

BOĞSAK KARST KAYNAĞI (MERSİN-TAŞUCU) DOLAYININ KARST VE KARSTLAŞMA ÖZELLİKLERİ

Karst and karstification features of the surrounding area of Boğsak karst spring (Mersin-Taşucu)

Turgut ÖZTAŞ İTÜ Maden Fak. Jeoloji Müh. Böl., İSTANBUL

ÖZ: Bu çalışmada, yurdumuzun en önemli ve geniş karst bölgesini oluşturan "Toros Karst Kuşağı"nın "Orta Toroslar Bölümü"nde yer alan ve "Orojenik Karst Tipi"nin etkin olduğu inceleme alanındaki güncel karst ve karstlaşmayı denetleyen etmenler araştırılarak, sayısal veriler çerçevesinde, bölgesel karst hidrojeolojisinin somut bir modele dayandırılması amaçlanmıştır.

Birinci aşamada, mevcut karstlaşma olayının başlaması ve gelişimi için zorunlu olan birincil etmenlerden kayaç litolojisi ve petrografisi, kimyasal bileşimi ve eriyebilirlik derecesi, boşlukluluk ve geçirimsizlik ile süreksizlik özelliklerini belirten "Köken Araştırması" yapılmış ve bölgesel karstlaşma etkinliği saptanmıştır.

İkinci aşamada, karstlaşma olarak adlandırılan bu oluşum mekanizmasının, iklim ve meteoroloji, bitki örtüsü, jeomorfoloji gibi ikincil etmenlere bağlı olarak süregitmesi nedeniyle günümüzde ulaştığı değişik boyutlardaki karst yapılarının, yer, biçim, boyut, dağılım ve karşılıklı ilişkilerini belirten sayısal "Biçim Araştırması" yapılmıştır.

1/10.000 ölçekli ayrıntılı jeoloji çalışmasını temel alarak yer-uydu fotoğraflarıyla desteklenen ve büyük ölçüde laboratuvar deneylerine dayanan bu çalışmayla elde edilen verilerin sentezi sonunda, karst ve karstlaşma arasındaki etkileşim açığa çıkarılmış ve karstın gelişim modeli kurulmuştur.

ABSTRACT: The study area located in the Taurides Karst Belt and composed of almost all carbonate rocks. Limestones and dolomites identify as soluble rock units, whereas the sandstone-quartzite and claystone-siltstone identify unsoluble rock units. All these rocks contain various closed drainage areas in densely karstified regions with numerically identified linear and areal properties.

The different petrographic properties and chemical compositions of the dolomites, and the microspartic-micritic-sparitic limestones, as found in the relative solubility experiments, which suggest that gives diagenesis took place in the different steps and relatively soluble scale. The primary porosities and permeabilities of these rocks do not practically exist.

Under the light of all collected data, the effect of karstification parameteres on the properties of types and dimensions of the karst landforms in the limestones and dolomites have been investigated in the study area, and also, a karstification model is suggested the explanation of development of the karstification in regional scale.

GİRİŞ

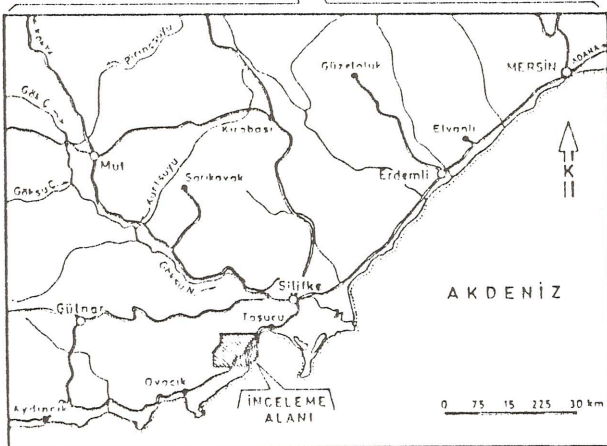
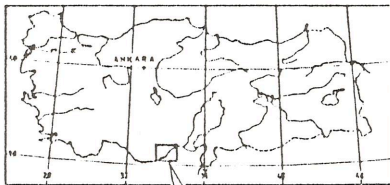
Mersin ili Taşucu bucağının 10 km. B'sındaki Boğsak köyü girişinde yer alan Boğsak karst kaynağı, bazı yıllardaki 10m³/san'lik boşalımı ve 11 ay boyunca süregiden aşırı tuzlu niteliği ile bilimsel ve ekonomik açıdan büyük önem taşır (Şekil 1).

Boğsak kaynağının tuzluluk nedeninin ve sürekli yararlanabilme olanağının araştırıldığı bir tez çalışmasının en ağırlıklı bölümlerinden birisi olan kaynak dolayının karst ve karstlaşma özelliklerinin incelenmesine ait yöntem ve sonuçlar, bu yazının içeriğini oluşturmaktadır (Öztaş, 1989).

TEMEL KAVRAMLAR

Günümüzdeki anlamıyla karst; esas olarak kireçtaşı gibi karbonatlı ve jips gibi sülfatlı bileşimdeki eriyebilir kayaç ve minerallerde, kimyasal ve fiziko-mekanik işlevler etkisinde zamana bağlı olarak gelişen tüm özel yerüstü ve yeraltı drenaj düzeni ile şekillerini belirten jeomorfolojik, jeolojik ve hidrojeolojik bir olgudur. "Karstlaşma" bir olayı, "Karst" ise bu olaya bağlı olarak oluşan bir durumu belirtir. Bu nedenle, karstlaşma olayı incelenirken etkenlerin zaman içindeki karşılıklı ilişkileri ve oluşum mekanizması, karst incelenirken de bu oluşum mekanizmasına bağlı olarak ortaya çıkan tüm biçimsel özellikler araştırılır. Böylece, bir bölgedeki karstlaşma olayına neden olan özellikler (Birincil Etmenler) ve bunların bölgedeki etkinlik derecelerini belirleyen sayısal "Köken Araştırmaları" ile farklı karst oluşuklarına neden olan özellikler (İkincil Etmenler) ve bu oluşumların yer, biçim, boyut, dağılım ve birbiriyle olan ilişkilerini belirleyen sayısal "Biçim Araştırmaları"nın yapılması gerekir (Öztaş, 1982).

Karstlaşma olayının başlaması ve gelişimi için zorunlu olan birincil etmenlerden eriyebilir kayaç varlığı, süreksizliklerarası ilişki gibi jeolojik özellikler ile boşlukluluk, geçirimlilik ve yerüstü-yeraltı drenaj niteliği gibi hidrojeolojik özelliklere inceleme alanında etkin ve yaygın bir şekilde rast-



Şekil 1 İnceleme Alanı Bulduru Haritası.

Figure 1 Location Map.

lanır (Şekil 2). İlkel karst ortamını tanımlayan bu özellikler; fiziksel ayrışma, aşınma, taşınma gibi fiziko-mekanik işlevler ile çözünme, erime ve yeniden kristallenme gibi kimyasal işlevlerin sürekli denetimi altında bölgesel karstı belirler. Karstlaşma başlangıcından bugüne kadar geçen süre içinde ise bölgesel ikincil etmenlere yani, iklim ve meteoroloji, bitki örtüsü, jeomorfoloji gibi etmenlere bağlı olarak güncel karst ortamını oluşturan değişik tür ve boyutlu karst yapıları ortaya çıkar (Şekil 2).

Genel yönleriyle çerçevesi çizilen karstlaşma ve karsta ilişkin özellikler, saha ve büro çalışmaları ile laboratuvar deneylerine dayanılarak, Boğsak kaynağı dolayısı için sayısal olarak belirlenmiştir.

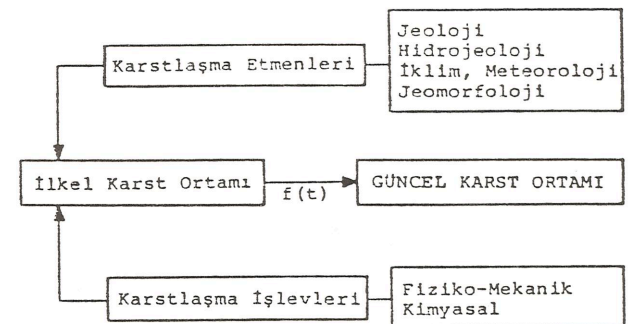
BÖLGESEL KARSTLAŞMA ETMENLERİ

Karstlaşmanın başlaması ve gelişimi için varlığı zorunlu olan jeolojik ve hidrojeolojik etmenler bu bölümde incelenmiştir.

Litolojik ve Petrografik Özellikler

Karstlaşmanın başlaması için varlığı zorunlu olan eriyebilir kayaçlara ait litolojik ve petrografik farklılıklar karstlaşmayı değişik şekillerde etkiler. İnceleme alanındaki eriyebilir kayaçlar, Triyas dışında Silüriyen-Miyosen aralığında yaygın bir şekilde bulunan kireçtaşı ve dolomitler ile bunların geçişli türleridir. Litoloji farklılığı özellikle eriyebilirlik derecesi açısından, mineralojik ve iç doku durumunun anlatımı olan petrografik farklılık ise birincil boşlukluluk ve geçirimlilik durumunu denetlemek açısından karstlaşmayı etkilemektedir.

İnceleme alanındaki kireçtaşlarının Paleozoyik (Alt Silüriyen, Üst Devoniyen, Alt Karbonifer, Üst Permiyen) yaşlı olanlarının hemen hemen tümüyle spartik olmasına karşın, Mesozoyik (Jura, Üst Kretase) ve Tersiyer (Alt Miyosen) yaşlı olanları



Şekil 2 Karstın Oluşum ve Gelişim Düzeni.

Figure 2 Formation and Development System of Karst.

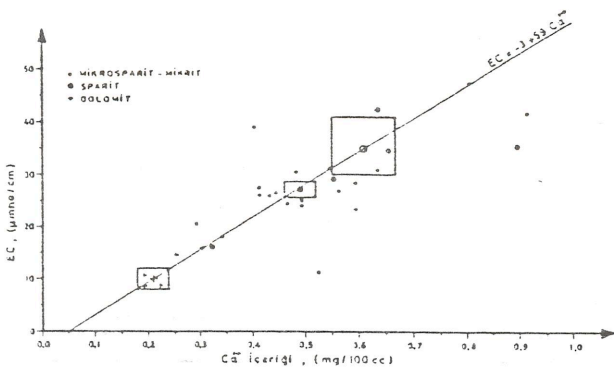
çoğunlukla mikrosparitik ve mikritiktir. Bu durum ve dolomitik oluş, bağıl eriyebilirlik deneyleriyle gösterildiği gibi farklı eriyebilirliğe yol açmaktadır. Özetle söylemek gerekirse, eriyebilirliğin zaman içinde en çoktan en aza gidişi; mikrosparit-mikrit, sparit ve dolomit sırasını izlemektedir. Gerçekten saha çalışmaları sırasında, yüzeysel karst gelişkinliğinin de aynı sırayı izlediği açıkça görülmüştür.

Kimyasal Bileşim ve Bağıl Eriyebilirlik

Karstlaşmanın temelde bir erime olayı olması nedeniyle, kayacın kimyasal bileşimi son derece önemlidir. İnceleme alanındaki eriyebilir kayaçları oluşturan mikritik ve sparitik türden kireçtaşları ile dolomitlerden alınan örneklerin kimyasal analizleri yapılmış ve CaO, MgO, SiO₂, Al₂O₃ ve Fe₂O₃ olarak elde edilen sonuçlardan hareketle CaCO₃ yani kalsit, CaMg (CO₃)₂ yani dolomi ve SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃ toplamı yani erimezler yüzdesi ayrı ayrı hesaplanarak mineralojik bileşen kümeleri belirlenmiştir. Bir genelleme yapılacak olursa; kireçtaşlarının % 88,3-97,8 kalsit % 1,3-3,1 dolomi ve % 0,1-9,9 erimez bileşenli, dolomitlerin ise % 12,5-34,6 kalsit, % 64,8-85,8 dolomi ve % 0,1-1,0 erimez bileşenli olduğu görülür.

Kimyasal ve mineralojik bileşimi belirlenen bölge kayaçları üzerinde, pratik ve son derece çabuk sonuç veren bağıl eriyebilirlik deneyi, yani EC = f (t) değerlendirmesi yapılarak, sağlanan verilerden kalkarak bölgedeki karstlaşma ve karst yapıları arasındaki ilişkinin açığa çıkarılması hedeflenmiştir.

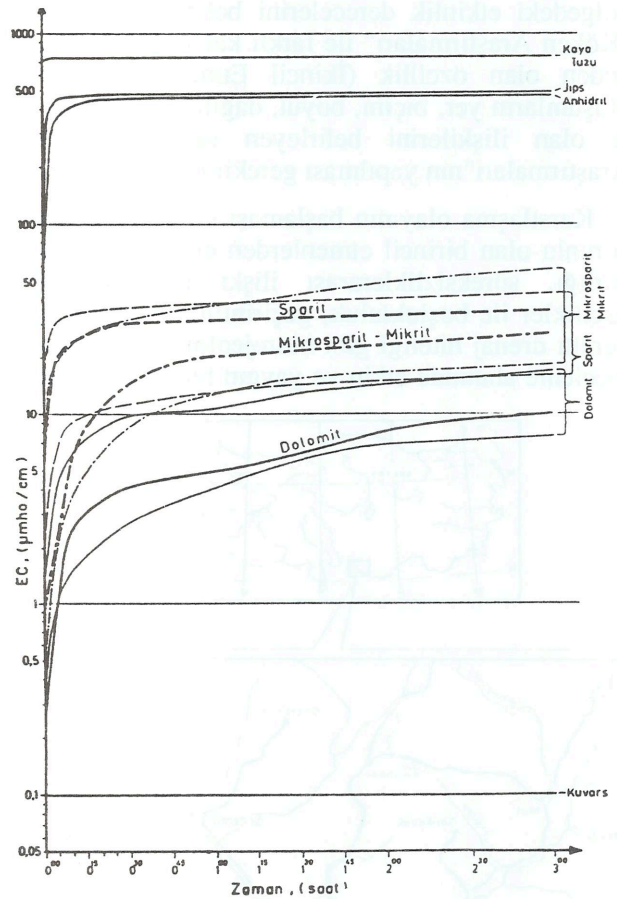
Bağıl eriyebilirlik deneyi, deney koşulları aynı



Şekil 3 Bağıl Eriyebilirlik Deneyine Göre EC = f (Ca⁺⁺) İlişkisi ve İstatistiksel Güvenli Alanlar.

Figure 3 EC = f (Ca⁺⁺) Relationship Due to Relative Solubility Test and Statistically Safety Areas.

kalmak üzere, belirli incelikte öğütülmüş kayaç örneklerinin saf su içinde erimesi sırasında suyun EC değerindeki artışların zamana göre değişiminin kaydedilmesi ve dolaylı yoldan kayaç eriyebilirliğinin belirlenmesidir. Her örnek için önce linear koordinatlarda, daha sonra gruplandırılmış benzer eğrilerin birarada gösteriminin sağlanması amacıyla yarı logaritmik koordinatlarda EC = f (t) eğrileri çizilmiştir. Deney sonunda deney suyu süzülerek ayrılmış ve örneklerden suya geçen Ca⁺⁺ iyonu miktarı bulunarak, bunun EC ile ilişkisini açığa çıkarın EC = f (Ca⁺⁺) grafiği hazırlanmıştır (Şekil 3). Bu grafik, karbonatlı kayaçların eriyebilirlik derecesini gösteren deney suyuna geçmiş Ca⁺⁺ iyonu miktarı ile EC değerleri arasında varolan son derece anlamlı bir ilişki gösterir. Görüldüğü gibi,



Şekil 4 Eriyebilir Kayaç ve Minerallerin Bağıl Eriyebilirlik Sıralamasını Gösteren EC = f (t) Grafikleri (Kalın Eğriler İstatistiksel Ortalamayı Göstermektedir).

Figure 4 EC = f (t) Graphics Reflecting the Relative Solubility Position of the Soluble Rocks and Minerals (Thick Curves Illustrate the Statistical Averages).

dolomit örnekleri düşük Ca^{++} yüzdesi ve buna bağlı olarak düşük EC değeri, mikrit ve spartitler ise yüksek Ca^{++} yüzdesi ve yüksek EC değeri vermektedir. Böylece, bağıl eriyebilirlik deneyi sırasında okunan EC değerlerinin, deney koşulları tüm örnekler için aynı kalmak koşuluyla, kayaların benzer çevre koşullarındaki bağıl eriyebilirliklerini yansıttığı eksinlik kazanmıştır. Elde edilen bağıl eriyebilirlik değerleri, kayacın gerçek sayısal eriyebilirlik değerini değil, kayalar arasındaki oransal sağıl eriyebilirliği, yani hangi kayacın diğerine göre ne oranda daha az veya daha çok eriyebilir olduğunu anlatır. Deney sonunda, mikrosparitik-mikritik, spartitik ve dolomitik oluşa göre farklılık gösteren 3 tip eğri kümesi elde edilmiştir.

Deneyin ilk birkaç dakikası içinde oluşan yüksek erime, mikrosparitmikrit ve spartitler için son derece karakteristiktir. Bu durum ve eğimlerdeki değişimler gözönüne alınarak erime dönemleri ve kayaç türüne göre erimenin gelişimi açığa çıkarılmıştır.

Spartitik ve mikrosparitik-mikritik kireçtaşları ile dolomitlerin, diğer eriyebilir kayaç ve mineralere göre eriyebilirlik sıralamasını belirlemek amacıyla, yine aynı deney koşulları korunarak kayatuzu, jips ve anhidrit üzerinde de deney yapılmış, sağlanan verilerin istatistik değerlerinden hareketle bağıl eriyebilirlik sıralaması eğrileri çizelgesi hazırlanmıştır (Şekil 4, Çizelge 1).

Bağıl eriyebilirlik deneyleri sonunda, inceleme alanındaki temel litoloji birimini oluşturan karbonatların orta ve düşük erimeli oldukları, ayrıca su

ile temas sürelerine göre de değişik fakat özgün erime aşamaları geçirdikleri saptanmıştır. Basit bir genelleme ile karbonatlardaki erimenin ilk 5-10 dakikada birincil, izleyen 20-25 dakikada ikincil ve sonraki temas süresince üçüncül derece etkinlik taşıdığı açığa çıkarılmıştır. Bu durum, yağış tipi ve rejimine ek olarak, yağışın topoğrafya yüzeyinde kalış süresini denetleyen morfoloji ve drenaj modelinin, yüzey ve yeraltı karstını niçin büyük ölçüde etkilediği sorusuna da açık bir yanıt getirmektedir.

Boşlukluluk ve Geçirimsizlik

Karstlaşmanın başlaması ve gelişmesi için zorunlu olan hidrojeolojik özelliklerden boşlukluluk ve geçirimsizlik, suyun fiziko-mekanik ve kimyasal işlevlerinin gerçekleştirilmesini doğrudan denetler.

Laboratuvar deneyleri sonunda, birincil boşlukluluğun mikrosparit-mikritlerde % 0.84, spartitlerde % 1,43 ve dolomitlerde % 1,07 olduğu görülmüştür. Bu düşük değerler, yalnızca kayacın su ile temas süresini az da olsa uzatmak açısından önemlidir ve gerek kayaç yüzeyindeki karstlaşmayı, gerekse şekillenen yüzeysel karst türünü az da olsa etkilemektedir.

Karbonatlı kayaç örneklerinin ortalama birincil geçirimsizlik katsayısı değerleri 10^{-6} - 10^{-9} $cm^3/sn/cm^2$ arasında değişmektedir.

Deneyler, inceleme alanındaki kayaların birincil boşlukluluk ve geçirimsizlik değerlerinin hidrojeolojik açıdan pratik olarak önem taşımadığını, suyun hidrojeolojik ortamlar içindeki hareketinin

Kimyasal Bileşim	Eriyebilir Kayaç ve Mineraller	EC $\mu mho/cm^3/saat$	Eriyebilirlik Ölçeği	Bağıl Eriyebilirlik Sıralaması
Klorürler	Kaya Tuzu	760	1000	Çok Yüksek Erimeli
Sülfatlar	Jips	480	630	Yüksek Erimeli
	Anhidrit	460	600	
Karbonatlar	Spartit	35	50	Orta Erimeli
	Mikrit-Mikrosparit	27	40	
	Dolomit	10	20	Düşük Erimeli
Silikatlar	Kuvars	0,1	0	Erimersiz

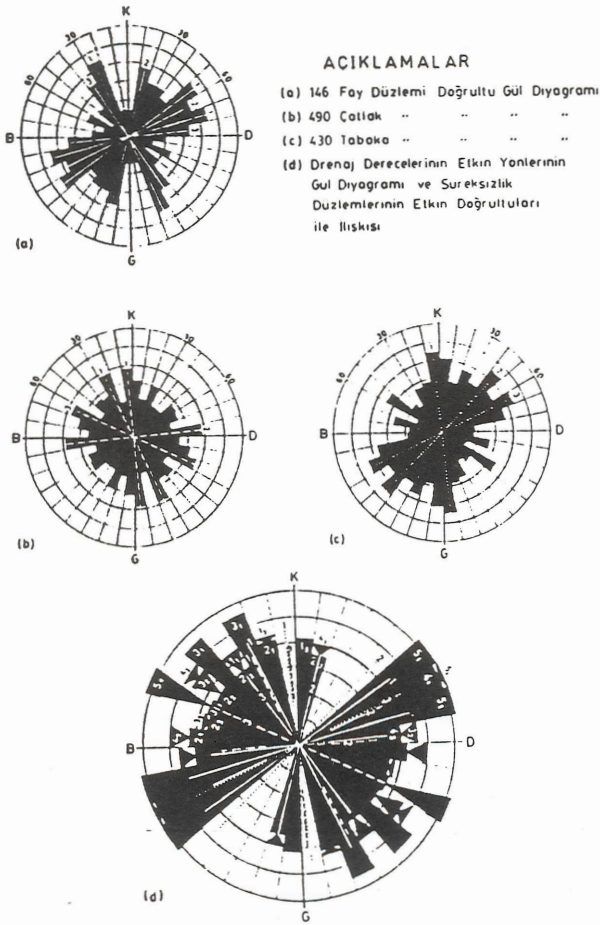
Çizelge 1 Bağıl Eriyebilirlik Deneyi Sonuçlarına Göre Eriyebilir Kayaç ve Minerallerin Bağıl Eriyebilirlik Sıralaması.

Table 1 Relative Solubility Range of Soluble Rocks and Minerals Due to Results of Relative Solubility Tests.

tümüyle oluşum sonrası kazanılan değişik boyutlu süreksizliklerin belirlendiği ortam boşlukluluğuna ve ortam geçirirliğine bağlı olduğunu açıkça kanıtlamaktadır.

Süreksizlik Özellikleri

Karstlaşmanın hidrojeolojik ortam içinde derinliğine gelişimi, temel olarak ikincil (oluşum sonrası) süreksizliklerin varlığına, boyut ve yönelimlerine, varsa süreksizlik içi dolgu malzemesinin cinsine ve süreksizliklerarası ilişki derecesine bağlıdır. Süreksizliklerin varlığı ve açıklıklarının 10^{-3} mm'den büyük olması durumunda, suyun hareketi ancak ilişkili süreksizlikler aracılığıyla sağlanabilir. Bu önkoşulları gerçekleştiren süreksizliklerin ilişki dereceleri ile yönelim ve boyutları,



Şekil 5 Fay, Çatlak ve Tabaka Düzlemlerinin Etkin Yönleri ile Değişik Drenaj Derecelerinin Etkin Yönleri Arasındaki İlişki.

Figure 5 Relationship Between the Effective Directions of Faults, Joints and Beddings and the Effective Directions of Different Drainage Degrees.

ortamdaki suyun dolaşım debisini ve hızını doğrudan, erime-çözünme ve ayrışma işlevlerini ise dolaylı olarak etkiler.

İnceleme alanında; tabakalar, çatlaklar ve faylar şeklinde gruplandırılan süreksizliklerin boyutları, yönelimleri ve dolgu malzemesi üzerine ayrıntılı çalışmalar yapılmış, yüzey drenaj sistemlerini ve dolayısıyla yeraltı drenaj sistemlerini nasıl denetle-

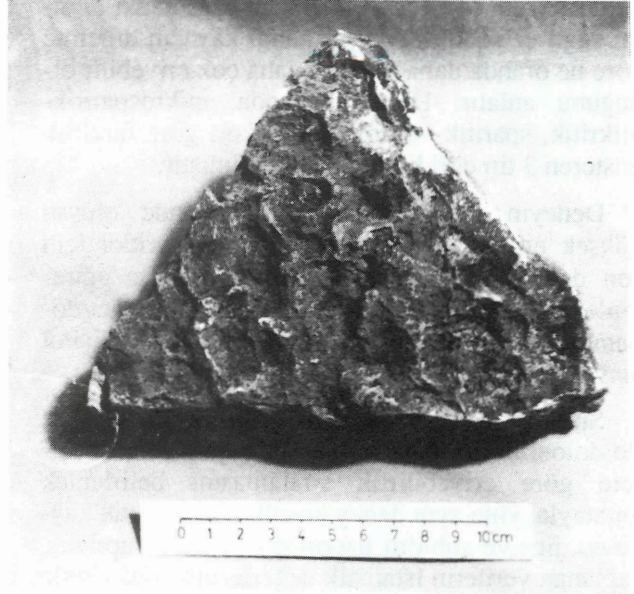


Foto 1 Dolomitlerde Gelişen Tipik Yüzey Karstı.

Photo 1 Typical Surface Karst Developed on Dolomites.

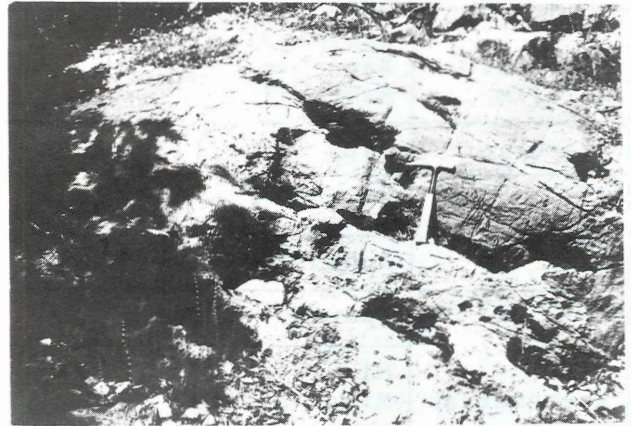


Foto 2 Dolomitlerde Yüzey Karstı ve Süreksizliklerin Kesişme Noktalarında Gelişen Erime Çukurları.

Photo 2 Surface Karst in Dolomites and Solution Holes Developed in Intersecting Points of Discontinuities.

dikleri açığa çıkarılmıştır (Şekil 5). Bu çalışmanın sonuçlarına göre; 1., 2. ve 3. derece drenaj ağlarının gelişiminde, en genç fay sistemini oluşturan KKB-GGD doğrultulu faylar ile genellikle enine çatlaklar karakterindeki KB-GD doğrultulu çatlak sistemleri, 4. ve 5. derece drenaj ağlarının gelişiminde ise en yaşlı fay sistemini oluşturan KDD-GBB doğrultulu faylar son derece etkin bir rol oynamıştır. Tabaka doğrultularının, yüzey drenaj ağlarının gelişiminde önemli bir etkinlik taşımadığı görülmüştür. Bu bulgular, çeşitli derecelerden drenaj ağlarında, yüzeysel akıştan yeraltına geçen suyun yeraltındaki olası akış doğrultusunun ve yeraltı karst yapılarının olası yönlerinin bilinmesi bakımından büyük önem taşır.

İnceleme alanını oluşturan çatlaklı karbonatlı kaya ortamdaki tabaka ve çatlak aralığı değerleri, kireçtaşlarında 0,50 m. ve 0,25 m., dolomitlerde 0,75 m. ve 0,45.'dir. Ayrıca, ortalama 5 cm. açıklıktaki tabaka düzlemlerine dik süreksizliklerin sıklığının kireçtaşlarında 4 ve dolomitlerde 2 olmasına karşı, ortalama 1 cm. açıklıktaki tabaka

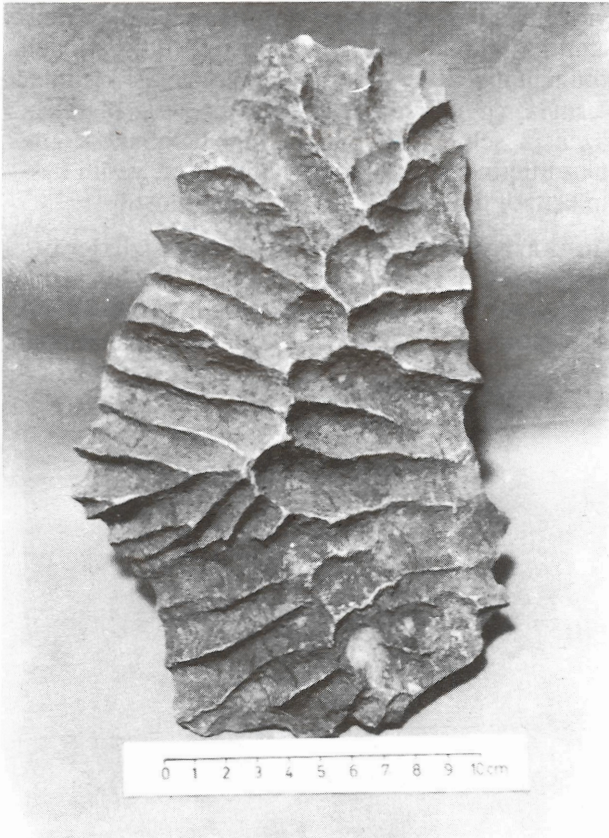


Foto 3 Kireçtaşlarında Tipik Rillenkarren Gelişimi.

Photo 3 Typical Rillenkarren Development on Limestones.

düzlemlerine paralel süreksizliklerin sıklığı kireçtaşlarında 2 ve dolomitlerde ise 1'dir.

Süreksizliklere ilişkin bu değerlendirmeler; yağışın, sıklık ve açıklık değerleri büyük olan tabaka düzlemlerine dik süreksizliklerden başlayarak derinlere doğru yönlendiğini, daha derinlere iniş olanağı kalmadığında da tabaka düzlemlerine paralel olarak hareket ettiğini gösterir. Bu durum, yeraltı su akış yönlerinin tahmininde olduğu kadar, yeraltı karst yapılarının gelişim yönlerinin tahmininde de büyük önem taşımaktadır.

BÖLGESEL KARST VE TÜR-BOYUT ÖZELLİKLERİ

İnceleme alanındaki karstlaşmayı denetleyen etmenlerin zaman içinde oluşturduğu başlıca karst yapılarını karren, obruk ve mağaralar ile dolinler meydana getirir.

Karren (Lapya-Erime Oluğu)

Karren terimi, esas olarak kireçtaşı üzerindeki erime kanalcıklarını tanımlarsa da, günümüzde bu terim, karstlaşmış karbonat kayalarında görülen birçok yüzeysel karst şekli için kullanılır. Uzunlukları ve derinlikleri birkaç milimetreden birkaç metreye kadar olabilir (Sweeting, 1973).

İnceleme alanındaki karren tipleri, dolomitlerde ve kireçtaşlarında farklılık gösterir.

Dolomitlerdeki karst yüzeyi, fissür ve damar ağlarının oluşturduğu sırtlarla birbirinden ayrılmış birkaç santimetre çapındaki küçük erime oyukları şeklindedir (Foto 1). Özellikle açık süreksizliklerin kesişme noktasında gelişmiş erime çukurlarına

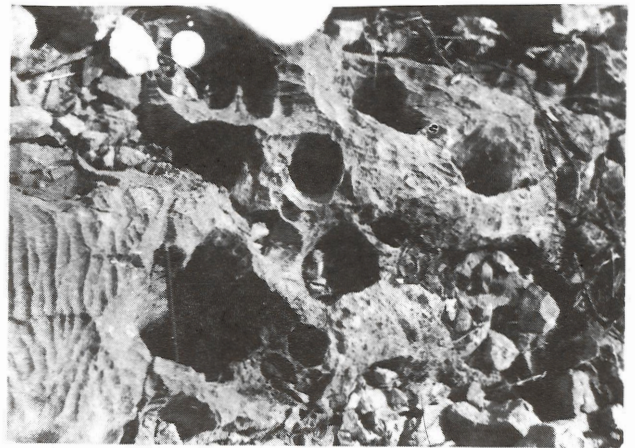


Foto 4 Kireçtaşlarında Düzgün Dairesel Kesitli Erime Çukurları.

Photo 4 Solution Holes with Smooth Circle Sections in Limestones.

sıkça rastlanır (Foto 2). En etkin süreksizliklere paralel uzanımlı ve ağız kesitleri 60 cm. çapında olabilen erime çukurları bazen birkaç metre derine inmektedir.

İnceleme alanındaki kireçtaşlarında görülen başlıca karren tipleri ise rillenkarrren, rinnenkarren, spitzkarren, kluftkarren ve marinekarrendir.



Foto 5 Kireçtaşlarında Rillenkarrren ve Rinnenkarren Gelişimi.

Photo 5 Development of Rillenkarrren and Rinnenkarren on Limestones.

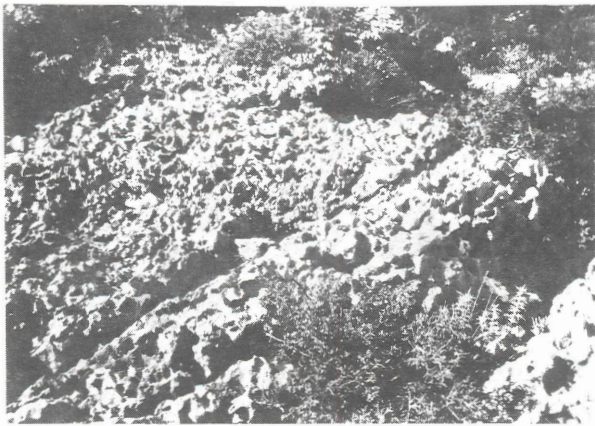


Foto 6 Kireçtaşlarında Spitzkarren Gelişimi.

Photo 6 Spitzkarren Development on Limestones.

Rillenkarrren: Keskin ince sırtlarla ayrılmış ince düzgün oluklar ile yuvarlak çanakası oyuklar ve delikler şeklindeki yüzeysel karst oluşuklarıdır (Foto 3, 4). Birkaç santimetre derinlik ve genişlikte, 50 cm.'den az uzunluktadırlar. Çanak ve deliklerin çapları genelde 15 cm.'den, derinlikleri ise 30 cm.'den azdır. CO₂ ile doymun yağış sularının kireçtaşı yüzeyine temasını izleyen ilk birkaç dakikalık yüksek erime döneminde hızla gelişmişlerdir. Dolayısıyla sparitlerde, mikrosparit ve mikritlerden çok daha iyi gelişmiş ve sık olarak bulunurlar. Bitki örtüsünün yoğun olduğu yerlerde oldukça yuvarlatılmış hatlar taşırlar.

Rinnenkarren: Rillenkarrren'in aşırı gelişmiş şekli olan rinnenkarren, birkaç metre uzunlukta, 30 cm'e kadar genişlikte ve 10-15 cm. derinlikte olabilir (Foto 5). Hatları, rillenkarrren'e göre biraz daha yuvarlatılmış görünümündedir. Kireçtaşı ile suyun daha uzun süre temas etmesi durumunda geçiş ve düşük erime dönemlerinin de ortaya çıkmasıyla gelişmişlerdir.

Spitzkarren: Rillenkarrren ve rinnenkarren sırtlarının oyuklu, delikli ve keskin hatlı sivrilmiş ayrı kısımlara bölünmesiyle ortaya çıkan peribacalarının keskin ve sivri hatlı bir mikromodeli görünümündedirler (Foto 6). Sivri konik kısımlar arasında, çoğunlukla 20-30 cm. çapında olabilen, düzensiz şekilli erime çukurları bulunur. Konik yükseltilerin aşınarak yokolduğu yerler, yerini keskin kenarlı tipik süngersi karsta bırakmıştır.

Kluftkarren: Yüksek eğim açılı süreksizlikler boyunca gelişen ve yönlenmesi tümüyle süreksizlik yönelimine bağlı olan karren tipidir (Foto 7). İki veya daha çok süreksizliğin kesişme noktalarında,



Foto 7 Kireçtaşlarında Kluftkarren Gelişimi,

Photo 7 Kluftkarren Development on Limestones.

var olan kluftkarren gelişimine ek olarak, bazen derinliği birkaç metre olabilen yuvarlak hatlı kuyu tipi erime deliklerine de rastlanır.

Marinekarren: Deniz kenarlarındaki kireçtaşlarında görülen bu yüzeysel karst şekilleri; denizsuyunun, deniz canlılarının ve rüzgarın etkisiyle oluşmuştur. Sadece dalga etkisi altında şekillenenleri, oldukça yuvarlak hatlı ve değişik boyutlu erime delikleri içeren düzgün yüzeyler halindedir (Foto 8). Rüzgar etkisiyle şekillenenler ise, fissür ağlarının pürüzlülük gösterdiği yerel erime oyuklu düzensiz yüzeyler oluşturur (Foto 9).

Obruklar: Karst alanlarındaki kuyu şekilli, orta boyutlu karst yapılarını tanımlayan obruklar, fayların ve çatlak sistemlerinin kesişme noktalarında gelişmiştir. Bazen yeraltı mağara sistemleri ile de bağlantılı olabilen obruklar, dolinler içinde ya da ayrı bulunmaktadır. İnceleme alanı içinde 3 bölgede toplanmışlardır.

Birinci bölgeyi, Bağalalı deresi sisteminin Bağalalı alt drenaj alanındaki (III_B) Saçmaliseki mevkii oluşturur (Şekil 6). Buradaki 7 obruk, kumlu kireçtaşı ile dolomit-rekristalize kireçtaşı birimlerinin kireçtaşı-dolomit dokanakları boyunca yer alır. Yeraltında büyük erime boşluklu ve GD yönünde mağara uzantılıdır. Yağışlı dönemlerde Bağalalı deresi alt drenaj alanını tümüyle drene eden bu obrukların derinlikleri 5-7 m., ağız çapları başlangıçta 2-3 m. ve tabanda 0,5-1 m.'dir. Yine Bağalalı deresi sistemi içindeki Kocakoyak alt drenaj alanında (III_A) rastlanan 2 obruk, dolo-



Foto 8 Kireçtaşlarında Dalga Etkisiyle Gelişmiş Marinekarren.

Photo 8 Marinekarren Developed on Limestones Under the Effect of Wave Action.



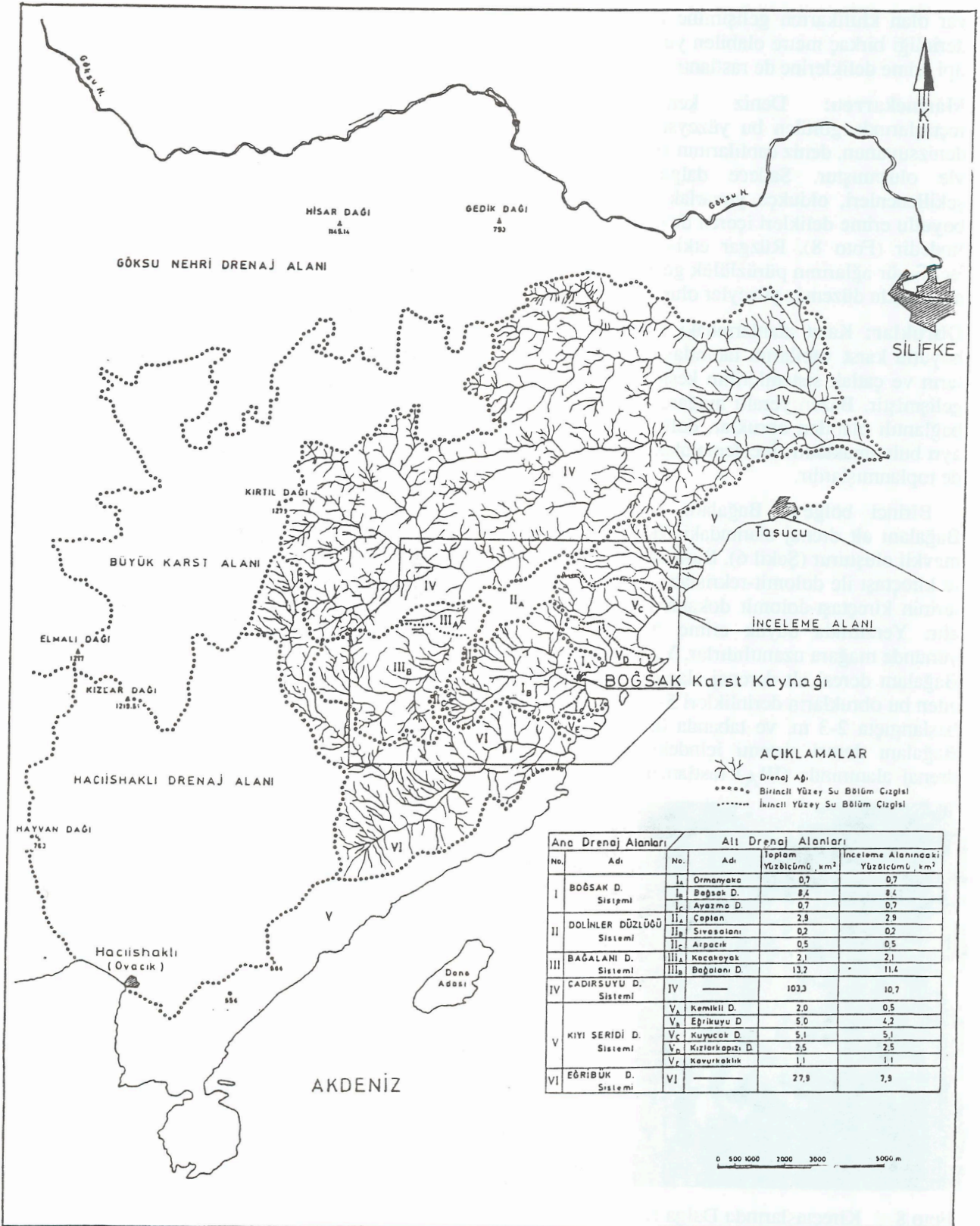
Foto 9 Kireçtaşlarında Rüzgar ve Dalga Etkisiyle Gelişmiş Marinekarren.

Photo 9 Marinekarren Developed on Limestones Under the Effect of Both Wind and Wave Action.

mit-rekristalize kireçtaşı ile fosilli kireçtaşı içinde gelişmiştir. Yöre halkı tarafından soğuk hava deposu gibi kullanılmaktadırlar.

İkinci bölgeyi oluşturan Dolinler düzlüğü sistemi ana drenaj alanındaki Çoplan (II_A), Sivasalalı (II_B) ve Arpacık (II_C) alt drenaj alanlarında, sırasıyla 8, 1 ve 1 adet olmak üzere toplam 10 obruk bulunur. Bunların sadece 1 adedi dolomit içinde, diğerleri ise tümüyle fosilli kireçtaşı içinde gelişmiştir. Dolinler düzlüğü sistemi obruklarının Bağalalı deresi obruklarında olan temel farklılığı, tümünün terrarosalı taban düzlüğü bulunmayan dolinler içinde yer almasıdır. Ağız çapları 0.5-2 m. genişliktedir.

Üçüncü bölgeyi oluşturan Boğsak deresi sisteminin Boğsak deresi alt drenaj alanında (I_B) 4 obruk bulunur. Bunlardan en Batıdaki dolomit-fosilli kireçtaşı içinde, diğerleri ise dolomit-rekristalize kireçtaşı içindedir. Ağız çapları 1-2,5 m., derinlikleri 4-20 m. dolayındadır.



Şekil 6 Boğsak Karst Kaynağı Dolayının Drenaj Haritası.

Figure 6 Drainage Map of Vicinity of Boğsak Karst Spring.

Dolinler

Arazide kapalı çukurluklar-çöküntüler şeklinde görülen dolinler, karst alanlarına özgü gerçek karst yapılarıdır. Planda dairesel ve cliptik görünümlü, kesitte ise yamaçları kayalık ve çıplak olan konik veya bitki ve zemin örtülü olan çanak şekillidirler. Koniklerde yamaç açıları 30-40° ve çap/derinlik oranı 2-3 dolayında, çanaklarda ise yamaç açıları 10-12° ve çap/derinlik oranı 10 dolayındadır. Sahada ayrı ayrı veya birkaçının birleşmesiyle oluşan kümeler şeklindedir.

İnceleme alanındaki dolin alanları, dolinler düzlüğü sisteminin Çopran, Sivasalını ve Arpacık alt drenaj alanları içindedir ve sayıları da sırasıyla 29, 2 ve 3'dür (Şekil 6). Bunların 24'ünde terrarosalı taban düzlüğü bulunmasına karşı, obruklu 10 dolin alanında taban düzlüğü görülmez. Toplam 34 dolin alanında 5'i tek dolinli, 29'u ise birleşik dolin kümeleri (uvala) oluşturan 2-5 dolinlidir. Bu nedenle, inceleme alanındaki 34 dolin alanı, gerçekte 72 dolin alanından oluşmuştur.

Obruklu dolinlerdeki obruklar, ayrı dolin alanlarında en uzun ve en geniş eksenlerin kesişme noktasında, birleşik dolin alanlarında (uvala) ise bileşen dolinlerin en uzun eksenlerinin kesişme noktasında yer alır.

Dolinlerin tümü, Üst Kretase'nin üst istifini oluşturan fosilli kireçtaşı içindedir. Süreksizliklere giren yağış suyunun eritme ve aşındırma işlevleri sonucu kireçtaşının erimesine ve özellikle yapısal hatlar oluşturan makro süreksizlikler boyunca karşılaşmanın gelişimine bağlı olarak görülürler. Kars-

laşma nedeniyle crime alanlarının çukurluklarında toplanan killi artık malzeme ise terrarosalı taban düzlüklerini meydana getirir.

34 dolin alanının drenaj ağları, 22'sinde 1. dereceden, 11'inde 2. dereceden ve 1'inde de 3. dereceden drenaj sistemi gösterir. Tüm drenaj sistemleri içsel drenaj tiplidir. Drenaj ağını oluşturan kuru dereler, ya terrarosalı taban düzlüğü ile dolin yamaçlarının sınırında, ya da obruklarda sonlanır. Obruklu dolinlerin tümü 1. dereceden drenaj sistemlidir.

Dolinler düzlüğü sistemi ana drenaj alanının genelinde ve dolin alanlarının özelde, dolinsiz diğer drenaj alanlarından olan farklılığını ortaya çıkarmak üzere yapılan çizgisel ve alansal drenaj ağı analizlerine göre; farklılık oluşturan en büyük sayısal sapmaların, drenaj sıklığı ve drenaj dokusundaki daha büyük değerler ile ortalama dere uzunluğu ve drenaj rölyefiyle engebelilik sayısındaki daha küçük değerler olduğu saptanmıştır (Çizelge 2).

İnceleme alanındaki 34 dolin alanını oluşturan 72 alt dolin alanının çizgisel ve alansal boyut analizi yapılarak, istatistiksel ortalama değerleriyle, inceleme alanına özgü bir genel dolin tipi tanımlanmıştır (Çizelge 3).

Dolin gelişimi ile süreksizlikler arasındaki ilişkiyi ortaya koymak amacıyla, öncelikle dolinlerin boyutsal özelliklerinin yönler göre değişimi araştırılmıştır. Bu grafiklere göre, yüzey alanı büyük fakat uzun eksen boyu ortalamasının altında kalan dolinler K (0-20) B doğrultusundadır. Bu iki

Ana Drenaj Alanları		Alt Drenaj Alanları		ÇİZGİSEL ÖZELLİKLER					ALANSAL ÖZELLİKLER			
No.	Adı	No	Adı	Drenaj Derecesi (STRAHLER)	Drenaj Sıklığı (HORTON)	Drenaj Doku (HORTON)	Çatallaşma Oranı (HORTON)	Ort. Ders Uzunluğu (MILLER)	Havza Rölyefi Oranı (SCHUM)	Rölyef Oranı (SCHUM)	Engebelilik Sayısı (STRAHLER)	Drenaj Tipleri (HOWARD)
I	BOĞSAK D. Sistemi	I _A	Ormanyaka	2	1,5	5,7	3,0	0,1	0,14	0,20	0,3	Adaçsı Paralel
		I _B	Boğsak D.	4	4,6	15,4	5,0	0,1	0,59	0,12	2,7	Adaçsı Paralel
		I _C	Ayazma D.	2	2,6	4,6	4,9	0,3	0,21	0,21	0,6	Adaçsı
II	DOLİNLER DÜZLÜĞÜ Sistemi	II _A	Çopran	2	6,7	53,1	10,7	0,1	0,13	0,33	0,7	İçsel
		II _B	Sivasalını	1	5,7	40,0	5,9	0,1	0,35	0,37	0,3	İçsel
		II _C	Arpacık	2	4,3	32,0	7,5	0,1	0,36	0,56	3,3	İçsel
III	BAĞALANI D. Sistemi	III _A	Kocakoyak	2	1,3	7,6	7,5	0,2	0,53	3,13	0,3	İçsel
		III _B	Bağalını D.	4	3,0	7,3	4,1	0,2	0,52	3,23	0,6	Adaçsı Paralel
IV	ÇADIRSUYU D. Sistemi	IV		5	3,3	3,7	4,0	0,4	1,12	0,12	3,2	Adaçsı Paralel
V	KIYIŞERİDİ D. Sistemi	V _A	Kemikli D.	3	3,1	3,0	3,3	0,4	0,43	0,20	1,3	Adaçsı
		V _B	Eşekkuşu D.	4	2,3	6,2	2,5	0,5	0,53	0,15	1,5	Adaçsı Paralel
		V _C	Kuyucak D.	3	2,5	6,5	4,3	0,4	0,53	0,20	1,5	Adaçsı Paralel
		V _D	Kizilarkapısı D.	2	1,7	4,4	5,4	0,4	0,33	0,15	0,6	Paralel
		V _E	Kavutkaklık D.	2	1,3	3,1	5,7	0,2	0,22	0,17	0,3	Adaçsı
VI	BOĞSUK D. Sistemi	VI		4	3,3	3,3	4,3	0,4	1,23	0,13	3,1	Paralel

Çizelge 2 Drenaj Sistemlerinin Çizgisel ve Alan-
sal Özelliklerinin Sayısal Değerleri.

Table 2 Numerical Values of the Linear and
Areal Properties of Drainage Systems.

özelliğe ait değerler K'den D ve B'ya doğru azalmakta ve en küçük değerlerine K 40 B'dan B-D doğrultusuna gidildikçe ulaşmaktadır. Dolinlerin daha yuvarlak veya daha uzamış elipsel şekilli oluşlarını belirten uzunluk/genişlik oranı, K (0-60) D doğrultulu dolinlerin en basık elipsel biçimli olduğunu göstermiştir (Şekil 7).

Dolin uzun eksenlerinin K'den sapmaları ile jeolojik yapılar arasındaki ilişkiler gül diyağramlarıyla araştırılmıştır (Şekil 8). Tabakalar ile çatlak ve faylar, Jura-Kretase sistemleri için birlikte gözönüne alınmıştır. Bu diyağramlara göre, dolin uzun eksenlerinin egemen doğrultuları K (10-20) B, K (20-30) D ve K (40-50) D, ikinci dereceden de K (0-10) B, K (40-50) B ve K (10-20) D'dur. Dolinler düzlüğündeki tabakalar, birincil olarak K (30-40) D, ikincil olarak da K (40-50) D doğrultuludur. Bu etkinlikler, çatlak ve faylar için birinci derecede K (20-30) B, ikinci derecede de K (70-80) B'dır. Ayrıca 1. ve 2. dereceden drenaj ağlarını oluşturan kuru derelerin doğrultuları da esas olarak KB kadranındadır. Bu verilere göre, çatlak takımlarının ve genç fayların önemli ölçüde etkin olduğu K (0-20) B doğrultulu dolinlerin az uzamış elipsel şekilli ve en büyük yüzey alanlı olmalarına karşı, tabakaların ve yaşlı fayların etkin olduğu K (0-60) D doğrultulu dolinler çok uzamış elipsel şekilli ve nispeten büyük alanlıdır. Ayrıca tüm süreksizlik türlerinin KB-B aralığında sayısal olarak çok az bulunmaları, bu doğrultuda karstlaşmanın ve genelde dolinlerin gelişmemesine, gelişebilenlerin ise en yuvarlak elipsel şekilli ve en

küçük yüzey alanlı olmasına neden olmuştur. Böylece, KB-GD uzanımlı oblik ve enine çatlaklar ile oblik faylar boyunca karstlaşmanın oluşturduğu daha kısa süreli bir genç karst ortamında dolin kısa eksenlerinin, KD-GB uzanımlı tabaka doğrultuları ve boyuna çatlaklar ile yaşlı oblik faylar ve boyuna faylar boyunca karstlaşmanın oluşturduğu uzun süreli bir olgun karst ortamında da dolin uzun eksenlerinin yer aldığı ortaya çıkarılmıştır (Şekil 9).

Tüm özelliklerin birlikte değerlendirilmesi, bölgesel karstlaşma ile dolinlerin oluşumuna aşağıdaki açıklamayı getirmektedir.

Yağış suyunun yeraltına kolaylıkla sızabildiği süreksizlikler, sıklık ve açıklıkları tabaka düzlemlerine az çok paralel olanlardan en az 2 kez daha büyük olan ve tabaka düzlemlerini kesen oblik ve enine çatlaklar ile geçirimli breş zonlarına sahip oblik faylardır. Tüm bu süreksizlikler, bütünüyle KB-GD doğrultulu olan ilk rastlaşmayı oluşturmuştur. Yeraltına inildikçe kaya birim elemanları arasındaki malzeme köprülerinin olasılıkla artması ve süreksizlik açıklığının kapanması, erimeye bağlı olarak devamlı genişleyen süreksizlik açıklıklarında yağış suyunun giderek daha kısa süre tutulması ve suyun hemen yeraltına inmesi nedenleriyle, sözkonusu süreksizlikler boyunca oluşan ilk karstlaşma etkinliğinde giderek azalmalar meydana gelmiştir. Buna bağlı olarak, yağış sularındaki karstlaşmayı denetleyen birincil ve ikincil kökenli CO₂ miktarı ile sıcaklık ve pH özelliklerindeki etkinlik de büyük oranda yeraltına

Dolin Alanı Özellikleri		İstatistik Değerler		
		Sınır Değerler	Aritmetik Ortalama	%95 Güvenli Aralık
Çizgisel Özellikler	Dolin Uzunluğu, km	0,09-0,51	0,20	0,19-0,21
	Dolin Genişliği, km	0,04-0,21	0,11	0,10-0,12
	Uzunluk/Genişlik Oranı	1,10-3,40	1,85	1,80-1,90
	İçsel Uzunluk Oranı	0,50-0,76	0,57	0,56-0,58
	İçsel Genişlik Oranı	0,50-0,63	0,53	0,52-0,54
Alansal Özellikler	Dolin Alanı, x 10 ⁻² km ²	0,50-19,2	3,2	2,7-3,7
	Dolin Taban Düzlüğü Alanı	0,1-3,0	0,7	0,50-0,9
	Dolin Rölyefi, m	6-47	19	17-21

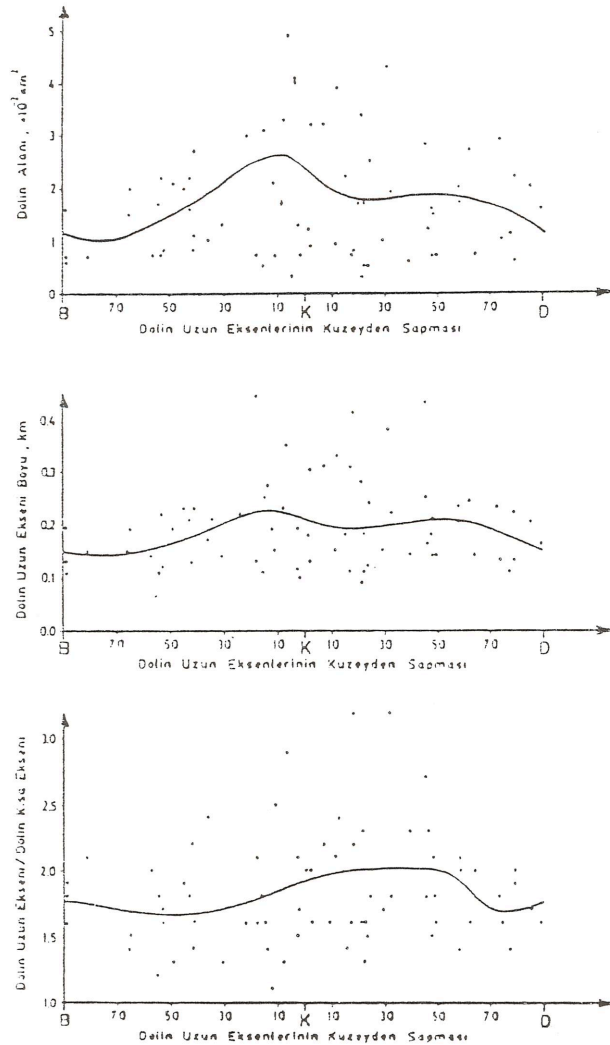
Çizelge 3 Dolin Alanlarının Boyutsal Özelliklerine Ait Sayısal Değerler.

Table 3 Numerical Values Belong to Dimensional Properties of Doline Areas.

taşınmış ve diğer tabaka doğrultuları boyunca etkili olmaya başlamıştır. Böylece, başlangıçtaki oblik ve enine çatlaklar ile oblik faylar boyunca gelişen karstlaşma, belirtilen nedenlerden dolayı yeraltında tabaka doğrultusu ve yaşlı faylar boyunca gelişimini sürdürmek durumunda kalmıştır. Bu olay yalnız ilk karstlaşmanın düşey doğrultuda en aza indiği derinlikte değil, aynı zamanda CaCO_3 'ca aşırı doygun hale gelmiş suların süreksizlikleri düşey doğrultuda CaCO_3 çökelişi ile tıkanması sonunda, yüzeye daha yakın tabaka doğrultuları boyunca da oluşmuştur.

SONUÇLAR

Bu çalışmada elde edilen en önemli sonuçlar



Şekil 7 Dolinlerin Bazı Boyutsal Özellikleri ile Dolin Uzun Eksenlerinin Kuzeyinden Sapması Arasındaki İlişkiler.

Figure 7 The Relationship Between Some Dimensional Properties and the Deviation from North of Long Axes in Dolines.

aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir.

1 - Karst ve karstlaşma kavramlarına açıklık getirilerek etkilendikleri parametrelerin inceleme yöntemleri ve mantığı ortaya konmuştur.

2 - Pratik ve son derece çabuk sonuç veren "Bağıl Eriyebilirlik Deneyi" adıyla anılmış bir laboratuvar deney yöntemi geliştirilerek karbonatlı kayalarındaki eriyebilirliğin hangi evreleri izlediği, yüzey ve yeraltı karstını nasıl denetlediği açığa çıkarılmıştır.

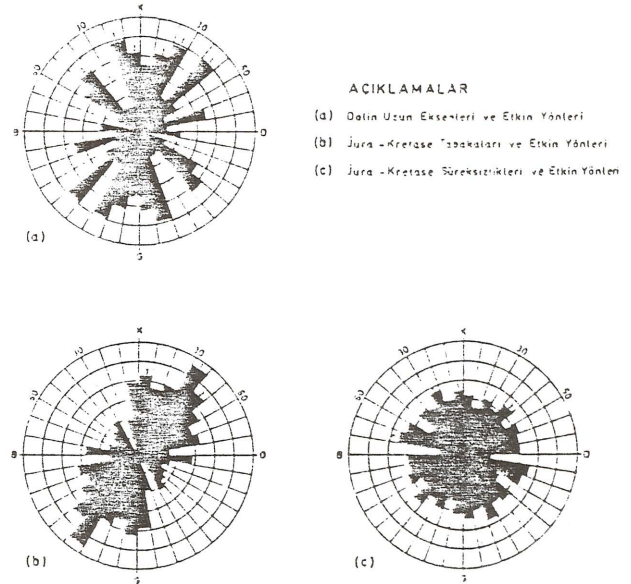
3 - Karst alanlarındaki bölgesel ikincil süreksizlik (fay, çatlak, tabaka, v.b.) analizlerinin önem ve gereği, bunların yeraltı-yerüstü karst yapılarının boyutsal gelişimleriyle olan etkileşimi gösterilerek sayısal olarak kanıtlanmıştır.

4 - Karst alanlarına özgü gerçek karst yapıları olan dolinlerin sayısal "Biçim Araştırması" yapılarak analiz aşamaları gösterilmiş, oluşum ve gelişimleri açıklanmıştır.

5 - Karst ve karstlaşmaya ilişkin tüm veriler gözönüne alınarak, inceleme alanındaki ve büyük olasılıkla Toros karst kuşağındaki genel Karst Gelişim Modeli" kurulmuştur.

KATKI BELİRTME

Bu yazı konusunun en ağırlıklı bölümlerden birisi olan tezimin hazırlanması sırasındaki tüm



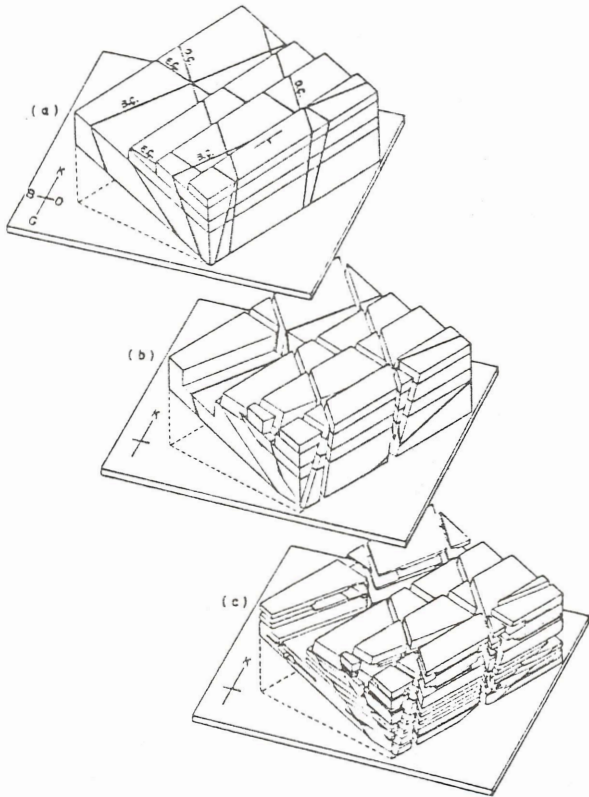
Şekil 8 Dolin Uzun Eksenlerine ve Jeolojik Yapı Elemanlarına Ait Gül Diyağramları ile Bunların Etkin Yönleri.

Figure 8 Rose Diagrams Belong to the Long Axes of Dolines and Geological Structures, Also Effective Directions.

çalışmalarını büyük bir titizlikle izleyen, değerli öneri ve yardımlarını esirgemeyen tez Hocam Sayın Prof. Dr. Kemal Erguvanlı'yı en derin şükranlarımla ve rahmetle anarım. Sahadan laboratuvara uzanan bütün çalışmalarında yakın ilgisini ve yardımlarını gördüğüm Hocam Sayın Prof. Dr. Erdoğan Yüzer'e yürekten teşekkürlerimi sunarım.

Petrol İşletme Laboratuvarlarında deneyler yapabilmeme olanak tanıyan Hocam Sayın Prof. Dr. Ekrem Göksoy'u rahmetle anmaktayım.

Kayaç örneklerimin kimyasal analizlerini yapan Türkiye Şişe ve Cam Fabrikaları A.Ş. Araştırma Merkezinin Merkezi Hizmet Laboratuvarına ve Maden Genel Müdürlüğü bünyesindeki sevgili arkadaşlarıma sonsuz teşekkürler sunarım.



Şekil 9 İnceleme Alanındaki Karstın Gelişim Modeli.

Figure 9 The Development Model of Karst at Investigated Area.

B.Ç. : Boyuna Çatlak-Longitudinal Joint.

E.Ç. : Enine Çatlak-Transversal Joint.

O.Ç. : Diyagonal Çatlak-Oblique Joint.

DEĞİNİLEN BELGELER

- Burger, A. 1975, Chimisme des Roches et de l'eau Karstiques, Hydrogeology of Karstic Terraines, Publ. of Int. Assoc. of Hydrogeologists, pp. 79-89, France.
- Ek, C.M. 1973, La Dissolution du Carbonate de Calcium, Bull. de la Soc. Geog. de Liege, No. 9 9e Annee, pp. 55-87, Belgium.
- Genderen, J.L. 1969, Technical Exercises for the Sub-Department of Geography, V. II, 208 pp., ITC Textbook, No. 10, The Netherlands.
- James, A.N. 1981, Solution Parameters of Carbonate Rocks, Bull. of the Int. Assoc. of Eng. Geol., No. 24, 19-25, Germany.
- Liszowski, J. 1970, Problems and Methods in Regional Engineering Geological Research of Karst, First Int. Cong. of the Assoc. of Eng. Geol. Symp., V. II, pp. 882-891, Czechoslovakia.
- Öztaş, T. 1982, Karstlaşma ve Mühendislik Projelerinde Sayısal Karst Sınıflaması Kavramı, Jeo. Müh. Dergisi, S. 13, s. 11-16, Ankara.
- Öztaş, T. 1989, Mersin-Taşucu-Boğsak Kaynağı ve Dolayının Karst Hidrojeolojisi, İTÜ Doktora Tezi, 140 s., İstanbul.
- Strahler, A.N. 1964, Quantitative Geomorphology of Drainage Basins and Channel Networks, Handbook of Applied Hydrology (Ed: CHOW, V.T.), Section 4-II, pp. 4.39-4.76, McGraw-Hill Book Comp., USA.
- Sweeting, M.M. 1973, Karst Landforms, Columbia Univ. Press, 335 pp., USA.
- Thraillkill, J. 1977, Relative Solubilities of Limestone and Dolomite, Karst Hydrogeology (Ed: TOLSON, J.S. - DOYLE, F.L.), Proceedings of the 12th Int. Cong., Memoirs V. XII, pp. 491-500, USA.
- White, W.B. 1977, Role of Solution Kinetics in the Development of Karst Aquifers, Karst Hydrogeology (Ed: TOLSON, J.S. - DOYLE, F.L.), Proceedings of the 12th Int. Cong., Memoirs V. XII, pp. 503-517, USA.
- Williams, P.W. 1972, The Analysis of Karst Terrains, Spatial Analysis in Geomorphology (Ed: CHORLEY, R.J.), pp. 135-163, Mathue and Co. Ltd., England.
- Zuidam, R.A. 1973, Guide to Geomorphological Photo-Interpretation, pp. 173, ITC Textbook, No. 10, The Netherlands.