

PAPER DETAILS

TITLE: HARRAN OVASINDA YERALAN ORTAÖREN ÇÖKME ÇUKURUNUN OLUSUMU VE
PEDO-JEOLOJİK KARAKTERİSTİKLERİ

AUTHORS: Ali SEYREK,M YESILNACAR,Salih AYDEMİR,Tuncer DEMİR

PAGES: 0-0

ORIGINAL PDF URL: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/3068>

HARRAN OVASINDA YERALAN ORTAÖREN ÇÖKME ÇUKURUNUN OLUŞUMU VE PEDO-JEOLJİK KARAKTERİSTİKLERİ

Ali SEYREK*
M. İrfan YEŞİLNACAR**
SALİH AYDEMİR**
Tuncer DEMİR***

ÖZET

Şanlıurfa'nın 3 km güneyinde, Akçakale ilçesinin 20 km kuzeybatısında yer alan Ortaören köyünün 1,5 km batısında, Harran Ovasından karstik formasyonlu Fatik Dağlarına geçiş zonunda bir çökme çukurunun olduğu ilk olarak 1998 yılında yapılan arazi çalışmaları sonucunda belirlenmiştir. Yerinde yapılan inceleme sonucunda, çukurun 10 m çapında ve 10 m derinliğinde olduğu tespit edilmiştir. 2002 yılındaki incelemede, çukurun oval şekilli olup 10 m en, 15 m boy ve 15 m derinlikte olduğu buna karşın 2003 yılında yapılan incelemelerde ise söz konusu oluşumun boyutlarının dahada büyüyerek yaklaşık olarak 20 m en, 22.5 m boy ve 15 m derinlikte olduğu tespit edilmiştir.

Çökme çukurları, özellikle, karstik bölgelerde yaygın görülen doğal jeolojik yapılardan biridir. Bu konuda yapılan çalışmalar göstermiştir ki kapalı depresyonlar şeklinde gelişen bu çukurlar, genel olarak yüzeye yakın kayaçların çözülmesi veya yeraltındaki kanal veya mağara benzeri oluşumların tavan kısımlarının tavanı oluşturan örtü malzemesinin kendi ağırlığı altında ani (cover-collapse sinkhole) veya yavaş yavaş çökmesine (subsidence sinkhole) bağlı olarak oluşurlar. Bu tür oluşumlar gerek insan hayatı ve gerekse de tarımsal faaliyetler, konut vb. mühendislik yapıları için önemli ölçüde tehlike oluşturabilir.

Harran ovasının doğu ve batısını çeviren Eosen yaşlı kireçtaşları ile sınırlanmış olup bu birim aynı zamanda (çoğu yerde) Pliyosen/Pleistosen yaşlı kil, kum ve çakıldan oluşan sedimentlerin tabanını ve ovanın taban topografyasını oluşturur. Eosen yaşlı kireçtaşları karstlaşmaya oldukça elverişli, bol çatlaklı bir formasyondur. 1998 yılında meydana gelen çökme

* Şanlıurfa-Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Toprak Bölümü'nde Araştırma Görevlisidir.

** Şanlıurfa-Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü'nde Araştırma Görevlisidir.

*** Şanlıurfa-Harran Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü'nde Araştırma Görevlisidir.

çukuru, Miyosen yaşlı kireçtaşı formasyonu ile (Fatik serisi) Pliyosen çökellerinin (Harran serisi) dokanağına yakın bir bölgede oluşmuştur.

Özellikle GAP projesi kapsamında sulama faaliyetlerindeki yoğunlaşma ve artan yıllık yağış miktarı, taban suyu seviyesinin yükselmesine sebep olmuştur. Zemini oluşturan ana kaya içerisindeki karstik boşluklar vasıtasıyla ortamdaki uzaklaşan yeraltı suyu çözdüğü veya gevşettiği materyali beraberinde taşımıştır. Sonuç olarak yüzey ve yüzeye yakın kısmı oluşturan nispeten sert kütle kendi ağırlığı altında çökerek bugünkü yapıyı oluşturmuştur.

Bu çalışma ile Harran Ovasının batısında oluşan çökme çukurunun oluşum mekanizması irdelenmiş ve bu oluşumun jeolojik, pedolojik ve hidrojeolojik karakteristikleri belirlenmeye çalışılmıştır. Ön araştırma bulgu ve sonuçlarını içeren bu çalışma ileriki evrelerde, ova kapsamında, arazi-laboratuvar ölçüm ve deneyleriyle desteklenecektir.

GİRİŞ

Çökme çukurları karstik bölgeler için oldukça yaygın olan doğal jeolojik özelliklerdir. Yapılan çalışmalar göstermiştir ki kapalı depresyonlar şeklinde gelişen bu çukurlar genel olarak yüzeye yakın kayaların çözülmesi veya yeraltındaki kanal veya mağara benzeri oluşumların tavan kısımlarının çökmesi sonucu oluşurlar (Bretz, 1942; Davies, 1930; Davies, 1960). Bu tür oluşumlar gerek insan hayatı ve gerekse de yapılar için önemli ölçüde tehdit oluştururlar (Buttrick and Schalkwyk, 1998; Crawford, 1982, 1984a.b; Kaufmann and Quinif, 1999; Magdalene and Alexander, 1995; Vergari et al, 1995).

Çökme çukurlarının oluşumu için temel etken, zemini oluşturan kireçtaşı veya benzeri eriyebilir formasyonların (dolomit, jips, halit v.b) asidik bir özelliğe sahip su ile çözülmesine bağlanabilir (Bates and Jackson, 1987; Elrod, M., 1899; Fetter, 1980). Toprak zonundan sızmakta olan yağmur suları, yaşayan veya çürümüş halde bulunan bitki veya diğer organik materyal ile reaksiyona girerek asidik bir özellik kazanır. Asidik su, zemini oluşturan kireçtaşı içerisindeki kırık ve gevşek tabakalar arasına sızarak çözülme ve dolayısıyla boşlukların oluşmasına sebep olur. Bu kimyasal çözülme, sonuç olarak, yersel boşluk ve mağara benzeri oluşumlara sebep olur. Bu boşlukların zamanla büyümesi, tavanı oluşturan örtü materyalin kendi ağırlığı altında ani (cover-collapse sinkhole) veya yavaş yavaş çökmesine (subsidence sinkhole) sebep olur (Reitz and Eskridge, 1977; Thomas, 1999; White and White, 1995).

Oluşum mekanizmalarına bağlı olarak bu tür oluşumlar üç grupta toplanabilir. Bunlar; erime çukurları (solution sinkhole), dereceli çökme (cover-subsidence sinkhole) ve ani çökme (cover-collapse sinkhole) çukurlarıdır.

Erime çukurları, özellikle kireçtaşının yüzeye yakın çıplak veya ince bir toprak ve geçirimli kum ile kaplı olduğu alanlarda yaygınlık gösterir. Erime olayının en etkili olduğu alan özellikle yüzey sularının derine sızmasına müsait olan kırık ve çatlakların birbirleriyle bağlantılı olduğu kireçtaşı yüzeyi ile bunu örten toprak tabakasının dokanak alanlarıdır. Çökme çukurlarının en yaygın tipini oluşturan bu türde erime çukurlarının gelişim hızı, zemini oluşturan kireçtaşının erime oranlarıyla tam bir paralellik gösterir. Sonuçta, yavaş yavaş çökme eğilimi gösteren arazi yüzeyleri oluşur. Depresyon şeklinde gelişen bu yüzeyler, büyüme oranlarına bağlı olarak yüzeyden akan sular için birer toplama alanı oluştururlar. Yüzey suları genellikle kum, kil ve silt partiküllerini bu depresyon alanlarına biriktirerek, özellikle merkezde daha az geçirimli bir örtü oluşturarak geçici göl veya bataklıkların (lagün) oluşumuna müsait alanlar oluştururlar (Newton, 1984; Newton and Tanner, 1987; Reitz and Eskridge, 1977).

Dereceli çökme çukurları (cover-subsidence sinkhole), ana kayanın (kireçtaşı) 15-30 m kalınlığında geçirimli kum ve oldukça ince kil tabakası ile örtülü olduğu alanlarda gelişme gösterir. Bu şartlar altında, gevşek yapıda olan kum taneleri sıra halinde derine doğru hareket ederek kireçtaşı içerisinde önceden oluşmuş erime çukurlarını doldururlar. Bu tipteki çökme çukurları derinlik olarak birkaç metreyi geçmez. Bunun nedeni ise kireçtaşı içerisindeki erime boşluklarının kum taneleri ile doldurulmadan önce yeterli büyüklüğe erişememesinden kaynaklandığına bağlanmaktadır.

Genel olarak, karstik bölgelerde anakayayı (kireçtaşı) örten toprak tabakasının kalınlığı ile söz konusu toprak içerisinde bulunan kil oranı arasında doğru bir orantı olduğu ileri sürülmektedir. Bu kil tabakası, üzerinde veya içerisinde bulunduğu diğer toprak materyali için kohezif bir özellik gösterir ve böylece daha aşağılarda kireçtaşı ana materyali içerisinde oluşan mağaramsı boşluklar üzerinde kemerlenme görevi görür. Bu kemerlenme zaman içerisinde direncini kaybederek çökmesi durumunda ani çökme çukurları oluşur (Kaufmann and Quinif, 1999).

Genel olarak, çökme çukurunun boyutları ile anakaya içerisindeki mağaramsı oluşumların boyutları ve ana kayayı örten sediment örtünün kalınlığı arasında bir paralellik olduğu tespit edilmiştir (Reitz and Eskridge, 1977). Aslında ani (cover-collapse sinkhole) ve dereceli çökme (cover-subsidence sinkhole) çukurları oluşum mekanizmaları itibariyle tam bir benzerlik gösterirler. Temel farklılık derindeki mağaramsı boşluk veya boşlukların üzerini örten sediment tabakasının çökmeye karşı dirençliliği ile ortaya çıkmaktadır. Böylece, eğer örtü malzemesi kil, silt v.b. gibi dirençli unsurlardan oluşuyor ise ani çökme çukurlarının oluşumuna sebep olur, buna karşılık kum ve benzeri gibi daha az dirençli ve çimentosuz bir özellik gösterirse çukurun oluşumu yavaş yavaş (dereceli) bir gelişme gösterir (Magdalene and Alexander, 1995; Nichol, 1998; Reitz and Eskridge, 1977; Waltham, 1989a).

Genel olarak çökme çukurlarının oluşumuna işaret eden başlıca belirtiler: Ağaç, muhtelif istinat duvarları veya yapıların toprakla temas alanlarında taze yüzeylerin ortaya çıkması, ağaç veya istinat duvarlarında eğilme, çarpılma veya kayma belirtilerinin gözlenmesi, yapılardaki kapı veya pencerelerin düzenli olarak kapanmaması, daha önceleri oluşmadığı halde arazide yağmur sonrası göllenmelerin oluşması, bitki örtüsünün özellikle çökmenin oluşabileceği alanlarda dairemsi şekilde kümelenmesi, çökme çukurunun ilk oluşum evrelerinde yakın civarda bulunan içme suyu temin edilen kuyularda su kalitesinin sebepsiz yere bulanıklaşması, yapıların duvarlarında, tabanında veya sıvalarda çatlakların görülmesi şeklinde özetlenebilir.

Şanlıurfa'nın 32 km güneyinde, Akçakale ilçesinin 20 km kuzeybatısında yer alan Ortaören köyünün 1.5 km batısında, Harran Ovasından karstik formasyonlu Fatik Dağlarına geçiş zonunda bir çökme çukurunun olduğu ilk olarak 1998 yılında yapılan arazi çalışmaları sonucunda belirlenmiştir. Yerinde yapılan inceleme sonucunda, çukurun 10 m çapında ve 10 m derinliğinde olduğu tespit edilmiştir. 2002 yılındaki incelemede ise, çukurun oval şekilli olup 10 m en, 15 m boy ve 15 m derinlikte olduğu buna karşın 2003 yılında yapılan incelemelerde ise söz konusu oluşumun boyutlarının dahada büyüyerek yaklaşık olarak 20 m en, 22.5 m boy ve 15 m derinlikte olduğu tespit edilmiştir (Şekil 1).

Bu çalışma ile Harran Ovasının batısında oluşan çökme çukurunun oluşum mekanizmasının jeolojik, pedolojik ve hidrojeolojik özelliklerinin incelenmesi amaçlanmıştır.

Çalışma alanı yeri

Çalışma alanı Güneydoğu Anadolu bölgesinde bulunan Şanlıurfa ilinin 32 km güneyinde, Harran ovası içinde ve Ortaören köyünün 1.5 km batısında olup N 36° 51. 312' – E 38° 49. 612' boylamları arasında yer alır (Şekil 2). Harran Ovası, Güneydoğu Torosların güney yamaçlarında yer alır ve 225.000 ha lık yüzölçümü itibariyle Güneydoğu Anadolu Projesi kapsamındaki ovaların en büyüğüdür. Ova oluşum itibariyle; bir graben olup, doğuda Tektek, batıda Fatik dağları (horst) ve güneyde ise Türkiye-Suriye sınırı ile sınırlanır. Genel olarak, dikdörtgen şeklinde olan ovanın eğimi kuzeyden güneye doğrudur (% 0-2). Bununla birlikte yüzey eğimi, özellikle Harran ve Akçakale ilçeleri arasında, oldukça azalmakta olup bu durum birtakım drenaj problemlerinin oluşmasına neden olmaktadır.

Jeoloji

Yapılan çalışmalar, özellikle karstik bölgelerde, çökme çukurlarının oluşumu ile litoloji arasında çok yakın bir ilişki olduğunu göstermiştir (Davies and Morgan, 1995; Pipkin and Trent, 1977). Bu sebeple, bu bölümde, araştırmanın konusunu oluşturan Ortaören çökme çukurunu da kapsayan Harran ovasının jeolojisi irdelenecektir.

Harran ovası doğu, batı ve kuzeyde Eosen kalkerleri ile çevrili kuzey-güney yönünde bir grabendir. Akçakale grabeni, Güneydoğu Anadolu' da, Miyosen ve sonrasında oluşan şiddetli tektonizmanın son ürünlerinden birisidir. Bölgenin kuzeyindeki şaryaj ve bindirme kuşaklarını oluşturan kompresif tektonik etkenlerin doğal bir sonucu olarak, bölge güneyinde ekstensif tektonizma gelişmiş ve birden fazla graben oluşumunu sağlamıştır. Bunların en iyi gelişmiş olanı Akçakale grabenidir. Kompresif hareketlerin birincil ürünlerinin genelde doğu-batı uzanımlı olmasına karşın, bu grabeni oluşturan fay sistemleri ve yapı eksenleri yaklaşık kuzey-güney uzanımlıdır (Tardu ve diğ., 1987).

Genel olarak, Harran Ovası ve çevresindeki mevcut tortul kayalar özetlemek gerekirse, en yaşlı kayaç Paleosen olduğu tahmin edilen sileksli kalkerler, kırmızı-gri killeri, daha üstte tebeşirli, yumuşak,

silisli sert, kompakt ve kısmen gevşek Eosen kalkerleri ve en genç marn ve gevşek göl kalkerleri ile başlayan ve ovada kırmızı kil, kum ve çakılla devam eden Miosen ve Pliosen yaşlı kayaçlardır (DSİ, 1972).

Ovanın doğu ve batısını çeviren kalkerler faylanmadan dolayı yüksek eğimlerle ovaya doğru dalarlar. Kuzeyde, kuzeydoğu ve kuzeybatıda eğimler ortalama 15° - 25° lik açılarla ovaya doğrudur. Güneye inildikçe eğimlerde azalma görülür. Türkiye-Suriye sınırı yakınlarında eğim takip edilemeyecek kadar düşüktür. Mostraları da üstteki kırmızı killeri örter. Ovada, temeli bu kalkerlerin topografyası oluşturur.

Eosen yaşlı kireçtaşları karstik/karstlaşmaya elverişli bol çatlaklı bir formasyondur. Çalışmanın konusunu oluşturan çökme çukuru Eosen yaşlı kireçtaşı formasyonu ile Pliosen çökellerinin kontağına yakın bir bölgede meydana gelmiştir (Şekil 3).

Yeraltı jeolojisi

Faylı bir senklinal yapı arzeden Harran Ovasında, Eosen kalkerleri kuzeybatıda ve ova ortalarında oldukça derindedir. Fakat kuzeydoğuda ve güneyde diğer taraflara nazaran kalker tavanı daha sığdır. Muhtelif amaçlarla yapılan sondaj çalışmaları sonucunda, Eosen kalkerine ova ortasında ve kuzey batıda erişilememiştir. Bu durum kuzeydeki faylanmalar ve orta kısımdaki çukurlaşmalara bağlanmaktadır. Güneyde ise Türkiye-Suriye sınırında bu kalkerler bir sırt yapacak şekilde yükselir (Özcan, 1974; Yeşilnacar ve diğ., 1998).

Türkiye-Suriye sınırı civarında Harran ovasının tabanına teşkil eden Eosen kalkerleri yüzeyden en fazla 150 m kadar derinde olup kuzeye doğru dalarlar. Kalkerin hemen üstünde yer yer 20-80 m kalınlıkta bir marn seviyesi bulunur. Bu seviye muhtemelen güneydoğuda mostra veren oldukça killi Miyosen kalkerleridir. Kuzeye doğru kalker tavan muntazam olarak derine dalar, güney batıda jeofizik araştırmalarla tespit edilmiş olan fayla kesilen kalkerler bu civarda 250 m kadar derindedir. Doğuya doğru hafif ondülasyonlarla devam eder. Ortalama derinlik 120-200 m civarındadır. Daha kuzeyde Harran bucak merkezi üzerinden ise kalker tavanı 200 metrenin altındadır. Görüleceği gibi güneyden Harran ilçe merkezine kadar olan bölgede Eosen kalkerleri DSİ sondajlarının erişebileceği kapasitenin içindedir. Bu Bölgede

kalkerin üstü jeolojik ve jeofizik kesitlerin verdiği bilgilere göre kil, marn az çakıl veya kumdan oluşmuş olup üst kısımlar genellikle tuzludur (Özcan, 1974; Yeşilnacar ve diğ., 1998).

Ovanın orta kesimlerde kalkerler 350 metrenin altına kadar inerler. Bu bölge, kalkerlerin en derinde bulunduğu kısmı teşkil eder. Daha önce açılmış olan kuyular da bunu doğrulamaktadır. Fakat doğuya ve batıya doğru yükselen kalkerler ancak doğuda kuzey-güney yönlü iki küçük fayla kesilmektedir. Kalkerin üzerindeki kalın dolgu daha ziyade kil ve az çakıl içerir. Ova ortasında yüzeyden yer yer 50 m kalınlığa erişen tuzlu seviyeler vardır.

Hidrojeoloji

Harran Ovasında yeraltı suyu iki tür akiferden temin edilmektedir. Bunlardan birisi ana kayayı oluşturan kalker tabakaları içerisinde bulunan karstik akifer ve diğeri ise ovayı kaplayan sediment örtü içerisinde bulunan serbest akiferdir. Sekil 3 gösteriyor ki çalışma sahasına yakın civarda bulunan su kuyuları genelde karstik akiferden su temin etmektedirler. Dolayısıyla 727 nolu kuyu çalışma sahasındaki yeraltı su tablası sınırını temsil eden yegâne örnektir. Çalışmaya konu olan çökme çukurunun bulunduğu saha ile 727 nolu kuyu arasındaki mesafe yaklaşık 9 km civarında olup aradaki kot farkı ise 17 m dir. Buna göre kot farkından dolayı 727 nolu kuyudaki yeraltı su tablası seviyesi çökme çukurunun bulunduğu sahaya nazaran 17 m daha yüksek değerler göstermektedir (Şekil 6). Başka bir deyişle, 2003 yılı itibariyle yeraltı su seviyesinin (su tablası üst sınırı) yüzeyden olan derinliği 727 nolu kuyu için -2 m iken bu derinlik çökme çukurunun bulunduğu sahada -19 m olarak hesaplanmıştır. Ana kayayı örten sediment kalınlığı ise çökme çukurunun bulunduğu alanda (grabenin batı sınırı) oldukça az olmasına rağmen ovanın merkezine doğru dikkate değer bir artma göstermektedir (Şekil 3). Ovadaki yeraltı suyunun genel hareket yönü KB-GD' dur.

İklim

Genel olarak, bütün Güneydoğu Anadolu Bölgesi için iklim elemanları ile ilgili verilerin elde edilebilirliği oldukça sınırlıdır. Bununla birlikte özellikle GAP projesinden dolayı, Harran Ovası ve yakın çevresi için meteorolojik bilgilere erişmek mümkündür. Genel olarak, çalışma sahası sıcak yaz ve serin-nemli kış ayları dolayısıyla tipik bir kurak ve

yarı kurak bölge iklim özelliği gösterir (Şekil 4.a). Yıllık ortalama yağış miktarı 300 mm olup bu miktar kuzeye doğru (Güneydoğu Torosların güney yamaçları) 600 mm ye kadar yükselme eğilimi gösterir. Yağışın büyük bir kısmı kış ve ilkbahar mevsimlerinde gerçekleşir. Özellikle Haziran ve Eylül ayları arası dönem tamamen yağışsız bir dönem özelliği gösterir (Şekil 4a). Bu değerler açıkça gösteriyor ki tarımsal faaliyetler için sulama olayı birinci derecede önemlidir.

1972-2003 yılları arasında bölgenin ortalama yıllık yağış miktarı yaklaşık 450 mm olarak hesaplanmıştır. Bu yıllar arasında ortalama yıllık yağıştan eklenik sapma elde edildiğinde 1972-1987 yılları arasında kurak bir dönem, 1987-1990 yılları arasında yağışlı bir dönem, 1990-1995 yılları arasında tekrar kurak bir dönem ve 1995-2003 yılları arasında ise tekrar yağışlı bir dönemin hüküm sürdüğü görülür (Şekil 4b).

Toprak Özellikleri

Harran Ovasını doğu ve batısında yer alan Fatik ve Tektek Dağlarından gelen ve büyük olasılıkla Pliosen sonu ve Pleistosen'e ait olduğu varsayılan çamur akıntıları oluşturmuştur (Dinç ve diğ., 1988). Çalışma alanını kaplayan toprakların, etüt çalışmasında belirlenmiş olan Fatik ve Harran serileri arasında yer aldığı yapılan ilk morfolojik arazi çalışmayla saptanmıştır. Araştırmaya konu olan çökme çukuru hernekadar konumu itibarıyla Fatik serisi sınırları içinde yer alıyor ise de, gösterdiği toprak özellikleri bakımından hemen ona sınır olan Harran serisi topraklarına benzerlik göstermektedir. Fatik serisi toprakları Miyosen kireç taşı anamateryali üzerinde gelişen, % 6-20 eğimli, yer yer taşlı olup, renkleri sarımsı kırmızıdır. Bu topraklar eğimin sebep olduğu aşırı erozyon nedeni ile derin olmayan sığ bir tabaka halinde ana kayayı örterler. Yüzey horizonu siltli kil tekstürlüdür. Buna karşın Harran serisi toprakları alüvyal anamateryal oluşumlu olup, % 0-1 eğimli, derin topraklardır. Renkleri tipik kırmızıdır ve siltli killi- killi tekstüre sahiptirler. Bu topraklar alt katmanlarda kireç birikmesi gösterirler (% 23-26) ve başat kil minerali olarak şişme-büzülme özelliğine sahip smektit içerirler. Genel olarak topraklar % 42-58 kil, % 39-54 silt ve % 3-5 kum içerirler (Aydemir, 2001).

Bulgular ve Değerlendirme

Jeomorfolojik açıdan incelenen oval şekilli çökme çukurun boyutlarının yaklaşık olarak 20 m en, 22.5 m boy ve 15 m derinlikte olduğu belirlenmiştir. Çukurun düşey kesiti yüzeyden tabana doğru farklı özellikleri ile 5 ayrı katmandan oluşmaktadır (Şekil 5) İlk katman yüzey katmanı olup, açık kahverengi renkte ve çakıllıdır, ortalama kalınlığı ile çukurun en ince katmanıdır (0.7 m). İkinci katman taşlaşmış, CaCO_3 ça zengin (petrokalsik horizon) en kalın katman olup (6.3 m), yüksek kil içeriği ile diğer alt katmanlardan ayrılmaktadır. Üçüncü katman (4 m) dördüncü katmana nazaran daha fazla demir oksit mineralleri içermesiyle altındaki katmandan daha kırmızıdır. Dördüncü katman (3 m) demir-mangan oksitce daha zengin olup katmana koyu kahverengi bir görünüm kazandırır (Şekil 5). Beşinci ve en altta yer alan katman (1m) ise diğerlerinden farklı olarak koyu yeşilimsi bir renge sahiptir. Özellikle son 3 katmanın farklı renkler içermeleri ve redoksimorfik (demir ve demir-mangan oksit benekleri) oluşumlar göstermeleri onların belli dönem ve sürelerde yeraltı su seviyesinin yükselip alçalmasına bağlı olarak içerdikleri minerallerin okside ve redükte olmalarıyla açıklanabilir. Son katmanın özellikle yeşilimsi bir renkte olması onun uzun bir dönem içinde suyla doymuş olması ve gleyleşme denilen pedolojik işleme olanak sağlaması ile açıklanabilir (Soil Survey Staff, 1999).

Bütün bu bulgulara göre, çalışma alanında, taban suyu seviyesi kısa sürelerde alçalıp-yükselme gibi dalgalanmalar göstermiştir.

Şekil 6a. 1982 ile 2003 yılları arasında ortalama yıllık yağış miktarı ile çökme çukuru civarı ve buna mesafesi 9 km olan 727 nolu su kuyusunun (Herbetülhedle) 1982-2003 yılları arası toplam 21 yılı kapsayan suredeki yeraltı su tablası üst sınırının (YASS) yüzeyden olan derinlik değişimlerinin ölçülen ve hesaplanan değerlerini göstermektedir. Buna göre YASS ın yüzeyden olan derinliğinin çalışmaya konu olan çökme çukuru civarında Ekim 1982 de -36 m olduğu ve bu değer düzenli bir azalma eğilimi göstererek 1994 yılında -45 m ye düştüğü görülmektedir. 1995 ile 1997 yıllarını kapsayan 3 yıllık dönemde ise gerek GAP projesi kapsamında ovaya çok fazla miktarda su verilmesi ve gerekse de yağış miktarındaki artışlar dolayısıyla YASS hızla yükselerek -46 m den -22 m ye çıkmıştır (Bkz. Şekil 6). Her ne kadar 1998-2000

yılları arasında yaklaşık 5 m lik bir düşme görülürse de 2001 yılından itibaren tekrar 8 m yükselerek 2003 yılında -19 m ye çıkmıştır.

Şekil 6.b. yeraltı su seviyesinin aylara göre yüzeyden olan derinlik ölçüm değerlerini göstermektedir. Beklenenin aksine, yağışlı döneme denk gelen kış aylarında yeraltı su seviyesi yüzeyden olan derinliğinin fazla, buna karşılık yağışın minimum değerlere eriştiği yaz aylarında ise yoğun sulama faaliyetlerinden dolayı derinlik değerlerinin düşük olduğu saptanmıştır.

Çökme çukurunun muhtemel oluşum mekanizması

Bilindiği gibi ovanın batısını çeviren Eosen yaşlı kireçtaşları yaklaşık 15° - 25° derecelik bir açı ile ovaya doğru dalar ve bu birim aynı zamanda Pliyosen-Pleistosen yaşlı kil, kum ve çakıldan oluşan taşınmış malzemenin tabanını oluşturur. Söz konusu Eosen kireçtaşı muhtemelen Miyosen sonlarında meydana gelen faylanmalarla kırılarak bugünkü graben oluşumunun temelini oluşturmuştur (Ercan ve diğ., 1991). Nitekim çalışmaya konu olan çökme çukuru bu grabeni oluşturan kuzey-güney yönlü fayın hemen üstünde/yakınında bulunmaktadır. (Bkz. Şekil 3). Diğer bir deyişle söz konusu çökme çukuru Eosen veya Miyosen yaşlı kireçtaşı ile Pliyosen-Pleyistosen çökellerinin dokanağına yakın bir alanda oluşmuştur ve buradaki sediment örtüsü kalınlığı ovanın merkezine göre nispeten azdır.

Çalışma alanındaki Eosen yaşlı kireçtaşları karstlaşmaya oldukça elverişli, bol çatlaklı bir özellik gösterir (DSİ, 1972). Bundan dolayı, muhtemelen yeraltı suyuna bağlı olarak oluşan çözümler neticesinde birtakım birebirleriyle bağlantılı yeraltı boşlukları ve dolayısıyla mağaramsı oluşumlara neden olmuştur. Bu boşluklar zamanla gelişerek bulunan yerdeki fay kırığıyla da bağlantı kurarak daha büyük/geniş boşlukların oluşumlarına neden olma olasılığı yüksektir (Şekil 7).

1995 yılı öncesi yeraltı su seviyesi -40 m derinlerde idi ve bunun üzerinde bulunan taşınmayla oluşmuş sediment örtü katmanlarının yarı kurak iklim şartları altında oldukça sert ve dirençli bir yapıya sahipti. Sediment örtünün direnci, içerdiği CaCO₃ ve yüksek kil oranına bağlanabilir. 1995 yılından itibaren yoğun sulama faaliyetlerinden dolayı gerek YASS' nin yükselerek üzerindeki katmanları oluşturan çökellerin gözenekleri arasına sızması ve böylece toprağın uzun yıllar sabit kalan

strüktürünü değiştirmesi ve gerekse de sulama faaliyetleri ile yüzeyden sızan su zemin tanelerini birbirine bağlayarak adeta çimento görevi gören CaCO_3 , kil ve silt tanelerini yıkayarak ortamdan uzaklaştırması sonucunda zeminde dikey yönde *iç erozyon* oluşumuna sebebiyet vermiş olmalıdır. Bu olaya borulanma denilmektedir (Uzuner, 1998). Bunun yanı sıra Şekil 6.b de görüldüğü gibi YASS' inde mevsimsel bir değişme olduğu, yağışsız-kurak devreye denk gelen yaz aylarında yeraltı su seviyesi yoğun sulama faaliyetlerinden dolayı yaklaşık olarak 4 m civarında yükselme, buna karşılık yağışlı döneme denk gelen kış aylarında ise 4 m lik bir düşme görülmektedir. Yaz mevsiminde yükselen YASS seviyesi toprağı oluşturan elemanlar arasındaki gözeneklerin su ile dolmasına, kış mevsiminde ise seviye düşmesine bağlı olarak unsurlar arasındaki gözeneklerin kapanmasına sebep olmuş olmalıdır. Mevsimsel olarak görülen bu dalgalanma olayı, özellikle alt katmanlarda, toprakta şişme-büzülmelere neden olarak dokunun bozulmasına ve dolayısıyla da direncinin zayıflamasına sebebiyet vermiştir. Çukurun genişliği, yüzeyden derinlere doğru inildikçe dikkat çeker bir şekilde artmaktadır (Şekil 1b, d ve f). Bu durum yüzeydeki dirençli karbonatlı katmanın altında bulunan zayıf dirençteki katmanlar çökse bile varlığını daha bir süre devam ettirebildiğini işaret etmektedir. Nitekim, 1988 yılında yapılan ilk ölçümlerde çukurun yüzey genişliğinin (killi-karbonatlı en üst katman) 10 m, -5 m derinlikte 12.2 m ve -10 m derinlikte ise 13.5 m olduğu, buna karşılık 2003 yılında yapılan ölçümlerde ise yüzey genişliğinin 20 m, -7 m derinlikte 22.2 m ve -15 m derinlikte ise 23.45 m olduğu tespit edilmiştir.

Öncelikle derinlerdeki katmanlarda dikey yönde ovalimsi çatlaklar ve kırıklar gelişmekte (Şekil 1 b, d, f) ve buna bağlı olarak kütle halinde yıkılmalar meydana gelmekte, buna karşılık yüzey katmanı adeta bir kemer halinde çöken kısmın üzerinde yıkılmadan varlığını korumaktadır. Ancak zamanla yüzeydeki karbonatlı katman da kendi ağırlığı altında daha fazla mevcudiyetini muhafaza edemeyerek kütle halinde çökmektedir. Nitekim çökme çukurundan alınan kesitten de anlaşılacağı gibi (Bkz. Şekil 5), toprak katmanlarının derinlere doğru farklı renkler içermeleri ve redoksimorfik özellikler göstermeleri onların belli dönem ve sürelerde yeraltı su seviyesinin yükselip alçalmasına sonucunda içerdikleri minerallerin okside ve redükte olmalarını işaret etmektedir. Özellikle son katmanın yeşilimsi bir renkte olması onun uzun

bir dönem içinde suyla doymun olması ve gleyleşme denilen pedolojik işleme olanak sağlaması ile açıklanabilir. Böylece, derinlere doğru çökme direnci zayıflamış olan örtü katmanları zamanla kendi ağırlığı altında daha fazla varlığını muhafaza edemeyerek ana kayayı oluşturan kalker yapı içerisindeki muazzam boyutlardaki karstik boşluklar içerisine ani olarak çökmüş olmalıdır.

Anakaya içerisinde karstik boşluklar oluşsa bile, yeraltı su tablası seviyesinin anakaya ve onu örten sediment örtüsünün kontak noktası üzerinde bulunduğu alanlarda beklenen çökmelerin olmadığı birçok araştırmacı tarafından tespit edilmiştir (Davies and Morgan, 1995; Wilson and Beck, 1992). Çünkü bu gibi durumlarda, su tablasının hidrostatik desteği üzerinde bulunan sedimentin anakaya içerisinde oluşmuş olan boşluklara çökmesi engellenmekte veya bir süre geciktirilmektedir (Crawford, 1985b; Montgomery, 1987). Ortaören çökme çukurunun bulunduğu alanda ise YASS sınırının, yaz aylarındaki sulama faaliyetlerinden dolayı zaman zaman anakaya-sediment örtüsü kontak alanının üstüne ve sulama faaliyetlerinin sona erdiği kış aylarında ise bu seviyenin altına düştüğü düşünülmektedir (Bkz. Şekil 6b). Buna ilave olarak, anakaya içerisinde gelişen büyük karstik boşlukların, hemen yakınında bulunan ve ovanın batı sınırını oluşturan kuzey-güney yönlü fay hattı ile bağlantı oluşturarak söz konusu alandaki yeraltı suyunun başka alanlara hareket etmesini kolaylaştırıcı bir sebep olduğu düşünülmektedir (Bkz. Şekil 7) (DSİ., 1998). Bu durum özellikle kış aylarında yeraltı taban suyu seviyesinin beklenenden de daha derinlerde olmasına sebebiyet vermiş olabilir. Böylece, daha önce anakaya-sediment örtüsü kontak sınırı üzerinde bir seviyede olduğu düşünülen YASS' nın üstteki sediment örtünün anakaya içindeki boşluklar içerisine çökmesini engelleyen bir mekanizma rolü oynadığı, ancak YASS sınırının, yukarıda sözü edilen gelişmelerden dolayı (mağaramsı boşluklar-fay kırığı bağlantısı) beklenenden daha derinlere inmesi dolayısıyla üstteki sediment örtünün çökmesini tetikleyici bir diğer faktör olduğu düşünülmektedir.

Çökme olayının ani olması ise sediment örtü içerisindeki kil oranının fazla olmasına bağlanabilir. Kil oranının fazlalığı ise sediment örtünün kalınlığı ile paralellik gösterir (Pipkin and Trent, 1977; Reitz and Eskridge, 1977). Zira yeraltı su tablası çok daha aşağı seviyelere düşse bile sediment örtü içerisindeki kil ve karbonatlı bileşikler örtüyü

oluşturan unsurları birbirilerine sıkıca bağlayarak çökme olayını bir süre geciktirmiş olmalıdır. Başka bir deyişle, bu killi yapı ana kaya içerisinde oluşan boşluklar üzerinde adeta bir köprü rolü oynamıştır. Ancak bu köprü de zamanla kendi ağırlığı altında daha fazla mevcut durumunu muhafaza edemeyerek ani olarak çökmüştür.

Genel olarak ana kaya üzerindeki sediment örtünün kalınlığı ile çökme çukurlarının boyutları arasında paralellik olduğu birçok araştırmacılar tarafından belirtilmiştir (Reitz ve Eskridge., 1977). Nitekim ABD' nin Kentucky Eyaletinde tespit edilen benzer oluşumların derinliğinin 7.5 m den fazla olmadığı, çünkü buralarda ana kayayı örten sediment örtünün kalınlığının 10 m civarında olduğu tespit edilmiştir. Buna karşılık Florida da tespit edilen çökme çukurlarının derinlik olarak bir evi yutacak boyutlarda olduğu ve bunun tamamıyla ana kaya içerisindeki karstik boşluklar üzerindeki sediment örtünün kalınlığıyla ilgili olduğu ileri sürülmüştür (Reitz ve Eskridge., 1977).

Çalışmaya konu olan çökme çukurunun bulunduğu lokasyondaki sediment örtü kalınlığı yaklaşık olarak 70 m civarında ve çukurun boyutları 20X20 m civarında olduğu dikkate alınırsa ovadaki oluşabilecek benzer çökme çukurlarının, özellikle ovanın merkezine doğru, çok daha büyük boyutlarda olabileceği görüşünü desteklemektedir. Nitekim sediment örtü kalınlığı ovanın merkezine doğru daha da artmaktadır (Şekil 2).

Her ne kadar mevcut durumda sadece bir adet çökme çukuru tespit edilmişse de özellikle anılan fay hattı boyunca benzer oluşumların ileriki tarihlerde de meydana gelebileceği tahmin edilmektedir. Zira Harran Ovasında yoğun tarımsal faaliyetler, sulamanın gerekliliğini her geçen gün daha da artırmaktadır. Nitekim çalışma alanına yaklaşık 5 km mesafede bulunan Nusretiye köyü içerisinde ve yakın civarında da, küçük boyutlarda olmasına rağmen, benzer oluşumlar gözlenmiştir.

Alınması Gereken Önlemler

1998 yılında oluşan göçüğün boyutları aradan geçen yaklaşık 4.5 yıl süresince giderek büyümüştür. Nitekim 22.07.1998 tarihinde DSİ elemanları tarafından düzenlenen raporda göçüğün 10 m en ve 10 m derinliğinde oval şeklinde bir çukur olduğu, yine 10.12.1999 tarihinde aynı kurum elemanlarınca yapılan bir diğer incelemede göçüğün 15 m

boyutlarında olduğu tespit edilmiştir. 13.10.2003 tarihinde, bu çalışmayla, yapılan incelemede ise boyutların 20x20 m ye eriştiği görülmüştür.

Göçük şu anki haliyle tehlike arz etmektedir ve ıslahı gerekmektedir. Bunun için çukurun dik olan şevlerinin yatırılarak insan veya hayvanların çukura düşme tehlikesi azaltılabilir. İkinci olarak, çukurun dibine iri (filtre) malzeme, orta tabakaya killi malzeme ve üstede nebati toprak gelecek şekilde malzeme serilerek çukur doldurulmalıdır (DSİ, 1998). Göçük doldurulsa bile üzerine veya yakın çevresine yapı inşa edilmemelidir. Çevrede derin olmayan depresyonlar veya hilâl şeklindeki kırıkların olup olmadığı incelenerek muhtemel çökme alanları önceden tespit edilmelidir.

Eğer herhangi bir yapı altında ani çökme çukuru (cover-collapse sinkhole) oluşursa mümkün olan en kısa zamanda onarılması tehlikenin büyümesini önemli ölçüde azaltır. Göçme çukuru hiçbir şekilde yerleşim alanları için atık depolama yeri olmamalıdır. Tarımsal gübre, muhtelif kimyasal atık maddeler, motor yağları, insan ve hayvan atıklarının (fosseptik gibi) çukura akması mutlak suretle engellenmelidir. Çünkü bu gibi zararlı atıklar yeraltı suyuna karışarak su kalitesini önemli ölçüde azaltarak insan ve çevre sağlığına zararlı olabilirler (Crawford, 1979, 1981, 1982, 1984a, 1984b, 1985a, 1985b, 1987, 1988, Crawford ve Webster, 1986; Crawford ve Whallon, 1985).

SONUÇ

Genel olarak; karstik bölgelerde yavaş yavaş (tedrici) veya ani çökme çukurları şeklinde gelişen oluşumlar, yukarıda belirtildiği gibi, ancak belirli jeolojik, toprak, iklim ve hidrojeolojik koşulların mevcut olduğu alanlarda görülen veya görülmesi muhtemel karstik morfolojik yapılarıdır.

Bu makalede, çökme çukuru oluşumuna sebep olan faktörler, çökme çukurunun oluşum şekilleri ve türleri genel olarak anlatılmıştır. Özel de ise Güneydoğu Anadolu bölgesinde bulunan Şanlıurfa ili sınırları dâhilinde yer alan Harran ovası içindeki Ortaören çökme çukurunun oluşum mekanizması jeoloji-hidrojeoloji, toprak, iklim ve jeomorfoloji disiplinleri açısından incelenmiştir.

Ön araştırma bulgu ve değerlendirme sonuçlarını içeren ve hâlihazırda yalnızca ovanın batı kesimiyle sınırlandırılan bu çalışma, ileriki evrelerde bütün ovayı kapsayacak şekilde genişletilerek benzer muhtemel oluşumların varlığı araştırılacak ve arazi-laboratuar ölçüm ve deneyleriyle desteklenecektir.

KAYNAKÇA

- AYDEMİR, S. 2001. Properties of Palygorskite-Influenced Vertisols and Vertic-like Soils in the Harran Plain of Southeastern Turkey. Dissertation, Texas A&M University, College Station TX 77843, USA.
- BATES, R.L. AND J. JACKSON (1987). Glossary of Geology. Alexandria, Virginia: American Geological Institute, 788.
- Bretz, J.H., 1942. Vadose and Phreatic Features of Limestone Caves. Journal of Geology, 50, 79-811.
- BUTTRICK, A., AND SCHALKWYK, A.V., 1998. Hazards and Risk assesment for sinkhole formation on dolomite land in South Africa. Environmental Geology, 36 (1-2), 170-178.
- CRAWFORD, N.C., 1979. Grider Pond-Cave Mill Road Interceptor Project Phase II: Dye Tracing of Septic Tanks Believed to be Contributing to the Impairment on Water Quality of the Lost River in Bowling Green, KY. G. Reynolds Watkins Consulting Engineers, 19.
- CRAWFORD, N.C., 1981. Karst Flooding in Urban Areas, Bowling Green, Kentucky: Proceeding of the Eighth International congress of Speleology, Western Kentucky University, Bowling Green, KY, 763-765.
- CRAWFORD, N.C., 1982. Hydrogeologic Problems Resulting From Development Upon Karst Terrain, Bowling Green, KY. Guidebook for U.S. Environmental Protection Agency Karst Hydrogeology Workshop, Nashville, TN, 34 p.
- CRAWFORD, N.C., 1984A. Toxic and Explosive Fumes Rising form Carbonate Aquifers: A Hazard for Residents of Sinkhole Plains. In: Beck, B.F. (ed.), Sinkholes: Their Geology, Engineering and Environmental Impact. The Proceedings, First Multidisciplinary Conference on Sinkholes, Orlando, FL. A.A. Balkema, Rotterdam, Netherlands, 297-309.

- CRAWFORD, N.C., 1984B. Sinkhole Flooding Associated with Urban Development upon Karst Terrain: Bowling Green, Kentucky. In: Beck, B.F. (ed.), Sinkholes: Their Geology, Engineering and Environmental Impact. The Proceedings, First Multidisciplinary Conference on Sinkholes, Orlando, FL. A.A. Balkema, Rotterdam, Netherlands, 283-292.
- CRAWFORD, N.C., 1985A. Map of Groundwater Flow Routes: Lost River Groundwater Basin, Warren County, Kentucky. Center for Cave and Karst studies. Western Kentucky University, Bowling Green, Kentucky.
- CRAWFORD, N.C., 1985B. Groundwater Flow and Geologic Structure: Lost River Groundwater Basin, Warren county, Kentucky. Center for Cave and Karst Studies, Western Kentucky University, Bowling Green, Kentucky.
- CRAWFORD, N.C., 1987. The Karst Hydrology of the Cumberland Plateau Escarpment of Tennessee, Report of Investigations, No. 44, Part 1, Tennessee Division of Geology, 43.
- CRAWFORD, N.C., 1988. Karst Hydrologic Problems of South Central Kentucky: Groundwater Contamination, Sinkhole Flooding and Sinkhole Collapse. Guidebook for Second Conference on Environmental Problems in Karst Terranes and Their Solutions. National Water Well Association, Nashville, Tennessee, 107.
- CRAWFORD, N.C. AND WEBSTER J.W., 1986A. Karst Hazard Assessment of Kentucky: Groundwater Contamination, Map published by the Center for Cave and karst Studies, Western Kentucky University, EPA Underground Water Source Protection Program Grant (G004358-83-0).
- CRAWFORD, N.C. AND WHALLON J.W., 1985. Hydrologic Hazards in Karst Terrain. U.S. Geological Survey Water Fact Sheet, 2.
- DAVIS, W.M. (1930). Origin of Limestone Caverns. Geological Society of America Bulletin, 41, 475-628.
- DAVIES, W.E. (1960). Origin of Caves in Folded Limestones. National Speleological Society Bulletin, 22, 5-18.
- DAVIES, W.E., AND MORGAN, I. M., 1995. *The Geology of Caves*; U.S. Geol. Survey and National Park. Service; <http://wrgis.wr.usgs.gov/docs/parks/cave/cave.html#usgs>
- DİNÇ, U., ŞENOL, S., SAYIN, M., KAPUR, S., GÜZEL, N., DERİCİ, R., YEŞİLSOY, M.Ş., YEGİNGİL, İ., SARI, M., KAYA, Z.,

- AYDIN, M., KETTAŞ, F., BERKMAN, A., ÇOLAK, A.K., YILMAZ, K., TUNÇGÖĞÜS, B., ÇAVUŞGİL, V., ÖZBEK, H., GÜLÜT, K.Y., KARAMAN, C., DİNÇ, O., ÖZTÜRK, N., KARA, E.E. 1988. Güneydoğu Anadolu Bölgesi Toprakları (GAP) I. Harran Ovası.
- TÜBİTAK, Tarım ve Ormancılık Araştırma Grubu GÜDÜMLÜ Araştırma Projesi Kesin Raporu :Proje no: TOAG-534.
- DSİ (Devlet Su İşleri), 1972. Harran ovası hidrojeolojik etüdü, pp. 49, DSI printing office, Ankara.
- DSİ, 1998. Harran Ovası, Ortaören Köyü civarında oluşan göçük üzerine yapılan araştırma raporu. DSİ. XV. Bölge Müdürlüğü, Şanlıurfa.
- ERCAN, T., ŞAROĞLU, F., TURHAN, N., MATSUDA, J.I., FUJİTANI, T., NOTSU, K., BAĞIRSAKÇI, S., AKTİMUR, S., CAN, B., EMRE, Ö., AKÇAY, A.E., MANAV, E., GÜRLER, H., 1991. The Geology and Petrology of the Karacadağ Volcanites, Bulletin of the Geological Congress of Turkey, 6, 118-133.
- ELROD, M., 1899. The Geologic Relations of Some St. Louis Ground Caves and Sinkholes. Indiana Academy of Science Proceedings, 1898, 258-267.
- FETTER, C.W., 1980. Applies Hydrogeology, Columbus, Ohio. Merrill Publishing, 488p.
- KAUFMANN, O., AND QUINIF, Y., 1999. Cover collapse sinkholes in the Tournaisis area, southern Belgium. Engineering Geology, 52, 15-22.
- MAGDALENE, S., AND ALEXANDER, E.C., 1995. Sinkhole distribution in Winona County, Minnesota revisited. In: Beck, B.F. (Ed.), Karst Geohazards, Engineering and Environmental Problems in Karst Terrane. Balkema, Rotterdam, pp. 43-51.
- MONTGOMERY, C. W., 1987. Physical Geology. Wm. C. Brown Publishers. USA. ISBN 0-697-00851-7. pp. 530.
- NEWTON, J.G., 1984. Review of induced sinkhole development. In: Proceedings of 1th Multidisciplinary Conference on Sinkholes. Balkema, Rotterdam, pp. 3-9.
- NEWTON, j.g., AND TANNER, j.m., 1987. Case histories of induced sinkholes in the eastern United States. In: Proceedings of 2nd Multidisciplinary Conference on Sinkholes and the

- Environmental Impacts of Karst. Balkema, Rotterdam, pp. 15-23.
- NİCHOL, D., 1998. Sinkholes at Glan Liyn on the A55 North Wales Coast Road, UK. *Engineering Geology*, 50, 101-109.
- ÖZCAN, A., 1974. Ş.Urfa ili sınırlarını kapsayan çevrenin jeolojisi, M.T.A. Genel Müdürlüğü Etüd Raporu (yayınlanmamış), 19s, Ankara.
- PIPKİN, B.W. AND TRENT, D.D., 1977. *Geology and the Environment*. West/Wodsworth, Publication, pp. 522. USA. ISBN. 0-314-09239-0.
- REİTZ, H.M., AND ESKRİDGE, D.S., 1977, Construction methods which recognize the mechanics of sinkhole development, in Dilamarter, R.R., and Csallany, S.C., eds., *Hydrologic problems in karst regions: Bowling Green, Western Kentucky University, Department of Geology and Geography*, p. 432-438.
- SOIL SURVEY STAFF. 1999. *Soil taxonomy. A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys*. 2nd ed. USDA-NRCS, Agric. Handbook No. 436, U.S. Gov. Print. Office, Washington, DC.
- TARDU, T., BAŞKURT, T., GÜVEN, A., US, E., DİNÇER, A., TUNA, M.E., TEZCAN, O.Ş., 1987, Akçakale Grabeninin Yapısal-Stratigrafik Özellikleri ve Petrol Potansiyeli, 7. Petrol Kongresi Bildirileri, s. 36-49.
- THOMAS, M., 1999. Mechanics of upward propagation of cover-collapse sinkholes *Engineering Geology*, 52, 23-33.
- UZUNER, B.A., 1998. *Temel zemin mekaniği*, pp. 375, Teknik yayinevi, Ankara.
- WALTHAM, A.C., 1989A. *Ground subsidence*. Blackie, Chapman and Hall, London.
- WALTHAM, A.C., 1989B. Keynote address: karst, caves and engineering – the British experience. In: Beck, B.F. (Ed.), *Engineering and Environmental Impacts of Sinkholes and Karst*. Balkema, Rotterdam, pp. 1-8.
- WHITE, W.B., AND WHITE, E.L., 1995. Thresholds for soil transport and the long term stability of sinkholes. In: *Proceedings of 5th Multidiciplinary Conference on Sinkholes and the Environmental Impacts of Karts*. Balkema, Rotterdam, pp. 73-78.

- WERGARI, A., QUINIF, Y., CHARLET, J.M., 1995. Paleokarstic features in the Belgian carboniferous limestones- Implications to engineering. In: B.F. (ED.), KARST GEOHAZARDS, PP. 481-486.
- WILSON, W.L., AND BECK, B.F., 1992. Hydrogeologic Factors in Affecting New Sinkhole Development in the Orlando Area, Florida; Ground Water, Vol. 30, No. 6, p. 918-930.
- YEŞİLNACAR, M.İ., BİLGİN, A., ÇETİN, H., AÇIKER, Ş. M., 1998. Suruç (Şanlıurfa) Kuzeydoğusunun Jeolojik ve Petrografik İncelemesi, GAP 2. Mühendislik Kongresi, 21-23 Mayıs 1998, s.242-253, Şanlıurfa.