

# 27 Haziran 1998 Ceyhan-Misis Depremi'nde Sivilaşma

**"Bu. deprem şimdiye  
İsdir Türkiye'de en  
yaygın sıvılaşıma yapmış  
depremlerden ilkinin  
temsil etmektedir"**

27 Haziran 1998 Ceyhan-Misis depremi sıvılaşıma, sıvılaşıma-deprem kırığı, sıvılaşıma-hasar, yüzey ve havza tabanı topoğrafyashze™ min hareketi arasında nasıl ilişkiler olduğunu ortaya çıkardı. Bu ilişkilerden alınacak önemli dersler bulunmaktadır. Aşağıda sıvılaşıma ile ilgili önemli bilgiler verilmiş ve 27 Haziran 1998 Ceyhan-Misis depremi bu bilgilerin ışığı altında yeniden yorumlanmıştır. Ayrıca, bu depremin neden olan fayın mekanizması yeniden açıklanmaya çalışılmıştır.

Genellikle orta ve büyük magnitudü depremler, uygun ortam ve şartlar mevcut olduğu zaman sıvılaşımalara neden olabilirler. Ancak, sıvılaşımalara neden olan sismik sarsıntının kaynağını saptamak oldukça güçtür. Örneğin bir çöküntü gölcüğü çökellerinin sıvılaşıması, muhtemelen bu gölcüğü meydana getiren faydaki bir sismik kaymayı veya yakınındaki diğer sismojenik, faylardaki hareketler sonucu meydana geldiğini gösterebilir. Bu yüzden sadece sıvılaşıma olayı, belli bir faydaki bir depremi tanımlamak için güvenilir bir kriter değildir. Bununla birlikte diğer tür kanıtlarla birlikte yorumlandıkları zaman çok faydalı bilgiler oluşturabilir. Örneğin yüzeydeki bir fay izi boyunca dizilmiş kum volkanları, bu fayın sıvılaşıma meydana getirdiğinin iyi bir kanıtını oluşturur. Diğer taraftan sıvılaşıma yapıları, bir uyumsuzluk yüzeyi oluşturduğu için, bir depremin zamanının belirlenmesinde çok önemli deprem horizonları teşkil ederler.

Deprem kökenli sıvılaşımalar, yaygın olarak üç farklı tipte gözlenmiştir (Şekil 1);

- 1- Kum fıskırması (kum volkanı, kum krateri)
- 2- Yanal yayımlı heyelanlar

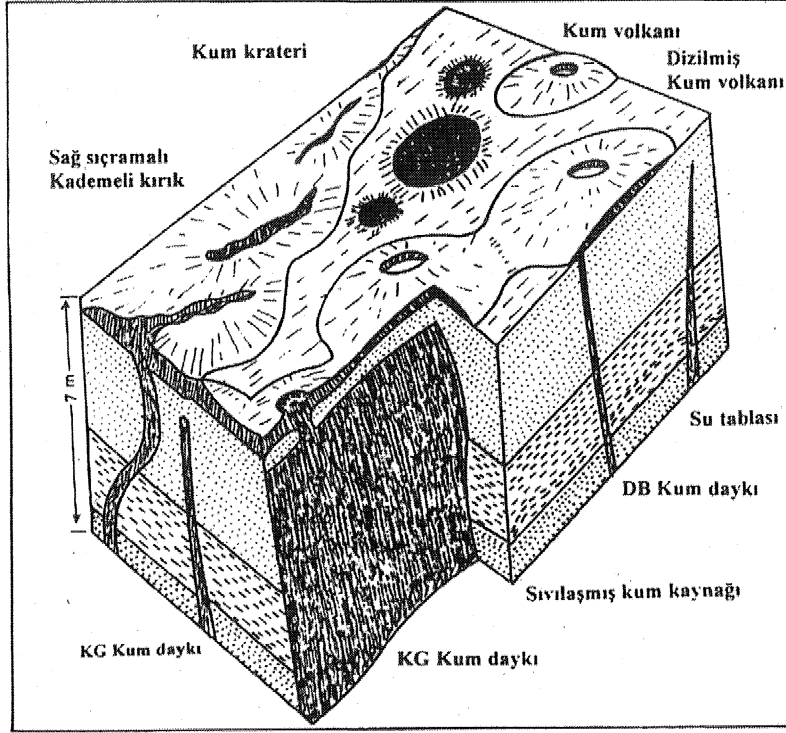
### 3- Kum daykları veya siller

Sıvılaşımaların deprem kökenli olup olmadıkları jeolojik, topoğrafik ve yeraltı suyu gibi birçok faktörlerin birlikte yorumlanması sonucu ortaya konabilir.

Kum fıskırmaları; kratercikler ve bacalı-kum volkanları olmak üzere iki tipe ayrılır. Kratercik, sıvılaşımış kum yüzeye doğru baca şeklinde çıkarken yüzey malzemesini (genellikle toprak seviyesini) bir yana hareket ettirerek zemin yüzeyinde meydana getirdiği çukurluktur, Baca açıldıktan sonra genellikle zemin yüzeyinde 1 -3 m genişlikte ve 1-2 m derinlikte bir çukurluk kalır ve daha sonra bu çukurluk yakınındaki malzemeler ile doldurulur.

Kum volkanları, kum fıskırmasının en yaygın tipini oluştururlar. Bu tip kum fıskırmaları, 0,5=1 m yükseklikte ve 15-60 cm çapında kum konileridir. Bu tip kum konilerinin derinlik kesitinde, genellikle iyi boylanmalı, temiz orta taneli kalın kum birimlerinin üzerine 2-10 m kalınlıkta kil tabakaları gelmektedir (Obermerers, 1987). Kum daykları içerisinde killer parçalanmış olarak görülmektedir. Abdioğlu Köyü girişinde açılan bir 4x6x5 m trench'de (çukur) zemin yüzeyinden 5=7 metre derinliğe kadar silt ve killerden oluşan kalın bir seviye, 7 metre derinde sıvılaşıacak temiz orta taneli kuma rastlanmıştır. Bu kesimde yaygın olarak kum konilerinin gelişmesi, yukarıdaki görüşü desteklemektedir. Açılan trencffde 7 metre derinlikteki suya doymuş sıvılaşıacak kumun 1 cm kalınlıkta bir dayk boyunca 2-3,metre büyüklüğünde bir S harfi yaparak yüzeye çıktığı görülmüştür,

Yanal yayımlar, genellikle bölgesel boyutta çok düşük yamaçlarda sıvılaşımış bir tabakanın üye-



Şekil 1. 27 Haziran 1998 Ceyhan-Misis depreminde gözlenmiş sıvılaşma türlerini gösteren blok diyagram.

rinde yamaç aşağı hareket eden dilimler şeklindeki kütle hareketleridir. Dilim hareketlerinin metreler boyutunda büyük olduğu yerlerde, topuk boyunca ters kesmeler ve ayna kısmı boyunca grabenler oluşur, Dar ve açık yarıklar şeklindeki yanal yayılımlar, özellikle dere ve taraça kenarları boyunca yaygın olarak görülür. 27 Haziran 1998 depreminde, Abdioğlu Köyü civarında, Ceyhan nehri kıyısı kenarlarında oluşmuş yarıklar, yukarıdaki açıklanan sıvılaşma sonucu gelişmiş yanal yayılımlar sonucu meydana gelmiştir. Bu yarıklarda gözlenmiş sağ yanal hareketlerin fay ile herhangi bir ilişkisi olmayıp, yalnızca yanal yöndeki sıvılaşmalardan kaynaklanmıştır. Bu tür hareketler, çeşitli araştırmacılar tarafından doğrultu atımlı kırıklar olarak yanlış şekilde yorumlanmıştır.

Bazı durumlarda sıvılaşma yüzeye kadar erişemez, yüzeyin birkaç metre aşağısında dayk ve sil şeklinde gelişir. Bu durumda yüzeyde herhangi bir kum fıskırması gözlenmezken, derindeki düşey veya yatay yöndeki yayılma sonucu yüzeyde farklı oturmalar meydana gelir. Benzer yapılar, Abdioğlu'nda açılan trenchin KB duvarında gözlenmiştir. Kum dayk zemin yüzeyinin 4 metre altında kalmış ve yüzeye erişememiştir. Bununla birlikte, alttaki basınca bağlı olarak daykın hemen üst kesiminde zemin yüzeyinde yırtılmalar olmuştur. Buna karşılık trenchin GD duvarında kum dayk zemin yüzeyine erişmiş ve yüzeyde yırtılma boyunca kum konileri gelişmiştir. Bu kum dayklarının yüzeye erişmesi veya derinde kalması, yüzeyde kademeli yırtılmaların gelişmesine neden olmuştur. Bu gözlem trenchi, bu tür sağ

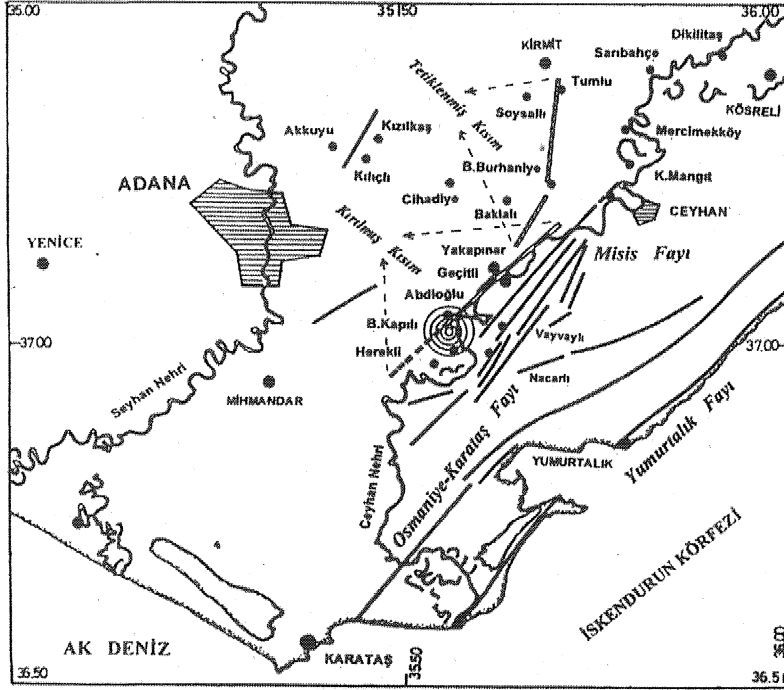
veya sol sığramalı sistematik yırtılmaların doğrultu atımlı faylar üzerindeki örtüde gelişen Riedel kırıkları ile herhangi bir ilişkisinin olmadığını göstermiştir. Özet olarak, bu depremde Ceyhan Nehri boyunca gelişmiş sıvılaşmaların çıktığı sistematik kırıkların hiçbiri deprem kırığı değildir. Bu kırıklar, deprem esnasında taşkın ovası çökellerinde sıvılaşma sonucu gelişmiş yüzeyel yırtılmalardır. Depreme neden olan fay, derinde kalmış olup yüzeye erişememiştir. 5-23 km derinde yer alan artçı-deprem dağılımı, kırığın yüzeye çıkamadığının en büyük delilini oluşturmaktadır.

Bu deprem, şimdiye kadar Türkiye'de en yaygın sıvılaşma yapmış depremlerden ilkinin temsil etmektedir. Deprem odağının derinde olması ve orta büyüklükte olması, depreme neden olan fayın yüzeye kadar erişmesine engel olmuştur. Bununla birlikte, Ceyhan Nehri'nin taşkın ovası düzlüklerinde depolanmış yaklaşık 50 m kalınlıktaki gevşek ve suya doymun örtüde sıvılaşmalar şeklinde yüzey deformasyonları gelişmiştir. Sıvılaşmalar, genellikle Ceyhan Nehri'ne paralel 50-60 km'lik bir hat boyunca gözlenmiştir. Ceyhan Nehri, gerek doğuda yer alan Misis Fay'ına, gerekse batıda havza içerisinde depreme neden olmuş, gömülü faya paralel olarak uzanmaktadır. Bu nedenle yüzeyde sıvılaşmaların çıktığı kırıkların doğrultusu, bu her iki fay ile uyumluluk göstermektedir. Bu yüzden çeşitli araştırmacılar, bu kırıkları makaslama hareketi sonucu gelişmiş doğrultu atımlı kırıklar olarak yanlış şekilde yorumlamışlardır. Bununla birlikte bütün bu kırıklar, Ceyhan Nehri'nin hemen birkaç on metre doğusunda batısında menderesler uyumlu olarak gelişmiştir. Dolayısıyla, yüzeyde gözlenen kırıklar, deprem ne-



den olan fay ile ilişkisi olmayan v© maksimum 7 m derinliğe kadar uzanan sıvılaşmalar sonucu gelişmiş yüzeysel yırtılmalarıdır.

si, havzanın önce K15D doğrultulu faylarla geliştiği» daha sonra K7ÖD doğrultulu faylarla şekillendiğini göstermektedir (Şekil 2).

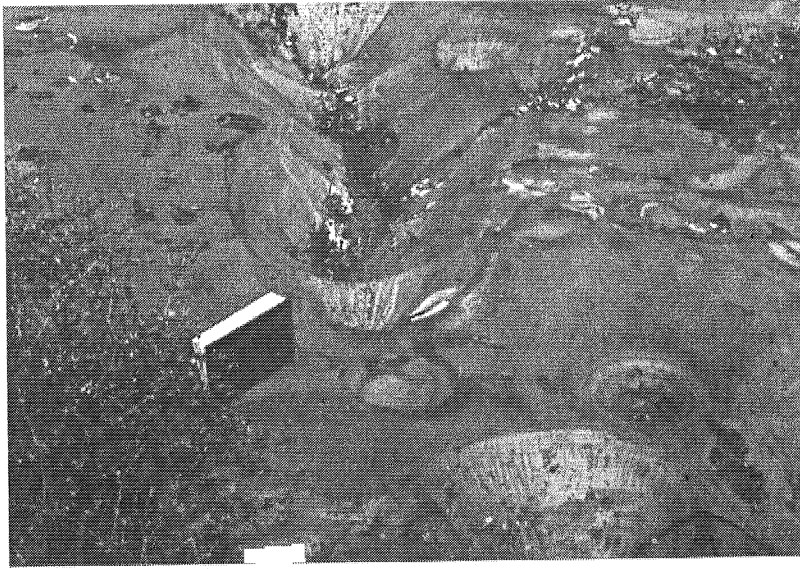


Şekil 2. 27 Haziran 1998 Ceyhan-Misis depremine neden olmuş fay ve civarındaki diğer diri fayların dağılımları. Boş-taralı çizgiler kırılmış fayı, sadece taralı kısım ise tetiklenmiş fayı göstermektedir\*

Artçı deprem dağılımları, deprem kırığının güneyde Abdioğlu'ndan kuzeye Tumlu Tepe'ye (Soysallı Köyü KD'su) doğru ilerlediğini göstermiştir. Bu deprem, muhtemelen Abdioğlu ile Ceyhan arasında, maksimum 20-30 km uzunlukta, K60-70D doğrultulu bir fayı kırması; B. Burhaniye ile Tumlu Tepe arasında yer alan, K15D doğrultulu diğer bir fayı tetiklemiştir (Demirtaş, 1998b) (Şekil 2). Örtü kısmında bir dom şeklinde çıkmış ve havzanın tabanını oluşturan Üst Kretase yaşlı kireçtaşlarından oluşan Tumlu Tepe'nin batısının K15D ve doğusunun K70D doğrultulu faylarla kesilmesi, bu deprem kırığını destekleyen en büyük kanıttır. Bu faylardan K70D doğrultulu fayın, K15D doğrultulu fayı kesme-

Ceyhan Şehri'nde hasar görmüş binalar, Ceyhan Nehri'nin taşkın ovası düzlüklerinde, özellikle Ceyhan Nehri'nin Ceyhan Şehri içlerine doğru yaptığı menderese paralel uzanan mahallerde yoğunlaşmıştır (Demirtaş, 1998a). Bu tür menderesli akarsu ortamında depolanmış çökeller oldukça suya doygun, iyi boylanmış, temiz, orta taneli kum, silt ve killerden oluşmaktadır. Bu tür zeminler sıvılaşma açısından oldukça yüksek potansiyel alanlar teşkil etmektedir. Ceyhan Şehri içerisinde toplam 25 civarında 5 metre derinlikte gözlem çukurları açılmıştır. Bu çukurlarda ortalama 2,5 m derinlikte su tablasına v© son derece iyi boylanmış, sıvılaşacak kumlara rastlanılmıştır.

Ceyhan Şehri bu menderesin dış bükey tarafında» zaman zaman sellemelerin olduğu bataklık alanının üzerine kurulmuştur. Bu açılan çukurlarda, hiç bir kaba taneli çökel™lere rastlanılmamıştır. Buna karşılık, Ceyhan Şehri'nin hemen karşısında, menderesin iç bükey tarafında kaba taneli çakıllardan oluşan kum barlarına rastlanılmıştır. Bu kısımda açılan çukurda 6 metre derinliğe kadar su tablasına rastlanılmamıştır (Demirtaş, 1998b). Bu gözlem çukurları, Ceyhan Nehri'nin iç bükey ve dış bükey taraflarında ve zaman zaman yatak değiştirerek terkettiği menderesin akma göllerinde farklı çökeller depolanmış olduğunu göstermektedir. Bu nedenle, Ceyhan Şehri içerisinde zemin birkaç on metre içerisinde oldukça büyük değişiklikler göstermektedir. Bu değişikliklere bağlı olarak da üzerinde bulunan binalarda farklı hasarlar gelişmiştir. Bu tür zeminler sıvılaşmaya uygun deprem açısından son derece riskli bölgeleri teşkil etmektedir. 27 Haziran 1998 depremi orta büyüklükte bir deprem olmasına rağmen, oldukça ağır hasarlar yapmıştır. Bu deprem, ağır hasarlarda inşaat hatalarının yanında, zemin ve topografyanın da ne kadar etkili olduğunu göstermiştir. Eğer deprem'in büyüklüğü 7.0 civarında olsaydı, binalarda 80 dereceye varan devrilmelere, binaların taban katlarının zeminin içerisine gömülmesine, yanal ve düşey yayılmalara bağlı olarak büyük mühendislik yapılarında farklı oturmalar ve yenilmelere rastlanılacaktı. Çünkü bu tür zeminler hasarı beş kat artırır. Bu tür zeminlerde oluşmuş hasarlara en çarpıcı örnekler olarak, 1964 Nigata (Japonya), 1811-1812 New Madrid, 1989 Loma Prieta ve 1984 Meksiko gibi depremler veri»



lebilir. Örneğin; 1964 depremi, maksimum zemin ivmesi 0,16 g olmasına rağmen, episantrdan 50 km uzaklıkta bulunan Niigata Şehri'nde sivilaşmadan dolayı binlerce binanın çökmesine ve ağır hasarlar görmesine neden olmuştur. Benzer şekilde, 1989 Loma Prieta depremi, 110 km uzaklıkta zemin sivilaşması yapmış ve birçok binanın yıkılmasına neden olmuştur. Diğer taraftan, zeminden kaynaklanan benzer hasarlar, deprem episantırından 50 km uzaklıkta bulunan eski Adana Şehri'nde gözlenmiş ve yüzlerce ev ağır hasar görmüştür (Demirtaş, 1998a). Bu zemin özellikleri ile ilgili hasar dağılımları, mikro-bölgelendirmenin ne kadar önemli olduğunu ortaya koymaktadır. Dolayısıyla, gelecekte oluşabilecek bir depremde bu tür zeminler üzerine kurulmuş şehirlerde hangi mahallelerin daha fazla, hangi mahallelerin daha az hasar göreceği belirlenmelidir. Bu tür zayıf zeminlerde farklı temel tipi, farklı kat sayısı, zemin iyileştirilmesi gibi çeşitli öneriler getirilerek» deprem zararları en aza indirgenmelidir;

Dünyanın değişik bölgelerinde oluşmuş depremlerdeki hasar dağılımları topoğrafik etkenlerin oldukça büyük rol oynadığını göstermiştir (Örneğin 1995 Kobe depremi-Japonya). Çünkü tepe ve ova gibi farklı topoğrafik süreksizlik bölgelerinde dalgalar farklı kırılma, yansıma, dağılıma ve karışımlara uğrarlar. Hatta aynı zemin yapısına sahip tepelerde yer alan yerleşim yerleri, düzlük alanlardaki yerleşim yerlerine göre daha şiddetli sarsılmaya maruz kalırlar. Bu tür topoğrafik özelliklerden kaynaklanan hasarlar, 27 Haziran 1998 Ceyhan-Misis depreminde çok açık olarak gözlenmiştir. Örneğin, aynı zemin yapısına sahip olmasına rağmen topoğrafik olarak yüksekte bulunan Kılıçlı, Kızılkış, Akkuyu, Suluca, Baklalı, Cihadiye ve Organize Sanayi Sitesi'nde hasarlar, havzanın düzlük kesimlerinde bulunan yerleşim yerlerine göre daha ağır olmuştur. Bu yerleşim yerlerinden Kılıçlı, Kızılkış, Akkuyu, Cihadiye, Baklalı köyleri, havza içerisine dil şeklinde uzanan oldukça dar ve yüksek tepeler üzerine kurulmuş ve bu tepeler uzun, dar ve derin vadiler tarafından yarılmıştır. Bu tepeler deprem sırasında bir tür çok katlı yüksek binalar gibi davranmış ve üzerindeki yerleşim yerlerinde ağır hasarlara neden olmuştur. Bu tepelerin yamaçlarında oldukça fazla kaya düşmelerinin olması, bu tepelerin oldukça şiddetli sarsılmaya uğradıklarını desteklemektedir.

Diğer taraftan bu tepeler üzerinde yer alan yerleşim alanlarındaki ağır hasarların gelişmesinde diğer bir özellik de etkili olmuştur. Bu tepelerin 2-6 metrelik en üst kısmı



## İNCELEME

m, karbonatlı suyun buharlaşması ya da yüzey suyunun karbonatlı çökellerini bırakması sonucu oluşmuş kalış meydana getirmektedir. Bu kalışların 1-2 metrelik en üst kısımları hava ile temas sonucu oldukça sertleşmiştir. Buna karşılık, alt kesim, elle bile kazılabilen oldukça yumuşak karbonat çakıllarından oluşmuştur; Bu kalışların alt kesiminde de iri çakıllı konglomera ve kumları araldanması ve jipslerden oluşan oldukça kalın Neojen istifi bulunmaktadır. Bu istifin yaklaşık 5000 m kalınlıkta olduğu bildirilmektedir (Adarıa-DSI, sözlü görüşme). Deprem esnasında alttaki yumuşak birimler, üstteki sert kalıştan oluşan kesimden daha kuvvetli sarsılmaya maruz kalmıştır. Bu sarsılma sonucu, tepelerin yamaçlarındaki sert kalışlardan oluşmuş üst kesim, alt kesimden koparak ayrılmış ve kaya düşmeleri meydana gelmiştir, Burada gözlenen hasar, taban katı yığma, üst katları betonarmeden oluşmuş bir binaya benzetilebilir. Deprem sırasında yatay yüklere karşı direnci az olan alttaki yığma kısım yıkılmakta ve üst katlar çökmektedir.

Ayrıca, 27 Haziran 1998 Ceyhan-Misis depreminde havza tabanını topografyasının da hasar dağılımında belirgin bir rol oynadığı düşünülmektedir. Yukarıda da açıklandığı üzere, dalgalar bu tür süreksizlikler de farklı yansıma, kırılma ve dağılıma özelliklerine sahiptir. Havza içerisinde birbirlerine yakın aynı zemin yapısına sahip köylerdeki farklı hasar dağılımları, havza taban topografyasının ne kadar etkili olduğunu göstermektedir. Bu yüzden bölgenin mikro-bölgelendirilmesi yapıldığı takdirde, havza taban topografyasının da çıkarılması, deprem zararlarının en aza indirgenmesinde oldukça faydalı olacaktır.

Özet olarak, 27 Haziran 1998 Ceyhan-Misis depremi, oldukça geniş bir alanda sıvılaşma yapmış ve sıvılaşma sonucu derindeki fayla ilişkisi olmayan yüzeysel yırtılmalara neden olmuştur. Zaten sıfır sıvılaşma kullanılarak, bu yırtılmaların hangi faydan kaynaklandığını veya hangi mekanizmaya sahip olduğunu söylemenin mümkün olmadığını belirtmiştik. Bu görüşü, HARWARD, U8G8 (United States Geological Survey) ve EMSC (Eastern Mediterranean Seismological Center) tarafından yapılmış fay düzlemi çözümleri desteklemektedir. Her üç çözümde de depreme neden olan fayın ters bileşenli sol yanal doğrultu atımlı fay olduğu görülmektedir. Buna karşılık, yüzeyde sıvılaşmalar boyunca gelişmiş kırıklar, sağa sıçramalı, KB blokları düşmüş normal bileşenli sağ-yanal ve/veya sol yanal doğrultu atımlı bir fay görüntüsü vermektedir. Dolayısıyla derindeki depreme neden olan fay mekanizması ile yüzeydeki deformasyonların birbirine uymaması, sıvılaşma kullanılarak depreme neden olan fayın mekanizmasının ortaya çıkarılmasının mümkün olmadığını göstermektedir. Bununla birlikte, Turnalı Tepe'yi sınırlayan faylardan batıdaki K15D 75KB, doğudaki fay ise K70D 85GD olup sol yanal atımın yanında önemli bir ters bileşenin de olduğunu göstermektedir. Bu, horst şeklinde yüzeye çıkmasına neden olan faylanma olayı ve yukarıdaki ters bileşenli fay düzlemleri çözümü iki şekilde açıklanabilir.

1 - Adana-Kilikya havzası, önce K15D 75KB yönlü normal bileşenli sol yanal atımlı faylar boyunca gelişmiş ve daha sonra havzadaki gerilmeler yerini sıkışma tektoniğinden bırakarak, K7QD-85GD yönlü ters

bileşenli sol yanal atımlı faylar tarafından kesilmiştir.

2-K15D ve K70D doğrultulu faylar aynı zamanda meydana gelmiş, K15D doğrultulu fayda sol yanal hareket ile birlikte normal bileşen ağırlık kazanmış; diğer K70D doğrultulu fay, K15D doğrultulu fayya yarı-paralel olarak uzanmış ve birbirine yarı-paralel birkaç fay arasındaki göreceli harekete bağlı olarak K70D doğrultulu fayda ters bileşenli sol yanal bir hareket gelişmiş olabilir.

## DEĞİNİLEN BELGELER

Demirtaş, R., 1998a; Adana bölgesi yeni depremlere hazır olmalı. Cumhuriyet Gazetesi, Bilim ve Teknik, 598, 19-20, 5 Eylül 1998,

Demirtaş, R., 1998b; 27 Haziran 1998 Ceyhan-Misis, 22 Ocak 1997 Hatay depremleri: Doğu Anadolu Fayı yakın bir deprem serisinin hazırlık evresinde mi? Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 53, Kasım 1998 (Basılmamış).

Obermeiers, S.F., 1987; Identification and characteristics of earthquake-induced liquefaction; in Crone, A.J. and Omdahl, E.M., eds. Proceedings of Conference XXXIX, Directions in Paleoseismology, USGS, Open-File Report, 87-873, 173-177,

Rockwell, T.K., 1987; Recognition of individual paleoseismic events in strike-slip environments; in Crone, A.J. and Omdahl, E.M., eds. Proceedings of Conference XXXIX, Directions in Paleoseismology, USGS, Open-File Report, 87-673, 129-135.