

ZEMİNLERDE SIVILAŞMAYA VE FAYLANMAYA BAĞLI YER DEĞİŞTİRMELERİN YÖN VE BÜYÜKLÜKLERİNİN FOTOGRAMETRİK YÖNTEMLERLE BELİRLENMESİ

**Veysel Okan ATAK*, Oktay AKSU*, Mustafa ÖNDER*,
Ömer AYDAN** ve Gönül TOZ*****

* Harita Genel Komutanlığı, Ankara-Türkiye

** Tokai Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Shimizu, Japonya

*** İstanbul Tek. Üni., Jeodezi ve Fotogrametri A.B.D. Bşk.lığı, İstanbul-Türkiye

ÖZET

Sivilaşma, 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 öncesinde ve sonrasında çekilen hava fotoğrafları kullanılarak zemin sivilaşması ve faylanmaya bağlı olarak Sapanca Gölü çevresinde (Sapanca Oteli, Eşme Bölgesi ve gölün batısı) 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 sonuçlar 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, directions and magnitudes of the ground displacements in the vicinity of Sapanca Lake (Sapanca Hotel, Eşme area and west side) during the 1999 Kocaeli earthquake were estimated by using the aerial photographs taken before and after the quake. Coordinates of the selected objects on these

photographs were determined and the differences between them were calculated. Based on the data derived from the photographs, 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 is carried out, and the method utilized in this study provides correct results, which represent the whole area investigated.

Keywords: Liquefaction, Soil, Photogrammetry.

1. GİRİŞ

İnsanoğlunun en çok zarar gördüğü ve karşısında en çaresiz kaldığı olaylar hiç kuşkusuz ki doğal afetlerdir. Bu olayların en az zararla atlatılmasının yolu da gerekli önlemlerin alınmasıyla mümkün olabilmektedir. Bu çalışmada, deprem sırasında gelişen sıvılaşma ve faylanmaya bağlı göreceli hareket sonucu, zeminde meydana gelen yer değiştirmenin yön ve büyüklüğü fotogrametrik yöntemlerden yararlanılarak belirlenmiştir. Bu amaçla, 1999 Kocaeli depremi sırasında sıvılaşmanın ve yüzey kırıklarının tipik olarak gözlemlendiği alanlardan biri olan Sapanca Gölü'nün yakın çevresi inceleme alanı olarak seçilmiştir [1,2].

Kocaeli depreminin ardından hasar gören bölgelerde hava fotoğrafı alımı yapılarak büyük ölçekli harita üretimi gerçekleştirilmiştir. Deprem öncesinde gerçekleştirilen harita üretim çalışmaları araştırılmış ve sonuçta 1994 yılı uçuşlarının kullanılmasına karar verilmiştir. Bu uçuşlar üzerinde fotogrametrik işlemler yapılarak üç boyutlu modeller elde edilmiş ve deprem öncesi ve sonrası görüntülere ait ortak noktalarda koordinat okumaları yapılmıştır. Böylece elde edilen koordinatlar arasındaki farklar saptanarak oluşan hareketin yönü ve büyüklüğü belirlenmeye çalışılmıştır.

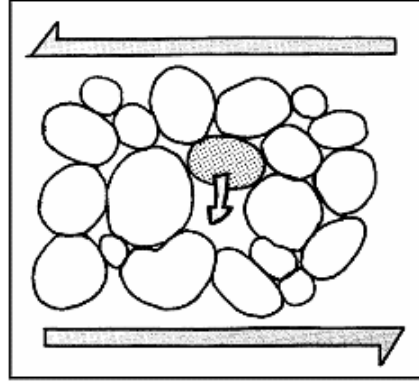
Bu şekilde Sapanca Gölü çevresinde; Sapanca Oteli bölgesi, Eşme bölgesi ve Sapanca Gölü'nün batısında yer alan bölgeleri kapsayan ölçüler tamamlanmıştır. Çalışmanın ikinci safhasında İzmit Körfezinin güney kıyılarında yer alan ve depremden en çok etkilenen sekiz ayrı bölgede ölçüler tamamlanmış olup elde edilen sonuçlar değerlendirilmeye çalışılmaktadır.

Bu çalışmada elde edilen sonuçların, sözkonusu bölgede sıvılaşmaya bağlı olarak gelişen yanal yayılmanın jeoteknik anlamda görgül ve sayısal yöntemlerle değerlendirilmesi amacıyla yapılacak çözümler için yararlı bir veri tabanı oluşturacağı düşünülmüştür.

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 [3].

Zeminde sıvılaşmaya neden olan hareketler; sismik dalgalar ve özellikle de makaslama dalgalarıdır. Bu dalgalar suya doymuş taneli tabakalardan geçerken oluşturdukları ek su basıncı ile tanelikli yapıyı bozar ve zeminin dayanımını yitirmesine neden olurlar (Şekil 1).



Şekil 1. Suyu doymuş kumlu zeminin sıvılaşma olgusu

Sonuçta oluşan hacimsel küçülme eğer su drenajı yoksa tanelikler 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). İşte bu oluşum sıvılaşma olgusu olarak tanımlanmaktadır [3].



Şekil 2. Zemin tanelikleri; okların uzunluğu zemin parçaları arasındaki bağlantı gücünü göstermektedir. Su basıncı azaldıkça bağlantı gücü artmaktadır.

Sıvılaşma; zeminin gözenekliliğine, 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 yatkın zemin çok az ince tane içeren kum birikintileridir. Sıvılaşma, özellikle kum ve alüvyonlu zeminlerde meydana gelir. Aynı şekilde genç ve gevşek tortular ile yer altı su seviyesinin yüksek olduğu yerler de zemin sıvılaşması için en uygun alanlar olarak düşünülür.

Bu tür bir araştırmada sınılaşmaya ve faylanmaya bağlı hareketlerin belirlenmesi için gereken dokümanlar ve koşullar aşağıda verilmiştir:

- a. İncelenecek bölgenin deprem öncesi ve sonrası olmak üzere birbirine mümkün olduğunca yakın tarihlerde fotoğraflarının çekilmiş olması,
- b. Fotoğraf ölçeğinin büyük ve tercihen 1 / 4 000 ile 1 / 16 000 arası ölçeklerde olması,
- c. Fotoğraflar arasındaki boyuna bindirmenin ortalama % 60, enine bindirmenin ise ortalama % 20 olması,
- d. Fotoğraf alımının birbirine yakın kamera odak uzaklığına sahip kameralar tarafından yapılmış olması,
- e. Ölçüm yapılacak ortak ayrıntı noktalarının kolay saptanması için resimlerin büyütülmesi ya da yeterli duyarlılıkta sayısallaştırılması,
- f. Mümkün olduğunca fazla ortak noktada ölçüm yaparak daha anlamlı sonuçlara ulaşılmaya çalışılması,
- g. Ölçüm yapılacak ortak detay noktası olarak yol üzerindeki belirgin işaretlerin, elektrik direk veya kulelerinin temelinin, belirgin yeryüzü noktaları ile köprü ve binaların üzerindeki noktaların seğilmesi,
- h. Büyük depremler sonucunda meydana gelen yer değişimlerinin birkaç metre seviyesinde olduğu göz önüne alındığında, sınılaşma 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 [7].

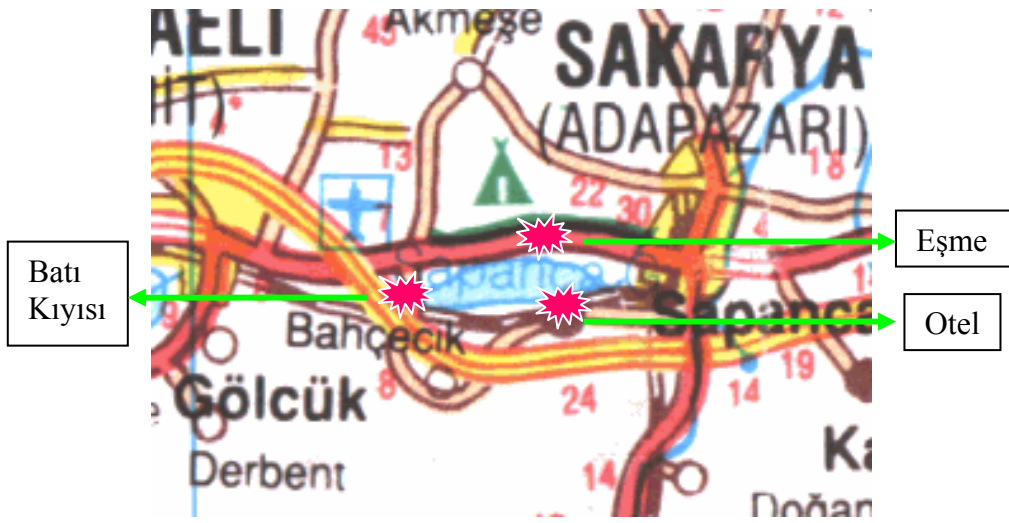
4. UYGULAMA

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 hassas film tarayıcıda 21 mikron metre piksel boyutlarında taranmıştır. Tarama işleminden sonra fotogrametrik ölçüm ve dengeleme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Dengeleme işlemleri sonucu elde edilen dış yönettme parametreleri dosyası ile sayısallaştırılan fotoğraflar sayısal değerlendirme sistemlerine aktarılmış ve bu sistemlerde stereo model oluşumu sağlanmış ve seçilen detay noktalarının üç boyutlu koordinat okumaları yapılmıştır.

1994 yılı uçuşlarından yeni bir blok oluşturularak, 1999 yılı deprem sonrası uçuşlarla tamamen aynı yöntemleri 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.

Öncelikle inceleme alanı olan Sapanca Gölü çevresinde, deprem nedeniyle oluşan sıvılaşma ve faylanmanın en yoğun olduğu bölgeler tespit edilmiştir. Bu bölgeler Sapanca Otel bölgesi, Eşme bölgesi ve Sapanca Gölü'nün batısında yer alan bölgelerdir (Şekil 4).



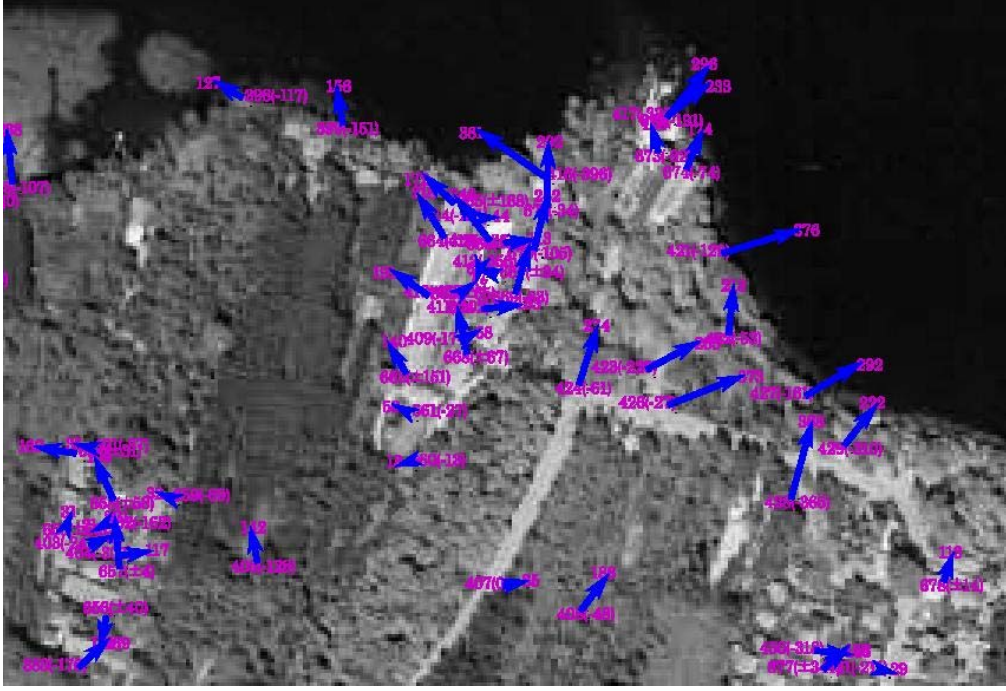
Şekil 4. Sapanca Gölü çevresinde seçilen bölgeler;
Sapanca Otel, Eşme ve Batı bölgesi

Söz konusu bölgeleri kapsayan deprem öncesi ve sonrasına ait hava fotoğrafları A0 boyutlarına kadar büyütülerek çıktıları 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.

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 [8].

5. VERİLERİN YORUMU

Sapanca Oteli 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 [9]. Aynı bölgede gölden güney yönüne doğru uzaklaştıkça görülen kuzeybatı yönündeki hareketin ise sivilaşmayla birlikte faylanmaya bağlı bir hareket olduğu değerlendirilmektedir (Şekil 5).



Şekil 5. Otel bölgesinde yapılan ölçülerden elde edilen hareket vektörleri

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 [10]. 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 6).

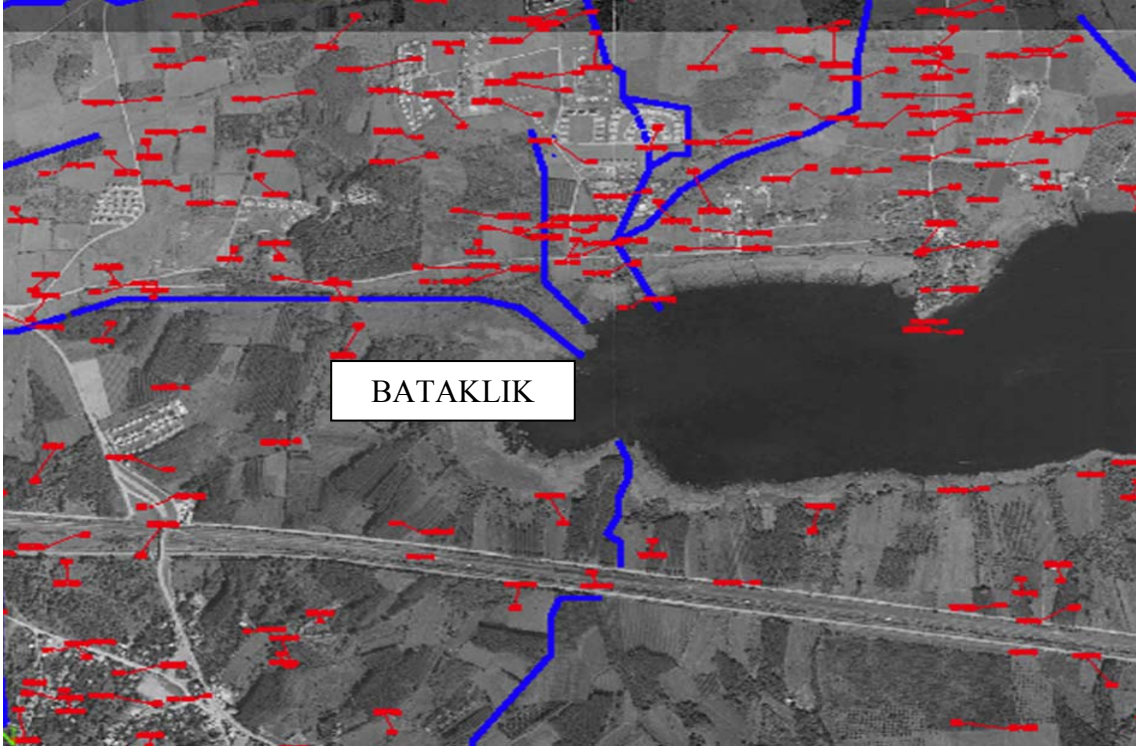
Sapanca gölü Batı Kıyısı bölgesinde ise 423 noktada koordinat ölçümü yapılmıştır. Bu bölgede elde edilen sonuçları iki bölümde değerlendirmek uygun olacaktır. Batı Kıyısının kuzey bölümünde elde edilen hareket vektörleri Eşme bölgesinde elde edilen sonuçlarla uyum göstermekte olup doğu ve güneydoğu yönündedir. 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.



Şekil 6. Eşme bölgesinde yapılan ölçülerden elde edilen hareket vektörleri

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 [1] (Şekil 7).



Şekil 7. Batı bölgesinde yapılan 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 ölçülerin yapılarak daha detaylı sonuçlar da elde edilmiştir. Elde edilen detaylı sonuçlar da yukarıda sunulan yorumları doğrular niteliktedir.

Yapılan ölçümlerle ilgili sonuçlar toplu olarak Çizelge 1'de sunulmuştur.

Çizelge 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 NOKTA)	0.410	0.835	1.460	-1.714
Detaylı Ölçüler Ort.	(219 NOKTA)	0.467	1.207	1.778	-2.041
SAPANCA EŞME					
Ortalama	(305 NOKTA)	2.351	-0.428	2.660	0.617
Detaylı Ölçüler Ort.	(122 NOKTA)	2.575	0.193	2.849	0.762
SAPANCA SOL KIYI					
Ortalama	(423 NOKTA)	0.608	0.291	3.036	0.602
Detaylı Ölçüler Ort.	(50 NOKTA)	1.304	0.764	2.245	0.131

Çalışmanın ikinci safhasında; İzmit Körfezinin güney kıyılarında depremden etkilenen sekiz ayrı bölgede gerçekleştirilen ölçümler de tamamlanmış olup, elde edilen sonuçlar Çizelge 2'de sunulmuştur. Bu çalışma sonucunda elde edilen hareket vektörleri ile ilgili olarak yürütülen değerlendirme çalışmaları ise halen devam etmektedir.

Çizelge 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)	DZ (m)
BAŞISKELE					
Ortalama	(48 NOKTA)	-1.389	-1.482	2.766	1.021
SEĞMEN					
Ortalama	(117 NOKTA)	-1.064	-1.146	2.317	-0.132
GÖLCÜK					
Ortalama	(92 NOKTA)	-1.580	-1.259	2.440	-2.481
DEĞİRMENDERE					
Ortalama	(132 NOKTA)	-1.354	-1.215	2.445	-0.602
HALIDERE					
Ortalama	(66 NOKTA)	-1.278	0.385	2.058	-1.454
ULAŞLI					
Ortalama	(71 NOKTA)	-0.438	-0.354	1.399	-0.680
HERSEK					
Ortalama	(145 NOKTA)	-2.069	-1.112	2.881	-1.505
YALOVA					
Ortalama	(301 NOKTA)	1.637	0.709	2.155	1.037

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 inşa 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. Bu yöntemler, deprem sonrası yapılacak yardım, hasar tespit ve yeniden inşa faaliyetlerinin en hızlı ve en sağlıklı biçimde yapılabilmesi için gerekli altyapıyı oluşturmaktadır.
2. Arazide ölçüm ihtiyacı oldukça azalmaktadır. Ölçümler sadece görüntüler üzerinden gerçekleştirilmektedir. 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 [7].

Sapanca Gölü çevresinde yapılan bu araştırma çalışmasına İzmit Körfezi bölgesinde yapılan yeni ölçülerle devam edilmektedir. Sapanca Gölü çevresindeki ölçülerden elde edilen sonuçlar, bölgede hem sıvılaşma hem de faylanma nedeni ile oluşan hareketlerin gözlemlendiğini göstermektedir. Söz konusu hareketler beklenen doğrultu ve büyüklüklerde gerçekleşmiştir.

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 araştırma çalışma için yaptığı katkı ve yorumlardan dolayı Prof. Dr. Reşat ULUSAY'a teşekkür ederiz.

KAYNAKÇA

1. Aydan, Ö., and Ulusay, R., 2000. 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.
2. Aydan, Ö., Ulusay, R., Hasgür, Z., and Taşkın, B., 1999. A Site Investigation of Kocaeli Earthquake of August 17, 1999. Türkiye Deprem Vakfı, Rapor No. TDV/DR 08-49, 180p.
3. 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.
4. Hamada, M. O' Rourke, T.D., Case Studies of Liquefaction and Lifeline Performance During Past Earthquakes, Volume 1, Japan, 1992.
5. Aydan, Ö. and Hamada, M., The Site Investigation of the Erzincan Earthquake of March 13, 1992, The 4th. Japan-U.S. Workshop on Earthquake Resistant Design of Lifeline Facilities and Counter Measures Against Soil Liquefaction, Honolulu, 17-34 p., 1992.
6. Aydan, Ö., Ulusay, R., Hasgür, Z. and Taşkın, B., A Site Investigation of Kocaeli Earthquake of August 17, 1999, Turkish Earthquake Foundation, 180 p., 1999.
7. Atak, V. O., Zemin Sıvılaşmasının Hava Fotoğraflarının Değerlendirilmesi Yöntemi ile Tespiti, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul - Türkiye, 2001.
8. 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.
9. 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.

10. 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