

Hierapolis'teki arkeosismik hasarların değerlendirilmesi

Evaluation of archaeoseismic damages at Hierapolis

Erhan ALTUNEL Osmangazi Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 26030, Bademlik - Eskişehir
Aykut BARKA İstanbul Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 34452, Ayazağa - İstanbul

Öz

Hierapolis antik kenti, Gediz grabeninin güneydoğu ucunun kuzey kenarını sınırlayan Pamukkale fayı üzerinde yer almaktadır. Hierapolis, antik çağlarda birçok depremden hasar görmüştür, ancak bunlardan en önemlisi M.S. 60 yılında meydana gelmiştir. Bu çalışmada ele alınan önemli iki noktadan birincisi, Hierapolis antik kenti içinde Roma ve Bizans dönemine ait yapıları etkileyen yüzey kırıklarının detaylı olarak incelemektir. Bu yüzey kırıkları kent içinde ve çevresinde yaklaşık 1250 m takip edilmektedir. Yüzey kırıklarının uzunlukları 10 cm ile onlarca metre arasında, genişlikleri ise birkaç milimetre ile 1 m arasında değişmektedir. Yüzey kırıkları boyunca düşey ve yanıl yerdeğiştirmeler de mevcuttur. Yüzey kırıkları incelendiğinde, kırıkların oluşumuna neden olan depremin $6.0 < M < 6.5$ büyüklüğünde olabileceği ortaya çıkmaktadır. Bu yüzey kırıklarını oluşturan depremin tarihi henüz kesin olarak belirlenememişse de bölgede meydana gelen 1354, 1702 (1703) veya 1717 depremlerinden birinin bu kırıkları oluşturduğu düşünülmektedir. Bu makalede ele alınan ikinci önemli nokta ise, bu çalışmanın da ortaya koyduğu gibi, aktif fay zonlarında yer alan antik yerleşim yerlerinin depremlerin tekrarlanma aralıkları, büyüklükleri, depremler sırasında meydana gelen yerdeğiştirme miktarları ve deprem risklerinin belirlenmesi açısından önemli ip uçları elde edilmesine yardımcı olduğunu vurgulamaktır.

Anahtar Sözcükler: Hierapolis, Arkeosismik hasar, Denizli

Abstract

The ancient city of Hierapolis is situated on the Pamukkale fault which bounds the northern margin of the Gediz graben in its south - eastern end. Hierapolis was damaged by many earthquakes in historical times but the most damaging one was in 60 AD. One of the main objective in this study is, detailed investigation of surface ruptures that damage Roman and Byzantine buildings within the ancient city of Hierapolis. Surface ruptures within and near Hierapolis can be traced along about 1250 m. Surface ruptures vary in length from 10 cm to tens of metres and they vary in width from a few millimetres to about 1 m. There are also normal and lateral displacements along them. As a result of detailed investigation, it is concluded that these surface ruptures at Hierapolis formed during an earthquake with magnitude $6.0 < M < 6.5$. Although the date of the event is not known yet, it is thought that these surface ruptures formed during one of 1354, 1702 (1703) or 1717 earthquakes. The other main objective in this study is, as this paper points out, to indicate that ancient sites which are located on active faults provide useful information for earthquake frequency, earthquake magnitude, amount of displacement during earthquake and earthquake risk in that region.

Key Words: Hierapolis, Archaeoseismic damages, Denizli (Turkey)

GİRİŞ

Hierapolis (Pamukkale)'teki sıcak sularda aktif olarak oluşumlarını sürdüren travertenler, bölgeyi turistik açıdan ilginç kılmaktadır. Hierapolis bölgesi turistik açıdan bir doğa harikası olduğu kadar aktif tektonik çalışmalar açısından da son derece ilginçtir. Bu bölgeyi jeolojik açıdan ilginç kılan en önemli iki nedenden birincisi; bölgedeki travertenlerin kırık ve çatlak zonlarına bağlı olarak oluşması ve bu genç kayaçların aktif tektonik yapılar içermesidir. İkinci neden ise, Hierapolis'in, paleosismik araştırmalar için geniş bir temel sağlamasıdır. Bölgeyi jeolojik açıdan ilginç kılan birinci neden yani bölgesel tektonik ile traverten oluşumu ve travertenlerin yapısal ve morfolojik karakteristikleri arasındaki ilişki detaylı olarak Altunel (1994), Altunel ve Hancock (1993a, b), Altunel ve diğ. (1995) tarafından ele alınmıştır. Hierapolis'teki kalıntıları etkileyen yüzey kırıklarını her ne kadar Hancock ve Altunel (baskıda) genel olarak ele almış ise de bu çalışmanın amacı, aktif faylar üzerinde yer alan ve Hierapolis gibi tarihleri

iyi bilinen antik kentlerin tarihsel devirlerde meydana gelen büyük depremlere ait yüzey kırıklarını belirlemeye yönelik araştırmalar açısından önemini vurgulamak ve geçmişte maruz kaldığı kayıt edilmiş depremler ile şehir merkezinde görülen kırıklar, çatlaklar ve hasarlar arasındaki ilişkiyi tartışmaktır.

Birçok araştırmacının belirttiği gibi (örneğin Ambroseys, 1971, 1988; Karcz ve Kafri, 1978; Vita - Finzi, 1986; Olivera ve diğ., 1991; Vogt, 1991) bir bölgenin sismik aktivitesi çalışılırken aletsel verilerin yanında tarihsel verilerden de yararlanılması son derece önemli ve faydalı bilgiler sağlamaktadır. Çünkü aletsel verilerin kapsadığı zaman periyodu çok kısadır. 20. yy in başlarından bu yana meydana gelen sismik olaylara ait bilgiler (zaman, lokasyon ve magnitüd) aletsel kayıtlardan kolaylıkla elde edilebilirken, 20. yy dan önceki dönemlerde meydana gelen depremlere ait bilgiler sadece tarihsel kaynaklarda bulunabilir. Ancak tarihsel devirlerde sadece büyük, dolayısıyla daha az sayıda depremlerin kaydedilmesi mümkündür. Küçük depremler sayı-

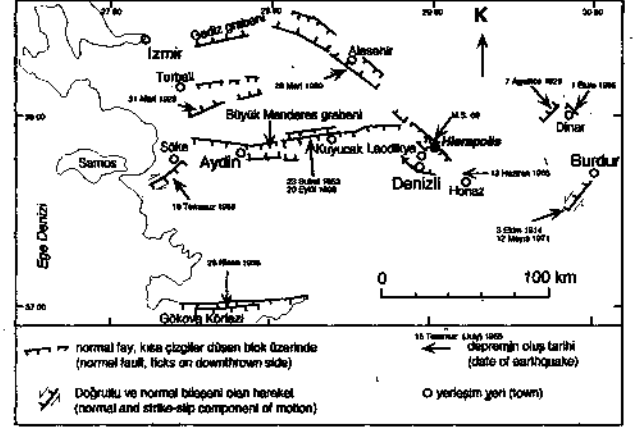
sal olarak büyük depremlerdeni daha fazla olmalarına rağmen daha az kayıt edilmişlerdir veya hiç kayıt edilmişlerdir.

Bilindiği üzere büyük depremler insanı yapımı yapı-larda önemli hasarlara ve yıkıntılara neden olurken yer-yüzünde de yüzey kırıkları oluştururlar. Günümüzdeki yıkıcı depremler sırasında oluşan hasarlar ve yüzey kırıkları genellikle depremden hemen sonra detaylı incelenip haritalanmaktadır. Fakat tarihsel dönemlerde meydana gelen depremler sırasında oluşan hasarlar ve kırıkların çok nadir olarak kayıt edildiği görülür. Eğer deprem yerleşim merkezlerinde önemli hasarlara ve yıkıntılara yol açmışsa depremin lokasyonu, büyüklüğü ve oluşan hasarlar hakkında bilgiler arkeolojik yazıtlarda bulunabilirler; ancak yerleşim merkezlerinin dışındaki yüzey kırıklarının tarihsel dönemlerde pek kayıt edilmediği görülür. Dolayısıyla günümüzde paleosismoloji çalışan bazı araştırmacılar (örneğin Karcz ve Kafri, 1978; Armijo ve diğ., 1991; Nur, 1991; Papastamatiou ve Psychairs, 1993; Mörner ve Tröften, 1993; Papanastassiou ve diğ., 1993; Meyer ve diğ., 1994; Hancock ve Altunel baskıda) jeolojik ve jeomorfolojik verilerden yararlanarak tarihleri iyi bilinen büyük tarihsel depremlere ait yüzey kırıklarını tespit etmeye çalışmaktadır. Ancak jeolojik ve jeomorfolojik veriler genellikle depremden sonra kısa sürede erozyon sonucu aşınıp veya sedimanlar ile yeniden dolduğundan yüzey kırıklarının türünü ve olayın tarihini belirlemek açısından çoğu zaman yetersiz kalırlar. Her ne kadar yapılar da görülen hasarlardan da olayın kesin tarihi ve lokasyonunu belirlemek oldukça zor ise de (Vita - Finzi, 1986), tarihleri bilinen yapılar depremlerin tarihi ve yüzey kırıkları hakkında jeolojik ve jeomorfolojik verilere oranla daha sağlıklı bilgiler verirler.

HİERAPOLİS'İN KISA TARİHÇESİ VE PALEOSİSMİK ÇALIŞMALAR AÇISINDAN ÖNEMİ

Bilindiği gibi Hierapolis bölgesi Türkiye'de ve dünyada iyi bilinen turistik bir merkezdir. Bölgeye bu özelliği kazandıran iki önemli faktörden birincisi burada yer alan sıcak sular ve bu suların günümüzde aktif oluşumlarını sürdüren beyaz renkli travertenler, ikincisi bu muhteşem görünümü travertenlerin hemen yakınındaki antik şehir Hierapolis'in yer almasıdır. Hierapolis, aktif olarak açılan D - B uzanımlı Büyük Menderes ile KB - GD uzanımlı Gediz grabenlerinin kesiştiği bölgede yer alır (Şekil 1). Bu grabenleri sınırlayan normal faylar antik dönemlerde ve yakın geçmişte büyük depremler sırasında yeniden hareket etmişlerdir (Şekil 1).

Hierapolis bölgesi sıcak sular ve aktif olarak oluşan travertenleri ile insanların dikkatini çok erken tarihlerde çekmiştir. Bölgenin ilk olarak kimler tarafından



Şekil 1. Güneybatı Türkiye'de tarihsel devirlerde ve günümüzde meydana gelen depremlere ait yüzey kırıklarını gösteren harita (Altunel, 1994'den ve yazarların gözlemleri).

Figure 1. Sketch map of surface breaks of historical earthquakes in southwestern Turkey (from Altunel 1994 and authors' observations).

bulduğu kesin olmamakla birlikte, Önen (1988) bölgenin M.Ö. 190 yılında Bergama Kralı E. Eumenes tarafından kurulduğunu ileri sürmektedir. Fakat Ritti (1987) ve McDonagh (1989)'a göre bölge ilk önce Seleucidler tarafından bulunmuş ve daha sonra M.Ö. 190 yılında Attalidler tarafından alınmıştır. Kutsal Şehir anlamında olan Hierapolis, M.Ö. 129 yılında Roma imparatorluğu'na bağlanmış ve bugün şehir merkezinde bulunan kalıntıların çoğu Roma dönemindeki yapılaşmaya aittir (Bean, 1971; Ferrero, 1987a). Şehirde 12. yy da şimdiki sahibi Türklerin eline geçmeden önce Bizanslar, Araplar, Türkmenler ve Selçuklular yaşamışlar; muhtemelen 12. yy dan sonra da çevre şehirlerdeki insanların Denizli'ye göç etmeleri sonucu Hierapolis terk edilmiştir (McDonagh, 1989).

Hierapolis ve yakın çevresi, paleosismik çalışmalar için geniş bir temel sağlamaktadır, çünkü bu bölge tarihsel devirlerde önemli bir yerleşim merkezidir. Dolayısıyla bölgede meydana gelen deprem gibi önemli olaylar hakkında bazı bilgiler burada yaşayan insanlar tarafından bir şekilde bir yerlere yazılmış veya kayıt edilmiştir. Ayrıca Hierapolis'teki tarihi binaların günümüzdeki kalıntıları, kırıklar (çatlak, yarık, fay) tarafından kesilmektedir. Bu kalıntıların çoğunda kuvvetli yer sarsıntularına bağlı olarak meydana gelen hasarlar da mevcuttur. Günümüzdeki kalıntıların yapılış tarihleri belli olduğu için hasarları ve kırıkları oluşturan sismik hareketler hakkında bilgiler ve kalıntılardan elde edilebilir. Ayrıca insan yapımı yapılar jeomorfolojik verilere oranla deformasyonun türü hakkında daha sağlıklı bilgiler verirler. Diğer önemli bir nokta da, Hancock ve

HİERAPOLİS'TEKİ ARKEOSİSMİK HASARLAR

Tablo 1. Hierapolis ve çevresinin M.Ö. 65 yılından günümüze kadar meydana gelen, magnitüdü 4 ve üzerindeki depremlerin listesi.

Table I. List of recorded earthquakes, with magnitude greater than 4, in Hierapolis and neighbouring areas between 65 B.C. and present.

No	Tarih	Zaman	Enlem	Boylam	M	Io	Kaynak
1	65 B.C.		37.45	29.10		VIII	7
2	20 B.C.					VII	7
3	60 A.D.		37.55	29.10		IX	3,6,7
4	1354						2,5
5	9.6.1651	4.00	37.50	29.20		VIII	1,7
6	25.2.1702(1703)	8.30	37.50	29.20		VIII	1(3,7)
7	19.11.1717	öğle namazı					1
8	1744						2
9	4.1886		37.45	29.05		VI	3,7
10	1.1887		37.50	29.05		VII	7
11	12.1899		37.45	29.05		VI	3,7
12	20.09.1900		37.50	29.05	6.1		3,4
13	04.1901		37.50	29.00		VI	3
14	21.06.1902		37.50	29.05	4.3		4
15	01.01.1904	11.38.24	37.50	29.05	4.8		4
16	1907		37.45	29.05		VI	3
17	04.04.1911	15.43	37.45	29.05	7		3
18	03.09.1925	9.52	38.00	29.00	4.5		4
19	24.07.1933		37.50	29.05	5.1		4
20	04.01.1940		37.45	29.05		VI	3
21	02.06.1942	22.00.10	37.50	29.05	4.6		3,4
22	21.12.1945	18.35	37.55	29.00	4.7		3,4
23	27.02.1946		37.55	28.50	5.1		4
24	21.06.1961	16.04.51	37.50	28.45	5		4
25	11.03.1963	07.27.24	37.55	29.10	5.5		3,4
26	13.06.1965	20.01.51	37.50	29.20	5.7		4
27	17.06.1965	02.58.25	37.45	29.20	4.5		4
28	29.03.1966	02.36.37	38.00	28.45	4.9		4
29	02.12.1966	06.45.55	37.45	29.25	4.6		4
30	25.17.1967	12.39.28	37.55	28.45	4.5		4
31	13.11.1967	06.50.35	37.45	28.50	4.5		4
32	19.08.1976	01.12.20	37.45	29.00	5.1		4
33	04.05.1984	21.35.02	37.55	29.15	4.7		4

Zaman: gün, ay, yıl olarak; enlem ve boylam derece ve dakika cinsinden verilmiştir; M: magnitüd; Io: şiddet, MSK: Medvedev - Sponheuer - Karnik ölçeği. Kaynaklar: 1. Ambraseys and Finkel (1995); 2. Ateş ve Bayülke (1982); 3. Ergin ve diğ. (1967); 4. Gençoğlu ve diğ. (1990); 5. Önen (1988); 6. Ronchetta (1987); 7. Soysal ve diğ. (1981).

Altunel (baskıda) in de gözlemlediği gibi, Hierapolis şehir merkezinde ve yakın çevresinde Roma dönemi öncesine ve sonrasına ait kendiliğinden oluşmuş kanal travertenler kırıklar tarafından kesilmektedirler. Duvar şeklindeki kendiliğinden oluşan kanal travertenler kırıkların türünü ve kronolojisini belirlemede sağlıklı bilgiler verirler.

HİERAPOLİS VE ÇEVRESİNDEKİ DEPREMLER

Hierapolis ve yakın çevresinde M.Ö. 65 yılından günümüze kadar meydana gelen ve kayıt edilen depremler Tablo 1'de liste halinde verilmiştir. Şehir, Roma İmparatorluğu'nun bir parçası olduktan bu yana yani yakla-

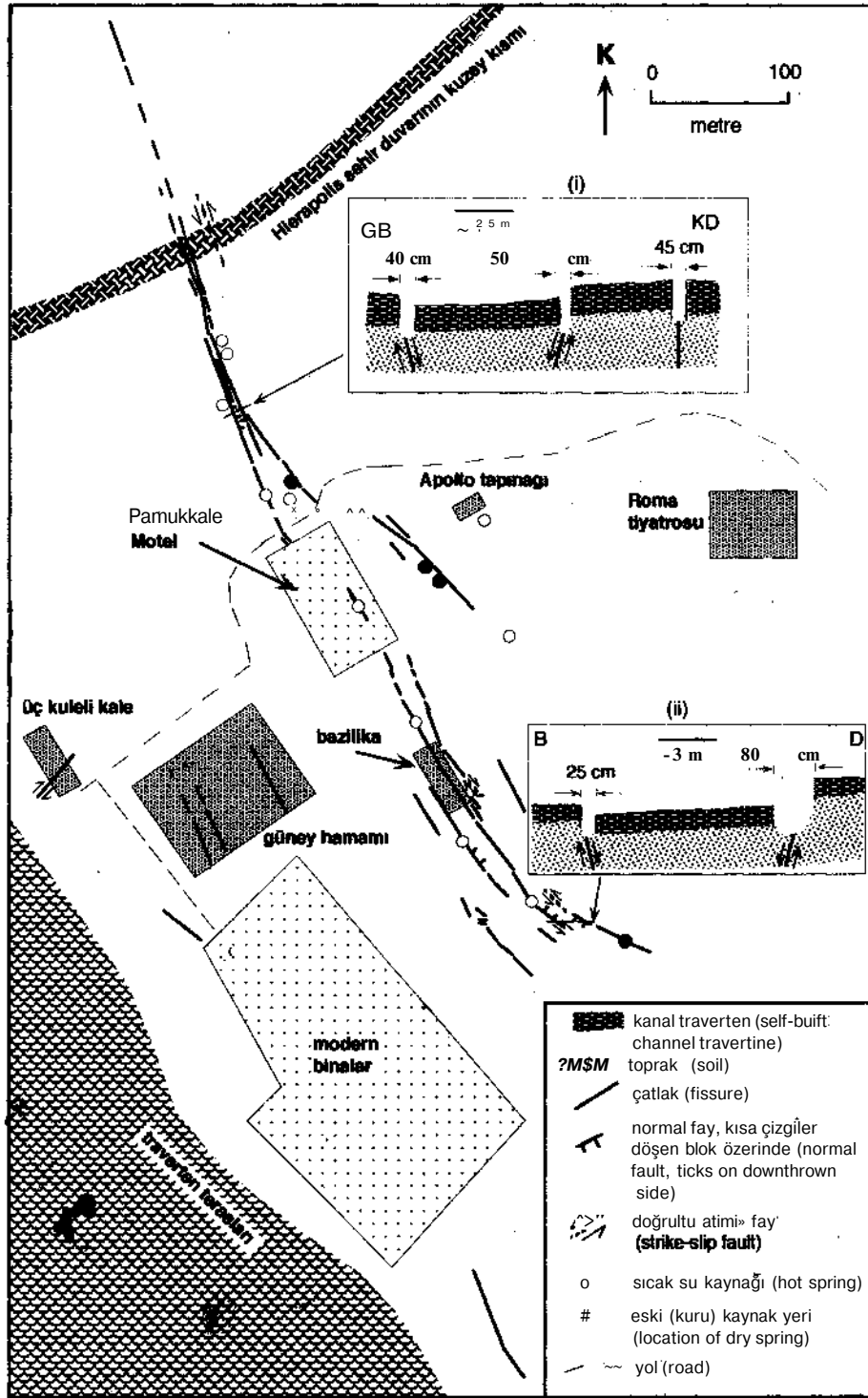
şık 2000 yıllık tarihi boyunca bölgede magnitüdü 4 ün üzerinde toplam 33 deprem kaydedilmiş, bunların 11 tanesi 20. yy dan önce meydana gelmiş 22 tanesi de 20. yy içinde meydana gelmiştir. Burada tarihsel depremlerin sayılarının azlığı dikkat çekmektedir ancak önceden de belirtildiği gibi, tarihsel depremlerin varlığı, büyüklüğü ve lokasyonu depremin yerleşim merkezinde verdiği hasar göz önünde bulundurularak tesbit edilir. Onun için tarihsel devirlerde sadece büyük ve şehir merkezine yakın depremler kayıt edilebilmiştir. Tablo 1'de de görüldüğü gibi kayıt edilen depremlerin şiddetlerinin büyük olmasına rağmen ($I_0 > VII$) sadece birkaç tanesinin geniş hasarlar verdiği bildirilmiştir (örneğin M.S. 60. 1354, 1702 (1703), 1717, 1744). Deprem kataloglarına göre (örneğin Soysal ve diğ., 1981) bölgedeki ilk deprem M.Ö. 65 yılında meydana gelmiştir, ancak Ergin ve diğ. (1967) ve Soysal ve diğ. (1981) Hierapolis bölgesindeki ilk yıkıcı depremin M.S. 60 yılındaki deprem olduğunu ileri sürmektedirler. Bu deprem Hierapolis, Laodikya (Hierapolis'in -14 km güneyi) ve çevredeki birçok yerleşim yerinde önemli hasarlara neden olmuştur. Kaynaklarda (örneğin Ergin ve diğ., 1967; Soysal ve diğ., 1981) depremin merkez üssünün Hierapolis yakınlarında ve şiddetinin (I_0) IX olduğu ileri sürülmektedir, bu da Richter ölçeğine göre yaklaşık magnitüt 7'ye eşittir. Deprem Dinar'a (Hierapolis'in yaklaşık 90 km doğusu) kadar büyük ölçüde hasarlara neden olmuştur ancak batı bölgelerden herhangi bir hasar kayıtlarda yer almamaktadır. Bean (1971) ve Ronchetti (1987)'ya göre bugün Hierapolis şehir merkezinde gördüğümüz kalıntılar bu depremden sonraki yapılaşmaya aittir. M.S. 60 yılındaki depremden sonra birçok deprem bölgede can kayıplarına ve hasarlara neden olmuştur. Örneğin, Ambraseys ve Finkel (1995) 1651'deki depremde Honaz ve Laodikya da 700 kişinin, 1702 (1703) depreminde Denizli ve çevresinde 12 000 kişinin, 1717 depreminde 6 000 kişinin öldüğünü ileri sürmektedirler. Ayrıca bu araştırmacılara göre, 1702 (1703) veya bir önceki depremde Denizli'nin yaklaşık 5 km kuzeyinden akan ve Menderes nehrinin bir kolu olan Gümüş Çayı yön değiştirmiştir. Ateş ve Bayülke (1982) Hierapolis'in 1354 ve 1744 yıllarındaki depremlerde tamamen yıkıldığını belirtmektedirler. Bu araştırmacılar hasarlara ait herhangi bir veri belirtmemelerine rağmen bölgede yaşayanların 1354 depreminden sonra diğer şehirlere göç ettiklerini ve 1744 depremi sırasında 15 000 canlının* öldüğünü ileri sürmektedirler. Bölgede magnitüdü 4'ün üzerinde kayıt edilen en son deprem 4 Mayıs 1984 tarihli depremdir ($M = 4.7$). Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü kayıtlarına göre 1990 yılından bu yana bu bölgede magnitüdü 4'ün üzerinde deprem meydana gelmemiştir.

HIERAPOLİSTE HASARLAR VE YÜZEY KIRIKLARI

Hierapolis kenti içindeki yüzey kırıkları KB - GD doğrultusunda bir zon içinde yoğunlaşmaktadır (Şekil 2). Yaklaşık 1250 m uzunluğunda ve 100 m genişliğindeki bu zon Hancock ve Altunel (baskıda) tarafından Hierapolis Kırık Zonu olarak adlandırılmıştır. Genellikle büyük deprem sonucunda ana faylar üzerinde oluşan bu tür çatlak ve kırıkların Hierapolis çevresinde uzunlukları 10 cm ile onlarca metre arasında, genişlikleri birkaç milimetre ile 1 metre arasında değişmektedir. Yüzey kırıkları gevşek zeminleri kestiği yerlerde yer yer sedimanlar ile dolmuştur.

Hierapolis Kırık Zonu kuzeyde Roma dönemine ait kuzey hamamından başlar, kuzey hamamının duvarlarında çatlaklar, eğilmeler ve blokların rotasyona uğradığı görülmektedir (Şekil 3). Yüzeydeki ilk kırıklar, şehrin kuzey giriş kapısının (kuzeydeki üç kemerli giriş kapısı) kuzeydoğusunda başlamaktadır. Kendiliğinden oluşan traverten kanallarını kesin $K150^\circ$ doğrultulu bu çatlaklar güneydoğuya doğru aynı doğrultuda birbirine paralel devam ederek Hierapolis şehir duvarını kesmektedirler (Şekil 2). Kırık zonü güneydoğuya doğru Pamukkale Motel'in yaklaşık 100 m kuzeybatısına kadar birbirine paralel çatlaklar halinde devam etmektedir (Şekil 2). Kırık zonunun bu kısmında birçok aktif sıcak su kaynağı ve kurumuş kaynak yerleri mevcuttur.

Pamukkale Motel'in yaklaşık 100 m kuzeybatısında kırık zonü iki kola ayrılmaktadır (Şekil 2) $K145^\circ$ doğrultulu doğudaki kol sola doğru basamaklar halinde devam eder ve Apollo tapınağının yaklaşık 100 m güneyinde sona erer. Bu zon üzerinde de birçok aktif ve kurumuş kaynak mevcuttur. Kırık zonunun $K162^\circ$ doğrultulu batı kolu güneydoğuya doğru devam eder ve Pamukkale Motel'in içine girer (Şekil 2). Yaklaşık 1 m genişliğindeki bu çatlak Pamukkale Motel'i güneydoğuya doğru $K130^\circ$ doğrultu ile terk eder ve kendiliğinden oluşmuş kanal travertenleri kestikten sonra Bizans dönemine ait KB - GD uzanlı bazilikayı karşıdan karşıya keser (Şekil 2). Bu kol üzerinde ana çatlağa paralel birçok küçük çatlak da mevcuttur. Bazilikanın duvarları çatlamış ve bloklar rotasyona uğramıştır. Birbirine paralel çatlaklar, birçok kanal travertenleri keserek güneydoğuya doğru devam eder ve bazilikanın yaklaşık 200 m güneydoğusunda sona ererler (Şekil 2). Pamukkale Motel içindeki Kutsal Havuz'un da içinde bulunduğu birçok aktif ve kurumuş sıcak su kaynağı bu kol üzerinde yer alır. Kırık zonunun güneybatısındaki Roma dönemine ait güney hamamının duvarlarında da kırık zonuna paralel çatlaklar yer alır, hatta kemerlerden biri blok kenarları boyunca fay üzerinde aşağıya doğru asılmıştır (Şekil 4).



Şekil 2. Hierapolis' şehir merkezindeki aktif çatlak ve fayları gösteren detaylı harita, (i) ve (ii) ok ile gösterilen yerlerdeki kesitleri (Altunel, 1994'den).

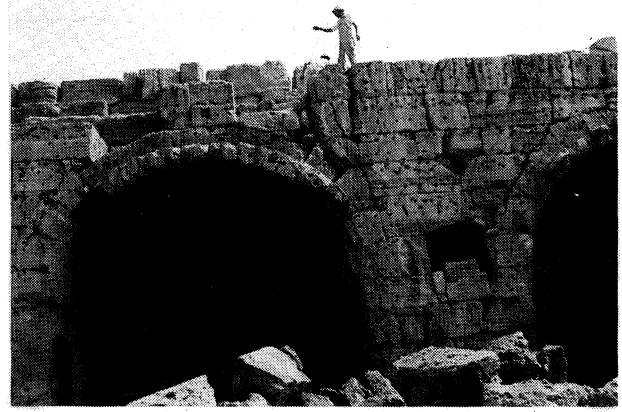
Figure 2. Detailed map of active fissures and faults at Hierapolis. (i) and (ii) are cross - sections (from Altunel, 1994).



Şekil 3. Kuzey hamamı. Binanın duvarları eğilmiş ve çatlamış, duvarlardaki bloklar rotasyon yapmış.

Figure 3. Northern Roman bath damage! by fissures and cracks. Note that the walls are tilted and distorted.

Hierapolis Kmk Zonu içinde çok sayıda doğrultu, normal ve oblik atımlı faylar da görülmektedir ve bu faylar Hancock ve Altunel (baskıda) in de belirttiği gibi Roma dönemi ve sonrasına ait insan yapımı ve kendiliğinden oluşmuş kanal travertenleri kesmektedir. Örneğin, şehrin kuzey kapısının yaklaşık 50 m güneydoğusunda Hierapolis şehir duvarı yaklaşık 10 cm sol - yanal ötelenmektedir. Pamukkale Motel'in yaklaşık 100 m kuzeybatısında normal faylarla kesilen kendiliğinden oluşmuş kanal travertenlerde 50 cm ye varan normal atımlar mevcuttur. Bu lokasyondaki yüzey kırıklarında ayrıca 30 cm'ye varan açılmalar görülür (Şekil 2i). Kırık zonunun güneydoğu sonuna yakın (bazilikanın yaklaşık 100 m güneydoğusunda) sol - yanal ve normal bileşeni olan oblik atımlı fay kendiliğinden oluşmuş kanal travertenleri yaklaşık 35 cm ötelemektedir (Şekil 5). Bu lokasyonda kuzey blok düşmüş ve düşey sol - yanal atımın yanında ayrıca yaklaşık 256 cm'lik bir açılma da mevcuttur (Şekil 2ii). Bu kırığın yaklaşık 10 m doğusunda normal fayla kesilen traverten kanallarında güney blok yaklaşık 50 cm düşmüştür, dolayısıyla burada mini bir graben oluşmuştur (Şekil 2ii). Bu lokasyonun yaklaşık 20 m kuzeyinde sol - yanal ve normal bileşeni olan başka bir oblik fay, kendiliğinden oluşmuş kanal travertenlerini kesmektedir. Bu fay üzerinde yaklaşık 10 cm sol yönlü yanal atım ve yaklaşık 15 cm düşey atım (güney blok düşmüş) mevcuttur. Mini grabeni sınırlayan faylar üzerinde aktif ve kurumuş sıcak su kaynakları yer almaktadır. Tusan Motel'in güneydoğusunda yer alan Bizans dönemine ait üç kuleli kalenin güneydeki kulesi K40° doğrultulu sağ yönü kırık ile kesilmektedir. Bu kırık üzerinde sağ yönlü doğrultu atımın yanında 10 cm'lik açılma da mevcuttur (Şekil 6).



Şekil 4. Güney hamamı. Sol kenardaki kemerin sol üst köşesinde faylanma ve buna bağlı olarak duvarda gelişen çatlaklar (Bu fotoğraf çekildikten sonra bu binada restorasyon yapıldı, dolayısıyla bu fay bugün görülmeyebilir).

Figure 4. A 'down faulted' arch (left side of the arch) in the southern Roman bath together with associated cracks and fissures in the walls (This building was restored, thus this fault may not be seen today).

DEPREM TARİHLERİNİN GÜVENİLİRLİKLERİ

Günümüzde Hierapolis'te mevcut olan tarihi kalıntılarda deprem hasarlarına ait belirtiler vardır, ancak depremlerin varlığının ve tarihlerinin güvenilirliğini tartışmadan önce dikkat çek iki noktayı vurgulamakta yarar vardır. Bunlardan birincisi, M.S. 60 yılındaki depremde şehir yerle bir olmasına rağmen (şehrin yeniden inşa edilmesi hasarın büyük olduğunu göstermektedir) 14. yy ile 18. yy arasında meydana gelen ve binlerce insanın ölümüne neden olan depremlerden sonra bugün Hierapolis şehir merkezinde ziyaret edilen tarihi binaların ayakta kalması bu depremlerin M.S. 60 yılındaki depremden daha küçük olduklarını göstermektedir. İkinci önemli nokta ise, Tablo 1'de de görüldüğü gibi M.S. 60 yılındaki deprem ile 1354 yılındaki deprem arasında bölgede uzun bir dönem için (yaklaşık 1300 yıl) deprem kaydı yok iken, 1354 ile günümüz arasındaki yaklaşık 1300 yıl gibi uzun bir süre suskun kalması ya bu dönemde kayıt edilmeyen küçük depremlerin varlığı veya bu dönemi ait yeterli kaynaklara henüz ulaşılamadığı şeklinde açıklanabilir.

Depremin katalogları, tarihsel kaynaklar ve Hierapolis şehir merkezinde yapılan çalışmalar bölgede büyük depremlerin meydana geldiğini göstermektedir (Tablo 1). Ancak bu depremlerin tarihlerinin güvenilirliğini tartışmada yarar vardır, çünkü Ambraseys (1988) ve Bellettati ve diğ. (1993) nin de belirttiği gibi tarihsel depremlere ait ikinci veya üçüncü elden kaynaklardan elde



Şekil 5. Kendiliğinden oluşmuş kanal travertenleri kesen sol yönlü oblik atımlı fay (Bazilikanın yaklaşık 150 m güneydoğusu).

Figure 5. A left lateral oblique fault cuts self- built channel travertines (About 150 m southeast of Basilica).

edilen bilgilerde depremlerin tarihlerinde önemli hatalar olabilmektedir. Örneğin, Ambraseys ve Finkel (1995)'e göre 1700li yılların başında meydana gelen ve 12 000 kişinin ölümüne neden olan depreme ait Sakız adasından bir tanığın ifadesi ile Osmanlı kaynakları birbirini tutmamaktadır; Sakız adasındaki tanık depremin 1702 yılında olduğunu ifade ederken, Osmanlı kaynaklarına göre deprem 1703 yılında meydana gelmiştir. Benzer şekilde Ateş ve Bayülke (1982) 1744 yılında 15 000 canlının ölümüne neden olan bir depremden bahsederken, bu deprem Ambraseys ve Finkel (1995) de yer almamaktadır. Ambraseys ve Finkel (1995)'e göre, 1702 (1703) depreminde veya daha önceki bir depremden, Denizli'nin 5 km kuzeyinden akan ve Menderes nehrinin bir kolu olan Gümüş Çayı yatağını değiştirmiştir. Bu yer değiştirme 1700li yılların başındaki bir depremi ve ondan önceki bir depremin varlığını desteklemektedir; muhtemelen 1354 depremi olabilir çünkü bu depremden birkaç değişik kaynakta bahsedilmektedir (örneğin Ateş ve Bayülke, 1982; Önen, 1988; Hancock ve Altunel baskıda). Ayrıca Ambraseys ve Finkel (1995) orijinal kaynaklardan yararlandıkları için (daha fazla ayrıntı için bakınız Ambraseys ve Finkel (1995)) tarihsel olayların varlıkları ve oluş zamanları hakkında daha güvenilir bilgiler sağlamaktadırlar. Dolayısıyla M.S. 60 yılındaki depremden sonra bu bölgede meydana gelen büyük depremler 1354, 1702 (1703) ve 1717 yıllarındaki depremler olarak ele alınabilir.

TARTIŞMA VE SONUÇ

Hierapolis'te arkeosismik hasarları belirlemede yardımcı olan belirtiler, çatlamış ve hasar görmüş duvarlar, binalar ve kendiliğinden oluşmuş kanal traverten-



Şekil 6. Bizans dönemine ait üç kuleli kalenin kapı eşiğini kesen sağ yönlü doğrultu atımlı fay. Fay zeminde de görülmektedir (Tusan Motel'in güneydoğusu).

Figure 6. A right - lateral strike - slip fault cuts door sill of the Byzantine fort. Fault can be recognized in the ground (Southeast of Tusan Motel).

lerdir. Deprem sonucu oluşan hasarları, zayıf yapılaşma ve elverişli olmayan jeoteknik şartlara bağlı olarak oluşan hasarlardan ayırt etmek zordur çünkü benzer hasarlar herhangi bir sismik etkiye bağlı kalmaksızın zayıf yapılaşma ve elverişli olmayan jeoteknik etkilerden de kaynaklanabilir. Ancak, detaylı arazi gözlemleri sonucunda haritalanan yüzey kırıkları, Hierapolis'teki hasarların bu şehri kesen bir fay üzerinde meydana gelen büyük bir deprem ($M = \sim 6$) sonucunda oluşmuş olduğunu açıkça ortaya koymaktadır. Bu yüzey kırıkları, doğrultulan üzerinde yer alan binaları ve kanal travertenleri kesmektedirler. Hierapolis'teki yüzey kırıkları içinde doğrultusu KB - GD olanlarda sol - yanal ve KD - GB olanlarda ise sağ - yanal bileşenler hakimdir (Şekil 2). Hierapolis'teki kırık zonu içinde yer alan bu oblik hareketlerin yönleri bölgeyi etkileyen KG ve KD - GB yönlü (Altunel ve Hancock, 1993a) çekme kuvvetleri ile uyumluluk göstermektedir. Hierapolis antik kenti içinde belirlenen bu yüzey kırıkları boyunca ölçülen ötelenmeler, bu kırığı meydana getiren depremin büyüklüğünün $6 < M < 6.5$ olduğunu göstermektedir. Benzer ve güncel bir örnek olarak $M = 6.1$ Dinar depremi sırasında da yaklaşık 10 km uzunluğunda bir yüzey kırığı boyunca 15 - 30 cm normal atımlar meydana gelmiştir.

M.S. 60 yılındaki deprem bölgedeki en şiddetli depremdir (Ergin ve diğ., 1967; Soysal ve diğ., 1981) ve bu depremden sonra Hierapolis şehir merkezi biraz güneye kaydırılarak (Bean, 1971) yeniden inşa edilmiştir (Bean, 1971, Ronchetta 1987). Bu deprem, şehri tamamen yerle bir ettiğine göre bu büyüklükteki bir deprem sırasında yüzey kırıklarının oluşması beklenebilir. Şekil 2'de görülen kırık zonu ve fayların bu deprem sırasında

Tablo 2. Hierapolis'te yüzey kırıklarının kestiği binaların yapılış tarihleri ve hasarların türü.

Table 2. Dates of man - made buildings that are damaged by surface breaks at Hierapolis.

Yapının adı	Yapılış tarihi	Kaynak	Hasarın türü
Şehir duvarı (kuzey kısım)	IV. yy sonu	1	K150° doğrultulu birbirine paralel onlarca metre uzunluğunda iki çatlak duvarı kesiyor. Bunların yaklaşık 50 m doğusunda çatlaklara paralel sol yönlü doğrultu atımlı bir fay duvarı 10 cm ötelemektedir.
Kuzey hamamı	II. - II. yy., V. yy da Bizans kilisesine dönüştürülmüş	1, 2	Binanın duvarları eğilmiş ve çatlamış, bloklar rotasyon yapmış, duvarlardaki bloklar kırılmış.
Güney hamamı	II. yy	1	Binanın duvarları çatlamış, duvarlardaki bloklar kırılmış, kemerlerdeki bloklarda birbirlerine göre kaymalar mevcut.
Bazilika	VI. yy	3	K130° doğrultulu yaklaşık 1 m genişliğinde bir çatlak binayı boydan boya kesmektedir. Duvarlarda çatlaklar ve bloklarda rotasyonlar görülür.
Üç kuleli kale (Tusan Motel'in güneydoğusu)	XII. yy sonu, XIII. yy başı	4	K40° doğrultulu sağ yönlü doğrultu atımlı fay binanın duvarını, tabanını ve bina kapısının eşiğini kesmektedir. Fay üzerinde 10 cm açıklık ve 15 cm sağ yönlü atım mevcuttur.

1. Ronchetta (1987), 2. McDonagh (1989), 3. Ferrero (1987b), 4. (Hierapolis'te çalışmalarını sürdüren İtalyan kazı ekibinden Dr. Paul Arthur ile 1994 yılında sözlü görüşme).

oluşmuş olması mümkün olamaz çünkü ustaların yüzeyde açıkça görülen kırık veya çatlakların üzerine inşa etmesi düşünülemez, hele ki Romalılar gibi inşaat konusunda çok iyi olan ustaların bu durumu göz ardı etmeleri mümkün değildir. Hancock ve Altunel (baskıda) Hierapolis'in yaklaşık 2 km kuzeyindeki taze görünümü yaklaşık 500 m uzunluğundaki normal fayın M.S. 60 yılındaki deprem sırasında oluşmuş kırıklardan biri olabileceğini ileri sürmektedirler. Şehir merkezinin M.S. 60 yılındaki depremden sonra güney kaydırılarak inşa edilmesi (Bean, 1971) bu araştırmacıların gözlemlerini desteklemektedir, çünkü kırıklar ve çatlaklar deprem sırasında oluşan ana kırığın (fayın) yakınında yoğunlaşırlar ve ana kırıktan uzaklaştıkça diğer çatlak ve kırıkların da azaldığı ve yok olduğu görülür. Onun için M.S. 60 yılındaki depreme ait yüzey kırıkları muhtemelen bugünkü Hierapolis'in kuzey kesiminde yer almaktadırlar ve eski şehir merkezindeki binaların çoğu M.S. 60 yılındaki deprem sırasında meydana gelen şiddetli sarsıntı sonucu yıkılmıştır.

Şekil 2'de görülen kırık zonu ve faylar M.S. 60 yılından sonra bölgede meydana gelen başka bir büyük

depreme aittir. Ancak, Hierapolis farklı zamanlarda farklı uygarlıklar tarafından işgal edildiği için (örneğin Roma öncesi, Romalılar, Bizanslılar, Osmanlılar) deformasyon belirtisi olan hasarların ve kırıkların oluşum zamanlarının henüz kesin açıklamasını yapmak zordur. Fakat insan yapımı yapıların yapılış tarihleri belli olduğu için binalar, kırıkların oluşum yaşları hakkında yaklaşık bilgiler verirler. Tablo 2 Hierapolis'teki binaların yapılış tarihlerini ve hasarların türünü özetlemektedir.

Sonuç olarak, M.S. 60 yılındaki depremden sonra yeniden inşa edilen Hierapolis kenti içinde görülen yüzey kırıkları ve bunlara bağlı hasarlar Pamukkale fayı üzerinde M.S. 60 depreminden sonra da başka bir depremin meydana geldiğini göstermektedir. Hierapolis'te Romalılardan sonra Bizanslılar ve Osmanlıların yaşamış olmaları bu binaların bu devirlerde kullanılmış olduklarını gösterir dolayısıyla binaların tahrip eden bu yüzey kırıklarının muhtemelen 1354, 1702 (1703) ve 1717 depremlerinin biri sırasında meydana geldiği düşünülmektedir. Hierapolis'teki yüzey kırıklarını oluşturan depremin tarihini belirlemeye yönelik çalışmalar de-

HİERAPOLİS'TEKİ ARKEOSİSMİK HASARLAR

vam etmektedir ancak bu çalışmanın ortaya koyduğu önemli sonuçlardan biri aktif faylar üzerinde yeralan antik kentlerde yapılan detay çalışmalarının deprem aktivitesinin belirlenmesinde ne kadar önemli rol oynadığıdır.

KATKI BELİRTME

Hierapolis'teki yüzey kırıkları E. Altunel'in doktora çalışması sırasında farkedilmiş, doktora çalışması burs niteliğinde Milli Eğitim Bakanlığı tarafından desteklenmiştir. Değerli kriter ve yardımlarını esirgemeyen Prof. Dr. Paul L. Hancock'a (Bristol Üniversitesi) teşekkürler. Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü 1990 yılından bugüne Denizli ve yakın çevresinde meydana gelen depremlerin listesini sağlamıştır. Arazi çalışmalarının bir kısmı TÜBİTAK tarafından desteklenen Ulusal Deniz Jeolojisi ve Jeofiziği Programı (Koordinatör Naci Görür) kapsamında 237/G projesi tarafından desteklenmiştir.

DEĞİNİLEN BELGELER

- Altunel, E., 1994, Active tectonics and the evolution of Quaternary travertines at Pamukkale, western Turkey. Ph. D. tezi (yayımlanmamış), 236 sayfa.
- Altunel, E. and Hancock, P.L., 1993a, Active fissuring faulting in Quaternary travertines at Pamukkale, western Turkey. In: Neotectonics and Active Faulting (edited by Stewart, I.S., Vita - Finzi, C. and Owen, L.A.) Zeitschrift Geomorphologie Supplementary Volume, 94, 285 - 302.
- Altunel, E. and Hancock, P.L., 1993b, Morphological features and tectonic setting of Quaternary travertines at Pamukkale, western Turkey. Geol. J., 28, 335 - 346.
- Altunel, E., Hancock, P.L. and Smart, P., 1995, Formation of fissure - ridge travertines and their neotectonic significance. Abstract, IAESCA, Güllük, Türkiye.
- Ambraseys, N.N., 1971, Value of historical records of earthquakes. Nature, 232, 375 - 379.
- Ambraseys, N.N., 1988, Engineering seismology. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 17, 1 - 105.
- Ambraseys, N.N. and Finkel, C.F., 1995, The Seismicity of Turkey and Adjacent Areas: A Historical Review 1500 - 1800. Eren Yayıncılık, İstanbul.
- Armijo, R., Lyon - Caen, H. and Papanastassiou, D., 1991, A possible normal fault rupture for the 464 B.C. Sparta earthquake. Nature, 351, 137 - 139.
- Ateş, R.C. and Bayülke, N., 1982, The 19 August 1976 Denizli, Turkey, earthquake: Evaluation of the strong motion accelerograph record. Bull. of the Seis. Soc. Am., 72, 5, 1635-1649.
- Bean, G., 1971, Turkey Beyond the Maeander. Ernest Benn, London, 267 pp.
- Bellettati, D., Camass, R. and Molin, D., 1993, Fake quakes in Italy through parametric catalogues and seismological compilations: case histories typologies. Terra Nova, 5, 488 - 495.
- Ergin, K., Güçlü, U. and Uz, Z., 1967, A catalog of Earthquake for Turkey and Surrounding Area (11 A.D. to 1964 A.D.). ITU Faculty of Mining Engineering, İstanbul, Turkey.
- Ferrero, D.D., 1987a, Travellers. In: Hierapolis Di Frigia 1957 -1987. Fabri, Turin, 21 -26.
- Ferrero, D.D., 1987b, The martyrion of saint Philip and churches, In: Hierapolis Di Frigia 1957 - 1987. Fabri, Turin, 121 -132.
- Gencoğlu, S., İnan, E. ve Güler, H., 1990, Türkiye'nin Deprem Tehlikesi. Türkiye Jeofizik Mühendisleri Odası, Ankara.
- Hancock, P.L. and Altunel, E. (baskıda), Faulted archaeological relics at Hierapolis, Turkey. Journal of Geodynamics.
- Karcz., I. and Kafri, U., 1978, Evaluation of supposed archaeological damage in Israel. Jour. Archaeological Science, 5, 237 - 253.
- McDonagh, B., 1989, Turkey: The Aegean and Mediterranean Coasts. A and C Black, London, 597 p.
- Meyer, B., Lacassin, R., Brulhet, J. and Mouroux, B., 1994, The Basel 1356 earthquake: which fault produced it?. Terra Nova, 6, 54-63.
- Mörner, N.A. and Tröften, P.E., 1993, Palaeoseismotectonics in glaciated cratonal Sweden. In: Neotectonics and Active Faulting (edited by Stewart, I.S., Vita - Finzi, C. and Owen, L.A.) Zeitschrift Geomorphologie Supplementary Volume, 94, 107 - 117.
- Nur, A., 1991, Earthquakes in the Bible. New Scientist, 6 July, No: 1776, 45-48.
- Olivera, C., Banda, E. and Roca, A., 1991, An outline of historical seismicity studies in Catalonia. Tectonophysics, 193, 231-235.
- Önen, C., 1988, Denizli, Denizli Belediyesi.
- Papanastassiou, D., Maroukian, H. and Papanastassiou, K.G., 1993, Morphotectonic and archaeological observations in the eastern Argive Plain (eastern Peloponnese, Greece) and their palaeoseismological implications. In: Neotectonics and Active Faulting (edited by Stewart, I.S., Vita - Finzi, C. and Owen, L.A.) Zeitschrift Geomorphologie Supplementary Volume, 94, 95 - 105.

Papastamatiou, D. and Psycharis, L., 1993, Seismic response of classical monuments - a numerical perspective developed at the Temple of Apollo in Bassae, Greece, *Terra Nova*, **5**, 591 - 601.

Kitti, T., 1987, History of Hierapohs. In: *Hierapolis Di Frigia 1957 - 1987*. Fabri, Turin, 27 - 30.
 Ronchetta, D., 1987, The city plan of Hierapolis. In: *Hierapolis Di Frigia 1957 - 1987*. Fabri, Turin, 31-38.

Makalenin geliş tarihi: 14.12.1995

Makalenin yayma kabul tarihi: 19.7.1996

Received December 14, 1995

Accepted July 19, 1996

Soysal, H., Sipahioğlu, S., Kolçak, D. ve Altınok, Y., 1981, Türkiye ve Çevresinin Tarihsel Deprem Kataloğu (MÖ 2100 - MS 1900) TÜBİTAK yayınları.

Vita - Finzi, C., 1986, *Recent Earth Movement*. Academic Press, London, 226 pp.

Vogt, J., 1991, Some glimpses at historical seismology. *Tectonophysics*, 193, 1 - 7.