar olan dolinlerdir (sinkholes). Dolinler, genellikle kayaların çözünmesiyle veya yeraltı boşluklarının tavanlarının çökmesiyle oluşurlar (Culver & White, 2005). Dolinlerin boyutları küçük çukurlardan geniş çöküntülere kadar değişebilir (Mason vd., 2016). Türkiye’de dolinlere kokurdan, koyak, kuyu, obruk ve tava gibi isimler de verilmektedir (Alagöz, 1944). Bazı sahalarda topoğrafya yüzeyi sayısız denecek kadar çok dolinle sanki delik deşik bir hal alabilir. Bu görünüm morfolojide *cockpit karst* veya delikli karst terimi ile açıklanır (Erinç, 2015). Birden fazla dolinin birleşmesiyle uvalalar, uvalaların da birleşmesi veya tektonik yapılarla sınırlanması sonucu daha büyük, genellikle düz tabanlı kapalı veya yarı açık çukurluklar olan polyeler oluşur (Bögli, 1980; Ford & Williams, 2007).

Karstik arazilerde çıplak kaya yüzeylerinde kimyasal aşınma ile oluşan, genellikle oluk biçiminde olan mikro-topoğrafya şekillerine lapyalar, *karren*, *groove* veya *schratten* (Almanca) denir (Bögli, 1980; Ford & Williams, 2007; Erinç, 2015). Lapyalar, çıplak kaya yüzeyinde (*bare karren*) veya toprak altında (*subsoil karren*) oluşabilir (Veress, 2020).

Karst alanlarının en belirgin hidrolojik özelliği, suların yüzeyden yeraltına geçmesidir. Kaya yüzeyinin hemen altında yer alan ve kırılma/karstlaşma sonucu yüksek geçirgenliğe sahip olan bölgeye epikarst adı verilir ve suyun yeraltına sızmasında rol oynar (Goldscheider & Drew, 2007). Suyun çatlaklardan sızmasının yanı sıra akarsular da düdenler (*swallow holes*, ponorlar, *stream-sinks*) vasıtası ile yeraltına dalarak mağara sistemine katılır. Karst sahalarındaki akarsu vadileri sıklıkla kör vadi veya çıkmaz vadi özelliği göstermektedir (Ford & Williams, 2007; Erinç, 2015) (şekil 2). Bazı bölgelerde yağışlı dönemlerde bir miktar su düdenin ilerisine doğru akış gösterebilir. Bu tip yarı kör vadilerde vadi iki bölümden oluşur: yukarı bölüm düdenin bulunduğu noktada sona erer, aşağı bölüm ise yalnız yağışların fazla olduğu dönemlerde su bulundurur (Şahinci, 1991). Yeraltına geçen sular, genellikle büyük karstik kaynaklardan tekrar yüzeye çıkabilirler. Karst hidrografisi oldukça karmaşıktır; su, gözenekli ortam akışından ziyade, hızlı akışın olduğu kanallar yoluyla ilerler (Bögli, 1980). Bu durum, karst akiferlerinin yüksek geçirgenliğe sahip olmasına yol açar. Yeraltı su havzalarının sınırları, yüzey topografyasından farklı olabilir ve bu sınırları belirlemek için özel hidrografik yöntemler kullanılır (Goldscheider & Drew, 2007).



Şekil 2. Karstik arazi şekilleri (Şahinci, 1991)

Yüzeye açılımları olan ve en az bir insanın sürünerek de olsa girmesine olanak verecek genişlik ve yüksekliğe sahip olan yer altı boşluklarına mağara denir (Nazik, 2008). Yeraltında suyun hareketi, çözünme ile genişlemiş kırık ve çatlaklar boyunca ilerleyerek mağara sistemlerinin oluşmasına neden olur (Ford & Williams, 2007). Mağaralar, yatay galeriler, dikey shaftlar ve kompleks kanal ağları şeklinde gelişebilir (Ford & Williams, 2007). Mağaraların derinlikleri birkaç kilometreyi, uzunlukları ise yüzlerce kilometreyi bulabilir. Henüz araştırması tamamlanmamış olan Mamut Mağarası (ABD) 685 km uzunluğu ile dünyanın en uzun mağarasıdır (Nazik, 2018) (Url 1). Benzer şekilde Türkiye'nin en uzun mağarası olan Pınargözü'nde de (Isparta) haritalama çalışmaları devam etmektedir ve mağaranın günümüz verilerine göre 12,5 km uzunluğa ulaştığı iddia edilmektedir (Nazik, 2018). Gürcistan'ın Abhazya Bölgesi'nde yer alan Veryovkina mağarası ise 2212 m derinliği ile dünyanın en derin mağarasıdır (Url 2). Türkiye'nin en derin mağarası ise EGMA adıyla da bilinen Peynirlikönü Mağarası'dır

(Mersin) (Nazik, 2018). Bu mağara, 1429 m derinliği ile aynı zamanda dünyanın en derin 18. mağarasıdır (Url 2).

Karst alanları, farklı özelliklerine göre çeşitli tiplere ayrılabilir. Cvijić tarafından ilk kez ortaya atılan ve saf kalın kireçtaşlarında gelişen tam karst (*holokarst*) ile ince katmanlı veya saf olmayan kayalarda gelişen ve hem karstik hem de akarsu şekillerini içeren kısmi karst (*merokarst*) başlıca tiplerdir (Alagöz, 1944). Karst, üzerini örten malzemenin varlığına göre çıplak karst (*exposed/naked karst*) veya örtülü karst (*covered karst, cryptokarst*) olarak da sınıflandırılabilir (Ford & Williams, 2007). Örtülü karstta karstik şekiller; toprak, sedimanlar veya geçirimsiz kayalar altında gizlenmiştir. Alanın genişliğine göre blok karst, plato karstı gibi farklı ölçeklerde karst tipleri de tanımlanabilir. Suyun kaynağına göre otojenik karst (yağışın doğrudan karst alanına sızmasıyla beslenen) ve allojenik karst (çevredeki geçirimsiz alanlardan su alarak beslenen) veya karma tipler de mevcuttur (Goldscheider & Drew, 2007; Veress, 2020).

Bazı karst alanları, güzellikleri ve benzersizlikleri nedeniyle turizm için önemlidir (Akşit, Baykara, & Seyirci, 2024). Birçok mağara dünya çapında bilinirliğe ve öneme sahiptir. UNESCO Dünya Mirası Listesi'nde yer alan birçok alan karstiktir. Avrupa jeoparklarının neredeyse yarısı (%49) karstik oluşumlar içermektedir, bu da onların jeomiras ve jeoturizmdeki önemini vurgulamaktadır (Telbisz & Mari, 2020).

Karst alanları bazı zorluklar ve hassasiyetler de oluşturabilir. Karst akiferleri, diğer akifer türlerine göre kirlenmeye karşı daha hassastır. Yüzey aktivitelerinden kaynaklanan kirlilik, düdenler ve çatlaklar aracılığıyla doğrudan akifere ulaşabilir. Bu, kirliliğin hızlı bir şekilde yayılmasına neden olabilir. Karst sularının karmaşık hidrografisi (kanallar aracılığıyla hızlı akış) ve heterojen yapısı, su kaynaklarının yönetimi ve kirliliğe karşı korunmasını zorlaştırır. Ayrıca, karst alanlarında çökme ve yer sarsıntıları gibi tehlikeler de bulunabilir.

Çağımızın önemli çevre sorunlarından olan küresel ısınma, hava ve su sıcaklıklarının artmasına neden olmaktadır. Yüksek sıcaklıklar, biyolojik aktiviteyi ve ortamdaki CO₂ miktarını artırdığı için çözünmeyi dolaylı olarak hızlandıracaktır (Veress, 2020). Ancak, kurak bölgelerde veya kurak dönemlerde artan buharlaşma su miktarını azaltabilir ve sıvı haldeki suyun azlığı karstlaşmayı yavaşlatabilir (Beynen, 2011). Küresel ısınma, toplam yağış miktarlarında değişikliklere ve fırtına, sel, kuraklık gibi aşırı hava olaylarının artmasına yol açmaktadır (Beynen, 2011). Yağışlardaki bu değişiklikler,

çözünme için kritik olan suyun mevcudiyetini doğrudan etkileyecektir (Ford & Williams, 2007). Artan şiddetli yağışlar, sellere ve düden çökmelerine yol açabilir (Culver & White, 2005).

1.2. Türkiye’de Karst Jeomorfoloji

Türkiye arazisinin yaklaşık %40’ı karstik alanlardan oluşmaktadır. Başta Toros Dağları olmak üzere ülkenin pek çok yerinde önemli karstik sahalar bulunmaktadır. Bu alanlarda dolin, uvala, polye, düden, mağara ve karstik kaynaklar gibi çeşitli karstik şekiller görülür (Alagöz, 1944). Türkiye'deki karst alanları, farklı iklimsel, litolojik ve tektonik koşullar nedeniyle çeşitlilik gösterir (Nazik ve Tuncer, 2010). Türkiye’de arazinin morfolojik ve morfometrik özelliklerine göre altı karst bölgesi belirlenmiştir: Toros Dağları, Trakya ve Karadeniz Dağları, Batı Anadolu, İç Anadolu, Doğu Anadolu ve Güneydoğu Anadolu. Bunlardan ilk ikisi, Türkiye'nin paleotektonik evrimi ve Alpin Orojenezi'nin izlerini taşıyan en önemli karst bölgeleridir (Nazik vd., 2019).

Anadolu'nun güneyinde, doğu – batı yönünde 1000 km'den fazla bir uzunluğa sahip olan Toros Dağları'nda kireçtaşı örtüsü 3500 - 4000 m kalınlığa ulaşabilmektedir ve bu bölgede 1000 m derinliği aşan Peynirlikönü (EGMA) (1429 m) (Mersin), Kuzgun (1400 m) (Kayseri), Morca (1276 m) (Mersin) ve Çukurpınar (1196 m) (Mersin) gibi mağaralar bulunmaktadır (Nazik & Tuncer, 2010) (Url 3). Karadeniz Bölgesi'nde ise, kireçtaşı kalınlığının azlığı ve düşük tektonik hareketler nedeniyle keşfedilen mağaraların neredeyse tamamı yataydır ve bu bölgenin en derin mağarası -300 m'den daha azdır. Batı Anadolu ve Marmara Bölgesi'ndeki mağaralar da çoğunlukla yatay gelişim göstermektedir (Nazik ve Tuncer, 2010).

Türkiye, lapyalar, mağaralar, dolinler, uvalalar, polyeler ve yeraltı nehirleri gibi çeşitli karstik yer şekillerine sahiptir. Antalya'daki tufa depoları, Pamukkale'deki teras tipi travertenler, Toroslar'daki büyük polyeler (Beyşehir ve Eğirdir gölleri gibi su dolu, Eynif ve Kembos ovaları gibi kuru) ve Konya'daki çok sayıda obruk gibi bazı spesifik karst formları dünya çapında bilinmektedir (Günay vd., 2022). Denizli’de bulunan Aslanini, Beyinli, Çalçakırlar, Kaklık, Kızılhisar, Zırtlantaşı mağaraları taşıdıkları doğal ve kültürel miras özelliklerinden dolayı koruma altına alınmıştır (Url 4; 5; 6; 7; 8; 9).

İKİNCİ BÖLÜM

ÇALIŞMA SAHASININ GENEL ÖZELLİKLERİ

2.1. Çalışmanın Kapsamı

Denizli ilinin karstik yapıları üzerine yapılan bu çalışma, bölgenin jeolojik ve jeomorfolojik özelliklerini detaylı bir şekilde incelemeyi amaçlamaktadır. Batı Anadolu horst-graben sistemi ile Toros kuşağının batı ucunun kesişim yeri olan Denizli, bu konumundan dolayı hem yer altı hem de yer üstü oluşumları açısından büyük bir zenginliğe sahiptir. Ancak, bu bölgenin karst potansiyeli, mevcut literatürde kapsamlı bir şekilde ele alınmamıştır. Çoğu çalışma, sınırlı karstik alanlara odaklanmış ve bu da Denizli'nin karst sisteminin bütünüyle anlaşılmasında önemli bir boşluk bırakmıştır. Bölgedeki jeotermal kaynaklar ile karstik arazinin etkileşimi sonucunda ortaya çıkan özgün biriktirme şekilleri en çok araştırılan yapılar olmasına rağmen halen incelenmemiş ve belgelenmemiş örnekler barındırmaktadır.

Arazi çalışmalarında daha önce haritalanmamış 10 mağarada yapılan ölçümler sonucu oluşturulan speleolojik haritalar, bu çalışmanın özgün katkılarından biridir. Çalışma, Denizli il sınırlarında yer alan 844 dolin, 16 mağara ve 2 düdeni inceleyerek bölgenin karstik çeşitliliğini detaylandırmaktadır. Bu karstik şekillerden 20 tanesi fotogrametri yöntemi kullanılarak taranmış, elle yapılması güç ölçümler bilgisayar ortamında gerçekleştirilmiştir.

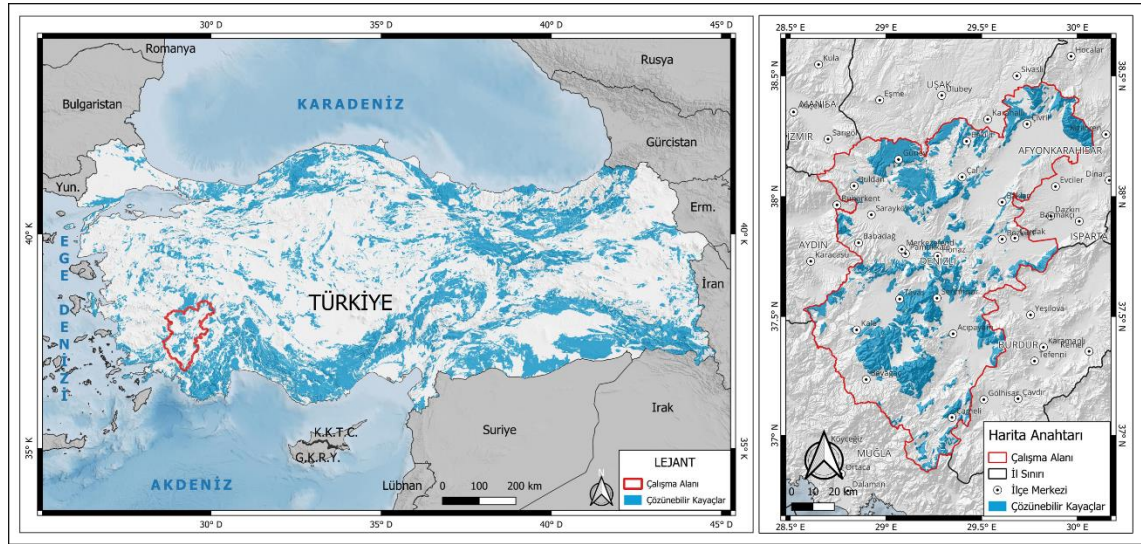
Çalışmanın amaçları arasında Denizli ilinde karst jeomorfolojisine ait şekillerin genel çerçevesinin çizilmesi, karst ve jeotermal su ilişkisinin belgelenmesi ve literatüre yeni mağara, dolin ve traverten gibi karstik şekillerin kazandırılması yer almaktadır. Ayrıca bu karstik şekillerin turizm potansiyeline katkısının ortaya konulması, bölgenin sürdürülebilir kalkınması açısından önemli bir adım olacaktır. Bu çalışma Denizli'nin karstik yapılarının anlaşılması ve korunması için yeni bilgiler sunmaktadır.

2.2. Araştırma Sahasının Genel Özellikleri

Denizli ili, farklı jeolojik birimler ve iklim özellikleri sayesinde zengin bir karst topoğrafyasına sahiptir. Bu sınırlar içerisinde kalan mağaralar, dolinler, obruklar, lapyra alanları gibi çeşitli karstik şekillerin detaylı bir şekilde tespiti, sınıflandırılması ve dağılımının haritalanması, ilin karst jeomorfolojisine dair kapsamlı bir bilgi birikimi

oluşturmayı hedeflemektedir. Bu odaklanma, çalışmamızın daha derin ve yönetilebilir olmasını sağlamaktadır.

Denizli ili, Türkiye'nin güneybatısında Ege Bölgesi ile Akdeniz Bölgesi arasında bulunur. Coğrafi konum olarak $37^{\circ} 46'$ – $38^{\circ} 25'$ kuzey enlemleri ile $28^{\circ} 30'$ – $29^{\circ} 30'$ doğu boylamları arasında yer alır. Denizli, Türkiye'deki karstik alanları morfolojilerine dayanarak bölgelere ayıran Nazik ve Tuncer'e göre (2010) "Batı Toroslar Karst Alanı" (TKb) içerisinde yer almaktadır. Çalışma alanı sahip olduğu çözünebilir kayaçların geniş yüzölçümü sayesinde büyük bir karstlaşma potansiyeline sahiptir. İl sınırları esas alınarak belirlenen çalışma sahasının toplam alanı 11.868 km^2 'dir. Denizli ili toplam alanının %31,8'i (3777 km^2) ise karstlaşmaya uygun kayaç türleri ile kaplıdır (şekil 3).



Şekil 3: Türkiye'de çözünebilir kayaçlar ve araştırma sahasının lokasyonu (Konak ve Şenel, 2002'den değiştirilerek)

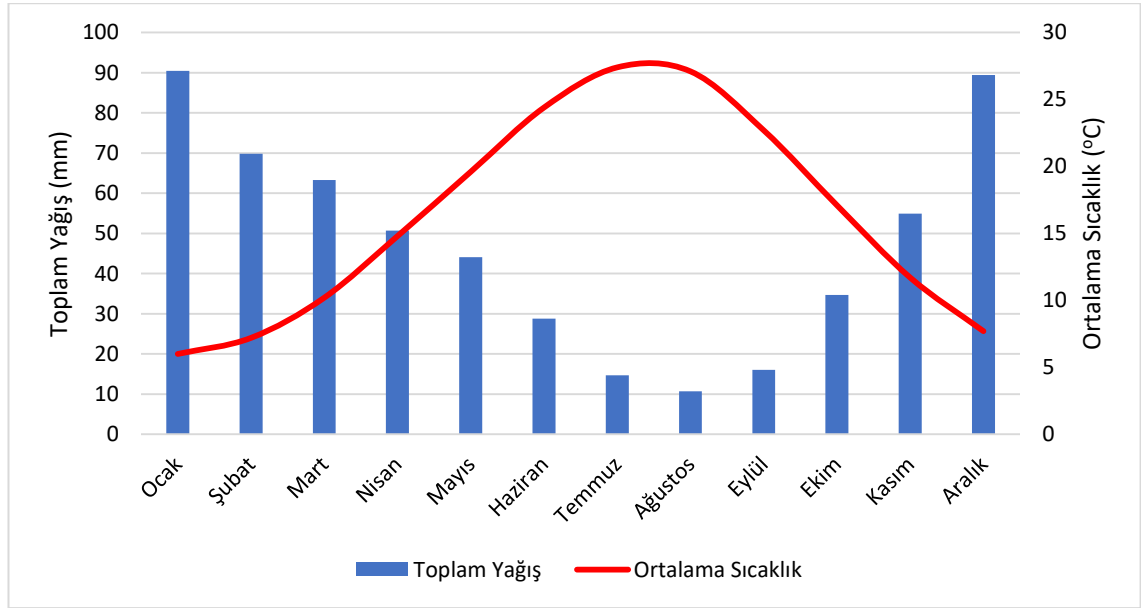
Çalışma alanının deniz seviyesine göre yüksekliği yaklaşık 100 m ile 2600 m arasında değişmektedir. En alçak nokta 130 m ile Sarayköy'ün Kabaagaç Mahallesi ve çevresi iken en yüksek nokta aynı zamanda tüm Ege Bölgesi'nin en yüksek noktası olan Honaz Dağı'dır (2571 m). Denizli; Uşak, Burdur, Muğla, Aydın ve Manisa illerine komşudur (bkz. şekil 5).

Çalışma alanı kabaca doğu – batı doğrultusunda uzanan Akdağ (Merkez) ve Honaz Dağı ile kuzey – güney olarak ikiye bölünmüş durumdadır. Bu hattın kuzey kesimi büyük oranda Büyük Menderes Havzası içerisinde yer alır. Hattın güney kesimi ise kuzey – güney yönünde uzanan Kırdağlar ile bu sefer doğu – batı olarak ikiye bölünmüştür. Kırdağlar'ın doğusu, Dalaman Çayı Havzası'na; batısı ise Akçay Havzasına (Büyük

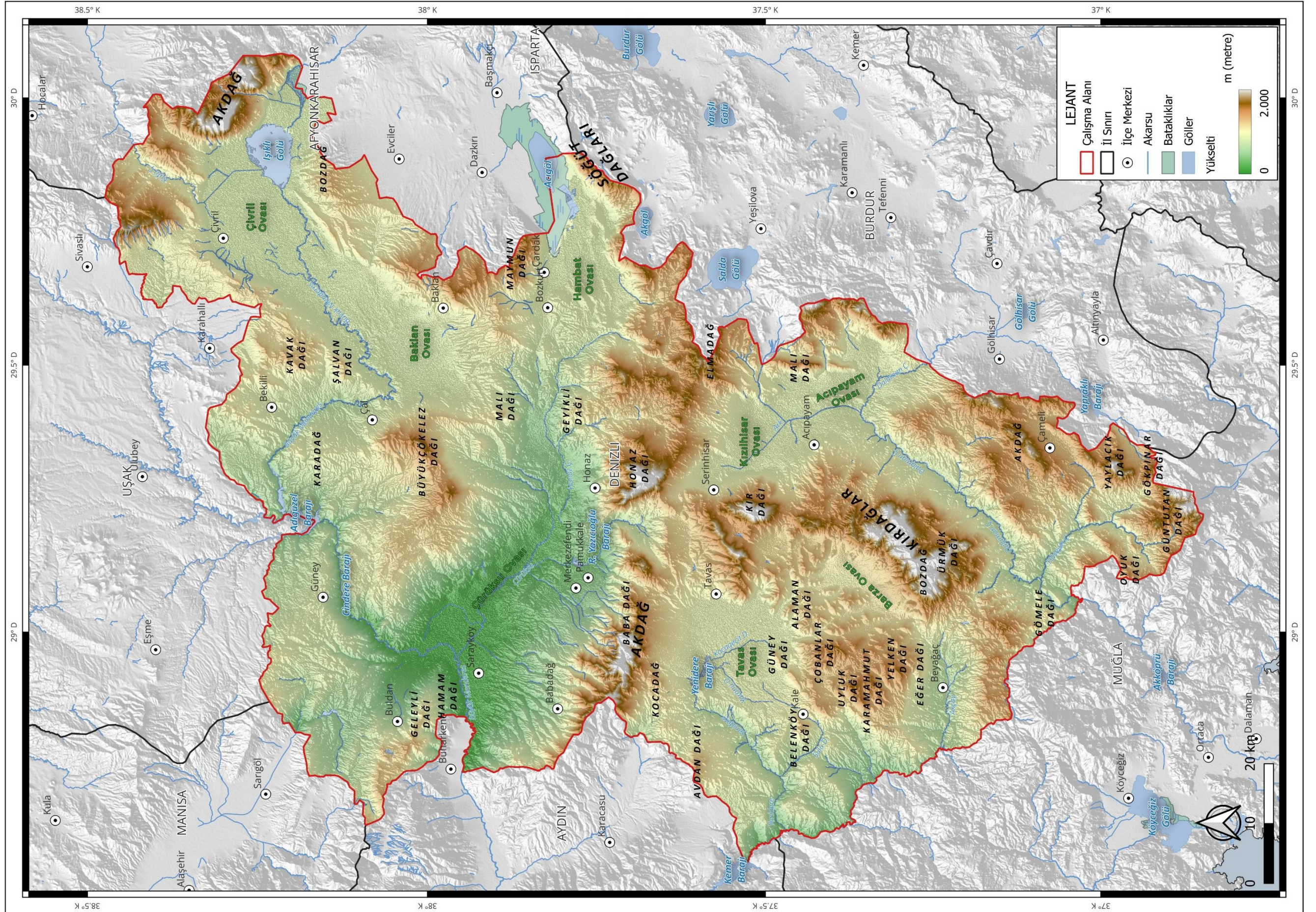
Menderes) dahildir (bkz. şekil 22). Kırdaglar, Çökelez Dağı, Alaman Dağı ve Yelken Dağı ise karstlaşmanın etkisi ile yüzeydeki drenaj ağının seyreltiği alanlardır (bkz. şekil 22).

Baklan, Çürüksu, Çivril, Hambat, Kırkoluk, Kızılca, Kızılhisar, Ovacık, Tavas, Barz (Barza) ve Acıpayam Ovaları çalışma alanındaki görece az eğimli sahaları oluşturmaktadır. Bunlardan en alçak olanı 150 – 250 metre arası yükseltisi ile Çürüksu Ovası'dır. Yüksek olan ise 1100 – 1200 metre arası yükselti ile Kızılca Ovası'dır (bkz. şekil 5).

Denizli, Ege Bölgesi'nin iç kesimlerinde yer aldığı için Akdeniz iklimi ile karasal iklim özelliklerinin bir geçiş alanı özelliği göstermektedir. Yazlar sıcak ve kurak, kışlar ise ılıman geçer. Özellikle yüksek kesimlerde ve dağlık alanlarda karasal iklimin etkisiyle kış aylarında don olayları ve kar yağışı görülebilirken, ovalık bölgelerde daha yumuşak bir kış mevsimi yaşanır. Yıllık ortalama sıcaklık 16,9°C'dir (Url 10). En fazla yağış kış ve ilkbahar aylarında düşerken, yaz ayları genellikle kurak geçer (şekil 4). Bu iklim yapısı, Denizli'de zeytin, üzüm, pamuk gibi ürünlerin yetişmesini mümkün kılar.



Şekil 4: Denizli İli Yıllık Toplam Yağış ve Ortalama Sıcaklık Grafiği (1957 - 2024 MGM)



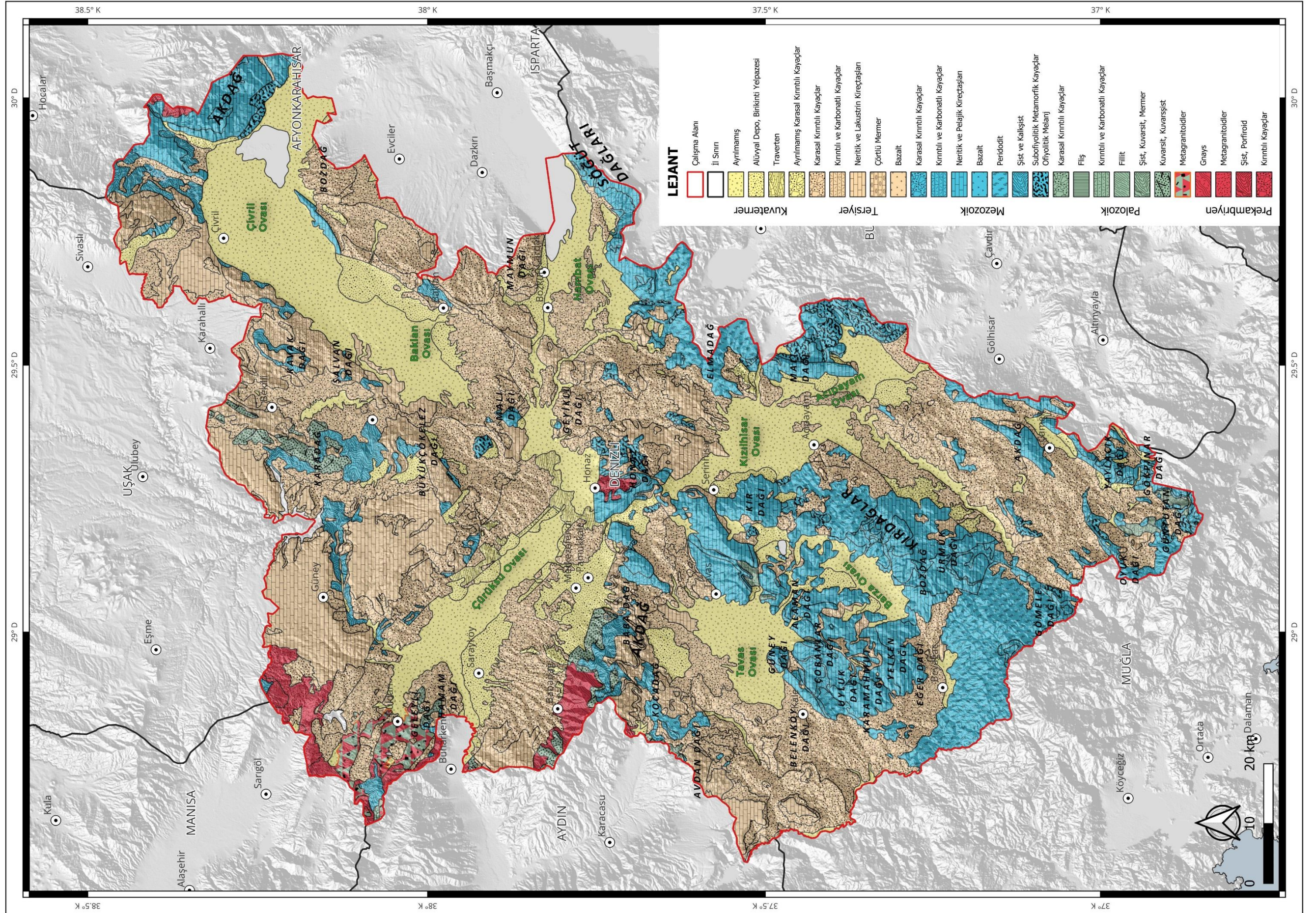
Şekil 5: Denizli İli Morfometri Haritası

Denizli'nin bugünkü jeolojik kompozisyonunu belirleyen tektonik evrimi, Anadolu'nun tektonik evrimi içerisinde ele alınmalıdır. Anadolu tektonik evrimi genel olarak iki ana döneme ayrılabilir: Paleotektonik Dönem ve Neotektonik Dönem (Erol, 1983). Paleotektonik Dönem, Anadolu kara kütlelerinin oluşumunu kapsar. Mezozoik başlarında kıta kütlelerinin birbirinden ayrılmasıyla Anadolu çevresinde büyük jeosenklinaller oluşmuştur (Atalay, 2023). Bu alan, Orta Jura - Orta Trias döneminde en geniş halini alan Neotetis Okyanusu'nun tabanını oluşturmuş ve yer yer adalar barındırmıştır (Erol, 2005). Bu dönemde ve Kretase'de Denizli'nin özellikle güney kesimindeki çözünabilir kayaçları oluşturan Neritik ve Pelajik Kireçtaşları ile kırıntılı karbonatlar istiflenmiştir (bkz. şekil 6).

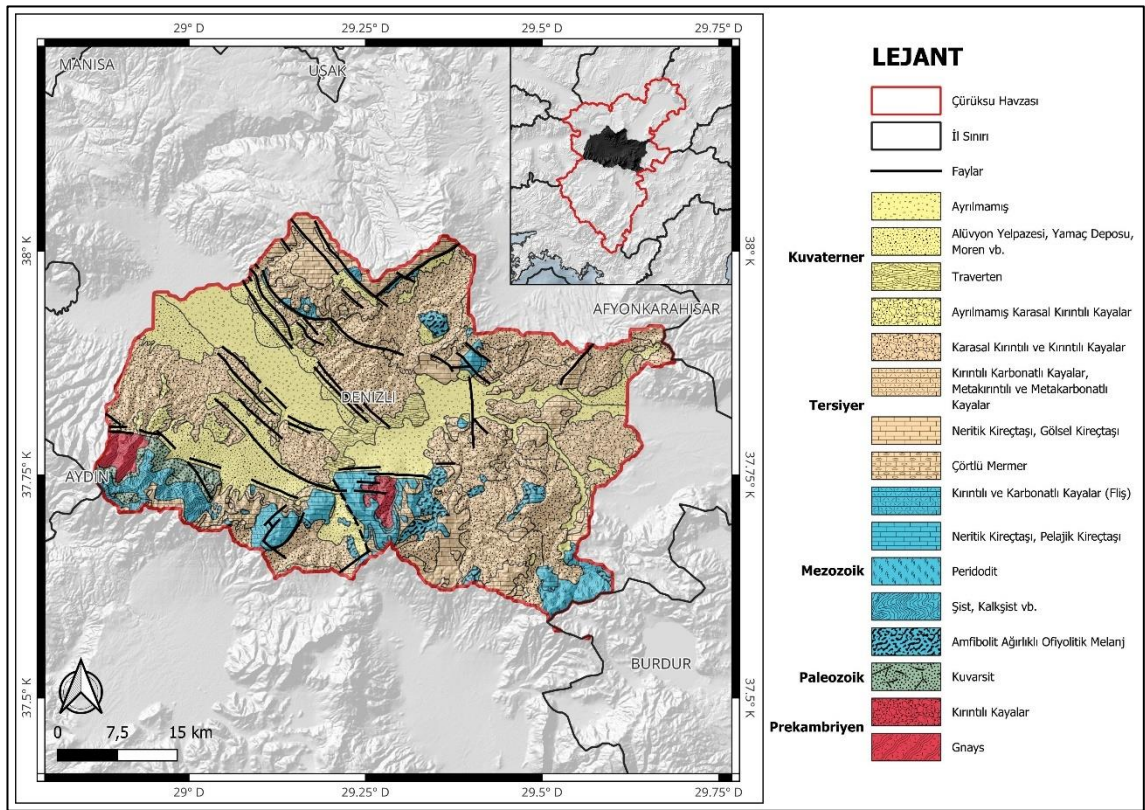
Üst Kretase sonlarına doğru Neotetis Okyanusu'nda daralma ve kapanma hareketleri başlamış, jeosenkliniklerde biriken tortullar kıvrılarak deniz yüzeyinin üzerine çıkmıştır (Atalay, 2023). Anadolu'nun dört ana tektonik birliği (Pontidler, Anatolidler, Toridler ve Güneydoğu Anadolu) ilk özellikleriyle belirlemiştir. Alt Tersiyer'de Neotetis, yeni beliren dağ sıraları arasındaki oluk ve havzaları dolduran bir özellik kazanmıştır (Erol, 2005).

Neotektonik Dönem'de ise Oligosen hareketleriyle karalaşmış olan Anadolu'da, Neojen döneminde Alpin orojenezinin etkisiyle deformasyon ve bugünkü şeklini alış süreci başlamıştır. Bu dönem, Arap ve Avrasya levhalarının çarpışmasıyla tetiklenmiş ve Batı Anadolu'da genişleme tektoniğinin gelişmesine neden olmuştur. Bu çarpışma sonucunda Avrasya ve Arap levhalarının sıkışan uçları arasında Doğu Anadolu, kuzey-güney doğrultusunda sıkışmaya başlamıştır. Doğudaki sıkışmanın etkisi ile Anadolu levhası batıya doğru hareket etmeye başlamıştır (Ertek, 2014).

Geç Miyosen - Erken Pliyosen Dönemi yeni tektonik dönemin başlangıcı olarak kabul edilir. Çekme tektoniğine bağlı olarak karasal tortullaşma ve kıta içi havzalar oluşmuştur. Denizli'nin kuzey kesiminde bu tip alanlarda Neritik ve Lakustrin (Gölsel) Kireçtaşları istiflenmiştir (bkz. şekil 6).



Neotektonik Dönem’de Batı Anadolu’da bugünkü şeklini alan horst-graben sistemleri ve bunları denetleyen faylar gelişmiştir. Bu dönemde Denizli sınırları içinde bulunan Çürüksu Havzası’ndaki (Denizli Havzası) tektonik aktiviteler ön plana çıkmıştır. Batı Anadolu’da, Gediz ve Büyük Menderes grabenlerinin kesişim noktasında yer alan Çürüksu Havzası’nın oluşumu, normal faylar tarafından kontrol edilmektedir (Topal, 2012; Gedik, 2019) (şekil 7). Horst – Graben sistemlerinin gelişimi ile paralel olarak Çürüksu Havzası ve çevresindeki jeotermal sistemin temelleri oluşmaya başlamıştır (Erol, 2005). Çürüksu Grabeni, kuzeyden Pamukkale Fayı, güneyden ise Honaz ve Babadağ fayları ile sınırlanmaktadır (Topal, 2012).



Şekil 7: Çürüksu Havzası Jeoloji Haritası (Konak ve Şenel 2002’den düzenlenmiştir)

Çürüksu Havzası’nın gelişimi için iki evreli bir genişleme modeli öne sürülmektedir. Birinci evre, Miyosen-Erken Pliyosen Dönemi’ni kapsar. Bu evrede grabenlerin oluşumunda "orojenik çökme" rol oynamıştır. İkinci evre ise Pliyosen-Kuvaterner Dönemi’nde başlamış ve günümüzdeki grabenlerle ilişkilidir. Bu faz, hem Ege yayının kuzeyindeki yay-ardı açılımına hem de Kuzey Anadolu ve Doğu Anadolu fay sistemleriyle sınırlanan Anadolu levhasının batıya doğru tektonik hareketine bağlıdır (Toker, 2018). En geç Orta Pliyosen Dönemi’nde kısa süreli bir sıkışma rejimi bu genişleme evrelerini kesintiye uğratmış olabilir (Topal, 2012).

Çürüksu Havzası, Geç Miyosen-Kuvaterner Dönemi'nde çökellerle dolmuştur. Havza kenarlarında alüvyon yelpazesi ve akarsu çökelleri depolanmıştır. Günümüzde ise Büyük Menderes Nehri'nin tortulları havza tabanını kısmen doldurmaktadır (Topal, 2012). Çürüksu Havzası aktif faylarla sınırlanan bir graben sistemidir. Havzanın jeolojik evrimi, Miyosen'den günümüze kadar devam eden genişleme evreleri ve bu evreler sırasında biriken sedimentlerle şekillenmiştir. Bölgedeki fayların aktivitesi, günümüzde de devam eden depremlerle kendini göstermektedir.

2.3. Önceki Çalışmalar

Denizli ili, Türkiye'nin en dikkat çekici karstik alanlarından biri olup, özellikle traverten oluşumları, polye ve obruklar gibi çeşitli karstik şekilleriyle hem bilimsel araştırmalara hem de turizme konu olmaktadır. Bu zenginliğin bilimsel olarak değerlendirilmesi, bölgedeki karstlaşma süreçlerinin, tektonik ilişkilerin ve hidrojeolojik yapıların çok yönlü olarak ele alınmasını gerektirmektedir. Bu bağlamda, bölgedeki travertenlerin morfolojisinden yer altı boşluklarına, polye gelişiminden hidrojeolojik özelliklere kadar birçok konuda yapılmış çalışmalar bu araştırmanın teorik ve yöntemsel zeminini oluşturmuştur. Aşağıda özetlenen literatür, Denizli'deki karst jeomorfolojisinin çok boyutlu yapısını ortaya koymakta ve bu tezin bilimsel temelini güçlendirmektedir.

Bu çalışmada Denizli ili sınırları içerisinde yer alan travertenler, karstik boşluklar, polye ve uvala gibi şekiller ile ilgili literatürde yer alan araştırmalar analiz edilerek karst jeomorfolojisine dair kapsamlı bir çerçeve sunulmuştur. Bölgedeki traverten oluşumları ile ilgili bilgiler özellikle Altunel (1996), Özkul vd. (2013, 2024) ve Strabon'un Geographika'sından (Çev. Pekman, 2000) elde edilen tarihsel ve bilimsel verilerle desteklenmiştir. Altunel (1996), Pamukkale Travertenlerini morfolojik açıdan beş tipe ayırarak (teras, sırt, fay önü, kanal ve örtü travertenleri) bölgedeki traverten çeşitliliğini sınıflandırmış; traverten oluşumlarının yaklaşık 400.000 yıldır sürdüğünü ortaya koymuştur. Özkul vd. (2013) ise izotop analizlerine dayalı çalışmalarıyla traverten ve tufa çökelmelerinin 600.000 yıldır devam ettiğini göstererek bu süreçlerin tektonik hareketlerle yakından ilişkili olduğunu vurgulamıştır. Aynı araştırmacılar (2024), Pamukkale travertenlerinin tarihsel süreçte yapı taşı olarak kullanımını incelemiş, bu malzemenin antik dönemden günümüze kadar hem estetik hem ekonomik açıdan önemini ortaya koymuştur. Bölgede karstik süreçlere ilişkin ilk gözlemler ise Strabon'a kadar uzanmakta; Strabon, Lykos Irmağı'nın yatakta kaybolup yeniden yüzeye çıkmasından,

mağaraların bolluğundan ve bu boşlukların depremlerle ilişkili olabileceğinden bahsetmektedir. Bu tarihsel gözlemler, modern araştırmalarla da örtüşmektedir.

Denizli çevresindeki karstik boşluklar ve yer altı şekilleri ise Özler (2015), Kumsar ve Aydan (2020) ile Tuncer'in (2023) çalışmalarıyla değerlendirilmiştir. Özler (2015), Kaklık akiferinin hidrojeolojik yapısını inceleyerek yer altı suyu potansiyelini ve akiferin ana taşıyıcı formasyonlarını belirlemiştir. Aynı bölgedeki Kaklık Mağarası, Kumsar ve Aydan (2020) tarafından hem jeolojik hem de mühendislik jeolojisi açısından detaylı biçimde incelenmiş; çökme mekanizmaları analiz edilmiş ve mağaranın turizme açık olmasının getirdiği riskler ve sürdürülebilirlik konuları değerlendirilmiştir. Tuncer (2023) ise Buruk Düdeni ve Gümüşdere Obruğu üzerinde yaptığı araştırmalarda, yer altı boşluklarının jeomorfolojik gelişimini ortaya koymuş; Buruk Düdeni'nin gençleşme gösterdiğini, Gümüşdere Obruğu'nun ise flüvyo-karstik bir çökme dolini olduğunu belirlemiştir. Gümüşdere'nin turizm potansiyeli taşıdığı vurgulanırken, Buruk Düdeni'nin bu açıdan uygun olmadığı ifade edilmiştir.

Polye, uvala ve karstik depresyonlara odaklanan çalışmalar ise Tuncer (2021) ile Akpınar ve Atayeter'in (2023) araştırmaları ile değerlendirilmiştir. Tuncer (2021), Tavas'taki Barz Polyesi'nin jeomorfolojik ve tektonik evrimini incelemiş, polyenin çok dönemli bir gelişime sahip olduğunu ve yapısal-kenar polye niteliği taşıdığını belirtmiştir. Akpınar ve Atayeter (2023) ise Kır Dağları'nın batısındaki karstik depresyonları inceleyerek, Kızılca, Ovacık ve Kırkoluk polyeleri ile Yoran uvalasının jeomorfolojik gelişimini ortaya koymuştur. Bu çalışmada Yoran Uvala Havzası'nın en olgun, Kızılca Polyesi'nin ise en yaşlı depresyon olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Bölgedeki daha geniş morfometrik yapıların analizine odaklanan bir diğer çalışma Bahadır ve Özdemir'e (2011) aittir. Bu çalışmada Acıgöl Havzası sayısal topoğrafik analiz yöntemleriyle incelenmiş; havzadaki eğim, bakı ve yükselti gibi parametreler değerlendirilerek morfolojik şekiller oluşum süreçlerine göre sınıflandırılmıştır. Böylece, Denizli ilinin Göller Yöresi ile bağlantılı karstik yapılarının sayısal verilerle modellenmesine katkı sağlanmıştır.

Sonuç olarak, bu çalışmalar Denizli ilindeki karstik şekillerin sınıflandırılması, tarihsel geçmişi, jeomorfolojik evrimi, hidrojeolojik özellikleri ve insan etkisi altındaki güncel durumu hakkında kapsamlı bir çerçeve sunmaktadır. Bu bağlamda, mevcut çalışma; travertenlerin yapısal, tarihsel ve ekonomik önemini vurgularken, bölgedeki

karstik şekillerin oluşum mekanizmalarını anlamaya yönelik önceki araştırmalarla güçlü bir zemin üzerinde ilerlemektedir.

2.4. Materyal ve Metod

Çalışma sürecine kapsamlı bir literatür taraması ile başlanmıştır. Denizli ilinde daha önce gerçekleştirilmiş jeoloji, jeomorfoloji, coğrafya, sedimantoloji, tektonizma, hidroloji, hidrojeoloji, arkeoloji, paleontoloji gibi çok geniş bir yelpazedeki çalışmalar ile dünyada ve Türkiye’de örnek teşkil edebilecek karst araştırmaları incelenmiştir.

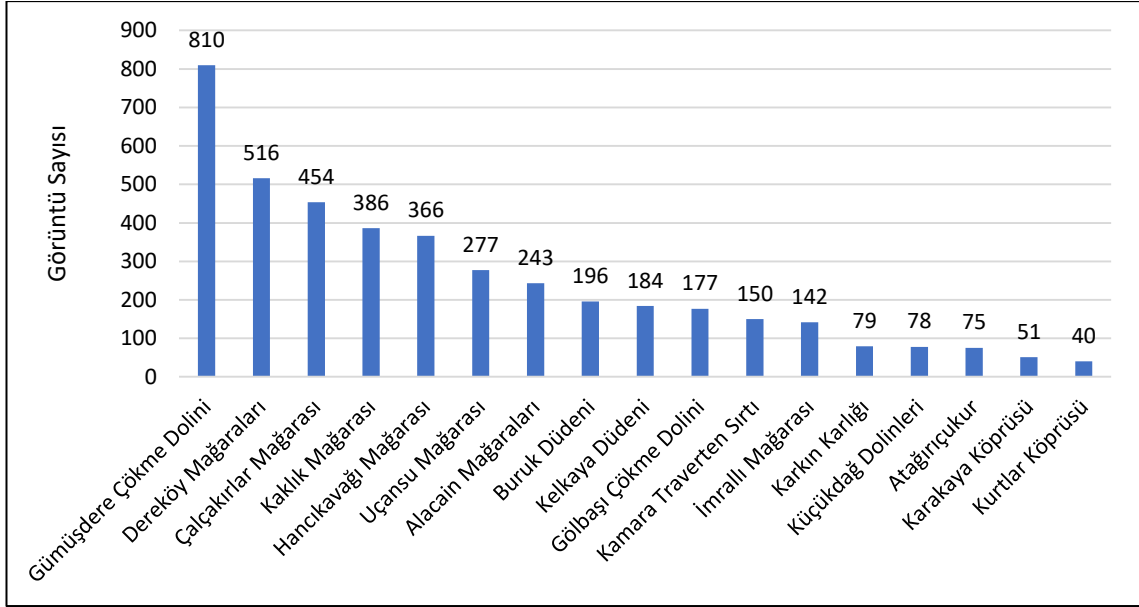
Çalışma içerisinde yer alan haritaların yapımında Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılmıştır. Haritalar, Harita Genel Müdürlüğü’nden (HGM) alınan 1/25.000 ölçekli topoğrafya haritaları kullanılarak üretilmiştir.

Çalışma sahasına ait jeoloji haritaları Maden Tetkik Arama Enstitüsü’nün (MTA) hazırladığı 1/100.000 ölçekli jeoloji verileri baz alınarak bilgisayarda QGIS programı üzerinde oluşturulmuştur. Birimlerin renkleri The Geological Society of America’nın hazırladığı kılavuza uygun şekilde yaşlarına göre belirlenmiştir.

Denizli ilinin arazi örtüsü haritasının oluşturulmasında, Avrupa Çevre Ajansı tarafından sağlanan CORINE Land Cover (CLC) 2018 raster verileri kullanılmıştır. 100 metre mekansal çözünürlüğe sahip olan bu veriler, Copernicus Land Monitoring Service portalı üzerinden temin edilmiştir. Denizli ili ve çevresinin güncel arazi örtüsü yapısını yansıtan bu veri seti, QGIS yazılımı aracılığıyla işlenmiş ve harita üretiminde temel kaynak olarak kullanılmıştır (European Environment Agency, 2020).

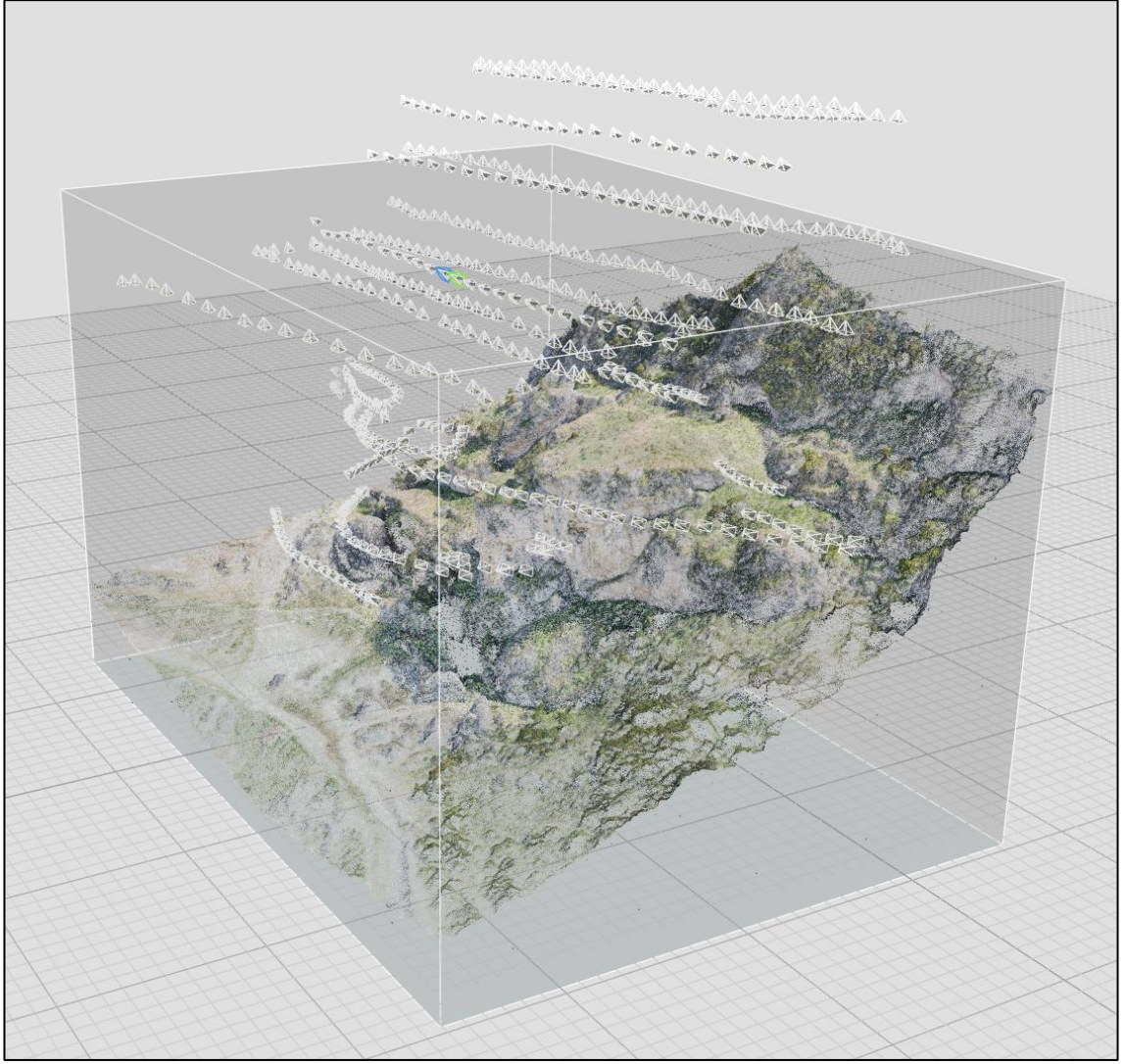
Daha büyük ölçekli haritaların gerekli görüldüğü durumlarda DJI Mini 2 marka ve modelindeki insansız hava aracı ile elde edilen hava fotoğrafları ile Agisoft Metashape Professional ve Reality Capture programları üzerinde fotogrametri yöntemi uygulanarak Sayısallaştırılmış Yükselti Modelleri (SYM), kesitler, blok diyagramlar ve ortomozaikler üretilmiştir.

Yüksek çözünürlüklü mekânsal veri elde etmek amacıyla gerekli görülen yer şekilleri drone tabanlı İnsansız Hava Aracı (İHA) fotogrametrisi kullanılarak incelenmiştir. İHA kullanılarak üst üste binen ve sayıları yüzlerle ifade edilen hava fotoğrafları çekilmiştir (bkz. şekil 8).



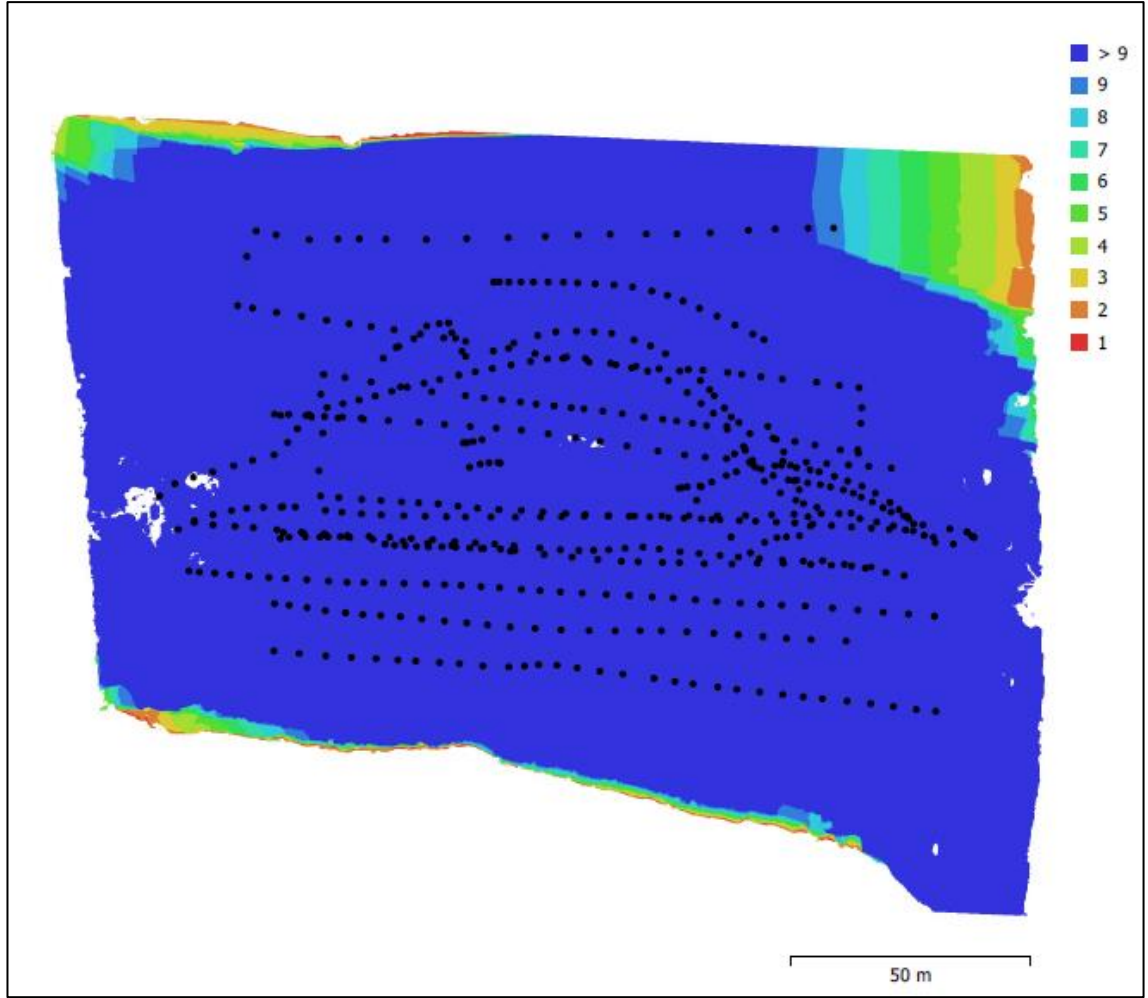
Şekil 8: Farklı konumlarda fotogrametri için alınan görüntü sayıları

Yer şekillerinin tam olarak kapsanması için uçuş planlaması yapılmış ve yeterli görüntü çakışmasının elde edilmesine özel önem verilmiştir. Uçuş parametreleri (irtifa, hız, örtüşme yüzdeleri), veri kalitesini en üst düzeye çıkaracak ve veri toplama süresini en aza indirecek şekilde optimize edilmiştir. Üç boyutlu modelin doğru bir şekilde oluşturulabilmesi için ardışık fotoğraflar arasında yeterli bindirme sağlanarak görüntüler elde edilmiştir (şekil 9).



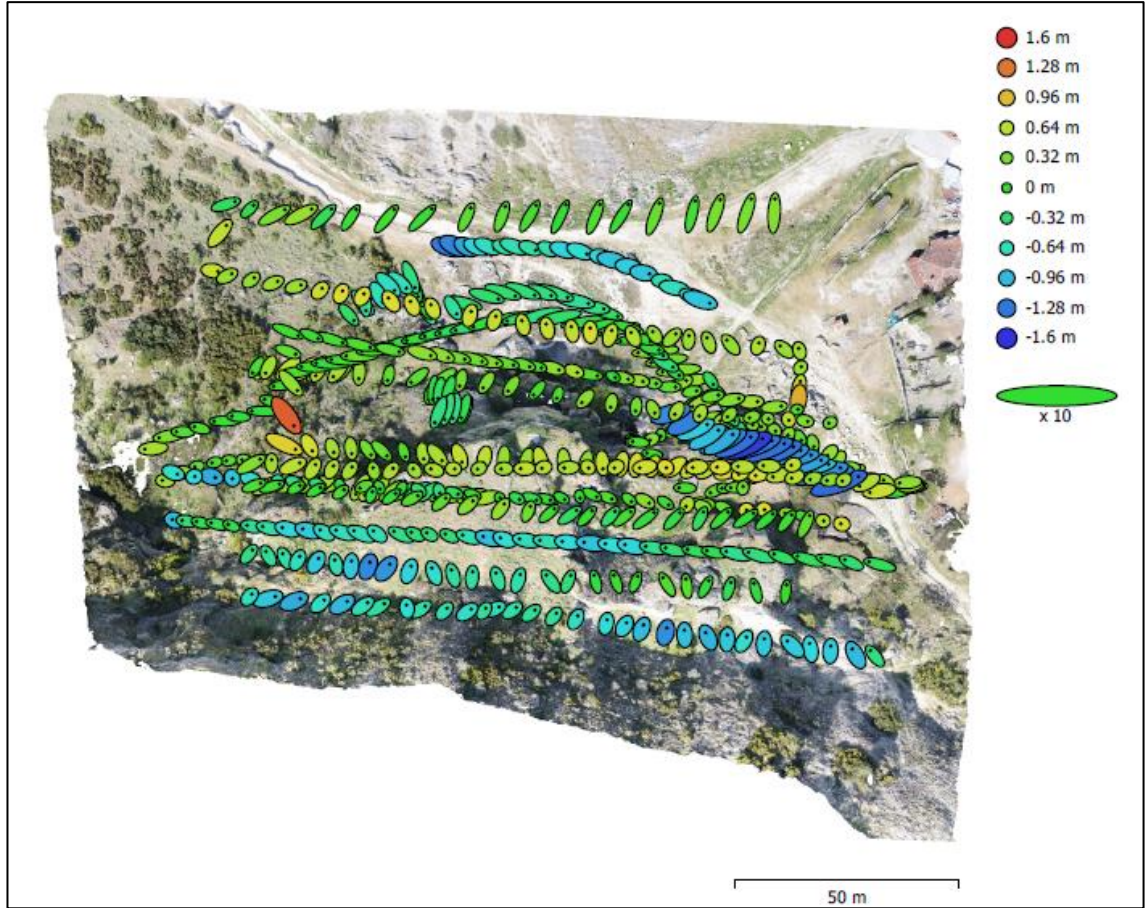
Şekil 9: Dereköy Mağaraları'nın girişleri çevresinde alınan görüntülerin dağılışı

Fotogrametri yönteminde veriler fotoğraf makinesi ile elde edilmektedir. Birbirlerini en az %70 oranında kapsayan görüntüler alınarak tüm yer şekli tamamen taranır. Pek çok durumda bir noktanın birden fazla görüntü ile kaydedilmesi sağlanarak modelin güvenilirliğinin artırılması amaçlanmıştır (şekil 10).



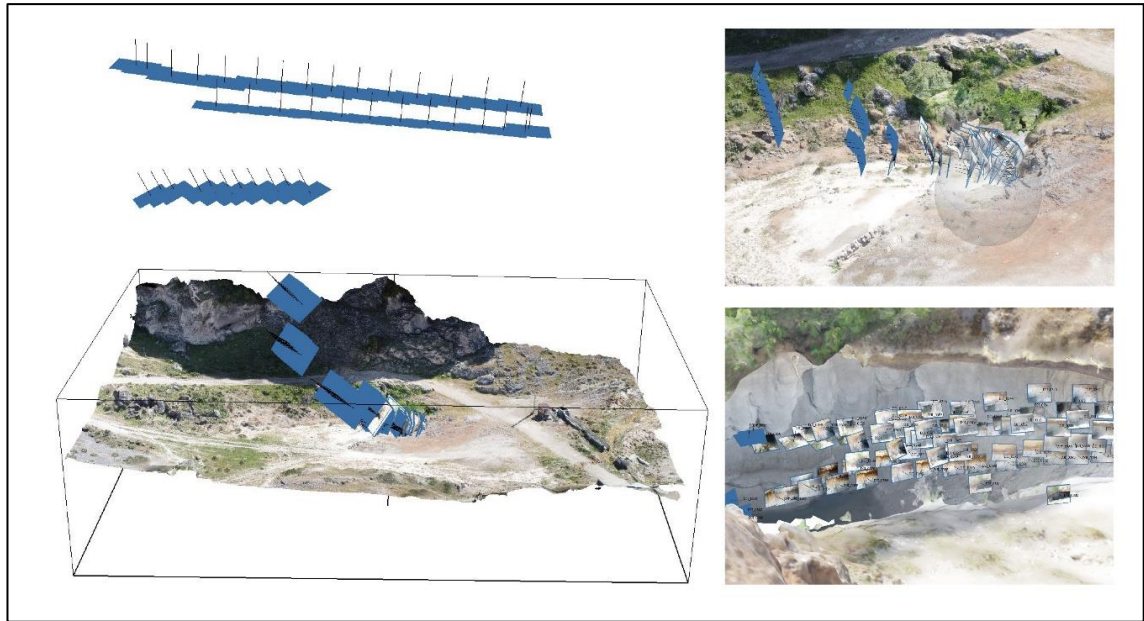
Şekil 10: Dereköy Mağaraları'nın girişleri çevresinde alınan görüntülerin örtüşme miktarları

Fotogrametri taramalarında alınan görüntülerin sıklığı, yüksekliği, örtüşme oranı gibi faktörlere bağlı olarak belirlenen uçuş rotaları sayesinde 1 m'den daha az sapma miktarına sahip veriler elde edilebilmiştir (bkz. şekil 11).



Şekil 11: Dereköy Mağaraları'nın girişleri çevresinde alınan görüntülerin sapma yön ve miktarları. (Dikey eksen, renk geçişiyle gösterilen sapma miktarlarını (metre cinsinden) ifade etmektedir; yatay eksen şeklin sünme yönü ve miktarı ile gösterilmiştir)

Kelkaya Düdeni, yer altında bulunması nedeniyle benzersiz bir zorluk sunmuştur. Düdenin iç kısmı hava fotoğraflarında tam olarak görünür olmadığından, birleşik bir yaklaşım benimsenmiştir. Yukarıda açıklanan standart İHA fotogrametri iş akışı kullanılarak düdenin çevresine ait hava fotoğrafları çekilmiştir. Düdenin iç yüzeylerinin görüntülenebilmesi için yer seviyesinden manuel olarak fotoğraflar elde edilmiştir. Buna ek olarak, iç duvarlar ve taban hakkında daha fazla görsel veri elde etmek amacıyla İHA, dikkatli bir şekilde düden içine indirilmiştir (bkz. şekil 12). Yüzeyden ve yer altından elde edilen tüm görüntüler, Agisoft Metashape yazılımı içerisinde birleştirilerek, düdenin ve çevresinin kapsamlı bir 3B modeli oluşturulmuştur.



Şekil 12: Kelkara Düdeni'nde alınan görüntülerin dağılışı

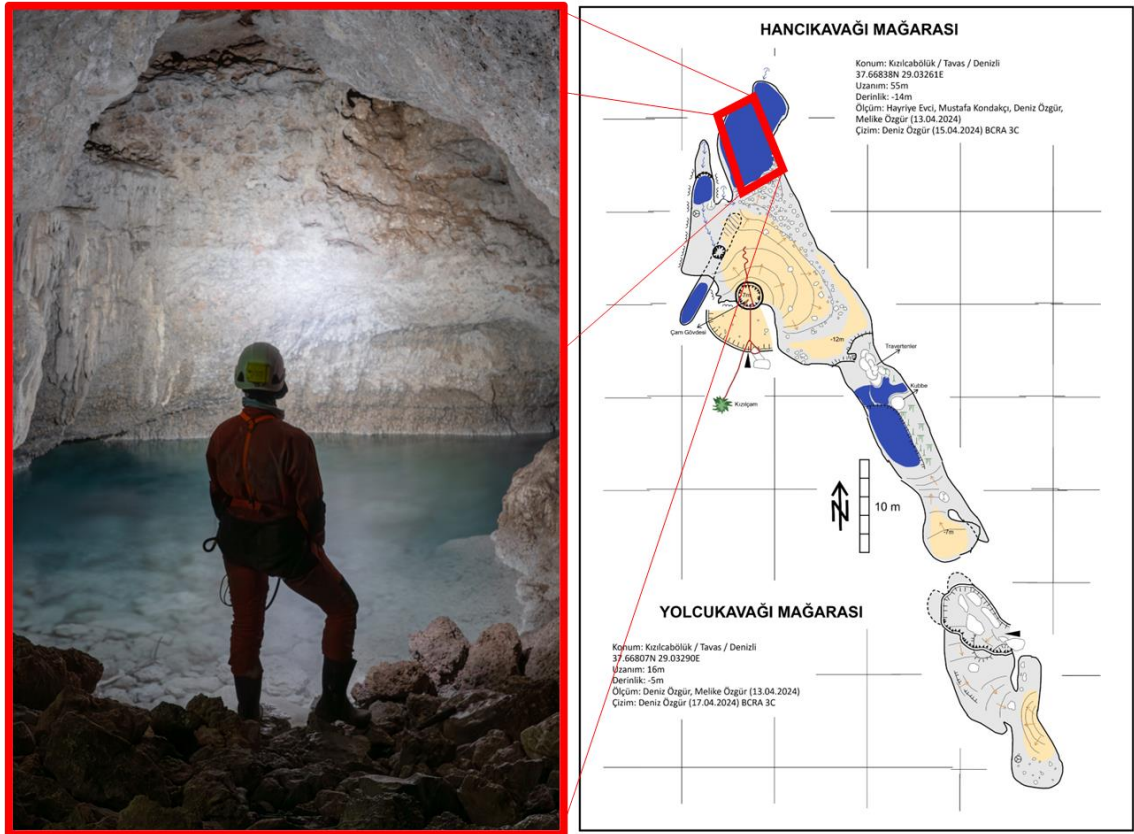
Yer şekillerine ait görüntülerinin işlenmesi için fotogrametri programları içerisinde standartlaştırılmış bir iş akışı uygulanmıştır. Bu iş akışı şu ardışık adımlardan oluşmaktadır:

1. Görüntü Hizalama: Çakışan görüntülerdeki ortak özelliklerin tespiti ve eşleştirilmesiyle kamera konum ve yönelimlerinin tahmini.
2. Nokta Bulutu Oluşturma: Hizalanmış görüntülerden seyrek nokta bulutu elde edilmesi.
3. Yoğun Nokta Bulutu Üretimi: Seyrek nokta bulutunun çoklu görüntü stereo teknikleriyle (multi-view stereo) detaylandırılması.
4. Ağ (Mesh) Oluşturma: Yoğun nokta bulutundan üç boyutlu yüzey ağı (mesh) oluşturulması.
5. Doku Üretimi: 3B ağ üzerine fotoğrafik doku uygulanması.
6. SYM (Sayısal Yükselti Modeli) Üretimi: 3B ağdan SYM elde edilmesi.
7. Ortomozaik Üretimi: Girdideki fotoğrafların geometrik bozulmalardan arındırılarak ortorektifikasyonu ve kesintisiz bir ortomozaik oluşturulması.

Görüntüler bilgisayar ortamında Agisoft Metashape, Reality Capture (RealityScan) ve 3DSurvey benzeri yazılımlar vasıtası ile işlenerek yer şekillerinin sayısallaştırılmış yükselti modelleri oluşturulmuştur. Bu modeller üzerinden plan ve profil görünümüleri alınarak harita, kesit ve diyagramlar elde edilmiştir. Fotogrametri yöntemi yalnızca harita oluşturmak için değil pek çok bilim dalı için de faydalı bir

yöntemdir. Yer şekillerinin dijital ortamda yeniden kurulması ofis çalışmalarında mağaranın daha detaylı yorumlanabilmesini sağlamaktadır.

Çalışmanın önemli basamaklarından bir tanesi mağaraların haritalanması olmuştur. Denizli’de bulunan ve daha önceden haritası olmayan mağaralar ölçülerek haritaları oluşturulmuştur. Bu haritalarda mağara özelliklerinin anlaşılabilir şekilde görselleştirilmesine dikkat edilmiştir (şekil 13). Haritalama çalışması sırasında; yapılan keşiflerin belgelenmesi, gelecekteki mağara ve karst konulu araştırmalara katkı sunulabilmesi, mağaralarda gerçekleştirilecek kurtarma operasyonlarında planlama aşamasının kolaylaştırılması, sportif mağaracılık faaliyetlerini kolaylaştırılması, mağaranın çevresindeki doğal ve beşeri unsurlarla ilişkisinin anlaşılması, mağaranın korunmasının ve tanıtımının sağlanması amaçlanmıştır.



Şekil 13: Mağara içi bir görünüm (solda) ile aynı alanın mağara haritasında gösterimi (solda)

Mağara haritalarının üretilmesi için öncelikle pusula, klinometre ve lazermetre kullanılarak mağara içi ölçümleri alınmıştır. Bu ölçümlerde mağaralarda kesit ve yön değişimlerinin olduğu alanlarda, kolların başlarında uygun istasyonlar belirlenmiştir. İlk istasyon mağara girişinde alınan “0” istasyonudur ve bu istasyonun konumu GPS aracılığı ile kaydedilir. Devam eden istasyonlar ise uzunluk, eğim ve pusula ölçümleri ile bir önceki istasyona bağlanır. Her istasyonda lazermetre ile o istasyona ait sağ, sol, üst ve alt uzunluk ölçümleri ile istasyonlar arası mesafe ölçülmüştür (şekil 14). Klinometre ile iki istasyon arası eğim ölçülmüş ve girişten mağaranın içine doğru olan eğim yönü artı veya eksi ifade ile belirtilmiştir (şekil 14). Pusula ile kuzeyle yapılan açı kaydedilmiştir (şekil 14). Ölçümün doğruluğunu arttırmak için bazı durumlarda cihazlar tripod yardımı ile sabitlenebilir. Ölçümler “Haritalama Defteri” isimli küçük bir not defterine kaydedilir. Deftere çizilen bir kroki üzerinde önemli unsurlar ve istasyonlar işaretlenir (Külekçi, 2011) (Pekkan, 2018).



Şekil 14: Mağara ölçümünde yaygın kullanıma sahip lazermetre (solda) ile klinometre/pusula (sağda)

Mağara ölçümü boyunca boyunca mağara duvarlarının yapısı, mağara oluşumları, su varlığı ve canlı varlığı gibi konularda notlar tutulmuş, tüm bu notlarda bahsedilen noktalar ile tüm istasyonlar çizilen krokilerde işaretlenmiştir. Ofis çalışması aşamasında ise alınan ölçümler CaveRenderPro isimli programa aktatılarak burada son düzenlemeler ile çizim gerçekleştirilmiştir. İlk olarak program içerisinde bulunan data sekmesine

mağara içi ölçümler, tarih ve koordinatlar girilmiştir. Program bu verileri kullanarak istasyonları birbirine göre konumlandırmaktadır. Daha önceden mağarada çizilen kroki kullanılarak programın oluşturduğu taslak üzerinde son çizim gerçekleştirilmiştir. Oluşturulan tüm mağara haritalarında standart mağara sembolleri kullanılmıştır (şekil 15). İstisnai durum veya şekiller harita üzerinde açıklamaları ile birlikte verilmiştir.

	Giriş	?	Bilinmiyor		Duvar
	Sarkıt		Rüzgar		Alt Kol - Ölçülmemiş Kol
	Dikit		Su Girişi		Diklik
	Sütun		Akış Yönü		Zeminde Basamak
	Helektit		Sifon		Tavanda Basamak
	Makarna Sarkıt		Eğim		Baca Giriş
	Karnabakar		Kamp		Su
	Perde		Beşeri Kalıntı		Buz
	Mağara İncisi		Guano		Kil
	Kaya		Kemik		Kum

Şekil 15. Mağara sembolleri

Çalışma sahasında iklim özelliklerinin belirlenmesinde Taşoğlu ve diğerlerinin (2024) hazırladığı yüksek çözünürlüklü Köppen-Geiger iklim zonlarından yararlanılmıştır. Su bilançosuna dayanan Thorntwaite yöntemi, karstik arazilerde yağmur sularının sızma ile ortamdan uzaklaşmasından dolayı tercih edilmemiştir. Bunun yerine doğrudan sıcaklık ve yağışı kullanan Köppen – Geiger sınıflandırması tercih edilmiştir (Bölük vd. 2023). Çalışma sahasına ait yıllık ortalama sıcaklık ve yıllık toplam yağış verileri Fick ve Hijmans'ın (2017) yayınlamış olduğu 30s çözünürlüklü 1970 – 2000 yılları arası dönemi baz alan aylık raster iklim katmanlarından alınmıştır. Aylık veriler QGIS programında raster ortalama ve toplama işlemleri kullanılarak haritaya dönüştürülmüştür.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

KARSTLAŞMAYI ETKİLEYEN FAKTÖRLER

3.1. Jeolojik Özellikler

Denizli il sınırları içerisinde bugünkü jeomorfolojik yapının oluşmasında etkili olan faktörlerin başında bu sahanın sahip olduğu jeolojik özellikler ve paleocoğrafyada sahne olduğu olaylar gelmektedir. Söz konusu olaylar ve özellikler Denizli’de karstlaşmanın meydana gelebilmesini sağlamıştır. Denizli ili yüzey alanının %31,8’i çözünebilir kayalardan oluşmaktadır (bkz. harita 1). Bu alan alüvyonlar ile örtülen vadi tabanları ve polye tabanları dahil edildiğinde daha da büyümektedir. Çalışma alanında çeşitli yaşlarda Neritik, Pelajik ve Lakustrin Kireçtaşları, Kırıntılı ve Karbonatlı Kayaçlar, Mermerler, ve Çörtlü Mermerler, Traverten ve Tufalar gibi pek çok çözünmeye uygun kayaç bulunmaktadır. Bu kayaçlar üzerinde pek çok karstik şekil oluşma imkanı bulmuştur. Hatta traverten ve tufa depoları içerisinde Höyük 2, Çalçakırlar ve Kaklık Mağaraları gibi ikincil oluşumlu mağaralar bulunmaktadır (Özler, 2015; Kumsar ve Aydan, 2021).

Kayaç heterojenliği farklı çözünmeye neden olur. Saf olmayan çözünebilir kayaçlar içerisinde bulunan kum ve kil gibi çözünmeyen unsurlar karstlaşma sırasında birikerek çözünmeye engel olabilir, mağara tabanlarında biriken kalın katmanlar oluşturabilir. Zırtlantaşı Mağarası’nda bu durum ana galeride kendini göstermektedir (bkz. şekil 60). Saf olmayan katmanlar çözünmeye direnç gösterir ve çıkıntı yapabilir (Culver & White, 2005). Uçansu Mağarası mermer içerisinde gelişimine devam ederken konglomera yüzeyine temas ettiği noktada mağara gelişimi sekteye uğramış ve bu alan çökmeler ile tıkanmıştır (bkz. şekil 57; 58).

Tabakaların uzanımı, kıvrılma ve kırılma özellikleri suyun derinlere ulaşımına ulaşamama durumunda belirleyici olur. Yer altına sızan sular tabaka yüzeylerini ve fay hatlarını izlerler. Özellikle Çürüksu Havzası’nda mağaraların ve jeotermal kaynakların bu hatları takip ettiği belirtilmiştir (Altunel, 1996; Özkul, ve diğerleri, 2013; Özler, 2015). Bozdağ üzerinde görülen asimetrik dolin örnekleri, bu zayıf direnç zonlarını oluşturan tabaka yapısının doğrultusu boyunca gelişmiştir (Aydın & Tuncer, 2021). Yatay yapılı arazilerde sızma nispeten daha zor gerçekleştiğinden karstik şekiller daha az sayıda ve daha yüzeye yakın oluşur. Buna yüzeyssel veya sığ karst denir (Atalay, 2005).

Tektonik hareketler karstlaşmayı pek çok farklı şekilde etkileyebilir. Daha önce ifade edildiği gibi fayların ve çatlakların çözünmeyi hızlandırmasından başka arazide oluşan yükselme ve alçalmalar da yağışı ve taban seviyesi ile olan ilişkiyi etkileyebilmektedir (Veress, 2020). Pliyo-Kuvaterner Dönemde tektonik rejim değişikliği ile Kırdaglar çevresinde gelişen Horst – Graben sistemi Kırdag ve Bozdağ’ın horst, Barza Ovası’nın ise graben özelliği kazanmasını sağlamıştır. Alandaki karstlaşma ise Kırdag ve Bozdağ üzerinde dolinler gibi aşınım şekillerinin gelişmesi ile devam ederken Barza Ovası bir polye olarak gelişimine devam etmiş ve kenarlarında birikinti yelpazeleri oluşmuştur (Ayдын & Tuncer, 2021;Tuncer, 2021, 2023;Akpınar & Atayeter, 2023) (bkz. Harita 9;11).

3.2. Jeomorfolojik Özellikler

Denizli jeomorfolojik açıdan çeşitli ortam ve manzaralar sunmaktadır (bkz. şekil 18). Dağların yüksek yerlerinde rastlanan yüksek karst şekilleri daha alçak yerlerde görülen şekillerden bazı özellikleri ile ayrılırlar (Erinç, 2015). Rathjens’e göre 0 – 1700 m arası; derinde mağaraların, yüzeyde ise dolinlerin olduğu kuşaktır. Buraya dolinler zonu denir. 1700 – 2300 m arası, periglasiyal şartların büyük karstik şekillerin oluşmasına müsaade etmeyeceği düşünülerek lapya zonu olarak adlandırılmıştır (Rathjens, 1954; Bölgi, 1980). Denizli, bahsedilen Avrupalı çalışmaların örneklemelerine göre daha güneyde olduğu için bu yükselti basamaklarının uyarlanması gerekmektedir. Öyle ki Bozdağ üzerinde 2100 m yükseltiye kadar dolinlere rastlamak mümkündür. Yükselti aynı zamanda iklimi de etkiler. Dağların çevrelerindeki düzlüklere göre daha fazla yağış aldığı bilinmektedir. Ancak yükselti arttıkça sıcaklıklar da düşmektedir. Eğimin fazla olduğu yerlerde sular hızla yüzeysel akışa geçerek ortamdan uzaklaşır bu sebeple kimyasal bir aşındırma yapamaz, yüzeyde oyalanamaz ve derinlere sızamazlar. Mağaralar gelişimlerini taban seviyesine göre devam ettirirler. Deniz seviyesi genel taban seviyesini oluştururken yakın çevredeki göl, ova, akarsu yatağı ve geçirimsiz tabakalar yerel taban seviyelerini oluşturur (Erinç, 2015).

Jeomorfolojik faktörler, karstlaşma sürecinde ve ortaya çıkan karstik şekillerin gelişiminde önemli bir rol oynar. Kayaların çözünürlüğü yüksek olsa bile, belirgin karst topoğrafyasının oluşumu için uygun jeomorfolojik koşullar gereklidir (Ford & Williams, 2007). Bir alanın yükseltisi ve içindeki yükselti farkları, karstlaşmanın gelişiminde önemlidir. Yüksek relief, daha dik hidrolik gradyanlara yol açarak yeraltı suyu akışını

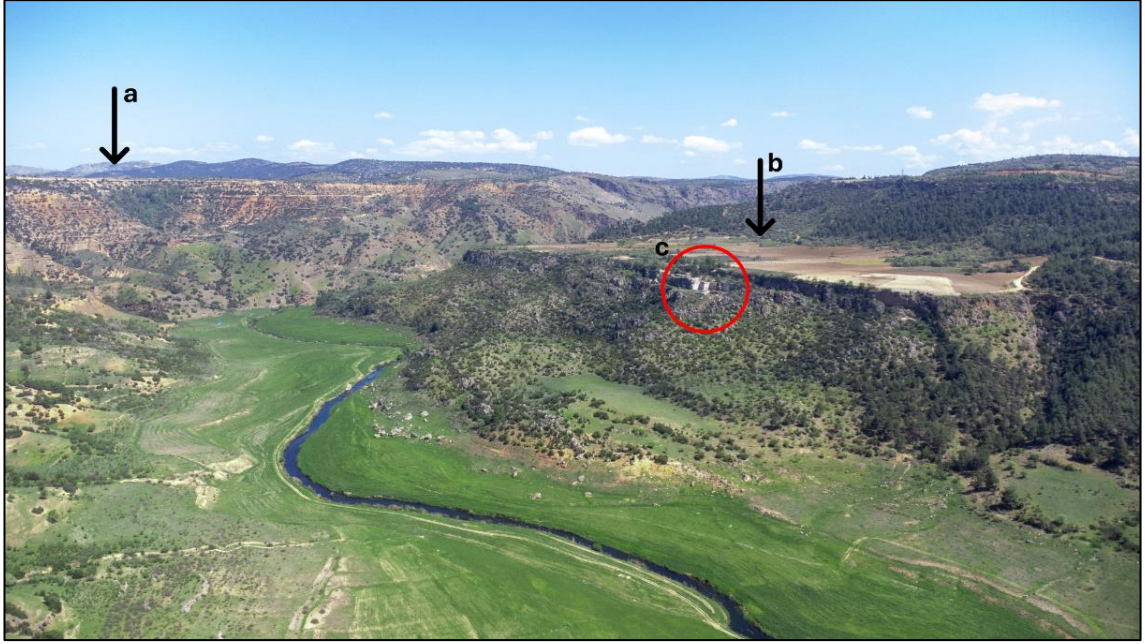
hızlandırabilir ve çözünmeyi arttırabilir. Ayrıca, farklı yükseltilerde farklı aşınım süreçleri etkili olabilir (Ford & Williams, 2007).

Morfolojik taban seviyesi (örneğin, akarsuların veya deniz seviyesinin tabanı) ve karst taban seviyesi, karstlaşmanın derinliğini ve yayılımını belirler. Yüzey sularının derinlere inme eğilimi ve karstik bölgelerdeki akarsu oluşumu bu seviyelere göre şekillenir. Polyelerin oluşumu da morfolojik taban seviyelerine bağlıdır. Akarsuların bir alanı ne kadar parçaladığı, yüzey ve yeraltı suyu akış yollarını etkileyerek karstlaşmayı dolaylı olarak etkileyebilir. Akarsu vadileri, karstik sistemlere allojenik (dış kaynaklı) suyun girişini sağlayabilir (Ford & Williams, 2007).

Karst bölgelerinde yüzey drenajı genellikle zayıf gelişmiştir ve sular sıklıkla yer altına iner (Mason, Burt, Muller, & Blij, 2016). Yüzey akarsularının kaybolduğu düdenler (ponorlar), karstik sistemlere suyun giriş noktalarını oluşturur (Veress, 2020). Çalışma alanının hidrografi haritası incelendiğinde (bkz. şekil 22) drenaj ağında bazı boşluklar olduğu fark edilmektedir. Bu boşluklar karstlaşmaya çok uygun olan Bozdağ, Kırdaglar, Akdağ ve Çökelez Dağı gibi kütlelerin bulunduğu alanları işaret etmektedir.

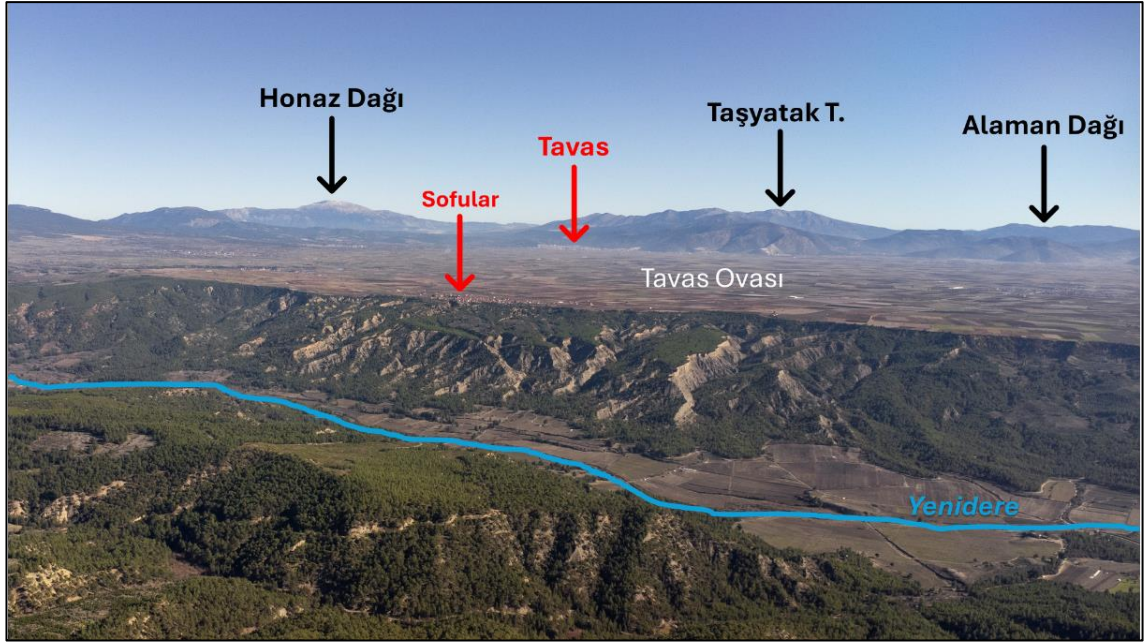
Akarsu aşındırması gibi diğer jeomorfolojik süreçler de karstlaşmayı önemli ölçüde etkileyebilir. (Goldscheider & Drew, 2007). Akarsular karstik bölgelerde epijenik vadiler ve kanyonlar oluşturarak yeraltı suyu akış yollarını etkileyebilir. Flüvyo-karst olarak adlandırılan bu tür bölgelerde hem karstlaşma hem de akarsu şekillendirmesi bir arada görülür (Veress, 2020). Denizli, kuvaternerde geçirdiği süreçler dolayısı ile pek çok epijenik vadiye ev sahipliği yapmaktadır. Bunlardan Büyük Menderes Vadisi, Tokalı Kanyonu ve Kapız Kanyonu içerisinde mağaralar bulunur (bkz. şekil 26). Mağaraların vadi yamaçlarındaki konumu akarsu aşındırması ile karstlaşma arasındaki ilişkiyi ortaya koymaktadır.

Büyük Menderes 3 alt havzasının aşağı kesiminde aynı yapı devam etmektedir ve burada Büyük Menderes kenarlarında yer yer traverten platformları ve mağaralar gözlenmektedir (bkz. şekil 16). Havzanın daha yukarısında bulunan Çal Kanyonu bu vadi yapısı ile Baklan Ovası arasında bir geçiş alanı oluşturur. Baklan Ovası üzerinde Dayılar ve Gelinören Mahalleleri'nden itibaren ova tabanı ile akarsu yatağı arasındaki yükselti farkı ortadan kalkar ve plato görünümü yerini ova görünümüne bırakır (bkz. şekil 18)



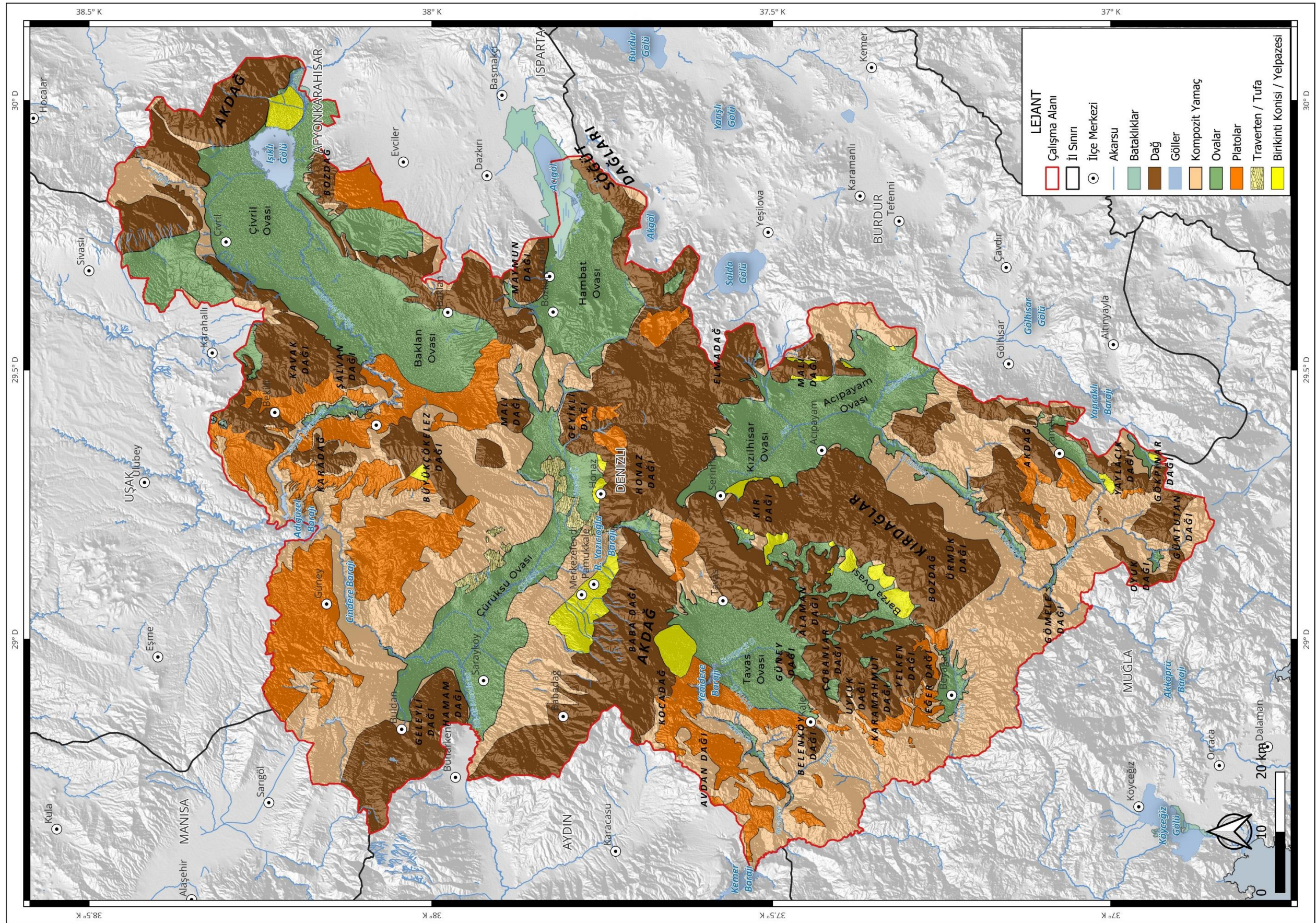
Şekil 16. Çal'ın 17,7 km kuzeybatısında Büyük Menderes Nehri çevresinde yatay tabakalar (a), traverten platformu (b) ve eski bir traverten ocağı içerisinde yer alan Çalçakırlar Mağarası (c) (Fotoğraf 600 m yükseklikte doğuya doğru çekilmiştir)

Denizli'nin güneybatısında yer alan Akçay Havzası ise geriye aşınımın bir başka sahnesidir. Tavas Ovası'ndan kaynağını alarak Akçay'a katılan Yenidere'nin bu bağlantı noktası ile Tavas Ovası arasında 600 m yükselti farkı bulunmaktadır. Bu yükselti farkından dolayı Yenidere yatağını geriye ve yana doğru aşındırmaktadır. Günümüzde Yenidere yatağı Kapızdeğirmeni Mevkiinde kanyon vadi görünümü almaktadır ve bu alanın 4 km doğusunda kurulan Yenidere Barajı yerel bir taban seviyesi oluşturarak geriye aşınımın önüne geçmiştir (Kara, 2001). Ancak Yenidere Vadisi'nin yamaçlarında aşınım devam etmektedir ve erozyon gözle görünür boyuttadır (bkz. şekil 17).



Şekil 17. Yenidere yatağı ve Tavas Ovası (Fotoğraf 1390 m yükseklikte doğuya doğru çekilmiştir)

Çalışma alanının güneydoğusunda bulunan Dalaman Çayı Acıpayam Ovası'nı drene ederek güneybatıya doğru akmaktadır. Kaynağını Bozdağ'dan alan Çatak Dere Acıpayam Kanyonu'nu oluşturarak Dalaman Çayı'na bağlanır. Aynı alanda vadinin karşı tarafından ise Dikmen Tepe'den kaynağını alan Kırkpınar Deresi Kapız Kanyonu'nu oluşturarak Dalaman Çayı'na bağlanmaktadır. Havzada çözünebilir kayaçların varlığı ve tektonik faaliyetler karstik kanyonların oluşumuna olanak sağlamıştır.

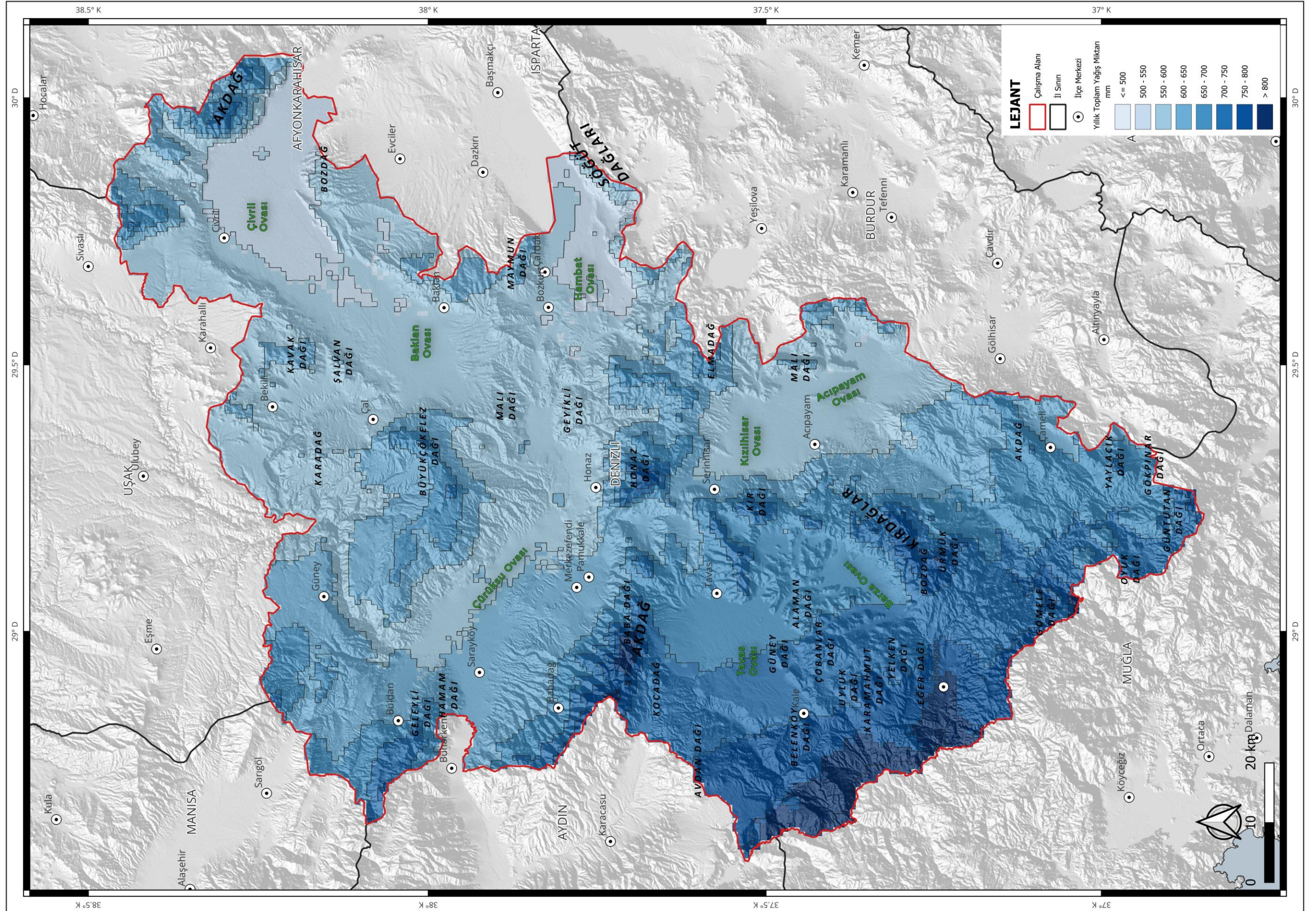


Şekil 18: Denizli İli Jeomorfoloji Haritası

3.3. İklim

Tüm iklim bölgelerinde uygun kayaçlar bulunması şartı ile karst topoğrafyası oluşabilir. Ancak farklı iklim bölgeleri arasında karstlaşma süreçleri açısından önemli farklar görülür (Erinç, 2015). Köppen-Geiger sınıflandırmasına göre beş (5) farklı iklim zonuna ait alanlar barındıran Denizli ilinde (Taşoğlu, Öztürk, Yazıcı, 2024) (bkz. şekil 21) karstlaşma yöreden yöreye farklı özellikler göstermektedir.

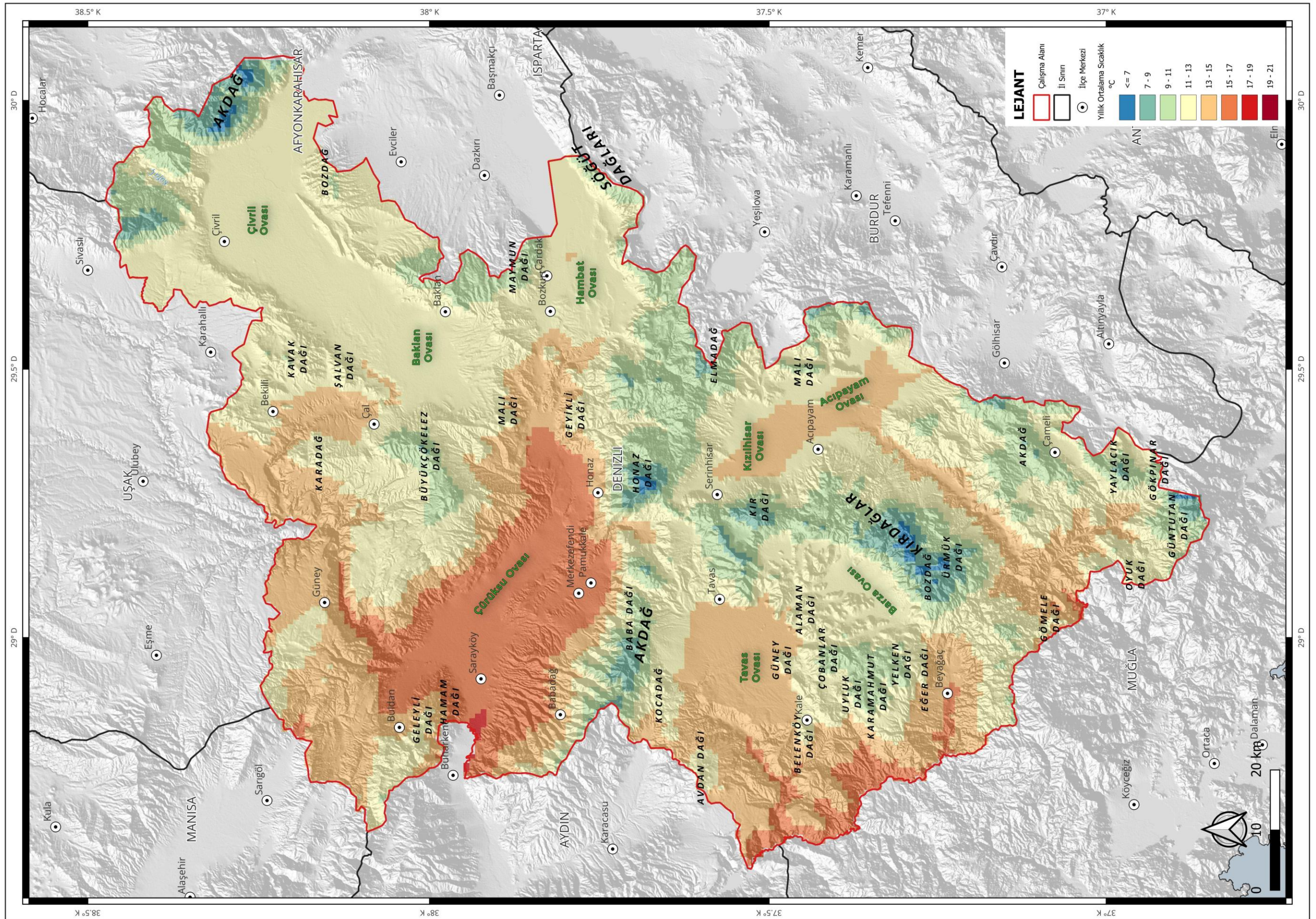
Su ve karbondioksit bir arada bulunduklarında karbonik asit oluştururlar. Bu sebeple yağışın bol olduğu, suyun sıvı halde bulunduğu, bitki örtüsünün gür olduğu yerlerde karstlaşma daha hızlı ve yoğun şekilde gelişir (Culver & White, 2005; Ford & Williams, 2007; Mason, Burt, Muller, & Blij, 2016). Denizli ilindeki farklı alanlarda yıllık toplam yağış miktarının yaklaşık olarak 500 mm ile 800 mm arasında değiştiği görülmüştür (Fick & Hijmans, 2017). Buna bağlı olarak Denizli'nin denizel etkiye daha açık olan ve dolayısı ile nispeten daha fazla yağış alan güney ve batı kesimlerinin (bkz. şekil 19) karstlaşmaya daha uygun olduğu söylenebilir. Bu alanlar içinde yer alan Akdağ (Merkez), Kırdağlar, Bozdağ, Yelken Dağı ve Alaman Dağı çoğunlukla çözünebilir kayaçlardan oluştukları için ön plana çıkmaktadırlar (bkz. şekil 6;19).



Şekil 19: Denizli İli Yıllık Toplam Yağış Dağılışı (Fick & Hijmans 2017'ye göre oluşturulmuştur)

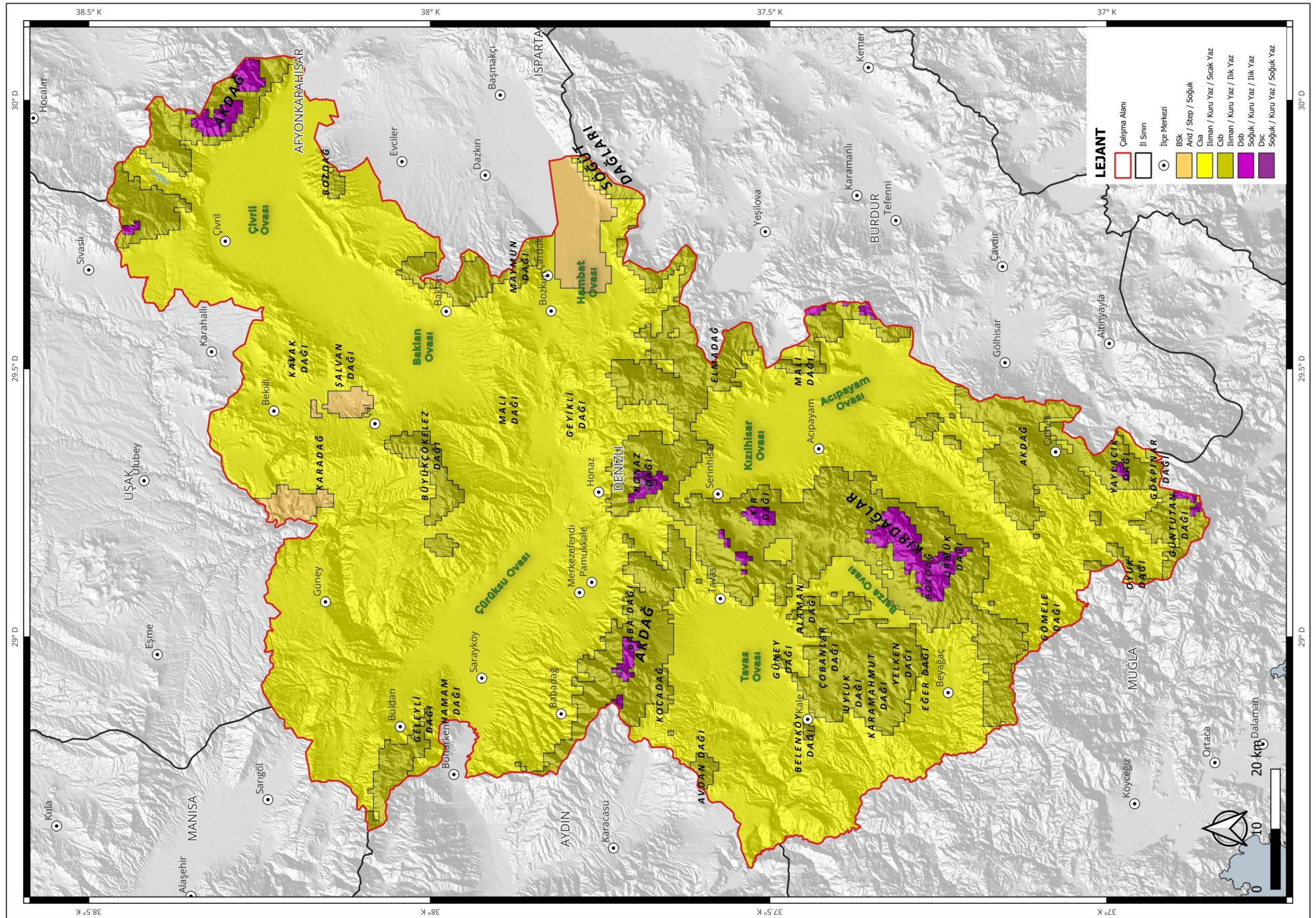
Sıcaklık, kimyasal reaksiyonların hızını etkileyerek çözünme oranını dolaylı olarak kontrol eder. Genellikle daha yüksek sıcaklıklar kimyasal çözünme reaksiyonlarını hızlandırır. Ancak Henry yasasına göre, gazların suda çözünürlüğü basınçla doğru, sıcaklıkla ters orantılıdır. Karbonatların çözünürlüğü suyun içerdiği CO₂'e bağlı olduğu için soğuk su karstlaşma için daha uygundur (Şahinci, 1991). Yine de soğuk bölgelerde karstın daha iyi geliştiği söylenemez. Çünkü bu bölgelerde yağış miktarı tropikal ve ekvatorial bölgelere göre daha azdır ve yıl içinde suyun sıvı halde bulunmadığı dönemler yaşanabilir. Bu nedenlerle sıcak bölgelerde karstlaşmanın daha hızlı geliştiği söylenebilir (Veress, 2020). Sıcak bölgelerdeki topraklarda biyolojik aktivite daha yüksek olduğu için daha fazla CO₂ üretilir, bu da sızan suyun daha asidik olmasına ve çözünme kapasitesinin artmasına neden olur. Bu durum, sıcak ve nemli iklimlerde karstlaşmanın neden daha yoğun olduğunu açıklar (Beynen, 2011).

Çürüksu Havzası hem çalışma alanının yıllık ortalama sıcaklık değeri en yüksek kısmıdır (Fick & Hijmans, 2017) (şekil 20) hem de jeotermal su kaynakların yoğunlaştığı bir alandır. Bu durum buharlaşmayı arttırarak suların mineral konsantrasyonunu yükseltmekte ve çökelmeyi hızlandırmaktadır. Bölgede sıcak suların hızla buharlaşması ile zengin traverten ve tufa yatakları birikmiştir (Altunel, 1996; Topal, 2012; Özkul, ve diğerleri, 2013; Özler, 2015; Kumsar & Aydan, 2021; Özkul, ve diğerleri, 2024) (bkz. şekil 6; 7).



Orta düzeyde sıcaklık ve yağışa sahip olan yerlerde Ilıman İklim Karstı görülmektedir (Mason vd., 2016). Denizli'nin güney kesiminde bu karst tipine ait güzel örnekler görmek mümkündür. Keloğlan ve Hancıkavağı Mağaraları zengin ve aktif mağara çökellerine sahiptir (Baykara, 2014). Gümüşdere ve Gölbaşı Çökme Dolinleri yüzlerce metre genişliğe ve onlarca metre derinliğe sahiptir (Tuncer, 2023). Kırdaglar, Bozdağ ve Avdan Dağı üzerinde sayısız çözünme dolini gelişmiştir (Aydın & Tuncer, 2021) (bkz. şekil 26).

Kurak ve Yarı Kurak İklim Karstı'nda su kıtlığı nedeniyle karstlaşma yavaştır ancak geçmişte daha nemli iklimlerin etkisiyle oluşmuş inaktif karstik şekillere rastlanabilir (Mason, Burt, Muller, & Blij, 2016). Örneğin Çalçakırlar Mağarası içinde sarkıt dikit ve perde gibi yapılar bulunmasına rağmen fosil mağara niteliğindedir (bkz. Şekil 42b; 42c; 42e; 43). İçindeki oluşumların gelişimi mağara genelinde durma noktasına gelmiştir.

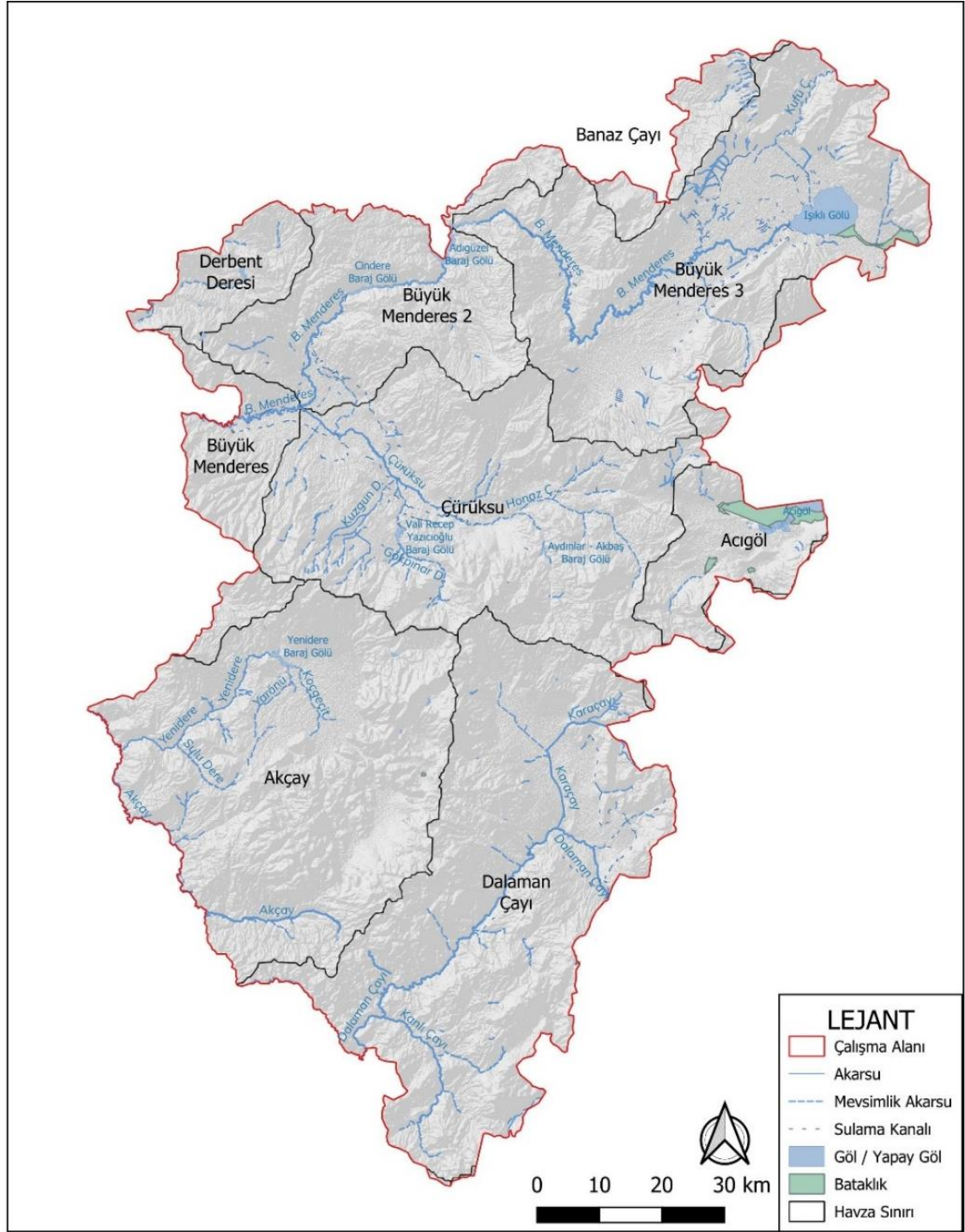


Şekil 21: Denizli İli Köppen-Geiger İklim Zonları (Taşoğlu vd. 2024'ten düzenlenmiştir)

3.4. Hidrografya

Denizli ili sınırları içerisinde dört büyük havza bulunmaktadır. Bu havzaların en büyüğü 8576 km² alan ile Büyük Menderes Havzası'dır. Büyük Menderes havza tüm Denizli yüzölçümünün %70,6'sını kaplamaktadır. Denizli drenaj ağını kuzey, güneydoğu ve güneybatı şeklinde üç bölüme ayırmak mümkündür. Kuzey kesimde Büyük Menderes ve kolları yer alır, güneydoğuda Dalaman Çayı, güneybatıda ise Akçay Havzaları bulunmaktadır (şekil 22). Akçay, Denizli'den ayrıldıktan sonra Aydın ili sınırları içerisinde Büyük Menderes'e katılmaktadır. Küçük Menderes Havzası ilin kuzeyinde yer alır ve görece küçük bir alan kaplamaktadır. Acıgöl ve Burdur Havzası ise ilin doğusunda yer alan bir kapalı havza özelliğindedir (Duman, 2023). Denizli il merkezinin de içinde bulunduğu Çürüksu Havzası karstik kaynakları, jeotermal kaynakları ve subatanları ile ön plana çıkmaktadır. Cindere Barajı'nın da içinde bulunduğu Büyük Menderes 2 alt havzası yatay tabakalı neritik ve lakustrin kireçtaşlarına sahiptir. Büyük Menderes Nehri bu yatay tabakalar içerisinde tabana gömülerek sürempoze bir vadi oluşturur ve çevresine plato görünümünü kazandırır (bkz. şekil 18).

Genel olarak karst sahalarında diğer topoğrafyalara göre çok daha az yüzeysel akış ve çok daha seyrek bir drenaj ağı görülür. Farklı kayaç yapıları üzerinde oluşmuş olan akarsu vadileri ise akarsu kalkerler içine girince kanyon biçiminde dik boğazlar açarlar (Alagöz, 1944). Bir akarsu, geçtiği karstik bölge için yerel bir taban seviyesi görevi görebilir (Bögli, 1980). Akarsuyun yatağının derinleşmesi, karst suyunun da daha derinlere drene olmasına ve dolayısıyla daha derin karstlaşmanın gelişmesine olanak tanır (Beynen, 2011). Denizli ve çevresinde bu durum Acıpayam, Kapız, Çal ve Tokalı Kanyonlarında görülmektedir (bkz. şekil 26). Karst sahalarındaki akarsuların bazılarının varlığı da yine karst taban seviyesine ulaşılmış olmasıyla açıklanabilir (Erinç, 2015).



Şekil 22: Denizli İli Hidrografya Haritası

Bölgedeki akarsuların ve morfolojik taban seviyesinin konumu, karst oluşumunun alt sınırını belirler. Örneğin Barz, Kızılcıca, Ovacık ve Kırkoluk Polyeleri'nin tabanları, bu karstik bölgedeki akarsu oluşumunu kontrol eden morfolojik taban seviyeleridir. Alpin orojenez hareketleri ve neotektonik yükselmeler sonucunda bu bölgedeki yüzey suları ilk aşamada daha derine inmeye eğilim göstermiş ve bu da yüzeyde susuz (anhidrit) karstik bölgelerin oluşmasına neden olmuştur (Tuncer, 2021).

Karst bölgelerindeki bazı akarsular, yamaçları boyunca ortaya çıkan karstik kaynaklardan beslenerek akışlarını sürdürebilirler. Bu durum, allojenik akarsuların su kaybetmesinin aksine, akarsu debisinin artmasına neden olabilir (Ford & Williams, 2007). Çürüksu Havzası'nda Böceli, Kazanpınar, Honazgöz, Gölpınar, Kokarhamam ve Kelkaya gibi pek çok karstik kaynak bulunmaktadır. Bunlardan Böceli ve Kazanpınar kaynaklarının suları içmeye uygundur ve kaptajları yapılmıştır (Tabancalı, 2020). Kokarhamam ve Kelkaya ise çevredeki tektonizma ile ilişkili şekilde oluşmuş ve mineralce zengin kaynaklardır. İkisinin de ortak özelliği sularını çıktıkları yerin hemen yakınında travertenler içerisinde oluşmuş düdenlere boşaltmalarıdır. Kokarhamam için bu düden Kaklık Mağarası'dır (Özler, 2015). Kelkaya Kaynağı için ise Kelkaya Düdeni'dir. Kokarhamam'dan çıkan sular kaynak yakınlarında bugün turizme açık alan içerisinde kalan bölgede sulak bir alan oluşturur daha sonra mağaraya batar. Bu durum önceleri mağaranın sıcak su ve buhar ile kaplanmasına yol açmaktaydı ancak DSİ (Devlet Su İşleri) bir tahliye tüneli açarak suyun dışarıya atılabilmesini sağlamıştır. Günümüzde bu sular Çürüksu'ya katılmaktadır (Çiçek, 2021).

3.5. Toprak ve Bitki Örtüsü

Bitki örtüsü ve toprak, karstlaşma sürecinde hayati rol oynayan karbon dioksitin (CO_2) önemli bir kaynağıdır. Yağmur suyu toprağa sızdığında organik maddelerin çürümesi ve bitki köklerinin solunumu sonucu oluşan CO_2 'i bünyesine alır ve zayıf bir karbonik asit (H_2CO_3) oluşturur. Bu karbonik asit, karbonatlı kayaları çözerek karstik şekillerin oluşmasına neden olan temel kimyasal reaksiyonu başlatır. Bu nedenle, yoğun bitki örtüsüne ve organik maddece zengin topraklara sahip bölgelerde karstlaşma süreci daha etkili olabilir (Mason, Burt, Muller, & Blij, 2016). Ancak gür bitki örtüsüne sahip bir bölgede karstlaşmanın yavaşlamasının sebebi sık ormanlık kesimlerde toprak kalınlığının fazla olmasıdır. Dolayısıyla toprak kalınlığının artması topraktan sızan suların yerin derinliklerine ulaşmasını zorlaştırmaktadır. Bunun aksine gür bitki örtüsü aynı zamanda da çözünmeyi hızlandırabilmektedir. Gür bitki örtüsü bulunan bölgelerde kalkerin daha hızlı çözünebilmesi için gerekli olan CO_2 miktarı fazladır. Bunun sebebi ise ağaçların geceleri fotosentez yoluyla CO_2 miktarını arttırmasıdır (Pekcan, 2019)

Dolin ve uvala gibi karstik depresyonlar bulundukları çevreye göre farklı mikroklima alanları oluştururlar. Yeterli büyüklüğe sahip olan örneklerde soğuk hava tabanda birikir ve sıcaklık terselmesine neden olabilir. Bu durum dolin ve uvala tabanlarında çiğ, kırağı ve don oluşmasına yol açabilir. Dolayısıyla bu çukur alanlar

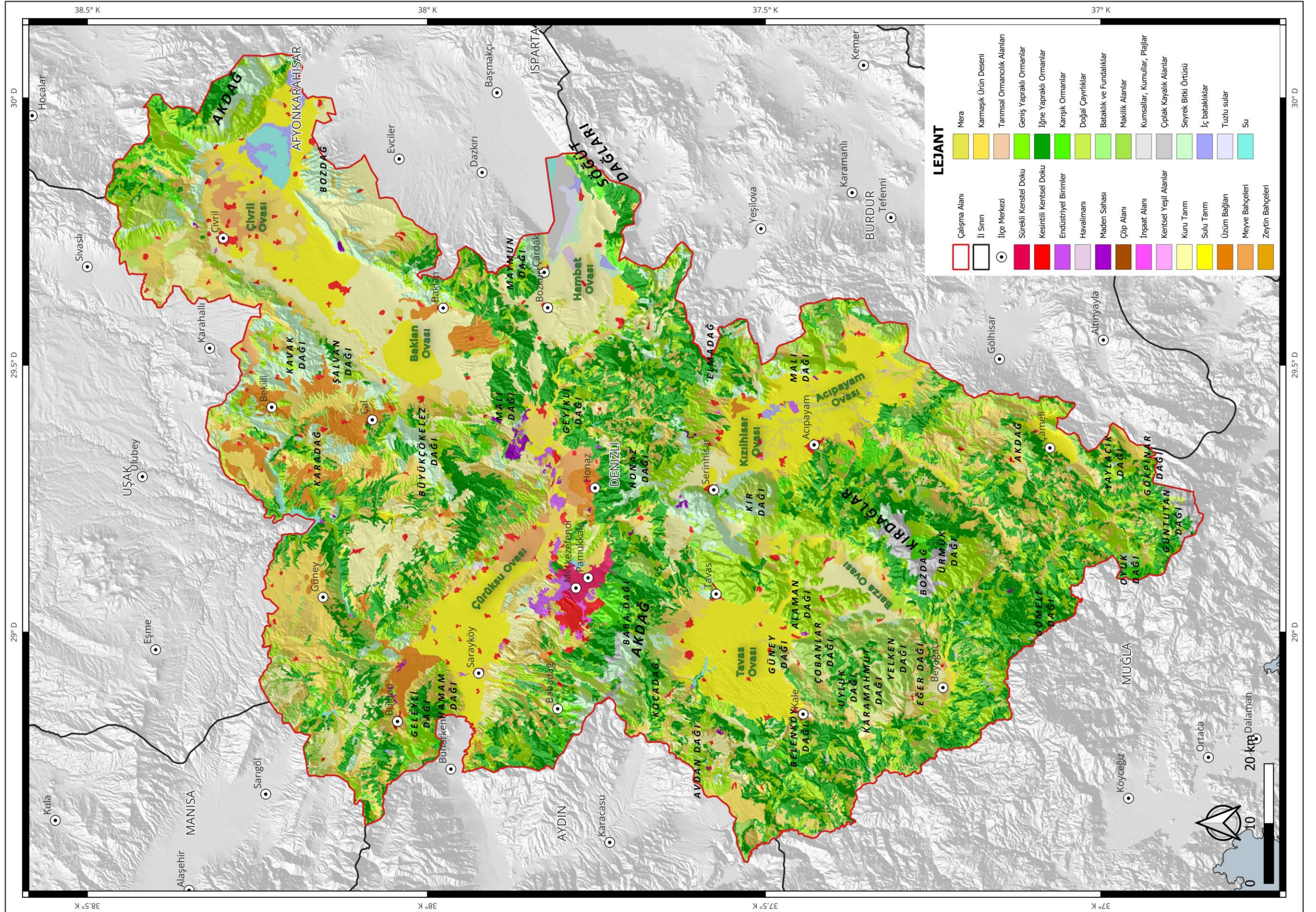
çevrelerine göre daha soğuk ve nemli olabilirken, güneye bakan yamaçları daha sıcak ve kurak olabilir. Bu farklılıklar, dolin ve uvalaların yamaçlarında ve tabanlarında farklı bitki türlerinin yetişmesine olanak tanır (Aras, 2022).

Yukarıda sayılı nedenlerle bitkiler ile karstik depresyonlar arasında karşılıklı bir ilişki kurulmaktadır. Dolin ve uvalalar, bitkilerin gelişimini destekleyen nemli ve korunaklı alanlar oluştururken bitkiler de karbonik asit oluşumunu destekleyerek karstlaşmanın hızlanmasını sağlarlar. Çalışma sahasında yer alan Küçükdağ üzerinde dolin ve uvalalar ile ardıç ağaçları (*juniperus*) arasında bu nevi bir ilişki söz konusudur. Arazi çalışması sırasında bu depresyonların içinde bitki örtüsünün gürleştigi ve bu alanlarda yüksek miktarda organik kalıntıların biriktiği görülmüştür (Şekil 23).



Şekil 23. Küçükdağ üzerinde bulunan dolin ve uvalalar ile ardıç ağaçlarının ilişkisi (Fotoğraf 1570 m yükseltide doğuya doğru çekilmiştir)

Çalışma alanında karstlaşmanın etkili olduğu Akdağ (Merkez), Akdağ (Çivril), Bozdağ, Büyükçökelez Dağı, Güntutan Dağı, Honaz Dağı, Kırdaglar, Kır Dağı, Malı Dağı (Çal), Malı Dağı (Acıpayam) ve Söğüt Dağları tarım alanlarının ve yerleşimlerin seyredildiği, doğal bitki örtüsünün ön plana çıktığı alanlardır (şekil 24). Söz edilen dağlarda alçak seviyelerde maki bitki örtüsü hâkim iken yüksek kesimlerde iğne yapraklı ağaçlar yaygın bulunmaktadır. Alaman Dağı, Kır Dağı ve Malı Dağı (Acıpayam) orman örtüsünün yokluğu ile dikkat çekmektedir. Buna karşılık Akdağ (Merkez), Güntutan Dağı ve Kırdaglar yoğun iğne yapraklı ormanlara sahiptir (şekil 24).



Şekil 24: Denizli Arazi Örtüsü Haritası (CLC 2018)

3.6. Zaman

Zaman, karstlaşma sürecinin ve karstik yer şekillerinin oluşumu ile gelişiminde temel bir faktör olarak kabul edilir (Culver & White, 2005). Yer şekilleri, doğadaki diğer tüm oluşumlar gibi, belirli bir zaman dilimi içinde oluşur, gelişir ve yok olur; karstik şekiller de bu durumdan bağımsız değildir.

Karstik şekiller, oluşumdan bugüne kadar geçen süreçte gelişir, olgunlaşır, yaşlanır ve zamanla yok olurlar bazı durumlarda da mağaralardaki karstlaşma süreçleri sekteye uğrayabilir. Araştırma alanındaki Dereköy Mağarası gibi yüksek kesimlerde yer alan fosil mağaralar, karst taban düzeyi ile mağaranın yükseltisi arasında bir fark oluştuğunu göstermektedir. Dereköy örneğinde bu farkın sebebi tektonizma olarak değerlendirilmektedir.

Karstlaşmanın ve mağaraların gelişimi çevrelerindeki akarsu aşındırmasından etkilenmektedir. Çalışma sahasında bulunan Karakaya ve Kurtlar doğal köprüleri bu şekilde yıkılmış mağaraların kalıntıları durumundadır.

3.7. İnsan Etkisi

İnsan faaliyetlerinin karstlaşma üzerindeki etkisi çok yönlüdür. Hızlandırıcı, yavaşlatıcı veya değiştirici etkileri olabilir. Şehirleşme gibi insan faaliyetleri, geçirimsiz yüzeylerin artmasına ve yüzey suyu akışının hızlanmasına neden olabilir. Bu durum, karstik bölgelere allojenik su girişini artırarak karstlaşmayı hızlandırabilir (Ford & Williams, 2007). Ayrıca, yüzey suyu borularından sızan sular ve kanalizasyon sızıntıları, zemine nüfuz ederek karstlaşma süreçlerini yoğunlaştırabilir ve yeni dolinlerin oluşmasına yol açabilir (Fleury, 2009).

Çalışma alanında yer alan Barz, Kızılca, Tavas ve Acıpayam Ovaları çevreleri çözünebilir kayalarla çevrili önemli karstik alanlardır (Tuncer, 2021; Akpınar ve Atayeter, 2023). Bu ovalar aynı zamanda Denizli'nin önemli tarım alanları arasında yer almaktadır. Bu sebeple polyelerin karakterine uygun olarak göl ve ova arasındaki zamansal dönüşümler ekonomiye zarar vereceğinden tamamının drenaj sistemlerine müdahale edilmiş ve bulunan düdenlerin pek çoğu ıslah edilmiştir. Acıpayam Ovası'nda 1800'lü yılların sonuna kadar haritalarda yer bulan sulak alanlar kurutulmuştur. Bugün Acıpayam ilçe merkezinin kuzeydoğusunda yer alan Ucarı Göleti ovanın orijinal görüntüsünün bir anımsatıcısı niteliğindedir.

Ocak faaliyetleri, karstik kayaların ve minerallerin doğrudan çıkarılmasını içerir. Bu durum, doğal karstik yer şekillerinin doğrudan tahribatın ve arazi yapısının büyük ölçekte değiştirilmesine neden olabilir. Mağaralar gibi yer altı boşlukları da ocak faaliyetleri sırasında fiziksel olarak tahrip edilebilir (Beynen, 2011). Benzer bir tehlike çalışma alanında yer alan Zırtlantaşı ve Çalçakırlar mağaralarında yaşanmıştır. Neyse ki iki örnekte de süreç maden işletmelerinin faaliyetlerini durdurması ve mağaraların koruma altına alınması ile sonuçlanmıştır. Aşağıdağdere Mahallesi'nde yer alan Dereköy Mağarası ise yine traverten ocaklarından kaynaklanan farklı bir tehlike ile karşı karşıyadır. Aynı zamanda mağaranın eteklerinde yer aldığı Kelkaya Tepesi bir taş ocağına ev sahipliği yapmaktadır. Mağara halihazırda belirlenmiş olan bir sit alanının içinde yer almasına rağmen yakınlarda bulunan traverten ocağı ve taş ocağının yol açtığı tozlar mağaraya girerek buradaki stabil ortamda çökelmektedir. Günümüzde bu tozun kalınlığı bazı alanlarda 30 cm'yi geçmektedir. İnce yapılı, en ufak harekette kalkan ve dakikalarca havada kalan, yüzeyde suyun emilmesine engel olan bu toz katmanı şüphesiz mağara ekosistemine zarar vermektedir.

Mağaraların turizme açılması, karstik sistemler üzerinde hem olumlu hem de olumsuz etkilere sahip olabilir. Turizm, bölge ekonomisine katkı sağlayabilir ve mağaraların ve karstik alanların korunması konusunda kamuoyu bilincini artırabilir. Ancak mağaraların turizme hazırlanması ve yoğun ziyaretçi trafiği, mağara ortamında geri döndürülemez değişikliklere yol açabilir (Beynen, 2011).

Mağara içindeki yolların, platformların ve aydınlatma sistemlerinin inşası, mağaranın doğal yapısını fiziksel olarak değiştirebilir. Aydınlatma sistemleri, fotosentetik organizmaların (lampenflora – lamba florası) aşırı büyümesine neden olabilir, bu da mağara duvarlarını ve sarkıt-dikit gibi oluşumları kaplayarak estetik görünümü bozar ve doğal süreçleri etkiler (Beynen, 2011). Keloğlan Mağarası'nda bu durum aktif olarak yaşanmaktadır. Mağaranın içerisinde gün ışığının asla ulaşamadığı alanlarda aydınlatma sisteminin etkisi ile oluşmuş olan lamba florası mağara ekosistemine zarar vermekte ve damlataşların rengini bozmaktadır (şekil 25). Kaklık Mağarası geniş ve yukarıya bakan ağzından dolayı hali hazırda bol miktarda güneş ışığı aldığı ve bitki örtüsü ile kaplı olduğu için böyle bir tehlikeye sahip değildir.



Şekil 25. Keloğlan Mağarası'nda aydınlatma sistemlerinin çevresinde gelişen lamba florası

Yoğun ziyaretçi trafiği, mağara zeminindeki sedimentin sıkışmasına, mağara faunasının zarar görmesine ve hatta bazı türlerin ortadan kalkmasına neden olabilir (Beynen, 2011). Kaklık ve Keloğlan Mağaraları'nda halihazırda yapay yürüyüş yolları bulunur ve ziyaretçilerin bu yolların dışına çıkmasına müsaade edilmemektedir. Bu sebeple mağara zeminine verilen zarar sabit ve kalıcıdır. Ancak Kaklık Mağarası'nda bunun tersine bir durum yaşanmaktadır. Mağarada traverten oluşumu çok hızlı olduğu için yürüyüş yolları büyük ölçüde travertenler ile kaplanmış ve doğal ortama uyum sağlamıştır. Ziyaretçilerin nefesleriyle ortama saldıği karbondioksit, mağara atmosferinin kimyasını değiştirebilir ve özellikle hassas mağara oluşumlarına zarar verebilir (Ford & Williams, 2007). Bazı durumlarda, vandalizm sonucu sarkıt ve dikitlerin kırılması veya çalınması da mağara değerlerini olumsuz etkiler (Beynen, 2011). Her iki mağarada da ziyaretçilerin verdiği zarara dair izler görmek mümkündür ve çevrede uyarıcı işaretler bulunmaktadır. Ayrıca Keloğlan Mağarası vandalizme karşı güvenlik kameraları ile izlenmektedir.

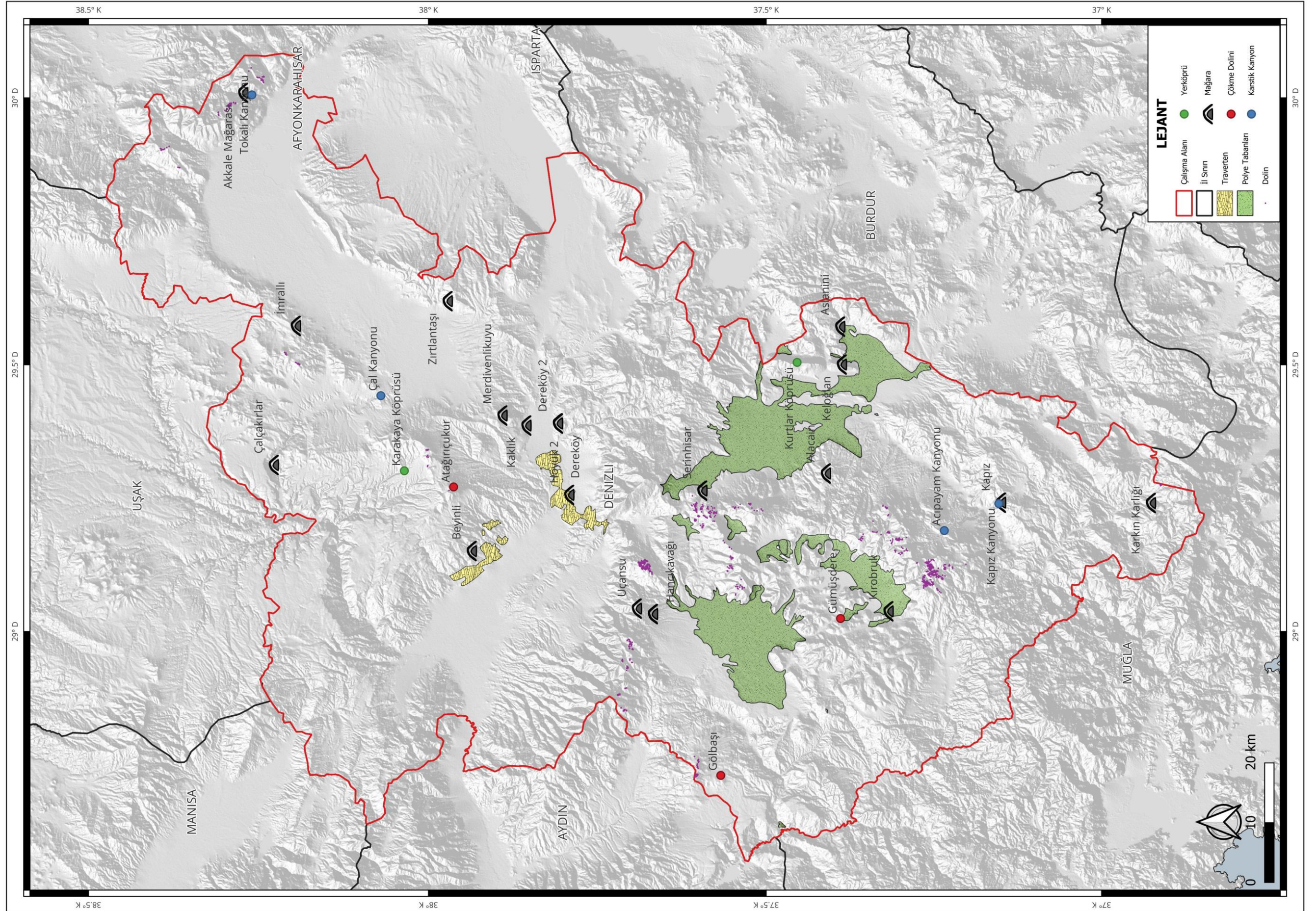
DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

DENİZLİ’NİN KARST JEOMORFOLOJİSİ

Bu bölümde Denizli’de karst topoğrafyasını oluşturan ve sahada karstik süreçler sonucunda meydana gelen karstik aşınım ve birikim şekilleri incelenmiştir. Denizli’de karstlaşmaya uygun alanlarda lapyra, dolin, uvala, düden, mağara, doğal köprü, karstik kanyon ve polye gibi tüm karakteristik karst aşındırma şekillerine rastlanmıştır. Traverten, tufa, sarkıt, dikit, sütun, mağara bulutu, mağara incisi gibi birikim şekilleri ise Çürüksu Grabeni kenarlarında ve mağaralarda yoğunlaşmış olarak bulunmuştur (bkz. şekil 26).

4.1. Karstik Aşınım Şekilleri

Denizli’de bulunan karstik araziler geniş bir yeryüzü şekli yelpazesi sunmaktadır. Denizli’nin farklı karakterdeki arazileri üzerinde çözünme dolini, çökme dolini, doğal köprü, mağara, karstik kanyon gibi şekiller farklı yoğunluk ve kompozisyonlarda bulunmaktadır. Kırdağlar, Bozdağ, Ortaca Dağı ve Akdağ gibi yüksek alanlarda dolinlere rastlanırken, akarsu yataklarının, çözünmeye uygun kayaçların üzerinden geçtiği alanlarda Acıpayam, Kapız, Çal ve Tokalı gibi kanyonlara rastlanmaktadır. Çürüksu Havzası içerisinde bulunan kendine has tektonizma – karst ilişkisinde de Kocarhamam ve Dereköy 2 gibi jeotermal suların çıktığı kaynaklar ve mağaralar ile Kaklık ve Kelkaya gibi suların yeniden yer altına indiği düdenler bulunmaktadır (bkz. şekil 26).



Şekil 26: Denizli'de Karstik Şekillerin Dağılışı

4.1.1. Doğal Köprü

Karstik alanlardaki doğal köprüler mağara tavanının bir bölümünün hala varlığını sürdürürken, geri kalan kısmının çökmesi ile oluşurlar (Bayrakdar, 2018). Arazi taramaları sırasında çalışma alanında iki adet doğal köprü tespit edilmiştir. Bunlardan ilki Acıpayam ilçesine bağlı Kurtlar Mahallesi'nin yaklaşık 3 km güneybatısında Malı Dağı (Acıpayam) üzerinde bulunan Kurtlar Köprüsü'dür. Bu doğal yapının altındaki geçit 2,4 m genişliğinde ($a - a'$) ve 1,4 m yüksekliğindedir ($b - b'$). Yapının toplam yüksekliği ise 5,6 m'dir (şekil 27).



Şekil 27. Kurtlar Köprüsü'nün 3B modelinden elde edilmiş bir kesit

Diğer bir doğal köprü ise Çal'ın Karakaya Mahallesi'nin yaklaşık 650 metre kuzeydoğusunda Orta Triyas – Jura yaşlı mermerler üzerinde yer alan Karakaya Köprüsü'dür. Çevresinde pek çok dik kayalık alan bulunan doğal köprü'nün altındaki geçit 4 m uzunluğa, 4 m genişliğe ve 3 m yüksekliğe sahiptir. Alan günümüzde köylüler tarafından arıcılıkta kullanılmaktadır (şekil 28).



Şekil 28. Karakaya Köprüsü ve çevresindeki arı kovanları (Fotoğraf KB'da GD'ya doğru çekilmiştir)

4.1.2. Dolinler

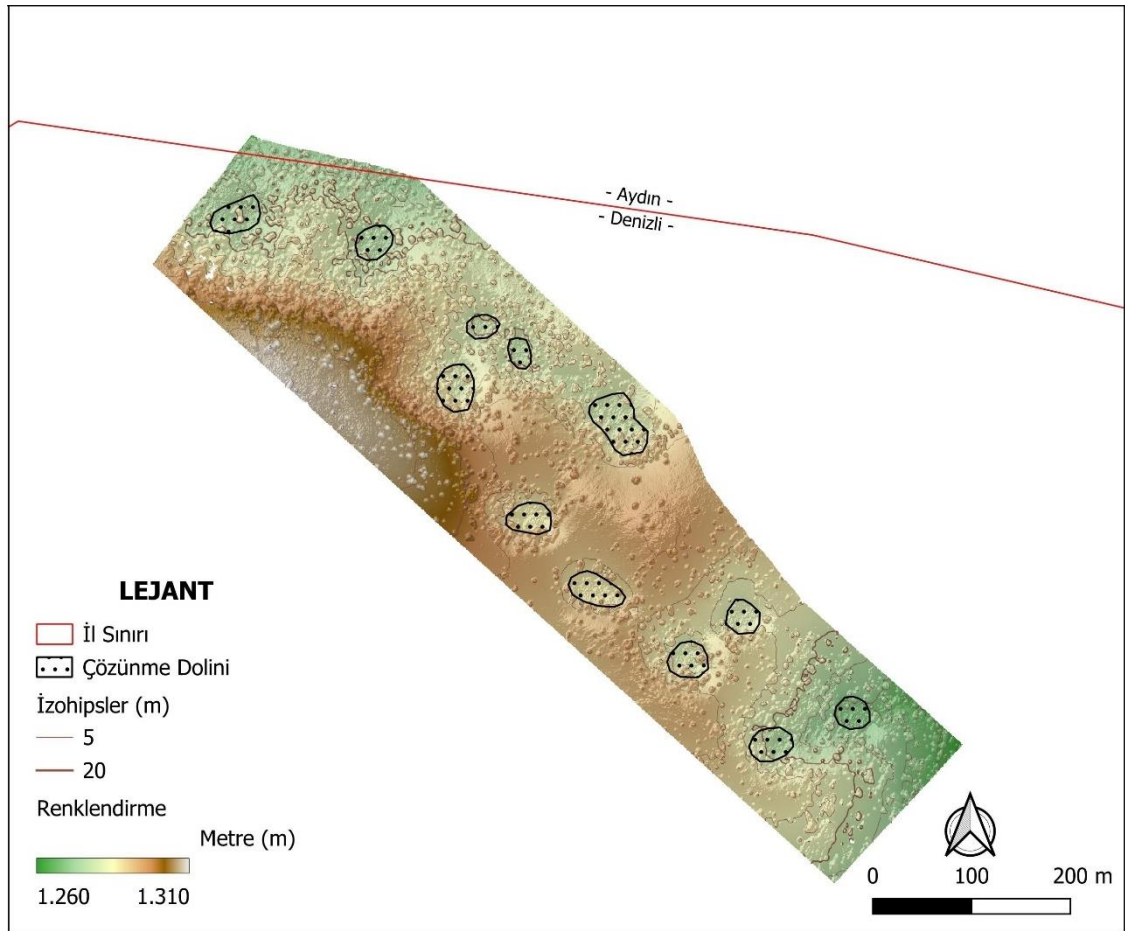
Delikli karst örneklerine çalışma alanında Bozdağ, Kırdaglar ve Akdağ (Çivril) gibi alanlarda rastlanmıştır (bkz. Harita 9).

Bazı dolinler iç içe geçmiş morfolojik özellikler gösterebilirler ve tektonizma ile yapısal hatların etkisiyle şekillenebilirler. Örneğin Hancıkavağı mağarasının ağzı bir çökme dolini ile yüzeye açılır, Buruk Düdeni'ni giriş kısmı Barz Polyesi üzerinde oluşmuş bir humun kenarındaki çökme dolinidir, Kaklık Mağarası'nın örtü kayası çökmesi ile oluşmuş üç girişi bulunmaktadır ve bu girişlerden iki tanesi su girişi sayesinde düden özelliği göstermektedir.

Kale'nin Gölbaşı Mahallesi'nde, Aydın – Denizli il sınırı yakınlarında, Küçükdağ'da, Jura – Kretase yaşlı mermerler üzerinde oluşan çözünme dolinlerinin arazinin yapısal özelliklerinden dolayı KB – GD yönlü bir doğrusallık gösterdiği tespit edilmiştir (bkz. şekil 29).

Çalışma alanında yeralan Atagırıcukur, Gölbaşı ve Gümüşdere, çökme dolinleri özellikle boyutları ile ön plana çıkmaktadır. Bu çökme dolinleri, genişliklerinin 300 m'yi bulması bakımından Şahinci'nin belirttiği (1991) dolin oluşum ve gelişim safhaları içerisinde makrodolin sınıfına girmektedirler.

Bir bölgedeki karstik kayaçların yaşadığı tektonik hareketler karstlaşma üzerinde oldukça etkilidir. Fay ve çatlak sistemlerinin sıklığı, boyutu ve derinliği potansiyel çözünme zonlarına karşılık geldiğinden, yüzey ve derinlik karstlarının şekilleri farklı boyut ve biçimlerde gelişme fırsatı bulur. Küçükdağ üzerinde bulunan dolinlerde görüldüğü gibi (şekil 29) arazideki karstik aşınım şekillerin izlediği doğrusallıklar; fayların varlığını tabakaların yönelimlerini ve çatlak sistemlerini işaret edebilmektedir. Küçük faylar, tektonik eklemler ve stratigrafik tabakalaşma düzlemleri ile akiferin çatlak porozitesine katkıda bulunur. Karst kanalları ve mağara sistemleri genellikle fay, eklemler ve tabakalanma düzlemleri ağını takip eder.



Şekil 29: Küçükdağ Çözünme Dolinleri

4.1.2.1. Gümüşdere Çökme Dolini

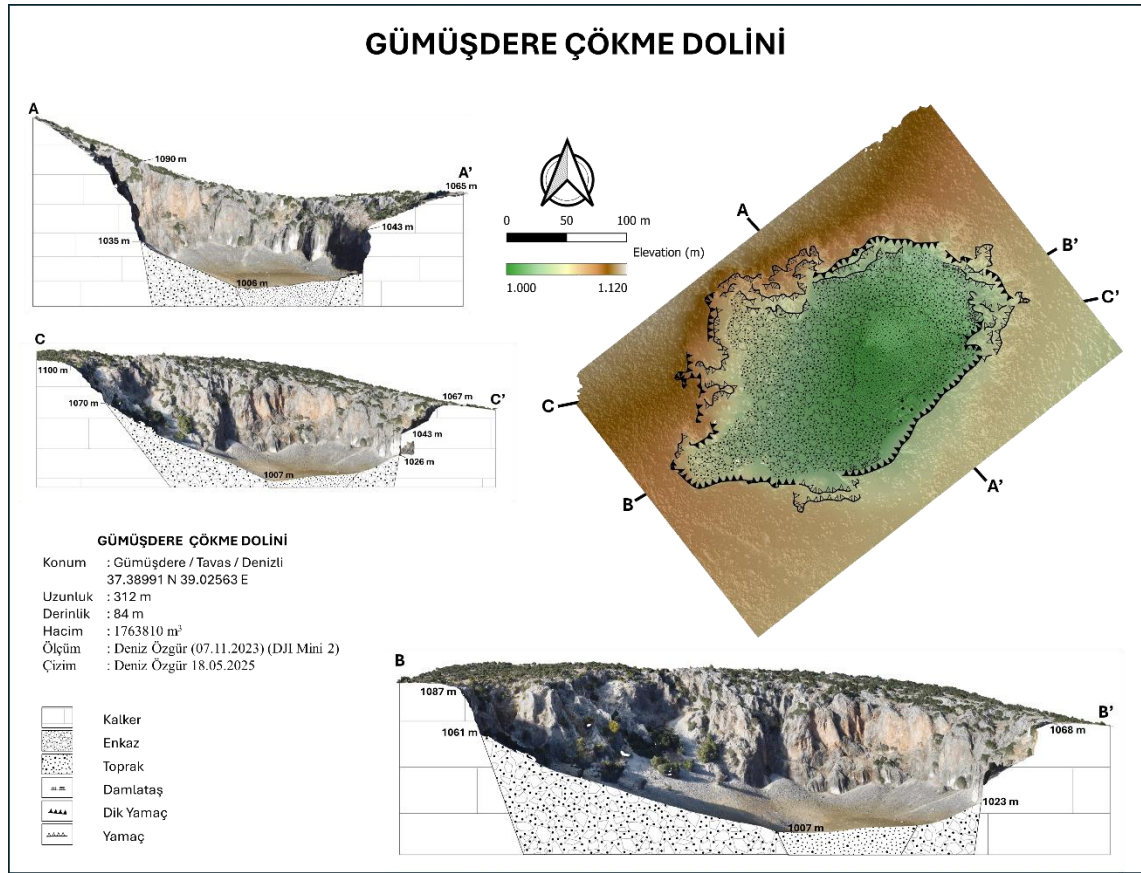
Tavas'ta Gümüşdere köyünün yaklaşık 2 km kuzeybatısında yer alan Gümüşdere Çökme Dolini, algi kireçtaşı, dolomitik kireçtaşı ve dolomitlerden oluşan Ağaçalı formasyonu üzerinde gelişmiştir. Oluşumu, bölgedeki morfolojinin birden fazla gençleşme geçirmesi sonucu eski bir mağara boşluğunun tavanının çökmesine bağlıdır. Çöküntüyü çevreleyen duvarlarda eski mağaradan kalma örtü damlataşlarının ve mısır

patlağı (popcorn) yapılarının bulunması, bu eski mağaranın varlığını kanıtlamaktadır. Gümüşdere Çökme Dolini çalışma sırasında yapılan gözlemlerde kuru olmasına rağmen yağışlı yıllarda suyla dolduğu bilinmektedir (Tuncer, 2023) (şekil 30).

Çalışma kapsamında fotogrametri yöntemi ile oluşturulan 3B model üzerinde yapılan ölçümler sırasında Gümüşdere Çökme Dolini'nin; giriş yükseltisi 1066 m, en derin noktası 1006 m, en yüksek noktası 1107 m, en geniş kesiti 326 m, hacmi ise 1763810 m³ olarak tespit edilmiştir (bkz. şekil 31).



Şekil 30: Gümüşdere Çökme Dolini



Şekil 31. Gümüşdere Çökme Dolini'ne ait morfometri haritası ile 3B model görünümleri.

4.1.2.2. Atağırıçukur

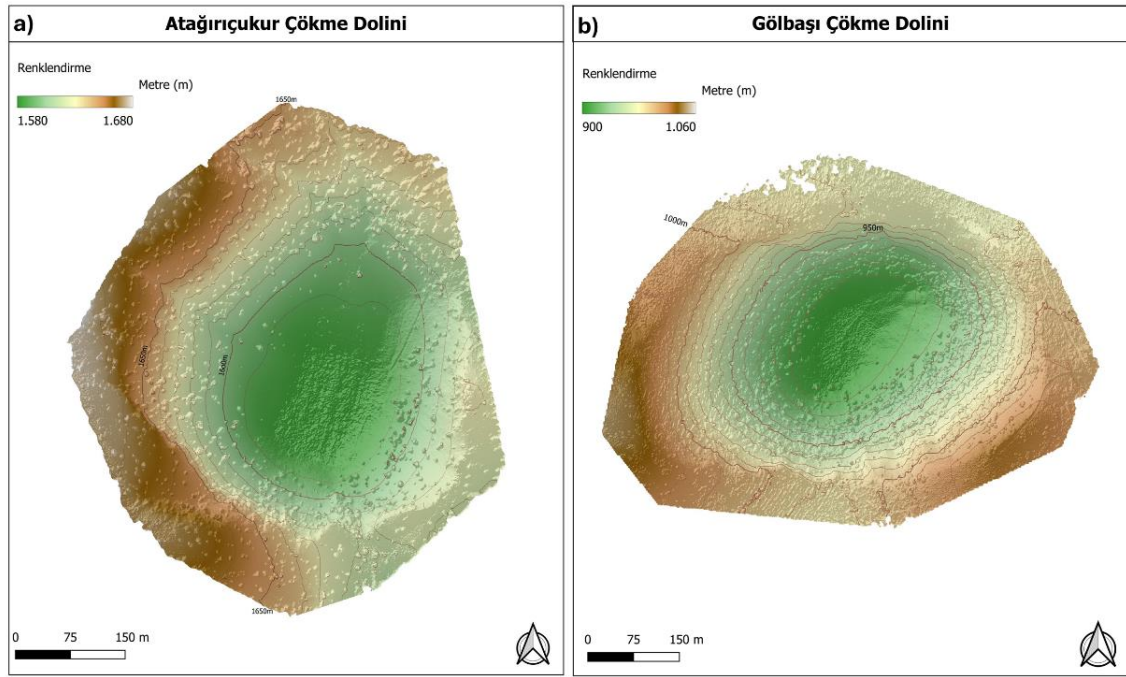
Çal'da Çökelez Dağı üzerinde Küçükçökelez Tepesi'nin 1 km güneydoğusunda Orta Triyas – Jura yaşlı mermerler üzerinde oluşmuştur (bkz. şekil 32). En derin noktası 1582 m, en yüksek noktası 1670 m'dir. En geniş kesiti 501 m, derinliği ise 98 m'dir. Güneybatı kesimi kayalıktır ve eğimi fazladır. Kuzey kesiminde ise iki kolu belirginleşmiş bir akarsu ağı kurulmaya başlamıştır (bkz. şekil 33a).



Şekil 32: Atağırıçukur Çökme Dolini

4.1.2.3. Gölbaşı Çökme Dolini

Gölbaşı Çökme Dolini Kale'nin Gölbaşı Mahallesi'nin 3 km kuzeybatısında Jura – Kretase yaşlı mermerler üzerinde oluşmuştur. En derin noktası 902 m, en yüksek noktası 1142 m'dir. En geniş kesiti 675 m, derinliği ise 150 m'dir (şekil 33b). Kuzey yamacı görece daha dik ve bitki örtüsünden yoksundur. İçerisindeki yamaçları yoğun maki ile kaplıdır. Güneybatı ucunda, en yüksek kenarının bulunduğu alanda Gölbaşı muhtarlığında yaptırılan bir çardak ve piknik masaları bulunur.



Şekil 33. Atağırıçukur (a) ve Gölbaşı (b) çökme dolinlerinin morfometri haritaları

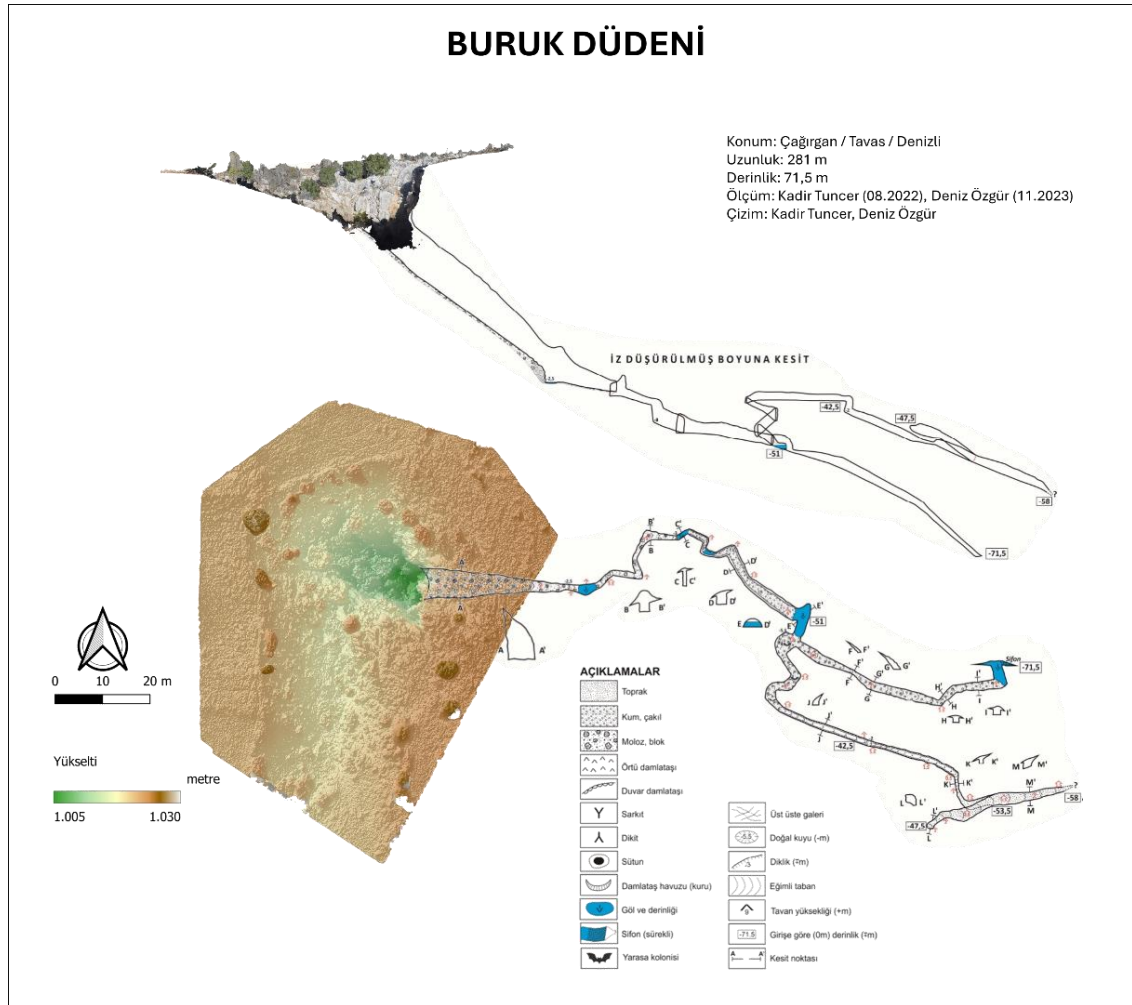
4.1.3. Düden (Subatan /Ponor)

Çalışma alanı düdenler bakımından zengin bir manzara sunmaktadır. Denizli'nin güneyindeki polye alanlarında Neritik ve Pelajik Kireçtaşları içerisinde havzaların sularını yer altı sistemlerine ileten subatanlar bulunurken Çürüksu Havzası'nda genellikle travertenler ve tufalar içerisinde oluşmuş daha yerel ve daha geçici subatanlar bulunmaktadır.

Karstik ve karstik olmayan kayaların sınırlarında, allojenik akarsuların devamı niteliğinde subatanlar ve kör vadiler oluşabilir (Veress, 2020). Çalışma alanında genellikle polye tabanlarında düdenlere rastlanmıştır. Örneğin Barz Ovası'nın güney kesiminde bir humun batı kenarında Buruk Düdeni bulunmaktadır. Düdenin ilişkili olduğu yer altı mağara sistemi, fay yarığı boyunca uzanan dar bir koridor olup duvarlarında basınçlı akımın izleri olan küçük çözünme cepleri bulunmaktadır. Bu koridorda zaman zaman meydana gelen basınçlı ve girdaplı akış nedeniyle damlataş oluşumu gözlenmemektedir (Tuncer, 2023). Kızılca Polyesi içerisinde Kızılca Sağlık Ocağı bahçesinde yer alan iki düden ile polyenin güneyindeki Kızılca Düdeni'nin ise giriş ağzları beton duvarlarla örülüp demir kafeslerle örtülmüştür. Hidrolojik özelliklerine göre Kızılca sadece yağışlı dönemlerde çalışan yarı aktif bir düden iken Buruk Düdeni, Barz Ovası tabanındaki drenaj ağı tarım arazileri ve sulama kanalları ile bozulduğu için fosil bir düden konumundadır (Tuncer, 2021).

3.1.3.1. Buruk Düdeni (Kırobruk)

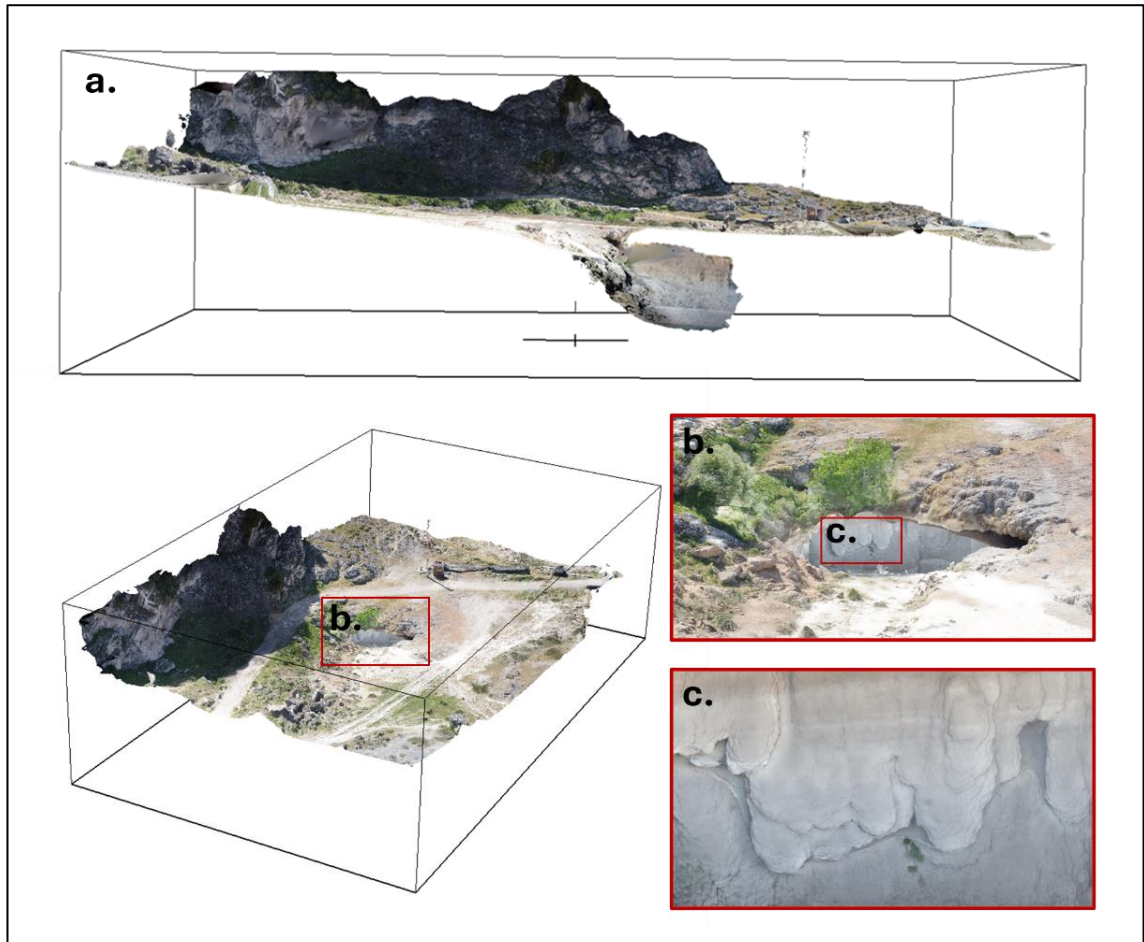
Barz Polyesi'nin güneyinde, bir humun batı kenarında Orta Triyas – Kretase yaşlı Neritik Kireçtaşları içerisinde gelişmiştir. Yağışlı dönemlerde polyeye toplanan fazla suları boşaltan bir düdendir. Düdende ilk araştırmalar 2002 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Mağara Araştırma Kulübü (DEÜMAK) tarafından gerçekleştirilmiştir. Düdenin bir fayı takip ederek ilerlediği tespit edilmiştir. Bu çalışmalar sırasında yaklaşık 50 metre derinlikte bir sifon ile karşılaşmış ve daha fazla ilerlenememiştir (Büyüktopçu, Baykara, & Aydemir, 2002). Tuncer tarafından 2022 yılında yapılan ölçümler sırasında su seviyesinin alçaldığı görülmüş ve sifon geçilerek 71,5 m derinliğe kadar ulaşılabilmiştir. Ancak mağara burada tekrar bir sifonla tıkanmaktadır (Tuncer, 2023). Arazi çalışması sırasında fotogrametri yöntemi ile düdenin ağzının sayısallaştırılmış yükselti modeli oluşturulmuştur. Bu model ile Tuncer'in 2023'teki haritası üst üste oturtulduğunda mağaraya dökülen akarsuyun yatağı net şekilde görülmektedir (şekil 34).



Şekil 34. Buruk Düdeni izdüşürülmüş kesiti (üstte) üzerinde oturtulmuş 3B model kesiti ve plan üzerine oturtulmuş morfometrei haritası (altta) (Tuncer, 2023'ten düzenlenerek)

4.1.3.2. Kelkaya Düdeni

Honaz'ın Aşağıdağdere Mahallesi'nin 500 m batısında Kuvaterner yaşlı traverten içinde yer alır. Hemen güneyinde Kelkaya Tepesi'nin eteklerindeki mevkiilerin adlarının “Düdenpınar” ve “Yerçepınar” olması anlamlıdır. Bu alandaki yamaçlarda ağızları düzenlenmiş iki adet su kaynağı bulunmaktadır. Aynı zamanda düdenin 200 m doğusunda eğim atımlı normal fay üzerinde yer alan Dereköy 2 Mağarası'ndan su çıkışı mevcuttur. Dereköy 2 Mağarası'nın yukarı kotunda ise içerisinde traverten kalıntıları bulunan ve fosil bir mağara olan Dereköy Mağarası yer alır. Kelkaya Düdeni yakın çevresinden toplanan ve kireç bakımından zengin suların yer altı drenajına katıldığı noktayı oluşturur (şekil 35a; 35b) ve kendi de bu suların etkisi ile traverten ve karnabahar gibi zengin mağara oluşumlarına sahiptir (şekil 35c).

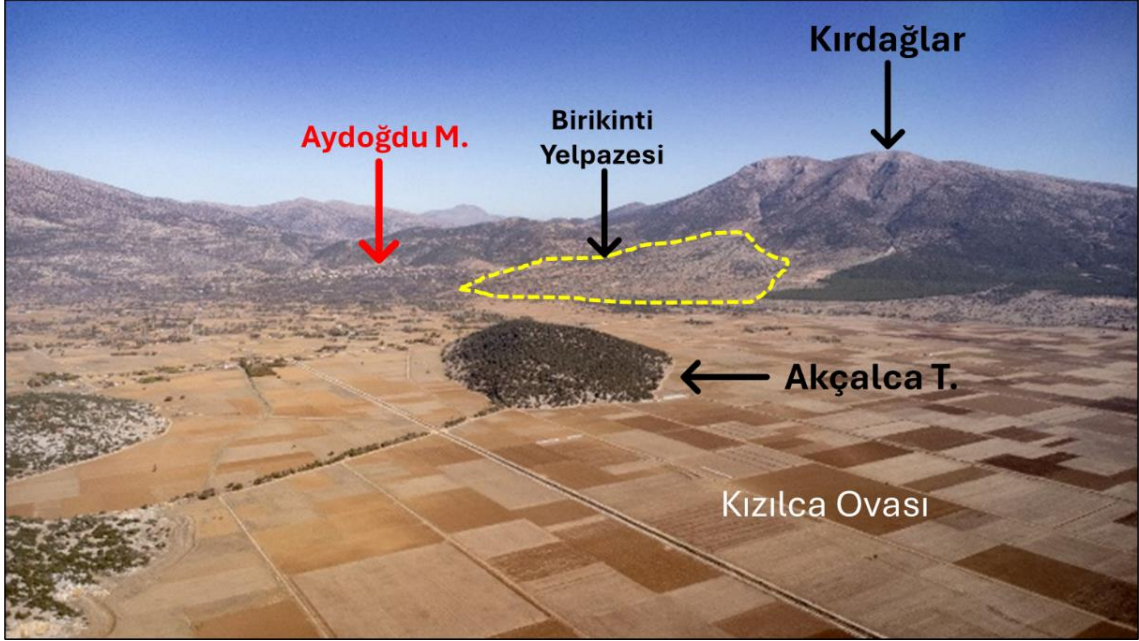


Şekil 35. Kelkaya Düdeni'nin görünümü (a)(kuzeyden güneye görünüm), düdenin girişi (b), düdenin iç duvarlarındaki karnabahar oluşumları (c)

4.1.4. Hum

Polye tabanlarında aşınmadan ardakalmış tek tepeler bulunur. Bu tepelere dinar (*dinaric karst*) karstında *hum* denir (Erinç, 2015). Anadolu'daki polyelerde bulunan

tepelere çok kez adatepe denildiği görülmüştür. Zaman zaman suyla dolarak göl görünümü alan ve gölova adıyla anılan polyelerin ortasındaki humlara adatepe adı verilmesi dikkate değerdir. Çünkü bu oluşumlar polye sular altındayken ada, kuru halde iken ise tepe görünümündedirler (Alagöz, 1944). Çalışma alanında yer alan Kızılca Ovası içerisinde bulunan Akçalca Tepe karakteristik bir hum görünümündedir (şekil 36).



Şekil 36. Kızılca Ovası'nın genel görünümü (Fotoğraf 1400 m yükseklikte GB'dan KD'ya doğru çekilmiştir)

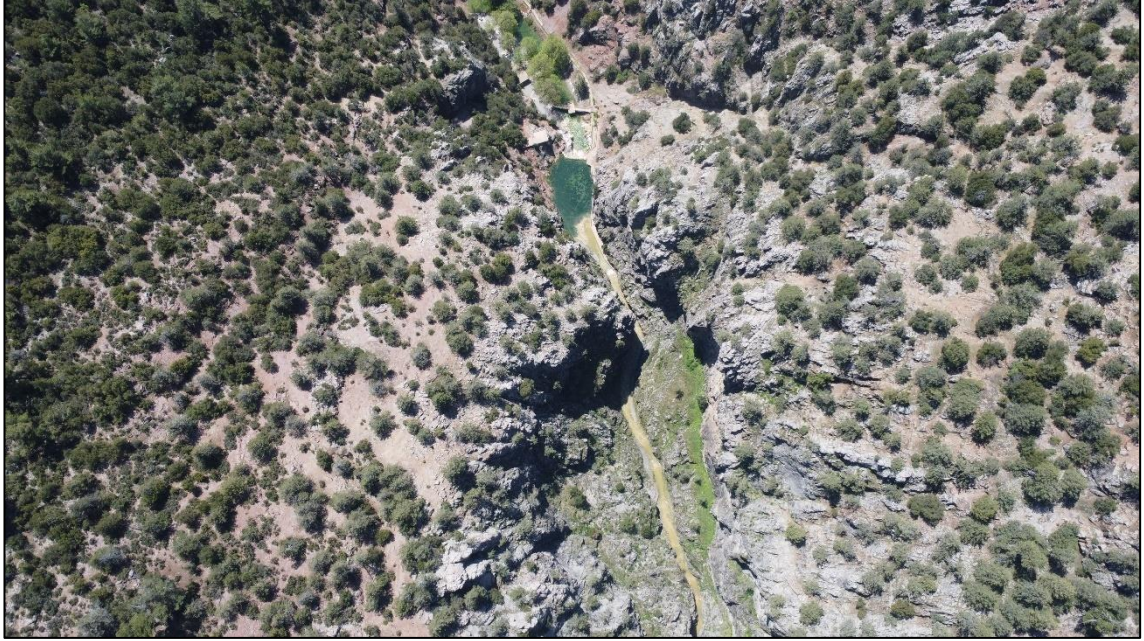
4.1.5. Kanyon

Karst sahalarında gelişen akarsu vadileri genellikle kanyon özelliğindedir ve yamaçları diktir (Erinç, 2015). Kanyonlar yana aşındırmanın zayıf, derine aşındırmanın ise şiddetli olduğu şartlarda, geçirgen kalkerli kayaların kalın olduğu yerlerde gelişirler. Orta ve Batı Toroslar çevresinde bu tip vadilere “kapız” denir (İzбірak, 1977). Denizli’de de bu kullanım oldukça yaygındır. Çalışma alanının özellikle güney kesiminde “kapız çayı”, “kapız deresi”, “kapız kanyonu” ve “kapız şelalesi” gibi yer adı kullanımlarına sıkça rastlamak mümkündür (Örneğin; Kapız Kanyonu, Kapız Mağarası, Kapızdeğirmeni Mevkii).

4.1.5.1. Acıpayam (Benlik) Kanyonu

Acıpayam ilçe merkezinin 25,5 km güneybatısında Üst Senoniyen yaşlı Pelajik Kireçtaşları içerisinde oluşmuştur. Bozdağ’dan kaynağını alan ve Dalaman Çayı’nın bir kolu olan Çatak Deresi’nin kazdığı antesedan yapıda bir vadide yer alır. Çatak Deresi havzası Acıpayam Kanyonu’nun yukarı ve aşağı kesiminde genişlerken pelajik

kireçtaşları içerisinde dar ve derin bir kanyon oluşturmuştur (şekil 37). Şelaleleri, çeşitli büyüklüklerdeki göletleri, turkuaz rengi suları ile dikkat çeken kanyon bölge için önemli bir doğal güzellik olmasının yanı sıra bölgenin ekoturizm potansiyelini de artırmaktadır (Akşit vd., 2024). Kanyon, turizme açıktır ancak kanyon içerisindeki yürüyüş yolu güvenlik sebebiyle kapatılmıştır.



Şekil 37: Acipayam Kanyonu

4.1.5.2. Çal Kanyonu

Çal Kanyonu, Çal ilçe merkezinin 3,6 km güneydoğusunda Orta Triyas – Jura yaşlı Mermer’ler içerisinde oluşmuştur. Baklan Ovası içerisinde ova ile aynı seviyede akan Büyük Menderes, Çal Kanyonu’ndan itibaren belirgin şekilde yatağını derinleştirmeye başlar. Çal Kanyonu içerisinde yaklaşık 3,5 km uzunluğundaki bir alanda dik ve dike yakın yamaçlar arasında ilerleyen bir gömük menderes yapısı izlenir. Mermerlerin üzerinden ayrıldıktan sonra ise vadi yamaçları birbirinden uzaklaşmaktadır. Kanyon, turizme açıktır ve içerisinde bir yürüyüş yolu bulunur.

4.1.5.3. Kapız Kanyonu (Gireniz Vadisi)

Kapız Kanyonu, Acipayam ilçe merkezinin 32 km güneybatısında, Orta Jura – Kretase yaşlı pelajik kireçtaşları içerisinde yer alır. En alçak yeri 906 m, en yüksek yeri 1300 m yüksekliktedir. Yaklaşık 300 metre derinliğinde karstik bir kanyon özelliği gösterir. Yer yer eğim kırıklıkları, yükseklikleri 30 m’yi bulan şelaleler ve çağlayanlar bulunur. Kanyon’un güney yamacında ağız Roma – Bizans Dönemi’nde yapı ile

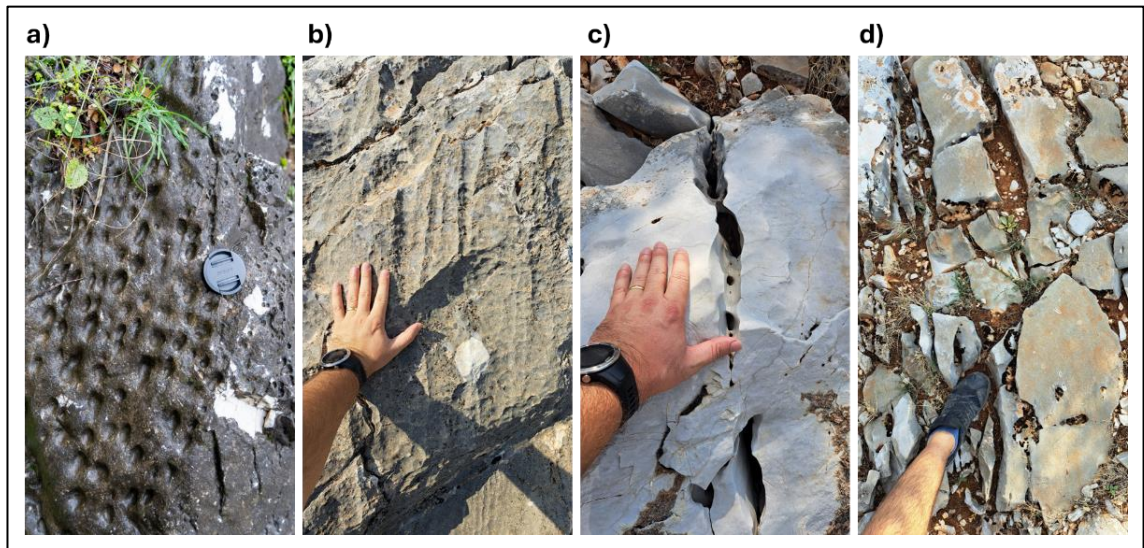
kapatılmış bir mağara bulunur. Şelaleleri ile doğal bir görsel güzelliğe ve turizm potansiyeline sahip olan kanyon, günümüzde yürüyüş gruplarının uğrak mekanları arasında sayılmaktadır.

4.1.5.4. Tokalı Kanyonu

Tokalı Kanyonu, Çivril ilçe merkezinin 24 km doğusunda, Orta Jura – Kretase yaşlı Pelajik Kireçtaşları içerisinde yer alır. Akdağ'ın kuzey kesiminden doğan Akçay Tokalı Kanyonu boyunca antesedan bir vadi oluşturarak Akdağ'ı doğu ve batı olarak ikiye bölmektedir. Kanyon içerisinde akarsu yatağının kenarında Akkale Mağarası bulunur. Kanyonun aşağısında ise Gümüşsu Mahallesi'nin de üzerine kurulu olduğu bir birikinti yelpazesi oluşmuştur. Bu birikinti yelpazesinin tüm kenarları sularla çevrili olması, eskiden daha büyük ve tek parça olan bir gölün kuzyebatıda Işıklı Gölü ve güneydoğuda Gökgöl Sazlığı olarak ikiye bölündüğünü düşündürmektedir. Kanyon günümüzde hem Afyon hem de Denizli'den gelen yürüyüş gruplarının uğrak mekanları arasındadır.

4.1.6. Lapyalar

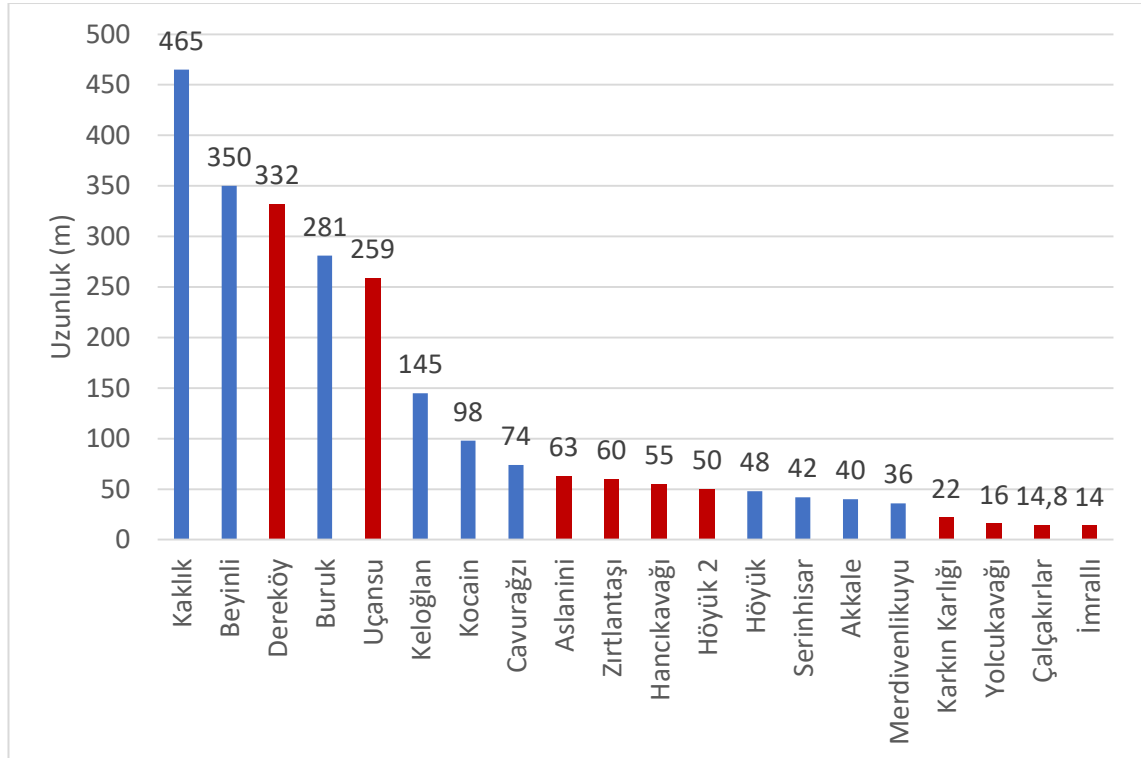
Çalışma sahasında, çözünebilir kayalar üzerinde en sık rastlanan şekillerden biri lapyalardır. Bazı alanlarda birkaç farklı tip bir arada bulunabilir. Arazi çalışmaları sırasında Tavas'ta Gümüşdere Çökme Dolini çevresinde delikli lapyalar (şekil. 38a), diyaklaz lapyaları (şekil 38c; 38d) ve Acıpayam'da Alacain Mağaraları çevresinde oluklu lapyalar (Şekil. 38b) tespit edilen örneklerden bazılarıdır.



Şekil 38. Denizli'de rastlanan lapyalı tipleri. a) Delikli Lapyalar, b) Oluklu Lapyalar, c) Diyaklaz Lapyaları, d) Olgun Diyaklaz Lapyaları

4.1.7. Mağaralar

Çalışma alanında yirmi adet ölçümü tamamlanmış mağara bulunmaktadır. Farklı biçim ve boyutlarda olan bu mağaraların içinde Kaklık Mağarası (Haydarbaba Düdeni) ve Buruk Düdeni gibi düden özelliği gösterenler, Hancıkavağı Mağarası ve Karkın Karlığı gibi ağzı çökme ile açılanlar, Höyük 2 Mağarası ve Çalçakırlar Mağarası gibi tufa depoları içinde oluşanlar vardır. Denizli’de yeni haritalanan 10 mağara ile bilinen toplam mağara uzunluğu 1579 m’den 2464 m’ye çıkarılmıştır (şekil 39).



Şekil 39: Denizli mağaralarının uzunlukları (metre) (mavi: önceki çalışmalar, kırmızı: yeni ölçümler)

Nazik (2008) “Mağaraların Araştırılma, Koruma ve Kullanım İlkeleri” adlı çalışmasında turizm amacıyla kullanılacak mağaralarda aranan temel özellikleri sıralamıştır.

1. Mutlak korunması gerekli şekil, yapı ve canlı bulunmaması
2. Can güvenliğini tehlikeye sokacak riskler taşıması
3. Kullanımdan kaynaklanacak yerel ve bölgesel kirlenmenin olmayacak olması
4. İlginç mağara içi şekil ve yapılara sahip olması
5. Mağaranın fiziki yapısının, insanların rahatlıkla gezmelerine olanak verecek boyutlarda olması
6. Ana yollar ve büyük yerleşim merkezlerine yakın olması

7. Mağara yakınında destek ünitelerinin kurulabileceği veya çevre düzenlemesinin yapılabilmesi için yeterli arazinin bulunması

Çalışma alanında bulunan Kaklık ve Keloğlan Mağaraları turizme açıktır. İki mağara da yöre halkı tarafından sevilen ve benimsenen duraklar haline gelmiştir. Diğer mağaralar turizm potansiyeli açısından değerlendirildiğine önce konumları göz önüne alınarak Aslanini Mağarası, Buruk Düdeni, Dereköy Mağarası, Höyük 2 Mağarası, Kapız Mağarası ve Zırtlantaşı Mağarası'nın ulaşım ağlarına yakın olduğu görülmüştür. Aslanini Mağarası damlataş oluşumlarına sahip olsa da girişinin darlığından dolayı turist ziyaretine uygun değildir. Bu durumun Keloğlan örneğindeki gibi ağzın genişletilmesi ile çözülmesi halinde dahi mağara uzunluğunun yalnızca 63,45 m olması mağaranın çekiciliğini düşürmektedir. Buruk Düdeni ise dikey girişi ve dar koridorları ile yalnızca profesyonel mağaracıların girişine müsaade etmektedir. Dereköy Mağarası konumu ve manzarası ile olumlu özellikler taşımaktadır. Ancak mağarada damlataş oluşumları son derece fakirdir ve tüm mağarada ana kol dışında ayakta durmaya yetecek kadar tavanın yükseldiği bir alan bulunmamaktadır. Höyük 2 Mağarası, tufalar içinde oluşmuş, tavanda bitki köklerinin bulunduğu, giriş ağzı oldukça dar ve damlataş bakımından fakir bir mağara olduğu için turizme uygun değildir. Kapız Mağarası'nın içerisinde bulunduğu Kapız Kanyonu, doğal güzellikleri ve yükseklikleri 30 m'yi bulan şelaleleri ile halihazırda yürüyüş gruplarının ziyaret ettiği bir duraktır. Ayrıca Kapız Mağarası'nın sadece doğal değil kültürel özellikler de taşıması turizm potansiyelini arttırmaktadır. Ancak mağara girişinin vadi tabanından 150 m yüksekte, dik bir uçurumun yüzeyinde bulunması aşılması zor bir engel oluşturmaktadır. Zırtlantaşı Mağarası ise dar olması ve damlataş bakımından fakir olmasının dışında koruma altında olduğu için turizme uygun değildir.

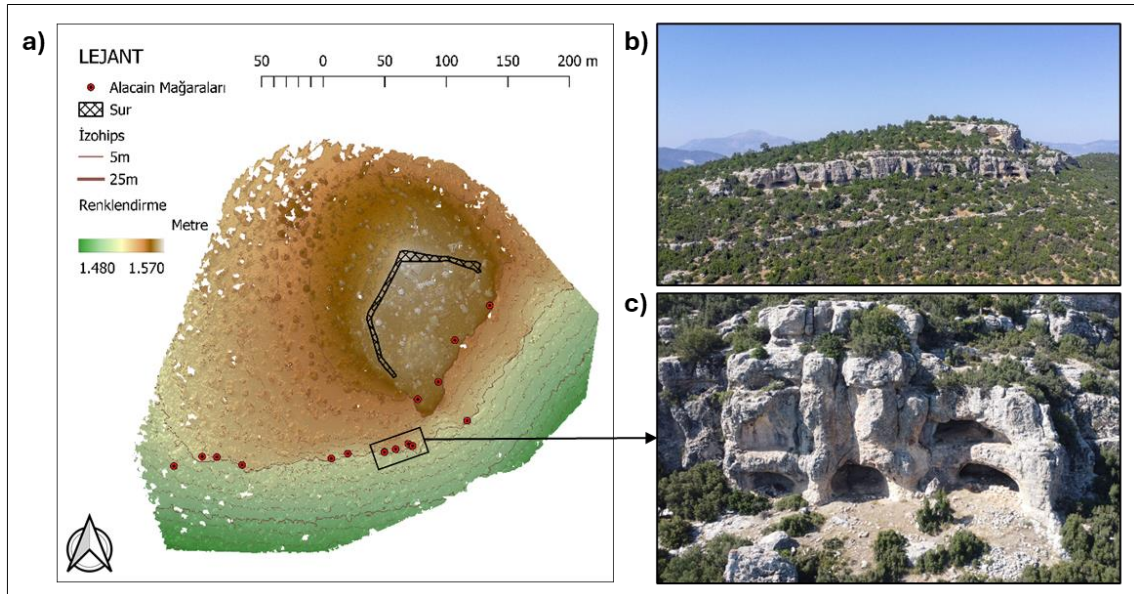
Hancıkavağı – Yolcukavağı Sistemi'nde özellikle Hancıkavağı damlataş oluşumu bakımından zengindir. Mağaranın dar ve dik girişi dışında mağarada hareket etmek çok kolaydır. Ayrıca yoğun su girişi ile gölün varlığı mağaradaki görsel güzelliği desteklemektedir. Mağara çevresindeki ormanlık alan düzdür ve tesis yapımına uygundur. Çevrede halihazırda bulunan orman yolları mağaranın birkaç yüz metre yakınına kadar ulaşmaktadır. Ancak Kızılcabölük'ün yaklaşık 6,3 km kuzeyinde bulunan mağara ana ulaşım ağlarına, büyük yerleşimlere ve diğer turizm duraklarına uzaktır. Bu durum mağarayı ziyaret etmesi beklenen turist sayısını önemli ölçüde azaltmaktadır.

4.1.7.1. Akkale

Çivril’de, Gümüşsu Mahallesi’nin 4,2 km kuzeydoğusunda, Tokalı Kanyonu içerisinde bulunur. Kanyonu ziyaret eden sporcular tarafından bilinen ve önemli bir durak haline gelmiştir. Akkale Mağarası hidrolojik özelliklerine göre aktif, topoğrafik özelliklerine göre ise yatay bir mağaradır.

4.1.7.2. Alacain, (Alaca, Alicin)

Acıpayam ilçe merkezinin yaklaşık 5 km güneybatısında, 1500 m rakımda yer alan Alacain mağaraları; boyutları birkaç metre ile 15 m arasında değişen ve tamamı gün ışığı alabilen yarım kubbe biçimindeki 15 adet mağaradan oluşur (Şekil 40a; 40c). Üzerinde bulundukları Kale Tepe aynı zamanda tarihi bir kalenin kalıntılarına ev sahipliği yapmaktadır (Şekil 15b). Bu sebeple Alacain Mağaraları’nın hem doğal hem de tarihi miras özelliği taşıdığı söylenebilir. Alacain Örenyeri, İzmir II Numaralı Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kurulu tarafından I. derece Arkeolojik Sit Alanı olarak kabul edilmiştir (Url 11).

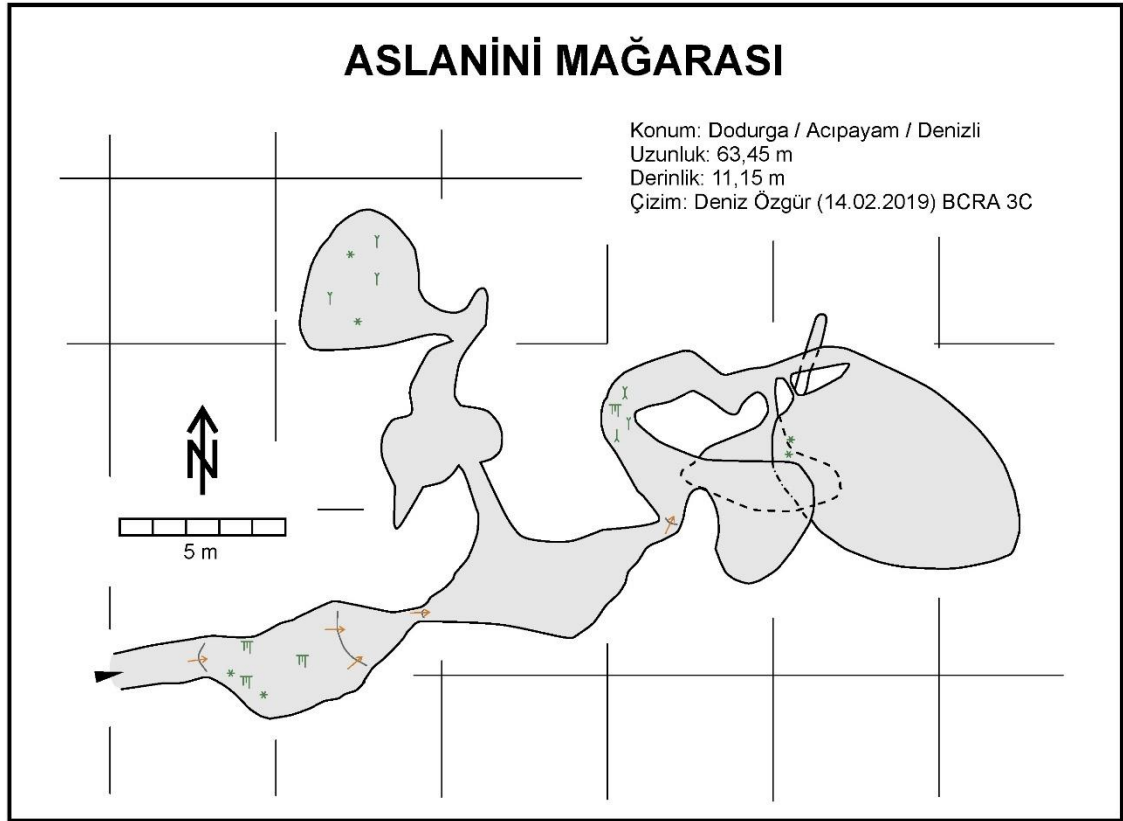


Şekil 40. a) Kale Tepe'nin morfometri haritası, b) Kale Tepe ve Alacain Mağaraları'nın genel görünümü, c) Yarım kubbe biçiminde ve çok katlı Alacain Mağaraları

4.1.7.3. Aslanini (Arslanlı, Aslantaşı)

Acıpayam’ın Dodurgalar Mahallesi’nin 1,4 km kuzeydoğusunda Jura – Kretase yaşlı pelajik kireçtaşları içerisinde yer alır. Dokuz Eylül Üniversitesi Mağara Araştırma Kulübü’nün (DEÜMAK) yaptığı ölçümlere göre 63,45 m uzunluğa ve 11,15 m derinliğe sahiptir (şekil 41). Aslanini Mağarası hidrolojik özelliklerine göre aktif, topoğrafik

özeliklerine göre ise yatay bir mağaradır. Aslanini Mağarası'nın "Tabiat Varlığı- C Grubu Mağara" olduğuna ve çevresindeki alanın "Mağara Koruma Alanı" olarak belirlenmesine ilişkin Denizli Tabiat Varlıklarını Koruma Bölge Komisyonunca alınan 25.09.2020 tarihli ve 645 sayılı karar, 30.12.2020 tarihli ve 281874 sayılı Bakanlık Makam Olur'u ile onaylanmıştır. Ayrıca 10.07.2018 tarihli ve 30474 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe giren 1 No.lu Cumhurbaşkanlığı Kararnamesi'nin 109 uncu maddesi birinci fıkrası (b) bendi uyarınca mağaranın tabiat varlığı olarak tescil edilmiştir (Url 4).



Şekil 41. Aslanini Mağarası'nın planı

4.1.7.4. Beyinli Mağarası

Pamukkale'nin Kurtluca Mahallesi yakınlarında Beyinli Mevkiinde bulunur. Denizli Valiliğinin isteği üzerine 2000 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Mağara Araştırma Kulübü (DEÜMAK) tarafından incelenmiştir. Kör bir vadinin sonunda bulunan mağaranın girişi vadi tabanından 34 m yüksektedir. Mağara ağzına ulaşabilmek için zaman zaman serbest tırmanma teknikleri kullanmak gerekmektedir. Mağara içerisinde 4 adet havuz vardır ve dışında da eski bir hamama ait kalıntılar bulunmaktadır. Mağaradan eski dönemlerde sıcak su çıktığı tahmin edilmektedir. (Büyüktopçu vd., 2002).

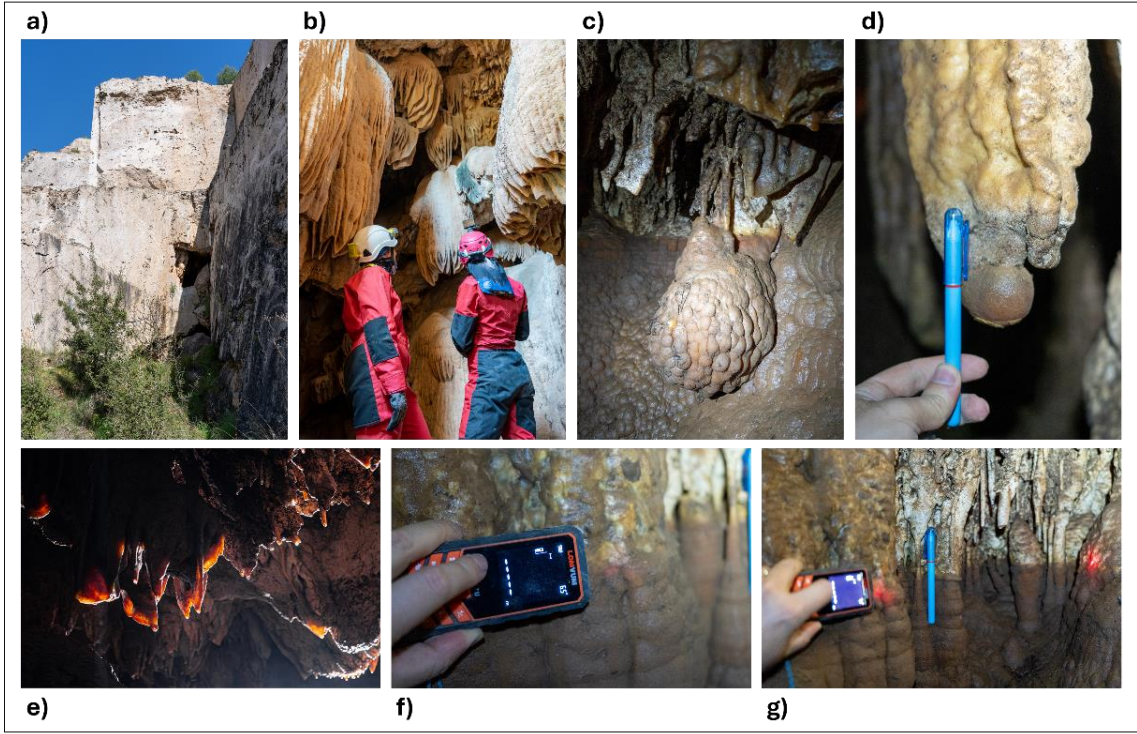
Mağara, sayılan özelliklerinden ötürü arkeolojik sit alanı olarak da 2.10.2002 tarihli 10947 sayılı İzmir 2. KK kararı ile tescil edilmiştir. Kültür ve Turizm Bakanlığı tarafından hazırlanmış tescilli arkeolojik sit alanları listesinde yer almaktadır. Aynı zamanda Beyinli Mağarası'nın "Tabiat Varlığı- C Grubu Mağara" olduğuna ve çevresindeki alanın "Mağara Koruma Alanı" olarak belirlenmesine ilişkin Denizli Tabiat Varlıklarını Koruma Bölge Komisyonunca alınan 20.11.2020 tarihli ve 651 sayılı karar, 05.02.2021 tarihli ve 240555 sayılı Bakanlık Makam Olur'u ile onaylanmıştır. Mağara, 10.07.2018 tarihli ve 30474 sayılı, Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe giren 1 No'lu Cumhurbaşkanlığı Kararnamesi'nin 109 uncu maddesi birinci fıkrası b bendi uyarınca tabiat varlığı olarak tescil edilmiştir (Url 5).

4.1.7.5. Çalçakırlar Mağarası

Çal'ın Çalçakırlar Mahallesi'nin 2,3 km kuzeybatısında Kuvaterner yaşlı Travertenler içerisinde oluşmuştur. Aynı travertenler üzerinde faaliyet gösteren bir traverten ocağının faaliyetleri sırasında gün yüzüne çıkmıştır. Günümüzde traverten ocağı faaliyetlerine son vermiş durumdadır. Çalçakırlar Mağarası hidrolojik özelliklerine göre fosil, topoğrafik özelliklerine göre ise yatay bir mağaradır.

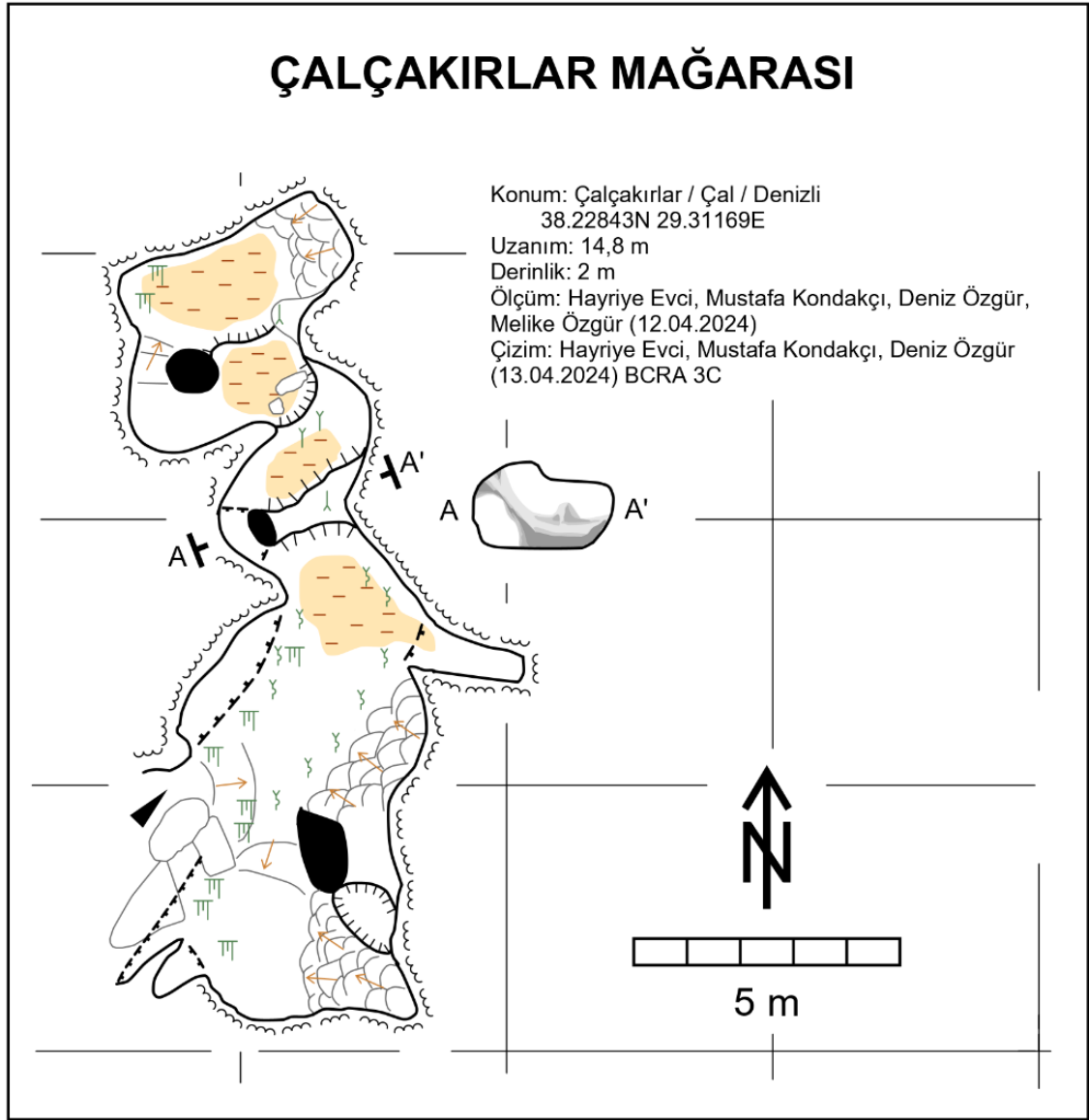
Çalçakırlar Mağarası'nda yapılan ölçümler sonucunda mağaranın uzunluğunun 14,8 m, derinliğinin ise en derin noktada 2 m olduğu tespit edilmiştir (bkz. şekil 43). Mağaraya eski ocak içerisinde, traverten kütlesi kütlesindeki bir kesikten iki şekilde girilebilmektedir (şekil 42a). Alttaki açıklık yanlara doğru geniş olsa da tavanı alçak olduğu için sürünmeyi gerektirir. Üstteki açıklık ise daha rahat bir geçiş imkânı sunsa da oraya ulaşmak için kısa bir tırmanış yapmak gerekmektedir. Mağara içi girişten itibaren oluşumlarla doludur. Girişte ve ilk odada pek çok makarna sarkıt (soda çubuğu) ve perde oluşumuna rastlamak mümkündür (şekil 42b; 42e). Mağaradaki oluşumlar ne kadar zengin olsa da aktif bir gelişim gözlenememiştir, mağara genel olarak fosil mağara görünümündedir. İkinci odada iste geçmişteki su varlığına işaret eden mağara bulutu oluşumu tespit edilmiştir (şekil 42c; 42d; 42f; 42g). Mağara bulutunun seviyesi bazı sarkıtların ucunu kapsayacak kadar yüksektir. Bu sarkıtların uçlarındaki mağara bulutlarının saflığı sarkıt oluşumunun mağaradaki su birikiminden önce sonlandığını göstermektedir (şekil 42d). Ayrıca ufki şekilde uzanması gereken mağara bulutu oluşumunun 6° eğimli olduğu tespit edilmiştir. Bu durum mağaranın içinde bulunduğu traverten platformunun tektonizma veya yamaç aşınması gibi sebeplerle blok halinde

eğildiğine işaret etmektedir. Muhtemelen bu olaydan sonra mağara su tutma kabiliyetini yitirmiştir.



Şekil 42.Traverten ocağı içerisinde Çalçaklılar Mağarası'nın girişi (a), Perde oluşumları (b), Mağara bulutu (c), Uç kısmı mağara bulutu ile kaplanmış bir sarkıt (d), Sarkıtlar (e), Eğimli mağara bulutu yüzeyi (f,g)

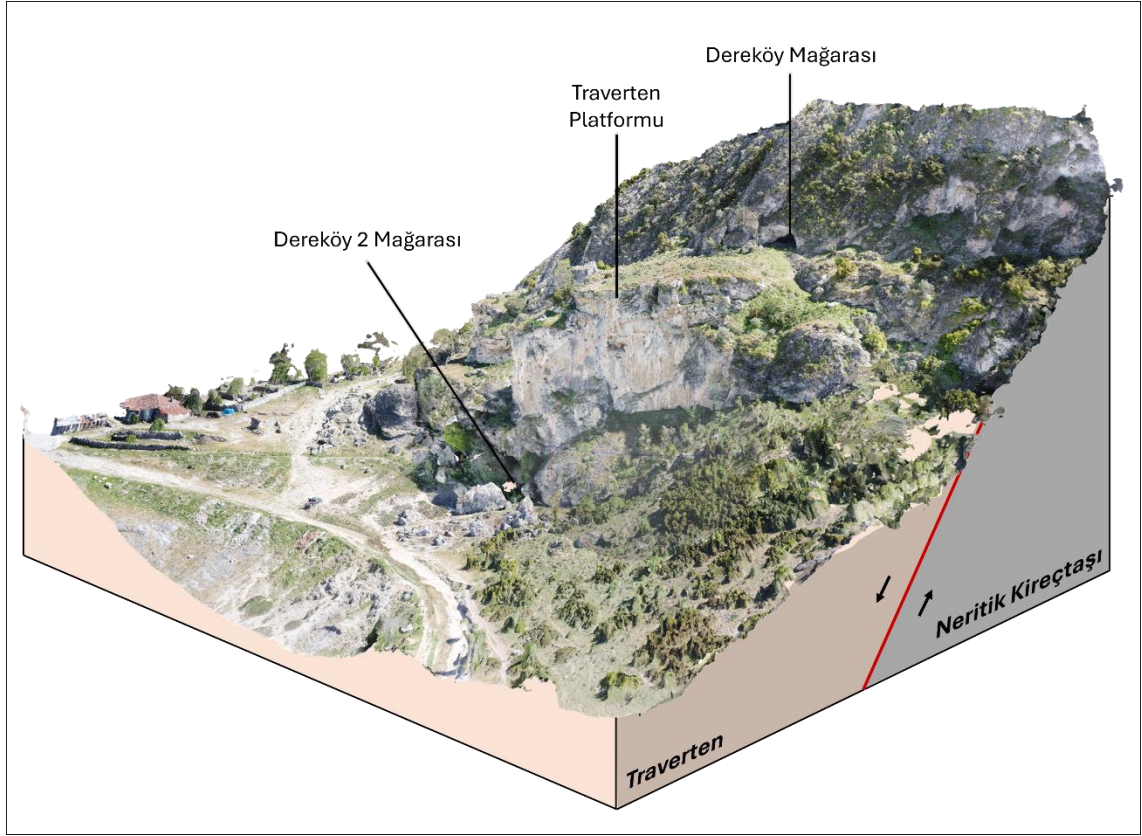
Çalçaklılar Mağarası'nın "Tabiat Varlığı- B Grubu Mağara" olduğuna ve çevresindeki alanın "Mağara Koruma Alanı" olarak belirlenmesine ilişkin Denizli Tabiat Varlıklarını Koruma Bölge Komisyonunca alınan 24.07.2020 tarihli ve 627 sayılı karar, 30.12.2020 tarihli ve 281882 sayılı Bakanlık Makam Olur'u ile onaylanmıştır. Mağara, tabiat varlığı olarak 10.07.2018 tarihli ve 30474 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe giren 1 No.lu Cumhurbaşkanlığı Kararnamesi'nin 109 uncu maddesi 1 inci fıkrası (b) bendi uyarınca koruma alanı sınırları belirtilen tescil edilmiştir (Url 6).



Şekil 43. Çalçakırlar Mağarası planı

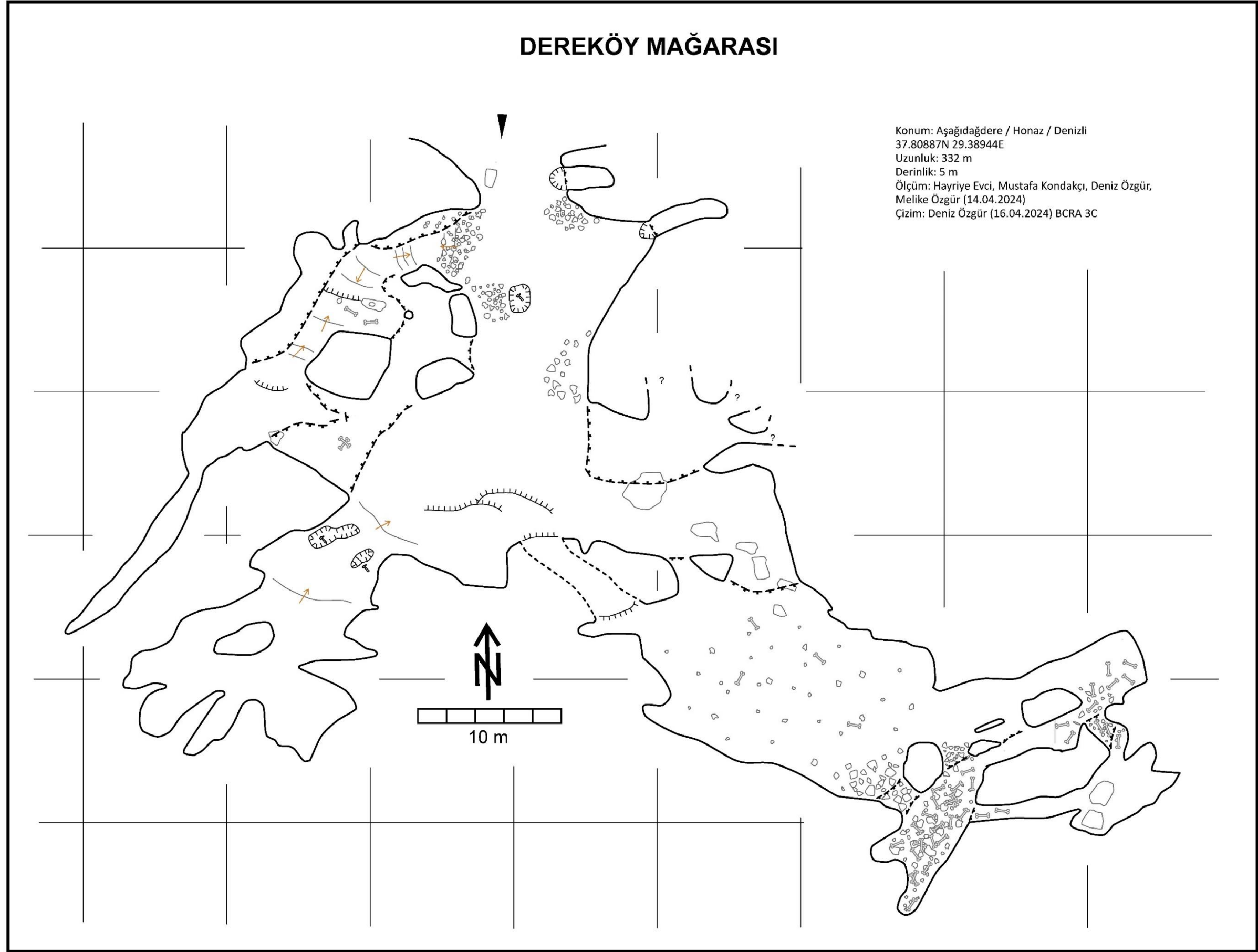
4.1.7.6. Dereköy (Kelkaya)

Honaz ilçesinin kuzeydoğusunda Aşağıdağdere Mahallesi'nde yer alan mağara yaklaşık 50 m yüksekliğindeki bir traverten platformu üzerinde yatay bir girişe sahiptir. Dereköy Mağarası hidrolojik özelliklerine göre fosil, topoğrafik özelliklerine göre ise yatay bir mağaradır. traverten platformunun çevresindeki kaya yüzeylerinde fay yüzeyine ait izler tespit edilmiştir. Aynı platformun alt kesiminde bir mağara daha bulunur (şekil 44). Bu mağaraya Dereköy 2 adı verilmiştir ve mağaradan aktif şekilde su çıkışı bulunmaktadır. Ancak Dereköy 2 Mağarası'nda yoğun gaz çıkışı tespit edildiği için herhangi bir ölçüm yapılamamıştır. Gaz çıkışının faylanma ile ilişkili olduğu düşünülmektedir.



Şekil 44. Dereköy Mağaraları ve çevresini gösteren blok diyagram

Mağaranın kolları ile birlikte toplam uzunluğu 332 m'dir. Kuzeyden güneye doğru ilerleyen ana kol üzerinde ayakta durmak mümkünken yan kolların tamamında tavan buna müsaade etmeyecek kadar alçaktır. Aşağıdağdere Mahallesi'nin batısında bulunan traverten ocaklarından kalkan tozların mağara ağzından girerek, hava dolaşımının kısıtlı olduğu mağaranın içindeki yüzeylerde ve zeminde biriktiği tespit edilmiştir. Özellikle mağaranın doğu kollarında toz seviyesi yer yer 30 cm yüksekliğe ulaşmaktadır. Mağaranın güneydoğu uçundaki kollar büyük baş hayvan kemikleri ile doludur (bkz. şekil 45). Kemiklerin miktarı ve dağınık halde bulunmaları mağaranın yırtıcı hayvanlar tarafından kullanılmış olduğunu düşündürmektedir.



Şekil 45: Dereköy Mağarası Planı

4.1.7.7. Hancıkavağı – Yolcukavağı Sistemi

Tavas'ın Kızılcabölük Mahallesi'nin 6,3 km kuzeyinde ormanlık alan içerisinde yer alan Hancıkavağı ve Yolcukavağı Mağaraları'nın girişleri yüzeyde 35 m mesafede bulunmaktadır. Yer altında en yakın oldukları yerde ise bu mesafenin 3 m'ye kadar düştüğü hesaplanmıştır. Birbirlerine yaklaştıkları bölgede tespit edilen toprak ve kaya yığınları mağaraların geçmişte bağlantılı olduğunu ancak gerçekleşen bir çökme ile bu bağlantının tıklandığını düşündürmektedir (bkz. şekil 47). Günümüzdeki durumları ile Hancıkavağı Mağarası hidrolojik özelliklerine göre aktif, topoğrafik özelliklerine göre ise yatay bir mağaradır ancak giriş ağzı örtü kayası çökme dolini karakterindedir, Yolcukavağı mağarası ise hidrolojik özelliklerine göre fosil, topoğrafik özelliklerine göre yatay bir mağaradır.

İki mağaranın da girişleri çökme dolinleri ile yüzeye açılmaktadır. Yolcukavağı'na serbest şekilde giriş yapmak mümkün iken Hancıkavağı'na giriş ancak iple erişim teknikleri kullanarak mümkündür.

Hancıkavağı, Yolcu kavağına göre daha geniş ve huni biçimli bir çökme dolini ile başlamaktadır (bkz. şekil 46a). Bu girişin eğimli yamaçları taş ve toprak ve karaçam (*pinus nigra*) fidanları ile kaplıdır. Aşağıda ise kireçtaşı tabakasına ulaşıldığında eğim artar ve burada yaklaşık 4 m yüksekliğinde iple inilmesi gereken bir alan bulunmaktadır (bkz. şekil 46c). İple inişin altında mağaranın iç hacminin büyük kısmını kaplayan yarım daire biçiminde bir birikinti konisi oluşmuştur. Koninin batı kesiminde güneş ışığının etki ile alg ve yosunlarla kaplanmış speleotemler görülmektedir (bkz. şekil 46d). Bu noktanın kuzeyinde ve üst seviyede dar ancak sulu bir kol bulunur. Bu koldan gelen su zeminde birikerek küçük bir su birikintisi oluşturur, yakındaki delikten aşağı sızarak KD ve GD yönünde bir koridor şeklinde uzanan alt kolu suyla doldurur ve son olarak birikinti konisinin kenarındaki kaya bloklarını traverten ile kaplayarak büyük göle katılır.

Mağaranın kuzey ucunda büyük bir göl bulunur (bkz. şekil 46e). Bu göl ve içinde bulunduğu oda kuzeydoğuya doğru kıvrılmaktadır. Odanın sonuna doğru tavanda bir mağaraduşu bulunmaktadır. Bu mağaraduşundan yüksek debili bir su girişi mevcuttur. Öyle ki suyun sesi mağaranın dışında, ormanda bile duyulabilmektedir. Gölün kıyısında birikinti konisi son bulur ve burada mağaranın gelişimine bağlı olarak tavandan düşen kayalar zemini kaplamaktadır. Mağaranın doğu duvarı takip edilerek eğimsiz bir yürüyüşle güneyde bulunan koridora ulaşılabilir. Birikinti konisinin de bulunduğu ana

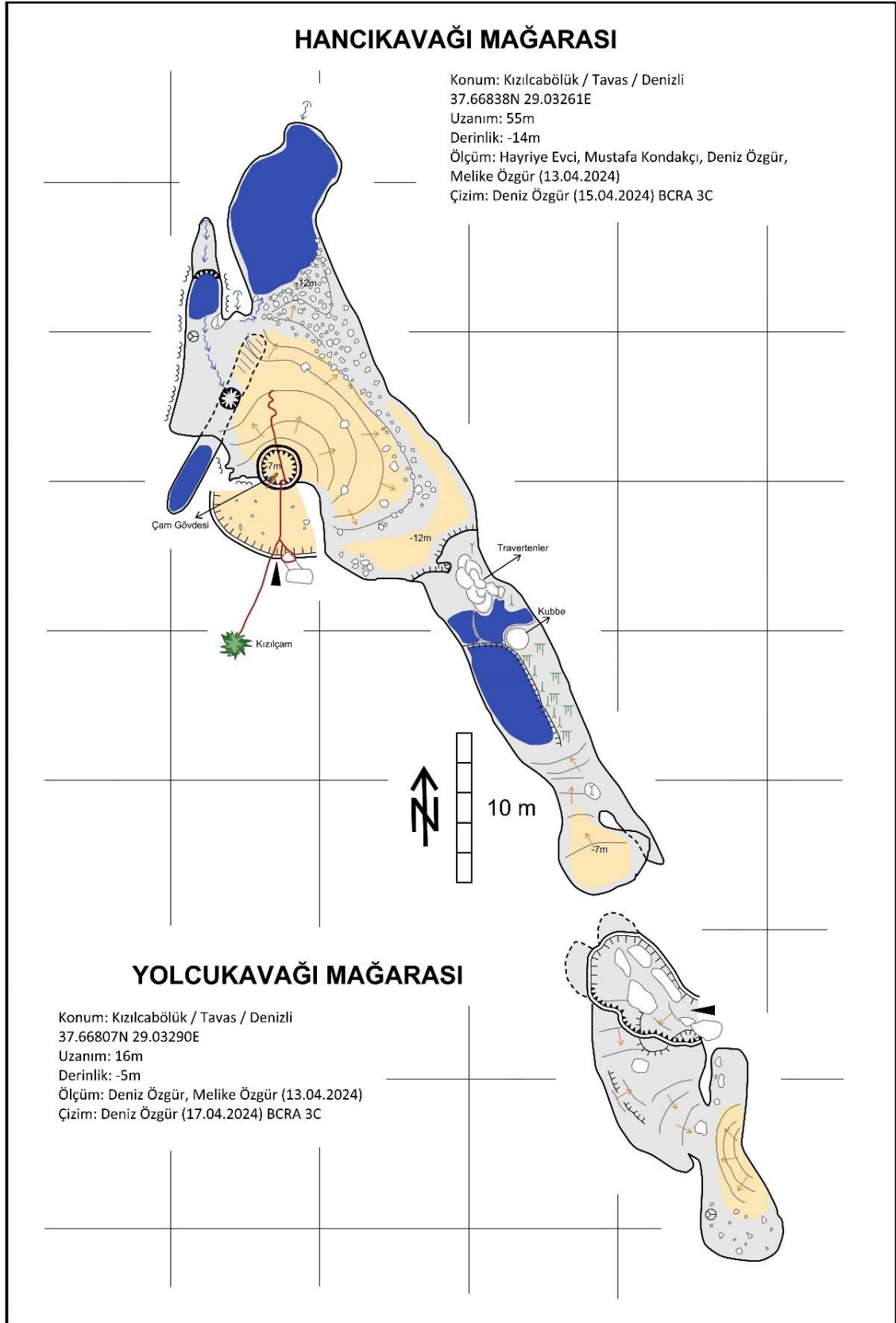
galeri ile güneydeki bu koridor arasında yaklaşık 1 m'lik bir yükselti farkı bulunur ve kısa bir tırmanış ile kola girmek mümkündür.

Mağaranın güney kesiminde bulunan koridor speleotem bakımından özellikle zengindir. Burada sarkıtlar, dikitler, perdeler, traverten havuzları, sütunlar, mağara incileri ve mağaraduşları görülebilir (bkz. şekil 46f; 46g). Bu kolda bulunan mağaraduşunun debisi daha düşüktür ve altında kubbe biçiminde geniş bir dikit yer alır. Koridorun sonuna doğru pozitif bir eğim başlar, mağaranın zemini toprak ve taş parçaları ile kaplanır ve mağara sona erer. Toprak ve taş yığınlarının varlığı bu kolun bir çökme ile kapandığını düşündürmektedir. Mağara ölçümlerinin bilgisayar ortamına aktarılmasından sonra tam da bu noktanın Yolcukavağı Mağarası'na en fazla yaklaşılan yer olduğunun tespit edilmesi, çökme ile mağaranın ikiye bölünmesi ihtimalini kuvvetlendirmektedir (bkz. şekil 47).

Yolcukavağı bir çökme dolini ile başlamaktadır (bkz. şekil 46b). Mağara çevresinde mağara içine doğru meyletmiş kayalar bulunmaktadır. Baştaki çukurluk güneydoğu yönünde tavanı alçak bir koridor ile devam eder ve eğim giderek artmaktadır. Görece dar bir geçitten sonra KB – GD istikametinde uzanan bir koridora ortadan bağlanılır. Bu koridorun iki ucu da taş ve toprak yığınları ile tıkanmıştır. Mağaranın en güney ucunda daha önceden mağaraya giren insanların bıraktığı bazı çöpler ve mumlar bulunmaktadır.



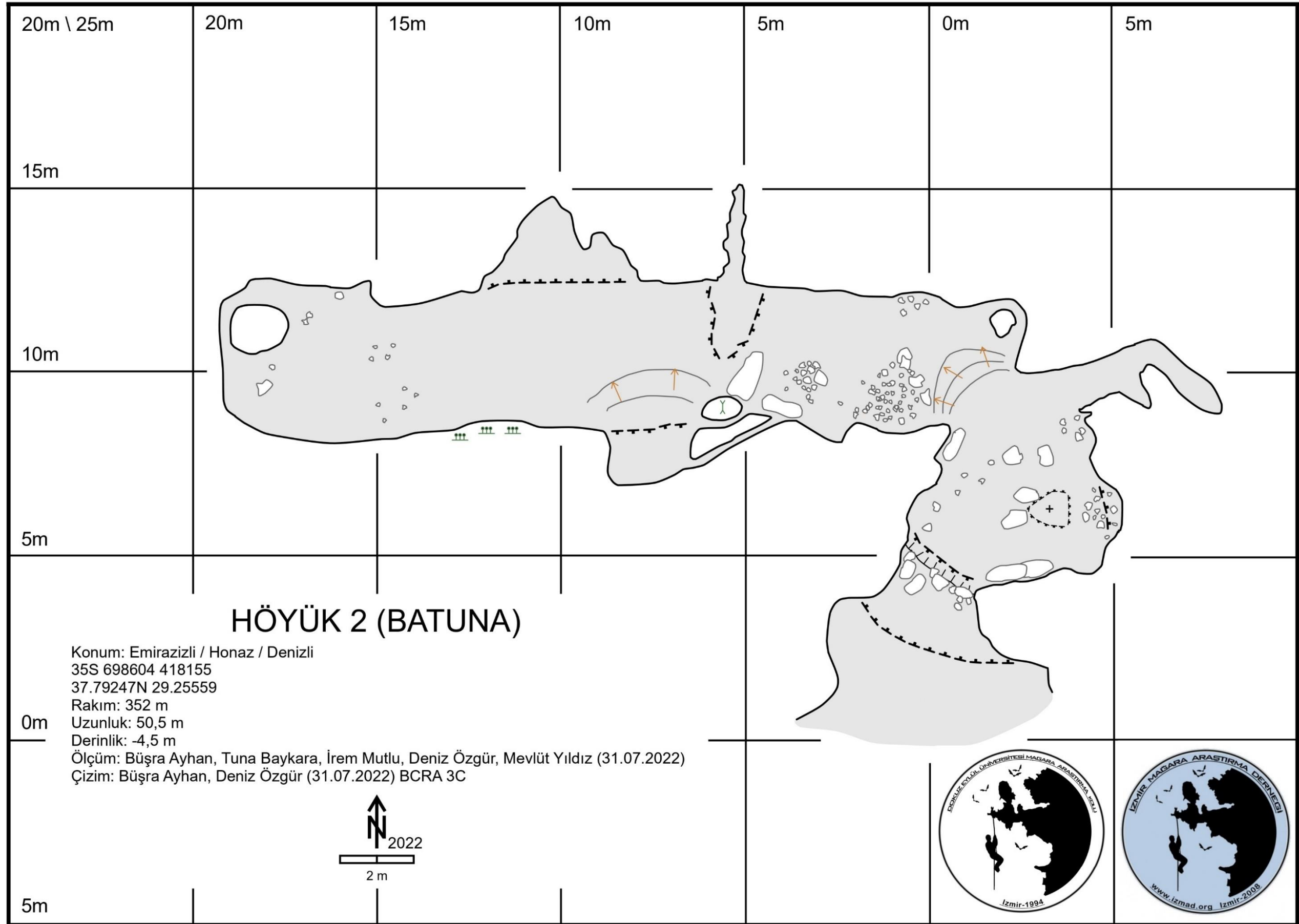
Şekil 46. Hancıkavağı Mağarası'nın girişi (a), Yolcukavağı Mağarası'nın girişi (b), Hancıkavağı Mağarası girişinin ve birikinti konisinin üst kesiminin içeriden görünümü (c), Alg ve yosunlarla kaplanmış speleotemler (d), kuzey kolda bulunan göl (e), speleotem bakımından zengin güney kol (f), güney kolda bulunan küçük traverten havuzları ve mağara incisi (g)



Şekil 47. Hancıkavağı ve Yolcukavağı mağara sistemi planı

4.1.7.8. Höyük 2 (Batuna) Mağarası

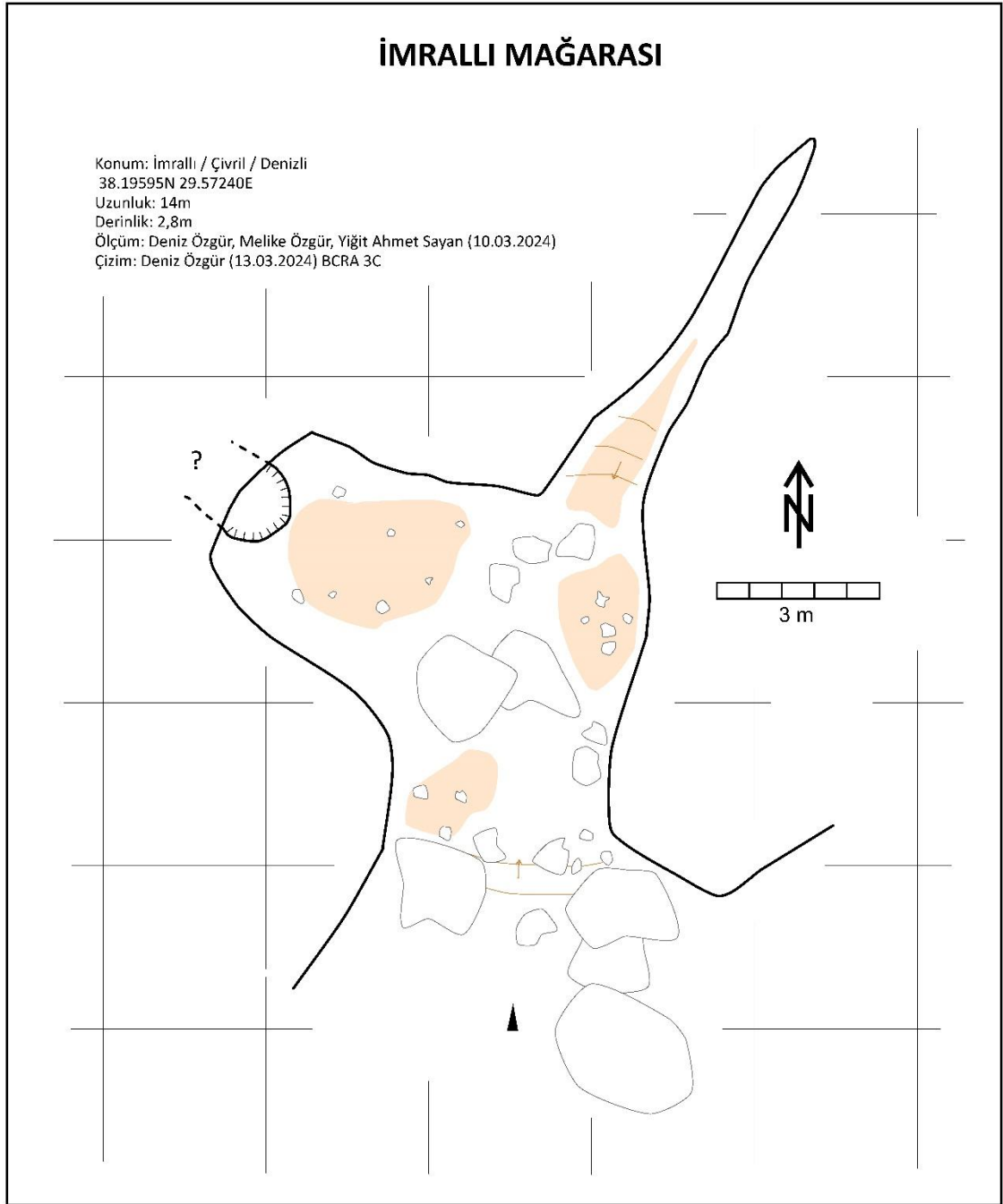
Honaz'da Colossae Antik Kenti'nin 600 m kuzeydoğusunda Emirazizli Mahallesi sınırları içerisinde bulunur. İzmir Mağara Araştırma Derneği (İZMAD) ve Dokuz Eylül Mağara Araştırma Kulübünün (DEÜMAK) 2022 yılında Höyük Mağarası'nı araştırma amacıyla düzenlediği etkinlikte şans eseri bulunmuştur. Söz konusu etkinlikte Höyük Mağarası bulunamadığı için bu çalışmaya dahil edilmemiştir. Höyük 2 Mağarası, Honaz Çayı kenarındaki kuvaterner yaşlı tufa depoları içerisinde oluşmuş bir mağaradır. Mağara tüm kolları ile birlikte 50,5 m uzunluğundadır (bkz. şekil 48). Mağara hidrolojik özelliklerine göre fosil, topoğrafik özelliklerine göre yatay bir mağaradır. Girişin biraz ilerisinde iki ayrılır. Doğudaki kolu birkaç metre sonra daralarak biter. Batıya yönelen kola girerken alçak bir kısımdan geçilir ancak daha sonra ayakta durmaya yetecek kadar bir açıklık oluşmaktadır. Yüzeye çok yakın olmasından dolayı tavanı bitki kökleri ile kaplıdır.



Şekil 48: Höyük 2 Mağarası Planı

4.1.7.9. İmrallı Mağarası

İmrallı Mağarası, Çivril'in İmrallı Mahallesi'nin 1.6 km kuzeyin Üst Paleosen – Eosen yaşlı metakırıntılılar – metakarbonatlar içerisinde oluşmuştur. Küçük bir vadinin dik yamacında yer alan mağara ağzının çevresinde kaya düşmesi izleri görülmektedir. Mağaranın toplam uzunluğu 14 m, derinliği ise 2,8 m olarak ölçülmüştür (şekil 49). Mağara hidrolojik özelliklerine göre fosil, topoğrafik özelliklerine göre yatay bir mağaradır.



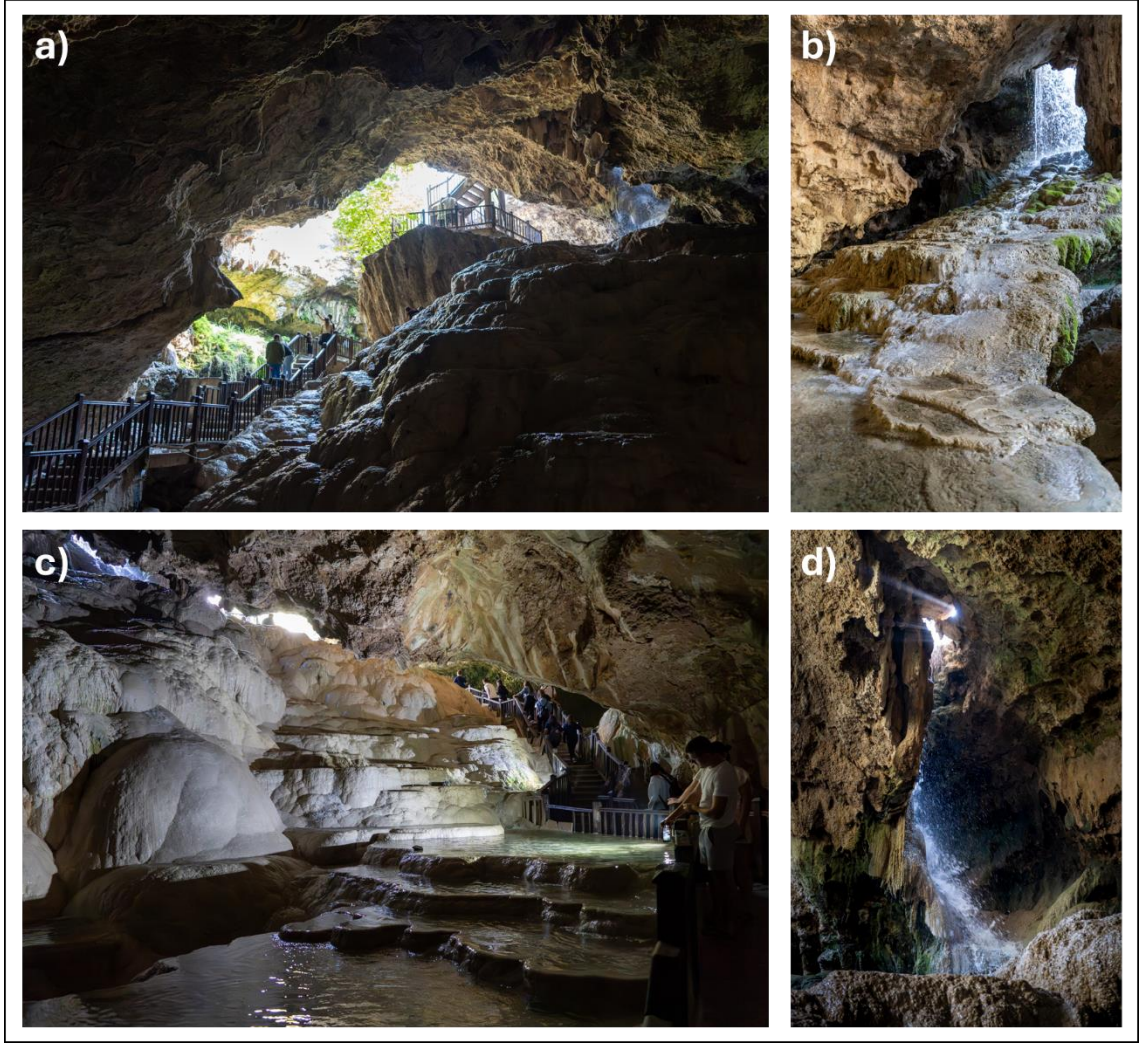
Şekil 49: İmrallı Mağarası Planı

4.1.7.10. Kaklık (Çürüksu) Mağarası (Haydarbaba Düdeni)

Kaklık Mağarası, Büyük Menderes Nehri'nin önemli bir kolu olan Çürüksu Grabeni'nde Honaz ilçesinin Kaklık Mahallesi'nin 4 km kuzeydoğusunda yer almaktadır. Turizm için 2002 yılında düzenlenen mağara Denizli çevresinde turistik noktalardan biri haline gelmiştir (Nazik 2008). Bölge faylarla çevrili, tektonik olarak aktif bir alandır. Mağara, bir traktörün tarlayı sürdüğü sırada meydana gelen kısmi bir çökme sonucu kazara bulunmuştur. Çökme anında tavan kalınlığının muhtemelen 6 metre civarında olduğu düşünülmektedir (Kumsar ve Aydan, 2021). Günümüzde mağaranın üç girişi bulunmaktadır. Yakınlardaki Kokarhamam kaynağından gelen sular bu girişlerden iki tanesini kullanarak şelale şeklinde mağaraya akmaktadır (bkz. şekil 50b; 50d).

Kaklık Mağarası'nın boyutları K-G doğrultusunda 60 metre, D-B doğrultusunda 40 metre olup, toplam uzunluğu 190 metredir. Mağara içinde biriken suların tahliyesi için DSI'nin açmış olduğu tünelle birlikte mağara uzunluğu 465 m'ye ulaşmaktadır, derinliği ise 17,65 m'dir (Büyüktopçu vd., 2002). Mağaranın giriş ağzı geniştir, 13 m x 11 m boyutlarında konik bir şekle sahiptir ve çökmüş bir traverten bloku içerir (Kumsar ve Aydan, 2021) (bkz. şekil 50a; 51). Bu yapıyla mağara girişi bir örtü kayası çökme dolini özelliği göstermektedir. Mağara hidrolojik özelliklerine göre aktif, topoğrafik özelliklerine göre yatay bir mağaradır ancak giriş ağzı örtü kayası çökme dolini karakterindedir.

Mağara, traverten oluşumunun yaygın olduğu bir alanda yer alır. Mağaranın hemen kuzeyinde bulunan Kokarhamam (Haydarbaba) kaynağından gelen jeotermal suların getirdiği kalsiyum karbonat (CaCO_3) traverten oluşumuna neden olur (Kumsar ve Aydan, 2021). İçerisinde bulunan travertenlerin beyaz görüntüsünden dolayı mağara sık sık “Yerin altındaki Pamukkale” şeklinde anılır (Nazik, 2008) (bkz. şekil 50c). Bir süre mağara dışında yüzeysel akışla ilerleyen bu sular mağaranın üç girişinden ikisini kullanarak mağaraya girer. Mağara girişindeki diklik bu kısımda şelale görünümü oluşturarak mağaranın görsel güzelliğini artırmaktadır.



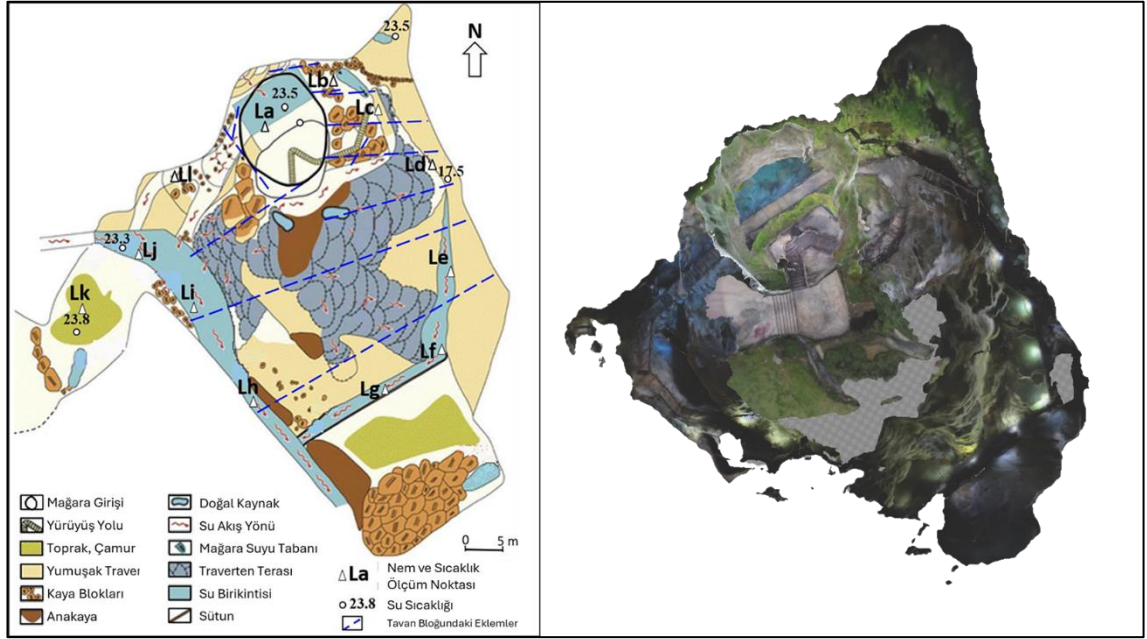
Şekil 50. a) Kaklık Mağarası'nın çökme ile açılmış olan ağzı, b) doğudaki su girişi, c) Kaklık Mağarası içindeki traverten havuzları, d) batıdaki su girişi

Mağara, Kaklık-Denizli yarı karstik akifer sisteminin bir parçasıdır. Bölgedeki birincil akifer kayaları Çökelez Kireçtaşı ve Sazak formasyonudur. Sazak formasyonu, Kaklık Mağarası'nın batısında yaklaşık 200 km²'lik bir alanda yer alır ve en yaygın akifer birimini oluşturur. Bu birimlerdeki yoğun tektonizma sonucu kırık, eklem, çatlak ve faylar birçok çözünme boşluğunun oluşmasına yol açar (Özler, 2015).

Mağara içindeki ortam sıcaklığı 17,6°C–22,1°C arasındadır, nem oranı ise içinde %69 - 99, girişte %53'tür. Termal su sıcaklığı: 23,3°C–23,8 °C arasındadır. Derin kaynaklı jeotermal sudan dolayı yüksek konsantrasyonda Hidrojen Sülfür (H₂S) (%12) ve Karbondioksit (CO₂) (%5.2), düşük oranda Oksijen (O₂) (%19) gazları bulunur (Kumsar ve Aydan, 2021).

Kaklık Mağarası'nın “Tabiat Varlığı- B Grubu Mağara” olduğuna ve çevresindeki alanın “Mağara Koruma Alanı” olarak belirlenmesine ilişkin Denizli Tabiat Varlıklarını

Koruma Bölge Komisyonu’nca alınan 20.11.2020 tarihli ve 652 sayılı karar, 05.02.2021 tarihli ve 240620 sayılı Bakanlık Makam Olur’u ile onaylanmıştır. Mağara, 10.07.2018 tarihli ve 30474 sayılı Resmî Gazetede yayımlanarak yürürlüğe giren 1 No.lu Cumhurbaşkanlığı Kararnamesi’nin 109 uncu maddesi 1 inci fıkrası (b) bendi uyarınca ekteki şekilde koruma alanı sınırları belirtilen mağaranın tabiat varlığı olarak tescil edilmiştir (Url 8).



Şekil 51. Kaklık Mağarası Planı (Kumsar ve Aydan, 2020) (solda) ve fotogrametri ile oluşturulmuş 3B modelinin kuşbakışı görünümü (sağda)

4.1.7.11. Kapız Mağarası

Kapız Mağarası Acıpayam ilçe merkezinin 32 km güneybatısında, Orta Jura – Kretase yaşlı pelajik kireçtaşları içerisinde yer alan Kapız Kanyonu’nun dimdik uzanan güney yamacı üzerinde vadi tabanından 150 m yüksekte bulunur. Konumundan dolayı mağaraya ulaşım sağlanamamıştır. Ancak insansız hava aracı yardımıyla fotogrametri uygulanmış ve elde edilen model üzerinde ölçüm alınmıştır. Bu ölçümle ışığında mağaranın girişinin 15 m yüksekliğinde ve 12 m genişliğinde olduğu sonucuna varılmıştır. Mağaranın girişi üç katlı bir taş duvar ile örtülmüş olduğu için iç kısımları görüntülenememiştir (bkz. şekil 52). Anadolu’da pek çok örneği bulunan bu duvar yapısının Roma – Bizans Dönemine ait olduğu sanılmaktadır.



Şekil 52. Kapız Mağarası girişi ve girişini kapatan duvarlar

4.1.7.12. Karkın Karlığı

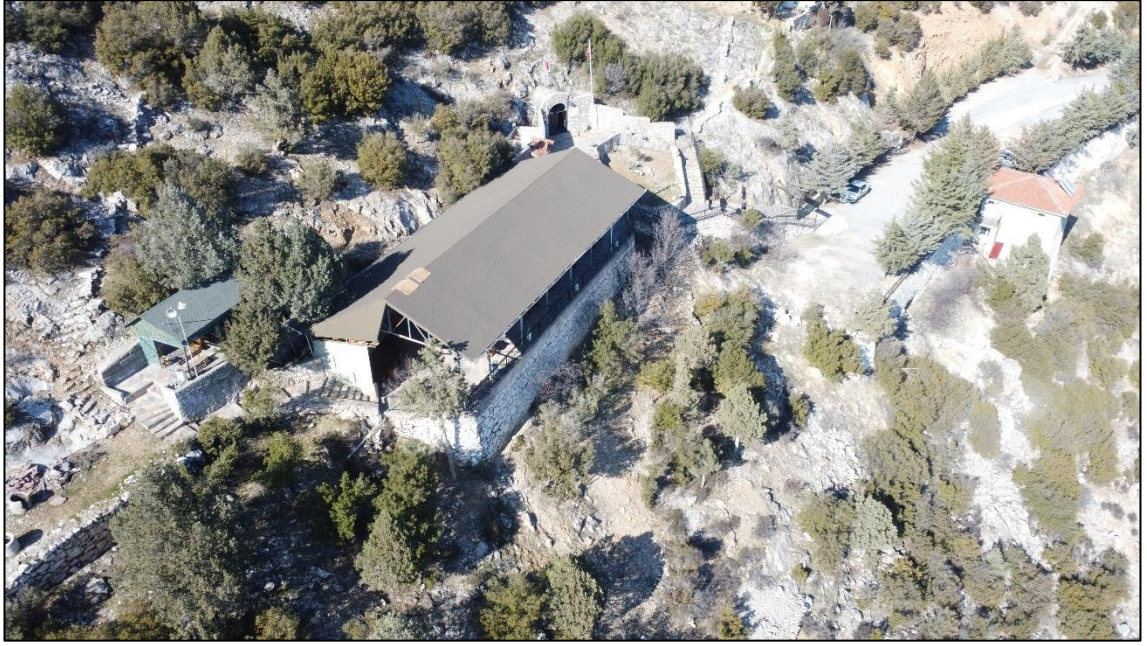
Çameli ilçesinin güneydoğusunda, Karkın Yaylası üzerinde bulunan, bir çökme dolini ile yüzeye açılmış olan mağaradır. Deniz seviyesinden 2200 m yükseklikte bulunur. Derinliği 15 m, uzunluğu ise 22 m'dir (bkz. şekil 53). Mağaranın dibine ulaşabilmek için yaklaşık 4 m'lik bir ip ile iniş yapmak gerekmektedir. Mağara ağzı yukarıya doğru açık olduğu için kış aylarında yağan karlar mağarada birikir. Mağara dibi güneş görmediği için biriken karlar yaz mevsiminde erimeden kalır. Bu sebeple mağarada yaklaşık 5 m genişliğinde ve bilinmeyen bir yükseklikte buzul bulunmaktadır. Buzulun çevresinde yapılan gözlemlerde kalınlığını 2 m'den fazla olduğu tespit edilmiştir. Buzulun bulunduğu alanda tavana yakın bir konumdaki kaya çıkıntısının üzerinde kuş yuvası tespit edilmiştir. Bu kuş yuvasının mağara girişinde uçar vaziyette gözlemlenen kırmızı gagalı dağ kargasına (*Pyrrhocorax Pyrrhocorax*) kargasına ait olduğu düşünülmektedir. Yayla sakinleri mağara içindeki buzulu su kaynağı olarak kullanmaktadır. İhtiyaç halinde mağaraya gelen köylüler bir testere yardımı ile buzulu keserek bloklar haline alıp yanlarında getirdikleri çanta veya çuvallar ile yaylaya taşımaktadır.



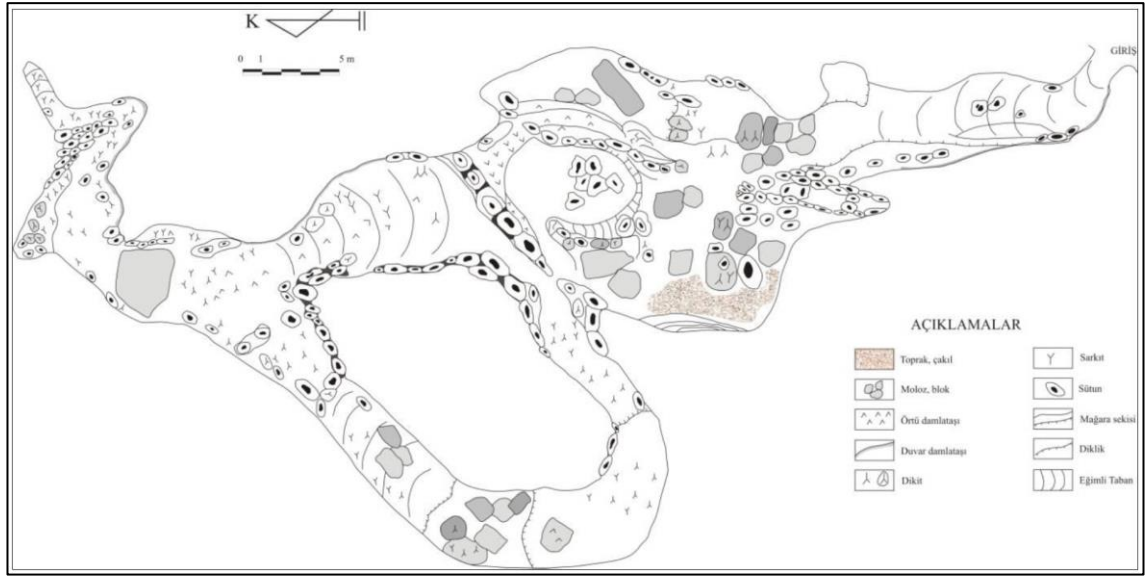
Şekil 53. Karkın Karlığı'nın planı ve açık kesiti

4.1.7.13. Keloğlan Mağarası (Dodurgalar Mağarası)

Acıpayam ilçesine bağlı Dodurgalar Mahallesi'nin 5 km batısında Jura-Kretase yaşlı Neritik Kireçtaşları içinde gelişmiştir. Toplam uzunluğu 145 metredir. Mağarada çok sayıda sarkıt, dikit, sütun ve akmataş oluşumları gözlenmiştir (bkz. şekil 55). Keloğlan Mağarası hidrolojik özelliklerine göre aktif, topoğrafik özelliklerine göre yatay bir mağaradır. Mağaranın ayrıntılı ölçümleri ilk kez 1998 yılında M.T.A. Karst ve Mağara Araştırmaları Birimi tarafından yapılmış ve ayrıntılı haritası Nazik (1998) tarafından çizilmiştir. Mağara, 2001 yılında turizme açılmıştır. (Baykara, 2014) (bkz. şekil 54).



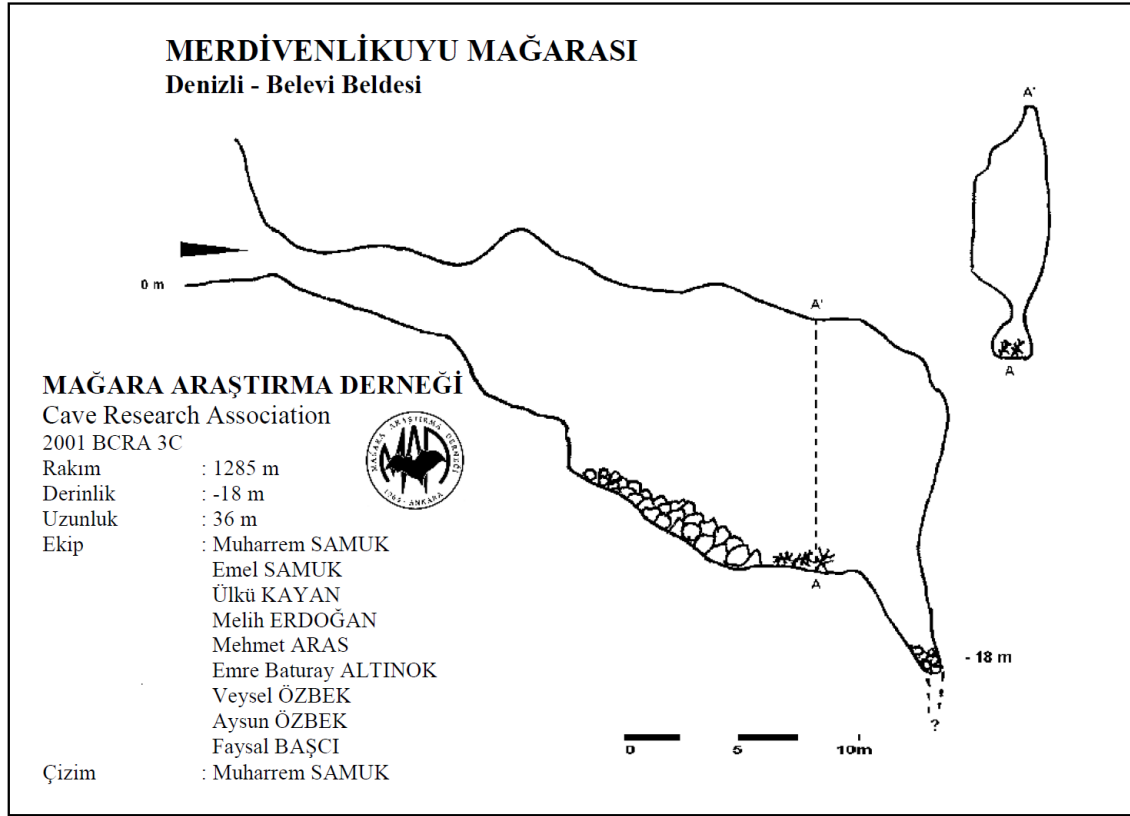
Şekil 54: Keloğlan Mağarası girişi ve önündeki tesisler



Şekil 55. Keloğlan Mağarası planı (Baykara, 2014'e göre Nazik, 1998)

4.1.7.14. Merdivenlikuyu (Merdivenlisuyu) Mağarası

Çal'ın Belevi Mahallesi sınırları içerisinde Malı Dağı (Çal) üzerinde 1285 m rakımda, Orta Triyas – Kretase yaşlı Neritik Kireçtaşları içerisinde oluşmuştur. Mağara Araştırma Derneğinin (MAD) 2001 yılı Denizli araştırmaları sırasında incelenmiştir. Yapılan ölçümlerde mağaranın uzunluğunun 36 m, derinliğinin ise 18 m olduğu tespit edilmiştir (bkz. şekil 56) (Samuk, 2007).



Şekil 56. Merdivenlikuyu Mağarası açık kesiti (Samuk, 2007)

4.1.7.15. Uçansu (Çakallı) Mağarası

Pamukkale'nin Kınıklı Mahallesi'nde, Çakıroluk Tepesi'nin kuzey yamacında Orta Triyas – Jura yaşlı Mermerler içerisinde oluşmuştur. Yapılan ölçümler sonucunda uzunluğunun 259,3 m, derinliğinin ise 9,4 m olduğu tespit edilmiştir. Çakıroluk Tepesi'nin kuzey yamacında yaklaşık 20 metrelik mesafe içerisinde tam 3 tane mağara girişi bulunsa da bunlardan birinin oluşumlar ile tıkanmış olduğu, bir diğerinin geçilemeyecek kadar dar olduğu tespit edilmiştir. En batıda bulunan ve görünüm açısından en küçük olan mağara girişinin yaklaşık 5 m'lik bir sürünmenin ardından görece geniş bir koridora açıldığı görülmüştür (bkz. şekil 58). Mağara hidrolojik özelliklerine göre aktif, topoğrafik özelliklerine göre yatay bir mağaradır.

Kuzey – güney doğrultusunda ilerleyen mağaranın ana koridorunun doğusunda tekrar eden bir yapı gözlenmektedir. Yaklaşık her 10 m'de bir ana koridordan ayrılarak önce doğuya sonra kuzeye yönelen yan kollar mevcuttur. Ana koridorda güney doğru ilerledikçe ve mağara girişinden uzaklaştıkça doğudaki bu kollar daha uzar ve karmaşıklaşır (bkz. şekil 58). Tüm doğu kollarda damlataş oluşumları gözlenmiştir ancak en zengin, en aktif ve en olgun oluşumlar mağaranın güneydoğu ucunda yer almaktadır.

Mağaranın güneybatısında ise farklı bir manzara mevcuttur. Bu alanda mermerlerin içinden konglomeranın içine geçildiği için mağara evriminde kimyasal çözünme süreci yerini fiziksel ayrışmaya bırakmıştır (şekil 57). Zeminde çapları 1 m ile 5 m arasında değişen kaya blokları bulunur ve mağaranın geri kalanı ile güneybatı kolu arasındaki bağlantı bu kaya yığınlarının arasındaki boşluklardan sağlanmaktadır. Mağara bu noktadan sonra uyumsuzluk hattını izleyerek kuzeybatıya yönelmektedir. Bu kolda güneybatı cephesi konglomeradan oluşmakta iken kuzeydoğu cephesi büyük ölçüde damlataşlar ile kaplıdır (bkz. şekil 58).



Şekil 57: Uçansu Mağarası'nın güneybatı ucunda uyumsuzluk

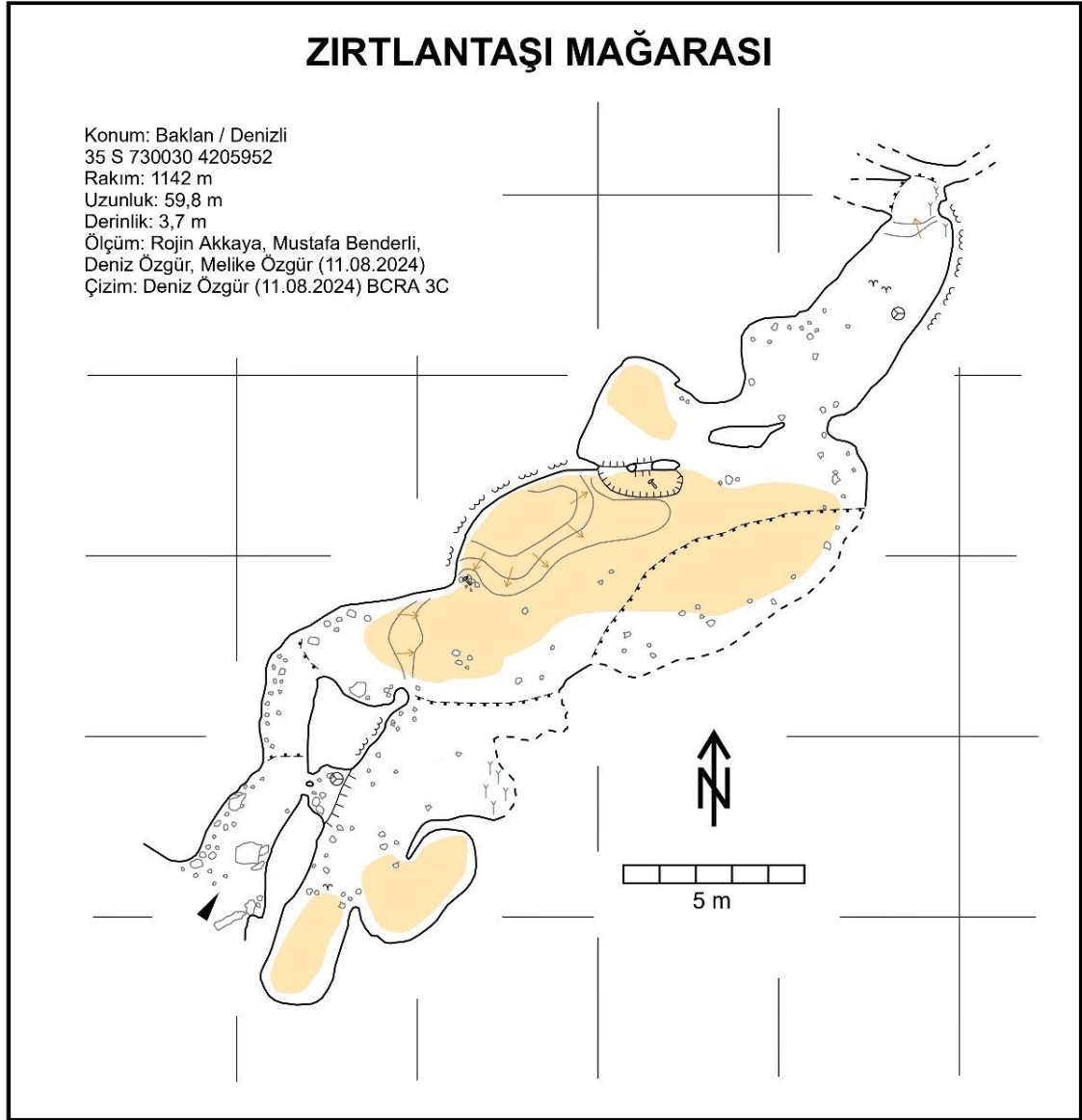
4.1.7.16. Zırtlantaşı Mağarası

Zırtlantaşı mağarası Baklan ilçesi merkezinin yaklaşık 1 km güneybatısında terkedilmiş bir mermer ocağı yakınlarında bulunur. Mağarada yapılan ölçümlerde mağaranın uzunluğunun 59,8 m, derinliğinin ise 3,7 m olduğu tespit edilmiştir (bkz. şekil 60). Mağaraya giriş dar bir ağızdan sürünerek gerçekleştirilebilmektedir (bkz. şekil 59). Girişin sağ tarafında bulunan açıklık geçilemeyecek kadar dardır ancak buradan mağaranın iç kısımlarına ışık ulaşmaktadır. Mağara ağzında yoğun bir sinek popülasyonu tespit edilmiştir bu sebeple giriş yapacak mağaracıların maske takması gerekmektedir. Yaklaşık 10 metre süren sürünme – emekleme gerektiren bir yolculuğun ardından mağaranın ana galerisine ulaşılır ancak burası da ayağa kalkmanın mümkün olamayacağı kadar alçak bir tavana sahiptir. Mağaranın kuzeydoğu ucunda yakılmış bir araba lastiğine rastlanmıştır. Burada mağara tamamı geçilemeyecek kadar dar 3 tane kola ayrılarak sona ermektedir. Mağaranın güney kesiminde ise muhtemel defineci girişlerine işaret eden işçi eldiveni ve atık pil gibi bulgulara rastlanmıştır.

Zırtlantaşı Mağarası'nın "Tabiat Varlığı- C Grubu Mağara" olduğuna ve ekte verilen koordinat listesi ile sınırları belirlenmiş olan alanın "Mağara Koruma Alanı" olarak belirlenmesine ilişkin Denizli Tabiat Varlıklarını Koruma Bölge Komisyonunca alınan 20.11.2020 tarihli ve 653 sayılı karar, 05.02.2021 tarihli ve 241386 sayılı Bakanlık Makam Olur'u ile onaylanmıştır. Zırtlantaşı Mağarası, 10.07.2018 tarihli ve 30474 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe giren 1 No.lu Cumhurbaşkanlığı Kararnamesi'nin 109 uncu maddesi 1 inci fıkrası (b) bendi uyarınca tabiat varlığı olarak tescil edilmiştir (Url 9).



Şekil 59: Zırtlantaşı Mağarası'nın girişi



Şekil 60. Zırtlantaşı Mağarası planı

4.1.8. Polyeler ve Flüvyo - Karstik Depresyonlar

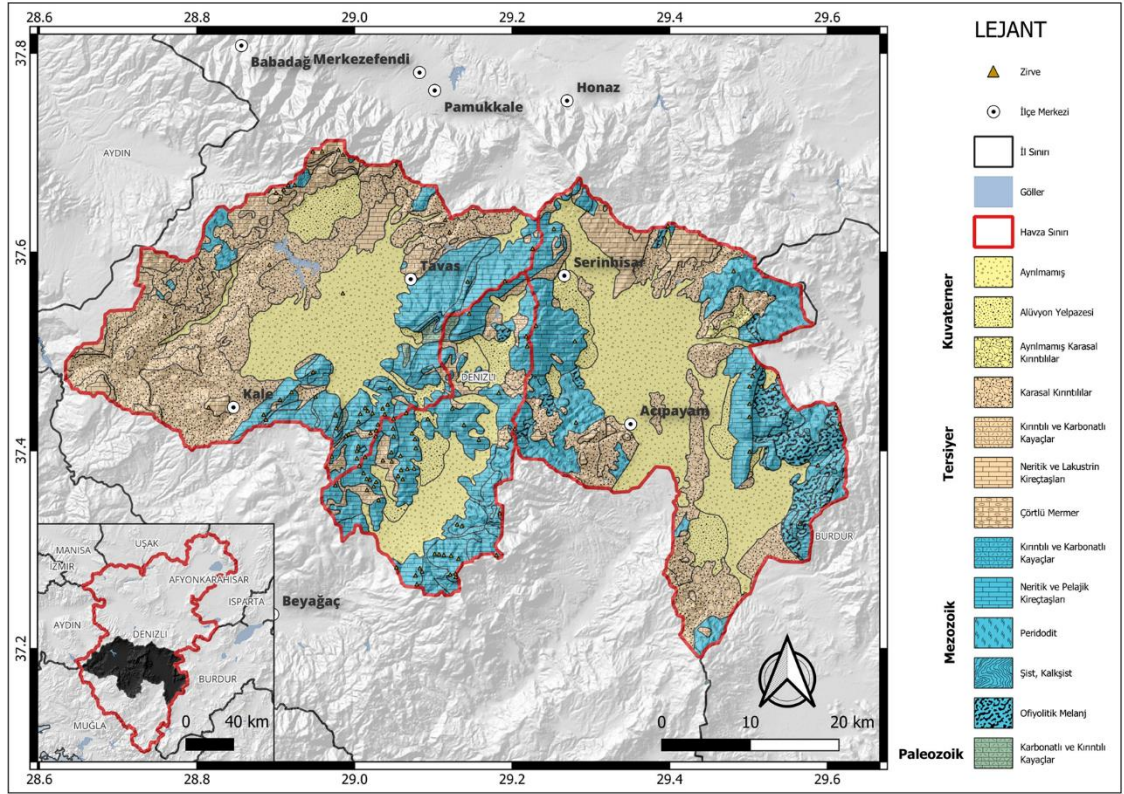
Karst süreçleri ile ilgili olarak oluşmuş ve topoğrafya yüzeyi içine gömülmüş olan depresyonların en büyüklerine *polye* denir (Erinç, 2015). Polyeler karstik arazilerde bulunan geniş, tabanı düz ve çevresi kapalı alanlardır (Ford & Williams, 2007). Çalışma sahasında Barz Polyesi tamamen karstik arazilerle çevrili olması ve genişliği ile klasik polye görünümünü en güzel şekliyle ortaya koyan polyedir (bkz. şekil 61). Polyelerin kenarları genellikle dik eğimlidir ve tabanla keskin bir açıyla birleşir (Culver & White, 2005). Bu özellik yer yer birikinti yelpazeleri ile görünürlüğü yitirse de özellikle Tavas Ovası'nın güneydoğusunda, Barz Polyesi'nin kuzey ve kuzeybatısında, Acıpayam Ovası'nın ise Malı Dağı (Acıpayam) kenarlarında görünür haldedir. Diğerlerine göre

nispeten daha küçük ve daha genç olan Kızılca, Ovacık ve Kırkoluk polyelerinde ise her yönde aynı durum gözlenebilmektedir (Harita 10).



Şekil 61: Barz Polyesi

Flüvyo-karstik depresyonlarda humlara nadir rastlanır. Fay hatları, yapısal ve litolojik farklılığın olduğu formasyon sınırları, genellikle fluvio-karstik depresyonların oluşum alanlarıdır. Tavas ve Acıpayam ovaları çevrelerinin jeolojik yapısı bakımından bu tanıma uymaktadırlar. Ayrıca flüvyo-karstik depresyonlar kapalı havza karakterinde olmayıp, çoğu kez birbirleriyle bağlantılı halde uzanırlar ve genellikle dış drenaja ya da yerel drenaj ağına yüzeyde bağlıdırlar (Doğan, 1996). Klasik polyeler ise yüzey suyu akışı veya düdenlerle drene olabilirler (Beynen, 2011). Çalışma alanında yer alan Kızılca ve Barz polyeleri düdenlere sahiptir. Tavas ve Acıpayam ovaları ise sularını tahliye eden akarsulara sahiptir. Tavas Ovası havzasının suları Yenidere ile Tavas Ovası'ndan ayrılır, Akçay' katılır. Daha sonra Aydın il sınırları içerisinde Büyük Menderes'e katılarak Ege Denizi'ne dökülür. Acıpayam Polyesi Havzası'nın suları Dalaman Çayı aracılığı ile Akdeniz'e dökülmektedir (bkz. şekil 62).



Şekil 63: Denizli polyeleri ve çevresinin jeoloji haritası

Barz Polyesi, Tavas'ın güneyinde Nikfer'den başlayarak güneye doğru uzanan 102 km² genişliğinde bir polyedir. Litolojik olarak Üst Triyas-Üst Kretase Neritik Kireçtaşları (Likya napları, özellikle Dikilitaş formasyonu) egemendir. Karbonatlı birimler ile üzerlerindeki karstik olmayan peridotit naplarının kontak zonunda gelişmeye başlamıştır. Tektonik olarak KD-GB doğrultulu bir normal fay üzerinde gelişmiştir. Tektono-karstik bir polye olarak gelişmiştir. Akaçlanma özelliğine göre "açık polye" sınıfında yer alır. Günümüzde fosil bir düdeni (Buruk Düdeni) bulunmaktadır. Geçmişte polye tabanında daimî flüvyal göllerin varlığına dair kanıtlar (göl çökelleri, höyük) vardır. Polye tabanı günümüzde güneydoğudaki yüksek bölgelerden (Kırdağlar) gelen akarsuların taşıdığı alüvyonlarla dolmaya başlamıştır. Bu alüvyal dolgu polye tabanının yarısından fazlasını kaplar. Bu durum gölü kuzeybatıya ötelemiş ve flüvyo-karstik depresyonların oluşmasına/genişlemesine neden olmuştur. Polye tabanı, alüvyal boğulma nedeniyle kuzeybatıya doğru ortalama %4.1 eğim kazanmıştır (Tuncer, 2021).

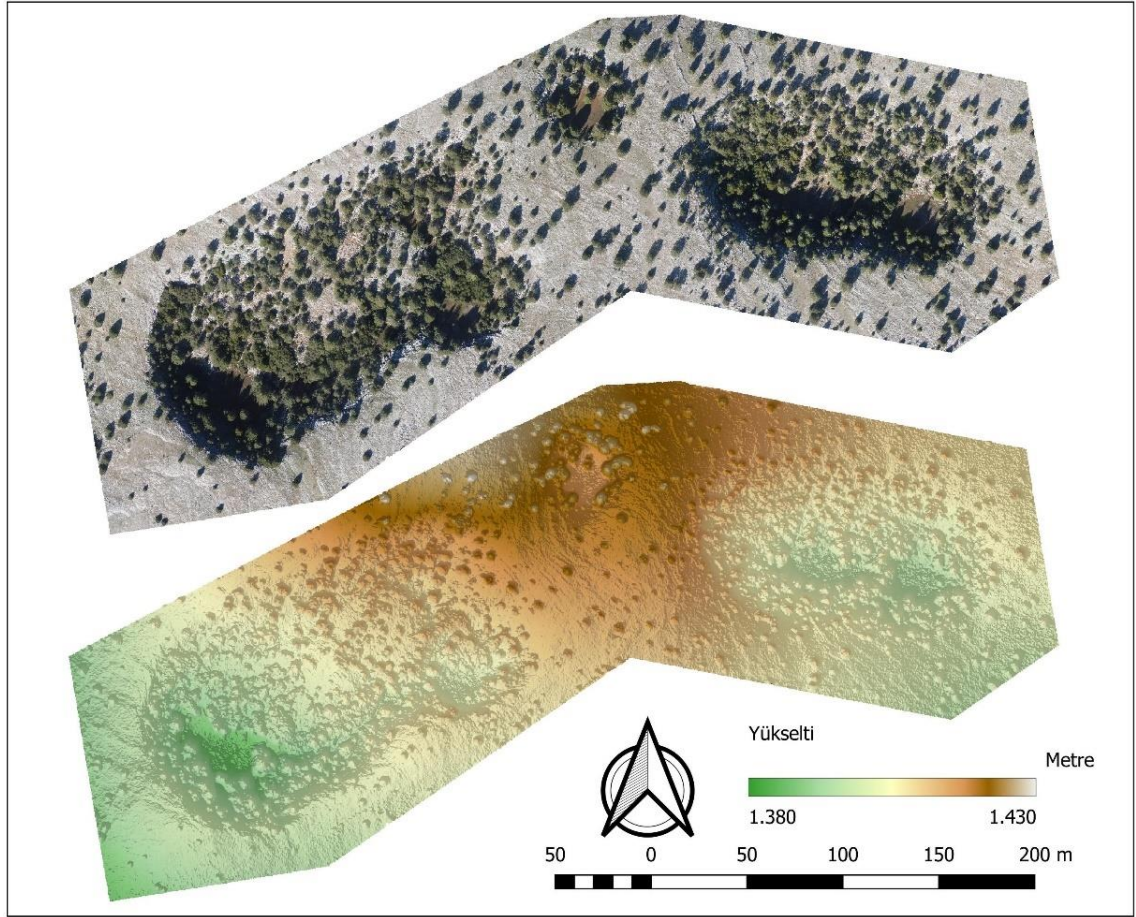
Kızılca Polyesi, Tavas ilçe merkezinin 11 km güneydoğusunda 1120-1200 m yükseltide yer alır. Kırdağ ile Alaman Dağı arasında kalan alanda oluşmuştur. Zemini engebesiz olup, düdenleri ve humları (şahit tepeleri) gibi polyelere özel jeomorfolojik birimlere sahiptir (bkz. Harita 9). Morfolojik olarak, uzun ve kısa eksenine birbirine çok

yakındır, dairesel şekildedir. Maksimum uzunluğu 5.6 km, genişliği 5.5 km, alanı 20.1 km², çevre uzunluğu 27.3 km'dir. Batı ucunda Kızılca, kuzey ucunda ise Aydoğdu Mahalleleri bulunur ve polye tabanı tarım alanları ile kaplıdır. Doğu ucunda bulunan Sebastopolis Antik Kenti'nin varlığı polyenin tarih boyunca yerleşimlere ev sahipliği yaptığına kanıttır. Polyenin güneybatısında bir düdenin yer alması doğal olarak polye yüzeyindeki hidrografik akış yönünü ve eğimi düdene doğru yöneltmektedir. Yağışlı dönemde polye tabanında biriken sular kanallar vasıtası ile düdene ulaşmaktadır. Polyenin kuzeydoğu kenarında bulunan Köletaş Mevkii'de, Kırdagları'ndan gelen malzemeler ile bir birikinti yelpazesi oluşmuştur. Polyenin yaklaşık olarak merkezinde bulunan ve Jura yaşlı kireçtaşlarının bulunduğu Akçalca Tepe (1211 m.) tipik bir hum (şahit tepe) özelliği taşımaktadır (Tuncer, 2021; Akpınar ve Atayeter, 2023).

Ovacık Polyesi Mezozoik yaşlı Kireçtaşları üzerinde gelişmiş karstik bir ovadır ve tabanının engebesiz olması ve içerisinde aktif bir düden bulunması sebebiyle polye niteliği taşır Kızılca Polyesi'nin güneyinde yer alır ve doğuda Kır Dağları sınırlandırır. Doğu-batı yönlü bir uzanım sergiler. Tabanının maksimum uzunluğu 3,1 km, genişliği 1,9 km, alanı 3,9 km², çevre uzunluğu 11.5 km'dir. Deniz seviyesinden rakımı 1169 m'dir ve Kızılca Polyesi'nden daha yüksektir. Güneydoğusunda aktif bir düden bulunur, taban eğimi bu düdene doğrudur (Tuncer, 2021; Akpınar ve Atayeter, 2023).

4.1.9. Uvalalar

Dolinleri birbirinden ayıran keskin kalker duvarlar zamanla ortadan kalkarak, iki veya daha fazla karstik çukuru birleştirmek suretiyle daha geniş ve karışık şekiller meydana getirir (Alagöz, 1944). Dolinlerden daha büyük bu karstik depresyonlar uvala terimi ile açıklanır (Erinç, 2015). Denizli dolin ve uvala açısından zengin arazilere sahiptir. Denizli – Aydın sınırında yer alan Küçükdağ üzerinde bulunan örneklerde dolin evrimi ve dolin – uvala geçişi net şekilde görülmektedir (bkz. şekil 64).



Şekil 64 Küçükdağ üzerinde bulunan dolin ve uvala örneklerine ait ortomozaik (üstte) ve morfometri haritası (altta)

4.2. Karstik Birikim Şekilleri

Karstik arazilerde yüzey ve yer altı sularının etkisiyle zamanla çeşitli birikim şekilleri oluşur. Bu şekiller, çözülmüş kireç taşının tekrar çökmesiyle meydana gelir ve genellikle mağaralarda görülür. Damlataşlar, sarkıt, dikit ve sütun gibi yapılar bu süreçlerin sonucudur (Erinç, 2015). Yavaş gelişen bu birikimler, aynı zamanda mağaraların iklim geçmişine dair ipuçları da sunar. Karstik birikim şekilleri hem jeomorfolojik açıdan hem de estetik değerleriyle dikkat çeker (Nazik, 2018).

4.2.1. Damlataşlar (Speleotemler)

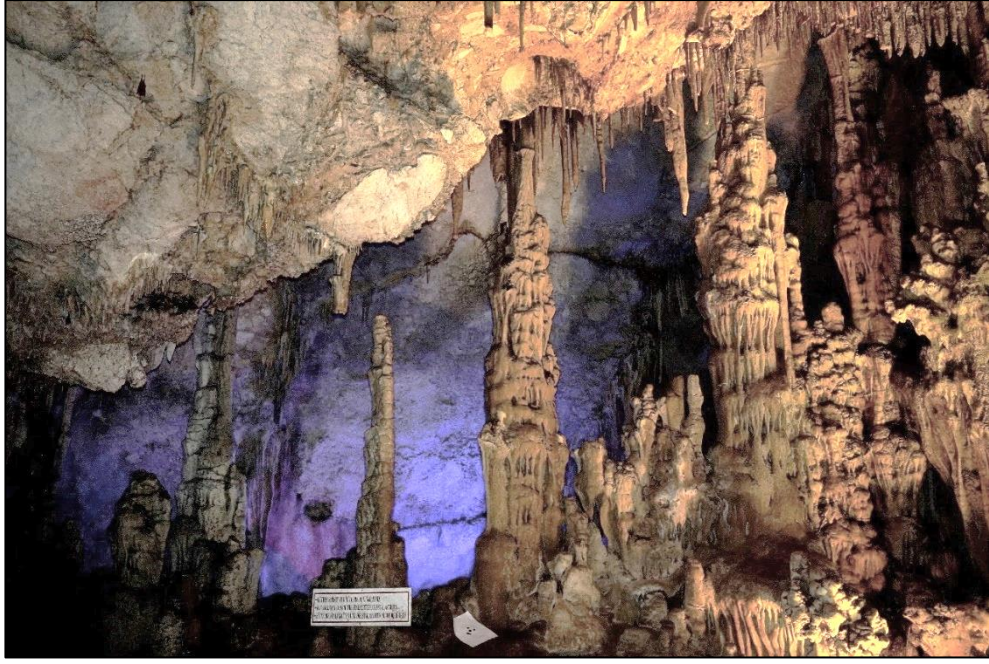
Sarkıt veya *stalactite* karstik sahalarda yeraltına sızan suların mağaralar içerisinde tavandan tabana doğru sarkan ve zaman içerisinde büyüyen bir yapıdır (Atalay, 2013). Gençlik evresinde soda çubukları, sarkıt oluşumunun başlangıcı olarak kabul edilirler (Ozansoy ve Mengi, 2006). Tavandan damlayan sular damlamadan önce tüm temas yüzeylerinden eser miktarda kimyasal biriktirme (CaCO_3 - Kalsiyum Karbonat) yaparlar. Uzun bir zaman boyunca damlalar her seferinde bir önceki damlanın birikimi üzerine

ilave yaparak pipet biçimde bir yapı oluşturur. Soda çubuklarında ve genç sarkıtlarda su akışı çubuğun içinde gerçekleşmektedir (Ozansoy ve Mengi, 2006) (şekil 65).



Şekil 65. Çalçakırlar Mağrası'nda sarkıtların içindeki su kanallarının alttan görünümü

Sarkıtlardan damlayan suların zemine çarptıklarında çevreye sıçramaları ile bir miktar kalsiyum karbonat zeminde birikir. Tabandan yükselerek büyüyen, genellikle uç kısımları düz ve konik biçimli yapılara dikit veya *stalagmite* denir (Atalay, 2013). Dikitler; uzun ve ince, süpürge sapını andıran şekillerden heybetli ve çok katmanlı kulelere kadar birçok farklı formlarda olabilirler. Dikitin biçimi büyük oranda damlama hacmi, tavan yüksekliği, mağaranın atmosfer koşulları ve su damlasının kimyası gibi unsurlar tarafından belirlenir (Ozansoy ve Mengi, 2006). Çalışma alanında en zengin dikit varlığı Keloğlan Mağarası'nda tespit edilmiştir (bkz. şekil 66).



Şekil 66 Keloğlan Mağarasında sarkıt, dikit ve sütunlar

Sarkıt ve dikitlerin zaman birleşmesi sütunlar oluşur. Çalışma alanında en zengin sütun varlığı yine Keloğlan Mağarası'nda bulunmaktadır (bkz. şekil 55; 66). Arazi çalışmaları sırasında Tavas'ın Kızılcabölük Mahallesi'nde yer alan Hancıkavağı Mağarası'nda bir sarkıt ve dikitin birbirine 0,5 cm'ye kadar yaklaştığı tespit edilmiştir. Bu örnek sütun oluşum mekanizmasına ışık tutan kıymetli bir örnek olarak kaydedilmiştir (şekil 67).



Şekil 67. Çalçaklılar Mağarası'nda sütun oluşturma safhasına gelmiş sarkıt ve dikit örneği

Karnabahar, mağaralarda bulunan bir tür spelotem yani mağara çökeli türüdür. Bu oluşumlar için "mağara mercanı" (cave coral), "globulit", "botryoidal kalsit" gibi başka isimler de kullanılır. Fransızcada "boules" olarak bilinir (Ford & Williams, 2007).

Boyuları birkaç mm ile birkaç cm arasında değişmektedir. Bulundukları yerlerde mağara duvarlarını kaplayarak birlik oluşturmaktadırlar. Yüzeyleri karnabahara benzer veya küçük, birbirine bağlı kalsit topları şeklinde olabilir. Karnabaharların ana oluşum mekanizmalarından biri mağara duvarlarındaki kılcal yolları izleyerek yükselen suyun buharlaşması sonucunda gerçekleşen çökmedir. Kılcal çatlaklardan çıkan besleme suyunun karnabahar üzerindeki küresel yüzeyden yavaşça buharlaşması söz konusudur. Genellikle buharlaşmanın maksimuma ulaştığı yüksek çıkıntılarda bulunurlar (Bögli, 1980).

Çalışma alanında Gümüşdere Obruğu'nun (çökme dolini) oluşmasını sağlayan alttaki eski mağaranın duvarlarında, Kelkaya Düdeni'nin iç duvarlarında Uçansu Mağarası'nın güney kesiminde ve Höyük 2 Mağarasının güney duvarlarında karnabahar örnekleri tespit edilmiştir (bkz. şekil 35c).

Mağara bulutları kalsiyum karbonata doymuş suları olan mağara havuzlarının diplerinde oluşan karbonat kaplamalarıdır. Çoğu zaman, tümsekli mağara havuzlarından çok, su tabakasının altında oluşurlar. Mağara bulutlarının kesitlerinde bir ağacinkine ya da dikitinkine benzer halkalar görülür. Kurumuş mağara havuzlarında eski su seviyesinin tespit edilebilmesini sağlarlar. Havuza batmış halde bulunan Speleotemler de mağara bulutları ile kaplanabilirler (Ozansoy ve Mengi, 2006). Çalışma alanında en güzel mağara bulutu örneğine Çalçakırlar Mağarası'nda rastlanmıştır (bkz. şekil 42c; 42d)

Mağara incileri sığ su birikintileri içerisinde bulunan eşmerkezli katı kütlelerdir. Su birikintilerine damlayan damlalar karbondioksitlerini kaybederek kalsit çökeli bırakırlar. Bu çökeller su birikintileri içindeki kum, çakıl veya kemik gibi parçaların üzerlerini kaplarlar. Düşen her damla küçük birikintideki suyu hareket ettirdiği için parçalar kalsit ile kaplanırken zemine yapışmadan büyüme fırsatı bulur. İnciler küre, silindir, oval veya küp şeklinde olabilirler, boyutları ise kum tanesi ile golf topu arasında değişebilir (Ozansoy ve Mengi, 2006). Çalışma alanında yalnız bir adet mağara incisine rastlanabilmiştir. Bu örnek Hancıkavağı Mağarası'nda küçük bir traverten havuzu içerisinde yer almaktadır (bkz. şekil 46g).

Perdeler mağaralardaki ters eğimli yüzeylerde görülürler. Duvar üzerinde aşağı yönde hareket eden su, yol boyunca kimyasal bir birikim yapmaktadır. Uzun bir zaman boyunca su tarafından tercih edilen yol birikim ile ince ve narin perde yapısını oluşturur

(Ozansoy ve Mengi, 2006). Çalışma alanında perdelerin en güzel örneklerine Çalçaklılar Mağarası'nda rastlanmaktadır (bkz. şekil 42b; 43).

Olgunluk evresinde soda çubuklarının dış yüzeyinde gerçekleşen su akışı, bu alanda dik ve çubuksu kalsit kristallerinin birikmesine yol açar. Zaman içerisinde soda çubukları kalınlaşarak klasik sarkıt formunu alırlar. Olgun bir sarkıt içerisinde su akışı devam edebilir ancak çoğu durumda iç kanal tıkanmakta ve su akışı yalnız dış yüzeyden devam etmektedir (Ozansoy ve Mengi, 2006).

4.2.2. Traverten - Tufa

Genel olarak, traverten oluşumu jeotermal suların yüzeye çıkması ve içerdikleri çözünmüş kalsiyum karbonatın çökmesiyle ilişkilidir. Faylar ve çatlaklar, bu jeotermal suların yeryüzüne ulaşması için önemli yollar sağlarlar (Altunel, 1996). Çürüksu havzası, Pamukkale ve Karahayit travertenlerinin bulunduğu bölge, normal fay segmentleriyle sınırlandırılmış ve bu faylar boyunca yüzeye çıkan termal sular tarafından eğimli yamaçlar boyunca travertenler oluşmuştur (Topal, 2012). Bu durum, faylanmanın jeotermal kaynakların yüzeye çıkışında ve dolayısıyla traverten oluşumunda doğrudan etkili olduğunu göstermektedir (Gönençgil, ve diğerleri, 2016).

Travertenler, oluşumları sırasında ve sonrasına ait tektonik özellikler barındırdıkları için neotektonik açıdan önemlidir. Fay önü, kendiliğinden oluşan kanal ve özellikle sırt tipi travertenler tektonik hareketler hakkında bilgi sağlar. Pamukkale bölgesi, son 200.000 yıldan bu yana KD-GB yönünde yıllık yaklaşık 0.23 ile 0.6 mm hızında açılmaktadır. Pamukkale'deki teras tipi travertenler aktif kırıklar ve fay segmentleri üzerinde yer alan kaynaklardan çıkan suyun yamaç aşağı akmasıyla oluşurlar (Şekil 68a). Eğimli bir yamaç boyunca yer alan teras tipi travertenler, boyutları birkaç santimetreden birkaç metreye varan traverten havuzları ve teraslar içerirler. Su, ana teras üzerindeki havuzlar, teraslar ve eğimli yüzeyler üzerinde küçük çağlayanlar halinde akararak kar beyazı renginde traverten çökeltir ve zamanla bu küçük ölçekli yapıların büyümesine sağlar (Altunel, 1996).

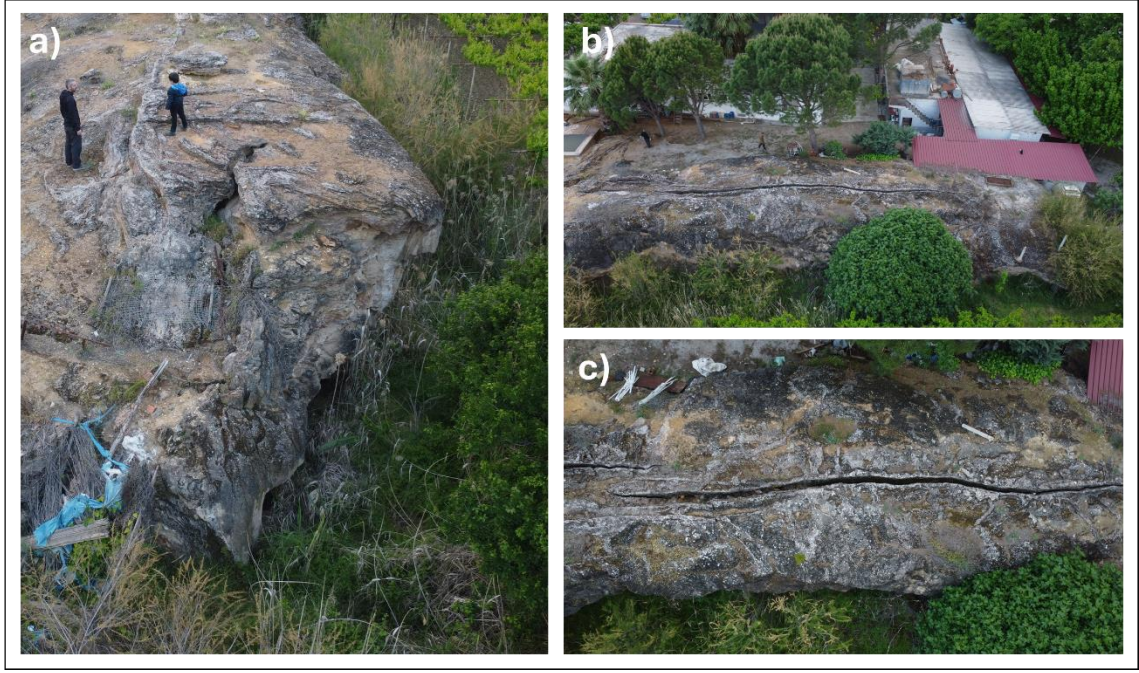
Kendiliğinden oluşmuş kanal travertenleri (*self-built channel travertines*) kalsiyum karbonatça zengin suyun kanal içinde akması sonucu, kanal tabanında ve kenarlarında travertenin çökmesiyle oluşurlar. Pamukkale ve Hierapolis içinde ve çevresinde sıklıkla rastlanan, yükseklikleri yer yer 5 m'yi geçen duvar şeklindeki travertenler kendiliğinden oluşan kanal travertenleri şeklinde adlandırılmıştır (Şekil 68b).

Pamukkale travertenleri her yıl yüz binlerce ziyaretçi tarafından ziyaret edilmektedir. Tabakalı travertenler yapı taşı, çatlaklardaki bantlı travertenler ise süs taşı olarak işletilebilmektedir (Altunel, 1996).



Şekil 68. Pamukkale çevresinde yer alan bazı traverten tipleri. a) Teras tipi travertenlerin havadan görünümü (Url 11) b) Kendiliğinden oluşan kanal tipi travertenler

Çalışma alanında yer alan Kamara Traverten Sırtı, Buldan'ın Yenicekent mahallesinin 3,4 km kuzeydoğusunda yer alır. Kamara Traverten Sırtı, tektonik olarak aktif bir bölgedeki sıcak su kaynaklarına bağlı oluşmuş bir traverten yapısıdır. Hemen yanında bu sıcak suları kullanan bir kaplıca bulunmaktadır (şekil 69b). Sırtın boyutları her ne kadar Subay'ın çalışmasında 64 metre uzunluk, 3-4 metre yükseklik ve 15-20 metre genişlik olarak verilse de (Subay, 2019) fotogrametri yöntemi ile yapılan ölçümlerde uzunluk 45 m, yükseklik 3 m, genişlik ise en geniş noktada 7 m olarak tespit edilmiştir. Traverten sırtı uzun eksen boyunda devam eden bir çatlak içermektedir (şekil 69c). Bu çatlak genişliği 5 ila 40 cm arasında değişmektedir. Çatlak duvarlarında sıcak kaynağa yakın oluşan kristalin kabuk tipi travertenler bulunmaktadır (Subay, 2019) (şekil 69a).



Şekil 69: Kamara Traverten Sırtı. a) traverten sırtının tabakalı yapısı, b) traverten sırtı ve kaplıca, c) su çıkışının gerçekleştiği yarık

Pamukkale ve Karahayıt'taki travertenler, normal faylar boyunca yüzeye çıkan termal sularla oluşmuştur. Sahadaki en genç traverten oluşumları burada görülmektedir ve dünya çapında Pamukkale Travertenleri olarak bilinirler. Bu alandaki termal sular, Büyük Menderes Nehri'nin Aksu Çayı'na boşalmaktadır. Honaz Fayı'nın tavan bloğunda yer alan travertenler, fayın önündeki açılma çatlakları ve fay düzlemi boyunca yüzeye çıkan kaynak suları tarafından Neojen istifin en üstünde oluşmuşlardır (Topal, 2012) (bkz. Harita 4).

Çürüksu Havzası'nda geniş yer kaplayan traverten ve tufa depoları Kaklık Mağarası, Höyük 2 Mağarası, Kelkaya Düdeni gibi pek çok karstik şeklin oluşmasına zemin hazırlamıştır. Günümüzde Aksu çevresinde tufa birikimi halen devam etmektedir. Aksu'ya bağlanan akarsular üzerindeki şelalelerde sarmaşıkların ve ağaç dallarının kireç ile kaplandığı, speleotemleri anımsatan yapıların oluştuğu gözlemlenmiştir (şekil 70). Ancak bu şekillerin merkezinde su kanalı yerine dal parçaları bulunmaktadır. Kaplanma sırasında bitkilerin halen hayatta olduğu ancak ilerleyen zamanlarda ağırlaşan dalların koparak yere düştüğü görülmüştür.



Şekil 70: Aksu kenarındaki şelalerde su akışı (solda) ve kireç ile kaplanmış dal parçaları (sağda)

Çürüksu Havzası'nda yer alan örnekler, faylanmanın sadece jeotermal suların yüzeye çıkışını sağlamakla kalmayıp, aynı zamanda traverten yataklarının konumunu, şeklini ve gelişimini de etkilediğini göstermektedir. Özellikle açılma çatlakları ve fay düzlemleri, traverten çökelimi için tercihli bölgeler oluştururken, fayların hareketleri ve açılma hızları, travertenlerin iç yapısını ve yaşını analiz ederek belirlenebilmektedir.

SONUÇ

Bu çalışmada, Batı Anadolu ile Toroslar kuşağının kesişiminde yer alan Denizli ilinin karst jeomorfolojisi detaylı bir şekilde incelenmiştir. Denizli'nin jeolojik, tektonik ve iklimsel özellikleri, bölgeyi Türkiye'nin en zengin karst alanlarından biri haline getirmiştir. Araştırma, mevcut literatürdeki boşlukları doldurarak, Denizli'deki karstik şekillerin kapsamlı bir envanterini sunmuştur. Çalışma kapsamında 844 çözünme dolini, 3 çökme dolini, 10 mağara ve 2 düden incelenmiş, 10 mağaranın haritaları BCRA 3C standardında üretilmiştir. Yeni mağaralar arasında turizme uygun bir mağara bulunamamıştır. Çalışma sahasının en büyük çökme dolinleri olan Gümüşdere, Gölbaşı ve Atağırıcukur arasından Gümüşdere ve Gölbaşı çökme dolinleri turizme uygundur.

Çalışma sırasında elde edilen bulgular, polyeler, dolinler ve mağaraların ağırlıklı olarak Mezozoik yaşlı kireçtaşı araziler üzerinde geliştiğini göstermiştir. Özellikle Kırdağlar, Bozdağ ve Akdağ gibi yüksek ve çözünebilir kayalardan oluşan alanlarda sayısız dolin ve uvala oluşumu tespit edilmiştir.

Çalışmada, polye, dolin, mağara ve düden gibi farklı karstik şekillerin sayısal verileri elde edilmiş, bu şekillerin dağılımı ve gelişimi incelenmiştir. Denizli'nin karstik şekillerinin büyük çoğunluğunun Mezozoik yaşlı kireçtaşı birimleri üzerinde geliştiği tespit edilmiştir. Termojenik sulara bağlı traverten, meteojenik sulara bağlı olarak tufa oluşumları ise daha genç Kuvaterner yaşlı Çürüksu Graben kenarlarında yoğunlaştığı belirlenmiştir. Pamukkale ve Karahayıt travertenleri, faylar boyunca yüzeye çıkan termal sularla oluşmuş ve tektonik hareketler hakkında önemli bilgiler sunmaktadır.

Bulgular, jeotermal süreçlerin, bölgedeki karstlaşmayı hem hızlandırıcı hem de şekil çeşitliliğini artırıcı bir etkiye bulunduğunu göstermiştir. Pamukkale gibi dünyaca ünlü traverten alanlarının yanı sıra, Kaklık Mağarası, Dereköy Mağarası, Çalçakırlar Mağarası gibi birçok yeryüzü şeklinin bu süreçlerin ürünü olduğu ortaya konmuştur.

Erinç'in (2015) çıplak karst sahalarında toprak tabakası bulunmadığı için tarım olanakları kısıtlı, nüfus yoğunluğu düşük olması hakkındaki tespiti Denizi örneğinde bir kez daha doğrulanmıştır. Denizli'de karstlaşmanın yoğun olduğu alanlar (bkz. şekil 26) arazi örtüsü haritasında yerleşmelerin ve tarım alanlarının seyredildiği alanlar olarak karşımıza çıkmaktadır (bkz. şekil 24).

Taş ocakları ve traverten ocakları doğrudan fiziksel tahribata ve hidrolojik değişikliklere yol açarken, mağaraların turizme açılması hassas mağara ekosistemleri

üzerinde olumsuz etkilere neden olabilir. Bu nedenle, karstik bölgelerde sürdürülebilir arazi kullanımının sağlanması ve insan etkilerinin dikkatli bir şekilde yönetilmesi gerekmektedir (Beynen, 2011). Çalışma sahasında Honaz başta olmak üzere pek çok yerde aktif olan taş ocaklarının karstik arazileri tehdit ettiği görülmüştür. Dereköy Mağarası yakınlarındaki taş ocağının sadece karstik araziye değil ayrıca çevredeki yerleşimlere de zarar verdiği kaydedilmiştir (şekil 71) (Url 7).



Şekil 71. Aşağıdadhare'de taş ocaklarından yuvarlanarak gelen kaya bloklarının zarar verdiği bir ev (Url 12)

Karstik alanların turizm potansiyelinden yararlanılırken, doğal dengeyi koruyacak sürdürülebilir yönetim planlarının geliştirilmesi gereklidir. Özellikle mağara turizminde ekosistem üzerindeki insan etkisinin azaltılması için önlemler alınmalıdır. Keloğlan Mağarası'ndaki ışıklandırma sistemlerinin acilen değiştirilmesi ve fotosentez faaliyetine imkân vermeyen bir ışıklandırma sistemi kurulması gerekmektedir.

Mağaralar, dolinler, düdenler ve polyeler gibi yüzey karstı unsurlarının tarımsal faaliyetler ve madencilik nedeniyle zarar görmemesi için bu alanlarda özel koruma statüleri oluşturulmalıdır. Çalışma alanında 6 mağara tescil edilmiş, 2 mağara da turizme açılmış durumdadır. Tescilli mağaraların sayısının artırılması mağaraların madencilik, definecilik, vandallık gibi tehlikelere karşı yasal olarak korunabilmesini sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- Akpınar, H. ve Atayeter, Y. (2023, Nisan). Kır Dağları (Denizli) Batısının Jeomorfolojik ve Morfometrik Görünümü. *Gümüşhane Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 2(14), 691-712.
- Akşit, S., Baykara, M. O., & Seyirci, A. (2024). Jeoturizm Perspektifinde Kanyonların Önemi ve Denizli İlinde Yer Alan Kanyonların Jeoturizm Potansiyeli. *Denizli Turizm Yol Haritası* (s. 224-242). Detay Yayıncılık.
- Alagöz, C. A. (1944). Türkiye'de Karst Olayları Hakkında Bir Araştırma. *Türk Coğrafya Dergisi* (1), 86-92.
- Altunel, E. (1996). Pamukkale Travertenlerinin Morfolojik Özellikleri, Yaşları ve Neotektonik Önemleri. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi* (118), 47-64.
- Atalay, İ. (2005). *Genel Fiziki Coğrafya* (6. b.). İzmir: Meta Basım.
- Atalay, İ. (2013). *Doğa Bilimleri Sözlüğü* (2. b.). İzmir: Meta Basım.
- Atalay, İ. (2023). *Türkiye Coğrafyası ve Jeopolitiği* (10 b.). İzmir: Ak-Mat.
- Aydın, S. ve Tuncer, K. (2021). *Bozdağ'da (Denizli) Karstik Şekillerin Morfometrik Özellikleri ile Oluşumu ve Gelişimi*. Yüksek Lisans Tezi, Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Burdur.
- Bahadır, M. ve Özdemir, M. A. (2011). Acıgöl Havzası'nın Sayısal Topoğrafik Analiz Yöntemleri ile Morfometrik Jeomorfolojisi. *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 4(18).
- Baykara, M. O. (2014, Şubat). *Güneybatı Anadolu'da Mağara Çökellerinin İncelenmesi ve Paleoiklimsel Değerlendirmesi*. Doktora Tezi. Denizli, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü: Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Beynen, P. A. (2011). *Karst Management*. Springer.
- Bölük, E., Eskioğlu, O., Çalık, Y., Yağan, S. (2023, Ocak) *Köppen İklim Sınıflandırmasına Göre Türkiye İklimi*. İklim ve Zirai Meteoroloji Dairesi Başkanlığı İklim ve İklim Değişikliği Şube Müdürlüğü

- Bögli, A. (1980). *Karst Hydrology and Physical Speleology*. (J. C. Schmid, Çev.) Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag.
- Büyüktopçu, F., Baykara, M. O., & Aydemir, C. (2002, Aralık). Denizli Bölgesi Araştırmaları. *Troglobit*. İzmir, Alsancak: Dokuz Eylül Üniversitesi Rektörlüğü S.K.S. Dairesi Başkanlığı.
- Culver, C. D., & White, W. B. (2005). *Encyclopedia of Caves*. Elsevier Academic Press.
- Çiçek, A. (2021). *Kaklık Mağarası (Denizli)'nda Yaşayan Mağaraya Bağımlı Arthropoda Türlerinin Belirlenmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Isparta, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü: Biyoloji Anabilim Dalı.
- Doğan, U. (1996). Polye ve Fluvio Karstik Depresyonlar Seydişehir in Güneybatısından Örnekler. *Türkiye Coğrafyası Araştırma ve Uygulama Merkezi Dergisi* (5), 229-246.
- Duman, C. (2023). Denizli Hidrografyası. *Denizli Coğrafya Araştırmaları (1)*, Editör: Kara, H., Çizgi Kitabevi, 121-142.
- Erinç, S. (2015). *Jeomorfoloji II*. (Güncelleştirenler: Ahmet Ertek, Cem Güneysu). İstanbul: Der Yayınları.
- Erol, O. (1983, Şubat). Türkiye'nin Genç Tektonik ve Jeomorfolojik Gelişimi. *Jeomorfoloji Dergisi*, 1-22.
- Erol, O. (2005). *Türkiye Jeomorfolojisi*. Ankara.
- Ertek, T. A. (2014). *Kuvaterner Coğrafyası*. İstanbul.
- European Environment Agency. (2020). *CORINE Land Cover (CLC) 2018 raster (Version 2020_20u1) [Data set]*. Copernicus Land Monitoring Service. <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc2018>
- Fick, S. E., & Hijmans, R. J. (2017, Mayıs 15). WorldClim2: New 1-km Spatial Resolution Climate Surfaces for Global Land Areas. *International Journal of Climatology*, 4302-4315.
- Fleury, S. (2009). *Land Use Policy and Practice on Karst Terrains*. Springer.
- Ford, D., Williams, P. (2007). *Karst Hidrogeology and Geomorphology*. Wiley.

- Gedik, T. (2019, Kasım). *Eskihisar / Laodikya Fay Zonu'nun Üzerlik - Akhan (Denizli) Yerleşim Yerleri Arasındaki Kesiminin Yapısal ve Paleosismolojik Özellikleri*. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- Goldscheider, N., & Drew, D. (2007). *Methods in Karst Hydrogeology*. Taylor & Francis.
- Gönençgil, B., Biricik, A. S., Atalay, İ., Aydınözü, D., Çoban, A., & Ertek, A. (2016). *Türkiye Fiziki Coğrafyası*. İstanbul: İstanbul Üniversitesi.
- Günay, G., Törk, K., Güner, İ. N., Gilli, E. (2022). *Caves and Karst of Turkey - Volume 2*. Springer
- İzbırak, R. (1977). *Sistematiik Jeomorfoloji*. Ankara: Harita Genel Müdürlüğü Yayınları.
- Jamali, M., Moghimi, E., Jafarpour, Z., A., (2015). Geomorphology of Karst Features of Shiraz and Arjan Plain and Development Limitations. *International Science Index* (Vol:9), No:1, 25-31
- Kara, H. (2001). *Akçay Havzası'nın Jeomorfolojisi*. Doktora Tezi. İstanbul, Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü: Coğrafya Eğitimi Anbilim Dalı.
- Konak N., ve Şenel, M. (2002) *Geological map of Turkey in 1/500.000 scale: Denizli sheet*. Mineral Research and Exploration Directorate of Turkey (MTA) Ankara, Türkiye
- Kranjc, A. (2011). The Origin and Evolition of the Term "Karst". *Procedia - Socian and Behavioral Sciences* 19, (567-570).
- Kumsar, H., & Aydan, Ö. (2021). An Integrated Study on the Stability Assessment and Partial Collapse of the Kaklık Karstik Cave (Denizli, Turkey). *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* (80), 221-238.
- Mason, J. A., Burt, J. E., Muller, P. O., & Blij, H. J. (2016). *Physical Geography (Fifth Edition b.)*. Oxford Univertsity Press.
- Magini, G., A., Magini, F., Wright, B. (1620). *Istria Olim Iapidia*. Bologna
- Nazik, L. (2008). *Mağaraların Araştırılma, Koruma ve Kullanım İlkeleri*. Ankara: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü.
- Nazik, L. (2018). Yeraltı Karanlıklar Dünyasının Gizemli Oluşumları: Mağaralar. *Mavi Gezegen* (24), 20-36.

- Nazik, L. ve Tuncer, K. (2010, Temmuz). Türkiye Karst Morfolojisinin Bölgesel Özellikleri. *Türk Speleoloji Dergisi* (1), 7-19.
- Nazik, L., Poyraz M., Karabıyıkoglu, M. (2019). Karstic Landscapes and Landforms in Turkey, in Kuzucuoğlu C., Çiner A., Kazancı N., *Landscapes and landforms of Turkey*, Springer, 181–196, <https://doi.org/10.1007/978-3-030-03515-0>
- Ozansoy, C., & Mengi, H. (2006). *Mağarabilimi ve Mağaracılık*. Ankara: TÜBİTAK Popüler Bilim Kitapları.
- Özkul, M., Gül, A., Koralay, T., Özen, H., Semiz, B., & Duman, B. (2024, Mayıs 16). Denizli Travertine: A Global Heritage Stone Resource Nominee from Western Türkiye. *Geoheritage* 16:67.
- Özkul, M., Kele, S., Gökgöz, A., Shen, C.-C., Jones, B., Baykara, M. O., . . . Alçiçek, M. C. (2013). Comparison of the Quaternary Travertine Sites in the Denizli Extensional Basin Based on their Depositional and Geochemical Data. *Sedimentary Geology* (294), 179-204. doi:10.1016/j.sedgeo.2013.05.018
- Özler, H. M. (2015). Hydrogeology of the Kaklık (Denizli) Aquifer in Turkey. *Procedia Earth and Planetary Science* (15), 345-352. doi:10.1016/j.proeps.2015.08.087
- Öztürk, M., Z., Şimşek, M., Utlu, M., Şener, M., F., (2017) 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
- Pekcan, N., (2024), *Karst Jeomorfolojisi*. 3. Baskı'dan 4. Tıpkı Baskı. İstanbul: Filiz Kitapevi.
- Rathjens, C. (1954). Zur Frage der Karstrandebenen im Dinarischen Karst. *Erdkunde* 8, 114.
- Samuk, M. (2007). Merdivenlikuyu Mağarası. *Mad Bülteni* (13), 25.
- Strabon. (2000). *Strabon Antik Anadolu Coğrafyası (Geographika: XII-XIII-XIV)* (4. b.). (A. Pekman, Çev.) İstanbul: Kanaat Basım Evi.

- Subay, E. (2019, Ağustos). *Tosunlar Jeotermal Sahasının (Denizli) Hidrojeolojik ve Hidrojeokimyasal İncelemesi*. Yüksek Lisans Tezi. Denizli, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü: Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Şahinci, A. (1991). *Karst*. İzmir: Reform Matbaası
- Tabancalı, Y. (2020, Nisan). *Böceli ve Kazanpınar Kaynakların (Denizli) Hidrokimyasal Özelliklerinin Mevsimsel Değişimlerinin İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Denizli, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü: Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı
- Taşoğlu, E., Öztürk, M. Z., & Yazıcı, Ö. (2024, Eylül 13). High Resolution Köppen-Geiger Climate Zones of Türkiye. *International Journal of Climatology*, 5248-5265.
- Telbisz, T. & Mari, L. (2020). The significance of karst areas in European national parks and geoparks. *Open Geosciences*, 12(1), 117-132.
- Toker, E. (2018, Aralık). *Acıgöl - Çardak (Denizli) Grabeninin Kuzeyindeki Tersiyer Çökellerinin Tektono-Sedimanter Gelişiminin İncelenmesi*. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Topal, S. (2012, Şubat). *Denizli Havzasındaki Fayların Tektonik Jeomorfolojisi (GB Türkiye)*. Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- Tuncer, K. (2021). Aydoğdu, Kızılca, Ovacık ve Kırkoluk Polyelerinin (Tavas, Denizli) Morfometrik Özellikleri ve Jeomorfolojik Evrimi. *Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi* (7), 82-108.
- Tuncer, K. (2021, Ağustos). Barz, Ovacık, Kızılca Havzalarında (Denizli) Karstifikasyonu Belirleyen Parametreler ve Karstın Gelişimi. *Turkish Studies - Social Sciences*, 4(16), 1621-1658.
- Tuncer, K. (2021). Tektonik olarak karmaşık bir bölgede yer alan Barz Polyesi (Tavas, Denizli): Oluşumu, gelişimi ve jeomorfolojik özellikleri. *Türk Coğrafya Dergisi* (77), 99-118. doi:10.17211/tcd.910578
- Tuncer, K. (2023). Likya Napları Bölgesinde Epijenik Buruk Düdeni ve Gümüşdere Obruğu'nun (Tavas, Denizli) Jeomorfolojik Özellikleri ve Gelişimi. *Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi* (10), 91-109. doi:10.46453/jader.1233907

Veress, M. (2020, June). Karst Types and Their Karstification. *Journal of Earth Science*, 3(31), 621-634.

URL 1 <https://cave-exploring.com/index.php/long-and-deep-caves-of-the-world/world-long-caves/> (11.04.2025)

URL 2 <https://cave-exploring.com/index.php/long-and-deep-caves-of-the-world/world-deep-caves/> (11.04.2025)

URL 3 https://magara.org/app/caves?patent_types=U,N,A,B,C&sortBy=depth_m&sortDesc=true (10.03.2025)

URL 4 <https://tvk.csb.gov.tr/denizli-aslanini-magarasi-tescil-ilani-duyuru-412003> (28.04.2025)

URL 5 <https://tvk.csb.gov.tr/denizli-pamukkale-kurtluca-beyinli-magarasi-tescil-ilani-duyuru-412271> (28.04.2025)

URL 6 <https://tvk.csb.gov.tr/denizli-calcakirlar-magarasi-tescil-ilani-duyuru-412002> (28.04.2025)

URL 7 <https://denizli.ktb.gov.tr/TR-211850/magara-turizmi.html> (28.04.2025)

URL 8 <https://tvk.csb.gov.tr/denizli-honaz-kaklik-magarasi-tescil-ilani-duyuru-412255> (28.04.2025)

URL 9 <https://tvk.csb.gov.tr/denizli-zirtlanti-magarasi-tescil-ilani-duyuru-412270> (28.04.2025)

URL 10 <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=H&m=DENIZLI>

URL 11 <https://korumakurullari.ktb.gov.tr/Eklenti/24843,denizli-ili-acipayam-ilcesi-alacain-orenyeri-i-derece-a-.pdf?0>

URL 11 <https://www.pexels.com/tr-tr/fotograf/blue-hot-springs-in-hemen-ustunde-12450119/> (1.04.2025)

URL 12 <https://www.evrensel.net/haber/520147/denizli-asagidagderede-yine-tas-ocagindan-kopan-tas-mahallelinin-evine-dustu> (28.04.2025)