

## 9. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

KAFZ'nun Gerede-Abant Gölü arasında kalan yaklaşık 100 km uzunluğunda ve 5-10 km genişliğindeki kesimi ayrıntılı olarak incelenerek ve haritalanarak aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

1- İnceleme alanında, Bolu havzası ve civarında, neotektonik dönemde çökelmiş birimler, değişik araştırmacılar (Tokay vd. 1974, Öztürk vd. 1984, Sipahioğlu 1984, Paluska vd. 1989, Koçyiğit 1990, Demirtaş 1993, Şaroğlu vd. 1995) tarafından haritalanmış fakat formasyon mertebesinde ayırtlanmamıştır. İlk defa bu çalışmada neotektonik birimler, Ocuklar formasyonu, Yeniçağa formasyonu, Çaygökpınar formasyonu, Sultanbey formasyonu, Üçtepeler formasyonu ve Soku formasyonu olarak ayırtlanmış ve adlandırılmıştır. Bu formasyonların, KAFZ'nun denetiminde gelişmiş havzalarda çökeldikleri düşünülmektedir.

2- İnceleme alanında, KAFZ'nun kuzey ve güney kesimlerinde yüzeyleyen birimlerdeki farklı yapısal elemanlar, farklı tektonik evre ile ilgili olduklarını göstermektedir. Nitekim, Üst Kretase-Eosen aralığında, Anatolid ve Pontid kıtaları çarpışmış ve kenetlenmiştir (Blumenthal 1945a; Tokay 1972; Yılmaz vd. 1981; Öztürk vd. 1984; Şaroğlu vd. 1995). Araştırmacılar, bu çarpışmanın eseri olarak bir melanj yığılma prizmasının (Arkotdağı Karmaşığı) geliştiğini ileri sürmüşlerdir. Alt-Orta Eosen aralığında, bu çarpışma sonucu devam eden KD-GB yönlü sıkışmalar, bölgede KB-GD yönlü kıvrımlar ve ters fayların gelişmesine neden olmuştur. Nihayet, Orta Miyosen'de Arap ve Avrasya levhalarının çarpışmasıyla (Şengör ve Yılmaz 1981), devam eden K-G yönlü sıkışma, Erken Pliyosen sonlarından itibaren batıya doğru kaçan Anadolu bloğunun kuzey ve güney sınırlarını oluşturan kıta-içi transform faylar olan KAFZ ile DAFZ'nun oluşumuna neden olmuştur. Böylece Türkiye'de neotektonik dönem başlamıştır (Koçyiğit 1990, Koçyiğit vd. 1995, Şaroğlu vd. 1995, Koçyiğit ve Beyhan 1998, Koçyiğit vd. 1999). Bölgede ise Geç Pliyosen-Günümüz aralığında, KAFZ yerleşmiş ve doğrultu atımlı faylanma egemen olmaya başlamıştır.

3- İnceleme alanında, daha önce değişik araştırmacılar (Tokay 1973, Tokay vd. 1974, Öztürk vd. 1984, Sipahioğlu 1984, Paluska vd. 1989, Koçyiğit 1990, Demirtaş 1993, Şaroğlu vd. 1995) tarafından haritalanmış neotektonik döneme ait 6 adet fay takımı ayırt edilmiştir. Her bir fay takımında, bazı fayların adlanması aynen kullanılmış, bazıları da ilk defa bu çalışmada haritalanmış ve adlandırılmıştır. KAFZ'nun izi ayrıntılı olarak haritalanmış ve 1944 Gerede-Bolu depreminin yüzey kırıklarının ana fayı ya da ona paralel ikincil fayları izlediği saptanmıştır. İlk kez bu çalışmada ortaya konan Bolu-Mengen Fayı ile KAFZ'nun ana fay izi arasında, Crowel (1974a) tarafından ileri sürülen " sıkışma tipi fay kesişmesi " modeline uygun bir kamanın geliştiği öne sürülmüştür.

4- İnceleme alanı doğusunda KAFZ'nun, oldukça düzgün bir gidiş gösterdiği, batısında, eski zayıflık düzlemleri ve fay geometrisine (fay büküm ve sıçramaları) bağlı olarak sürekli doğrultu değiştirdiği gözlenmiştir. Gerede-Abant

arasında ana fay izinin K70-75D'dan Dokurcun Vadisi'nde K80-85B'ya ve Beldibi civarında K70-75B'ya değişmesi, KAFZ ile İç-Pontid Okyanusu'na ait zayıflık düzlemleri arasında bir etkileşimin olduğunu ve KAFZ'nun bu zayıflık düzlemlerini yeniden kullandığını göstermektedir. İnceleme alanı ve komşu segmentlerde çalışmış değişik araştırmacılar (Tokay 1973, Erkal 1991, Huss 1992, Michel 1993, Yiğitbaş vd. 1998a, Yiğitbaş vd. 1998b, Tüysüz 1998) tarafından da benzer görüşler öngörülmüştür. Örneğin; Michel (1993) Abant-Taşkesti arasında 50-60 derece doğrultulu yitim zonu ile Taşburun-Beldibi arasındaki birkaç bindirme fayının, Erken Eosen esnasındaki ilk transpresyonel evreyi temsil ettiğini bildirmiş, ilk zonun BKB-DGD doğrultulu yitim zonunu bağlayan bir transform fay olarak başladığını ve bu zonun yeniden kullanıldığını ileri sürmüştür. Araştırmacı bu süreç sırasında sıkışma yönünün KD-GB'dan K-G'e rotasyona uğramış olduğunu bildirmiştir.

**5-** İnceleme alanı, Kuzeybatı Anadolu'da, Üst Kretase-Eosen aralığında sıkışma; günümüzde genişleme ve doğrultu atım tektoniğinin etkisi altında kalmış bir bölgede yer almaktadır. Mesozoyik sonu-Günümüz arası dönemde üç farklı tektonik evre geçirmiş bölgedeki yüzeyleyen birimlerin yamulma özellikleri, KAFZ'nun oluşumu öncesi ve sonrasında gerilme eksen yönlerinin çok farklı olduğunu belgelemektedir. Eosen başlarında KD-GB yönünde olan sıkışma eksen yönü, Eosen-Üst Miyosen döneminde K-G ve Üst Miyosen-Alt Pliyosen aralığında BKB-DGD olarak elde edilmiştir. Alt-Orta Eosen sırasında, Pontid ve Anatolidler'in çarpışmasıyla devam eden GGB-KKD yönlü sıkışma etkisi altında saf makaslama hareketine uğrayan Gerece segmenti, neotektonik dönemde KAFZ'nun denetiminde basit kesme mekanizması etkisi altında kalmıştır. Arazide ölçülmüş fay düzlemi yönelimleri, ana sıkışma eksen yönünün saat ibresi yönünün tersinde KKD-GGB'dan KB-GD'ya döndüğünü göstermektedir. Ayrıca bölgenin Ege bölgesindeki KKD-GGB yönlü çekme etkisi altında kaldığı da açıkça görülmektedir.

Günümüzde KAFZ'nun batı kesimini de içeren Batı Anadolu'nun tektonik gelişimi ile ilgili birçok tektonik model önerilmiştir (Mckenzie 1978, Robertson ve Dixion 1984, Şengör vd. 1984, Şengör vd. 1985, Şengör 1987, Kissel ve Lai 1988, Kissel vd. 1989, Zanchi vd. 1993). Zanchi vd. (1993) Batı Anadolu'nun Neojen ve Kuvaterner tektonik evrimini ortaya koymuşlardır. Araştırmacılar, Orta Miyosen esnasında bölgenin KB-GD, Geç Miyosen'de K-G ve Kuvaterner'de KB-GD yönlü sıkışma ile birlikte KD-GB yönlü gerilmeye maruz kaldıklarını ifade etmektedirler. Araştırmacılar tarafından yapılmış fay kayma çizikleri analizleri,  $\sigma_3$  eksen yönünün Pliyo-Kuvaterner'de K-G den KD-GB yönüne değiştiğini göstermiştir. Zanchi ve Angelier (1993) Ege bölgesindeki hakim gerilme yönünü,  $\sigma_3 = K25D$  olarak bulmuş ve bölgede güneyden kuzeye doğru egemen normal faylanmanın yanında doğrultu atım bileşenin de önem kazandığını belirtmişlerdir.

**6-** Ana sıkışma ekseninin yönü K 25-30 B olarak bulunmuştur.

**7-** İnceleme alanında, ana fay izi ile basit makaslama kırıkları arasındaki açısız ilişkiler, Gerece segmentinin farklı kesimlerinde transpresyonel ve

transtansiyonel bölgelerin olduğunu ortaya koymuştur. Şayet basit makaslama yerine transpresyon olursa normal olarak  $45^0$  'den büyük bir dar açılı söz konusu olur ve normal fay gibi açılma/gerilme yapılarının gelişmesi beklenir. Bu durumda, P yırtılmaları  $15^0$  'den, R' yırtılmaları ise  $75^0$  'den büyük dar açılarla oluşur (Sanderson ve Marchini 1984). Bu alanlar, fay takımları ve fayların ayırt edilmesinde kullanılmıştır.

**8-** Kuzeybatı Anadolu'da K-G yönlü gerilmeler; (1) levha yaklaşımının son evresinde yerel dağ-ıç i havzalar oluşumuna ve kıtasal göçmeler sonucu dağ zincirleri arasında normal gerilmelere (Michel 1993), (2) Ege bölgesi içerisindeki levha hareketleri arasındaki etkileşim (Taymaz vd. 1991) veya yitim ile ilişkili gerilmeden dolayı havza oluşumuna, (3) Avrasya ile Arap levhalarının çarpışmasının son evresinde, KAFZ oluşumundan önce Anadolu levhasını batıya kaçmaya zorlanırken yüzeye yakın gerilmelere neden olmuştur (Dewey vd. 1973).

Alt-Orta Eosen aralığında, KAFZ oluşmadan önce Bolu havzası KB-GD yönünde açılmaya başlamış ve basamak faylarla önemli oranda alçaltılmıştır. Neotektonik dönemde, KAFZ'nun oluşumuyla birlikte, havza KB-GD yönünde sıkışmaya başlamış ve kuzey kenarında yer alan önceki GD'ya eğimli basamak faylarda normal, güney kenarındaki KB'ya eğimli faylarda ise verrev atımlı ters bileşenlerin gelişmesine neden olmuştur. Daha sonra havza tamamen KAFZ'nun denetimi altına girmiştir. Havza kuzey kesiminde taban batıya doğru hareket ederken güney kesimleri doğuya doğru çekilmeye başlamıştır. Bu gelişmeler havza tabanının saat yönü tersinde rotasyona uğratmıştır. Böylelikle günümüzde Bolu havzası, güneyi KAFZ ana kolu denetiminde doğrultu atım egemenliğinde, kuzey kenarı ise verrev atımlı faylar denetiminde, KB-GD doğrultusunda çekilmeye uğramakta ve çek-ayır karakterinde gelişmektedir (Gökten vd. 1998).

Bu çalışmada Bolu havzasının son iki tektonik evrede (Alt-Orta Eosen ve neotektonik dönem) bir hybrid (melez) havza olarak oluştuğu ortaya çıkarılmıştır. Ayrıca, Abant Gölü-Gölköy batısı-Mengen-Eskipazar arasında uzanan Bolu Mengen Fayı, KAFZ'nun oluşumundan sonra 25-30 km'lik yatay atım sonucu Bolu doğusu, Çaydurt-Mengen arasında bir yere yer değiştirdiği düşünülmektedir. Bolu-Mengen Fayı ile KAFZ'nun ana fay izi sıkışma kesişmesi yapacak şekilde birleşmişlerdir. Neotektonik dönemde, Bolu-Mengen fayının ana fay ile birlikte hareket etmesi ile Bolu havzasının açılması tamamlanmıştır. Bolu-Mengen Fayı'nda 9 km, ana faydaki 25-30 km'lik sağ yönlü yatay atım Bolu havzasının şekillenmesinde ve Yeniçağa gölünün açılmasında önemli rol oynamışlardır.

Özellikle, Bolu havzası güneyinde, ana fay ve güneyindeki paralel faylar arasında yer alan pozitif çiçek yapıları, bu iki tektonik evrenin etkileşimi ve fay segmentlerinin sağa sıçrama ve büküm yaptığı yerel sıkışma alanlarına karşılık gelmiştir. Bölgede taşocakları, hendek ve 1967 deprem kırıklarındaki egemen iki eşlenik fay düzlemi yönelimleri, Gerede segmentinin orta ve doğu kesiminin transpresyonel, batı bölümü ve Mudurnu Vadisi segmentinin transtansiyonel

karakterde olduğunu göstermiştir. Diğer yandan, Bolu-Mengen Fayı GD'su ile Yeniçağa Gölü arasında kalan bölgenin gerilme ve Bolu-Mengen Fayı ve KB'sındaki bölgenin ise sıkışma etkisi altında kaldığı gözlenmiştir. Buna karşılık Bolu Havzası kuzeyindeki fay düzlemi yönelimleri, KAFZ'ndan farklı bir sistem yani Alt-Orta Eosen döneminde, saf makaslama hareketi sonucu geliştiklerini ortaya koymuştur.

**9-** Yeniçağa ve Abant gölleri, KAFZ'nun hareketiyle ilgili olarak gelişmiştir. Yeniçağa Gölü'nün, Bolu-Mengen Fayı ile KAFZ'nun ana fay izi arasında kalan bloğun 25-30 km doğuya doğru ilerlemesi sonucu, bloğun GD tarafının çökmesi sonucu oluşmuş olabileceği düşünülmektedir. Abant Gölü ise, Mudurnu Vadisi'nin açılmasına neden olan büyük bir çekme bükümünün doğu ucunda bir çöküntü gölü olarak oluşmuş olabilir. Diğer yandan her iki göl, doğrultu atımlı faylanma sonucu göllere açılan nehir önlerine tepelerin (shutter ridge) getirilmesi sonucu sed-gölleri şeklinde ya da her iki mekanizmanın aynı anda işlemesi sonucu oluşmuş olma olasılıkları da görünmektedir.

**10-** Sultanbey taşocağında ana fay güney duvarı önünde çukurluğa dolan çamurtaşı malzemesinin renk ve litolojisine bağlı olarak eşdeğer kesimlerinin belirlenmesiyle 15.5 m'lik bir sağ yanal atım ölçülmüştür. Gerede yakınlarında fay tarafından ötelenmiş Sarıyer Dere'nin terkedilmiş eski yatakları arasında sağ yanal atım 23+/-8m olarak gözlenmiştir. Bolu havzasının ortasında, Çampınar köyü doğusunda, fayın doğrultusuna dik yönde dikilmiş ağaç dizisi, 1944 depreminde sağ yönde 2.5 m ötelenmiştir. Bu segmentde 1944 ( $M_s = 7.3$ ) gibi bir depremde 2.5-3.5 m arasında bir yanal ötelenmenin meydana geldiği öngörüldüğünde 15.5 m ve 23+/-8 m yanal yer değiştirmeler; hendek duvarlarının stratigrafik ve yapısal özellikleri; ve Bolu havzasının güneyinde, ana fay izi boyunca açılmış taşocaklarındaki farklı zamanlarda gelişmiş toprak seviyeleri, Gerede segmentinde son 2000 yılda oluşan en az sekiz depremin en kısa 200, en uzun 779 yıl aralıklarla tekrarlandığını göstermiştir. Ana fay düzlemi üzerindeki  $5^0$  'lik doğu yan-yatımı da 3 m'lik bir yanal atımda 24 cm'lik bir eğim atım beklenebileceğini ortaya koymaktadır (Gökten vd. 1998). Böylece 1944 ( $M_s = 7.3$ ) büyüklüğündeki depremlerin ortalama 422 yıl aralıklarla yineleniği bulunmuştur. Bu yinelenme aralıklarına göre; segmentin kayma hızı en az 1.27 cm/yıl olarak saptanmıştır.

**11-** İnceleme alanında KAFZ'nun her iki tarafında yüzeyleyen birimlerin birbirinin karşılığı olabileceği düşünülen dokunaklar karşılaştırılmış ve KAFZ'nun toplam atım miktarı ile yaşı ortaya çıkarılmıştır. Bolu civarında, Pliyo-Kuvaterner yaşlı (?) alt-seki çökelleri 8.5 km ve Arkotdağı Karmaşığına ait birimler ise 25-30 km sağ yönde ötelenmiştir.

Gerede segmentinin ortalama yıllık kayma hızı 1.27 cm olarak öngörüldüğünde; alt seki çökellerindeki 8.5 km'lik sağ yanal atım, 670.000 yılda (Alt Pleyistosen) gelişebilir. Ayrıca, bu kayma hızıyla Arkotdağı Karmaşığı'na ait birimlerinin dokunakları arasındaki 25-30 km'lik sağ yanal yerdeğiştirmenin ise 1.97 - 2.36 milyon yıllık (Geç Pliyosen) bir sürede meydana gelebileceği saptanmıştır. Bu durumda, bölgede KAFZ'nun başlangıç yaşı, Geç Pliyosen-Erken Pleyistosen olarak kabul edilebilir.