

**ZEMİN SIVILAŞMASI VE FAYLANMAYA BAĞLI YER DEĞİŞİMLERİNİN
HAVA FOTOĞRAFLARI YARDIMI İLE TESPİTİ
(DETERMINATION OF GROUND DEFORMATION INDUCE BY LIQUEFACTION
AND FAULTING THROUGH AERIAL PHOTOGRAPH)**

**Veysel Okan ATA¹, Oktay AKSU¹, Özcan BİRCAN¹, Ömer AYDAN², Hasan KOCA³
Murat KARAKAYA⁴,**

¹Harita Genel Komutanlığı Fotogrametri Dairesi, Ankara

²Tokai University, Department of Marine Civil Engineering, Shimizu/JAPAN

³Kardelen mah. Başkent Bul. 505. sok. Tarım Konut Sitesi 17/3 Batıkent, Ankara

⁴37. Cad. 253. Blok No: 6/6 Yüzüncüyıl Balgat, Ankara

email: voatak@yahoo.com

ÖZET

Sıvılaşma, suya doymun toprak zeminlerin, depremlerin neden olduğu tekrarlı dinamik gerilmelerin etkisiyle suyla birlikte viskoz bir sıvı gibi yüzeye yükselmesi şeklinde gelişen bir davranış biçimidir. Faylanma sonucunda da zeminde göreceli hareketler meydana gelmekte ve yapılar bu hareketlerden etkilenerek hasar görmektedir.

Bu çalışmada, 1999 Kocaeli depremi öncesine ve sonrasına ait hava fotoğrafları kullanarak Sapanca Gölü çevresinde, İzmit Körfezi güney kıyıları ve Sakarya ili şehir merkezinde zemin sıvılaşması ve faylanma nedeni ile meydana gelen konum değişiklikleri tespit edilmiştir. Ayrıca farklı tarihlerde alınmış hava fotoğrafları kullanılarak yapılan benzer çalışmalarda da, İstanbul ili Avcılar ilçesinde ve Denizli ili Babadağ ilçesinde zeminde meydana gelen yer değiştirmelerin yönleri ve büyüklükleri belirlenmiştir.

Sonuçlar incelendiğinde, yeterli sayıda noktada ölçüm yapıldığı takdirde hassas sonuçların elde edilebileceği ve fotogrametrik yöntemin, araştırılan bölgenin tümünü temsil eden sağlıklı yaklaşımlar verebileceği görülmüştür.

ABSTRACT

Liquefaction is an upward movement of saturated soils to the surface like a viscose liquid due to cyclic stresses generated by the earthquakes. Relative movement of the ground also occurs due to faulting, and therefore, the structures sustain damages due to faulting and liquefaction.

In this study, the differences at the position around Sapanca Lake vicinity, south coasts of İzmit Bay and Sakarya city center because of the liquefaction and faulting were determined using the aerial photographs taken before and after 1999 Kocaeli earthquake. And in the researches based on the data derived from the aerial photographs taken in different dates, direction and magnitude of the ground displacement due to faulting and liquefaction were determined.

When the results are investigated, it can be seen that sensitive results can be achieved if sufficient number of observations on the photographs are carried out, and the method utilized in this study provides correct results, which represent the whole area investigated.

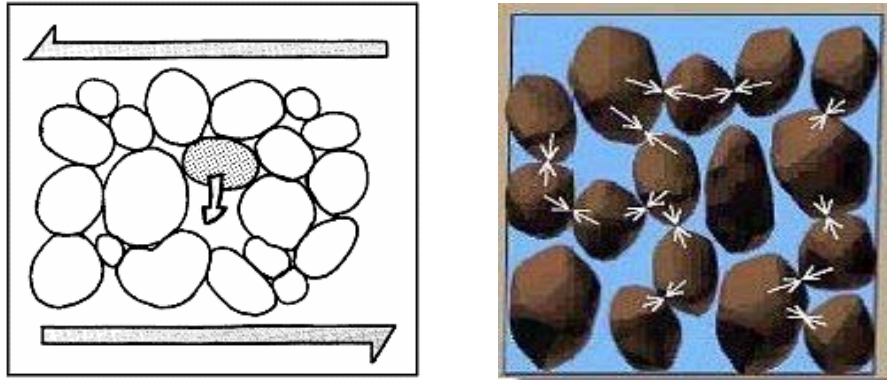
1. GİRİŞ

İnsanoğlunun en çok zarar gördüğü ve karşısında en çaresiz kaldığı olaylar hiç şüphesiz ki doğal afetlerdir. Bu olaylar karşısında insanoğlunun elinden gelen tek şey tedbir almak ve bu doğal felaketleri en az zararla atlarmaya çalışmaktır. Tahmin edilebileceği gibi bu doğal afetlerin ülkemizde en başta geleni de hiç şüphesiz ki depremlerdir.

Bu çalışmada, Harita Genel Komutanlığı ile Waseda Üniversitesi – Japonya arasında imzalanan bir protokol çerçevesinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, 17 Ağustos 1999 depreminden etkilenen bölgelerde zemin sıvılaşması ve faylanma nedeniyle oluşan konum değişiklikleri, deprem öncesi ve sonrasına ait hava fotoğraflarının değerlendirilmesi ile tespit edilmeye çalışılmıştır. Ayrıca Avcılar-İstanbul ve Babadağ-Denizli bölgelerinde farklı tarihlerde alınmış hava fotoğrafları kullanılarak, yer değişimlerinin tarihsel gelişimi tespit edilmeye çalışılmıştır.

2. SIVILAŞMA

Sıvılaşma, suya doymun zeminin içerdiği boşluk suyu basıncının sarsıntı sırasında yükselerek efektif gerilmenin sıfır olması ve zeminin sıvı gibi davranış göstermesi olarak tanımlanır. Zeminde sıvılaşmaya neden olan hareketler; sismik dalgalar ve özellikle de makaslama dalgalarıdır. Bu dalgalar suya doymun taneli tabakalardan geçerken oluşturdukları ek su basıncı ile tanecikli yapıyı bozar ve zeminin dayanımını yitirmesine neden olurlar. Sonuçta oluşan hacimsel küçülme eğer su drenajı yoksa tanecikler arasındaki boşluk suyu basıncının artmasına neden olur. Eğer boşluk suyu basıncı, etkin gerilmenin sıfıra ulaşacağı şekilde yükselirse, gözenekli zemin geçici olarak bir sıvı gibi hareket eder (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Zeminin Sıvılaşma Olgusu; Sağda Okların Uzunluğu Zemin Parçaları Arasındaki Bağlantı Gücünü Göstermektedir, Su Basıncı Azaldıkça Bağlantı Gücü Artmaktadır

İşte bu oluşum sıvılaşma olgusu olarak tanımlanmaktadır /1/. Sıvılaşma durumunda, zeminin yapısı küçük bir makaslama gerilmesi ile bozulabilir ve ortaya çıkan deformasyonlar binaları veya diğer yapıları hasara uğratabilecek kadar büyük boyutlara ulaşabilir. Bu tür zeminler zayıf gevşek zemin olarak adlandırılır.

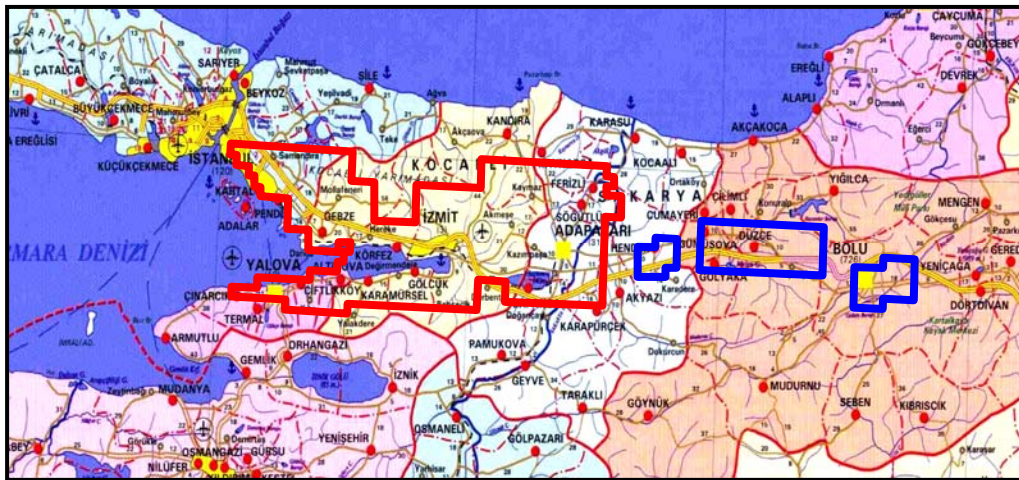
Sıvılaşma; zeminin gözenekliliğine veya sıkılığına, aralarındaki ince tane miktarına ve geçirgenliğine bağlıdır. Sıvılaşmayı takiben zeminde oluşacak deformasyonun miktarı ise; malzemenin gevşekliğine, derinliğine, kalınlığına, sıvılaşan tabakanın kapsadığı alana, zeminin eğimine ve bina ile diğer yapılar nedeniyle zemine uygulanan yükün dağılımına bağlıdır.

Sıvılaşmaya en uygun zemin çok az ince tane içeren kum birikintileridir. Sıvılaşma, özellikle kum ve alüvyonlu zeminlerde meydana gelir. Özellikle genç ve gevşek tortular ile yeraltı su seviyesinin yüksek olduğu yerler de zemin sıvılaşması için en uygun alanlar olarak düşünülür. Bu kapsamda dikkate alınması gereken yerler; holosen deltalar (10.000 yıldan daha önce oluşmuş), nehir yatakları, sel alanları ve rüzgarla taşınmış birikintilerin bulunduğu alanlar ile iyi sıkıştırılmamış dolgu alanlarıdır. Sıvılaşmanın yüzeyde gözlenebilmesi için yeraltı su seviyesinin arazi yüzeyinin 10 m.'nin altında olması gerekir. 20 m. veya daha derinde yeraltı su seviyesinin bulunduğu bölgeler, daha az sıvılaşmanın yüzeyde gözleendiği yerlerdir.

Dünyada zemin sıvılaşması konusundaki çalışmaların başlangıcı günümüzden 60 yıl kadar öncesine dayanmaktadır. Bu konu öncelikle jeo-teknik mühendislik alanı tarafından incelenmeye başlamıştır /2/. Ülkemizde yapılan araştırmaların geçmişi ise çok eskiye dayanmamaktadır. Konu özellikle Erzincan-1992 depremi sonrası gündeme girmiş, Dinar-1995, Ceyhan-1998 ve Kocaeli-1999 gibi ülkemizde yaşanan büyük depremler sonrası incelemeler daha detaylı hale gelmiştir. Bu depremlerden önceki birçok depremde de zemin sıvılaşması olayı gerçekleştiği halde 13 Mart 1992 Erzincan depremine dek konuya yeterli derecede önem verilmediği söylenemez /3, 4/.

3. MEVCUT DÖKÜMANLAR VE DEĞERLENDİRME İÇİN ARANAN KOŞULLAR

17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminden hemen sonra Harita Genel Komutanlığı tarafından deprem bölgesini kapsayan 1/16 000 ölçekli siyah-beyaz hava fotoğrafı alımı gerçekleştirilerek, bölgeyi kapsayan 860 adet 1/5 000 ölçekli sayısal ortofoto harita üretilmiştir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. 1/5 000 Ölçekli Olarak Üretilen Ortofoto Haritalarının Kapsadığı Alan

Yapılan araştırmalarda bölgenin deprem öncesine ilişkin farklı tarih ve ölçeklerde hava fotoğraflarının olduğu saptanmıştır. Ancak bu fotoğrafların bir çoğunda nirengi çalışması mevcut değildir ve ayrıca deprem tarihinden itibaren 25-40 yıllık bir zaman farkı söz konusudur. Ayrıca depremde hasar gören bölgeler, ülkemizde yapılaşma ve gelişmenin en fazla görüldüğü alanlardır. Deprem öncesi ve sonrasına ilişkin hava fotoğraflarında zaman farkının büyük olması nedeniyle; ortak detay noktası bulunması konusunda büyük sorunlarla karşılaşılacağı düşünülererek, küçük ölçekli olmasına rağmen, en yakın tarihli uçuş tercih edilmiştir. 1994 yılında 1 / 35 000 ölçekli olarak gerçekleştirilen bu uçuş; 1 / 25 000 ölçekli

harita revizyonu için gerçekleştirilmiş olup, uçuştan önce bölgede nirengi çalışması da yapılmıştır /5/.

Ayrıca sadece deprem nedeniyle değil, aynı zamanda tarihsel süreç içerisinde gerçekleşen yer değişim hareketlerinin tespiti amacıyla da gerçekleştirilecek araştırma çalışmalarına yönelik olarak; Avcılar-İstanbul bölgesi için yapılan arşiv taramalarında 1/18 000 ölçekli 1987, 1/35 000 ölçekli 1993, 1/18 000 ölçekli 1998 ve deprem sonrası 1/16 000 ölçekli 1999 yılında, Babadağ-Denizli bölgesi için ise 1/35 000 ölçekli 1960, 1/15 000 ölçekli 1972 ve 1988, 1/40 000 ölçekli 1993 ve 1/16 000 ölçekli 2001 yıllarında gerçekleştirilmiş hava fotoğrafı alım çalışmaları tespit edilmiştir.

Normal şartlar altında sivilaşmaya ve faylanmaya bağlı hareketlerin belirlenmesi için yapılacak bu tür bir araştırmada ihtiyaç duyulacak ideal veriler ve bunlara ilişkin koşullar ise aşağıda verilmiştir:

a. İncelenecek bölgenin deprem öncesi ve sonrası olmak üzere birbirine mümkün olduğunca yakın tarihlerde fotoğraflarının çekilmiş olması ve fotoğraf alımının birbirine yakın kamera odak uzaklığına sahip kameralar tarafından yapılmış olması,

b. Fotoğraf ölçeğinin büyük ve tercihen 1/4 000 ile 1/16 000 arası ölçeklerde olması ve fotoğraflar arasındaki boyuna bindirmenin ortalama % 60, enine bindirmenin ise ortalama % 20 olması,

c. Ölçüm yapılacak ortak ayrıntı noktalarının kolay saptanması için resimlerin büyütülmesi veya yeterli duyarlılıkta sayısallaştırılması,

ç. Mümkün olduğunca fazla ortak noktada ölçüm yapılarak daha anlamlı sonuçlara ulaşılmaya çalışılması ve ölçüm yapılacak ortak detay noktası olarak yol üzerindeki belirgin işaretlerin, elektrik direk veya kulelerinin temelini, belirgin yeryüzü noktaları ile köprü ve binaların üzerindeki noktaların seçilmesi,

d. Büyük depremler sonucunda meydana gelen yer değişimlerinin birkaç metre seviyesinde olduğu göz önüne alındığında, sivilaşma ve faylanma nedeniyle meydana gelen değişimlerin saptanması için elde edilen koordinatların santimetre düzeyinde hassasiyete sahip olması ve bu hassasiyetin hiçbir şekilde metre düzeyine ulaşmaması istenir.

Ancak tahmin edilebileceği gibi, eldeki mevcut veriler ve olanaklar göz önüne alındığında yukarıda sıralanan koşulların tümünün aynı anda karşılanması pek mümkün değildir /6/.

4. UYGULAMALAR

a. 1999 Kocaeli Depremi Nedeniyle Oluşan Yer Değişimlerine Yönelik Çalışmalar

Uygulamanın amacı deprem öncesi ve deprem sonrasına ait olan iki uçuşun değerlendirilerek ortak detaylardaki yer değişimlerini tespit etmektir. Referans olarak 1/5 000 ölçekli ortofoto haritalar mevcut olduğu için, uygulama safhasında deprem öncesi uçuşlarla ilgili çalışmalarda da bu haritaların yapımı esnasında izlenen işlem adımları aynen takip edilmeye çalışılmıştır. Böylelikle ortak detaylarda yapılacak koordinat değişikliği tespitlerinin daha sağlıklı olacağı düşünülmüştür.

Deprem sonrası uçuşlar 1/16 000 ölçekli olarak gerçekleştirilmiştir. Fotoğraf çekimi yapılan kameranın odak uzaklığı 152.841 mm. dir. Uçuşlardaki boyuna bindirme % 60 - 65 , enine bindirme ise % 20 - 30 civarındadır.

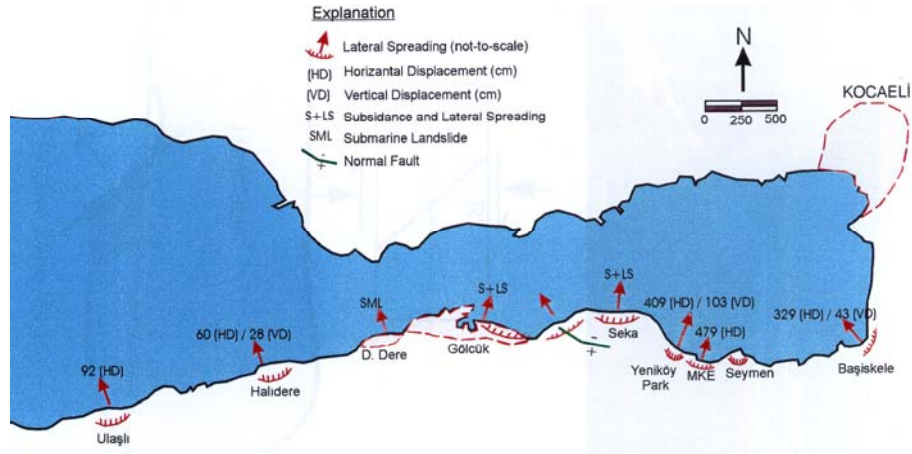
Hava filmleri Zeiss SCAI (Scanner with Autowinder Interface) hassas film tarayıcısında 21 mikron metre piksel boyutlarında taranmıştır. Tarama işleminden sonra fotogrametrik ölçüm ve dengeleme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Dengeleme işlemleri sonucu elde edilen dış yöneltme parametreleri dosyası ile sayısallaştırılan fotoğraflar sayısal değerlendirme

sistemlerine aktarılmış ve bu sistemlerde stereo model oluşumu sağlanmış, seçilen detay noktalarının üç boyutlu koordinat okumaları yapılmıştır.

Deprem öncesine ait olan 1994 yılı uçuşlarından yeni bir blok oluşturularak, 1999 yılı deprem sonrası uçuşlarla tamamen aynı yöntemler kullanıldığı takdirde daha anlamlı sonuçların elde edileceği anlaşılmıştır. 1994 yılı uçuşları 1/35 000 ölçekli olup % 60 - 65 boyuna, % 20 - 30 enine bindirmeye sahiptir. Kullanılan kameranın odak uzaklığı 153.290 mm. dir. Dengeleme sonrası elde edilen verilerle deprem sonrası uçuş için uygulanan işlem adımları aynen izlenerek dış yöneltme parametreleri ve üç boyutlu stereo model görüntüleri elde edilmiştir.

Söz konusu bölgeleri kapsayan deprem öncesi ve sonrasına ait hava fotoğrafları A0 boyutlarına kadar büyütülerek çıktılar alınmıştır. Çıktılar üzerinde hem deprem öncesi hem de deprem sonrası görüntülerde ortak olarak görülebilen detay noktaları saptanmıştır. Bu ayrıntı noktaları tespit edilirken; yol üzerindeki belirgin işaretlerin, elektrik direk veya kulelerinin temelini, belirgin yeryüzü noktaları ile köprü ve binaların üzerindeki noktaların seçilmesine ve bunların 100 - 200 m. eşit aralıklarla belirlenmesine özen gösterilmiştir. Tespit edilen noktalar numaralandırıldıktan sonra ölçüm işlemine başlanmıştır. Ölçülen koordinatlar arasında elde edilen farklar içinde ortalama hatanın 3 katından büyük olan ve kaba hata olarak değerlendirilen ölçümler yenilenmiştir.

Öncelikli inceleme alanı olarak Sapanca Gölü çevresinde yer alan ve deprem nedeniyle sınılaşma ve faylanmanın en yoğun biçimde olduğu bölgeler tespit edilmiştir. Bu bölgeler Sapanca Oteli bölgesi (güney kıyıda), Eşme bölgesi (kuzey kıyıda) ve Sapanca Gölü'nün batısında yer alan bölgelerdir. İkinci inceleme bölgesi İzmit körfezinin güney kıyıları (Şekil 4.1), son inceleme bölgesi ise Sakarya şehir merkezi bölgesidir.



Şekil 4.1. İzmit Körfezinin Güney Kıyıları Yanal Atım ve Çökme Hareketleri Haritası /4/

Ölçümler sonucunda belirlenen farklar yatay ve düşey düzlemde ayrı ayrı değerlendirilerek hareket vektörleri elde edilmiştir. Hareket vektörleri görüntü üzerine bindirilerek çıktılar alınmış ve söz konusu hareketler yorumlanmıştır /7/.

b. Tarihsel Süreç İçerisinde Gerçekleşen Yer Değişimlerine Yönelik Çalışmalar

Bu bölümdeki uygulamanın amacı ise Avcılar-İstanbul ve Babadağ-Denizli bölgelerinde yaşanan yer değişimlerinin tarihsel gelişiminin tespit edilmesidir.

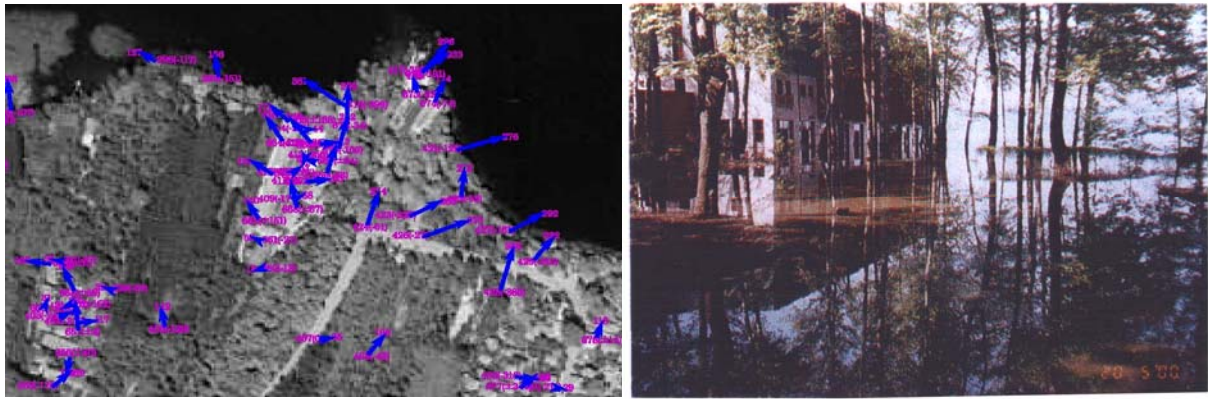
Gerçekleştirilen uygulamalarda farklı tarih ve ölçeklerde alınmış hava fotoğrafları kullanılmıştır. Uçuşlardaki enine ve boyuna bindirme oranları standart olup farklı kameralarla alım yapılmıştır. Hava fotoğrafları ilk uygulamada olduğu gibi 21 mikron metre piksel boyutlarında taranmıştır. Mevcut nirengiler kullanılarak stereo model oluşumu sağlanmış ve seçilen ortak detay noktalarının üç boyutlu koordinat okumaları yapılmıştır.

Ölçümler sonucunda belirlenen farklar yatay ve düşey düzlemde ayrı ayrı değerlendirilerek hareket vektörleri elde edilmiştir. Hareket vektörleri görüntü üzerine bindirilerek çıktılar alınmış ve söz konusu hareketler yorumlanmıştır.

5. ELDE EDİLEN SONUÇLAR

a. Sapanca Gölü Çevresi

Sapanca Otel bölgesinde 418 noktada koordinat ölçümü yapılmış ve elde edilen hareket vektörlerinin bölgede yaygın olarak gözlenen sivilaşma ve sivilaşmanın göstergesi olabilecek diğer kanıtlar nedeniyle kuzeye yani göle doğru olduğu gözlenmiştir /8/. Aynı bölgede gölden güney yönüne doğru uzaklaştıkça görülen kuzeybatı yönündeki hareketin ise sivilaşmayla birlikte faylanmaya bağlı bir hareket olduğu değerlendirilmektedir (Şekil 5.1).

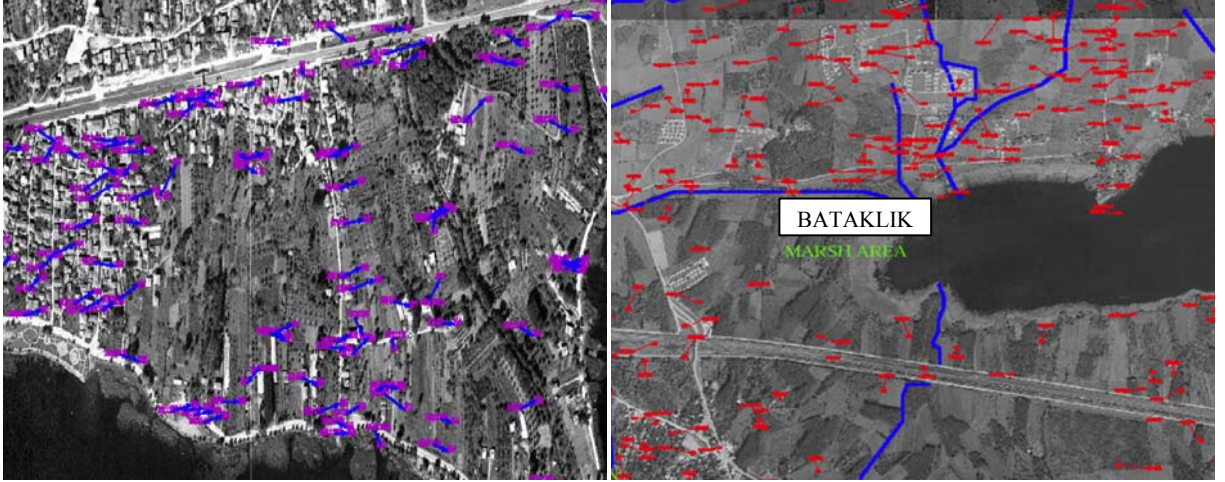


Şekil 5.1. Otel Bölgesinde Yapılan Ölçülerden Elde Edilen Hareket Vektörleri ve Bölgede Gözlenen Su Seviyesindeki Yükselmeler

Sapanca Gölü kuzeyinde yer alan Eşme bölgesinde 305 noktada koordinat ölçüsü alınmış ve elde edilen hareket vektörlerinin faylanma nedeni ile doğu ve güneydoğu yönünde yoğunlaştığı gözlenmiştir /9/. Burada görülen hareketlerde faylanmanın etkisi çok baskındır. Sivilaşmanın hareketlere etkisi ise zayıf kalmıştır fakat yine de sivilaşma olayı, faylanma hareketinin doğu yönünde oluşan etkisinin göle yakın bölgelerde güneydoğu yönüne doğru kaymasını sağlamıştır (Şekil 5.2).

Sapanca gölü Batı Kıyısı bölgesinde ise 423 noktada koordinat ölçümü yapılmıştır. Bu bölgede elde edilen sonuçları iki bölümde değerlendirmek uygun olacaktır. Batı Kıyısının kuzey bölümünde elde edilen hareket vektörleri Eşme bölgesinde elde edilen sonuçlarla uyum göstermekte olup, doğu ve güneydoğu yönündedir. Bu hareket faylanmanın etkisini göstermektedir. Batı Kıyısının güney bölümünde elde edilen hareket vektörleri ise kuzeyden farklı olarak değişik yönlerde ve dağınık bir karakter sergilemiştir. Sapanca Gölü bölgesinde Kuzey Anadolu Fayının yaklaşık olarak Sapanca Gölünün ortasından geçtiği dikkate alındığında kuzey ve güney bölümde farklı yönde hareketlerin gözlenmesi beklenen bir

durumdur. Ancak güney bölümde oluşan farklı yönlerdeki dağınık hareketlerin nedeni olarak güneydeki bölgenin değişken zemin yapısı düşünülebilir. Bunun yanı sıra, suya doymun olmayan eğimli zeminlerde sarsıntı sonucu yanal yayılma oluştuğunun deneysel olarak kanıtlandığı göz önüne alınırsa bu dağınıklığın nedenini açıklamak mümkündür /10/ (Şekil 5.2).



Şekil 5.2. Eşme ve Batı Kıyısı Bölgelerindeki Ölçülerden Elde Edilen Hareket Vektörleri

Bu değerlendirmeler ışığında, bölgedeki hareketlerin daha da iyi yorumlanabilmesi için ölçümü gerçekleştirilen bölgelerde yer alan ve kıyıya yakın olan dar alanlarda yeni ölçüler yapılarak daha detaylı sonuçlar da elde edilmiştir. Elde edilen detaylı sonuçlar da yukarıda sunulan yorumları doğrular niteliktedir.

Yapılan ölçümlerle ilgili sonuçlar toplu olarak Tablo-1’de sunulmuştur.

Tablo-1: Sapanca Gölü Çevresinde Yapılan Ölçümlerden Elde Edilen Sonuçlar

SAPANCA GÖLÜ		SONUÇ VEKTÖRLERİ (1999-1994)			
SAPANCA OTELİ	NOKTA SAYISI	DX (m)	DY (m)	DXY (m)	DZ (m)
Ortalama	418	0.410	0.835	1.460	-1.714
Detaylı Ölçüler Ortalaması	219	0.467	1.207	1.778	-2.041
SAPANCA EŞME					
Ortalama	305	2.351	-0.428	2.660	0.617
Detaylı Ölçüler Ortalaması	122	2.575	0.193	2.849	0.762
SAPANCA SOL KIYI					
Ortalama	423	0.608	0.291	3.036	0.602
Detaylı Ölçüler Ortalaması	50	1.304	0.764	2.245	0.131

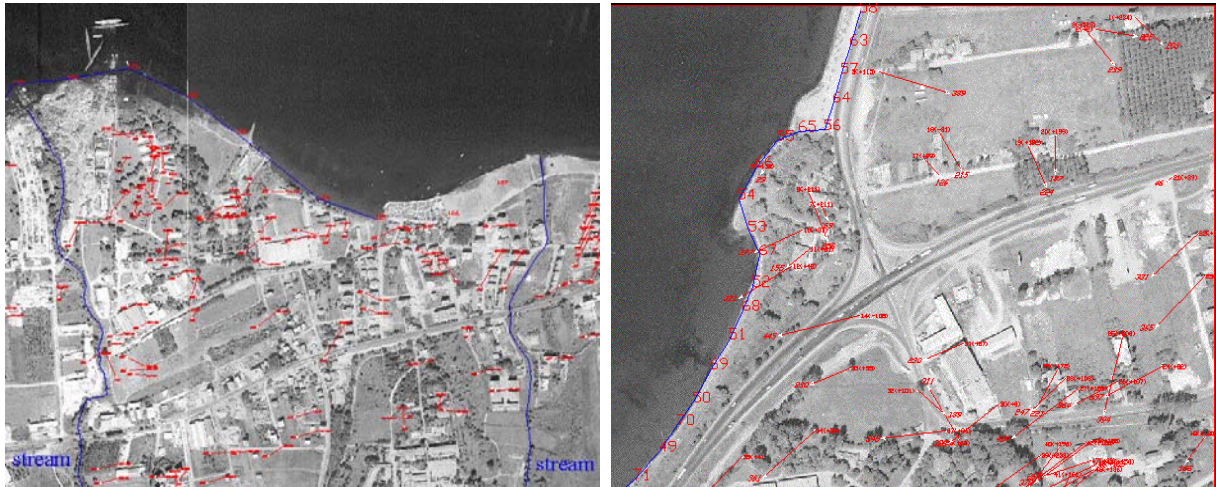
b. İzmit Körfezi Güney Kıyıları

Çalışmanın ikinci safhasında; İzmit Körfezinin güney kıyılarındaki depremde etkilenen sekiz ayrı bölgede ölçümler gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar Tablo-2’de sunulmuştur.

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde gözlenen hareketin büyük oranda faylanma nedeniyle olduğu ancak özellikle sahil bölgelerinde sıvılaşmanın etkilerinin de görüldüğü tespit edilmiştir /11/ (Şekil 5.3).

Tablo-2: İzmit Körfezi Güneyinde Yapılan Ölçümlerden Elde Edilen Sonuçlar

İZMİT KÖRFEZİ		SONUÇ VEKTÖRLERİ (1999-1994)			
ALAN ADI	NOKTA SAYISI	DX (m)	DY (m)	DXY (m)	DX (m)
BAŞISKELE					
Ortalama	48	-1.389	-1.482	2.766	1.021
SEĞMEN					
Ortalama	117	-1.064	-1.146	2.317	-0.132
GÖLCÜK					
Ortalama	92	-1.580	-1.259	2.440	-2.481
DEĞİRMENDERE					
Ortalama	132	-1.354	-1.215	2.445	-0.602
HALİDERE					
Ortalama	66	-1.278	0.385	2.058	-1.454
ULAŞLI					
Ortalama	71	-0.438	-0.354	1.399	-0.680
HERSEK					
Ortalama	145	-2.069	-1.112	2.881	-1.505
YALOVA					
Ortalama	301	1.637	0.709	2.155	1.037



Şekil 5.3. Seymen ve Başiskele Bölgelerindeki Ölçülerden Elde Edilen Hareket Vektörleri

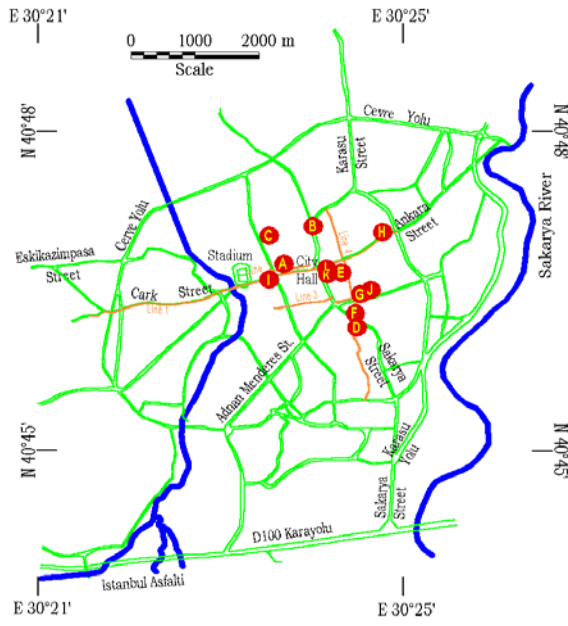
c. Sakarya Şehir Merkezi

Çalışmanın üçüncü aşama ölçüleri, Amerikalı ve Türk bilim adamlarının da detaylı yer ölçmeleri ve jeo-teknik araştırmalar yaptığı Sakarya şehir merkezi bölgesinde gerçekleştirilmiştir. Bu bölgedeki ölçüler 12 farklı alanda gerçekleştirilmiş olup elde edilen sonuçlar Tablo-3’de sunulmuştur.

Tablo-3: Sakarya Şehir Merkezi Bölgesinde Yapılan Ölçümlerden Elde Edilen Sonuçlar

SAKARYA ŞEHİR MERKEZİ		SONUÇ VEKTÖRLERİ (1999-1994)			
BÖLGE ADI	NOKTA SAYISI	DX (m)	DY (m)	DXY (m)	DZ (m)
ŞEHİR MERKEZİ					
Ortalama	616	1.255	-0.775	1.715	-1.625
ALAN A					
Ortalama	23	1.430	-0.850	1.779	-2.391
ALAN B					
Ortalama	31	1.207	-1.216	1.749	-2.369
ALAN C					
Ortalama	26	1.277	-0.857	1.709	-2.561
ALAN D					
Ortalama	23	1.108	-0.567	1.471	-0.720
ALAN E,K,L					
Ortalama	31	0.904	-0.766	1.668	-1.437
ALAN F					
Ortalama	23	1.570	0.201	1.718	-1.023
ALAN G, J					
Ortalama	37	1.824	-0.294	1.913	-0.693
ALAN I					
Ortalama	16	1.385	-0.866	1.700	-2.367
ALAN H					
Ortalama	40	0.849	-0.538	1.129	-0.515

Sakarya şehir merkezinde gerçekleştirilen ölçülerden elde edilen hareket vektörleri faylanma nedeniyle oluşan ve çoğunlukla doğu-güneydoğu yönünde gelişen bir yapıya sahiptirler. Bununla birlikte düşey yönde görülen hareketler ise faylanma ile birlikte sınılaşmanın da etkili bir faktör olarak ortaya çıktığını göstermektedir /11/ (Şekil 5.4).



Şekil 5.4. Sakarya Şehir Merkezindeki Ölçüm Alanları ve Deprem Nedeniyle Oluşan Hasarlar

d. Avcılar-İstanbul

Dördüncü adımdaki ölçüler ise Avcılar-İstanbul bölgesinde gerçekleştirilmiştir. Daha önceden de ifade edildiği gibi, buradaki amaç sadece deprem nedeniyle değil, aynı zamanda depremden önce ve tarihsel süreç içerisinde gerçekleşmiş yer değişimlerini tespit etmektir. Bu ölçülerde dört farklı tarihte ve ölçekte alınmış hava fotoğrafları kullanılmıştır (Şekil 5.5).



Şekil 5.5. Avcılar Bölgesinde Ölçüm Yapılan Alana Ait Hava Fotoğrafı Görüntüsü

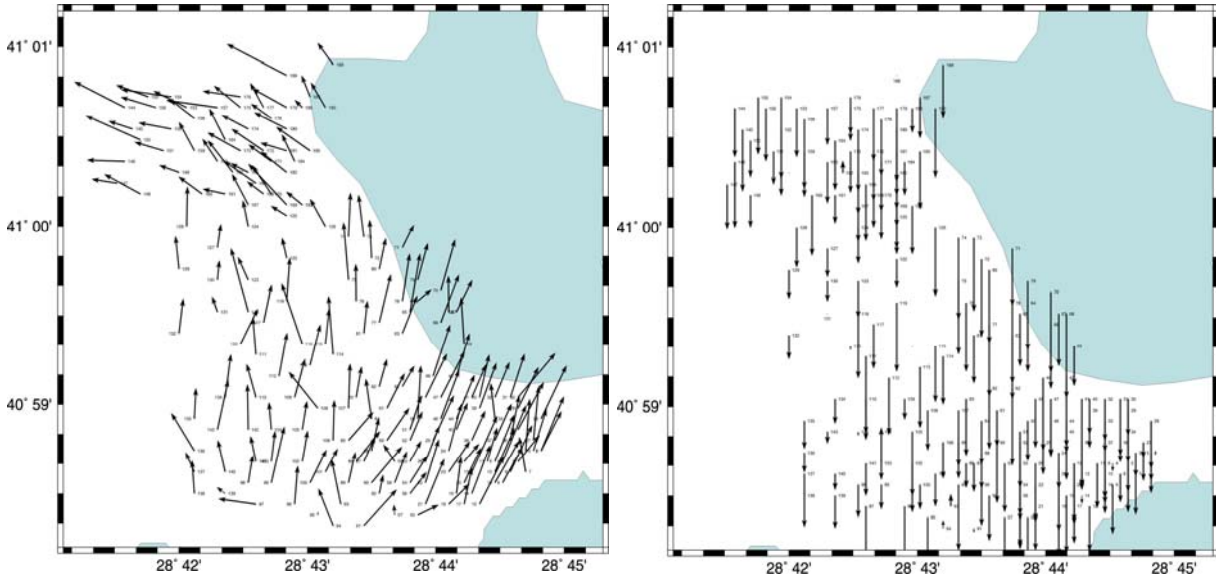
Avcılar bölgesinde gerçekleştirilen ölçülerde 190 adet detay noktası tespit edilmiş ve elde edilen hareket vektörleri tarihsel gelişim süreci içerisinde Tablo-4’de sunulmuştur.

Tablo-4: Avcılar-İstanbul Bölgesinde Yapılan Ölçümlerden Elde Edilen Sonuçlar

AVCILAR BÖLGESİ	SONUÇ VEKTÖRLERİ			
Nokta Sayısı = 190	DX (m)	DY (m)	DXY (m)	DZ (m)
1993 ve 1987 Yılları Arası (1993-1987)	-0.293	0.693	1.157	1.183
1998 ve 1987 Yılları Arası (1998-1987)	0.179	0.331	0.621	-0.595
1998 ve 1993 Yılları Arası (1998-1993)	0.471	-0.380	0.914	-1.782
1999 ve 1987 Yılları Arası (1999-1987)	-0.024	0.755	0.944	-1.093
1999 ve 1993 Yılları Arası (1999-1993)	0.269	0.062	0.749	-2.257
1999 ve 1998 Yılları Arası (1999-1998)	-0.204	0.424	0.633	-0.514

Sonuçlar elde edilen hareket vektörlerinin farklı özellikler sergilediğini göstermektedir. Hareketler genel olarak değerlendirildiğinde bölgenin güneyinde Marmara denizi kıyılarında genellikle kuzeye doğru, bölgenin kuzeyinde ise batıya doğru (farklı olarak 1999-1993 yılları arasında hem batı, hem de doğu yönünde) bir hareket yoğunluğu görülmektedir. Ayrıca düşey doğrultudaki hareketlerin ise genellikle negatif yönde gerçekleştiği söylenebilir.

Ayrıca 1998-1993 yılları arasında tespit edilen yer değiştirmeler 1993-1987 yılları arasında elde edilen hareketlerin tam tersi yönündedir. 1999-1998 yılları arasındaki yer değiştirmeler de deprem nedeniyle farklı bir yapıya sahiptirler. Burada ilginç olan bir diğer nokta ise 1993-1987 yılları arasında elde edilen hareketlerin, depremde oluşan yer değiştirmeler ile özellikle yatay doğrultuda aynı oranda gerçekleşmiş olmasıdır /11/ (Şekil 5.6).



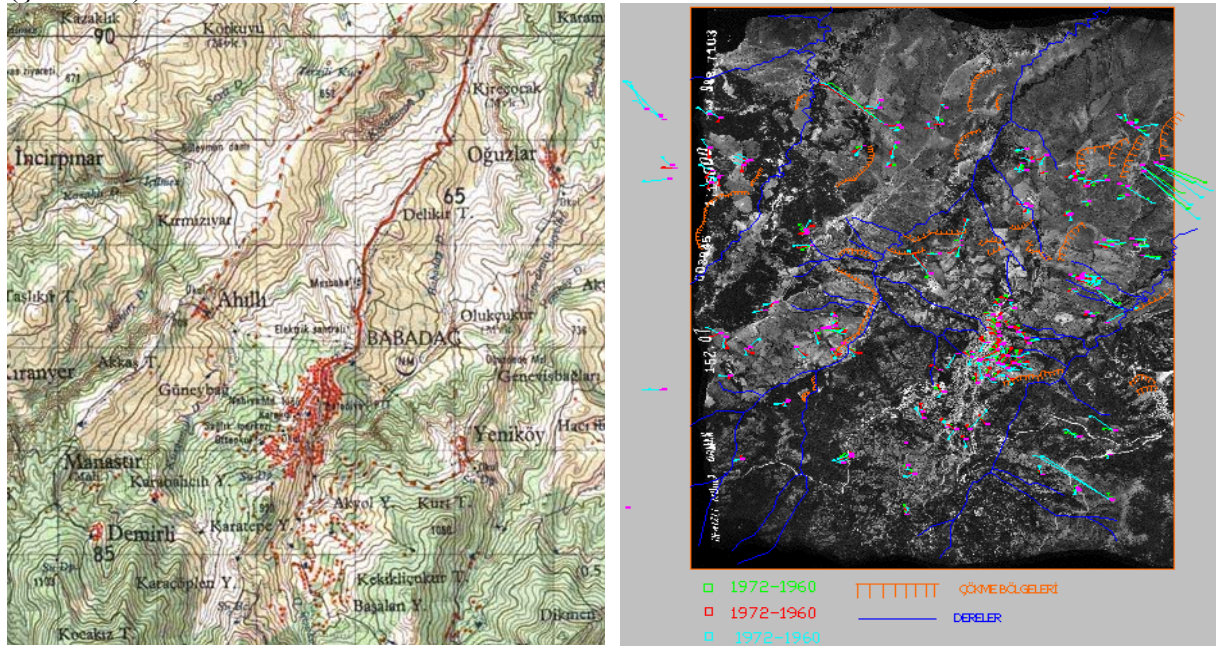
Şekil 5.6. 1999-1987 Yılları Arasında Yatay (Sol) ve Düşey (Sağ) Doğrultuda Elde Edilen Hareket Vektörleri

e. Babadağ-Denizli

Son adımdaki ölçüler ise Denizli'nin Babadağ ilçesinde gerçekleştirilmiştir. Babadağ ilçesi Denizli'ye 30 km. uzaklıkta ve Büyük Menderes Havzası'nın güney yamacında kurulmuş 5000 nüfuslu bir ilçedir. Yatırım ve kalkınma girişimciliğinin beşiği olan ve dokumacılığın yaygın bir geçim kaynağı olduğu ilçedeki yerel halkın en büyük sorunu, 1940'lı yıllardan beri devam eden ve ilçenin üzerine kurulu olduğu yamaçla ilgili duraysızlıktır. Babadağ ilçesi nüfusunun yarıya yakın kesiminin barındığı ve ilçenin doğusunda yer alan Gündoğdu mahallesi de uzun süreli heyelan hareketinin meydana geldiği kumtaşı, marn, kiltası, silttaşı birimlerinden oluşan jeolojik yapı üzerinde yer almaktadır. Yıllık ortalama 109 cm. lik yer değiştirmenin meydana geldiği bu mahallede yapılar çatlamaya, oturmaya, eğilmeye ve ayrılmaya, yollar ise açılmaya maruz kalmışlardır /12/.

Diğer bölgelerden farklı olarak bu bölgede yapılan ölçülerin tek amacı, sürekli biçimde gerçekleşen yer değişimlerini tespit edebilmektir. Bu bölgede gerçekleştirilen ölçülerde 5 farklı tarihte ve ölçekte alınmış hava fotoğrafları kullanılmıştır.

Bölgede gerçekleştirilen ölçülerde 175 adet detay noktası tespit edilmiş ve bu noktalar üzerinde okumalar gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, bölgeye ilişkin hava fotoğrafları ve sayısal yükseklik paftaları kullanılarak üretilen ortofoto görüntüler üzerinde gösterilmiştir (Şekil 5.7).



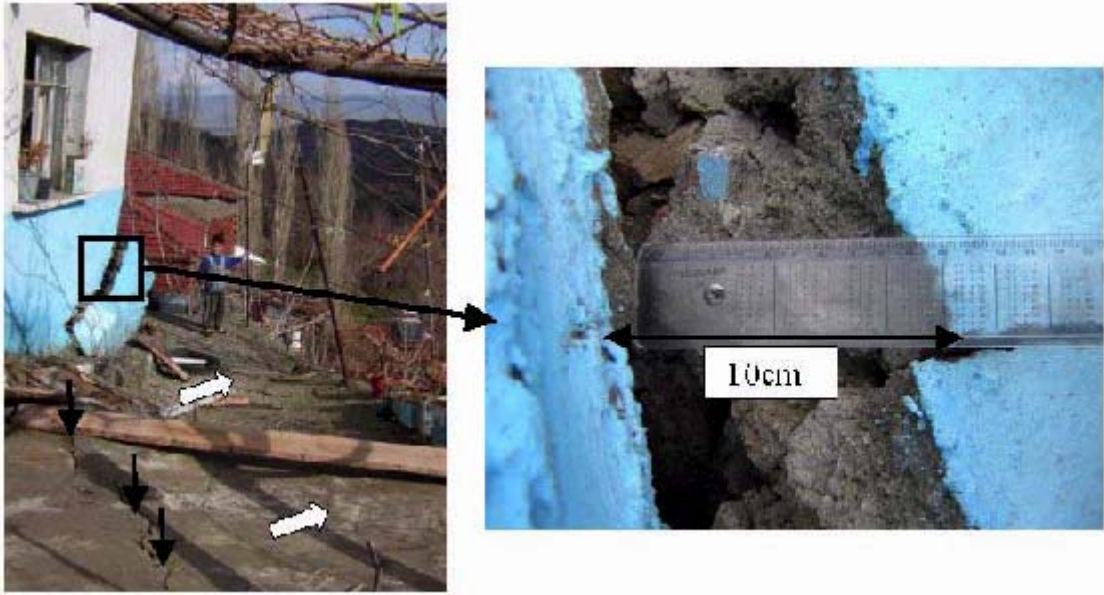
Şekil 5.7. Babadağ İlçesinin Konumu ve Ölçümlerden Elde Edilen Hareket Vektörleri

Ayrıca ortofoto görüntü üzerinde toprak çökmesinin yaşandığı alanlar ile dereler özellikle işaretlenmiş ve böylece yorumların daha doğru ve anlamlı bir şekilde yapılmasına olanak sağlanmıştır. Elde edilen hareket vektörleri Avcılar bölgesinde de olduğu gibi, yine tarihsel değişimi ifade edecek tarzda sunulmuştur (Tablo-5).

Tablo-5: Babadağ-Denizli Bölgesinde Yapılan Ölçümlerden Elde Edilen Sonuçlar

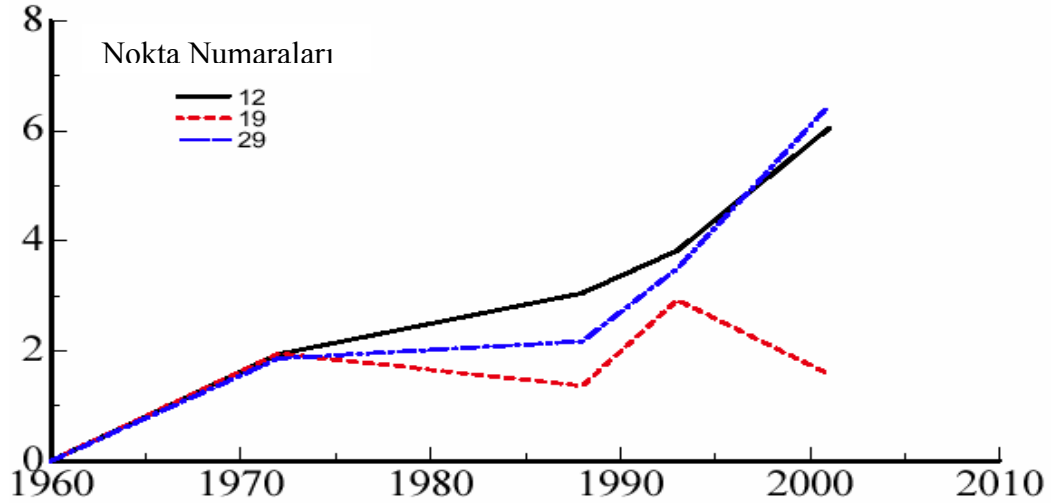
BABADAĞ-DENİZLİ BÖLGESİ	HAREKET VEKTÖRLERİ			
Nokta Sayısı : 175	DX (m.)	DY (m.)	DXY (m.)	DZ (m.)
1972 ve 1960 Yılları Arası (1972-1960)	0.854	0.297	2.949	-0.102
1988 ve 1960 Yılları Arası (1988-1960)	-0.043	-0.173	3.417	1.356
1993 ve 1960 Yılları Arası (1993-1960)	0.724	-0.034	6.806	-1.866
2001 ve 1960 Yılları Arası (2001-1960)	2.052	0.090	3.226	0.309

Elde edilen sonuçlardan Gündoğdu bölgesindeki deformasyon oranlarının hayli yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca söz konusu deformasyon oranları özellikle 1988 ve 1993 yılları arasında daha da yükselme eğilimi göstermektedirler (Şekil 5.8) /13/.



Şekil 5.8. 30 Ocak 2004 Tarihinde Gerçekleşen Yoğun Yağışların Etkisiyle Gündoğdu Mahallesiinde Meydana Gelen Yamaç Hareketi ve Yarattığı Hasarlar /12/

Şekil 5.9’de kayma bölgesinde seçilmiş bazı noktaların yatay yer değişim oranları yıllara bağlı olarak gösterilmektedir. Şekilde sunulan 12 ve 29 nolu noktalar kayma bölgesinin (Gündoğdu Mahallesi) güney ve kuzey kenarlarında yer alırken 19 nolu nokta da kayma bölgesinin tam ortasında bulunmaktadır. Şekilden de görülebileceği gibi 12 ve 29 nolu noktalar büyük bir tehlikeyi ifade etmektedirler. Bölgede gözlenen deformasyon oranı yıllık olarak 40-160 mm. dolaylarındadır. Bu oran bölgede yapılan diğer çalışmalarla da uyum içerisinde /13, 14/.



Şekil 5.9. Yıllara Göre Yer Değişim Oranları (m.) /13, 15/

Sonuç olarak, şu ana dek yapılan inceleme ve ön değerlendirmeler; yağışın yamaç hareketinin en önemli etmeni olduğunu ve bunun yanı sıra dokuma tezgahlarının ve bölgesel depremlerin de yer hareketlerini etkileyebileceğini göstermektedir /12/.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Dünyada zemin sıvılaşması ve faylanmaya bağlı hareketler konusunda yapılan çalışmalara her gün bir yenisi eklenmektedir. Bu çalışmalar; jeodezi – jeoteknik, fotogrametri - uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemi tabanlı olmak üzere çok farklı yöntemlere dayanmaktadır.

Bu yöntemlerden jeodezi ve jeoteknik tabanlı yöntemler, zemin sıvılaşması ve faylanmanın daha çok zemin mekaniği ve ana kara hareketleri açısından değerlendirilmesi konusundaki incelemelere temel teşkil etmiştir. Hava fotoğrafları, uydu görüntüleri, SAR (Synthetic Aperture Radar) – Yapay Açıklıklı Radar sistemleri ve helikopterden elde edilmiş televizyon kamera görüntülerinin kullanıldığı fotogrametri ve uzaktan algılama tabanlı yöntemler ise, deprem nedeni ile hasar görmüş alanlardaki konum değişikliklerinin bölgesel olarak tespit edilmesi konusundaki incelemelere temel teşkil etmiştir. Coğrafi bilgi sistemi tabanlı yöntemlerde, genellikle deprem sonrası yapılacak yardım, hasar tespit ve yeniden inşaa faaliyetlerinin en hızlı ve en sağlıklı biçimde yapılabilmesi için gerekli altyapıyı oluşturmaktadır.

Ülkemizde zemin sıvılaşması konusuna Erzincan-1992 depremi sonrası ilgi gösterilmeye başlanmış ve günümüze dek bir çok çalışma yapılmıştır. Ülkemizde yapılan çalışmalar genellikle jeodezi ve jeoteknik tabanlı çalışmalar olmaktan öteye geçmemiştir. Fakat Kocaeli-1999 depremi sonrasında hava fotoğraflarından yararlanılarak fotogrametrik yöntemlerle konum değişikliklerinin belirlenmesi konusunda bir karar alınmış ve ilk olarak bu uygulama gerçekleştirilmiştir.

Sıvılaşma ve faylanma nedeni ile meydana gelen konum değişikliklerinin belirlenmesinde fotogrametrik yöntemlerin kullanılması aşağıda ifade edilen üstünlükleri sağlar:

1. Hava fotoğrafları, uydu görüntüleri, SAR (Synthetic Aperture Radar) – Yapay Açıklıklı Radar sistemleri ve helikopterden elde edilmiş televizyon kamera görüntüleri gibi farklı veriler kullanılabilir.

2. Arazide ölçüm ihtiyacı oldukça azalmaktadır. Ölçümler sadece görüntüler üzerinden gerçekleşmektedir. Fakat hassas sonuçlar elde etmek için, halen fotogrametrik sistemlerin arazide tesis edilmiş nirengilere ihtiyaç duyduğu da gözden kaçırılmamalıdır.

3. Araştırma yapılmak istenen bölgede detaylı inceleme yapma olanağı bulunmaktadır. Bu çok sık aralıklarla (yaklaşık 100-200 m. civarında) fotogrametrik noktada ölçüm yapılmasıyla sağlanmaktadır.

4. Elde edilen sonuçların görüntülerle ilişkilendirilmesi çok daha kolay olmaktadır. Bu sayede fotogrametrik yöntemler, hem ortofoto harita üretimine olanak sağlama, hem de coğrafi bilgi sistemlerine temel altlık teşkil etme özelliğiyle, deprem sonrası yapılacak yardım ve kurtarma çalışmaları için hayati bir önem kazanmaktadır /6/.

Sapanca Gölü çevresi, İzmit Körfezi güney kıyıları ve Sakarya şehir merkezindeki ölçüler sadece 1999 Kocaeli depremi nedeniyle oluşan hareketleri, Avcılar-İstanbul bölgesindeki ölçüler hem 1999 Kocaeli depremi nedeniyle hem de 1999 Kocaeli depremi öncesindeki tarihsel süreç nedeniyle oluşan hareketleri, Babadağ-Denizli bölgesindeki ölçüler ise tarihsel süreç içerisinde gerçekleşen heyelanlar ve bölgesel depremler nedeniyle oluşan hareketleri belirlemek amacıyla gerçekleştirilmişlerdir.

1999 Kocaeli depreminin etkili olduğu Sapanca Gölü çevresi, İzmit Körfezi güney kıyıları, Sakarya şehir merkezi ve Avcılar-İstanbul bölgelerinde elde edilen sonuçlar, hareket vektörlerinin beklendiği gibi faylanma ve sıvılaşmanın etkisiyle oluştuğunu açık bir şekilde ortaya koymaktadırlar.

Babadağ-Denizli bölgesinde elde edilen sonuçlar ise, bölgede görülen yağışların yamaç hareketlerinin en önemli sebebi olduğunu ve bunun yanı sıra dokuma tezgahları ile bölgesel depremlerin de bu hareketleri etkilediğini göstermektedirler.

Bütün bu sonuçlar; sıvılaşma ve faylanmaya bağlı yer değiştirmelerinin tespiti amacıyla yapılacak yeni araştırma çalışmalarında, belirli esaslar dahilinde olmak üzere hava fotoğraflarının kullanıldığı fotogrametrik yöntemlerin de başarıyla uygulanabileceğini göstermektedir.

Teşekkür

Bu çalışmaya yaptığı katkı ve yorumlardan dolayı Prof. Dr. Reşat ULUSAY'a teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- | | | | |
|-----|----------------------------|---|--|
| /1/ | Youd, T. L. | : | Liquefaction, Ground Failure, and Con-sequent Damage During the 22 April 1991 Costa Rica Earthquake, Effects on Soils and Structures. Oakland, California, Earthquake Engineering Research Institute., 1992. |
| /2/ | Hamada, M. O' Rourke, T.D. | : | Case Studies of Liquefaction and Lifeline Performance During Past Earthquakes, Volume 1, Japan, 1992. |
| /3/ | Aydan, Ö. and Hamada, M. | : | The Site Investigation of the Erzincan Earthquake of March 13, 1992, The 4 th . Japan-U.S. Workshop on Earthquake Resistant Design of Lifeline Facilities and Counter Measures Against Soil Liquefaction, Honolulu, 17-34 p., 1992. |
| /4/ | Aydan, Ö., Ulusay, R., | : | A Site Investigation of Kocaeli Earthquake of August 17, |

- Hasgür, Z. and Taşkın, B. 1999, Turkish Earthquake Foundation, 180 p., 1999.
- /5/ Atak, V. O., Aksu, O., Önder, M., Aydan, Ö., Toz, G. : Zeminlerde Sıvılaşmaya ve Faylanmaya Bağlı Yer Değiştirmelerin Yön ve Büyüklüklerinin Fotogrametrik Yöntemlerle Belirlenmesi, "Deprem ve Planlama" konulu Küçükçekmece ve Yakın Çevresi Teknik Kongresi, 08-10 Ekim 2003, İstanbul.
- /6/ Atak, V. O. : Zemin Sıvılaşmasının Hava Fotoğraflarının Değerlendirilmesi Yöntemi ile Tespiti, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul - Türkiye, 2001.
- /7/ Hamada, M. : Large Ground Deformations and Their Effects on Lifelines: 1964 Niigata Earthquake. " Case Studies of Liquefaction and Lifeline Performance During Past Earthquakes", Vol.1 :Japanesse Case Studies. Tech.Rep. NCEER – 92 - 0001, M.Hamada and T.D.O'Rourke (eds.), National Center for Earthquake Eng. Research., Bufallo, N.Y., 1992.
- /8/ Aksu, O., Toz, G. : Zemin Sıvılaşması ve Fay Hareketleri Nedeniyle Oluşan Konum Değişikliklerinin Fotogrametrik Yöntemlerle Belirlenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi Dergisi, Cilt 1, İstanbul - Türkiye, 2002.
- /9/ Aksu, O., Bardet, J. P., Atak, V. O., Önder, M., Aydan, Ö. : Measurement of Ground Deformation Induced by Liquefaction and Faulting in the Earthquake Area of the 1999 Kocaeli Earthquake, The Eighth U.S. – Japan Workshop on Earthquake Resistant Design of Lifeline Facilities and Countermeasures against Liquefaction, Tokyo – Japonya, 2002
- /10/ Aydan, Ö., Ulusay, R. : A Preliminary Investigation Report for a Collaborative Resesarch on the Liquefaction and Faulting Induced Ground Deformations and Associated Damages in 1999 Kocaeli Earthquake Region. Unpublished Report, 25p., 2000
- /11/ Atak, V. O., Aksu, O., Aydan, Ö., Önder, M., Toz, G. : Measurement of Ground Deformation Induced by Liquefaction and Faulting in the 1999 Kocaeli Earthquake Area, XX. ISPRS Congress, Commission VII, WG VII/5, 17-23 July 2004, İstanbul, Türkiye.
- /12/ Kumsar, H., Aydan, Ö., Tano, H, Atak, V. O. : Uzun Süreli Babadağ (Denizli) Heyelanının Kaya Mekaniği Açısından İncelenmesi, KAYAMEK-2004, VII. Bölgesel Kaya Mekaniği Sempozyumu, 2004, Sivas, Türkiye.
- /13/ Atak, V. O., Aksu, O., Aydan, Ö., Çevik, Y. : The Evaluation of Long-Term Ground Deformation of the Landslide Area of Babadağ Through Aerial Photogrammetry, International Colloquium on the Instrumentation and Monitoring of Landslides and Earthquakes in Japan and Turkey, 8 November 2003,

- Koriyama, Japan.
The Assessment of the Babadağ Landslide Behaviour by
a Simple Measurement System, International
/14/ Tano, H., Aydan, Ö., : Colloquium on the Instrumentation and Monitoring of
Kumsar, H., Ulusay, R. Landslides and Earthquakes in Japan and Turkey, 8
November 2003, Koriyama, Japan.
- Atak, V. O., Aksu, O., The Evaluation of Long-Term Ground Deformation of
/15/ Aydan, Ö., Ulusay, R., the Landslide Area of Babadağ Through Aerial
Çevik, Y., Kumsar, H., Photogrammetry Technique, Geo Frontier Project,
Tano, H. Nihon University, 2002, Japan.