



KONYA VALİLİĞİ
İL AFET VE ACİL DURUM
MÜDÜRLÜĞÜ

AFAD

OBRUK TEMEL KILAVUZ





OBRUK TEMEL KILAVUZ

KONYA - 2023

AFAD



KONYA VALİLİĞİ
İL AFET VE ACİL DURUM
MÜDÜRLÜĞÜ



**KONYA VALİLİĞİ
İL AFET VE ACİL DURUM
MÜDÜRLÜĞÜ**



Hazırlayanlar

Prof. Dr. Fetullah ARIK
Arş. Gör. Alper DÜLGER

Editörler

Yıldız TOSUN - İl Müdürü
Fethi ÇORUK - Şube Müdürü
Şükrü ARSLAN / AFAD -Jeoloji Yüksek Mühendisi
Yaşar AKKAYA / AFAD -Şehir Plancısı
Dr. Arş. Gör. Ergin GÖKKAYA / Ankara Üniversitesi
Dr. Arş. Gör. Esra GÖKKAYA / Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi

ISBN: 978-625-6822-11-5

Paradigma Akademi Yayınları - Sertifika No: 69606
Paradigma Akademi Basın Yayın Dağıtım
Fetvane Sokak No: 29/A ÇANAKKALE
e-mail: fahrigoker@gmail.com

Yayın Sorumlusu
Nevin SUR

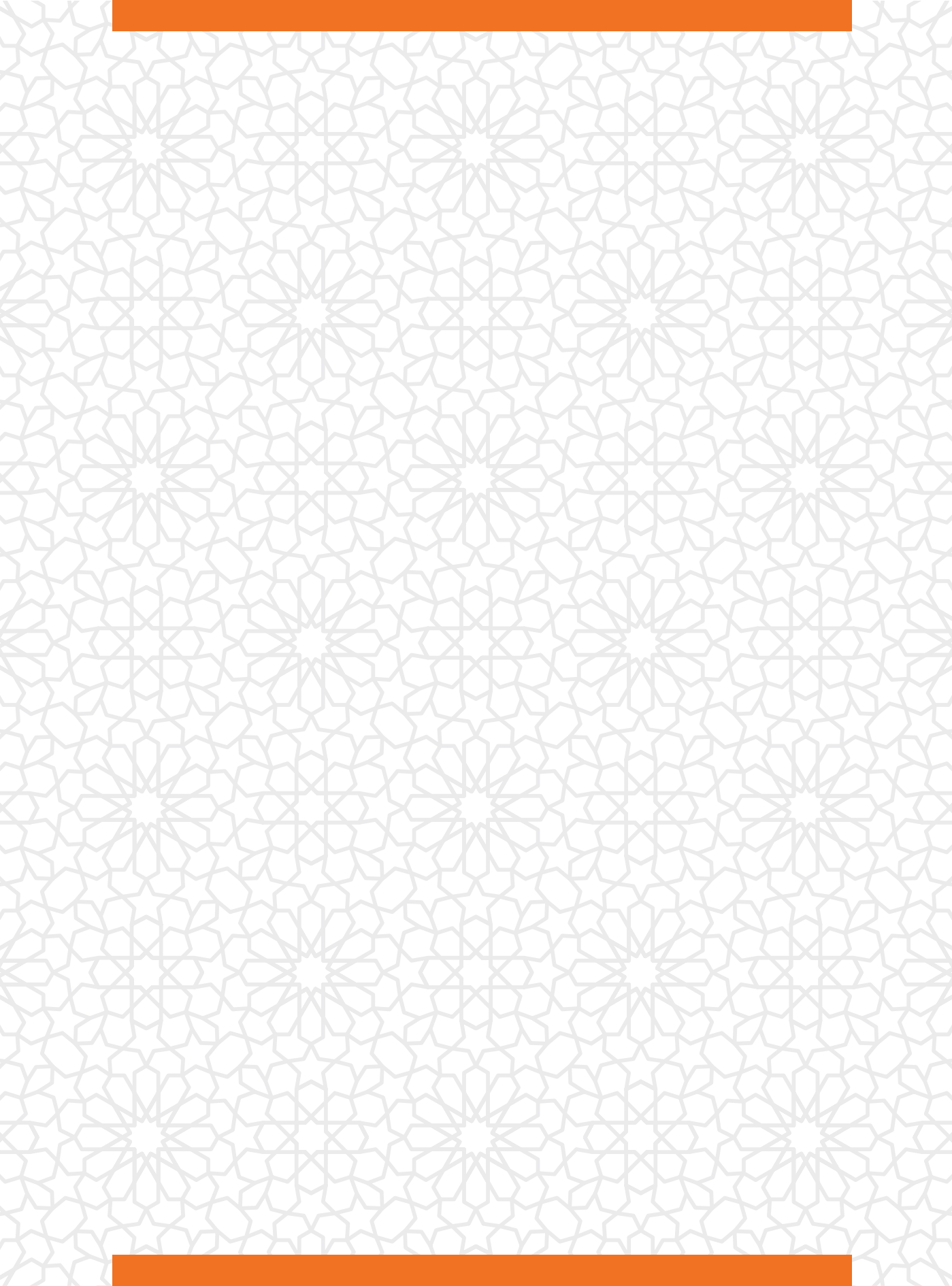
Tasarım & Kapak
Medyalife Reklam Ajansı

Matbaa
Meydan Baskı Fotokopi - Sertifika No: 70835

Kitaptaki bilgilerin her türlü sorumluluğu yazarlarına aittir.
Bu Kitap T.C. Kültür Bakanlığından alınan bandrol ve
ISBN ile satılmaktadır. Bandrolsüz kitap almayınız.

Ağustos 2023
Paradigma Akademi





ÖNSÖZ

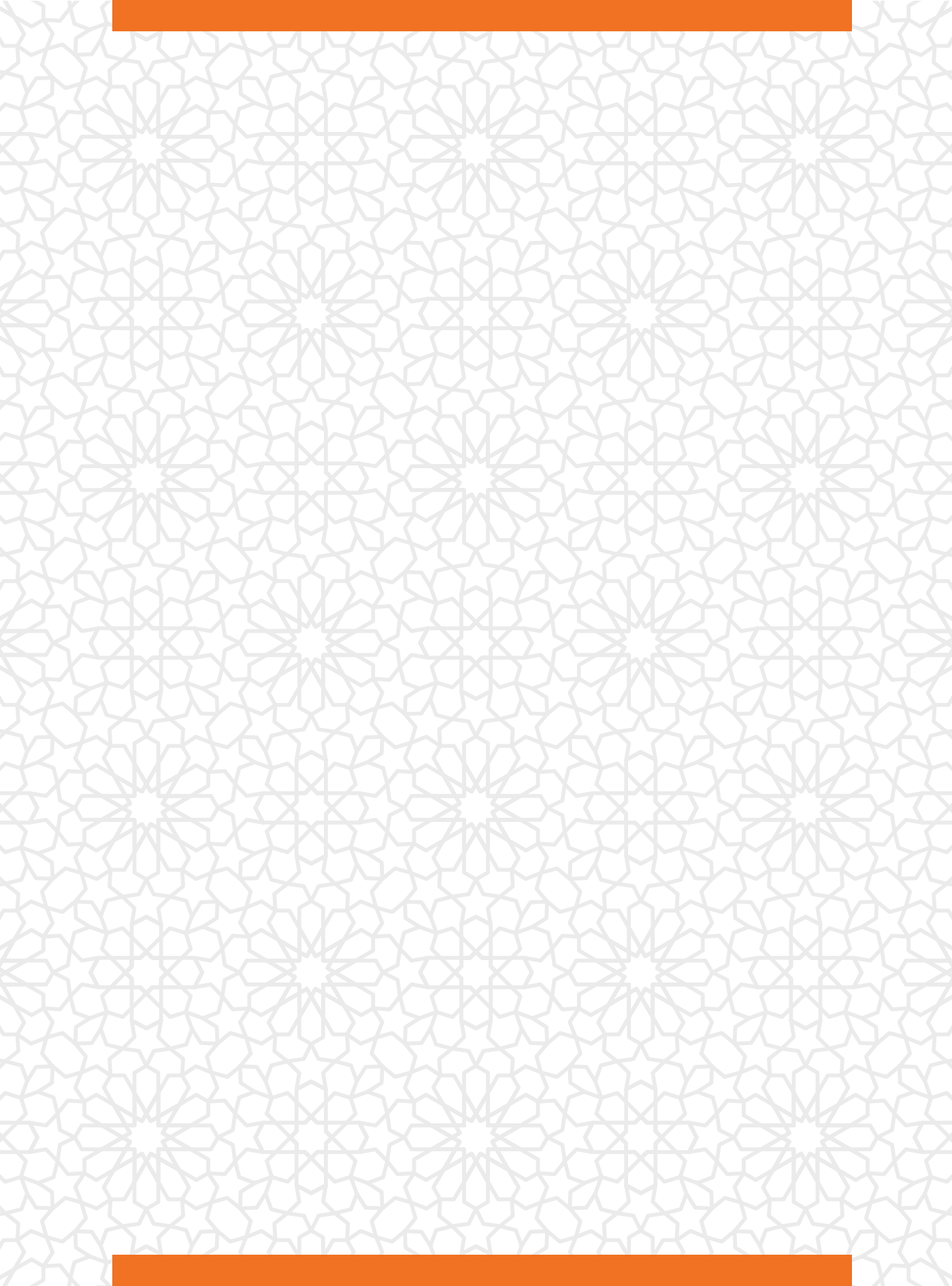
Bölgede son yıllarda sayısı iyice artan obrukların her geçen gün yerleşim yerlerine yaklaşması; tarım, ulaşım, sanayi ve mera alanlarını tehdit etmesi ve bunun ilerleyen yıllarda can ve mal kayıplarına neden olacağı öngörülerek, AFAD Başkanlığımız ve Konya İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğümüz tarafından "Obruk Alanlarının Tespit Edilmesi" isimli proje çalışmalarına 2020 yılı itibariyle başlanmıştır.

Projeyle birlikte bu alandaki farkındalık artmış, imar planlamalarında obruk risk değerlendirmelerine yer verilmeye başlanmıştır. Proje kapsamında Konya ilimize ait Obruk Duyarlılık Haritası, Eylem Planları, Obruk Temel ve Teknik Kılavuz Kitapçıkları hazırlanmıştır.

"Obruk Temel Kılavuz" Kitapçığı ülkemizde kapsamlı olarak basılmış ilk Obruk Kitabı olma özelliğini de taşımaktadır.

"Obruk Temel Kılavuz" Kitabının hazırlanmasında emeği geçen, AFAD Başkanlığımız ve Konya İl Müdürlüğümüz yöneticileri ve teknik personeline bu güzel çalışmaları için teşekkür eder, kitabın ülkemize ve bu alandaki risk azaltma çalışmalarına katkı sunmasını temenni ederim.

Okay MEMİŞ
Vali
AFAD Başkanı



ÖNSÖZ

Obruklar, oluşumu genellikle içinde oluştukları kayaların litolojik özellikleri ve bu kayaların etkileşim halinde bulunduğu suyun niteliklerine bağlı olarak gelişen karstik boşluklardır.

Ülkemizde son yıllarda artan obruk sayıları ve bu artışın ağırlıklı olarak Konya ilimizde görülmesi nedeniyle, AFAD Başkanlığımız ve Konya İl Müdürlüğümüz tarafından "Obruk Alanlarının Tespit Edilmesi" projesi gerçekleştirilmiştir.

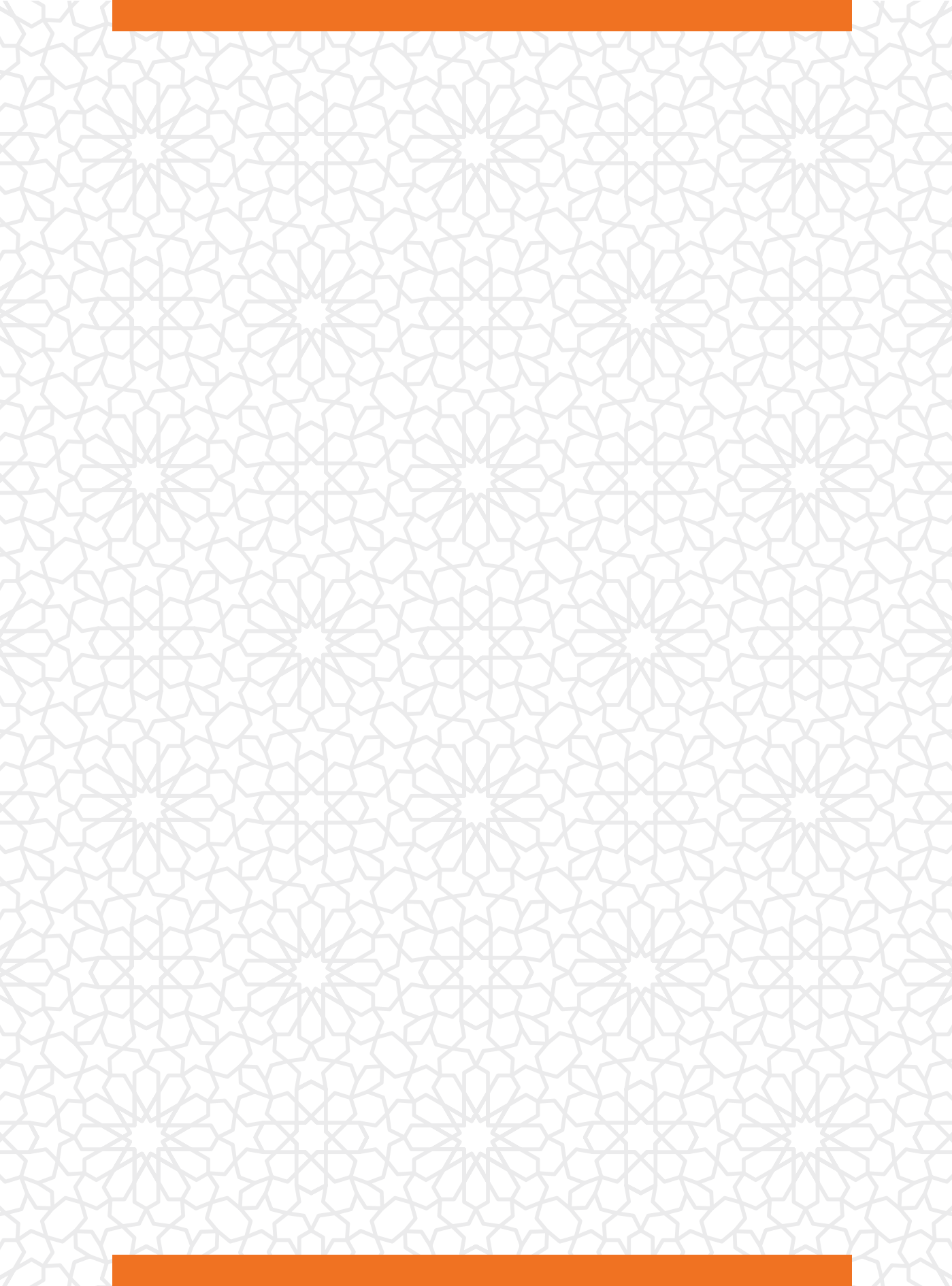
Bu projede, sorunların çözümü için obruk oluşumlarının yerlerinin ve yayılım alanlarının tespit edilmesi ve uzaktan algılama yöntemleriyle ölçümler yapılarak topoğrafya üzerinde obruk oluşabilecek alanların tespitine yönelik çalışmalar yürütülmüştür.

Ayrıca, bu çalışmalar sonucunda obrukların ıslahına yönelik metodolojiler geliştirilerek mühendislik çözüm önerileri de kılavuzda sunulmuştur.

Proje çıktısı olarak üretilen Obruk Temel Kılavuz Kitapçığı ülkemiz için eşsiz bir eser niteliği ile Türkçe yayınlanan kapsamlı ilk eser hüviyetini taşımaktadır.

Bu eserin ülkemize, milletimize ve bilime katkı vereceği ve gelecekte yapılacak daha kapsamlı çalışmalara ışık tutacağı inancıyla, emeği geçenlere teşekkür ederim.

Prof. Dr. Orhan TATAR
AFAD Deprem ve Risk Azaltma
Genel Müdürü



İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER	i
ŞEKİLLER LİSTESİ	iii
ÇİZELGELER LİSTESİ	ix
1. GİRİŞ	1
2. KARSTLAŞMA VE OBRUK OLUŞUMLARI	11
3. KARSTLAŞMAYI ETKİLEYEN FAKTÖRLER	17
3.1. Jeolojik (Litolojik) Faktörler.....	18
3.1.1. Mineralojik, petrolojik ve jeokimyasal özellikler.....	18
3.1.1.1. Karbonatlı Kayaçlar.....	20
3.1.1.2. Evaporitik kayaçlar.....	27
3.1.1.3. Kuvarsitler, silisli kumtaşı ve konglomeralar.....	31
3.1.2. Dokusal özellikler.....	33
3.1.3. Kayaçların saflığı.....	33
3.1.4. Gözeneklilik (porozite).....	34
3.1.5. Mekanik dayanım.....	35
3.1.6. Örtü kayaçlar ve kırıntılı ara tabakalar.....	36
3.2. Hidrojeolojik faktörler.....	41
3.3. İklimsel Faktörler.....	49
3.4. Jeomorfolojik faktörler.....	51
3.5. Yapısal Jeolojik Özellikler.....	54
4. OBRUK ÇÖKME NEDENLERİ	60
5. OBRUK TÜRLERİ	63
6. YER YARIKLARI (EARTH FISSURES)	69
7. DÜNYA'DA OBRUK OLUŞUMLARI	73
8. TÜRKİYE'DE OBRUK OLUŞUMLARI	79
9. KONYA'DA OBRUK OLUŞUMLARI	85

10. OBRUK BELİRTİLERİ	92
11. OBRUK ISLAHI VE MÜHENDİSLİK ÇÖZÜM ÖNERİLERİ	99
11.1. Obruk Çökme Süreçlerini Azaltmayı Amaçlayan Başlıca Önlemler.....	99
11.2. Obrukların Mühendislik Çözümleri ile Islahı (İyileştirme).....	100
11.2.1. Obruk yutma deliklerinin (boğaz-yutak) tıkanması.....	101
11.2.1.1. Kazı ve yutma deliğinin (yutak) tıkanması.....	102
11.2.1.2. Kazı ve kırık dolgusu.....	105
11.2.2. Enjeksiyon.....	106
11.2.2.1. Sıkıştırma enjeksiyonu.....	106
11.2.2.2. Jet grout (Püskürtme enjeksiyonu).....	107
11.2.2.3. Kapak enjeksiyonu.....	108
11.2.2.4. Bulamaç enjeksiyon (slurry grouting).....	109
11.2.3. Dinamik sıkıştırma.....	109
11.2.4. Doldurma.....	110
11.2.4.1. Sıkıştırılmış kil ile doldurma.....	110
11.2.4.2. Kademeli filtre ile doldurma.....	111
11.2.4.3. Tasarlanmış filtre ile doldurma.....	112
11.2.5. Su tıkaçlarının yapımı.....	112
11.3. Yapıları obruk tehlikesinden korumak için mühendislik önlemleri.....	112
11.4. Zarar azaltmayı amaçlayan diğer yapısal olmayan önlemler.....	114
DEĞİNİLEN BELGELER	115

ŞEKİLLER LİSTESİ

- Şekil 1.** Kızören (Karatay) obruğunun 2021 Mayıs ayındaki görünümü..... 3
- Şekil 2.** Agatha tropik fırtınasının yağmurları, volkanik bir patlama ve lağım borularından sızıntıyla birlikte Mayıs 2010'da Guatemala başkentinde oluşan obruk (Foto: Daniel Leclair / Reuters; Perry, 2016, The Guardian)..... 4
- Şekil 3.** San Francisco'nun Sea Cliff bölgesinde Aralık 1995'te iki evi yutan ve dokuz evin boşaltılmasına neden olan örtü çökme obruğu (Foto: George Nikitin/ AP; Perry, 2016; The Guardian)..... 4
- Şekil 4.** Kızören ana kaya çökme obruğunun (Kızören-Karatay) 2012 yılındaki görüntüsü..... 5
- Şekil 5.** İnoba Yerleşim alanı içinde oluşan obruk (Karapınar-Konya) (Foto: Chris McGratt, 2021)..... 5
- Şekil 6.** Reşadiye MahallesiEkmekçi Yaylası yerleşim alanı içinde oluşan bir obruk (Karapınar-Konya)..... 4
- Şekil 7.** Yağmapınar (Kayalı-Karapınar) çevresinde son yıllarda oluşan obruklar (Foto: Chris McGrath)..... 7
- Şekil 8.** Konya-Adana Karayoluna 80 m mesafede Tarımsal alanda oluşan Yarımoglu obruğu..... 8
- Şekil 9.** Seyithacı Yaylası'nın batısında tarımsal alanda 6 Şubat 2023 depremlerinden sonra oluşan bir obruk..... 9
- Şekil 10.** Karatay (Konya) İl Merkezi yerleşim alanı doğusunda Sanayi bölgesinde oluşan bir örtü çökmesi obruğu..... 9
- Şekil 11.** Canova Mahallesi (Zara-Sivas) kuzeyinde Kızılırmak Nehri taşkın yatağında büyük bileşik çöküntüler oluşturan örtü çökme obruk kümeleri (Gökkaya vd., 2021)..... 10
- Şekil 12.** Sığircık Mahallesi'nde (Sivrihisar-Eskişehir) buğday ekili bir tarlada örtü çökme obruğu (Arık vd., 2022 10
- Şekil 13.** Karstik bir arazide gelişen başlıca yeryüzü şekilleri (Nazik, 2018'den) ... 12
- Şekil 14.** Karst taban seviyesinin yüzeye yakın olduğu alanlarda oluşan sığ yüzeysel karst şekilleri (Nazik, 2018'den)..... 13

- Şekil 15.** Yerköprü şelalesi (Hadim-Konya) Karasu Kaynağı karstik mağara ve su çıkışlarının çevresinde karstik birikme (tufa, fitoherm sarkıt vb) 14
- Şekil 16.** Aşınma ve çökeltme bölgelerini birleştiren kapsamlı karst sistemi (Ford ve Williams, 2007'den) 15
- Şekil 17.** Dünya üzerinde potansiyel karst akiferlerini temsil eden karstlaşabilen karbonat ve evaporitik kayaçların dağılımı (Goldscheider vd., 2020'den) 20
- Şekil 18.** Kireçtaşı, dolomit ve evaporitik kayaçlarla bazı kırıntılıların çökeldiği açık deniz havzalarından kıyı düzlüklerine kadar farklı tipte karbonat platformlarını içeren bileşik fasiyes modeli (Ford ve Williams, 2007'den düzenlenerek) 23
- Şekil 19.** Karbonat kayaçlarının bileşimsel sınıflandırması (Ford ve Williams, 2007'den) 24
- Şekil 20.** Karbonatlı kayaçların dokusal sınıflaması (Folk, 1962; Kaymakçı, 2001; Kendall vd, 2011) 25
- Şekil 21.** Karbonatlı kayaçların sınıflandırılması (Dunham, 1962'den düzenlenerek Embry ve Klovan, 1971; Lokier ve Al Junaibi, 2016; commons.wikimedia.org/wiki/File:Dunham_classification_EN.svg, 2023) 26
- Şekil 22.** Karbonatlı kayaçlarda basitleştirilmiş karst oluşumu (Gutiérrez vd., 2014'ten) 27
- Şekil 23.** Deniz suyunda buharlaşma ile oluşan mineraller ve çökeltim sırası (Guilbert ve Park, 1986'dan; Harraz, 2016) 29
- Şekil 24.** Basitleştirilmiş jips karstı (Gutiérrez vd., 2014) 31
- Şekil 25.** Kohezyonsuz örtü bulunan karstik bölgelerde obruk gelişimi (Galloway vd., 1999'dan) 37
- Şekil 26.** Kaşınhanı (Meram-Konya) – Çumra arasında kohezyonsuz örtü malzemesi bulunan bölgelerde gelişen sığ derinlikli yüzey çökmeleri 37
- Şekil 27.** Kızören (Karatay-Konya) güneyinde kohezyonsuz örtü malzemesi bulunan bölgede gelişen sığ yüzey çökmeleri 38
- Şekil 28.** Karapınar (Konya) güneyinde kohezyonlu örtü malzemesinin bulunduğu İnoba Mahallesi'nde meydana gelen obruk 39

- Şekil 29.** Kohezyonlu örtü bulunan karstik bölgelerde örtü çökme obruklarının gelişimi (Ferrara, 2020'den).....39
- Şekil 30.** Kohezyonlu ve kohezyonsuz örtü bulunan karstik bölgelerde obruk oluşumları (Ferrara, 2020, SFWMD, 2021'den düzenlenerek).....40
- Şekil 31.** Karstik sistemdekireçtaşı ve dolomitlerin çözünme mekanizması (Galloway vd, 1999'dan düzenlenerek)43
- Şekil 32.** Konya Ovası için Şentürk (1969) tarafından oluşturulan yeraltı suyu dağılım haritası (Pekkan 2004)45
- Şekil 33.** Karapınar Obruk Yaylası'na ait yeraltı suyu haritası ve jeolojisi (Canik ve Çörekçiöglu, 1985)46
- Şekil 34.** Karapınar Ovası ve Obruk Yaylası için oluşturulan 2010 yılı kurak döneme ait eş yeraltı suyu eğrisi haritası (Törk vd., 2013)..... 47
- Şekil 35.** Ereğli-Karapınar-Emirgazi-Karatay-Selçuklu ve Altınekin bölgesinde yeraltı su seviyesi ve akış yönleri (Arık vd., 2021).....48
- Şekil 36.** Dünya iklim kuşakları ve karstlaşma gelişimi (Warren, 2010'dan) 51
- Şekil 37.** Eski Konya Gölü'nün yükselti basamaklarına göre çekilme safhaları (Roberts, 1982).....53
- Şekil 38.** Eski Konya Gölü'nün yayılım alanı ve gölün çekilme basamaklarına göre çökeller (Erol, 1991).....54
- Şekil 39.** Orta Anadolu ve çevresinin tektonik haritası (Akıl, 2008'den)..... 57
- Şekil 40.** Karapınar (Konya) çevresindeki faylar ve obrukların dağılımını gösteren yapısal harita (Eren vd., 2020'den).....58
- Şekil 41.** Karapınar (Konya) kuzeybatısında Sekizli fay zonuna paralel obruk oluşumları.....59
- Şekil 42.** Çökme dolini (obruk) tipleri (Ford ve Williams, 1989; Doğan 2010'dan)63
- Şekil 43.** Sivas jips karstında poligonal karst İHA görüntüleri a) Beypınar (Sivas kuzeydoğusu), b) İmranlı ilçesi (Sivas) güneyi (Poyraz vd, 2021).....64

- Şekil 44.** Oluştukları kayaç tipi, morfolojik şekilleri ve oluşum süreçlerine göre obruk türleri 67
- Şekil 45.** Sivas jips karstından farklı tipte tek ve birleşik obruklar. A) Akarsu tarafından kesilmiş düz tabanlı ana kaya çökme obruğu B) Taşkın ovasında, jipsleri üzerleyen flüvyal sedimanların deforme olmasıyla oluşan örtü çökme obruk kümeleri C) İçerisinde göl ve obruk kenarlarında meydana gelen kütle hareketleri ile ilişkili jips bloklarına ev sahipliği yapan ana kaya çökme obruğu D)Yüzlerce çözünme obruğunun bir araya gelerek oluşturduğu poligonal karst. E) Birleşik ana kaya çökme obruğu F) En az üç obruğun birleşmesiyle oluşmuş birleşik ana kaya çökme obruğu68
- Şekil 46.** Yüzey yarıklarının oluşum mekanizması (Galloway vd., 1999) 69
- Şekil 47.** Konya Kapalı Havzası'nda oluşan bazı yüzey yarıklarının görünümü72
- Şekil 48.** Dünya'da karbonatlı karstik alanların yayılımı, https://www.fos.auckland.ac.nz/our_research/karst/gfx/europe_colour_2010.jpg 73
- Şekil 49.** Avrupa'da karbonatlı karstik alanların yayılımı, (Chen vd, 2017)..... 75
- Şekil 50.** Dünya'da oluşan bazı obruklardan görünüm; a: Crveno-Jezero (Kızıl Göl-Hırvatistan), b: Amines (Fransa), c: Ohio (ABD), d. Santa Maria-Meksika (DNews, cbsnews, www.npr.org, 2021)..... 76
- Şekil 51.** Dünya'da oluşan bazı obruklardan görünüm; a: Big Blue (Büyük Mavi Delik-belize), b: Guatemala, c: Sima Humboldt (Venezuela); d: Xiaozhai Tiankeng (Çin) (Çin), e: Tayvan, f: Japonya, (İnternet, Brookqi, wikimedia, abcnews, DNews, cbsnews, paratic.com, www.npr.org).....77
- Şekil 52.** Dünya'da oluşan bazı obruklardan görünüm; a: Avon Park (Florida-ABD; thelivingmoon.com), b: Ölü Deniz (İsrail), c: Sanica (Bosna: Amel Emeric/AP), d: Waihi (Yeni Zelanda; Dean Purcell / AP) 78
- Şekil 53.** Türkiye'de karbonatlı ve evaporitik kayaçlar ve obrukların dağılımı..... 79
- Şekil 54.** Türkiye Karst Bölgeleri (Nazik ve Poyraz, 2017)81
- Şekil 55.** Konya'ya komşu illerde obruk oluşumları (dailymotion.com/video/x6m2sp2, 2018;hurriyet.com.tr..cennet-cehennem-cocukleri, 2017; birgun.net/haber/afyon-da-sayisi-10-u-bulan-obruk-olustu-2072061, 2023) 82

Şekil 56. Türkiye'de son yıllarda farklı illerde oluşan bazı obruklar (haberturk.com/cankiri-da-inandik-koyu-sakinleri-obruklar-nedeniyle-tasinmayi-bekliyor-172978, 2017; aa.com.tr/tr/turkiye/corumda-olusan-obruk-koyluleri-tedirgin-etti, 2018; hurriyet.com.tr/gundem/batmanda-yol-kenarinda-12-metre-derinliginde-obruk-olustu-2019; sondakika.com/haber/haber-igdir-erzurum-karayolunda-obruk-gibi-gocuk, 2012; posta.com.tr/yasam/sanliurfada-obruk-panigi-2056415, 2019; trthaber.com/haber/turkiye/siirtte-bugday-tarlasinda-obruk-olustu-412552.html, 2019)..... 83

Şekil 57. Türkiye'de son yıllarda oluşan bazı obruklar (ankaradanhaber.com/genel/ovakent-te-obruk-olustu-h28909.html, 2018; cumhuriyet.com.tr/turkiye/sivasta-tedirgin-eden-goruntu-15-metre-capli-obruk-olustu-2060671, 2023; nevsehirkenhaber.com/haber/5460580/kozaklida-ki-dev-obruk-korkutuyor, 2019; aa.com.tr/tr/turkiye/spil-dagindaki-obruk-arastiriliyor/1624610, 2019; bilecikhaber.com.tr/felaket-hic-kimse-anlam-veremedi-334503h.htm, 2020; trthaber.com/haber/guncel/denizlide-ay-cekirdegi-tarlasinda-obruk-olustu-512933.html, 2020)84

Şekil 58. Konya Kapalı Havzası'nın jeolojisi ve obrukların dağılım alanları (Khorrami vd, 2021'den)86

Şekil 59. Konya'da obruk riski taşıyan alanların dağılımı (Mor alanların obruk riski yok, MTA, 2019)..... 87

Şekil 60. Konya'da obrukların dağılımı (Eren vd., 2020, Arık vd., 2021; Arık vd., 2022).....88

Şekil 61. Gökhüyük (Tımraş) obruğu (Çumra-Konya-2007)89

Şekil 62. Çıralı obruğu (Karapınar-Konya-2006)89

Şekil 63. Meyil (Karapınar-Konya) obruğu. Üstte Mayıs 2021, Altta Ağustos 2020 gölün pembe renk alması (Foto: Yaşar Eren)90

Şekil 64. Karapınar (Konya) çevresinde oluşan bazı obruklar. 91

Şekil 65. Duvarlarda dikey ve merdiven basamağı şeklinde çatlaklar şeklinde Obruk belirtileri (Arık vd, 2022a ve b, ichflorida.com/claim-types/sinkhole, usgs.gov/media/images/sinkhole-activity-damages-home, villages-news.com,2018)..... 93

Şekil 66. Obruk belirtisi: Yollarda belirgin oturma, çatlak ve delikler (<https://americanfw.com/sinkhole-repair>, 2023; Hiler ve Grewe, 2021;) 94

Şekil 67. Obruk belirtileri: Arazide dairesel çöküntüler, döşemede kırık, çatlak, oturma ve su birikintileri, bina temelinin açığa çıkması (<https://www.heliconusa.com/sinkhole-warning-signs>, 2023)95

- Şekil 68.** Obruk belirtileri: Kapı, pencere ve dolaplarda köşelerden ayrılma ve sıklıma, zeminde çatlaklar (foundationtechs.com/major-sinkhole-signs, 2022; crackedslab.com/blog/do-i-have-signs-of-a-sinkhole-or-foundation-issues, 2023; vipadjusting.com/sinkhole-damage, 2023).....96
- Şekil 69.** Obruk belirtileri: Orta Anadolu'da bahçe duvarları ve yapılarda deformatsyon (Arık vd., 2022)..... 97
- Şekil 70.** Obruk belirtileri: Bahçe duvarlarında çökme, yıkılma ve dökülmeler (Arık vd, 2022).....98
- Şekil 71.** Obrukların iyileştirilmesinde mühendislik çözümlerinin belirlenmesi için kullanılan akış diyagramı (Zhou ve Lei, 2017) 101
- Şekil 72.** 10 m derinliğe kadar obruklarda kazı-yutak tıkama-dolgu yöntemi ile obruk iyileştirme 102
- Şekil 73.** 10 m'den daha derin obruklarda enjeksiyonla yutma deliği tıkama yöntemi ile obruk iyileştirme 103
- Şekil 74.** Sivas şehrinin güneydoğusunda yer alan obrukların 1966 ve 2019'da çekilmiş görüntüleri. 2019 görüntüsünde iki büyük obruğun doldurulmasıyla şehir alanına dahil edildiği görülmektedir..... 103
- Şekil 75.** Sığırcık Mahallesi (Sivrihisar-Eskişehir) tarla içinde doldurulmuş bir obruk (Arık vd., 2022) 104
- Şekil 76.** Yutma deliği görülmeyen obruklarda; kazı ve kırıkların enjeksiyonla doldurulması (Siegel vd., 1999)..... 105
- Şekil 77.** Obruk çevresindeki örtü mukavemetinin artırılması için sıkıştırma enjeksiyonu(Siegel vd, 1999)..... 106
- Şekil 78.** Zeminin mekanik mukavemetin artırılması için jet grout uygulaması (www.insaatofis.com)..... 107
- Şekil 79.** Obruk çevresindeki örtünün mukavemetinin artırılması için kapak enjeksiyonu (Siegel vd, 1999) 108
- Şekil 80.** Zeminde vinçlerle dinamik sıkıştırma işlemi (<https://imb.cu.edu.tr>, 2023)..... 109
- Şekil 81.** Obrukların sıkıştırılmış kille doldurulması (Zhou ve Beck, 2008)..... 110
- Şekil 82.** Obrukların Ters dereceli boyutlandırılmış malzeme ve jeotekstillerle kaplanarak doldurulması..... 111
- Şekil 83.** Yeraltı destekleri ile yapı stabilitesinin sağlanması (<https://thesinkhole-guy.com/sinkhole-repair-methods>, 2023) 113

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge 1. Obruk oluşumları için başlıca etkenler (Arık vd., 2020; Arık, 2022'den düzenlenerek).....	17
Çizelge 2. Karstlaşma gösterebilecek bazı minerallerin kimyasal ve fiziksel özellikleri (mindat.org, 2023).....	19
Çizelge 3. Kalsit, dolomit, jips, anhidrit, halit ve magnezitin farklı sıcaklık ve ortam koşullarında çözünme tepkimeleri (Bollen, 1954; Paulik vd., 1992; Zhou ve Lei, 2017; Olszak-Humienik ve Jablonski, 2015; Karunadasa vd., 2019).....	42
Çizelge 4. Obruk oluşumunda etkili olan doğal ve antropojenik nedenler (Gutiérrez vd., 2014'ten).....	61
Çizelge 5. Karbonatlı kayaların yayılım alanlarının ülke yüzölçümüne oranı (fos.auckland.ac.nz, 2010)	74

1. GİRİŞ

Dünyanın oluşumundan bu yana sürekli olarak başta deprem, kütle hareketleri (heyelan, çamur ve moloz akması, kaya düşmesi vb), aşırı yağışlar, kar ve buzul ergimeleri sonucu taşkın ve seller, çığ ve orman yangınları, fırtınalar, tasman/zemin çökmeleri ve obruklar gibi doğal olaylar meydana gelmektedir. Geçmişte meydana gelen bu olaylar dünyamızın bu günkü şeklini almasını sağlamış olup günümüzde devam etmekte ve gelecekte de olmaya devam edecektir. Dünya'da ve ülkemizde hemen her yıl genellikle doğa kaynaklı ve insanların kontrolü dışında gelişen bu olaylara bağlı çok sayıda can ve mal kaybı ile sonuçlanan afetler meydana gelmektedir.

Ülkemiz coğrafi konumu ve jeolojik özellikleri nedeniyle başta deprem olmak üzere, kütle hareketleri, sel ve çığ gibi çok sayıda doğa olayına maruz kalmaktadır. Çoğu zaman afet öncesinde alınması gereken önlemler yeterince alınamadığı için bu olaylar sonucu her yıl çok sayıda vatandaşımız hayatını kaybetmekte ve bedeli oldukça ağır yıkımlar yaşanmaktadır.

DoğakaynaklıAfetlerdeöncelikleriskvetehlikekavramlarının tanımlanmasında yarar görülmekte olup Tehlike: yerleşim yerlerini etkileyebilecek zarar veya hasar verme potansiyeline sahip olan doğa olayları (deprem, kütle hareketleri; heyelan, kaya düşmesi, sel-taşkın, obruk vb) ve Risk: Doğal olayları sonucu kayıp, yaralanma, ölüm ya da başka zararlı sonuç meydana gelme ihtimalini tanımlamaktadır. Afetlerle baş edilebilmesi yani afet krizlerinin doğru yönetilebilmesi için en temel ilkeler öncelikle riskin tanımlanması, nedenlerinin belirlenmesi, ortaya çıkma ihtimali ve boyutları ile ilgili araştırmaların yapılması gerekmektedir. Ardından tanımlanan riskin gerçekleşme ihtimaline göre kaçınmak için gerekli önlemler alınarak riskin bertaraf edilmesi ve/veya zararının azaltılması için aşağıda genel hatları ile verilen stratejiler geliştirilmelidir. Nihayetinde risk kaçınılmaz ise risk paylaşılırak etkisi azaltılmalıdır.

- Doğal/jeolojik koşullara ilişkin veri ve bilgilerin oluşturulması
- Aşılamayan fiziksel/jeolojik sınırların belirlenmesi
- Makro ve mikro ölçeklerde doğru yer seçimi kararlarının alınması
- Doğru fiziki planlama kararlarının alınması.

Obruklar karstik arazilerin karakteristik yeryüzü şekillerinden biri olarak kabul edilen dairesel ya da yarı dairesel kapalı depresyonlardır. Dolin terimi, Slav dillerinde vadileri ifade etmek için kullanılan bir kelimeyken Cvijić'in Das Karstphänomen (1893) çalışmasından sonra uluslararası literatürde bu depresyonları belirtmek için kullanılmaya başlamıştır. Dolin terimi günümüzde hala Avrupalı jeomorfologlar tarafından yaygın olarak kullanılırken (örn. Lipar vd., 2019), sinkhole terimi Amerikalı araştırmacılar ile mühendislik ve çevre konularıyla ilgilenenler arasında tercih edilen terim olmuştur. Obruk araştırmalarının büyük bir kısmının önemli uygulamalı bileşeni nedeniyle, sinkhole uluslararası bilimsel literatürde baskın bir terim haline gelmiştir (De Waele ve Gutiérrez, 2022). Türkçe kökenli bir kelime olan obruk bir tür karstik yeryüzü şekli olup boru, baca veya kuyu şeklinde, yeni oluşumlarda keskin köşeli, eski oluşumlarında ise daha yayvan görünümlü çökme dolinlerini (sinkhole) tanımlamak için kullanılmaktadır. Konya kapalı Havzası'nda (KKH) mevcut karstlaşma süreçleri binlerce yıldır oluşumu devam eden çökme dolinleri ilk oluştuğu Obruk Platosu'ndaki Kızören çöküntüsüne (Şekil 1) atfen yöresel olarak çöküntü ve çökmek anlamında kullanılan "opmak" kelimesinden türetilerek "obruk" olarak adlanmış olup daha sonra havzada meydana gelen bu tür karstik çöküntülerin tamamı obruk olarak tanımlanmış ve bilimsel literatürde de obruk tanımı kabul görmüştür (Arık, 2018).

Obruklar yeni oluştuklarında dik kenarlarla karakterize edilir. Obruk oluşumundan sonra kenar yamaçlarında meydana gelen kütle hareketleri, fiziksel ve kimyasal erozyon ile birlikte kenar eğimleri yatıklaşmakla beraber daha geniş depresyonlara evrilirler. Obruklar genişleyerek komşu obruklarla birleşebilir. İki veya daha fazla bitişik dolinin birleşmesinden kaynaklanan depresyonlar genellikle birleşik obruklar veya uvalalar olarak adlandırılır. Ancak uvala teriminin net olmayan bir yerşeklini ifade ettiği için bu terimin artık kullanılmaması önerilmiştir (Palmer, 2007).



Şekil 1. Kızören (Karatay) obruğunun 2021 Mayıs ayındaki görünümü

Dünya'da genellikle kuzey yarım kürede orta enlemler boyunca karbonatlı ve evaporitik, çözünebilir karstik kayalar yayılım göstermektedir. Çözünebilir karst kayaları Dünya yüzeyinin yaklaşık %20'sini kaplasa da (De Waele ve Gutiérrez, 2022) küresel olarak karst, kıtasal buzullarla kaplı olmayan kara yüzeyinin yaklaşık %15'inde görülür (Goldscheider vd. 2020). Ülkemizin de içinde bulunduğu bu kuşakta her yıl sayısız karstik olay ve boyutları yüzlerce metreye derinlikleri onlarca metreye ulaşabilen obruklar oluşmaktadır

Amerika kıtasında Meksika, Kanada ABD'de Florida, Arizona, Kaliforniya, Missouri ve Teksas Avrasya'da Akdeniz kıyısı boyunca uzanan Portekiz, İspanya, Fransa, İtalya, Arnavutluk, Karadağ ve Yunanistan ile Türkiye'nin Akdeniz ve Toroslar bölgeleri ile İngiltere, Almanya, Polonya, Ukrayna, Rusya, Ortadoğu'da Lübnan, Filistin, İsrail, Suriye, Irak ve İran, Asya'da Afganistan, Pakistan, Hindistan ve Çin'de obruk oluşumları oldukça yaygındır (Şekil 2 ve 3). Bu nedenle obruklara ilişkin çalışmalarda son yıllarda artmakta ve zaman içinde hem karst ve karstlaşma hem de obruklarla ilgili yeni bilgiler ortaya konulmaktadır.



Şekil 2. Agatha tropik fırtınasının yağmurları, volkanik bir patlama ve lağım borularından sızıntıyla birlikte Mayıs 2010'da Guatemala başkentinde oluşan obruk (Foto: Daniel Leclair / Reuters; Perry, 2016, The Guardian)



Şekil 3. San Francisco'nun Sea Cliff bölgesinde Aralık 1995'te iki evi yutan ve dokuz evin boşaltılmasına neden olan örtü çökme obruğu (Foto: George Nikitin/AP; Perry, 2016; The Guardian)

Ülkemizde özellikle Konya ve Konya'ya komşu illerin bulunduğu Orta Anadolu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde obruk oluşum sayısı son yıllarda hızla artmaktadır. Artan obruklar başta yerleşim alanları ve insan hayatı olmak üzere, tarımsal alanlar, meralar, enerji yatırım alanları, karayolu ve demiryolu gibi ulaşım ağları, petrol ve doğal gaz boru hatları ile elektrik, su ve diğer alt yapı yatırımları için ciddi bir tehlike arz etmektedir (Şekil 4-12).



Şekil 4. Kızören ana kaya çökme obruğunun (Kızören-Karatay) 2012 yılındaki görüntüsü



Şekil 5. İnoba Yerleşim alanı içinde oluşan obruk (Karapınar-Konya) (Foto: Chris McGratt, 2021)



Şekil 6. Reşadiye Mahallesi Ekmekçi Yaylası yerleşim alanı içinde oluşan bir obruk
(Karapınar-Konya)



Şekil 7. Yağmapınar (Kayalı-Karapınar) çevresinde son yıllarda oluşan obruklar
(Foto: Chris McGrath)



Şekil 8. Konya-Adana Karayoluna 80 m mesafede Tarımsal alanda oluşan Yarımöğlü obruğu



Şekil 9. Seyithacı Yaylası'nın batısında tarımsal alanda 6 Şubat 2023 depremlerinden sonra oluşan bir obruk



Şekil 10. Karatay (Konya) İl Merkezi yerleşim alanı doğusunda Sanayi bölgesinde oluşan bir örtü çökmesi obruğu



Şekil 11. Canova Mahallesi (Zara-Sivas) kuzeyinde Kızılırmak Nehri taşkın yatağında büyük bileşik çöküntüler oluşturan örtü çökme obruk kümeleri(Gökkaya vd., 2021)



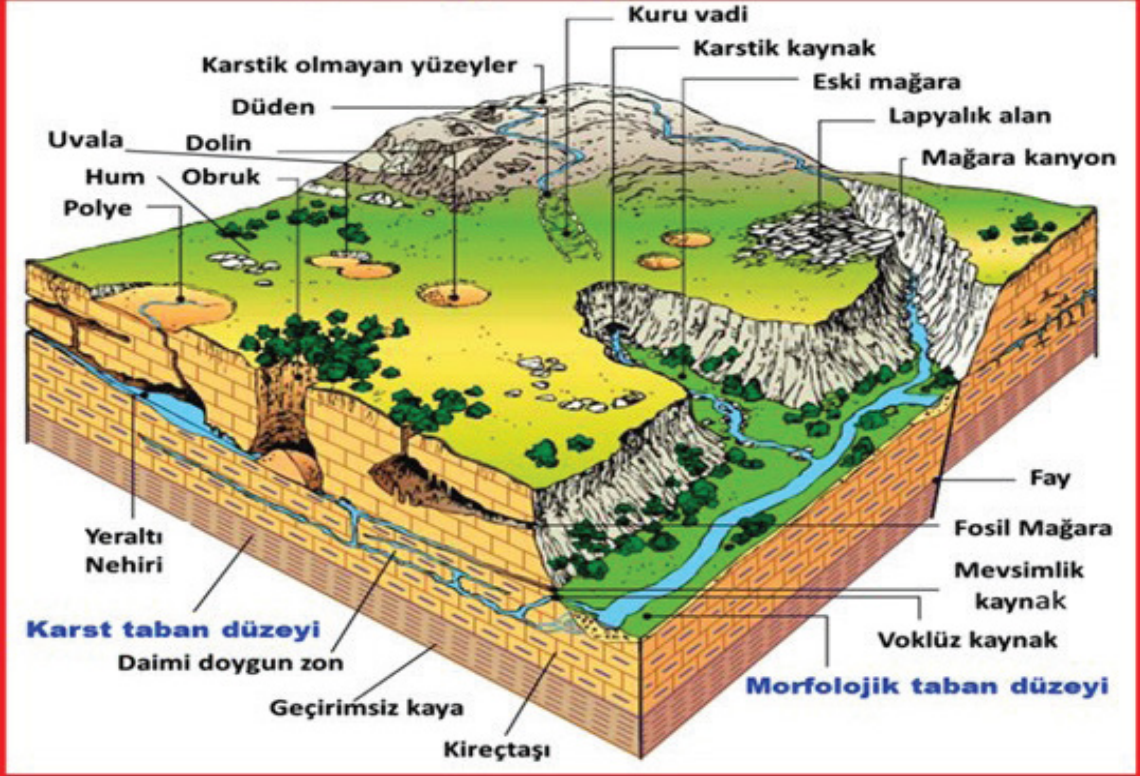
Şekil 12. Sığırcık Mahallesi'nde (Sivrihisar-Eskişehir) buğday ekili bir tarlada örtü çökme obruğu (Arık vd., 2022)

2. KARSTLAŞMA VE OBRUK OLUŞUMLARI

Karst, kireçtaşı, mermer ve jips gibi özellikle çözünebilir kayalar üzerinde gelişmiş, mağaraları ve geniş yeraltı su sistemlerini içeren özel bir jeomorfolojik süreci tanımlamak için kullanılan terimdir. Avrupa ve Ortadoğu'nun birçok dilinde bulunan Karst terimi Hint-Avrupa öncesi kökenlere kadar izlenebilen ve taş anlamına gelen karra/gara kökünden (Gams 1973a, 1991a, 2003; Kranjc 2001a) türetilmiştir (Ford ve Williams, 2007). Karst terimi ilk kez yoğun bilimsel araştırmaların yapıldığı tip alanı olan üçte ikisi Slovenya'da ve üçte biri İtalya'da bulunan Adriyatik Denizi'ne bakan Dinarik Karst bölgesinin dağlık alanlarındaki platolarda kireçtaşlarının yüzey ve yeraltı suları ile çözünmesi ve aşındırılması sonucunda meydana gelen tipik morfolojik yer şekillerini tanımlamak için kullanılmıştır (Sür, 1994). Slovenya'da "susuz kayalık dağ,kıraç ve verimsiz, çorak alan, taşlık arazi" anlamına gelen kar(r) a sözcüğü daha sonra kars ve nihayet "Kras"a dönüşmüş olup İtalya'da Trieste'nin iç kesimlerindeki bölgenin adı Roma döneminden itibaren İtalyanca'daki "Carso" ve "Carsus" olarak anılmış daha sonra Avusturya-Macaristan İmparatorluğu döneminde Karst olarak tanımlanmıştır (Ford ve Williams, 2007).

Çözünürlüğü yüksek ve iyi gelişmiş ikincil gözenekliliğe sahip karbonatlı, sülfatlı ve klorürlü kayaların bulunduğu bölgelerde doğal koşullarda gelişen kendine özgü hidroloji ve morfolojik özelliklere sahip ve büyüklüklerine göre polye (gölova ya da dağarası ova), obruk (dolin, sinkhole), düden (subatan), lapyra, yivli kaya çıkıntıları, mağaralar ve büyük su kaynakları gibi yerçekilleri topluluğuna "karst topografyası", karstik şekillerin oluşum süreçlerine ise "karstlaşma" denilmektedir (Şekil 13, Nazik 2018). Kayaların çözünürlüğü karstlaşma için en önemli faktör olsa da tek başına karst gelişimi için yeterli değildir. Kayaların yapısı ve litolojik özellikleri de önemlidir: yoğun, masif, saf ve iri kırıklı kayalarda yoğun karstlaşmalar gerçekleşmektedir. Son derece yüksek birincil gözenekliliğe (~%30-50) sahip çözünebilir kayalarda ise karstlaşma genellikle zayıf gelişebilmektedir. Buna karşın ihmal edilebilir düzeyde birincil gözenekliliğe (<%1) sahip ve daha sonra ikincil gözenekliliği iyi gelişmiş çözünebilir kayalarda karstlaşma çok daha yoğun olabilmektedir (Ford ve Williams, 2007).

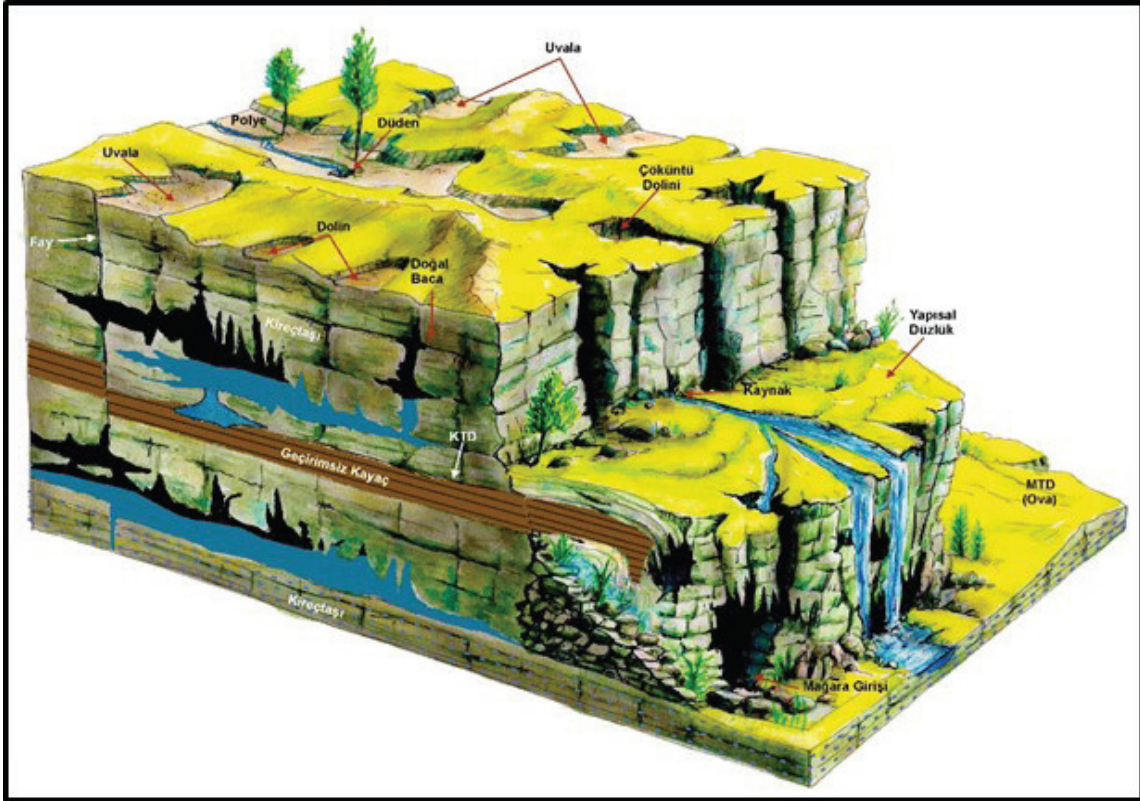
Karstik aşınım şekilleri



Şekil 13. Karstik bir arazide gelişen başlıca yeryüzü şekilleri (Nazik, 2018'den)

Karstlaşma yeryüzünü oluşturan dış etkenlerden (akarsu, buzul, rüzgâr, volkan, kıyı jeomorfolojileri) farklı olarak hem yüzey hem de yeraltında birbiriyle bağlantılı büyük bir sistem halinde gelişir (Nazik, 2018; www.geographynotes.com, 2020). Topoğrafik yüzey ile karst taban düzeyi arasında gelişen hidrolojik kuşaklar ve bu kuşakların birbirlerine göre bağıl konumları yeraltındaki boşluk ve mağaraların genel gelişim yönlerini ve büyüklüklerini belirlemektedir. Karst taban düzeyinin (KTD) geçici morfolojik taban düzeyinden (MTD) derinlerde bulunduğu bölgelerde; gerek havalandırma kuşağı (vadoz zon) ve gerekse daimi doygun zon (freatik zon) ile bu zonun beslenmeye bağılı olarak hem yatay hem de düşey yönde alçalıp-yükseldiği su tablası salınım zonunda (epifreatik zon) gelişir (Nazik, 2018; Şekil 14 ve Şekil 15).

Daimi doymun zonun su kalınlığını belirleyen diğır önemli bir faktör, geçi karst taban düzeyi ile morfolojik taban düzeyi arasındaki yükselti farkıdır. Genel olarak yüzeyden doymun su zonuna kadar olan havalandırma kuşağında, dikey veya çok eğimli boşluk ve mağaralar gelişmektedir. Bu bölgelerde geçi karst taban düzeyleri üzerinde gelişen su tablası salınım zonuna yaklaştıkça hidrolik gradyan azalmakta yeraltı sularının hareketi yatay doğrultuya dönüşmektedir. Yeraltı suyu seviyesinin yağışlara bağılı olarak alçalıp-yükseldiği bu salınım bölgesinde, genel olarak uzun ve yatay boşluk ve mağaralar gelişmektedir (Nazik, 2018).



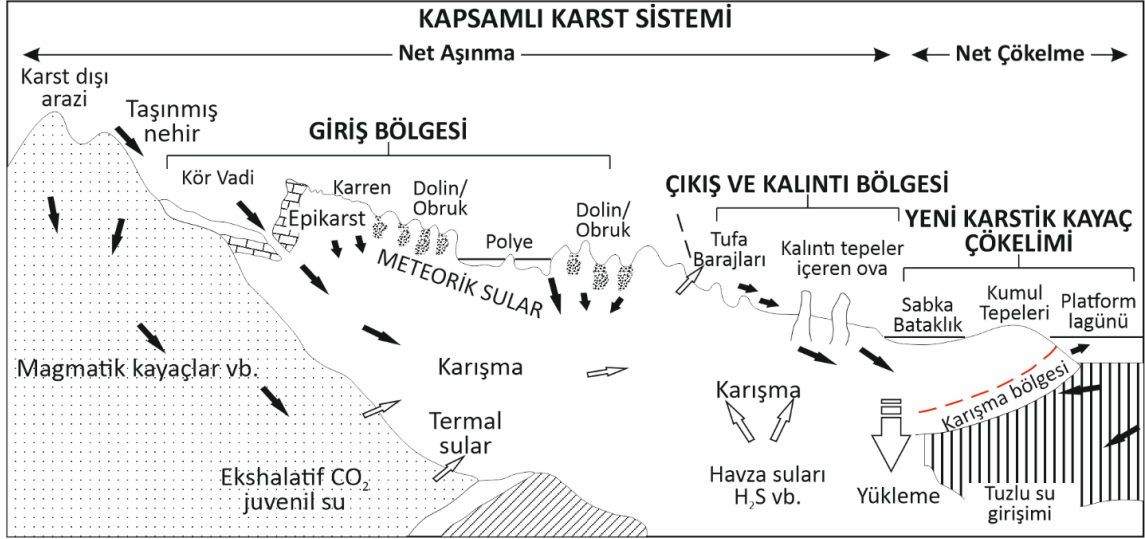
Şekil 14. Karst taban seviyesinin yüzeye yakın olduğu alanlarda oluşan siğ yüzeysel karst şekilleri (Nazik, 2018'den)

Ford ve Williams (2007) karst sistemini temel olarak net aşınma ve net çökme bölgesi olarak iki ana bölüme ayırmaktadır. Aşınma bölgesinde karstik kayalar ana etken olan çözünme ve çözünmeyi destekleyen diğır süreçlerin (ayrışma, kırık, çatlak, sıcaklık, yağış vb) etkisiyle ortamdan uzaklaşmaktadır. Bu bölgede sınırlı oranda geçi yeniden çökelmeler meydana gelebilmektedir. Çökme bölgesi ise esas olarak açık deniz veya gelgit arası ve gelgit üstü şelf düzlükleri olup bu bölgede yeni karstik kayalar oluşmaktadır (Alsharhan ve Kendall 2003).



Şekil 15. Yerköprü şelalesi (Hadim-Konya) Karasu Kaynağı karstik mağara ve su çıkışlarının çevresinde karstik birikme (tufa, fitoherm sarkıt vb)

Net aşınma bölgesi içinde yeraltı suyu akış yolları boyunca yaygın bir şekilde gözlenen çözünme karstlaşmanın en belirgin özelliğidir. Karstik sistemde bulunan yeraltı sularının önemli bir bölümü nispeten sığ derinliklerde dolaşan ve yeraltında kısa süre kalabilen meteorik kökenli sulardır. Derin dolaşım, ısıtılmış sular veya magmatik kayalardan veya çöken sedimanter havzalardan kaynaklanan sular birçok bölgede meteorik sularla karışır ve bunların küçük bir kısmında karstik çözünme sistemini etkilemektedir (hipojen karst). Kıyılarda deniz suyu ile tatlı su karışması çözünmeyi hızlandırmaktadır (Ford ve Williams, 2007; Şekil 16).



Şekil 16. Aşınma ve çökeltme bölgelerini birleştiren kapsamlı karst sistemi
(Ford ve Williams, 2007'den)

Aşınma bölgesinde, çözünmenin önemli bir kısmı yüzeye yakın veya yüzeyde gelişmekte olup boyutlarına göre genellikle ~10 m'den küçük ise küçük ölçekli, 10 ila 1000 m aralığında orta ölçekli ve 1000 m'den büyük ise büyük ölçekli olarak adlandırılır. Yüzeyde gelişen çoğu karstik yer şekilleri giriş bölgesinde oluşurken bazen çıkış bölgesinde de karstik şekiller oluşabilmektedir. Giriş bölgesi karstik yer şekilleri yaygın olup suyu yeraltına boşaltan bir işleve sahiptirler. Yeraltı suyu polye olarak tanımlanan düz tabanlı geniş depresyonlardan daha yoğun olarak beslenmektedir. Karstik yeraltı suyunun boşaltıldığı kaynak çıkışlarında tufa ve traverten barajları gibi yer şekilleri oluşmaktadır. Bazı bölgelerde geri çekilen kaynak hatlarının gerisinde ve nehirlerin yanındaki alüvyal düzlüklerde oldukça yüksek ve dik şekilli kalıntı karstik tepeler oluşabilmektedir.

Daha önceden karstik özelliklere sahip olan bazı bölgelerdeki karstik kayalar daha sonra oluşan geçirimsiz kayalar tarafından örtüldüğünde güncel karstik sistemden ayrıldığı için karstlaşma durmuş olup bu tip karstlar **paleokarst** olarak tanımlanmaktadır. Bazı paleokarstik kayalar ise tektonik etkilerle yükselerek güncel karstik sistemle bağlantısı kurulunca yeniden aktif hale gelebilmektedir. Bazı karstik sistemler ise taraçalarda olduğu gibi su seviyesinin çok üzerinde bulduklarında basamaklı mağaralarda olduğu gibikalıntı (**relikt**) karst olarak tanımlanmaktadır (Ford ve Williams, 2007).

Jips, anhidrit ve halit gibi evaporitik kayaların çözünürlüğü karbonatlı kayalardan çok daha yüksektir. Bu nedenle evaporit karstında yer altı ve yer üstü karstı şekilleri nispeten çok daha hızlı oluşup evrilebilirler (Cooper ve Gutiérrez, 2013).Şeyl, kiltası gibi çözünmeyen örtü tabakaları ile korunangömülmüş evaporitik kayalar derine hareket eden sular 1000 m derinliğe kadar çözünerek ortamdan uzaklaştırılabilmektedir. Bu tür tercihli çözünme **tabakalar arası karstlaşma** olarak adlandırılır ve üstteki kayalarda veya örtüde çökme veya oturma yapılarıyla kendini gösterebilir (Ford ve Williams, 2007).

Ford ve Williams (2007) karstik terminolojide geçen yerşekilleri için tanımlamalar önermiş ve yüzeyde gelişen karstik özellikler **eksokarst**, yeraltında geliştirilen karstik özellikleri ise **endokarst**olarak tanımlamışlardır. Yazarlar yeraltında meydana gelen çözünme meteorik sulara bağlı iseepijen karst,magmatik veya birleşik sulara bağlı isehipojen karst olarak ikiye ayrılmaktadır.Toprak, buzul birikintileri ve artık killer gibi geçirgen tortulardan oluşan örtü altında gelişen karstik şekilleri ifade etmek için **kriptokarst** terimi kullanılmaktadır.Geçirimsiz kayalar tarafından tutulan soyutlanmış karst ise "**barre**" olarak tanımlanmaktadır. Genellikle çok dik veya dikey bir tabaka eğimine sahip kırıntılı bir dizide dar bir kireçtaşı vb çözünür kayanın baskın olarak, bulunduğu**çizgili karstlar** barre alt tipidir.

Karstik olmayan kayalar ile karst kayalarının temas yüzeyinde (kontakta) arazilerden akan suyun, çözünür katmanlarla jeolojik temas boyunca olağanüstü yüksek yoğunluk ve büyük boyutlarda karstik yer şekilleri oluşumu "kontakt (temas) karstı" olarak adlanmıştır (Kranjc, 2001).

Çözünme veya korozyon kaynaklı çökme ve çökme dışındaki süreçlerle oluşan karst benzeri yer şekilleri, **psödokarst** olarak bilinir. Donmuş topraklardayüzeyde ve sığ derinlikteki buzun erimesinden kaynaklanan topografik çöküntülere **termokarst** denilmektedir. Lav akıntıları içindeki boru şeklindeki mağara tavanlarının mekanik olarak çökmeleri ise **Volkanokarst** olarak adlandırılmaktadır. Yerleşim yerlerinde boru tesisatı, kanallar ve diğer alt yapının çevresindeki çakıl, toprak, kil vb. malzemenin mekanik olarak yıkanması ile oluşan çökmeler de **psödokarst** olarak tanımlanmaktadır. Öte yandan, kuvarsit, granit ve bazalt yüzeylemelerindeki çözünürlüğü düşük olan litolojilerde görülen karren gibi çözünme biçimlerikarstik özellikler olarak kabul edilmektedir (Ford ve Williams, 2007).

3. KARSTLAŞMAYI ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Karstlaşma ve özel obruk oluşumları için onlarca faktör bulunmaktadır. Bunların en başta gelenleri; litolojik, mineralojik, jeokimyasal, yapısal jeolojik ve sedimentolojik özellikler olmak üzere jeolojik koşullar, yüzey ve yeraltı sularının seviyesi, suların pH, EC, sıcaklık, hidrokimyasal özellikleri, kayaların geçirimsizlik, boşlukluluk, yerüstü ve yeraltı drenaj özellikleri gibi hidrojeolojik koşullar, iklim, yağış, sıcaklık ve buharlaşma gibi meteorolojik koşullar, yükselti, yüzey şekilleri bitki örtüsü gibi coğrafik ve jeomorfolojik koşulların önemli rolü vardır (Arık vd., 2020, Arık, 2022; Çizelge 1). Bu olaylar fiziko-mekanik (fiziksel ayrışma, aşınma, taşınma) ve kimyasal (çözünme, erime, yeniden kristallenme) işlevlerin sürekli denetimi altında bölgesel karst oluşumunu belirler(Ekmekçi, 2003).

Ana Etken		Açıklama	
BİRİNCİL ETKENLER	JEOLJİK KOŞULLAR	Litolojik, mineralojik, kimyasal koşullar	Litolojik özellikler, mineral parajenezi, yapı-doku özellikleri, petrografik, jeokimyasal özellikler
		Yapısal jeoloji ve Tektonik koşullar	Kırık ve kıvrımlar, kırıkların türleri, konumları ve atımları, çatlak ve boşluklar
		Sedimentolojik koşullar	Çökelme koşulları, tabaka/yapraklanma konum ve geometrileri, kalınlıkları, derecelenmeleri, tane boyu, tabaka altı, tabaka içi ve tabaka üstü yapılar, kayaların gözeneklilik ve geçirimsizlikleri
	HİDROJEOLJİK KOŞULLAR	Yüzey ve yeraltı sularının seviyesi, suların pH, EC, sıcaklık ve hidrokimyasal özellikleri	
İKİNCİL ETKENLER	Meteorolojik koşullar	İklim, yağış, sıcaklık ve buharlaşma	
	Coğrafik ve jeomorfolojik koşullar	Yükselti, yüzey şekilleri bitki örtüsü	
	Paleocoğrafik koşullar	Paleoiklim ve bitki örtüsü, çökelme ortamları	

Çizelge1. Obruk oluşumları için başlıca etkenler (Arık vd., 2020; Arık, 2022'den düzenlenerek).

Obruk oluşumunda yukarıda açıklanan faktörlerin tamamı veya birkaçı birlikte etkiyerek obruk oluşumuna neden olmaktadır. Konya Kapalı Havzası'nda yapılan çalışmalarda obruk oluşumları için en önemli faktörler litolojik, hidrojeolojik ve yapısal jeolojik faktörler olarak öne çıkmaktadır.

3.1. Jeolojik (Litolojik) Faktörler

Karstlaşmada en önemli faktör karstlaşmaya uygun kayaçların mineralojik, petrografik, petrolojik ve jeokimyasal özellikleri ile kayaçların saflığı, tane boyu, doku, tabakalanma, gözeneklilik, mekanik dayanımı, istiflenme durumu vb jeolojik özelliklerdir.

Jeolojik özellikler içinde ise en önemli özellik karstlaşmaya uygun kayaçları oluşturan mineraller, yapı, doku, ayrışma, yeniden kristalleşme gibi petrografik ve petrolojik özellikler ile kayaçların jeokimyasal özelliklerini kapsayan litolojik koşullardır.

Çökeltme koşulları, tabaka/yapraklanma konum ve geometrileri, kalınlıkları, derecelenmeleri, tane boyu, tabaka altı, tabaka içi ve tabaka üstü yapılar, kayaçların gözeneklilik ve geçirimsizliklerini kapsayan sedimentolojik özellikler de karstlaşmada oldukça önemlidir.

Kayaçların oluşumundan sonra gelişen ve belki de birincil gözeneklilikten daha çok etki eden kırık, çatlak, kıvrım ve boşluklarla, kırıkların tür, konum, atım ve geometrilerini kapsayan yapısal özellikler de önemli jeolojik etkenler arasındadır.

3.1.1. Mineralojik, petrolojik ve jeokimyasal özellikler

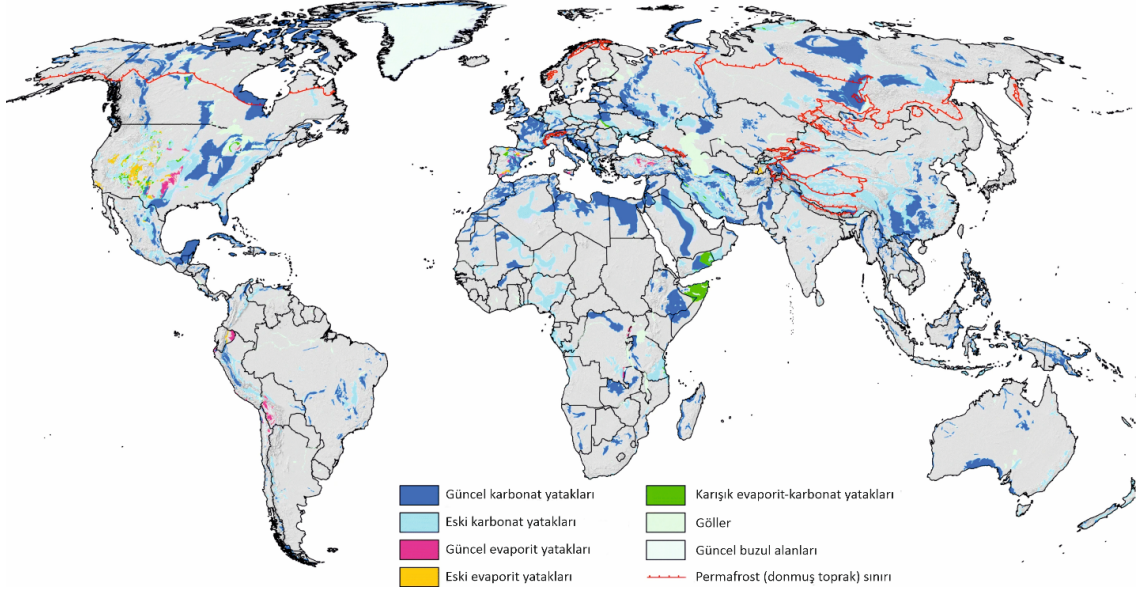
Karstlaşmanın gelişebilmesi için en önemli faktörkayaçların mineralojik, petrolojik ve jeokimyasal özellikleri olup karstlaşmanın gelişebilmesi için değişken koşullarda su ile etkileşim halinde çözünebilir mineraller ve kayaçların bulunması gerekmektedir.

Yerkabuğunun üst kesiminin önemli bir bölümü (yaklaşık %15-20) karstlaşmaya uygun karbonatlı (Ca, Mg, Na karbonatlar: kireçtaşı, killi kireçtaşı, marn, dolomit, tebeşir, mermer, trona, termonatrit, vb), sülfatlı (Ca, Mg, Na sülfatlar: jips, anhidrit, tenartit, mirabilit, globerit, vb) ve klorürlü (Na, K, Mg klorürler: halit, silvin, karnalit, vb) kayaçlar ile kaplıdır (Çizelge 2; Şekil 17).

Dünya yüzeyinde sınırlı bazı alanlarda karbonat ve evaporitik kayaçlardan farklı olarak silikatlı kayaçlarda da karstlaşma görülmekte olup indirgen koşullar altında termal suların etkisiyle çözünen silikatlı kayaç (kuvarsit, yoğun silisli kumtaşları, granit, bazalt vb) ve minerallerin(kuvars, opal, vb) bulunduğu alanlarda karst olarak tanımlanabilecek morfolojik yapılar oluşabilmektedir (Ford ve Williams, 2007).

Çizelge 2. Karstlaşma gösterebilecek bazı minerallerin kimyasal ve fiziksel özellikleri
(mindat.org, 2023)

Tip	Mineral	Kimyasal Bileşim	Yoğunluk	Sertlik	Kristal Sistemi
Karbonatlar	Kalsit	CaCO_3	2.71	3	Rombohedral
	Aragonit	CaCO_3	2.95	3.5-4	Ortorombik
	Dolomit	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	2.85	3.5-4	Trigonal
	Magnezit	MgCO_3	3.0-3.2	3.5-5	Rombohedral
	Gaylussit	$\text{Na}_2\text{Ca}(\text{CO}_3)_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	1.991	2.5	Monoklinik
	Trona	$\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{NaHCO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	2.11	2.5-3	Monoklinik
Sülfatlar	Anhidrit	CaSO_4	2.9-3.0	3-3.5	Ortorombik
	Jips	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	2.32	2	Monoklinik
	Epsomit	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	1.68	2-2.5	Ortorombik
	Polihalit	$\text{K}_2\text{Ca}_2\text{Mg}(\text{SO}_4)_6 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	2.78	3-3.5	Triklinik
	Tenardit	Na_2SO_4	2.66	2.5-3	Ortorombik
	Mirabilit	$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	1.46	1.5-2.5	Monoklinik
	Glouberit	$\text{Na}_2\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$	2.75-2.85	2.5-3	Monoklinik
Kieserit	$\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	2.57	3.5	Monoklinik	
Klorürler	Halit	NaCl	2.16	2.5	Kübik
	Silvin	KCl	1.99	2	Kübik
	Karnallit	$\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	1.6	1	Ortorombik
Silikatlar	Kuvars	SiO_2	2.65	7	Trigonal
	Opal	$\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	2-2.25	5.5-6	Amorf



Şekil 17. Dünya üzerinde potansiyel karst akiferlerini temsil eden karstlaşabilen karbonat ve evaporitik kayaların dağılımı (Goldscheider vd., 2020'den)

3.1.1.1. Karbonatlı Kayaçlar

Kimyasal bileşiminde %50'den fazla karbonat mineralleri içeren kayaçlar karbonatlı kayaçlar olarak tanımlanmaktadır. Buzul alanları ile birlikte dünya yüzeyinin yaklaşık % 14'ünü kaplayan karbonatlı kayaçlar genellikle kalsit, aragonit ve dolomit gibi karbonatlı minerallerden oluşan kireçtaşı, dolomitik kireçtaşı, dolomit, marn, killi kireçtaşı ve mermerlerle temsil edilmektedir. Bilinen en eski karbonatlı kayaçlar 3.5 milyar yıl yaşlı olup güncel olarak tropik ve ılıman kuşaktaki deniz ve karasal ortamlarda oluşumuna devam etmektedir. Karbonatlı kayaçlar tüm Fanerozoik yaşlı sedimanter kayaçların yaklaşık %20'sini oluşturmakta olup birkaç km kalınlık ve binlerce km³ hacimlere ulaşabilmektedir. Kireçtaşı (kalsit ve aragonit) ve dolotaşı (dolomit) olmak üzere iki yaygın saf mineral uç üyesi vardır. Pek çok araştırmacı dolotaşı yerine hem minerali hem de kayayı dolomit olarak tanımlamaktadır (Ford ve Williams, 2007).

Karbonatlı kayaçlar yüksek dağlar ve derin denizler arasındaki hemen her ortamda denizde, sıg kutup sularında, ılıman sularda yerel olarak çökelir ve tropik okyanuslarda 4 km'ye kadar derinliklerde çökebilir. Dolayısıyla karbonatlı kayaçlar genç kıvrımlı sıradağlardan kutuplara, hareketli buzulların altından, sıcak, nemli ve kurak topraklara, çöllerden gölsel ortamlara kadar hemen her ortamda büyük hacimlerde birikebilmektedir (Şekil 18).

Karbonatlı kayaçların oluşumları büyük ölçüde organik aktiviteye bağlı olup biyolojik veya biyokimyasal çökeltme ile oluşmaktadır. Kireçtaşı oluşumu için en uygun bölgeler tropikal ve subtropikal kuşaklardır (Orhan, 2005). Orijinal kireçtaşı malzemesinin çoğu denizel hayvanların kabuk ve iskelet dokularının yanısıra, dışı olarak atılan veya alglerin dokularında çökelen aragonit veya kalsittir (Ford ve Williams, 2007). Karbonat çökelleri ilk oluştuğlarında büyük miktarlarda organik madde içerirken diyajenez ve taşlaşma esnasında hızla ayrışarak inorganik karbonata dönüşmektedir. Güncel masif kireçtaşları ~%1 organik madde içerir ve daha eski kireçtaşları ortalama olarak sadece % 0.2 organik madde bulunmaktadır. Karbonatlı kayaçlar oluşum sonrasında ayrışmaya oldukça eğilimli olup kıtalarda korunan eski karbonatlı kayaçların çoğunluğu, gelgit arası ve gelgit düzlüğü gibi sığ deniz platformlarında (<30 m derinlik) çökelmişlerdir. Güncel karbonatların %95'i alansal olarak, daha derin kıta yamaçlarında ve tabanlarında çökelmektedir (okyanuslarda en fazla 4 km derinliğe kadar çökelen kalsit bu derinlikten daha düşük derinliklerde hızlıca çözünmektedir. Güncel olarak çökelen karbonat yatakları, yaklaşık olarak eşit oranlarda kalsit ve aragonit ile az miktarda birincil dolomitten oluşmaktadır. Paleojen-Neojen geçişinde oluşan karbonatlarda çok az aragonit kalmış olup çoğunluğu kalsite dönüşmüştür. Hacimsel olarak kalsit/dolomit oranları Kretase'de yaklaşık 80/1, Alt Paleozoyik'te 3/1, Proterozoyik'te 1/3 ve Arkeen'de 1/1'dir (Ford ve Williams, 2007).

Kireçtaşları 1) Mikrit ve 2) Çimento (sparit), 3) İskeletsel taneler ve 4) İskeletsel olmayan taneler olmak üzere başlıca dört ana bileşenden oluşmaktadır (Orhan, 2005).

Mikrit: Karbonatlı kayaçların en yaygın kütle bileşeni olan ve boyutları 1 ile 4 mm arasında değişen ince taneli malzeme mikrit (mikrokristalin kalsit) olarak adlandırılır. Yaygın olarak gelgit düzlüğünde, sığ lagünlerde ve derin deniz tabanında biriken mikrit veya karbonat çamuru karbonatlı kayacın tamamını oluşturabileceği gibi bazı karbonatlı kayaçlarda bağlayıcı matriks veya dolgu görevi görebilir. Mikritik malzeme polijenik kökenli olup çoğu alg ve diğer organik kalıntılardan aragonit iğneleri olarak ayrılırken, bir kısmı sıcak, tuzlu ve sığ sulardan doğrudan çökelmekte ve geri kalanı aşınma, mikrobiyal indirgeme, faunal oyuk açma (biyoerozyon), boşaltım vb. biyomekanik ve biyokimyasal süreçlerle oluşmaktadır (Orhan, 2005; Ford ve Williams, 2007).

Sparit: Karbonatlı kayaçların oluşumundan sonra diyajenetik süreçlerle çözünmesi ve yeniden kristalleşmesi ile nispeten daha iri kristalli ($>10 \mu\text{m}$) saydam görünümlü sparikalsit ve sparit olarak tanımlanan inorganik kalsit kristalleşmektedir (Orhan, 2005).

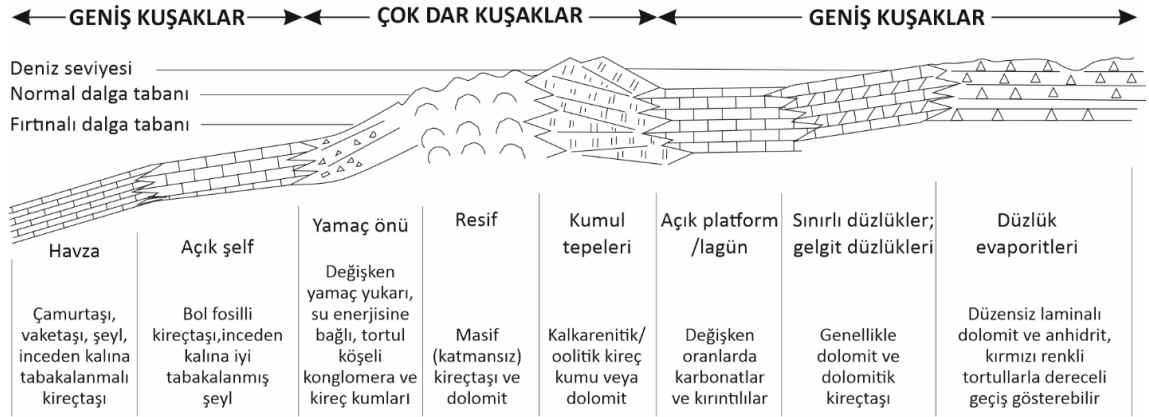
İskeletsel taneler: Kireçtaşlarının en önemli bileşenlerinden biri olan iskeletsel taneler ortamda yaşayan organizmaların iskelet ve kabukları veya bunların parçalarından oluşurlar. Kireçtaşlarındaki iskeletsel bileşenler fosil olarak bilinmekte olup kireçtaşları içerisinde en çok rastlanılan iskeletsel bileşenler, alg, foraminifer, mercan, brakiyopod, gastropod, pelesipod, trilobit ve ekinoderm fosil ve fosil parçalarıdır. Ortamdaki organizmaların dağılım ve gelişimi o ortamın; derinlik, sıcaklık, tuzluluk ve türbülanslılığı ile kontrol edilmektedir (Orhan, 2005).

İskeletsel olmayan taneler: Karbonat kumu ise esas olarak dışkı pelletleri, ooid, pisoid, onkolit ve iskelet ve kabuk parçalarından oluşmakta daha yüksek enerjili ortamlarda (plajlar, barlar, deltalar) birikebilmekte ve kum dalgaları veya kum tepeleri oluşturabilmekte ve sıklıkla karbonat çamuru içinde dağılmaktadır. Karbonatlı kayaçlar içinde bulunan iri tanelerden ($> 2\text{mm}$) intraklastlar şiddetli fırtınalara bağlı oluşan dalgaların mevcut karbonatlı çökelleri parçalayarak sürüklemesi ve sparit çimento ile tutturulması ile oluşurken çakıl ve blok boyutuna ulaşabilen litoklastlar (kayaç parçası) uzun kıyı, delta veya bulanık akıntılarla daha uzun mesafelere taşınarak çökelmektedir (Orhan, 2005; Ford ve Williams, 2007).

Dünyadaki karbonatlı kayaçlar içinde düşük bir orana sahip olan resifler ise birbirini izleyen mercan veya alg (bağlamtaşı) tekrarlanmasından oluşan onlarca hatta yüzlerce metre yüksekliğe ulaşabilen masif kütlelerden, dağınık, bağlantısız parçalar, mercanlar ve alg veya mikrobiyal malzeme içeren karbonat kumu, alüvyon veya çamur yığınlarına kadar uzanır. Alg örtüleri (stromatolitler) daha geniş bir oluşum aralığına sahip olup gelgit üstü bölgede gelişebilir (Şekil 16). Resifler, deniz platformu kenarları boyunca sürekli olarak büyüyebilir. Platformlarda ve lagünlerde, küçük olduklarında yama resifleri olarak adlandırılan dağınık, izole höyükler, büyük olduklarında tümsekler, biyohermler veya doruk resifleri olarak adlandırılan saçaklar halinde oluşabilirler (Riding, 2003). Biyostromlar ise mercan veya alglerin yatay, tabakamsı yayılımlarıdır.

Karbonatlı kayalar karasal ortamlarda da yaygın olarak oluşmaktadır. Karasal ortamda oluşan en yaygın karbonatlar tufa ve travertenlerdir. Bir tür çerçeve taşı (framestone) olan tufalar genellikle CO₂ bakımından zengin nispeten soğuk suların kaynaklar, akarsu kıyıları, göl kenarları, mağara girişleri vb. ortamlarda alg lifleri, bitki gövdeleri ve kökleri etrafında biriken taneli karbonatlardır. Dışına bağındığı alg veya bitki parçası çürüdüğü için tipik olarak oldukça gözeneklidir. Traverten ise termal suların kaynaklardan çıkışı esnasında çökelen daha sıkı dokulu, parlak ve genellikle bitki dokusu içermeyen inorganik karbonatlardır (Ford ve Williams, 2007).

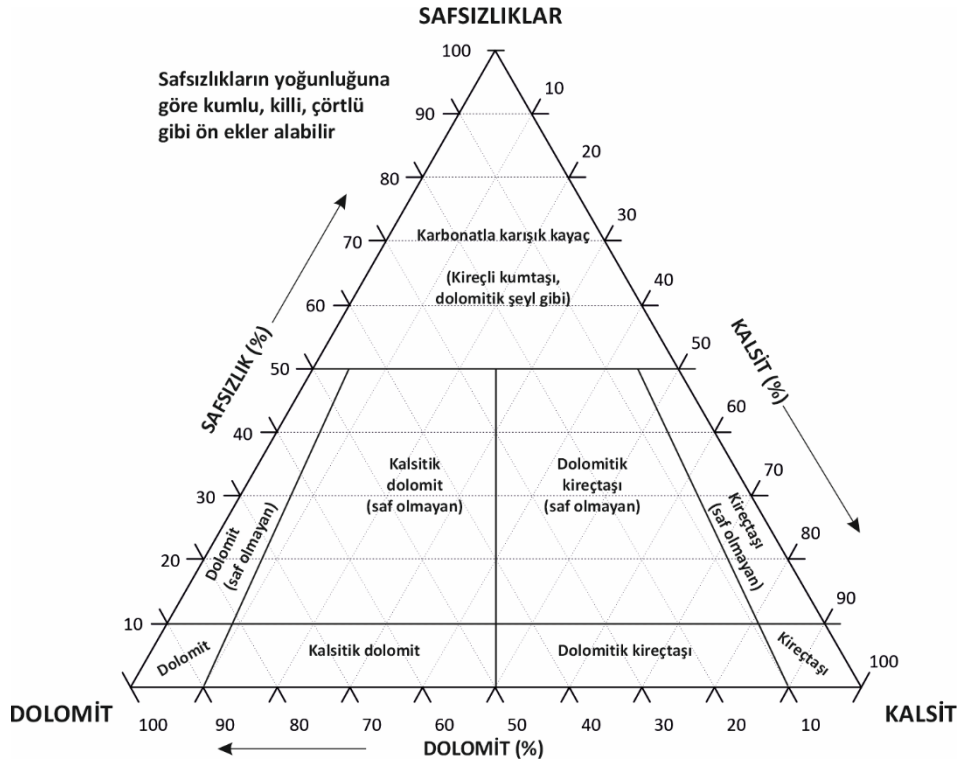
Kalsiyum karbonat, bazı tatlı su göllerinde ve Ölü Deniz gibi aşırı tuzlu su kütlelerinde de çökmektedir. Ilıman bölgelerde tatlı su çökelleri içinde nadiren büyük kalınlıklarda marn olarak adlandırılan, yüksek silikat çamur içeriğine sahip lamine mikritler oluşabilmektedir. Dünyada Great Salt Lake, Çad Gölü ve birçok küçük tuz gölünde, yerel olarak kıyıların çevresinde ve yaklaşık 3 m derinliğe kadar çökelen karbonatlı kumlar sülfatlar ve halojenürlere dönüşürler. Ölü Deniz'de su yüzeyinde hem jips hem de alg örtüleri içinde çökelen mikritik çamur içindeki aragonitler hızla kalsite dönüşmektedir (Ford ve Williams, 2007).



Şekil 18. Kireçtaşı, dolomit ve evaporitik kayalarla bazı kırıntılıların çökeldiği açık deniz havzalarından kıyı düzlüklerine kadar farklı tipte karbonat platformlarını içeren bileşik fasiyes modeli (Ford ve Williams, 2007'den düzenlenerek)

Karbonatlı kayalar farklı araştırmacılar tarafından, bileşenlerin türü, tane boyu, çökme dokusu vb farklı ölçütler dikkate alınarak sınıflandırılmışlardır. Karbonatlı kayaların bileşimsel sınıflamasında dikkate alınan temel bileşenler kalsit, dolomit ve çözünmeyen yabancı madde miktarı (safsızlıklar)dır (Şekil 19). Karbonatlı kayaların önemli bir kısmı, yakın veya uzak bölgelerden türetilen tür ve miktarı farklı ortamlara göre değişen çözünmez mineral safsızlıkları içermektedir. Volkanik kül ve diğer tozlar, karbonatlı kayaların hacimce yalnızca % 0.1'lik bir kısmını oluşturmaktadır. Deltalarda ve akarsu ağızlarında biriken kil, kum ve çakıl bazen karbonat miktarından daha fazla olmaktadır. Bu kayalarda safsızlık olarak kabul edilen kuvars, kil vb bileşenlerin miktarı % 50'den fazla olması durumunda kayaç bu bileşenlere göre adlanmakta olup karbonatlı kumtaşı, karbonatlı şeyl, karbonatlı kil gibi isimler almaktadır (Şekil 19).

Kireçtaşları tane boyuna göre kalsilit (<0.004 mm), kalsilit (0.004-0.062 mm), kalkarenit (0.062-2 mm) ve kalsirudit (>2 mm) olarak sınıflanmaktadır (Orhan, 2005). Bileşenlerin ve bağlayıcıların türü, çökme ortamı ve dokusal özelliklere göre en yaygın kullanılan sınıflamalar ise Folk (1959,1962) ve Dunham (1962) sınıflamalarıdır.








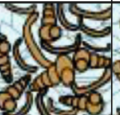


Şekil 19. Karbonat kayalarının bileşimsel sınıflandırması (Ford ve Williams, 2007'den)

Folk (1962) karbonatlı kayaç sınıflaması

Folk (1962) karbonatlı kayaç sınıflamasında allokem, mikrit ve sparit olmak üzere üç çeşit bileşen kullanılmış olup kayaç bu bileşenlerin göreceli oranlarına göre adlandırılmaktadır (Şekil 20).

Allokimyasal bileşenler (allokem) olarak intraklastlar, oolitler, fosiller, pelletler dikkate alınırken ortokimyasal bileşenler matriksi oluşturan mikro-kristalin kalsit çamuru (mikrit) ve bağlayıcı olarak sparikalsit (sparit) çimentodur (Ekmekçi, 2003; Şekil 20).

Kayaç adları mikrit ve sparitin oransal miktarına bağlı olarak allokemlerden türetilmiş ön ekler kullanılmakta olup allokem bolluğuna göre fosiller: bio, ooidler: oo, pelletler: pel ve intraklastlar: intra ön ekleri almalarını sağlamaktadır. Folk (1962) sınıflamasında stromatolit ya da resiftaş gibi yerinde oluşan kireçtaşları için biyolitit, boşluklu (çoğunlukla sparit dolgulu) mikrit için dismikrit terimi kullanılmaktadır (Orhan, 2005).

MİKİRİT/SPARİT ORANI	> 2/3 KARBONAT ÇAMURLU HAMUR				SPARİT ve MİKİRİT YAKLAŞIK EŞİT	> 2/3 SPARİT ÇİMENTO			
ALLOKEM MİKTARI	% 0-1	% 1-10	% 10-50	> % 50		KÖTÜ BOYLANMA	İYİ BOYLANMA	YUVARLAK/AŞINMIŞ	
DEPOLANMA ORTAMI/ENERJİ	Durgun su depolanma ortamı (düşük enerjili ortam)				Dalgakırtı aktivitesi (yüksek enerjili ortam)				
ALLOKEM DESTEĞİ	Matriks destekli allokem				Tane destekli allokem				
TEMSİLİ KAYAÇ İSİMLERİ	MİKİRİT VE DISMİKİRİT	FOSİLLİ MİKİRİT	SEYREK BİYOMİKİRİT	PAKETLİ BİYOMİKİRİT	KÖTÜ YIKANMIŞ BİYOSPARİT	BOYLANMAMIŞ BİYOSPARİT	BOYLANMIŞ BİYOSPARİT	YUVARLAKLAŞMIŞ BİYOSPARİT	
MİKİRİT/SPARİT FOSİL ORANI									
TERMİNOLOJİ	Mikrit ve dismikrit	Fosilli mikrit	Biyomikrit		Biyosparit				
KIRINTILI KAYAÇ KARŞILIKLARI	Kiltaş		Kumlu kiltaş	Killi veya olgunlaşmamış kumtaş	Yarı olgun kumtaş	Olgun kumtaş	Süper olgun kumtaş		

Şekil 20. Karbonatlı kayaçların dokusal sınıflaması (Folk, 1962; Kaymakçı, 2001; Kendall vd, 2011)

Dunham (1962) karbonatlı kayaç sınıflaması

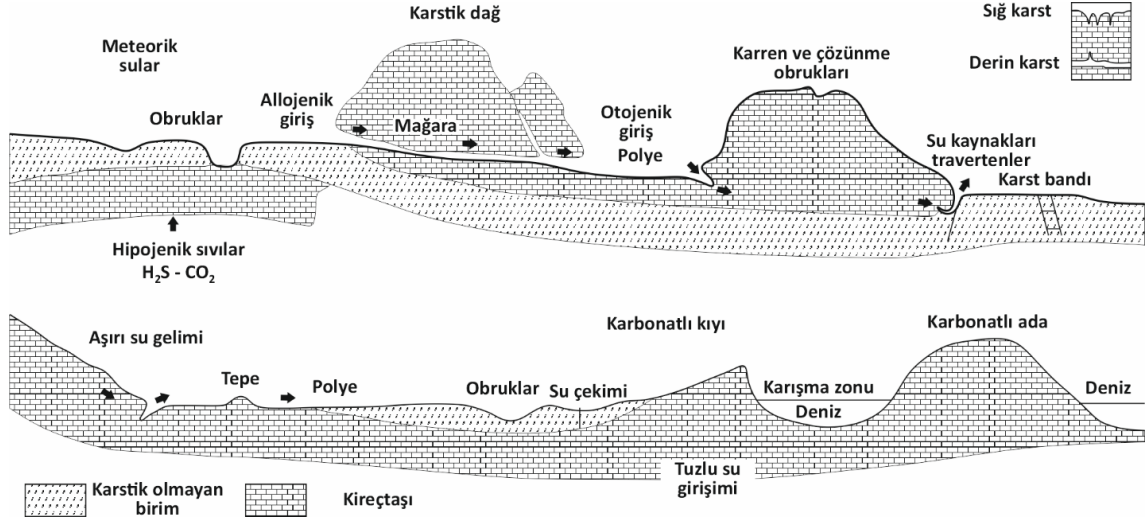
Dunham (1962) sınıflamasında genellikle çökelme dokusunun tanınması, bileşenlerin çökelme esnasında bağlanmış olup olmadıkları, mikrit ve tanelerin birbirine göre oranı dikkate alınır (Şekil 21). Çamur ve tanelerin her birinin kayaç içerisindeki bolluk oranına göre, o kayaç çamur destekli veya tane destekli olarak nitelendirilebilir.

Dunham (1962) sınıflamasında orijinal çökeltme dokusu tanınmayan kayaçlar **kristalen karbonat** olarak tanımlanmaktadır. Çökeltme dokusu tanınan kayaçlarda taneler çökeltme esnasında bağlı ise **bağlamtaşı**, mikrit içeriyorsa **tanetaşı**, tane destekli ise **istiftaşı**, tane miktarı % 10'un üzerinde ise **vaketaşı** altında ise **çamurtaşı** olarak tanımlanmaktadır (Kaymakçı, 2001; Ekmekçi, 2003; Orhan, 2005). Dunham sınıflaması daha sonra Embry ve Klován, (1971) tarafından geliştirilmiştir (Lokier ve Al Junaibi, 2016; Şekil 21).

Çökeltme dokusu tanınmayan	Çökeltme dokusu tanınan								
	ALLOKTON KARBONATLAR (Orijinal bileşenler çökeltme esnasında organik olarak bağlanmamışlardır)					OTOKTON KARBONATLAR (Orijinal bileşenler çökeltme esnasında organik olarak bağlanmışlardır)			
	2 mm'den büyük bileşen miktarı % 10'dan az			2 mm'den büyük bileşen miktarı % 10'dan fazla		Bağlamtaşı			
	Mikrit içeren (<0.03 mm)		Mikrit içermeyen		Matriks Destekli	2 mm'den büyük bileşen destekli	Bölme gibi davranan organizmalar tarafından	Kaplaman ve bağlayan organizmalar tarafından	Sabit bir yapı oluşturan organizmalar tarafından
	Çamur Destekli		Tane Destekli						
	Tane miktarı % 10'dan az (0.03-2 mm)	Tane miktarı % 10'dan fazla							
KRİSTALEN	Çamurtaşı (Mudstone)	Vaketaşı (Wackestone)	İstiftaşı (Packstone)	Tanetaşı (Grainstone)	Yüzentaşı (Floatstone)	Kabataşı (Rudstone)	Bölgütaşı (Bafflestone)	Bağlitaşı (Bindstone)	Çerçevetaşı (Framestone)

Şekil 21. Karbonatlı kayaçların sınıflandırılması (Dunham, 1962'den düzenlenerek Embry ve Klován, 1971; Lokier ve Al Junaibi, 2016; commons.wikimedia.org/wiki/File:Dunham_classification_EN.svg, 2023)

Karbonatlı kayaçlar dünya yüzeyinde en fazla karstik şekillerin görüldüğü kayaçlardır. Genellikle ılıman iklimlerdeki yüksek dağlık alanları oluşturan karbonatlı kayaçlarda giriş ve çıkış karst şekilleri oldukça yaygındır (Gutiérrez vd., 2014; Şekil 22).



Şekil 22. Karbonatlı kayalarda basitleştirilmiş karst oluşumu (Gutiérrez vd., 2014'ten)

3.1.1.2. Evaporitik kayalar

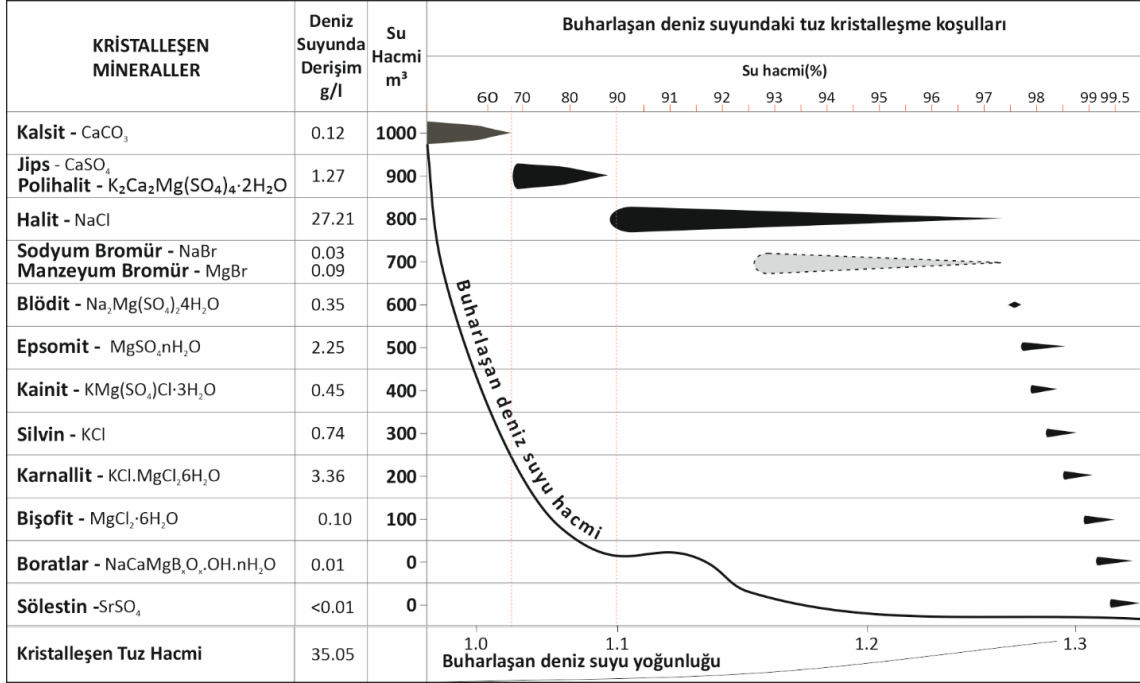
Evaporitler, sıcak iklimlerde deniz ve göllerde buharlaşmanın etkisi altında kimyasal sedimantasyon ile oluşan bir dizi karbonat (kalsit, siderit, magnezit, nitratın, stromsiyanit), sülfat (jips, anhidrit, trona, sölestin, kainit, tenardit, mirabilit, glouberit, polihalit vb), klorür (halit, silvin, Mg-klorür, vb), borat (boraks, kolemanit, üleksit, kernit, probertit, pandermite, vb) mineralini kapsamaktadır. Hemen her yaşta evaporit oluşumuna rastlamak mümkündür. Kuvaterner ve güncel evaporitler daha çok 15 - 35° enlemleri arasında kalan subtropikal zonlarda, ekvatorial platolarda, kurak çöllerde ve Orta Asya'da olduğu gibi yüksek dağların arasındaki çukurluklarda ortaya çıkmaktadır (Helvacı, 2002; Warren, 2010; Harraz, 2016; Arık, 2019).

Suların buharlaşması su içindeki çözünmüş tuzların konsantrasyonunu artırmaktadır. Ayrıca su altı volkanizması, yeraltı suları ve yüzey suları ile su ortamına taşınan ilave tuzlar da tuz konsantrasyonunu artırmaktadır. Yüzey ve yeraltı suları temas ettikleri kayalardan çözdükleri tuzları çökme ortamına taşıırken, volkanik faaliyetlerle ortama bol miktarda Cl, S, SO₄, F, CO₂, P vb element ve bileşikler katılmaktadır. Yüzeyden tuzlu su girişinin yoğun olması ve tabandan tuzluluğu az suların çıkışı evaporasyonu hızlandırır. Birçok aktüel evaporasyon havzasında bu durum gözlenmektedir (Harraz, 2016; Arık, 2019).

Normal evaporasyon ortamında su kütlesinin hacimce % 68'i buharlaşmaya kadar sadece karbonatlar çökmektedir. Normal bir deniz suyu, bileşiminde % 2.8 oranında mineral tuz bulundurmaktadır. Buharlaşmanın devam etmesiyle su kütlesindeki azalma sonucu sudaki konsantrasyon artışına ve çözünürlük derecelerine bağlı olarak tuzlardan biri doygunluk düzeyine ulaşıncaya kadar çökmeye başlamaktadır. 1000 m'lik bir su kolonu buharlaştığı zaman, 15 m'lik bir evaporitik çökeltim oluşmaktadır.

Evaporitik ortamda tabanda önce karbonatlar daha sonra çözünürlüğü düşük tuzlardan jips ve anhidrit çöker (Şekil 23). Üste doğru çözünürlüğü nispeten yüksek olan halit ve en üstte çözünürlükleri en fazla olan magnezyum ve potasyum klorür tuzları çöker. Bu sıralamaya pozitif sekans denir.

Evaporitlerde çökeltme koşullarına paralel olarak bir oluşum sırası belirlenebilmesine karşın sıcaklık, pH, tuz konsantrasyonu, zaman vb diğer faktörlerin etkisinden dolayı bu sıralamayı görmek her zaman mümkün olmamaktadır (Arık, 2019). Evaporasyon genellikle, en fazla çözünebilir tuzların çökebileceği kadar ilerleyemediği için en son oluşan bazı Na, Mg, Ca ve Sr sülfat ve klorür tuzları nadiren görülmekte olup çözünürlükleri çok yüksek olduğundan yüzey suları tarafından kısa sürede kolaylıkla çözümlenerek ortamdaki uzaklaşmaktadır (Helvacı, 2002).



Şekil 23. Deniz suyunda buharlaşma ile oluşan mineraller ve çökelim sırası (Guilbert ve Park, 1986'dan; Harraz, 2016)

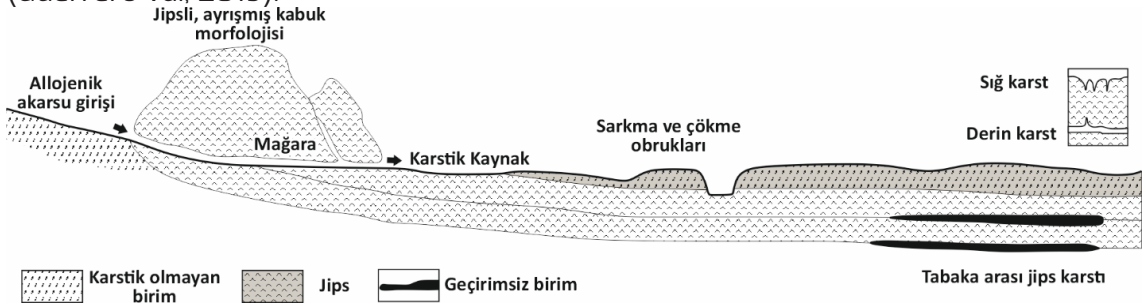
Evaporitlerin daha yüksek çözünürlüğü ve daha düşük mekanik mukavemeti nedeniyle, obruk oluşumuna duyarlılıkları karbonatlı karstik arazilerinden daha fazladır. Evaporitik bir mineral olan halitin (NaCl-yemek tuzu) 20-25 °C sıcaklıktaki saf sudaki çözünürlüğü 35.86 g/l (Grabau, 1920) ile 360 g/l (Freeze ve Cherry, 1979) arasında değişirken, jipsin (CaSO₄·2H₂O) çözünürlüğü 0.207 g/l (Bock, 2011) ile 2.4 g/l (Freeze ve Cherry, 1979) arasında ve anhidritin çözünürlüğü 0.2 g/l (Grabau, 1920) ile 2.98 g/l (Sonnenfeld, 1984) arasında değişmektedir. Doğal ortamlarda kalsit ve dolomit gibi karbonatlı minerallerin çözünürlükleri, büyük ölçüde CO₂ kısmi basıncı tarafından kontrol edilen pH'a bağlı olup 0.05 gr/l'den düşüktür (Ford ve Williams, 1989). Kalsitin çözünürlüğü 0.012 g/l ile 0.4 g/l (Freeze ve Cherry, 1979) arasında, aragonitin çözünürlüğü 0.014 g/l ve dolomitin çözünürlüğü ise 0.05-0.3 g/l (Freeze ve Cherry, 1979) arasında değişmektedir (Babel ve Schreiber, 2014). Dolayısıyla aynı ortamda bulunan halit jipse göre yaklaşık 150-200 kat daha fazla çözünürken jips ise karbonatlı minerallere göre 250 kata kadar daha fazla çözünebilmektedir. Galloway vd., (1999)'ne göre kireçtaşlarına göre halitin çözünürlüğü yaklaşık 7500 kat ve jipsin çözünürlüğü 150 kat daha fazladır. Örneğin Ukrayna'nın batısındaki yüzeyel hidrojeolojik koşullarda jips çözünme oranları 29 mm/yıl olarak ölçülmüştür (Andrejchuk and Klimchouk, 2002, Klimchouk ve Aksem, 2000).

Evaporitlerin karbonat kayaçlarından daha sünek bir reolojiye sahip olmaları, daha düşük mukavemetleri ve daha yüksek çözünme özellikleri nedeniyle deformasyon süreçleri kısa sürede yaygınlaşabilmektedir. Evaporitik alanlarda meydana gelen karstlaşmaya bağlı olarak yeraltındaki çözünme bölgesel ölçekte zemin çökmesine neden olabilmektedir. Evaporitlerde çözünme ve çökme olayları uzun süreler boyunca gerçekleştiğinde genişlikleri birkaç km'ye ve derinlikleri yüzlerce m'ye ulaşabilen çökme yapıları üretebilirler (Gutiérrez vd., 2008).

Evaporitik kayaçların buldukları karstik ortamlarda çözünme ve zemin deformasyon süreçleri oldukça hızlı olduğundan potansiyel olarak ciddi mühendislik ve çevre sorunlarına yol açmaktadır. Yer yüzünde en yaygın bulunan evaporit olan jipslerde oluşan karstlaşma süreçleri jips karstıolarak tanımlanmakta olup birçok ülkede ve çok çeşitli iklim ortamlarında ayrıntılı olarak tanımlanmıştır (Klimchouk vd., 1996; Calaforra, 1998; Klimchouk vd., 1996; Calaforra ve Pulido-Bosch, 1999; Stafford vd., 2008; Cooper ve Gutiérrez, 2013; Klimchouk, 2013; Gutiérrez vd., 2014; De Waele vd., 2017). Sınırlı hidrojeolojik koşullar altında artezyen akışlarıyla oluşan Batı Ukrayna'nın derine yerleşmiş jips karstları, 200 km'den uzun karmaşık labirentlerden oluşan dünyanın en uzun mağara sistemlerinden birini üretmiştir (Klimchouk ve Aksem, 2000).

Türkiye'de çeşitli gölsel havzalarda depolanmış Neojen yaşlı jipsler İç Anadolu'da geniş alanlar oluşturur. Bu alanda jips karstına bağlı olarak gelişen sorunlar önemli ekonomik kayıplara yol açmıştır (Gökkaya ve Tunçel, 2019). Sivas'ın geniş Oligosen yaşlı jips mostraları, karstik ve fluviyokarst yeryüzü şekillerinin istisnai ve nadir örneklerini sergilemektedir. Bunlar arasında yoğun şekilde paketlenmiş çözünme dolinlerinden oluşan iyi gelişmiş bir poligonal karst arazisi (Waltham, 2002; Doğan ve Yeşilyurt, 2019; Poyraz vd., 2021); sıra dışı boyutlara ulaşan yüzlerce ana kaya çökme obrukları (Gökkaya vd., 2021); uzun jips kanyonları (Alagöz, 1967; Doğan ve Yeşilyurt, 2004, 2019; Gökkaya vd., 2021) ve düz tabanlı geniş jips polyeleri (Gökkaya ve Gutiérrez, 2022) yer alır.

Jips, karbonat kayalardan yaklaşık 100-150 kat daha fazla çözündüğü için jipsli kayalarda karstlaşma çok daha hızlı gelişir (Şekil 24). Özellikle yeraltı madenciliği, çözelti madenciliği, su ve kanalizasyon iletim sistemlerindeki kaçaklar gibi antropojenik faktörlerin etkilediği alanlarda ciddi sorunlara neden olur (Cooper ve Gutiérrez, 2013). Halit ise jipse göre çözünürlüğü çok daha yüksek olduğundan yer yüzünde yalnızca son derece kurak bölgelerde veya tuz diyapirizminin sürekli olarak yeni tuzları ortaya çıkardığı yerlerde gözlenebilmektedir. Dünyada en iyi incelenen tuz karstları, Ölü Deniz (Frumkin vd., 2011; Frumkin, 2013), İran'daki Zagros Dağları (Bruthans vd., 2010; Zarei vd., 2011), Atacama Çölü, Şili (De Waele, 2010; Gutiérrez vd., 2014) ve Pireneler İspanya (Guerrero vd., 2019).



Şekil 24. Basitleştirilmiş jips karstı (Gutiérrez vd., 2014).

3.11.3. Kuvarsitler, silisli kumtaşı ve konglomeralar

Genellikle karstik kayalar içinde ele alınmayan silisli kumtaşları ve konglomeralar ile silis çimentolu kum ve çakıllar ve bunların metamorfizma geçirmiş halleri olan kuvarsitler monomineralik yapıya sahip oldukları için tropik ve nemli iklim bölgeleri gibi bazı sınırlı ortam koşullarında küçük ve orta ölçeklerde çözünen karstik yerçekilleri oluşabilmektedir (Mainguet 1972). Kuvars kumtaşları ile kaplı bazı bölgelerde karren, mağaralar ve yeraltı drenajı gibi tipik karst özellikler ortaya çıkabilmektedir (Wray, 1997; Piccini ve Mecchia, 2009). Bazı yazarlar tarafından (Aubrecht vd., 2011) "psödokarst" olarak tanımlanan bu yer şekillerinin oluşumunda hakim olan morfojenetik sürecin çözünme olduğuna dair açık kanıtlar vardır (Sauro vd., 2011).

Kuvarsin mineral yapısındaki silisin meteorik sularda çözünürlüğü çok düşük olduğundan kuvarsitler atmosferik koşullar altında çözünmeye karşı oldukça dirençli iken birçok kumtaşının çimentosunu oluşturan amorf silis daha fazla çözünmektedir. Tüm silis formlarının çözünürlüğü, 50°C'in üzerindeki suda büyük ölçüde artmaktadır (Ford ve Williams, 2007). Amorf silisik asit 0 °C'de 50 – 80 ppm, 25 °C'de ise 100 – 140 ppm oranlarında çözünebilmektedir. Brezilya ve Venezuela'daki masif Prekambriyen yaşlı yüksek kuvarsit kuşaklarında çözünme koridorları ve birkaç km uzunluğa ulaşan mağaralar ve bu mağaralara kadar ulaşan obruk benzeri derin kuyu şeklinde çökme yapıları bulunmaktadır (Galan 1995, Correa Neto 2000).

Kuvarsitlerden oluşan kayalık tepeler ve dik yamaçlarda yeraltı suyu hidrolik gradyanları da dikey olduğundan hızlı su akışına bağlı çözünme ve yıkanma nedeniyle karst benzeri morfolojik yapılar oluşmuştur. White (1976) Venezuela'da karen, dolin ve mağaraların bulunduğu kuvarsit karstından söz etmektedir. Colvee (1973) ise aynı ülkede 395 metre uzunluğunda sarkıtlı, dikitli bir kuvarsit mağarasının varlığını ortaya çıkarmıştır (Ekmekçi, 2003). Sauro vd., (2011) ise Venezuela'daki Sarisarinama masifinin kuvars kumtaşlarında ok büyük hacimli mağaralar ve çöküntüler oluşmasının asıl nedeninin kuvars kumtaşlarının arasında önemli miktarda pirofilit ve kaolinit ve az miktarda demir hidroksit içeren kil ara tabakalarının ayrışması sonucunda desteksiz kalan kuvars kumtaşlarının parçalanarak çökmesi olduğunu belirtmektedirler

Montserrat (İspanya) gibi birçok kuvarsit ve silisli kumtaşları üzerinde zirve karstları ve daha küçük ölçekli karren, çukur ve tava gibi karstik yapılar oluşmaktadır (Ford ve Williams, 2007).

Konya Kapalı Havzası'nda (KKH) Senozoyik öncesi temeli oluşturan pek çok formasyon kireçtaşı, dolomit, dolomitik kireçtaşı, kristalize kireçtaşı, kalkşist ve mermer gibi karbonatlı kayalardan oluşmaktadır. KKH'da obruk oluşumlarının en yaygın görüldüğü Orta-Üst Miyosen yaşlı İnsuyu formasyonu taban kesimlerinde ve yer yer ara seviyeler ve mercekler şeklinde kırıntılı malzeme içeren kireçtaşı, killi kireçtaşı ve marn gibi karbonatlı kayalardan oluşmaktadır. Pliyosen-Kuvaterner yaşlı daha genç sedimanlar içinde karbonatın yanısıra çözünürlükleri karbonatlardan çok daha fazla olan jips, anhidrit, halit, vb çözünebilir mineraller yaygındır.

3.1.2. Dokusal özellikler

Karstlaşmada önemli etkenlerden biri de tane boyu olup tane boyu ne kadar ince olursa, açıkta kalan tane yüzeylerinin alanı arttığından kayaç o derecede fazla çözünmektedir. Birçok çalışmada (Sweeting and Sweeting 1969; Maire 1990) kireçtaşlarında mikrit veya biyomikritlerin en fazla çözünür olduğunu ve sparitin (kaba kristaller) hacimce %40-50'den fazla olduğu yerlerde çözünürlüğün önemli ölçüde azaldığı belirtilmektedir (Ford ve Williams, 2007). Dreiss (1982), Missouri'deki delikli (kavernöz) kireçtaşları ve dolomitlerde saflık, tane boyutu, doku ve gözenekliliğin çözünmeye etkisini araştırmış olup çözünmede en önemli faktörün tane boyutu olduğunu ve ince taneli kayaçların daha çok çözündüğünü belirlemiştir.

Tane boyu ile birlikte paketlenme de önemli olup ince taneli olsalar dahi tekdüze paketlenmiş, pürüzlülüğü düşük kireçtaşlarında su ile temas eden yüzey azaldığı için çözünme daha yavaş olmaktadır. Tane boyutları farklı olan kayaçlarda pürüzlülük arttığı için çözünme artmaktadır. Örneğin küçük fosil parçaları içeren biyomikritlerde pürüzlülük daha fazla olduğu için saf mikrite göre daha fazla çözünme gerçekleşmektedir. Dokusal özellikler karren gibi küçük karstik yapıların oluşumunda etkili olup ince tanelerden oluşan homojen kayaçlarda karren oluşumu yaygın iken resif veya karbonatlı konglomeralar gibi heterojen kayaçlarda mağaralar gibi daha büyük karstik yapılar gelişmektedir (Ford ve Williams, 2007).

3.1.3. Kayaçların saflığı

Karstlaşmayı etkileyen en önemli faktörlerden biri karstik kayaçların saflığıdır. Karbonatlı kayaçların da en yaygın çözünmeyen safsızlıklar kil mineralleri ve silisli bileşiklerdir. Killi kireçtaşı, ince çakıllı ve kumlu karbonatlar gibi kayaçlarda çözünmeyen safsızlıkların miktarı %20-30'dan fazla olması halinde karstlaşma daha az gelişmektedir. Annable (2003), orta büyüklükte taneler içeren alüvyon örtülerinde özellikle su hareket kanallarının tıkanarak karstlaşmanın yavaşladığını ancak tane boyu küçük olan silt ve killerin bu kanallar boyunca daha rahat hareket etmesi nedeniyle aynı etkiyi yapmadığını ifade etmektedir (Ford ve Williams, 2007). Silisli tanelerin miktarı %20-30'u aştığı karbonatlı kayaçlarda karstlaşma çok yaygın gelişmemesine rağmen bazı kireçli kumtaşlarında sığ obruklar ve iyi biçimlendirilmiş küçük mağaralar oluşmaktadır.

Ford ve Williams (2007)'a göre karstlaşmaya en uygun kayalar %70'ten fazla saf karbonatlı kayalardır. Özellikle kireçtaşı ve dolomitler üzerinde yapılan çalışmalarda çözünmenin CaO ve safsızlıkların miktarına bağlı olduğu, saf dolomitlerin çok yavaş çözündüğü ve en hızlı çözünmenin safsızlıkların % 14'e kadar çıktığı kireçtaşlarında geliştiği belirlenmiştir. Çözünmede kayaların saflığı tek başına bir etken olmayıp çözünmeye maruz kalan alan ve maruz kalma süresi de önemli faktörlerdir. Pennsylvania'da yapılan kapsamlı bir çalışmada, Rauch ve White (1970) saf karbonatlarda en yüksek çözünürlüğün MgO = %1 ila %3 olduğu yerde meydana geldiğini ve dağılımın pürüzlülüğünü (maruz kalan alanı) artıran siltli lamine seviyelerde gerçekleştiğini belirlemiştir. James ve Choquette (1984), kalsitin hızlı çözünmesi nedeniyle çözünürlük sırasını Yüksek Mg'lu kalsit, aragonit, Düşük Mg'lu kalsit, saf kalsit ve dolomit olarak belirlemiştir. Evaporitik minerallerde ise kaya tuzu jips ve anhidritten daha yüksek çözünürlüğe sahiptir.

Konya Kapalı Havzası'nda karstlaşma gösteren kayalar genellikle Üst Miyosen – Pliyosen yaşlı göl sel nitelikli insuyu formasyonuna ait yer yer kırıntılı taneler ve seviyeler içeren kireçtaşı, killi kireçtaşı, kireçli kum vb karbonatlardır. Bu birimin üstüne gelen Pleyistosen -Holosen yaşlı Hotamış formasyonu ise yaygın olarak çakıl, kum, silt ve killi birimlerle yer yer evaporitik ve karbonatlı seviyeler içeren Hotamış formasyonunda da yer yer karstik yapılar görülmektedir. Havzanın kuzeyinde Hotamış formasyonu ile eş zamanlı olarak oluşan Tuzgölü formasyonu içinde de kırıntılılar hakim olup yer yer karbonatlı ve evaporitik kayalar bulunmaktadır. Kayaların oluşum ortamlarında göl su seviyesi değişimleri, mevsimsel farklar ve iklim değişiklikleri bu çökellerin saflığını etkilemiş olup karstlaşma karbonatlı kayaların saf olduğu kesimlerde yoğunlaşmıştır.

3.1.4. Gözeneklilik (porozite)

Karbonatlı kayaların ayrışma, çözünme, aşınma ve karstlaşması esnasında meydana gelen farklılıkların önemli bir bölümü kayaç içindeki boşluklarının doğası, ölçeği ve yayılımı olarak tanımlanan gözenekliliğe bağlıdır (Ford ve Williams, 2007). Gözeneklilik dokuya bağlı olarak veya dokudan bağımsız bir şekilde gelişebilmektedir. Kayaların çökeli/oluşumu sırasında meydana gelen boşluklar birincil gözeneklilik, kayacın diyajenezi ve taşlaşması esnasında oluşan boşluklar ikincil gözeneklilik kayaç oluşumundan sonra meydana gelen kırık ve çatlaklar ise üçüncül gözeneklilik olarak kabul edilmektedir. Dokuya bağlı olarak gelişen birincil gözeneklilik mikritte genellikle % 2'den az ve sparitte ise % 5 – 10 arasındadır. Kireçtaşlarının dolomitleşmesi poroziteyi % 15 oranında artırırken metamorfizma poroziteyi düşürmektedir. Örneğin mermerin porozitesi % 1 oranındadır (Ekmekçi, 2003). Jips, anhidrit ve kaya tuzunda ise genellikle gözeneklilik oldukça düşüktür (Ford ve Williams, 2007).

Karstlaşmada birincil gözeneklilik çözünme boşluklarının oluşumu, boyutu ve yayılımında önemli bir etken olmasına karşın genellikle bağlantısız ve küçük boyutlu olduklarından kayaç içinde suların hareketini kolaylaştırmamaktadır. Doku seçici olmayan tabaka düzlemleri, kırıklar ve çözünme kanalları gibi ikincil ve üçüncül gözenekliliğin etkileri daha fazladır.

3.1.5. Mekanik dayanım

Sedimanter kayaçlarda mekanik mukavemet tane boyu, tanelerin birbirine bağlanma durumu, derecelenme, gözeneklilik, paketlenme gibi dokusal özellikler, tabaka düzlemi, tabaka kalınlığı ve tabaka konumu ile çatlaklar, eklemeler ve kırıkların yoğunluğuna bağlıdır.

Mekanik dayanım kayaçların fazladan yük taşınması gerekiyorsa nasıl tepki vereceğine dair bir fikir vermektedir. Mekanik dayanım sahada ve laboratuvarında sıkıştırma, basınç, kesme veya çekiç testleri ile ölçülmektedir (Ford ve Williams, 2007). Genellikle karbonatlı kayaçların mekanik dayanımı yüksek olup ince tabakalı ve yoğun çatlaklı değilse uzun süre çökmeye karşı direnebilmektedir. Tebeşir ve Pleyistosen yaşlı kırıntılı karbonatlar veya oolitler gibi kötü çimentolanmış tane destekli kireçtaşları daha hızlı aşınmaktadır. Day (1983) Karayip bölgesinde yaptığı Schmidt çekici deneylerinde dolomitik kireçtaşlarında ortalama 40-41 R kireçtaşı mikrit ve sparitlerinde 34-35 R Schmidt sertliği belirlemiştir. Schmidt sertliği ABD ve Kanada'daki yaşlı kristalen kireçtaşlarında 35-70 R olarak belirlenmiştir. Jips, anhidrit ve kaya tuzunun mekanik mukavemeti karbonatlı kayaçlara göre daha zayıftır (Ford ve Williams, 2007).

Törk vd. (2013) Karapınar ve çevresindeki pilot alanlarda yapmış oldukları Schmidt sertliği deneyi verilerini kullanarak kayaçların dolaylı Tek Eksenli Sıkışma dayanımı (MPa) değerlerini hesaplamışlardır. Seyithacı Yayla (Karapınar - Konya) çevresinde Silisli kireçtaşlarında ortalama 69 Mpa ve Killi-Silisli Kireçtaşlarında 73 Mpa ve killi kireçtaşlarında 44 Mpa dolaylı tek eksenli sıkışma dayanımı değerleri elde etmişlerdir. Bu değerler Deere ve Miller (1966) sınıflamasında değerlendirildiğinde silisli kireçtaşı ve silisli killi kireçtaşlarında orta dayanım, killi kireçtaşları ise zayıf dayanımlıdır. Araştırmacılar Hotamış (Karapınar) civarında yine killi kireçtaşlarının zayıf dayanımlı diğer kayaçların orta dayanımlı olduklarını, Kaşınhanı (Meram) civarında marnların çok düşük dayanımlı konglomeratik kireçtaşı, taneli yumrulu kireçtaşı ve bozuşmuş killi kireçtaşlarının zayıf dayanımlı, saf kireçtaşlarının orta dayanımlı olduklarını tespit etmişlerdir.

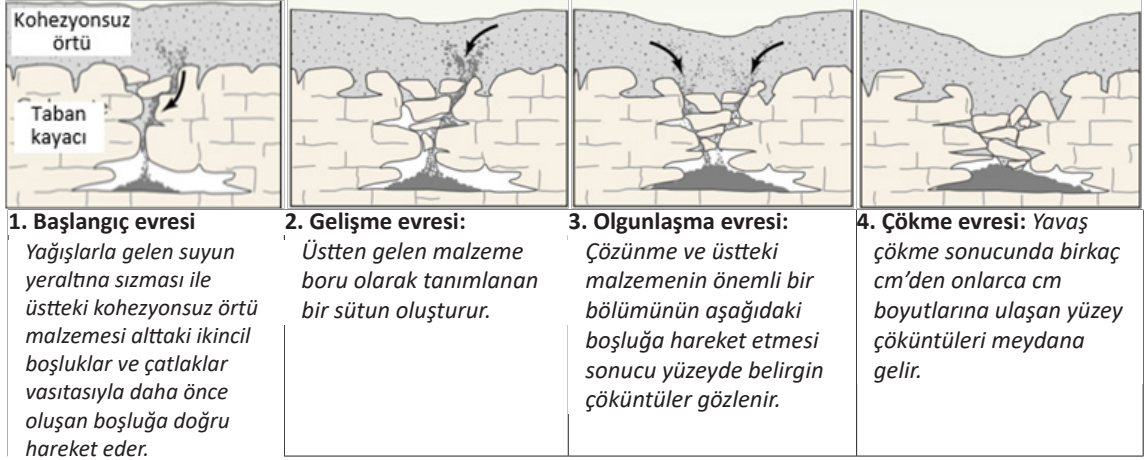
Törk vd. (2019) Konya çevresindeki arazide düzensiz şekilli örnekler üzerinde yapmış oldukları nokta yükü dayanım deneylerine göre İnsuyu formasyonuna ait Bunsal killeri, Küçükkörin-Akdere-Küpbasan-B.Kepeztepe- Örnektepe civarındaki beyaz renkli, killi, az-orta pekişmiş marn seviyeleri ile Kayaaltı-Boduroğlu-Hasanoba-Dikmen-Ölmezlik civarından alınan beyaz renkli, çatlaklı, boşluklu, az killi silisli kireçtaşlarını **Orta Dayanımlı** olarak belirlemişlerdir. Araştırmacılar, Dikmen-Yarımobruk-Potur-Kargın-Akviran-Büyükbece-Örnektepe-B.Kepeztepe-Bunsal-Güllükuyu-Apak civarındaki beyaz-krem-bej renkli, boşluklu (yer yer kalsit dolgulu), yumru lu Neojen yaşlı silisli kireçtaşlarını ise **Yüksek Dayanımlı** kay a ç olarak sınıflamışlardır.

3.1.6. Örtü kay a çlar ve kırıntılı ara tabakalar

Karstlaşmaya uygun çözünebilir nitelikte kay a çların bulunduğ u bölgede örtü malzemesinin tane boyu ve kohezyonu oluşabilecek çökmenin yapısını kontrol edebilmektedir.

İnce kum, silt gibi konsolide olmayan örtü malzemesinin kohezyonsuz kırıntılılardan oluş an örtü malzemesinin bulunduğ u alanlarda yer altındaki boşluklar kay a çların çatlak ve kırıklarından aşağı hareket eden ince kum ve silt gibi malzemelerle doldurulmakta olup yüzeyde yavaş yavaş yaklaşık dairesel geometrili değ işken boyutlu çukurluklar oluşmaktadır (Şekil 25, 26, 27ve 30).

Bu tür obruklar sürekli olarak çöken bir yapıya sahip oldukları için çökmeler yüzeyden izlenebilmektedir. Bu obruklarda ani olarak çökme beklenmediğ inden üzerinde yaşayanlar için izleme ve erken uyarı sistemleri geliştirilerek tehlikeler için önlem alma imkânı bulunmaktadır (Galloway vd., 1999).



Şekil 25. Kohezyonsuz örtü bulunan karstik bölgelerde obruk gelişimi (Galloway vd., 1999'dan)



Şekil 26. Kaşınhanı (Meram-Konya) – Çumra arasında kohezyonsuz örtü malzemesi bulunan bölgelerde gelişen siğ derinlikli yüzey çökmeleri

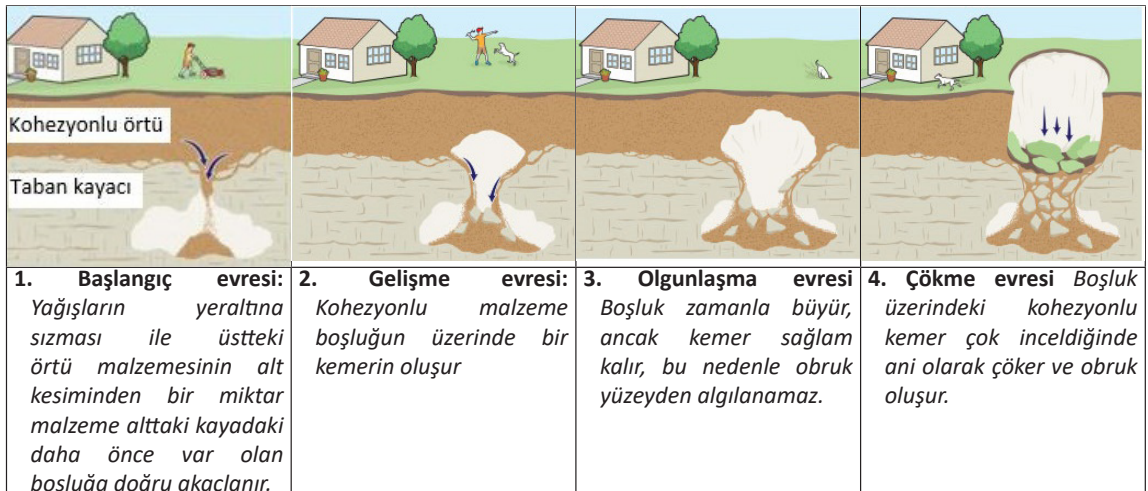


Şekil 27. Kızören (Karatay-Konya) güneyinde kohezyonsuz örtü malzemesi bulunan bölgede gelişen sığ yüzey çökmeleri

Kil bakımından zengin kohezyonlu toprak örtülerin olduğu yerlerde altta bulunan kırık, çatlaklar çözünmez safsızlıklarla doldurularak tıkanmaktadır. Dolayısıyla yüzey akışları ve yağışlarla alt kesimlere çok malzeme hareket etmemekte olup alttaki boşluk giderek büyümekte ve örtü malzemesinin ağırlığı ile ani keskin kenarlı çökmeler meydana gelmektedir. Bu tip obrukların gelişiminde çökme öncesinde bazen yüzeyde herhangi bir belirti oluşmadığından önlem almak oldukça zordur (Şekil 28, 29 ve 30). Dolayısıyla obruk riski olan kohezyonlu örtü veya tavan kayacının bulunduğu bölgelerde periyodik olarak yeraltı yapısı izlenmelidir.

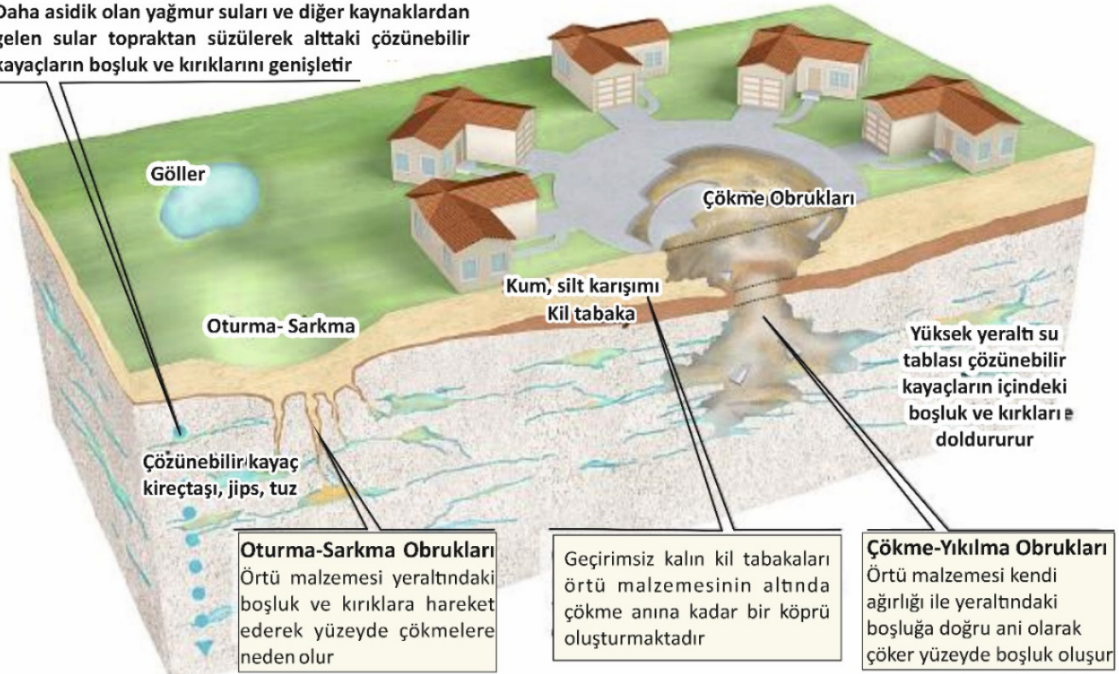


Şekil 28. Karapınar (Konya) güneyinde kohezyonlu örtü malzemesinin bulunduğu İnoba Mahallesi'nde meydana gelen obruk



Şekil 29. Kohezyonlu örtü bulunan karstik bölgelerde örtü çökme obruklarının gelişimi (Ferrara, 2020'den).

Daha asidik olan yağmur suları ve diğer kaynaklardan gelen sular topraktan süzülerek alttaki çözünebilir kayaların boşluk ve kırıklarını genişletir



Southwest Florida Water Management District.

Şekil 30. Kohezyonlu ve kohezyonsuz örtü bulunan karstik bölgelerde obruk oluşumları (Ferrara, 2020, SFWMD, 2021'den düzenlenerek).

Jeolojik olarak çözünebilir kayaların arasında sık sık kil, şeyl, kumtaşı veya kömür yatakları içeren ara tabakalar yer almakta olup karstlaşma bu tür bölgelerde daha yaygın gelişmektedir. Birçok bölgede onlarca, yüzlerce ve hatta binlerce metre kalınlığa ulaşan masif ve geçirimsiz karbonat, sülfat ve tuz oluşumları içinde kırıntılı ara tabakalar bulunmamakta olup bu bölgelerde karstlaşma zayıf gelişmektedir. Bazı bölgelerde ise şeyl ve kiltası gibi geçirimsiz ara tabakalar bu tabakalar arasındaki çözünebilir kayaların karstlaşmasını da engellemektedir. Karstlaşmanın gelişmesi için çözünebilir kayalarla geçirimsiz kayaların kontakt yüzeyleri arasına giren su tabaka düzlemleri boyunca dolaşan sulardan çok daha fazla etkili olabilmektedir (Ford ve Williams, 2007).

Ülkemizde obruk sorunun en yaygın gözleendiği Konya çevresinde genellikle karbonatlı kayaçlardan oluşan İnsuyu formasyonu içinde yerel olarak kırıntılı ara seviyeler yaygındır. Daha genç ve genellikle kırıntılı kayaçlardan oluşan Hotamış formasyonu ve Tuzgölü formasyonlarının içinde karbonatlı ve evaporitik ara tabakalar bulunmakta olup bu birimlerin çözünmesi ile tabaka arası karstlaşma gelişmekte ve yüzeyde sığ derinlikli çökme yapıları oluşmaktadır.

3.2. Hidrojeolojik faktörler

Karstlaşmada en önemli etkenlerden biri yüzey ve yeraltı suları varlığı ve suların seviyesi, sıcaklığı, yeraltı su akım yönü, debi ve suyun hidrokimyasal özellikleridir. Yeraltı suyu akışı, karbonatlı ve evaporitli kayaçlarının karstlaşmasında ve obrukların oluşumunda rol oynayan en önemli faktörlerden biridir (Gutiérrez vd., 2008). Obruk araştırmalarında doğal veya antropojenik yollarla zaman ve mekan boyunca yeraltı su seviyesi değişimleri ayrıntılı araştırılmalıdır. Dünya'da güncel obruk oluşumları genellikle akiferin aşırı kullanılarak su tablası seviyesinin düşmesi ile ilişkilidir (De Waele ve Gutiérrez, 2022). Yeraltı suyunun kullanımına bağlı olarak su seviyesinin düşmesi karst sisteminin jeolojik zaman ölçeğinden ziyade insan zaman ölçeğinde evrilmesine yol açmaktadır. Karstik kayaçların çözünmesinin yüzey kökenli aşağı doğru hareket eden sular veya piezometrik gradyan tarafından kontrol edilip edilmediği belirlenmelidir (Lamont-Black vd., 2005). Örtülü karst ortamlarında boğulma (suffosion) süreçlerini önemli ölçüde etkileyen en önemli faktörler yeraltı su seviyesinin kayaçlara göre konumu, yeraltı suyu akış hızı ve akış yoludur. Yeraltı suyunun hidrokimyası ve ana çözünebilir minerallere göre doygunluk indeksi, suyun çözme kapasitesi ve çözünmenin boyutlarını belirleyebilmektedir. Ayrıca insan faaliyetlerinin doğal hidroloji üzerindeki etkileri araştırılmalıdır (Gutiérrez vd., 2008).

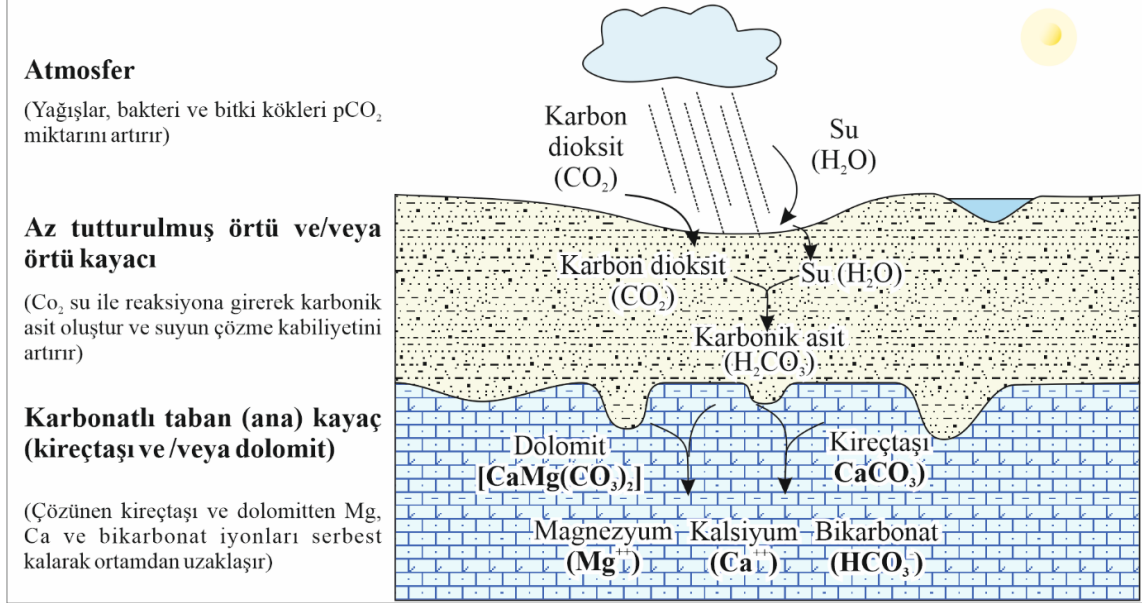
Karstik kayaçlarda karstlaşma bu kayaçlara sızan hafif asidik suların etkisiyle gelişmektedir. Meteorik suların pH'larını düşürerek asitliğini ve çözme kapasitelerini artıran asıl etken havada ve topraktaki CO₂ ile daha az oranda organik asitler veya atmosferik koşullarda meydana gelen oksidasyon süreçlerinden kaynaklanan CO₂'in çözünmesidir. Suların sıcaklık ve çözülmüş karbondioksit CO₂ içeriği karstik kayaçların çözünmesinde son derece önemlidir. Karbonatlı kayaçlar normal atmosferik koşullarda sınırlı oranda çözünürken CO₂ bakımından zengin sularla temas etmeleri halinde daha fazla çözünmektedir. Yağışlar, toprağın içindeki bakteri faaliyetleri, bitki kökleri ve evapotranspirasyon (buharlaştırma/terleme) ile CO₂ miktarı artmaktadır (Şekil 31). Nazik (2018)'e göre karbonatlı kayaçların kırık ve çatlakları boyunca ilerleyen CO₂'li yeraltı sularının düşey doğrultudaki hareketleri çözünebilir kayaçların altındaki çözülemeyen karst taban seviyesi ile bölgenin genel jeomorfolojik taban düzeyi ile sınırlıdır.

Kalsit, dolomit, magnezit, jips, anhidrit ve halit (kaya tuzu) gibi karbonatlı, sülfatlı ve klorürlü çözünebilir mineraller farklı sıcaklık ve ortam koşullarında aşağıdaki tepkimelere göre çözünebilmektedir (Çizelge 3)

Çözme kabiliyeti yüksek agresif sular aşağı doğru süzülerek freatik (doymuş) bölgede deşarj noktalarına (yani kaynaklara) doğru akar (Gutiérrez vd., 2014). Karstik alanlarında çözünenin çoğu yüzeye yakın sığ derinlikli epikarstta meydana gelir (Williams, 2008) ve doygunluk derecesi arttıkça derine doğru hızla azalır (Dreybrodt vd., 1996; Palmer, 2007). Karbonatlı kayaçların çözünmelerini sağlayan kimyasal reaksiyonlar pek çok faktör tarafından kontrol edilmekte olup sonuçta karst ortamlarına özgü çok çeşitli yüzey ve yer altı şekilleri oluşmaktadır. Tatlı ve tuzlu yeraltı suyu arasındaki arayüzde (Sáinz- García vd., 2011) veya vadoz ve yeraltı suyu arasındaki karışım bölgesinde farklı tipte karstik yapılar oluşmaktadır (Dreybrodt vd., 2009). Denize yakın genç kireçtaşlarında, tatlı su kütlesi ile daha yoğun tuzlu su arasındaki ara yüzeyde artan çözünme, "kıyı kenarı mağaraları"nı oluşturmaktadır (Myroie ve Carew, 1990).

Çizelge 3. Kalsit, dolomit, jips, anhidrit, halit ve magnezitin farklı sıcaklık ve ortam koşullarında çözünme tepkimeleri (Bollen, 1954; Paulik vd., 1992; Zhou ve Lei, 2017; Olszak-Humienik ve Jablonski, 2015; Karunadasa vd., 2019).

Kalsit CaCO_3	Tepkime 1	$\text{CaCO}_3 + \text{H}^+ \rightleftharpoons \text{HCO}_3^- + \text{Ca}^{++}$
	Tepkime 2	$\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \rightleftharpoons 2\text{HCO}_3^- + \text{Ca}^{++}$
	Tepkime 3	$\text{CaCO}_3 \rightleftharpoons \text{CaO} + \text{CO}_2$
Dolomit $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	Tepkime 1	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2 + 4\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 4\text{H}^+ + 2\text{CO}_3^{--} + \text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$
	Tepkime 2	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2 \rightleftharpoons \text{CaO} + \text{MgO} + 2\text{CO}_2$
	Tepkime 3	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2 \rightleftharpoons \text{CaCO}_3 + \text{MgO} + 2\text{CO}_2$
	Tepkime 4	$2\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2 \rightleftharpoons \text{CaCO}_3 + \text{CaO} + 2\text{MgO} + 3\text{CO}_2$
	Tepkime 5	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2 \rightleftharpoons \text{MgCO}_3 + \text{CaCO}_3$
Jips $\text{CaSO}_4 \cdot \text{nH}_2\text{O}$	Tepkime 1	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{SO}_4^{--} + \text{Ca}^{++} + 2\text{H}_2\text{O}$
	Tepkime 2	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CaSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$
Anhidrit CaSO_4	Tepkime 1	$\text{CaSO}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CaO} + \text{SO}_4^{--} + \text{H}^+$
	Tepkime 2	$\text{CaSO}_4 + \text{CO} \rightleftharpoons \text{CaO} + \text{SO}_2 + \text{CO}_2$
	Tepkime 3	$\text{CaSO}_4 + 4\text{CO} \rightleftharpoons \text{CaS} + 4\text{CO}_2$
	Tepkime 4	$\text{CaSO}_4 \rightleftharpoons \text{CaO} + \text{SO}_2 + 1/2\text{O}_2$
	Tepkime 5	$\text{CaSO}_4 \rightleftharpoons \text{CaO} + \text{SO}_3$
	Tepkime 6	$\text{CaSO}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CaO} + \text{H}_2\text{SO}_4$
	Tepkime 7	$3\text{CaSO}_4 + \text{CaS} \rightleftharpoons 4\text{CaO} + 4\text{SO}_2$
Halit (Kaya tuzu) NaCl	Tepkime 1	$\text{NaCl} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Na}^+ + \text{Cl}^- + 2\text{OH}^-$
Magnezit MgCO_3	Tepkime 1	$\text{MgCO}_3 \rightleftharpoons \text{MgO} + \text{CO}_2$



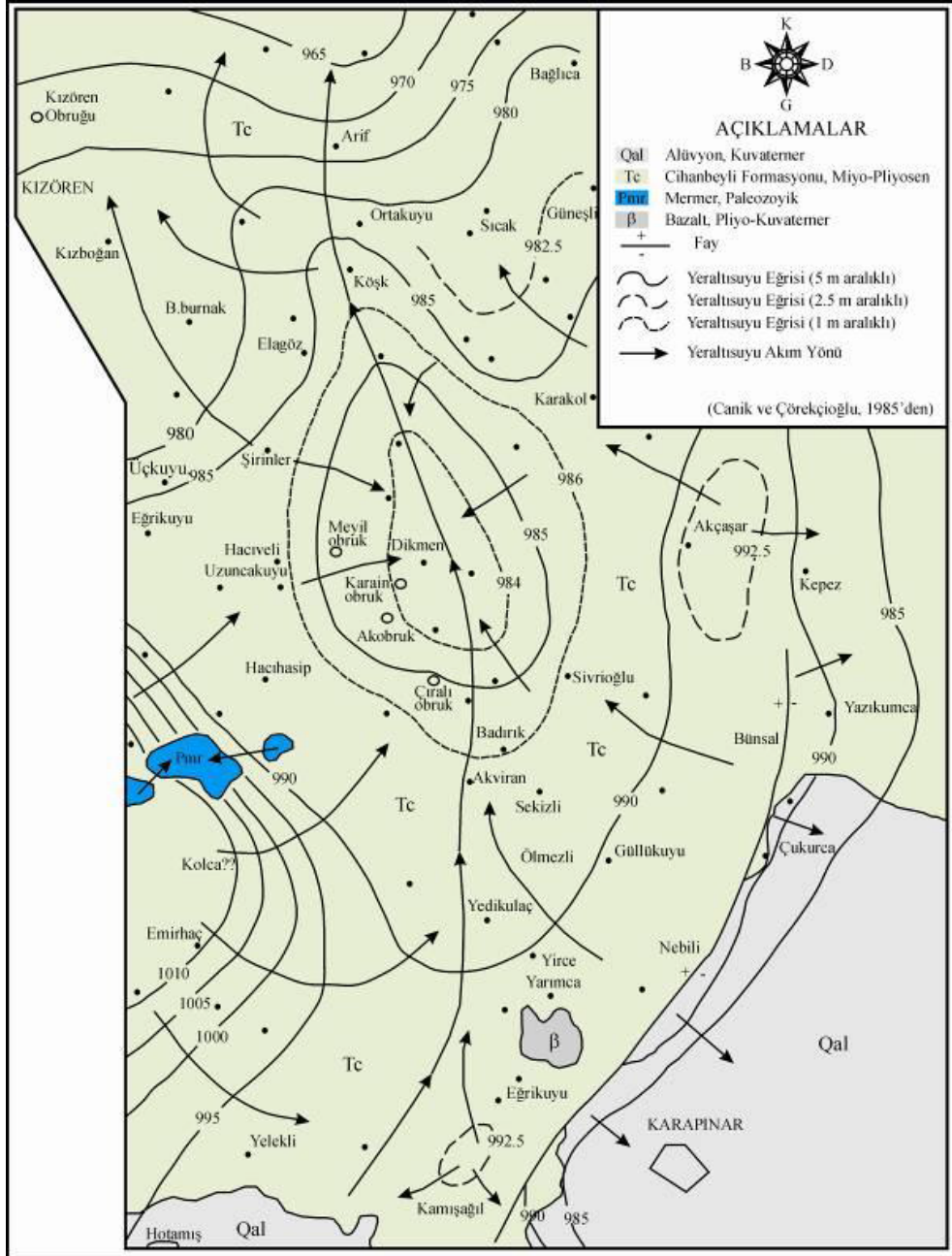
Şekil 31. Karstik sistemdekireçtaşı ve dolomitlerin çözünme mekanizması
(Galloway vd, 1999'dan düzenlenerek)

Son yıllarda suların kökeni de araştırılmakta olup yüzey kökenli (epijen) ve derin kökenli (hipojen) suların karstlaşmaya birlikte etki ettikleri değerlendirilmektedir (Nazik, 2018). Suların asitliğini artıran bir başka faktör ise yerel olarak pirit gibi sülfidlerin oksidasyonu (Tisato vd., 2012) veya CO₂⁻ ve H₂S açısından zengin yükselen çözellilerdir. Zayıf asit karakterli ve genellikle hipojen (magmatik) kökenli olan H₂S suların asitliğini artırarak karbonatlı kayaların çözülmesini hızlandırmaktadır. Bu oldukça agresif karbonik asit veya sülfürik asit açısından zengin sular bazen hipojenik mağara sistemi olarak adlandırılan labirent mağaraları oluşturur (Gutiérrez vd., 2014).

Konya Kapalı Havzası'nda(KKH) yeraltı suyu akım yönü yaklaşık güneyden kuzeye doğrudur. Yağışlı kış mevsiminden sonra CO₂ bakımından da zenginleşerek yeraltına süzülen suların etkisiyle yeraltı su seviyesi kısmen yükselmekte, sıcak yaz aylarında evapotranspirasyon ve tarımsal sulamalar için yer altı suyunun kullanılması nedeniyle yeniden düşmektedir. KKH'nda genç volkanik kayalardan kaynaklı olarak yeraltı sularında H₂S seviyesi de yüksek olup su seviyesindeki oynamalar bölgedeki su-kayaç etkileşimini artırmaktadır. Bayarı vd. (2016) Orta Toroslar ve Karapınar çevresinde hipojen kökenli He izotoplarının bulunduğunu tespit etmişlerdir. Yöredeki pek çok obrukta yapılan gözlemlerde özellikle obrukların taban kısmında sarı, turuncu renkli sızıntılar vardır. Ayrıca bazı su kuyularından çürük yumurta kokusu alınmakta olup bölgede bir yerleşim alanının adı Kokarkuyu'dur. Bölgede yeraltı sularında SO₂ varlığının kanıtları olan koku ve renk değişimi yeraltı sularının hafif asidik nitelikte olduğunun bir göstergesidir. Bölgedeki genç volkaniklere bağlı olarak 2021 yılı bahar aylarında Karatay, Çumra ve Karapınar'da yeraltı suyu üretim kuyularından alınan bazı su örneklerinde iletkenlik 10.000 ohm.m üzerinde olup su kullanımının azaldığı kış aylarında suların tuzluluğu aşırı oranda artmıştır (Arık vd., 2021).

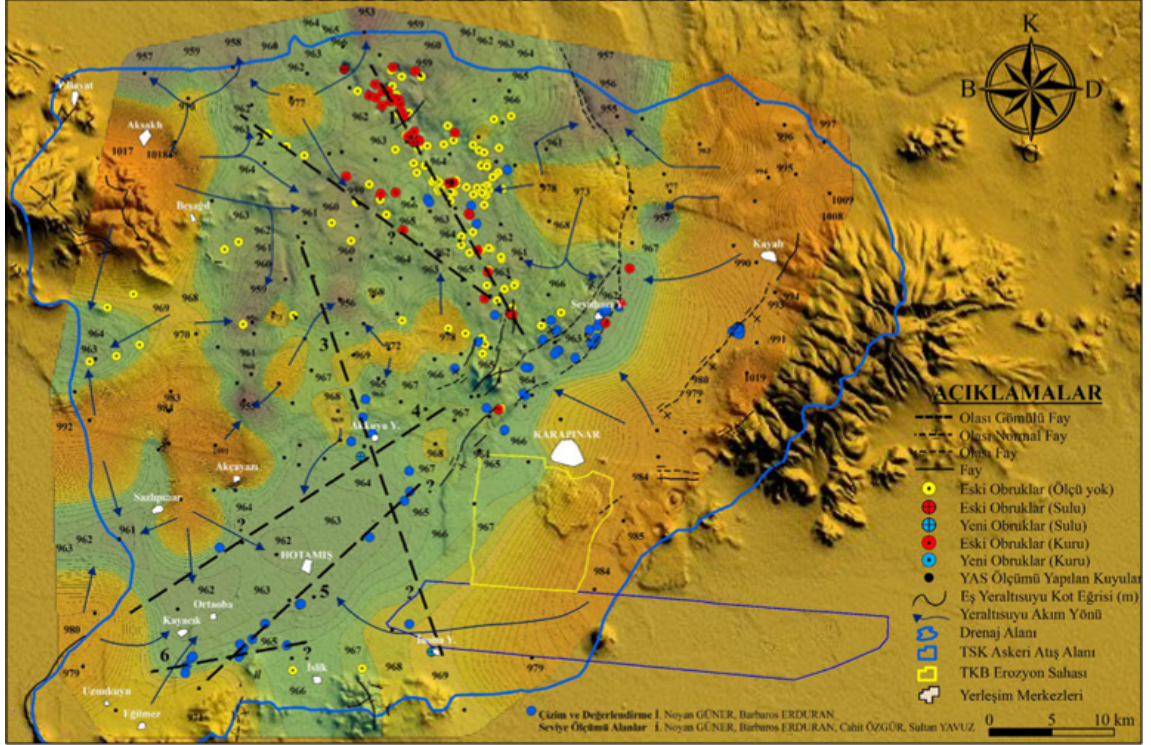
KKH'da yeraltı su seviyesi 1960'lı yıllarda yüzeye oldukça yakın iken devam eden iklim değişikliği ve kuraklıkla birlikte ve giderek artan aşırı ve kontrolsüz yeraltı su kullanımı sonucunda yeraltı su seviyesi giderek düşmüştür. Konya Kapalı Havzası'nda yer altı suları giderek artan yönde, belgeli ve belgesiz 100.000'in üzerinde kuyu ile çekilmektedir. Bölgede ilk yıllarda birkaç cm olan yeraltı su seviyesi düşümleri 1970-2000 yılları arasında ortalama 0.5 m, 2000-2105 yılları arasında 1.0 m ve 2015'ten sonra ortalama 2 m'ye ulaşmıştır. Son yıllarda kimi gözlem kuyularında 20 m'den fazla olmak üzere yılda ortalama 6-7 m'ye ulaşarak günümüzde yeraltı su seviyesi yer yer yüzeyden 60-200 m derine düşmüştür (Arık, 2022).

Konya ovasında yeraltı suyu çekiminin henüz yaygınlaşmadığı 1969 yılında Şentürk (1969) tarafından hazırlanan yeraltı su seviye haritası (Şekil 32)güncel haritalarla karşılaştırıldığında havzanın genelinde yeraltı su seviyesinin ciddi düşüm gösterdiği bazı alt havzalarda yeraltı suyu hareket yönlerinin de değiştiği gözlenmektedir (Pekkan, 2004). Haritaya göre yeraltı su seviyesi Karapınar-Hotamış ovası için 990-1000 m, Obruk Yaylası için ise 980-1010 m ve Ereğli Havzası'nda 1010-1040 m arasındadır (Törk vd., 2013). Yeraltı su hareket yönleri genellikle kuzeye Tuzgölü'ne doğru olup yerel olarak Karapınar batısında, Obruk Yaylası'ndan güneye, eski Hotamış Gölü'ne doğru, Atçukuru Düdeni üzerinden bir yeraltı suyu akımı bulunmaktadır.



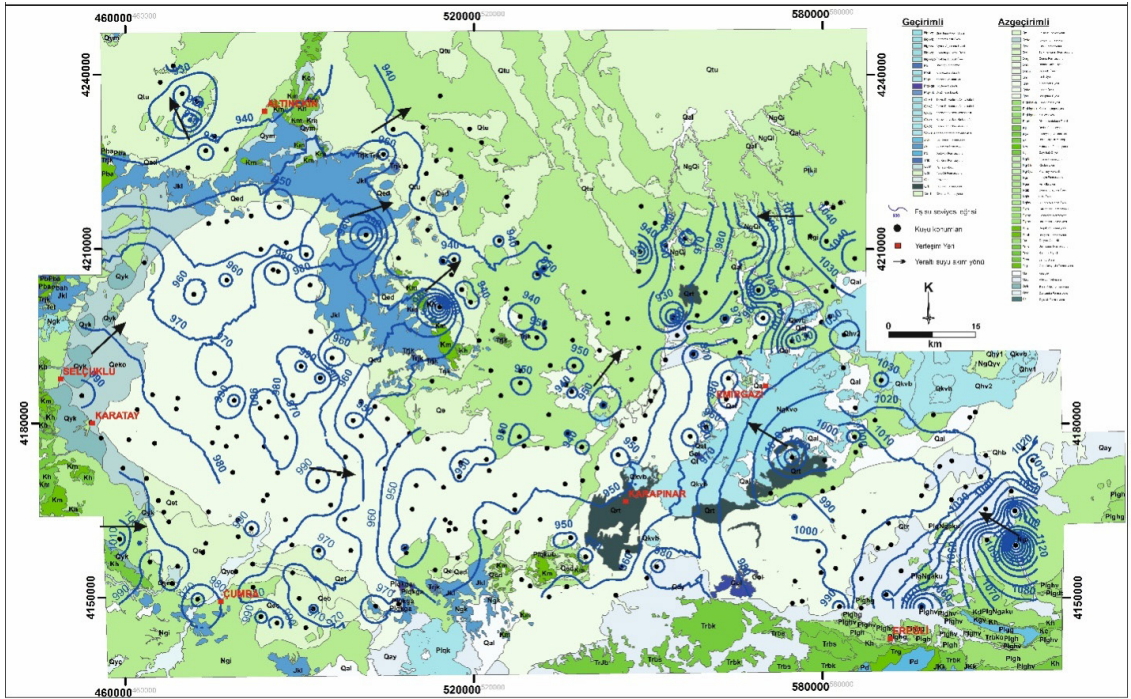
Şekil 33. Karapınar Obruk Yaylası'na ait yeraltı suyu haritası ve jeolojisi
(Canik ve Çörekçioğlu, 1985)

Törk vd., (2013) 2009 ve 2010 yıllarında yapmış oldukları yeraltı su seviyesi ölçümlerine göre 1969 yılından bu yana Hotamış, Karapınar ve Emirgazi bölgesinde su seviye değişimlerine bağlı olarak yeraltı su akım yönlerinin de değiştiğini belirlemişlerdir. Buna göre obrukların yoğunlaştığı Karapınar kuzeyinde yeraltı suyu akım yönleri obruk alanlarına doğru yön değiştirmiştir (Şekil 34).



Şekil 34. Karapınar Ovası ve Obruk Yaylası için oluşturulan 2010 yılı kurak döneme ait eş yeraltı suyu eğrisi haritası (Törk vd., 2013)

Ereğli-Emirgazi-Karapınar-Karatay-Çumra-Altınekin ve yakın çevresinde obruk riski araştırmalarını yapan Arık vd. (2021) 2021 yılında bölgede seçilen 303 yeraltı suyu kuyusunda yaptıkları ölçümlere göre yeraltı su seviyesi düşmeye devam etmektedir. Yerel olarak değişmekle birlikte suların statik seviyesi yağışlı dönemde 15-156 m, kurak dönemde ise 28-167 m olmuştur. Bazı kuyularda yağışlı ve kurak dönem arasında dahi yer yer 28 m'yi aşan yeraltı seviye düşümleri tespit edilmiştir. Alt havzalara göre yeraltı su seviyesi düşümlerinde farklılıklar olsa da en belirgin düşümler tarımsal üretimde yoğun yeraltı suyu kullanan Karapınar ve Altınekin alt havzalarında gerçekleşmiştir (Arık vd., 2021; Şekil 35).



Şekil 35. Ereğli-Karapınar-Emirgazi-Karatay-Selçuklu ve Altınekin bölgesinde yeraltı su seviyesi ve akış yönleri (Arık vd., 2021)

Havzada devam eden kuraklıkla birlikte aşırı ve kontrolsüz yeraltı suyu kullanımından dolayı yeraltı su seviyesi düşüşünün artarak devam edeceği öngörülmektedir. Konya'da tarımsal sulama için açılan ve birbirine çok yakın olan yeraltı suyu üretim kuyularında yeraltı suyu statik seviyeleri farklı çıkmaktadır. Bu durum faylara bağlı olarak akiferde nitelikleri farklı birimlerin yan yana gelmesi sonucu gerçekleşmiştir. Bütün bu faktörlerin birlikte etkilemesi sonucu yeraltında yaygın olarak devam etmekte olan yer altında meydana gelen karstlaşmaya bağlı olarak karbonatlı kayalardaki kırık, çatlak ve boşluklar genişleyerek bağlantılı boşluklar ve mağaralar haline gelmektedir.

KKH'ndadiğer doğal jeolojik faktörlerin yanısıra yeraltı su seviyesinin düşümüne bağlı olarak obruk oluşum sayıları da artmaktadır.Obruk oluşumları 2000'li yıllara kadar birkaç yılda 1, 2000-2010 arasında yılda birkaç, 2010'dan sonra yılda onlarca obruk meydana gelmektedir

Konya kapalı Havzası içinde son yıllarda oluşan ve ilk oluştukları zaman içinde yeraltı suyu bulunan ve karst penceresi olarak işlev gören Yarimoğlu, İnoba, Sırnık Yaylası gibi sulu obruklarda sular çekilmiştir. Geçmişte sulu olan ve olağanüstü doğal görsel güzelliği ile öne çıkan Çıralı obruğunda da sular tamamen çekilmiştir.

Ereğli, Karapınar, Emirgazi, Karatay ve Altınekin civarında AFAD Konya İl Müdürlüğü tarafından yürütülen "Konya İlinde Obruk Alanlarının Tespit Edilmesi Projesi" kapsamında Arık vd., (2021) tarafından yağışlı ve kurak dönemde 303 yeraltı suyu üretim kuyusunda koordinat, kot, derinlik, statik ve dinamik seviyeler ve debi ölçümleri yapılarak suların örneklemeler yapılmıştır. Suların elektriksel iletkenlikleri (EC) ve Na absorpsiyon oranlarına göre bölgede çok sayıda kuyu orta, yüksek ve çok yüksek tuzlu su özelliğinde olup tarımsal üretimde kullanılabilmeleri için özel önlemler alınması gerekmektedir. Suların iyon doygunluk indekslerine göre sadece birkaç kuyudaki anhidrit bakımından doygunluk dışında suların aragonit, kalsit, dolomit, jips ve halit bakımından doygun olmadıkları ve çözme kabiliyetine sahip oldukları belirlenmiştir.

Altınekin, Cihanbeyli, Kulu, Sarayönü, Kadınhanı, Çeltik, Yunak, Ilgın, Selçuklu ve Polatlı ilçelerini kapsayan alanda Arık vd., (2022) tarafından yapılan çalışmada 243 yeraltı suyu üretim kuyusunda yağışlı ve kurak dönemde ölçüm ve örnekleme yapılmıştır. Bölgenin kuzeyinde yer alan Kulu ile Çeltik ve Yunak ilçelerindeki bazı kuyularda yerel su seviyesinde yükselimler olsa da bölge genelinde yeraltı su seviyesi 1.4-29.5 m arasında tehlikeli derecede düşmüştür. Özellikle Altınekin ve Cihanbeyli'deki bazı kuyularda yağışlı ve kurak dönem arasında 50 m'ye ulaşan yeraltı su seviyesi düşüşleri gözlenmiştir. Suların çoğunda tuzluluk yüksek olup birkaç kuyudaki anhidrite doygunluk dışında suların aragonit, kalsit, dolomit, jips ve halit bakımından doygunluklarının düşük oldukları ve bu mineralleri çözme kabiliyetlerinin yüksek olduğu belirlenmiştir.

3.3. İklimsel Faktörler

Karstlaşma üzerinde etkili olan en önemli faktörlerden biri de yağış ve sıcaklık yani iklimsel özelliklerdir. Yağışların türü, şiddeti, miktarı, süresi ve yıllık yağışlı gün sayısı karstlaşmayı etkileyen en önemli iklimsel etken olup subtropikal iklim bölgeleri yüksek miktarda yağış almaktadır. Çözünme ve karstlaşma günlük sıcaklık farkının az olduğu tropik sıcak iklimlerde daha fazla gelişmektedir. Karstlaşma genel olarak bütün iklimlerde görülmesine karşın farklı iklimlerde karstlaşmanın derecesi ve karstik şekillerin çeşitliliği değişmektedir. Karstlaşmanın gelişimi ve karstik şekillerin çeşitliliği orta ılıman iklim kuşaklarında daha yaygın (ik)n sıcak ve nemli bölgelerde (Kutup) iklimlerde ise genellikle donmuş su ve karasal ortamda yıl boyunca yüzeyde

çözünme fazla olduğundan karstlaşma çok hızlı gelişmesine rağmen karstik şekiller uzun süre korunmamaktadır. Soğuk iklimde ise çözünme oldukça düşük olduğundan karstlaşma çok yavaş gelişmektedir.

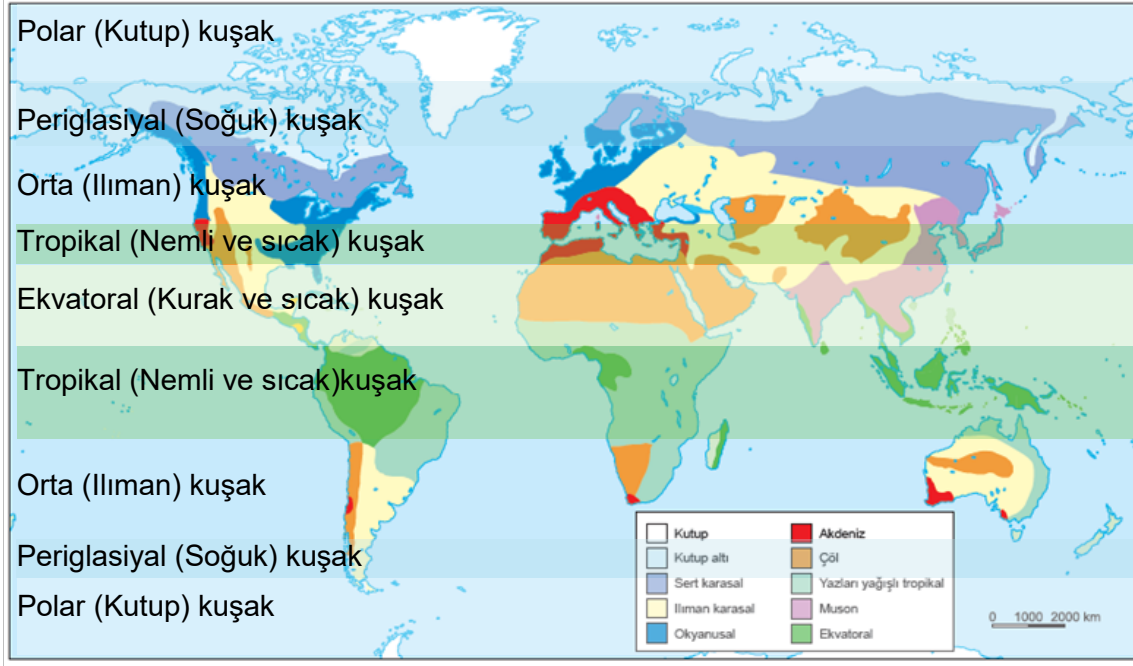
Orta Amerika'daki Jamaika, Antiller ve Çin gibi tropikal ve ekvatorial bölgelerde yaygın olarak görülen tropikal karst aynı kuşakta yer almasına karşın farklı özelliklere sahiptir (Şekil 34) Orta kuşakta Jamaika gibi topoğrafyanın düz ve alçak, karbonatlı kayaçların kalınlığının az olduğu yerlerde çok sayıda dolinden dolayı delik deşik görünen karstik morfoloji delikli karst (cockpit karst; Williams, 1985) olarak tanımlanmaktadır. Çin'de olduğu gibi kalın saf karbonatlı kayaçların olduğu yüksek rakımlı düzlük alanlarda yükseklikleri 200 m'ye ulaşan ve tabanlarında yaygın bitki örtüsü ile mağaraların olduğu çok sayıda dik kenarlı kule ve koni şekilli tepeler bulunduran karstik morfoloji ise Kuleli Karst (Tower Karst) olarak tanımlanır (Zhu, vd., 2013)

Nemli ve sıcak (tropikal) iklimlerde sıcaklığın yüksek ve yağışın fazla olması nedeniyle karstik kayaçlar hızla çözünmekte olup karstlaşma çok hızlı gelişmektedir (Şekil 34). Ancak çözünme ile suların bünyesine alınan karbonat kısa mesafelerde taşınarak hızlıca çökelmektedir. Bunun sonucu olarak tropikal bölgelerde yüksek derecede çözünme gerçekleşmesine karşın hızlı çökelden dolayı karstik şekillerin çeşitliliği azdır

İlman iklimler orta kuşakta yer almakta olup karstlaşma için yağışlar yeterli ancak sıcaklık çok yüksek olmadığı için çözünme tropikal bölgeden daha az olduğundan oluşan karstik şekiller uzun süre korunmaktadır. Türkiye'nin de bulunduğu ılıman iklim kuşağında zengin karst şekilleri gelişmektedir.

Periglasyal (Subpolar-kutup altı) iklimlerde 6 aya ulaşan kış mevsiminde 2 m derinliğe kadar donmuş vaziyette kalan toprak (permafrost) katı yaz mevsiminde çözünerek bataklığa dönüşmektedir (Şekil 36). Çatlaklardan sızan soğuk suların bünyesindeki fazla miktarda çözünmüş CO₂ yaz mevsiminde sulardan havaya karıştığı için ince tabakalı karbonat çökelişi ve sınırlı oranda karstlaşma gerçekleşir. Polar donmuş permafrost katı vardır. Hem suyun hem de toprağın donmuş olması bu bölgelerde çözünme ve karstlaşmayı engellemektedir.

Yerkabuğunu oluşturan levhalar jeolojik dönemler boyunca tektonik etkilerle sürekli olarak hareket ettikleri için kıtalarda gözlenen iklimsel şartlar değişim göstermiştir. Dolayısıyla karstlaşmada güncel iklimin yanısıra paleoiklim koşullarının da etkisinin araştırılması gerekmektedir. Türkiye'de Neojen döneminde sıcak nemli-sıcak kurak iklimler hüküm sürmüştü ve çok geniş alanlarda karbonatların yanısıra evaporitler de çökelmiştir (Karadoğan, 2022).



Şekil 36. Dünya iklim kuşakları ve karışma gelişimi (Warren, 2010'dan)

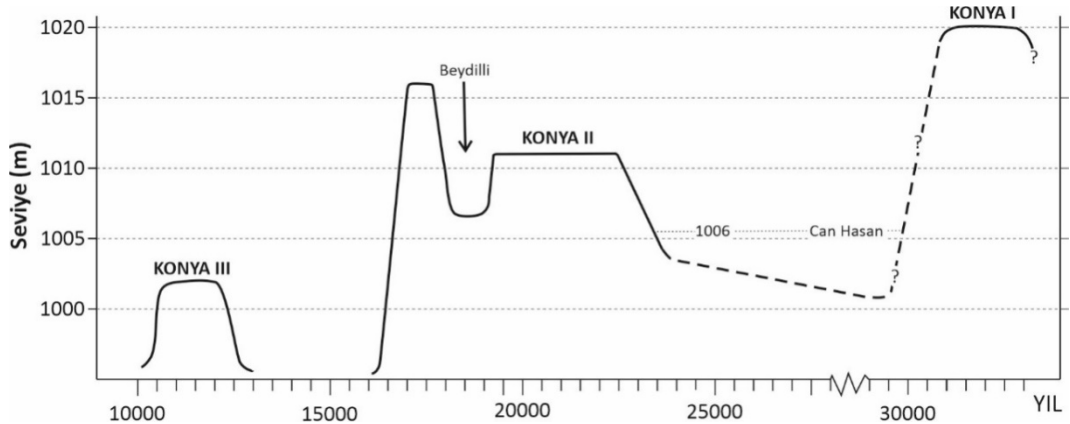
3.4. Jeomorfolojik faktörler

Kısaca yerçekilleri olarak tanımlanabilecek jeomorfolojik özelliklerden karstlaşmaya en fazla etki eden faktör yükseltilerdir. Orta iklim kuşağında yüksek alanlar aynı zamanda daha fazla yağış aldığı için karstlaşma üzerinde olumlu etkiye sahiptir. Ülkemizde karstik morfolojinin en fazla geliştiği kuşak genellikle farklı jeolojik zamanlarda oluşan kalın karbonat istiflerinin bulunduğu Toros kuşağıdır. Dik eğimli yamaçlar, faylar ile sınırlanmış geniş polyeler, kanyonlar, paleovadiler, çözümlenme - çökme dolinleri ve mağaraların birlikte bulunduğu Toroslar karstlaşmaya oldukça elverişlidir (Örn. Doğan vd., 2017 ve 2019).

Karst arazilerinde tektonik uplift ve buna bağlı flüvyal kazılmaya su tablasının düşmesi eşlik eder. Bu süreç, vadoz zonun kalınlığını artırır ve eskiden freatik zonda yer alan mağaraların vadoz süreçler tarafından değiştirilmesine ve çok katlı mağara sistemlerinin geliştirilmesine neden olur. Bu durum karstlaşmanın daha derinde gerçekleşmesine ve eski mağara sistemlerinin terk edilmesine sebep olur. Karstlaşma üzerinde etkili olan bir başka faktör ise eğimdir. Yüksek eğimli arazilerde yağış suları yüzeyel akışla hızlıca ortamdan uzaklaştığı için karstlaşmaya etkisi azalmaktadır. Eğimi düşük düzlük alanlarda suyun derine sızması kolaylaştığı için karstlaşma da artmakta olup karstlaşma için en uygun topografya derin vadilerle yarılmış platolardır. Ülkemizde özellikle Toros kuşağındaki sıradağların üzerinde geniş aşınım düzlükleri bulunduğu için karstlaşma bu bölgelerde çok gelişmiştir (Karadoğan, 2022).

Konya Havzası, Neojen öncesinde başlayan ve Kuvaterner başlarına kadar devam eden kratojenik ve epirojenik hareketlerle şekillenmeye başlamıştır. Bu hareketler sonucu oluşan depresyon, glasiyal ve post-glasiyal devredeki plüviyal yağışlar sebebiyle dolarak göl halini almıştır (Tapur, 1998). Bu göl içinde Miyo-Pliyosen döneminde İnsuyu formasyonuna ait yer yer kırıntılı ara seviyeler içeren kireçtaşı, killi kireçtaşı ve marnlar çökelmiştir (Şekil 9 ve 10). Pleyistosen'de ortalama 15-20 m derinlikte olan göl, Holosen'de plüviyal şartların sona ermesiyle tedrici olarak çekilmiştir. Böylece Konya Havzası'nda karasal şartlar hâkim olmuş ve yüzeyleyen birimler aşınarak halen oluşmaya devam eden alüvyonlara malzeme sağlamışlardır (Karabıyıkoglu, 2003).

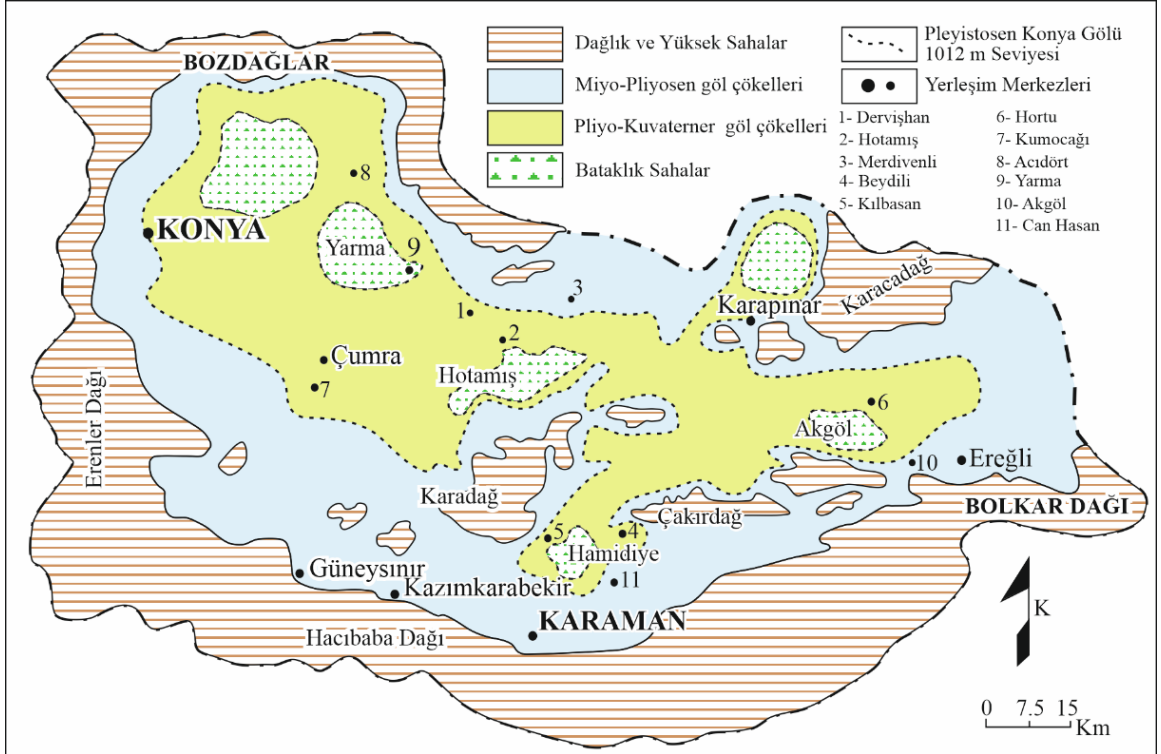
Konya Havzası'nda, Pleyistosen boyunca iklimsel ve hidrolik parametrelerle denetlenen, göl yüzü değişimleri meydana gelmiş, çok sayıda kıyı sekisi izi oluşmuştur (Erol, 1991). Kıyı sekisi basamakları, uzun süre devam etmiş olan göl yüzü düzeylerinin etkinliğine bağlı olarak şekillenmiştir. Basamaklı geometrileri ile belirgin olan bu sekiler, falez görümlü dikliklerle birbirinden ayrılmakta olup göl seviyesinin yükseldiği alanlarda taraçalar meydana gelmiştir. Bu taraçalar 1020 veya 1017 m izohipsleri arasında olan taraçaya üst kıyı taraçası (Konya-I), 1006 ile 1017 m izohipsleri arasında olan yere ana kıyı taraçası (Konya II), 1006 metre izohipsi altında yer alan kesime alt kıyı taraçası (Konya III) denmektedir (Roberts, 1982; Erol, 1987) (Şekil 37).



Şekil 37. Eski Konya Gölü'nün yükselti basamaklarına göre çekilme safhaları (Roberts, 1982)

Konya Gölü su düzeyinde Geç Kuvaterner 3. Buzul dönemi sonu-Son buzul arası dönemin başından günümüze kadar olan zaman içinde, iklim denetimli, küçük ve büyük ölçekli ve sık aralıklı değişimler meydana gelmiştir (Karabıyıkoğlu, 2003). Bu dönemde Konya paleo gölü düzeyi 1020 m eşyüksektisine kadar çıkmış ve göl kenarında kaba taneli yelpaze deltası ve kıyı çizgisi çökeltme sistemleri gelişmiştir. Gölün maksimum derinliği, havza kenarında 8-10 m, havza ortasında ise 20-25 m civarında olmuştur. Konya Havzası gölsel çökeltme sisteminin evrimi, Konya paleo- gölünün en yaygın ve derin koşullarının son yaygın buzullaşma döneminde gerçekleştiğini ortaya koymaktadır. Konya Gölü, Geç Pleyistosen'in sonunda (yaklaşık 17 ile 13 bin yıl arasında) tamamen kurumuş ve havza tabanı rüzgâr etkinliğine açık hale gelmiştir (Karabıyıkoğlu, 2003). Bu kuruma evrelerinde oluşan kumsal çökeller, kabaca güneyden kuzeye doğru yükselteleri gittikçe azalan sekiler halindedir. Ulu vd. (1994)'ne göre bu sekiler, üç göl evresini belirlemekte ve her seki kendi göl evresine ait kıyı çökellerini ve göl tabanı çökellerini içermektedir. Gölün gelişimevrelere ilişkin çökeller, birbirlerine göre göreceli olarak yaşlandırılabilirler. Pleyistosen Holosen döneminde kumsal, kıyı, göl tabanı ve bataklık çökelleri ile temsil edilen Hotamış formasyonu İnsuyu formasyonu üzerine uyumsuz olarak çökmüştür (Şekil 38).

Bölgede birbirinden ayırt edilebilen Konya Havzası, Adakale-Hotamış Havzası, Karapınar Havzası ve Ereğli – Akgöl Havzası'nın sınırları genellikle normal faylarla kontrol edilmektedir. Eski Konya Gölü içinde dağlık alanlar arasında yayılım gösteren İnsuyu formasyonu içinde çok sayıda kuyu, boru ve baca şeklinde morfolojiye sahip olan obruklar oluşmuştur. Havza içindeki eski obrukların büyük çoğunluğu doğrudan İnsuyu formasyonu içinde gelişmiştir. Son yıllarda yeraltı sularının çekilmesine bağlı olarak obruklar havzanın iç kesimlerine doğru daha düşük kotlu alanlarda oluşmaktadır. Altındaki İnsuyu formasyonu içinde devam eden karstlaşmaya bağlı olarak meydana gelen obruklar Hotamış formasyonuna ait kırıntılı kayaların bulunduğu örtü kayalarının olduğu bölgelerde çoğunlukla sığ derinlikli çökmeler ve az miktarda kuyu ve baca şeklinde obruklar oluşmaktadır.



Şekil 38. Eski Konya Gölü'nün yayılım alanı ve gölün çekilme basamaklarına göre çökeller (Erol, 1991)

3.5. Yapısal Jeolojik Özellikler

Karstlaşmada en önemli etkenlerden biri de tabaka düzlemleri, tabakaların kalınlığı, homojenliği, çapraz ve dereceli tabakalanma özellikler, tabakaların duruşu, kıvrımlar, eklemeler kırıklar/faylar ve çatlakların varlığı kırık ve çatlakların konumu, yayılımı, bağlantı durumları gibi yapısal jeolojik özellikler olup karst sisteminde suların hareketini doğrudan etkileyerek kayaçların çözünmesinde önemli rol oynamaktadır.

Tabakalanma özellikleri genellikle kayaç oluşumu sırasında kazanılırken kırık ve çatlaklar kayaçların oluşumundan sonra etkileyen kuvvetlere bağlıdır. Sedimanter kayaçlardaki tabakalanma veya ayrılma düzlemleri, çökeltme esnasındaki değişimler veya kısa süreli kesintilere bağlıdır. Tabaka düzlemleri kayaç içinde kumdan silte veya siltten kile olduğu gibi tane boyundaki küçük değişimlerle oluşabileceği gibi bazen de konglomeradan kiltaşına olduğu gibi tane boyutunda büyük farklılıklara bağlı keskin değişimlerle ardışık düzenli karbonat tabakaları arasında çok ince veya daha kalın ayırım bırakan bir fırtına veya sel vb. tarafından kilin girmesiyle temsil edilir (Ford ve Williams, 2007). Karstlaşmada farklı litolojik özelliklere sahip olan kayaçların arasında bulunan ve su hareketine imkân sağlayan tabaka düzlemleri önemlidir. İnce tabakalı kayaçlarda su tabaka düzlemleri arasında çok sınırlı alanlarda hareket ederken orta

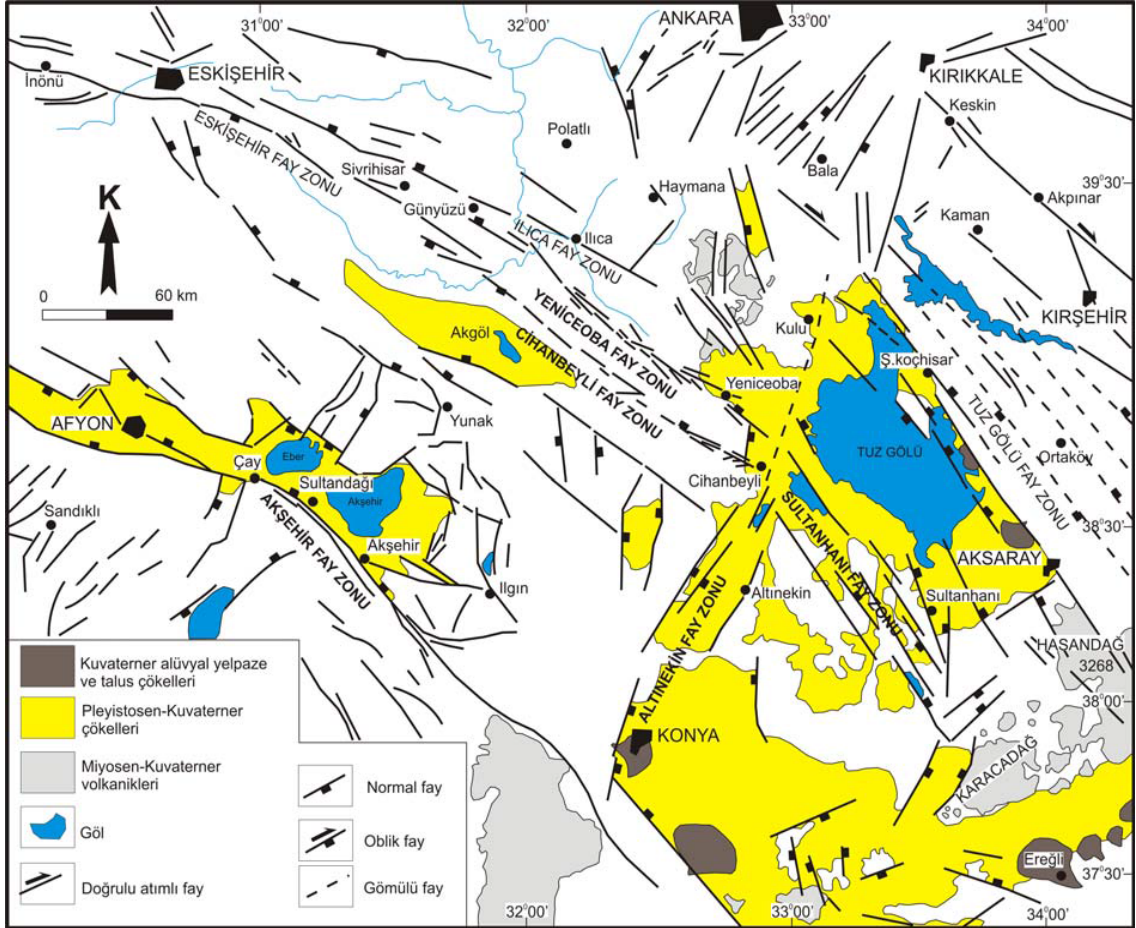
ve kalın tabakalı kayaçlarda su daha geniş bir alana nüfuz etmektedir. Çözünmeye bağlı mağaraların çoğu orta ve kalın tabakalı kayaçların bulunduğu alanlarda meydana gelmekte ve mağara oluşumunda tabakalanma düzlemlerinin önemini arttırmaktadır (Ford, 1971a). Suyun dolaşabileceği düzlemin dalgalanmalı, pürüzlü ve oyuklu olması durumunda suyun temas ettiği kaya yüzeyinde dış hatları düzensiz ve kısmen iç içe geçmiş sığ, kıvrımlı ve birbirine kenetlenmiş çıkıntılar, çöküntüler ve dar hareket kanalları oluşabilmektedir. Yeraltı suyu şeyllerle sınırlanan çökeltme uyumsuzluğuna sahiptir. Tabakalı düzlemleri, kalın ayrımlı düzlemler ve nodüller veya çört tabakaları olan düzlemlerde daha etkin hareket etmektedir. Ayrıca tabakaların duruşu da karstlaşmayı etkilemekte olup eğimli ve dik duruşlu tabakalarda karstlaşma daha hızlı gelişmektedir.

Yeraltındaki kırık ve çatlaklar yeraltı sularının hareketini kolaylaştırmakta böylece su kayaç etkileşimini artırmaktadır. Eklemler, pekişmiş kayaçlarda basit çek-ayırkırılmalarıdır. Makaslama kırılmalarında el numunelerinde fark edilemeyecek kadar küçük miktarda yanal veya düşey yer değiştirme vardır (Barton ve Stephansson, 1990). Çatlaklar, diyajenez, tektonizma, erozyonel yüklenme ve boşaltma gibi çekme veya kesme kuvvetlerinden kaynaklanır. Düzenli tabakalı kayalarda, genellikle eklemler tabakalanma düzlemlerine dik iken resiflerde olduğu gibi bazı yerlerde düşeyden sapma olabilmektedir. Paralel eklemler bir eklem takımını, düzgün açılarda kesişen iki veya daha fazla takım bir eklem sistemi oluşturur. Eklem sistemleri kırılma açıklıklarına bağlı olarak çoğu zaman yeraltı suyunun hareketini kolaylaştırırken bazen ikincil kalsit veya kuvarsla doldurulduğunda geçirimsiz yüzeyler oluşturabilmektedir. Üstteki kayaçların aşınması veya kaldırılması sonucu litostatik basınç azalması nedeniyle yeni eklemler oluşabilmektedir (Ford ve Williams, 2007).

Faylar Kayaçların düşey ve yanal olarak yer değiştirmesini sağlayacak dereceye meydana gelen kırıklardır. Yer değiştirme 1 cm'den düşük ise eklem daha fazla ise fay olarak tanımlanmakta olup bazen düşey ve yanal yönde kilometrelerce yer değiştirme gerçekleşebilir. Faylar hareket eden bloklar arasında suyun rahat hareket edebileceği geniş açıklıklar oluşabilir. Bazen fay düzlemlerindeki açıklıklar breş, ikincil kalsit vb. maddelerle doldurularak geçirimsiz zonlar oluşmasına rağmen çoğu zaman suyun temas alanı ve süresini artıran pürüzlü yüzeyler oluşturmaktadır. Faylar çoğunlukla tek bir kırılma düzlemi ile sınırlı kalmaz ve birbirini takip eden ana kırığa paralel, verrev ve dikey yönde gelişen çok sayıda küçük kırık ve bunlarla ilişkili eklem sistemleri gelişmektedir. Yeraltı ve yüzey sularının en yaygın dolaşım yaptığı alanlar kırıklı yapıların bulunduğu alanlardır. Çözünebilir kayaçların kırılması sonucu bu bölgelerde karstlaşma daha yaygın olup bazen faylara bağlı sıralanmış obruklar meydana gelebilmektedir (Ford ve Williams, 2007).

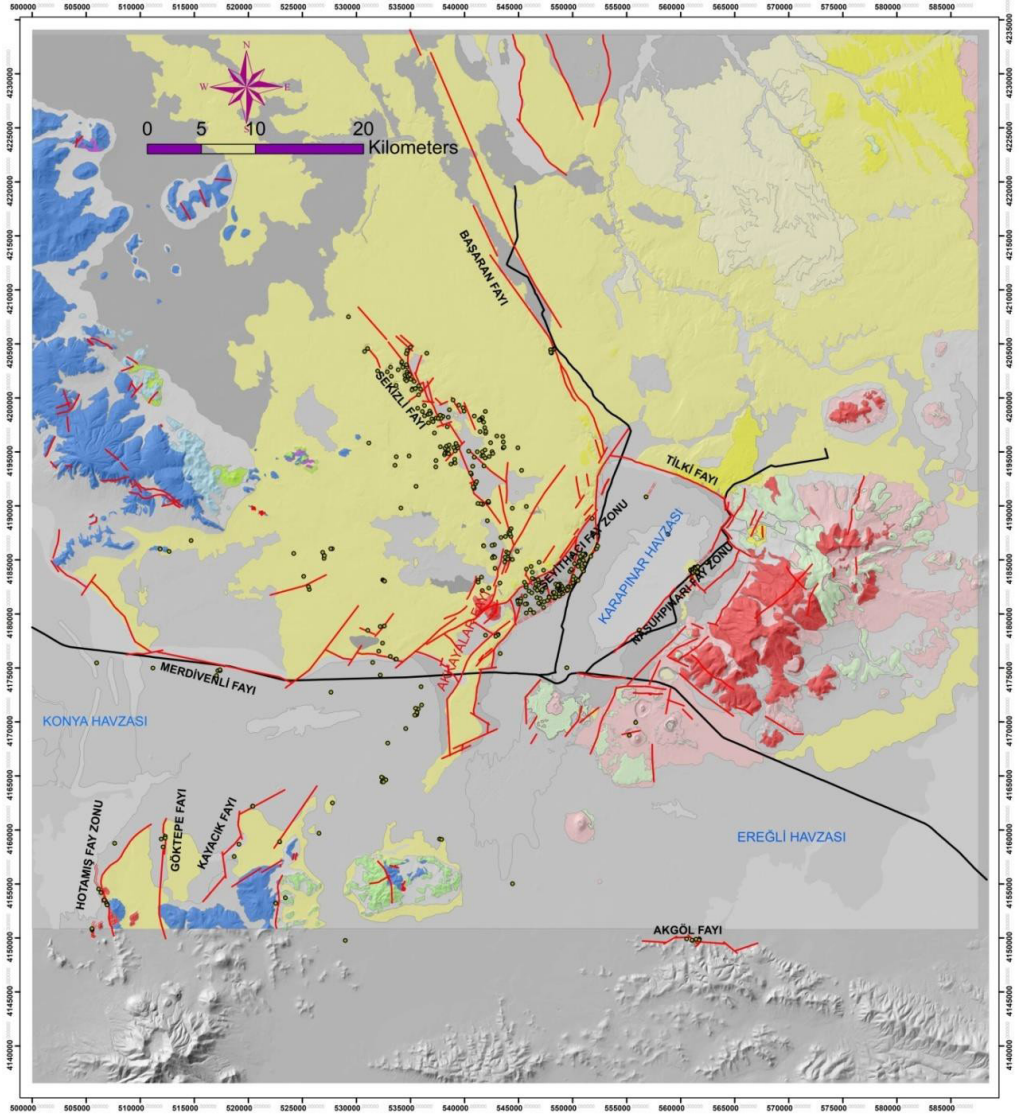
Büyük ölçekli normal ve ters faylar, içlerindeki killi ezilme dolguları veya ikincil kalsit nedeniyle genellikle düşük geçirgenliğe sahipken tüy kırıklarının olduğu bölgeler daha yüksek geçirgenliğe sahiptir. Dolayısıyla bu iki yapının kesiştiği bölgelerde karstlaşma daha yaygın olup mağara ve çökmeler kırıklarla ilişkilidir (Dublyansky ve Kiknadze, 1983). Bindirme fayları da karstlaşmayı desteklemekte olup Belçika ve İtalya'da kireçtaşı mağaralarını oluşturmuştur (Vandycke ve Quinif 1998). Ölü Deniz yakınlarındaki tuz mağaralarında ise diapirleşme normal faylarla (Frumkin, 1996) ilişkilidir.

Konya Kapalı Havzası Orta Anadolu Ovalar bölgesinde Neotektonik olaylardan aşırı etkilenen bir bölgede yer almaktadır (Şekil 39). KKH'da Paleozoyik ve Mesozoyik temel üzerinde Neotektonik dönemdeki genişlemeli rejime bağlı olarak gelişen Orta Anadolu ve özel olarak Tuzgölü Havzası'nda oluşan kırıntılı ve karbonatlı birimler yüzelemektedir. Genellikle gölssel-karasal ortamda oluşan birimler morfolojiye uyumlu olarak çökelmiş olup yatay tabakalıdır.



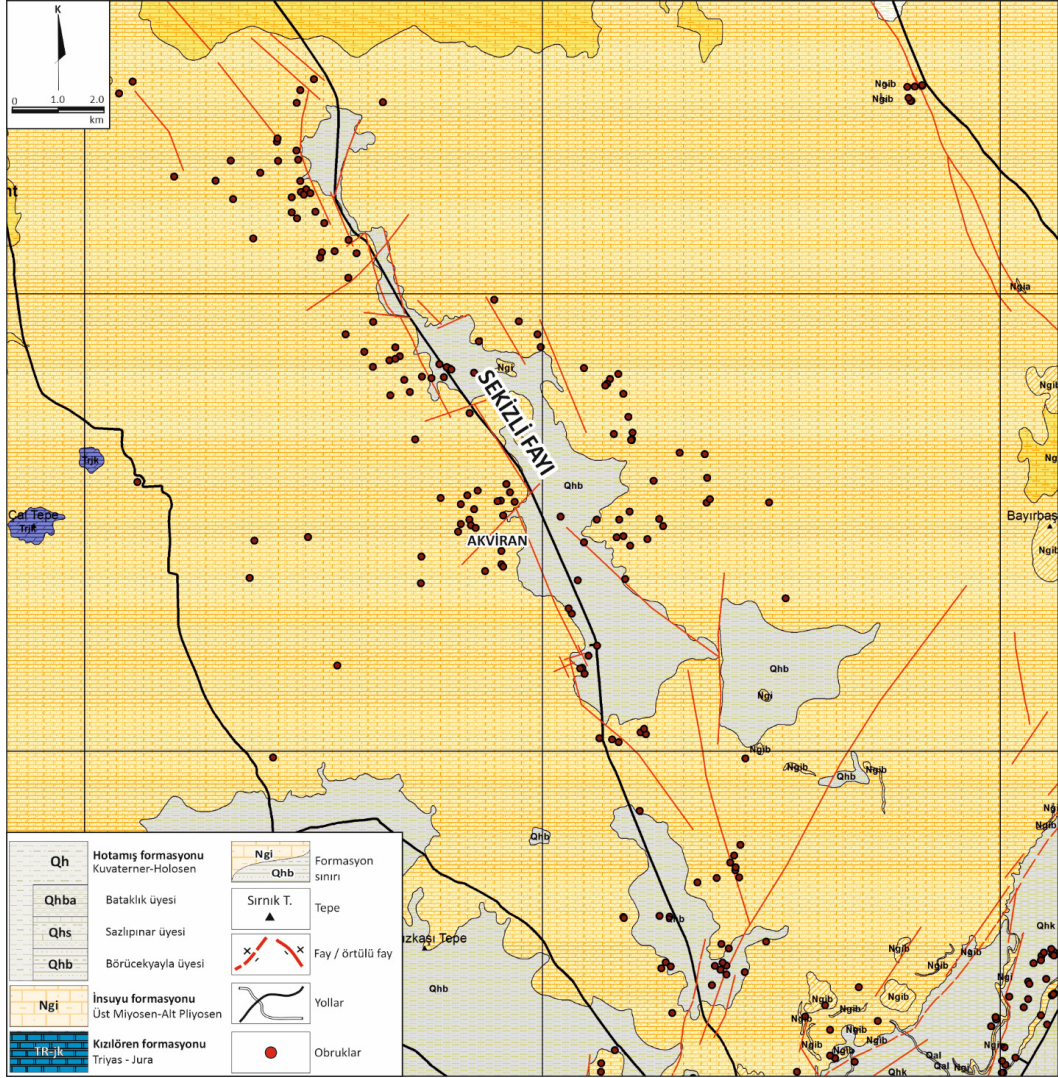
Şekil 39. Orta Anadolu ve çevresinin tektonik haritası (Akıl, 2008'den).

Havzaı sınırlayan ana fay zonlarının yanısıra havza içinde genç gösel çökellerle örtülmüş çok sayıda normal fay bulunmakta olup obrukların genel dağılımı kırık sistemleri ile paralellik göstermektedir. Konya il merkezinden itibaren doğuya doğru Konya Fay Zonu ana fayına paralel olarak gelişmiş çok sayıda örtülü kırık tespit edilmiştir (Arık vd, 2020). Konya-Karapınar ve Ereğli arasında KD-GB gidişli Seyithacı fay zonu, Nasuhpınarı fay zonu, Kayacık fayı, Akkayalar fayı, KB-GD gidişli Başaran fayı, Sekizli fay zonu, BGB-DKD Merdivenli fayı, Tilkili fayı, Akgöl fayı, K-G gidişli Hotamış fay zonu ve Göktepe fayı oluşturur (Eren vd., 2020; Şekil 40). Havzadaki obrukların büyük çoğunluğu adı geçen alt havzaların sınırlarını kontrol eden faylara paralel olarak uzanmaktadır.



Şekil 40. Karapınar (Konya) çevresindeki faylar ve obrukların dağılımını gösteren yapısal harita
(Eren vd., 2020'den)

Bölgede bilinen en eski obruk olan Kızören obruğu Karapınar (Sultaniye) havzasından yaklaşık 20° KB'ya uzanan Sekizli fay zonunun kuzeybatı ucunda yer almaktadır. Aynı zamanda obruk platosunu da oluşturan bu fay sistemine paralel olarak en iyi bilinenleri Çıralı, Meyil, Kızılca, Potur, Gözlük ve Sekizli olmak üzere yüzlerce eski ve yeni obruk vardır (Şekil41).



Şekil 41. Karapınar (Konya) kuzeybatısında Sekizli fay zonuna paralel obruk oluşumları

4. OBRUK ÇÖKME NEDENLERİ

Obruklar yukarıda açıklanan doğal jeolojik, hidrojeolojik, yapısal jeolojik ve jeomorfolojik koşulların etkileri ile oluşmaktadır. Yeraltında bulunan bir boşluğun ne zaman çökeceği ile ilgili kesin bir süre hesaplamak oldukça güçtür. Çökme zamanı ile ilgili olarak boşluğun konumu, boyutları, hangi jeolojik birim içinde bulunduğu, içinde bulunduğu kayaçların mineralojik-petrografik, petrolojik ve jeokimyasal özellikleri, dokusal özellikleri, tabakalanma durumu, gözenekliliği, geçirimsizliği, dayanımı gibi ana kayaca ait bilgiler önemlidir. Ayrıca ana kaya üzerinde karstlaşmaya uygun olmayan bir örtü kaya var ise örtü kayanın litolojik özellikleri, kalınlığı, gözenekliliği ve dayanımı bilinmelidir. Bunun dışında yörenin yapısal özellikleri, depremsizliği, doğal ve yapay titreşimler, sel ve taşkın, yağışların türü ve yağışlardan süzülme miktarı, yeraltı su seviyesi, su seviyesi değişimleri, suların hidrokimyasal özellikleri ve suların iyon doygunluk indeksleri araştırılarak çökme anı ile ilgili yaklaşımlarda bulunulabilmektedir. Bu doğal özelliklerin yanısıra sulama, alt yapı çalışmaları, inşaat faaliyetleri, su – kanalizasyon iletim hatları, yeraltı madenciliği, çözelti madenciliği, bitki örtüsünün azaltılması veya kaldırılması, ağır iş makineleri, barajlar, ağır yapılar gibi yapay yüklerin uygulanması vb antropojenik faaliyetlerin de çökmeye önemli etkileri vardır.

Genellikle evaporitik karst alanlarında ayrıntılı çalışmalar yapan Gutiérrez vd. (2014) obruk oluşumunda etken olan nedenleri doğal ve antropojenik nedenler şeklinde iki ana grupta ele alırken başlıca etkenleri;

- 1) Zemine artan su girişi,
- 2) Su tablası düşüşü,
- 3) Suyun tutulması (Depolanması),
- 4) Erozyon ve Kazılar,
- 5) Statik yükler,
- 6) Dinamik yükler,
- 7) Donmuş Zeminlerin çözünmesi,
- 8) Bitki Örtüsünün azaltılması ve erozyon olmak üzere 8 ana başlık altında toplamışlardır (Çizelge 4).

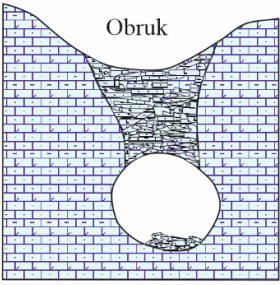


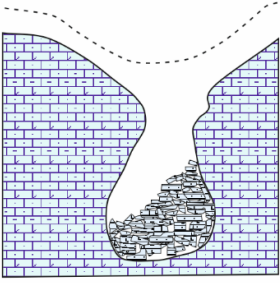
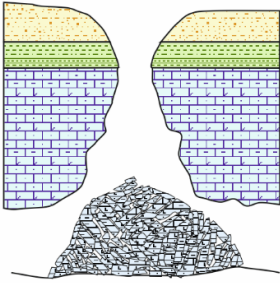
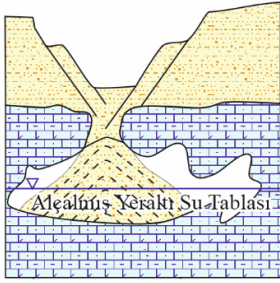
Çizelge 4. Obruk oluşumunda etkili olan doğal ve antropojenik nedenler (Gutiérrez vd., 2014'ten)

OBRUK OLUŞUM SEBEPLERİ	ETKİLERİ	DOĞAL ETKENLER	ANTROPOJENİK ETKENLER
Zemine artan su girişi (Örtü ve ana kaya)	<ul style="list-style-type: none"> • Çözülme hızını artırır • Boğulmayı (yutulma) hızlandırarak süzülme hızını artırır • Sedimanların ağırlığını artırır • Sedimanların mekanik mukavemetini ve taşıma gücünü azaltabilir 	<ul style="list-style-type: none"> • Aşırı yağışlar (Zhao et al., 2010; Youssef et al., 2012), • Seller (Hyatt and Jacobs, 1996), • Kar ve buzul erimesi (Satkunus et al., 2006). 	<ul style="list-style-type: none"> • Tarımsal sulama, (Atapour and Aftabi, 2002; Kirkham et al., 2003; Gutiérrez et al., 2007) • Su ve atık su şebekelerinden sızıntılar (boru Shaqour, 1994; McDowell and Poulosom, 1996; Jassim et al., 1997; Gutiérrez et al., 2002; Dougherty, 2005; McDowell, 2005; Fleury, 2009; Buttrick et al., 2011, kanal Swan, 1978; Lucha et al., 2008b, hendekler Gutiérrez et al., 2007), • Suyun depolanması Milanovic, 2000 • İkinci tür biriktirme (şehirleşme, sulama, drenaj kuyuları) veya suyun yönünün değiştirilmesi Knight, 1971; White et al., 1986 • Bitki örtüsünün kaldırılması, sondajlar, belgesiz kuyular Johnson et al., 2003; Johnson, 2005; Lambrecht and Miller, 2006; Liguori et al., 2008 • Sıvı enjeksiyonu, çözültü madencilik Ege, 1984
Su tablası düşüşü	<ul style="list-style-type: none"> • Sedimanların etkili ağırlığını artırır (şamandıra desteği kaybı). • Yavaş ve serbest su akışı • Yeraltı su tablası çözülebilir kaya seviyesinin altına indirildiğinde, boğulma ve yutulmayı destekleyen daha hızlı aşağı süzülme dönüşür. • Sızma etkisi 	<ul style="list-style-type: none"> • İklim değişikliği, Deniz seviyesi düşmesi Cooper and Keller, 2001, • Drenaj ağının sabitlenmesi Ortega et al., 2013 • Tektonik yükseliş, izostatik geri tepme, halokinetik yükseliş Closson et al., 2007; Closson and Karaki, 2009; Zarei et al., 2011 	<ul style="list-style-type: none"> • Suyun tecrit edilmesi (Kemmerly, 1980; Newton, 1984; LaMoreaux and Newton, 1986; Chen, 1988; Waltham and Smart, 1988; Shaqour, 1994; Tihansky, 1999; Kaufmann and Quinif, 2002; He et al., 2003; Keqiang et al., 2004; Waltham, 2008; Dogan and Yilmaz, 2011; García-Moreno and Mateos, 2011), • Madencilik işlemleri için su tecrit veya susuzlaştırma, (Foose, 1953; LaMoreaux and Newton, 1986; Chen, 1988; Xu and Zhao, 1988; Zhou, 1997; Li and Zhou, 1999; De Bruyn and Bell, 2001; Klimchouk and Andrejchuk, 2005; Sprynsky et al., 2009; Pando et al., 2013), • Göllerdeki su seviyesinin düşmesi (Ölü Deniz) (Yechieli et al., 2006; Frumkin et al., 2011), • Drenaj görevi gören kazılar (Fidelibus et al., 2011).
Suyun tutulması (Depolanması)	<ul style="list-style-type: none"> • İç erozyon ve çözülme hızı türbülans akışlarına yol açan son derece yüksek hidrolik gradyanlar oluşturabilir. Baz seviyesinin yükselmesi yeraltı suyu akış yollarını ve dışarı bölgelemlerinin konumunu değiştirebilir. • Su tablasındaki büyük ve sürekli değişiklikler, karst kanallarının tekrar tekrar dolma ve boşalmasına neden olur. • Yük uygular 	<ul style="list-style-type: none"> • Doğal Göller 	<ul style="list-style-type: none"> • Barajlar, Göletler (Milanovic, 2000; Uromeihy, 2000; Dogan and Cicek, 2002; Romanov et al., 2003; Bonacci and Roje-Bonacci, 2008; Johnson, 2008; Bonacci and Rubinić, 2009; Cooper and Gutiérrez, 2013 • Su depolamaları (Calò and Parise, 2009), • Kanalizasyon lagünleri (Davis and Rahn, 1997).
Erozyon ve Kazılar	<ul style="list-style-type: none"> • Boşluk çatlarının kalınlığını ve mekanik mukavemetini azaltır. Yeraltı suyu akışlarının yolunu ve hızını değiştiren yeni bir taban seviyesi oluşturabilir. • Dahili olarak aşınmış su kaynakları için bir çıkış yaratabilir. • Yeraltı suyu akışlarını bozar. 	<ul style="list-style-type: none"> • Erozyon süreçleri • Biyojenik borular 	<ul style="list-style-type: none"> • Kazılar (Walker and Matzat, 1999; Lolcama et al., 2002; Guerroero et al., 2008b; Fidelibus et al., 2011). Klasik ve çözültü madencilik (Ege, 1984; Xu and Zhao, 1988; Gongyu and Wanfang, 1999; Li and Zhou, 1999; Andrejchuk, 2002; Autin, 2002; Sharpe, 2003; Yin and Zhang, 2005; Warren, 2006; Bonetto et al., 2008; Lucha et al., 2008a; Wang et al., 2008; He et al., 2009; Mesescu, 2011; Parise, 2012), galeri açma Milanovic, 2000; Song et al., 2012).
Statik yükler	<ul style="list-style-type: none"> • Boşluk örtülerinin ve sıkıştırma işlemlerinin başarısını önler • Daha önce var olan kırıkların ve boşlukların boşaltılmasını sağlar. 	<ul style="list-style-type: none"> • Aggradasyon işlemleri. Buzul donma ve çözülme (Anderson ve Hinds, 1997). • Çökme süreçleri 	<ul style="list-style-type: none"> • Mühendislik yapıları, (Waltham, 2008), • Döküm alanları (Parise and Pascali, 2003), • Ağır vasıtalar (Davis and Rahn, 1997; Waltham et al., 2005).
Dinamik yükler	<ul style="list-style-type: none"> • Örtü kayanın direncini azaltır ve toprakların mukavemetinde azalmayı sağlayan sıvılaşma işlemlerine neden olabilir 	<ul style="list-style-type: none"> • Depremli Nicoletti and Parise, 2002; Closson et al., 2010; Del Prete et al., 2010a, b; Kawashima et al., 2010 • Volkanik patlamalar. 	<ul style="list-style-type: none"> • Yapay titreşimler • Patlatmalar
Donmuş Zeminlerin çözünmesi	<ul style="list-style-type: none"> • Çözünme hızını artırır • Sedimanların gücünde önemli azalma 	<ul style="list-style-type: none"> • İklim değişikliği Satkunus et al., 2006). 	<ul style="list-style-type: none"> • Kentsel gelişim • Ormansızlaşma
Bitki Örtüsünün Azaltılması ve erozyon	<ul style="list-style-type: none"> • Boşluk örtülerinin mekanik mukavemetini azaltır (kök çekimi) • Süzülme ve sızmayı yoğunlaştırabilir • Yeraltı suyu akışları için yerel bir taban seviyesi oluşturabilir 	<ul style="list-style-type: none"> • Vahşi yangınlar 	<ul style="list-style-type: none"> • Bitki örtüsünün azaltılması

Konya Kapalı Havzası'ndakişın kar yağışlarından sonra karların hızlı erimesi ve yüzeyakışına dönüşmesi, yoğun yağışlar, aşırı sulamalar gibi toprağın suya aşırı doyunlaştığı dönemlerde obruk oluşum sayısında belirgin bir artış gözlenmektedir. Ayrıca tarımsal sulamanın yapılmadığı dönemde yeraltı su seviyesinde kısmi yükselmeler ve sulama dönemindeki aşırı düşümlerle su-kayaç etkileşimi arttığı için çözünmeler de artarak obruklar oluşmaktadır. KKH'da su kullanımının az olduğu yağışlı dönem sonunda bazı kuyularda elektriksel iletkenliğin oldukça yükseldiği tespit edilmiştir (Arık vd., 2021). Bazı tarımsal alanlarda ağır iş makinaları ve sondaj makinalarının çalışma esnasında oluşan obruklara düştükleri bilinmektedir. Öte yandan 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremlerinden sonra Karapınar ve ülkemizin değişik bölgelerinde 7-8 adet obruk oluşmuştur. Konya'daki obruklarla depremlerin ilişkisi incelendiğinde bazı obrukların depremlerle yakın zamanlarda oluştuğu belirlense de obrukların oluşum zamanları tam olarak bilinmediğinden bir genelleme yapmak mümkün olmamıştır.

5. OBRUK TÜRLERİ

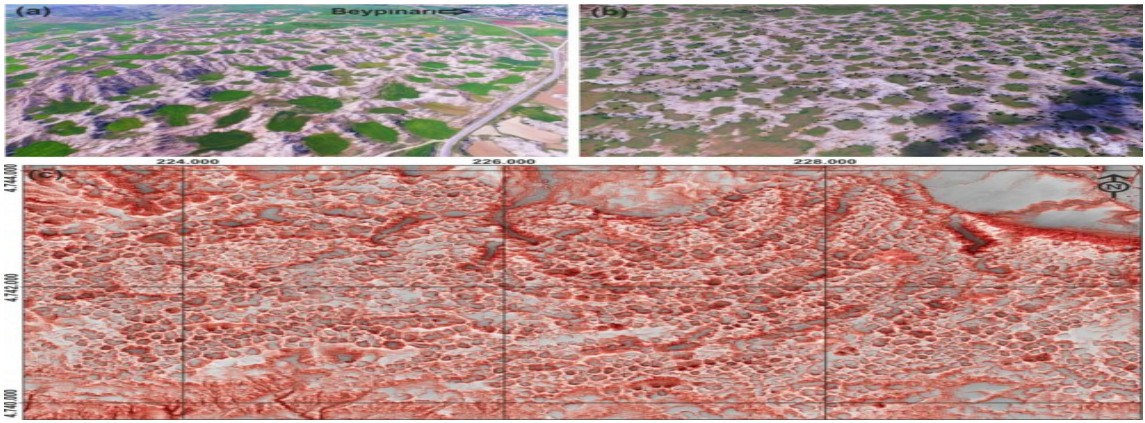
Çoğunlukla karbonatlı karstik alanlarda gözlemlenen süreçlerden esinlenen bir dizi obruk sınıflandırması yapılmıştır. Bunlardan Jennings (1985) tarafından oluşum şekillerine göre çökme, çözülme, oturma, taban kayaç yenilmeleri ve alüvyal kaynak boşalıklarına bağlı oluşumlar şeklinde beş sınıfa ayrılmıştır. Waltham vd. (2005) obrukları morfolojik yapıları, taban kayacında veya örtü kayacında oluşması, örtü malzemenin cinsi gibi bazı özellikleri dikkate alarak; 1) çözünme (solution) obruğu, 2) çöküntü (collapse) obruğu, 3) örtü kayacı (caprock) obruğu, 4) yıkılma (dropout) obruğu, 5) yutulma (suffosion) obruğu ve 6) gömülü (buried) obruk olmak üzere altı gruba ayırmışlardır. Diğer obruk sınıflamalarından yararlanan Ford ve Williams (1989) tarafından; 1) yüzeyden çözünme (solution), 2) yer altında meydana gelen çözünme (çökme) ve 3) yutulma (suffosion) şeklinde 3 tür obruk modeli önerilmektedir (Şekil 42).

Oluşum Mekanizması	Üstten Çözünme (Solution)	Alttan Aşındırma (Çökme)	Yutulma (Suffosion)
ÇÖKME ÖNCESİ			
ÇÖKME SONRASI			

Şekil 42. Çökme dolini (obruk) tipleri (Ford ve Williams, 1989; Doğan 2010'dan)

Gutiérrez vd., (2008) önceki obruk sınıflamalarından esinlenerek uluslararası literatürde yaygın olarak kullanılan hem karbonat hem de evaporit karstında meydana gelen obrukları kapsayan bir sınıflama geliştirmiştir (Gutiérrez vd., 2014). Bu sınıflamaya göre obruklar çözünme obrukları ve çökme obrukları olarak iki ana gruba ayrılmaktadır (Şekil 44).

Çözünme obrukları temel olarak epikarstta kayaçların yüzeyden kimyasal denüdasyonu (ayırışma, aşınma ve taşınması)ile oluşurlar. Karstik kayanın yüzeyde çıplak ya da ince bir toprak örtüsü ile örtülü olduğu durumlarda, yüzeyde meydana gelen uzun süreli seçici denüdasyon yer yüzeyin tedrici olarak alçalmasına sebep olarak yatık kenarlı depresyonların oluşmasına yol açmaktadır. Karst alanlarında özellikle yüksek düzlüklerde iyi gelişmiş çözünme dolinleri görülür (Şekil 45d). Vadoz süreçlerin uzun süreler boyunca devam etmesi sonucu oluşan binlerce çözünme obruğu yüksek karst düzlüklerini tamamen kaplayabilir (Örn. Williams,1972). Bu durumda bal peteği ya da yumurta kutusu benzeri bir morfoloji (egg-box morphology) oluşur. Literatürde bu tip morfolojiye poligonal karst da denir (Williams, 1971; Şekil 43; Şekil 45 d). Obruklarla ilişkili hasar ve kayıplar bakımından en az riskli obruk türüdür.



Şekil 43. Sivas jips karstında poligonal karst İHA görüntüleri **a)** Beypınar (Sivas kuzeydoğusu), **b)** İmranlı ilçesi (Sivas) güneyi (Poyraz vd, 2021)

Çökme (sübsidans) obrukları, yer altında meydana gelen çözünme sonucunda oluşan mağara tavanlarının çökmesinden, karst kayalarını üzerleyen örtü materyalinin deformasyonunu ve yer altından erozyonunu içeren çok daha geniş bir grubu ifade eder (Gutiérrez, 2016; Şekil 44,45). Burada kullanılan çökme (sübsidans) terimi, deforme olan malzemesinin özelliklerine ve sürecin hızına bakılmaksızın zeminin aşağı doğru yer değiştirmesini belirtmek için geniş anlamda kullanılmaktadır (Jackson, 1997). Bu gruptaki obruklar jeolojik tehlike açısından oldukça önemlidir. Gutiérrez vd., (2008) çökme obruklarını temelde obruk oluşumundan etkilenen malzemeye (örtü, anakaya veya örtü kayası) ve sübsidans mekanizmasına (çökme, boğulma veya sarkma) göre temelde iki kelime ile ifade etmektedir. Buradaki örtü terimi alüvyon gibi pekişmemiş konsolide olmayan materyalleri; ana kaya, kireçtaşı, jips gibi karst kayasını; örtü kayası karst kayalarının üzerini örten pekişmiş kayaları ifade etmektedir. Buna göre çökme obrukları, örtü çökme obruğu, ana kaya sarkma obruğu gibi hem materyal hem de çökme mekanizmasına ilişintanımlamalarla ifade edilir.

Ana kaya çökme ve örtü kayası çökme obrukları yer altında bulunan genellikle ciddi boyutlara ulaşan freatik mağara sistemlerinin varlığına işaret etmektedir (Waltham vd., 2005). Mağara oluşumundan sonra, mağaranın çatısı çökerek yer yüzeyine doğru göç eder (De Waele ve Gutiérrez, 2022). En nihayetinde mağara tavanı yüzey ile kesişerek çökme obrukları oluşur. Mağaranın oluşumu ile mağaranın yer yüzeyi ile kesişimi arasında çok uzun zaman geçebilir veya büyük mağara odalarının varlığı her zaman çökme dolininin oluşmasıyla sonuçlanmayabilir eder (De Waele ve Gutiérrez, 2022). Karst kayasındaki mağarada meydana gelen çökme sadece ana kayada gelişirse ana kaya çökme obruğu, karst kayasını üzerleyen örtü kayasını da etkilediyse (Örn. fliš, kumtaşı) örtü kayası çökme dolini olarak ifade edilir. Tektonik uplift ile ilişkili olarak su tablası seviyesinin düşmesiyle önceden epifreatik konumda olan relikt mağara pasajlarının düşey yönde su hareketleri ile şekillendirilmesi bu obrukların gelişimini hızlandırmaktadır (Örn. Doğan vd., 2019; Gök kaya vd., 2021). İlk oluştuklarında nispeten çok daha büyük boyutlara ve derinliklere ulaşan bu tip obrukların büyük yıkımlara yol açma potansiyeli bulunmaktadır. İlk oluştuklarında tabanlarında mağara çatısının çökmesiyle ve kenarlarından kütle hareketleri ile ilişkili bloklara ev sahipliği yapar ve silindirik geometri ile karakterize olurlar (Şekil 44, 45c). Kenarlarında meydana gelen kütle hareketleri, kimyasal ve fiziksel erozyon ile genişleyip konik yapılara evrilebilir ve komşu obruklarla birleşerek birleşik çökmeler oluşturabilir (Şekil 45 e ve f).

Örtü çökme dolinleri, karst kayası üzerinde bulunan yüksek kohezyonlu göl ya da akarsu depoları gibi örtü depolarının karst kayasında bulunan süreksizliklerden tedrici olarak yer altına göçü ve bunun sonucunda örtü materyalinde boşluk meydana gelir (Gutiérrez, 2016). Örtü materyalinde oluşan boşluk zamanla genişler ve yer yüzeyine doğru ilerler. En nihayetinde yüzeyle kesişir ve dik kenarla karakterize edilen obruk oluşur. Bu tip obruklar çok hızlı bir şekilde genişleyebilir ve birleşik obruklar oluşturabilir.

Boğulma (Suffosion) obrukları ise düşük kohezyonlu zeminlerde konsolide olmayan kum gibi örtü malzemesinin yer altına hareket ederek taşınmasını ifade eder (Gutiérrez vd., 2008). Buradaki örtü materyalinin göçü süreci örtü çökme dolinlerinininki ile aynı olsa da konsolide olmayan sedimentlerde geliştiği için ani çökme yerine yer yüzeyinde tedrici olarak sübidans görülmektedir. Bu tip obruklar daha örtü çökme obruklarına göre daha yatık kenarlar ile karakterize edilir. Ancak unutulmamalıdır ki örtü çökme dolinlerinin oluşumundan sonra, kenarlarında meydana gelen erozyon ile bu tip dolinler morfolojik olarak boğulma dolinleri ile benzeşebilirler. Ana kaya ve örtü kayası çökme obruklarının aksine örtü çökme dolinleri ve boğulma obruklarının oluşumu için yer altında ciddi büyüklüklerde freatik mağaraların var olmasına gerek yoktur. Ayrıca, insan kaynaklı aktivitelerden hemen etkilenip herhangi bir karst siteminde herhangi bir ani değişikliklerinden (örn su tablası seviyesinin düşüşü) diğer obruk türlerine göre çok daha hızlı tetiklenebilir. Yukarıda sayılan bu sebeplerden

örtü örtü çökme ve boğulma obrukları, obruklara bağlı hasarların ve ekonomik kayıpların çok büyük çoğunluğundan sorumlu olan obruk tipleridir (Waltham vd., 2005). Her iki dolin tipi de ilk oluştuklarında 10 m'den daha kısa bir çapa sahiptir. Bu tip obruklar dönemsel olarak çökebilir ve yeniden aktive olabilirler. Bu nedenle obrukların örtülüp üzerlerine yol yapı vb inşa ederek şehir alanlarına dahil etmekten yüksek hasar riski nedeniyle kaçınılmalıdır (Şekil 44).

Sarkma obrukları, yer altında meydana gelen çözünme ve boşluk oluşumuyla eş zamanlı olarak yer yüzeyinin aşağı doğru sarkması sonucunda oluşur. Bu obrukların oluşumunda yer altında karstik boşlukların varlığı gerekmemektedir çünkü üst örtü malzemesinin sürekli sarkması veya yerleşimi boşlukların oluşumunu engellemektedir (Gutierrez, 2008). Sınırlı olarak karbonatlı kayalarda görülse de (Örn. Frumkin vd., 2015) evaporitlerin sünek özelliği ve daha yüksek çözünmesi nedeniyle evaporitik arazilerde oluşma sıklığı daha fazladır (Guerrero vd., 2013). Bu tip obruklar sığ olmalarına karşın ana eksenleri yüzlerce metreye ulaşabilir ve zor haritalanabilen yatık eğimli kenarlarla karakterize edilir (De Waele ve Gutiérrez, 2022). Örtü materyalinde (örtü sarkma obruğu) ana kayada (ana kaya sarkma obruğu) veya örtü kayası (örtü kayası sarkma obruğu) üzerinde oluşabilir. Bu obruk tipi ani çökmelerle ilişkili yıkıcı etkilere sahip olmasa da yapılarda ve yollarda hasarlara neden olabilir (Şekil 44).

ÇÖKME (GÖÇME) OBRUKLARI		
ÇÖKME-GÖÇME (COLLAPSE)	OTURMA-SARKMA (SAGGING)	BOĞULMA (SUFFOSION)
<p>Örtü çökmesi (cover collapse)</p> <p>ÖRTÜ KAYACI (Cover rock)</p> <p>Karst kayası üzerinde bulunan kohesif örtü depolarının karst kayasında bulunan süreksizliklerden tedrici olarak yer altına göçü ve bunun sonucunda örtü malzemesinde meydana gelen boşluğun ani çökmesiyle meydana gelir.</p>	<p>Örtü sarkma (sagging)</p> <p>Konsolide olmayan depo ile örtülü karst kayasında meydana gelen çözünme ile ilişkili boşluk oluşumuyla eş zamanlı olarak yer yüzeyinin aşağı doğru sarkması sonucunda oluşur.</p>	<p>Boğulma (suffosion)</p> <p>Kohezyonsuz örtü malzemesinin yüzey suları ile alttaki çözünabilir kayaçların kırık ve çatlaklarına taşınması ve yutulması sonucu ana kayacın yüzeylemesine kadar ilerleyen yayvan kenarlı çökmeler oluşmaktadır</p>
<p>Ana kaya çökmesi (collapse)</p> <p>ANA KAYAÇ (Bedrock)</p> <p>Karst kayalarında yer altındaki geniş mağaraların giderek yer yüzeyine doğru ilerlemesi ve en nihayetinde ani olarak tavanın çökmesi sonucu oluşan kırıklı, çatlaklı, boşluklu morfolojik yapılar.</p>	<p>Ana kaya sarkma (sagging)</p> <p>Karst kayasında meydana gelen çözünme ile ilişkili boşluk oluşumuyla eş zamanlı olarak yer yüzeyinin aşağı doğru sarkması sonucunda oluşur.</p>	<p>ÇÖZÜNME OBRUKLARI</p> <p>Karbonatlı / evaporitik kayaçların bulunduğu yerlerde çatlaklı, kırıklı ve suda çözünebilir kayaçların yüzey şartlarında yavaş yavaş çözünerek yer yüzünün sübsidansa uğramasıyla oluşur.</p>
<p>Örtü kayası (caprock) çökmesi</p> <p>TAVAN KAYACI (Cap rock)</p> <p>Altındaki karbonatlı kayaçları örten kohezyonlu, sıkı tavan kayacının altta karst kayasındaki mağara tavanının ani olarak çökmesi sonucu oluşur.</p>	<p>Örtü kayası (caprock) sarkma</p> <p>Örtü kayası tarafından üzerlenen karst kayasında meydana gelen çözünme ile ilişkili boşluk oluşumuyla eş zamanlı olarak yer yüzeyinin aşağı doğru sarkması sonucunda oluşur.</p>	<p>Waltham vd. (2005) Gutiérrez vd. (2008) Gutiérrez (2016)</p>

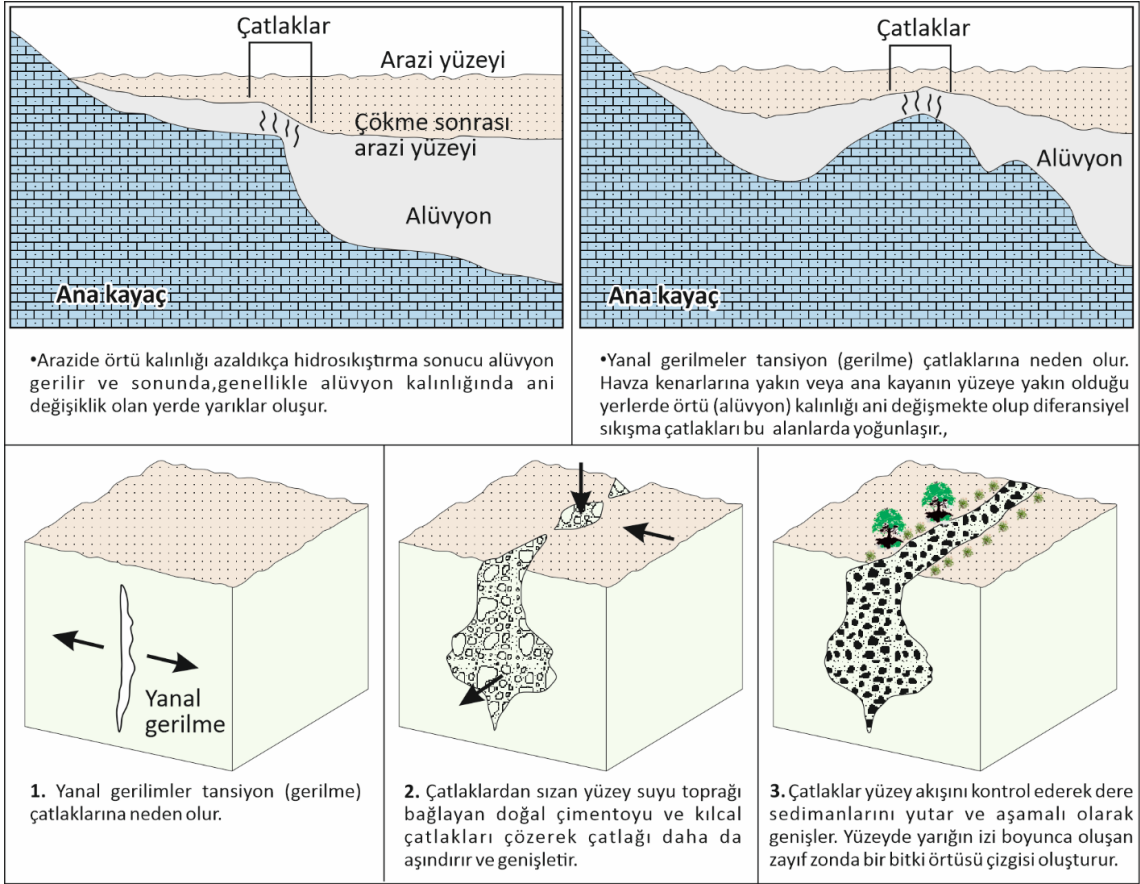
Şekil 44. Oluştukları kayaç tipi, morfolojik şekilleri ve oluşum süreçlerine göre obruk türleri



Şekil 45. Sivas jips karstından farklı tipte tek ve birleşik obruklar. **A)** Akarsu tarafından kesilmiş düz tabanlı ana kaya çökme obruğu **B)** Taşkınovasında, jipsleri üzerleyen flüvyal sedimanların deforme olmasıyla oluşan örtü çökme obruk kümeleri **C)** İçerisinde göl ve obruk kenarlarında meydana gelen kütle hareketleri ile ilişkili jips bloklarına ev sahipliği yapan ana kaya çökme obruğu **D)** Yüzlerce çözünme obruğunun bir araya gelerek oluşturduğu poligonal karst. **E)** Birleşik ana kaya çökme obruğu **F)** En az üç obruğun birleşmesiyle oluşmuş birleşik ana kaya çökme obruğu

6. YER YARIKLARI (EARTH FISSURES)

Genellikle alüvyal arazilerde yüzeyde gözlenen yarıklar yeraltı suyunun aşırı düşümü sonucu oluşan zemin oturmalarıyla ilişkilidir. Yer yarıklarının oluşumu için çeşitli mekanizmalar önerilmektedir. Bunlardan en yaygın kabul göreni konsolide olmayan alüvyon havzalarında yeraltı suyu seviye düştükçe havzanın kenarına yakın daha ince alüvyonda, havzanın daha derin, orta kısmına yakın daha kalın alüvyona göre daha az sıkışma ve çökme meydana gelmekte ve diferansiyel sıkıştırmadan kaynaklanan gerilim, üstteki örtüde çatlak oluşumuna neden olmaktadır (Şekil 46).



Şekil 46. Yüze yarıklarının oluşum mekanizması (Galloway vd., 1999)

Yüzeyyarıklarının oluşumu için; yatay gerilmeler ve rijit bir levhanın sıkıştırılması alttaki daha az sıkışan nispeten sağlam kaya üzerinde durması sonucu kırılması gibi mekanizmalar önerilmesine karşın mevcut çatlaklara paralel yeni çatlakların oluşması bu mekanizmaları zayıflatmaktadır. Hidrokompaksiyon veya suya doygun alanlarda düşük yoğunluklu zeminlerin çökmesi ve artan zemin-nem gerilimi de olası mekanizmalar olarak öne sürülmüştür. Ayrıca boru erozyonu, depremler sırasında toprak yırtılması, yenilenen faylanma, mağaraların veya madenlerin çökmesi, organik toprakların oksidasyonu ve diyapirleşme (yükselim) sayılabilir. Bir çatlak izi boyunca yeraltı toprak erozyonu, çatlak oluklarının açılmasında, genişlemesinde ve müteakip gelişmesinde kesinlikle rol oynar (Eaton ve diğerleri, 1972; Carpenter, 1993).

Örneğin Arizona'da 1900'den bu yana sulama, madencilik ve belediye hizmetleri için yeraltı suyu kullanılmış ve bazı bölgelerde akifer sistemlerini doğal olarak yenileyen su miktarının 500 katından fazla su çekilmiştir (Schumann ve Cripe, 1986). Sonuçta ortaya çıkan yeraltı suyu seviyesi düşümleri bazı yerlerde 200 m derinlikten su çekilmesiyle pompalama maliyetlerinin artmasına, birçok yerde yeraltı suyunun kalitesinin düşmesine ve sıkıştırılabilir killi ve ince taneli alüvyonların eşit olmayan kalıcı sıkışmasına yol açmıştır. Düzensiz veya farklı sıkışmalar nedeniyle oluşan yer yarıkları binalara, yollara ve otoyollara, demiryollarına, taşkın kontrol yapılarına ve kanalizasyon hatlarına zarar vermiştir (Galloway vd, 1999).

Türkiye'de Batı Anadolu'da Büyük Menderes, Küçük Menderes ve Gediz Grabenleri içinde alüvyal malzemenin farklı sıkışmalarına bağlı çok sayıda yüzey yarığı oluşmuştur. Konya Kapalı Havzası'nda ise iklim değişikliği, kuraklık, aşırı ve kontrolsüz yeraltı suyu kullanımı sonucunda yeraltı su seviyeleri artan oranda düşmektedir. Yeraltı su seviyesindeki düşümlere bağlı olarak havzanın kenar kesimlerinde alüvyon kalınlığının ani değiştiği alanlarda yüzey yarıklarının oluşumu artmıştır. Havza içindeki yarıklar ise daha çok alüvyal örtü malzemesi altında bulunan paleotopografik koşullara bağlı olarak meydana gelen yükselti farklarından kaynaklanmaktadır. Konya Kapalı Havzası'nda Konya-Aşağı Pınarbaşı, Aslımyayla, Hotamış-İsmil, Karapınar-Sultaniye, Emirgazi, Ereğli-Sazgeçit, Yunak-Çeltik ve Akşehir alt havzalarında yüzey yarıklarının oluşumu artmıştır (Şekil 47).



A. Işıklar (Emirgazi)



B. Akçaşehir (Karaman)



C. Akgöl (Ereğli)



D. İsmil (Karatay)



E. Kayalı (Karapınar)



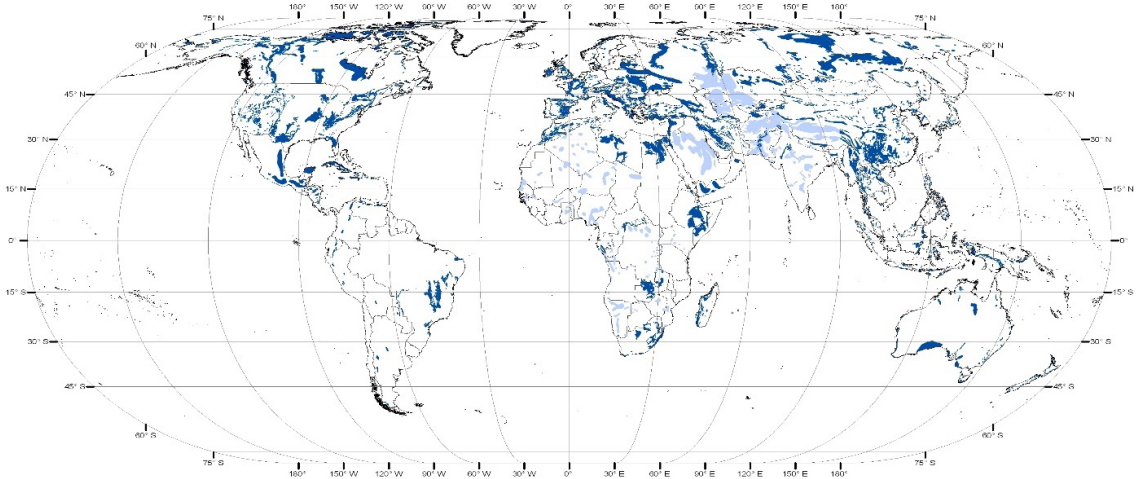
F. Aslım (Konya)

Şekil 47. Konya Kapalı Havzası'nda oluşan bazı yüzey yarıklarının görünümü

7. DÜNYA'DA OBRUK OLUŞUMLARI

Dünya'da genellikle kuzey yarım kürede orta kuşak boyunca evaporitik ve karbonatlı, çözünebilir kayalar yayılım göstermektedir. Güney yarım kürede ise çözünebilir kayaların dağılım alanı Amerika ve Afrika kıtalarının orta kesimleri ile Avustralya ile sınırlıdır. Dünyanın farklı bölgelerindeki tuz, jips ve karbonatlı kayalar içeren bölgelerde benzer özelliklerde binlerce obruk vardır. Çözünebilir karst kayaları Dünya yüzeyinin yaklaşık %20'sini kaplasa da (De Waele ve Gutiérrez, 2022) küresel olarak karst, kıtasal buzullarla kaplı olmayan kara yüzeyinin yaklaşık %15'inde görülür (Goldscheider vd. 2020; www.fos.auckland.ac.nz, 2010).

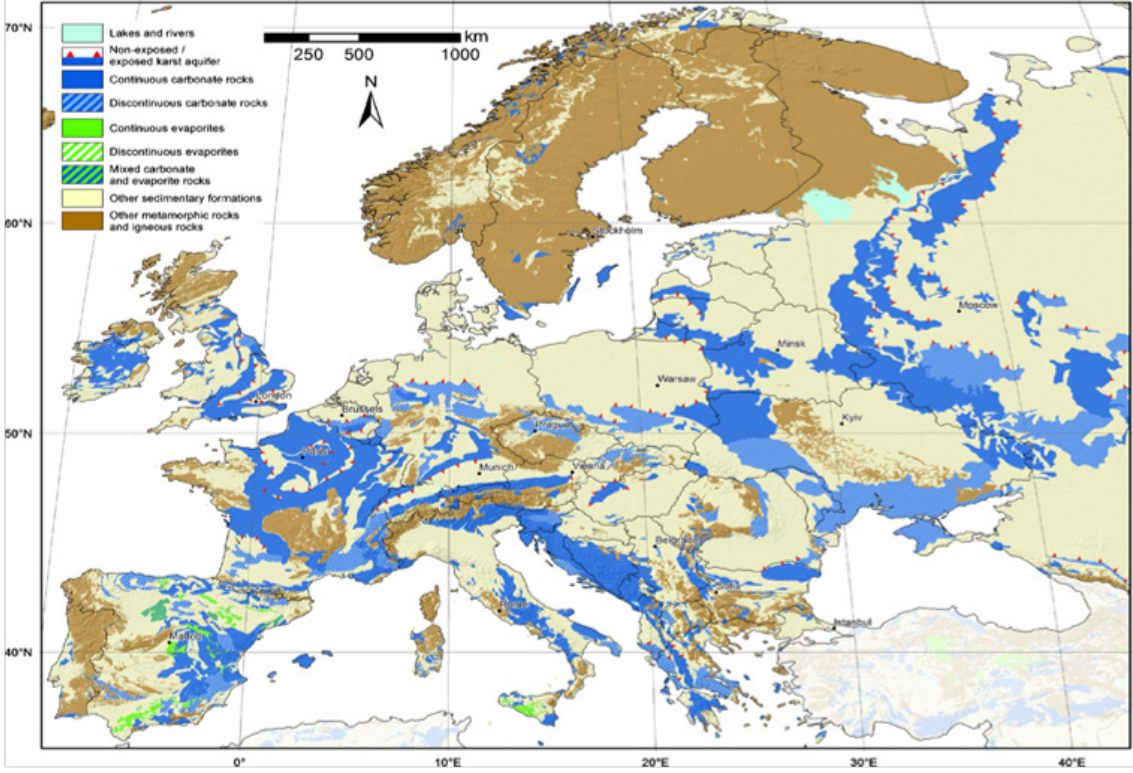
Ülkemizin de içinde bulunduğu bu kuşakta her yıl sayısız karstik olay ve boyutları onlarca metreye ulaşan obruklar oluşmaktadır. Kuzey Amerika'da başta Florida, Arizona, Kaliforniya, Missouri, Teksas, Alabama, Kentucky, Tennessee ve Pennsylvania olmak üzere ABD, Meksika, Kanada, Guatemala, Nikaragua'da Güney Amerika'da ise Arjantin, Brezilya, Şili, Kolombiya, Paraguay, Peru, Uruguay ve Venezuela'da obruk oluşumları oldukça yaygındır (Çizelge 5, Şekil 48) Avrupa'da İzlanda dışında bütün ülkelerde, Afrika'nın Akdeniz ve okyanus kıyılarındaki ülkeleri, Orta Doğu'da Türkiye, Lübnan, Filistin, İsrail, Suriye, Irak ve İran, Asya'da Afganistan, Pakistan, Hindistan ve Çin'de obruk oluşumları yaygındır (Çizelge 5, Şekil 49).



Şekil 48. Dünya'da karbonatlı karstik alanların yayılımı, https://www.fos.auckland.ac.nz/our_research/karst/gfx/europe_colour_2010.jpg

**Çizelge 5. Karbonatlı kayaçların yayılım alanlarınınülke yüzölçümüne oranı
(fos.auckland.ac.nz, 2010)**

Bölge	Ülkeler	Oran
Dünya	Antarktika, Grönland ve İzlanda hariç	13.2
Güney Amerika	Arjantin, Bolivya, Brezilya, Şili, Kolombiya, Ekvador, Falkland Fransız Guyanası, Guyana, Paraguay, Peru, Güney Georgia ve Güney Sandwich Adası, Surinam Uruguay, Venezuela	2.1
Afrika	Cezayir, Angola, Benin, Bostwana, Burkina Faso, Burundi, Kamerun, Çad, Demokratik Kongo, Fildişi Sahili, Cibuti, Mısır, Ekvator Ginesi, Eritre, Etiyopya, Gabon, Gambiya, Gana, Gine, Kenya, Lesotho, Liberya, Libya, Madagaskar, Mali, Moritanya, Fas, Mozambik, Namibya, Nijer, Nijerya, Ruanda, Senegal, Seyşeller, Sierra Leone, Somali, Güney Afrika, Sudan, Svaziland, Tanzanya, Togo, Tunus, Uganda, Batı Sahra, Zambiya, Zimbabve	10.1
Kuzey Amerika	ABD, Kanada, Meksika, Barbuda, Bahamalar, Barbados, Belize, Bermuda, Cayman-Virgin Adaları, Kosta Rika, Küba, Dominik, El Salvador, Guatemala, Haiti, Honduras, Jamaika, Nikaragua, Panama, Porto Riko	18.3
Doğu ve GD Asya	Brunei, Kamboçya, Çin, Doğu Timor, Endonezya, Japonya, Kore Laos, Malezya, Moğolistan, Myanmar, Filipinler, Singapur, Tayvan, Tayland, Vietnam	10.8
Orta Doğu-Orta Asya	Türkiye, Afganistan, Bangladeş, Bhutan, Kıbrıs, Hindistan, İran, Irak, İsrail, Ürdün, Kuveyt, Lübnan, Maldivler, Nepal, Umman, Pakistan, Filistin, Katar, Suudi Arabistan, Sri Lanka, Suriye, Tacikistan, BAE, Yemen	23.0
Doğu Avrupa- Asya	Ermenistan, Azerbaycan, Gürcistan, Kazakistan, Kırgızistan, Rusya, Türkmenistan, Özbekistan	19.3
Avrupa (İzlanda ve Rusya hariç)	Arnavutluk, Andora, Avusturya Beyaz Rusya, Belçika, Bosna Hersek, Bulgaristan, Hırvatistan, Çekya, Danimarka, Estonya, Faroe Adaları, Finlandiya, Fransa, Almanya, Yunanistan, Macaristan, İrlanda, İtalya, Letonya, Litvanya, Lüksemburg, Makedonya, Malta, Moldova, Monako, Hollanda, Norveç, Polonya, Portekiz, Romanya, San Marino, Slovakya, Slovenya, İspanya, İsveç, İsviçre, Ukrayna, İngiltere, Vatikan,	21.8
Avustralasya	Avustralya, Cook Adaları, Fiji, Fransız Polinezyası, Guam, Kiribati, Marshall Adaları, Mikronezya, Yeni Kaledonya, Yeni Zelanda, Norfolk Adası, Papua - Yeni Gine Solomon Adaları, Tonga, Tuvalu, Vanuatu, Wallis ve Futuna Adaları, Batı İran, Batı Samoa.	6.2



Şekil 49. Avrupa'da karbonatlı karstik alanların yayılımı, (Chen vd, 2017)

Güney Andros (Bahamalar)'ta yaklaşık 300 m genişliğinde ve 47 m derinliğe ulaşan Güney Andros Kara deliği olarak bilinen obruk dünyadaki en büyük örneklerden biridir. Split-Dalmaçya (Hırvatistan)'da bulunan Crveno Jezero obruğu (Kızıl Göl) ise 530 m derinliğinde 30 milyon m³ hacme sahiptir (Şekil 50). El Zacaton (Tamaulipas-Meksika) obruğu 339 m derinlik ve 10 milyon m³ hacme sahip olup 319 m derinlikte asitli sulardan oluşan bir göl bulunmaktadır.



a. Crveno-Jezero (Hırvatistan)



b. Amiens (Fransa)



c. Ohio (ABD)



d. Santa Maria Zacatepec, Meksika

Şekil 50. Dünya’da oluşan bazı obruklardan görünüm; a: Crveno-Jezero (Kızıl Göl-Hırvatistan), b: Amiens (Fransa), c: Ohio (ABD), d. Santa Maria-Meksika (DNews, cbsnews, www.npr.org, 2021)

Belize’deki Big Blue (Büyük Mavi) Obruğu ise 124 m derinliğe sahiptir. Sima Humbolt Obruğu (Bolívar-Venezuela) 314 m derinlik ve 21 milyon m³ hacme sahip olup aynı bölgedeki Sima Martel Obruğu ise 248 m derinliğe sahiptir. San Luis Potosi (Meksika) bölgesindeki Sótano de las Golondrinas (Kırlangıç) Obruğu 372 m derinlik ve 5 milyon m³ hacme sahiptir. Dhofar (Umman) eyaletindeki Teiq Obruğu ise dünyanın bilinen en büyük obruklarından biri olup 250 m derinlik, 750 – 1000 m genişlik ve 90 milyon m³ hacme sahiptir. Chongqing (Çin) bölgesinde dünyanın bilinen en büyük obruğu olan Xiaozhai Tiankeng obruğu 662 m derinlik, 626 m genişlik ve 119.35 milyon m³ hacme sahiptir. Gutemala’daki büyük obruk ise doğal jeolojik faktörlerden çok antropolojik faktörlere bağlı olarak oluşan en büyük obruklardan biri olup atık suların, yer altı su hatlarının ve yoğun yağışların etkileriyle 2007 yılında aniden çökmüştür (Şekil 51 ve 52).



a. Big Blue (Büyük Mavi delik)- Belize



b. Guatemala



c. Sima Humboldt (Venezuela)



d. Xiaozhai Tiankeng (Çin)

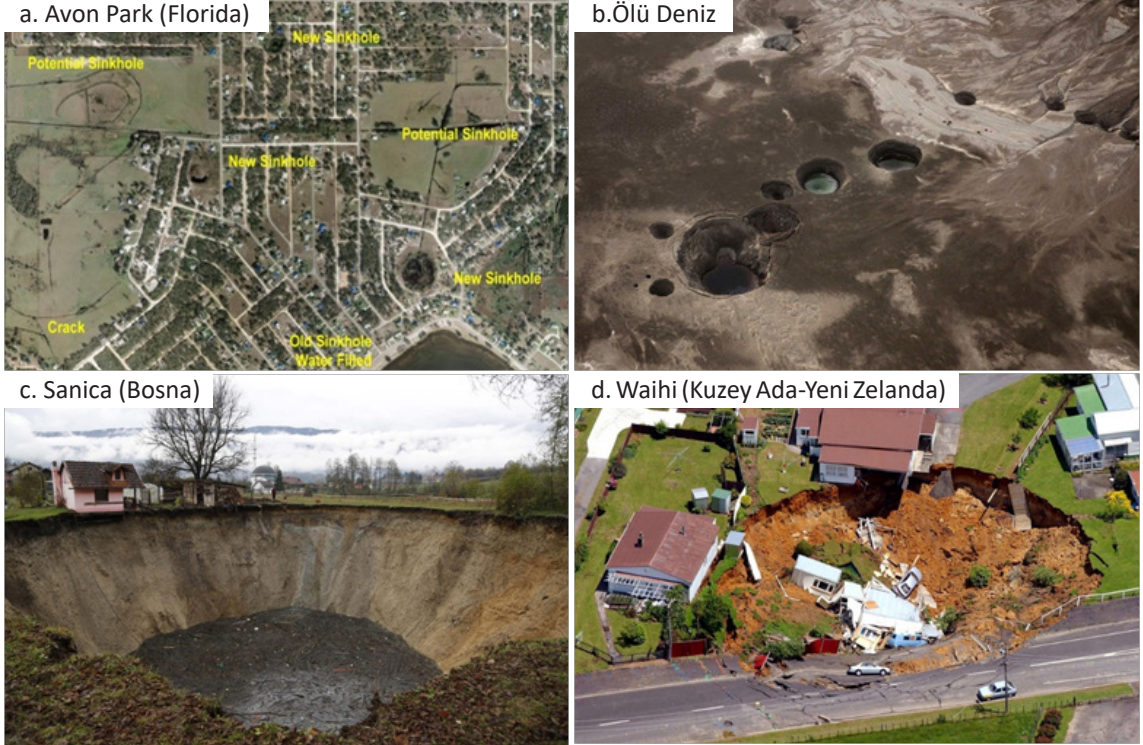


e. Tayvan



f. Japonya

Şekil 51. Dünya'da oluşan bazı obruklardan görünüm; a: Big Blue (Büyük Mavi Delik-belize), b: Guatemala, c: Sima Humboldt (Venezuela); d: Xiaozhai Tiankeng (Çin)(Çin), e: Tayvan, f: Japonya, (internet, Brookqj, wikimedia, abcnews, DNews, cbsnews, paratic.com, www.npr.org)



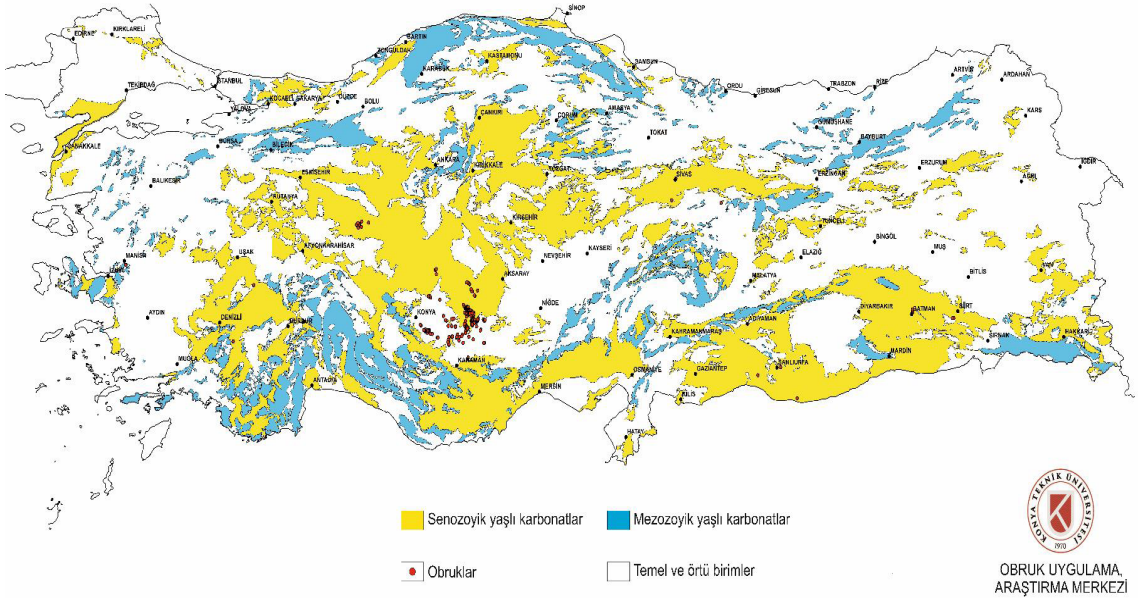
Şekil 52. Dünya'da oluşan bazı obruklardan görünüm; a: Avon Park (Florida-ABD; thelivingmoon.com), b: Ölü Deniz (İsrail), c: Sanica (Bosna; Amel Emric/AP), d: Waihi (Yeni Zelanda; Dean Purcell / AP)

ABD'de mevcut arazinin % 40'ı obruk oluşturan tuz, jips ve karbonatlı kayalar ve karstik yapılarla sahiptir. ABD'de obrukların en yaygın gözlemlendiği eyalet olan Florida'da Florida Sinkhole Research Institute (Florida Obruk Araştırma Enstitüsü) adı altında uzmanlaşmış bir birim vardır. Bu merkez Florida'da bulunan bütün obrukları sayısal bir harita üzerine aktarmış olup ilgilenenler etkileşimli harita üzerinde obruk riskini inceleyebilmektedir.

Akdeniz kıyısından itibaren karbonatlı kayaların yaygın olduğu Avrupa bölgesinde obrukların araştırılması için Almanya'da German Research Centre for Geosciences (GFZ) (Almanya Yer bilimleri araştırma merkezi) içinde uzmanlaşmış bir birim yer almaktadır. Ayrıca Hırvatistan, İtalya, Romanya, Mısır, Suudi Arabistan ve Umman'da jeolojik, jeofizik ve yerbilimleri merkezlerinde obruk araştırma birimleri bulunmaktadır. Türkiye'de ise 2020 yılında Konya Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisleri Odası ve AFAD Konya İl Müdürlüğü'nün girişimleri ile kurulan Konya Teknik Üniversitesi Obruk Uygulama ve Araştırma Merkezi (KTÜN-OBAM) başta Konya olmak üzere ülke içinde meydana gelen obruklar üzerinde araştırmalar yapmaktadır.

8. TÜRKİYE'DE OBRUK OLUŞUMLARI

Ülkemizin özellikle Akdeniz kıyıları olmak üzere bazı iç bölgelerde karstlaşmaya uygun karbonatlı kayalar ve evaporitlerin yaygın olduğu alanlar vardır. Özellikle Akdeniz kuşağı ve Toroslar ile Doğu Karadeniz'in güney bölgelerinde Paleozoyik ve Mesozoyik yaşlı çözülmeye uygun karbonatlı kayalar kaplıdır. Akdeniz Kuşağı ve Toroslar'da Antalya ve Mersin illerinde karbonatlı kayalar yaygın olup bir kısmı yoğun turistik ziyaret alan çok sayıda mağara, polye, dolin ve düden bulunmaktadır. Türkiye'nin önemli bir bölümü de Senozoyik yaşlı sığ göllerde oluşan karbonatlı ve evaporitik kayalarla kaplıdır. Özellikle obrukların en yaygın gözlemlendiği İç Ege, Orta Anadolu ve Güneydoğu Anadolu bölgesinde bu tür kayalar yaygın olup son yıllarda oluşan obrukların büyük bölümü bu kesimlerde meydana gelmiştir (Şekil 53).



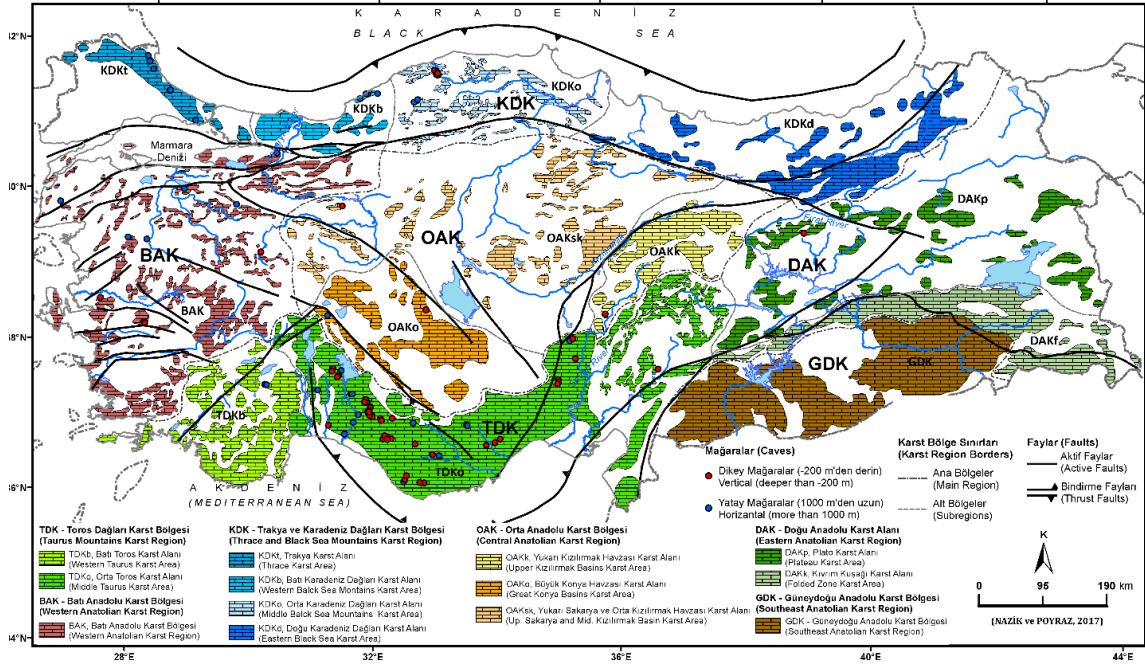
Şekil 53. Türkiye'de karbonatlı ve evaporitik kayalar ve obrukların dağılımı

Türkiye, karstlaşmanın kendi içinde benzer olduğu 13 karst bölgesine ayrılmıştır (Ekmekçi, 2003). Bu sınıflamaya göre "Orta Anadolu Bölgesi- Evrimsel Karstı" içine girmektedir.

Evrimsel karst, genç-aktif karsttan, parçalanmış kalıntı karsta kadar geniş bir aralıkta değişen karst türlerini kapsamaktadır (Nazik ve Poyraz, 2017; Şekil 54). Orta Anadolu Bölgesi-evrimsel karstının özellikleri aşağıda verilmiştir (Ekmekçi, 2003).

- Bu bölgede yüzeyleyen karbonatlı kayaların kalınlıkları, Erken Miyosen'den beri süre gelen sürekli tektonik yükselim ve erozyon süreçleri sonucunda çok fazla değildir.

- Sürekli yükselim ve buna bağlı olarak Sakarya nehrinin bölgeye yerleşmesi enerji gradyanını birinci derecede kontrol ederken, Karadeniz'in seviye değişimleri ise ikinci derecede kontrol etmektedir.
- Erozyon tabanını, karbonatlı kayalar arasında yer alan Paleozoyik ve Mesozoyik yaşlı geçirimsiz birimler oluşturmaktadır.
- Bölgede, Miyosen'den günümüze kadar kesintiye uğramadan yatay ve dikey yönde karstlaşan karbonatlı kayalar genellikle faylar ve akarsular tarafından parçalanmıştır.



Şekil 54. Türkiye Karst Bölgeleri (Nazik ve Poyraz, 2017)

Türkiye'de iklim değişikliği ve kuraklıkla birlikte ve aşırı ve kontrolsüz yeraltı suyu tüketimi sonucunda Konya Kapalı Havzası'nda ve komşu bölgelerde obruk oluşumları artmıştır. Geçmişten bu yana karstlaşmanın yaygın olduğu Orta Toroslar'da Antalya ve Mersin illerindeki karbonatlı kayaların olduğu bölgelerin dışında Konya'ya komşu illerden Karaman, Aksaray, Afyonkarahisar ve Eskişehir'de obruk oluşumları yaygınlaşmaktadır (Şekil 55).

Ayrıca son yıllarda Denizli, Bilecik, Manisa, Sivas, Çankırı ve Çorum gibi sülfatlı kayaların bulunduğu bölgelerde ve münferit olarak Yozgat, Erzurum, Şanlıurfa, Batman ve Siirt'te rastlanan obrukların bazıları yerleşim alanlarını tehdit etmektedir (Şekil 56 ve 57). Çankırı'ya bağlı inandık köyünde jips karstının çözünmesiyle oluşan çökmeler köydeki yapılarda ciddi hasara yol açarak köyün başka bir alana taşınmasına ve 2 milyon avroluk ekonomik kayba neden olmuştur (Gökkaya ve Tunçel, 2019). Obrukların can ve mal kayıplarına neden olmaması ve petrol-doğal gaz, enerji nakil hatları ve iletişim hatları, karayolu ve demiryolu gibi ulaşım ve diğer alt yapıya zarar vermemesi için obruk riskli alanların ayrıntılı olarak araştırılması gerekmektedir.



Şekil 55. Konya'ya komşu illerde obruk oluşumları (dailymotion.com/video/x6m2sp2, 2018;. hurriyet.com.tr..cennet-cehennem-cokukleri, 2017; birgun.net/haber/afyon-da-sayisi-10-ubulan-obruklar-tedirginlik-yaratti-onlem-alinmasini-istiyoruz, 2021; cumhuriyet.com.tr/turkiye/aksarayda-tedirgin-eden-goruntu-10-gun-arayla-2-obruk-olustu-2072061, 2023)

Şanlıurfa



Siirt



Batman



Erzurum



Çorum



Çankırı



Şekil 56. Türkiye’de son yıllarda farklı illerde oluşan bazı obruklar (haberturk.com/cankiri-da-inandik-koyu-sakinleri-obruk-olustu-nedeniyle-tasinmayi-bekliyor-172978, 2017; aa.com.tr/tr/turkiye/corumda-olusan-obruk-koyluleri-tedirgin-etti, 2018; hurriyet.com.tr/gundem/batmanda-yol-kenarinda-12-metre-derinliginde-obruk-olustu-2019; sondakika.com/haber/haber-igdir-erzurum-karayolunda-obruk-gibi-gocuk, 2012; posta.com.tr/yasam/sanliurfada-obruk-panigi-2056415, 2019; trthaber.com/haber/turkiye/siirtte-bugday-tarlasinda-obruk-olustu-412552.html, 2019)

Yozgat



Sivas



Nevşehir



Manisa



Bilecik



Denizli



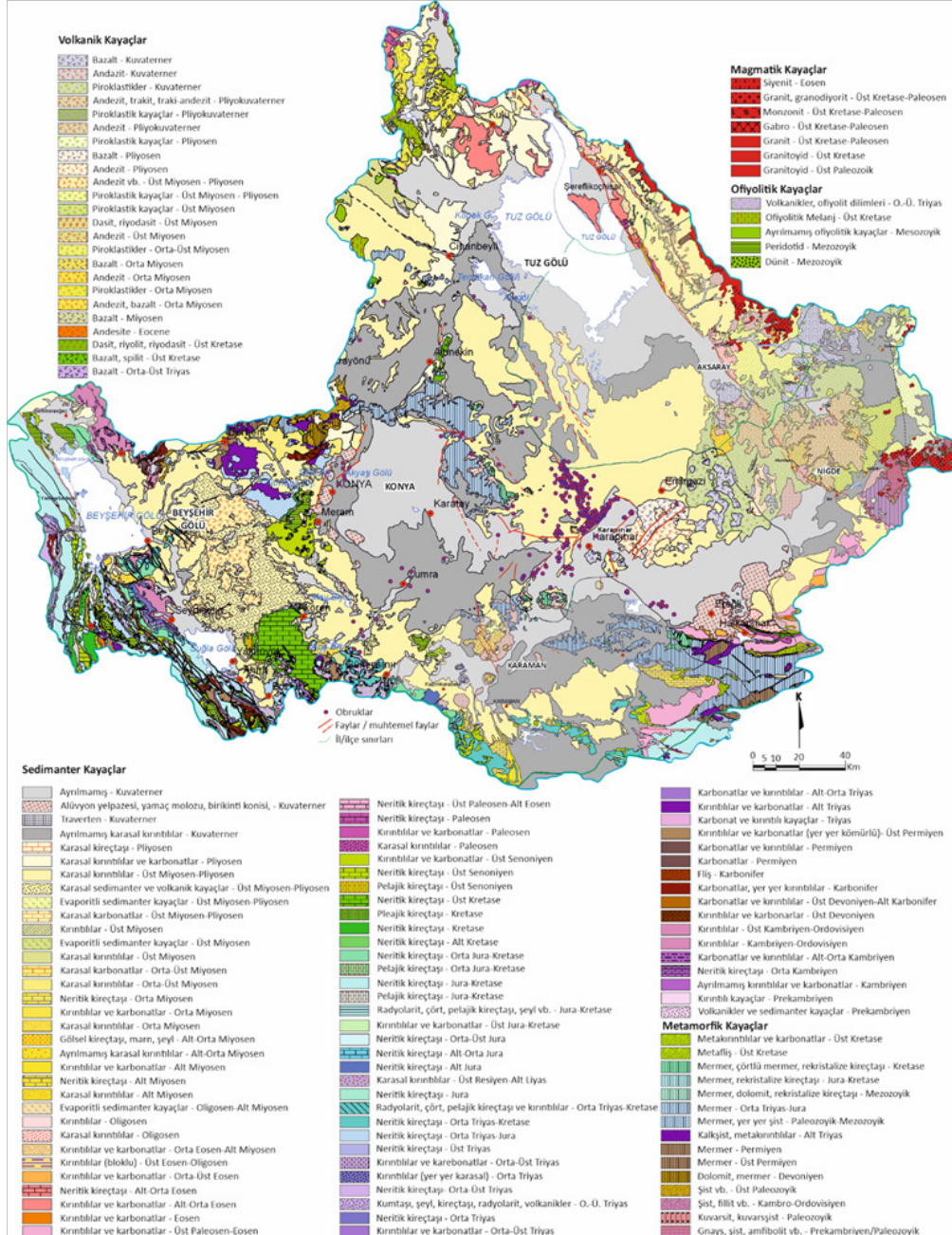
Şekil 57. Türkiye’de son yıllarda oluşan bazı obruklar(ankaradanhaber.com/genel/ovakent-te-obruk-olustu-h28909.html, 2018; cumhuriyet.com.tr/turkiye/sivasta-tedirgin-eden-goruntu-15-metre-capli-obruk-olustu-2060671, 2023; nevsehirkenhaber.com/haber/5460580/kozaklida-kidev-obruk-korkutuyor, 2019; aa.com.tr/tr/turkiye/spil-dagindaki-obruk-arastiriliyor/1624610, 2019; bilecikhaber.com.tr/felaket-hic-kimse-anlam-veremedi-334503h.htm, 2020; trthaber.com/haber/guncel/denizlide-ay-cekirdegi-tarlasinda-obruk-olustu-512933.html, 2020)

9. KONYA'DA OBRUK OLUŞUMLARI

Konya'da oldukça geniş alanlarda yüzeyleyen Geç Miyosen-Pliyosen yaşlı İnsuyu formasyonu yer yer kırıntılı ara düzeyler içerse de genellikle kireçtaşı, dolomitik kireçtaşı, killi kireçtaşı ve marnlardan oluşmaktadır. Bölgede Neotektonik dönemde gelişen yaklaşık GD-KB ve GB-KD doğrultulu normal faylarla İnsuyu formasyonunu oluşturan kayalar etkilenmiş olup kırılan kayalarda fayların konumlarına göre önemli ölçüde yükselmeler ve düşmeler meydana gelmiştir (Şekil 58, Khorrami vd., 2021). Konya yakın çevresinin içinde olduğu Orta Toroslarda Paleozoyik ve Mesozoyik yaşlı karbonatlı kayalarda da çok sayıda polye, lapyta, mağara, dolin, düden vb paleokarstik yapılar gözlenmektedir (Doğan vd., 2017 ve 2019).

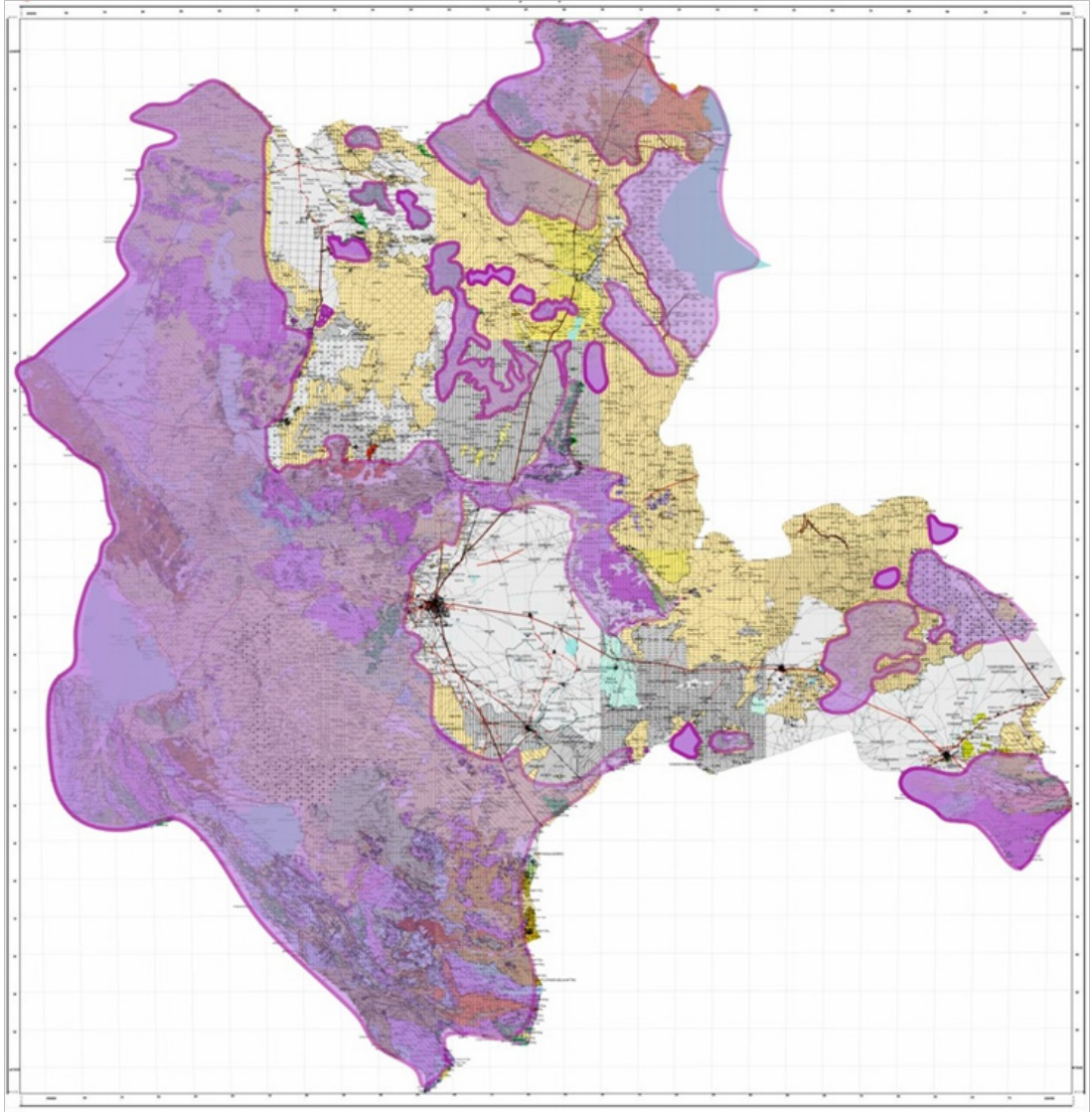
Bölgede Kuvaterner-Holosen döneminde oluşan Hotamış formasyonu ise kıyidan derinlere doğru kaba kırıntılılarla başlamakta olup üste doğru ince kum, silt ve killere geçiş göstermektedir. Formasyonun üst kesimlerinde yer yer karbonatlı kayalar, kireçli kırıntılılar, sülfatlı ve klorürlü evaporitik seviyeler yer almaktadır. Hotamış formasyonu içinde de yer yer çözünebilir kayaların su ile reaksiyonu sonucunda boşluklar ve daha çok sarkma obrukları oluşmaktadır. Bazı bölgelerde alttaki İnsuyu formasyonunda meydana gelen çökmeler Hotamış formasyonunu da etkilemektedir. Son yıllarda yeraltı su seviyesinin düşmesine de bağlı olarak obruk oluşum yükseklikleri de düşmüştür. Dolayısıyla alttaki İnsuyu formasyonu içinde meydana gelen obrukların bazıları Hotamış formasyonu içindeki genç gösel birimler içinde oluşmuş gibi görünmektedir.

Konya kapalı havzası içinde Konya ili Merkez Meram, Selçuklu ve Karatay ilçeleri ile Akören, Çumra, Karapınar, Eskil, Altınekin, Sarayönü, Kadınhanı, Cihanbeyli, Tuzlukçu, Kulu ve Yunak ilçeleri ile Aksaray ili Eskil ve Sultanhanı, Niğde İli Altınhisar İlçesi, Karaman Merkez, Kazımkarabekir ve Ayrancı ilçeleri ve çevresinde oldukça geniş bir alanda yayılım gösteren İnsuyu formasyonu içinde özellikle Karapınar-Tuzgölü arasında yoğun olarak polye, uvala, dolin, düden, yarıklar vb. karstik yapılar oluşmaktadır.



Şekil 58. Konya Kapalı Havzası'nın jeolojisi ve obrukların dağılım alanları (Khorrami vd, 2021'den)

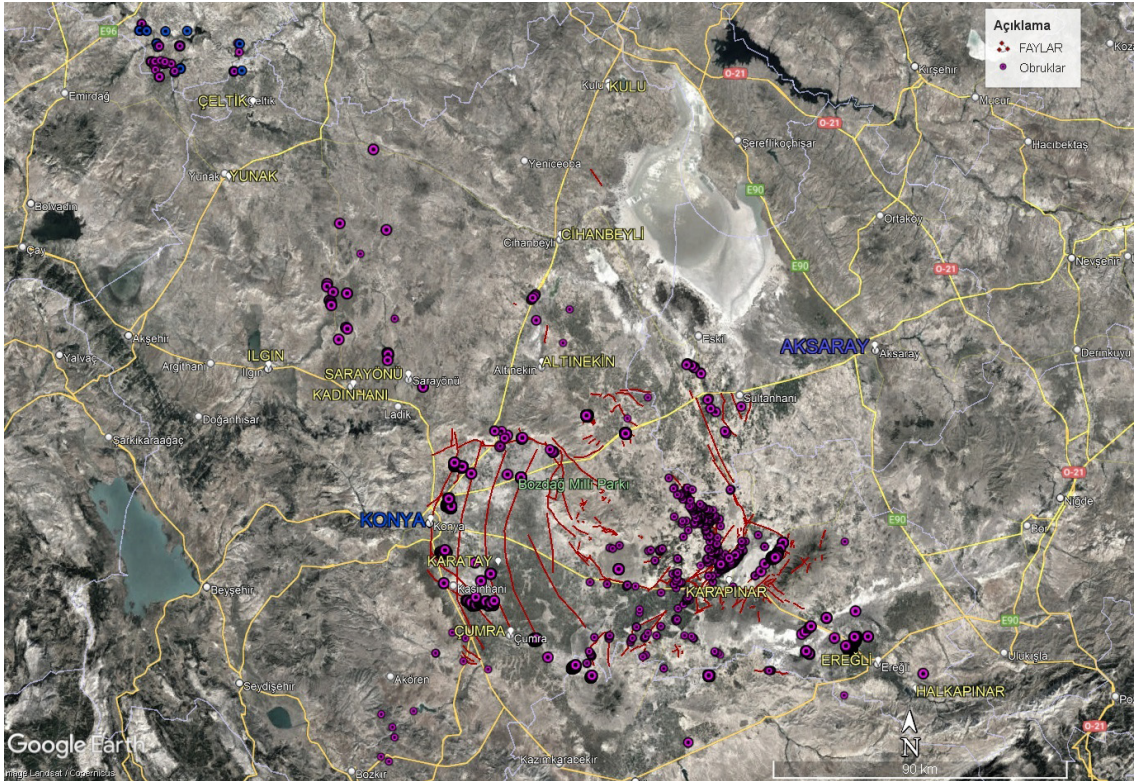
Güncel obrukların büyük çoğunluğu Üst Miyosen – Pliyosen yaşlı İnsuyu formasyonu ve daha genç birimler içinde oluşmaktadır (Şekil 59). Konya'da obruk riski güneyde Kazımkarabekir-Bozkır hattından başlayarak kuzeye doğru Konya İl sınırlarının dışında Aksaray ve Eskişehir İllerine, batıda Çeltik-Yunak-Sarayönü-Kadınhanı-Selçuklu-Meram ve Akören İlçelerinden doğuya doğru Altınekin, Karatay, Çumra, Karapınar, Emirgazi ve Ereğli'ye kadar devam etmektedir. Tanımlanan bu geniş alanlarda güncel olarak karstlaşma sürmekte olup obruk riski devam etmektedir (Doğan ve Yılmaz 2011; Törk vd., 2013 ve 2019; Arık vd., 2020a ve b; Şekil 59).



Şekil 59. Konya'da obruk riski taşıyan alanların dağılımı (Mor alanların obruk riski yok, MTA, 2019)

Karapınar-Eskil arasındaki bölgede geçmişten bu yana obruk oluşumları gerçekleşmesine karşın son yıllarda oluşan obrukların sayısı tehlikeli derecede artmıştır. Geçmişte yeraltı su seviyesinin daha yüksek olması nedeniyle yükseklerde meydana gelen obruklar günümüzde yeraltı su seviyesinin düşmesine bağlı olarak daha düşük kotlu alanlarda oluşmaktadır. Dolayısıyla insanların yaşadığı ilçe ve köylerle yayla olarak tanımlanan küçük yerleşim alanları, tarımsal alanlar, önemli karayolları ve enerji yatırım alanlarında obruklar oluşmaya başlamıştır.

Kuraklık ve aşırı yeraltı suyu kullanımı sonucunda 2000'li yıllardan sonra obruk oluşumları çoğalmış olup bölgede 2017 yılı sonu itibarıyla 299 obruk oluşumu tespit edilirken 2018'de 19, 2019'da 20 ve 2020'de 20'nin üzerinde yeni obruk oluşmuştur. Konya sınırları içinde 2022 yılı sonu itibarıyla 610 civarında 1 m'den daha derin obruk ve binlerde çapları birkaç m'den 50-60 m'ye değişen 1 m'den daha sığ sarkma-çökme yapısı tespit edilmiştir (Şekil 60-64).



Şekil 60. Konya'da obrukların dağılımı (Eren vd., 2020, Arık vd., 2021; Arık vd., 2022)



Şekil 61. Gökhüyük (Timraş)obruğu (Çumra-Konya-2007)



Şekil 62. Çıralı obruğu (Karapınar-Konya-2006)



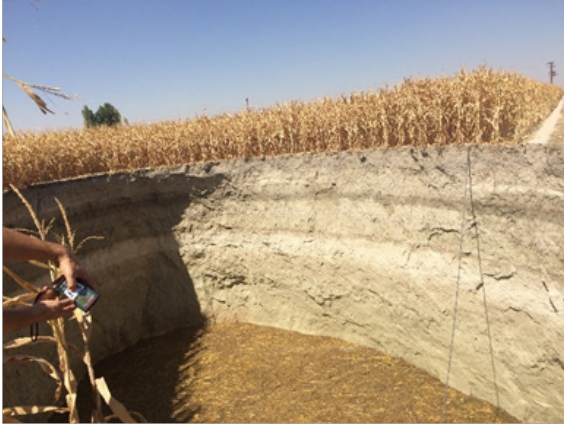
Şekil 63. Meyil (Karapınar-Konya) obruğu. Üstte Mayıs 2021, Altta Ağustos 2020 gölün pembe renk alması (Foto: Yaşar Eren)



A. Meyil Obruğu



B. Reşadiye Yaylası



C. Sırnık Yaylası



D. Kayalı Mahallesi



E. Karakuyu Yaylası



F. Mısır tarlası

Şekil 64. Karapınar (Konya) çevresinde oluşan bazı obruklar.

10. OBRUK BELİRTİLERİ

Obruk oluşumlarında yüzeyde gözlenen belirtiler genellikle bir oturma belirtisine benzemektedir. Yerleşim alanlarında, kamusal alanlarda, binalarda, bahçe duvarlarında, su kuyularında veya arazide oluşan bir obruktan kaynaklanabilecek bu işaretlerden bazıları şunlardır:

- Tavanlarda ve duvarlarda yeni çatlaklar (Şekil 65, 69, 70)
- Yapının dış duvarlarında "merdiven basamağı" tipi çatlamlar (Şekil 65)
- Temel döşeme veya zeminde çatlaklar (Şekil 67)
- Duvarların zeminden ve/veya tavandan ayrılması (Şekil 67)
- Bina içlerinde nedeni bilinmeyen garip ve yüksek sesler
- Düzgün açılmayan kapılar veya pencereler (Şekil 68)
- Kapı ve pencere köşelerinde ayrılma (Şekil 68)
- Düz zeminlerde girinti ve çıkıntı oluşumu (Şekil 67)
- Binada daha önce olmayan çökmüş alanlar (Şekil 67 ve 68)
- Zemin çökmesi nedeniyle yapı temelini açıkta kalması (Şekil 67)
- Arazide dairesel geometrili çukurluklar (Şekil 67)
- Arazide derin ve uzun yarıklar
- Bahçe duvarlarında veya sokaktaki fiziksel çöküntüler veya delikler (Şekil 666, 67, 69, 70)
- Yollarda ve havuz tabanlarında çatlaklar (Şekil 66)
- Suyun daha önce toplanmadığı yerlerde göllenmesi (Şekil 67)
- Kuyulardan çamurlu su akması
- Ani yeraltı su seviyesi düşümü
- Elektrik direklerinin etrafındaki toprağın zayıf sıkışması
- Eğik bacalar
- Eğimli zeminler
- Daha önce gözlenmeyen ağaç köklerinin açığa çıkması
- Ağaçların veya çit direklerinin batması veya eğilmesi
- Bitki örtüsünün kuruması ve solması
- Yakın çevrede bilinen obruk aktivitesi



Şekil 65. Duvarlarda dikey ve merdiven basamağı şeklinde çatlaklar şeklinde Obruk belirtileri (Arik vd, 2022a ve b, ichflorida.com/claim-types/sinkhole, usgs.gov/media/images/sinkhole-activity-damages-home, villages-news.com, 2018).



Şekil 66. Obruk belirtisi: Yollarda belirgin oturma, çatlak ve delikler (<https://americanfw.com/sinkhole-repair>, 2023; Hiler ve Grewe, 2021;)

**Arazide Dairesel Çöküntüler****Arazide Sıralı Çöküntüler****Döşemede Hafif Çökme,
Kırılma Ve Su Birikintisi****Bina temelinin açığa çıkması****Döşemede Çökme Ve Kırılmalar****Yollarda Dairesel Su Birikintileri****Yüzye Kırık Ve Su Birintisi****Döşemede Kırılmalar Ve Su Birikintisi**

Şekil 67. Obruk belirtileri: Arazide dairesel çöküntüler, döşemede kırık, çatlak, oturma ve su birikintileri, bina temelini açığa çıkması (<https://www.heliconusa.com/sinkhole-warning-signs>, 2023)



Şekil 68. Obruk belirtileri: Kapı, pencere ve dolaplarda köşelerden ayrılma ve sıkışma, zeminde çatlaklar (foundationtechs.com/major-sinkhole-signs, 2022; crackedslab.com/blog/do-i-have-signs-of-a-sinkhole-or-foundation-issues, 2023; vipadjusting.com/sinkhole-damage, 2023)



Şekil 69. Obruk belirtileri: Orta Anadolu'da bahçe duvarları ve yapılarda deformasyon (Arık vd., 2022)



Şekil 70. Obruk belirtileri: Bahçe duvarlarında çökme, yıkılma ve dökülmeler (Arık vd, 2022)

11. OBRUK ISLAHI VE MÜHENDİSLİK ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

Bütün doğa kaynaklı tehlikelerin bertaraf edilmesinde olduğu gibi obruk ve çökme olaylarında da en güvenli zarar azaltma stratejisi, obruğa yüksek duyarlı alanlardan kaçınmaktır. Obrukların her biri kendine has özelliklere sahip oldukları için her obruk için ayrı özel bir çalışma yapılması gerekmektedir. Obrukların başarılı bir şekilde ıslah edilmesi için, yerbilimciler, jeoloji mühendisleri ve jeoteknik uzmanları tarafından yapılacak kapsamlı çalışmalarla obruğun özellikleri (derinlik, boyut, yayılım vb) ve obruk riskli alanının kullanım amacına göre zarar azaltma yaklaşımı ve/veya mühendislik önleminin yöntemi belirlenmelidir.

Kaçınma veya sakinme için arazi kullanım planlaması yapılarak obruk tehlikesi olan alanlarda alt yapı ve imar çalışmalarına izin verilmez ve obruk tehlikesine maruz kalma doğrudan önlenemez. Obruklara tehlikesi olan alanlarda insanların yaşaması, önlem alınmadan inşa edilen binalar ve altyapı tehlikenin boyutunu artırmaktadır.

Obrukların oluşumunda en önemli etkenler olan çözünabilir nitelikte kayalar, çözme kabiliyeti yüksek yüzey ve yeraltı suyu ile suların hareketini kolaylaştıran yer altı çözünme ve çökme süreçlerinin kontrolü neredeyse mümkün olmadığından güvenli zarar azaltma genellikle dikkatli planlama ve obruklara karşı korumalı mühendislik tasarımlarının uygulanmasını gerektirmektedir. Obruklara karşı etkili bir tasarım parametresi, obruk oluşumu esnasında mühendislik yapısının deformasyonunu önlemek için çöküntünün yayılması gereken mesafeyi belirlediği için yeraltında bulunan örtülü boşluğun boyutlarının bilinmesi oldukça önemlidir.

11.1. Obruk Çökme Süreçlerini Azaltmayı Amaçlayan Başlıca Önlemler

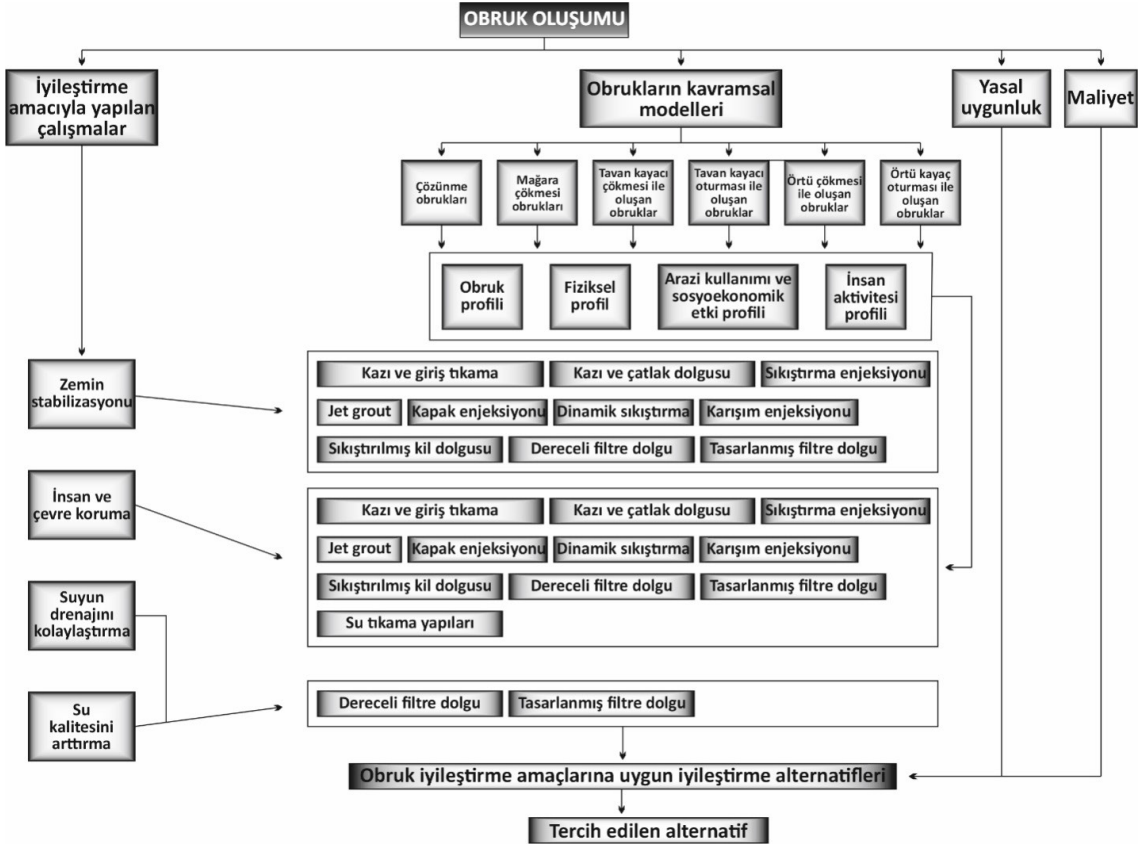
Güncel obruk oluşumları dünya genelinde doğrudan su-kayaç etkileşimine bağlı olup bu etkileşim iklim değişikliği ve kuraklıkla birlikte aşırı ve kontrolsüz yeraltı suyu tüketimiyle ilişkili olduğu için obrukların oluşmasını önlemenin en önemli yolu planlı yer altı suyu kullanımınıdır. Yerleşim ve özellikle yapılar için obrukların oluşmasını önlemenin en etkili ve basit yolu ortama gelen suyu önlemektir. Su kaynaklarının ortadan kaldırılması, obruk oluşumuna neden olan çözünme ve ayrışma işlemlerini ortadan kaldırır veya en düşük düzeye indirir. Su kaynaklarını ortadan kaldırmak zor olduğunda, ikinci seçenek suyun hareket ettiği akış yollarının kontrol edilmesidir. Suların olumsuz etkilerinin bertaraf edilmesi için üçüncü seçenek, mühendislik önlemleri ile zemin ve kayaların güçlendirilmesidir. Mühendislik önlemlerinin genel amacı, aşınma ve çözünme süreçlerini ortadan kaldırmak veya en aza indirmektir. Bunun için aşağıda önerilen yöntemlere başvurulmalıdır.

- Su kullanımının kontrol edilerek yeraltı seviyesini düşümünün önlenmesi,
- Mühendislik yapılarının çevresinde bulunan kanal ve hendeklerde sızmayı ve geçirgenliği önleyecek yalıtım işlemlerinin yapılması
- Yeraltı su ve atık su hatlarında kırılabilir ve sızıntı oluşturabilecek rijit borular yerine teleskopik bağlantılara sahip esnek borular kullanılması,
- Yüzeyin geçirimsiz malzeme, jeomembranlar veya jeotekstiller ile geçirimsiz hale getirilmesi,
- Verimli drenaj sistemleri kullanılarak yüzey akışının yönlendirilmesi ve mühendislik yapılarından uzaklaştırılması.

11.2. Obrukların Mühendislik Çözümleri ile Islahı (İyileştirme)

Obruk iyileştirme (ıslahı), mevcut obrukları onarmak ve gelecekte tekrar aktif hale gelmelerini önlemek için başvurulmuş mühendislik önlemlerinden oluşur (Zhou ve Lei, 2017). Obruk iyileştirme için aşağıda verilen alternatif mühendislik çözüm önerileri obruk iyileştirmesinin yalnızca temel ilkelerini sağlamakta olup mühendislik tasarımları değildir. Obrukların iyileştirilmesinde seçilen mühendislik tasarımının doğrudan bir başka obruğa uygulanması uygun değildir. Çünkü her obruk kendine özel benzersiz bir yapıya sahip olup uygulanacak mühendislik önlemi, iyileştirilmesi gereken obruğun benzersiz fiziksel özellikleri ile birlikte jeolojik ve hidrolojik koşullarını dikkate alacak şekilde tasarlanması gerekir. Bütün obruklara uyan tek bir mühendislik önlemi olmamasına rağmen, başarılı bir obruk iyileştirme yönteminin ilk adımı obruğun altında bulunan yutma deliklerinin kapatılması, obruk gövdesinin doldurulması ve obruk üzerinde sağlam bir kapak oluşturulmasıdır.

Özellikle su akışlarını ve akış yollarını etkili bir şekilde ortadan kaldırmak amaçlandığında yapılacak çalışmalar sadece obruğun kendisinde değil daha geniş bir alanı kapsamalıdır. Obruk iyileştirilmesinde temel amaç mühendislik önlemlerinin genel çerçevesini belirlemektir. Örneğin, suyun yer altına akmasına izin verilmesi durumunda obruklar içinde filtreler yapılabilirken suyun aşağı hareket etmesinin engellenmesi gerektiğinde geçirimsiz malzeme ile kaplama yapılmalıdır. Dolayısıyla sahaya özel veriler, iyileştirici mühendislik çözümünün seçiminde önemlidir. Örneğin, bir kaynak veya kuyu başı koruma alanındaki obruklar, koruma alanı dışındakilerden farklı şekilde iyileştirilmelidir. Obruk ıslahının yapıldığı alanlarda, uygulanacak mühendislik önlemi ilgili yönetmelik veya kurallar varsa onlara sıkı sıkıya uyulmalıdır. İyileştirmede seçilen yöntem kadar maliyet de önemli olup alternatif çözümler arasında mevzuata uygun ve maliyeti düşük olan mühendislik çözümü tercih edilmelidir. Zhou ve Lei (2017) Knoxville, Tennessee (ABD)'deki bir otoyol kavşağında bir obruğun iyileştirme projesine uygulanacak en uygun iyileştirme yönteminin belirlenmesi için bir akış şeması geliştirmişlerdir (Şekil 71).



Şekil 71. Obrukların iyileştirilmesinde mühendislik çözümlerinin belirlenmesi için kullanılan akış diyagramı (Zhou ve Lei, 2017)

11.2.1. Obruk yutma deliklerinin (boğaz-yutak) tıkanması

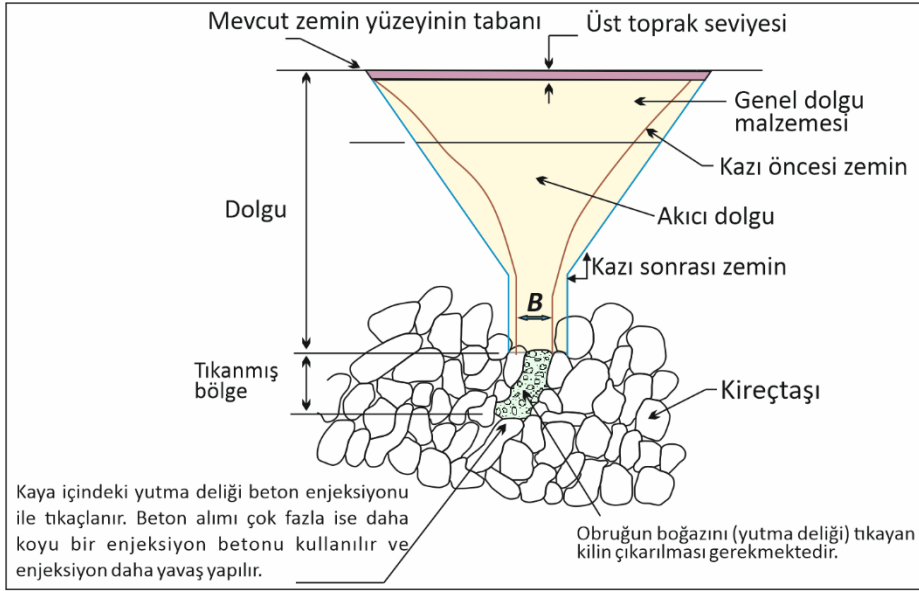
Obrukları meydana getiren yutma deliklerinin ortadan kaldırılması için pek çok mühendislik yöntemi uygulanmaktadır.

Her obruğun yapısı diğerlerinden farklı olduğundan en uygun çözüm yönteminin belirlenmesi için konunun uzmanı yer bilimciler tarafından mevcut obruğun detaylı bir şekilde araştırılması gereklidir. Obruk iyileştirme yöntemlerinin seçimi; obruk ve derinliği hakkındaki karmaşıklığa ve belirsizliğe bağlıdır. İyileştirme amacıyla yapılan çalışmalarda obruklar 10 m derinliğe kadar olanlar **sığ obruk** ve 10 m'den daha derin olanlar ise **derin obruk** olarak ayrılmaktadır. 10 m'den daha sığ olan obruklarda yutma deliğine kadar kazı yapılırken daha derin obruklarda doğrudan sondaj uygulamalarına başvurulmaktadır.

11.2.1.1. Kazı ve yutma deliğinin (yutak) tıkanması

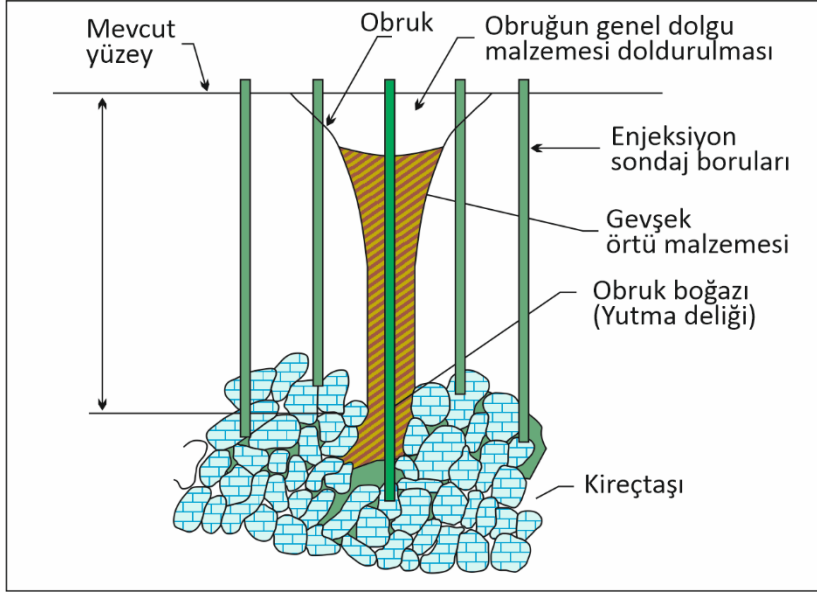
Bu metot 10 m'den daha sığ derinlikli obrukların iyileştirilmesi için en etkili ve en basit çözüm olup çoğu zaman uygun maliyetli ve uzun ömürlü bir yöntemdir. Yutakların tıkanması küçük çökmeleri tolere edebilen yapılar için nispeten hızlı bir çözüm olup obruğun yeniden etkinleşmesi halinde önemli maddi hasara neden olmayacağı ve insan hayatını tehdit etmeyeceği durumlarda başvurulması gereken bir yöntemdir. Yutma deliğinin (boğaz) tıkanması için kazı ile obruğun tabanına ulaşılabilir olması gerekmektedir (Zhou ve Beck, 2008).

Yöntemde bir kazıcı kepçe ile obruğun tabanına kadar olan malzeme kaldırılarak yutağa ulaşılır ve delik çevresi killi malzemelerden arındırılır. Obruk tabanında bu tip düdenin iyileştirilmesi için muhtemelen en etkili yaklaşım enjeksiyon tıkaçıdır (Sowers, 1996). Beton ve kaya arasında iyi bir bağ sağlamak için beton dökülmeden önce boğaz boyunca bulunan kil, çamur vb kaplama malzemesi çıkarılmalıdır (Zhou ve Lei, 2017). Killi malzeme çıkarılamıyorsa kaya yüzeyi basınçlı su ile yıkanarak temizlenmelidir (Şekil 72).



Şekil 72. 10 m derinliğe kadar obruklarda kazı-yutak tıkama-dolgu yöntemi ile obruk iyileştirme

Derinliği 10 m'den daha fazla olan obrukların tabanları görsel inceleme ve araştırmalar için açığa çıkarılmadığından obruk tabanlarının özellikleri ancak sondaj kuyusu ile araştırma ve/veya jeofizik ölçümlerle yorumlanabilmektedir (Zhou ve Beck, 2008; Şekil 73).



Şekil 73. 10 m'den daha derin obruklarda enjeksiyonla yutma deliği tıkama yöntemi ile obruk iyileştirme



Şekil 74. Sivas şehrinin güneydoğusunda yer alan obrukların 1966 ve 2019'da çekilmiş görüntüleri. 2019 görüntüsünde iki büyük obruğun doldurularak şehir alanına dahil edildiği görülmektedir.

Obruklar bazen herhangi bir jeolojik ve jeoteknik araştırma yapılmadan çevrede bulunan arazi malzemesi ile doldurulmakta ve alan kullanılmaya devam etmektedir (Şekil 74 ve 75). Ancak obrukla ilgili uzman yerbilimciler tarafından obruğun derinliği, boyutları, kayaçların litolojik ve jeoteknik özellikleri ile yutma deliklerinin yapısı araştırılmadan yapılan bu tür çalışmalar uygun değildir.

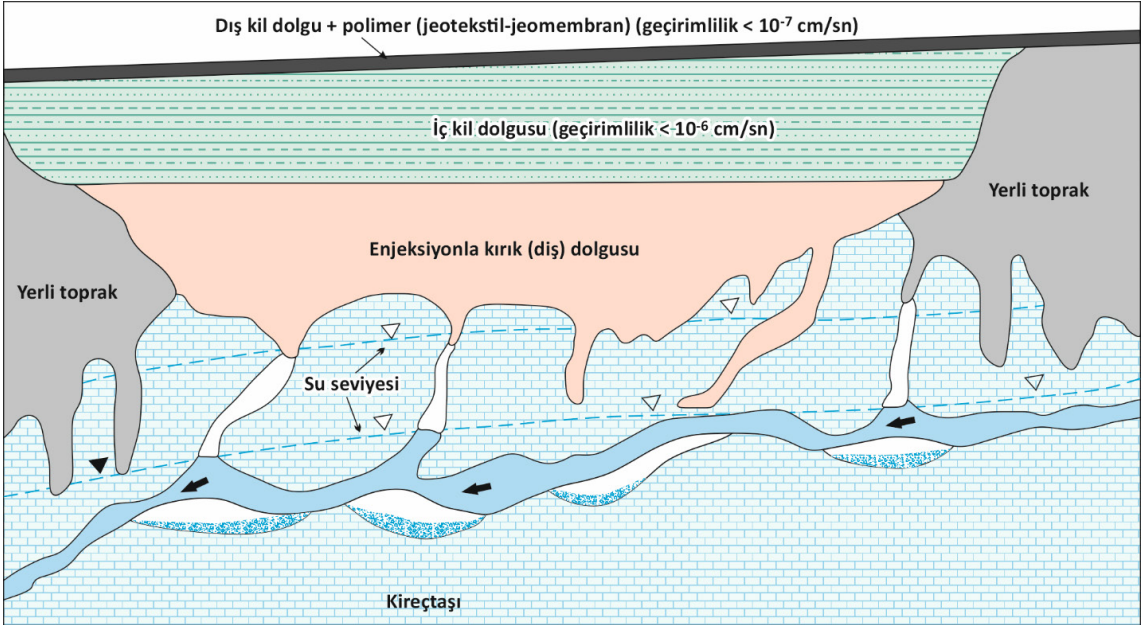


Şekil 75. Sığircık Mahallesi (Sivrihisar-Eskişehir) tarla içinde doldurulmuş bir obruk (Arık vd., 2022)

11.2.1.2. Kazı ve kırık dolgusu

Meydana gelen obrukta belirgin bir yutak olmadığı ancak tabanda çok kırık bulunması durumunda bu yöntem uygulanır. Bu yöntemde obruktaki çöken kısımda kalan malzeme yine bir kazıcı kepçe ile çıkarılır ve tabandaki kırıklar görünür hale getirilir.

Obruğun tabanındaki açıkta kalan ana kaya yüzeyindeki çatlakları belirlemeye yardımcı olmak ve enjeksiyon ceplerinin kil içermediğinden emin olmak için basınçlı su ile yıkama önerilir. Bu kırıklar, dış dolgu harcı olarak tanımlanan enjeksiyon betonu ile geçirimsiz hale getirilebilir. Tabanda oluşan çözünme cepleri ve kırıkların tıkanması ve kapatılması için yüksek/düşük çökmeli akıcı dolgu ile doldurulur (Zhou ve Beck, 2008; Şekil 76).



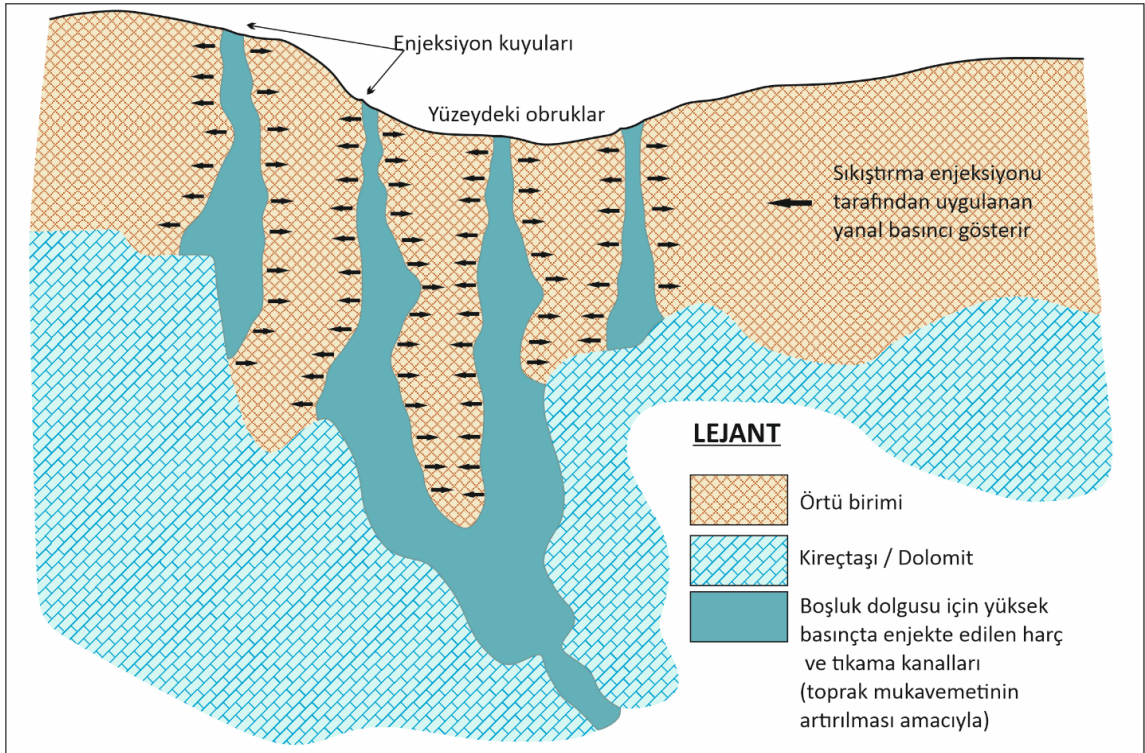
Şekil 76. Yutma deliği görülmeyen obruklarda; kazı ve kırıkların enjeksiyonla doldurulması (Siegel vd., 1999)

11.2.2. Enjeksiyon

Obruk onarım sürecinde enjeksiyon, zeminleri boşluklu anakaya bölgelerine bağlayan kayalarındaki çatlakları sınırlamak ve/veya kapatmak için bir beton şekli olan groutun zeminin altına veya içine pompalanmasını ifade etmektedir.

11.2.2.1. Sıkıştırma enjeksiyonu

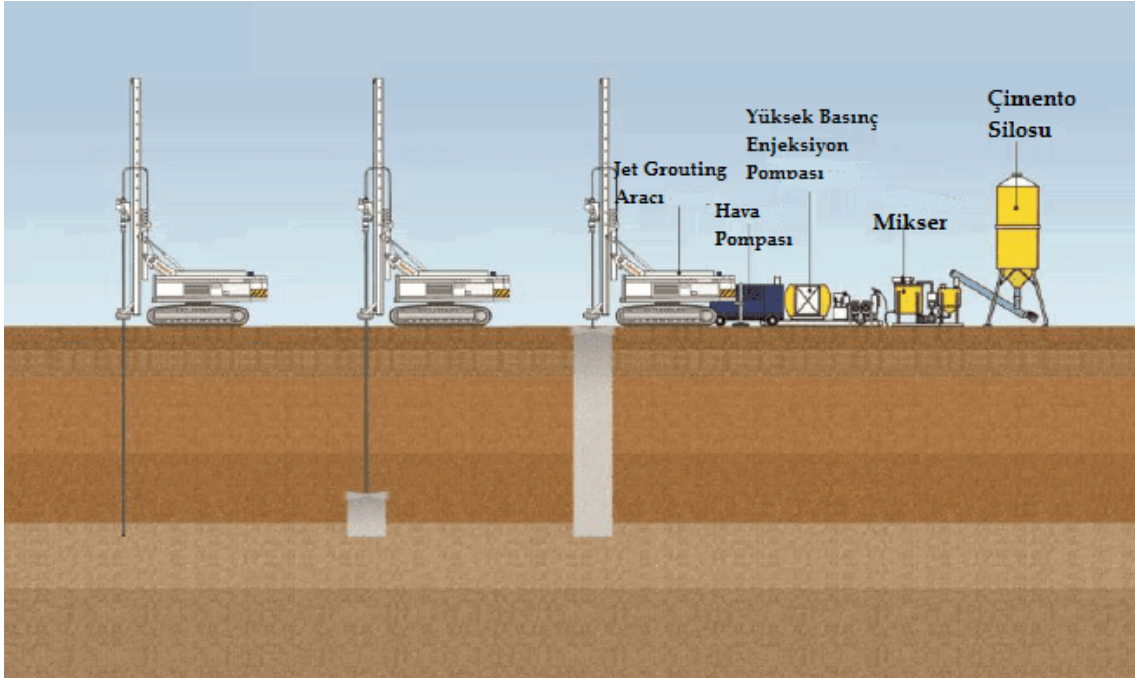
Sıkıştırma enjeksiyonu tipik olarak obrukların içindeki veya yakınındaki toprak aşırı yüküne ve/veya sığ kayaya uygulanır. Boşlukları doldurmak, her bir deliğin etrafındaki çatlakları tıkamak ve bir düden içindeki toprağı/kayayı değiştirmek/iyileştirmek için enjeksiyon deliklerinde 1380 kPa veya daha yüksek enjeksiyon basıncı kullanılır. Bu tip enjeksiyonda birincil enjeksiyon deliği aralığı tipik olarak 3.5–5 m'dir. Engebeli kaya için daha küçük boşluklar gerekebilir (Şekil 77). Enjeksiyon planı düzgün tasarlanmamışsa hidrokırılma (hydrofracture) nedeniyle ek kırılmalara neden olabilir. Bu yöntemin ıslak silt ve killerde uygulanması zordur. Enjeksiyon yanlışlıkla yeraltı suyu geçiş yolları olabilecek boruları kapatabilir (Zhou ve Beck, 2008; Zhou ve Lei, 2017). Uzmanlar tarafından gerekli ölçümler yapılmadan boşlukların doldurulması, akışı kolaylaştıran belirli hatlar boyunca yeraltı akışını yoğunlaştırarak akış yollarının çoğunu tıkayabilmekte belirgin bölgelerde yoğun çözünmeye neden olmaktadır.



Şekil 77. Obruk çevresindeki örtü mukavemetinin artırılması için sıkıştırma enjeksiyonu (Siegel vd, 1999)

11.2.2.2. Jet grout (Püskürtme enjeksiyonu)

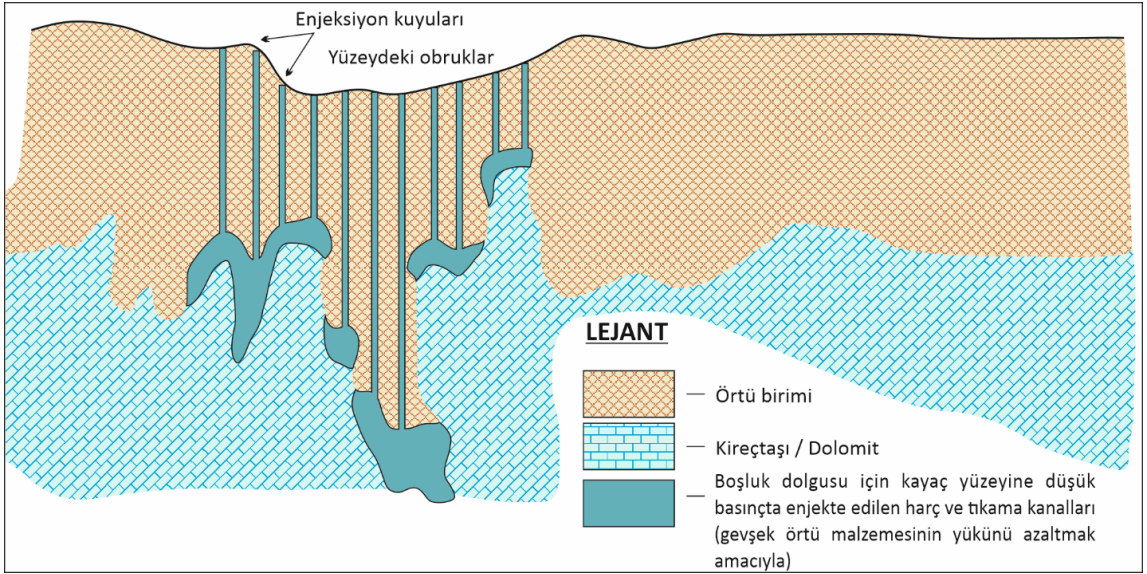
Jet-grout (fışkırtma enjeksiyonu) dönen bir yüksek basınçlı pompa ile sıvı bir harcın toprağa püskürtülmesidir. Obruk yakınındaki örtünün mukavemetinin artırılması veya yeraltındaki boşlukların üzerindeki örtü içindeki malzemenin sağlamlaştırılması amacıyla yapılır. Püskürtme toprağı aşındırır ve sert killeri ve yumuşak aşınabilir kayaları parçalayabilir dolayısıyla zeminin yapısı değişir ve yeni daha sağlam bir zemin oluşur. Enjeksiyon memesinde tipik olarak 30–50 MPa'lık basınç uygulanır. Basınçla püskürtülen harç, toprak içinde hızla dağılır ve enjeksiyon hacmi uygun şekilde kontrol edildiğinde kabarma engellenebilir. Obruk dolgusunda ayrık durumdaki kum ve çakıl da dahil olmak üzere daha büyük toprak parçacıkları harçla karışarak yerinde karıştırılmış bir beton oluşturur (Zhou ve Lei, 2017; Şekil 78).



Şekil 78. Zeminin mekanik mukavemetin artırılması için jet grout uygulaması
(www.insaatofis.com)

11.2.2.3. Kapak enjeksiyonu

Ana kaya yüzeyinde küçük ama belirgin kırıkların bulunduğu obrukların çevresinde çok geniş alanların iyileştirilmesi gerekiyorsa kapak enjeksiyonu tercih edilmelidir. Kapak enjeksiyonu, obruk tabanını geçirimsiz hale getirmek, boşlukları doldurmak, çatlakları tıkmak ve yumuşak toprağı yerinden çıkarmak için ana kaya yüzeyine 140 kPa veya daha düşük düşük enjeksiyon basıncına sahip yağsız çimento pompalamak için kullanılır. Kapak enjeksiyonu üst tabakalara destek sağlar ve dikey hidrolojik bağlantıları keser. Yeraltındaki boşlukların derin ve örtü kalınlığının fazla olduğu durumlarda iyileştirme başarısız olabilir. Kapak enjeksiyonunda enjeksiyon delikleri aralığı 90 cm alınmalıdır. Kapak enjeksiyonu genel olarak sıkıştırma enjeksiyonu kadar harç tüketmez. Obruk oluşumu yaygın ve yakın olan bölgelerde enjeksiyon sondajlarının aralıkları daraltılmalıdır. Yapılan burğu sondajları ana kayaya kadar ulaşmayabilir. Hidroçatlatma olasılığı sınırlı ancak kabarmalar için zemin yüzeyi yüksekliği sürekli olarak gözlemlenmelidir (Zhou ve Lei, 2017; Şekil 79).



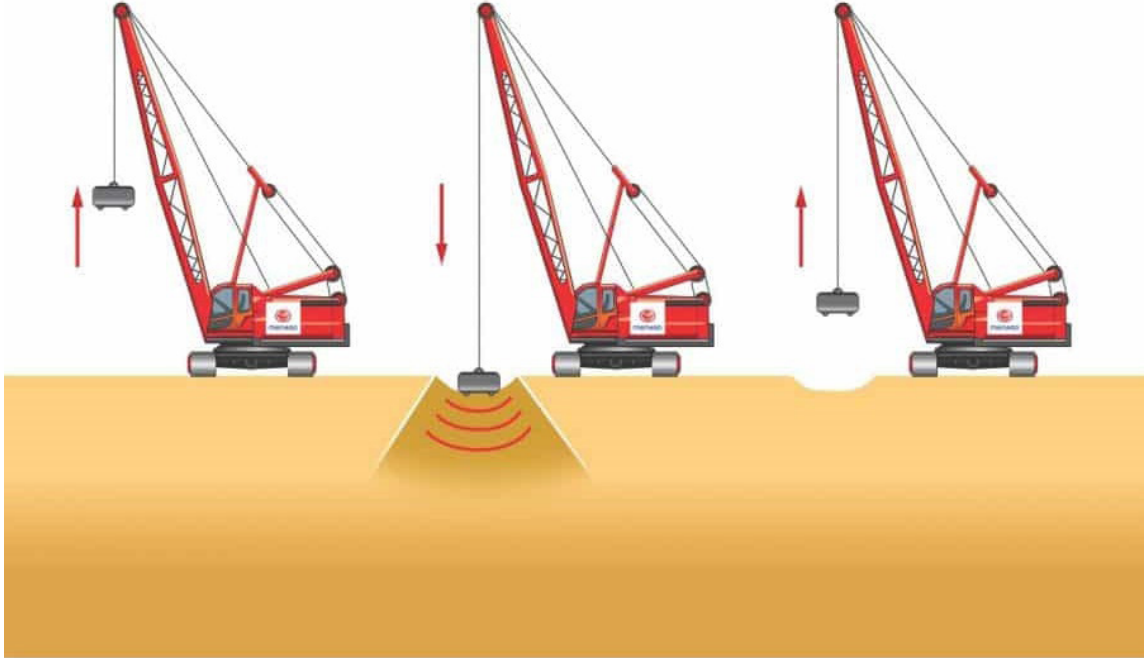
Şekil 79. Obruk çevresindeki örtünün mukavemetinin artırılması için kapak enjeksiyonu (Siegel vd, 1999)

11.2.2.4. Bulamaç enjeksiyon (slurry grouting)

Obruk bulunan alanlarda yutma delikleri çok sayıda kırık ve çatlak yoğunluğu fazla ve küçük ise bütün boşlukların doldurulması amacıyla çok akışkan derz dolgu karışımlarının zemine enjeksiyonu yapılır. Bu yöntemde harcın yoğunluğu çok düşük olduğundan delinebilecek hemen hemen her derinlikteki boşlukları doldurulur. Kireçtaşıdaki tabaka düzlemi, kırık, çatlak vb süreksizlik düzlemleri boyunca ilerleyerek farklı seviyelerdeki farklı boyutlu boşluklarda çok etkili mühürler oluşturur. Boşluklu seviyenin üzerindeki zeminde yoğunlaşma olmaz ve böylece üzerine yapılacak yapılar için sağlam zeminler oluşur.

11.2.3. Dinamik sıkıştırma

Sıkıştırma veya kompaksiyon statik, vibrasyonlu ve darbeli aletlerle – zeminin mekanik olarak sıkıştırılması işlemidir. Kontrolsüz dolgu ve gevşek taneli zeminlerin iyileştirilmesi veya obruk riski bulunan alanlarda tehlikenin azaltılması için 3–12 m derinliğe kadar zemin boşluklarındaki havanın atılması, zeminin kayma mukavemetinin artırılması, gözenekliliğinin ve sıkışabilirliğinin azaltılması amacıyla sıkıştırma işlemi uygulanır (Nicholson, 2015). Zemin için hesaplanan sıkıştırmaya göre 5–30 tonluk ağırlıkların önceden belirlenmiş bir yükseklikten zemine düşürülmesi esasına dayanır (Şekil 80. Vibro sıkıştırma, taneli zeminleri yoğunlaştırmak ve güçlendirmek veya karışık veya katmanlı ince taneli zeminlerde taş kolonlar oluşturmak için daha büyük çaplı derinlik vibratörleri kullanır (Zhou ve Lei, 2017).

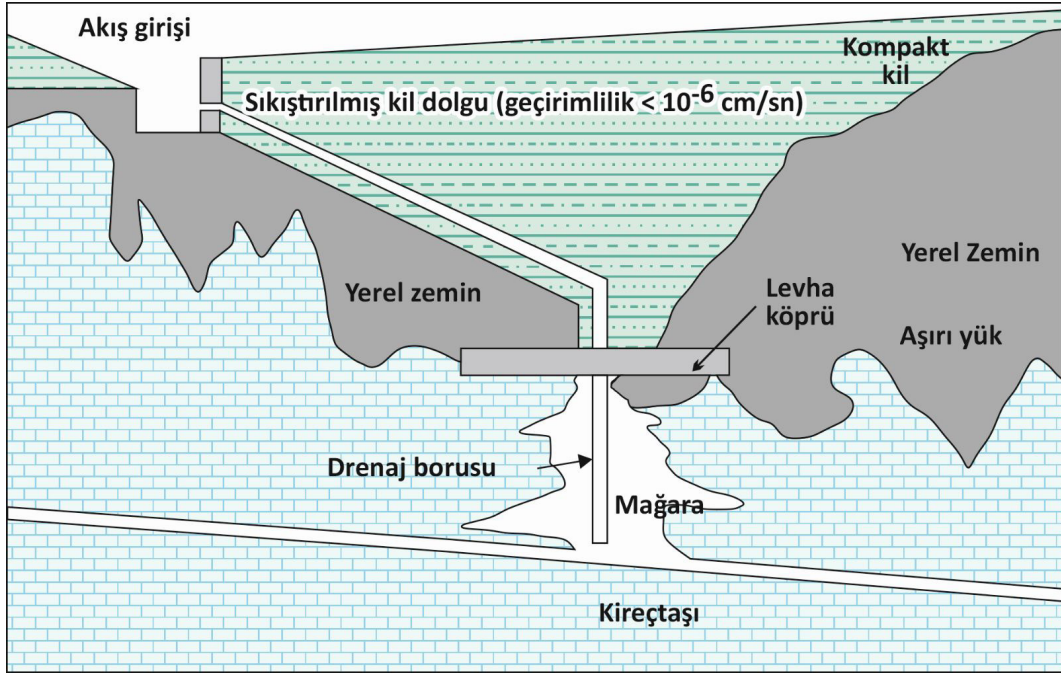


Şekil 80. Zeminde vinçlerle dinamik sıkıştırma işlemi (<https://imb.cu.edu.tr>, 2023)

11.2.4. Doldurma

11.2.4.1. Sıkıştırılmış kil ile doldurma

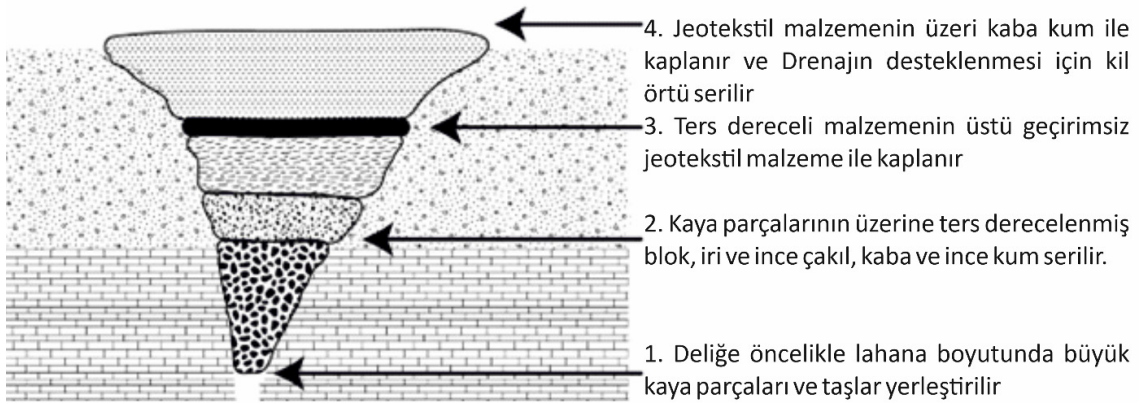
Obruk çevresinde hem dikey hem de yanal su akışını durdurmak için geçirimsiz bir gövde oluşturmak için uygulanır. Kil dolgunun geçirgenliği 10^{-6} cm/s'den düşük olana kadar sıkıştırma yapılır. Dolguya iletilen sıkıştırma basıncı dolgu kalınlığı arttığı için sıkıştırma ince katmanlar üzerinde yapılmalıdır. Sıkıştırma, toplanmış veya topaklaşmış kil parçacıklarının çoğunu veya toprağın dikey yapısını bozarak onları daha az geçirgen hale getirir (Zhou ve Lei, 2017; Şekil 81).



Şekil 81. Obrukların sıkıştırılmış kille doldurulması (Zhou ve Beck, 2008)

11.2.4.2. Kademeli filtre ile doldurma

Obruk tabanında düden varsa ters derecelenmiş boyutlu kademeli filtre uygulanır. Düden üzerine Boğaz açıklığı genişliğinin yaklaşık yarısından daha geniş olan büyük kaya blokları taban açıklığı boyunca kavis oluşturacak şekilde yerleştirilir. Ardışık katmanlar, alttaki katmandan daha ince ancak alttaki yatağın ara boşluklarından geçmeyecek kadar kalındır. Daha sonra sıkıştırılarak stabilite kazandırılır. Tıkaç için beton bloklardan da yararlanılabilmektedir. Sıkıştırma ile stabilite kazandığına emin olunan deliğin üzeri lahana büyüklüğünde kaya parçaları ile deliğin çapının 1.5 katı kadar kalınlıkta doldurulur. Daha sonra tane boyu inceltilerek çakıl, kaba kum ve ince kum serilir. Üzerine geçirimsiz jeotekstil malzeme kaplanır. En üstte ise drenajı sağlamak için kil ve toprak serilir. Suyun hareketine izin verilecekse yukarıdan aşağıya geçirgen olması sağlanabilir (Şekil 82). Zemin/ana kaya arayüzünde hareket eden yeraltı suyunun epikarst drenajına erişmesine ve yeraltı suyu yeniden beslenmesinin oluşmasına izin vermek için genellikle alt kısımda geçirimli ve üst kısımda geçirimsizdir.



Şekil 82. Obrukların Ters dereceli boyutlandırılmış malzeme ve jeotekstillerle kaplanarak doldurulması

11.2.4.3. Tasarlanmış filtre ile doldurma

Bir obruğa enjeksiyon yapılmadan önce akışta meydana gelebilecek kirlenici mikarı azaltılmalıdır. Bunun için kaya filtreleri (Keith vd., 1995) veya turba filtreleri (Beck ve Zhou, 2002) kullanılır. Turba filtreleri askıdaki partikül maddelerin yaklaşık %80'ini kaya filtreleri ise %33-76'sını gidermektedir. Bu filtre çalışılan alanın sadece sağlamlığını değil aynı zamanda su drenajını da sağlamaktadır. Obruk ihmal edilemez bir drenaj noktası olduğu durumlarda bu teknik uygulanır. Oluşturulacak filtreleme sistemi obruk konfigürasyonuna ve obruğa akan su miktarına dayalı bir mühendislik tasarımı gerektirmektedir. Kirlenitçilerin akifere yeniden yüklenmeden önce giderilebilmesi için, filtre malzemelerinin yüzey akışının su kalitesine göre seçilmesi gerekir. Drenaj amaçlı ıslah edilen obruklar yeraltına su akışına izin vereceği için su ve çevre mevzuatına uygun tasarlanmalıdır.

11.2.5. Su tıkaçlarının yapımı

Obruklar bazen yeraltında yapılan madencilik faaliyetleri sonucu çökmekte olup suların beklenmedik bir şekilde yeraltı madenlerine akarak ciddi hasarlara ve can kayıplarına neden olan su baskınları için akış yolu işlevi gördüğü yeraltı madenlerinde su tıkaçları kullanılır. Çökme özelliğindeki hidrolik bağlantıların ortadan kaldırılması için harç tıpaları kullanılır (Li ve Zhou 2015). Yüzeyde sondaj delikleri açılarak ve çökme kolonuna harç pompalanarak enjeksiyon yapılırken, tıkaçın etkinliği yeraltında yönlü açılan kuyular aracılığıyla artezyen akış testleri ile izlenir. Tamamlanan enjeksiyon tıpaları, onlarca metreden yüzlerce metreye kadar değişir. Su tıkaçının başarısının kilit bir bileşeni, birincil, ikincil ve üçüncül olanlar da dahil olmak üzere tüm enjeksiyon deliklerinin tam olarak tasarlanan konumlara yönlendirilmiş olmasıdır. Tamamlanan tıkaçın etkinliği tipik olarak sondaj kuyularında ve yer altı su enjeksiyonu ve su drenaj testlerinde toplanan karot numuneleri ile değerlendirilir.

11.3. Yapıları obruk tehlikesinden korumak için mühendislik önlemleri,

Yapıların altındaki yer altı suyu sirkülasyonunu önlemek için yapı temellerinin çevresine kesme perdeleri, harç perdeleri ve destek inşası yapılmaktadır.:

Yeraltı iyileştirme yöntemiyle obruklar, gömülü organik maddeler, büzüşen/ şişen kil vb. nedenlerle hasar görmüş veya çökmüş olan yapılar onarılabilmektedir. Yöntemde stabil olmayan zemin daha aşağıdaki stabil bir tabakaya bağlanmaktadır. Öncelikle destekler sabitlendikten sonra, yapıya braketlerle tutturulurlar. Destekler yapının çevresine uzman bir mühendis tarafından belirlenen aralıklarla kurulur. Alt destekler, gerekirse, yapının iç taşıyıcı duvarlarının altına inşa edilebilir (Şekil 83).

Bu tür bir iyileştirmenin maliyeti oldukça yüksektir. ABD ve İngiltere'de bazı binalar için yapılan iyileştirmelerde 1 milyon doların üzerinde maliyetler ortaya çıkmıştır. Dolayısıyla obruk üzerinde bulunan yapının değeri obruk iyileştirmesinin yapıpı yapılmayacağında karar verirken başvurulacak en önemli kistastır.



Şekil 83. Yeraltı destekleri ile yapı stabilitesinin sağlanması (<https://thesinkholeguy.com/sinkhole-repair-methods>, 2023)

- Yapıların yükünü geniş alanlara dağıtan radye veya levha, güçlendirilmiş şerit ve halka kirişli temeller gibi binalar için özel tasarlanmış güçlü temeller. Özellikle yapıların köşelerinde bu temellere yapılan kiriş uzantıları daha fazla koruma sağlayabilir ve yapıların kenarlarında konsol bir durumun gelişmesini önleyebilir. Yüzey sürtünmesi ve yapısal yükler fore taşıyıcı kazıklar yardımıyla, zemine veya katı ana kayaya aktarmak için yaygın olarak kullanılır.
- Karayolları ve demiryolları da dahil olmak üzere çizgisel altyapılar, alt taban ve setlere çekme jeogridleri inşa edilerek güçlendirilebilir. Böylece bina ve alt yapıda yıkıcı çökme önlenir ve yıkıcı bir tahribat oluşmadan önce çökmeyi gösteren bir uyarı mekanizması rolünü üstlenerek sarkabilir ve sonra sorunu çözmek için önlemler alınabilir.
- Çok düşük esnemelere dahi toleransı olmayan yüksek hızlı demiryollarını korumak için hatların altına zemin köprüleri görevi gören betonarme levhalar inşa edilmelidir. Böylece levhaların yığılmasıyla ek bir güvenlik sağlanmış olur.
- Köprü, viyadük ve iskelelere büyük boy temel pedleri ve obruklara dayanımlı köprüler inşa edilebilir.

Zeminin yerleşiminin ve yapıların deformasyonunun izleme ve uyarı sistemleri (eğim ölçerler, ekstansometreler, jeodezik ölçümler, lazer veya ışık vericileri ve reseptörler) ile gerçekleştirilebildiği yüksek derecede riskli yapılara sahip sorunlu yerlerde izleme ve erken uyarı çalışmaları.

11.4. Zarar azaltmayı amaçlayan diğer yapısal olmayan önlemler

Obruk tehlikesi bulunan alanlarda meydana gelebilecek çökmelerde can ve mal kayıplarının önlenmesi ve azaltılması için yapısal olmayan birtakım önlemler alınmalıdır.

Obruk duyarlı alanlarda saha araştırmalarından sonra belirlenen tehlikeli alanlarda zeminin oturması ve yapıların deformasyonunun izleme ve uyarı sistemleri (eğim ölçerler, ekstansometreler, inklinometeler, jeodezik ölçümler, GPS ölçümleri, gaz ölçümleri, lazer veya ışık vericileri ve alıcıları) ile ölçülebildiği, oldukça hassas yapılara sahip sorunlu yerlerde izleme.

Obruk ve obruğa eğilimli alanların çitle çevrilmesi ve uyarı levhalarının konulması.

Obrukların oluşturduğu maliyetin bilinmesi için risk altında yaşayanlara riskin boyutları açıklanarak bina, arazi, yatırım ve tarımsal ürünlerde riskin dağıtılması ve meydana gelebilecek zararın azaltılması için sigorta kavramının geliştirilmesi ve uygulanması

Obruk riskli alanlarda riskin mülkiyet ve tapu kayıtlarına işlenmesi

Halk ve karar vericiler arasında obruk oluşumunun tehlikesini ve oluşturacağı sorunları anlamaya yönelik eğitim programları (Buskirk vd., 1999).

DEĞİNİLEN BELGELER

- Akıl, B., 2008, İnönü–Eskişehir Fay Sistemi'nin Günyüzü (Eskişehir)–Yeniceoba (Konya-Türkiye) Arasındaki Bölümünün Yapısal Evrimi, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, 126 s.
- Alagöz, C., 1967. Sivas çevresi ve doğusunda jips karstı olayları, 175. Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Yayını, 126s.
- Alsharhan, A.S. and Kendall, C.G. St. C., 2003, Holocene coastal carbonates and evaporites of the southern Arabian Gulf and their ancient analogues. Earth-Science Reviews, 61, 191– 243.
- Anderson, N.L., Hinds, R.C., 1997, Glacial loading and unloading: a possible cause of rock salt dissolution in the western Canada basin. Carbonates Evaporites 12, 43–52.
- Andrejchuk, V., 2002, Collapse above the world's largest potash mine (Ural, Russia). Int. J. Speleol. 31, 137–158.
- Andrejchuk, V., Klimchouk, A., 2002, Mechanisms of karst breakdown formation in the gypsum karst of the Fore-Ural region, Russia (from observations in the Kungurskaja Cave). Implication of speleological studies for karst subsidence hazard assessment. Int. J. Speleol. 31, 89–114.
- Annable, W.K., 2003, Numerical analysis of conduit evolution in karstic aquifers. Univ. of Waterloo PhD thesis, 139 pp.
- Arik, F., 2018, Obruklar, Orta Anadolu'da Obruk Oluşumları ve Çözüm Önerileri, Maden ve İnsan Dergisi, ETKB, Maden İşleri Genel Müd. Bülteni, 1, 3, 46-53.
- Arik, F., 2019, Evaporitler, Endüstriyel Hammaddeler (Ders Notları), Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve doğa Bilimleri Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Konya, 132s.
- Arik, F., Delikan, A., Göçmez, G., Özen, Y., 2020a, "Karapınar (Konya) Çevresinde Obruk Alanlarının Tespit Edilmesi" Projesi Kapsamında Jeolojik Çalışmalar Projesi (No: 2020K14-138637-1), T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Konya İl Afet Ve Acil Durum Müdürlüğü, 164 S.
- Arik, F., Delikan, A., Özen Y., 2020b, "BOTAŞ - Boru Hattı Tuz Gölü Güneyi Gömülü Risk Alanlarının Araştırılması Projesi (GRAP) Faz-2", BOTAŞ Genel Müdürlüğü, Etüt ve Proje Daire Başk., 443 s.
- Arik, F., Delikan, A., Göçmez, G., Kansun, G., Döyen, A., Coşkun, B., Dülger, A., 2021, "Ereğli, Halkapınar, Emirgazi, Karatay, Çumra, Selçuklu ve Meram (Konya) Çevresinde Obruk Alanlarının Tespit Edilmesi" Projesi Kapsamında Jeolojik Çalışmalar Projesi (No: 2020K14-138637-1), T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Konya İl Afet Ve Acil Durum Müdürlüğü, 430 s

- Arik, F., 2022, Dünya'da ve Türkiye'de Obruk Oluşumları; Tanım, Sınıflandırma ve Oluşum Koşulları, Farklı Yaklaşımlarla Madenler Ve Değerli Taşlar, (Eds: O. Kavak; Y.K. Haspolat), Orient Publications: 123; 158-192.
- Atapour, H., Aftabi, A., 2002, Geomorphological, geochemical and geo-environmental aspects of karstification in the urban areas of Kerman city, southeastern Iran. *Environ. Geol.* 42, 783–792.
- Aubrecht, R., Lánczos, T., Gregor, M., Schlögl, J., Smída, B., Brewer-Carías, Ch., Vlcek, L., 2011, Sandstone caves on Venezuelan tepuis: return to pseudokarst? *Geomorphology* 132, 351–365.
- Autin, W.J., 2002, Landscape evolution of the Five Islands of south Louisiana: scientific policy and salt dome utilization and management. *Geomorphology* 47, 227–244.
- Babel, M. and Schreiber, B.C., 2014, Geochemistry of Evaporites and Evolution of Seawater, In book: *Treatise on Geochemistry*, 2nd ed., v9. Sediments, Diagenesis, and Sedimentary Rocks Edition: 2nd Chapter 9.17. Publisher: Elsevier, Ed. (F. T. Mackenzie) DOI: 10.1016/B978-0-08-095975-7.00718-X, 484-548.
- Barton, N. and Stephansson, O. (eds), 1990, *Rock Joints*, A.A. Balkema, Rotterdam, 994 pp.
- Bayarı, C.S., Özyurt, N.N., Klimchouk, A., Törk, K. and Nazik, L., 2016, Evidence of Hypogenic Karst Development in The Taurus Mountain Range, Turkey, *Deepkarst*, Conference paper, 67-71.
- Beck, B.F., Zhou W., 2002, Management of the discharge and quality of highway stormwater runoff in karst areas, Report for Federal Highway Administration under Contract DTFH61-93-R-00183. U.S. Department of Transportation, Washington
- Bock, E., 2011, On the solubility of anhydrous calcium sulphate and of gypsum in concentrated solutions of sodium chloride at 25°C, 30°C, 40°C, and 50°C, *Canadian Journal of Chemistry* 39(9):1746-1751
- Bollen, W.M., 1954, Thermal decomposition of calcium sulfate, *Retrospective Theses and Dissertations*. 13319, Iowa State University, 193 pp.
- Bonacci, O., Roje-Bonacci, T., 2008, Water losses from the Ričice reservoir in the Dinaric karst. *Eng. Geol.* 99, 121–127.
- Bonacci, O., Rubinić, J., 2009, Water losses from a reservoir built in karst: the example of the Boljuncica reservoir (Istria, Croatia). *Environ. Geol.* 58, 339–345.
- Bonetto, S., Fiorucci, A., Fornaro, M., Vigna, B., 2008, Subsidence hazards connected to quarrying activities in a karst area: the case of the Moncalvo sinkhole event (Piedmont, NW Italy). *Estonian J. Earth Sci.* 57, 125–134.

- Bruthans, J., Filippi, M., Zare, M., Churácková, Z., Asadi, N., Fuchs, M., Adamovic, J., 2010, Evolution of salt diapir and karst morphology during the last glacial cycle: effects of sea-level oscillation, diapir and regional uplift, and erosion (Persian Gulf, Iran). *Geo- morphology* 121, 291–304.
- Buskirk, E.D., Pavelk, M.D., Strasz, R., 1999, Education about and management of sinkholes in karst areas: initial efforts in Lebanon. In: Beck BF (ed) *Hydrogeology and engineering geology of sinkholes and karst. Proceedings of the Seventh Multidisciplinary Conference on Sinkholes and the Engineering and Environmental Impacts of Karst. Harrisburg/Hershey, Pennsylvania*, 263–266
- Buttrick, D.B., Trollip, N.Y.G., Watermeyer, R.B., Pieterse, N.D., Gerber, A.A., 2011, A performance based approach to dolomite risk management. *Environ. Earth Sci.* 64, 1127–1138.
- Calaforra, J.M. and Pulido-Bosch, A. (1999) Gypsum karst features as evidence of diapiric processes in the Betic Cordillera, Southern Spain. *Geomorphology*, 19, 251–64.
- Calaforra, J.M., 1998. *Karstología de yesos*. Universidad de Almería, Spain, (389 pp.).
- Calò, F., Parise, M., 2009, Waste management and problems of groundwater pollution in karst environments in the context of a post-conflict scenario: the case of Mostar (Bosnia Herzegovina). *Habitat Int.* 33 (1), 63–72.
- Canik, B., Çörekçioğlu, İ., 1985, The Formation Of Sinkholes (Obruk) Between Karapınar and Kızören – Konya, *Karst Water Resources (Proceedings of the Ankara - Antalya Symposium, July 1985)*. IAHS Publ.no. 161, pp. 193-105.
- Carpenter, M.C., and Bradley, M.D., 1986, Legal perspectives on subsidence caused by ground-water withdrawal in Texas, California, and Arizona, U.S.A.: *International Symposium on Land Subsidence, 3rd, Venice, 1984*, [Proceedings, Johnson, A.I., Carbognin Laura, and Ubertini, L., eds.], *International Association of Scientific Hydrology Publication* 151, p. 817–828.
- Chen, J., 1988, Karst collapse in cities and mining areas, China. *Environ. Geol. Water Sci.* 12, 29–35.
- Chen, Z., Auler, A.S., Bakalowicz, M., Drew, D., Griger, F., Hartmann, J., Jiang, G., Moosdorf, J., Richts, A., Stevanovic, Z., Veni, G. and Goldscheider, N., 2017, The World Karst Aquifer Mapping project: concept, mapping procedure and map of Europe. *Hydrogeol J* 25, 771–785 <https://doi.org/10.1007/s10040-016-1519-3>
- Closson, D., Karaki, N.A., 2009, Salt karst and tectonics: sinkholes development along tension cracks between parallel strike-slip faults, Dead Sea, Jordan. *Earth Surf. Process. Landf.* 34, 1408–1421.

- Closson, D., Karaki, N.A., Milisavljevic, N., Hallot, F., Acheroy, M., 2010, Salt-dissolution induced subsidence in the Dead Sea area detected by applying interferometric techniques to ALOS Palsar Synthetic Aperture Radar images. *Geodin. Acta* 23, 65–78.
- Closson, D., LaMoreaux, P.E., Abou-Karaki, N., al-Fugha, H., 2007, Karst system developed in salt layers of the Lisan Peninsula, Dead Sea, Jordan. *Environ. Geol.* 52, 155–172.
- Colvee, P., 1973. Cueva en cuarcitas del Cerro Autana, Territorio Federal Amazonas. *Bol. Soc. Ven. Espeleol.*, 4: 5-13.
- Cooper, A.H., Gutiérrez, F., 2013. Dealing with gypsum karst problems: hazards, environmental issues and planning. In: Frumkin, A. (Ed.), *Treatise on Geomorphology Karst Geomorphology*. vol. 6. Elsevier, Amsterdam, pp. 451–462.
- Cooper, J.D., Keller, M., 2001, Paleokarst in the Ordovician of the southern Great Basin, USA: implications for sea-level history. *Sedimentology* 48, 855–873.
- Correa Neto, A.V., 2000, Speleogenesis in quartzite in southeastern Minas Gerais, Brazil, in *Speleogenesis; Evolution of Karst Aquifers* (eds A.V. Klimchouk, D.C. Ford, A.N. Palmer and W. Dreybrodt), National Speleological Society of America, Huntsville, AL, pp. 452–7.
- Davis, A.D., Rahn, P.H., 1997, Karstic gypsum problems at waste water stabilization sites in the Black Hills of South Dakota. *Carbonates Evaporites* 12, 73–80.
- Day, M.J., 1983, Doline morphology and development in Barbados. *Annals of the Association of American Geographers*, 73(2), 206–19.
- De Bruyn, I.A., Bell, F.G., 2001, The occurrence of sinkholes and subsidence depressions in the Far West Rand and Gauteng Province, South Africa, and their engineering implications. *Environ. Eng. Geosci.* 7, 281–295.
- De Waele J., 2010, Teaching resources in speleology and karst: a valuable educational tool. *International Journal of Speleology*, 39 (1),29-33. Bologna (Italy). ISSN 0392-6672.
- De Waele, J., Piccini, L., Columbu, A., Madonia, G., Vattano, M., Calligaris, C., D'Angeli, I.M., Parise, M., Chiesi, M., Sivelli, M., Vigna, B., Zini, L., Chiarini, V., Sauro, F., Drysdale, R., Forti, P., 2017, Evaporite karst in Italy: a review. *Int. J. Speleol.* 46 (2), 137–168.
- Deere, D.U., and Miller, R.P., 1966, Engineering classification and index properties for intact rock, Technical Report No. AFNL-TR-65-116-, Air For Weapons Laboratory, New Mexico.
- Del Prete, S., Di Crescenzo, G., Santangelo, N., Santo, A., 2010, Collapse sinkholes in Campania (southern Italy): predisposing factors, genetic hypothesis and susceptibility. *Z. Geomorphol.* 54, 259–284.

- Doğan, U. and Yesilyurt, S., 2004, Gypsum karst south of Imranli, Sivas, Turkey. *Cave and Karst Science*, 31(1), 7–14.
- Doğan, U., Çiçek, I., 2002, Occurrence of cover-collapse sinkholes in the May Dam reservoir area (Konya, Turkey). *Cave and Karst Sci.* 29, 111–116.
- Doğan, U., Özel, S., 2005. Gypsum karst and its evolution east of Hafik (Sivas, Turkey). *Geomorphology* 71 (3), 373–388. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2005.04.009>. Doğan ve Yeşilyurt, 2019
- Doğan, U., Koçyiğit, A., and Gökkaya, E., 2017, Development of the Kembos and Eynif structural poljes: Morphotectonic evolution of the Upper Manavgat River basin, central Taurides, Turkey. *Geomorphology*, 278, 105-120.
- Doğan, U., Koçyiğit, A., ve Yeşilyurt, S., 2019, The relationship between Kestel Polje system and the Antalya tufa plateau: Their morphotectonic evolution in Isparta Angle, Antalya-Turkey. *Geomorphology*, 334, 112-125.
- Doğan, U., Yeşilyurt, S., 2019, Gypsum karst landscape in the Sivas basin. In: Kuzucuoğlu, C., Çiner, A., Kazancı, N. (Eds.), *Landscapes and Landforms of Turkey*. Springer International Publishing, Cham, pp. 197–206 https://doi.org/10.1007/978-3-030-03515-0_6.
- Doğan, U., Yeşilyurt, S., Mutlu, G., Koçyiğit, A., 2022, Sivas Jips Karstındaki Taban Seviyesi Polyeleri, Türkiye, *Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi*, 9, 19-37
- Doğan, U., Yilmaz, M., 2011, Natural and induced sinkholes of the Obruk Plateau and Karapınar–Hotamis Plain, Turkey. *J. Asian Earth Sci.* 40, 496–508.
- Dougherty, P., 2005, Sinkhole destruction of Corporate Plaza, Pennsylvania. In: Waltham, T., Bell, F., Culshaw, M. (Eds.), *Sinkholes and Subsidence*. Springer, Chichester, pp. 304–308.
- Dreiss, S.J., 1982, Linear Kernels for karst aquifers. *Water Resources Research*, 18(4), 865–76.
- Dreybrodt, W., 1996a, Principles of early development of karst conduits under natural and man-made conditions revealed by mathematical analysis of numerical models. *Water Resources Research*, 32, 2923–35.
- Dreybrodt, W., 1996b, Chemical kinetics, speleothem growth and climate, in *Climate Change the Karst Record* (ed. S.-E. Lauritzen), Special Publ. 2, Karst Waters Institute, Charles Town, WV, 23–5.
- Dreybrodt, W., Romanov, D., Kaufmann, G., 2009, Evolution of isolated caves in porous limestone by mixing of phreatic water and surface water at the water table of unconfined aquifers: a model approach. *J. Hydrol.* 376, 200–208.
- Dublyansky, V.N. and Kiknadze, T.Z., 1983, *Hydrogeology of Karst of the Alpine Folded Region of the South of the U.S.S.R.*, Nauka, Moscow, 125 pp. [in Russian.]

- Dunham, R.J., 1962, Classification of carbonate rocks according to depositional texture. In: W.E.HAM (editor), Classification of Carbonate Rocks. Assoc. Petroleum Geologists, Tulsa, Okla., ppb108-121.
- Eaton, G.P., Peterson, D.L., and Schumann, H.H., 1972, Geophysical, geohydrological, and geochemical reconnaissance of the Luke salt body, Central Arizona: U.S. Geological Survey Professional Paper 753, 28 p.
- Ege, J.R., 1984, Mechanisms of surface subsidence resulting from solution extraction of salt. Geological Society of America. Rev. Eng. Geol. 6, 203–221.
- Ekmekçi, M., 2003, Review of Turkish karst with emphasis on tectonic and paleogeographic controls, Acta Carsologica, 32-2, 205-218.
- Embry, A.F. and Klovan, J.E., 1971, A late Devonian reef tract on northeastern Banks Island, N.W.T. Bulletin of Canadian Petroleum Geology 19(4): 730–781.
- Eren, Y., Parlar, Ş. ve Coşkun, B., 2020, Konya Valiliği İl Afet Ve Acil Durum Müdürlüğü "Karapınar Çevresinde Obruk Alanlarının Belirlenmesi Projesi", Yer Hareketleri Grubu Final Raporu, 193 s.
- Erol, O., 1987, Konya - Karapınar Kuzeybatısındaki Obrukların Jeomorfolojik Gelişimi ile Konya ve Tuz Gölü Pleistosen Plüviyal Gölleri Arasındaki İlişkiler, İ.Ü. Deniz Bilimleri ve Coğrafya Enst. Bülteni, 7s.
- Erol, O., 1991, The Relationship Between the Development of the Konya- Karapınar Obruks and the Pleistocene Tuz Gölü and Pluvial Lakes, Türkiye Deniz Bilim. Ve Coğr. Enst. Bült., 7., 5-49, İstanbul.
- Ferrara, J., 2020, Surprise Sinkhole, <https://scienceworld.scholastic.com/issues/2019-20/031620/surprise-sinkhole.html>, Illustrated by Kate Francis, Erişim Tarihi, 3 Nisan 2020
- Fidelibus, M.D., Gutiérrez, F., Spilotro, G., 2011, Human-induced hydrogeological changes and sinkholes in the coastal gypsum karst of Lesina Marina area (Foggia Province, Italy). Eng. Geol. 118, 1–19.
- Fleury, S., 2009, Land use policy and practice on karst terrains. Living on Limestone Springer, (187 pp.).
- Folk, R.L., 1959, Practical petrographic classification of limestones. Bull. AAPG. 43 (1).
- Folk, R.L., 1968, Petrology of Sedimentary Rocks. Hemphills Austin, Texas, USA. 170 s.
- Ford, D., and Williams, P., 2007, Karst Hydrogeology and Geomorphology, 2nd Edition, John Wiley & Sons Ltd., 562 p.
- Folk, R.L., 1962, Spectral subdivision of limestone types. Memoirs, American Association of Petroleum Geologists, 1, 62–84.
- Foose, R.M., 1953, Ground-water behaviour in the Hershey Valley, Pennsylvania. Bull. Geol. Soc. Am. 64, 623–645.

- Ford, D.C., 1971a, Characteristics of limestone solution in the southern Rocky Mountains and Selkirk Mountains, Alberta and British Columbia. *Canadian Journal of Earth Science*, 8(6), 585–609.
- Ford, D.C. and Williams, P.W., 1989, *Karst Geomorphology and Hydrology*, Unwin Hyman, London, 601 pp.
- Ford, D.C. and Williams, P., 2007, *Karst Hydrogeology and Geomorphology*, 2nd Edition, John Wiley and Sons Ltd., 562 p.
- Freeze, R.A. and Cherry, J.A., 1979, *Groundwater*, Prentice-Hall, New Jersey, 604 pp.
- Frumkin, A., 1996, Uplift rate relative to base-levels of a salt diapir (Dead Sea Basin, Israel) as indicated by cave levels, in *Salt Tectonics* (eds G.I. Alsop, D.J. Blundell and I. Davison), Special Publication 100, Geological Society Publishing House, Bath, pp. 41–7.
- Frumkin, A., 2013, Salt karst. In: Frumkin, A. (Ed.), *Treatise on Geomorphology Karst Geomorphology*, vol. 6. Elsevier, Amsterdam, pp. 407–424.
- Frumkin, A., Ezersky, M., Al-Zoubi, A., Akkawi, E., Abueladas, A.R., 2011, The Dead Sea sinkhole hazard: geophysical assessment of salt dissolution and collapse. *Geomorphology* 134, 1102–1117.
- Galan, C. (ed.), 1995, Exploracion y estudio de cavidades en rocas siliceas Precamblicas del Grupo Roraima, Guayana Venezolana: una sintesis actual. *Karaitza*, 4, 1–52.
- Galloway, D., Jones, D. R. and Ingebritsen, S. E., 1999, Sinkholes, West-Central Florida A link between surface water and ground water, In *Land Subsidence in the United States*, U.S. Geological Survey Circular 1182, 121-140. (<https://pubs.usgs.gov/circ/circ1182/>)
- Gams, I., 1973a, Slovenska kraska terminologija (Slovene karst terminology), *Zveza Geografskih Institucij Jugoslavije*, Ljubljana.
- Gams, I., 1991a, The origin of the term karst in the time of transition of karst (kras) from deforestation to forestation, *Proceedings of the International Conference on Environmental Changes in Karst Areas (IGU/UIS)*, Quaderni del Dipartimento di Geografia 13, Universita di Padova, pp. 1–8.
- Gams, I., 2003, *Kras v Sloveniji v prostoru in času*, Založba ZRC, ZRC SAZU, Ljubljana, 516 pp.
- García-Moreno, I., Mateos, R.M., 2011, Sinkholes related to discontinuous pumping: susceptibility mapping based on geophysical studies. The case of Crestatx (Mallorca, Spain). *Environ. Earth Sci.* 64, 523–537.
- Gökkaya, E. and Tunçel, E., 2019, Natural and human-induced subsidence due to gypsum dissolution: a case study from Inandik, central Anatolia, Turkey. *Journal of Cave and Karst Studies*, 81, 4, 221-232, <http://dx.doi.org/10.4311/2019ES0105>

- Gökkaya, E., Gutiérrez, F., Ferk, M., Görüm, T., 2021, Sinkhole development in the Sivas gypsum karst, Turkey, *Geomorphology* 386 (2021) 107746, <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2021.107746>.
- Goldscheider, N., et al. 2020, *Global distribution of carbonate rocks and karst water resources*. *Hydrogeology Journal*, 28, pp. 1661-1677.
- Gongyu, L., Wanfang, Z., 1999, Sinkholes in karst mining areas in China and some methods of prevention. *Eng. Geol.* 52, 45–50.
- Grabau, A. W., 1920, *Geology of the Non-metallic Mineral Deposits Other Than Silicates. Principles of Salt Deposition*, vol. 1, pp. 1–435. New York: McGraw-Hill.
- Guerrero, J., Guerrero, G., Desir, G., Desir, C., Roqué, C., Fabregat, I., 2019, The episodic rise, net growing rate and kinematics of radial faults of the Salinas de Oro diapir using paleoseismological techniques (NE Spain). *Salt upwelling versus karstic subsidence. Geomorphology*, 2019, 342: 210-222.
- Guilbert, J.M. and Park, C.F., 1986, *The Geology of Ore Deposits*, W.H. Freeman and Co., 985 pp .
- Gutiérrez, F., Calaforra, J.M., Cardona, F., Ortí, F., Duran, J.J., Garay, P., 2008, Geological and environmental implications of evaporite karst in Spain. *Environ. Geol.* 53, 951–965.
- Gutiérrez, F., Cooper, A.H., 2002, Evaporite dissolution subsidence in the historical city of Calatayud, Spain: damage appraisal and prevention. *Nat. Hazards* 25, 259–288.
- Gutiérrez, F., Cooper, A.H., Johnson, K.S., 2008b, Identification, prediction and mitigation of sinkhole hazards in evaporite karst areas, *Environmental Geology*, 53:1007–1022, DOI 10.1007/s00254-007-0728-4
- Gutiérrez, F., Fabregat, I., Roqué, C., Carbonel, D., Guerrero, García-Hermoso, J., Mario Zarroca, F., Linares, R., 2016, Sinkholes and caves related to evaporite dissolution in a stratigraphically and structurally complex setting, Fluvia Valley, eastern Spanish Pyrenees. Geological, geomorphological and environmental implications, *Geomorphology* 267 (2016) 76–97
- Gutiérrez, F., Galve, J.P., Guerrero, J., Lucha, P., Cendrero, A., Remondo, J., Bonachea, J., Gutiérrez, M., Sánchez, J.A., 2007, The origin, typology, spatial distribution, and detri- mental effects of the sinkholes developed in the alluvial evaporite karst of the Ebro River valley downstream Zaragoza city (NE Spain). *Earth Surf. Process. Landf.* 32, 912–928.
- Gutiérrez, F., Guerrero, J., Lucha, P., 2008a, A genetic classification of sinkholes illustrated from evaporite paleokarst exposures in Spain, *Environmental Geology*, 53, 993–1006, DOI 10.1007/s00254-007-0727-5

- Gutiérrez, F., Parise, M., DeWaele, J., Jourde, H., 2014, A review on natural and human-induced geohazards and impacts in karst, Earth-Science Reviews 138 (2014) 61–88
- Harraz, H.S., 2016, Evaporite Salt Deposits, Lecture Notes (presentation), Tanta University, Egypt, 71 pp.
- He, K., Liu, C., Wang, S., 2003, Karst collapse related to over-pumping and a criterion for its stability. Environ. Geol. 43, 720–724.
- He, K., Yu, G., Lu, Y., 2009, Palaeo-karst collapse pillars in northern China and their dam-age to the geological environments. Environ. Geol. 58, 1029–1040.
- Helvacı, C., 2002, Evaporit jeolojisi ve Türkiye Borat Yatakları, MTA-JMO Kurs Notları, JMO yayını, 76 s.
- Hiler, M. and Grewe, L., 2021, Grewe A daytime look at a major sinkhole in a north Springs neighborhood (Les Anderson), 11News
- https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Dunham_classification_EN.svg, 2023
- <https://foundationtechs.com/major-sinkhole-signs>, 2023
- <https://imb.cu.edu.tr>, 2023
- <https://thesinkholeguay.com/sinkhole-repair-methods>, 2023
- <https://www.aa.com.tr/tr/turkiye/corumda-olusan-obruk-koyluleri-tedirgin-etti/1095772>, 2018;
- <https://www.aa.com.tr/tr/turkiye/spil-dagindaki-obruk-arastiriliyor/1624610>, 2019
- <https://www.ankaradanhaber.com/genel/ovakent-te-obruk-olustu-h28909.html>, 2018;
- <https://www.bilecikhaber.com.tr/felaket-hic-kimse-anlam-veremedi-334503h.htm>, 2020
- <https://www.birgun.net/haber/afyon-da-sayisi-10-u-bulan-obruklar-tedirginlik-yaratti-onlem-alinmasini-istiyoruz-345831>, 2021
- <https://www.crackedslab.com/blog/do-i-have-signs-of-a-sinkhole-or-foundation-issues/>, 2023
- <https://www.cumhuriyet.com.tr/turkiye/aksarayda-tedirgin-eden-goruntu-10-gun-arayla-2-obruk-olustu-2072061>, 2023
- <https://www.cumhuriyet.com.tr/turkiye/sivasta-tedirgin-eden-goruntu-15-metre-capli-obruk-olustu-2060671>, 2023
- <https://www.dailymotion.com/video/x6m2sp2>, 2018
- https://www.fos.auckland.ac.nz/our_research/karst/gfx/europe_colour_2010.jpg
- <https://www.geographynotes.com/topography/karst-topography/karst-topography-meaning-distribution-and-landforms-geography/2530>

- <https://www.haberturk.com/cankiri-da-inandik-koyu-sakinleri-obruk-olusturdu-172978>, 2017
- <https://www.heliconusa.com/sinkhole-warning-signs>, 2023
- <https://www.hurriyet.com.tr.cennet-cehennem-cocukleri-40613069>, 2017
- <https://www.hurriyet.com.tr/gundem/batmanda-yol-kenarinda-12-metre-derinliginde-obruk-olustu-41174288>, 2019
- <https://www.ichflorida.com/claim-types/sinkhole>, 2023
- <https://www.insaatofis.com>, 2023
- <https://www.mindat.org/...>, 2023
- <https://www.nevsehirkenthaber.com/haber/5460580/kozaklida-ki-dev-obruk-korkutuyor>, 2019
- <https://www.npr.org>
- <https://www.posta.com.tr/yasam/sanliurfada-obruk-panigi-2056415>, 2019
- <https://www.sondakika.com/haber/haber-igdir-erzurum-karayolunda-obruk-gibi-gocuk-4191576/>, 2012
- <https://www.trthaber.com/haber/guncel/denizlide-ay-cekirdegi-tarlasinda-obruk-olustu-html>, 2020
- <https://www.trthaber.com/haber/turkiye/siirtte-bugday-tarlasinda-obruk-olustu-412552.html>, 2019
- <https://www.usgs.gov/media/images/sinkhole-activity-damages-home>, 2023
- <https://www.villages-news.com/2018>
- <https://www.vipadjusting.com/sinkhole-damage>, 2023
- Hyatt, J.A., Jacobs, P.M., 1996, Distribution and morphology of sinkholes triggered by flooding following Tropical Storm Alberto at Albany, Georgia, USA. *Geomorphology* 17, 305–316.
- James, N.P. and Choquette, P.W., 1984, Diagenesis (9). Limestones – the meteoric diagenetic environment. *Geoscience Canada*, 11, 161–94.
- Jassim, S.Z., Jibril, A.S., Numan, N.M.S., 1997, Gypsum karstification in the Middle Miocene Fatha Formation, Mosul area, Northern Iraq. *Geomorphology* 18, 137–149.
- Jennings, J. N., 1985, *Karst geomorphology*, Kateprint Co. Ltd, Oxford, 293 pp
- Johnson, K.S., 2005, Salt dissolution and subsidence or collapse caused by human activities. *Rev. Eng. Geol.* 16, 101–110.
- Johnson, K.S., 2008, Gypsum-karst problems in constructing dams in the USA. *Environ. Geol.* 53, 945–950.

- Johnson, K.S., Collins, E.W., Seni, S.J., 2003, Sinkholes and land subsidence owing to salt dis- solution near Wink, West Texas, and other sites in western Texas and New Mexico. In: Johnson, K.S., Neal, J.T. (Eds.), Evaporite Karst and Engineering/ Environmental Problems in the United States. Oklahoma Geological Survey Circular. 109, pp. 183–195.
- Karabıyıkoglu, M., 2003, Konya Havzasının Geç Kuvaterner Evrimi. İ.Ü. Sosyal Bilimler Enstitüsü Coğrafya Anabilim Dalı. Doktora Tezi.
- Karadoğan, S., 2022, Karst Jeomorfolojisi Ders Notları. Dicle Üniversitesi Ziya Gökalp Eğitim Fakültesi Türkçe ve Sosyal Bilimler Eğitimi Bölümü, Coğrafya Eğitimi Anabilim Dalı, Diyarbakır., 30 s.
- Karunadasa, K.S.P., Manoratne, C.H. Pitawala, H.M.T.G.A. Rajapakse, R.M.G., 2019, Thermal decomposition of calcium carbonate (calcite polymorph) as examined by in-situ high-temperature X-ray powder diffraction, Journal of Physics and Chemistry of Solids, 134, 21-28, ISSN 0022-3697, <https://doi.org/10.1016/j.jpcc.2019.05.023>.
- Kaufmann, O., Quinif, Y., 2002, Geohazard map of cover-collapse sinkholes in the Tournaisis area, southern Belgium. Eng. Geol. 65, 117–124.
- Kawashima, K., Aydan, O., Aoki, T., Kishimoto, I., Konagal, K., Matsui, T., Sakuta, J., Takahashi, N., Teodori, S.-P., Yashima, A., 2010, Reconnaissance investigation on the damage of the 2009 L'Aquila, Central Italy earthquake. J. Earthq. Eng. 14, 817–841.
- Kaymakçı, N., 2001, Sedimentoloji (Ders Notları), Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 55 s.
- Keith, J.H., Bassett, J.L., Duwelius, J.A., 1995, Modification of highway runoff quality by sinkhole drainage structures, Highway 37 improvement project, Lawrence County, Indiana. In: Beck BF (ed) Karst geohazards engineering and environmental problems in Karst Terrane. A. A Balkema, Rotterdam, 273–284
- Kemmerly, P.R., 1980, A time distribution study of doline collapse: framework for predic- tion. Environ. Geol. 3, 123–130.
- Kendall, C., Clement, G.S. and Flood, P., 2011, Classification of Carbonates, In Encyclopedia of Modern Coral Reefs, p 193-198 edited by David Hopley, ISBN 978-90-481-2638-5.
- Keqiang, H., Bin, W., Dunyun, Z., 2004, Mechanism and mechanical model of karst collapse in an overpumping area. Environ. Geol. 46, 1102–1107.

- Khorrami, B., Arik, F., Gündüz, O., 2021, Land deformation and sinkhole occurrence in response to the fluctuations of groundwater storage: an integrated assessment of GRACE gravity measurements, ICESat/ICESat-2 altimetry data, and hydrologic models, *GIScience & Remote Sensing*, 58, 8, 1518–1542, <https://doi.org/10.1080/15481603.2021.2000349>
- Kirkham, R.M., White, J.L., Sares, M.A., Mock, R.G., Lidke, D.J., 2003, Engineering and environmental aspects of evaporite karst in west-central Colorado. In: Johnson, K.S., Neal, J.T. (Eds.), *Evaporite Karst and Engineering/Environmental Problems in the United States*. Oklahoma Geological Survey Circular. 109, pp. 279–292.
- Klimchouk, A.B. and Aksem, S.D., 2000, Gypsum karst in the western Ukraine, in *Present State and Future Trends of Karst Studies* (eds G. Günay, K.S. Johnson, D. Ford and A.I. Johnson), IHP-V, Technical Documents in Hydrology, 49(II), UNESCO, Paris, pp. 67–80.
- Klimchouk, A.B., 2013, Evolution of intrastratal karst and caves in gypsum. In: Shroder, J.F. (Ed.), *Treatise on Geomorphology*. Academic Press, San Diego, pp. 438–450.
- Klimchouk, A.B., Andrejchuk, V., 2005, Karst breakdown mechanisms from observations in the gypsum caves of the western Ukraine: implications for subsidence hazard assessment. *Environ. Geol.* 48, 336–359.
- Klimchouk, A.B., Cucchi, F., Calaforra, J.M., et al. (1996a) Dissolution of gypsum from field observations. *International Journal of Speleology*, 25(3–4), 37–48.
- Klimchouk, A.B., Ford, D.C., Palmer, A.N. and Dreybrodt, W. (eds) (1996c) *Speleogenesis: Evolution of Karst Aquifers*, National Speleological Society Press, Huntsville, AL, 527 pp.
- Klimchouk, A.B., Sauro, U. and Lazzarotto, M. (1996b) 'Hidden' shafts at the base of the epikarstic zone: a case study from the Sette Comuni plateau, Venetian Pre-Alps, Italy. *Cave and Karst Science*, 23(3), 101–7.
- Knight, F.J., 1971, Geologic problems of urban growth in limestone terrains in Pennsylvania. *Bull. Assoc. Eng. Geol.* 8, 91–101.
- Kranjc, A. (ed.), 2001b, *Classical Karst – Contact Karst; a Symposium*. Acta Carsologica, 30(2), 13–164.
- Kranjc, A., 2001a, About the name kras (karst) in Slovenia, *Proceedings of the 13th International Congress of Speleology, Brazilia, Vol. 2*, 140–2.
- Lambrecht, J.L., Miller, R.D., 2006, Catastrophic sinkhole formation in Kansas: a case study. *Lead. Edge* 38, 342–347.
- Lamont-Black, J., Baker, A., Younger, P.L., Cooper, A.H., 2005, Utilising seasonal variations in hydrogeochemistry and excitation-emission fluorescence to develop a conceptual groundwater

- flow model with implications for subsidence hazards: an example from Co. Durham, UK: *Environmental Geology*, 48: 320-335
- Lamoreaux, P.E., Newton, J.G., 1986, Catastrophic subsidence: an environmental hazard, Shelby County, Alabama. *Environ. Geol. Water Sci.* 8, 25-40.
- Li, G.Y., Zhou, W.F., 2015, Karst paleo-collapses and their impacts on mining and the environment in northern China. In: Doctor DH, Land L, Stephenson JB (eds) *Sinkholes and the engineering and environmental impacts of Karst: Proceedings of the fourteenth multidisciplinary conference*, October 5-9.
- Li, J., Zhou, W., 1999, Subsidence in karst mining areas in China and some methods of prevention. *Eng. Geol.* 52, 45-50.
- Liguori, V., Manno, G., Mortellaro, D., 2008, Evaporite karst in Sicily. *Environ. Geol.* 53, 975-980.
- Lokier, S.W. & Al Junaibi, M. 2016, The petrographic description of carbonate facies: are we all speaking the same language? *Sedimentology* 63(7): 1843-1885.
- Lolcama, J.L., Cohen, H.A., Tonkin, M.J., 2002, Deep karst conduits, flooding and sinkholes: lessons for the aggregate industry. *Eng. Geol.* 65, 151-157.
- Lucha, P., Cardona, F., Gutiérrez, F., Guerrero, J., 2008a, Natural and human-induced dissolution and subsidence processes in the salt outcrop of the Cardona Diapir (NE Spain). *Environ. Geol.* 53, 1023-1035.
- Lucha, P., Gutiérrez, F., Guerrero, J., 2008b, Environmental problems derived from evaporite dissolution in the Barbastro-Balaguer Anticline (Ebro Basin, NE Spain). *Environ. Geol.* 53, 1045-1055.
- Mainguet, M., 1972, *Le Modele des Gres: Problemes Generaux*, Institut Geographique National, Paris.
- Maire, R., 1990, *La Haute Montagne Calcaire*. *Karstologia Memoire*, 3, 731 pp.
- McDowell, P., 2005, Geophysical investigations of sinkholes in chalk. In: Waltham, T., Bell, F., Culshaw, M. (Eds.), *Sinkholes and Subsidence*. Springer, Chichester, pp. 313-316.
- McDowell, P.W., Poulson, A.J., 1996, Ground subsidence related to dissolution of chalk in southern England. *Ground Eng.* 29, 29-33.
- Mesescu, A.A., 2011, The Ocnele Mari salt mine collapsing sinkhole. A NATECH breakdown in the Romanian Sub-Carpathians. *Carpathian J. Earth Environ. Sci.* 6, 215-220.
- Milanovic, P.T., 2000, *Geological Engineering in Karst*. Zebra, Belgrade, (347 pp.).
- Muzirafuti, A., Boualoul, M., Barreca, G., Allaoui, A., Bouikbane, H., Lanza, S., Crupi, A., Randazzo, G., 2020, Fusion of Remote Sensing and Applied Geophysics for Sinkholes Identification in Tabular Middle Atlas of Morocco (the Cause of El Hajeb): Impact on the Protection of Water Resource, *Resources*, 9, 51; doi:10.3390/resources9040051

- Myroie, J.E., Carew, J.L., 1990, The flank margin model for dissolution cave development in carbonate platforms. *Earth Surf. Process. Landf.* 15, 413–424.
- Nam, B.H., Kim, Y., 2017, Karst sinkhole detection, characterization, and engineering – A U.S. case study, (University of Central Florida), KGS Spring National Conference 2017 Seoul / Korea, 13 pp.
- Nazik, L. ve Poyraz, M., 2017, Türkiye karst jeomorfolojisi genelini karakterize eden bir bölge: Orta Anadolu Platoları karst kuşağı, *Türk Coğrafya Dergisi* 68 (2017) 43-56
- Nazik, L., 2004, The karst region of Turkey (According to the Morphogenesis and Morphometric Properties), *Proceeding of int. Symp. On Earth System Sciences*, 77-82.
- Nazik, L., 2018, Yeraltı Karanlıklar Dünyasının Gizemli Oluşumları: Mağaralar; Mavi Gezegen, *TMMOB Jeoloji Müh. Odası, Popüler Yerbilimleri Derg.*, 2018, 24, 20-36
- Newton, J.G., 1984, Sinkholes resulting from groundwater withdrawals in carbonate terrains, an overview. *Rev. Eng. Geol. Geol. Soc. Am.* 6, 195–202.
- Nicoletti, P.G., Parise, M., 2002, Seven landslides dams of old seismic origin in southeastern Sicily (Italy). *Geomorphology* 46 (3–4), 203–222.
- Olszak-Humienik, M., Jablonski, M., 2015, Thermal behavior of natural dolomite *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 119, 2239–2248, 2015, <https://doi.org/10.1007/s10973-014-4301-6>
- Orhan, H., 2005, Sedimanter Kayaçlar, Ders Notları, Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Kireçtaşı, Dolomit, Evaporit Sunumları
- Ortega, A.I., Benito-Calvo, A., Pérez-González, A., Martín-Merino, M.A., Pérez-Martínez, R., Parés, J.M., Aramburu, A., Arsuaga, J.L., Bermúdez de Castro, J.M., Carbonell, E., 2013, Evolution of multilevel caves in the Sierra de Atapuerca (Burgos, Spain) and its relation to human occupation. *Geomorphology* 196, 122–137.
- Palmer, A.N., 2007, *Cave Geology*. Cave Books, Dayton, (454 pp.).
- Pando, L., Pulgar, J.A., Gutiérrez-Claverol, M., 2013, A case of man-induced ground subsidence and building settlement related to karstified gypsum (Oviedo, NW Spain). *Environ. Earth Sci.* 68, 507–519.
- Parise, M., 2012, A present risk from past activities: sinkhole occurrence above underground quarries. *Carbonates Evaporites* 27 (2), 109–118.
- Parise, M., Pascali, V., 2003, Surface and subsurface environmental degradation in the karst of Apulia (southern Italy). *Environ. Geol.* 44, 247–256.
- Paulik, F., Paulik, J., and Arnold, M., 1992, Thermal decomposition of gypsum, *Thermochemica Acta*, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam 200 (1992) 195-204

- Pekkan, E., 2004, Konya Kapalı Havzası'nda Karstik Çöküntü Yapıları Olan Obrukların Oluşumunu Etkileyen Hidrojeokimyasal Süreçlerin İncelenmesi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 92 s., Ankara.
- Perry, F., 2016, The biggest city sinkholes around the world – in pictures, <https://www.theguardian.com/cities/gallery/2016/nov/08/biggest-city-sinkholes-fukuoka-around-world-in-pictures>,
- Piccini, L., Mecchia, M., 2009, Solution weathering rate and origin of karst landforms and caves in the quartzite of Auyan-tepui (Gran Sabana, Venezuela). *Geomorphology* 106, 15–25.
- Poyraz, M., Öztürk, M.Z. ve Soykan, A., 2021, Sivas jips karstında dolin yoğunluğunun CBS tabanlı analizi, *Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi*, 67-80
- Rauch, H.W. and White, W.B., 1970, Lithologic controls on the development of solution porosity in carbonate aquifers. *Water Resources Research*, 6, 1175–92.
- Riding, R., 2003, Structure and composition of organic reefs and carbonate mud mounds: concepts and categories. *Earth Science Reviews*, 58(1–2), 233–41.
- Roberts, N., 1982, Age paleoenvironments and climatic significance of Late Pleistocene Konya Lake, Turkey, *Quaternary Research*, 19, 154-171.
- Romanov, D., Gabrovsek, F., Dreybrodt, W., 2003, Dam sites in soluble rocks: a model of increasing leakage by dissolutional widening of fractures beneath a dam. *Eng. Geol.* 70, 17–35.
- Sáinz-García, A.M., Molinero-Huguet, J.J., Saaltink, M.W., 2011, Numerical modeling of coastal aquifer karst processes by means of coupled simulations of density-driven flow and reactive solute transport phenomena. *Carbonates Evaporites* 26 (1), 19–27.
- Satkunas, J., Taminskas, J., Dilys, K., 2006, Geoinicators of changing landscape. An example of karst development in North Lithuania. *Geol. Q.* 50, 457–464.
- Sauro, F., Piccini, L., Mecchia, M., De Waele, J., 2011, Comment on “Sandstone caves on Venezuelan tepuis: Return to pseudokarst?” by R. Aubrecht, T. Lánczos, M. Gregor, J. Schlögl, B. Smída, P. Liscák, Ch. Brewer-Carías, L. Vlcek, *Geomorphology* 197: 190–196. *Geomorphology* 132, 351–365.
- Schumann, H.H., and Cripe, L.S., 1986, Land subsidence and earth fissures caused by groundwater depletion in southern Arizona, U.S.A.: International Symposium on Land Subsidence, 3rd, Venice, 1984, [Proceedings, Johnson, A.I., Carbognin Laura, and Ubertini, L., eds.], International Association of Scientific Hydrology Publication 151, 841–851.
- Shaquor, F., 1994, Hydrogeologic role in sinkhole development in the desert of Kuwait. *Environ. Geol.* 23, 201–208.

- Sharpe, R.D., 2003, Effects of karst processes on gypsum mining. In: Johnson, K.S., Neal, J.T. (Eds.), *Evaporite Karst and Engineering/Environmental Problems in the United States*. Oklahoma Geological Survey Circular. 109, pp. 31–40.
- Siegel, T. C., Belgeri, J. J., and Terry, M. W., 1999, Compaction Grouting versus Cap Grouting for Sinkhole Remediation in East Tennessee. In *Hydrology and Engineering Geology of Sinkholes and Karst*, 157-163.
- Song, K.I., Cho, G.C., Chang, S.B., 2012, Identification, remediation and analysis of karst sinkholes in the longest railroad tunnel in South Korea. *Eng. Geol.* 135–136, 92–105.
- Sonnenfeld, P., 1984, *Brines and Evaporites*, Orlando: Academic Press, 613 pp.
- Sowers, G.F., 1996, *Building on sinkholes: design and construction of foundations in karst terrain*. ASCE Press, New York, 202 pp.
- Sprynskyy, M., Lebedynets, M., Sadurski, A., 2009, Gypsum karst intensification as a consequence of sulphur mining activity (Jaziv field, Western Ukraine). *Environ. Geol.* 57, 173–181.
- Stafford, K.W., Nance, R., Rosales-Lagarde, L., Boston, P.J., 2008, Epigene and hypogene gypsum karst manifestations of the Castile Formation: Eddy County, New Mexico and Culberson County, Texas, USA. *Int. J. Speleol.* 37 (2), 83–98. <https://doi.org/10.5038/1827-806X.37.2.1>.
- Stroudsburg, PA. Sweeting, M.M. and Sweeting, G.S., 1969, Some aspects of the Carboniferous limestone in relation to its landforms with particular reference to N.W. Yorkshire and County Clare. *Recherche Mediterranee*, 7, 201–8.
- Sür, A., 1994, Karstik Yerçekilleri ve Türkiye'den Örnekler, Ankara Üniversitesi Türkiye Coğrafyası Araştırma ve Uygulama Merkezi Dergisi, 3, 1-28, Ankara.
- Swan, C.H., 1978, Middle East. Canals and irrigation problems. *Q. J. Eng. Geol.* 11, 75–78.
- Şentürk, F., 1969, Isotope Techniques Applied to Groundwater Movement In The Konya Closed Basin Turkey, IAEA Contract No:445
- Tapur, T., 1998, Eski Konya Gölü ve Çevresinin Fiziki Coğrafya Özellikleri. S.Ü. Sosyal Bilimler Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi. Yayınlanmamış Konya.
- Tihansky, A.B., 1999, Sinkholes, west-central Florida. In: Galloway, D., Jones, D.R., Ingebritsen, S.E. (Eds.), *Land Subsidence in the United States*. U.S. Geological Survey Circular. 1182, pp. 121–140.
- Tisato, N., Sauro, F., Bernasconi, S.M., Bruijn, R., De Waele, J., 2012, Hypogenic contribution to speleogenesis in a predominant epigenic karst system: a case study from the Venetian Alps, Italy. *Geomorphology* 151–152, 156–163.

- Törk, K., Erduran, B., Yılmaz, N.P., Sülükçü, S., Güner, İ.N., Ateş, Ş., Mutlu, G., Keleş, S., Çınar, A., Demirbaş, Ş., Özerk, O.C., Bulut, A., Sertel, N., Yeleser, L., Avcı, K., Ayva, A., Toksoy, A.T., 2013, Konya Havzası'nda Karstik Çöküntü Alanlarının Belirlenmesi ve Tehlike Değerlendirmesi. MTA Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etütleri Dairesi Başkanlığı, Rapor No.11250, Ankara, 334s.
- Törk, K., Yılmaz, N.P., Sülükçü, S., Keleş, S., Köklü, Ş., Yeleser, L., S., Aykaç, Özerk, Z.R., Acar, C., Savaş, F., Çakır, K., Avcı, K., 2019, Konya Ovası Projesi (KOP) bölgesinde (Konya, Karaman, Aksaray, Niğde) karstik çöküntü alanlarının belirlenmesi ve tehlike değerlendirme projesi (Final Raporu), MTA Genel Müdürlüğü, Rapor No: 263 s., Ankara.
- Ulu, Ü., Ocal, H., Bulduk, A.K., Karakaş, M., Arbas, A., Saçlı, L., Taşkiran, A., Ekmekçi, E., Adır, M., Sözeri, Ş., Karabıyıkoglu, M., 1994, Cihanbeyli- Karapınar yöresi geç Senozoyik çökeltme sistemi: Tektonik ve iklimsel önemi. TJK Bülteni, 9, 149-163.
- Uromeihy, A., 2000, The Lar Dam; an example of infrastructural development in a geologically active karstic region. J. Asian Earth Sci. 18, 25-31.
- Vandycke, S and Quinif, Y., 1998, Live faults in Belgian Ardenne revealed in Rochefort karstic network (Belgium). Terra Nova, 8, 16-19.
- Walker, S.E., Matzat, J.W., 1999, Planning the replacement of the Beards Creek Bridge. Eng. Geol. 52, 35-43.
- Waltham, A.C., Smart, P.L., 1988, Civil engineering difficulties in the karst of China. Q. J. Eng. Geol. 21, 2-6.
- Waltham, T., 2002. Gypsum karst near Sivas, Turkey. Cave Karst Sci. 29 (1), 39-44.
- Waltham, T., 2008, Sinkhole hazard case histories in karst terrains. Q. J. Eng. Geol. Hydrogeol. 41, 291-300.
- Waltham, T., Bell, F. and Culshaw, M., 2005, Sinkholes and Subsidence, Karst and Cavernous Rocks in Engineering and Construction, Springer, 382p.
- Wang, G., You, G., Xu, Y., 2008, Investigation on the Nanjing gypsum mine flooding. In: Liu, H., Deng, A., Chu, J. (Eds.), Geotechnical Engineering for Disaster Mitigation and Rehabilitation. Springer-Verlag, Berlin, pp. 920-930.
- Warren, J.K., 2006, Evaporites. Sediments, Resources and Hydrocarbons. Springer, Berlin, (1035 pp.).
- Warren, J.K., 2010, Evaporites through time: Tectonic, climatic and eustatic controls in marine and nonmarine deposits, Earth-Science Reviews 98 (2010) 217-268
- Warren W. W., 2021, A Conceptual Overview of Surface and Near-Surface Brines and Evaporite Minerals, Groundwater Project, Guelph, Ontario, Canada, 2021, 30 pp.
- White, E.L., Aron, G., White, W.B., 1986, The influence of urbanization on sinkholes development in Central Pennsylvania. Environ. Geol. Water Sci. 8, 91-97.

- White, W.B., 1976, Cave minerals and speleothems, in *The Science of Speleology* (eds T. D. Ford and C.H.D. Cullingford), Academic Press, London, pp. 267–327.
- Williams, P.W., 1971, Illustrating morphometric analysis of karst with examples from New Guinea. *Zeitschrift für Geomorphologie* 15: 40–61.
- Williams, P.W., 1972, Morphometric analysis of polygonal karst in New Guinea. *Geological Society of America Bulletin* 83: 761–796.
- Williams, P.W., 2008, The role of the epikarst in karst and cave hydrogeology: a review. *Int. J. Speleol.* 37, 1–10.
- Wray, R.A.L., 1997, A global review of solutional weathering forms on quartz sandstones. *Earth Sci. Rev.* 42, 137–160.
- Xu, W., Zhao, G., 1988, Mechanism and prevention of karst collapse near mine areas in China. *Environ. Geol. Water Sci.* 12, 37–42.
- Yechieli, Y., Abelson, M., Bein, A., Crouvi, O., Shtivelman, V., 2006, Sinkhole “swarms” along the Dead Sea coast: reflection of disturbance of lake and adjacent groundwater systems. *Geol. Soc. Am. Bull.* 118, 1075–1087.
- Yin, S.X., Zhang, J.C., 2005, Impacts of karst paleo-sinkholes on mining and environment in northern China. *Environ. Geol.* 48, 1077–1083.
- Youssef, A.M., Pradhan, B., Sabtan, A.A., El-Harbi, H.M., 2012, Coupling of remote sensing data aided with field investigations for geological hazards assessment in Jazan area, Kingdom of Saudi Arabia. *Environ. Earth Sci.* 65, 120–130.
- Youssef, A.M., Zabramwia, A., Gutiérrez, F., Bahamila, A.M., Otaibid, Z.A., Zahranid, A.J., 2020, Sinkholes induced by uncontrolled groundwater withdrawal for agriculture in arid Saudi Arabia.
- Integration of remote-sensing and geophysical (ERT) techniques, *Journal of Arid Environments*, 177
- Zarei, M., Raeisi, E., Talbot, Ch., 2011, Karst development on a mobile substrate: Konarsiah salt extrusion, Iran. *Geol. Mag.* 149, 412–422.
- Zhao, H.J., Ma, F.S., Guo, J., 2010, Regularity and formation mechanism of large-scale abrupt large collapse in southern China in the first half of 2010. *Nat. Hazards* 60, 1037–1054.
- Zhou, W. And Lei, M., 2017i Conceptual site models for sinkhole formation and remediation, *Environmental Earth Sciences* (2017) 76:818, 12p. <https://doi.org/10.1007/s12665-017-7129-0>
- Zhou, W., Beck, B.F., 2008, Management and mitigation of sinkholes on karst lands: an overview of practical applications. *Environ. Geol.* 55, 837–851.
- Zhou, W.F., 1997, The formation of sinkholes in karst mining areas in China and some methods of prevention. *Environ. Geol.* 31, 50–58.
- Zhu, X., Zhu, D., Zhang, Y.D., Lynch, E., 2013, Tower karst and cone karst. In: *Treatise of Geomorphology. Karst Geomorphology*, vol. 6 (ed. A. Frumkin), San Diego: Academic Press, 327–340.

AFAD[®]

Horozluhan Mah. Yeni İstanbul Cd. No:72/E
42100 Selçuklu/KONYA

Telefon: 0 (332) 322 99 24

0 (332) 322 69 52

Faks : 0 (332) 322 18 50

www.konya.afad.gov.tr

E-Posta : konyamdr@afad.gov.tr