

BALIKESİR OVASI VE YAKIN ÇEVRESİNİN NEOTEKTONİK ÖZELLİKLERİ VE DEPREMSELLİĞİ*

The Neotectonic Characteristics and Seismicity of Balıkesir Plain and Its Surroundings

Şermin TAĞIL

*Balıkesir Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, 10100-Balıkesir
stagil@balikesir.edu.tr*

Özet: Deprem jeolojik kökenli doğal bir afettir. Alp-Himalaya tektonik kuşağında yer alan Türkiye’de bu doğal afet nedeniyle çok sayıda can ve mal kaybı olmaktadır. Türkiye’nin depremselliği, genel olarak Afet İşleri Genel Müdürlüğü tarafından yapılan Türkiye deprem bölgeleri haritasında gösterilmekle birlikte, lokal alanlarda yapılacak çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle, bu çalışmada Balıkesir Ovası ve yakın çevresinin neotektonik özellikleri ve depremselliğinin ortaya konması amaçlanmıştır. Öncelikle inceleme alanı ve çevresinde deprem üreten diri fayların neotektonik özellikleri üzerinde durulmuştur. Daha sonra ise 1900-2000 yılları arasındaki aletsel döneme ait deprem katalogu uygun istatistiksel yöntemler kullanılarak incelenmiştir. Depremler magnitüdlerine ve derinliklerine göre sınıflandırılmıştır. Bu çalışmanın birinci bölümünde Güney Marmara-Kuzeybatı Ege’de 38°50’N-40°50’N enlemleri ile 26°00’E-29°40’E boylamları arasındaki alanda magnitüdü 4.0 M’den büyük olan depremlerin, ikinci bölümünde ise 39°44’N-39°77’N enlemleri ile 27°76’E-28°15’E boylamları arasındaki Balıkesir Ovası ve yakın çevresinde gerçekleşmiş olan depremlerin dış merkez (episantr) dağılımları incelenmiştir. İnceleme alanında depremlerin gelecekte olma olasılıkları ve kaç yılda bir tekrarlanacakları Poisson modeli kullanılarak hesaplanmıştır. Sonuçlar değerlendirilerek önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Depremsellik, Neotektonik, Deprem Riski, Balıkesir Ovası, Marmara

Abstract: Earthquake is a natural hazard associated with geologic events. In Turkey, which is on the Alp’s Mountain belt, people have lost lives and property because of this disaster. Although seismotectonic regions of Turkey are shown in general on Turkish earthquake map, which is made by General Directorate of Disaster Affairs, studies on local areas are needed. Main objective of this study was to put forward neotectonic characteristics and seismicity of the Balıkesir Plain and its surroundings. Firstly, neotectonic features of the region were studied. Secondly, for this paper, earthquake records between 1900 and 2000 years were examined by suitable statistical methods. Earthquakes’ magnitudes and depths were then classified. In first part of the study, earthquakes’ epicenters more than 4.0 Mw on the Southern Marmara-Northwest Aegean regions between 38°50’N-40°50’N latitudes and 26°00’E-29°40’E longitudes and, in the second part, earthquakes’ epicenters on the Balıkesir Plain and its surroundings between 39°77’N-40°50’N latitudes and 27°76’E-28°15’E longitudes were shown and analyzed on the maps. In the study area, probability of earthquake occurrences and

* Bu makale, Türkiye Bilimler Akademisi (TÜBA) tarafından desteklenen “Balıkesir Ovası ve Yakın Çevresinin Fiziki Coğrafyası” adlı doktora tezinin bir bölümünü oluşturmaktadır.

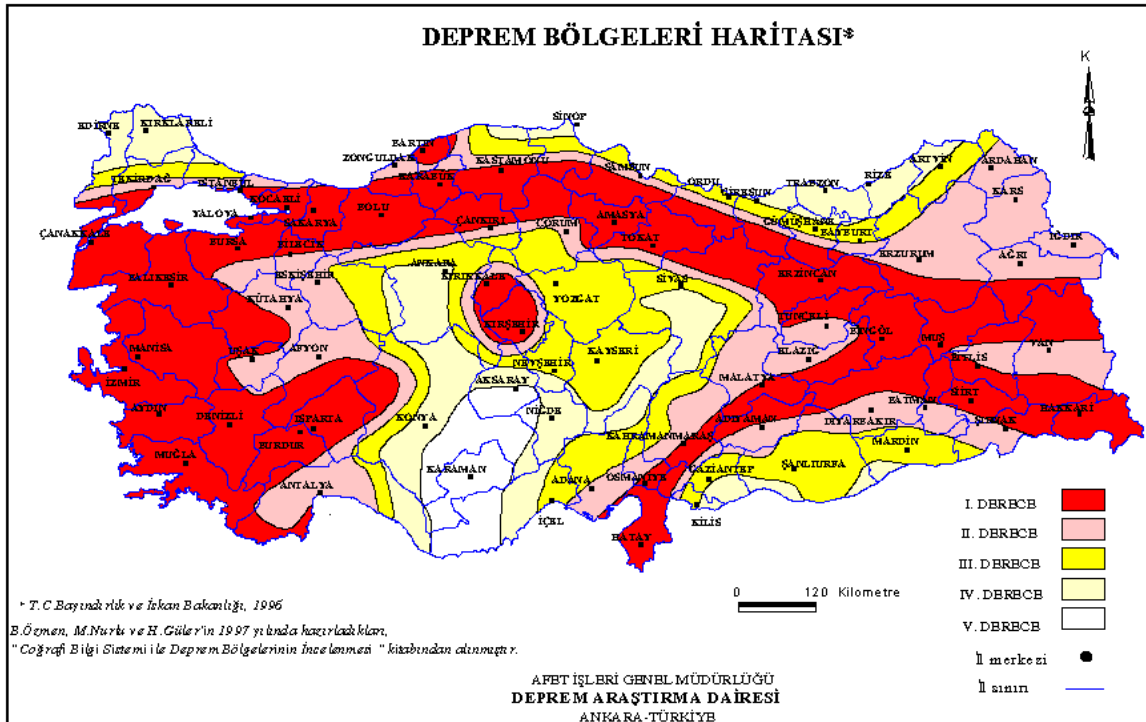
repetitions were calculated from the statistical aspects by using Poisson model. The study concluded with the analyses of values and provided some suggestions.

Key Words: Seismicity, Neotectonic, Seismic risk, Balıkesir Plain, Marmara

1. Giriş

Deprem, aniden gelişen sonuçları önceden kestirilemeyen, toplum yaşamını olumsuz yönde etkileyen ve ekonomik olumsuzluklara neden olan jeolojik kökenli doğal bir afettir. Bu nedenle son yıllarda aktif tektonik ve depremsellik, birçok ülkede olduğu gibi, Türkiye’de de önemli bir araştırma konusu olmuştur. Daha da önemlisi Türkiye’de son yüzyılda olmuş hasar yapıcı (orta ve büyük magnitudlü depremler) depremlerde can ve mal kaybı çok fazladır. Örneğin 17 Ağustos 1999 İzmit Körfezi depreminde 17.479 kişi hayatını kaybetmiş ve 43.953 kişi yaralanmış; 12 Kasım 1999 Düzce depremlerinde ise yaklaşık 763 kişi hayatını kaybetmiş ve 4.948 kişi yaralanmıştır (Özmen ve Bağcı, 2000: 12).

Çok büyük can ve mal kayıplarına neden olan bu doğal afet karşısında yerel alanlı çalışmalara gereksinim duyulmaktadır. Bu düşünceden hareketle bu çalışmada, 39°44’N-39°77’N enlemleri ile 27°76’E-28°15’E boylamları arasındaki Balıkesir Ovası ve yakın çevresinin depremselliği incelenmiştir. Öyle ki Balıkesir Ovası ve yakın çevresi, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Deprem Araştırma Enstitüsü tarafından hazırlanan Türkiye Deprem Bölgeleri Haritasında birinci derece deprem kuşağı içine girmektedir (Şekil 1). Çeşitli araştırmacılar tarafından da Türkiye’nin günümüz sismik etkinlikleri incelenmiştir. Bu araştırmalarda Balıkesir’in, günümüzde, Türkiye genelinde önemli sismik etkinlik gösterdiği kabul edilmiştir (Kalafat ve Pınar, 1997: 13; Utku, 2000: 54).



Şekil 1. Türkiye deprem bölgeleri haritası (www.deprem.gov.tr).

Yapılan literatür çalışmasında inceleme alanını kapsayan 1987 yılında Özoğul (1987) tarafından “Balıkesir Ovası ve Yakın Çevresinde Meydana Gelen Depremlerin Uygulamalı

hesaplaması yapılmıştır (Aşar, 1982). Balıkesir Ovasında alüvyon kalınlığının batıdan doğuya incelmeye bağlı olarak yeraltı suyunun akımı da batıdan doğuya doğru yönelmektedir. Yeraltı suyu, bölgenin doğusundaki Susurluk ırmağına boşalmaktadır. Hidrolik eğim incelendiğinde de Balıklı köyü yakınlarında 1/1500 olan hidrolik eğimin, ovanın batı ve kuzeybatısında 1/800 olduğu görülmektedir. Tüm ova içinde yeraltı suyu seviyesi, 2.2 ile 38 m arasında değişmektedir. Balıkesir kent merkezindeki Öreniçi sondaj kuyusundan (Fen İşleri Tesisleri içinde, 64558/B) 9 Ocak 2001 tarihinde ölçülen yağ seviyesi 11.20 cm'dir. Yağışların fazla olması nedeniyle beslenmede artışın olduğu sonbahar ve kış mevsimleri, yeraltı suyu seviyesinin en yüksek olduğu dönemdir. Yaz aylarında yağış azalmakta ve bazı aylarda hiç yağış kaydedilmemektedir. Bu nedenle ağustos, eylül ve ekim yeraltı suyu seviyesinin en düşük olduğu aylardır. Beslenmenin az olduğu yaz aylarında tarım alanlarının sulama ihtiyacında kullanılmak için yeraltı sularının harcanması, gerçekleşen seviye düşmesinin artmasına neden olmaktadır. Hem mevsimler arasında hem de yıllar arasında gerçekleşen yağış ile sıcaklık farklılıkları, mevsimlik ve yıllık yeraltı suyu seviyesinin değişmesine neden olmaktadır.

İnceleme alanının nüfus dağılımında büyük zıtlıklar gözlenmektedir. Öyle ki çok kalabalık yerlerin yakınında çok boş alanlar yer alabilmektedir. Nüfus, genellikle ovalarda toplanmış olup tarımsal geçim kaynaklarının çeşitliliğinin azalması nedeniyle ovalardan yüksek alanlara doğru seyrelme göstermektedir. Kırsal yerleşmeler bir cami, çeşme ve köy meydanını ya da yol kenarını çevreleyen toplu yerleşme karakterindedir.

Balıkesir'in bir eski çağ yerleşmesi olan Achiratus (Hadrianopolis)'un yerine kurulmuş olduğu ve eski adının Paleocastro olduğu kabul edilmektedir (Darkot ve Tuncel, 1981: 132). Ancak Achiratus, bugünkü kentin olduğu yere değil yaklaşık 26 km doğusundaki bir yere denk gelmektedir (Durmaz, 1995: 10). 1071 Malazgirt zaferinden sonra Selçuklu Türklerinin Anadolu'ya hakim olmasıyla birlikte Balıkesir kenti, Karasi beylerinden Karasi Bey ve oğlu Demirhan tarafından merkez edinilmiştir. Karasi beyliği döneminde başkent fonksiyonuna sahip olan kentin daha önceki yerleşim tarihi hakkında çok ayrıntılı bilgi bulunmamaktadır. Fakat Balıkesir ili kapsamında bilinen en eski yerleşim zamanı Yortan kazılarında ortaya çıkan bilgilere göre M.Ö. 3200 yıllarına, İlk Tunç Çağına uzanmaktadır (www.balikesir.com). Böylesine eski uygarlıklara beşiklik eden bölge nüfusu da bir yıldan diğerine artmaktadır. Bu kapsamda bölge nüfus artışını ortaya koyabilmek amacı ile Balıkesir merkez ilçe nüfusu incelenmiştir. Buna göre;

1990 nüfus sayımında merkez ilçenin toplam nüfusu 246.329, köy nüfusu 75.740 ve kent nüfusu 170.589'dır. 2000 yılında ise toplam nüfus %15.5 artarak 287.709'a, kent nüfusu %23.33 artarak 215.436'a yükselmiştir. Ancak köy nüfusu, %-4.68 azalarak 72.273'e düşmüştür. Bu kapsamda inceleme alanının 1990-2000 yılları arasındaki nüfus artış hızı Marmara Bölgesi'nin gerisinde kalmıştır. Bununla birlikte Balıkesir merkez ilçenin toplam nüfusu ve şehir nüfusu, Balıkesir ilinin üstünde artış, fakat köy nüfusu Balıkesir ilinden daha çok düşüş göstermiştir. Bundan bölgenin hızla nüfus kaybettiği ve nüfus kaybının köyden şehre, bölgeden dışarıya başka illere doğru olduğu anlaşılmaktadır. Nitekim yapılan arazi çalışmalarında da köylerin nüfus kaybettiği görülmüştür. Köylerden şehre olan bu hareket, Balıkesir'de toplu yerleşme karakterinde çok katlı binaların artışına neden olmaktadır. Gerçekleşen bu göçe bağlı olarak meydana gelen bir yandan çok katlı yerleşim diğer yandan zemin etütleri gerçekleştirilmeden yapılan yapılanma olacak şiddetli bir depremde can ve mal kaybını artıracaktır. Bununla birlikte kırsal yerleşmelerde ise kerpiç ya da taş ev yapı malzemesi olarak kullanılmaktadır.

Bu araştırmada, yukarıda genel özellikleri hakkında bilgi verilen Balıkesir Ovası ve yakın çevresinin neotektonik özellikleri ve depremselliğinin ortaya konması amaçlanmıştır. Bu amaçla Balıkesir yöresini etkisi altına alan diri faylar ve çevre depremler de incelenmiştir.

2. Malzeme ve Yöntem

Bu çalışmada, 1900-2000 yılları arasındaki aletsel döneme ait deprem katalogu incelenmiştir. Veriler Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğünden disket ortamında temin edilmiştir.

1900-1970 dönemi, aletsel verilerin ilk dilimi olduğu için yeteri kadar istasyon bulunmamaktadır ve bu nedenle de yıllık deprem sayısı düşüktür (Demirtaş ve Yılmaz, 1996: 4). Bununla birlikte 1970 yılından sonra Kandilli Rasathanesi tarafından yerleşik olarak kurulan deprem istasyonları ve 1978 yılından itibaren de Marmara Bölgesi Radyo Bağlantılı Deprem Ağı (MARNET)'nin kullanılması ile bölgedeki mikro depremlerle ilgili parametreler doğru olarak tespit edilmeye başlanmıştır. Dolayısıyla 1970 öncesi kayıtlarda mikro depremler çözülememiştir. Kısaca 1900-1970 döneminde yıllık deprem sayılarının düşük değerlerde olmasının sebebi, deprem istasyon sayısının çok az olmasından kaynaklanmaktadır. Bununla birlikte 1939-1967 deprem serisinden önce Kuzey Anadolu Fay Zonunda bir suskunluk dönemine girilmiş olma ihtimali de düşünülmektedir (Demirtaş ve Yılmaz, 1996). Bu nedenlerle 1900-1970 dönemi ile 1971-2000 dönemi ayrı ayrı incelenmiş ve analiz edilmiştir.

Depremlerin özelliği geniş alanlarda etkili olabilmeleridir. Bu nedenle öncelikle Güney Marmara-Kuzeybatı Ege'de $38^{\circ}50'N-40^{\circ}50'N$ enlemleri ile $26^{\circ}00'E-29^{\circ}40'E$ boylamları arasındaki bir alanda meydana gelen, büyüklüğü 4.0 ve üzerinde olan depremler araştırılmıştır. Bu geniş alanda yapılan analizler ile Balıkesir yöresi çevresinde risk faktörü olan yakın çevredeki depremler hakkında bilgi verilmesi amaçlanmaktadır. Diğer bir deyişle yapılan bu geniş alanlı analizler ile inceleme alanını çevreleyen büyük fay ve graben sistemlerinin tektonik aktivitesi ortaya konmaya çalışılmıştır. Daha sonra ise $39^{\circ}44'N-39^{\circ}77'N$ enlemleri ile $27^{\circ}76'E-28^{\circ}15'E$ boylamaları arasında yer alan Balıkesir Ovası ve yakın çevresinde gerçekleşen depremler incelenmiştir.

Sözü edilen koordinatlar arasında meydana gelen depremler magnitüdlere (M)¹ göre sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırılma yapılırken 4.0 M ve üstündeki depremlere önem verilmiştir. Çünkü $M \geq 4.0$ olan depremler, çeşitli faktörlerin etkisi altında değişmekle (topoğrafya, jeoloji, yapı vb.) birlikte etkisi insanlar tarafından hissedilen depremlerdir. Aynı zamanda büyüklüğü 5.0'in altında olan depremler küçük depremler, 5.0 M ile 7.0 M arasındaki depremler orta büyüklükte depremler, 7.0 M ile 8.0 M arasında olan depremler büyük depremler ve $M \geq 8.0$ olan depremler çok büyük depremler olarak sınıflandırılmaktadır (Demirtaş ve Erkmen, 2000: 4; Eyidoğan ve Barka, 1996: 18).

Depremin bir diğer önemli parametresi de odak derinliği²dir. Odak derinliklerine göre depremler sığ depremler (0-70 km), orta derinlikteki depremler (71-300 km) ve derin depremler (301-700 km) olmak üzere üçe ayrılmaktadır (Demirtaş ve Erkmen, 2000: 3). Eyidoğan ve Barka (1996: 18) tarafından 1996'da yapılan bir çalışmada ise derinliği 60 km'den az olan depremler sığ depremler ve 60-300 km arasındakiler orta-derin depremler olarak sınıflandırılmıştır.

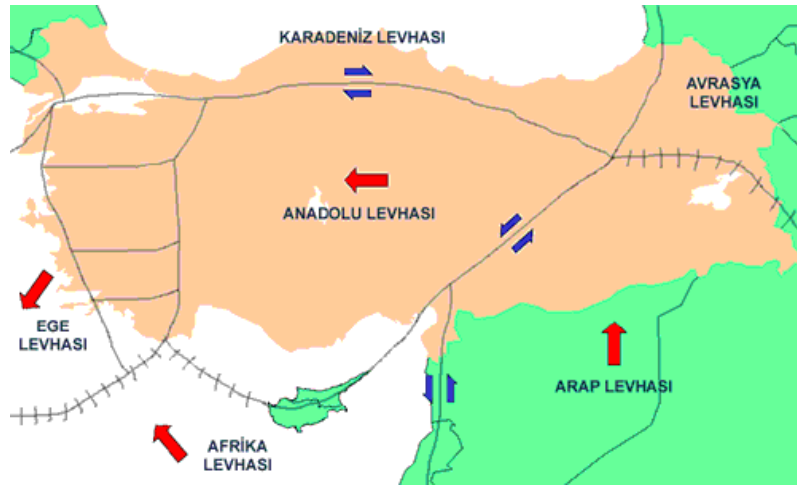
Depremlerin gelecekte olma olasılıkları ve kaç yılda bir tekrarlanacakları Poisson modeli kullanılarak hesaplanmıştır (Lomnitz, 1966; Bağcı, 1990). Poisson modeline göre, depremlerin magnitüdlерinin birbirinden bağımsız ve eşit olarak dağıldığı kabul edilerek, t zaman aralığında magnitüdleri M'den büyük N depremin oluşum olasılığı dikkate alınmıştır. Risk analizinde Balıkesir merkezli 100 km yarıçaplı bir alanda büyüklüğü 5.0 ve üzerinde olan depremler dikkate alınmıştır. Belirlenen alan için magnitüd aralıkları (ΔM), 0.5 birim olarak belirlenmiştir. Depremlerin tekrarlanma yıllarını veren bu yöntem, büyük magnitüdü depremler için kullanılmaktadır. Nitekim Kasap ve Gürten (2003: 165) yapmış oldukları çalışmada "..... 6.5'tan daha büyük magnitüdü depremlerin tekrarlanma yıllarının belirlenmesinde ise Poisson modelinin sonuçlarının daha güvenilir olabileceği kabul edilebilir" şeklinde Poisson modelinin deprem tekrarlanma periyotlarının belirlenmesindeki önemini vurgulamışlardır.

Bölgenin deprem dış merkez (episantr)³ haritasını oluşturulabilmek amacıyla coğrafi koordinattaki deprem kayıtları, Universal Transverse Mercator (UTM) koordinat sistemine uyarlanarak grid koordinata dönüştürmüş ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılarak ArcView programında haritalanmıştır. Deprem dış merkezleri ile jeoloji ve jeomorfoloji ilişkisi, kırsal yerleşmeler dikkate alınarak, CBS'ne ait programlar kullanılarak analiz edilmiştir. Bu bağlamda Coğrafi Bilgi Sistemlerine (CBS) ait programların kullanımı sırasında "The University of Texas at Austin-USA"deki laboratuvarlardan lisanslı olarak yararlanılmıştır.

Çalışma genel olarak iki bölümden oluşmaktadır. İlk olarak deprem üreten diri faylar hakkında bilgi verilmiştir. İkinci olarak ise inceleme alanı ve çevresinde son yüzyılda gerçekleşen depremler ile risk özellikleri, gerekli tablolar ve şekiller oluşturularak ele alınmıştır.

3. Tektonik Özellikler

Türkiye, Alp-Himalaya tektonik kuşağında yer almaktadır. Yörenin tektonik yapısının şekillenmesinde Avrasya, Afrika, Arap, Ege, Ege-Anadolu ve Karadeniz levhaları arasındaki göreceli hareketler etkili olmuştur (Şekil 3). Afrika ve Arap levhalarının Avrasya levhasına göre kuzeye doğru hareket etmesi, Anadolu levhalarının batıya hareket etmesine neden olmaktadır. Balıkesir Ovası ve yakın çevresini de içine alan Batı Anadolu, Afrika levhasının Girit adasının güneyinde Ege ile Anadolu levhalarının altına dalması sonucu NNE-SSW yönlü çekme ve gerilmeye uğramıştır (Adatepe, 1998: 64). İnceleme alanının kuzey kısmı Kuzey Anadolu fayının yanal atımlı sıkışma ve çekme hareketinin etkisi altındadır. Anadolu, Kuzey Anadolu fayı boyunca ortalama 20 mm/yıl batı yönünde hareket ederken Batı Anadolu N-S yönünde 3-6 cm/yıl gerilmektedir (Yılmaz, 2000: 3). Kuzeybatı Anadolu Bölgesi, bu iki sistemin etkisi altında tektonik olarak etkin bir alanda yer almaktadır.



(Kaynak: www.sayisalgrafik.com.tr/deprem/turkiye.htm)

Şekil 3. Türkiye'nin basitleştirilmiş tektonik yapısı ve çevresindeki levhalar.

İnceleme alanının aktif tektoniği ve depremselliğinde, daha önce de belirtildiği gibi, Kuzey Anadolu fayı büyük etkiye sahiptir. Bu fay sistemi, Üst Miyosen'den itibaren belirmeye başlamış; tam gelişimini Pliyosen ve Kuaterner'de göstermiştir (Erol, 1983: 6). Üst Pliyosen sonlarında Kuzey Anadolu fayının (KAF) etkinliğinin artması, yörede aşınım yüzeyi oluşumunu sona erdirip akarsu aşınım süreçlerinin etkili olmasına neden olmuştur. Akarsu aşınım sürecinin bir sonucu olarak Pliyosen vadileri derine kazılmıştır. Bu akarsu aşınım süreci günümüzde de devam etmektedir. Bu

fay sistemi, Erzincan doğusundan (Karlıova) başlamakta Bolu ve Abant'a kadar Karadeniz kıyılarına paralel olarak uzanmaktadır.

KAF sistemi, Mudurnu vadisi batısında iki büyük kola ayrılmaktadır. Kuzey kol Sapanca, İzmit ve Marmara denizi içinden geçmektedir. Güney kol ise Yenişehir, Bursa Ovası-Apollyont ve Manyas gölleri altından geçerek Biga yarımadasında Gönen ve Yenice arasından Ege denizine doğru devam etmektedir. Bu kol, zaman zaman aktif duruma geçmektedir (Ketin, 1960: 4). Bazı araştırmacılar İznik, Gemlik, Bandırma, Biga ve Çan'dan geçen orta kolun varlığını ileri sürmektedir (Barka ve Kandisky-Code, 1988). Kuzey Anadolu Fay zonunun uzunluğu yaklaşık 1100 km olup genişliği 500-1000 m'dir (Ketin, 1969: 1). Ortalama kayma miktarı ise 1 ile 1.3 cm/yıldır (Barka vd., 1987).

KAF'ın Marmara Bölgesi'ndeki güney kolu ve kabul edilen orta kolu inceleme alanının kuzey sınırını oluşturmaktadır. Bu sisteme bağlı veya bağımsız olarak birçok küçük faylar gözlenmektedir. Balıkesir Ovası ve yakın çevresi, kuzeyindeki Yenice-Gönen Fay Zonu dışında, batıdan Akhisar Fay Zonunun etkisi altında da bulunmaktadır.

Son yıllarda yapılan bazı araştırmalarda Balıkesir-Afyon-Konya arasında uzanan Akşehir Fay Zonundan söz edilmektedir (Koçyiğit, 2002). Bu fay zonu, doğuda Konya'dan başlamakta batıda Savaştepe'ye kadar uzanmaktadır. Genel uzantısı WNW-ESE olup toplam uzunluğu 420 km olarak kabul edilen bu fay zonunun 1-50 km uzunluğunda birbirine paralel ya da yarı paralel çok sayıda normal faylardan oluştuğu kabul edilmektedir (Koçyiğit, 2002; Şekil 4). Bu fay sistemi N-S, NE-SW ve NW-SE uzantılı ikincil fay sistemlerinden oluşmaktadır. Bu faylar, çok küçük doğrultu atım bileşeni olan oblik faylarla temsil edilmektedir.



Şekil 4. Akşehir fay sistemi (Koçyiğit, 2002'den sadeleştirilmiştir).

Görülüyor ki Balıkesir Ovası ve yakın çevresinde büyük fay sistemleri yer almamaktadır. Ancak kuzey, batı ve güneyden büyük fay sistemleri ile sınırlandırılmaktadır. Genel olarak bölge, kuzeyden Kuzey Anadolu Fay Zonunun (KAFZ) ve güneyden Ege Graben Sisteminin etkisi altındadır. Diğer bir deyişle yöre KAFZ ile Ege'nin açılma rejimi arasında bir geçiş zonu özelliği taşımaktadır. Şöyle ki kuzeydeki KAFZ'nuna ait olan Yenice-Gönen fayı, doğrultu atımlı fay çözümleri veren depremler üretmektedir. Buna karşılık batısı ve güneyi, Ege çöküntü sistemlerinin etkisi altında normal atım karakterli depremler üretmektedir. Ege çöküntü sistemlerinden Edremit çöküntüsü, Bakırçay çöküntüsü ve Simav çöküntüsü yöreyi kuzeybatıdan, batıdan ve güneyden sınırlamaktadır. Bu bütün içinde Ayvalık, İvrindi, Soma, Savaştepe ve Bigadiç'te bu sistemlere bağlı olarak depremler meydana gelmektedir. Edremit çöküntüsü, Kuzey Anadolu fayı ile Batı Anadolu'nun çekme rejimi etkisi altında bulunmaktadır (Demirtaş ve Yılmaz, 1996: 78; Demirtaş ve Erkmen, 2000: 81) Diğer yandan Bakırçay çöküntüsü, Çandarlı'dan Soma'ya kadar uzanan 80 km uzunluğunda bir sistemdir (Demirtaş ve Yılmaz, 1996: 79). Simav çöküntüsü ise Simav çayı boyunca yaklaşık 100 km uzunluğundadır (Demirtaş ve Yılmaz, 1996: 79).

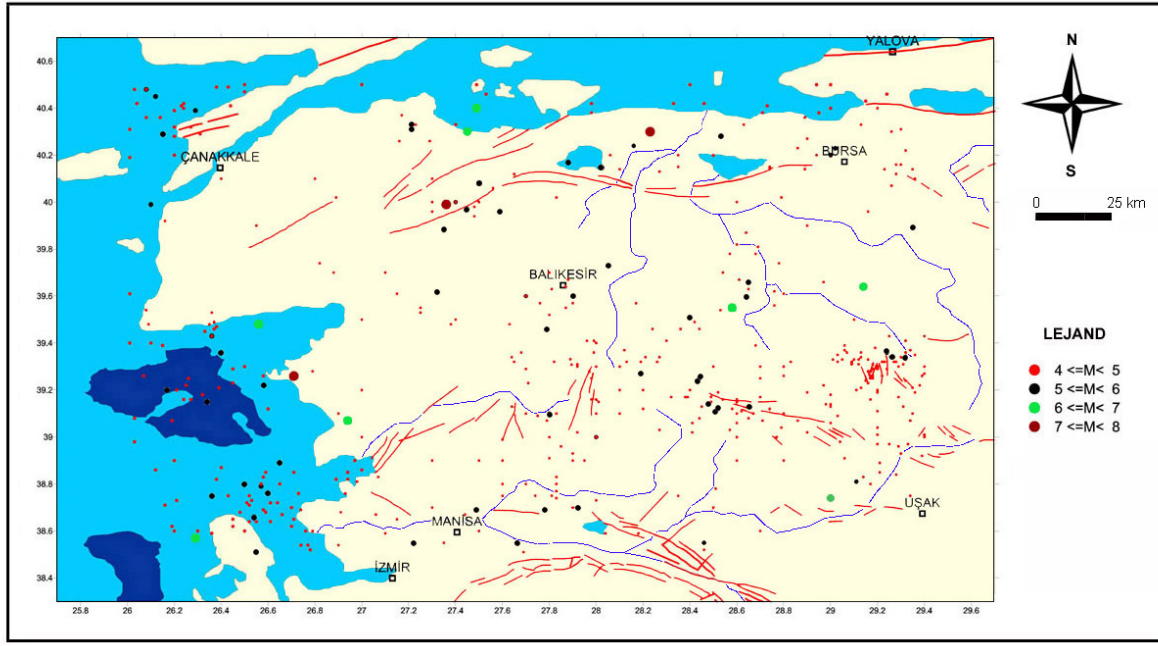
Bölgede çeşitli araştırmacılar tarafından tespit edilmiş faylar vardır. Bunların bazıları:

- 1) Beşpınar köyünün güneyinden Macarlar köyü, Kabaklı köyü üzerinden Ziraat çiftliği ve Balıkesir'e doğru olan fay (Herzog, 1954: 8).
- 2) Pamukçu Ovasında Eftalya kaplıcaları civarında N-S yönlü fay (Bistritschen, 1957: 47; Herzog, 1954: 8-9).
- 3) Çömlekçi doğusundan Yenice kuzeyine geçen, Güven deresinin aşağı kısmına doğru S-N istikametli fay (Herzog, 1954: 8-9).
- 4) Ayvatlar köyü batısında Köteyli dere (Ortaca dere) N-S uzanımlı düşey atımlı fay (Ergül vd., 1980: 50).
- 5) Jeoloji haritaları üzerinde gösterilen Karamanlar köyü ile Dereçiftlik köyü arasındaki doğu-batı yönlü fay.
- 6) Yine jeoloji haritalarında gösterilen Eşeler köyünün batısındaki faylar.

İnceleme alanındaki Balıkesir, Değirmenli ve Pamukçu ovalarının oluşumu ve gelişiminde Susurluk ırmağı ve Kocaçay'ın rolü büyüktür. Nitekim bu akarsuların ve kollarının getirdiği alüvyonlar, ovaların ana materyalini oluşturmaktadır. Ovaların yer aldığı depresyonların oluşumunda ise sübsidansın etkili olduğu düşünülmektedir. Ardos (1985: 116) tarafından, Türkiye ovalarının oluşum ve gelişmeleri incelenmiş, Balıkesir Ovası "sübsidant özellikteki ovalar" grubu içine alınmıştır. Ovanın oluşumuna neden olan söz konusu çökme, post-alpin epirojenik hareketlerle açıklanabilir. Gerçekten sübsidans olayı, Miyosen peneplenini takiben yöredeki aktif neotektonik dönemin başlangıcında etkin olmuş ve yörede geniş depresyonların oluşumuna neden olmuştur. Bunları Neojen döneminde göller işkal etmiştir. Nitekim Devlet Su İşleri (DSİ)'nin yaptığı sondajlar sayesinde alüvyon materyalin altında yer yer Neojen tortullarının varlığı belirlenmiştir. Şöyle ki bu hareketler sırasında Balıkesir Ovasını çevreleyen alanlar yükselirken ova tabanında çökmeler meydana gelmiş olmalıdır. Ovayı çevreleyen alanlarda belirgin fay diklikleri bulunmamaktadır. Ancak belirgin fay hatlarının gözlenememesi, ovanın oluşumunda tektoniğin etkili olmadığı şeklinde yorumlanmamalıdır. Çünkü bu çökme sırasında gerilmeden kaynaklanan kırılmalar da olabilir. Bu muhtemel örtülü fayların tespiti için sismik araştırmaların yapılmasını gerektirmektedir.

4. Güney Marmara-Kuzeybatı Ege'de (38°50'N-40°50'N - 26°00'E-29°40'E) Meydana Gelen, Büyüklüğü 4.0 ve Üzerinde Olan Depremler

Balıkesir yöresini çevreleyen büyük fay sistemlerinin etkinliklerini ortaya koyabilmek amacıyla 38°50'N-40°50'N enlemleri ile 26°00'E-29°40'E boylamları arasında deprem dış merkez çalışmaları yapılmıştır (Şekil 5). Şekil 5'te de görüldüğü gibi bu alan, genel olarak, Balıkesir'e kuzeyden komşuluk eden Kuzey Anadolu fayının orta ile güney kolunu ve güneyden komşuluk eden Ege çöküntü sistemlerinden Bakırçay çöküntüsü ile Simav çöküntüsünü kapsamaktadır.



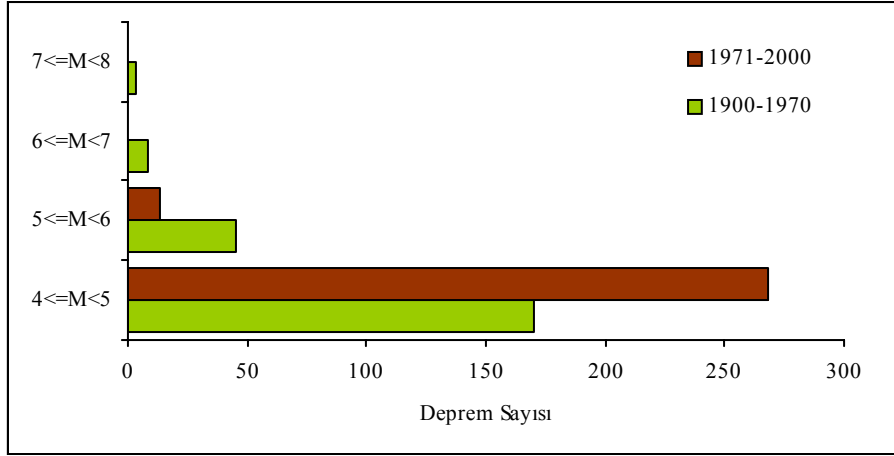
Kaynak: Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi

Şekil 5. 38°50'-40°50'N enlemleri ile 26°00'-29°40'E boylamları arasında büyüklüğü 4.0 ve üzerinde olan depremlerin dağılışı (1900-2000).

Söz konusu alanda 1900-1970 yılları arasında büyüklüğü 4.0 ve üzerinde 226, 1971-2000 döneminde ise 281 deprem olmak üzere toplam 507 deprem meydana gelmiştir (Çizelge 1 ; Şekil 6). 507 depremin frekans dağılımı incelendiğinde, büyüklüğü 4.0 ile 5.0 arasında olan depremlerin %86.4'lük, büyüklüğü 5.0 ile 6.0 arasında olan depremlerin %11.4'lük, büyüklüğü 6.0 ile 7.0 arasında olanların %1.5'lik ve son olarak büyüklüğü 7.0 ile 8.0 arasında olanların ise %0.6'lık bir orana sahip olduğu görülmektedir (Çizelge 1 ; Şekil 6). Her iki dönemde de büyüklüğü 4.0 ile 5.0 arasında olan depremlerin oranı %75.0'in üzerindedir.

Çizelge 1. 1900-1970 ile 1971-2000 dönemleri arasında meydana gelen, $M \geq 4.0$ olan depremlerin magnitüdlere (M) göre meydana gelme sayıları (MGS) ve yüzde oranları (%).

Dönemler		Magnitüd (M) Sınıfları				Toplam
		4 ≤ M < 5	5 ≤ M < 6	6 ≤ M < 7	7 ≤ M < 8	
1900-1970	MGS	170	45	8	3	226
	%	75.2	19.9	3.5	1.3	100
1971-2000	MGS	268	13	0	0	281
	%	95.4	4.6	0.0	0.0	100
Toplam	MGS	438	58	8	3	507
	%	86.4	11.4	1.5	0.6	100

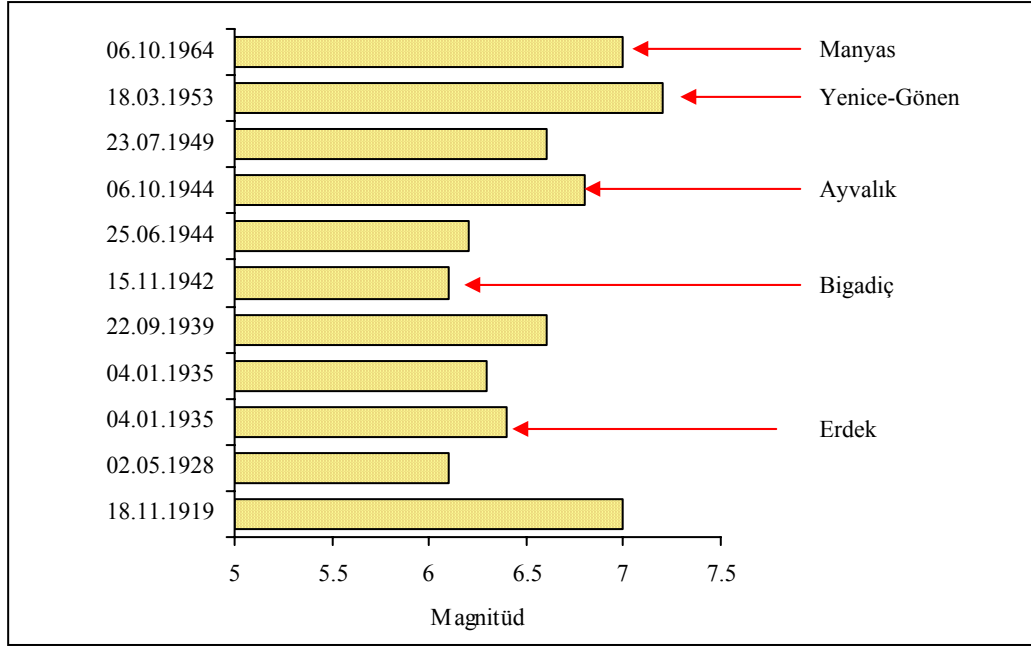


Şekil 6. 1900-1970 ile 1971-2000 yılları arasında büyüklüğü 4.0 ve üzerinde olan depremlerin büyüklük sınıflarına göre dağılımı.

1900-2000 döneminde büyüklüğü 6.0'nın üzerinde gerçekleşen 11 deprem Çizelge 2 ve Şekil 7'de verilmiştir. Bu hasar verici depremlerden bazıları Balıkesir ili sınırları içinde gerçekleşmiştir. Bunlar:

Çizelge 2. 1900-1970 döneminde meydana gelen $M \geq 6.0$ olan depremlerin tarih, saat, enlem, boylam ve magnitüd değerleri.

Yıl	Saat	Enlem	Boylam	Magnitüd (M)
18.11.1919	21:54	39°26'N	26°71'E	7.00
02.05.1928	21:54	39°64'N	29°14'E	6.10
04.01.1935	14:41	40°40'N	27°49'E	6.40
04.01.1935	16:20	40°30'N	27°45'E	6.30
22.09.1939	00:36	39°07'N	26°94'E	6.60
15.11.1942	17:01	39°55'N	28°58'E	6.10
25.06.1944	04:16	38°74'N	29°00'E	6.20
06.10.1944	02:34	39°48'N	26°56'E	6.80
23.07.1949	15:03	38°57'N	26°29'E	6.60
18.03.1953	19:06	39°99'N	27°36'E	7.20
06.10.1964	14:31	40°30'N	28°23'E	7.00



Şekil 7. 1900-1970 döneminde meydana gelen $M \geq 6.0$ olan depremlerin tarih ve magnitüdü ile Balıkesir ili kapsamında gerçekleşenler.

04 Ocak 1935 yılında saat 14:41'de olan deprem Erdek depremi olup 5 kişinin hayatını kaybettiği ve 600 hasarlı binanın olduğu bir depremdir (Atabey, 2000; Pınar ve Lahn, 1952).

15 Kasım 1942 saat 17:01'de gerçekleşen deprem ise Bigadiç depremidir. Bu depremde 7 ölü ve 1.262 hasarlı bina tespit edilmiştir (Atabey, 2000). Bigadiç depremi, Balıkesir'de de hafif hasara neden olmuş; Bursa, Çanakkale ve Eskişehir'e kadar hissedilmiştir (Pınar ve Lahn, 1952).

06 Ekim 1944 saat 04:16'da ise Ayvalık depremi olmuştur. Bu deprem sırasında toprakta yarılmalar meydana gelmiş, 30 kişi hayatını kaybetmiş ve 5.500 tane hasarlı bina tespit edilmiştir (Tabban, 2000; Pınar ve Lahn, 1952).

18 Mart 1953 saat 19:06'da ise Yenice-Gönen depremi gerçekleşmiştir. Bu depremde 9.670 bina hasar görmüş ve 265 kişi hayatını kaybetmiş (Atabey, 2000).

06 Ekim 1964 yılında saat 14:31'de gerçekleşen Manyas depreminde 73 kişi hayatını kaybetmiş ve 5.398 bina hasar görmüştür (Atabey, 2000). Manyas depreminde de yer yüzünde yarılmalar meydana gelmiştir.

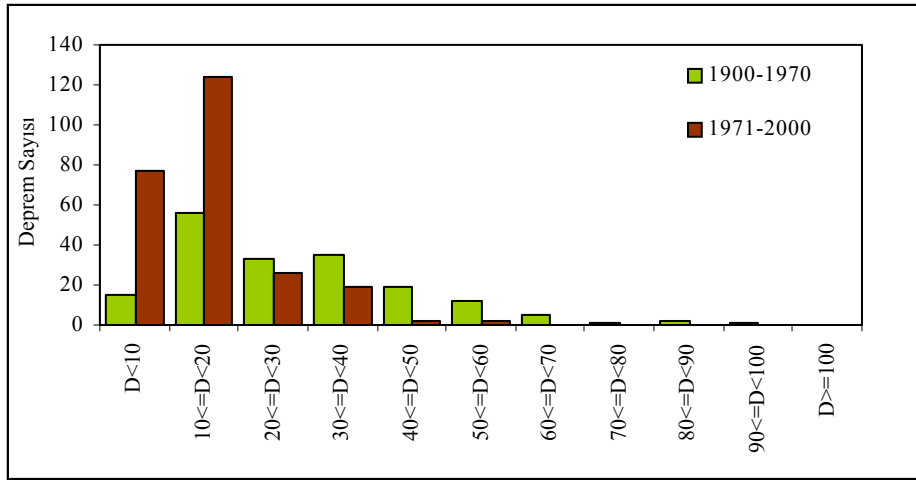
Tarihsel dönemde ise 1897 Aralık ayında meydana gelen Balıkesir depreminde Balıkesir Ovasındaki alüvyon zemin üzerindeki yapılarda hasar kaydedilmiştir (Pınar ve Lahn, 1952). Balıkesir şehrinde zemin özelliklerine göre tuf ve diğer volkaniklerden oluşan alanlar alüvyon sahalardan daha az hasar görmüştür.

Bu kapsamda 1900-2000 yılları arasında gerçekleşmiş depremlerin odak derinlikleri incelendiğinde ise odak derinliği 10 km ile 20 km arasında olan depremlerin toplamda %35.5'lik bir oranla ilk sırada yer aldığı görülmektedir (Çizelge 3 ; Şekil 8). Bunu, %18.1 ile odak derinliği 10 km'nin altında olanlar izlemektedir. 1900-1970 yıllarında ise odak derinliği 30 km ile 40 km arasında olanlar ikinci olarak izlemektedir.

Çizelge 3. 1900-1970 ile 1971-2000 dönemleri arasında meydana gelen depremlerin odak derinliklerine (km) göre meydana gelme sayıları (MGS) ve yüzde oranları (%).

Derinlik Sınıfları		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Toplam
1900-1970	MGS	47	15	56	33	35	19	12	5	1	2	1		226
	%	20.8	6.6	24.8	14.6	15.5	8.4	5.3	2.2	0.4	0.9	0.4		100
1971-2000	MGS	31	77	124	26	19	2	2						281
	%	11.0	27.4	44.1	9.3	6.8	0.7	0.7						100
Toplam	MGS	78	92	180	59	54	21	14	5	1	2	1	0	507
	%	15.4	18.1	35.5	11.6	10.7	4.1	2.8	1.0	0.2	0.4	0.2	0	100

0: Ölçülemeyen Derinlik; 1:Derinlik<10; 2:10<=Derinlik<20; 3:20<=Derinlik<30; 4:30<=Derinlik<40; 5:40<=Derinlik<50 6: 50<=Derinlik<60; 7:60<=Derinlik<70; 8:70<=Derinlik<80; 9:80<=Derinlik<90; 10:90<=Derinlik<100; 11: Derinlik>=100



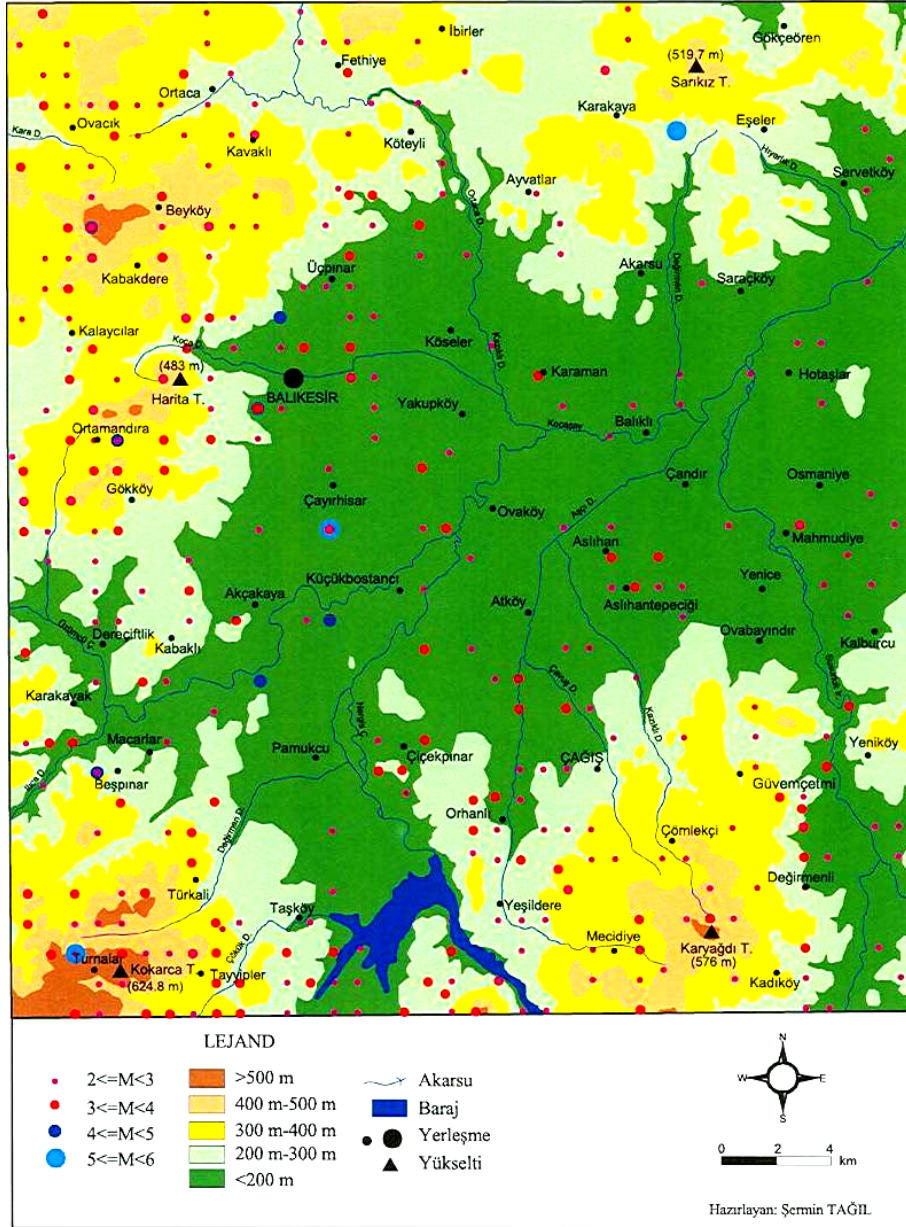
Şekil 8. 1900-1970 ve 1971-2000 dönemleri arasında meydana gelen bütün depremlerin odak derinliklerine (D) göre gerçekleşme sayıları (km).

Aygül ve Genç (1998: 126) tarafından Güney Marmara'da Moho derinliği yaklaşık olarak 29 km olarak tespit edilmiştir. Moho'nun derinliği Marmara Bölgesi'nin iç kesimlerine doğru 30.5 km'yi, Marmara denizinde ise 27.4 km'yi bulmaktadır. Bu da, genel olarak, 1900-2000 yılları arasında tespit edilen depremlerin kabuk içinde meydana gelen sığ depremler olduğunu göstermektedir. Ancak depremlerin sığ olması şiddetlerinin de daha fazla hissedilmesine neden olmaktadır. Bununla birlikte odak derinliği 70 km derinlik çizgisinin altında olan orta derinlikte depremler de gözlenebilmektedir. 1900-1970 yılları arasında 4 depremin odak derinliği 70 km'den, 9'unun ise 60 km'den derin olduğu kayıt edilmiştir. Sözü edilen bu orta derinlikteki depremler az hasar verici olmakla birlikte geniş alanlarda hissedilebilmektedir.

Yukarıda özellikleri hakkında bilgi verilen Güney Marmara ve Kuzeybatı Ege'de büyüklüğü 4 ve üzerinde olan depremlerin dağılışı incelendiğinde Yenice-Gönen fay sistemi, Bakırçay çöküntüsü ve Simav çöküntüsü üzerinde yoğunlaştıkları görülmektedir (Şekil 5). Balıkesir yöresi ise bu büyük fay zonları arasında yer almakta fakat yine de etkili deprem alanı özelliği göstermektedir.

5. Balıkesir Ovası ve Yakın Çevresinde (39°44'N-39°77'N - 27°76'E-28°15'E) Gerçekleşen Depremler:

39°44'N-39°77'N enlemleri ile 27°76'E-28°15'E boylamları (Şekil 9) arasındaki depremlerin dış merkezleri incelendiğinde 33'ünün magnitudünün kaydı alınamayacak kadar küçük gerçekleştiği tespit edilmiştir. Bu nedenle büyüklüğü 2.0 ve üzerinde olan depremlerin dağılışı incelenmiştir. Tablo 4 incelendiğinde 1900-2000 yılları arasında magnitudü 2.0 ve üzerinde 434 deprem olmuştur. Bunlardan 304'ü 2.0 ile 3.0 arasında ($2 \leq M < 3$), 120'si 3.0 ile 4.0 arasında ($3 \leq M < 4$), 7'si 4.0 ile 5.0 arasında ($4 \leq M < 5$) ve 3'ü 5.0'ten büyüktür ($5 \leq M < 6$).



Şekil 9. Balıkesir Ovası ve yakın çevresinde meydana gelen depremlerin dış merkez (episantr) dağılımı ($M \geq 2$; 1900-2000).

Çizelge 4. Balıkesir Ovası ve yakın çevresinde meydana gelen $M \geq 2.0$ olan depremlerin meydana gelme sayıları (MGS) ve yüzde oranları (%).

Magnitüd	Deprem Sayısı				Toplam	
	1900-1970		1971-2000		MGS	%
	MGS	%	MGS	%		
$2 \leq M < 3$	0	0.0	304	71.0	304	70.0
$3 \leq M < 4$	1	16.7	119	27.8	120	27.6
$4 \leq M < 5$	2	33.3	5	1.2	7	1.6
$5 \leq M < 6$	3	50.0	0	0.0	3	0.7
Toplam	6	100.0	428	100.0	434	100.0

Daha önce de belirtildiği gibi büyüklüğü 4.0 ve üzerinde olan depremler insanlar tarafından hissedilebilmektedir. Bu kapsamda yörede gerçekleşen depremlerin 10'unun magnitüdü 4.0'ün üzerindedir. Çizelge 5'te büyüklüğü 4.0'ten fazla olan depremlerin tarihleri, saatleri, koordinatları ve magnitüdüleri verilmiştir. Bunlar, hasar yapıcı depremler olmayıp sadece son yüz yıl içinde gerçekleşmiş hissedilebilir depremlerdir. Çizelge 2 ve Şekil 7'de verilen hasar yapıcı depremlerin hiç biri $39^{\circ}44'N-39^{\circ}77'N$ ile $27^{\circ}76'E-28^{\circ}15'E$ koordinatları arasına isabet etmediğinden Çizelge 5'te yer almamaktadır.

Çizelge 5. Balıkesir Ovası ve yakın çevresinde meydana gelen $M \geq 4.0$ olan depremlerin tarih, saat, enlem, boylam ve magnitüd değerleri (1900-2000).

Tarih	Saat	Enlem	Boylam	Magnitüd (M)
1.11.1905	17:32	$39^{\circ}60'N$	$27^{\circ}90'E$	5.00
10.28.1942	02:41	$39^{\circ}46'N$	$27^{\circ}79'E$	5.50
11.28.1950	17:53	$39^{\circ}73'N$	$28^{\circ}05'E$	5.10
8.14.1969	21:51	$39^{\circ}55'N$	$27^{\circ}87'E$	4.70
8.19.1969	21:55	$39^{\circ}70'N$	$27^{\circ}80'E$	4.20
16.12.1971	16:42	$39^{\circ}52'N$	$27^{\circ}80'E$	4.10
29.03.1984	00:06	$39^{\circ}64'N$	$27^{\circ}87'E$	4.60
10.05.1989	03:05	$39^{\circ}67'N$	$27^{\circ}88'E$	4.20
31.05.1989	23:43	$39^{\circ}63'N$	$27^{\circ}81'E$	4.00
10.02.1990	19:48	$39^{\circ}57'N$	$27^{\circ}90'E$	4.00

Bu kapsamda, hissedilebilir depremlerden büyüklükleri 4.0 ile 5.0 arasındakiler daha çok inceleme alanın batısında yoğunlaşmaktadır (Şekil 9). Bunların, Beyköy'ün 2.4 km güneybatısında (4.2 M), Balıkesir'in 2.1 km kuzeyinde Balıkesir ile Üçpınar köyleri arasında (4.2 M), Balıkesir şehir merkezinin 1.4 km güneybatısında (4.6 M), Ortamandıra köyünün 600 m doğusunda (4.0 M) ve Üzümcü Çayı boyunca Küçükbostancı köyü yakınlarından Macarlar köyüne kadar devam eden bir hat boyunca gerçekleştikleri yapılan haritalarla tespit edilmiştir. Küçükbostancı-Macarlar köyleri arasındaki hat boyunca gerçekleşen üç depremin büyüklükleri NE-SW yönünde sırasıyla 4.0, 4.7 ve 4.1'dir.

Büyüklüğü 5.0 ve üzerinde olan depremlerden biri Eşeler köyü yakınlarında 5.1 M, Çayırhisar'ın güneydoğusunda 5.0 M ve Turnalar yakınında 5.5 M büyüklüğünde gerçekleşmiştir (Şekil 9).

Yörede gözlenen depremlerin bazılarının dış merkezleri birden fazla depreme odaklık etmiştir. Örneğin: Beyköy'ün güneybatısındaki deprem merkezi büyüklükleri 0.0 ilâ 4.2 arasında değişen 8 depreme odaklık etmiştir. Kavaklı köyündeki bir merkez ise büyüklükleri 2.5 ilâ 3.2 arasında değişen 5 depreme; Değirmenli Ovasının kuzeybatısındaki merkez, büyüklükleri 0.0 ilâ 3.3 arasında değişen 5 depreme; Gökköy batısındaki alan büyüklükleri 2.1 ilâ 3.1 arasında değişen 4 depreme; Yeşildere köyü doğusundaki bir merkez, büyüklükleri 2.6 ilâ 3.8 arasında değişen 3 depreme; Çayırhisar güneyinde gözlenen alan büyüklükleri 2.9 ve 5.0 arasında değişen 3 depreme; Balıkesir güneybatısındaki bir merkez büyüklükleri 3.0 ilâ 4.6 arasında değişen 2 depreme; Turnalar yakınındaki merkez büyüklükleri 2.8 ilâ 5.5 arasında değişen 2 depreme; Macarlar batısındaki merkez büyüklükleri 2.8 ilâ 4.1 arasında değişen 2 depreme odaklık etmişlerdir.

Deprem sırasında yerel zemin koşullarının yer hareketleri üzerinde etkili olduğu bilinen bir gerçektir. Bu nedenle bölgede yaygın olarak gözlenen jeolojik birimlerin olabilecek bir depremde yer hareketleri üzerinde nasıl etkili olacağı literatür yardımıyla genel olarak değerlendirilmiştir. Dünyada farklı bölgelerde yapılan çalışmalar göstermektedir ki alüvyonlarda (9m <su seviyesi <30 m) şiddet artış faktörü 2.0, Pliyosen ve Pleistosen kayalarda 2.0 ve Tersiyer volkaniklerinde 0.3'tür (Özaydın, 2000: 19). Farklı jeolojik birimlerde meydana gelmesi beklenebilecek yer hareketi büyüme faktörü incelendiğinde de Holosen'e ait birimlerde 3.0, Pleistosen kayalarda 2.1, Miyosen'e ait birimlerde 1.5 ve Tersiyer'den yaşlı olanlarda 1.0'dir (Özaydın, 2000: 20). Daha önce de belirtildiği gibi bölgenin sadece %13.4'ünün Tersiyer'den yaşlı sağlam kayalardan oluştuğu dikkate alınırsa zemin faktörü deprem riskini artırıcı özelliktedir. Diğer yandan kırsal yerleşmelerin ~%31.0'i Yuntdağ volkaniti, ~%29.8'i Soma formasyonu, ~%22.6'sı yeni alüvyonlar, ~%8.3'ü Karakaya formasyonu ~%7.1'i Yayla melanji ve ~%1.2'si eski alüvyonlar üzerinde kurulmuştur. Kısaca kırsal yerleşmelerin yaklaşık %54.0'ü ortalama olarak 2.0 ile 3.0 misline varan oranlarda zemin büyütmesine yol açan Pliyosen, Pleistosen ve Holosen kayaçları üzerindedir. Bu bütün içinde inceleme alanındaki en büyük yerleşme olan Balıkesir kentinin yüksek kısmı andezit ve dasit tüfler ile aglomeralardan oluşmaktadır. Ovaya doğru inen yamaç kısımları oldukça kalınlık gösteren moloz ve toprakla örtülüdür. Düzlük kısımlar ise alüvyonla kaplıdır. Kent, yeraltı su seviyesinin yüksek olduğu ovaya doğru ilerlemektedir. Oysa alüvyondan oluşan bu birimde hem depremin şiddet artışı hem de hareketin büyüme oranı fazladır. Bu da olabilecek bir depremde kentte meydana gelecek hasarı artıracaktır.

Balıkesir Ovası ve yakın çevresinde yapılan çalışmalarda kır yerleşmeleriyle yeryüzü şekilleri arasında ilişki araştırıldığında yerleşmelerin yaklaşık %20.0'sinin ova ve %12.0'sinin taraça yerleşmesi olduğu tespit edilmiştir. Kır yerleşmelerinin geri kalan yaklaşık %67.0'si alçak ve yüksek aşınım yüzeyleri ile yamaçlarında kurulmuştur. Aynı zamanda ova ve taraça yerleşmeleri nüfus bakımından aşınım yüzeyi yerleşmelerine göre daha kalabalıktır. Bu kapsamda ova ve taraça yerleşmelerinin yaygın olarak tarımsal faaliyetlerle ilgilendikleri bilinen bir gerçektir. Fakat taraçaların ve ovaların tarımsal faaliyetler için uygun alan olmakla birlikte yerleşmeler için uygun olup olmadıkları tartışılması gereken bir konudur. Şöyle ki Bobet ve Jonson (2003) tarafından Bingöl'de yapılan bir çalışmada ana malzemesini çakılların meydana getirdiği taraça yüzeylerinde deprem anında meydana gelecek lokal sallanmanın arttığı ortaya konmuştur. Ova yerleşmeleri ise taban suyu seviyesinin yüksek olduğu alanlardır ve zemin sıvılaşması⁴ ile karşı karşıyadır. Bu düşünceden hareketle şiddetli bir depremde taraçalar üzerinde ve ovalarda kurulmuş olan yerleşmelerin zarar görme riskinin daha fazla olabileceği, depremden en az zararlı çıkmanın amaçlandığı, plânlamalar sırasında göz önünde tutulmalıdır. Diğer yandan aşınım yüzeylerindeki yerleşmeler, anakayanın üzerinde kurulduğundan daha sağlam zemin şartlarına sahiplerdir. Bu nedenle bu yüzeyler üzerinde meydana gelebilecek bir depremde lokal sallanma etkisi daha az olduğundan zararın da daha az olacağı düşünülmektedir.

1900-2000 yılları arasında magnitüdü 6.0'dan fazla olan deprem gözlenmemekle birlikte daha önce de belirtildiği gibi Balıkesir ili kapsamında $M \geq 6.0$ ve hasar yapıcı etkisi büyük olan depremlere

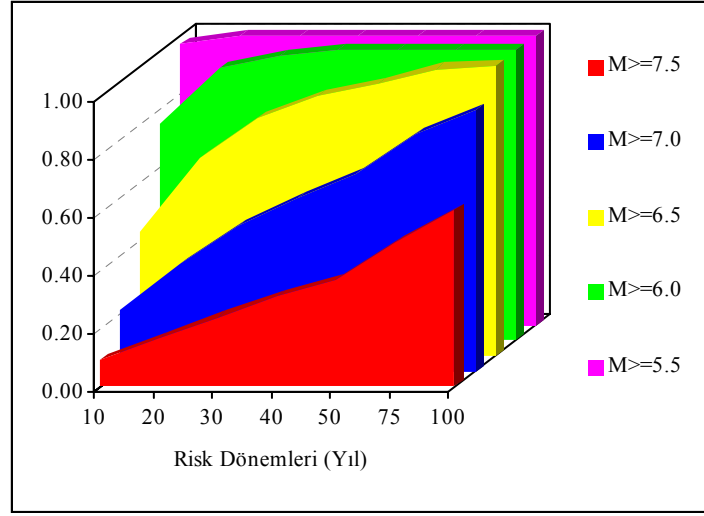
rastlanmıştır. Ancak Balıkesir Ovası ve çevresine komşuluk eden alanlarda olabilecek orta büyüklükte ya da çok büyük bir deprem de yörede can ve mal kaybına neden olabilir.

İnceleme alanına güneybatıdaki Savaştepe ile güneydoğudaki Sındırgı-Bigadiç çevresi, son yıllarda hissedilir depremlere sahne olmaları nedeniyle, yörede büyük öneme sahiptirler. Bunlardan Savaştepe’de 1999-2001 arasında gerçekleşen depremler yöre halkı üzerinde korkutucu etki bırakmış olmakla birlikte bu dönemdeki depremlerin büyüklüğü 5.5’i geçmemiştir. 24-31 Temmuz 1999’da $M \leq 4.5$ olan 176 adet deprem gerçekleşmiştir. Aynı alanda 14 Mayıs-24 Haziran 2001 tarihleri arasında $M \leq 5.0$ olan 164 adet deprem gerçekleşmiştir. Bazı araştırmacılara göre Savaştepe’de gerçekleşen depremler deprem fırtınası olarak kabul edilmiştir (Kalafat ve Pınar, 1997: 12); fakat Demirtaş vd. (2002, 2003) yapmış oldukları çalışmalarda söz konusu depremlerin fırtına karakterinde olmadığını ortaya koymuşlardır. 07-18 Haziran 2003 tarihleri arasında Sındırgı-Bigadiç arasında ise magnitüdüleri 2.5 ile 3.8 arasında değişen 35 deprem meydana gelmiştir. Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi Başkanlığı tarafından bu çevrede meydana gelen depremlerin de deprem fırtınası karakterinde olmadığı rapor edilmiştir (Demirtaş vd., 2003). Savaştepe ve Sındırgı-Bigadiç çevresindeki depremler Bergama-Zeytinadağ fayı ile Simav fayının birbirine yaklaştığı bölgede oluşmuştur. Bu bölgelerdeki depremler, deprem fırtınası karakterinde olmamakla birlikte yörede gerçekleşebilecek hasar yapıcı bir depremin habercisi karakterinde olabilecekleri dikkate alınmalıdır (Demirtaş vd., 2003). İnceleme alanına komşuluk eden bu alanların iyi değerlendirilmesi ve analiz edilmesi gerekmektedir.

Poisson modeline göre 0.5 birim magnitüd aralıkları (ΔM) ile Balıkesir merkezli 100 km yarıçaplı bir alanın sismik aktivitesi incelenmiştir. Analiz sonuçları Çizelge 6 ve Şekil 10’da gösterilmiştir. Buna göre;

Çizelge 6. Balıkesir merkezli 100 km yarıçaplı bir alanın risk analizi, sismik risk dönemleri ve deprem dönüş periyodu (yıl; $\Delta M: 0.5$).

Magnitüd	N(M)	Sismik Risk Dönemleri (Yıl)							Dönüş Periyodu (Yıl) Q(M)
		10	20	30	40	50	75	100	
5.5	0.34	.97	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	3
6.0	0.14	.75	.94	.98	1.00	1.00	1.00	1.00	7
6.5	0.06	.43	.68	.82	.90	.94	.99	1.00	18
7.0	0.02	.21	.37	.50	.60	.68	.82	.90	44
7.5	0.01	.09	.17	.24	.31	.37	.50	.61	107



Şekil 10. Balıkesir merkezli 100 km yarıçaplı bir alanda magnitüdü 5.0'ten büyük depremlerin sismik risk dönemlerine göre gerçekleşme oranları.

10 yıllık bir zamanda magnitüdü ≥ 5.5 bir depremin olma olasılığı $\sim 97\%$ 'dir. Aynı magnitüdde depremlerin tekrarlanması için gereken zaman ise ~ 3 yıl olarak bulunmuştur. 30 yıllık bir dönemde $M \geq 6.0$ olan bir depremin gerçekleşme olasılığı $\sim 98\%$ ve tekrarlanması için gerekli zaman ise ~ 7 yıldır. 75 yıl içinde $M \geq 6.5$ olan bir depremin olma olasılığı ise $\sim 99\%$ 'dur. Aynı magnitüdde depremlerin tekrarlanması için gerekli olan zaman ~ 18 yıl olarak tespit edilmiştir. 100 yıllık bir zamanda büyüklüğü 7.0 olan bir depremin olma olasılığı $\sim 90\%$, tekrarlanma yılı ise ~ 44 'tür. 100 yıl içerisinde $M \geq 7.5$ olan bir depremin gerçekleşme olasılığı ise sadece $\sim 61\%$ 'dir. Aynı magnitüdde depremlerin tekrarlanması için geçmesi gereken zaman ~ 107 yıl olarak bulunmuştur.

6. Sonuç ve Öneriler

1. $38^{\circ}50'N-40^{\circ}50'N$ enlemleri ile $26^{\circ}00'E-29^{\circ}40'E$ boylamları arasında kalan Güney Marmara ve kısmen Kuzeybatı Ege tektonik bakımdan oldukça aktif bir alandır. Bu alanda zaman zaman can kaybına neden olan büyük depremler olmuştur. Gelecekte de büyük depremlerin olma olasılığı fazladır. Bu alanlarda gerçekleşecek olan büyük ölçekli depremler Balıkesir Ovası ve yakın çevresinde de can ve mal kaybına neden olabilecektir.

2. Gerçekten risk altında bulunan bu alan içinde yer alan inceleme alanında son yüzyılda hissedilebilir depremler ($M \geq 4.0$) olmuş, fakat genellikle küçük depremler ($M \leq 5.0$) meydana gelmiştir. Ancak çevresinde büyük depremlere merkezlik etmiş alanlar bulunmaktadır. 17 Ağustos 1999 İzmit Körfezi ve 12 Kasım 1999 Düzce depremlerinde olduğu gibi depremlerin geniş alanlı hissedilen afetler olduğu göz önünde tutulursa inceleme alanı da çevresindeki aktif tektonik hatlar nedeniyle deprem riski altındadır. Kısaca $39^{\circ}44'N-39^{\circ}77'N$ enlemleri ile $27^{\circ}76'E-28^{\circ}15'E$ boylamları arasında aletsel döneme ait bilinen hiçbir yıkıcı deprem yaşanmamıştır. Balıkesir yöresinde yıkıcı etki oluşturan bütün depremlerin bölgeyi çevreleyen faylar üzerinde oluştuğu tespit edilmiştir. Nitekim inceleme alanının kuzeyi tektonik bakımdan aktif olan KAFZ'nin güney koluna, güneyi ise Ege'nin çöküntü sitemlerine komşuluk etmektedir.

3. 0.5 birim magnitüd aralığı seçilerek yapılan sismik tahminlere göre gelecekteki 100 yıl içinde magnitüdü ≥ 7.5 olan bir depremin olma olasılığı $\sim 61.0\%$ olarak bulunmuştur. Aynı büyüklükte depremlerin tekrarlanması için geçmesi gereken zaman ise ~ 107 yıl olarak tespit edilmiştir. Yapılan analizler göstermektedir ki bölgede büyük ($7.0 < M < 8.0$) ve çok büyük depremlerin ($M > 8.0$) olma olasılıkları yüksek değildir. Buna karşın inceleme alanında orta büyüklükte $M < 6.0$ olan depremlerin olma olasılıkları daha yüksektir.

4. Bölgede 1900-2000 yılları arasında gerçekleşen $M \geq 4.0$ olan depremler Ortamandıra köyünden Balıkesir'e uzanan bir hat boyunca, Macarlar köyünden Küçükbostancı köyüne uzanan bir hat boyunca ve Çayırhisar, Eşeler ile Turnalar köyleri çevresinde gözlenmiştir. Bölgede yapılacak afetten korunma plânlamalarında söz konusu alanlarda yapılacak çalışmalar bölgenin tektonik özelliklerini ortaya koyması bakımından önemlidir.

5. Deprem anında zemin davranışı çok önemlidir. Zemin davranışını etkileyen faktörlerden en önemlisi zemini oluşturan formasyonlardır. İnceleme alanının ~%52.0'sini oluşturan Pliyosen, Pleistosen ve Holosen kayalarının en önemli özelliği ortalama olarak 2.0 ile 3.0 misline varan oranlarda zemin büyütmesine yol açmalarıdır. Bu birimler içerisinde zemin davranışını etkileyecek başlıca etkilerin başında yeraltı suyu gelmektedir. Tabii ki taban suyunun sığ olması ya da olmaması hareketi büyütme oranını değiştirecektir. Sığ yeraltı suyu zeminin taşıma gücünün azalmasına neden olmaktadır. Kısaca inceleme alanı, çeşitli faktörlerin etkisi altında değişmekle birlikte genel olarak zemin özelliği bakımından sismik etkiyi artırıcı özelliktedir. Deprem sırasında gerçekleşecek olan zararın derecesinde yapının sağlamlığı da önemlidir. Sağlam zemin üzerine sağlam konutların yapılmalı önerilmektedir.

6. Bölgede kırsal yerleşmelerin ~%30.0'unu üzerinde bulunduran ve yerleşme yoğunluğunun aşınım yüzeyi yerleşmelerine göre fazla olduğu taraça yüzeyleri ile ovaların oluştukları materyal nedeniyle deprem riskini artırıcı özellikte olduğu plânlamalar sırasında dikkate alınmalıdır. Kısaca gerek ovalar gerekse benzer özellikler gösteren taraça dolguları zemin davranışını olumsuz etkileyen birimlerdir. Alüvyonlarda zemin sıvılaşması ve ~3 misline varan zemin büyütmesi başlıca sorunları oluşturmaktadır. Bu tür birimler üzerinde yerleşimden kaçınılması tavsiye edilmektedir. Buna rağmen, büyük oranda çevresinden göç alan ve hızlı bir kentleşme sürecinde olan Balıkesir kenti yeraltı suyu seviyesinin yüksek olduğu alüvyon zeminden oluşan ovaya doğru yayılmaktadır. Bu önemle üzerinde durulması gereken bir problemdir. Ayrıca taraçalar ve ovalar tarımsal açıdan önemlidir, bu nedenle inceleme alanında tarım alanlarının işgalinin söz konusu olduğu söylenilebilir.

7. Her ne kadar inceleme alanı içinde büyük depremler gerçekleşmemiş olsa da çevresindeki risk teşkil eden alanlar nedeniyle yöre halkının deprem ve depremsellik ile ilgili olarak bilinçlendirilmesi gerekmektedir. Özellikle yeni yerleşim bölgelerinin belirlenmesinde ve mevcut yerleşim bölgelerinin imara yeni açılacak kesimleri için gerçekleştirilecek olan yerleşim alanı seçiminin plânlaması sırasında topoğrafik koşullar, jeomorfolojik koşullar, jeolojik koşullar, hidrojeolojik değerlendirme ve doğal afetlere ilişkin değerlendirmeler esas alınarak bölgesel etüt yapılmalıdır. Tüm bu bilgilerin değerlendirilmesi sırasında içinde coğrafyacıların, jeologların, sosyologların ve diğer bilim adamlarının bulunduğu disiplinler arası çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

Notlar

¹ Magnitüd (M): Depremde açığa çıkan enerjinin bir ölçüsüdür. Prof. Richter, episantrdan 100 km uzaklıkta ve sert zemine yerleştirilmiş özel bir sismografla (2800 büyütme, özel periyodu 0.8 saniye ve %80 sönümü olan bir Wood-Anderson torsiyon Sismografı ile) kaydedilmiş zemin hareketinin mikron cinsinden (1 mikron 1/1000 mm) ölçülen maksimum genliğinin 10 tabanına göre logaritmasını bir depremin "magnitüdü" olarak tanımlamıştır (Tabban ve Gencoğlu, 1975: 24).

² Odak Derinliği (İzoseist): Deprem enerjisinin açığa çıktığı noktanın yeryüzüne olan en kısa uzaklığı, depremin odak derinliği olarak adlandırılır. Yani, Odak Noktası (Hiposantr) ile Dış Merkez (Episantr) arasındaki mesafedir (Tabban ve Gencoğlu, 1975: 16).

³ Dış Merkez (Episantr): Yer içindeki odak noktasının yer yüzündeki izdüşümüdür (Tabban ve Gencoğlu, 1975: 16). Burası aynı zamanda depremin en çok hasar yaptığı veya en kuvvetli olarak hissedildiği alandır.

⁴ Sıvılaşma: "Su kapsayan çakıl, kum, mil, kil ve çamur yığınlarından oluşan zemine sismik kuvvet etki ettiğinde, kum tanecikleri arasındaki denge bozularak kumla birlikte su yarıklardan yüzeye çıkmakta zeminin bir sıvı gibi davranmasına yol açmaktadır. Bir sıvı gibi davranan zemin üzerindeki binalarda, hasarlar ve yana yatmalar olmaktadır. Bu olaya sıvılaşma ya da zemin yenilmesi denilmektedir" (Atabey, 2000: 38).

Teşekkür

Bu makalenin hazırlanması sırasında depremlerle ilgili parametrelerin değerlendirilmesinde yardımlarını gördüğüm Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma dairesi çalışanlarından sayın Ramazan Demirtaş'a ve Müjdat Yaman'a ve risk analizlerinin yapılması sırasında yardımlarını gördüğüm Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi çalışanlarına teşekkür ederim.

Referanslar

- Adatepe, F. M. (1998) "Batı Anadolu Kıyılarının Tarihsel Dönem Deprem Etkinliği", *Deprem Araştırma Bülteni*, Yıl: 25, Sayı: 76, s: 63-85.
- Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi*, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.
- ArDOS, M. (1985) "Jeomorfoloji Açısından Türkiye Ovalarının Oluşumları ve Gelişimleri", *İ.Ü. Edebiyat Fakültesi Coğrafya Bölümü Coğrafya Dergisi*, Sayı: I, s. 111-126.
- Atabey, E. (2000) *Deprem*, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayınlarından, Eğitim Serisi No. 34, Ankara.
- Aygül, H. ve Genç, H.T. (1998) "Marmara Bölgesi ve Civarının İzostası Durumu Garvite, Topografya ve Batimetri verisi kullanılarak İncelenmesi", *Aktif Tektonik Araştırma İkinci Toplantısı*, İ.T.Ü., İstanbul.
- Aşar, E. (1982) *Balıkesir ve Kepsut Ovaları Hidrojeolojik Etüt Raporu*, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü Yirmibirinci Bölge Müdürlüğü, Balıkesir.
- Bağcı, G. (1990) "Batı Anadolu Deprem Riskinin İncelenmesi", *Deprem Araştırma Bülteni*, Yıl: 17, Sayı: 68, s. 96-111.
- Barka, A., Toksöz, M.N. ve Gülen, L., (1987), "Kuzey Anadolu Fayının Doğu Kesiminin Segmentasyonu Sismisitesi ve Deprem Potansiyeli", *Yerbilimleri*, Sayı: 14, s. 337-352.
- Barka, A. ve Kandisky-Code, K. (1988) "Strike-Slip Fault Geometry in Turkey and Its Influence on Earthquake Activity", *Tectonics*, 7, pp. 663-684.
- Bistritschen, K. (1957) *Balıkesir Vilayetindeki Sıcak Su ve Maden Suyu Kaynakları Hakkında Rapor*, MTA Genel Müdürlüğü, Rapor No: 2622, Ankara.
- Bobet, A. ve Johnson, A. M. (2003) "Draft Report on Geological and Geotechnical Conditions in Bingöl, Turkey", Purdue University, Earth and Atmospheric Sciences, Bingöl Geotechnical and Geological Report, 16 Ağustos, <http://www.eas.purdue.edu/physproc/pdf%20Files/GeotechEngrg&EngrgGeology.pdf>.
- Darkot, B. ve Tuncel, M. (1981) *Marmara Bölgesi Coğrafyası*, İstanbul Üniversitesi, Edebiyat Fakültesi Yayını, İstanbul.
- Demirtaş, R. ve Yılmaz, R. (1996) *Türkiye'nin Sismotektoniği*. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.
- Demirtaş, R. ve Erkmen, C. (2000) *Deprem ve Jeoloji*, Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları: 52, Ankara.
- Demirtaş, R., Tepeuğur, E., Eravcı, B., Yaman, M. ve Yanık, K. (2002) "1965 Salıhlı, 2000 Denizli ve 1999-2001 Savaştepe (Balıkesir) Deprem Dizileri: Deprem Fırtınası mı?", *55. Türkiye Jeoloji Kurultayı*, 11-15 Mart, Ankara.
- Demirtaş, R., Erkmen, C., Yaman, M., Tepeuğur, E., Eravcı, B., Yanık, K., Baran, B. ve Çolakoglu, Z. (2003) *17-18 Haziran 2003 Sındırgı-Bigadiç Depremleri Deprem Fırtınası mı?*, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi Sismoloji Şube Müdürlüğü, Deprem Raporları No:023, Ankara.
- Durmaz, G. (1995) *Balıkesir Şehri*, İ.Ü. Sosyal Bilimler Enstitüsü, Beşeri ve İktisadi Coğrafya Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi (Basılmamış), İstanbul.
- Ergül, E., Öztürk, Z., Akçaören, F. ve Gözler, Z. (1980) *Balıkesir İli-Marmara Denizi Arasının Jeolojisi*, Maden Teknik Araştırma Genel Müdürlüğü, Proje No: 6760, Ankara.
- Erol, O. (1983) "Türkiye'nin Genç Tektonik ve Jeomorfolojik Gelişimi", *Jeomorfoloji Dergisi*, Sayı: 11, s. 1-22.
- Eyidoğan, H. ve Barka, A. (1996) *Deprem ve Deprem Kaynakları*, Türkiye Deprem Vakfı, TDV/TR 96-004, İstanbul.
- Herzog, E. (1954) *Balıkesir Ovası Hidrojeolojik Raporu*, Maden Teknik Araştırma Genel Müdürlüğü, Proje No: 2719, Ankara.
- Kalafat D. ve Pınar, A. (1997) "KB Anadolu'nun Sismotektonik Özelliklerinin Küçük ve Orta Büyüklükteki Depremlerle İrdelenmesi", *Aktif Tektonik Araştırma Grubu Birinci Toplantısı*, 8-9 Aralık 1997. İTÜ, İstanbul.
- Kasap, R. ve Gürlen, Ü. (2003) "Deprem Magnitüdüleri İçin Tekrarlanma Yıllarının Elde Edilmesi: Marmara Bölgesi Örneği", *Doğuş Üniversitesi Dergisi*, Sayı 4 (2), s.157-166,
- Ketin, İ. (1960) "1/2 500 000 ölçekli Türkiye Tektonik Haritası Hakkında Açıklama (Notice Explicative)", *Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Dergisi*, Sayı: 54, s. 1-7.
- Ketin, İ. (1969) "Kuzey Anadolu Fayı Hakkında", *Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Dergisi*, Sayı: 72, s. 1-27.
- Koçyiğit, A. (2002) "Çay (Afyon) Depreminin Kaynağı ve Ağır Hasarın Nedenleri: Akşehir Fay Zonu", *Cumhuriyet Bilim Teknik*, Sayı. 779, s. 6.
- Lomnitz, C. (1966) "Statistical Prediction of Earthquakes", *Rev. Geophys.*, Vol: 4, pp. 377-393.
- Pınar, N. Ve Lahn, E. (1952) *Türkiye Depremleri İzahlı Katalogu*, T.C. Bayındırlık Bakanlığı Yapı ve İmar İşleri Reisliği Yayınlarından, Seri: 6, Sayı: 36, Ankara.
- Özaydın, K. (2000) "Yerel zemin koşullarının deprem hasarına etkisi", Geoteknik İncelemelerin Mühendislikteki Önemi, Deprem ve Zemin Açısından Konya, Selçuk Üniversitesi, Konya

- Özmen, B. ve Bağcı, G. (2000) *12 Kasım 1999 Düzce Depremi Raporu*, T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi, Ankara
- Özoğul, A. (1987) “Balıkesir Ovası ve Yakın Çevresinde Meydana Gelen Depremlerin Uygulamalı Jeomorfoloji Bakımından Etkileri”, *Uludağ Üniversitesi- Eğitim Fakültesi Dergisi*, Cilt: II, Sayı: 1, s. 43-51.
- Tabban, A. (2000) *Kentlerin Jeolojisi ve Deprem Durumları*, Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları: 56, Ankara.
- Tabban A. ve Gencoğlu, S. (1975) *Deprem ve Parametreleri*, T.C. İmar ve İskan Bakanlığı Deprem Araştırma Enstitüsü Başkanlığı, Ankara.
- Tağıl, Ş. (2003) *Balıkesir Ovası ve Yakın Çevresinin Fiziki Coğrafyası*, Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Doktora Tezi (Basılmamış), Ankara.
- Yılmaz, Y. (2000) “Ege Bölgesinin Aktif Tektoniği”, *Batı Anadolu'nun Depremselliği Sempozyumu*, ISBN 975-585-148-8, s:3-14, İzmir.
- Utku, M. (2000) “Batı Anadolu'nun Türkiye Depremselliğindeki Yeri”, *Batı Anadolu'nun Depremselliği Sempozyumu*, ISBN 975-585-148-8, s: 50-58, İzmir.
- www.balikesir.com (2003) Balıkesir hakkında her şey, Tüm Hakları Saklıdır ONNET LTD. ŞTİ. Balıkesir.
- www.deprem.gov.tr (2003) T.C Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi, Ankara.
- www.sayisigrafik.com.tr/deprem/turkiye.htm (2003) Türkiye ve Depremler, Sayısal Grafik Sanayi ve Ticaret Ltd. Şti.