



T.C.
BAYINDIRLIK ve İSKÂN BAKANLIĞI
AFET İŞLERİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ
DEPREM ARAŞTIRMA DAİRESİ

DEPREM ARAŞTIRMA BÜLTENİ

67



Deprem Araştırma Bülteni (DAB)

*Bulletin of Earthquake Research
(Bull. Earthq. Res.)*



Ekim [October] / 1989
Cilt [Volume]: 16

Sayı [Issue]: 67

İÇİNDEKİLER [INDEX]

Sayfa [Page]

ARAŞTIRMA [RESEARCH]

Betonarme Perdelerin Tersinir Yükler Altında Davranışı [The Behavior of R/C Shear-Walls Subjected to Cyclic Loading]

Sinan ALTIN 5-16

ARAŞTIRMA [RESEARCH]

13 Mart 1992 Erzincan Depreminin Yüzey Kırıkları, Artçı Sarsıntıları ve 17 Ekim 1989 Loma Prieta Depremi ile Karşılaştırılması [Comparison of the Surface Cracks of the Erzincan Earthquake of March 13, 1992 and Its Aftershocks with the Loma Prieta Earthquake of October 17, 1989]

Ramazan DEMİRTAŞ, Rüçhan YILMAZ, Hans BERCHEMER, Bodo

BAIER 17-62

ARAŞTIRMA [RESEARCH]

Kuzey Anadolu Fay Zonunun Batı Kesiminde Taşkesti-Çayköy (Bolu-Adapazarı) Arasında Trench (Hendek) Çalışmaları [Trench Studies Between Taşkesti-Çayköy (Bolu-Adapazarı) in the Western Section of the North Anatolian Fault Zone]

Ramazan DEMİRTAŞ 63-105



T.C.
BAYINDIRLIK ve İSKAN BAKANLIĞI
AFET İŞLERİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ
DEPREM ARAŞTIRMA DAİRESİ

DEPREM ARAŞTIRMA BÜLTENİ

67



T.C.
BAYINDIRLIK ve İSKAN BAKANLIĞI
AFET İŞLERİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ
DEPREM ARAŞTIRMA DAİRESİ

DEPREM ARAŞTIRMA BÜLTENİ

67

DEPREM ARAŞTIRMA BÜLTENİ



Üç Ayda Bir Yayınlanır
Bilim ve Meslek Dergisi



Sahibi
Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Adına
Oktay Ergünay
Afet İşleri Genel Müdürü



Yazı İşleri Müdürü
Erol Aytaç
(Jeomorfolog)
Afet İşleri Genel Müdürlüğü
Deprem Araştırma Dairesi Başkanlığı



Posta Kutusu 763
Kızılay - ANKARA



Telefon : 287 36 45 - 287 36 46

ÖZYURT MATBAACILIK
Tel: 230 76 31
ANKARA

DEPREM ARAŞTIRMA BÜLTENİ

YIL 16

SAYI 67

EKİM 1989

BU SAYIDA

Betonarme Perdelerinin

Tersinir Yükler Altında

Davranışı.....S. ALTIN

13 Mart 1992 Erzincan Depreminin

Yüzey Kırıkları, Artçı Sarsıntıları ve

19 Ekim 1989 Loma Prieta Depremi

İle Karşılaştırılması.....R. DEMİRTAŞ
ve DİĞERLERİ

Kuzey Anadolu Fay Zonunun

Batı Kesiminde Taşkesti - Çayköy

(Bolu - Adapazarı) Arasında Trench

(Hendek) Çalışmaları.....R. DEMİRTAŞ

BETONARME PERDELERİN TERSİNİR YÜKLER ALTINDA DAVRANIŞI

Doç.Dr. Sinan Altın *

ABSTRACT

"The Behaviour of R/C Shear-Walls Subjected to Cyclic Loading"

Reinforced concrete shear-walls have high lateral strength of vertical structural members. These structural members are widely used at the multistory buildings in seismic region. Although there are many research made about this subject, they seems to be insufficient because the problem have many parameters. They increase lateral strength and rigidity of buildings in an important amount. In this experimental study 1/3 scaled four specimens are tested under cyclic loading that simulates eathquake effects. The evaluation and parametric interpretation of these tests are presented.

ÖZET

Betonarme perdeler yanal rijitliği büyük düşey yapı elemanlarıdır. Özellikle önemli deprem kuvveti etkileri altında bulunan çok katlı yapılarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu elemanlar yapılarda hem dayanımı hem de yanal rijitliği büyük ölçülerde arttırmaktadır. Konu ile ilgili birçok araştırmanın mevcut olmasına rağmen, problemin çok sayıda değişkeni içermesi konunun güncelliğini devam ettirmektedir. Bu deneysel çalışmada 1/3 ölçeğinde modellenen dört adet betonarme perde deney elemanı, deprem yüklerini benzeştiren tersinir ve tekrarlanır yanal yükler altında (cyclic) test edilmiştir. Deney sonuçları çalışmada incelenen değişkenlerle birlikte değerlendirilmiştir.

* Gazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü.

1. GİRİŞ

Yapıların deprem yükleri altında yeterli performansı ve güvenliği, gerekli dayanım, rijitlik ve süneklik koşulları ile sağlanabilmektedir. Bu faktörlerin herhangi birisindeki farklılaşım yapının davranışını ve dinamik karakteristiklerini önemli ölçülerde değiştirecektir. Özellikle deprem etkilerinin çok önemli olduğu bölgelerde katlar arası rölatif deplasmanların sınırlandırılması ikinci mertebe etkilerin kontrolü bakımından gerekmektedir. Yanal deplasmanlar yapılarda ancak yanal rijitliği büyük yapı elemanları ile azaltılmakta ve kontrol edilmektedir. Betonarme perdeler büyük yanal dayanım ve rijitlikleri dolayısıyla uygulamada yaygın olarak kullanılmakta hatta bazı yönetmelikler tarafından yapılarda kullanılması zorunlu kılınmaktadır. Çok sayıda araştırmacı bu yapı elemanlarının davranışlarının belirlenebilmesi amacıyla deneysel ve analitik çalışmalar yapmışlardır. Deneysel çalışmalar, bu yapı elemanlarının davranışını, karakteristiklerini değiştiren çok sayıda değişkenin bulunduğunu ve bu değişkenlerin davranış üzerindeki etkilerinin hala bir çok yönünün araştırmaya açık olduğunu göstermektedir.

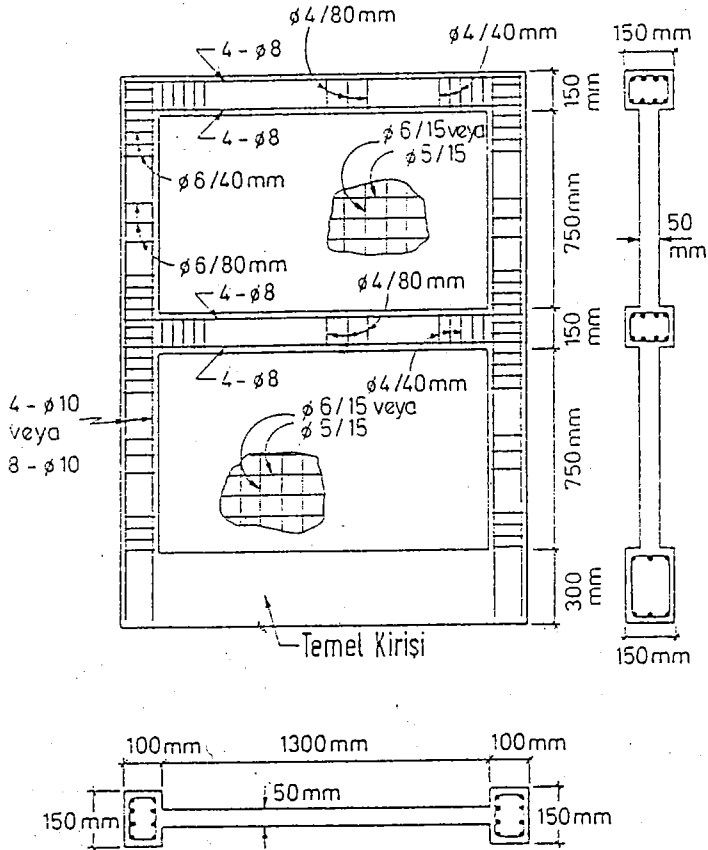
Yapılarda yanal rijitliğin ve dayanımın artırılması amacıyla oluşturulan betonarme perdeler, genellikle çerçeve kolonlarının arasına ve çerçeve elemanları ile tam bir bağlantı sağlanarak oluşturulan panellerin, monolitik dökülmesi ile meydana getirilmektedir. Bu oluşumlu betonarme perdeler ülkemizdeki betonarme yapılarda sıkça karşılaşılmakta ve kenar elemanlı (uç elemanlı) betonarme perdeler olarak bilinmektedir. Bu tip perdelerin davranışı kenar elemanlarının özelliklerinin değişimi ve panel donatı düzeninin değişimi ile önemli farklılaşmalar gösterebilmektedir (1,5,6).

2. AMAÇ VE KAPSAM

Bu çalışmanın amacı, kenar elemanlı betonarme perde davranışının ve bu yapı elemanlarının deprem etkilerini benzeştiren yanal yükler altında ne denli etkili olduğunun deneysel olarak araştırılmasıdır. Çalışmada; eksenel yükün, perde kenar elemanı eğilme kapasitesinin ve perde donatısının davranış ve dayanım üzerindeki etkilerinin araştırılması, incelenmesi amaç edinilmiştir. Bu amaçla 1/3 ölçeğinde iki katlı dört adet betonarme perde, deprem etkilerini benzeştiren tersinir ve tekrarlanan yükler altında test edilmişlerdir. Araştırmada yukarıda belirtilen değişkenlerin dayanım, rijitlik, süneklik ve enerji tüketimi üzerindeki etkileri incelenmiş birbirleri ile karşılaştırmaları yapılmıştır.

Tablo 1. Deney Elemanlarının Özellikleri

Model No	Eksenel Yük (ton)	Kolon Donatısı ρ	Kiriş Donatısı ρ	Panel Donatısı ρ		f_{ck} (kg/cm ²)	f_{yk} (kg/cm ²)	
				Yatay	Düşey		Kolon	Panel
1	---	0.021	0.018	0.006	0.005	267	3949	5961
2	---	0.021	0.018	0.009	0.008	138	3414	3156
3	---	0.042	0.018	0.009	0.008	230	3515	3036
4	6.25	0.042	0.018	0.009	0.008	280	3299	3119



Şekil 1. Modellerde Geometri ve Donatı Detayları

3. DENEY ELEMANLARI

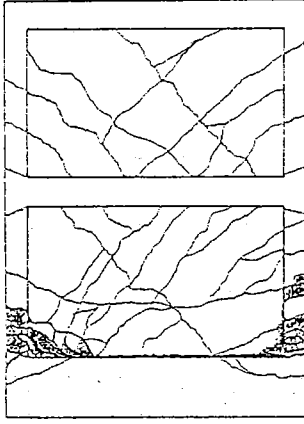
Deneysel program için belirlenen deney elemanları, 1/3 ölçeğinde iki katlı kenar elemanlı betonarme perde modelleri olarak tasarlanmıştır. Deneylerde kullanılan modellerin geometrik ölçüleri ve donatı detayları Şekil 1. de verilmiştir. Modeller, pratikte sıkça karşılaşılan tipte ve kenar elemanları çerçeve kolonları olan betonarme perdeler şeklinde tasarlanmıştır. Malzeme karakteristik özellikleri ve deneyde kullanılan değişkenler Tablo 1 de sunulmaktadır. Deneysel çalışmada dört adet model test edilmiştir. Model 1'de panel donatısı olarak yüksek akma dayanımlı Ø5 mm çelik hasır kullanılmıştır (5900 kg/cm²). Diğer modellerinin panellerinde ortalama 3400 kg/cm² akma dayanımlı Ø6 mm donatı kullanılmıştır. Model 3 ve 4'de kenar elemanlarının (kolonlar) boyuna donatısı Model 1 ve 2 ye göre iki katıdır. Şekil 1 de görüldüğü gibi donatı düzenlemesi modellerin hepsinde simetrik tir. Deney elemanlarında düşey ve yatay panel donatıları her iki yönde ve panelin iki yüzünde karesel ağ şeklinde düzenlenmiştir. Düşey panel donatısı kat girişi içerisinde devam etmektedir. Yatay panel donatısı perde kenar elemanlarına tam olarak ankre edilmiştir.

Deneyler yük kontrollü olarak yapılmış olup, yanal yükler modellere en üst kat seviyesinden tatbik edilmiştir. Yanal yükler deprem etkilerini benzeştirecek şekilde tersinir ve tekrarlanır yüklerdir. Model 4 yanal yüklerle birlikte aksenal yükle de yüklenmiştir. Eksenal yük, tüm perde kesiti dikkate alındığında yaklaşık $0.10\sqrt{f_{ck}}$ seviyesinde olup deney süresince sabit tutulmuştur.

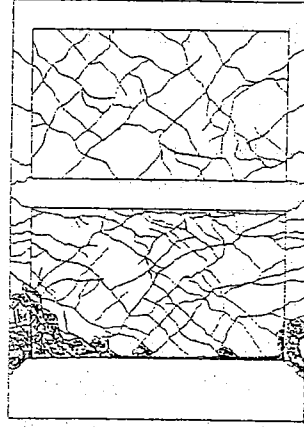
4. DENEY SONUÇLARI

4.1. Modellerin Davranışları ve Göçme Türleri

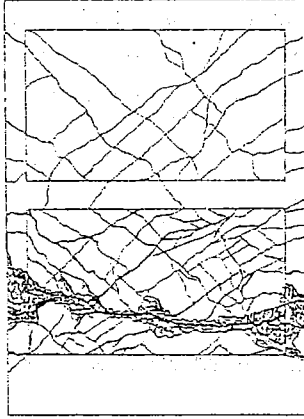
Bütün modellerde ilk çatlak alt kat kenar elemanlarında eğilme çatlakları olarak gözlenmiştir. İlerleyen yük adımlarında yanal yük seviyesi arttıkça eğik kesme çatlakları önce alt katlarda ve yaklaşık diagonal doğrultuda gelişme göstermişlerdir. Daha sonraki yük aşamalarında yük ve tekrar sayısı arttıkça üst kat panellerinde de eğik kesme çatlaklarının geliştiği, bu çatlakların alt ve üst kat kenar elemanlarında devam ettikleri belirlenmiştir. Deney süresince panel ve kenar elemanlarında gelişen iki yöndeki çatlaklar modellerin yanal rijitliklerini önemli ölçülerde azaltmışlardır.



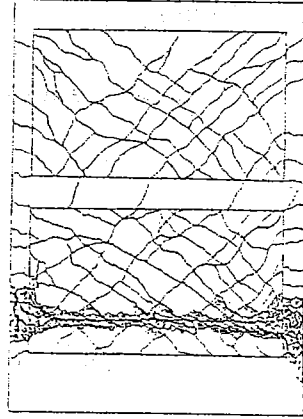
a) Model 1



b) Model 2



c) Model 3



d) Model 4

Şekil 2. Modellerin Çatlama Biçimlenişi ve Göçme Şekilleri

Modellerde iki farklı göçme şekli gözlenmiştir. Model 1 ve 2 temel kirişi üzerinde kayarak göçerken, Model 3 ve 4 temel kirişinden yaklaşık $h/3$ (h , kat yüksekliği) mesafede alt kat paneli kesilerek göçmüştür. Model 3 ve 4 de, kenar elemanlarının eğilme kapasitelerinin diğer modellere göre yaklaşık iki katı oluşu ve eksenei yükün 4 nolu deney elemanının moment kapasitesini arttırması dolayısıyla önce panel donatısı akarak göçmeye ulaşmıştır. Modellerin çatlama ve göçme biçimlenişleri Şekil 2 de verilmiştir.

4.2 Modellerin Dayanımları

Deney elemanlarında dayanım;

a) Çatlama Dayanımı

b) Göçme Dayanımı

olmak üzere iki farklı yanal yük seviyesinde tartışılmış, sonuçlar Tablo 2 ve Tablo 3 de özetlenmiştir.

a) Çatlama Dayanımı:

Çatlama dayanımı, eğilmede çatlama dayanımı ve panelde eğik çatlama dayanımı olarak iki aşamada incelenmiştir. Deneysel olarak gözlenen ve hesaplanan çatlama yükleri Tablo 2 de verilmiştir.

Eğilmede Çatlama Dayanımı: Çekme gerilmeleri etkisi altında kesitin en dış liflerinde beton çekme dayanımının aşılması sonucu eğilme çatlakları oluşacaktır. Eğilmede çatlama yükü denklem 1 ve 2 ile hesaplanabilir (1,2),

$$M_{cr} = \left(E_{cef} - \frac{N}{A} \right) \frac{I}{V} \quad (1)$$

$$V_{cr} = \frac{M_{cr}}{H} \quad (2)$$

Model 1 dışında hesaplanan dayanımlar gözlemlenen değerlerden küçüktür.

Kesmede Çatlama Dayanımı: Panelde kesme çatlakları, asal çekme gerilmelerinin panelin herhangi bir noktasında betonun çekme dayanımını aşması sonucunda oluşmaktadır. Perde tipi yapılarda kesme çatlakları gerilmesi denklem 3 ile hesaplanabilir (3).

$$v_c = 0.876 \sqrt{f_{ck}} - \frac{N}{4 I_w D_w} \quad (3)$$

$$V_{cr} = v_c D_w d \quad d = 0.8 I_w \quad (4)$$

Tablo 2 den görüleceği gibi, eşdeğer dikdörtgen kesit kabulü ile hesaplanan eğik çatlama yükleri deneysel bulgular ile genelde aynı değerdedirler. Eğik çatlama gerilmelerinin aksenal yüksüz modellerde $0.9\sqrt{f_{ck}}$, aksenal yüklü modellerde ise $1.10\sqrt{f_{ck}}$ büyüklüklerinde geliştiikleri görülmektedir.

Tablo 2. Çatlama-Dayanımları V_{cr} (ton)

Model No	Eğilmede Çatlama		Panelde Eğik Çatlama	
	Ölçülen	Hesaplanan	Ölçülen	Hesaplanan *
1	6.00	6.03	9.00	8.59
2	5.00	4.34	7.00	6.18
3	7.50	5.60	7.50	7.97
4	12.50	8.63	12.50	10.04

* $V_{cr} = \zeta_c b_w d$ $l_w = 150$ cm, $b_w = 5$ cm, $d = 0.8l_w$

b) Göçme Dayanımı:

Modellerde göçme dayanımı, moment ve kesme kuvveti taşıma kapasiteeri olarak incelenmiştir. Deney elemanlarının moment kapasiteleri konsol giriş kabulü ile hesaplanmıştır. Hesaplamalarında malzemelerin karakteristik değerleri kullanılmış, kesit boyunca birim şekil değiştirmenin lineer dağılım gösterdiği kabul edilmiştir. Tablo 3 de görüldüğü gibi ölçülen değerlerin hesaplanan değerlere oranı yaklaşık 1.00 dir (Model 1 hariç). Bu sonuçlar deney modellerinin hepsinin moment taşıma kapasitesine eriştiklerini ifade etmektedir.

Tablo 3. Modellerin Hesaplanan ve Ölçülen Kapasiteleri

Model No	Eğilme Kapasitesi (M) t-cm		Kesme Dayanımı (V_u) ton		$\frac{\text{Ölçülen}}{\text{Hesaplanan}}$	
	Ölçülen	Hesaplanan	Ölçülen	Hesaplanan *	Moment	Kesme Kuvveti
1	2760	3217	16.00	24.73	0.89	1.54
2	2846	2654	16.50	19.59	1.07	1.18
3	4054	4235	23.50	23.55	0.96	1.00
4	4744	4988	27.50	25.26	0.95	0.92

* Takayanagi, Derecho ve diğertleri tarafından önerilen ampirik denklemler (4)

Deneylerde elde edilen kesme dayanımları yatay yük olarak (V_u) Tablo 3 de verilmiştir. Referans 4 de Takayanagi, Derecho ve Corley tarafından önerilen ampirik denklem kenar elemanlı betonarme perde modellerinde kesme dayanımlarını

önemli bir yaklaşıklıkla vermektedir. Panel donatısı yüksek mukavemetli çelik hasır olan Model 1 hariç diğer modellerde deneysel sonuçlar elde edilmiştir. Eksenel yükün ve kenar elemanı eğilme kapasitesinin artışı modellerin yanal dayanımını önemli ölçülerde arttırmaktadır.

4.3 Rijitlikler

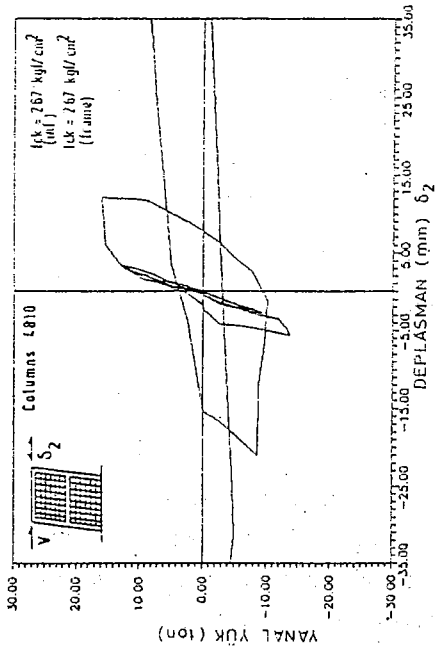
Modellerin rijitlikleri, deneyler sırasında elde edilen yanal yük-deplasman eğrilerinden hesaplanmıştır. Modellerin başlangıç ve akma anında ölçülen rijitlikleri (secant rijitliği) ve başlangıç rijitliğinin akma rijitliğine göre azalım oranları Tablo 4 de verilmiştir. Eksenel yüklü Model 4'ün başlangıç rijitliği diğer modellere göre iki katı büyüklüğündedir. Başlangıç rijitliğinin akmadaki rijitliğe göre azalım oranı bütün modeller için %60-%75 arasında değişim göstermektedir. Rijitlikteki bu büyük azalıma rağmen dayanım bu noktalarda yanal kapasiteye çok yakın değerlerdedir.

Tablo 4. Ölçülen Rijitlikler (t/cm)

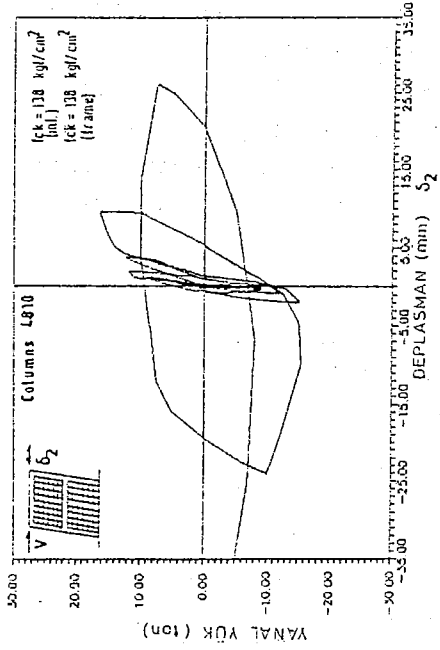
Model No	Başlangıç	Akma	Rijitlik Azalımı (%)
1	81.97	23.14	72
2	57.10	21.68	62
3	86.00	34.38	50
4	192.00	48.08	76

4.4 Modellerin Histeretik Davranışları

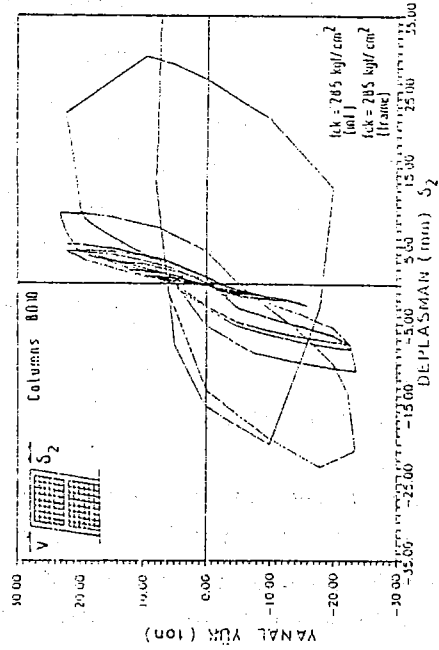
Deneyler sırasında modellerden ölçülen yanal yük-deplasman eğrileri Şekil 3 de verilmiştir. Deplasmanlar yükün tatbik edildiği üst kat yanal deplasmanlarıdır. Yanal yük-deplasman eğrileri bütün modellerde kapasiteye kadar yaklaşık doğrusal elastik davranış göstermişlerdir. Taşıma kapasitesine ulaşan modellerde yanal deplasmanlar aniden büyümüşlerdir. İlerleyen yük adımlarında dayanımlar azalırken panel ve kenar elemanlarının donatılarının akması sonucu modeller yük taşıyamaz hale geçmiştir. Bu durumda modeller yatay bir düzlem üzerinde kesilerek kaymışlardır.



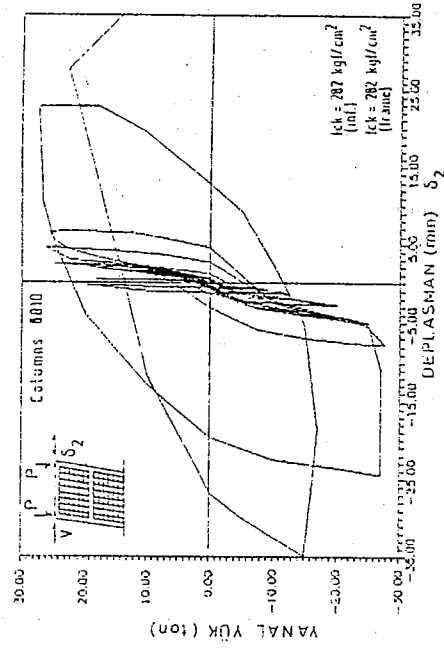
a) Model 1



b) Model 2



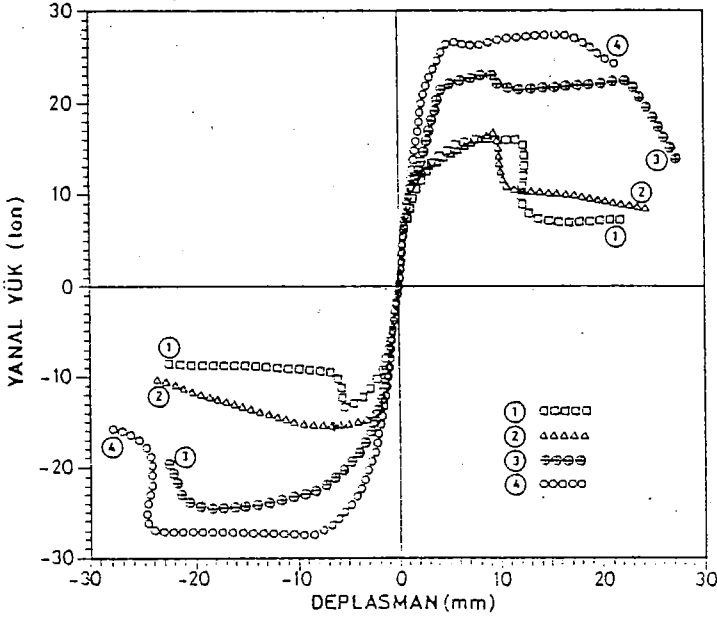
c) Model 3



d) Model 4

Şekil 3. Modellerde Yük-Deplasman Eğrileri

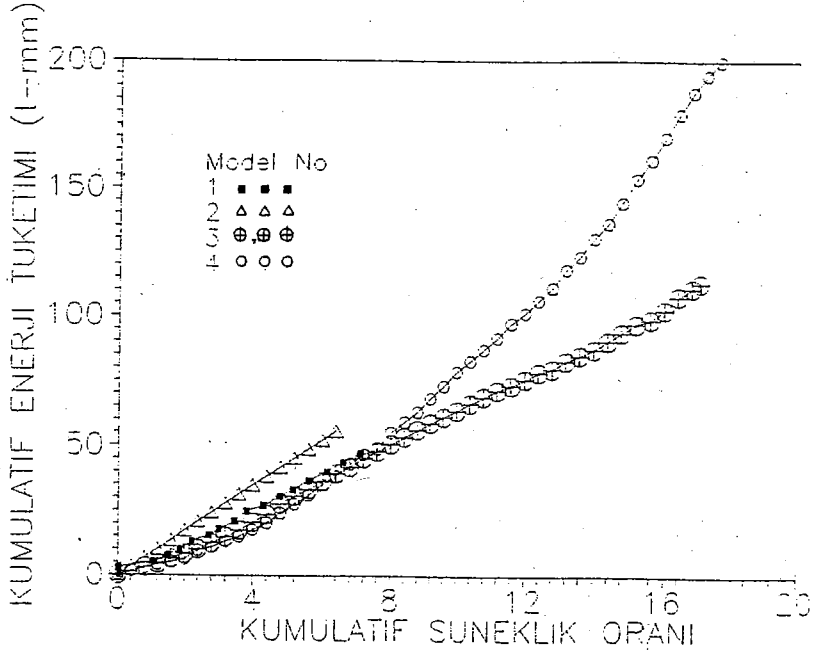
Histeretik eğrilerin ileri ve geri yükleme durumlarında her bir yük dönüşümündeki tepe noktaları birleştirilerek elde edilen zarf eğrileri Şekil 4 de verilmiştir. Zarf eğrileri deney değişkenlerinin etkilerini belirgin bir şekilde göstermektedir. Model 1 ve 2 benzer genel davranış gösterirken, Model 3 ve 4 ün davranışında önemli farklılaşmalar görülmektedir. Dayanım, 1 ve 2 nolu modellerde kapasiteye eriştikten sonra hızla düşerken, 3 ve 4 nolu modellerde dayanımın devamlılığı dikkat çekicidir. Eksenel yüklü deney elemanı (Model 4) ileri ve geri yükleme durumlarında en büyük dayanım zarfına sahiptir.



Şekil 4. Zarf Eğrileri

4.5 Enerji Tüketim Özellikleri

Modellerin enerji tüketimi her bir yük çevriminde yük-deplasman eğrilerinin içinde kalan alanların hesaplanması ile belirlenebilmektedir. Enerji tüketimi deney elemanlarının yük geçmişine sıkı sıkıya bağlı olduğundan kümülatif oranlarla ifadesi daha anlamlı olmaktadır. Modellerin enerji tüketimleri, yanal deplasmanlarının bir fonksiyonu olarak Şekil.5 de verilmiştir. Model 1 ve 2 enerji tüketimi bakımından da benzer karakterisüklü göstermektedirler. 3 ve 4 nolu modeller kümülatif şüneklik oranının 8.00 değerine kadar yaklaşık aynı miktar enerjiyi tüketmişlerdir. Ancak bu



Şekil 5. Modellerin Enerji Tüketimleri

noktadan itibaren 4 nolu model (eksenel yüklü) daha fazla enerji tüketerek göçmeye doğru Model 3 ün enerji tüketiminin iki katına ulaşmıştır.

5. SONUÇLAR

Sınırlı sayıda deneysel çalışmalardan elde edilen gözlemler ve verilerin ışığında aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilmektedir;

- 1) Betonarme perdelerin kullanımı ile yapılarda çok önemli oranlarda rijitlik ve dayanım artışı sağlanmaktadır.
- 2) Betonarme perdelerin kenar elemanlarının eğilme kapasiteleri yanal dayanımı ve göçme modunu belirleyen önemli bir etken olduğu gözlemlenmiştir.
- 3) Eksenel yük perdenin dayanımı üzerinde olumlu katkılar yapmaktadır.
- 4) Rijitliğin artışı ve doğal periyodun azalması, depremde yapıya aktarılacak dinamik kuvveti genelde arttırmaktadır. Ancak dayanımdaki artışlar kuvvet artışından daha büyük olabilmektedir.
- 5) Yük-deplasman eğrileri modellerin taşıma kapasitelerine erişinceye kadar yaklaşık doğrusal elastik kalmaktadır.

- 6) Sadece panel donatısı dayanımının perdenin dayanımı üzerinde çok etkili olmayacağı izlenimini gözlenmektedir.
- 7) Betonarme perdeli yapılarda perdelerin büyük yanal rijitlikleri dolayısıyla yanal deplasmanlar küçülecektir. Katlar arasındaki rölatif deplasmanların küçülmesi ikinci mertebe etkilerin yapıda sınırlandırılmasını sağlayacaktır.

6. KAYNAKLAR

- 1) Altın,S., (1990): "Strengthening of R/C Frames With R/C Infills", Ph.D Thesis in Civil Engineering METU, Ankara,Turkey.
- 2) Altın,S., Ersoy,U., Tankut,T., (1991): "Hysteretic Response of R/C Infilled Frames", Journal of Structural Division, ASCE, Vol 118(8), pp.2133-2150.
- 3) Cardenas,A.E., Hanson,J.M., Corley,W.G., Hognestad,E., (March 1973): "Design Provision for Shear-Walls", Code Background Paper, ACI Journal, pp.221-230.
- 4) Takayanagi,T., Derecho,A.T., Corley,W.G., (1979): "Analysis of Inelastic Shear Deformation Effects in Reinforced Concrete Structural Wall Systems", CSCE-ASCE-ACI-CEB International Symposium, University of Waterloo, Ontario, Canada.
- 5) Vallenas,J.M., Bertero,V.V., Popov,E.P., (1979): "Hysteretic Behaviour of Reinforced Concrete Structureal Walls", Report No. UCB/EERC-79/20, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley.
- 6) Wood,S.L., (1991): "Observed Behaviour of Selender R/C Walls Subjected to Cyclic Loading", Earthquake Resistant Concrete Structures Inelastic Response and Design, ACI SP-127,pp. 453-477.

13 MART 1992 ERZİNCAN DEPREMİNİN YÜZEY KIRIKLARI,
ARTÇI SARSINTILARI VE
17 EKİM 1989 LOMA PRIETA DEPREMİ İLE KARŞILAŞTIRILMASI

(COMPRASION OF THE SURFACE CRACKS OF
THE ERZİNCAN EARTHQUAKE OF MARCH 13, 1992 AND ITS AFTERSHOCKS
WITH THE LOMA PRIETA EARTHQUAKE OF OCTOBER 17, 1989)

Ramazan DEMİRTAŞ (*), Rüçhan YILMAZ (*), Hans Berchemer (**), Bodo Baier(**)

(*) Afet İşleri Gen.Müd. Deprem Arş.Da.Bşk. Sismoloji Bölümü, ANKARA

(*) General Directorate of Disaster Affairs, Earthquake Research Department,
Seismological Division, ANKARA.

(**) Frankfurt Üniversitesi, FRANKFURT

(**) Frankfurt University, FRANKFURT)

ÖZET

13 Mart 1992 günü saat 19 19 da Erzincan havzasının kuzeybatısında Ms=6.8 magnitüdü ve hemen iki gün sonra 15 Mart 1992 günü saat 18 16 da havzanın güneydoğusunda Ms=6.1 magnitüdü, ağır hasarlara ve birçok can kaybına neden olan iki ayrı deprem meydana gelmiştir. Resmi rakamlara göre 13 Mart 1992 depremi, Erzincan ilinde 653 ölüm, 3850 yaralanma, 1344 yapının ağır, 2881 yapının orta ve 3832 yapının hafif derecede hasar görmesine sebep olmuştur.

13 Mart 1992 depreminin episantrı, havzanın hemen kuzeybatısında bulunan Yalnızbağ ile Günebakan köyleri arasında bir yerde, 15 Mart 1992 depreminin episantrı ise havzanın güneydoğusunda, havzanın kuzey ve güneyinden geçen KAF'nın ana fay segmentlerinin sağa basamak yaptığı bir bölgede (Çağlayan-Pülümür arasında) yer almıştır.

Jeolojik ve sismolojik veriler, 13 Mart 1992 depreminin havzanın kuzeyinden geçen ve banda Davarlı köyü ile doğuda Tanyeri arasında kalan Kuzey Anadolu fayının 29 km derinlikte, 45 km lik bir segmentini kırdığını göstermektedir. Bu kırılan kesim, 26 Aralık 1939 Erzincan deprem (M=7.9) kırığının en doğu kısmına karşılık gelmektedir. Deprem, fay boyunca 20 cm lik sağ yönlü yatay ve 25 cm lik düşey kaymaya neden olmuştur. İkinci Pülümür depreminin odak derinliği 16 km olarak bulunmuştur.

Deprem, odak derinliğinin çok fazla olması ve havzada oldukça kalın gevşek bir sedımantasyonun olması nedeniyle yüzeide belirgin bir faylanma oluşturmamıştır. Kırıklar, genellikle süresiz, birkaç yüz metre uzunlukta ve sismik sarsma ile meydana gelmiş ikincil oturma kırıkları şeklinde gelişmişlerdir. Havzanın kuzeybatısında (Davarlı-Günebakan köyü arasında) bindirme bileşenli, havzanın güneydoğusunda ise normal bileşenli doğrultu atımlı kırıklar gözlenmiştir.

Deprem, havzanın güneyinden geçen KAF'ın ana fay segmenti üzerinde herhangi bir kırık meydana getirmemiştir.

Sismik sarsma, yerel olarak büyültülmüştür. Bu büyültmeler, özellikle kum, çakıl ve kil ar dalanmasından oluşan konsolide olmamış zeminlerde meydana gelmiştir. Bu depremde elde edilen kuvvetli yer hareketi, şimdiye kadar ülkemizde elde edilen en büyük yer hareketidir.

En büyük yer ivmesi, Doğu-Batı yönünde 0.5 g, Kuzey-Güney yönünde 0.4 g ve düşey yönde ise 0.25 g kadar olmuştur. Kuvvetli yer hareketi 15 saniye kadar sürmüştür. Depremi eşsiddet haritasında belirlenen maksimum değer VIII olup, bu alanlar aletsel episanır verileri ile uyumludur.

Sismik sarsma, yol yamaçlarında, dolgu zeminlerde, suya doygün zeminlerde ve stabil olmayan dik yamaçlarda birçok heyelanlara neden olmuştur. Havzanın güney doğu kısımlarında. Fırat nehrinin kenarlarında küçük ölçekte sıvılaşmalar ve küçük kum volkanları gelişmiştir.

Ana şoktan sonra üç aylık bir süre içerisinde 6 000 civarında artçı sarsıntılar kaydedilmiştir. Artçı sarsıntılar, ana şoktan sonraki günlerde zamanla bir azalma göstermişlerdir. Bu sarsıntılar havzanın iki ayrı kesiminde yoğunlaşmış olup, havzanın kuzeybatısından güney doğusuna doğru kırık boyunca ilerlemişlerdir. Artçı şoklar, 5 ile 10 km arasında değişen odak derinlikleri göstermektedirler. Her iki depremin de ana şokları, artçı şokların altında yer almıştır.

13 Mart 1992 Erzincan depremi, San Andreas fayının 42 km uzunlukta bir segmentini kıran, 18 km odak derinliği olan ve fay boyunca 180 cm yatay ile 120 cm düşey atım meydana getiren 17 Ekim 1989 Loma Prieta depremine ($M=7.1$) birçok yönden benzerlik göstermektedir.

ABSTRACT

Two different earthquakes, which caused severe damage and many casualties, occurred in the NW part of Erzincan basin and in the SE part of the basin on March 13 ($M_s=6.8$) and 15, ($M_s=6.1$) 1992, respectively. According to official numbers, the magnitude 6.8 Erzincan earthquake resulted in 653 deaths, 3850 injuries, 1344 houses heavily, 2881 houses moderately and 11796 houses slightly damaged.

The epicenter of the earthquake of March 13, 1992 located between Yalnızbağ and Günebakan villages located in the NW part of the basin. The epicenter of the another earthquake ($M_s=6.1$) located between Çağlayan and Pülümür in the SE part of the basin where the northern and southern segments of the NAF in that region make a step to the right.

Geologic and seismologic data indicate that the earthquake ruptured a 45 km long segment of the NAF to a depth of 29 km. The ruptured section represents the easternmost part of the earthquake of December 26, 1939 ($M=7.9$). Relative displacement of the earthquake of March 13 varies from a few centimeters to 20 cm right lateral and up to 25 cm of throw. We determined 16 km of focal depth for the Pülümür earthquake of March 15.

A clear surface faulting was not observed in the ground surface due to big focal depth of the earthquake, thick and unconsolidated sedimentary deposits accumulated in the basin. Surface ruptures developed as discontinuous, a few hundred meters and generally, secondary cracks resulted from seismic shaking. We observed strike-slip faulting with small reverse component in the NW part of the basin. In contrast to, tensional cracks formed in the SE part of the basin. No crack was observed in the southern segment of the NAF extending from Çağlayan to the eastward.

Seismic shaking was locally amplified. Significant amplification occurred in areas of unconsolidated deposits consisting of alternation of sand, gravel and clay layers. Ground motion obtained from this

earthquake has been the strongest motion that recorded so far, in Turkey. Peak accelerations were recorded as 0.5 g, 0.4 g and 0.25 g in the directions of E-W, N-S and vertical, respectively. The maximum intensity of the Erzincan earthquake shown in the isoseismic map was assigned as MSK VIII and this value was compatible with data of instrumental epicenter.

Strong ground motions during the earthquake triggered many landslides in areas of road cutting, filling grounds, unstable steep slopes and water-saturated grounds. Liquefaction and small-sized sand volcanoes were observed on the both sides of the Fırat River.

A total of 6 000 aftershocks were recorded within three months after the main shock. The number of aftershocks gradually decreased with time after the main shock. These aftershocks concentrated in two different places of the basin corresponding to their epicentral regions of both earthquakes. These aftershocks migrated from the NW side to the SE side of the basin along the fault. The focal depth of aftershocks vary from 5 km to 10 km. Both main shocks lie at the bottom of the aftershocks distribution.

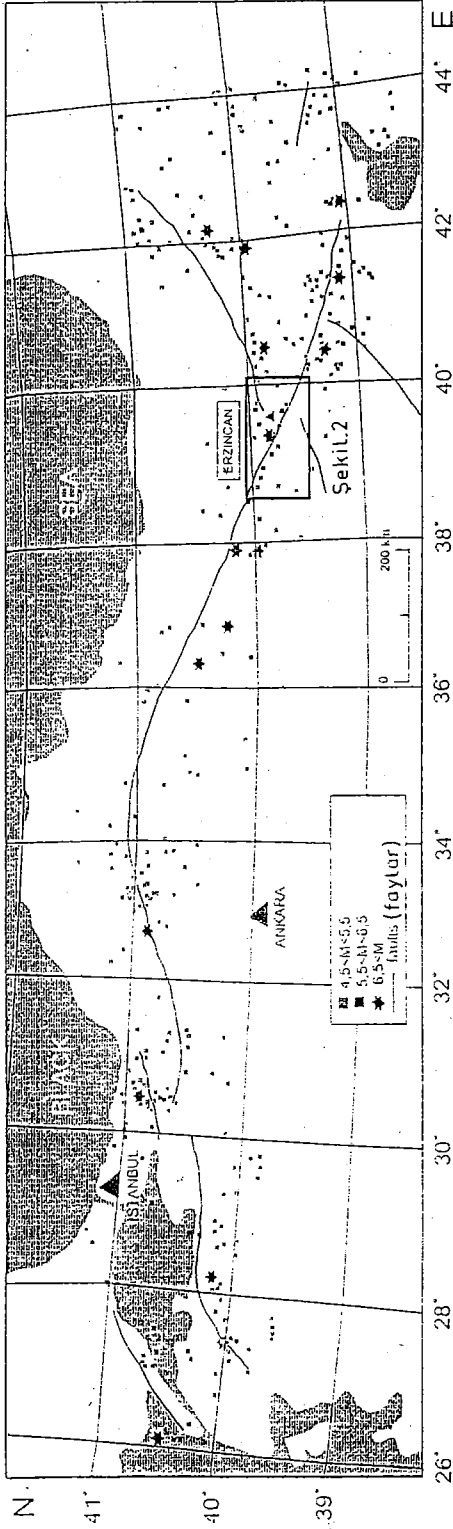
In many ways, the Erzincan earthquake of March 13,1992 is very similar to the Loma Prieta earthquake of October 17,1989 ($M=7.1$) that ruptured a 42 km long segment of the San Andreas fault to a depth of 18 km and amounted to 180 cm horizontal and 120 cm vertical displacements. ways.

GİRİŞ

Erzincan şehri, son 1 000 yıldır şiddetleri (MSK) VI-X arasında değişen birçok depremlere maruz kalmıştır. Bu depremlerde birçok can kayıpları ve maddi hasarlar meydana gelmiştir. Her yıkıcı depremden sonra Erzincan şehri havza içerisinde sürekli yer değiştirmiştir. En son olarak yaklaşık 32 962 kişinin ölmesine neden olan ve doğuda Avcılar'dan (Erzincan'ın doğusu) batıda Amasya'nın güneyine kadar uzanan bir alanda 350 km uzunlukta bir yüzey faylanması meydana getiren 26 Aralık 1939 ($M=7.9$) depreminde şehir havzanın güneyinden kuzeyine kaydırılarak bugünkü bulunduğu yere getirilmiştir (Şekil 1). 13 Mart 1992 depreminden ($M_s=6.8$) sonra şehrin yerinin değiştirilmesi gündeme gelmiş ancak şehir eski bulunduğu yerde yeniden inşaa edilmiştir.

13 Mart 1992 depremi ile ilgili birçok araştırmacı birçok makale yayınlamış, ancak bu yayınlarda 13 ve 15 Mart depremlerinin iki ayrı deprem olup olmadığı ve her iki depremin episantr yerlerinin neresi oldukları hakkında problemler çözümlenmeden kalmıştır.

Bu makalede, jeolojik ve sismolojik veriler birlikte yorumlanarak 13 ve 15 mart depremlerinin karakter olarak iki ayrı deprem oldukları ve her iki depremin episantr yerleri hakkında açıklıklar getirilmiştir. Ayrıca 13 Mart 1992 Erzincan depremi, San Francisco'nun 100 km güneydoğusunda, Watsonville-Los Gatos arasında San Andreas fayının 42 km lik bir bölümünü kıran 17 Ekim 1989 Loma Prieta depremi ile karşılaştırılarak birçok yönden birbirlerine benzedikleri gösterilmiştir.



Şekil 1. Kuzey Anadolu fayı, üzerinde 1881-1986 yılları arasında oluşmuş $M \geq 4.5$ depremler, Erzurum civarındaki aktif faylar, magnitudleri 4.5 ile 5.5 arasında olan depremler açık kareler ile, 5.5 ile 6.5 arasında olanlar koyu kareler ile ve 6.5 den büyük olanlar yıldızlar ile gösterilmiştir.

ERZİNCAN HAVZASININ TEKTONİK KONUMU

Arap plakasının kuzeye doğru devam eden hareketi, Anadolu plakası içerisinde birtakım küçük blokların çıkmasına neden olmaktadır. Bu blokların sınırlarını doğrultu atımlı faylar oluşturmaktadır. Erzincan havzasının Karlıova Üçlü Birleşim noktasına yakın olması ve civarında yeni birtakım küçük blokların çıkması, bu bölgede oldukça fazla deformasyon birikmesine neden olmaktadır.

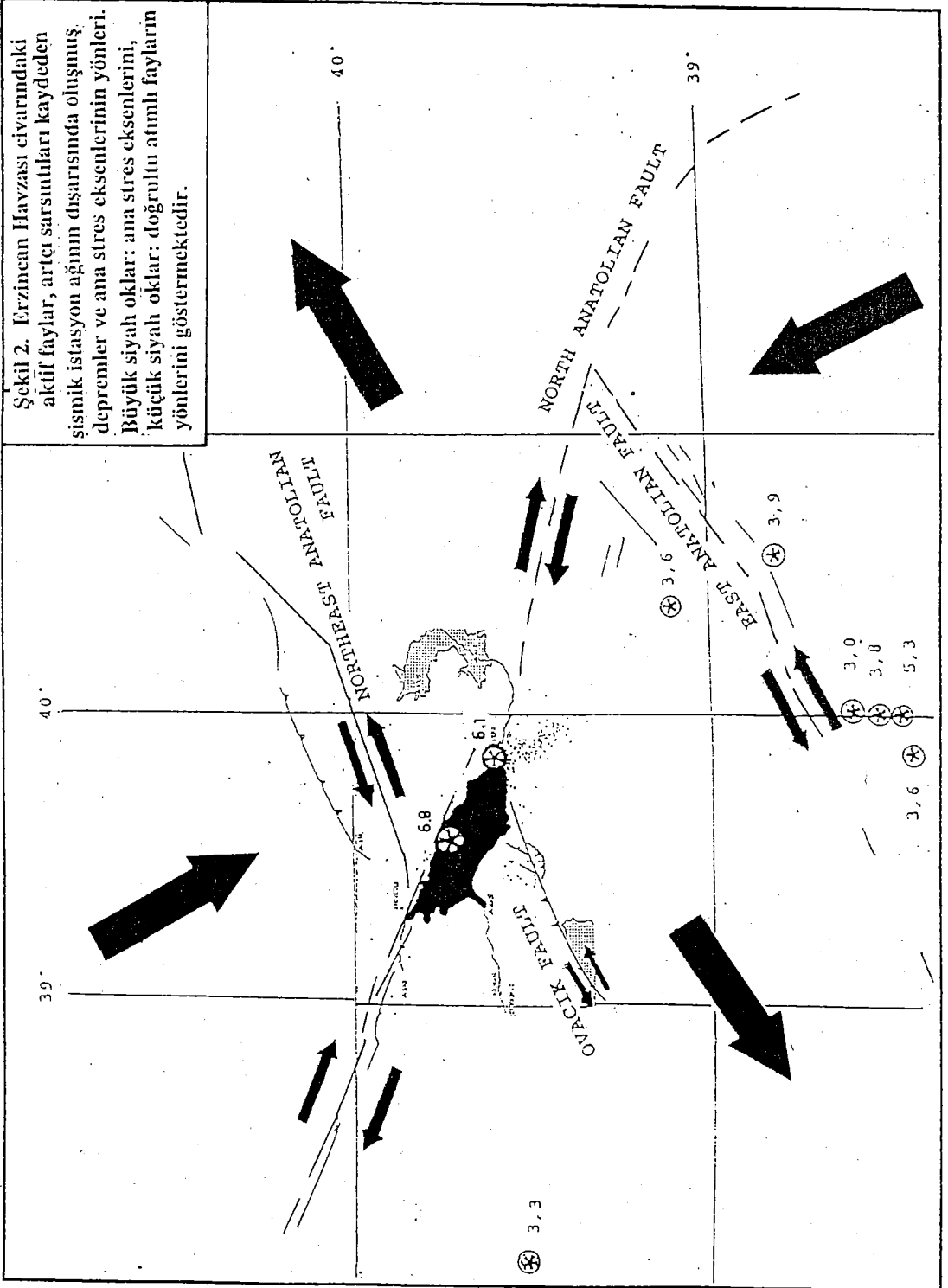
Havzanın kuzeyinden Tanyeri yakınlarından başlayıp, Davarlı köyüne, oradan da Suşehri havzasına kadar uzanan ve havzanın güneydoğusundan Çağlayan yakınlarından başlayıp, Pülümür'ün hemen kuzeyinden geçen ve Karlıova üçlü birleşim noktasına doğru uzanan KB-GD doğrultulu sağ yönlü doğrultu atımlı Kuzey Anadolu fayının Kuzey ve Güney Segmentleri geçmektedir (Şekil 2). Havzanın kuzeybatısında KAF'nın kuzey segmentini kesen ve Davarlı-Ahmediye köyleri içerisinde geçerek kuzeydoğuya doğru uzanan sol yönlü doğrultu atımlı Kuzeydoğu Anadolu fayı ile havzanın güneydoğusunda KAF'nın güney segmentini kesen ve güneybatıya doğru uzanan sol yönlü doğrultu atımlı Ovacık fayı geçmektedir (Şekil 2).

Havzanın güneybatısında Ovacık fayı ile KAF'nın kuzey segmenti arasında kalan blok güneybatıya doğru, havzanın kuzeydoğusunda Kuzeydoğu Anadolu fayı ile KAF'nın güney segmentleri arasında kalan diğer bir blok kuzeydoğuya doğru çıkmaktadır (Şekil 2). Kuzeydoğuya doğru çıkan bloğun hemen batısındaki bölge ile güneybatıya doğru çıkan bloğun hemen doğusundaki bölge, sıkışma alanlarını temsil etmektedirler. Havzanın kuzeybatısında ve güney doğusunda bu alanlar içerisinde yer alan bindirme fayları, havzanın KB-GD yönünde sıkıştığını göstermektedir.

Havzanın kuzeyinden geçen segment, en son 26 Aralık 1939 depreminde ($M=7.9$) kırılmıştır. Bu deprem, doğuda Avcılar yakınlarından başlayıp, batıda Amasya'nın güneyine kadar uzanan 350 km uzunluğunda bir yüzey kırığı meydana getirmiştir. Deprem, fayın iki tarafı arasındaki blokları yaklaşık 7 metre civarında sağ yönlü olarak kaydırmıştır. 13 Mart 1992 depremi, 26 Aralık 1939 deprem kırığının en doğu bölümünü yeniden kırmış ve 45 km uzunluğunda bir yüzey kırığı meydana getirmiştir. Depremin fay düzlemi çözümü, küçük bindirme bileşenli doğrultu atımlı bir fay vermiştir.

Havzanın güneyinden geçen segment, en son 1784 depreminde kırılmış ve 90 km uzunlukta bir yüzey faylanması meydana getirmiştir (Ambraseys 1975). 15 Mart 1992 depremi, bu segmentin hemen batı ucunda oluşmuş olup, herhangi bir yüzey kırığı meydana getirmemiştir.

Şekil 2. Erzincan Havzası civarındaki aktif faylar, arazi sarsıntuları kaydeden sismik istasyon ağının dışarısında oluşmuş depremler ve ana stres eksenlerinin yönleri. Büyük siyah oklar: ana stres eksenlerini, küçük siyah oklar: doğrultu atımlı fayların yönlerini göstermektedir.



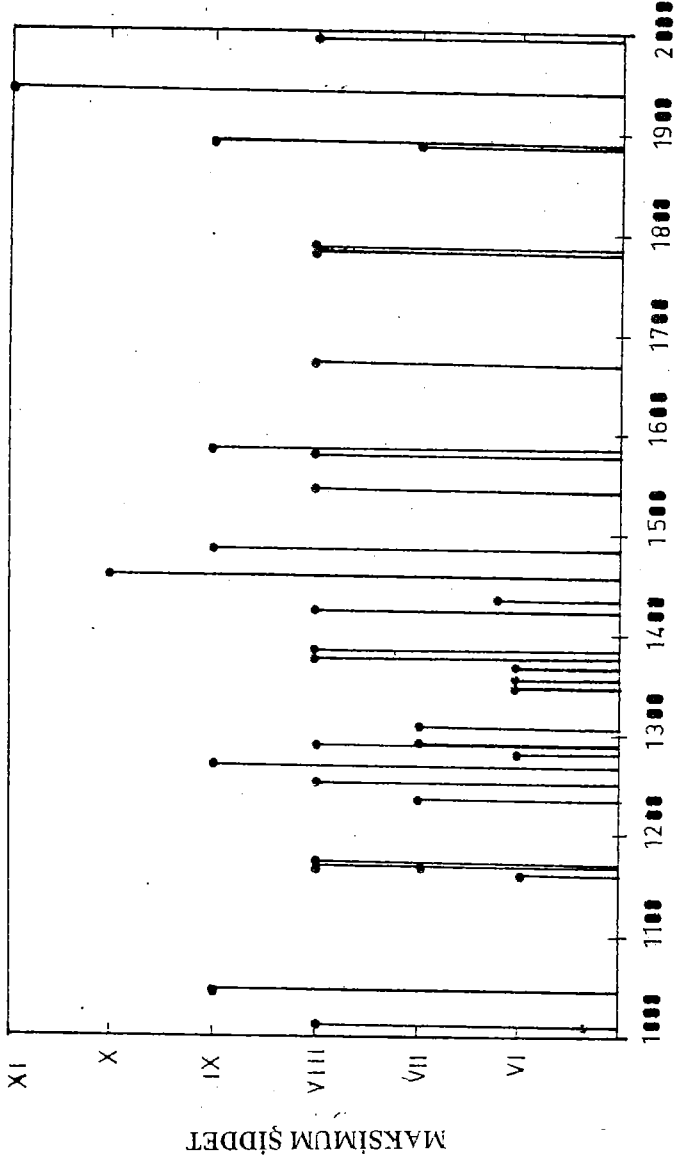
ERZİNCAN VE ÇEVRESİNİN SİSMİSİTESİ

38.68-40.84 K ile 37.50-41.54 D koordinatları arasında kalan Erzincan ve civarında 995-1890 yılları arasında ağır hasarlara neden olan şiddetleri I=VI-X arasında değişen 35 deprem meydana gelmiştir (Tablo-1). Şekil 3 bu depremlerin zaman ve şiddete dağılımlarını göstermektedir. 995-1890 dönemi esnasında (yaklaşık 1 000 yıl) 26 Aralık 1939 depremine (M=7.9) benzer büyüklükte, şiddetleri I=IX-X arasında değişen 6 deprem, 13 Mart 1992 depremine (M=6.8) benzer I=VIII şiddetinde 13 deprem ve şiddetleri I=VI-VII arasında değişen 16 deprem olmuştur.

I=IX-X şiddetinde olan depremler yaklaşık 200-300 yıl, I=VIII şiddetindeki depremler 80-150 yıl ve I=VI-VII şiddetindeki depremler ise 50-70 yıl aralıklarla tekrarlanmaktadır.

Tablo 1.

I=IX-X	I=VIII	I=VI-VII
1045	1011	1161
1268	1168	1165
1456	1170	1166
1482	1251	1236
1584	1254	1281
1890	1287	1289
	1374	1290
	1383	1308
	1422	1345
	1579	1356
	1666/67	1366
	1783	1433
	1787	1543
		1576
		1578
		1890



Şekil 3. 1 000-2 000 yılları arasında Erzincan'da olmuş tarihsel depremlerin şiddet dağılımları.

ANAŞOK

a- 13 Mart 1992 Depremi

13 Mart 1992 günü saat 19 19 da Erzincan'da şiddetli bir deprem olmuştur. Depremin magnitudü $M_s=6.8$ olarak bulunmuştur. Resmi rakamlara göre deprem:

653- Ölü

3850- Yaralı

1344- Ağır hasarlı yapı

2881- Orta hasarlı yapı

3832- Hafif hasarlı yapı

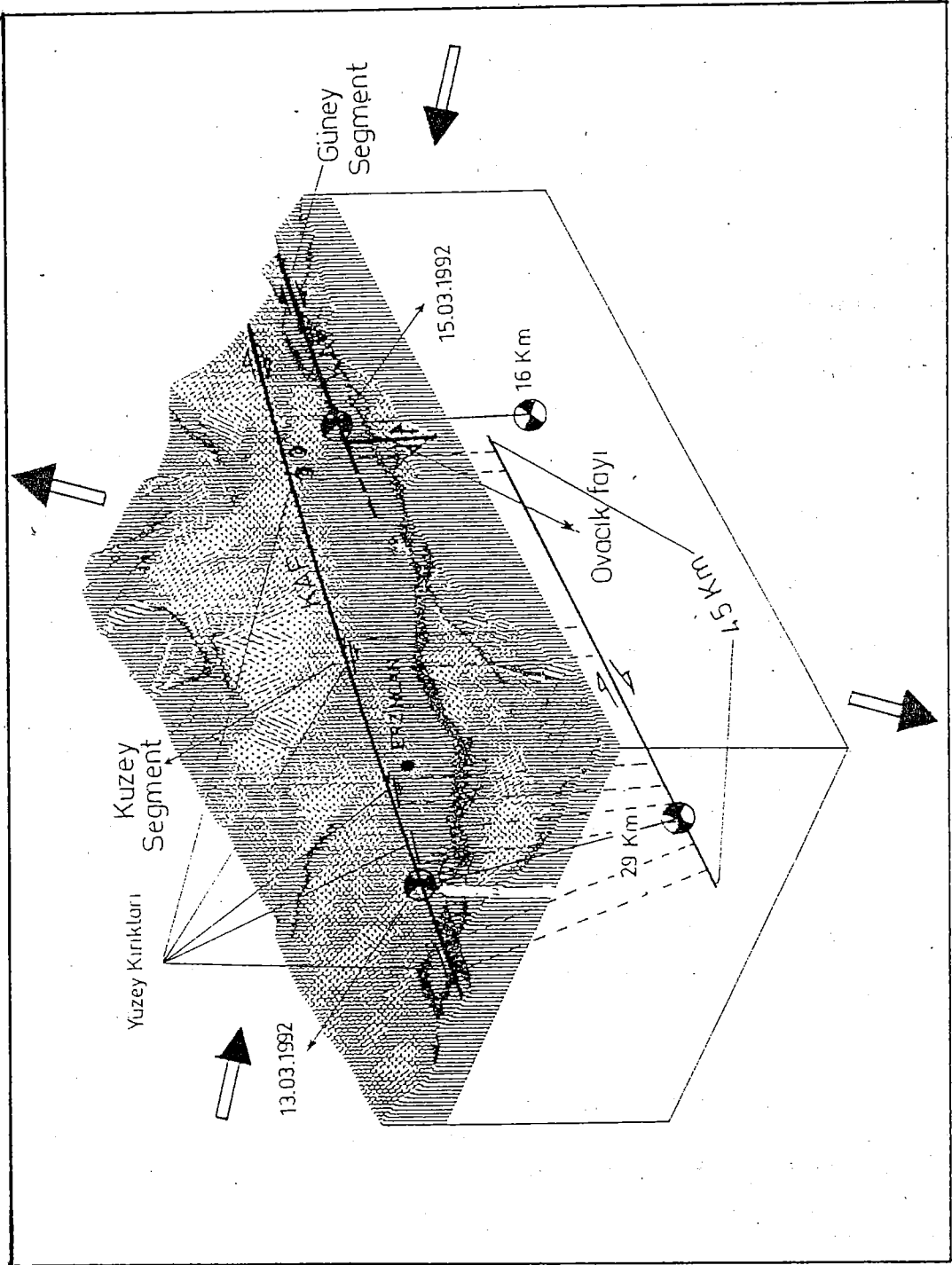
sonuçlara neden olmuştur.

13 Mart 1992 depremi, 29 km derinlikten başlayarak yüzeyin 5-10 km altına kadar ulaşan ve KAF'nın havzanın kuzeyinden geçen, batıda Davarlı köyü ile doğuda Tanyeri arasında uzanan yaklaşık 45 km uzunluğunda bir segmentini kırmıştır (Şekil 4). Bu deprem, 26 Aralık 1939 depreminde ($M=7.9$) oluşan 350 km lik kırığın en doğu kısmını yeniden kırmıştır. Bu kırılan kısım, 1939-1967 deprem serisinde (magnitudü 7.0 ve daha büyük depremler) kırılmayan bir sismik boşluğun hemen batı ucunda yer almaktadır.

Anaşoktan sonra oluşmuş artçı sarsıntuların çoğu 5 ile 10 km arasında değişen odak derinlikleri göstermektedir. Bu durum deprem kırığının yüzeyin 5-10 km altına kadar uzandığına ve yüzeye kadar erişemediğine işaret etmektedir. Benzer durum, 17 Ekim 1989 Loma Prieta depreminde de gözlenmiştir.

Deprem, fay boyunca birkaç cm ile 20 cm arasında değişen sağ yönlü doğrultu atımlar ile birkaç cm ile 25 cm arasında düşey atımlar meydana getirmiştir. Atımlar, kırıklar üzerinde doğrudan ölçülmüş ve kırılan kısımların şekillerinden elde edilmiştir. Depremin odak mekanizması, çok küçük ters bileşenli doğrultu atımlı bir çözüm vermiştir.

Depremin episantrı, Erzincan havzasının kuzeybatısında Yalnızbağ-Günebakan köyleri arasında bir yerde yer almıştır. Episantr bölgesi civarında oldukça büyük hasarlar meydana gelmiştir. Episantr bölgesinde maksimum 20 cm sağ yönlü yatay ve maksimum 50 cm lik düşey atımlar meydana gelmiş halbuki episantrdan doğuya ve batıya doğru gidildiğinde yatay ve düşey atım miktarları azalmış ve birkaç cm ye kadar düşmüştür.



Şekil 4. 13 Mart 1992 depreminin Erzincan Havzası içerisinde kırıldığı yüzey kırıklarının, 13 ve 15 Mart 1992 depremlerinin episantre ve odak yerlerinin üç boyutlu olarak görünüşü. Büyük oklar: Ana stres eksenlerinin yönlerini göstermektedir.

Ayrıca anaşok esnasında ve sonrasında kaydedilen artçı şokların bir kısmının havzanın kuzeybatısında yoğunlaşması, depremin havzanın kuzeyinden geçen segmenti kırması, düşey ve yatay aum miktarlarının maksimum olarak bu kısımda oluşması ve sıvılaşma gibi olaylar, depremin episantrının bu bölgede olduğunu desteklemektedir.

b- 15 Mart 1992 Pülümür depremi

15 Mart 1992 günü saat 18 16 da Erzincan havzasının güneydoğusunda $M_s=6.1$ magnitudlü bir deprem meydana gelmiştir. Deprem, Çağlayan-Pülümür arasında yer alan bölgeyi etkilemiş ve:

Can kaybı: 0

Ağır hasar: 439

Orta hasar: 310

Hafif hasar: 206

neden olmuştur.

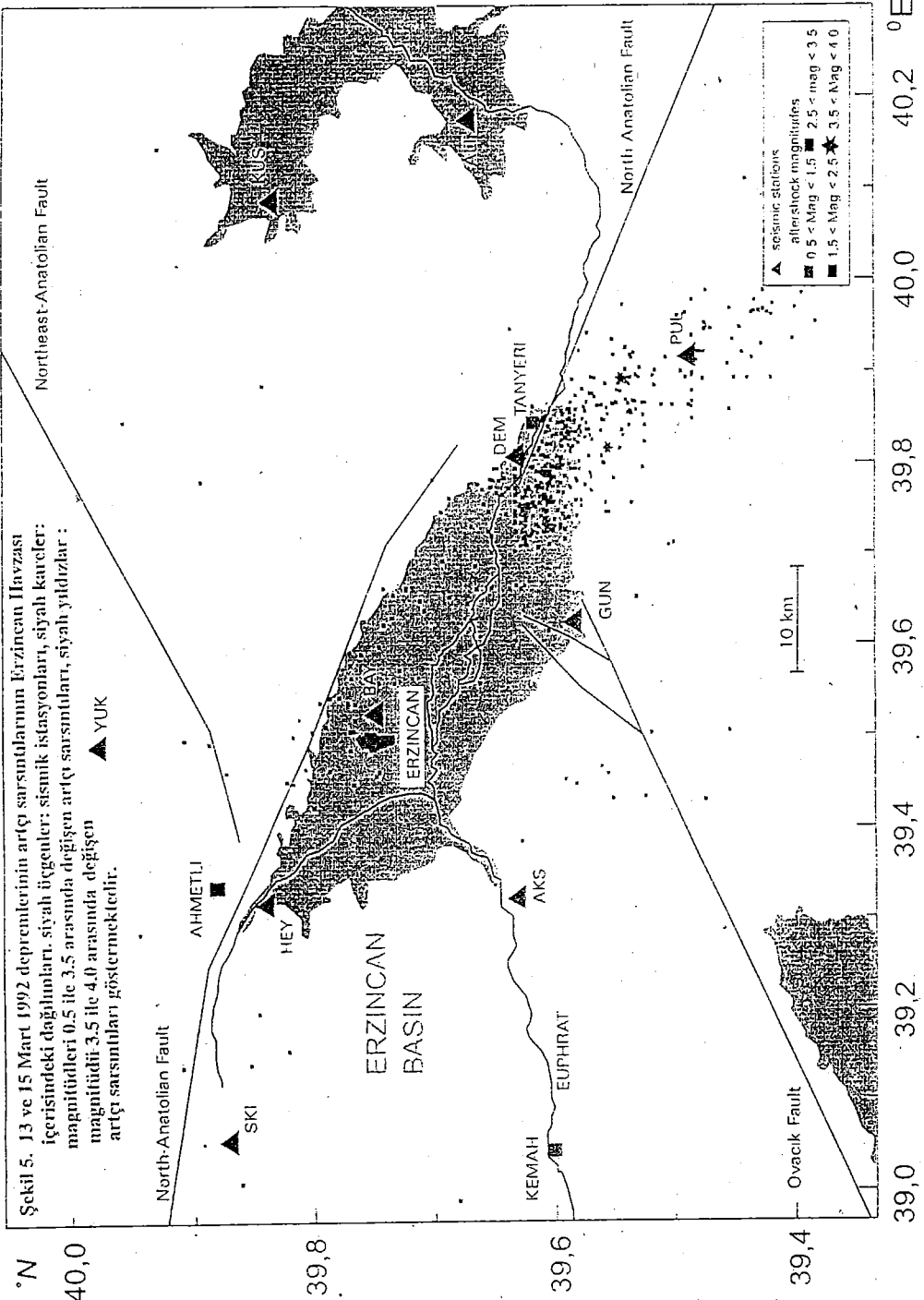
15 Mart 1992 depremi, 13 Mart depreminin artçı sarsıntusundan ziyade ayrı bir deprem olarak görünmektedir. Sismik veriler, bu iki depremin ayrı olduğunu desteklemektedir. Depremlerin P-S zaman farkları ve dalgaların karakterleri belirgin olarak farklılıklar göstermektedir.

Depremin odak derinliği 16 km olarak hesaplanmıştır. Depremin odak mekanizması, tansiyonei bileşenli sağ yönlü doğrultu aumlu bir çözüm vermiştir.

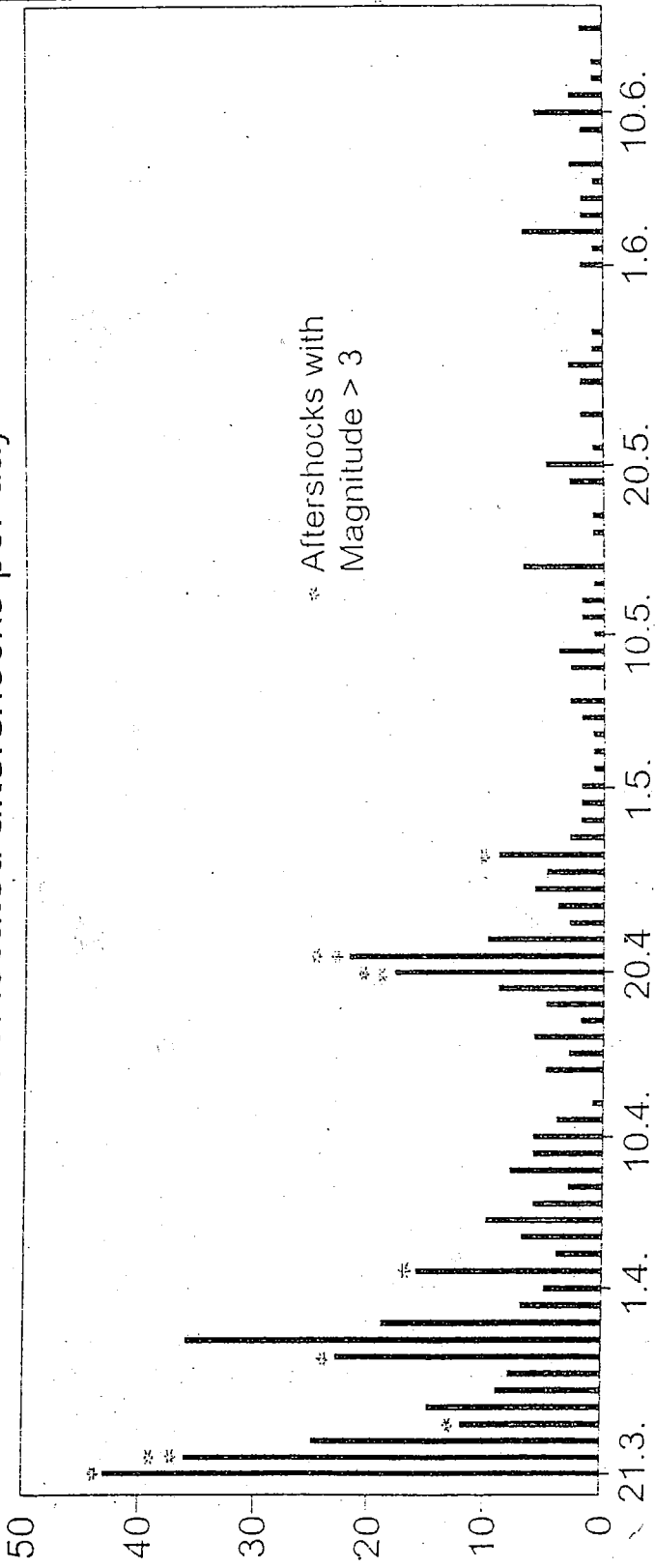
15 Mart Pülümür depreminin episantrı, Erzincan havzasının güneydoğusunda, Havzanın kuzey ve güneyinden geçen KAF'nın sağa basamak yaptığı ve Ovacık fayı ile kesiştiği bölgede yer almıştır. Deprem, magnitudünün küçük olması nedeniyle, havzanın güneyinden geçen segment üzerinde herhangi bir kırık meydana getirmemiştir.

ARTÇI SARSINTILAR

Anaşoktan 1 hafta sonra Erzincan havzasını çevreleyecek şekilde 10 adet istasyondan oluşan sismik bir ağ kurulmuştur. Anaşoktan sonra 3 aylık bir süre (21.03-10.06 1992) içerisinde yaklaşık 6 000 civarında artçı sarsıntı kaydedilmiştir. Bu sarsıntılar, havzanın kuzeybatı ve güneydoğusunda olmak üzere iki ayrı kesimde yoğunlaşmış olup, depremde kırılan 45 km lik segmentin batı ucundan doğu ucuna doğru bir ilerleme göstermişlerdir (Şekil 5.6,7). Artçı sarsıntuların yoğunlaştığı kısımlar, 13 ve 15 Mart 1992 depremlerinin episantr bölgelerine karşılık gelmektedir.

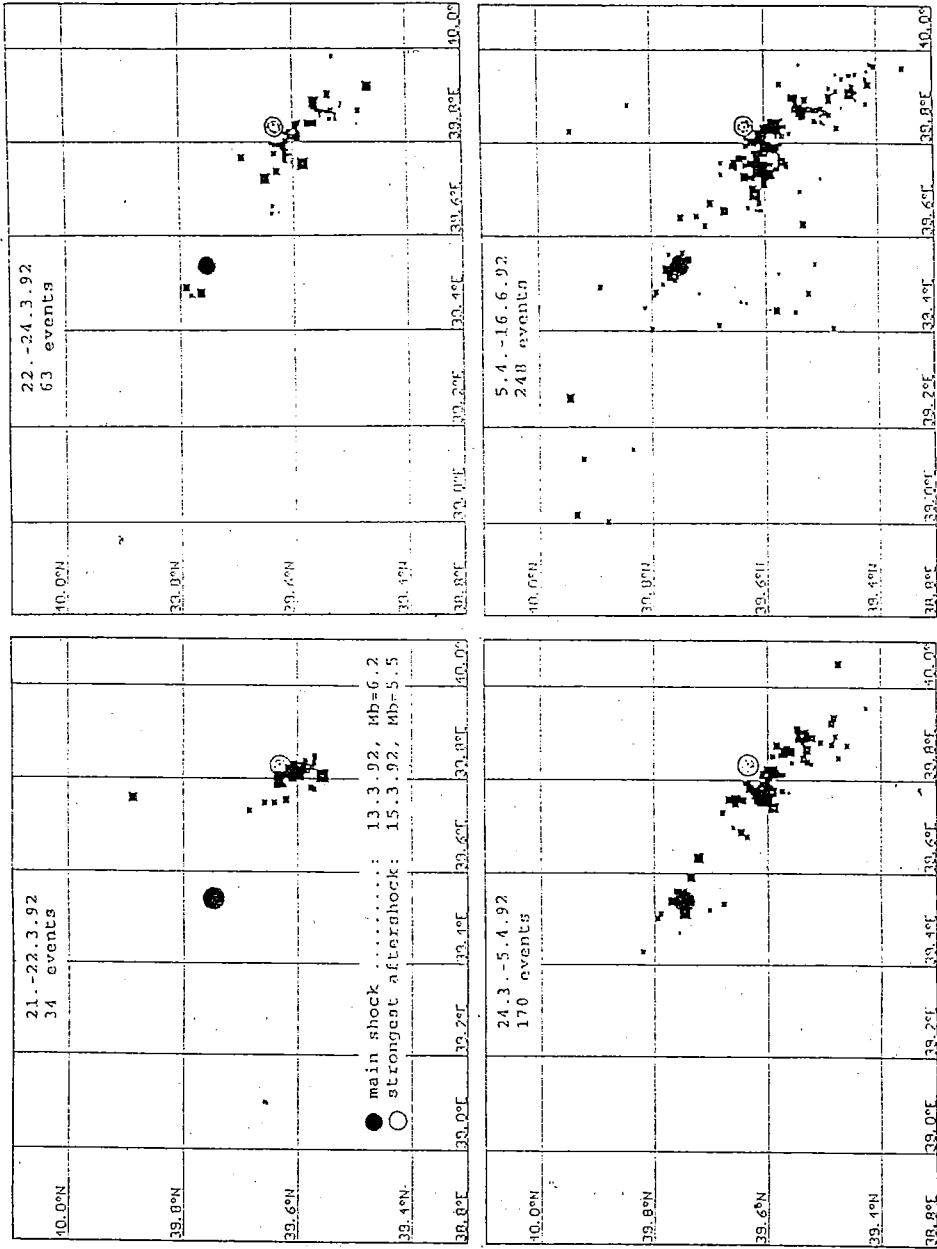


Number of located aftershocks per day



March - June 1992

Şekil 6. 21.3-10.6 1992 günleri arasında oluşmuş arçı sarsıntılarının zamana göre dağılımları. Yıldızlar: magnitudü 3.0 dan büyük depremleri göstermektedir.



Şekil 7. 21.03-16.06.1992 günleri arasında artçı sarsıntuların yer-zaman dağılımları ve 4 ayı zaman aralığında oluşan depremlerin sayıları. Koyu daire: 13.03.1992, Açık daire: 15.03.1992 depremlerin episantelamları göstermektedir.

Artçı sarsıntuların aktivitesi ve sayısı, anaşoktan sonraki günlerde zamanla bir azalma göstermişlerdir. Kaydedilen artçı sarsıntuların magnitüdüleri, 0.5 ile 4.0 arasında değişmiş olup, anaşok ile 20 Nisan 1992 günleri arasında magnitüdü 3.0 ve daha büyük artçı sarsıntılar kaydedilmiştir (Şekil 6).

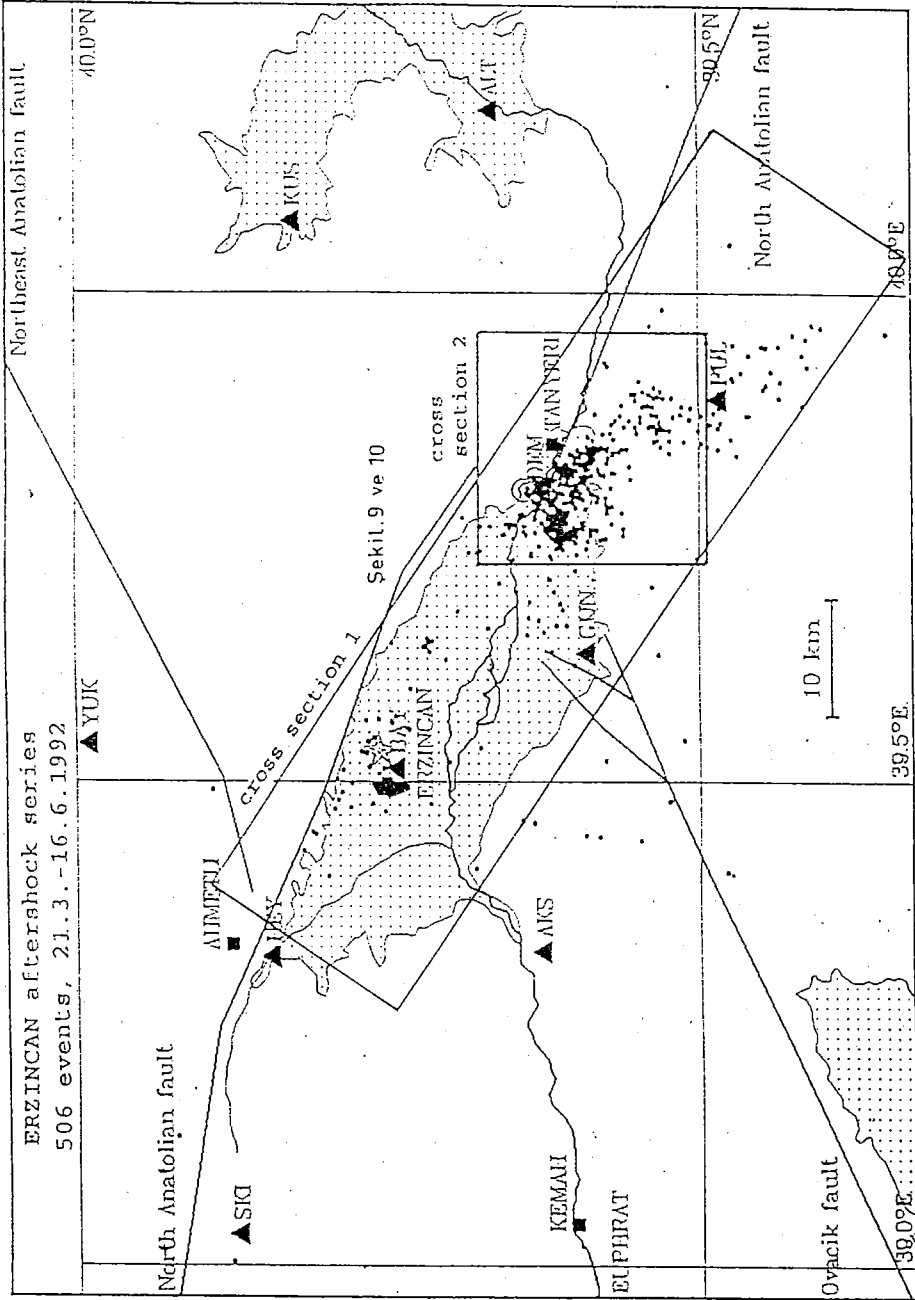
Şekil 8 de cross section 1 olarak büyük dikdörtgen ile gösterilen kısımdaki artçı sarsıntuların derinlik dağılımları Kuzey Anadolu fayına göre dik 4 ayrı kesitte incelenmiş, Erzincan'ın kuzeybatısında, birinci 13 Mart 1992 depreminin episantrının bulunduğu bölgedeki 45 artçı sarsıntı 5 km ile 20 km arasında değişen derinlikler gösterirken KAF boyunca havzanın güneydoğusuna doğru artçı sarsıntuların sayısı artmış ve 42 ile 295 artçı sarsıntı ortalama 5 km ile 10 km arasında değişen derinliklerde kümelenmişlerdir (Şekil 9).

İkinci, 15 mart 1992 Pülümür depreminin episantrının bulunduğu ve 295 artçı sarsıntının oluştuğu yerin hemen doğu uzanımındaki 101 artçı sarsıntı 15 km ile 20 km arasında değişen derinliklerde yer almışlardır (Şekil 9)

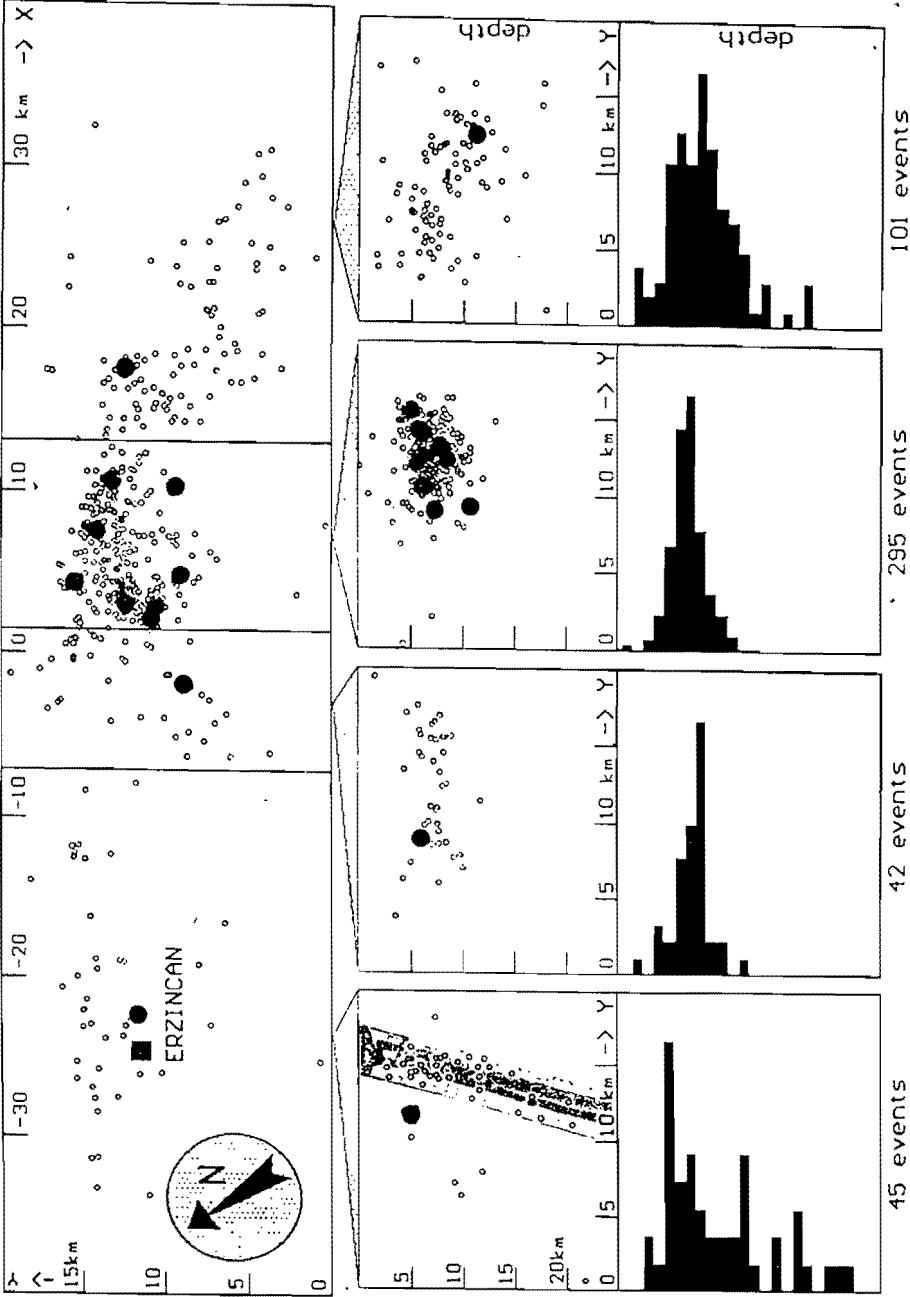
Şekil 8. de cross section 1 olarak gösterilen aynı bölgedeki fakat Kuzey Anadolu fayına göre paralel olan kesitte artçı sarsıntuların hiposantr dağılımları ile anaşoklar arasındaki ilişkiler incelenmiştir. İlk şok, 29 km ve artçı sarsıntuları 5 ile 20 km arasında değişen hiposantr derinlikleri gösterirlerken, ikinci anaşok 16 km ve artçı sarsıntuları 5 ile 10 km arasında hiposantr derinliklerinde yer almışlardır (Şekil 10). Bu durum 13 Mart 1992 deprem kırığının havzanın kuzeybatısında daha derinlerde yer aldığı, kırığın havzanın güneydoğusuna doğru ilerlediğini ve yüzeyin 5-10 km altına kadar çıktığını bu nedenle yüzeye erişemediğini göstermektedir. Bu yüzden 13 Mart 1992 depreminde yüzeyde belirgin ve sürekli bir kırık oluşmamasının nedeni bu şekilde açıklanabilir.

İki depremin anaşokları gibi artçı sarsıntuları da karakter olarak birbirinden farklılıklar göstermektedirler. $M_l = 2.1$ ve daha büyük artçı sarsıntuların birleşik fay düzlemi çözümleri yapılmış olup, havzanın kuzeybatısındaki artçı sarsıntular doğrultu atımlı çözümler verirken, havzanın güneydoğusundaki artçı sarsıntılar ise tansiyonel karakterde normal atımlı fay çözümleri vermişlerdir (Şekil 11).

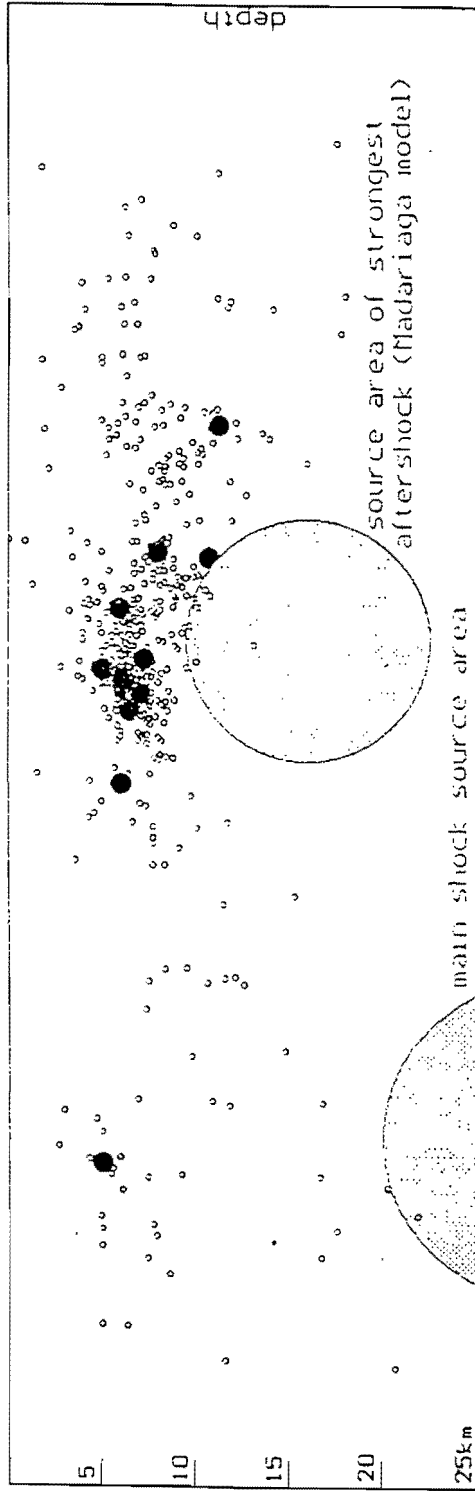
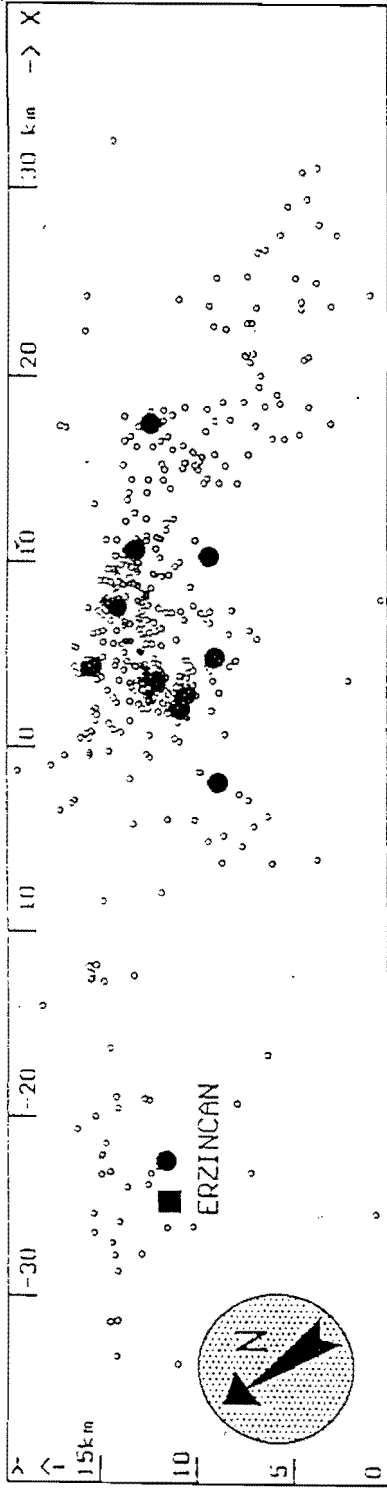
Yukarıda görüldüğü gibi, artçı sarsıntılar da Erzincan havzası içerisinde iki ayrı depremin olduğunu desteklemektedir.



Şekil 8. 13 ve 15 Mart 1992 depremlerinin ve arıçı sarsıntılarının episantr yerleri. Yüzdüz: 13.03.1992 depremi, açık daire; 15.03. 1992 depremi.



Şekil 9. Erzincan havzasından geçen Kuzey Anadolu fayına dik kesitler boyunca artçı sarsıntuların derinlik dağılımları. (Şekil 8 de cross section 1 olarak gösterilen büyük dördörtgen bölgeyi kapsamaktadır.) Şekil de bu bölge 4 ayrı kesitte incelenmiş ve artçı sarsıntuların sayısı ile ilişkileri gösterilmiştir.



Şekil 10. Erzincan havzasından geçen Kuzey Anadolu fayına paralel bir kesit boyunca 13 ve 15 Mart 1992 ana şokları ile artçı sarsıntılarının derinlik-yer ilişkileri. Yarım daire: 13.03.1992 depremi, tam daire: 15.03.1992 depremi'ni göstermektedir.

North-east Anatolian fault

40.0°N

Şekil 11. 13 ve 15 Mart 1992 depremleri ile artçı sarsıntuların birleşik fay düzlemi çözümleri. 13 ve 15 Mart 1992 depremleri açık renkli daireler ile artçı sarsıntılar ise koyu renkli daireler ile gösterilmiştir.

North Anatolian fault

AKINMETLI

13.03.92

15.03.92

ERZINCAN

KEMAH

EUPHRAT

KANYERI

39.5°N

North Anatolian fault

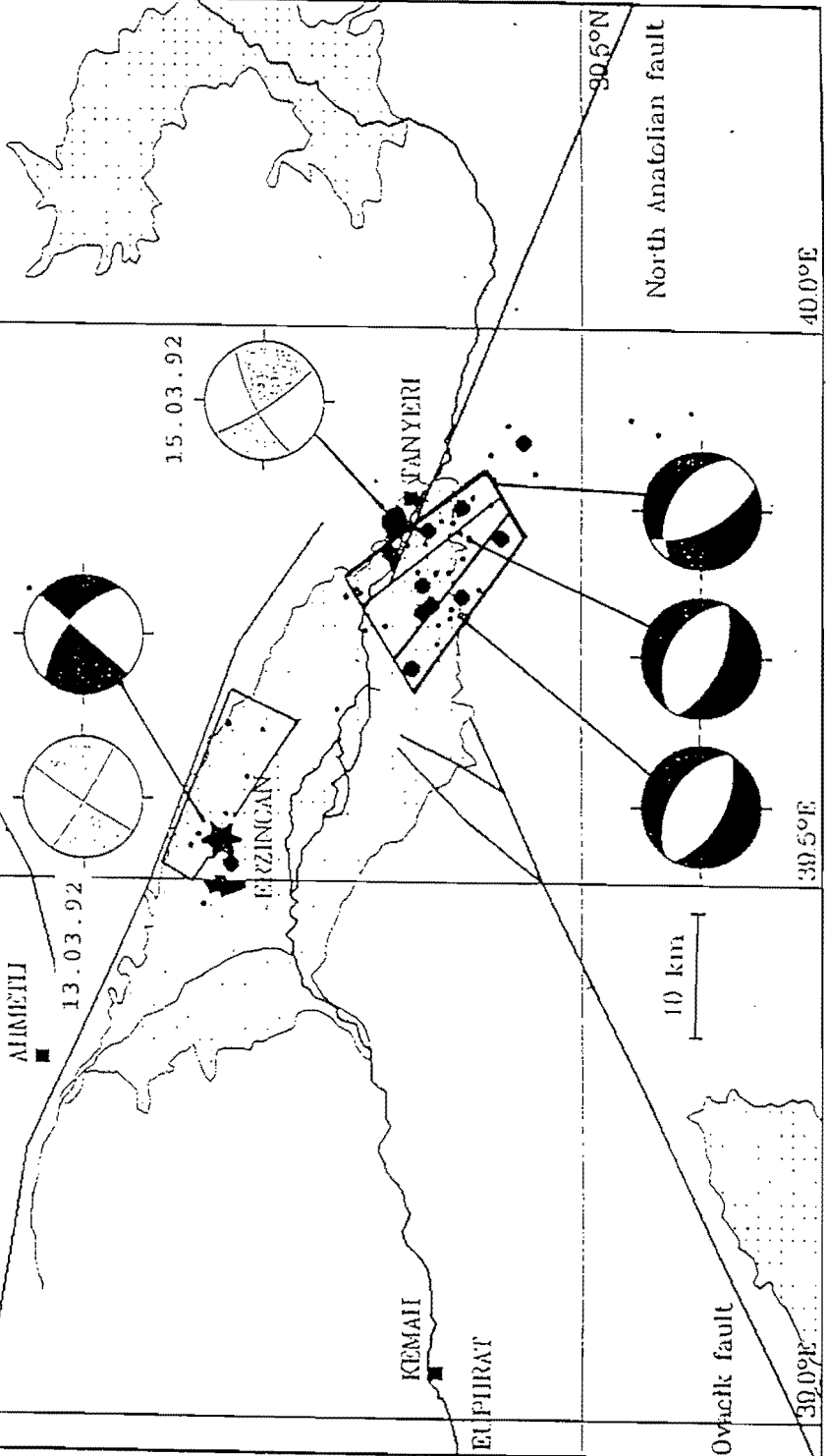
40.0°E

39.5°E

Ovacik fault

39.0°E

10 km



SİSMİK SARISMA

Bilindiği gibi, bir yerdeki deprem şiddeti, depremin büyüklüğüne, deprem kaynağına olan uzaklığa ve o yerdeki jeolojik özellikler ile insanlar ve yapılar üzerindeki etkilerine bağlı olarak değişir. Sarsma şiddetinin kalitatif değerlendirilmesinde, yani depremin fiziksel etkilerinin değerlendirilmesinde şiddet cervelleri kullanılmaktadır. Depremden etkilenen tüm yerlerin cervellerdeki tüm verilerle karşılaştırılarak şiddet değerleri belirlenir ve aynı değerlere sahip yerler birleştirilerek eşşiddet haritaları hazırlanır. Bu haritalar, deprem hasarlarının boyutunu, dağılımını ve dolayısıyla da sismik sarsıntının seviyesini gösterirler. Şiddet gözleme dayalı olup, subjektif değerlendirilmeleri içerir.

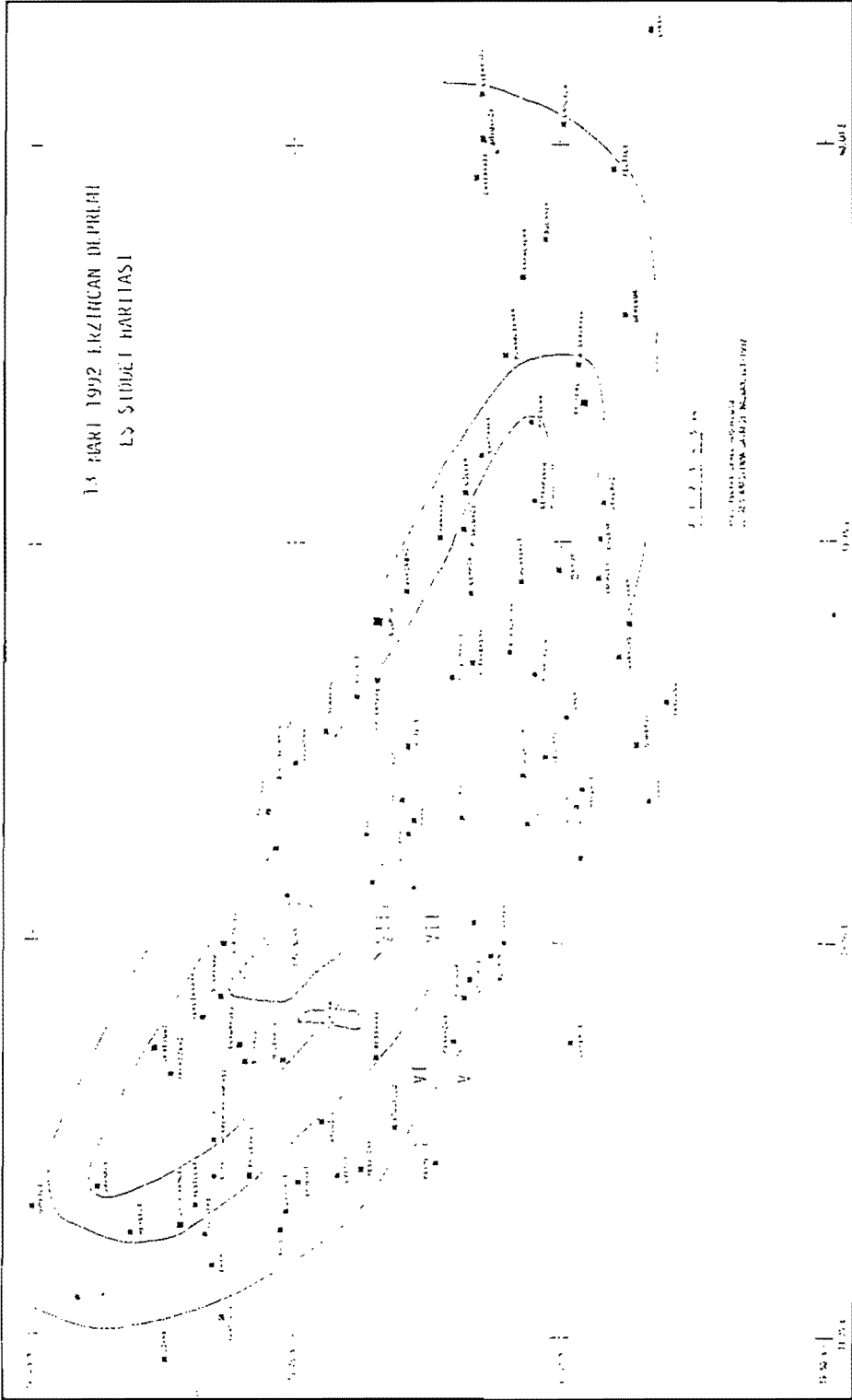
Ayrıca, aletsel verilerde deprem yer hareketinin frekans içeriği, genliği, süresi vb. değerleri belirlenir. Bunlardan deprem parametreleri bilindiği gibi, yapısal hasarlarda etken olan ivme özellikle yatay bileşen değerleri elde edilir.

a-Sismik Şiddet

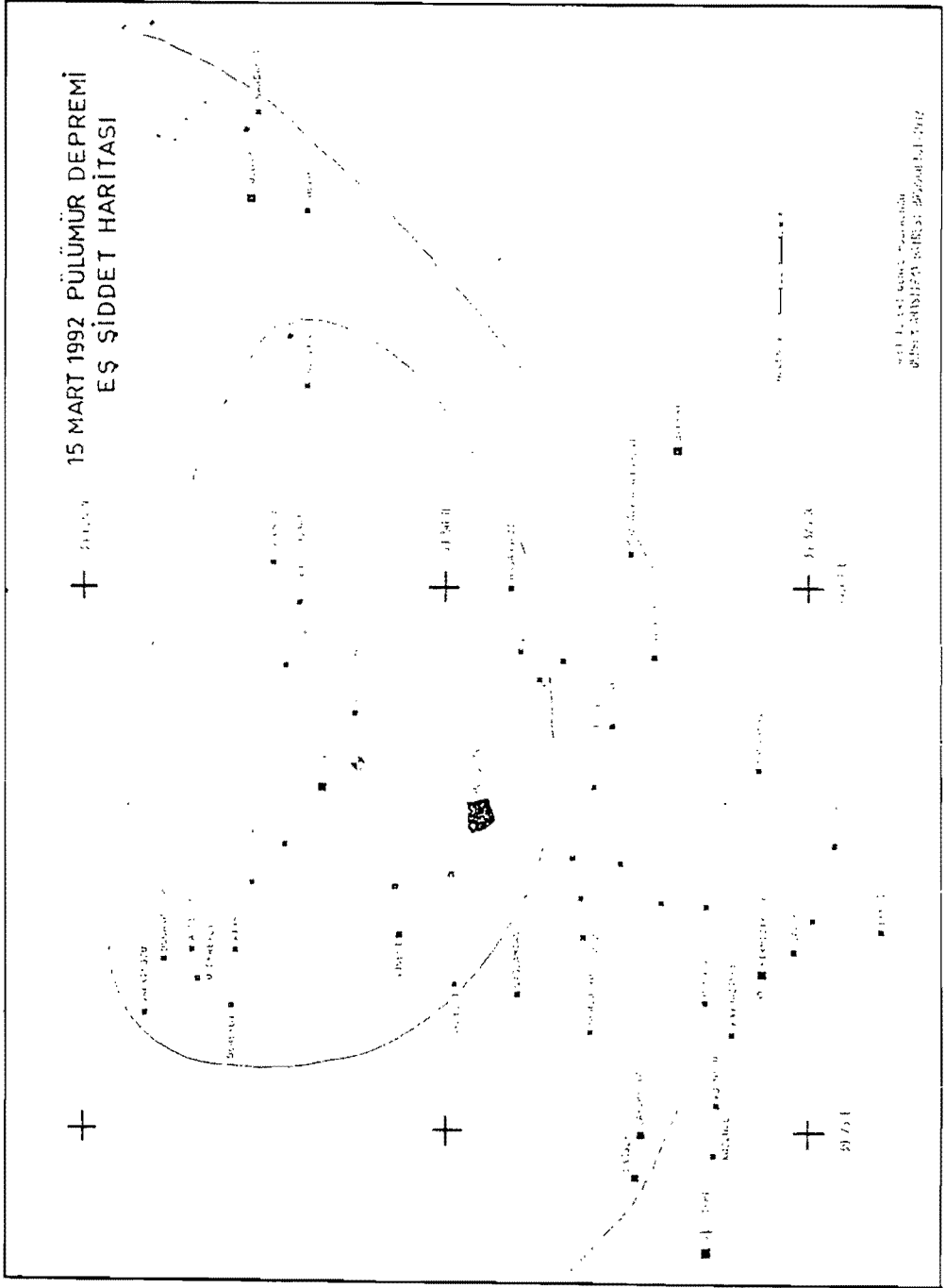
Şekil 12 MSK skalasına göre düzenlenmiş 13 Mart 1992 depreminin Eşşiddet Dağılım Haritasını göstermektedir. Depremin eşşiddet haritası, depremin yapılar ve arazi üzerlerindeki etkilerinden faydalanarak elde edilmiştir.

13 Mart depreminin maksimum şiddeti, MSK skalasına göre I=VIII olarak belirlenmiştir. 1344 yapının ağır, 2881 yapının orta ve 3832 yapının hafif derecede hasar görmesi ile özellikle zeminde kırılmalar, heyelanlar, kum volkanları ve sivilaşma gibi olayların oluşması, deprem şiddetinin maksimum VIII olmasını gerektirir. Bununla birlikte, Erzincan havzasının bazı yerlerinde depremin neden olduğu hasar, bu şiddet değerinden yüksek gibi görünmektedir. Yapılardaki hasar durumları, su içeriği, permeabilite, konsolidasyon derecesi gibi yüzey malzemesinin fiziksel özelliklerine bağlı olarak değişir.

Nitekim, pull-apart havzalar, havza büyüklüğüne göre büyük stratigrafik kalınlıklar, yüksek sedimantasyon oranı, sediment kalınlığında ve fasiyes paternlerindeki asimetrik durumlar, kenar-ıy kontrollü yelpaze konglomeraları, merkezi sellenme havzası, göl tortulları gibi fasiyeslerin düzenlenmesi ve tektonik aktiviteyi yansıtan dokusal evreler gibi kendine özgü karakteristiklere sahiptirler (Hempton, Dunne and Dewey 1983). Pull-apart havzanın farklı yerlerinde gelişen bu tür özellikler, depremin şiddetini bunların üzerlerinde bulunan yapılara farklı değerlerde yansıtmakta ve hasar durumunun bazı yerlerde maksimum VIII şiddetinden daha büyük olmasına neden olmaktadır. Özellikle, havza içerisinde konsolide olmamış zeminlerde ve dolgu zeminlerde sismik sarsmanın büyütülmesi, önemli derecede hasarların gelişmesine katkıda bulunmuştur.



Şekil 12. 13 Mart 1992 Erzincan depremi eşşiddet haritası.



M. H. ERGİN, M. H. ERGİN, M. H. ERGİN
M. H. ERGİN, M. H. ERGİN, M. H. ERGİN

Şekil 13. 15 Mart 1992 Pulumür depremi eşşiddet haritası.

13 Mart 1992 depreminin tetiklediği ve Erzincan havzasının güneydoğusunda oluşan 15 Mart 1992 Pülümür depreminin maksimum şiddeti, yapılar üzerindeki etkileri, magnitüdü ve etki alanının büyüklüğü göz önüne alınarak MSK skalasına göre VII olarak belirlenmiştir (Şekil 13).

b-Yer İvmesi (Kuvvetli Yer Hareketi)

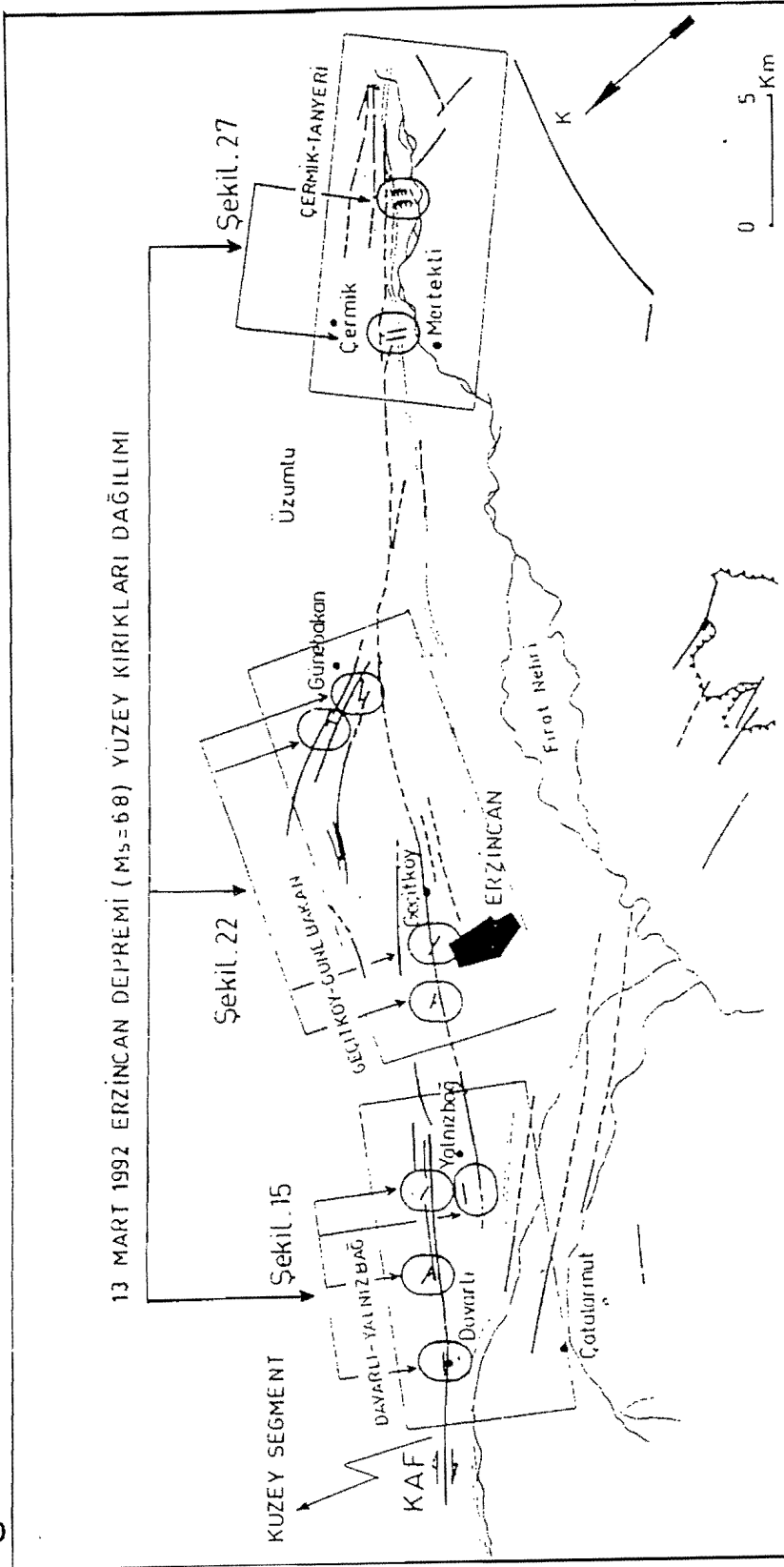
13 Mart 1992 Erzincan depreminin kuvvetli yer hareketi, Deprem Araştırma Dairesinin Ülke Çapındaki Kuvvetli Yer Hareketi İvme-ölçer Şebekesi içerisinde yer alan Erzincan, Refahiye ve Tercan'daki kuvvetli yer hareketi ivme-ölçerleri ile kaydedilmiştir. 13 Mart depreminin episantrı, Erzincan'daki ivme-ölçer aletinden 10-15 km, Tercan'dakinden 80 km ve Refahiye'dekinden 70 km uzaklıklarada yer almıştır.

Erzincan ivme-ölçer aletinden alınan kuvvetli yer hareketi kaydı, depremin merkezine çok yakın bir yerden alınması ve ülkemizde kaydedilen en büyük yer hareketi kaydı olması açısından büyük önem taşımaktadır.

Erzincan kaydından hesaplanmış en büyük ivme, hız ve ötelenme değerleri aşağıda verilmiştir:

	Bileşenler		
	Doğu-Batı	Kuzey-Güney	Düşey
İvme (cm/sn) ²	505.3	382.3	240.4
Hız (cm/sn)	74.3	101.9	25.9
Ötelenme (cm)	17.5	36.4	16.5

Yukarıda görüldüğü gibi, çok yüksek ivme, hız ve ötelenme değerleri, Kuzey Anadolu fayının güney tarafında deprem episantrının 10-15 km lik bir bölgesi içerisinde kaydedilmiştir. Dolayısıyla, sismik sarsma yerel olarak büyütülmüştür. Bu büyültmeler, özellikle Erzincan şehir merkezinin bulunduğu, konsolide olmamış ince taneli malzemelerin depolandığı havzanın orta kısımlarında olmuştur.



Şekil 14. 13 Mart 1992 depreminin yüzey kırıklarının gözlemlendiği yerler.

Yüzey kırıklarının gözlemlendiği yerler fay boyunca 3 ayrı bölgede incelenmiştir. Elipsler içerisindeki kısa kırıklar, 13.03.1992 depreminin yüzey kırıklarını göstermektedir.

YÜZEY KIRIKLARI

Şekil 14, 13 Mart 1992 depreminde oluşan yüzey kırıklarının gözlenildiği yerleri, kırıkların uzunluklarını, yatay ve düşey atımları ile bunların Kuzey Anadolu fayı ile ilişkilerini göstermektedir.

Deprem odak derinliğinin çok fazla olması (29 km) ve pull-apart havzada birikmiş oldukça kalın gevşek bir sedimantasyonun bulunması nedeniyle yüzeyde belirgin faylanma meydana gelmemiştir.

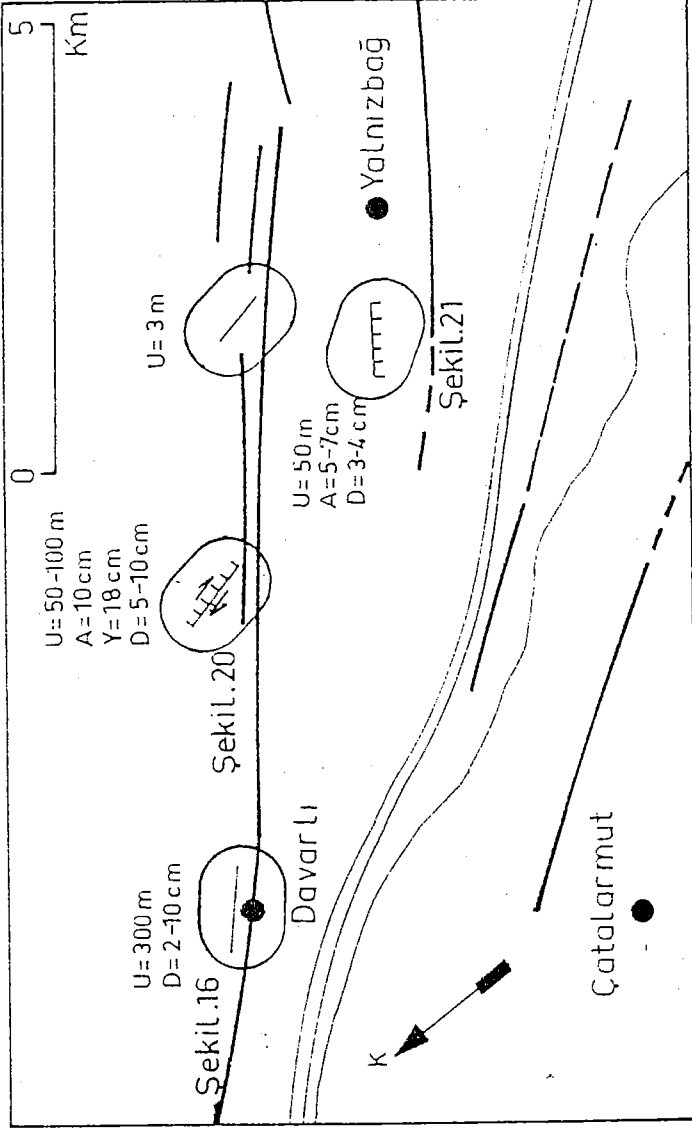
Deprem kırıkları, genellikle süreksiz, maksimum birkaç yüz metre uzunluklarda ve sismik sarsma sonucu meydana gelmiş ikincil oturma kırıkları şeklinde gelişmişlerdir. Deprem kırıkları, havzanın kuzeybatısında, Davarlı-Günebakan köyleri arasında küçük bindirme bileşenli doğrultu atımlı bir kırık paternleri gösterirlerken havzanın güneydoğusuna doğru karakter değiştirerek normal bileşenli tansiyonel kırıklara geçmektedirler. Bu patern, pull-apart bir havzanın değişik yerlerinde etkili olan farklı stres ve yönleri ile doğrudan ilişkilidir.

Erzincan havzasının güneyinden geçen fay segmenti üzerinde her hangi bir yüzey kırığı gelişmemiştir. Ancak, 15 Mart 1992 de oluşan Pülümür depreminin ($M_s=6.1$) etkisi ile bu segment üzerinde bulunan Girlevik şelalesini oluşturan travertenler üzerinde herhangi bir atım göstermeyen yaklaşık 200 m uzunluğunda kırılmalı bir kırık meydana gelmiştir.

13 Mart depreminin yüzey kırıkları, havzanın kuzeybatısından başlanarak güneydoğusuna doğru ayrıntılı bir şekilde bahsedilecektir:

A-Davarlı-Yalnızbağ arasındaki kırıklar (Şekil 15)

1-Deprem, Davarlı ile Yalnızbağ köylerinde oldukça etkili olmuş, birçok can kaybına ve büyük hasarlara neden olmuştur. Davarlı köyünün hemen kuzeydoğusundan güneybatısına, bir fay vadisi içerisine doğru uzanan 320 derece yönelimli, yaklaşık 300 m uzunlukta kar örtüsünü de kesen ve ana fayın doğrultusuna hemen hemen paralel olan kademeli kırıklar gözlenilmiştir (Şekil 16). Kırık üzerinde 2cm ile 10 cm arasında değişen ve küçük bindirme bileşenleri gösteren düşey atımlar ölçülmüştür. Ancak, herhangi bir yatay atım gelişmemiştir. Kırık, Pliyo-Kuvaterner yaşlı gevşek tutturulmuş akarsu toptanları içerisinde pozitif bir çiçek yapısı meydana getirmiş birkaç tane birbirine paralel paleosismik izler taşıyan fay vadisi içerisinde küçük ölçekte heyelanlar oluşturarak kaybolmaktadır (Şekil 17).



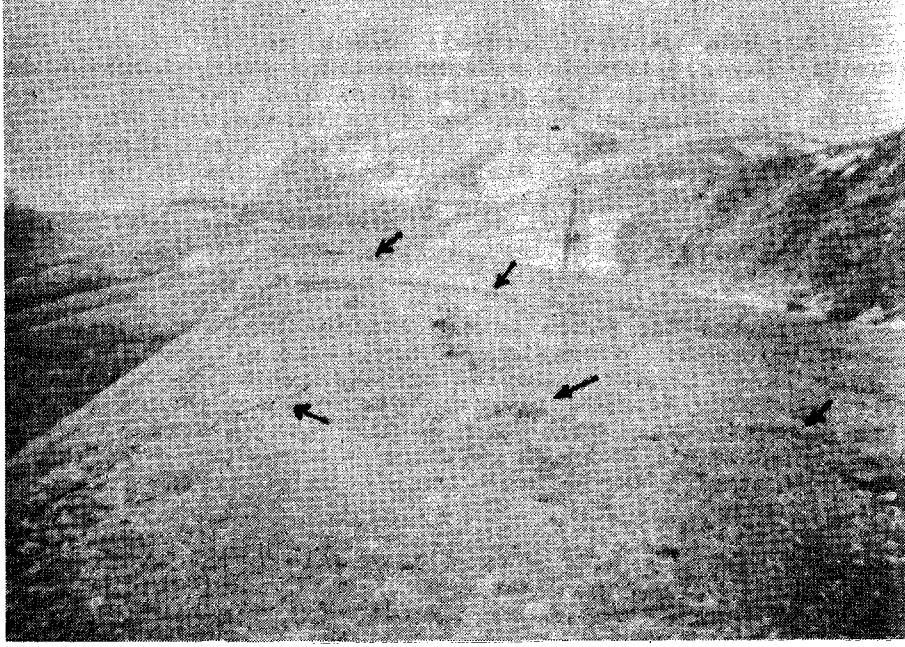
Şekil 15. Davarlı-Yalınzbağ köyleri arasında meydana gelmiş yüzey kırıkları.
U: yüzey kırığın uzunluğu, A: kırığın genişliği, Y: yatay atım miktarı
D: düşey atım miktarı.



Sekil 16. Davarlı köyü civarında gelişmiş yüzey kırığı
(Batıya doğru bakış)



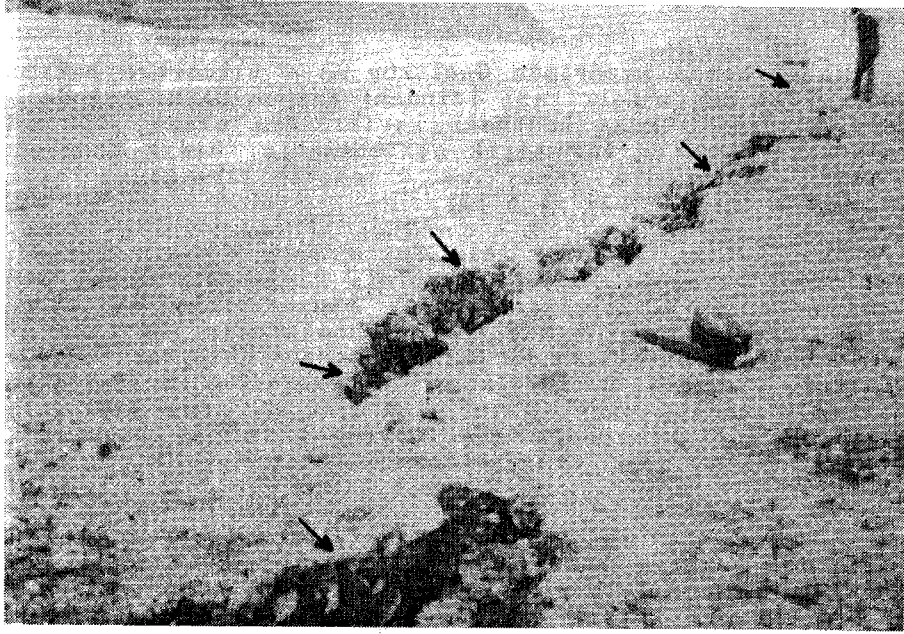
Sekil 17. Davarlı köyünün neman doğusunda bir fay vadisi
içerisinde paleosismik izler (GD'ya bakış).



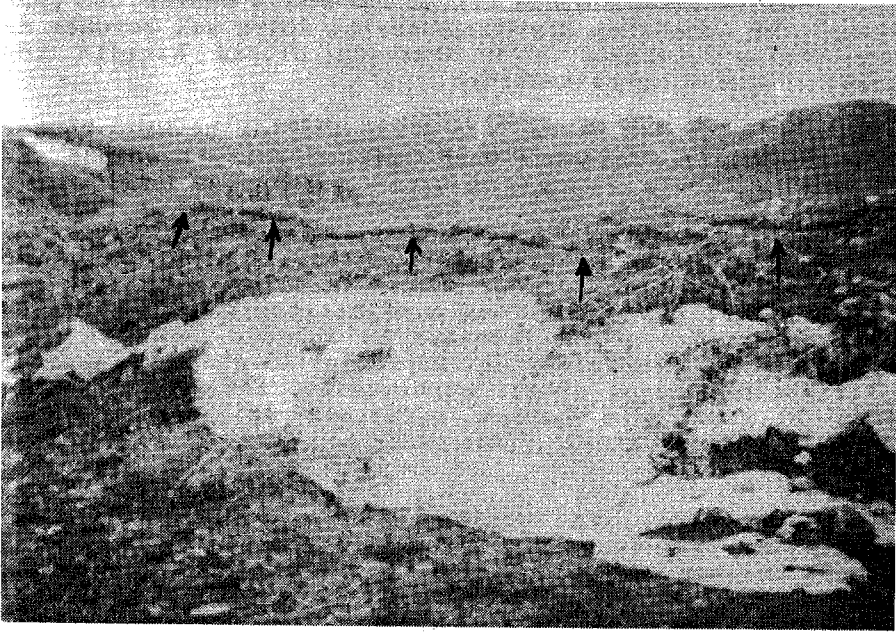
Sekil 18. Davarlı köyüne giden yolun üzerinde, heyelan topografyasının hakim olduğu bir tepenin yamacında gelişmiş ikincil kırıklar. (KB'ya bakıs)



Sekil 19. Erzincan havzasına batı yönünden giresteki Sivas-Erzincan Karayolu'nun üzerinde gelişmiş oturma kırıkları. (D'ya bakıs)



Sekil 20. Erzincan-Gümüşhane yol kavsağının 9 300 metre ilerisinde, asfalt yolun kenarında oluşmuş kırıklar. (KD'ya bakıs)



Sekil 21. Yalnızbağ köyünün 100 metre batısında yamac yenilmesi şeklinde gelişmiş bir kırık. (K'ye bakıs)

2-Davarlı köyünün yaklaşık 2 km güneybatısında, köye giden yolun üzerinde Kuzey Anadolu fayı ilişkisi olmayan diğer bir kırık gözlenmiştir (Şekil 18). Kırık, yamaç boyunca 25 derece yönelimli olarak devam ettikten sonra yolu D-B doğrultusunda kesmektedir. Kırığın KB bloğu, GD bloğuna göre aşağıya doğru kaymıştır. Toplam 100 metre uzunluktaki bu kırık, civarda hakim olan heyelan topografyasının sismik sarsıntı sonucu hareket ettirilmesiyle oluşturulmuştur. Ayrıca, bu civarda Pliyo-Kuvaterner yaşlı gevşek tutturulmuş akarsu kongiomeraları, sarsıntı ile yamaçlardan kopartılarak büyük bloklar halinde aşağıya doğru yuvarlanmışlardır.

3-Bu kırığın güneybatısında, Erzincan-Sivas Karayolu üzerinde Erzincan'dan 15 kilometre batıda, KAF'ın üzerinde olmayan, dolgu zemin üzerinde yol ekseni boyunca sarsılma sonucu oturma kırıkları oluşmuştur (Şekil 19).

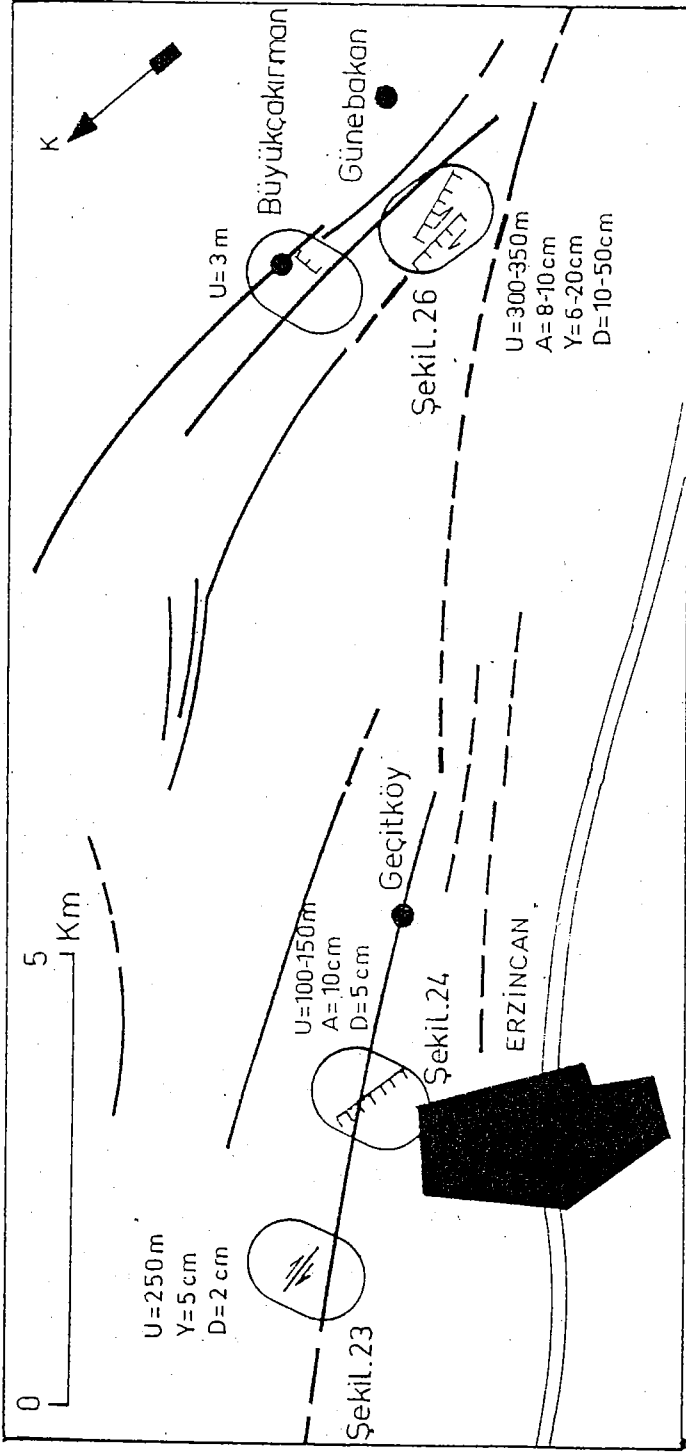
4- Davarlı köyünün 3.5 km doğusunda, Erzincan-Gümüşhane yol kavşağının 9300 metresinde KAF üzerinde kırık tekrar görünmektedir. Kırık, ofiyolitik kayalardan oluşan bir tepenin eteği boyunca yol üzerinde yaklaşık 50-100 m uzanmaktadır. Kırık, 335 derece yönelimli ve 18 cm lik bir sağ yanal atım göstermektedir. Kırığın GD tarafı, KB tarafına göre aşağıya doğru kaymıştır. Kırık 10 cm lik bir açılma meydana getirmiştir. Kırık, güneydoğuya doğru 50-100 m izledikten sonra kaybolmaktadır (Şekil 20).

5- Gümüşhane yolu üzerinde görülen kırığın 3.5 km güneydoğu uzanımında, Dereköy'ün hemen güneybatısında 340 derece yönelimli, yolu kesen çok kısa bir kırık gözlenmiştir. Ancak kırık üzerinde herhangi bir atım gelişmemiştir.

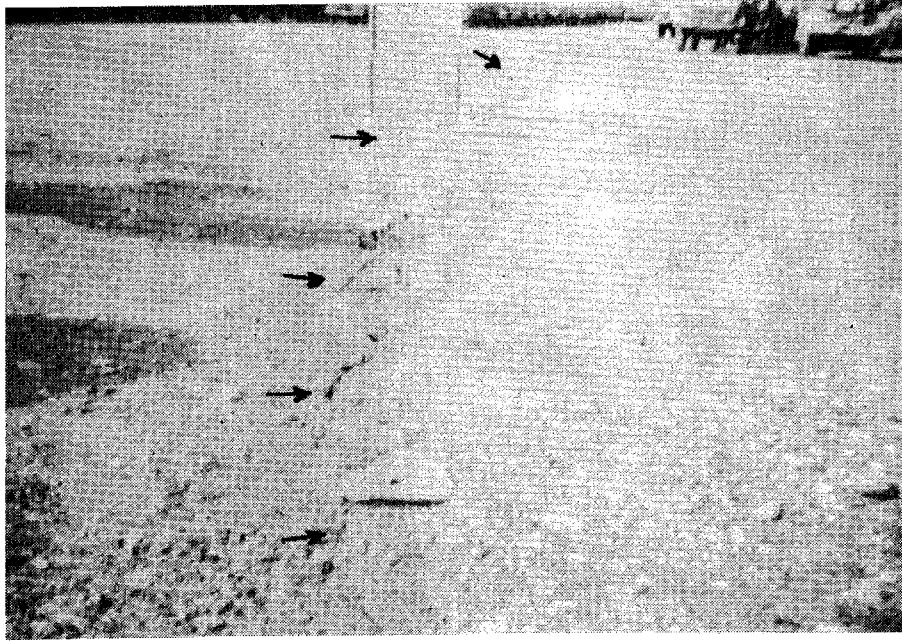
6- Yalınzbağ köyünün 100 m batısında alüvyonal bir zemin üzerinde 305 derece yönelimli, 50 m uzunluğunda bir yamaç yenilmesi olmuştur. Kırık üzerinde 5-7 cm genişlikte açılmalar ile 3-4 cm lik düşey atımlar gelişmiştir. Bu kırık, sismik sarsma sonucu gelişmiş ikincil bir kırığı göstermektedir (Şekil 21).

B- Geçitköy-Günebakan köyleri arasındaki kırıklar (Şekil 22)

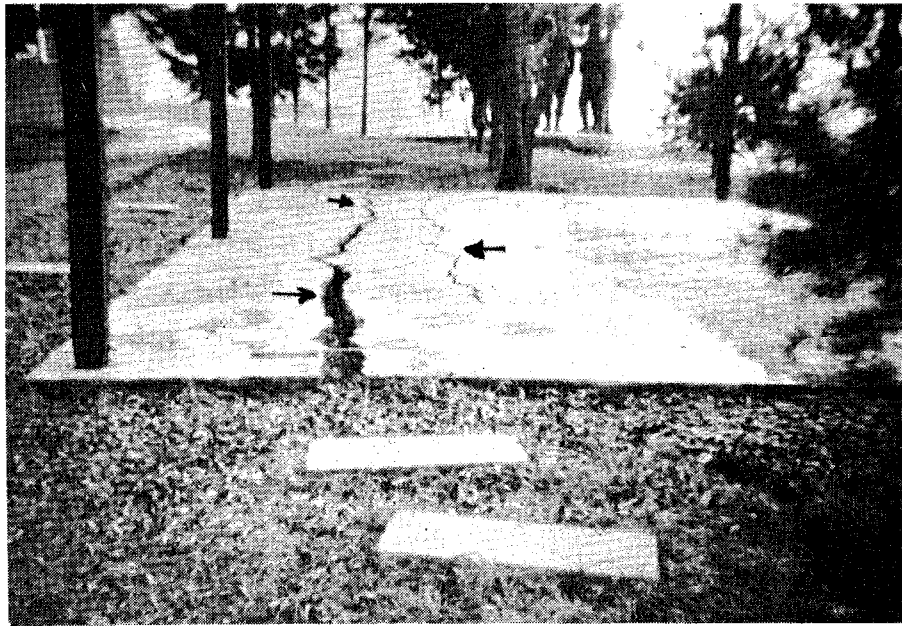
1- Erzincan'ın hemen kuzeyinde, Geçitköy'ün 4 km kuzeybatısında, 1 300. Ağır Bakım Fabrikasının kamyon parkı içerisinde Kuzey Anadolu fayının doğrultusuna paralel 330 derece yönelimli kısa kademeii kırıklar meydana gelmiştir. Kırığın uzunluğu yaklaşık 250 m civarındadır. Kırık üzerinde 5 cm lik sağ yanal ve küçük bindirme bileşeni olan 2 cm lik düşey atımlar oluşmuştur (Şekil 23).



Şekil 22. Geçitköy-Günebakan köyleri arasında meydana gelmiş yüzey kırıkları.



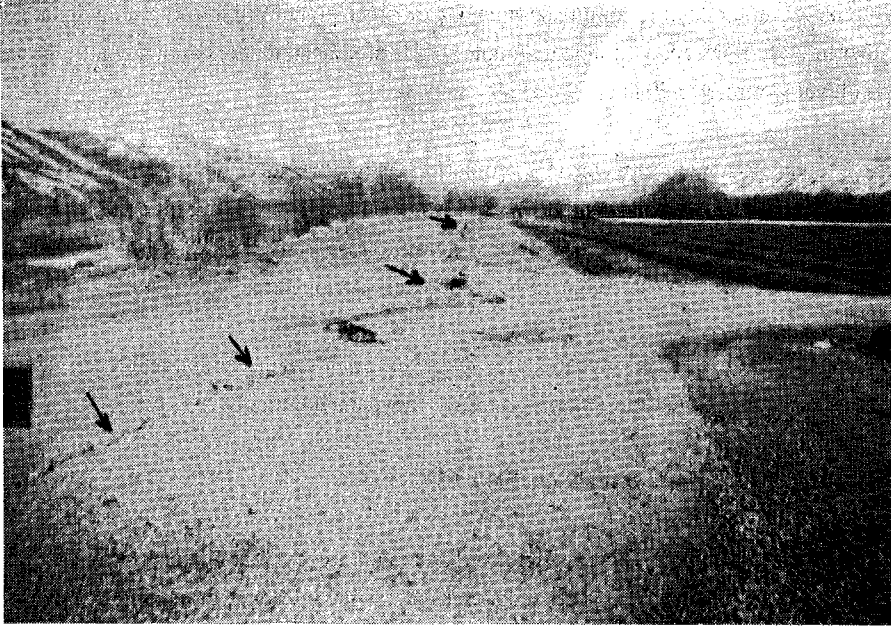
kil 23. 1 300. Ağır Bakım Kamyon parkı içerisinde oluşmuş küçük bindirme bileşenli sağ yönlü doğrultu atımlı bir kırık. (K'ye bakıs)



Sekil 24. Kırklar tepenin güney yamaçlarında betonarme bir yüzeyi kıran bir yüzey kırığı.(GD'ya bakıs)



Sekil 25. Eksisu Maden Suyu İşletmesi yakınında bir havuz kenarında sıkışma sonucu gelişmiş küçük bir basınç sirtı seklinde yükselimler. (KB'ya bakış)



Sekil 26. Eksisu-Günebakan köyü arasında asfalt yol üzerinde oluşmuş kademeli yüzey kırıkları. (D'ya bakış)

2- Kırık, 1300. Ağır Bakım Fabrikasının 500 m güneydoğusunda bir basınç sırtı olan Kırklar tepenin güney yamacı boyunca tekrar görünmektedir. 312 derece yönelimli kırık, 100-150 m tepenin zirvesi boyunca devam ederek tepenin aşağısında kaybolmaktadır. Kırık üzerinde 10 cm genişliğinde açılmalar ve 5 cm lik güneybatıya doğru düşey atımlar gelişmiştir. Aynı şekilde bu kırık da sismik sarsma sonucu bir tepenin yamacının yenilmesi sonucu gelişmiş ikincil bir kırıkur (Şekil 24).

3- Kırık, Kırklar tepenin güneydoğusundan Ekşisu Maden Suyu İşletmesinin bulunduğu bölgeye kadar görünmez. Ekşisu ile Günebakan köyü arasında birbirine paralel kısa kademeli kırıklar halinde toplam 300-350 m uzunlukta kırıklar tekrar görünmeye başlar.

Ekşisu Maden Suyu İşletmesi'nin bahçesi içerisinde bir havuzun kenarında küçük bir basınç sırtı şeklinde küçük yükselimler meydana gelmiştir (Şekil 25). Ayrıca bu havuzu çevreleyen ve fayın doğrultusuna dik olan duvarında sağ yönde ötelenmeler meydana gelmiştir.

Ekşisu-Günebakan köyü arasında 280-345 derece arasında değişen yönelimlere sahip birbirine paralel kısa kademeli kırıklar üzerinde 5-20 cm arasında sağ yönlü ve 15 ile 50 cm arasında düşey atımlar ölçülmüştür (Şekil 26).

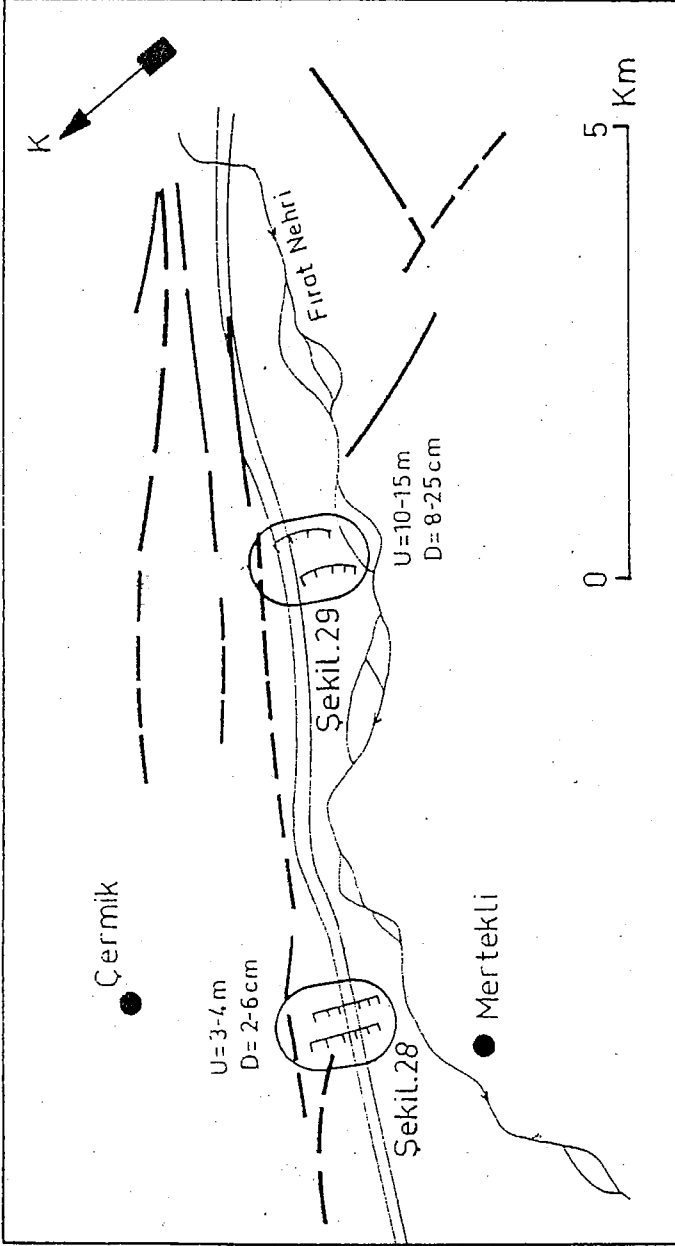
Ekşisu'nun ilk girişinde dolgu zemin üzerinde 347 derece yönelimli kırıklar meydana gelmiştir. Kırıklar üzerinde 8-10 cm genişliğinde açılmalar, 6-21 cm arasında değişen düşey atımlar ve 20 cm lik sağ yönlü yatay atımlar gelişmiştir.

Bu kırığın hemen doğusunda 16 cm GB blokları, KD bloklarına doğru aşağı kayan düşey atım gösteren kısa uzunlukta kırıklar oluşmuştur. Bu kırığın hemen 100 m ilerisinde Günebakan köyüne doğru giden asfalt yolun üzerinde 280 derece yönelimli, 45-50 cm arasında düşey atımlar ve 25-30 cm arasında değişen açılmalar gösteren 150-200 m uzunlukta bir kırık oluşmuştur.

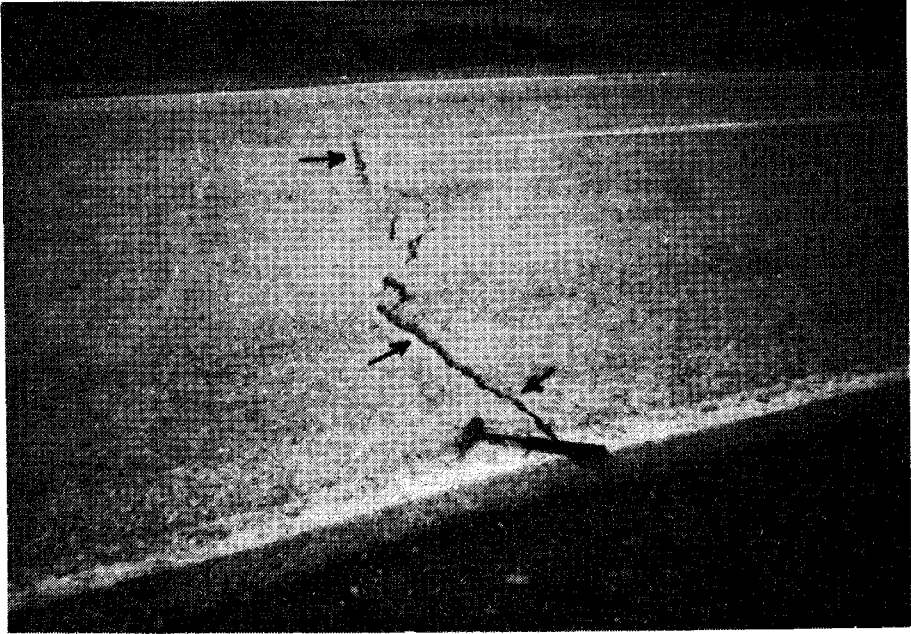
4- Günebakan köyünün 1 km kuzeybatısında Büyükçakırman köyüne giden asfalt yol üzerinde 3-5 m uzunlukta 260 derece yönelimli çok kısa bir kırık meydana gelmiştir.

C- Çermik-Tanyeri arasındaki kırıklar (Şekil 27)

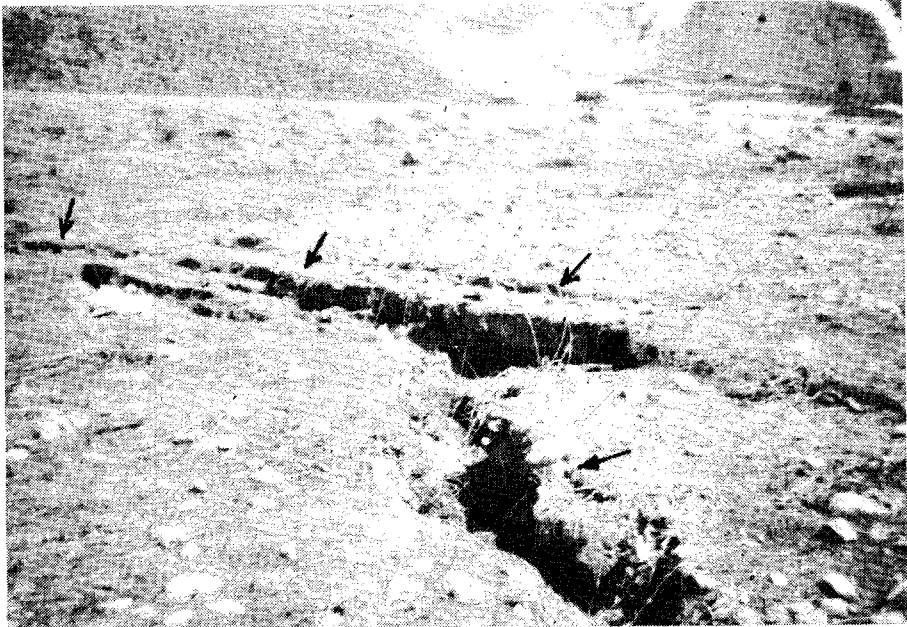
Havzanın güneydoğusundaki deprem kırıkları, havzanın kuzeybatısındaki kırıklardan farklı bir karakter gösterirler. Havzanın kuzeybatısında küçük bindirme bileşenli, güneydoğusunda ise normal bileşenli doğrultu atımlı paternler gösteren kırıklar oluşmuştur. Bu kırıklar, genellikle Kuzey



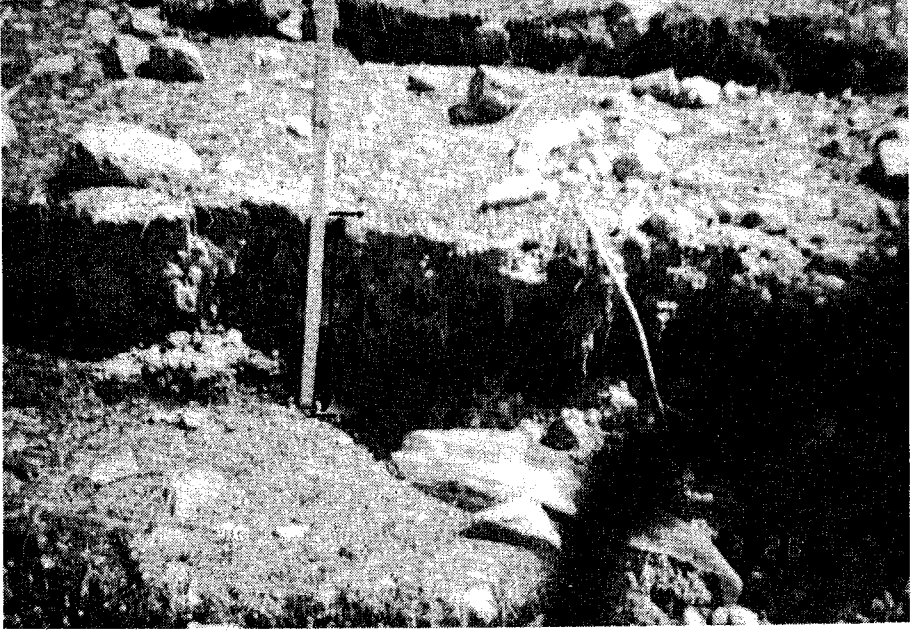
Şekil 27. Çermik-Tanyeri arasında meydana gelmiş yüzey kırıkları.



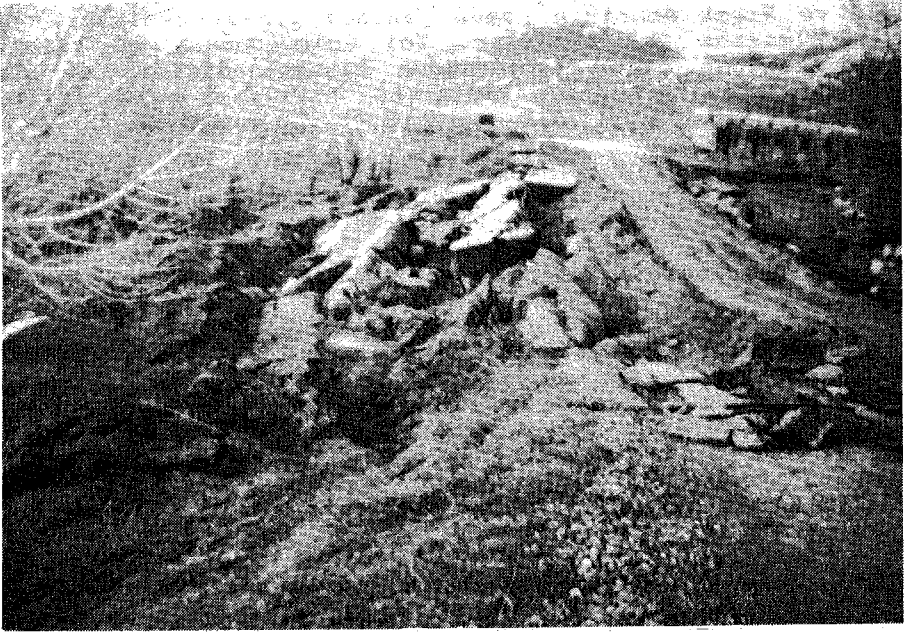
Sekil 28. Cermik yolu ayrımının 50 metre doğusunda Erzincan-Erzurum Karayolu üzerinde asfalt yolu kesen bir kırık. (KD'ya bakış)



Sekil 29 a. Erzincan-Uzümlü yolu ayrımının 9 km doğusunda normal bileşenli kırıklar. (D'ya bakış)



Sekil 29 b. Aynı kırık üzerinde gelişmiş 25 cm lik düsey atım



Sekil 30. Mertekli-Sıhlar köyüne giden yol üzerinde sivilasma nedeni ile oluşmuş çökmeler:(KB'ya bakıs)

Anadolu fayının havzanın kuzey ve güneyinden geçen segmentlerinin sağa basamak yapması sonucu hakim olan genişleme rejimi ile meydana gelen tansiyonel kırıklardır.

1- Kırıklar, Günebakan köyünün güneydoğusunda kaybolurlar. Havzanın doğusuna doğru Çermik yol ayrımına yakın bir yerde tekrar görünürler. Burada asfalt yolu kesen 25-50 derece yönelimli kuzeybatı tarafları aşağıya düşmüş tansiyonel karakterde kademeli kırıklar meydana gelmiştir (Şekil 28).

2-Erzincan-Üzümlü yol kavşağının 9 km ilerisinde tren yolu ile Erzincan-Erzurum Karayolu arasındaki bir düzlükte yarım ay şeklinde normal bileşenli kırıklar oluşmuştur. Bu yarım ay kırıkların güney kısımlarında 20 derece, orta kısımlara doğru 310 ve kuzey kısımlarında 350 derece yönelimler göstermektedir. Kırıklar üzerinde 8 cm ile 25 cm arasında değişen düşey atımlar gözlenmiştir. KB blok, GD bloğa göre aşağı doğru kaymıştır (Şekil 29 a ve b).

Bu kırığın hemen yakın güneyinden geçen tren yolunun 300 metrelik bölümünde bükümler meydana gelmiştir.

3- En doğuda gözlenen kırıklar, Sakızlık tepenin güney etekleri boyunca Tanyeri'ne kadar uzanan Erzincan-Erzurum Karayolu'nun üzerinde yolu kesen faklı uzunluklarda kırıklar oluşmuştur. Burdan sonra doğruya doğru herhangi bir yüzey kırığı gözlenmemiştir.

C- Çağlayan-Girlevik şelalesi arasındaki kırıklar

13 Mart 1992 depremi. Kuzey Anadolu fayının Erzincan havzasının güneyinden geçen segmenti üzerinde herhangi bir kırık meydana getirmemiştir. Bu deprem tamamen havzanın kuzeyinde uzanan KAF'nın 45 km lik bir bölümünü kırmıştır.

15 Mart 1992 Pülümür depremi ($M_s=6.1$), Kuzey Anadolu fayının havzanın güneyinden geçen segmenti üzerinde yer alan Girlevik şelalesi oluşturan travertenlerin üzerinde 310 derece yönelimli, hiç bir düşey ve yanal atım göstermeyen 250-300 metre uzunlukta kılcal bir kırık meydana getirmiştir.

SIVILAŞMA, KUM VOLKANLARI VE HEYELANLAR

Sismik sarsma, yol yamaçlarında, dolgu zeminlerde, suya doymuş zeminlerde ve stabil olmayan dik yamaçlarda birçok heyelanlara neden olmuştur. Bu olaylar, havzanın kuzeyinden ve güneyinden geçen Kuzey Anadolu fayı, havzanın KB'sında uzanan Kuzeydoğu Anadolu fayı boyunca oluşmuşlardır.

Davarlı-Yalnızbağ arasındaki kırıklar bölümünde anlatılan 2 numaralı kırık, tipik bir heyelanı temsil etmektedir. Erzincan-Erzurum Karayolu boyunca gözlenen kırıklar, sismik sarsma sonucu dolgu zemini meydana getiren tanelerin yeniden yerleşmesi sonucu gelişmiş oturma kırıkları şeklindedirler.

13 Mart 1992 depreminde heyelanlar, özellikle çok genç bir fay olan sol yönlü doğrultu atımlı Kuzeydoğu Anadolu fayı boyunca gözlenmiştir. Sismik sarsma sonucu bu fay üzerinde bulunan daha önce mevcut olan heyelanlar harekete geçirilmişlerdir.

15 Mart 1992 Pülümür depremi ise, Pülümür civarında hakim heyelan topağrafyasına sahip alanlardaki heyelanları etkileyerek Erzincan-Tunceli arasındaki yolun bazı kısımlarını engellemiştir.

Deprem esnasında veya hemen sonra yüzeyin altında bulunan konsolide olmamış suya doymuş kumlu bir malzemenin aşırı basınç altında kalması sonucu akışkan bir hale geçerek yüzeye çıkması şeklinde açıklanabilen sıvılaşma ve kum volkanları, yerel olarak önemli hasarlara neden olmaktadır.

Sıvılaşmadan ileri gelen hasarlar, zeminde büyük yatay ve düşey atımlar olduğu zaman meydana gelmektedir. Sıvılaşma durumundaki kumlar, sıkışmaya, yanall yönde yayılmaya veya yamaç aşağı hareketlere karşı hiç dayanımları olmadıkları için bu tür büyük ötelenmeler oluşmaktadır. Sıvılaşmış sedimentler üzerindeki zemin, eğimlenen ve komşu blokları öteleyen küçük bloklara ayrılırlar ve üzerinde bulunan yapılarda önemli hasarlar meydana getirirler.

13 Mart 1992 depreminde yatay ve düşey atımlar çok küçük olduğu için birkaç yer dışında sıvılaşma olayları gelişmemiştir.

Ekşisu Maden Suyu İşletmesinin üzerinde bulunduğu dolgu zemin üzerinde yer alan kırıklardan 2 cm kalınlığında ince kum-silt boyutunda malzeme çıkışları oluşmuştur.

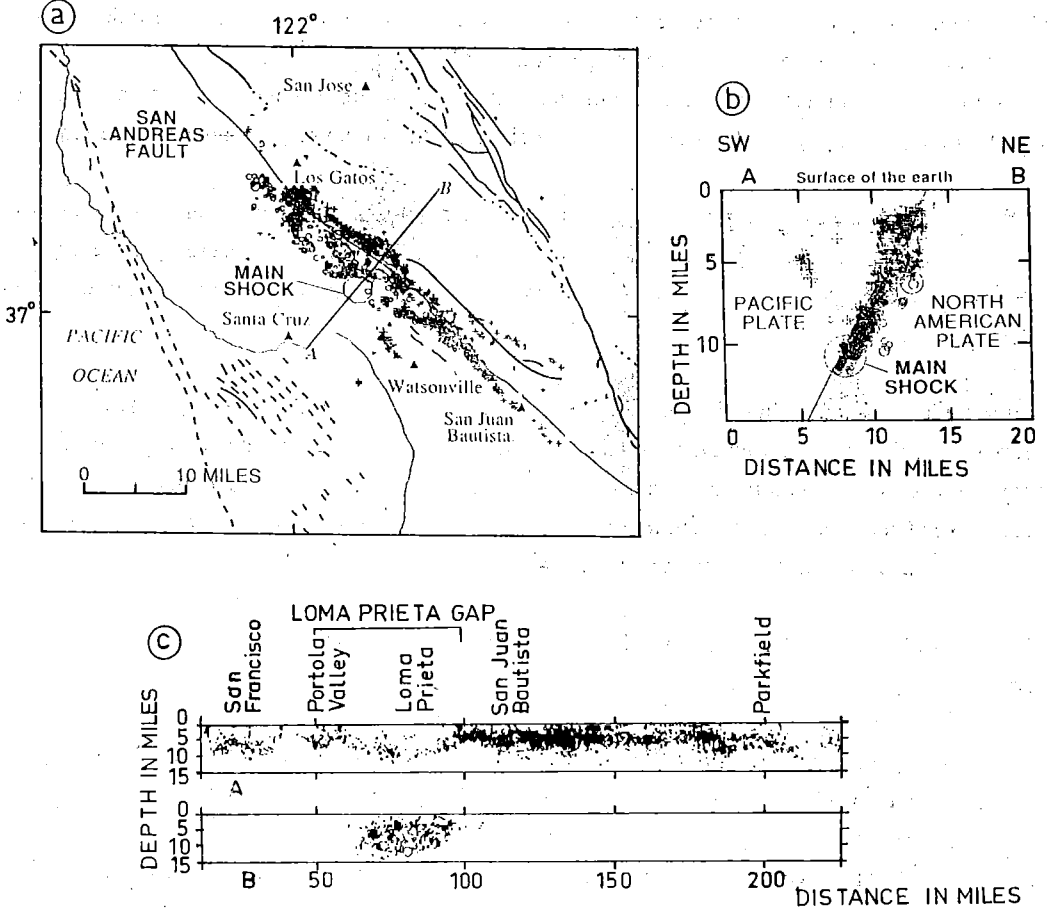
Havzanın güneydoğu kısımlarında, Fırat nehrinin kenarlarında küçük ölçekte sıvılaşmalar ve küçük kum volkanları gelişmiştir.

Erzincan havzasının güneydoğusunda, Mertekli-Eski Şıhlar köyüne giden ve Fırat nehri üzerinde bulunan bir betonarme köprüünün hemen 10 metre ilerisinde sıvılaşma sonucu yol üzerinde büyük çökmeler meydana gelmiştir (Şekil 30). Burada yeraltı su seviyesinin yüzeye yakın olması ve Fırat nehrinin hemen yakından geçmesi sonucu zemin suya doymuş hale gelmiş ve sismik sarsma sonucu bu tür deformasyonlar gelişmiştir.

Bu sıvılaşma yapılarının hemen ilerisinde yol boyunca sıvılaşma nedeniyle birkaç tane kum volkanları meydana gelmiştir.

17 EKİM 1989 LOMA PRIETA DEPREMİ İLE KARŞILAŞTIRMA

13 Mart 1992 Erzincan depremi, San Andreas fayının merkezi kısımlarına yakın bir yerde, Watsonville ile Los-Gatos arasındaki segmenti kıran 17 Ekim 1989 Loma Prieta depremine birçok yönden benzerlik göstermektedir (Şekil 31 a,b ve c). Bu benzerlikler, aşağıda Tablo-2 de verilmiştir:



Şekil 31 a: 17 Ekim 1989 Loma Prieta depreminin ana şoku ile artçı sarsıntılarının episantrlarının San Andreas fayı boyunca dağılımları. Sembollerin büyüklükleri artçı sarsıntuların magnitüdü ile orantılıdır.
b: Ana şok ve artçı sarsıntuların derinlik dağılımları.
c: A, 17.10.1989 ana şokundan 20 yıl önce San Francisco-Parkfield arasında oluşmuş depremlerin yer-derinlik dağılımları.
B, Loma Prieta sismik boşluğunu dolduran 17.10.1989 ana şoku ve artçı sarsıntılarının derinlik yer-derinlik dağılımları.

Tablo 2

ÖZELLİKLER	13 MART 1992 ERZİNCAN DEPREMİ	17 EKİM 1989 LOMA PRIETA DEPREMİ
Magnitüd (Ms)	6.8	7.1
Maksimum Sismik şiddet (MSK)	VIII	VIII
Yüzey Kırığının Uzunluğu (Km)	45	42
Sismik Sarsmanın Süresi (Sn)	15	15
Odak Derinliği (Km)	29	18
Yüksek İvme Değeri (cm/sn) ²	0.25-0.5 g	0.47-0.55 g
Max. Yatay Atım (cm)	20	180
Max. Düşey Atım (cm)	50	120
Yüzey Kırığının Oluştığı Yer	26.12.1939 dep.en doğu kısmı	1906 dep.en güney kısmı
Sismik Boşluk	1939-1966 dep.kırıkları arasında	1857-1906 dep.kırıkları arasında
Yüzeydeki faylanma Durumu	yüzeyde belirgin bir faylanma gelişmemiştir	Yüzeyde belirgin bir faylanma gelişmemiştir
Artçı sarsıntıların ort. derinlikleri (Km)	5-10	5-7
Deprem kırığının eriştiği derinlik (Km)	Yüzeyin altında 5-10	Yüzeyin altında 5-7
Sismik sarsma	Yerel olarak büyütülmüş	Yerel olarak büyütülmüş
Heyelan,sıvılaşıma kum volkanları	mevcut	mevcut
Deprem habercisi	Kısa süreli sismik veya deformasyon habercisi yok	Kısa süreli sismik veya deformasyon habercisi yok
Afet durumu	Türkiye'nin en pahalı doğal afeti	Amerika'nın en pahalı doğal afeti
Ölü sayısı	653	62
Yaralı sayısı	3850	3757

Tablo-1 de görüldüğü gibi 13 Mart 1992'Erzincan depreminin oluştuğu Kuzey Anadolu fayının bu bölümü, 17 Ekim 1989 depreminin oluştuğu San Andreas fayının Loma Prieta segmentine:

- deprem kırıklarının 1939-1966 ile 1857-1906 deprem kırıkları arasında yer alan sismik boşluğun hemen yakınında olması,
- Maksimum sismik şiddetlerin VIII olması,
- 0.5 g gibi kuvvetli yer hareketi,
- 15 saniye sismik sarsıntının sürmesi,
- yüzeyde belirgin bir faylanmanın olmayışı,
- sismik sarsmanın yerel olarak büyütülmesi,
- artçı sarsıntıların 5-10 km derinlikte yoğunlaşmaları ve
- deprem kırığının yüzeyin 5-10 km derinde kalması

açısından benzer davranışlar göstermektedir.

TARTIŞMA VE SONUÇLAR

13 Mart 1992 Erzincan depreminin ($M_s=6.8$) episantrı, Kuzey Anadolu fayının Erzincan havzasının kuzeyinden geçen segmentin, havzanın KB'sında sıkışma büklümü yaptığı bölgeye yakın bir yerde. Yalnızbağ-Günebakan köyleri arasında, 15 Mart 1992 Pülümür depreminin ($M_s=6.1$) episantrı ise havzanın güneyinden geçen KAF'nın güney segmenti ile sol yönlü doğrultu atımlı Ovacık fayı ile kesiştiği bölge yakınında, Çağlayan-Pülümür arasında yer almıştır.

Jeolojik ve sismolojik verilere göre, 13 Mart 1992 depremi, Kuzey Anadolu fayının Davarlı köyü ile Tanyeri arasında kalan 45 km lik bir segmentini kırmıştır. Kırık, havzanın altından 29 km derinliklerden başlayarak yüzeyin 5-10 km altına kadar uzanmıştır.

13 Mart 1992 depremi, 26 Aralık 1939 deprem ($M=7.9$) kırığının 45 km lik en doğu kısmını yeniden kırmıştır. Deprem kırığı, 26 Aralık 1939 ile 19 Ağustos 1966 depremleri arasında kırılmadan kalan sismik boşluğun hemen batı ucunda gelişmiştir.

15 Mart 1992 Pülümür depremi, KAF'nın havzanın güneyinden geçen segmenti üzerinde herhangi bir kırık meydana getirmemiştir.

13 Mart 1992 depreminde oluşan tek bir kırık üzerinde 5 cm-20 cm sağ yönlü yatay ve 10 cm-50 cm arasında değişen düşey atımlar gelişmiştir.

13 ve 15 Mart depremlerinin anaşoklarından sonra üç aylık bir süre içerisinde magnitudü 0.5 ile 4.0 arasında değişen 6 000 civarında artçı sarsıntı kaydedilmiştir. Bu artçı sarsıntılar, 13 ve 15 Mart depremlerinin episantrları civarında yoğunlaşmış olup, havzanın KB'sından GD'suna doğru kırık boyunca bir ilerleme göstermişlerdir.

13 Mart depreminin artçı sarsıntıları 10-20 km ve 15 Mart depreminin artçı sarsıntıları 5-10 km arasında değişen odak derinlikleri göstermektedirler.

13 Mart depremi, odak derinliğinin çok fazla olması ve havzada oldukça kalın konsolide olmamış bir sedimantasyonun olması nedeniyle yüzeyde belirgin bir faylanma meydana getirmemiştir. Kırklar, genellikle süreksiz, birkaç yüz metre uzunluklarda ve sismik sarsma ile meydana getirilmiş ikincil oturma kırıkları şeklinde gelişmişlerdir.

Havzanın kuzeybatısında küçük bindirme bileşenli, havzanın güneydoğusunda ise normal bileşenli doğrultu atımlı kırık paternleri oluşmuştur.

Yapılar üzerinde meydana getirdiği hasarlar, zemin üzerindeki kırıklar, sıvılaşma ve kum volkanları gibi olayların gözlenmesi açısından 13 Mart 1992 depreminin maksimum şiddeti, I=VIII ve 15 Mart 1992 depreminin maksimum şiddeti, I=VII olarak belirlenmiştir.

Sismik sarsma yerel olarak büyütülmüştür. Bu büyültmeler, özellikle konsolide olmamış zeminlerde ve dolgu zeminler üzerinde meydana gelmiş ve bu zeminler üzerindeki yapısal hasarlar, daha büyük olarak görünmüştür.

13 Mart 1992 depreminde elde edilen kuvvetli yer hareketi ivme değeri, şimdiye kadar ülkemizde kaydedilen en büyük yer hareketi olup, deprem merkezine 10-15 km uzaklıkta D-B yönünde 0.5 g, K-G yönünde 0.4 g ve düşey yönde 0.25 g kadar olmuştur. Kuvvetli yer hareketi 15 saniye kadar sürmüştür.

Sismik sarsma, yol yamaçlarında, dolgu zeminlerde ve stabil olmayan dik yamaçlarda birçok heyelanlara neden olmuştur. Havzanın güneydoğu kısımlarında, Fırat nehrinin kenarlarında küçük ölçekte sıvılaşma ve kum volkanları gelişmiştir.

13 Mart 1992 depremi, San Andreas fayı üzerinde oluşan 17 Ekim 1989 Loma Prieta depremine, yüzeyde oluşturduğu kırık uzunluğu, yüzeyde belirgin bir faylanma meydana gelmemesi, artçı sarsıntılarının derinlik dağılımları, kırığın 5-10 km yüzeyin altında kalması, sismik sarsmanın büyütülmesi, her iki depremde de 0.5 g kadar yüksek bir ivme değerinin bulunması ve herhangi bir kısa süreli deprem ve deformasyon habercilerinin görülmemesi gibi birçok yönden benzerlik göstermektedir.

KAYNAKLAR

- Ambraseys, N.N., Some characteristic features of the North Anatolian fault zone, *Tectonophysics*, No 9, pp 201-236, 1970.
- Ambraseys, N.N., Studies in historical seismicity and tectonics, *Geodynamics Today*, Chapter 2, The Royal Society of London.
- Barka, A.A., and Gülen, L., New constrains on age and total offset of the North Anatolian Fault Zone: Implications for tectonics of the Eastern Mediterranean Region, *MTU. Jour. of Pure and Applied Sciences*, Vol 21, No 1-3, April-December, pp 39-63, 1988
- Bayülke, N., ve Yılmaz, R., 13 Mart 1992 Depremi Hasar Dağılımı, 13 Mart 1992 Erzincan Depremi Raporu, BİB, Afet İş.Gen.Müd., Dep.Arş.Dai. yayınları, s 11-122, Haziran 1993.
- Bayülke, N., İnan, E., ve Güler, E., Strong Motion Records of Türkiye, Vol 11, Earth.Res.Dep., Gen.Direc. of Disaster Affairs., Minis.of Public Works, ANKARA, 1990.
- Bayülke, N., Yılmaz, R., ve Demirtaş, R., 15 Mart 1992 Pülümür Depremi, 13 Mart 1992 Erzincan Depremi Raporu, BİB, Afet İş.Gen.Müd. Dep.Arş.Dai. Yayınları, s 268-280, Haziran 1993.
- Demirtaş, R., Erzincan Havzasının Tektonik Yapısı, 13 Mart 1992 Erzincan Depremi Raporu, BİB, Afet İş.Gen.Müd. Dep.Arş.Dai. Yayınları, s 8-11, Haziran 1993.
- Demirtaş, R., ve Yılmaz, R., Yüzey Kırkları, 13 Mart 1992 Erzincan Depremi Raporu, BİB, Afet İş.Gen.Müd. Dep.Arş.Dai. Yayınları, s 29-49, Haziran 1993.
- Ergin, K., Güçlü, U., ve Uz, Z., Türkiye ve Civarının Deprem Kataloğu, (MÖ 11 den MS 1964'e) İTÜ Yayınları, No 24, 1967.
- Erzincan Valiliği, "Erzincan ve Deprem", 1992.
- Hempton, M.R., Dunne, A., and Dewey, J., Sedimentation in active strike-slip basin, Southeastern Turkey, *Jour.of Geol.*, Vol 91, pp 401-412, 1983.
- İnan, E., Güler, H., ve Çoruh, E., Kuvvetli Yer Hareketi Kayıtları, 13 Mart 1992 Erzincan Depremi Raporu, BİB, Afet İş.Gen.Müd. Dep.Arş.Dai Yayınları, s 59-110, Haziran 1993.
- Koçyiğit, A., Neotectonic structures and related landforms expressing the contractional and extensional strains along the North Anatolian Fault at the northwestern margin of the Erzincan Basin, Turkey, *Bull. of Tech.Uni.of İstanbul*, vol 44, N 3-4, 1991.
- Öcal, N., Türkiye'nin sismisitesi ve Zلزele coğrafyası 1850-1960 yılları için Türkiye Zلزele Kataloğu, MEB. İst. Kandilli Ras. Yayınları, No 6, İstanbul, 1968.
- Pınar, N., ve Lahn, E., Türkiye Depremleri İzahlı Kataloğu, 1952.

Sosyal, H., Sipahioğlu, S., Kolçak, D. ve Altuok, Y., Türkiye ve Çevresinin tarihset deprem Kataloğu, Tübitak Proje No: TBAG 341, İstanbul, 1981.

Şaroğlu, F., and Arpat, E., Some Recent Tectonic Events in Turkey, TJK Bull. No 18, p 91-104 1975.

Tatar, Y., Tectonic investigation on the NAFZ between Erzincan and Refahiye, Yer Bilimleri. N 4. pp 201-236. 1978.

The Loma Prieta, California. Earthquake of October 17, 1989, Eathquakes and Volcanoes of Ame. Bulletin, State of California, Governor's Office of Emergency Services. Vo 21, N 5, pp 176-211, 1989.

Yılmaz, R., Yatman, A., ve İravul, Y., Erzincan ve Çevresinin Sismisitesi. 13 Mart 1992 Erzincan Depremi Raporu, BİB. Afet İş.Gen.Müd. Dep.Arş.Dai. Yayınları. s 12-25. Haziran 1993.

KUZAY ANADOLU FAY ZONUNUN BATI KESİMİNDE TAŞKESTİ-ÇAYKÖY (BOLU-ADAPAZARI) ARASINDA TRENCH (HENDEK) ÇALIŞMALARI

DEMİRTAŞ Ramazan

Afet İşleri Gen. Müd. Deprem Araştırma Dairesi Başkanlığı
Sismoloji Bölümü
ANKARA

ÖZET

Kuzey Anadolu fay zonunun batı kesiminde, Taşkesti-Çayköy (Bolu) arasında Mudurnu nehri. 1957 Abant depreminde 120 cm ve 1967 Mudurnu Vadisi depreminde 190 cm sağ yönde ötelenmiştir. 1957 Abant depreminden önceki tarihsel depremlerde de nehrin kanalını değişik miktarlarda ötelemiş ve bunun sonucu olarak, Mudurnu nehrinin bugünkü kanalı yakınında 4 ayrı teras seviyesi meydana gelmiştir.

Görsel-akarsu ortamında oluşmuş, Pliyo-Kuvaterner yaşlı Taşkesti formasyonunun üst kısımlarına karşılık gelen Mudurnu nehrinin kazdığı en üst teras seviyesi içerisinde açılan trenchde litolojik olarak 4 ana birim ve toplam 20 alt birim ayrılmıştır. Trench duvarlarında gözlenen birimler, akmaz göl-akarsu kanal kenarı ve alüviyal bir yamaç ortamında depolanmış tortullardan oluşmaktadır.

Trenchin batı duvarında, bölgede en son meydana gelen 1967 Mudurnu Vadisi ve 1957 Abant depremleri dahil tarihsel dönemlerde oluşmuş toplam oniki deprem saptanmıştır. Bu on tarihsel depreme ait kırıklar, trenchin batı duvarının güney kısmında bindirme bileşenli, batı duvarının kuzey kısımlarında yer alan ve 1957 ile 1967 depremlerine ait iki kırık ise, normal bileşenli doğrultu atımlı kırık paternleri göstermektedirler. Bu on tarihsel deprem, batı duvarın güney bölümünde, birim a ile temsil edilen çakıllı seviyeyi 190 cm yukarı doğru yükseltirken, duvarın kuzey kesiminde 1957 ve 1967 depremleri bu çakıllı seviyeyi 150 cm aşağıya (kuzey tarafı aşağı düşmüş) düşürmüştür.

Bu on tarihsel depremin oluşturduğu bindirme bileşenli doğrultu atımlı kırık paterni, bu bölge içerisinde ana fayın yerel bir sıkışma büklümü yapığını göstermektedir. Bu sıkışma sonucu pozitif bir çiçek yapısı gelişmiştir. Trench duvarlarının kuzey kısımlarına doğru görünen normal bileşen ise, bu fay büklümünün yavaş yavaş yok olduğunu ve ana fayın kendisine daha düzgün bir yol çizdiğine işaret etmektedir.

Trenchin doğu ve batı duvarlarında, 1957 ve 1967 deprem kırıklarının çakıştığı açık bir şekilde görünmektedir. Her iki deprem sonucu birim a ile temsil edilen çakıllı seviye 150 cm aşağıya doğru düşmüştür. 1957 ve 1967 depremleri, çakıllı seviye üzerine uyumsuz olarak gelen birim d ile temsil edilen ve trench duvarlarının en genç birimi olan güncel toprak seviyesini kırarak zemin yüzeyine ulaşmıştır. Bu deprem kırıkları, yüzüne doğru bir açılma meydana getirmiştir. Daha sonra birim d' ye ait alüviyal malzeme bu açılan kısmı doldurmuştur.

Bu makalede, C 14 sonuçları henüz elimize ulaşmadığı için, yukarıda bahsedilen on tarihsel depremin yaşları verilmemiştir. İleride, C 14 sonuçları ve faylanma olayları ile ilgili detaylı bir makale yayınlanacaktır.

**TRENCH STUDIES ON THE WESTERN PART OF THE NORTHERN
ANATOLIAN FAULT ZONE
BETWEEN TAŞKESTİ AND ÇAYKÖY (BOLU-ADAPAZARI)**

DEMİRTAŞ Ramazan

**General Directorate of Disaster Affairs
Earthquake Research Department
Seismological Division
ANKARA**

ABSTRACT

Mudurnu river located on the western part of the Northern Anatolian fault zone between Taşkesti and Çayköy (Bolu-Adapazarı) was offset dextrally 120 cm and 190 cm by the earthquakes of 1957 Abant and 1967 Mudurnu Valley, respectively. Four terrace levels in the vicinity of the present channel of the the Mudurnu river were formed as result of slipping produced by historical earthquakes before the last events occurred in that area.

Four main litologic units composed of 20 subunits were divided on the walls of a trench excavated across the upper terrace level of the Mudurnu river corresponding to uppermost part of Plio-Quaternary Taşkesti formation deposited in a lacustrine-river environment. These units exposed on the trench walls consist of sedimentary deposits formed in the environment of ox bow lake-channel edge and alluvial slope.

We observed twelve faulting events related to historical earthquakes including 1957 and 1967 earthquakes that were the youngest events of this region. In the southern side of the western wall, ten of these twelve earthquakes show a fault pattern of strike slip faulting with reverse component . Conversely, in the northern side of the same wall, strike slip faulting with normal component has been observed in the two earthquake ruptures belonging to 1957 and 1967 events. Gravel unit (labelled letter a) was upthrown vertically 190 cm in the southern side of the western wall. Whereas, the same unit was downthrown 150 cm (northern side downward) in its northern side.

This fault pattern with reverse component indicates strongly that there was a fault bending in these area. As a result of local compression, a positive flower structure formed in the strike-slip fault system. The fault pattern observed in the northern side of the western wall shows that this fault bending had been disappeared gradually and main fault had a more straight way in the near-past.

In both western and eastern exposure of the trench, overlapping of ruptures which was associated with the earthquakes of 1957 Abant and 1967 Mudurnu Valley has been clearly observed. Because gravel unit shows cummulative vertical displacement of 150 cm resulted from these two events. 1957 and 1967 events ruptured the youngest unit (labelled letter d) of the trench resting unconformably on the gravel unit. These two earthquakes had caused opening near the earth surface. Subsequently, sedimentary material (unit d) will be filled into the fracture zone.

In this report, the radiometric dating of these ten events have not been mentioned. Because we have not received the results of C 14 dating. In the following years, a comprehensive data will be available including the results of C 14 dating and the faulting events.

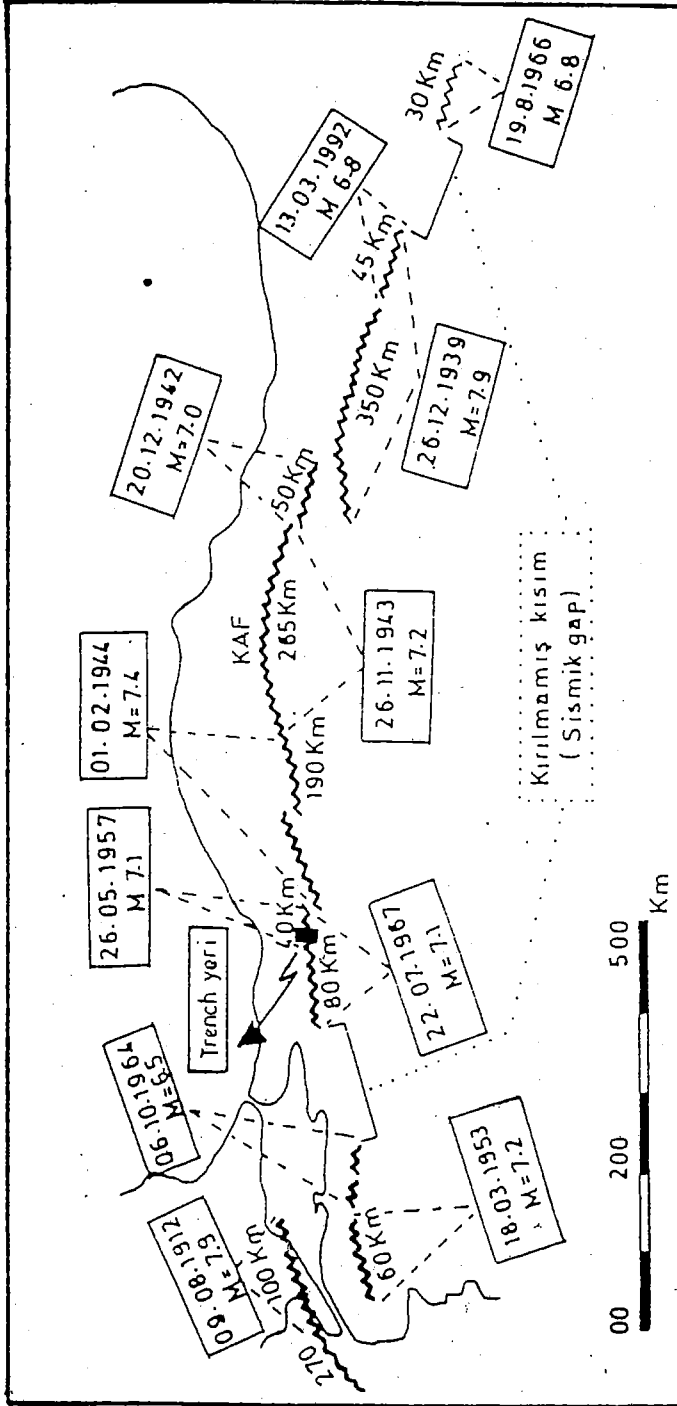
GİRİŞ

1909-1967 yılları arasında Kuzey Anadolu fayının üzerinde M 6.8 büyüklükte 30 dan fazla deprem oluşmuştur. Bu depremlerden 9 tanesi sürekli bir kırık oluşturarak Kuzey Anadolu fayının yaklaşık 800-1000 km lik bir kısmını kırmıştır. 1939-1967 deprem serisinde (M 7.0) maksimum 1.5 m-4.3 m yatay ötelenmeler ve maksimum 0.40 m-1.00 m düşey ötelenmeler ölçülmüştür. Bu deprem serisinde, fay zonunun iki kenarı arasındaki kayma ortalama 90 cm civarında bulunmuştur. Sonuç olarak, jeolojik çalışmalardan Kuzey Anadolu fayının iki kenarı arasındaki yıllık kayma hızı, 0.5-0.8 cm olarak hesaplanmıştır (Tokay 1973, Seymen 1975, Barka ve Hancock 1984). Sismolojik verilerden ise kayma hızı 1-11 cm/yıl arasında saptanmıştır (McKenzie 1972, Canitez 1973, Toksöz ve diğ., 1979, Brune 1986.).

Kuzey Anadolu fay zonunda 1939 dan beri oluşmuş M 7.0 depremler, doğudan batıya doğru bir sismik aktivite göçü göstermişlerdir (Ketin 1969, Dewey 1976). Bu göç, 26 Aralık 1939 Erzincan depremi (M=7.9, yüzey kırığı 350 km) ile başlamış, 20 Aralık 1942 Erbaa-Niksar (M=7.0, yüzey kırığı 50 km), 26 Kasım 1943 Tosya-Ladik-İlgaz (M=7.2, yüzey kırığı 265 km), 1 Şubat 1944 Çerkeş-Bolu-Gerede (M=7.4, yüzey kırığı 190 km), 26 Mayıs 1957 (M=7.1, yüzey kırığı 40 km) depremleri ile devam etmiş ve 22 Temmuz 1967 Mudurnu Vadisi (M=6.8 yüzey kırığı 80 km) depremi ile sona ermiş görünümündedir. Bu dönem esnasında, bu göçün dışında fayın batı ucunda 18 Mart 1953 Yenice-Gönen (M=7.2, yüzey kırığı 60 km) ve fayın doğu ucunda 19 Ağustos 1966 Varto (M=6.9, yüzey kırığı 30 km) depremleri meydana gelmiştir. 1939-1967 deprem serisinde, KAF'ın batı ucunda Geyve-Gemlik arasında ve doğu ucunda Erzincan-Varto arasında sırasıyla 100 ve 150 km lik kısımlar kırılmadan kalmıştır.

1939-1967 deprem serisinden önce kuzey Anadolu fayının en batı uzantısında 9 Ağustos 1912 Saros-Marmara (M=7.9 yüzey kırığı 370 km) depremi (Kuran and Yalçiner 1991) ve günümüzde, 13 Mart 1992 de (M=6.8, yüzey kırığı 45 km) 1939 Erzincan deprem kırığının doğu ucunda bir deprem meydana gelmiştir (Demirtaş ve Yılmaz 1993) (Şekil 1).

1909-1993 yılları arasında oluşmuş M 6.8 depremler, Kuzey Anadolu fayı üzerinde yaklaşık 10 sismik segmentin olduğunu ortaya koymaktadır. Bu sismik segmentler, farklı davranışlar gösterebilmektedirler. Böylelikle farklı segmentler üzerinde oluşan depremlerin tekrarlanma aralıkları ve fayın kayma hızı da farklı farklı olabilmektedir.



Şekil 1. 1909-1993 yılları arasında KAF üzerinde yüzey kırığı oluşturmuş M 6.8 depremler ve trench yeri.

Bazı segmentlerde de yıllık birkaç cm mertebesinde asismik kaymalar meydana gelmektedir.

Yakın jeolojik geçmişte, Kuzey Anadolu fay zonu içerisinde, 1909-1993 yılları arasında oluşan depremlere benzer deprem serilerinin ne zaman oluştuğunu ve ne kadar bir süre ile tekrarlandıklarını tahmin etmek oldukça zordur. Bununla birlikte, tarihsel veriler, geçmişte fay zonunun sismisitesinin bugünkü kadar yüksek olduğunu göstermektedir. Historik çalışmalar, KAF zonu boyunca, 994-1045 ve 1667-1668 yılları arasında benzer iki ana deprem serisinin olduğunu göstermektedir.

Bunlardan 967-1050 periyodunda, Kuzey Anadolu fayı üzerinde 20 kadar yıkıcı deprem oluşmuş ve bunlardan en az 5 i yüzey faylanması meydana getirmiştir.

Diğer ana deprem serisi, 1667-1668 yılları arasında oluşmuş ve KAF'in 600 km lik bir kısmını kırmıştır (Ambraseys 1970-1975, Ambraseys and Finkel 1986). Kuzey Anadolu fay zonu üzerinde yapılan historik çalışmalar, yüzey kırığı oluşturan ana deprem serilerinin 150-300 yıllık bir suskunluk periyodu ile oluşmakta olduğunu göstermektedir.

Yukarıdaki tarihsel veriler, kısa zaman periyodları içerisinde fayın kayma hızının çok daha büyük veya çok daha küçük olabileceğini ve böylelikle geçmişte deformasyon boşalımının kısa zaman periyodları içerisinde daha hızlı veya çok daha yavaş olduğunu göstermektedir. Örneğin Kuzey Amerika'da bugün deformasyon boşalımının son 25 milyondan beri aynı oranda devam ettiğini göstermiştir (Wallace 1978).

Uzun tarihsel deprem kayıtlarının olmadığı bölgelerde, yakın geçmişin jeolojik kayıtları, aktif fayların uzun süreli davranışlarının belirlenmesinde önemli bilgiler sağlamaktadır. Bu yüzden Kuvaterner jeolojisi ve jeomorfolojisi ilgili çalışmaların geliştirilmesi gerekmektedir (Allen 1975). Depremlere refakat eden birçok olay, genç sedimanter birimler içerisinde faylar, kıvrımlar, çatlaklar, yumuşak sedimanların deformasyonları ve kum volkanları şeklinde korunmaktadır (Sieh 1978). Böylelikle, faylar üzerinde hendekler (trench) açılarak, her bir sismik segment üzerinde oluşan büyük depremlerin tekrarlanma aralıkları ve kayma hızları hakkında, tarihsel depremlerden daha güvenli ve kesin bilgiler elde edilmektedir.

Bu amaçla, Mudurnu nehrinin Kuzey Anadolu fayı tarafından sağ yönlü olarak ötelendiği ve 1957 Abant ve 1967 Mudurnu Vadisi depremlerinin episantrlarına yakın bir yerde bir trench açtık. Trench duvarlarında saptadığımız depremlerin radyometrik yaş tayinleri (C 14) ile ilgili çalışmalar henüz değerlendirme aşamasında

olup, bu segment üzerinde oluşmuş büyük depremlerin terarlanma aralıkları hakkında daha detaylı bilgiler ileride verilecektir.

Yalnız bir trench ile o sismik segmentin kayma hızını saptamak oldukça zordur. Bu nedenle önümüzdeki yıllarda 1957 ve 1967 depremlerinin oluştuğu segment üzerinde birkaç tane daha trench açılması planlanmıştır.

TRENCH YERİNİN TEKTONİK KONUMU

Kuzey Anadolu fay zonunun batı kesiminde Taşkesti-Çayköy arasında, Mudurnu nehrinin en üst teras seviyesinde ve 1957 Abant ve 1967 Mudurnu Vadisi deprem kırıkları üzerinde 4 m genişlikte, 12 m uzunlukta ve 4.5 m derinlikte bir trench açılmıştır (Şekil 1,2,3,4,5,6,7 ve 8).

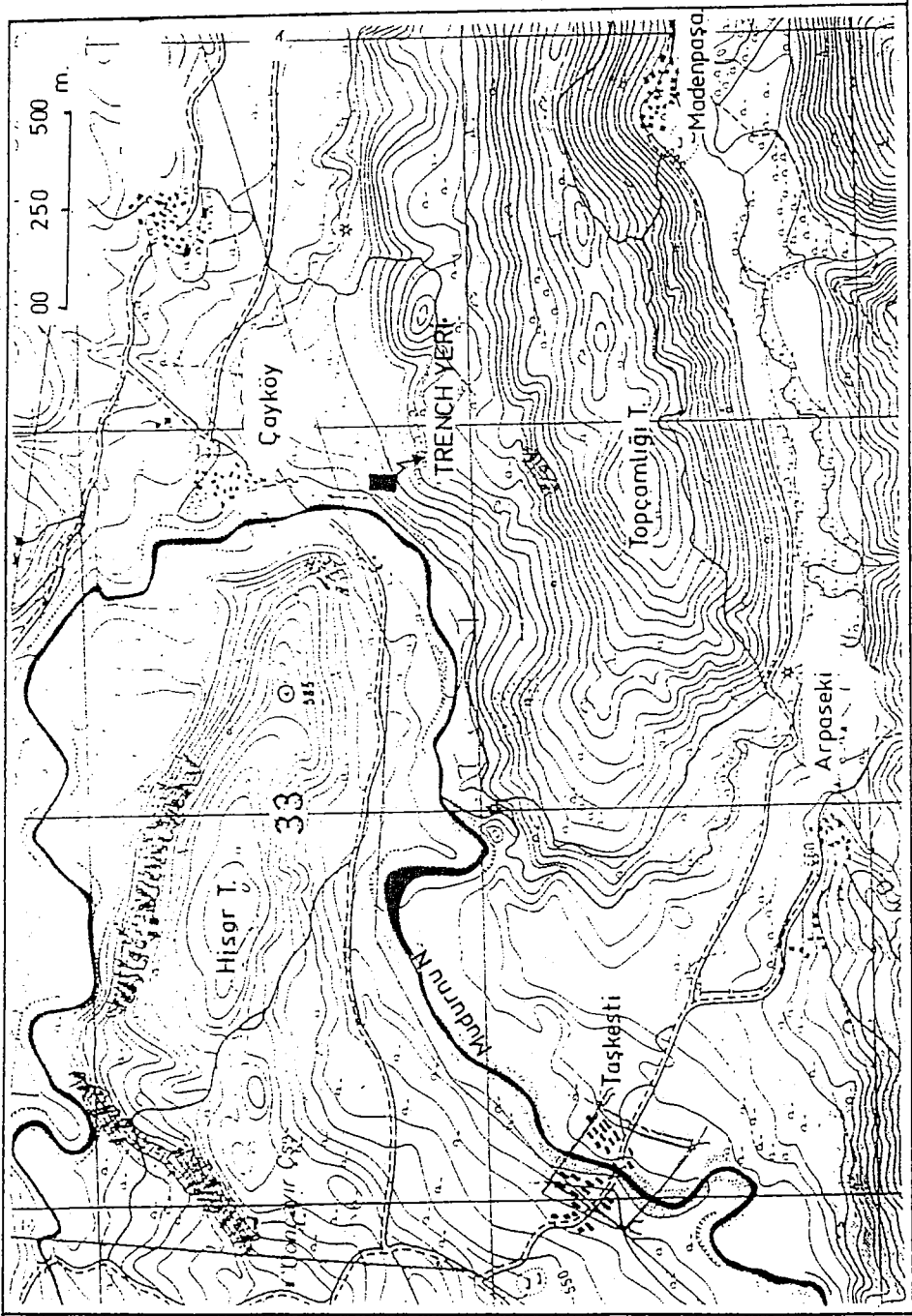
Mudurnu nehri güneyden Taşkesti'ye girer girmez Kuzey Anadolu fayının Karamurat gölü fayı olarak adlandırılan ikinci kolu tarafından kesilir. Taşkesti'nin hemen yakın kuzeyinde ana fay tarafından kesilerek sağ yönde ötelenir. Nehrin bölgedeki ilk oluşumundan beri KAF nehri öteleyerek, nehrin yatağını değiştirmesine neden olmuştur. Böylelikle bu ötelenmeye bağlı olarak Taşkesti civarında 4 ayrı teras seviyesi meydana gelmiştir (Şekil 4).

Nehir, Taşkesti-Çayköy arasında B-D doğrultusunda ana faya uygun olarak akar. Çayköy'ün hemen güneyinde ani bir dönüş yaparak kuzeye doğru yön değiştirir. Sonra, Çayköy de KAF'ın diğer bir kolu olan Mudurnu Çayı fayı tarafından kesilerek D-B doğrultusunda faya uygun bir şekilde batıya Dokurcun'a doğru devam eder.

Bu ötelenme sonucu gelişmiş teras seviyeleri, ana faya yakın yerlerde birbirlerine yaklaşırken, fayın kuzey ve güney bloklarında birbirlerinden uzaklaşarak açılırlar (Şekil 4).

Trench, 1957 Abant ($M=7.1$) ve 1967 Mudurnu Vadisi depreminin ($M=7.2$) episantrlarına çok yakın bir yerde yer almıştır. Her iki deprem kırığı, bu kısımda çakışarak aynı yolu izlemişlerdir. Trench yakınında fay, Topçamlığı Tepesinin kuzey yamacını keserek, yamacın aniden eğim değiştirmesine neden olmuştur (Şekil 5).

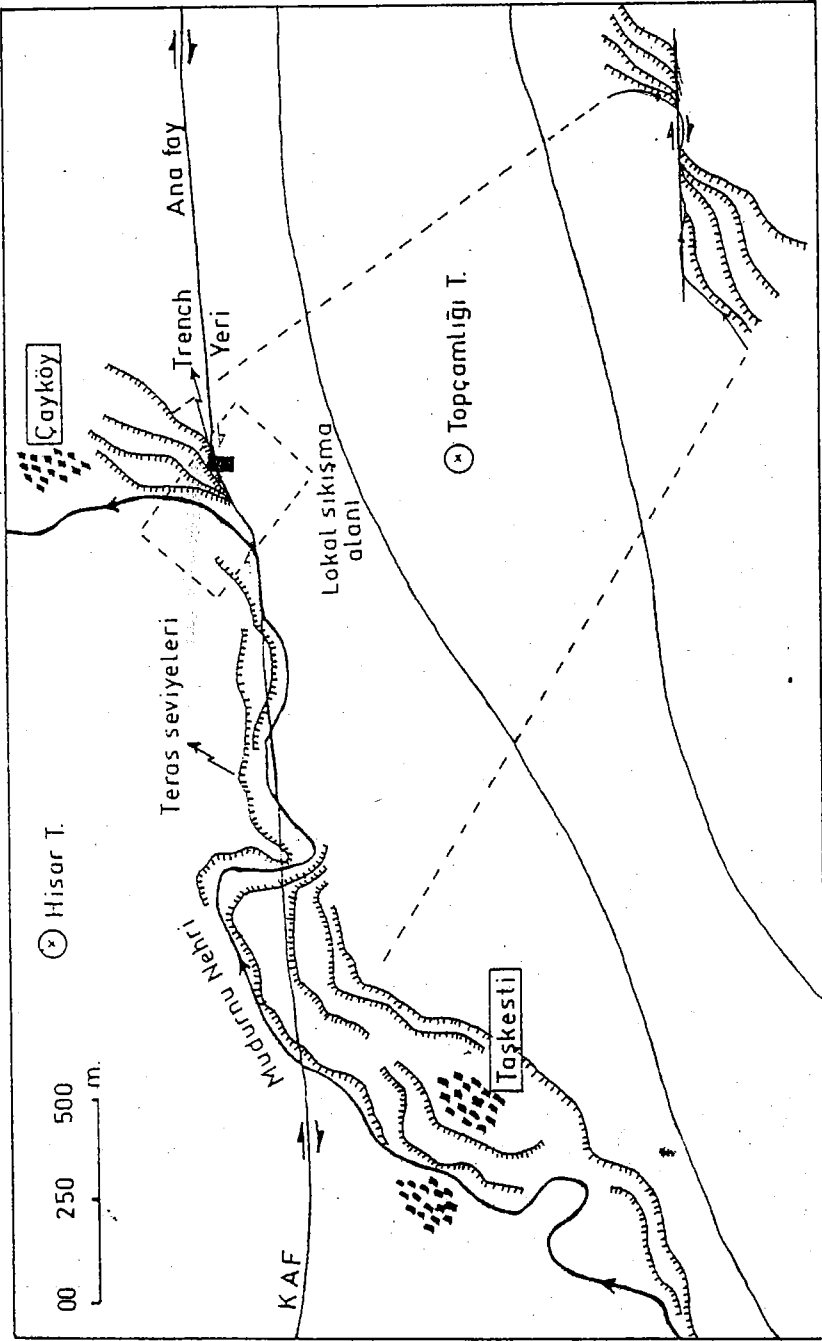
Halktan elde edilen bilgiler, Taşkesti-Çayköy arasında 1967 deprem kırığının 1957 deprem kırığını izlediğini doğrulamıştır. 1967 deprem kırığı, Taşkesti yakınında nehrin taşkın ovası düzlüğünü kesmiş ve nehir tabakalarını yükseltmiştir.



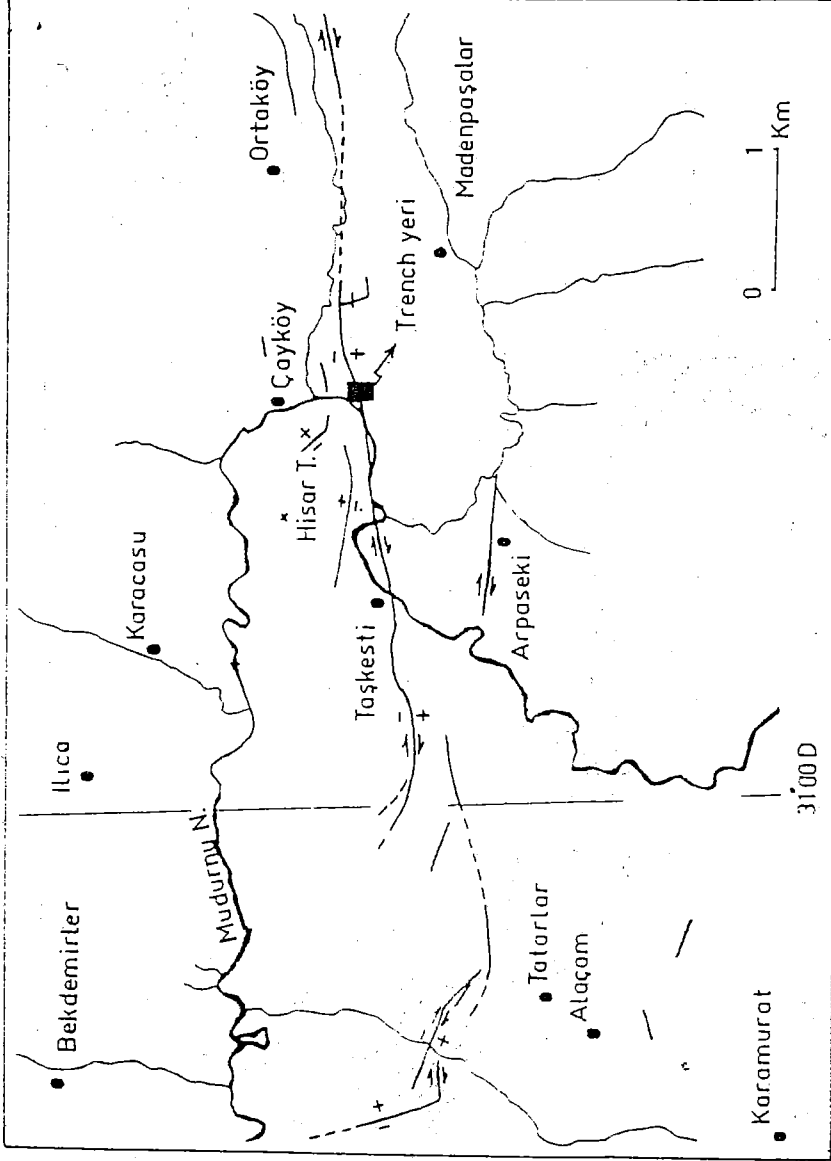
Şekil 2. Trench yerinin topografik haritası.



Şekil 3. Trench yerinin ve Mudurnu nehrinin KAF tarafından ötelenildiği kısmın hava fotoğrafından görünüşü.



Şekil 4. Mudurnu nehrinin KAF tarafından ötelenmesi sonucu meydana gelen teras seviyeleri.



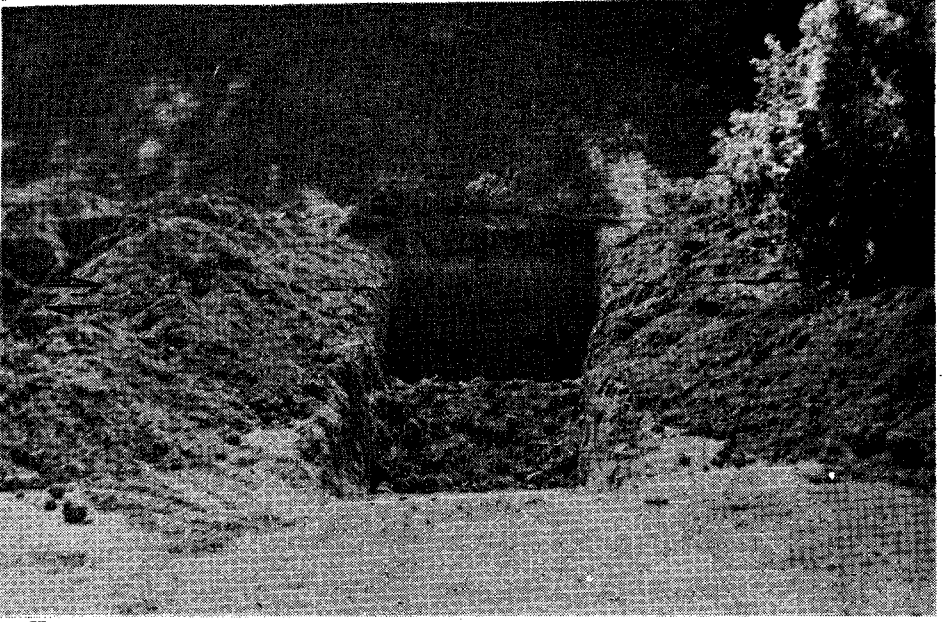
Şekil 5. Trench yeri ve civarında 22 Temmuz 1967 depreminin yüzey kırığı (Ambrasıys ve diğ., 1968).



Şekil 6. Trench yeri (D'dan B'ya doğru bakış). t :Teras seviyesi, M: Mudurnu Nehri, KAF: Kuzey Anadolu Fayı, T :Trench



Şekil 7. Trench açılmasının başlangıç aşaması (G'den K'ye doğru bakış)



Şekil 8. Trench açılması. (K'den G'ye doğru bakış)

- KAF: Kuzey Anadolu Fayı
- b: Taskesti formasyonu
- c: Alt toprak seviyesi
- d: Üst toprak seviyesi

Burdan hemen 400 m doğuda nehri ikinci keşe keserek, daha önceki kesişinde olduğu gibi basınç sırtları şeklinde nehir tabakalarını yükselterek, nehrin akış yönünü değiştirmiştir. Bu kısımda iz, nehrin doğu kenarındaki dik bir marn tabakasının içerisinden geçerek 190 cm sağ yönde ötelemiş ve 20 cm lik kuzeye doğru bir düşey atım meydana getirmiştir. İz, burdan itibaren nehrin kuzey tarafını 500 m izledikten sonra nehrin diğer bir çakıl düzlüğünü kesmiştir. Fayın bu kısmı boyunca marn ve çakıl tabakasından oluşan nehrin güney bankı aşağıya doğru kaymıştır.

İz, nehrin kuzeye Çayköy'e doğru keskin bir dönüş yaptığı yerde, nehri tekrar üçüncü kez keser. Nehri kestikten sonra iz, trench yerinde 20-50 cm lik sağ yönlü yatay ve 50 cm lik kuzeye doğru düşey atımlar meydana getirerek tek bir kırık şeklinde topografyaya uygun olarak doğruya doğru devam eder.

Trench duvarlarında gözlenen birimler, son 80 000 yıl öncesinde gölsel bir ortamda depolanmaya başlayan ve üst seviyelerine doğru tektonik aktiviteye bağlı olarak gölsel-akarsu kanal kenarı ve alüvyal yamaç ortamına geçen sedimanter birimlerin ardalandığı son 2000-2500 yıl öncesine ait Pliyo-Kuvaterner yaşı Taşkesti formasyonunun üst seviyelerine karşılık gelmektedir (Şekil 9,10,11,12 ve 13).

TAŞKESTİ FORMASYONU

Taşkesti formasyonu. Kuzey Anadolu fayının uzandığı fay vadisi içerisinde, Mudurnu nehri ve kollarının yatağını derin kazması sonucu her iki banklarında görülen gri renkli çamurtaşı, ince taneli kumtaşları ve marn ardalanmasından oluşan gölsel-akarsu fasiyesinde gelişmiş Pliyo-Kuvaterner yaşı bir istiftir (Şekil 9).

İstif, en iyi Taşkesti civarında gözlendiği için ilk kez Gözübol (1978) tarafından Taşkesti formasyonu olarak adlandırılmıştır. Formasyon, Taşkesti civarında oldukça geniş bir yayılım gösterip, alttaki temel kayalar üzerine uyumsuz olarak gelir. İstif, ayrıca Taşkesti-İğneciler ve Taşkesti-Dokurcun arasında, Kuzey Anadolu fayının geçtiği fay vadisi boyunca gözlenir.

Çamurtaşı, ince taneli kumtaşı, silt ve marn ardalanmasından oluşan istifin üst kısımları, Taşkesti yakınında Kuzey Anadolu fayının Mudurnu nehrini ötelemesi sonucu, nehrin yatağını değiştirmesi ile gelişmiş en üst teras seviyesinde açık bir şekilde görünmektedir (Şekil 10 ve 11).

Bu 9-10 m lik seviyenin alt kısımları gösel. üst kısımlara doğru fayın aktivitesine bağlı olarak gösel-akarsu ve en üst kısımlar da akarsu tortullarını temsil etmektedir. Bu seviye. trenchin güney duvarında yer alan birimlere karşılık gelmektedir (Şekil 10ve11).

İstifin orta kesimleri. yine KAF boyunca nehrin yatağını derin kazması sonucu açığa çıkan nehrin her iki bankları boyunca mostra verir. Bu kesim oldukça kalın marn seviyeleri içeren gösel tortullardan oluşur. Bu seviyede ince kömür bandları gelişmiştir.

İstifin alt kesimleri. Paluska ve diğ., (1989) Taşkesti yakınlarında yapmış olduğu 40 m lik sondaj verilerinden elde edilmiştir. Bu kesim oldukça kalın çamurtaşı ve marn tabakalarının ardalanmasından oluşur. Bu yukardaki gözlemlerden Taşkesti formasyonunun toplam kalınlığı yaklaşık olarak 65m civarında bulunmuştur.

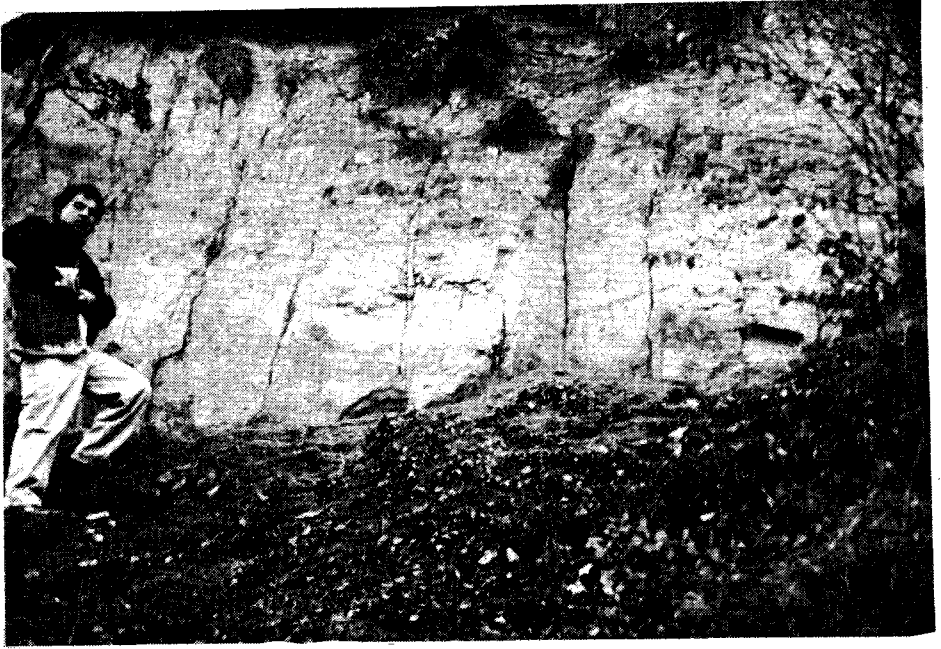
Bu elde edilen verilerin hepsi birlikte yorumlandığında, istifin alt kesimleri, KAF'ın bölgedeki yerleşimi ile gelişmiş şiddetli kıvrımlı ve kırıklı gösel tortullardan , üste doğru giderek azalan bir deformasyon gösteren gösel-akarsu tortullarından ve en üst kesimlerin de akarsu tortullarından oluştuğu çıkarılabilir. İstifin üst kesimlerine doğru gösel-akarsu tortullarının sürekli ardalanması ortamdaki tektonik aktiviteye işaret etmektedir.

Taşkesti-Dokurcun arasında Yarbaşı civarında kuvvetli bir paleosismik olay, 1 km küpden daha fazla Alt Kretase yaşlı kireçtaşlarından oluşan kaya kütlelerini. güney yamaçlardan kopartıp Mudurnu nehrinin akış yolunu engellemesine ve geçici bir gölün oluşmasına neden olmuştur (Paluska ve diğ., 1989). Literatüre Yarbaşı ve Harmancıkkaş heyelanları olarak geçen bu heyelanlar, iki farklı zamanda olmuşlardır. Birisi eski. diğeri yeni olan bu heyelanların ayna kısımları ve bu engellemeden kalan artık bir heyelan gölü (Kozan gölü) açık olarak görülmektedir. Kuzey Anadolu fayı. bu büyük heyelanın topuk kısmını ve engelleme sonucu oluşan göl tortullarını birkaç yüz metre sağ yönde ötelemiştir (Şekil 12).

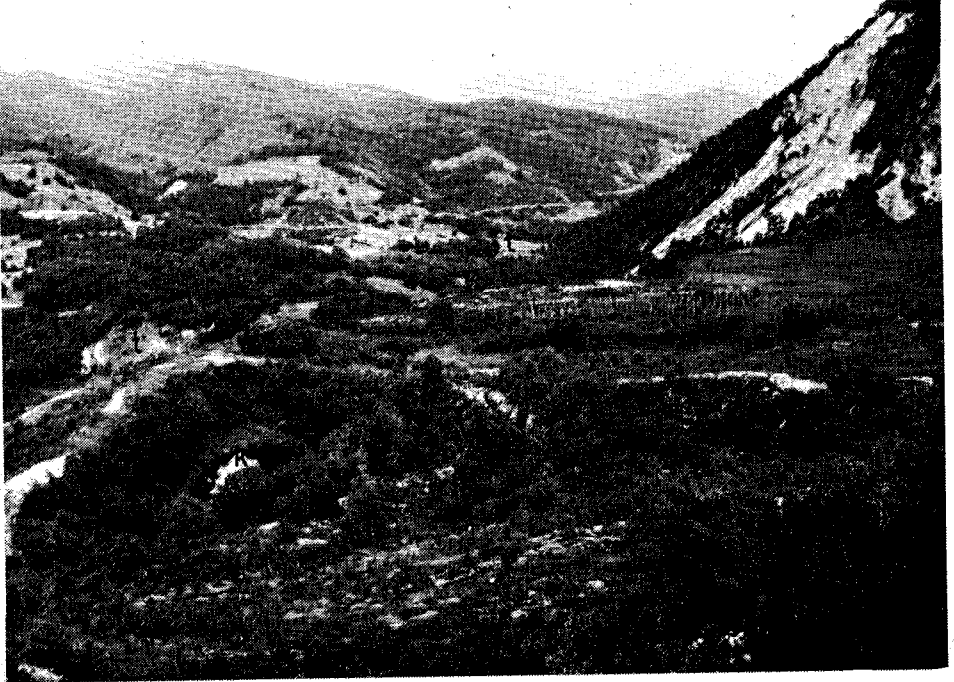
Göl tortullarının biyostratigrafik, litostratigrafik ve C 14 yaş tayinlerine göre günümüzden 82 000 yıl önce oluşmaya başladıkları ve sedimantasyonun nehrin engelleyen kaya kütesinin aşındırılıp tekrar nehrin akışını sağladığı günümüzden 2500 yıl öncesine kadar devam etmiştir (Paluska ve diğ., 1989).

YAŞ	FORMAS.	KALINLIK	LİTOLOJİK BİRİMLER
Pliyo-Kuvaterner	Taşkesti formasyonu	65	<p>Toprak örtüsü.</p> <p>İnce kum</p> <p>Toprak örtüsü</p> <p>Alüvyal tortullar</p> <p>Toprak örtüsü</p> <p>Akarsu-göl tortulları ardalanması</p> <p>Kum</p> <p>Akarsu-göl tortulları ardalanması</p> <p>Gösel siltli marn</p> <p>Konglomera kumtaşı</p> <p>Kil ve siltli marn</p> <p>Siltli çamur</p> <p>Kil</p> <p>Marnlı kireçtaşı</p> <p>Siltli çamur</p> <p>Marn</p> <p>Organikce zengin silt</p> <p>Marn</p> <p>Killi marn</p> <p>Çamur</p> <p>Siltli marn</p> <p>Çamur</p> <p>Marn</p>
			<p>Akarsu tortulları</p> <p>Göl tortulları</p>
Lütesiyen öncesi			Temel kayac

Şekil 9. Taşkesti formasyonunun genelleştirilmiş stratigrafik kesiti.



Şekil.10 Taşkesti formasyonunun üst kısımlarına karşılık gelen Mudurnu nehrinin en üst teras seviyesi (GB'ya bakış). Şekil 11'e bakınız



Şekil 12. Büyük bir heyelan kütleinin Mudurnu nehrinin akış yolunu kesmesi sonucu meydana gelmiş artık bir heyelan gölü k: Kozan gölü, t: Taşkesti fm.

YAŞ	BİRİMLER	KALINLIK (cm)	ÖZELLİKLERİ
Pliyo-Kuvaterner	Taşkesti formasyonu	20	Toprak örtüsü
		80	Silt
		15	Toprak örtüsü
		13	Marn
		15	Toprak örtüsü
		14	Killi silt
		15	Siltli kil
		13	İnce kum
		5	Marn
		40	Marn aratabakalı ince kum
		45	Kumlu marn (kıvrımlı)
		48	Çamurtaşı
		100	Çamur aratabakalı marn
		110	Çamurtaşı
		20	İnce kum
		15	Marn
		5	İnce kum
		30	Marn
120	Çamurtaşı		
30	Silt		
100	Kil		
40	Çakıl		
10	Çamurtaşı		
10	Orta taneli kum		
20	Çamurtaşı		
		Marn	

Şekil 11. Taşkesti formasyonunun üst kısımlarına karşılık gelen Mudurnu nehrinin en üst teras seviyesinde gözlenen birimler. (şekil 10'a bakınız)

Taşkesti formasyonu, Kuzey Anadolu fayındaki yatay hareket sonucu tarihsel dönemlerde oluşmuş büyük magnitudlü birçok depremlere ait deformasyon izleri içermektedir. Bu deformasyonlar, kıvrımlar, kırıklar, çatlaklar, yumuşak sedimanların deformasyonları şeklinde görünmektedirler. Bu formasyon içerisinde korunmuş büyük tarihsel depremlere ait deformasyon paternleri, Kuzey Anadolu fayının o segmentinin gelecekteki davranışlarını ortaya koyabilecek önemli ipuçları içermektedir. Böylelikle bu veriler, diğer jeofiziksel deprem habercileri ile birlikte yorumlandığında, o bölgedeki büyük depremlerin tekrarlanma aralıklarını belirlemede önemli rol oynamaktadırlar.

STRATİGRAFI (TRENCH'İN GÜNEY DUVARI)

Şekil 13 trenchin güney duvarının ölçülü stratigrafik kesitini göstermektedir. Güney duvarda gözlenen birimler 4 ana litolojik birime ayrılmıştır.

Birim a (2 numaralı birim) : Taşkesti formasyonunun gölge killeri (1 numaralı birim) üzerinde yer alan akarsu kanal kenarı-alüviyal yamaç ortamında oluşmuş çakıllı bir seviyeden (2 numaralı birim) meydana gelmektedir (Şekil 13). Bu seviye trenchin doğu ve batı duvarlarında, hem fayın aktivitesinden hemde o zamanki ortamın şeklinden dolayı güneyden kuzeye doğru kalınlaşmaktadır. Çakıllar kötü boylanmalı ve ortalama çakıl boyutları 20 cm civarında olup içerisinde yer yer güneydeki tepeden koparılıp getirilen büyük Alt Kretase yaşlı kireçtaşı blokları bulunmaktadır. Çakıllı seviyede değişik kalınlığa sahip 4 ayrı dereceli kısım gelişmiştir (şekil 14). Bu çakıllı seviyelerin litolojik özellikleri, tane büyüklükleri ve boylanma gibi özellikleri, ana fayın karşıt bloklarında oldukça farklılıklar göstermektedirler. Çakıllar, genellikle Alt Kretase yaşlı Soğukçam kireçtaşlarından, az miktarda Üst Jura-Alt Kretase yaşlı Mudurnu formasyonuna ait volkanoklastik kayaçlardan ve Abant Karmaşığına ait bazalt ve oldukça altere olmuş granitlerden oluşmaktadır. Bu çakıllı birimin üzerinde yer alan b ve c ana birimleri, trenchin her iki duvarında da güneyden kuzeye doğru incelenerek kaybolmaktadır. Trenchin doğu ve batı duvarlarının kuzey taraflarında bu çakıllı seviyenin üzerine doğrudan güncel toprak seviyesi olan d ana birimi uyumsuz olarak gelmektedir.

Birim b (3 -den 18 numaralı birime kadar) : Bu ana birim, menderesli bir akarsuyun kopma noktasına gelmiş akmaz bir göl (ox-bow lake) kısmı içerisinde depolanmış sedimanter birimlerden oluşmaktadır. Bu ana birimin üst kısımları, zaman zaman sellenme dönemlerine işaret eden killi siltli kumlardan oluşan taşkın ovası tortullarına geçmektedir. Birim b nin toplam kalınlığı 225 cm civarındadır.

Birim b 16 alt birime ayrılmıştır (Şekil 13).

Birim 3 : 38 cm kalınlıkta, gri renkli ve bataklık bir ortamda oluştuğunu gösteren küçük kömür oluşumları içeren killi bir seviyeden oluşmaktadır.

Birim 4 : 4 cm kalınlıkta gri-kırmızımsı renkli, bitki ve odun parçaları içeren killi kumlu bir seviyeden oluşmaktadır.

Birim 5 : 5.5 cm kalınlıkta gri renkli killi bir seviyeden meydana gelmektedir.

Birim 6: 6 cm kalınlıkta sarı-kırmızımsı renkli killi kumlardan oluşmaktadır.

Birim 7 : 5 cm kalınlıkta kahverenkli killi bir seviyeden meydana gelmektedir.

4,5,6 ve 7 numaralı alt birimler, hemen yakından geçen fayın aktivitesine bağlı olarak göl seviyesindeki küçük değişimler sonucu depolanan sedimanter birimleri temsil etmektedirler.

Birim 8 : 9.5 cm kalınlıkta kil ve silt araldanmasından oluşan killi bir seviyeden meydana gelmektedir.

Birim 9 : 25 cm kalınlıkta gri-sarı renkli, bitki ve odun parçaları ve yer yer depremlere ait küçük slumpingler (küçük çökmeler) içeren killi sitli kumlu bir seviyeden oluşmaktadır.

8 ve 9 numaralı birimler, mevsimsel değişimlere bağlı olarak akmaz gölün seviyesinin yavaş yavaş düştüğü ve hemen kenarından geçen nehrin taşkın ovası düzlüğüne ait sedimanter birimleri temsil etmektedir. Akmaz gölün seviyesindeki küçük değişimlere, faydaki küçük kaymalar neden olmaktadır. bu durum istifin üst kısımlarına doğru kumlu sitli birimler ile ardalanan ince killi seviyelerden anlaşılmaktadır.

Birim 10 : 8 cm kalınlıkta gri renkli, ince bir kil seviyesinden meydana gelmektedir.

Birim 11 : 30 cm kalınlıkta açık sarı renkli, yer yer kömürlü akma gölü- taşkın ovası ortamında oluşan killi siltli kumlardan meydana gelmektedir.

Birim 12 : 3 cm kalınlıkta gri renkli ince bir kil seviyesinden oluşmaktadır.

Birim 13 : 22.5 cm kalınlıkta kum-silt-kum-silt şeklinde ardalanmış nehrin taşkın ovası tortularından meydana gelmektedir.

Birim 14 : 3 cm kalınlıkta kahverenkli ince bir killi seviyeden oluşmaktadır.

Birim 15 : 3 cm kalınlıkta gri renkli ince bir kil seviyesinden meydana gelmektedir.

Birim 16 : 6.5 cm kalınlıkta sarı renkli killi kumlardan oluşmaktadır.

Birim 17 : 6 cm kalınlıkta gri renkli ince bir kil seviyesinden meydana gelmektedir.

Birim 18 : 33 cm kalınlıkta oldukça kalın nehrin taşkın ovası düzlüklerinde oluşan killi siltli kumlu bir seviyeden meydana gelmektedir.

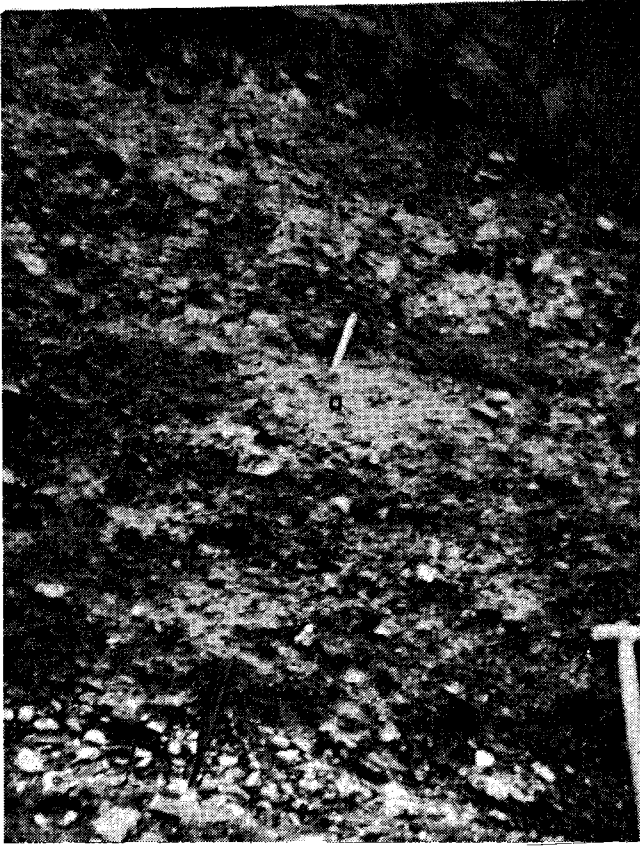
Birim 18 den sonra akma gölü tamamen kuruyarak birim b nin sedimentasyonu tamamlanmış ve üzerine tamamen farklı karakterde birim c nin tortuları depolanmaya başlamıştır.

Birim c : 170 cm kalınlıkta açık kahverenkli, kumlu çakıllı, yüksek derecede konsolide olmuş, gastropod kabukları ve biotürbasyon izleri içeren kalın bir seviyeden oluşmaktadır. Birim c, Kuzey Anadolu fayının düşey bileşeni ile güney bloğunun yükselmesi, kuzey bloğunun düşmesi ve güneye doğru tiltlenmesi sonucu oluşan bir yamacın ani bir eğim değiştirdiği kısmı dolduran alüvyal yamaç ortamlarında oluşmuş tortuları temsil etmektedir (Şekil 13).

Birim b ve birim c, trenchin hem doğu hemde batı duvarlarının köşelerinde sırasıyla 220 cm ve 170 cm kalınlıklara sahipken, kalınlıkları giderek azalarak trench duvarlarının hemen 3.5-4.0 m kuzeyinde, doğrultu atımlı fayın bindirme bileşeni olan ters fayları ile 1957 ve 1967 deprem kırıkları arasında tamamen kaybolmaktadırlar.

Ana birim	Alt birim	Kalınlık cm	LİTOLOJİ	ÖZELLİKLERİ
d	22	60	ÜST TOPRAK SEVİYESİ	Koyu kahverenkli, yamaç dokuntuları, bitki ve ağaç kökleri
c	19	170	ALT TOPRAK SEVİYESİ	Açık kahverenkli, konsolide olmuş, gastropod kabukları, biotürbasyon izleri
b	18	33	KİLLİ SİTLİ KUM	Gri sarı renkli
	17	5	KİL	Gri renkli
	16	6,5	KİLLİ KUM	Sarı renkli
	15	7	KİL	Gri renkli
	14	7	KİL	Kahverenkli
	13	22,5	KUM SİLT KİL ARDALANMASI	Sarı renkli
	12	7	KİL	Gri renkli
	11	30	KİLLİ SİTLİ KUM	Açık sarı renkli, kömürlü
	10	8	KİL	Gri renkli
	9	25	KİLLİ SİTLİ KUM	Gri sarı renkli, bitki ve odun parçaları, slumpingler
	8	9,5	KİL SİLT ARDALANMASI	Gri renkli Kahverenkli
7	5	KİL	Gri renkli	
6	6	KİLLİ KUM	Sarı kırmızımsı renkli	
5	5,5	KİL	Gri renkli	
4	7	KİLLİ KUM	Gri kırmızımsı renkli, bitki ve odun parçaları	
3	38	KİL	Gri renkli, kömürlü	
a	2	15	ÇAKIL	Dereceli kötü boylanmış, çakıllar max.20cm, kireçtaşı bazalt granit
	1		KİL	Gri renkli

Şekil 13. Trenchin güney duvarının ölçülü stratigrafi kesiti. a, b, c ve d : ana birimler, 1,2,3,4,....: alt birimler,



Şekil 14. Birim a içerisinde gelişmiş 4 ayrı dereceli seviye (batı duvar).

a: birim a
b: birim b
d: birim d



Şekil 15. Batı duvar.

a: birim a
b: birim b

Birim b ve c, tektonik bir ortamda gelişen menderesli bir akarsuyun akmaz göl kesimi ile akarsuyun kanal kenarı ve üste doğru alüvyial bir yamaç ortamında oluşan birimleri temsil etmektedir.

Birim d :60 cm kalınlıkta; koyu kahverenkli, bitki ve ağaç kökleri içeren güncel toprak seviyesinden oluşmaktadır. Birim d, konsolide olmamış ve tamamen yukarıdaki Alt Kretase yaşlı Soğukçam kireçtaşından oluşan tepeden koparılarak getirilmiş çakıllı yamaç döküntülerinden meydana gelmektedir (Şekil 13).

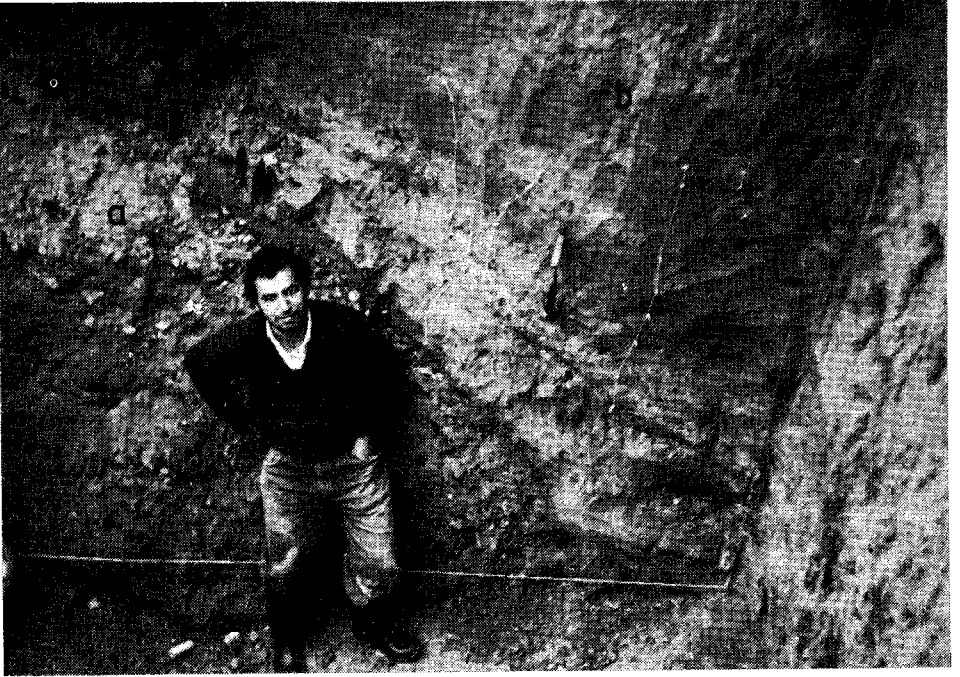
Birim d, birim b ve c nin tersine trenchin doğu ve batı duvarlarının köşesinde ince bir kalınlığa sahipken, trenchin kuzeyine doğru giderek kalınlaşmakta ve 1957 ve 1967 deprem kırıklarının üzerinde yaklaşık 200 cm ye ulaşmaktadır.

FAYLANMA OLAYLARI

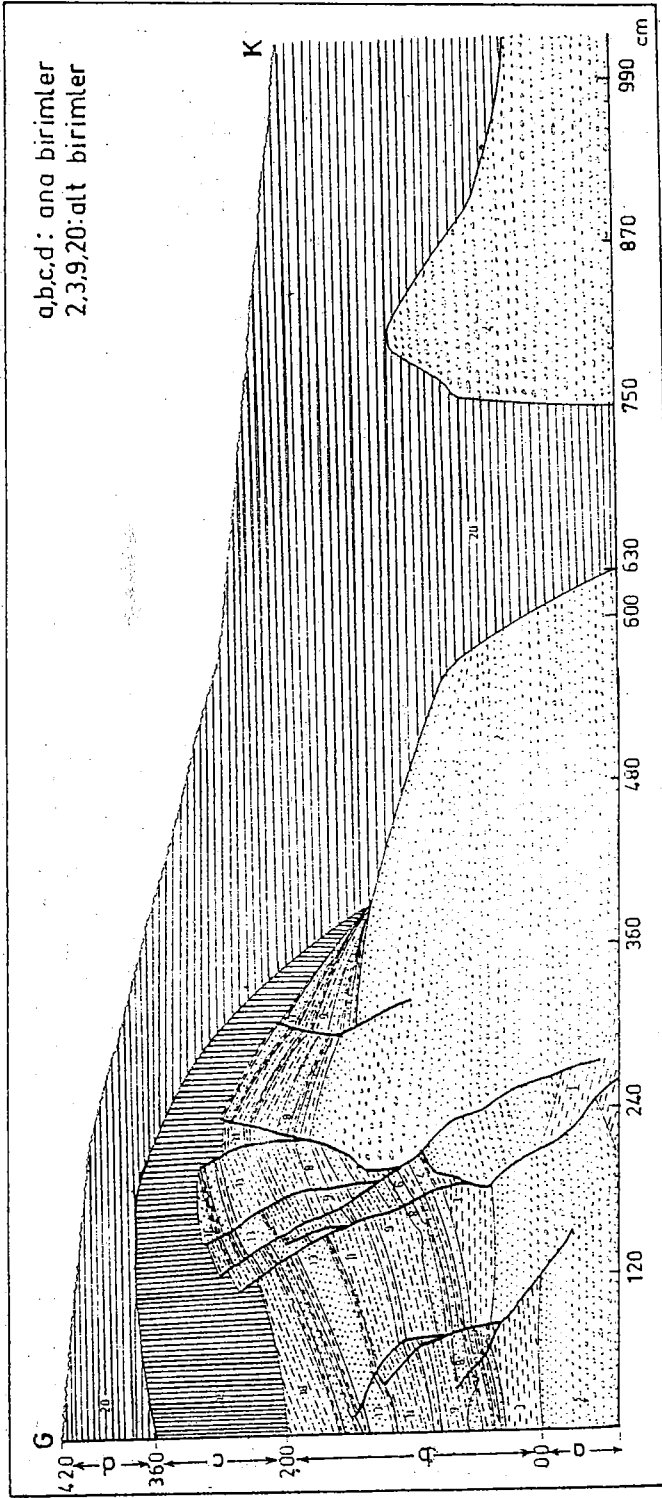
1 NOLU DEPREM : Trenchin batı duvarında gözlenen en eski deprem olayı, 1 nolu deprem olarak adlandırılmıştır (Şekil 15,16,17,18,19,20 ve 21). 1 nolu deprem, batı duvarda gözlenen diğer bindirme bileşenli depremlere göre oldukça şiddetli bir deprem olarak görünmektedir. 1 nolu deprem sadece birim a'yı (2 numaralı birim) etkilemiştir. Bu deprem birim b'ye ait olan 3 numaralı birimi kırmamıştır. Çünkü 1 nolu deprem esnasında akmaz gölün tabanında çakıllı seviyenin depolanması bitmiş ve 3 numaralı birim, 1 nolu deprem meydana geldikten sonra hakim olan suskunluk periyodunda depolanmaya başlamıştır. Bu durum, birim a ile temsil edilen çakıllı seviyenin 45 cm yukarı doğru yukarı doğru (doğrultu atımlı fayın bindirme bileşeni olarak) yükselirken, çakıllı seviyenin hemen üzerine gelen 3 numaralı birim ile temsil edilen kalın killi seviyenin 5 ve 14 cm yükseltilmesinden anlaşılmaktadır. Batı duvarın güneye yakın bu kesiminde farklı 4 deprem olayı meydana gelmiştir. 3 numaralı killi seviye 3 farklı deprem olayından etkilenmiştir. Yukarıda bahsedilen 14 cm lik düşey atım miktarı, ortalama 11 ve 3 cm lik iki farklı depreme ait toplam atım miktarını göstermektedir. Böylelikle 1 nolu depremde meydana gelen ortalama düşey atım miktarı $45-5-11-3=26$ cm civarındadır. Bu yüzden 2 numaralı çakıllı seviye 4 farklı depremden etkilenerek toplam 45 cm yükseltilmiştir (Şekil 20).



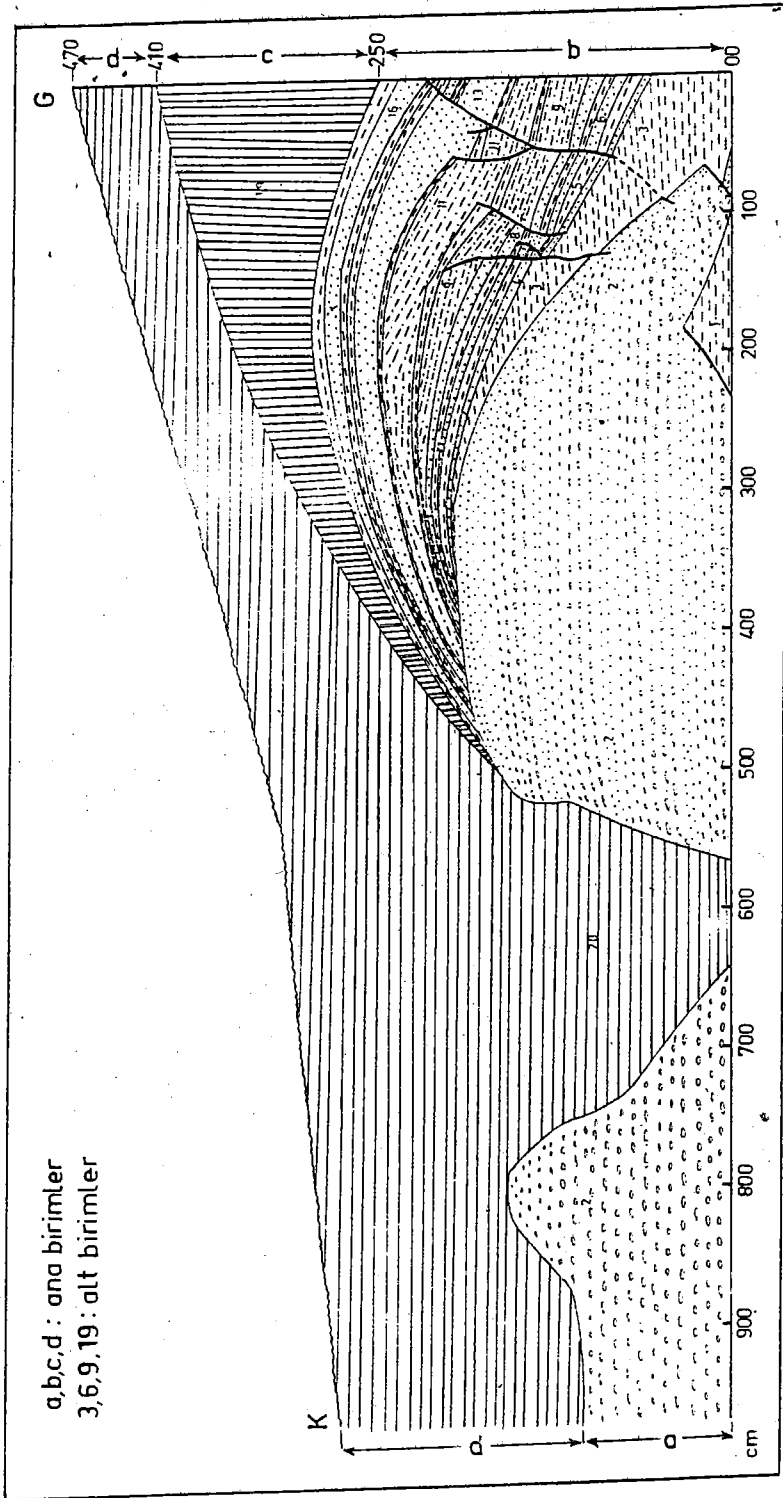
Şekil 16. Batı duvar a: birim a, b: birim b, c: birim c, d: birim d.



Şekil 18. Doğu duvar a: birim a, b: birim b.



Şekil 17. Trenchin batı duvarı. a,b,c ve d: ana birimler, 2,3,9,19,... : alt birimler, ölçek: 1/20



Şekil 19. Trenchin doğu duvarı. ölçek: 1/20

2 NOLU DEPREM: 1 nolu şiddetli bir deprem oluştuktan sonra bölgede oldukça uzun bir suskunluk periyodu hakim olmuştur. Bu dönemde 70 cm lik bir sedimantasyon meydana gelmiştir. Bu sedimantasyon, 3,4,5,6,7,8 ve 9 (9 numaralı birimin alt seviyeleri) numaralı birimleri içermektedir. 2 nolu deprem 9 numaralı birimin alt seviyelerini etkileyerek kıvrımlandırmıştır. Çünkü 2 nolu deprem sırasında akmaz gölün tabanında 9 numaralı birimin çökmesi devam ettiği anlaşılmaktadır. 2 nolu deprem bu 7 birimi güneyine göre ortalama 5 cm yükseltmiştir (Şekil 17 ve 20).

2 nolu deprem, büyüklük olarak 1 nolu deprem ile karşılaştırıldığında çok daha küçük magnitüdü bir deprem olduğu anlaşılmaktadır. 2 nolu deprem şekil 20 de görüldüğü gibi 1 nolu deprem kırığını izlemiştir. Bu yüzden hemen hemen aynı eğim doğrultu ve eğim açısına sahiptir.

3 NOLU DEPREM: 2 nolu deprem meydana geldikten sonra yine bir suskunluk periyoduna girilmiştir. Bu periyod esnasında yaklaşık 66 cm lik bir sedimantasyon olmuştur. Bu sedimantasyon 9 numaralı birimin üst seviyelerini, 10, 11 ve 12 numaralı birimleri kapsamaktadır. Bu birimler meydana geldikten sonra 3 nolu deprem oluşmuştur. Bu deprem 12 birimi tam olarak kıramamış, ancak kıvrımlandırabilmiştir. 2 nolu deprem kırığı üzerinde ölçülen düşey atımlar 12 numaralı birimden 10 numaralı birime doğru dereceli olarak azaldığı ve ortalama 11 cm lik bir değere sahip olduğu görünmektedir. Buna karşılık, 10 numaralı birimin altında yer alan birimler, bir sonraki 4 nolu depremden etkilendikleri için ortalama 14 cm lik düşey atımlar göstermektedir. Dolayısıyla 3 nolu depremde $14-3=11$ cm lik bir düşey atım meydana gelmiştir (Şekil 17 ve 20).

Şekil 20 de görüldüğü gibi 3 nolu deprem, 2 nolu depreme göre hemen biraz daha kuzeyinde yer almış ve 3 numaralı kil birimi içerisinde 2 nolu deprem kırığı ile birleşmiştir. 3 nolu deprem de diğer iki deprem gibi aynı tarafa yani güneye doğru yönelimlidir.

3 nolu deprem büyüklük olarak diğer iki deprem ile karşılaştırıldığında 2 nolu depremin iki katı, 1 nolu depremin yarısına eşit bir değere sahip olduğu görünmektedir.

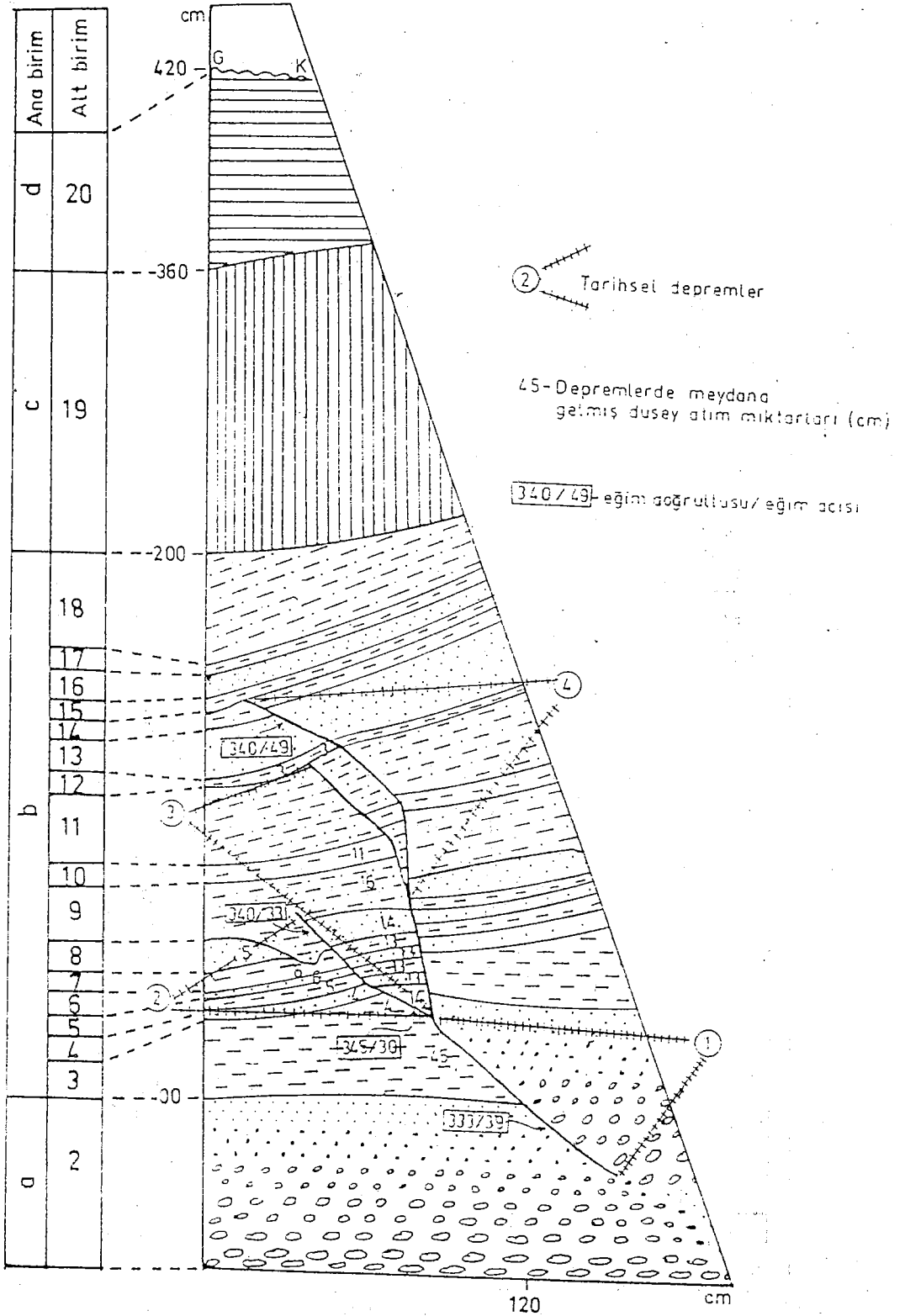
4 NOLU DEPREM: 3 nolu deprem meydana geldikten sonra diğer iki depreme göre daha kısa bir suskunluk periyoduna girilmiştir. Bu periyod içerisinde yaklaşık 25 cm lik bir sedimantasyon olmuştur. Bu sedimantasyon, 13 ve 14 numaralı birimleri içermektedir. 4 nolu deprem kırığı 15 numaralı birimi kırmamıştır. Bu yüzden, o deprem sırasında 15 numaralı birimin henüz depolanmamış olduğu anlaşılmaktadır. 4 nolu depremde meydana gelen ortalama düşey atım miktarı, 3 cm civarındadır.

4 nolu deprem, büyüklük olarak 3 nolu depremin yarısına ve 2 nolu deprem ile eşit bir değere sahiptir. Bu deprem kırığı, 3 nolu deprem kırığı ile 9 numaralı birim içerisinde birleşmektedir. 4 nolu deprem, diğer üç deprem gibi güneye doğru yönelimli olup, eğim açısı diğerlerine göre biraz daha dik durumdadır (Şekil 17.20).

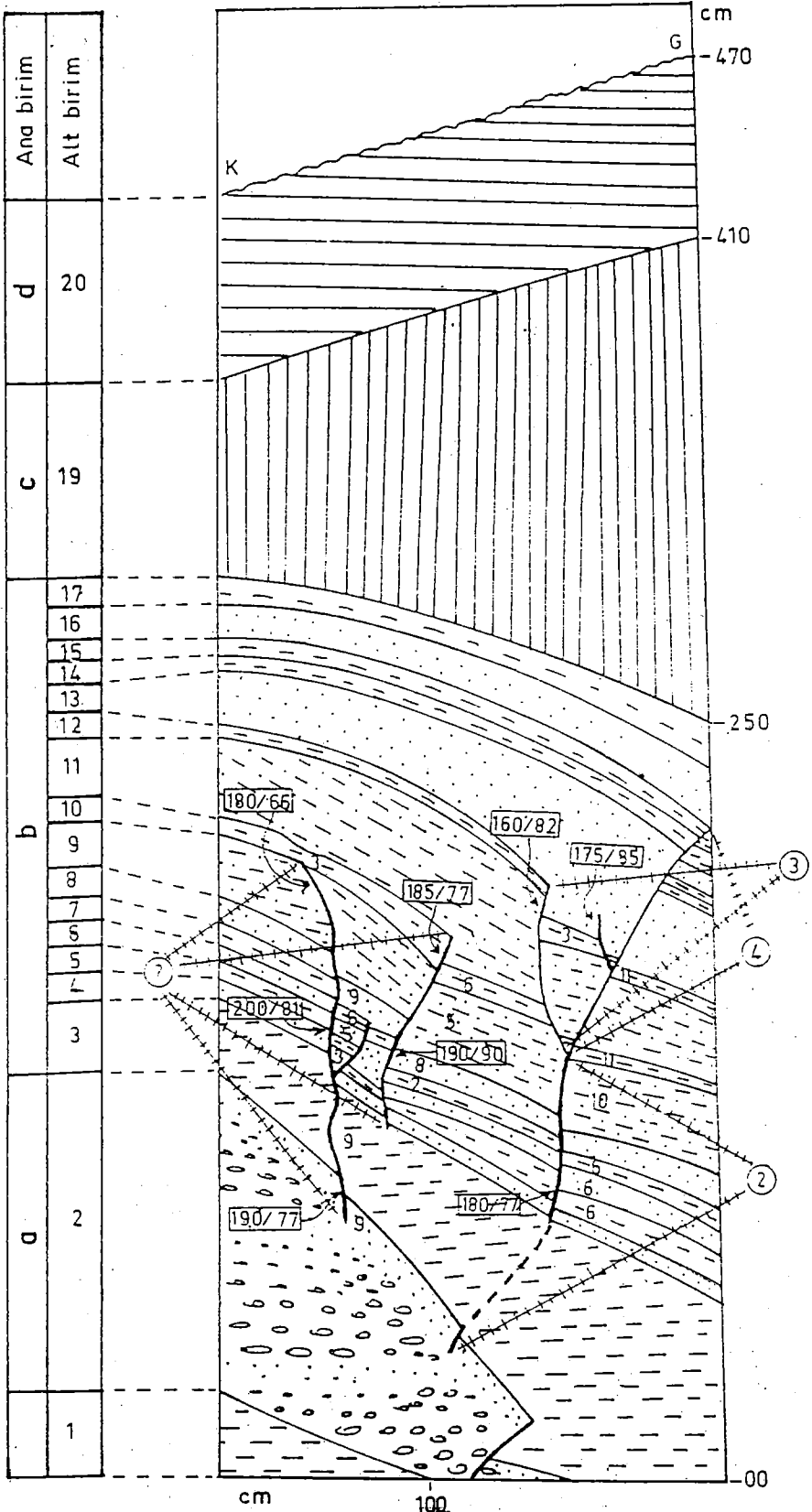
1,2,3 ve 4 nolu depremlere genel olarak baktığımızda, bölgede oldukça şiddetli bir depremin (1 nolu deprem) meydana geldiği ve sonra uzun bir suskunluk periyoduna (70 cm lik sedimantasyon) girilmiş olduğu görünmektedir.

1 nolu deprem meydana geldikten sonra, 1 nolu depreme göre oldukça küçük (1/6) bir deprem (2 nolu deprem) izlemiştir. 2 nolu depremden sonra 1 nolu depremden sonrakine yakın bir suskunluk periyodu (66 cm lik sedimantasyon) hakim olmuş ve 2 nolu depreme göre iki kat büyüklüğe eşit diğer bir deprem (3 nolu deprem) meydana gelmiştir. 3 nolu deprem oluşuktan sonra daha kısa bir suskunluk periyoduna (5 cm lik sedimantasyon) girilmiştir. Bu suskunluk periyodundan sonra 2 nolu depreme eşit ve 3 nolu depreme göre iki kat büyüklükte bir deprem (4 nolu deprem) meydana gelmiştir.

1,2,3 ve 4 nolu depremlerin oluşturduğu genel kırık paterni de şu şekilde gelişmiştir. 2 nolu deprem kırığı, 1 nolu deprem kırığını izlemekte ve depremi izleyen suskunluk periyodunda depolanan üstteki birimleri kırmaktadır. 3 nolu deprem kırığı, 1 nolu deprem kırığının bittiği yerde 2 nolu deprem kırığı ile birleşmekte ve önceki depremlere ile aynı yönelime sahip fakat hemen kuzeyinde yer almaktadır. Aynı şekilde 4 nolu deprem kırığı, 3 nolu depremi izleyen suskunluk periyodunda birikmiş sedimanter birimleri kırmıştır. 3 nolu deprem kırığı ile 10 numaralı birimin içerisinde birleşmekte ve derine doğru diğer depremler ile aynı yolu izlemektedir. 4 nolu deprem kırığı da 3 nolu deprem kırığı ile aynı yöne yönelimli ve biraz kuzeyinde yer almıştır (Şekil 17.19,20 ve 21).



Şekil 20. 1.2. 3 ve 4 Nolu deprem kırıkları. (Batı duvar) 1/20



Şekil 21. 2,3 ve 4 nolu depremler. (doğu duvar) 1/20

5 NOLU DEPREM: 4 nolu deprem meydana geldikten sonra yine uzun bir suskunluk dönemi izlemiştir. Bu dönem esnasında 50 cm lik sedimantasyon meydana gelmiştir. Bu sedimantasyon, 15,16,17,18 ve 19 numaralı birimin alt seviyelerini içermektedir. 5 nolu deprem kırığı, birim a, b ve c'nin alt seviyelerini kırmıştır. Bu depremde karakter olarak önceki depremler ile aynı özelliği taşımaktadır. 5 nolu deprem kırığı, birim a'nın altında yer alan 1 numaralı killi seviyeyi, 2 numaralı çakıllı seviye üzerine bindirmiştir. 5 nolu depremde meydana gelen ortalama düşey atım miktarı 18 cm civarındadır. Bu deprem kırığında meydana gelen düşey atım miktarı, dereceli olarak üstteki birimlerden alttaki birimlere doğru artmaktadır (Şekil 17,22).

5 nolu deprem, büyüklük olarak 3 nolu depreme göre biraz daha büyük olduğu görünmektedir. Bu deprem kırığı 1,2,3 ve 4 nolu deprem kırıklarının biraz kuzeyinde yer almıştır. Kırığın doğrultusu, öncekiler gibi yine güneye yönelimli fakat biraz daha dik bir eğim açısına sahiptir.

6 NOLU DEPREM: 5 nolu deprem oluştuktan sonra kısa bir suskunluk periyodu başlamıştır. Bu dönem esnasında akma gölü kuruyarak birim b nin sedimantasyonu tamamlanmıştır. Bu arada faydaki aktivite, yani faydaki düşey hareketler alüvyal yamaç tortullarının (birim c) gelişimini başlatmıştır. 6 nolu deprem, birim a,b ve c yi kırmıştır. Ancak birim c içerisinde kırığın gidişi izlenememektedir. 6 nolu deprem kırığı, birim a nın altında yer alan 1 numaralı killi seviyeyi kendi ve çakıllı seviye üzerine çıkartmıştır. Çakıllı seviye içerisinde 6 nolu deprem kırığı boyunca, kırığın karşılıklı bloklarında çakıllar tane büyüklüğü, boylanma, derecelenme gibi özellikler açısından farklılıklar göstermektedir. Bu durum doğrultu atımlı fayla yan yana getirilmiş aynı fasiyesin değişik yerlerinde depolanmış tortullarını göstermektedir. Bu depremde ortalama 22 cm lik düşey atım meydana gelmiştir (Şekil 17 ve 22).

6 nolu deprem kırığı, 5 nolu deprem kırığının biraz kuzeyinde yer almıştır. Diğer deprem kırıkları gibi güneye doğru yönelimlidir. 6 nolu deprem büyüklük olarak 5 nolu deprem ile aynı büyüklüğe sahip olduğu anlaşılmaktadır.

7 NOLU DEPREM: 6 nolu deprem meydana geldikten sonra tekrar bir suskunluk dönemine girilmiştir. Bu dönem içerisinde birim b nin üst kısımlarını oluşturan 16 numaralı birimin alt seviyeleri, 17,18 ve 19 numaralı birimin alt seviyeleri aşmıştır. Bu aşınan kısımlar, daha alt kısımlarda birim c'yi oluşturacak biçimde depolanmıştır.

7 nolu deprem kırığı, birim a,b ve c yi kırmıştır. Ancak kırığın birim c içerisindeki gidişi tam olarak izlenememiştir.

Bu deprem kırığı 8 numaralı killi sitli birim içerisinde 6 nolu deprem kırığı ile birleşmiştir. Bu depremde meydana gelen ortalama düşey atım miktarı 20 cm civarındadır (Şekil 17 ve 22).

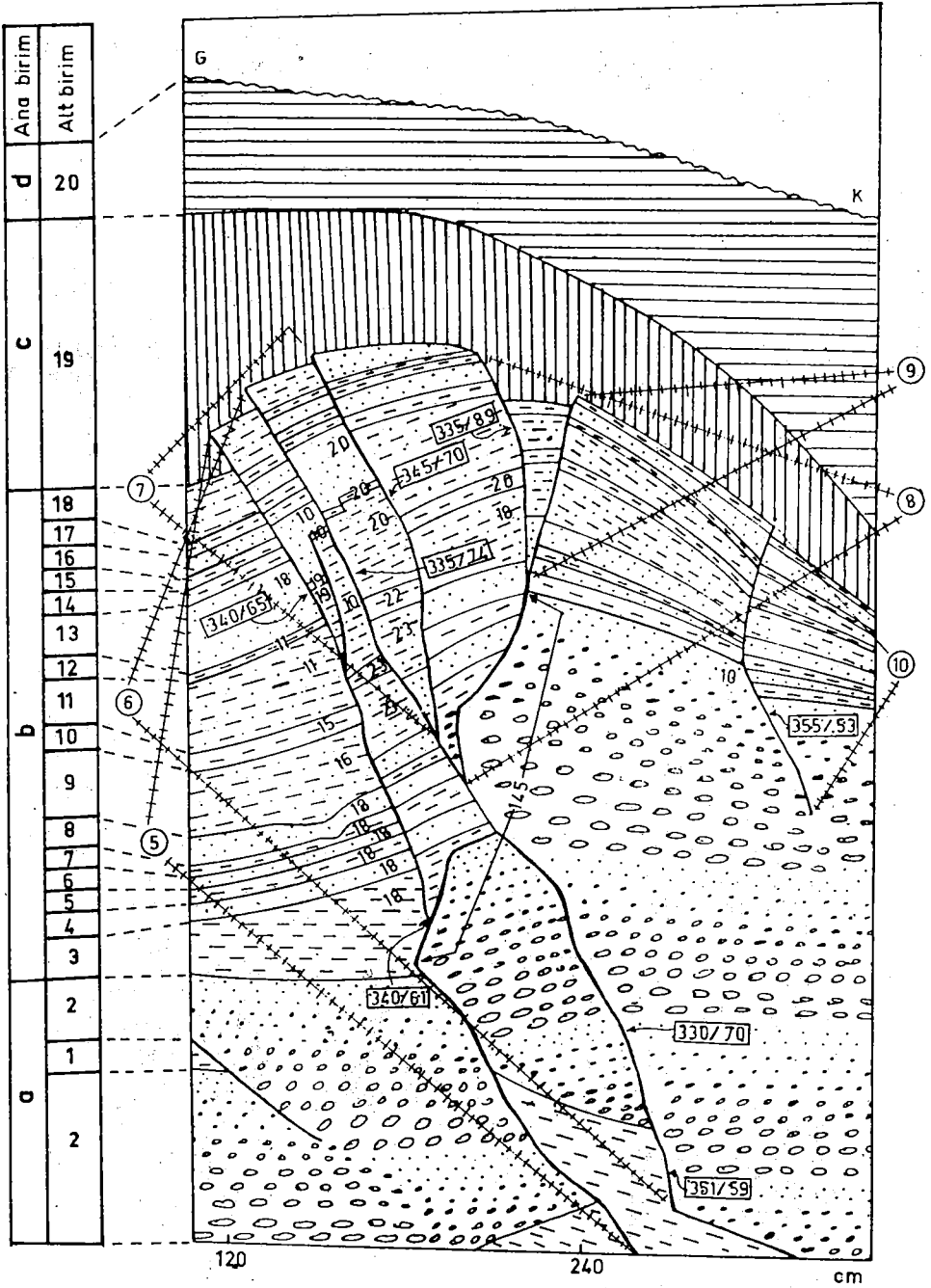
7 nolu deprem kırığı, diğer deprem kırıkları gibi aynı tarafa güneye doğru yönelimli olup eğim açısı 90 dereceye yakındır. Bu deprem kırığı 6 nolu deprem kırığının biraz kuzeyinde yer aldıktan sonra aşağılara doğru 8 numaralı birim içerisinde 6 nolu deprem kırığı ile birleşmekte ve derinlere doğru 6 nolu deprem kırığını izlemektedir. 7 nolu deprem, büyüklük olarak 6 nolu deprem ile aynı büyüklüğe sahiptir.

8 NOLU DEPREM: 7 nolu deprem oluşuktan sonra bir önceki depreme benzer bir suskunluk periyodu başlamıştır. Bu dönem içerisinde birim c nin oluşumu devam etmiş olduğu görülmektedir. Birim c, faydaki düşey hareketlere bağlı olarak alüviyal yamaç tortulları şeklinde gelişmiştir. 8 nolu deprem kırığında ölçülen düşey atım miktarı, diğer depremler ile aynı ve ortalama 18-20 cm civarındadır (Şekil 17 ve 2 2).

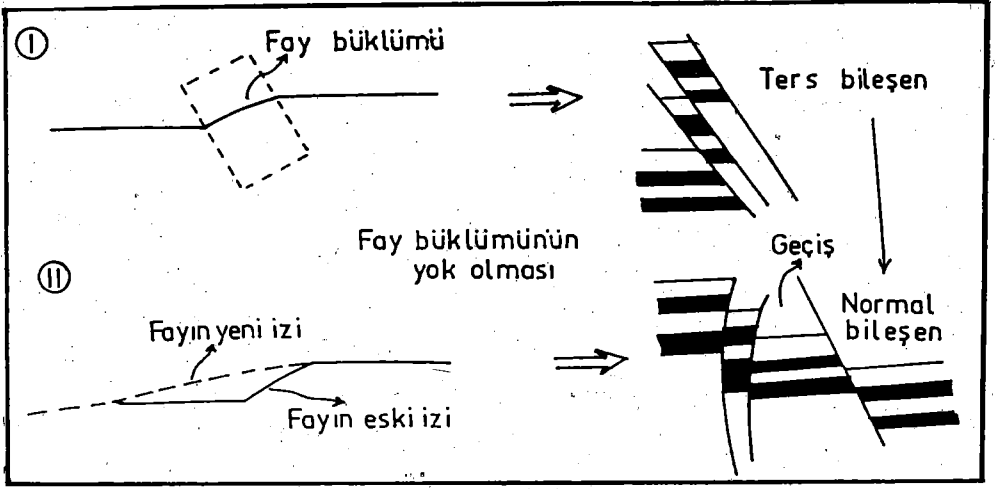
8 nolu deprem kırığı diğer yedi deprem kırığına benzer bir patern göstermektedir. Ancak eğim açısı giderek büyümüş ve 89 derece olmuştur. Bu deprem büyüklük olarak, 6 ve 7 nolu depremler ile aynı büyüklüğe sahip olduğu anlaşılmaktadır.

5.6.7 ve 8 nolu depremleri genel olarak düşündüğümüzde, her bir deprem arasındaki suskunluk periyodunun hemen hemen aynı olduğu anlaşılmaktadır. Her bir depremde meydana gelen düşey atım miktarları, yaklaşık olarak eşittir. Genel olarak, doğrultuları güneye doğru yönelimli, kırık boyunca kuzey blokları güney blokları üzerine bindirmiş ve her bir deprem kırığı daha önceki dört depremde olduğu gibi birbirlerinin hemen kuzeyinde yer alan, derinlere doğru birleşen ve ayrıca eğim açıları dereceli olarak 90 dereceye yaklaşan bir kırık paterni sergilemektedirler. Bu patern ancak, doğrultu atımlı bir fay sistemi içerisinde yerel bir sıkışma sonucu gelişebilir.

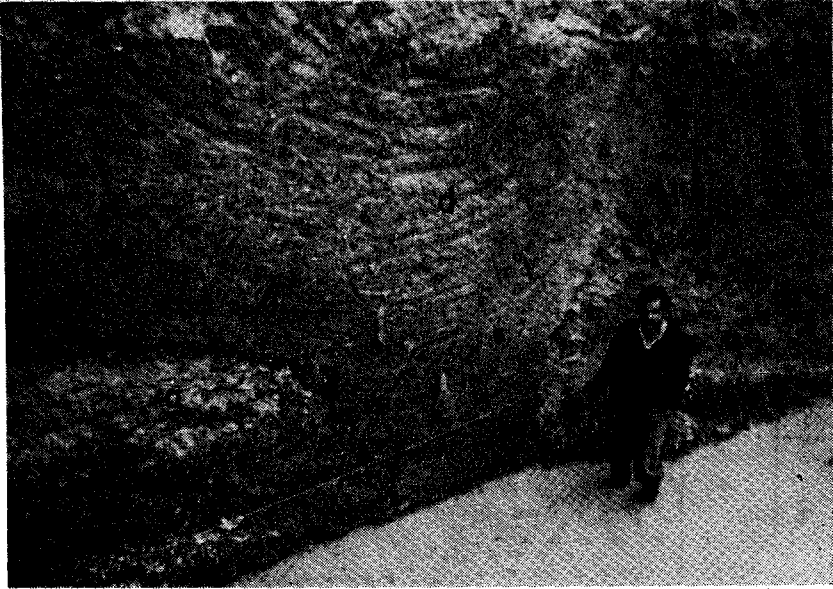
9 NOLU DEPREM: 8 nolu deprem meydana geldikten sonra yine bir suskunluk periyodu egemen olmuş ancak ne kadar bir zamanın olduğu sedimantasyondan anlaşılmamaktadır. Bu dönem içerisinde belki, birim c nin oluşumu tamamlanmış ve birim d depolanmaya başlamış olabilir.



Şekil 22. 5,6,7,8,9 ve 10 Nolu deprem kırıkları. 1/20



Şekil 23. Doğrultu atımlı fay sistemi içerisinde fay bükümünün yavaş yavaş yok olması ile ters bileşenli bir fay paterninden normal bileşenli bir fay paternine geçiş.



Şekil 24. 1957 ve 1967 deprem kırıkları.
 (11 ve 12 nolu dep remler-batı duvar)
 a: çakıllı seviye b: Taşkesti fm. c: alt toprak seviyesi
 d: üst toprak seviyesi

Bu depremde meydana gelen düşey atım miktarı ortalama 10 cm civarındadır. Bu deprem kırığının birim c içerisindeki devamı takip edilememektedir (Şekil 17,22).

9 nolu deprem kırığı, ilk 7 depremin tersine kuzeye doğru yönelimli ve güney blok kuzey blok üzerine bindirir şekilde bir patern göstermektedir. 9 nolu deprem kırığı, 8 numaralı killi siltli ve 5 numaralı killi seviyenin sınırında 8 nolu deprem ile birleşmekte ve derine doğru 8 nolu deprem kırığını izlemektedir. Bu deprem, büyüklük olarak bir önceki depremden biraz daha küçük olduğu anlaşılmaktadır.

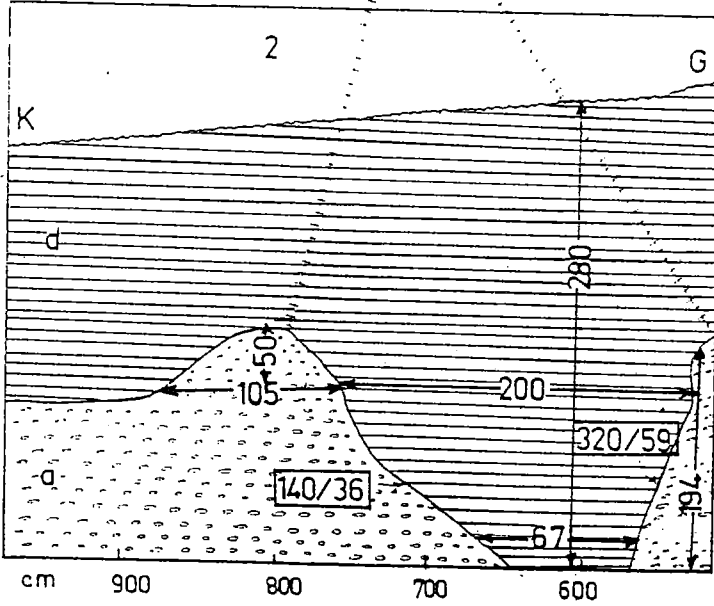
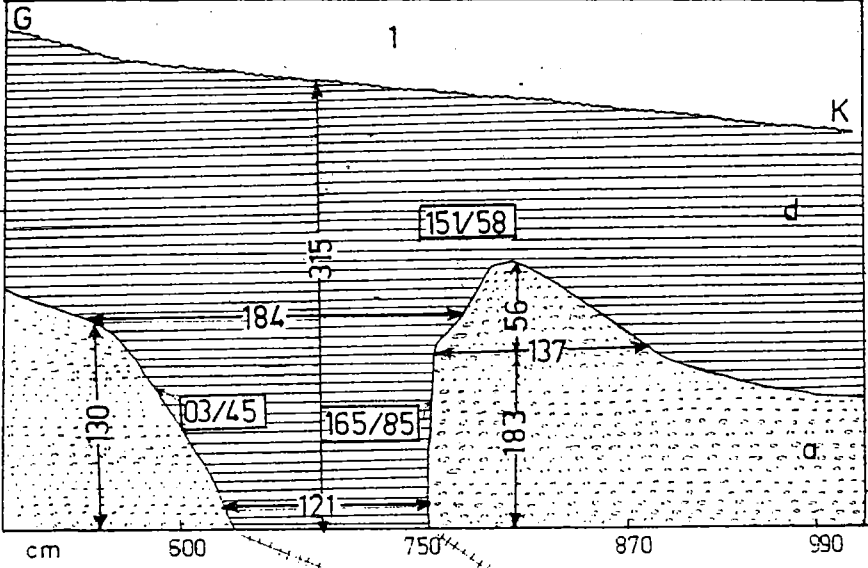
10 NOLU DEPREM: 9 nolu depremden sonra tekrar kısa bir suskunluk dönemi başlamıştır. Bu dönem içerisinde birim d nin oluşumu devam etmiş ve giderek kalınlaşmıştır. 10 nolu deprem karakter olarak 9 nolu depreme benzerlik göstermektedir. Bu deprem, ortalama 10 cm civarında bir düşey atım meydana getirmiştir (Şekil 17 ve 22).

10 nolu deprem büyüklük olarak 9 nolu deprem ile aynı büyüklüğe sahip olduğu görülmektedir.

9 ve 10 deprem kırıklarına genel olarak bakıldığında, patern olarak diğer sekiz depremle aynı fakat ters yönelimli ve güney blokları kuzey blokları üzerine bindirmiş olduğu görülmektedir. 9 ve 10 nolu depremler, ana fayın yerel sıkışmaya neden olan fay bükümünü bu 10 deprem ile yavaş yavaş yok ederek kendine daha düzgün bir yol aldığını ve 1957 ve 1967 deprem kırıklarında gözlenen doğrultu atımlı fayın normal bileşeni ise, bu büküm alanının tamamen yok olduğunu göstermektedir (Şekil 17.22 ve 23).

9 ve 10 nolu depremler diğer 8 depremden biraz daha küçük magnitüdlere sahip depremler olarak görülmektedirler.

11 VE 12 NOLU DEPREMLER (1957 ABANT VE 1967 MUDURNU VADİSİ DEPREMLERİ) : Şekil 17,19,24 ve 25 de birim a ile temsil edilen 2 numaralı çakıllı seviye üzerine uyumsuz olarak birim d gelmekte ve birim b ve c kaybolmaktadır. 10 nolu depremden sonra oldukça uzun bir suskunluk periyodu hakim olmuştur. Bu dönem içerisinde birim d oluşmuş ve oldukça kalın bir seviyeye erişmiştir.



Şekil 25. 11 ve 12 Nolu deprem kırıkları (1957 ve 1967 deprem kırıkları)
 1: batı duvar 2: doğu duvar. a: Çakılı seviye, d: Üst toprak seviyesi

Trenchin doğu ve batı duvarlarında 11 ve 12 nolu depremlerin çakıştığı açık bir Şekilde görülmektedir. 11 nolu deprem 1957 Abant ve 12 nolu deprem de 1967 Mudurnu vadisi depremlerine karşılık gelmektedir (Şekil 17,19,24 ve 25). 11 ve 12 nolu depremler patern olarak ilk 10 depremden oldukça büyük farklılıklar göstermektedir. nk bu deprem kırıklarında doğrultu atımlı fayın ters bileşenleri yerine normal bileşenleri gelişmiştir. Bu deprem kırıkları zemin yüzeyine doğru bir genişleme meydana getirmiş ve birim a'nın çakıllı seviyeleri u kısımlarını hafif yükselterek kubbeleştirmiştir. Her iki kırık, en genç birim olan birim d yi kırarak yeryüzüne ulaşmıştır. Yeryüzüne doğru tansiyonel karakter sonucu bir açılma meydana gelmiş ve birim d bu açılan kısmı bir sedimanter dayk Şeklinde doldurmuştur. Birim d bu kısımda 280-315 cm arasında değişen oldukça kalın bir seviyeye erişmiştir. Her iki duvarda bu açılma, çakıllı birimin en st seviyesinde 184-200 cm , trench duvarlarının alt kısımlarına doğru 67-121 cm bir genişlik göstermektedir. Daha derinlere doğru tek bir kırık haline geçmektedir.

Trenchin doğu ve batı duvarlarında 1957 ve 1967 depremlerinin meydana getirdiği toplam 150 cm ye yakın düşey atım (doğrultu atımlı fayın normal bileşenini olarak) llmştir. Bu lien 150 cm lik düşey atım miktarı, 1957 Abant ve 1967 Mudurnu Vadisi depremlerinde meydana gelen 120 ve 40 cm lik düşey atımların bir toplamı Şeklinde görünmektedir. Dolayısıyla, bu atım miktarının tek bir düşey atım olarak görünmesi, fayın bu kesiminde her iki deprem kırığının çakıştığını kanıtlamaktadır (Şekil 17,19,24 ve 25).

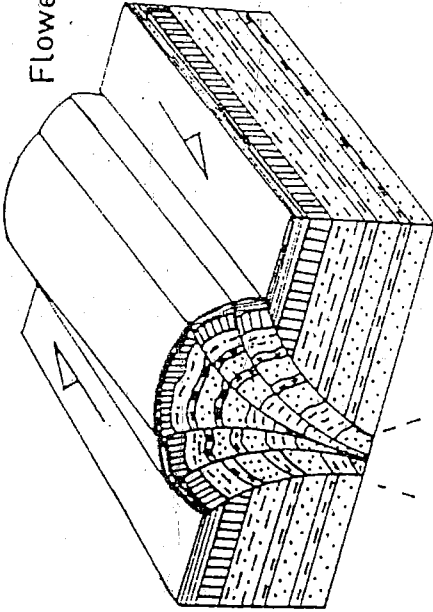
26 Mayıs 1957 Abant depremi: 1957 Abant depremi ($M=7.1$), 1.2.1944 Gerede-Bolu deprem kırığının batı ucunda Abant gölü'nün kuzey yamaçlarından başlayarak Dokurcun'a kadar uzanan Kuzey Anadolu fayının 40 km uzunluğundaki bir bölümünü kirmiştir. 1957 Abant depreminin yüzey faylanması, doğuda Abant gölü, Seymen deresi, Güney mahallesi, İğneciler, Elmacıkdere, Yeğendere, Sveky, Ortaköy ve Mudurnu Nehri izleyerek Dokurcun'a kadar uzanan bir bölgede gözlenmiştir. 1957 Abant deprem kırığının İğneciler-Taşkesti arasında kalan yaklaşık 15 km lik bölümü Pliyoo-Kuvaterner yaşlı Taşkesti formasyonu içerisinde yer almıştır.

1957 Abant depremi, 160 cm lik sağ yönlü yatay ve 40 cm lik düşey atım (kuzey tarafı aşağıya dşmiş) meydana getirmiştir. bu depremin episantrı 41K-31D koordinatlarında Seymenderesi içerisinde yer almıştır.

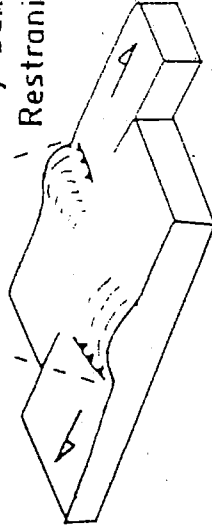
22 Temmuz 1967 Mudurnu Vadisi depremi: 1967 depremi ($M=6.8$), Güney Mahallesi (Bolu'nun güneybatısı) ile Sapanca gölü(Adapazarı) arasında uzanan Kuzey Anadolu fayının 80 km lik bir segmentini kırmıştır. Bu deprem kırığının 25 km lik en doğu kısmı 10 yıl önce 1957 Abant depremi tarafından kırılan bir zon içerisinde yer almıştır. 1967 deprem kırığı, bu 25 km lik kesimde 1957 deprem kırığı ile çakışırken, fay zonunun diğer kısımlarında 1957 deprem kırığını ve ana fayı tam olarak izlememiş ve ona paralel olarak zonun en zayıf taraflarını takip etmiştir.

1967 Mudurnu Vadisi depremi, 190 cm sağ yönlü yatay ve 120 cm lik düşey (kuzey tarafı aşağıya doğru kaymış) atımlar meydana getirmiştir (Ambraseys ve diğ. 1968).

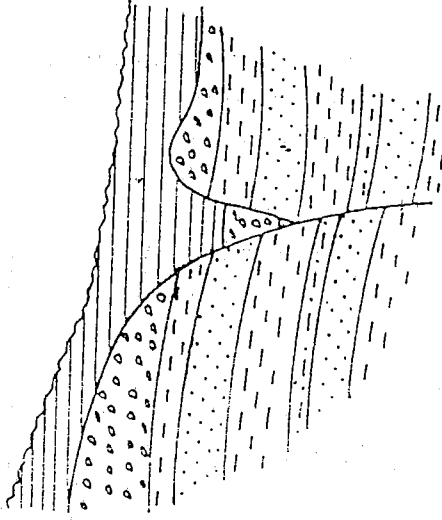
Flower structure



Fay bükümü
Restraining bend



1957 ve 1967 deprem kırıkları



Şekil 27. 1957 ve 1967 deprem kırıklarının çıkışması ve derinlere doğru tek bir kırık haline geçişi.

Şekil 26. Fay bükümü ve gelişen pozitif çiçek yapısı.

TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Trench duvarlarında Pliyo-Kuvaterner yaşlı Taşkesti formasyonuna üst seviyelerine ait, gölsel-akarsu kanal kenarı ve alüviyal bir yamaç ortamında, muhtemelen son 2000-2500 yıl içerisinde oluşmuş 4 ana birim ayırt edilmiştir. Bu 4 ana birim 20 alt birimden oluşmuştur (Şekil 13).

Trenchin doğu ve özellikle batı duvarlarındaki fay paterni, doğrultu atımlı bir fayın bindirme bileşenleri şeklinde gelişmiş, tipik bir çiçek yapısını yansıtmaktadır (Şekil 26).

Bu alanda gözlenen pozitif çiçek yapısı, ana fayın bu bölge içerisinde lokal bir sıkışma zonu içerisine girdiğine işaret etmektedir.

Trenchin doğu ve batı duvarlarının güneye yakın bölümlerinde, ana fayın bindirme bileşenleri hakim durumdayken, kuzeye doğru olan bölümlerinde normal bileşenlerin egemen olduğu bölüme geçilmektedir. Bu durum, ana fayın lokal sıkışma bölgesinde, fay büklümünü yavaş yavaş elimine ederek kendisine daha düzgün bir yol bulup, normal bileşenlerin hakim olduğu rahatlama bölgesine geçtiğini göstermektedir (Şekil 23). Benzer şekilde, 1957 Abant ve 1967 Mudurnu vadisi depremlerinin normal bileşenli doğrultu atımlı odak mekanizması çözümleri, bu olayı desteklemektedir.

Trenchin doğu ve batı duvarlarında birim a'nın üzerine uyumsuz olarak gelen en genç birimi temsil eden birim d'yi kıran en genç deprem kırıkları, 1957 Abant ve 1967 Mudurnu Vadisi depremleridir. Bu iki deprem kırığı çakışmış ve toplam 150 cm'lik düşey atım meydana getirmiştir. Bu deprem kırıkları, zemin yüzeyine yakın kısımlarda tansiyonel rejim sonucu bir açılma meydana gelmiş ve açılan kısım en genç birim olan birim d ile doldurulmuştur. Bu açılma, trenchin tabanına doğru dereceli olarak daralarak tek bir kırık haline geçmiştir (Şekil 27).

Ana fay boyunca sedimanter birimler ve faylı ilişkileri, stratigrafik bir kesit içerisinde faylanma meydana geldikten sonra biriken sedimanter birimler tarafından örtülen ikincil fayların belirli yerlerde sona ermeleri, aynı stratigrafik kesit içerisinde hemen birbirleri üzerine gelen komşu birimler arasında görülen oldukça farklı düşey atım

miktarları ve kırık boyunca fasiyes ve kalınlıkları farklı aynı birimlerin yanyana getirilmesi gibi özelliklere dayanarak, trenchin batı duvarında 12 tarihsel deprem ayırt edilmiştir (Şekil 17,20,22 ve 25). Ançak, radyometrik yaş tayini (C 14) ile ilgili sonuçlar henüz değerlendirme aşamasında olduğu için bu tarihsel depremlerin kesin yaşlandırılmaları verilmemiştir. İleriki bir zamanda C 14 sonuçları ile faylanma olaylarının yaşları hakkında daha detaylı bir bilgi sunulacaktır.

Batı duvarda gözlenen ve birbirlerine göre biraz kuzeyde yer alan ve bindirme bileşenli bir karakterden normal bileşenli bir karaktere geçen kırık paterni, Kuzey Anadolu fayının bu segmenti içerisinde oluşmuş farklı deprem serilerine ait tarihsel depremleri göstermektedir.

Bu bölgede oluşan tarihsel depremler üç farklı tekrarlanma aralıkları göstermektedir. İlk önce oldukça şiddetli bir deprem, sonra küçük bir deprem ve daha sonra de küçüğe göre daha büyük bir deprem meydana gelmektedir.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma, 1985 yılından beri yürütülmekte olan "Türk-Alman İşbirliği Depremlerin Önceden Bilinmesi Projesi " içerisinde sürdürülmektedir. Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde yardımcı olan Afet İşleri Genel Müdürü Oktay Ergünay'a, Postdam Jeolojik Araştırmalar Merkezi Başkanı Prof. Dr. Zschau'a, Deprem Araştırma Dairesi Başkanı Sinan Gençoğlu'na ve Sismoloji Şube Müdürü Rüçhan Yılmaz'a teşekkür ederim.

Söz konusu proje kapsamında yapılan bu araştırmanın arazi çalışmaları, Postdam Jeolojik Araştırmalar Enstitüsü'nde görevli Dr. Gero Michael'in katılımıyla gerçekleştirilmiştir.

KAYNAKLAR

- Allen, C.R., Geological criteria for evaluating seismicity, Geol. Soc. Am. Bull., Vol 86, pp 1041- 1057, August 1975.
- Ambraseys, N.N., Zatopek, A., Taşdemiroğlu, M. and Aytun, A., The Mudurnu Valley (West Anatolia) earthquake of 22 July 1967. A.C. Press, London, 1968.
- Ambraseys, N.N., Some characteristics features of Anatolian fault zone. Tectonophysics, Vol 9, pp 143-165, 1970.
- Ambraseys, N.N., Studies in historical seismicity and tectonics, Geodynamics Today, Royal Soc. Pub., London, 1975.
- Amraseys, N.N.. and Finkel, C.F., The Anatolian earthquake of 17 August 1668, 1986.
- Barka, A.A., and Hancock, P.L., Neotectonic deformation patterns in the convex-notwards arc of the North Anatolian fault zone. In DIXON, J.E. and ROBERTSON, A.H.F., The Geological Evolu. of the Eastern Mediterranean. Spec.Pub. Soc. London, pp 763-74, Blacwel Sic. Pub., Oxford, 1984.
- Cantez, N., Yeni Kabuk hareketlerine ilişkin çalışmalar ve Kuzey Anadolu fay problemi. KAF ve Deprem Kuşağı Simpozyumu, MTA yayını, s 35-38, 1973.
- Demirtaş, R., İğneciler (Bolu)-Dokurcun (Adapazarı) arasında Kuzey Anadolu fay zonunun neotektonik özellikleri ve deprenselliği, Yüksek lisans tezi. A.Ü.Fen Bilimleri Enstitüsü, 1993.
- Demirtaş, R., ve Yılmaz, R., 13 Mart 1992 Erzincan depremi yüzey kırıkları, 13 Mart 1992 Erzincan Depremi Raporu, B.İ.B Afet İşleri Gen. Müd. Deprem Araştırma Dairesi yayınları, Haziran 1993.
- Dewey, J.W., Seismicity of Northern Anatolia. Seis. Soc. Am. Bul., Vol 66, No 3, pp 843-868.
- Ergünay, O., and Zschau, J., Introduction to the Turkish-German Earthquake Research Project. In Turkish-German Earthquake Research Report, 1989.
- Grant, L.B., and Sieh, K., Stratigraphic evidence for 7 meters of dextral slip on the San Andreas fault during the 1857 earthquake in the Carrizo Plain. Seis. Soc. Am. Bull., Vol 83, No 3, 619-635, June 1993.
- Ikeda, Y., Suzuki, Y., Herece, E., Şaroğlu, F., and Işıkkara, A., Geological evidence for the last two faulting events on the Northern Anatolian fault zone in the Mudurnu Valley, Western Turkey, Tectonophysics, 193, 335-345, 1991.
- Ketin, İ., Kuzey Anadolu fayı hakkında, MTA Dergisi, No 72, 1969.

- Kuran, U., and Yalçiner, A., Crack propagation, earthquakes and tsunamis in the vicinity of Anatolia, Kluwer Academic Pub., pp 159-175. 1991.
- McKenzie, D., Active tectonics of the Mediterranean region, Royal Astro. Soc. Geoph. Jour., Vol 30, pp 109-185, 1972.
- Öcal, N., Abant Zelzelesi. İstanbul Kandilli Rasathanesi Yayınları, No 4, 1959.
- Seymen, I., Kelkit Vadisi kesiminde Kuzey Anadolu fayının tektonik özelliği, İTÜ Maden Fak. Yay. pp 192, İstanbul.
- Sieh, K., Prehistoric large earthquakes produced by slip on the San Andreas fault at Pallet Creek, Jour. Geoph. Res., Vol 83, pp 3907-3939, 1978 a.
- Sieh, K., Lateral offsets and revised dates of large earthquakes at Pallet Creek. California. Jour. Geoph. Res., Vol 89, pp 7641-7670. 1984.
- Sieh, K., and Jahns, R.H., Holocene activity of San Andreas fault at Wallace Creek. California, Geo. Soc. Am. Bull., Vol 95, pp 883-896, 1984.
- Sieh, K., Stuiver, M., Brillinger, D., A more precise chronology of earthquakes produced by the San Andreas fault in South California. Jour. Geoph. Res., Vol 94, No B1, pp 603-623, January 1989.
- Tokay, M., Kuzey Anadolu fay zonunun Gerede-Ilgaz arasındaki kısmında jeolojik gözlemler, KAF ve Deprem Kuşağı Simpozyumu, MTA yayını, Ankara.
- Toksöz, M.N., Shakal, A.F., and Michael, A.J., Space-time migration of earthquakes along the north Anatolian fault zone and microseismic gap, Pure App. Geophy. 117, 1258-1270.
- Wallace, E., Behavior of different segments of the San Andreas fault. Earth. Inf. Bull., Vol 10, No 4, pp 126-130. July-August 1978.
- Wallace, E., How often will earthquakes reccur on the San Andreas fault ?, Earth. Inf. Bull. Vol 10 No 3, pp 76-81. May-June 1978.

DEPREM ARAŞTIRMA BÜLTENİ YAYIN KOŞULLARI

1. Bülten'e gönderilecek telif ve tercüme yazılarının :
 - a) Depremle doğrudan doğruya, ya da dolaylı yoldan ilgili olması,
 - b) Bilimsel ve teknik bir değer taşıması,
 - c) Yurt içinde daha önce başka bir yerde yayınlanmamış olması,
 - d) Daktilo ile ve kağıdın yalnız bir yüzüne en az iki nüsha olarak yazılmış bulunması,
 - e) Şekillerin aydınlar kağıdına çini mürekkebi ile çizilmiş olması,
 - e) Fotoğrafların net ve klişe alınmasına müsait bulunması gerekmektedir.
2. Telif araştırma yazılarının baş tarafına araştırmanın genel çerçevesini belirten en az 200 kelimelik İngilizce, Fransızca ya da Almanca bir özet konulmalıdır.
3. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı mensubu elemanları tarafından hazırlanan ve telif ya da tercüme ücreti ödenerek yayınlanacak olan yazıların, mesai saatleri dışında hazırlanmış olduğu yazan derleyen, ya da çevirenin bağlı bulunduğu birim amiri tarafından (genel müdürlüklerde daire başkanı, müstakim birimlerde birim amiri) verilecek bir belge ile belgelendirilmesi zorunludur. Bu belge ile birlikte verilmeyen yazılar için ücret ödenmez.
4. Telif ve tercüme ücretleri ancak yazı bülte'de yayımlandıktan sonra tahakkuka bağlanır.
5. Bülte'de yayımlanacak yazılara, «Kamu Kurum ve Kuruluşlarınınca Odenecek Telif ve İşlenme Ücretleri Hakkında Yönetmelik» esaslarına göre ücret ödenir.
6. Yazılarda bulunan şekiller için, gerekli olan asgari alan içinde bulunabilecek kelime sayısına göre ücret taktir edilir.
7. Yazıların bülte'de yayımlanması Genel Müdürlüğümüz bünyesinde teşekkül eden Uzmanlar Kurulu'nun kararı ile olur.
8. Seçmeyi yapacak Uzmanlar Kurulu 5. maddede sözü edilen asgari alanları hesaplamaya, yazı sahiplerine gereksiz uzatmaların kısıtlanmasını teklif etmeye, verilecek ücretlere esas teşkil edecek kelime sayısını tesbit etmeye ve yazıların yayın sırasını tayine yetkilidir.
9. Kurulca incelenen yazıların bülte'de yayımlanıp yayımlanmayacağı yazı sahiplerine yazı ile duyurulur.
10. Yayınlanmayacak yazılar bu duyurmadan sonra en geç bir ay içinde sahipleri tarafından geri alınabilir. Bu süre içinde alınmayan yazıların korunmasından Genel Müdürlüğümüz sorumlu değildir.
11. Yayınlanan yazılardaki fikir, görüş ve öneriler tamamen yazarlarına ait olup, Afer İşleri Genel Müdürlüğünü bağlamaz ve Genel Müdürlüğümüzün resmi görüşünü yansıtmaz.
12. Diğer kuruluşlar ve Bakanlık mensupları tarafından bilgi, haber tanııtma vb. gibi nedenlerle gönderilecek not ve açıklamalar, ya da bu nitelikteki yazılar için ücret ödenmez.
13. Genel Müdürlüğümüz mensupları Genel Müdürlükçe kendilerine verilen görevlere ait çalışmalarından ötürü her hangi bir telif ya da tercüme ücreti talep edemezler.