

TÜRK YE Ç N ALAN KAYNAK MODEL NE DAYALI OLASILIKSAL DEPREM TEHL KE ANAL Z

K. e etyan¹, M.B. Demircio lu², T.Y. Duman³, T. Çan⁴, S. Tekin⁵, T. Ero lu Azak⁶, Ö. Zülfikar⁷
ve S. Akkar⁸

¹ Yard. Doç. Dr. Deprem Müh. Ana Bilim Dalı, Bo aziçi Üniversitesi, stanbul

² Ö r. Gör. Dr. Deprem Müh. Ana Bilim Dalı, Bo aziçi Üniversitesi, stanbul

³ Doç. Dr. Jeoloji Etütleri Dairesi, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlü ü, Ankara

⁴ Doç. Dr. Jeoloji Müh. Bölümü, Çukurova Üniversitesi, Adana

⁵ Jeoloji Müh. Bölümü, Çukurova Üniversitesi, Adana

⁶ Ara . Gör. Dr. n aat Müh. Bölümü, Akdeniz Üniversitesi, Antalya

⁷ Deprem Müh. Ana Bilim Dalı, Bo aziçi Üniversitesi, stanbul

⁸ Prof. Dr. Deprem Müh. Ana Bilim Dalı, Bo aziçi Üniversitesi, stanbul

ÖZET:

Do u Akdeniz bölgesinde sürmekte olan levha dinamikleri transform ve dalma-batma gibi devasa tektonik unsurları veya levha içi ikincil fay sistemlerini ekillendirmi tir. Bu aktif tektonik yapılar Türkiye ve yakın çevresinde meydana gelen depremlerin kaynak faylarını olu tururlar. Bölgede sık geli en, hasar ve kayıplara neden olan bu depremlerin tehlike de erlendirmeleri daha önce birçok çalı mada farklı yöntemlerle ele alınmı tir. Deprem jeolojisinde edinilen bilgi birikimi ve deneyimlere ba lı yenilenen ulusal diri fay bilgi altyapısı ve son yıllarda geli tirilen yeni analiz yöntemleri deprem tehlike de erlendirmelerine önemli katkılar ve farklı bakı olanakları sa lamı tir. Bunlara paralel olarak Ulusal Deprem Stratejisi ve Eylem Planı'nda Türkiye deprem haritasının yenilenmesi de gündeme gelmi tir. Ulusal katılımı olu turulan proje grubu tarafından, Türkiye Deprem Tehlike Haritaları yeniden de erlendirilmi tir. Proje çalı malarında olasılıksal deprem tehlike analizleri i-) alan kaynak model ve ii-) çizgisel ve mekânsal olarak düzle tirilmi sismik kaynak modelleri olarak ele alınmı tir. Bildiride Türkiye Sismik Tehlike Haritasının Güncellenmesi projesi kapsamında geli tirilen, alan sismik kaynak modeli, ilgili parametreler ve elde edilen sonuçlar sunulmaktadır. Alan kaynak modelinde aktif sı kabuk içi, dalma-batma zonu ara yüzü ve dalma-batma zonu dalan levha içi tektonik yapıları ayrı ayrı de erlendirilmi ve deprem derinlikleri ve mekanizmaları da dikkate alınarak her bir tektonik yapı içerisinde yer alan alan kaynaklar belirlenmi ve ilgili magnitüd yineleme parametreleri hesaplanmı tir. Tehlike analizlerinde yine her bir tektonik yapıya ait yer hareketi tahmin denklemi mantık a açları kullanılmı tir. Sonuçlar, 50 yılda sırasıyla %69, %50, %10 ve %2 a ılma olasılıklarına kar ılıklı gelen 43, 72, 475, 2475 yıllık geri dönü süreleri için tahmin edilen pik yer ivmesi, 0.2 sn ve 1.0 sn'deki %5 sönüm oranına sahip elastik spektral ivmeler cinsinden yer hareketi parametrelerinin da ılımları ekinde sunulmu tur.

ANAHTAR KEL MELER : Olasılıksal deprem tehlike analizi, alan kaynak modeli, Türkiye

1. G R

Ülkemizde mevcut deprem tehlikesi haritasının güncellenmesi amacıyla olu turulan Türkiye Sismik Tehlike Haritasının Güncellenmesi (UDAP-Ç-13-06) projesi kapsamında ulusal düzeyde bir katılımı çalı malar gerçekleştirilmi tir. Projede, olasılıksal sismik tehlike hesap yöntemini kullanarak farklı yıllık a ılma olasılıkları için pik yer ivmesi (PGA) ve 0.2 saniye ile beraber 1.0 saniye periyotlarında %5 sönüm oranına sahip elastik spektral ivme (PSA) de erlerinin Türkiye kara sınırları içindeki da ılımlarının hesaplanması hedeflemi tir. Çalı maların tamamı ülkemizde ve dünyada sismik tehlike hesaplarıyla ilgili yapılan en son çalı malar dikkate alınarak gerçekleştirilmi tir. Bu ba lamda, özellikle Türkiye'de son 20 yıl içinde olu mu sismik kaynak, deprem ve yer hareketi veri tabanları mevcut birikimi projede en iyi ekinde de erlendirilmeye çalı ılmı tir.

Projenin farklı i paketlerine pek çok ara tırmacı katkıda bulunmu tur. Bu çalı mada proje kapsamında geli tirilmi olan alan kaynak modeli, ilgili parametreler ve elde edilen deprem tehlike haritaları sunulmaktadır. Yine proje kapsamında geli tirilmi olan çizgisel ve mekânsal olarak düzle tirilmi sismik kaynak modeli Demircio lu vd (2015) tarafından sunulmu tur. Projenin nihai sonuçları her iki modelden elde edilen sonuçların mantık a acı uygulaması dahilinde farklı a rlıklarla birle tirilmesi ile elde edilmi tir.

Proje kapsamında alan kaynakların modeli ile ilgili olarak a a ıda verilen adımlar izlenmi tir.

- Bölgedeki tektonik yapılar ile ilgili de erlendirmeler
- Bölgenin depremselli i ile ilgili de erlendirmeler
- Alan kaynakların belirlenmesi
- Alan kaynaklar ile ilgili gerekli parametrelerin belirlenmesi
- Uygun yer hareketi tahmin denklemlerinin belirlenmesi
- Olasılıksal deprem tehlikesinin hesaplanması

Bu adımlar takip eden bölümlerde detaylı olarak ele alınmaktadır.

2. ALAN KAYNAK MODEL

Alan kaynak modelleri deprem tehlikesinin hesaplanmasında kullanılan klasik yöntemlerden biridir. Alan kaynaklar genellikle bir ya da birkaç tektonik birimi, örne in aktif fayı içerebilen, veya sınırları belirli bir deprem grubunu içerecek ekilde belirlenmi olan kaynaklardır. Alan kaynaklarda deprem üretme potansiyelinin kaynak yüzeyinde homojen olarak da ıldı ı varsayılır ve her bir alan kaynak tehlike hesaplarına bu ekilde katkıda bulunur. Alan kaynakların deprem üretme potansiyeli depremselli e ba lı olarak hesaplanır.

Bu çalı mada Türkiye ve çevresinde yer alan üç farklı tektonik rejim ayrı alan kaynaklar olarak ele alınmı tir. Bunlar:

- Aktif sı kabuk içi kaynaklar
- Dalma-batma zonu ara yüzünü temsil eden kaynaklar,
- Dalan levha içi depremleri temsil eden kaynaklardır.

Aktif sı kabuk içi alan kaynak modeli Türkiye ve çevresinde yer alan aktif kabuk içi fay kaynaklarını ve bunlarla ilgili 0-50 km aralı ndaki depremselli i modellemek üzere geli tirilen alan kaynak modelidir (Şekil 1a).

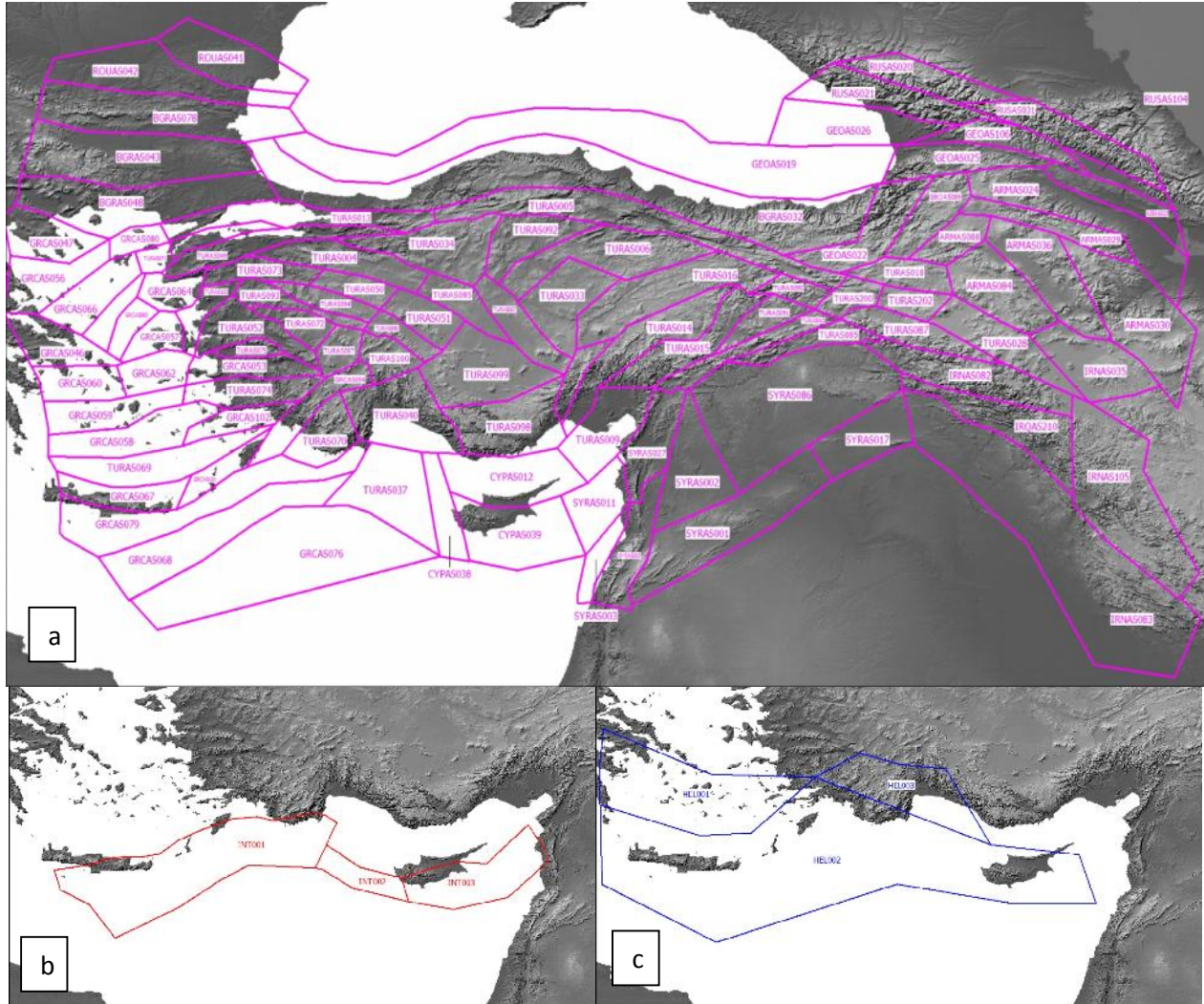
Dalma-batma zonu arayüzünü temsil eden kaynaklar Girit ve Kıbrıs dalma-batma ara yüzünü modellemek için kullanılan ve aktif fay veri tabanında yer alan ilgili dalma-batma ara yüzlerinin yüzey izdü üm alanlarını kapsayacak ekilde çizilen alan kaynaklardır (Şekil 1b). Bu bölgede 20-50 km arası derinlikte meydana gelmi olan depremler dalma-batma alan kaynaklar ile ili kilendirilmi , yüzeye daha yakın olan 0-20 km arasındaki depremler ise aktif sı kabuk içi kaynaklar ile ili kilendirilmi tir.

Girit ve Kıbrıs dalma-batma ara yüzlerinin dalan levha içi kısmında meydana gelen depremlerin modellenmesi için ayrı bir alan kaynak seti kullanılmı tir. Dalan levha içi kısmında meydana gelen depremler özellikle Girit dalma-batma zonu ile ili kili olup zonun güney kısmında yüzeye daha yakın, Ege Denizi ortalarına ve Türkiye'nin güneybatı ucuna yakla tıkça daha derinde meydana gelmektedir. Bu bölgede 50-200 km arasında meydana gelen depremler dalan levha içi kaynaklar ile ili kilendirilmi , derinlik da ılımındaki farkların modellenebilmesi için üç farklı alan kaynak çizilmi tir (Şekil 1c).

3. DEPREM KATALO U VE TAMAMLILIK BÖLGELER

Proje çalı ma sahası için derlenmi olan deprem katalo u Kadirio lu vd (2014) tarafından derlenen 1900 sonrası aletsel dönem deprem katalo unun çe itli çalı malarda derlenmi olan 1900 öncesi (tarihsel dönem) deprem katalo u (Albini vd., 2014, Stucchi vd., 2012) ile birle tirilmesi ve magnitüd cinsi açısından homojen hale getirilmesi ile meydana gelmi tir. Katalo un ihtimal hesaplarına dayalı sismik tehlike analizinde kullanılabilmesi amacıyla bir tamamlılık analizi yapılmı tir. Deprem olu umlarının Gutenberg-Richter ili kisine ba lı olarak

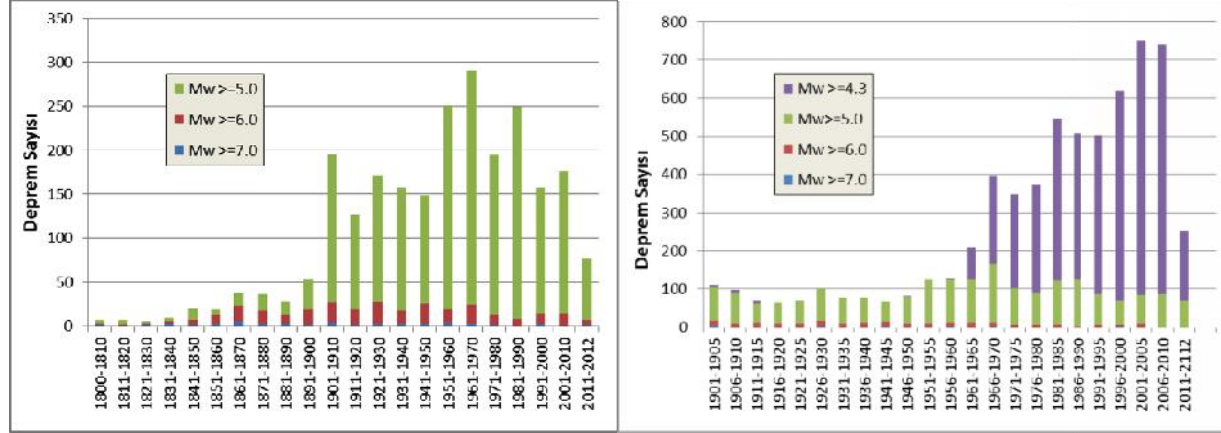
magnitüde göre üstel bir dağılım gösterdiği kabul edilir ise küçük magnitüdü depremlerin sıklığı, büyük magnitüdü depremlerin ise seyrek olacağını beklenir. Bu nedenle ihtimal hesaplarına dayalı sismik tehlike analizinde büyük magnitüdü depremlerin yinelenme süreleri geçmiş dönemleri yeterince kapsayan bir katalog ile belirlenebilir. Buna karşılık orta ve küçük magnitüdü depremler ise ancak yakın geçmişte tam ve doğru olarak kaydedilebilmiştir. Bu nedenle bu depremlerin yıllık olma sayıları hesaplanırken katalogun yakın geçmişi kapsayan kısmı kullanılmalıdır. Çalışmada kullanılan deprem katalogunun 1800 sonrası 20 yıllık dilimlerde ve 1900 sonrası 10 yıllık dilimlerde bulunan deprem sayıları Şekil 2’de sunulmaktadır. Burada küçük ve büyük magnitüdü deprem sayılarının yıllara göre değişimi rahatlıkla gözlenebilmektedir. Tamamlılık analizi kısaca derlenen katalogun hangi magnitüd aralıkları için hangi dönemlerde tüm depremleri içerdiğinin belirlenmesi olarak açıklanabilir.



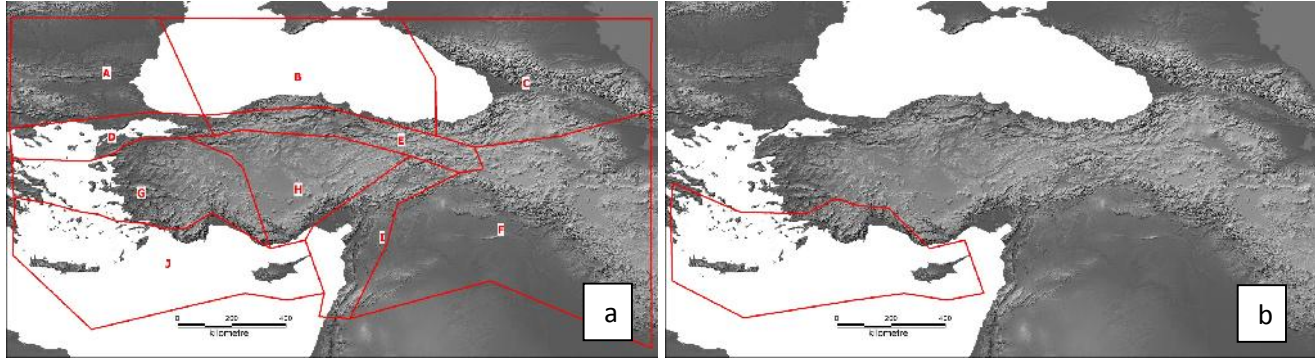
ekil 1. Alan kaynak modeli a) aktif sı kabuk için alanlar, b) dalma-batma arayüz alanları; c) dalan levha içi (derin deprem) alanlar

Tamamlılık analizleri için literatürde farklı yöntemler mevcuttur. Sadece alan kaynak modellerinin kullanıldığı bir deprem tehlikesi belirlenmesi çalışmasında her alan kaynak için bir tamamlılık analizi yapılabileceği gibi birden fazla alan kaynağı kapsayan üst bölgeler için de yapılabilir. Bu çalışmada hem alan hem de fay kaynak modelleri için kullanılacak tamamlılık üst bölgeleri yaklaşımları kullanılmıştır. Tamamlılık üst bölgeleri hem tarihsel ve aletsel dönemlerde depremlerin kayıt edilme olasılıkları değerlendirilerek hem de tektonik yapı göz önünde bulundurularak belirlenmiştir. Ayrıca kullanılan katalogun derinlik dağılımı dikkate alındığında derin depremlerin Girit ve Kıbrıs yaylarının dalan levha içi aktivitesi ile ilişkili olduğu görülmektedir. Bu nedenle bu çalışmada sı depremler için on, derin depremler için ise bir tamamlılık üst bölgesi belirlenmiştir. Sı ve derin

depremler için tamamlılık üst bölgesi ekil 3’de sunulmu tur. Farklı magnitüd aralıkları için Stepp (1972) yöntemi ve deprem büyüklük – yıl da ılımlarının gözlemsel de erlendirmeleri ile belirlenen tamamlılık dönemleri Tablo 1’de özetlenmi tir. Katalo un kullanılabilir minimum magnitüdü 4.3 olarak belirlenmi tir.



ekil 2. 10 ve 20 yıllık dilimler ile gösterilen deprem sayıları



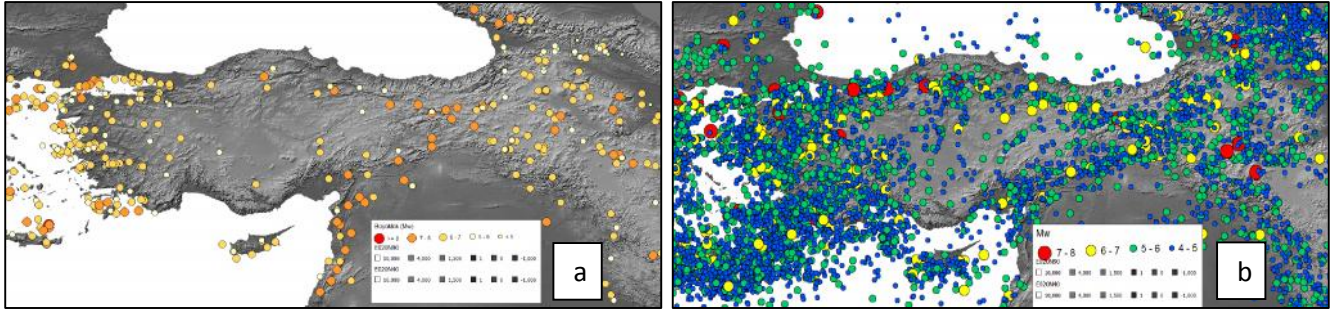
ekil 3. Deprem katalo u tamamlılık analizi için kullanılan a) sı kabuk ve b) derin deprem üst bölgeleri

Tablo 1. Üst bölgeler için seçilen tamamlılık aralıkları

ÜST BÖLGE	MAGN TÜD ARALIKLARI							
	4.3-4.7	4.8-5.2	5.3-5.7	5.8-6.2	6.3-6.7	6.8-7.2	7.3-7.7	7.8-8.2
A BALKAN	1977	1902	1902	1850	1850	1850	1850	1850
B KARADEN Z	1997	1922	1900	1900	1900	1900	1900	1900
C KAFKAS	1962	1962	1897	1887	1887	1887	1887	1887
D MARMARA	1962	1952	1900	1850	1750	1700	1700	1700
E KAF	1987	1947	1897	1850	1850	1850	1650	1650
F DO U ANADOLU	1987	1967	1897	1857	1857	1857	1840	1840
G EGE	1967	1967	1897	1862	1842	1842	1842	1842
H Ç ANADOLU	1967	1967	1907	1907	1907	1907	1907	1907
I DAF	1962	1900	1900	1867	1750	1750	1750	1750
J AKDEN Z	1982	1962	1917	1907	1902	1902	1902	1902
K AKDEN Z DER N	1982	1962	1917	1907	1902	1902	1902	1902

Tamamlılık analizini takiben, katalog, deprem tekerrür parametrelerinin hesaplanmasında kullanılabilmesi amacıyla kümesizle tirm e lemne tâbi tutulmu tur Bu çalı ma sırasında farklı kümesizle tirm e yöntemleri detaylı bir ekilde incelenmi ve hassaslık analizleri yapılmı tur. Hassaslık analizleri, çe itli kümesizle tirm e

yöntemlerinin deprem kataloğuna tatbiki sonrası çok farklı sonuçlar ortaya koyabileceklerini göstermiştir. Bununla beraber Türkiye sınırları içinde meydana gelen moment büyüklüğü $M_w = 6.5$ olan ve birçok istasyon tarafından kaydedilmiş 15 depremin farklı kümesizleştirme yöntemleri sonucu elde edilen kümeleri incelenmiş, Gardner ve Knopoff (1974) kümesizleştirme yönteminin en makul sonuçları verdiği gözlemlenmiştir. Bu kapsamda tüm deprem kataloğuna bu yöntemle kümesizleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan nihai deprem kataloğu Şekil 4'de sunulmaktadır.



Şekil 4. Nihai deprem kataloğuna büyüklük dağılımı (a) 1900 öncesi ve (b) 1900 sonrası dönemler (Kadirioğlu vd. 2014).

4. MODEL PARAMETRELERİ

Alan kaynakların modellenmesinde gerekli parametreler ve bu parametrelerin belirlenmesinde kullanılan kaynaklar Tablo 2'de sunulmaktadır.

Tablo 2. Alan kaynakların modellenmesinde kullanılan parametreler ve ilgili kaynaklar

Parametre	Kullanılan kaynaklar
Maksimum büyüklük	Alan kaynaktan meydana gelen depremler ve aktif fay veri tabanından gelen karakteristik büyüklükler
Derinlik dağılımı	Aktif fay veri tabanı, alan kaynaktan meydana gelen depremlerin derinlik dağılımı ve sismojenik kabuk kalınlığı ile ilgili değerlendirmeler
Deprem mekanizmaları	Alan kaynaktan meydana gelen depremlerin mekanizmaları ve aktif fayların hakim mekanizmaları ile ilgili değerlendirmeler
Hakim azimut	Aktif fay veri tabanından gelen azimut bilgisi
Hakim eğim açısı	Aktif fay veri tabanından gelen eğim açısı bilgisi
Deprem tekrerrür parametreleri	Deprem kataloğuna ve tamamlılık analizi

4.1. Maksimum Büyüklük

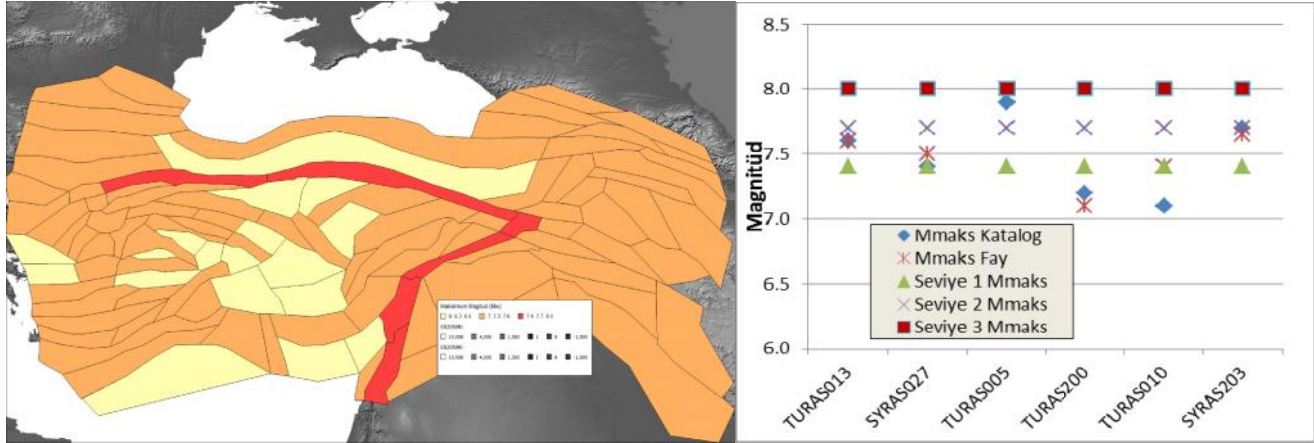
Bir deprem kaynağının meydana getirebileceği maksimum büyüklük değeri tek olmakla beraber bu depremin ne olacağı ile ilgili bilgimiz sınırlıdır. Bu nedenle maksimum büyüklük parametresi deprem tehlikesi hesaplamalarında epistemik belirsizlik mantığına karşı çerçevesinde ele alınır. Bu çalışmada tanımlanan aktif sismojenik kabuk içi, dalma batma ara yüzü ve dalma levha içi alan kaynak modellerinde yer alan her bir alan kaynak için üç seviyede maksimum büyüklük değerleri belirlenmiştir. Bunlar 1. maksimum büyüklük seviyesi ve 0.3 artırımlı 2. ve 3. Seviyeler olarak özetlenebilir. Deprem tehlikesi hesaplamalarında 1., 2. ve 3. maksimum büyüklük seviyelerinin ağırlıkları sırasıyla 0.25, 0.50 ve 0.25 olarak alınmıştır. Aktif sismojenik kabuk içi alan kaynaklarda maksimum büyüklük değerleri ve örnek karıştırmalar Şekil 5'te sunulmuştur.

4.2. Derinlik Dağılımı

Alan kaynakların derinlik açısından iki farklı grupta değerlendirilmiştir. Bunlar:

- 1) Aktif sismojenik kabuk içi ve dalma-batma ara yüzünü temsil eden sığ kaynaklar
- 2) Dalma levha içini temsil eden derin kaynaklardır.

Alan kaynaklarda sismojenik derinlik alt ve üst sınırlarının belirlenmesinde aktif fay veri tabanından gelen derinlik bilgisi kullanılmıdır. Aktif fay veri tabanında yer alan fay alt sınırları gruplandırılarak alan kaynak alt derinlik sınırları elde edilmiştir. Takiben alan kaynaklarda meydana gelen depremlerin derinlikleri değerlendirilerek her bir kaynak bölgeye üç farklı odak derinliği ve bu derinliklerde meydana gelebilecek deprem yüzdeleri atanmıştır.



Şekil 5. Sol panel: Aktif sı kabuk içi alan kaynaklara atanan maksimum magnitüdü. Kırmızı alanlara 7.4, 7.7 ve 8.0; turuncu alanlara 7.0, 7.3 ve 7.6; ve sarı alanlara 6.0, 6.3 ve 6.6'lık üç seviyeli maksimum magnitüdü atanmıştır. Sağ panel: Kuzey Anadolu ve Do u Anadolu Faylarını içeren alan kaynaklara atanan üç maksimum magnitüdü seviyesinin alan içinde katalog bilgisi dahilinde meydana gelen en büyük deprem ve içerdiği fayların karakteristik magnitüdüleri ile karşılaştırılması.

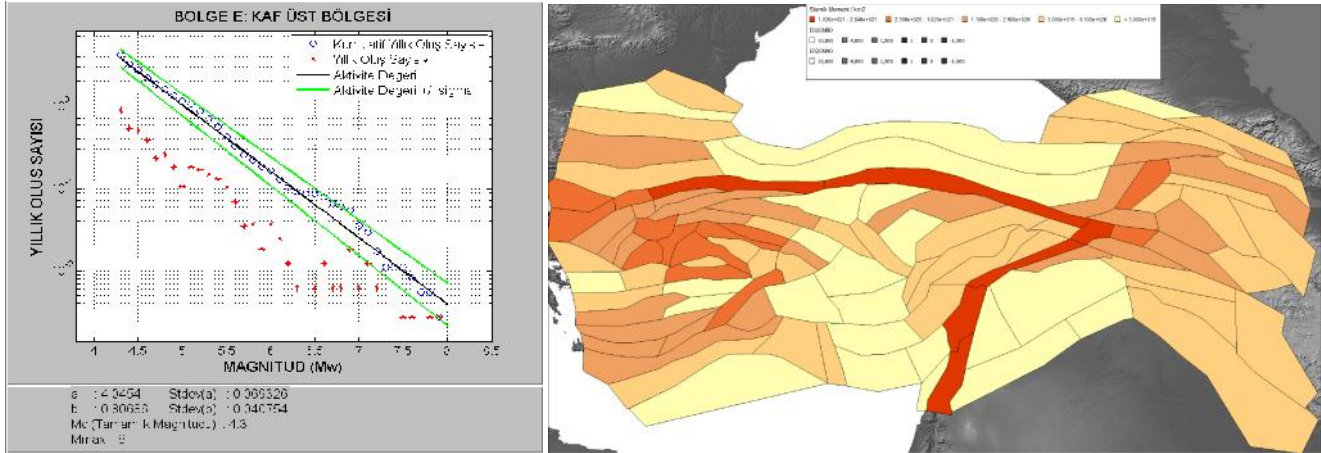
4.3. Mekanizma Da ılımı

Alan kaynakların hangi mekanizmaya sahip depremler üretecekleri bilgisi barındırdıkları aktif faylardan gelmektedir. Aktif fayların hakim mekanizmaları genellikle belli olmakla beraber üretecekleri depremlerin mekanizmalarında, özellikle de daha küçük magnitüdü depremlerde bir miktar rassal belirsizlik söz konusudur. Bu nedenle alan kaynaklarda yanal atımlı, normal ve ters olmak üzere üç mekanizma türü tanımlanmıştır ve içerilen fay bilgisine dayanılarak her alan kaynağına deprem mekanizma yüzdeleri atanmıştır. Örneğin Kuzey Anadolu Fayı'nı kapsayan alan kaynağına bu oranlar yanal atımlı, normal ve ters mekanizma için %80, %10 ve %10 olarak atanmıştır. Do u Anadolu Fayı'nı kapsayan alan kaynağı için bu oranlar sırasıyla %80, %5 ve %15'tir. KAF'nın Marmara Denizi içindeki koluna ise %80 yanal ve %20 normal mekanizma atanmıştır.

4.4 Deprem tekrür parametreleri

Deprem tekrür parametrelerinin hesaplanmasında Weichert (1980) yöntemi kullanılmıdır. Yöntem esasen bir sismik kaynak için Gutenberg-Richter tekrür modeli parametreleri olan a ve b katsayılarının En Büyük Olabilirlik (Maximum Likelihood) yaklaşımı ile tahminini içermektedir. Weichert (1980) yönteminin özelliği ise belirli bir magnitüdü aralığında yıllık deprem olumlarının hesaplanmasında her magnitüdü aralığı için farklı uzunlukta dönemlerin kullanılabilmesidir. Bu sayede tamamlılık analizi sonucunda her magnitüdü aralığı için belirlenen tamamlılık dönemleri kolayca hesaplamaya katılmaktadır. Weichert (1980) yöntemi için gerekli olan girdiler hesaplama yapılacak olan her sismik kaynak için düzenli artan magnitüdü aralıkları için her magnitüdü aralığının tamamlılık dönemi (yıllar cinsinden) ve bu tamamlılık dönemi dahilinde katalog verisi kullanılarak her magnitüdü aralığı için hesaplanan kaynağına meydana gelen deprem sayılarıdır. Weichert (1980) yöntemi uygulamasına bir örnek Şekil 6'da sunulmuştur.

Alan kaynakları için elde edilen tekrür parametreleri yardımıyla yıllık deprem olum sayıları ve buna bağlı olarak yıllık olarak açığa çıkacak olan sismik moment hesaplanmıştır. Her alan kaynağının yıllık olarak açığa çıkaracağı 1 km^2 başına sismik moment derecesi alan kaynağın yaratacağı deprem tehlikesinin de göreceli bir ifadesidir. Şekil 6'da alan kaynakları için deprem tekrür parametrelerine (a ve b parametreleri) bağlı olarak hesaplanmıştır olan sismik moment / alan dağılımı sunulmaktadır.



5. YER HAREKETİ MANTIK AÇI

Yer hareketi tahmin denklemi mantık açısı üç farklı tektonik yapı için önerilen dörder tahmin denklemi (Şekil 7) ve ilgili ağırlıkların birleşimi neticesinde 64 daldan oluşmaktadır. Tehlike hesaplamalarında kullanılan yazılımda (Openquake, Pagani vd., 2014) mantık açısı uygulama yapısında her bir kaynak için tektonik yapı ve ayrı bir dosyada her tektonik yapı için yer hareketi tahmin denklemi mantık açısı ve ağırlıkları verilmektedir. Bu sayede her bir kaynak için ilgili olduğu bir ya da daha fazla yer hareketi tahmin denklemi ile hesaplama yapılabilir.

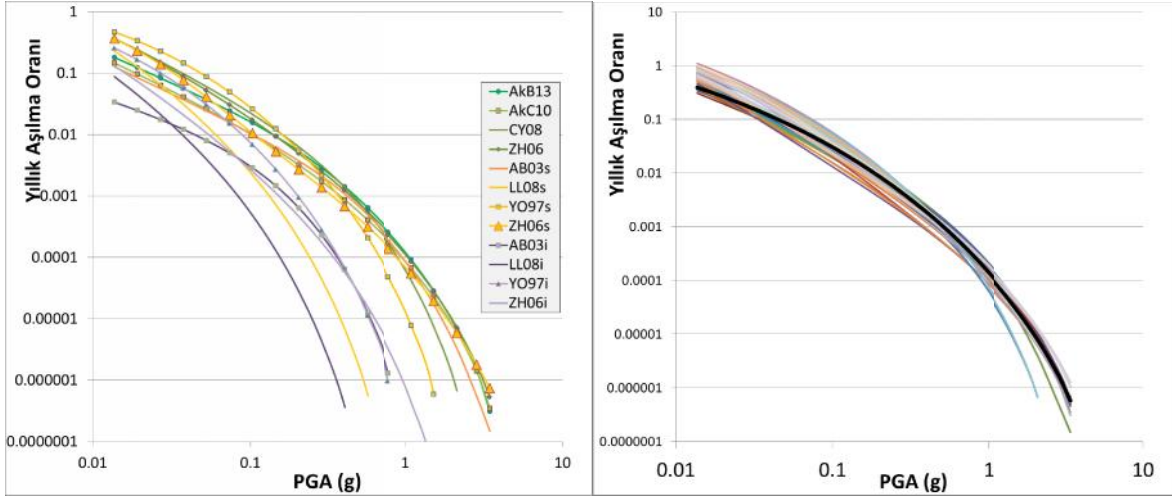
Aktif Sığ Kabuk içi Depremler	Akkar vd (2014) (AkB13)(0.3) Akkar&Cagnan (2010) (AkC10) (0.3) Chiou&Youngs (2008) (CY08) (0.3) Zhao vd (2006) (Zh06) (0.1)
Dalma Batma Zonu Arayüzü	Zhao vd (2006) (Zh06) 0.4 Youngs vd (1997) (YO97) (0.2) Atkinson&Boore (2003) (AB03) (0.2) Lin&Lee (2008) (LL08) (0.2)
Dalan Levha içi	Zhao vd (2006) (Zh06) (0.4) Youngs vd (1997) (YO97) (0.2) Atkinson&Boore (2003) (AB03) (0.2) Lin&Lee (2008) (LL08) (0.2)

ekil 7. Farklı tektonik yapılar için önerilen yer hareketi tahmin denklemleri, kısaltmaları ve ağırlıkları

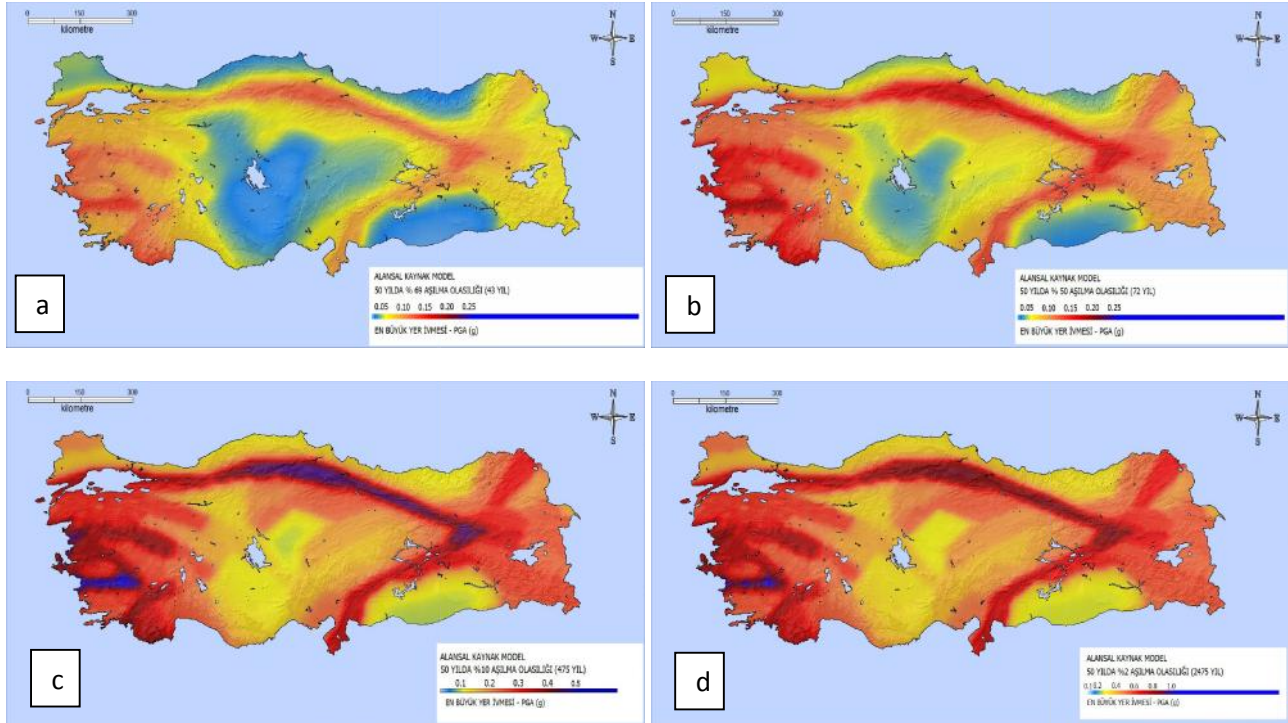
6. SONUÇLAR

Tehlike hesaplamalarında kullanılan Openquake yazılımı hem hesaplama yapılan her bir nokta ve her yer hareketi parametresi için tehlike eğrisini, hem de arzu edilen geri dönüş sürelerine karşılık gelen yer hareketi değerlerini vermektedir. Bu çalışmada mantık açısı uygulaması tümüyle deprem tehlike eğrileri üzerinde yapılmış ve her nokta için nihai tehlike eğrisi elde edilmiştir (Şekil 8). Takiben istenilen geri dönüş periyotlarına karşılık gelen değerler her nokta için nihai tehlike eğrisinden okunarak haritaların oluşturulmasında kullanılan veri

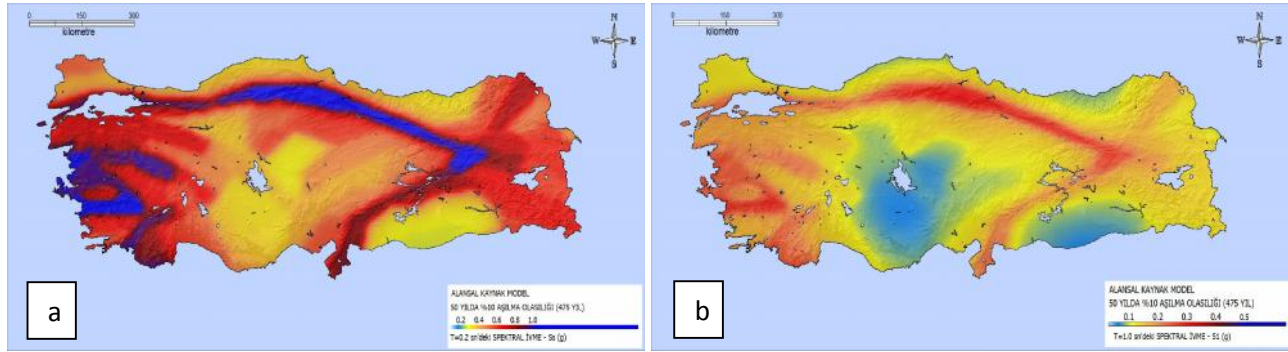
elde edilmiştir. Sonuçlar, 50 yılda sırasıyla %69, %50, %10 ve %2 aşıma olasılıklarına karşılık gelen 43, 72, 475, 2475 yıllık geri dönüş sürelerine ilişkin pik yer ivmesi (PGA), 0.2 sn ve 1.0 sn'deki %5 sönümlü elastik spektral ivme cinsinden yer hareketi parametrelerinin dağılımları ekinde sunulmuştur. Burada örnek olarak her bir geri dönüş süresi için elde edilen PGA (Şekil 9) ve ayrıca 475 yıllık geri dönüş süresi için elde edilen 0.2 sn ve 1.0 sn'deki spektral ivme dağılımları (Şekil 10) sunulmaktadır.



Şekil 8. Ege Bölgesi'nde yer alan bir nokta için alan kaynak modelinden elde edilen 12 (3 tektonik yapı * 4'er yer hareketi tahmin modeli) tehlike eğrisi (sol panel) ve bunların birleşiminden elde edilen 64 kombinasyon (sağ panel). Nihai ağırlıklı ortalama tehlike eğrisi sağ panelde kalın siyah çizgi ile gösterilmiştir.



Şekil 9. Pik yer ivmesi (PGA) dağılımları. Sırası ile a) 43 b) 72 c) 475 ve d) 2475 yıllık geri dönüş sürelerini göstermektedir.



ekil 10. 475 yıllık geri dönüş süresine karşılık gelen a) $T=0.2$ sn'deki ve b) $T=1.0$ sn'deki %5 sönümlü elastik spektral ivme dağılımları.

Sunulan haritalardan da anlaşılacağı üzere Kuzey Anadolu Fay Zonu, Karlıova üçlü kesim bölgesi ve Büyük Menderes grabeni civarı en yüksek deprem tehlikesine haiz bölgelerdir. Alan kaynak modeli ile hesaplanan en büyük PGA değerleri 43, 72, 475 ve 2475 yıl için sırası ile 0.15g, 0.20g, 0.45g ve 0.83g'dir.

KAYNAKLAR

Akkar, S. ve Çalkan, Z. (2010). A local ground-motion predictive model for Turkey and its comparison with other regional and global ground-motion models. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, **100**(6), 2978–2995.

Akkar, S., Sandıkkaya, M.A. ve Bommer, J.J. (2014). Empirical Ground-Motion Models for Point- and Extended-Source Crustal Earthquake Scenarios in Europe and the Middle East, *Bull Earthquake Eng*, **12**, 359-387.

Atkinson, G.M., ve Boore, G.M. (2003). Empirical ground-motion relationships for subduction-zone earthquakes and their application to Cascadia and other regions. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, **93**, 1703-1729.

Chiou, B.S.J. ve Youngs, R.R. (2008). An NGA Model for the Average Horizontal Component of Peak Ground Motion and Response Spectra. *Earthquake Spectra*, **24**(1), 173-215.

Demircioğlu M.B., Erturan K., Duman T.Y., Çan T., Tekin S., Ergintav S., Akkar S. (2015), "Çizgisel Ve Mekânsal Düzleştirilmiş Sismik Kaynak Modeli Kullanılarak Türkiye Olasılıksal Deprem Tehlike Analizi", Sekizinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 11 Mayıs-14 Mayıs, 2015, İstanbul

Gardner, J. K., and L. Knopoff (1974). Is the sequence of earthquakes in Southern California, with aftershocks removed, Poissonian? *Bull. Seismol. Soc. Am.*, **64**, 1,363–1,367.

Kadirioğlu, F.T., Kartal, R.F., Kılıç, T., Kalafat, D., Duman, T.Y., Özalp, S. and Emre, Ö., 2014. An improved earthquake catalogue (M 4.0) for Turkey and near surrounding (1900-2012). Second European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, pp. 411-422, Aug. 25-29 İstanbul.

Lin, P.S. ve Lee, C.T. (2008). Ground-motion attenuation relationships for subduction-zone earthquakes in Northeastern Taiwan, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, **98**, 220-240.

Pagani, M., D. Monelli, G. Weatherill, L. Danciu, H. Crowley, V. Silva, P. Henshaw, L. Butler, M. Nastasi, L. Panzeri, M. Simionato, ve D. Viganò (2014), "OpenQuake Engine: An Open Hazard (and Risk) Software for the Global Earthquake Model", *Seismological Research Letters*, **85**/3, 692-702.

Stepp, J. C. (1972). Analysis of completeness of the earthquake sample in the Puget Sound area and its effect on statistical estimates of earthquake hazard. *Proc. Intern. Conf. Microzonation*, v 2, p. 897-910.

Youngs, R., Chiou, S., Silva, W. ve Humphrey, J. (1997). Strong ground motion attenuation relationships for subduction zone earthquakes, *Seism. Res. Lett.* **68**, 58-73.

Weichert, D. H. (1980). Estimation of the earthquake recurrence parameters for unequal observation periods for different magnitudes. *Bull. Seismol. Soc. Am.* **70**, 1337–1346.

Zhao, J.X., Zhang, J., Asano, A., Ohno, Y., Oouchi, T., Takahashi, T., Ogawa, H., Irikura, K., Thio, H.K., Somerville, P.G. ve Fukushima, Y. (2006). Attenuation relations of strong ground motion in Japan using site classification based on predominant period. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, **96(3)**, 898–913.