

**DEPREM İLE İYONKÜREDEKİ TOPLAM ELEKTRON
İÇERİĞİ ARASINDAKİ İLİŞKİNİN ARAŞTIRILMASI**

Seçil KARATAY

Doktora Tezi

Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Mehmet AYDOĞDU (F.Ü.)

Eş Danışman: Prof. Dr. Feza ARIKAN (H.Ü.)

EKİM-2010

**T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DEPREM İLE İYONKÜREDEKİ TOPLAM ELEKTRON İÇERİĞİ ARASINDAKİ
İLİŞKİNİN ARAŞTIRILMASI**

DOKTORA TEZİ

Seçil KARATAY

04214202

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 25 Ekim 2010

Tezin Savunulduğu Tarih: 25 Ekim 2010

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mehmet AYDOĞDU (Fırat Üniversitesi)

Eş Danışman: Prof. Dr. Feza ARIKAN (Hacettepe Üniversitesi)

Diğer Jüri Üyeleri: Prof. Dr. Osman ÖZCAN

Doç. Dr. Raşit ZENGİN

Yrd. Doç Dr. Esat GÜZEL

Yrd. Doç Dr. İbrahim ÜNAL

EKİM-2010

ÖNSÖZ

Bu çalışma, varlığını, aşağıda isimleri anılan insanlara borçludur.

Bana, farklı alanlara uzanarak bir kez daha kendimi sınama şansı veren değerli hocam Prof. Dr. Mehmet Aydoğdu'ya;

Çalışmaya başladığım nispeten farklı sayılabilecek bir alanda yeni bir ufuk açan, bilimsel araştırma ve yazma teknikleri ve çalışma disiplini kazandıran, bilgisini, tecrübesini ve zamanını esirgemeyen sevgili hocam Prof. Dr. Feza Arıkan'a;

Değerli düşünceleri ve uyarılarıyla yol gösteren değerli bilim adamı Prof. Dr. Orhan Arıkan'a;

Her sıkıştığım da yardıma koşan, değerli emeğini esirgemeyen sevgili Işıltan Sayın'a;

Ve maddi özverilerinin yanında; her zora girdiğimde tekrar motive eden engin hoşgörülerini, merhametleri, sabırları, sevgileri ve inancımı kaybettiğim anlarda bile yaptığım işe olan saygılarıyla aileme;

Teşekkürlerimi sunuyorum.

Bu çalışma, onlarsız tamamlanamazdı.

Seçil KARATAY

Ankara, 2010

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	I
İÇİNDEKİLER	II
ÖZET	IV
SUMMARY	V
ŞEKİLLER LİSTESİ	VI
ÇİZELGELER LİSTESİ	XIX
SEMBOLLER VE KISALTMALAR LİSTESİ	XXI
SÖZLÜK DİZİNİ	XXII
1. GİRİŞ	1
2. İYONKÜRE PARAMETRELERİ.....	5
2.1. İyonküredeki Elektron Yoğunluğu.....	5
2.2. İyonkürenin Kritik (Plazma) Frekansı ve Yükseklikler	7
2.3. Elektron-İyon-Nötr Sıcaklıklar	9
2.4. İyonkürenin Toplam Elektron İçeriği (TEİ).....	10
2.5. Güneş İşlekliği ve Jeomanyetik İndisler	14
2.5.1. K-indisi.....	15
2.5.2. a-indisi.....	15
2.5.3. A-indisi.....	16
2.5.4. Kp-indisi.....	16
2.5.5. Ap-indisi	17
2.5.6. Güneş lekesi sayısı (SSN-Sun Spots Number).....	17
2.5.7. Güneş akısı indisi (SFI-Sun Flux Index).....	18
2.5.8. Dst-indisi (Disturbance Storm Time).....	18
2.5.9. Polar Zirve indisi (PC-Polar Cap)	18
3. LİTERATÜRDE DEPREM ARAŞTIRMALARINDA KULLANILMIŞ ANALİZLER	19
3.1. İlinti (Korelasyon) Analizleri.....	19
3.2. Çeyrekler Arası Alan (IQR) Analizi	21
3.3. TEİ Farkı Analizi	22
3.4. İyonoküresel Düzeltme	23
3.5. Radyo Yarı Saydımlık Metodu	24
4. DEPREM ÖNCÜLÜ ARAŞTIRMASI İÇİN ÖNERİLEN ANALİZ YÖNTEMLERİ...	26
4.1. Çapraz İlinti Katsayısı (ÇİK)	28
4.2. Simetrik Kullback-Leibler Mesafesi (KLD).....	29

4.3. L2-Normu (L2N)	30
4.4. Kayan Pencere İstatistiksel Analizi.....	31
4.5. Dağılımlar Iraksaklığı (DI) ve Dağılımlar Farkı (DF)	33
5. UYGULAMALAR VE BULGULAR	35
5.1. Japonya ve Çin Sismik Bölgeleri İçin Elde Edilen Bulgular	35
5.2. Türkiye Sismik Bölgesi İçin Bulgular	54
6. SONUÇLAR ve TARTIŞMA.....	75
KAYNAKLAR	78
EKLER.....	83
EK A: Yerküresel Konumlama Sistemi (GPS-Global Positioning System)	83
EK B: Deprem Dönemleri, Sakin Dönem ve Bozulmalı Dönem Zaman Aralıklarındaki Kp-indisi ve Ap-indisi Değerleri	86
EK C: İstasyonlar Arası Çaprazlama Yöntemiyle Elde Edilen Eğriler.....	98
EK D: Ortalama Değer Sakin Gün Uygulaması İle Elde Edilen Eğriler.....	135
EK E: Ardışık Günler Uygulaması İle Elde Edilen Eğriler.....	199
EK F: Richter Ölçeği.....	259
ÖZGEÇMİŞ	

ÖZET

Yer'in iyonküresi, uzay-havası incelemelerinde önemli bir etkindir ve bu nedenle iyonkürenin değişkenliğinin incelenmesi, başta iyonküre fiziği ve radyo iletişimi olmak üzere birçok alanda önemlidir. İyonküreyi karakterize eden temel parametreler, yükseklik, enlem, boylam, jeomanyetik işleklik, Güneş işlekliği ve sismik hareketlilikle değişimler gösteren elektron yoğunluğudur. İyonküreyi karakterize eden bir diğer parametre ise atmosferde bir yol boyunca hesaplanan serbest elektronların miktarına eşit olan Toplam Elektron İçeriğidir (TEİ). TEİ ölçümleri, uzay havasındaki değişimleri sergilemeye olanak sağlar. Yerküresel Konumlama Sistemi (YKS), yeryüzüne dağılmış istasyon ağlarıyla yerküresel olarak TEİ kestirimleri yapmak için çok yaygın olarak kullanılan bir sistemdir. Bu çalışmada, Japonya ve Çin'de konumlanmış sekiz YKS istasyonundan ve Türkiye'de konumlanmış on bir TUSAGA-Aktif YKS istasyonundan elde edilen TEİ verileri, Çapraz İlinti Katsayısı (ÇİK), simetrik Kullback-Leibler Mesafesi (KLD), L2-Normu (L2N), kayan pencere istatistiksel analizi ve Dağılımlar Iraksaklığı (DI) ile Dağılımlar Farkı (DF) yöntemleri kullanılarak iyonkürenin sakin günlerini, şiddetli jeomanyetik fırtınaların yaşandığı günlerini ve güçlü depremlerin yaşandığı günlerini kapsayan üç dönem için karşılaştırılmıştır. Buna göre, birbirine 340 km mesafe alanında bulunan istasyonlar için KLD ve L2N yönteminin sismik hareketliliği, jeomanyetik bozulmadan ve sakin durumlardan ayırabildiği gözlenmiştir. Her bir istasyonun üç dönem için elde edilen TEİ değerleri, ÇİK, KLD ve L2N yöntemleri kullanılarak ortalama bir sakin günde elde edilen TEİ değeriyle karşılaştırıldığında sadece KLD ve L2N yöntemlerinin deprem merkezine en fazla 150 km uzaklıkta olan istasyonlar için sismik hareketliliğin neden olduğu bozulmayı seçebildiği görülmüştür. Her bir istasyonun üç dönemi için elde edilen TEİ değerleri ardışık günler arasında karşılaştırıldığında ise, ÇİK, KLD ve L2N yöntemlerinin üçünün de iyonküredeki jeomanyetik bozulmayı çok iyi ölçebildiği gözlenmiştir. Ayrıca çalışma kapsamında kayan pencere istatistiksel analizi kullanılarak TEİ değerlerinin kestirilen değişinti sınırları her bir istasyon ve üç dönem zaman aralığı için hesaplanmıştır ve ÇİK, KLD, L2N yöntemlerinin bu analiz yöntemiyle iyonküredeki bozulmaları seçmek için kullanılabilir yöntemler olduğu gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: İyonküre, Toplam Elektron İçeriği, Deprem, Jeomanyetik Bozulma, Kullback-Leibler Mesafesi, L2-Normu, Yerküresel Konumlama Sistemi.

SUMMARY

Earth's ionosphere is a dominant factor in space weather and the variability of the ionosphere is important for the ionospheric physics and radio communications. The characterizing property of the ionosphere is the electron density distribution that shows variation as a function of height, latitude, longitude, geomagnetic activity, solar and seismic activity. An important measurable quantity about the electron density is the Total Electron Content (TEC) which is proportional to the total number of electrons on a line crossing the atmosphere. TEC measurements enable monitoring variations in the space weather. Global Positioning System (GPS) and the network of world-wide receivers provide a cost-effective solution in estimating TEC over a significant proportion of global land mass. In this study, TEC obtained for eight GPS stations located in Japan and China and eleven TUSAGA-Active GPS stations located in Turkey are compared with each other using the Cross Correlation Coefficient (CIK), symmetric Kullback-Leibler Distance (KLD), L2-Norm (L2N), sliding window statistical analysis and Divergence of Distributions (DI) and Difference of Distributions (DF) for quiet days of the ionosphere, during severe geomagnetic storms, and strong earthquakes. It is observed that only KLD and L2N can differentiate the seismic activity from the geomagnetic disturbance and quiet ionosphere if the stations are in a radius of 340 km. When TEC for each station is compared with an average quiet day TEC for all periods using CIK, KLD and L2N, it is observed that, again, only KLD and L2N can distinguish the approaching seismicity for stations that are within 150 km radius to the epicenter. When the TEC of consecutive days for each station and for all periods are compared, it is observed that CIK, KLD and L2N are all successful in distinguishing the geomagnetic disturbances. Using sliding window statistical analysis, moving averages of daily TEC with estimated variance bounds are also obtained for all stations and for all days of interest. When these bounds compared with each other for all periods, it is observed that all CIK, KLD and L2N are successful tools for detecting ionospheric disturbances.

Key Words: Ionosphere, Total Electron Content, Earthquake, Geomagnetic Disturbance, Kullback-Leibler Distance, L2-Norm, Global Positioning System.

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. İyonküre bölgeleri ve bu bölgelerde hakim olan iyonlar	2
Şekil 2.1. Uydudan gönderilen radyo dalga sinyalinin iyonküreyi geçerek alıcıya ulaşması	11
Şekil 2.2. STEC ve VTEC geometrisi	13
Şekil 4.1. kgni ne mtka kodlu IGS istasyonlarının 26 Eylül 2003 tarihindeki a) VTEC dağılımları, b) düzgelenmiş VTEC dağılımları ve 27 Eylül 2003 tarihindeki c) VTEC dağılımları, d) düzgelenmiş dağılımları	27
Şekil 5.1. Günlük jeomanyetik hareketlilik indisleri; BD ₁ için a) Kp indisi, b) Dst indisi, c) Ap indisi; BD ₂ için d) Kp indisi, e) Dst indisi, f) Ap indisi; SD ₁ için g) Kp indisi, h) Dst indisi, i) Ap indisi; SD ₂ için j) Kp indisi, k) Dst indisi, l) Ap indisi	37
Şekil 5.2. Çalışma kapsamında kullanılan depremler ve IGS-YKS istasyonlarının konumları	38
Şekil 5.3. E5 depremi için a) mtka-tskb arasında E5 günlerindeki, b) mtka-tskb arasında SD ₁ günlerindeki_c) mtka-tskb arasında BD ₁ günlerindeki, d) mtka-yssk arasında E5 günlerindeki, e) mtka-yssk arasında SD ₁ günlerindeki, f) mtka-yssk arasında BD ₁ günlerindeki Çapraz İlinti Katsayıları	40
Şekil 5.4. kgni-ksmv istasyonları arasındaki a) E2 depremi için ÇİK değerleri, b) BD1 için ÇİK değerleri, c) E2 depremi için KLD değerleri, d) BD1 için KLD değerleri, e) E2 depremi için L2N değerleri, f) BD1 için L2N değerleri	43
Şekil 5.5. E2 günlerinde ksmv-tskb istasyonları arasındaki a) ÇİK, b) KLD, c) L2N; E3 günlerinde_mizu-tskb istasyonları arasındaki a) ÇİK, b) KLD, c) L2N; E5 günlerinde kgni-tskb istasyonları arasındaki_a) ÇİK, b) KLD, c) L2N değerleri	44
Şekil 5.6. kunm istasyonu için ÇİK değerleri: a) E6 günleri ile ODSG arasında, b) SD ₂ günleri ile ODSG arasında, c) BD ₁ günleri ile ODSG arasında; KLD değerleri: a) E6 günleri ile ODSG arasında, b) SD ₂ günleri ile ODSG arasında, c) BD ₁ günleri ile ODSG arasında; L2N değerleri: a) E6 günleri ile ODSG arasında_b) SD ₂ günleri ile ODSG arasında, c) BD ₁ günleri ile ODSG arasında	45
Şekil 5.7. kgni istasyonu için deprem günleri ile ODSG arasındaki Kullback-Leibler Mesafesi ve L2-Norm değerleri: a) E5 depremi için KLD, b) E5 depremi için L2N, c) E2 depremi için KLD, d) E2 depremi için L2N, e) E1 depremi için KLD, f) E1 depremi için L2N, g) E4 depremi için KLD_h) E4 depremi için L2N	46
Şekil 5.8. kunm istasyonu için E6 günleri sınırı ile ODSG sınırı, BD1 sınırı ile ODSG sınırı ve SD2 sınırı ile ODSG sınırı arasındaki a) KLD değerleri, b) L2N değerleri, c) ÇİK değerleri	47
Şekil 5.9. mizu istasyonu için: a) E3 ile ODSG arasındaki DI, b) ODSG ile E3 arasındaki DI, c) E3 ile ODSG arasındaki DF, d) BD ₂ ile ODSG arasındaki DI, e) ODSG ile BD ₂ arasındaki DI, f) BD ₂ ile ODSG arasındaki DF, g) SD ₁ ile ODSG arasındaki I, h) ODSG ile SD ₁ arasındaki DI, i) SD ₁ ile ODSG arasındaki DF değişimleri	48
Şekil 5.10. mizu'nun ardışık günleri için: ÇİK değerleri a) E3 günlerindeki, b) SD ₁ günlerindeki, c) BD ₂ günlerindeki; KLD değerleri d) E3 günlerindeki, e) SD ₁ günlerindeki, f) BD ₂ günlerindeki; L2N değerleri_g) E3 günlerindeki, h) SD ₁ günlerindeki, i) BD ₂ günlerindeki	49

Şekil 5.11. mizu istasyonu için ardışık E1 ve E3 günlerinde, ardışık BD ₂ günlerinde ve ardışık SD ₁ günlerinde hesaplanan sınırlarla elde edilen a) KLD değerleri, b) L2N değerleri, c) ÇİK değerleri .	51
Şekil 5.12. kunm istasyon için Dağılımlar Iraksaklığı değişimleri: a) ardışık E6 günlerinde, b) ardışık BD ₁ günlerinde, c) ardışık SD ₂ günlerinde .	52
Şekil 5.13. kunm istasyon için Dağılımlar Farkı değişimleri: a) ardışık E6 günlerinde, b) ardışık BD ₁ günlerinde, c) ardışık SD ₂ günlerinde .	53
Şekil 5.14. Günlük jeomanyetik hareketlilik indisleri; SD ₂ için a) Kp indisi, b) Dst indisi, c) Ap indisi; SD ₁ için d) Kp indisi, e) Dst indisi, f) Ap indisi .	56
Şekil 5.15. Çalışma kapsamında seçilen depremler ve TUSAGA-Aktif YKS istasyonları .	56
Şekil 5.16. E1 depremi ve sakin günlerde: a) erzi-rhiy, b) erzi-bayb, c) erzi-bing, d) erzi-kays istasyonları arasındaki ÇİK değerleri .	57
Şekil 5.17. E2 depremi ve sakin günlerde: a) yenc-cana, b) yenc-tekr, c) yenc-ayvl, d) yenc-usak, e) yenc-datc istasyonları arasındaki ÇİK değerleri .	58
Şekil 5.18. E1 depremi ve sakin günlerde: a) erzi-rhiy, b) erzi-bayb, c) erzi-bing, d) erzi-kays istasyonları arasındaki KLD değerleri .	59
Şekil 5.19. E2 depremi ve sakin günlerde: a) yenc-cana, b) yenc-tekr, c) yenc-ayvl d) yenc-usak, e) yenc-datc istasyonları arasındaki KLD değerleri .	60
Şekil 5.20. E1 depremi ve sakin günlerde: a) erzi-rhiy, b) erzi-bayb, c) erzi-bing, d) erzi-kays istasyonları arasındaki L2N değerleri .	61
Şekil 5.21. E2 depremi ve sakin günlerde: a) yenc-cana, b) yenc-tekr, c) yenc-ayvl, d) yenc-usak, e) yenc-datc istasyonları arasındaki L2N değerleri.	62
Şekil 5.22. E1 depremi ile ODSG ve sakin günler ile ODSG eşleşmeleri için: a) erzi, b) rhiy, c) bayb, d) bing, e) kays istasyonuna ait ÇİK değerleri .	63
Şekil 5.23. E2 depremi ile ODSG ve sakin günler ile ODSG eşleşmeleri için: a) yenc, b) cana, c) tekr, d) ayvl, e) usak, f) datc istasyonuna ait ÇİK değerleri .	64
Şekil 5.24. E1 depremi ile ODSG ve sakin günler ile ODSG eşleşmeleri için: a) erzi, b) rhiy, c) bayb, d) bing, e) kays istasyonuna ait KLD değerleri .	65
Şekil 5.25. E2 depremi ile ODSG ve sakin günler ile ODSG eşleşmeleri için: a) yenc, b) cana, c) tekr, d) ayvl, e) usak, f) datc istasyonuna ait KLD değerleri .	66
Şekil 5.26. E1 depremi ile ODSG ve sakin günler ile ODSG eşleşmeleri için: a) erzi, b) rhiy, c) bayb, d) bing, e) kays istasyonuna ait L2N değerleri .	67
Şekil 5.27. E2 depremi ile ODSG ve sakin günler ile ODSG eşleşmeleri için: a) yenc, b) cana, c) tekr, d) ayvl, e) usak, f) datc istasyonuna ait L2N değerleri .	68
Şekil 5.28. Ardışık E1 günleri ve ardışık sakin günler arasındaki ÇİK değerleri: a) erzi, b) rhiy, c) bayb, d) bing, e) kays .	69
Şekil 5.29. Ardışık E2 günleri ve ardışık sakin günler arasındaki ÇİK değerleri: a) yenc, b) cana, c) tekr, d) ayvl, e) usak, f) datc .	70
Şekil 5.30. Ardışık E1 günleri ve ardışık sakin günler arasındaki KLD değerleri: a) erzi, b) rhiy, c) bayb, d) bing, e) kays .	71
Şekil 5.31. Ardışık E2 günleri ve ardışık sakin günler arasındaki KLD değerleri: a) yenc, b) cana, c) tekr, d) ayvl, e) usak, f) datc .	72

Şekil 5.32. Ardışık E1 günleri ve ardışık sakin günler arasındaki L2N değerleri:_a) erzi, b) rhiy, c) bayb, d) bing, e) kays .	73
Şekil 5.33. Ardışık E2 günleri ve ardışık sakin günler arasındaki L2N değerleri:_a) yenc, b) cana, c) tekr, d) ayvl, e) usak, f) date .	74
Şekil A1. YKS sinyallerinin iyonküre üzerinden alıcıya ulaşması .	85
Şekil C1. 25 Eylül 2003 Hokkoido depremi için a) mizu-kgni, b) mizu-ksmv, c) mizu-mtka, d) mizu-tskb, e) mizu-usud, f) mizu-yssk istasyonları arası Çapraz İlinti Katsayıları .	99
Şekil C2. 25 Eylül 2003 Hokkoido depremi için a) kgni-ksmv, b) kgni-mtka, c) kgni-tskb, d) kgni-usud, e) kgni-yssk, f) ksmv-mtka, g) ksmv-tskb, h) ksmv-usud istasyonları arası Çapraz İlinti Katsayıları .	100
Şekil C3. 25 Eylül 2003 Hokkoido depremi için a) ksmv-yssk, b) mtka-tskb, c) mtka-usud, d)mtka-yssk, e) tskb-usud, f) tskb-yssk, g) usud-yssk istasyonları arası Çapraz İlinti Katsayıları .	101
Şekil C4. 5 Eylül 2004 Honşu depremi için a) kgni-ksmv, b) kgni-mizu, c) kgni-tskb, d) kgni-usud, e) kgni-yssk, f) ksmv-mizu, g) ksmv-tskb, h) ksmv-usud istasyonları arası Çapraz İlinti Katsayıları .	102
Şekil C5. 5 Eylül 2004 Honşu depremi için a) ksmv-yssk, b) mizu-tskb, c) mizu-usud, d) mizu-yssk, e) tskb-usud, f) tskb-yssk, g) usud-yssk istasyonları arası Çapraz İlinti Katsayıları .	103
Şekil C6. 13 Haziran 2008 Honşu depremi için a) mizu-mtka, b) mizu-tskb, c) mizu-usud, d) mtka-tskb, e) mtka-usud, f) tskb-usud istasyonları arası Çapraz İlinti Katsayıları .	104
Şekil C7. 11 Haziran 2006 Kiyuşiyu depremi için a) usud-kgni, b) usud-ksmv, c) usud-mizu, d) usud-mtka, e) usud-tskb, f) usud-yssk istasyonları arası Çapraz İlinti Katsayıları .	105
Şekil C8. 11 Haziran 2006 Kiyuşiyu depremi için a) kgni-ksmv, b) kgni-mizu, c) kgni-mtka, d) kgni-tskb, e) kgni-yssk, f) ksmv-mizu, g) ksmv-mtka, h) ksmv-tskb istasyonları arası Çapraz İlinti Katsayıları .	106
Şekil C9. 11 Haziran 2006 Kiyuşiyu depremi için a) ksmv-yssk, b) mizu-mtka, c) mizu-tskb, d) mizu-yssk, e) mtka-tskb, f) mtka-yssk, g) tskb-yssk istasyonları arası Çapraz İlinti Katsayıları .	107
Şekil C10. 23 Temmuz 2005 Honşu depremi için a) mtka-kgni, b) mtka-ksmv, c) mtka-tskb, d) mtka-usud, e) mtka-yssk, f) kgni-ksmv, g) kgni-tskb, h) kgni-usud istasyonları arası Çapraz İlinti Katsayıları .	108
Şekil C11. 23 Temmuz 2005 Honşu depremi için a) kgni-yssk, b) ksmv-tskb, c) ksmv-usud, d) ksmv-yssk, e) tskb-usud, f) tskb-yssk, g) usud-yssk istasyonları arası Çapraz İlinti Katsayıları .	109
Şekil C12. İyonkürenin bozulmalı olarak seçilen zaman aralıklarındaki a) kgni-ksmv, b) kgni-mtka, c) kgni-tskb, d) kgni-yssk, e) ksmv-mtka, f) ksmv-tskb istasyonları arası Çapraz İlinti Katsayıları .	110
Şekil C13. İyonkürenin bozulmalı olarak seçilen zaman aralıklarındaki a) ksmv-yssk, b) mizu-usud, c) mtka-tskb, d) mtka-yssk, e) tskb-yssk istasyonları arası Çapraz İlinti Katsayıları .	111

Şekil C14. İyonkürenin sakin olarak seçilen zaman aralıklarındaki a) kgni-ksmv, b) kgni-mizu, c) kgni-mtka, d) kgni-tskb, e) kgni-usud, f) kgni-yssk, g) ksmv-mizu, h) ksmv-mtka istasyonları arası Çapraz İlinti Katsayıları	112
Şekil C15. İyonkürenin sakin olarak seçilen zaman aralıklarındaki a) ksmv-tskb, b) ksmv-usud, c) ksmv-yssk, d) mizu-mtka, e) mizu-tskb, f) mizu-usud, g) mizu-yssk, h) mtka-tskb istasyonları arası Çapraz İlinti Katsayıları	113
Şekil C16. İyonkürenin sakin olarak seçilen zaman aralıklarındaki a) mtka-usud, b) mtka-yssk, c) tskb-usud, d) tskb-yssk, e) usud-yssk istasyonları arası Çapraz İlinti Katsayıları	114
Şekil C17. 25 Eylül 2003 Hakkōdo depremi için a) mizu-kgni, b) mizu-ksmv, c) mizu-mtka, d) mizu-tskb, e) mizu-usud, f) mizu-yssk, g) kgni-ksmv, h) kgni-mtka, i) kgni-tskb, j) kgni-usud, k) kgni-yssk, l) ksmv-mtka istasyonları arası KLD değerleri.	115
Şekil C18. 25 Eylül 2003 Hakkōdo depremi için a) ksmv-tskb, b) ksmv-usud, c) ksmv-yssk, d) mtka-tskb, e) mtka-usud, f) mtka-yssk, g) tskb-usud, h) tskb-yssk, i) usud-yssk istasyonları arası KLD değerleri.	116
Şekil C19. 5 Eylül 2004 Honşu depremi için a) kgni-ksmv, b) kgni-mizu, c) kgni-tskb, d) kgni-usud, e) kgni-yssk, f) ksmv-mizu, g) ksmv-tskb, h) ksmv-usud, i) ksmv-yssk, j) mizu-tskb, k) mizu-usud, l) mizu-yssk, m) tskb-usud, n) tskb-yssk, p) usud-yssk istasyonları arası KLD değerleri.	117
Şekil C20. 13 Haziran 2008 Honşu depremi için a) mizu-mtka, b) mizu-tskb, c) mizu-usud, d) mtka-tskb, e) mtka-usud, f) tskb-usud istasyonları arası KLD değerleri.	118
Şekil C21. 11 Haziran 2006 Kiyūşiyu depremi için a) usud-kgni, b) usud-ksmv, c) usud-mizu, d) usud-mtka, e) usud-tskb, f) usud-yssk, g) kgni-ksmv, h) kgni-mizu, i) kgni-mtka, j) kgni-tskb, k) kgni-yssk, l) ksmv-mizu istasyonları arası KLD değerleri.....	119
Şekil C22. 11 Haziran 2006 Kiyūşiyu depremi için a) ksmv-mtka, b) ksmv-tskb, c) ksmv-yssk, d) mizu-mtka, e) mizu-tskb, f) mizu-yssk, g) mtka-tskb, h) mtka-yssk, i) tskb-yssk istasyonları arası KLD değerleri.	120
Şekil C23. 23 Temmuz 2005 Honşu depremi için a) mtka-kgni, b) mtka-ksmv, c) mtka-tskb, d) mtka-usud, e) mtka-yssk, f) kgni-ksmv, g) kgni-tskb, h) kgni-usud, i) kgni-yssk, j) ksmv-tskb, k) ksmv-usud, l) ksmv-yssk, m) tskb-usud, n) tskb-yssk, p) usud-yssk istasyonları arası KLD değerleri.	121
Şekil C24. İyonkürenin bozulmalı olarak seçilen zaman aralıklarındaki a) kgni-ksmv, b) kgni-mtka, c) kgni-tskb, d) kgni-yssk, e) ksmv-mtka, f) ksmv-tskb, g) ksmv-yssk, h) mtka-tskb, i) mtka-yssk, j) tskb-yssk, k) mizu-usud istasyonları arası KLD değerleri.	122
Şekil C24. İyonkürenin sakin olarak seçilen zaman aralığındaki a) kgni-ksmv, b) kgni-mizu, c) kgni-mtka, d) kgni-tskb, e) kgni-usud, f) kgni-yssk, g) ksmv-mizu, h) ksmv-mtka, i) ksmv-tskb, j) ksmv-usud, k) ksmv-yssk, l) mizu-mtka istasyonları arası KLD değerleri.	123
Şekil C25. İyonkürenin sakin olarak seçilen zaman aralığındaki a) mizu-tskb, b) mizu-usud, c) amizu-yssk, d) mtka-tskb, e) mtka-usud, f) mtka-yssk, g) tskb-usud, h) tskb-yssk, i) usud-yssk istasyonları arası KLD değerleri.	124
Şekil C26. 25 Eylül 2003 Hakkōdo depremi için a) mizu-kgni, b) mizu-ksmv, c) mizu-mtka, d) mizu-tskb, e) mizu-usud, f) mizu-yssk, g) kgni-ksmv, h) kgni-mtka, i) kgni-tskb, j) kgni-usud, k) kgni-yssk, l) ksmv-mtka istasyonları arası L2N değerleri.	125

Şekil C27. 25 Eylül 2003 Hokkaido depremi için a) ksmv-tskb, b) ksmv-usud, c) ksmv-yssk, d) mtka-tskb, e) mtka-usud, f) mtka-yssk, g) tskb-usud, h) tskb-yssk, i) usud-yssk istasyonları arası L2N değerleri .	126
Şekil C28. 5 Eylül 2004 Honşu depremi için a) kgni-ksmv, b) kgni-mizu, c) kgni-tskb, d) kgni-usud, e) kgni-yssk, f) ksmv-mizu, g) ksmv-tskb, h) ksmv-usud, i) ksmv-yssk, j) mizu-tskb, k) mizu-usud, l) mizu-yssk, m) tskb-usud, n) tskb-yssk, p) usud-yssk istasyonları arası L2N değerleri.	127
Şekil C29. 13 Haziran 2008 Honşu depremi için a) mizu-mtka, b) mizu-tskb, c) mizu-usud, d) mtka-tskb, e) mtka-usud, f) tskb-usud istasyonları arası L2N değerleri.	128
Şekil C30. 11 Haziran 2006 Kiyuşiyu depremi için a) usud-kgni, b) usud-ksmv, c) usud-mizu, d) usud-mtka, e) usud-tskb, f) usud-yssk, g) kgni-ksmv, h) kgni-mizu, i) kgni-mtka, j) kgni-tskb, k) kgni-yssk, l) ksmv-mizu istasyonları arası L2N değerleri.	129
Şekil C31. 11 Haziran 2006 Kiyuşiyu depremi için a) ksmv-mtka, b) ksmv-tskb, c) ksmv-yssk, d) mizu-mtka, e) mizu-tskb, f) mizu-yssk, g) mtka-tskb, h) mtka-yssk, i) tskb-yssk istasyonları arası L2N değerleri.	130
Şekil C32. 23 Temmuz 2005 Honşu depremi için a) mtka-kgni, b) mtka-ksmv, c) mtka-tskb, d) mtka-usud, e) mtka-yssk, f) kgni-ksmv, g) kgni-tskb, h) kgni-usud, i) kgni-yssk, j) ksmv-tskb, k) ksmv-usud, l) ksmv-yssk, m) tskb-usud, n) tskb-yssk, p) usud-yssk istasyonları arası L2N değerleri.	131
Şekil C33. İyonkürenin bozulmalı olarak seçilen zaman aralıklarındaki a) kgni-ksmv, b) kgni-mtka, c) kgni-tskb, d) kgni-yssk, e) ksmv-mtka, f) ksmv-tskb, g) ksmv-yssk, h) mtka-tskb, i) mtka-yssk, j) tskb-yssk, k) mizu-usud istasyonları arası L2N değerleri.	132
Şekil C34. İyonkürenin sakin olarak seçilen zaman aralığındaki a) kgni-ksmv, b) kgni-mizu, c) kgni-mtka, d) kgni-tskb, e) kgni-usud, f) kgni-yssk, g) ksmv-mizu, h) ksmv-mtka, i) ksmv-tskb, j) ksmv-usud, k) ksmv-yssk, l) mizu-mtka istasyonları arası L2N değerleri.	133
Şekil C35. İyonkürenin sakin olarak seçilen zaman aralığındaki a) mizu-tskb, b) mizu-usud, c) mizu-yssk, d) mtka-tskb, e) mtka-usud, f) mtka-yssk, g) tskb-usud, h) tskb-yssk, i) usud-yssk istasyonları arası L2N değerleri.	134
Şekil D1. 25 Eylül 2003 Hokkaido depremi için a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) yssk istasyonlarına ait deprem günleri ile ODSG arasındaki Çapraz İlinti Katsayıları.	136
Şekil D2. 5 Eylül 2004 Honşu depremi için a) kgni, b) ksmv, c) mizu, e) tskb, f) usud, g) yssk istasyonlarına ait deprem günleri ile ODSG arasındaki Çapraz İlinti Katsayıları.	137
Şekil D3. 13 Haziran 2008 Honşu depremi için a) mizu, b) mtka, c) tskb, d) usud istasyonlarına ait deprem günleri ile ODSG arasındaki Çapraz İlinti Katsayıları.	138
Şekil D4. 11 Haziran 2006 Kiyuşiyu depremi için a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) yssk istasyonlarına ait deprem günleri ile ODSG arasındaki Çapraz İlinti Katsayıları	139
Şekil D5. 23 Temmuz 2005 Honşu depremi için a) kgni, b) ksmv, c) mtka, d) tskb, e) usud, f) yssk istasyonlarına ait deprem günleri ile ODSG arasındaki Çapraz İlinti Katsayıları.	140

Şekil D6. İyonkürenin bozulmalı olarak seçilen zaman aralığı için a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) yssk, h) kunm istasyonlarına ait bozulmalı günler ile ODSG arasındaki Çapraz İlinti Katsayıları.....	141
Şekil D7. İyonkürenin sakın olarak seçilen zaman aralıkları için a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) yssk, h) kunm istasyonlarına ait sakın günler ile ODSG arasındaki Çapraz İlinti Katsayıları.....	142
Şekil D8. 25 Eylül 2003 Hokkaido depremi için a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) yssk istasyonlarına ait deprem günleri ile ODSG arasındaki_KLD değerleri.....	143
Şekil D9. 5 Eylül 2004 Honşu depremi için a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) tskb, e) usud, f) yssk istasyonlarına ait deprem günleri ile ODSG arasındaki KLD değerleri.....	144
Şekil D10. 13 Haziran 2008 Honşu depremi için a) mizu, b) mtka, c) tskb, d) usud istasyonlarına ait deprem günleri ile ODSG arasındaki KLD değerleri.....	145
Şekil D11. 11 Haziran 2006 Kiyuşiyu depremi için a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) yssk istasyonlarına ait deprem günleri ile ODSG arasındaki KLD değerleri.....	146
Şekil D12. 23 Temmuz 2005 Honşu depremi için a) kgni, b) ksmv, c) mtka, d) tskb, e) usud, f) yssk istasyonlarına ait deprem günleri ile ODSG arasındaki_KLD değerleri.....	147
Şekil D13. 12 Mayıs 2008 Şiyan depremi için kunm istasyonuna ait_deprem günleri ile ODSG arasındaki KLD değerleri.....	148
Şekil D14. İyonkürenin bozulmalı olarak seçilen zaman aralıkları için a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) yssk, h) kunm istasyonlarına ait bozulmalı günler ile ODSG arasındaki KLD değerleri.....	149
Şekil D15. İyonkürenin sakın olarak seçilen zaman aralıkları için a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) yssk, h) kunm istasyonlarına ait sakın günler ile ODSG arasındaki KLD değerleri.....	150
Şekil D16. 25 Eylül 2003 Hokkaido depremi için a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) yssk istasyonlarına ait deprem günleri ile ODSG arasındaki_L2N değerleri.....	151
Şekil D17. 5 Eylül 2004 Honşu depremi için a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) tskb, e) usud, f) yssk istasyonlarına ait deprem günleri ile ODSG arasındaki L2N değerleri.....	152
Şekil D18. 13 Haziran 2008 Honşu depremi için a) mizu, b) mtka, c) tskb, d) usud istasyonlarına ait deprem günleri ile ODSG arasındaki L2N değerleri.....	153
Şekil D19. 11 Haziran 2006 Kiyuşiyu depremi için a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) yssk istasyonlarına ait deprem günleri ile ODSG arasındaki L2N değerleri.....	154
Şekil D20. 23 Temmuz 2005 Honşu depremi için a) kgni, b) ksmv, c) mtka, d) tskb, e) usud, f) yssk istasyonlarına ait deprem günleri ile ODSG arasındaki L2N değerleri.....	155
Şekil D21. 12 Mayıs 2008 Şiyan depremi için kunm istasyonuna ait_deprem günleri ile ODSG arasındaki L2N değerleri.....	156
Şekil D22. İyonkürenin bozulmalı olarak seçilen zaman aralıkları için a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) yssk, h) kunm istasyonlarına ait bzulmalı günler ile ODSG arasındaki L2N değerleri.....	157

Şekil D23. İyonkürenin sakın olarak seçilen zaman aralıkları için a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) yssk, h) kunm istasyonlarına ait sakın günler ile ODSG arasındaki L2N değerleri.	158
Şekil D24. 25 Eylül 2003 Hakkōdo depremi için a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) yssk istasyonlarının deprem günleri S1 sınırı ve ODSG S1 sınırı arasındaki Çapraz İlinti Katsayıları.....	159
Şekil D25. 5 Eylül 2004 Honşu depremi için a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) tskb, e) usud, f) yssk istasyonlarının deprem günleri S1 sınırı ve ODSG S1 sınırı arasındaki Çapraz İlinti Katsayıları.	160
Şekil D26. 13 Haziran 2008 Honşu depremi için a) mizu, b) mtka, c) tskb, d) usud istasyonlarının deprem günleri S1 sınırı ve ODSG S1 sınırı arasındaki Çapraz İlinti Katsayıları	161
Şekil D26. 11 Haziran 2006 Kiyūşiyu depremi için a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) yssk istasyonlarının deprem günleri S1 sınırı ve ODSG S1 sınırı arasındaki Çapraz İlinti Katsayıları.....	162
Şekil D27. 23 Temmuz 2005 Honşu depremi için a) kgni, b) ksmv, c) mtka, d) tskb, e) usud, f) yssk istasyonlarının deprem günleri S1 sınırı ve ODSG S1 sınırı arasındaki Çapraz İlinti Katsayıları.....	163
Şekil D28. 12 Mayıs 2005 Şiyan depremi için kunm istasyonunun deprem günleri S1 sınırı ve ODSG S1 sınırı arasındaki Çapraz İlinti Katsayıları.	164
Şekil D29. İyonkürenin bozulmalı olarak seçilen zaman aralıkları için a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) yssk, h) kunm istasyonlarının bozulmalı günler S1 sınırı ve ODSG S1 sınırı arasındaki Çapraz İlinti Katsayıları	165
Şekil D30. İyonkürenin sakın olarak seçilen zaman aralıkları için a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) yssk, h) kunm istasyonlarının sakın günler S1 sınırı ve ODSG S1 sınırı arasındaki Çapraz İlinti Katsayıları.....	166
Şekil D31. 25 Eylül 2003 Hakkōdo depremi için a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) yssk istasyonlarının deprem günleri S1 sınırı ve ODSG S1 sınırı arasındaki KLD değerleri.....	167
Şekil D32. 5 Eylül 2004 Honşu depremi için a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) tskb, e) usud, f) yssk istasyonlarının deprem günleri S1 sınırı ve ODSG S1 sınırı arasındaki KLD değerleri.	168
Şekil D33. 13 Haziran 2008 Honşu depremi için a) mizu, b) mtka, c) tskb, d) usud istasyonlarının deprem günleri S1 sınırı ve ODSG S1 sınırı arasındaki KLD değerleri.....	169
Şekil D34. 11 Haziran 2008 Kiyūşiyu depremi için a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) yssk istasyonlarının deprem günleri S1 sınırı ve ODSG S1 sınırı arasındaki KLD değerleri.....	170
Şekil D35. 23 Temmuz 2005 Honşu depremi için a) kgni, b) ksmv, c) mtka, d) tskb, e) usud, f) yssk istasyonlarının deprem günleri S1 sınırı ve ODSG S1 sınırı arasındaki KLD değerleri.	171
Şekil D36. 12 Mayıs 2008 Şiyan depremi için kunm istasyonunun deprem günleri S1 sınırı ve ODSG S1 sınırı arasındaki KLD değerleri.	172

Şekil D37. İyonkürenin bozulmalı olarak seçilen zaman aralıklarındaki a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tsbk, f) usud, g) yssk, h) kunm istasyonlarının bozulmalı günler S1 sınırı ve ODSG S1 sınırı arasındaki KLD değerleri.	173
Şekil D38. İyonkürenin sakın olarak seçilen zaman aralıklarındaki a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tsbk, f) usud, g) yssk, h) kunm istasyonlarının sakın günler S1 sınırı ve ODSG S1 sınırı arasındaki KLD değerleri.	174
Şekil D39. 25 Eylül 2003 Hokkaido depremi için a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tsbk, f) usud, g) yssk istasyonlarının deprem günleri S1 sınırı ve ODSG S1 sınırı arasındaki L2N değerleri.	175
Şekil D40. 5 Eylül 2004 Honşu depremi için a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) tsbk, e) usud, f) yssk istasyonlarının deprem günleri S1 sınırı ve ODSG S1 sınırı arasındaki L2N değerleri.	176
Şekil D41. 13 Haziran 2008 Honşu depremi için a) mizu, b) mtka, c) tsbk, d) usud istasyonlarının deprem günleri S1 sınırı ve ODSG S1 sınırı arasındaki L2N değerleri.	177
Şekil D42. 11 Haziran 2006 Kiyuşiyu depremi için a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tsbk, f) usud, g) yssk istasyonlarının deprem günleri S1 sınırı ve ODSG S1 sınırı arasındaki L2N değerleri.	178
Şekil D43. 23 Temmuz 2005 Honşu depremi için a) kgni, b) ksmv, c) mtka, d) tsbk, e) usud, f) yssk istasyonlarının deprem günleri S1 sınırı ve ODSG S1 sınırı arasındaki L2N değerleri.	179
Şekil D44. 12 Mayıs 2008 Şiyan depremi için kunm istasyonunun deprem günleri S1 sınırı ve ODSG S1 sınırı arasındaki L2N değerleri.	180
Şekil D45. İyonkürenin bozulmalı olarak seçilen zaman aralıklarındaki a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tsbk, f) usud, g) yssk, h) kunm istasyonlarının bozulmalı günler S1 sınırı ve ODSG S1 sınırı arasındaki L2N değerleri.	181
Şekil D46. İyonkürenin sakın olarak seçilen zaman aralıklarındaki a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tsbk, f) usud, g) yssk, h) kunm istasyonlarının sakın günler S1 sınırı ve ODSG S1 sınırı arasındaki L2N değerleri.	182
Şekil D47. 25 Eylül 2003 Hokkaido depremi için a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tsbk, f) usud, g) yssk istasyonlarına ait deprem günleri ile ODSG arasındaki Dağılımlar İraksaklığı değerleri.	183
Şekil D48. 5 Eylül 2004 Honşu depremi için a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) tsbk, e) usud, f) yssk istasyonlarına ait deprem günleri ile ODSG arasındaki Dağılımlar İraksaklığı değerleri.	184
Şekil D49. 13 Haziran 2008 Honşu depremi a) mizu, b) mtka, c) tsbk, d) usud istasyonlarına ait deprem günleri ile ODSG arasındaki Dağılımlar İraksaklığı değerleri.	185
Şekil D50. 11 Haziran 2006 Kiyuşiyu depremi a) kgni, b) ksmc, c) mizu, d) mtka, e) tsbk, f) usud, g) yssk istasyonlarına ait deprem günleri ile ODSG arasındaki Dağılımlar İraksaklığı değerleri.	186
Şekil D51. 23 Temmuz 2005 Honşu depremi için a) kgni, b) ksmc, c) mtka, d) tsbk, e) usud, f) yssk istasyonlarına ait deprem günleri ile ODSG arasındaki Dağılımlar İraksaklığı değerleri.	187

Şekil D52. İyonkürenin bozulmalı olduğu zaman aralıklarında a) kgni, b) ksmc, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) yssk istasyonlarına ait bozulmalı günler ile ODSG arasındaki Dağılımlar Iraksaklığı değerleri.....	188
Şekil D53. İyonkürenin sakin olduğu zaman aralıklarında a) kgni, b) ksmc, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) yssk istasyonlarına ait sakin günler ile ODSG arasındaki Dağılımlar Iraksaklığı değerleri.....	189
Şekil D54. kunm istasyonu için a) E6 deprem günleri, b) bozulmalı günler, c) sakin günler ile ODSG arasındaki Dağılımlar Iraksaklığı değerleri.....	190
Şekil D55. 25 Eylül 2003 Hokkoido depremi için a) kgni, b) ksmc, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) yssk istasyonlarına ait deprem günleri ile ODSG arasındaki Dağılımlar Farkı değerleri.....	191
Şekil D56. 5 Eylül 2004 Honşu depremi için a) kgni, b) ksmc, c) mizu, d) tskb, e) usud, f) yssk istasyonlarına ait deprem günleri ile ODSG arasındaki Dağılımlar Farkı değerleri.....	192
Şekil D57. 13 Haziran 2008 Honşu depremi a) mizu, b) mtka, c) tskb, d) usud istasyonlarına ait deprem günleri ile ODSG arasındaki Dağılımlar Farkı değerleri	193
Şekil D58. 11 Haziran 2006 Kiyuşiyu depremi için a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) yssk istasyonlarına ait deprem günleri ile ODSG arasındaki Dağılımlar Farkı değerleri.....	194
Şekil D59. 23 Temmuz 2005 Honşu depremi için a) kgni, b) ksmv, c) mtka, d) tskb, e) usud, f) yssk istasyonlarına ait deprem günleri ile ODSG arasındaki Dağılımlar Farkı değerleri.....	195
Şekil D60. İyonkürenin bozulmalı olduğu zaman aralıkları için a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) yssk istasyonlarına ait bozulmalı günler ile ODSG arasındaki Dağılımlar Farkı değerleri.....	196
Şekil D61. İyonkürenin sakin olduğu zaman aralıkları için a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) yssk istasyonlarına ait sakin günleri ile ODSG arasındaki Dağılımlar Farkı değerleri.....	197
Şekil D62. kunm istasyonu için a) E6 deprem günleri, b) bozulmalı günler, c) sakin günler ile ODSG arasındaki Dağılımlar Farkı değerleri.....	198
Şekil E1. 25 Eylül 2003 Hokkoido depremi döneminde a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) yssk istasyonlarının ardışık günleri arasındaki Çapraz İlinti Katsayıları.	200
Şekil E2. 5 Eylül 2004 Honşu depremi döneminde a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) tskb, e) usud, f) yssk istasyonlarının ardışık günleri arasındaki Çapraz İlinti Katsayıları...	201
Şekil E3. 13 Haziran 2008 Honşu depremi döneminde a) mizu, b) mtka, c) tskb, d) usud istasyonlarının ardışık günleri arasındaki Çapraz İlinti Katsayıları	202
Şekil E4. 11 Haziran 2006 Kiyuşiyu depremi döneminde a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) yssk istasyonlarının ardışık günleri arasındaki Çapraz İlinti Katsayıları.	203
Şekil E5. 23 Temmuz 2005 Honşu depremi döneminde a) kgni, b) ksmv, c) mtka, d) tskb, e) usud, f) yssk istasyonlarının ardışık günleri arasındaki Çapraz İlinti Katsayıları...	204
Şekil E6. 12 Mayıs 2008 Şiyan depremi döneminde kunm istasyonunun ardışık günleri arasındaki Çapraz İlinti Katsayıları.....	205

Şekil E7. İyonkürenin bozulmalı olduğu zaman aralıklarında a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tsbk, f) usud, g) yssk, h) kunm istasyonlarının ardışık günleri arasındaki Çapraz İlinti Katsayıları.....	206
Şekil E8. İyonkürenin sakin olduğu zaman aralıklarında a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tsbk, f) usud, g) yssk, h) kunm istasyonlarının ardışık günleri arasındaki Çapraz İlinti Katsayıları.....	207
Şekil E9. 25 Eylül 2003 Hokkaido depremi döneminde a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tsbk, f) usud, g) yssk istasyonlarının ardışık günleri arasındaki KLD değerleri.....	208
Şekil E10. 5 Eylül 2004 Honşu depremi döneminde a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) tsbk, e) usud, f) yssk istasyonlarının ardışık günleri arasındaki KLD değerleri.....	209
Şekil E11. 13 Haziran 2008 Honşu depremi döneminde a) mizu, b) mtka, c) tsbk, d) usud istasyonlarının ardışık günleri arasındaki KLD değerleri.....	210
Şekil E12. 11 Haziran 2006 Kiyuşiyu depremi döneminde a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tsbk, f) usud, g) yssk istasyonlarının ardışık günleri arasındaki KLD değerleri.....	211
Şekil E13. 23 Temmuz 2005 Honşu depremi döneminde a) kgni, b) ksmv, c) mtka, d) tsbk, e) usud, f) yssk istasyonlarının ardışık günleri arasındaki KLD değerleri.....	212
Şekil E14. 12 Mayıs 2008 Şiyan depremi döneminde kunm istasyonunun_ardışık günleri arasındaki KLD değerleri.....	213
Şekil E15. İyonkürenin bozulmalı olduğu zaman aralıklarında a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tsbk, f) usud, g) yssk, h) kunm istasyonlarının ardışık günleri arasındaki KLD değerleri.....	214
Şekil E16. İyonkürenin sakin olduğu zaman aralıklarında a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tsbk, f) usud, g) yssk, h) kunm istasyonlarının ardışık günleri arasındaki_KLD değerleri.....	215
Şekil E17. 25 Eylül 2003 Hokkaido depremi döneminde a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tsbk, f) usud, g) yssk istasyonlarının ardışık günleri arasındaki L2N değerleri.....	216
Şekil E18. 5 Eylül 2004 Honşu depremi döneminde a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) tsbk, e) usud, f) yssk istasyonlarının ardışık günleri arasındaki L2N değerleri.....	217
Şekil E19. 13 Haziran 2008 Honşu depremi döneminde a) mizu, b) mtka, c) tsbk, d) usud istasyonlarının ardışık günleri arasındaki L2N değerleri.....	218
Şekil E20. 11 Haziran 2006 Kiyuşiyu depremi döneminde a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tsbk, f) usud, g) yssk istasyonlarının ardışık günleri arasındaki L2N değerleri.....	219
Şekil E21. 23 Temmuz 2005 Honşu depremi döneminde a) kgni, b) ksmv, c) mtka, d) tsbk, e) usud, f) yssk istasyonlarının ardışık günleri arasındaki L2N değerleri.....	220
Şekil E22. 12 Mayıs 2008 Şiyan depremi döneminde kunm istasyonunun_ardışık günleri arasındaki L2N değerleri.....	221
Şekil E23. İyonkürenin bozulmalı olduğu zaman aralıklarında a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tsbk, f) usud, g) yssk, h) kunm istasyonlarının ardışık günleri arasındaki L2N değerleri.....	222
Şekil E24. İyonkürenin sakin olduğu zaman aralıklarında a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tsbk, f) usud, g) yssk, h) kunm istasyonlarının ardışık günleri arasındaki_L2N değerleri.....	223

Şekil E25. 25 Eylül 2003 Hokkaido depremi için a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) yssk istasyonlarının ardışık deprem günleri S1 sınırları arasındaki Çapraz İlinti Katsayısı.	224
Şekil E26. 5 Eylül 2004 Honşu depremi için a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) tskb, e) usud, f) yssk istasyonlarının ardışık deprem günleri S1 sınırları arasındaki Çapraz İlinti Katsayısı.	225
Şekil E27. 13 Haziran 2008 Honşu depremi için a) mizu, b) mtka, c) tskb, d) usud, istasyonlarının ardışık deprem günleri S1 sınırları arasındaki Çapraz İlinti Katsayısı	226
Şekil E28. 11 Haziran 2006 Kiyuşiyu depremi için a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) yssk istasyonlarının ardışık deprem günleri S1 sınırları arasındaki Çapraz İlinti Katsayısı.	227
Şekil E29. 23 Temmuz 2005 Honşu depremi için a) kgni, b) ksmv, c) mtka, d) tskb, e) usud, f) yssk istasyonlarının ardışık deprem günleri S1 sınırları arasındaki Çapraz İlinti Katsayısı.	228
Şekil E30. İyonkürenin bozulmalı olduğu zaman aralıklarında a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) yssk istasyonlarının ardışık bozulmalı günler S1 sınırları arasındaki Çapraz İlinti Katsayısı.	229
Şekil E31. İyonkürenin sakin olduğu zaman aralıklarında a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) yssk istasyonlarının ardışık sakin günler S1 sınırları arasındaki Çapraz İlinti Katsayısı.	230
Şekil E32. 25 Eylül 2003 Hokkaido depremi için a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) yssk istasyonlarının ardışık deprem günleri S1 sınırları arasındaki KLD değerleri.	231
Şekil E33. 5 Eylül 2004 Honşu depremi için a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) tskb, e) usud, f) yssk istasyonlarının ardışık deprem günleri S1 sınırları arasındaki KLD değerleri.	232
Şekil E34. 13 Haziran 2008 Honşu depremi için a) mizu, b) mtka, c) tskb, d) usud, istasyonlarının ardışık deprem günleri S1 sınırları arasındaki KLD değerleri.	233
Şekil E35. 11 Haziran 2006 Kiyuşiyu depremi için a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) yssk istasyonlarının ardışık deprem günleri S1 sınırları arasındaki KLD değerleri.	234
Şekil E36. 23 Temmuz 2005 Honşu depremi için a) kgni, b) ksmv, c) mtka, d) tskb, e) usud, f) yssk istasyonlarının ardışık deprem günleri S1 sınırları arasındaki KLD değerleri.	235
Şekil E37. İyonkürenin bozulmalı olduğu zaman aralıklarında a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) yssk istasyonlarının ardışık bozulmalı günler S1 sınırları arasındaki KLD değerleri.	236
Şekil E38. İyonkürenin sakin olduğu zaman aralıklarında a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) yssk istasyonlarının ardışık sakin günler S1 sınırları arasındaki KLD değerleri.	237
Şekil E39. 25 Eylül 2003 Hokkaido depremi için a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) yssk istasyonlarının ardışık deprem günleri S1 sınırları arasındaki L2N değerleri.	238

Şekil E40. 5 Eylül 2004 Honşu depremi için a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) tskb, e) usud, f) yssk istasyonlarının ardışık deprem günleri S1 sınırları arasındaki L2N değerleri.....	239
Şekil E41. 13 Haziran 2008 Honşu depremi için a) mizu, b) mtka, c) tskb, d) usud, istasyonlarının ardışık deprem günleri S1 sınırları arasındaki L2N değerleri	240
Şekil E42. 11 Haziran 2006 Kiyuşiyu depremi için a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) yssk istasyonlarının ardışık deprem günleri S1 sınırları arasındaki L2N değerleri.....	241
Şekil E43. 23 Temmuz 2005 Honşu depremi için a) kgni, b) ksmv, c) mtka, d) tskb, e) usud, f) yssk istasyonlarının ardışık deprem günleri S1 sınırları arasındaki L2N değerleri	242
Şekil E44. İyonkürenin bozulmalı olduğu zaman aralıklarında a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) yssk istasyonlarının ardışık bozulmalı günler S1 sınırları arasındaki L2N değerleri	243
Şekil E45. İyonkürenin sakin olduğu zaman aralıklarında a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) yssk istasyonlarının ardışık sakin günler S1 sınırları arasındaki L2N değerleri	244
Şekil E46. 25 Eylül 2003 Hokkoido depremi için a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) yssk istasyonlarının ardışık deprem günleri arasındaki Dağılımlar Iraksaklığı değerleri.....	245
Şekil E47. 5 Eylül 2004 Honşu depremi için a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) tskb, e) usud, f) yssk istasyonlarının ardışık deprem günleri arasındaki Dağılımlar Iraksaklığı değerleri.....	246
Şekil E48. 13 Haziran 2008 Honşu depremi için a) mizu, b) mtka, c) tskb, d) usud, istasyonlarının ardışık deprem günleri arasındaki Dağılımlar Iraksaklığı değerleri ...	247
Şekil E49. 11 Haziran 2006 Kiyuşiyu depremi için a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) yssk istasyonlarının ardışık deprem günleri arasındaki Dağılımlar Iraksaklığı değerleri.	248
Şekil E50. 23 Temmuz 2005 Honşu depremi için a) kgni, b) ksmv, c) mtka, d) tskb, e) usud, f) yssk istasyonlarının ardışık deprem günleri arasındaki Dağılımlar Iraksaklığı değerleri.....	249
Şekil E51. İyonkürenin bozulmalı olduğu zaman aralıklarında a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) yssk istasyonlarının ardışık bozulmalı günler arasındaki Dağılımlar Iraksaklığı değerleri.....	250
Şekil E52. İyonkürenin sakin olduğu zaman aralıklarında a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) yssk istasyonlarının ardışık sakin günler arasındaki Dağılımlar Iraksaklığı değerleri.	251
Şekil E53. 25 Eylül 2003 Hokkoido depremi için a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) yssk istasyonlarının ardışık deprem günleri arasındaki Dağılımlar Farkı değerleri.	252
Şekil E54. 5 Eylül 2004 Honşu depremi için a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) tskb, e) usud, f) yssk istasyonlarının ardışık deprem günleri arasındaki Dağılımlar Farkı değerleri.....	253

Şekil E55. 13 Haziran 2008 Honşu depremi için a) mizu, b) mtka, c) tskb, d) usud istasyonlarının ardışık deprem günleri arasındaki Dağılımlar Farkı değerleri.....	254
Şekil E56. 11 Haziran 2006 Kiyuşiyu depremi için a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) yssk istasyonlarının ardışık deprem günleri arasındaki Dağılımlar Farkı değerleri.....	255
Şekil E57. 23 Temmuz 2005 Honşu depremi için a) kgni, b) ksmv, c) mtka, d) tskb, e) usud, f) yssk istasyonlarının ardışık deprem günleri arasındaki Dağılımlar Farkı değerleri.....	256
Şekil E58. İyonkürenin bozulmalı olduğu zaman aralıklarında a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) yssk istasyonlarının ardışık bozulmalı günleri arasındaki Dağılımlar Farkı değerleri.....	257
Şekil E59. İyonkürenin sakin olduğu zaman aralıklarında a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) yssk istasyonlarının ardışık sakin günleri arasındaki Dağılımlar Farkı değerleri.....	258

ÇİZELGELER LİSTESİ

Sayfa No:

Çizelge 2.1. K-indisine karşılık gelen manyetik alan şiddeti değerleri	15
Çizelge 2.2. K-indisinin dereceleri	15
Çizelge 2.3. K-indisi ile a-indisi arasındaki dönüşüm	16
Çizelge 2.4. A-indisinin dereceleri	16
Çizelge 2.5. Kp-indisine karşılık gelen Ap-indisi değerleri	17
Çizelge 5.1. Depremlerin konum, zaman, büyüklük ve derinlik ve seçilen merkez istasyon göstergesi	36
Çizelge 5.2. Çalışma kullanılan IGS alıcı istasyonlarının konum ve kodları	38
Çizelge 5.3. Deprem öncesi günler, Bozulmalı Dönemler ve Sakin Dönemler için 0.9 değerinden küçük olan ÇİK değerlerinin yüzde oranları	39
Çizelge 5.4. E1, E2, E3, E4, E5, SD ₁ , BD ₁ , BD ₂ için k1-k6 kategorisindeki istasyon çiftlerine ait Δ_{KLD} değerleri	41
Çizelge 5.5. E1, E2, E3, E4, E5, SD ₁ , BD ₁ , BD ₂ için k1-k6 kategorisindeki istasyon çiftlerine ait Δ_{L2N} değerleri	42
Çizelge 5.6. Depremlerin konum, zaman, büyüklük ve derinlik göstergesi	55
Çizelge B1. 25 Eylül 2003 Hokkaido Depremi için 10 Eylül-10 Ekim 2003 tarihli jeomanyetik indisler	86
Çizelge B2. 05 Eylül 2004 Honşu Depremi için 21 Ağustos-20 Eylül 2004 tarihli jeomanyetik indisler	87
Çizelge B3. 13 Haziran 2008 Honşu Depremi için 29 Mayıs-28 Haziran 2008 tarihli jeomanyetik indisler	88
Çizelge B4. 11 Haziran 2006 Kiyuşi Depremi için 27 Mayıs-26 Haziran 2006 tarihli jeomanyetik indisler	89
Çizelge B5. 23 Temmuz 2005 Honşu Depremi için 08 Temmuz-07 Ağustos 2005 tarihli jeomanyetik indisler	90
Çizelge B6. 12 Mayıs 2008 Şiyan Depremi için 27 Nisan-24 Mayıs 2008 tarihli jeomanyetik indisler	91
Çizelge B7. İyonkürenin bozulmalı olarak seçilen 14 Ekim-11 Kasım 2003 zaman aralığına ait jeomanyetik indisler	92
Çizelge B8. İyonkürenin bozulmalı olarak seçilen 23 Ağustos-21 Eylül 2005 zaman aralığına ait jeomanyetik indisler	93

Çizelge B9. İyonkürenin sakin olarak seçilen 14 Ekim-11 Kasım 2006 zaman aralığına ait jeomanyetik indisler	94
Çizelge B10. İyonkürenin sakin olarak seçilen 24 Nisan-21 Mayıs 2006 zaman aralığına ait jeomanyetik indisler	95
Çizelge B11. 30.07.2009 Çağlayan/Erzincan depremi için 20 Temmuz-09 Ağustos 2009 tarihli jeomanyetik indisler	96
Çizelge B12. 08.08.2009 Yenice/Çanakkale depremi için 29 Temmuz-18 Ağustos 2009 tarihli jeomanyetik indisler	97

SEMBOLLER ve KISALTMALAR LİSTESİ

CME	:	Coronal Mass Enjection
CORS	:	Continuously Operating Reference Stations
foD	:	D-Bölgesi kritik frekansı
foE	:	E-Bölgesi kritik frekansı
foF1	:	F1-Bölgesi kritik frekansı
foF2	:	F2-Bölgesi kritik frekansı
GHz	:	Giga Hertz
GS	:	Greenwich Saati
HSSWS	:	High Speed Sun Wind System
IGS	:	International GPS Service
IQR	:	Inter Quartile Range
K	:	Kelvin
M	:	Magnitude
MHz	:	Mega Hertz
N_{emax}	:	En büyük değer elektron yoğunluğu
nT	:	Nano Tesla
RMS	:	Root Mean Square
R.Ö.	:	Richter Ölçeği
SFI	:	Sun Flux Index
SFU	:	Sun Flux Units
SSN	:	Sun Spots Number
STEC	:	Slant TEC
T_e	:	Elektron sıcaklığı
TEİ	:	Toplam Elektron İçeriği
TEC	:	Total Electron Content
T_i	:	İyon sıcaklığı
UV	:	Ultra Violet
VTEC	:	Vertical TEC
YKS	:	Yerküresel Konumlama Sistemi

SÖZLÜK DİZİNİ

Bağlaşım	:	Coupling
Bozulmalı	:	Disturbed
Büyüklik	:	Magnitude
Çevrit	:	Contour
Değişinti	:	Variance
Dik Toplam Elektron İçeriği	:	Vertical Total Electron Content
Düzge	:	Norm
Eğik Toplam Elektron İçeriği	:	Slant Total Electron Content
En büyük değer	:	Maximum value
En küçük değer	:	Minimum value
Etkin	:	Root mean square
Güneş Akı İndisi	:	Sun Flux Index
Güneş Lekesi Sayısı	:	Sun Spot Number
İlinti	:	Correlation
İşleklik	:	Activity
İşlev	:	Function
Koronal Kütle Çıkarımı	:	Coronal Mass Ejection
Olasılıksal (stokastik)	:	Stochastic
Örüntü	:	Pattern
Rassal alan	:	Random field
Uluslar arası GPS servisi	:	International GPS Service
Yerküresel Konumlama Sistemi	:	Global Positioning System
Yüksek Hızlı Güneş Rüzgârı	:	High Speed Sun Wind

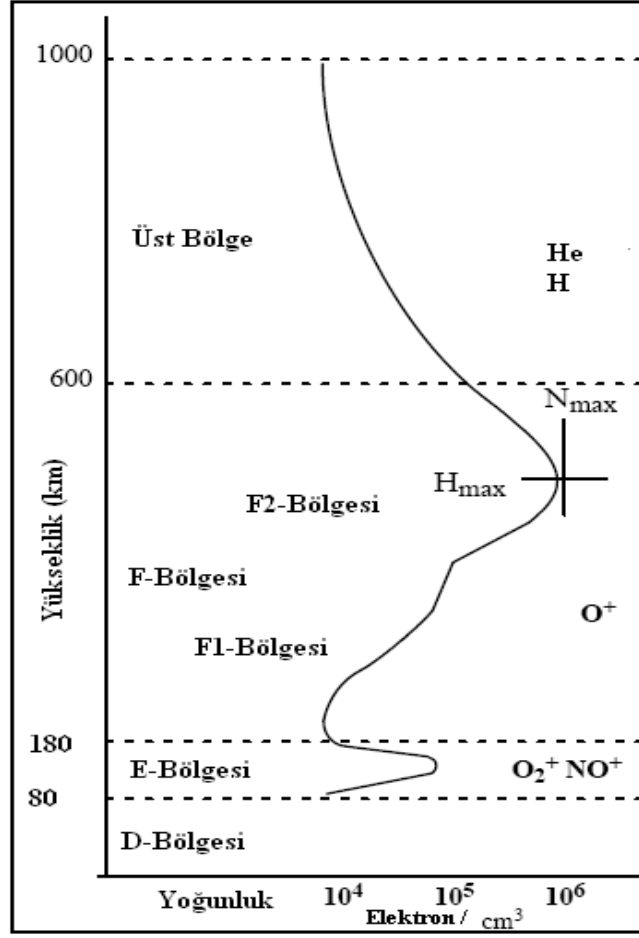
1. GİRİŞ

Gezegen olarak dünyamız, evrenin küçük bir parçasıdır. İnsanoğlunun evi olan dünya aslında evrenin bilinen yaşamının sahibidir. Dünya üzerinde yaşamın var olmasının temel nedeni, Güneş'e en ideal uzaklığa sahip olmasıdır. Eğer dünya Güneş'e olduğundan daha yakın ya da daha uzak olsaydı, yaşam için çok sıcak ya da dondurucu soğuklukta olacaktı ve yaşam var olmayacaktı. Bu nedenle dünya üzerindeki canlı yaşamın, önemli ölçüde Güneş'ten gelen ışınlara bağlı olduğunu söyleyebiliriz.

Dünya; Hidrosfer (Suküre), Litosfer (Taşküre) ve Atmosfer (Havaküre) olmak üzere üç farklı katmandan veya küreden meydana gelmektedir. Merkezinde çekirdek bulunur. Çekirdeğin etrafını çevreleyen katı küreye Litosfer adı verilir. Litosfer, kabuk ve manto gibi farklı katmanlardan oluşur. Litosferin büyük kısmını su ya da buz ile kaplayan tabaka Hidrosfer olarak adlandırılır. Litosfer ve Hidrosfer'i bir örtü gibi çevreleyen hava tabakasına da Atmosfer denir. Yaşamın var olduğu Litosfer, Hidrosfer ve Atmosfer'in birlikte oluşturduğu yapıya ise Biyosfer adı verilir [1].

Atmosfer, yeryüzünü bir örtü gibi çevreleyen hava tabakasıdır. Bu tabaka, yeryüzünde yaşayan canlı varlıkları Güneş'in zararlı etkilerinden korur. Sıcaklığa bağlı olarak Atmosfer; Troposfer, Stratosfer, Mezosfer ve Termosfer olmak üzere dört temel tabakaya ayrılır. Atmosferin en dışında bulunan çıkış tabakasına ise Egzosfer adı verilir [2]. Yer'in yüzeyinden Atmosfer boyunca yukarı doğru çıkıldıkça Atmosfer'in en alt tabakasında, Troposfer'de, yükseklik arttıkça sıcaklık azalır. Atmosferin bu yükseklik alanından sonra Güneş'ten gelen Ultra-Violet (UV) ışınlardan atom ve moleküller tarafından soğurulması sonucunda sıcaklık tekrar artmaya başlar ve Termosfer'de büyük değerlere ulaşır. Termosferdeki sıcaklık, Güneş işleğine bağlıdır. Bu tabakada sıcaklık yaklaşık 700-2500 K'ye ulaşır. Sıcaklıktaki bu artış, Güneş'ten gelen UV ışınlarıyla açıklanır. Bu tabakada ışınlardan, nötr atmosferde iyonlaşma etkisi yaratır ve Termosfer içinde başka bir tabaka olan iyonküreyi meydana getirir [3].

İyonküre, Atmosfer'in 50 ile 1000 km arasındaki yükseklik alanında yer alan ve Güneş'ten gelen ışınlardan ile şekillenen doğal plazma ortamıdır. Güneş'ten gelen ışınlardan, iyonküre içindeki atom ve molekülleri iyonlaştırarak pozitif yüklü iyonlar ile serbest elektronları oluşturmaktadır. İyonkürede atom ve moleküller, kendi ağırlıklarına göre farklı farklı ölçek yüksekliklerinde yer almaktadırlar. Bu nedenle iyonküre içindeki iyonlaşma, farklı yüksekliklerde bulunan farklı atom ve moleküllerden dolayı yükseklikle değişmektedir. Böylece iyon ve serbest elektronlardan meydana gelen farklı bölgeler oluşmaktadır [4]. D, E, F iyonkürenin farklı bölgelerini göstermek için kullanılmaktadır. Şekil 1.1'de iyonküre bölgelerinin yükseklikle değişimi ve bu bölgelerde hakim olan bileşenler gösterilmektedir.



Şekil 1.1. İyonküre bölgeleri ve bu bölgelerde hakim olan iyonlar [6].

İyonküreyi karakterize eden temel parametre, Güneş işlekliliği, jeomanyetik işleklilik, konum, zaman ve sismik hareketlilikle de değişimler gösteren elektron yoğunluğudur. İyonküredeki birçok parametre elektron yoğunluğunun bir fonksiyonudur. İyonküreyi karakterize eden ve elektron yoğunluğunun bir fonksiyonu olan bir diğer parametre ise Toplam Elektron İçeriği (TEİ)'dir. TEİ, üst Atmosfer'in ve iyonkürenin yapısı hakkında önemli bilgiler sağlar. TEİ, uydu ve alıcı arasındaki bir sinyal yolu boyunca hesaplanan toplam elektron miktarı olarak ifade edilir, yani elektron yoğunluğunun çizgi integrali olarak tanımlanabilir. TEİ'nin birimi TECU olup, 1 TECU metrekarede 10^{16} elektrona eşittir [5]. İyonküredeki değişimler ve bozulmalar, TEİ'nin hesaplanması ve görüntülenmesi ile önemli ölçüde incelenebilir. TEİ elde etmek için yer tabanlı ve uydu tabanlı birçok teknik bulunur. Son yıllarda özellikle Yerküresel Konumlama Sistemi (YKS), yeryüzüne konumlanmış olan alıcıları ile birlikte TEİ hesaplamada ve iyonküresel değişimleri sergilemede etkili çözümler sağlar.

İyonküre'nin zamansal ve uzamsal değişimleri genel olarak Yer'in günlük ve yıllık rotasyonuna ve manyetik alan çizgilerinin dağılımına bağlıdır. Yer'in manyetik alanı, çok nadir olarak bir jeomanyetik fırtına yok ise sakindir. Bu yönelimler ve periyodik değişimler, "sakin iyonküre" olarak bilinen iyonküreyi biçimlendirir [6]. Çok uzun süreli gözlemler sonucunda, Güneş'teki değişimler ile jeomanyetik ve sismik hareketliliğin, iyonkürenin sakin olduğu dönemlerde bazı sapmalara neden olduğu görülmüştür. Bu sapmalar, iyonküre içinde bozulmalar olarak saptanmıştır. Eğer Yer'in manyetik alanında bir bozulma gözlenmiş ise iyonkürede bir jeomanyetik fırtınanın başladığı söylenebilir. Jeomanyetik fırtınalar, iyonküredeki zamansal ve uzamsal değişkenliğin temel nedeni sayılabilir. Yer'in manyetik alanındaki bu bozulmaları ölçeklendirebilmek için birçok indis geliştirilmiştir. Bu bozulmalar, Güneş işlekliliği ile Yer'in manyetik alanın bağlaşımdan kaynaklanır ve iyonkürede ve manyetokürede çok karmaşık dinamiklerle tanımlanır. Literatürdeki birçok çalışmada [6-9] jeomanyetik fırtınaların iyonküredeki elektron yoğunluğunda ve TEİ'de bozulmalara neden olduğu saptanmıştır. Bununla birlikte son yıllarda, sismik hareketliliğin Litosfer, Troposfer ve iyonküre ile bağlaşımdı sonucunda elektromanyetik sinyaller, Yer'in elektrik ve manyetik yapısı ile Atmosfer'in kimyasal yapısı üzerinde önemli ölçüde değişimlere neden olduğu bulunmuştur [10-25]. Bu çalışmalarda, sismik hareketliliğe bağlı olarak meydana gelen elektromanyetik anormallikleri ve iyonküreye etkilerini ortaya çıkarmak için birçok teori de geliştirilmiştir. Literatürdeki bu çalışmalara göre, büyük depremlerden önce özellikle TEİ, iyon sıcaklığı (T_i) ve F2-bölgesi kritik frekansı (f_oF2) gibi iyonküre parametrelerinde büyük ölçüde bozulmalar meydana gelmektedir.

Literatürde, iyonküre parametreleri üzerinde anormallikler yaratan iyonküresel bozulmaları inceleyen teknikler genel olarak şu şekilde sınıflandırılabilir: İlinti Analizi [11-17], Çeyrekler Arası Alan Analizi [16-19], TEİ Farkı Analizi [20], İyonküresel Düzeltme Analizi [21], Radyo Yarısaydamlık Metodu [22, 23, 26] ve Bağlı Sapma Analizi [27, 28]. Bu sınıflamayla sıralanan bu tekniklerin hepsi iyonküre parametreleri üzerinde ya güçlü bir jeomanyetik fırtınanın yaşandığı dönem süresince ya da büyüklüğü 6'dan fazla olan deprem periyotları boyunca uygulanmıştır. Bu nedenle hâlâ, büyük jeomanyetik fırtınalar veya sismik hareketliliğin yarattığı bozulmalar için bir alarm sinyali oluşturabilmek adına gerçekçi ve geçerli istatistiksel yöntemlerin geliştirilmesi gerekmektedir.

İstatistikte ve bilgi teorisinde Kullback-Leibler İraksaklığı, iki Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu (OYF) arasındaki benzerlikleri veya farklılıkları ölçmek için kullanılır [29-39]. Benzer olarak, L2-Normu da iki vektör arasındaki mesafesi tanımlamak için kullanılır [35-40]. Bu iki istatistiksel yöntem dışında, kayan pencere istatistiksel analizi ile hareketli ortalama ve değişinti sınırları da geniş anlamda bozulmaların karakterizasyonunu ve veri setinin yönelimlerini tanımlamak için kullanılan istatistiksel yöntemlerdir [41, 42].

Bu çalışmada, YKS istasyonlarından elde edilen TEİ'nin değişkenliğini incelemek için, iyonkürenin jeomanyetik açıdan bozulmalı ve sakin durumları da karşılaştırılarak, Simetrik Kullback-Leibler Mesafesi (KLD), L2-Normu (L2N) ve kayan pencere istatistiksel analizi yöntemleri literatürde ilk defa bu bağlamda büyük bir veri seti üzerinde uygulanmıştır. Bu yöntemler dışında Çapraz İlinti Katsayısı (ÇİK) yöntemi de veri setleri üzerinde kullanılmıştır. İncelemenin ilk bölümünde Japonya'da meydana gelen ve büyüklüğü 5.9 ile 8.3 arasında değişen beş deprem ile 12 Mayıs 2008'de Çin'de meydana gelen 7.9 büyüklüğündeki deprem ve çok güçlü iki jeomanyetik fırtına seçilmiştir. YKS-TEİ kestirimleri, kullanılan YKS istasyonları için, seçilen her bir depremden 15 gün öncesi ve 15 gün sonrası günler için (deprem periyodu) elde edilmiştir. TEİ kestirimleri, hiçbir sismik hareketliliğin yaşanmadığı fakat iyonkürenin güçlü jeomanyetik bozulmalara maruz kaldığı günler (bozulmalı dönem) ile sismik ve jeomanyetik açıdan hareketliliğin olmadığı iyonkürenin sakin günleri (sakin dönem) için de elde edilmiştir. İncelemenin ikinci bölümünde ise Türkiye'de Kuzey Anadolu Fay hattında (KAF) meydana gelen benzer jeofiziksel özelliklere sahip iki deprem seçilmiştir. Harita Genel Komutanlığı tarafından Türkiye üzerine düzgün olarak yerleştirilmiş TUSAGA-Aktif YKS istasyonlarından her bir depremden 10 gün öncesi ve sonrası günler için TEİ kestirimleri elde edilmiştir. TUSGA-Aktif TEİ kestirimleri Türkiye için iyonkürenin jeomanyetik ve sismik açıdan sakin olduğu günler için de elde edilmiştir. Her iki inceleme bölgesi için sonuçlar, istasyonlar arası çaprazlama karşılaştırması, Ortalama Değer Sakin Gün (ODSG) karşılaştırması ve ardışık günler karşılaştırması olmak üzere üç ana uygulama grubu içinde değerlendirilmiştir. Bu çalışma TÜBİTAK EEEAG 105E171 ve 109E055 numaralı projeler tarafından desteklenmiştir. Bu çalışmada kullanılan istatistiksel yöntemlere ve elde edilen bulgulara sırasıyla Bölüm 4'te ve Bölüm 5'te yer verilmiştir.

2. İYONKÜRE PARAMETRELERİ

Üst Atmosfer içinde iletken bir tabakanın varlığının anlaşılması, yaklaşık bir asır öncesine dayanır. Atmosfer içinde manyetik alan değişimlerinden etkilenen bir iletken tabaka olduğu fikri 1839'da Gauss, 1860'da Kelvin tarafından ileri sürüldü. Marconi'nin 1901'de Cornwall'den yayımlanmış olan radyo sinyalinin Newfoundland'de alması, Yer iyonküresinin deneysel olarak saptanmasını sağladı. 1902'de Kennelly ve Heaviside, 80 km yükseklikte, yansıtıcı bir iletken katmanın varlığını ileri sürerek, olayı açıkladıkları zamandan bugüne iyonküre tabakalarının oluşumunu keşfetme, fiziksel ve kimyasal yapısını çözme, bilim adamlarını iyonküre üzerinde çalışmalar yapmaya yöneltmiştir. 1903 yılında Taylor ve 1906 yılında Fleming, bu tabakaların Güneş ışınlarıyla şekillendiğini söylediler. Tam olarak iyonküre kavramı Thomson'un elektronu keşfinden birkaç yıl sonra geliştirildi. 1925'e doğru Appleton ve Hartree, manyetik alan eşliğindeki bir Atmosferde radyo dalgalarının yayılması kuralını ortaya attı. 1929'da "iyonküre" adı benimsendi. 1931'de Chapman, Güneş ışınımının etkisi altında iyon ve elektronların oluşumunu nicel olarak formülleştirdi. Yeryüzünün birçok bölgesine yerleştirilen düşey iyonküre sondaları 30 yıl süreyle iyonküre konusunda, uzaktan iletişim için elde edilmesi zorunlu verilerin tek kaynağı oldu. 1960'tan bu yana iyonküre ile ilgili bilgiler yapay uydulara yerleştirilen ölçü aygıtlarıyla geliştirildi. Günümüzde iyonküre araştırmaları uzay fiziğinin bir dalını oluşturmaktadır. Güncel araştırmalar iyonküre parametrelerini kullanarak, iyonküre plazması hareketlerini, plazmanın ısıl yapısını, iyonküre ile manyetokürenin etkileşimlerini ve gezegenlerin iyonkürelerini incelemeye yönelmiştir [4]. İyonküre parametreleri, iyonkürenin karakteristik yapısını tanımlamak için birtakım bilgiler sağlarlar. Çünkü iyonkürenin yapısı konum, zaman, Güneş'in işlekliği ve jeomanyetik işleklik gibi bazı etkenlere bağlı olarak değişir ve bu yüzden çok sık meydana gelmeyen jeomanyetik karışıklık dönemleri hariç, iyonküre'nin karakteristik yapısını tanımlamak zordur. İşte bu yüzden iyonküre parametreleri, iyonkürenin dinamiklerini anlamak için önemli bilgiler sağlarlar.

2.1. İyonküredeki Elektron Yoğunluğu

İyonküredeki en önemli parametre olan elektron yoğunluğu, coğrafik ve jeomanyetik konum, Güneş işlekliği, jeomanyetik işleklik, mevsim, günün saati ve yükseklikle değişim gösterir. İyonkürenin F-bölgesinde elektron-iyon üretimi ve taşınma süreçlerini içeren, iyonlaşmayı yöneten kuvvetler bulunmaktadır. Bu şekilde iyonkürenin F2-bölgesindeki elektron yoğunluğunun davranışı

$$\frac{\partial N_e}{\partial t} = q - \beta N_e - \text{div}(N_e \mathbf{\vartheta}) \quad (2.1)$$

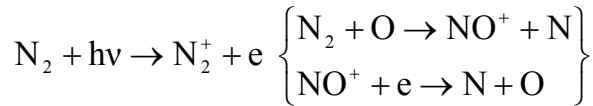
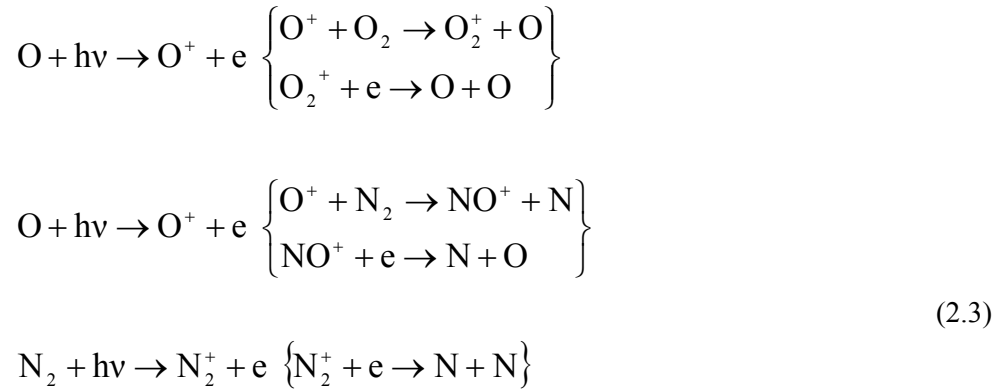
şeklinde ifade edilen süreklilik bağıntısıyla açıklanır [43]. Burada, q : üretim oranı, β : elektron kayıp katsayısı, $\mathbf{\vartheta}$: taşınma işlemlerinin hızı, N_e ise metreküpteki elektron yoğunluğudur. Elektron yoğunluğunun davranışını incelemek, iyonkürede meydana gelen süreçleri anlamaya açıklık getirir.

İyonkürede elektron üretimi, doğrudan Güneşten gelen ışıma bağlıdır. Gelen ışıma şiddeti ne kadar fazla ise, etki ettiği yükseklik alanı o kadar fazla olacaktır ve o kadar fazla iyonlaşma gerçekleştirecektir. Bu süreç en basit haliyle,



reaksiyonu ile ifade edilebilir. Üretim, Güneş foto-iyonlaşma akısı büyük olduğu gündüz saatlerinde artar.

İyonkürede yaklaşık 180-1000 km arasında O^+ iyonu hakim iyonudur. 180 km'nin altında NO^+ temel iyonik bileşendir. N_2^+ veya N_2 ve O veya O^+ arasındaki kimyasal reaksiyonlar sonucunda N ve NO^+ oluşur. 200 km'nin altında NO^+ iyonu yeniden birleşme süreçleriyle elektron kaybına sebep olur. Bu bölgelerde elektron kaybına sebep olan diğer bir iyon da O_2^+ iyonudur [44]. Elektron kaybına yol açan foto-kimyasal reaksiyonlar



şeklinde [44]. Yukarıdaki denklemlerde, sol taraftaki reaksiyonlarda üretimin nasıl gerçekleştiği görülürken, bu reaksiyonları takiben sağ taraftaki reaksiyonlarda kayıplar ifade edilmektedir. NO^+

ve O_2^+ iyonları, elektron yoğunluğundaki kayıplara sebep olduklarından dolayı iyonküre için önemlidirler.

2.2. İyonkürenin Kritik (Plazma) Frekansı ve Yükseklikler

İyonkürde elektron yoğunluğunun yanı sıra önemli olan başka bir parametre de iyonkürenin kritik frekansı olarak adlandırılan plazma frekansıdır. Bu frekans iyonkürde dikey olarak ilerleyip geri yansıtılacak olan bir dalganın frekansının en üst değeridir. Bu en üst değerdeki frekanstan daha yüksek frekanslara sahip bir ordinari dalga, iyonkürayı geçerek uzaya yayılır ve kaybolur. Kritik frekans en büyük elektron yoğunluğu ile doğru orantılıdır ve en genel haliyle:

$$N_{e_{\max}} (\text{el}/\text{m}^3) = 1.24 \times 10^{10} [f(\text{MHz})]^2 \quad (2.4)$$

eşitliği ile tanımlanır [45, 46]. Burada N_e , m^3 'deki en büyük elektron yoğunluğu ve f ise bir ordinari dalga için kritik radyo frekansıdır [45, 46]. Plazma fiziğinde kritik frekans, plazma frekansı olarak bilinir ve bir ordinari dalga için plazma titreşim frekansının dalga frekansına eşit olduğu noktada dalganın yansıdığı frekans olarak tanımlanır.

İyonküre, radyo dalgalarının yayılım yönünü değiştirebilir. Bu değişim, iyonkürdeki serbest elektronların etkisi ile ortaya çıkar. İyonlaşmış, manyetik olmayan bir ortam içinde düşey doğruluda ilerleyen ordinari dalgalar için manyetik alan etkilerinin ihmal dildiği çarpışmasız ortamda c ışık hızına bağlı faz hızı:

$$v_f = c \left[\sqrt{1 - \frac{N_e^2}{m\epsilon_0 4\pi^2 f^2}} \right]^{-1} \quad (2.5)$$

eşitliği ile ifade edilir [43, 45]. Burada, m elektronun kütlesi, ϵ_0 ortamın dielektrik geçirgenlik katsayısı ve f dalga frekansıdır. Bir ordinari dalga için iyonlaşmış ortamın kırma indisi veya ordinari dalganın kırılma indisi n ,

$$n = \sqrt{1 - \frac{N_e^2}{m\epsilon_0 4\pi^2 f^2}} \quad (2.6)$$

eşitliği ile ifade edilir [47-49]. Bir frekansa sahip dalgaların kırılma indisi, elektron yoğunluğuna bağlı olarak değişir. Aynı şekilde faz hızı da elektron yoğunluğuna bağlı olarak değişir. Yüksek frekanslı bir dalga iyonküreye içinde, düşük frekanslı dalgaya göre daha az kırılır.

İyonküreye sabit frekansla gönderilen bir ordinari dalga önce girdiği ortamda elektron yoğunluğu az olduğundan dolayı ışık hızına çok yakın bir hızla ilerler. Bu nedenle Eşitlik 2.6'nın sağ tarafındaki köklü ifade,

$$N_{ec}(\text{el/cm}^3) = \frac{f^2}{8.1 \times 10^{-5}} = 1.2 \times 10^4 [f(\text{Hz})]^2 \quad (2.7)$$

değerine yaklaşacaktır [45, 47-49]. Bir ordinari dalga, N_{ec} ile gösterilen ve kritik elektron yoğunluğu olarak adlandırılan bu yoğunluk değerindeki yüksekliklerden yansıyarak Dünya'ya geri döner. Bu yoğunluk değerinde yansıyan en büyük frekansa kritik frekans denir ve

$$f_c = 9 \times 10^{-3} \sqrt{N_{ec}} \quad (2.8)$$

ifadesiyle tanımlanır [43, 47-49]. Çok yüksek frekanslı bir dalga, kritik frekansı düşük olan D-bölgesinden direk geçecektir, elektron yoğunluğunun en fazla ve buna bağlı olarak kritik frekansı en büyük olduğu F-bölgesinde yansımaya uğrayacaktır. Bu özellik uzun mesafe radyo iletişimine olanak sağlayan bir özelliktir.

İyonkürede bir ordinari dalganın yansıması, dalga frekansının plazma frekansına eşit olduğu noktada gerçekleşir. En büyük elektron yoğunluğunun olduğu noktada plazma frekansı (kritik frekans) da en büyük olur. Yeryüzünden iyonküreye gönderilen dalganın frekansı kritik frekans değerini aşarsa bu bölgeden ilerleyip gider. Düşey olarak giren dalganın frekansı, kritik frekans değerinden küçük olursa, o noktada dalga yansır. iyonküredeki her bölgenin kritik frekans aralığı farklıdır ve sahip olduğu en büyük elektron yoğunluğu değerine göre değişir. D, E ve F tabakalarının kritik frekansları sırasıyla foD, foE, foF1, foF2 ile temsil edilir.

İyonkürenin elektron yoğunluğu açısından en zengin bölgesi F2-bölgesidir. F2-bölgesinde sinyallerin kırılma miktarı bu yoğunluğa bağlıdır. Fırtınalar sırasında yoğunluk azalır, sinyaller kırılarak Dünya'ya yöneleceklerine uzayda kaybolurlar. Normalde F2 tabakasındaki yoğunluk 200-350 km yükseltiler arasında en büyük değerini alır. Ama bir jeomanyetik fırtına sırasında, normalin çok daha altına düşebilir. Bu olay kutup ışıklarının görülebildiği bölgelerdeki (Auroral zones) nötr atmosfer bölgesinin ısınmasının, iyonkürenin kimyasal yapısını değiştiren atmosferik dolaşımı etkilediği zamanlarda oluşur. Bu değişiklikler, Eşitlik 2.1'de de verilen elektron kayıp oranının (β) artarak F2-tabakasının en büyük elektron yoğunluğu değerinin düşmesine yol açar. Böylece

atmosferik ısınma temelde F2-bölgesinin altında oluşur. Bu durum, F2-bölgesinin öncelikle neden alt tarafının bozunmaya başladığını açıklar [45].

Elektron yoğunluğunun azalması F2-bölgesi kritik frekanslarının da azalmasına neden olur. Bu frekanstaki azalma ise kullanılabilen frekans aralığının daralmasına yol açar. Bu durumun yarattığı etki, iyonkürenin alt tabakalarındaki soğurmanın artmasıyla birleşerek, kullanılabilir band genişliğini önemli ölçüde daraltır. F2-bölgesi kritik frekansının azalması her zaman jeomanyetik bozulmalar nedeniyle ortaya çıkmaz. Her rahatsızlık ayrı bir sonuca yol açar. Bazıları frekansın iyileştirilmesine yol açarken, bazılarının bu frekans üzerindeki etkisi azdır. Bazıları ise bu frekansın büyük miktarlarda azalmasına yol açar. Bazen bu etkiler, Dünya'nın yalnız bazı bölgeleriyle sınırlı kalırken bazen etki Dünya çapında görülebilir.

2.3. Elektron-İyon-Nötr Sıcaklıklar

Plazma sıcaklığı yaygın olarak Kelvin (K) cinsinden ifade edilir ve parçacık başına ısı kinetik enerjisinin bir ölçüsüdür. UV ışıınımları, enerjili parçacıklar veya güçlü bir elektrik alandan dolayı Maxwell Enerji Dağılımından sapmalarına rağmen birçok durumda bağıl olarak enerjileri iyi tanımlanmış elektronlar ısı dengeye çok yakındır. Kütlelerindeki büyük farktan ötürü elektronlar, kendilerini iyonlardan veya nötr atomlardan daha hızlı termodinamik dengeye sokarlar. Bu nedenle iyon sıcaklığı, elektron sıcaklığından farklı olabilir. Bu durum özellikle az iyonlaşmış plazmada ortaya çıkar [50].

Elektronlar, iyonlar ve nötr parçacıkların bağıl sıcaklıklarına bağıl olarak plazma, ısı ya da ısı olmayan şeklinde sınıflandırılır. Isıl plazma, elektronlar ve ağır parçacıkların aynı sıcaklıkta olduğu plazmadır. Isıl plazmada elektronlar ve ağır parçacıklar birbirleriyle ısı denge içindedirler. Isıl olmayan plazmalarda iyonlar ve nötr parçacıklar düşük sıcaklıktadırlar, elektronlar ise çok daha sıcaktır. İyonkürede buna bağıl olarak sıcaklık çok yüksektir. En düşük Güneş lekesinde sıcaklık yaklaşık 773 K, en büyük Güneş lekesinde ise sıcaklık yaklaşık 1773 K'dir [50].

Sıcaklık, plazmadaki iyonlaşmayı kontrol eder. Plazma iyonlaşması, iyonlaşma enerjisine bağıl elektron sıcaklığından elde edilir. Eğer plazma neredeyse tamamen iyonlaşmış halde ise “*sıcak plazma*” (hot plasma) olarak, gaz moleküllerinin az kısmı iyonlaşmış ise “*soğuk plazma*” (cold plasma) olarak tanımlanır [50].

İyonkürede, gün doğumuyla birlikte nötr parçacıklar arasında foto-elektron üretimi başlar. Foto-elektronlar enerjilerini ortamdaki elektronlara aktardığından dolayı, elektron sıcaklığı T_e artmaya başlar. Bu artış, sabah saatlerinde elektron yoğunluğu daha az olduğu için daha hızlı gelişir. Gün doğumunda çok fazla elektron üretimi gerçekleştiğinden ötürü, enerji paylaşımı da her

bir elektron başına azalır. Böylece, T_e bir en üst değere ulaşana kadar artar ve gün içinde sabit bir değerde kalır. İyonküredeki elektron ve iyon sıcaklığı değişimlerine dair gözlemler yoğun olarak yer tabanlı gözlem evlerinde yapılmaktadır [51].

İyonkürede T_e elektron sıcaklığı, T_i iyon sıcaklığı ve N_e elektron yoğunluğu arasındaki görgül (ampirik) ilişki:

$$T_e - T_i = A - BN_e \quad (2.9)$$

eşitliği ile tanımlanmıştır [52]. Üretim ve kayıp mekanizmalarının, iletim üzerinde etkili olduğu yapılan çalışmalar sonucunda görülmüştür. Herhangi bir görgül ilişkide Güneş işlekliliği de göz önüne alınmalıdır [52]. Güneş işlekliliği hesaba katıldığında Eşitlik 2.9,

$$T_e - T_i = A - BN_e + C F_{10.7} \quad (2.10)$$

şeklini alacaktır [52]. Burada $F_{10.7}$ Güneş akısıdır.

İyonküredeki elektron sıcaklığı, iyonların veya nötr bileşenlerin sıcaklıklarından çok daha yüksek derecelerde olabilir. Bu fark, iki unsurdan kaynaklanır: İlk olarak, çeşitli plazma kaynakları elektronların sıcaklığını iyonların sıcaklığından daha fazla artırır. İkinci olarak, nötr bileşenler veya iyonlar, elektronlardan daha ağır olduğu için iki cismin çarpışması sırasında enerji aktarımı, kütlesi küçük olan parçacıkta daha hızlı gelişir.

2.4. İyonkürenin Toplam Elektron İçeriği (TEİ)

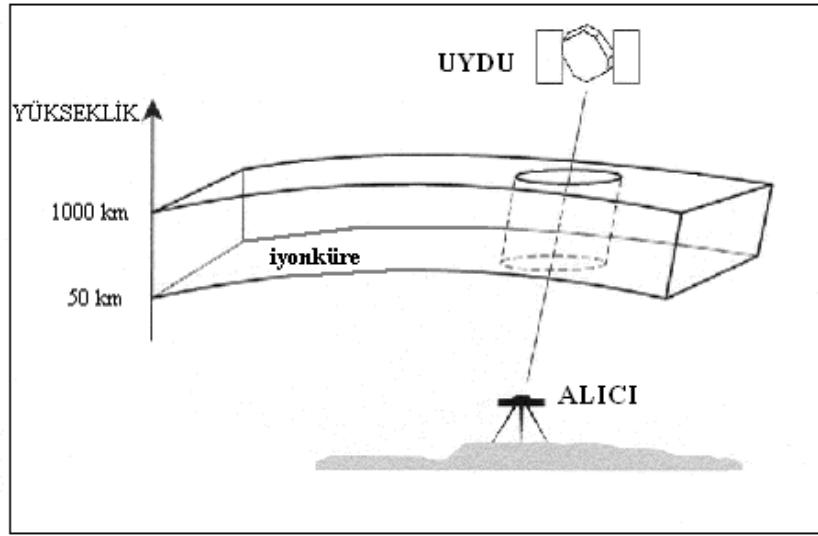
İyonkürenin radyo dalgaları üzerindeki en önemli etkilerinden birisi, yayılımlarında neden olduğu gecikmedir. Yayılım yolundaki bu gecikme, frekansa ve Toplam Elektron İçeriği'ne (TEİ) bağlıdır.

İyonküredeki Toplam Elektron İçeriği (TEİ), bir sinyal yolu boyunca hesaplanan elektronların toplam sayısı olarak ifade edilir. Yani elektron yoğunluğunun integralidir. Her uydudan (U) alıcıya (A) olan yol boyunca hesaplanan “Toplam Elektron İçeriği” en genel haliyle:

$$TEİ = \int_A^U N_e dl \quad (2.11)$$

eşitliği ile ifade edilebilir. Birimi TECU' dır ve $1 \text{ TECU} = 10^{16} \text{ el/m}^2$ veya 10^{12} el/cm^2 'dir.

TEİ, iyonküre içinde uydu tarafından gönderilen radyo dalgalarındaki iyonküresel gecikmenin hesaplanmasını sağlayan bir parametredir. İyonküresel TEİ çeşitli yollarla elde edilmektedir. TEİ kestirimi için yer tabanlı ve uydu tabanlı çeşitli teknikler bulunmaktadır. Yer tabanlı teknikler arasında İyonosonda, Geri Saçılım Radarı ve Evreyumsuz Geri Saçılım Radarı sayılabilir. Bu tekniklerin ortak özelliği iyonküreye radyo dalgaları gönderilerek incelemeler yapılmasıdır. İyonküredeki TEİ incelemeleri için uydu sistemlerinden bazıları Yerküresel Konumlama Sistemi (YKS), GLONASS ve TOPEX/Poseidon sistemleridir. Bunlardan içinde en kullanışlı olanı Yerküresel Konumlama Sistemi (YKS) dir [5]. YKS'nin yapısı ve çalışma sistemine EK A'da yer verilmiştir. Uydu-Alıcı arasında iyonkürede ilerleyen radyo sinyali Şekil 2.1'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Uydudan gönderilen radyo dalga sinyalinin iyonküreyi geçerek alıcıya ulaşması.

Sinyal yolu üzerinde serbest elektronların toplamı olan TEİ, bu elektronların sayısına bağlı olarak değişir. İyonküredeki serbest elektronların sayısı iklim, coğrafik konum, jeomanyetik işleklik gibi faktörlere bağlı değişim gösterdiğinden, TEİ de bu faktörlere bağlı olarak değişim sergiler. TEİ, iyonküredeki plazma halini ve dinamiklerini karakterize etmek için kullanılan önemli bir iyonküresel ve uzay-hava parametresidir. Jeomanyetik fırtınalar gibi Güneş olayları boyunca önemli ölçüde değişimlere uğrar ve Yer boşluğu ortamındaki süreçlerin dinamiklerini yansıtır. İyonkürenin Toplam Elektron İçeriği zaman ve yer kabuğu hareketleri ile ilişkilidir.

İyonkürenin grup gecikme ifadesi,

$$\Delta t = \frac{40.3}{cf^2} \text{TEİ} \quad (2.12)$$

eşitliği verilir, burada 40.3 sabitinin birimi m^3/s^2 dir [53, 54]. Denklemdaki c ışık hızı, f sinyalin frekansdır. YKS'nin Ekler bölümünde anlatılan L1 ve L2 iki taşıyıcı frekansı göz önüne alınarak;

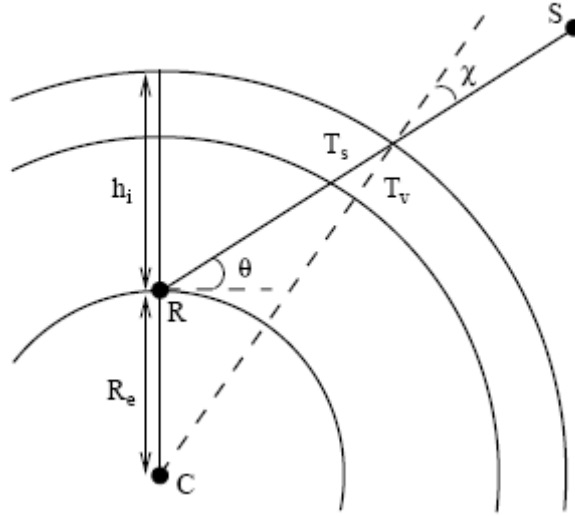
$$\begin{aligned}\rho_1 &= \frac{40.3}{cf_1^2} TEI \\ \rho_2 &= \frac{40.3}{cf_2^2} TEI\end{aligned}\quad (2.13)$$

Eşitlik 2.12, Eşitlik 2.13 ile tanımlanabilir [53]. Eşitlik 2.13'den de anlaşılacağı gibi gecikme, elektron sayısı ile doğru orantılı, sinyal frekansı ile ters orantılıdır. GHz bandındaki bir elektromanyetik dalganın hızı, iyonkürede bağımlı frekanstır. Bu durum bize, uydu-alıcı, görüş hattı boyunca iyonküresel TEİ değerleri alabilmeyi sağlar [55]. YKS kullanılarak Eşitlik 2.12'de hesaplanan tam TEİ,

$$TEI = \frac{\Delta\rho \cdot c}{40,3} \cdot \frac{f_1^2 \cdot f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} \quad (2.14)$$

eşitliği ile ifade edilir [53, 55]. Burada f_1 , L1 dalgasının frekansı; f_2 , L2 dalgasının frekansdır.

TEİ, Eğik Toplam Elektron İçeriği STEC ve Dik Toplam Elektron İçeriği VTEC olmak üzere iki şekilde ifade edilir. STEC, alıcı ile uydu arasındaki hat üzerinde hesaplanan toplam serbest elektron miktarı, VTEC ise alıcıya göre yerel zenit doğrultusunda hesaplanan toplam serbest elektron miktarıdır. YKS işaretleri kullanılarak TEİ kestirimi iyonkürenin yapısını anlamak için doğrudan kullanılan bir yöntemdir [5]. İyonküre içinde sinyal yolu geometrisine bağlı bir nicelik olarak STEC, Yer'in yüzeyi üzerinden TEİ haritaları oluşturmaya olanak sağlayan VTEC'in sinyal yolunun görüşünden bağımsız olan TEİ'nin düşey değerlerine eşdeğer hesaplamalar yapmayı mümkün kılar [56]. Şekil 2.2, STEC ve VTEC arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Şekilde χ , zenit açısı; θ , eğiklik (oblik) açısı; S, sinyali gönderen uydu; R, sinyali alan alıcı; T_v , VTEC; T_s , STEC; R_e , Yer'in yarıçapı; R, C merkezinden iyonküreye olan uzaklık ve h_i , Yer yüzeyinden iyonküreye uzaklık olarak temsil edilmiştir [56].



Şekil 2.2. STEC ve VTEC geometrisi [56].

$O(\theta)$ yatıklık faktörüne bağlı STEC ve VTEC arasındaki ilişki

$$T_s = T_v \cdot O(\theta) \quad (2.15)$$

olarak ifade edilir [56]. Basit trigonometrik tanımlamayla yatıklık faktörü

$$O(\theta) = 1 / \cos \left[\arcsin \left(\frac{R_e \cos(\theta)}{R_e + h_i} \right) \right] \quad (2.16)$$

şeklinde yazılır. Burada h_i , etkili (geçerli) iyonküresel yüksekliktir [56].

Literatürdeki TEİ ile ilgili son çalışmalarda [10-16, 20, 21], sismik hareketlerin iyonkürede elektromanyetik yayılımında neden olduğu değişim etkileri, deprem periyotları içinde incelenmiştir. Bu çalışmalarda bu değişimler modellenerek depremle iyonküre arasında ilişkiler kurulmaya çalışılmıştır. Bu yolla depremlerin kestirimini yapmaya olanak sağlanmaya çalışılmaktadır. Bu çalışmaların çıkış noktasında yaygın görüş olarak şu teori öne sürülmüştür: Yerkabuğu altında meydana gelen hareketler sonucunda kabuktan akustik-yerçekimi dalgaları (Acoustic Gravity Waves-AGW) ortaya çıkar. Bu dalgalar iyonküredeki elektrik alanın düşey bileşenini bozar [10-16]. İyonkürede bulunan nötr bileşen yapısı ile iyonlaşmış plazmanın bağlaşmasına neden olur. Bu bağlaşma bağlı olarak elektron yoğunluğu değişir. TEİ analizleriyle, iyonkürede meydana gelen değişimler, deprem öncülü çalışmalar kapsamında yorumlanır.

Yukarıda bahsedilen sismik hareketliliğin TEİ üzerindeki etkilerinin yanı sıra Güneş işlekliliği ve jeomanyetik işleklilik de TEİ üzerinde önemli etkilere sahiptir. Patlamalar ve koronal kütle çıkarması gibi Güneş işlekliliği, sık sık dünya üzerinde parçacık ve elektromanyetik yayılımında büyük değişimler meydana getirir. Bu değişimler, “sakin-zamanlı” manyetokürede ve iyonkürede karışıklıklar yaratır. İyonküresel fırtınalar olarak bilinen iyonküreyi etkileyen bu karışıklıklar, iyonküredeki parçacık yoğunluğunda, Toplam Elektron İçeriği’nde ve iyonküresel akım sisteminde büyük karışıklıklara sebep olurlar. Bu fırtınalar, uydu telekomünikasyonunu bozmak gibi dünyaya ait önemli etkilere sahiptir. TEİ’nin küresel haritalarını çıkarma, iyonküresel fırtınaları tespit etmeyi ve davranışlarını ortaya çıkarmayı, aynı zamanda fırtına olaylarının tam anlaşılmasını sağlayan bilimsel araştırmaların takibini sağlar [57].

İyonküresel Toplam Elektron İçeriği’nin küresel haritaları, yerel istasyonlardan toplanan YKS gözlemlerinin haritalandırılmasıyla gerçek zaman (RT-Real Time) içinde üretilir. Bu gerçek-zamanlı TEİ haritaları, radyo seyir sistemlerinde doğru iyonküresel ölçümler alabilmeyi sağlar.

2.5. Güneş İşlekliliği ve Jeomanyetik İndisler

İyonküre, Güneş ve Yer’in manyetik alanındaki hareketliliğe bağlı olarak değişim gösterir. İyonküreyi etkileyen bu karışıklıklar, yoğunluk dağılımında, Toplam Elektron İçeriğinde ve akım sisteminde büyük karışıklıklara sebep olurlar. İyonkürede meydana gelen karışıklıkların birincil kaynağı Güneş lekeleri olarak adlandırılan, Güneş’in yüzeyinde oluşan daha soğuk olan bölgelerde meydana gelen patlamalarda, Yüksek Hızlı Güneş Rüzgarı Sisteminde (HSSWS) ve Koronal Kütle Boşalımında (CME) şiddeti artan ışınlımlardır. Patlamalar, CME ve HSSW, Dünya’ya yüklü parçacıklar yollarlar ve iyonküresel (jeomanyetik) fırtınalara sebep olurlar. Güneş’te meydana gelen bu değişimler, özellikle akım sisteminde büyük düzensizliklere neden olurlar. Bu karışıklıklara sebep olan Güneş ve jeomanyetik işleklilik bazı indislerle ifade edilir. Manyetik işleklilik indisleri adı verilen bu indisler, düzensiz akım sisteminden etkilenen jeomanyetik alandaki değişimleri tanımlamak için kullanılır. Bu indisleri aşağıdaki başlıklar altında toplayabiliriz.

2.5.1. K-indisi

K-indisi, 13 tane orta-enlem istasyonundan elde edilir. Yer'in manyetik alanının tüm Dünya üzerinden elde edilen değerlerinin ortalamasıdır [58]. Manyetik alanın değeri konuma göre büyük ölçüde değişiklik gösterdiğinden dolayı, manyetik alan ölçümleri K-indisini oluşturmak için her bir istasyonda düzgelenir [59]. Yerel olan K-indisi, manyetik alandaki 3 saatlik düzensizliklerin ya da bozulmaların büyüklüğünü gösterir (00 00-03 00, 03 00-06 00,....., 21 00-24 00). Her bir istasyon için nT (1 nT=10⁻⁹ Tesla) cinsinden manyetik alan ve K-indisi arasındaki dönüşüm logaritmiktir ve her bir istasyon için farklılık gösterir [59]. Çizelge 2.1'de K-indisi ile manyetik alan arasındaki ilişki verilmiştir.

Çizelge 2.1. K-indisine karşılık gelen manyetik alan şiddeti değerleri [59].

K-indisi	nT
0	0-5
1	5-10
2	10-20
3	20-40
4	40-70
5	70-120
6	120-200
7	200-330
8	330-500
9	>500

K-indisi, 0 ile 9 arasında değerler alır. Çizelge 2.2'de K-indisinin dereceleri ifade edilmiştir.

Çizelge 2.2. K-indisinin dereceleri [59].

K0	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
Aktif değil	Çok sakın	Sakin	Tedirgin	Aktif	Küçük fırtına	Büyük fırtına	Şiddetli fırtına	Çok şiddetli fırtına	Uç, aşırı fırtına

2.5.2. a-indisi

Yerel jeomanyetik işlekliliğin 3 saatlik bir “eşdeğer genlik” indisi [58]. Her bir K değeri, “eşdeğer 3 saatlik dizi” olarak adlandırılan bir lineer ölçek olan a-indisine dönüştürülür [59]. a-indisi ile 3 saatlik K-indisi arasındaki ilişki Çizelge 2.3'te verildiği gibi ölçeklendirilir.

Çizelge 2.3. K-indisi ile a-indisi arasındaki dönüşüm [59].

K-indisi	a-indisi
0	0
1	3
2	7
3	15
4	27
5	48
6	80
7	140
8	240
9	400

2.5.3. A-indisi

Yerel A-indisi, jeomanyetik işlekliliğin uzun süreli değişimlerini ifade eder [59]. Sekiz a-indisinin 3 saatlik ortalamasına eşit olan günlük jeomanyetik bir indistir. Dinamik indistir ve uç değere sahip değildir. A-indisi, 0-100 ve üstü eğerlerle ifade edilir [58]. Çizelge 2.4'te A-indisinin dereceleri ifade edilmiştir.

Çizelge 2.4. A-indisinin dereceleri [58].

A0-A7	A8-A15	A16-A29	A30-A49	A50-A99	>A100
Sakin	Tedirgin	Aktif	Küçük fırtına	Büyük fırtına	Şiddetli fırtına

A-indisinin türetilmesinin nedeni, jeomanyetik işleklilik için günlük bir ortalamaya ihtiyaç duyulmasıdır.

2.5.4. Kp-indisi

Dünyasal Kp-indisi, dünya üzerine dağılmış 12-13 istasyondan alınan 3 saatlik K-indisi değerlerine dayalı olarak Gottingen/ALMANYA'da oluşturulan jeomanyetik indistir [58]. Kp-indisi, 44° ile 60° arasındaki güney ya da kuzey enlemlerinde yer alan 13 gözlem evinden elde edilen K-indisinin ağırlıklı ortalaması alınarak hesaplanır [59]. Ölçeği 0 ile 9 arasında değişir. Güneşten gelen parçacık yayılımının etkilerini ölçmek için elde edilir [59].

2.5.5. Ap-indisi

Bir dizi özel istasyondan elde edilmiş A-indisi verilerinin ortalamasıdır [58]. Ap-indisi ile Kp-indisi arasındaki ilişki Çizelge 2.5'te verildiği gibi ölçeklendirilir.

Çizelge 2.5. Kp-indisine karşılık gelen Ap-indisi değerleri [59].

Kp-indisi	Ap-indisi
0	0-2
1	3-5
2	6-10
3	11-20
4	21-35
5	36-61
6	62-102
7	103-166
8	167-268
9	>269

Ap-indisi ve Kp-indisi yerel indisler değil, yerel indislerin ortalamalarıdır.

2.5.6. Güneş lekesi sayısı (SSN-Sun Spots Number)

Güneş lekelerinin sayısı, Güneş işlekliğini tanımlamak için kullanılmış olan en eski parametredir. Güneş lekeleri gruplarının sayısı hesaplanarak Güneş'in lekelerinin sayısı bulunur. Güneş'in lekelerinin toplamı da Güneş Lekesi Sayısı'nı verir ve grup sayısının on katıdır. R Güneş Lekesi İşlekliğinin günlük bir indisidir. Güneş lekelerinin oluşumu, büyümesi ve kaybolması, 11 yıllık bir döngüde gerçekleşir. S, leke sayısı; g, grup sayısı ve k, gözlem faktörü olmak üzere R Güneş Lekesi İşlekliği Eşitlik 2.17 ile bulunur [58].

$$R = k (10 g + s) \quad (2.17)$$

Günümüzde Güneş Lekesi Sayısı'nı bulmak için iki farklı veri seti kullanılmaktadır: Bunlar, Boulder Güneş Lekesi Sayısı ve Uluslararası Güneş Lekesi Sayısı'dır. Her iki veri seti için kullanılan yöntemler aynı fakat gözlem evleri farklıdır [60].

2.5.7. Güneş akısı indisi (SFI-Sun Flux Index)

10.7 cm dalga boyunda (2800 MHz) bant üzerindeki ışıma miktarını ifade eden indistir. Güneş Akısı, Güneş işleklik seviyesini gösteren en yaygın kullanılan parametredir. Bu parametre Penticton (Kanada) gözlemevinde ölçülmektedir ve UV ve X-ışınlarıyla çok yakından ilişkilidir. Yüksek Güneş akısında iyonküre güçlenir, yüksek frekansların kırılmasına olanak sağlar. Güneş akısı görgül olarak Güneş Lekesi Sayısıyla da ilişkilidir [58].

$$SFI=63.7+0.727x(SSN)+0.000895x(SSN)^2 \quad (2.18)$$

Birimi sfu olarak tanımlanır ve $sfu=10^{-22} \text{ Wm}^{-1}\text{Hz}^{-1}$ dir [60]. Bu karakteristiğin iki tanımı vardır. “gözlenmiş” olarak adlandırılan değerler radyo teleskopundan elde edilir ve yeryüzüne ait çalışmalar için kullanılır [60]. “düzeltilmiş” olarak adlandırılan değerler ise Yer’in Güneş’e olan değişken uzaklığına göre düzeltilir ve Güneş araştırmaları için kullanılır [60].

2.5.8. Dst-indisi (Disturbance Storm Time)

Dst-indisi, ekvatorial akım zincirindeki değişimleri tanımlayan bir jeomanyetik indistir. Saatlik Dst-indisi, ekvator bölgesi içindeki manyetometre istasyonlarından elde edilir. Ekvator bölgesini kapsayan düşük enlemlerde H manyetik sarsım bileşeni, manyetoküresel akım zincirinden etkilenir. Dst-indisi, bu sarsımın saatlik ortalamasıdır [60].

2.5.9. Polar Zirve indisi (PC-Polar Cap)

Polar Zirve-indisi (PC-indisi), kutup bölgelerinde iyonküredeki akımlardan kaynaklanan jeomanyetik bozulmaları ölçmektedir. Her iki yarım kürede de hesaplanmaktadır. PC-indisi, manyetoküresel alan çizgilerinin iletiminden kaynaklanan iyonküresel akım sistemini ölçmek için geliştirildi. Güneş rüzgârlarıyla ilişkili olduğu düşünülerek PC-indisi, Güneş rüzgârlarından Yer’in manyetoküresine olan enerji girişini ölçmektedir. 1975 yılından beri elde edilmektedir [61].

3. LİTERATÜRDE DEPREM ARAŞTIRMALARINDA KULLANILMIŞ ANALİZLER

İyonkürenin varlığı 20. yüzyılın başlarında anlaşılmasına karşın, iyonküre hakkındaki birçok sorunun cevabı 1960 yıllarında başlayan uydulu çalışmalardan sonra alınabilmektedir. Yer sondaları ve uydularla, iyonkürenin elektron yoğunluğu, iyon yoğunluğu, elektron-iyon sıcaklıkları, Toplam Elektron İçeriği gibi parametreler ölçülebilmektedir. Ölçüm sonuçlarından yararlanılarak oluşturulan modellemelerle de iyonkürenin yapısı ve dinamikleri ortaya konulmaya çalışılmıştır. 1960 yılından bu yana yapılan iyonküre ilgili tüm teorik ve deneysel çalışmalara rağmen günümüzde bile tam bir iyonküre modeli oluşturulamamıştır. Yapılan modellemeler ve yaklaşımlar hâlâ geliştirilmektedir. Bu bölümde bazı iyonküre parametreleri kullanılarak sismik hareketlerin iyonküre üzerindeki etkilerini saptayabilmek için ortaya konan bazı istatistiksel analiz yaklaşımları anlatılmıştır.

Literatürde iyonkürenin deprem öncesi hareketliliğini inceleyen modellemeler, İlinti Analizi [11-28], Çeyrekler Arası Alan (IQR-Inter Quartile Range) Analizi [16-19], TEİ Farkı Analizi [20], İyonoküresel Düzeltme [21] ve Radyo Yarı Saydamlık Metodu [22, 23, 26] başlıkları altında toplanabilir.

3.1. İlinti (Korelasyon) Analizleri

İyonküresel parametreler ile sismik hareketler arasındaki ilişkiler üzerine son yıllarda çalışmalar yoğunlaşmıştır. Bu çalışmalarda genel amaç, olası bir depremden önce deprem öncesi işaretler elde edebilmektir. Bunlarda biri ilinti analizidir.

Bu kapsamda yapılan çalışmalarda [11-28], iyonkürenin jeomanyetik açıdan sakin ve bozulmalı olduğu günlerde iyonosonda ve YKS ağlarıyla ölçülen elektron konsantrasyonunun değişkenliği çalışılmıştır. Bu çalışma için iki ölçüm noktası kullanılmıştır: Birincisi, depremin etki alanı içindeki “alıcı-sensör”; ikincisi, bu bölge dışında kalan “kontrol-alıcı”dır. Bu iki ölçüm noktasının enlem ve boylamlarının farklı olmamasına dikkat edilmiştir. Seçilen bir gün için eşit zaman aralıklarında kritik frekans ve Dik Toplam Elektron İçeriği (VTEC) verileri kaydedilmiştir. Bu verilerle kritik frekans için günlük çapraz-ilinti (kros-korelasyon) katsayısı Eşitlik 3.1 ile hesaplanmıştır.

$$C = \frac{\sum_{i=0}^k [f_{1(i)} - af_1][f_{2(i)} - af_2]}{k[\sigma(1)\sigma(2)]} \quad (3.1)$$

Burada 1 ve 2 numaraları, birinci ve ikinci istasyonları temsil etmektedir. $f=f_0F_2$, iyonogramlardan ölçeklendirilen saatlik kritik frekans değerleri, $k=23$ alınan kayıt sayısıdır. af kritik frekansın günlük aritmetik ortalama ve σ standart sapma değerleri,

$$af = \frac{\sum_{i=0}^k f(i)}{k+1} \quad (3.2)$$

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=0}^k [f(i) - af]^2}{k}$$

eşitlikleriyle tanımlanmıştır. Deprem etki alanı dışında seçilen “kontrol-alıcı” istasyonların hemen hemen aynı veya çok yakın jeomanyetik enlemler içinde olması ve bu istasyonların yerel zaman farklarını ortadan kaldırmak için boylamlarının çok farklı olmaması önerilmiştir. Eşitlik 3.1’den hareketle Rusya aktif sismik bölgesi içinde yer alan Petropavlosk-na-Kamchatke (53.0° K, 158.7° D) “alıcı-sensör” ve Magadan (60.0° K, 151.0° D) “kontrol-alıcı” istasyonlarından elde edilen verilerle Batı Pasifik alanında; Rusya’nın uzak doğusu, Tayvan ve Japonya’da ki bir dizi deprem incelenmiştir. Kritik frekans için Ocak-Nisan 1974 tarihli 120 günlük bir periyotta bu iki istasyonun ayrı ayrı özilinti (oto-korelasyon) katsayıları ve iki istasyonun birlikte çapraz-ilinti katsayıları hesaplanmıştır. Aynı iki istasyon için Ocak-Nisan 1992 tarihleri arasında meydana gelmiş depremler için 120 günlük periyotta çapraz-ilinti katsayıları elde edilmiştir. İncelenen iki zaman aralığındaki çapraz-ilinti katsayılarının 120 günlük zaman aralığında depremlerden önceki 1-7 arasında değişen günlerde 0.9’un altına düştüğü gözlenmiştir.

Aynı şekilde Eşitlik 3.1 kullanılarak, deprem merkezi içindeki tol2 (19.29° K, 99.64° B) “alıcı-sensör” ile deprem alanı dışındaki cul (24.79° K, 107.38° B) ve ineg (21.85° K, 102.28° B) “kontrol-alıcı” istasyonlarından alınan VTEC değerleriyle çapraz-ilinti katsayıları hesaplanmıştır. Ocak 2003 Collima depreminde çapraz-ilinti katsayısının, deprem tarihinden beş gün önce 0.7’ye, sekiz gün önce 0.9’un altına kadar düştüğü gözlenmiştir. Eşitlik 3.1 kullanılarak Aralık 2003 San Simeon depremi de incelenmiştir. Bu incelemelerde de çapraz ilinti katsayılarının deprem gününden 2, 4 ve 4, 8 gün önceki günlerde sırasıyla 0.5, 0.65 ve 0.6, 0.65 değerlerine düştüğü kaydedilmiştir. Çapraz ilinti katsayılarında gözlemlenen bu düşüşlerin, deprem habercisi bir anormallik olduğu ileri sürülmüştür [11-28].

3.2. Çeyrekler Arası Alan (IQR) Analizi

Bu yöntemle yeryüzündeki bozulmaları incelemek için iyonküresel TEİ değerleri eş zamanlı ve sürekli olarak alınmıştır. İyonkürenin dağıtıcı bir ortam olması özelliğine dayanarak her 30 sn’de bir YKS alıcıları tarafından kaydedilen sinyallerden Eğik Toplam Elektron İçeriği (STEC) değerleri;

$$\begin{aligned}
 STEC &= \int_{R_X}^{T_X} N_e dl = \frac{f^2}{40.3} \int_{R_X}^{T_X} (n^{-1} - 1) dl \\
 &= \frac{f^2}{40.3} \int_{R_X}^{T_X} \left[\left(\sqrt{1 - \frac{f_N^2}{f^2}} \right) - 1 \right] dl
 \end{aligned} \tag{3.3}$$

eşitliği ile hesaplanmıştır [16]. Burada n kırılma indisi ve f, f_N sırasıyla dalga ve plazma frekansdır. l yolu, alıcı-uydu doğrultusundadır.

Çeyrekler Arası Alan analiziyle [16], Eylül 1999-Aralık 2002 yılları boyunca Tayvan’da $M=6.0$ ile $M=7.3$ arasındaki ölçeklerde meydana gelmiş 20 deprem incelenmiştir. Bunun için depremin oluş gününden önceki 15 günlük zaman diliminde VTEC ile foF2 değerleri için $\tilde{X}$ -ortanca değeri hesaplanmıştır. 15 günlük değerler arasında her bir referans deprem için Çeyrekler Arası Alan (Inter Quartile Range-IQR) değerleri bulunarak

$$\text{Üst sınır} = \tilde{X} + \text{IQR} \tag{3.4}$$

$$\text{Alt sınır} = \tilde{X} - \text{IQR} \tag{3.5}$$

sınırları elde edilmiştir. Eşitlik 3.4 ve 3.5’te kullanılan veriler Chung-Li iyonosonda istasyonu (25° K, 120° D) ve Yang-Ming-San YKS istasyonundan (25.3° K, 120° D) elde edilmiştir. Gözlenen VTEC veya foF2 değeri ilişkili olduğu alt veya üst sınır aralığının dışında kalırsa, bu sinyalin alt ya da üst anormal sinyal olduğu kabul edilmiştir. İncelenen 20 depremden 16 tanesinde depremden önceki 5 gün içinde bu şekilde VTEC anormalliği ölçülmüştür. Buna göre oran $16/20=80\%$ ’dir.

Yine bu analiz yöntemi de kullanılarak yapılan bir diğer çalışmada [17], 1998 Rei-Li, 1999 Chi-Chi ve 1999 Chia-Yi depremleri için network verilerine dayalı olarak enlem-zaman TEİ haritaları tasarlamış ve bu üç depremden 1-4 gün önce TEİ anormallik tepelerinin ekvator doğrultusunda taşındığı gösterilmiştir. Bu çalışmayla [17], Tayvan’da meydana gelen 1998 Rei-Li,

1999 Chi-Chi ve 1999 Chia-Yi depremleri için IPS-42 iyonosonda istasyonundan 15 dakikada bir kaydedilen foF2 kritik frekansın, deprem öncesi günlerde değişimleri aynı metotla çalışılmıştır. Seçilen üç büyük deprem için önceki 15 günlük veri setinde,

$$\begin{aligned} LB &= \tilde{X} - IQR \\ LB &= \bar{X} - \sigma \end{aligned} \quad (3.6)$$

alt sınırlar (LB-Lower Bound) elde edilmiştir. Burada $\tilde{X}$, önceki 15 gün için ortanca değeri; IQR , çeyrekler arası alan değeri; $\bar{X}$, 15 günlük aritmetik ortalama ve σ standart sapmadır. Bu yöntemle X_{16} değerinin $LB = \bar{X} - \sigma$ sınırından küçük olması durumunda olası bir depreme bağlı bir karışıklık tespit edilmiş olabileceği ileri sürülmüştür.

3.3. TEİ Farkı Analizi

TEİ farkı analizi önerilen bu çalışmada [20], Güneş rüzgârlarına ve Kp-indisine bağlı TEİ değişimleri incelenmiştir. Jeomanyetik açıdan farklılık gösteren günlerde eş zamanlı olarak meydana gelmiş deprem günlerine ait TEİ değişimleri bu şekilde incelenmiştir. Böylelikle jeomanyetik açıdan sakin ve karışık günler karşılaştırılarak sismik hareketliliğin var olduğu günlerde TEİ değerlerinde oluşabilecek sapmaların sismik hareketliliğin mi yoksa jeomanyetik hareketliliğin mi bir sonucu olduğu değerlendirilmesi yapılmıştır.

Bu çalışmada [20], CORS ağlarındaki altı alıcıdan alınmış mutlak TEİ değerleri kullanmıştır. Günlük Güneş döngüsüne bağlı olarak birkaç saatlik zaman diliminde TEİ zaman serileri için etkin değer (Root Mean Square value-RMS value) hesaplanmış. 13 Şubat 2001 El Salvador depreminde verilen gün ve sonraki günler için Eşitlik 3.7 ile ifade edilen TEİ farkları hesaplanmıştır.

$$dTEİ = (TEİ)_i - (TEİ)_{i+1} \quad (3.7)$$

Depremin etki alanı içindeki dört istasyon esti, mana, slor, tegu ve depremin etki alanı dışındaki iki istasyon kyw1, htv1 istasyonlarından elde edilen ölçümler kullanılmıştır. esti, mana, slor, tegu-kyw1 ve esti, mana, slor, tegu - htv1 istasyonları arasında Eşitlik 3.7 kullanılarak fark analizi yapılmıştır. $dTEİ$ (esti, mana, slor, tegu - kyw1) ile $dTEİ$ (esti, mana, slor, tegu - htv1) farklarının günlük değişim eğrisi çizilmiştir. İki egride de depremden 2 gün önce etki alanı içindeki istasyonlarda sistematik azalmalar saptanmıştır.

Yine bu çalışmada [20], 11-12-13 Şubat günleri için kyw1, esti-mana-slor-tegu, htv1 istasyon verileriyle sırasıyla RMS hesaplanmıştır. RMS değerlerinin bu üç güne karşı eğrileri ve Kp-indisinin de buna paralel olarak üç günlük değişim eğrisi çizilmiştir. Bu eğrilerde Kp-indisindeki büyümeye paralel olarak RMS değerlerinde sistematik azalmalar gözlenmiştir.

3.4. İyonküresel Düzeltme

Bu yöntem kullanılarak yapılan çalışmada [21], 1964 Alaska depreminden sonra Atmosfer boyunca yayılan akustik dalgaların iyonkürede neden olduğu bozulmalar araştırılmıştır. Atmosfer boyunca yükseklik arttıkça atmosferik yoğunluğun azaldığı gözlenmiştir. Elektrik alan şiddeti gece saatlerinde daha büyük olduğundan depremde önce deprem bölgesinde meydana gelen karışıklıklar gece saatlerinde daha iyi incelenmiştir [21].

Bu metot ile İyonküresel Düzeltme:

$$Iono = -\frac{ac}{dt} \frac{[k_2 CET2_{ver} - k_1 CET1_{ver}]}{F^2} \quad (3.8)$$

eşitliği ile ifade edilmiştir [21]. Burada a sabit sayı ($40.22/c.m^{-2}$); c , ışık hızı; dt hesaplanan periyot; $CET1_{ver}$ ve $CET2_{ver}$, başlangıç ve bitiş periyodu arasındaki Dik TEİ; F , emisyon frekansdır [21]. Düzeltmenin k geometrik faktörü:

$$k(r, E) = \frac{r}{\sqrt{r^2 - (R_T \cos E)^2}} \quad (3.9)$$

ile tanımlanmıştır [21]. Burada r , alt-iyonküresel noktanın yarıçapı ($r=R_T+h_m+50 \text{ km}$); R_T , Yer'in yarıçapı; h_m , alt-iyonküresel yükseklik (en büyük elektron yoğunluğunun olduğu yükseklik) ve E , uydunun en yakın istasyonla olan yükselme açısıdır [21]. Eşitlik 3.8 kullanılarak, TOPEX/POSEIDON uydusundan farklı enlem bölgelerinde alınan veriler ile İyonküresel Düzeltme hesaplanmıştır [21]. 26 Şubat 2001 Bhuj depreminden birkaç gün öncesi ve sonrası için İyonküresel Düzeltmenin enlemle değişim eğrisi çizilmiştir. Bu günler için kaydedilen veriler uydunun geçişlerinden kaynaklanan zaman kaymasından ötürü aynı zaman dilimi içinde değildirler. Bu eğriden, deprem gününden önceki günlerde depremin olduğu güne yaklaştıkça İyonküresel Düzeltmenin arttığı, deprem gününden sonraki günlerde ise İyonküresel Düzeltmenin azaldığı görülmüştür.

Bu çalışmada [21], iyonkürenin F2-bölgesini karakterize eden bir diğer önemli parametre foF2 kritik frekansının değişkenliği farklı bir yolla incelenmiştir. İyonkürenin değişkenliğini incelemek için foF2 kritik frekansı değerleri ile Eşitlik 3.10 ile ifade edilen frekansın aylık ortanca değerlerinden sapan frekans değerleri hesaplanmıştır.

$$\delta foF2(\%) = 100(foF2 - \overline{foF2}) / \overline{foF2} \quad (3.10)$$

Burada foF2, kritik frekans ve $\overline{foF2}$, aylık medyan değerleridir. Eşitlik 3.10'dan yola çıkarak, anormal artışın başladığı 26 Şubat gününden 5 gün öncesi 21 Şubat günü için kritik frekansın $\overline{foF2} + 2\sigma$ üst sınır ve $\overline{foF2} - 2\sigma$ alt sınır değerleri hesaplanmıştır. Belirtilen gün için kritik frekansın gerçek değerleri, alt sınır ve üst sınır değerlerinin 24 saatlik değişim eğrisi çizilmiştir. Bu egride GS 10 00'a karşılık gelen değer üst sınırın üstünde olduğu, GS 17 00 ve 18 00'a karşılık gelen değerlerin ise alt sınırın altında olduğu gözlenmiştir.

3.5. Radyo Yarı Saydamlık Metodu

Bu yöntem kullanılarak yapılan çalışmalarda [22, 23, 26], YKS uyduları yardımıyla iyonküre görüntülenmiştir. İnceleme için M=7.6 büyüklüğündeki 8 Ekim 2005 Pakistan depremi bu kapsamda ele alınmıştır [22]. Deprem merkezine en yakın iki istasyon olan novj ve iisc ve merkezden biraz daha uzakta kalan urum, sele, poll ve kit3 istasyonları seçilmiştir. 1-10 Ekim günleri arasında bu istasyonlardan toplanan verilerin 3-boyutlu uzay-zaman dağılımları yapılmıştır. Deprem merkezine daha uzak dört istasyona ait çevritlerde (kontur) deprem gününden 2 gün önce elektron konsantrasyonu değerlerinde anlamlı azalmalar gözlenmiştir. Dört istasyona ait bu çevritlerde depremin olduğu günde en büyük değer gözlenmiştir. Deprem merkezine çok yakın olan iki istasyona ait çevritlerde ise elektron içeriğinin katlanarak arttığı görülmüştür.

Diğer bir çalışmada [23], bu metod kapsamında M=4.8 ve M=5 büyüklüklerindeki 21 Eylül 2004 Kalingrad/Rusya (54.9° K, 20.1° D, 54.7° K, 20° D) ve M=7.7 büyüklüğündeki 17 Ağustos 1999 İzmit/Türkiye (40.7° K, 29.9° D) depremleri incelenmiştir. 21 Eylül 2004 Kalingrad/Rusya depremi için merkeze çok yakın bogi ve merkeze yakın riga, mdjv istasyonları, 17 Ağustos 1999 İzmit/Türkiye depremi için deprem merkezine 400 km uzaklıktaki ankr (39.8° K, 37.2° D) merkez gözlem istasyonu olarak kullanılmıştır. Bu istasyonlardan alınan verilerle Rusya depreminde 16-21 Eylül tarihleri arasında, Türkiye depreminde 12-18 Ağustos tarihleri arasında kaydedilmiş verilerin 3-boyutlu uzay-zaman elektron içeriği çevritleri elde edilmiştir. Türkiye depreminde depremden bir gün önce, dağılımda önemli ölçüde bir azalma gözlenmiştir.

Bu yöntem kullanılarak yapılan başka bir çalışmada [26], yine 17 Ağustos 1999 İzmit/Türkiye (40.7° K, 29.9° D) depremi incelenmiştir. Deprem merkezine çok yakın ankr (39.8° K, 37.2° D) istasyonu ve deprem merkezine daha uzak olan zeck (43.7° K, 41.5° B), zwen (55.78° K, 36.7° B) IGS istasyonları seçilmiştir. Üç istasyondan 13-18 Ağustos tarihleri arasında kaydedilmiş verilerle 3-boyutlu elektron yoğunluğu çevritleri elde edilmiştir. Her üç çevritte de 16 Ağustos günü elektron yoğunluğu dağılımında fark edilir derecede azalmalar gözlenmiştir. Sonuç olarak bu çalışmalarda [22, 23, 26], Radyo Yarı Saydamlık Metodunun depremler süresince en büyük elektron yoğunluğunu kontrol etmek için elverişli bir metot olduğu görülmüştür.

Bu bölümde, deprem öncülü çalışmalar kapsamında kullanılan istatistiksel analiz yöntemlerinden sismik hareketliliğin iyonküre üzerinde yarattığı etkileri ölçmede daha başarılı olan yöntemler anlatılmıştır. Bu bölümde anlatılan yöntemlerin uygulandığı depremlerin hepsinin büyüklüğü 6'dan fazladır. Literatürdeki deprem öncülü çalışmalarda büyüklüğü 6'dan küçük olan depremler incelenmemiştir. Bu nedenle büyüklüğü 6'dan fazla olan depremlerde gözlenen iyonküresel bozulmaların büyüklüğü 6'dan az olan depremler için ne derece gözlenebileceği bilinmemektedir. Bunun dışında, çalışmalarda kullanılan istasyonların sayısı, depremin etki alanının mesafe olarak belirlenmesi açısından oldukça azdır. Aynı ve farklı fay hatlarında meydana gelen benzer ve farklı jeofiziksel özelliklere sahip depremler de bu çalışmalarla kıyaslanamamıştır. Literatürdeki ve burada anlatılan bu çalışmalarda sadece iyonkürenin sismik hareketlilikle maruz kaldığı bozulma etkileri incelenmiştir. Çalışmalar için seçilen zaman aralıkları, deprem gününden öncesi ve sonrası günler ile sınırlı kalmıştır. İyonkürenin deprem periyotları boyunca gözlemlenen bozulma etkileri, iyonkürenin jeomanyetik açıdan sakin ve bozulmalı olduğu dönemlerle karşılaştırılmamıştır. Dolayısıyla bu bölümde anlatılan yöntemlerde kullanılan zaman aralıkları ve deprem çeşitliliği oldukça sınırlı kalmıştır ve kullanılan iyonküre parametrelerinde gözlenen sapmaların nedenin hâlâ araştırılması ihtiyacı duyulmaktadır.

4. DEPREM ÖNCÜLÜ ARAŞTIRMASI İÇİN ÖNERİLEN ANALİZ YÖNTEMLERİ

İyonküredeki elektron yoğunluğu, konum, zaman, güneş işlekliliği, jeomanyetik ve sismik hareketlilik gibi birçok unsurdan etkilenmektedir. Bu etkilerin tümü göz önüne alınarak iyonküre için belirleyici bir model oluşturmak çok zordur. Bu nedenle istatistiksel modeller geliştirmek iyonküre için yaklaşımlar yapmaya kolaylık sağlayacaktır.

Yerküresel Konumlama Sistemi (YKS) ile TEİ hesaplamada, uydu ve alıcı arasındaki sinyal yolu boyunca hesaplanan serbest elektron miktarına Eğik-TEİ (STEC-Slant Total Electron Content) denilmektedir. Bir YKS alıcısının yerel zenit doğrultusunda hesaplanan TEİ değeri ise Dik-TEİ (VTEC-Vertical Total Electron Content) ile ifade edilmektedir [5, 62]. Belli bir zaman dilimi içinde hesaplanan VTEC verileri $\mathbf{x}_{u;d}$ vektörüyle ifade edilebilir:

$$\mathbf{x}_{u;d} = [\mathbf{x}_{u;d}(1) \dots \mathbf{x}_{u;d}(n) \dots \mathbf{x}_{u;d}(N)]^T \quad (4.1)$$

Burada u , alıcı numarasını; N , toplam ölçüm sayısını; n , örnek numarasını ($1 \leq n \leq N$); T ise matris devriğini göstermektedir. Veri setlerinde farklı mevsimlerde, yıllarda ve günlerde hesaplanan TEİ değerleri karşılaştırılmak için düzgelenmiştir (normalize). İki istasyonun d . günündeki $\mathbf{x}_{u;d}$ vektörünün günlük deneysel Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu (OYF) $\hat{\mathbf{P}}_{u;d}$:

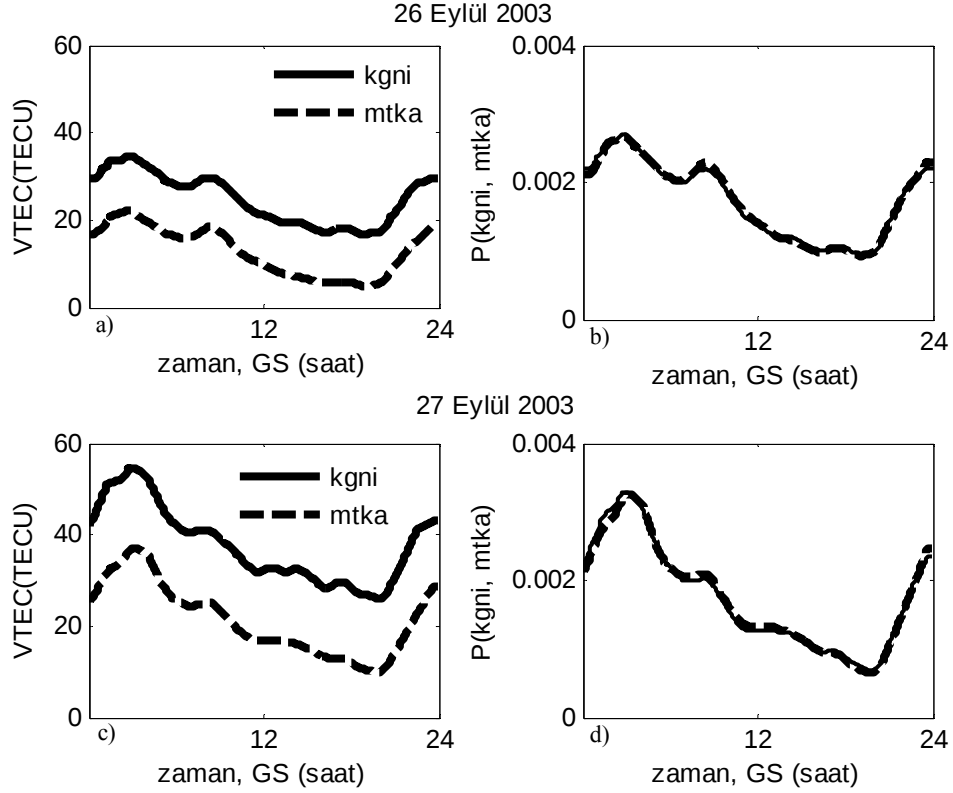
$$\hat{\mathbf{P}}_{u;d} = \mathbf{x}_{u;d} \left(\sum_{n=N_i}^{N_s} \mathbf{x}_{u;d}(n) \right)^{-1} \quad (4.2)$$

şeklinde yaklaştırılmıştır. Şekil 4.1’de 35.5° K, 139.4° D koordinatlarındaki kgni ve 35.4° K, 139.5° D koordinatlarındaki mtka kodlu IGS istasyonlarından 26 Eylül 2003 ve 2007 Eylül 2003 tarihinde hesaplanan VTEC dağılımları ve bu değerlerin OYF dağılımları görülmektedir. Aralarında 7 km mesafe bulunan bu iki istasyonun VTEC değerlerinde yaklaşık 10 TECU’luk fark varken, Eşitlik 4.2 kullanılarak elde edilen OYF değerlerinde fark gözlenmemektedir. OYF değerleri hesaplanarak iki istasyonun VTEC değerleri birbirine yaklaştırılmıştır.

Bir u istasyonunun s günler zaman aralığındaki toplam N_d kadar günden elde edilen Ortalama Değer Sakin Gün (ODSG), vektörü Eşitlik 4.3’deki gibi tanımlanmıştır.

$$\mathbf{x}_{u;d_i-d_s} = \frac{1}{N_d} \sum_{n=d_i}^{d_s} \mathbf{x}_{u;d_n} \quad (4.3)$$

Burada, iyonkürenin sakin gün zaman aralığında d_i başlangıç gününü, d_s bitiş gününü temsil etmektedir.



Şekil 4.1. kgni ne mtka kodlu IGS istasyonlarının 26 Eylül 2003 tarihindeki a) VTEC dağılımları, b) düzgelenmiş VTEC dağılımları ve 27 Eylül 2003 tarihindeki c) VTEC dağılımları, d) düzgelenmiş dağılımları.

Eşitlik 4.3 ile ifade edilen ODSG vektörünün düzgelenmiş değeri:

$$\hat{\mathbf{P}}_{u;d_i-d_s} = \mathbf{x}_{u;d_i-d_s} \left(\sum_{n=N_i}^{N_s} \mathbf{x}_{u;d_i-d_s}(n) \right)^{-1} \quad (4.4)$$

ile tanımlanmıştır. Burada N_i başlangıç ve N_s bitiş örnek numarasının temsil etmektedir. Bu bölümde, Eşitlik 4.2 ve 4.4 verilen düzgelenmiş dağılımlar kullanılarak hesaplanan Çapraz İlinti Katsayısı (ÇİK) Bölüm 4.1’de, literatürde bu kapsamda ilk defa kullanılmamış olan Kullback-Leibler Mesafesi (KLD-Kullback Leibler Distance) Bölüm 4.2’de ve L2-Mesafesi (L2N-L2 Norm) Bölüm 4.3’te sunulacaktır. Veri setleri üzerine uygulanan Kayan Pencere İstatistiksel Analizi

Bölüm 4.4'te ve Dağılımlar Iraksaklığı (DI) ile Dağılımlar Farkı (DF) analizleri Bölüm 4.5'te anlatılacaktır.

4.1. Çapraz İlinti Katsayısı (ÇİK)

İlinti, iki bazen de daha çok sayıda değişken arasındaki ilişkiyi gösterir. İlişkinin miktarı bir sayı ile belirtilir. Bu sayıya ilinti katsayısı denir. Değişkenler arasındaki ilişkiyi saptamak, aslında bu ilişkiyi gösteren matematiksel eşitliği saptamaktır [63]. Sürekli iki değişken arasındaki doğrusal ilişki miktarını gösteren ilinti katsayısı yöntemi +1 ile -1 arasında değişen değerler alır. Değişkenlerin ikisi de aynı yönde değişme gösterirse aralarındaki ilişki pozitifdir, ilinti katsayısının işareti de (+) dır. Değişkenlerden biri bir yönde değişirken diğeri ters yönde değişirse (biri azalırken öteki çoğalırsa), bu durumda ilişki negatiftir; ilinti katsayısının işareti de (-) dir. Öte yandan, değişkenler arasında ne pozitif ne de negatif yönde birlikte bir değişme yoksa bu durumda ilinti katsayısı sıfırdır. İlinti katsayısının sıfır olması da değişkenler arasında hiçbir ilişki olmadığını gösterir [63].

Seçilen birinci istasyona ait günlük VTEC verileri $\mathbf{x}_u$ vektörüyle, ikinci istasyona ait günlük VTEC verileri $\mathbf{x}_v$ vektörüyle tanımlanırsa, N_i başlangıç N_s bitiş örnek numarası ve N_T toplam örnek sayısı olmak üzere bu iki istasyonun d. gününe ait günlük çapraz ilinti fonksiyonu $r_{u,v;d}$, aşağıdaki eşitlikle ifade edilebilir:

$$r_{u,v;d} = \frac{1}{N_T \sigma_{u;d} \sigma_{v;d}} \sum_{n=N_i}^{N_s} \left(\mathbf{x}_{u;d}(n) - \bar{\mathbf{x}}_{u;d} \right) \left(\mathbf{x}_{v;d}(n) - \bar{\mathbf{x}}_{v;d} \right) \quad (4.5)$$

Burada $\bar{\mathbf{x}}_{u;d}$ ve $\bar{\mathbf{x}}_{v;d}$ sırasıyla d. gün için N_T örnek üzerinden $\mathbf{x}_{u;d}$ ve $\mathbf{x}_{v;d}$ vektörlerinin ortalama değerini $\sigma_{u;d}$ ve $\sigma_{v;d}$ ise bu vektörlerin standart sapmasını vermektedir. Bir u istasyon için Eşitlik 4.4 ile tanımlanan ODSG vektörünün OYF vektörü ve d. günü arasındaki ÇİK fonksiyonu,

$$r_{u;d,d_i-d_s} = \frac{1}{N_T \sigma_{u;d} \sigma_{u;d_i-d_s}} \sum_{n=N_i}^{N_s} \left(\hat{\mathbf{p}}_{u;d}(n) - \bar{\hat{\mathbf{p}}}_{u;d} \right) \left(\hat{\mathbf{p}}_{u;d_i-d_s}(n) - \bar{\hat{\mathbf{p}}}_{u;d_i-d_s} \right) \quad (4.6)$$

eşitliği ile ifade edilir [35-39]. Burada N_T , toplam örnek sayısı; $\sigma_{u;d}, \sigma_{u;d_i-d_s}$ sırasıyla $\hat{\mathbf{P}}_{u;d}, \hat{\mathbf{P}}_{u;d_i-d_s}$ düzgelenmiş vektörlerinin standart sapmaları ve $\bar{\mathbf{P}}_{u;d}, \bar{\mathbf{P}}_{u;d_i-d_s}$ ise bu vektörlerin ortalama değerleridir.

Bir u istasyonun seçilen bir zaman aralığının d. gününe ait günlük VTEC verileri $\mathbf{x}_{u;d}$ vektörüyle, bir sonra gelen d+1. gününe ait günlük VTEC verileri $\mathbf{x}_{u;d+1}$ vektörüyle tanımlanırsa, bu vektörlerin Eşitlik 4.2 ile tanımlanmış olan düzgelenmiş değerleriyle ardışık d. ve d+1. günleri arasındaki Çapraz İlinti Katsayıları,

$$r_{u;d,d+1} = \frac{1}{N_T \sigma_{u;d} \sigma_{u;d+1}} \sum_{n=N_i}^N \left(\hat{\mathbf{P}}_{u;d}(n) - \bar{\mathbf{P}}_{u;d} \right) \left(\hat{\mathbf{P}}_{u;d+1}(n) - \bar{\mathbf{P}}_{u;d+1} \right) \quad (4.7)$$

eşitliği ile hesaplanır [35-39]. Burada, N_i başlangıç ve N_s bitiş örnek numarasını, N_T , toplam örnek sayısını; $\sigma_{u;d}, \sigma_{u;d+1}$ sırasıyla $\hat{\mathbf{P}}_{u;d}, \hat{\mathbf{P}}_{u;d+1}$ düzgelenmiş vektörlerinin standart sapmalarını ve $\bar{\mathbf{P}}_{u;d}, \bar{\mathbf{P}}_{u;d+1}$ ise bu vektörlerin ortalama değerlerini göstermektedir. Eşitlik 4.5, 4.6 ve 4.7 kullanılarak elde edilen sonuçlar Bölüm 5’te yer almaktadır.

4.2. Simetrik Kullback-Leibler Mesafesi (KLD)

Olasılık ve bilgi teorisinde Kullback-Leibler Iraksaklığı (KLM), iki olasılık dağılımı arasındaki benzerlikleri ve farklılıkları ölçmek için kullanılır. Bir “doğru” olasılık dağılımından bir “tercihli” olasılık dağılımının farkının bir ölçümüdür. Doğru olasılık dağılımı veriyi, gözlemi veya tam olarak hesaplanmış bir olasılık dağılımı; tercihli olasılık dağılımı ise bir teoriyi, bir modeli ya da bir yaklaşımı temsil eder. Sık sık bir mesafe metriği olarak düşünülse de KL-Iraksaklığı simetrik olmayışından dolayı gerçek bir metrik değildir. Bundan dolayı “mesafe”den ziyade “ıraksaklık” kullanılmaktadır. Bu çalışmayla Kullback-Leibler Iraksaklığı, deprem analizi çalışmaları kapsamında TEİ veri setleri üzerine ilk defa uygulanmıştır.

Eşitlik 4.2 ile ifade edilen OYF kullanılarak u ve v istasyonları için $\hat{\mathbf{P}}_{u;d}$ ’den $\hat{\mathbf{P}}_{v;d}$ ’ye ve $\hat{\mathbf{P}}_{v;d}$ ’den $\hat{\mathbf{P}}_{u;d}$ ’ye olan Kullback-Leibler Iraksaklığı (KLM),

$$\begin{aligned}
\text{KLM}(\hat{\mathbf{P}}_{u;d} \setminus \hat{\mathbf{P}}_{v;d}) &= \sum_{n=N_i}^{N_s} \hat{\mathbf{P}}_{u;d}(n) \ln \left(\frac{\hat{\mathbf{P}}_{u;d}(n)}{\hat{\mathbf{P}}_{v;d}(n)} \right) \\
\text{KLM}(\hat{\mathbf{P}}_{v;d} \setminus \hat{\mathbf{P}}_{u;d}) &= \sum_{n=N_i}^{N_s} \hat{\mathbf{P}}_{v;d}(n) \ln \left(\frac{\hat{\mathbf{P}}_{v;d}(n)}{\hat{\mathbf{P}}_{u;d}(n)} \right)
\end{aligned} \tag{4.8}$$

eşitlikleri ile ifade edilir [29-39]. Burada, N_i başlangıç ve N_s bitiş örnek numarasını göstermektedir. Eşitlik 4.8’de verilen KLM fonksiyonları kullanılarak istasyonlar arasındaki simetrik Kullback-Leibler Mesafesi (KLD):

$$\text{KLD}(\hat{\mathbf{P}}_{u;d}; \hat{\mathbf{P}}_{v;d}) = \text{KLM}(\hat{\mathbf{P}}_{u;d} \setminus \hat{\mathbf{P}}_{v;d}) + \text{KLM}(\hat{\mathbf{P}}_{v;d} \setminus \hat{\mathbf{P}}_{u;d}) \tag{4.9}$$

eşitliği ile ifade edilir [29-31, 35-39]. Bir u istasyonun Eşitlik 4.4 ile ifade edilen olasılık yoğunluk fonksiyonu kullanılarak ortalama değer $\mathbf{d}$ gün vektörü ile d . günü arasındaki KLD fonksiyonu Eşitlik 4.10 ile tanımlanır [35-39]:

$$\text{KLD}(\hat{\mathbf{P}}_{u;d}; \hat{\mathbf{P}}_{u;d_i-d_s}) = \text{KLM}(\hat{\mathbf{P}}_{u;d} \setminus \hat{\mathbf{P}}_{u;d_i-d_s}) + \text{KLM}(\hat{\mathbf{P}}_{u;d_i-d_s} \setminus \hat{\mathbf{P}}_{u;d}) \tag{4.10}$$

u istasyonun ardışık d . ve $d+1$. günleri arasındaki simetrik Kullback-Leibler Mesafesi, Eşitlik 4.11 ile ifade edilir [35-39].

$$\text{KLD}(\hat{\mathbf{P}}_{u;d}; \hat{\mathbf{P}}_{u;d+1}) = \text{KLM}(\hat{\mathbf{P}}_{u;d} \setminus \hat{\mathbf{P}}_{u;d+1}) + \text{KLM}(\hat{\mathbf{P}}_{u;d+1} \setminus \hat{\mathbf{P}}_{u;d}) \tag{4.11}$$

Eşitlik 4.9, 4.10 ve 4.11 kullanılarak elde edilen sonuçlar Bölüm 5’te yer almaktadır.

4.3. L2-Normu (L2N)

L2-Normu (L2N), iki vektör arasındaki mesafeyi ölçmek için kullanılır. L2-Mesafesi metrik bir ölçektir. L2-Normu analizi de, TEİ verileri üzerinde deprem etkisi ile bozulmayı araştırmak için bu kapsamda ilk defa kullanılmaktadır. Eşitlik 4.2 ile ifade edilen OYF kullanılarak u ve v istasyonları için $\hat{\mathbf{P}}_{u;d}$ ’den $\hat{\mathbf{P}}_{v;d}$ ’ye L2-Normu Eşitlik 4.12 ile ifade edilir [35-40].

$$L2N(\hat{\mathbf{P}}_{u;d} \setminus \hat{\mathbf{P}}_{v;d}) = \sqrt{\sum_{n=N_i}^{N_s} (\hat{\mathbf{P}}_{u;d}(n) - \hat{\mathbf{P}}_{v;d}(n))^2} \quad (4.12)$$

Burada N_i başlangıç ve N_s bitiş örnek numarasıdır. Bir u istasyonun Eşitlik 4.4 kullanılarak ortalama değer sakin gün vektörü ile d . günü arasındaki L2-Normu:

$$L2N(\hat{\mathbf{P}}_{u;d} \setminus \hat{\mathbf{P}}_{u;d_i-d_s}) = \sqrt{\sum_{n=N_i}^{N_s} (\hat{\mathbf{P}}_{u;d}(n) - \hat{\mathbf{P}}_{u;d_i-d_s}(n))^2} \quad (4.13)$$

işlevi ile tanımlanır [35-39]. u istasyonun ardışık d . ve $d+1$. günleri arasındaki L2-Normu

$$L2N(\hat{\mathbf{P}}_{u;d} \setminus \hat{\mathbf{P}}_{u;d+1}) = \sqrt{\sum_{n=N_i}^{N_s} (\hat{\mathbf{P}}_{u;d}(n) - \hat{\mathbf{P}}_{u;d+1}(n))^2} \quad (4.14)$$

eşitliği ile ifade edilir [35-39]. Eşitlik 4.12, 4.13 ve 4.14 kullanılarak elde edilen sonuçlar Bölüm 5'te yer almaktadır.

4.4. Kayan Pencere İstatistiksel Analizi

İyonkürenin gösterdiği zamana bağlı değişkenlikten dolayı standart istatistiksel modeller, iyonküre ile ilgili net bilgileri çok zor sağlamaktadırlar. Bu nedenle iyonkürede gözlemlenen değişimlerin yapısı hakkında bilgi toplamak için kayan pencere istatistiksel yöntemi kullanılmaktadır [37, 41, 42]. İyonküre, doğası gereği değişken olduğundan ve hesaplanan TEİ değerleri rassal zaman ve uzam değişimi gösterdiğinden dolayı, düzgünleştirilmiş TEİ değerleri rassal süreçler, diğer bir deyişle stokastik süreçler olarak değerlendirilebilir. Kayan pencere istatistiksel analiz yöntemi daha önce günlük TEİ verilerinin yerel olarak durağan olduğu zaman aralıklarını belirleyerek TEİ verisinin birinci ve ikinci dereceden momentlerini hesaplamak için kullanılmıştır [41, 42].

Kayan pencere istatistiksel çözüm yönteminde Eşitlik 4.4 ile belirtilen bir u istasyonunun d . gününe ait Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu için kayan pencere hareketli ortalaması ve kestirilen standart sapması sırasıyla Eşitlik 4.15 ve 4.16 ile ifade edilir [37, 41, 42].

$$\hat{\mu}_{u;d}(n) = \frac{1}{N_w} \sum_{i = \frac{-N_w + 1}{2}}^{\frac{N_w - 1}{2}} \hat{P}_{u;d}(n+i) \quad (4.15)$$

$$\hat{\sigma}_{\mu;u;d}(n) = \sqrt{\frac{1}{N_w} \sum_{j = -(N_w - 1)}^{(N_w - 1)} r_{u;d}(|j|; n) \left(1 - \frac{|j|}{N_w}\right) - \hat{\mu}_{u;d}^2(n)} \quad (4.16)$$

Burada N_w , tek sayı olarak seçilen pencere boyu; $r_r(j; n)$, yerel ilinti fonksiyonudur ve

$$r_{u;d}(j; n) \cong \frac{1}{2N+1-j} \sum_{i=N}^N \hat{P}_{u;d}(n-i) \hat{P}_{u;d}(n-i+j) \quad (4.17)$$

eşitliği ile yaklaştırılır [37, 41, 42]. Burada, N değeri, N_w pencere boyuna yakın olarak seçilir. N_w pencere boyu, en iyi istatistiksel karakterizasyonu sağlayacak kadar uzun olacak şekilde ve yerel değişkenliği yakalayacak kadar da kısa olacak şekilde seçilir. Eşitlik 4.15 ve 4.16 ile verilen kayan pencere hareketli ortalama ve kestirilen standart sapma değerleri Eşitlik 4.2 ile verilen ODSG vektörünün düzgelenmiş değerleri için de hesaplanmıştır. Eşitlik 4.15 ile verilen hareketli ortalama ile Eşitlik 4.16 ile verilen kestirilmiş standart sapma kullanılarak bir u istasyonun d . günü için Eşitlik 4.18 ile ifade edilen sınırlar hesaplanmıştır.

$$S1_{u;d}(n) = \hat{\mu}_{u;d}(n) + \hat{\sigma}_{u;d}(n) \quad (4.18)$$

Eşitlik 4.18 ile ifade verilen sınırlar kullanılarak bir u istasyonunun düzgelenmiş ODSG vektörü ve d . günü arasında ÇİK, KLD ve L2N değerleri sırasıyla $r_{S1}(\hat{P}_{u;d}; \hat{P}_{u;d_1-d_s})$, $KLD_{S1}(\hat{P}_{u;d}; \hat{P}_{u;d_1-d_s})$ ve $L2N_{S1}(\hat{P}_{u;d} \setminus \hat{P}_{u;d_1-d_s})$ fonksiyonlarıyla hesaplanmıştır. Bir u istasyonunun d . ve $d+1$. günleri arasındaki ÇİK, KLD ve L2N değerleri de sırasıyla $r_{S1}(\hat{P}_{u;d}; \hat{P}_{u;d+1})$, $KLD_{S1}(\hat{P}_{u;d}; \hat{P}_{u;d+1})$ ve $L2N_{S1}(\hat{P}_{u;d} \setminus \hat{P}_{u;d+1})$ fonksiyonlarıyla hesaplanmıştır. Bu sınırlar ile hesaplanan ÇİK, KLD ve L2N değerleri Bölüm 5'te verilmektedir.

4.5. Dağılımlar Iraksaklığı (DI) ve Dağılımlar Farkı (DF)

Bu çalışmanın önemli amaçlarından biri, geriye dönük YKS ölçümlerinden elde edilecek TEİ verileriyle sismik verileri sistematik bir şekilde ve şimdiye kadar bu tür verilerle hiç denenmemiş özgün teknikler kullanılarak incelemek ve olası bir deprem alarm sinyalinin varlığını araştırmaktır. Sismik hareketliliğin iyonküredeki etkilerinin izlenmesi ve bir deprem alarm sinyali oluşturulabilmesi için iki önemli bulguya gerek vardır. Bunlardan birincisi zaman ve uzayda iyonkürenin yerel modelinin rassal olarak oluşturulması, ikicisi ise bu modelin oluşturulması için iyonkürenin sürekli gözlenmesi ve çok uzun süreli ve detaylı istatistiklerin toplanmasıdır.

İyonkürenin gösterdiği zamana bağlı değişkenlikten dolayı, iyonkürenin yapısal özelliklerinin temel parametrelerini oluşturan elektron yoğunluğu ve dolayısıyla Toplam Elektron İçeriğinin zamanda değişiminin algılanması önemlidir. Bu nedenle dağılımların saatlik örüntülerini inceleyebilmek için Eşitlik 4.8 ile verilen Kullback-Leibler Iraksaklığı eşitliğinin iç işlevi, Dağılımlar Iraksaklığı (DI) olarak ve Eşitlik 4.12 ile verilen L2-Normu eşitliğinin iç işlevi de Dağılımlar Farkı (DF) olarak hesaplanmıştır. Buna göre bir u istasyonunun düzgelenmiş ODSG vektörü ve d. günü arasındaki DI ve DF değerleri sırasıyla Eşitlik 4.19 ve 4.20 ile ifade edilir [37].

$$DI(\hat{\mathbf{P}}_{u;d} \setminus \hat{\mathbf{P}}_{u;d_i-d_s}) = \hat{\mathbf{P}}_{u;d}(n) \ln \left(\frac{\hat{\mathbf{P}}_{u;d}(n)}{\hat{\mathbf{P}}_{u;d_i-d_s}(n)} \right) \quad (4.19)$$

$$DI(\hat{\mathbf{P}}_{u;d_i-d_s} \setminus \hat{\mathbf{P}}_{u;d}) = \hat{\mathbf{P}}_{u;d_i-d_s}(n) \ln \left(\frac{\hat{\mathbf{P}}_{u;d_i-d_s}(n)}{\hat{\mathbf{P}}_{u;d}(n)} \right)$$

$$DF(\hat{\mathbf{P}}_{u;d} \setminus \hat{\mathbf{P}}_{u;d_i-d_s}) = \left(\hat{\mathbf{P}}_{u;d}(n) - \hat{\mathbf{P}}_{u;d_i-d_s}(n) \right)^2 \quad (4.20)$$

Bir u istasyonunun ardışık d. ve d+1. günleri arasındaki Dağılımlar Iraksaklığı ve Dağılımlar Farkı:

$$DI(\hat{\mathbf{P}}_{u;d} \setminus \hat{\mathbf{P}}_{u;d+1}) = \hat{\mathbf{P}}_{u;d}(n) \ln \left(\frac{\hat{\mathbf{P}}_{u;d}(n)}{\hat{\mathbf{P}}_{u;d+1}(n)} \right) \quad (4.21)$$

$$DI(\hat{\mathbf{P}}_{u;d+1} \setminus \hat{\mathbf{P}}_{u;d}) = \hat{\mathbf{P}}_{u;d+1}(n) \ln \left(\frac{\hat{\mathbf{P}}_{u;d+1}(n)}{\hat{\mathbf{P}}_{u;d}(n)} \right)$$

$$DF(\hat{\mathbf{P}}_{u; d} \setminus \hat{\mathbf{P}}_{u; d+1}) = \left(\hat{\mathbf{P}}_{u; d}(n) - \hat{\mathbf{P}}_{u; d+1}(n) \right)^2 \quad (4.22)$$

eşitlikleriyle tanımlanır [37]. Eşitlik 4.19, 4.20 ve 4.21, 4.22 kullanılarak elde edilen Dağılımlar Iraksaklığı ve Dağılımlar Farkı uygulamalarına 5. Bölüm’de yer verilmiştir.

5. UYGULAMALAR VE BULGULAR

Literatürde yer alan ve Bölüm 3'te anlatılan çalışmalar ışığında, yerkürenin sismik hareketliliği ile jeomanyetik alanda oluşan değişimlerin iyonküredeki elektron yoğunluğu ve kritik frekansı, Toplam Elektron İçeriği gibi parametrelerinde bozulma ve anormalliğe neden olduğu gözlenmiştir. Hangi şiddette ve derinlikte, ne tür bir fay yapısında olduğu gibi tam olarak hangi parametrelerin uzay-zaman düzleminde bir alarm sinyalinde kullanılabileceği ise giderek yoğunlaşan bir çalışma alanıdır. Bu bölümde, Bölüm 4'te anlatılan istatistiksel analiz yöntemlerinin, deprem ve jeomanyetik hareketliliğin iyonkürede yarattığı bozulmaların araştırılması için iyonküredeki Toplam Elektron İçeriği verilerine nasıl uygulandığına yer verilmiştir. İstatistiksel analiz yöntemleri istasyonlar arası çaprazlama karşılaştırması, Ortalama Değer Sakin Gün (ODSG) karşılaştırması ve ardışık günler karşılaştırması olmak üzere üç farklı uygulama grubu içinde uygulanmıştır. Çalışmanın birinci bölümünde, iyonkürenin sakin günlerine denk gelen Japonya'da meydana gelen büyüklükleri farklı beş deprem ile 12 Mayıs 2008 tarihinde Çin'de meydana gelen deprem için sonuçlar elde edilmiştir. Sonuçlar birinci kısım çalışmada bir eşik değeri oluşturmaları amacıyla iyonkürenin deprem olmayan sakin ve deprem olmayan jeomanyetik açıdan bozulmalı günleri için de elde edilmiştir. Çalışmanın ikinci kısmına ise Bölüm 4'te anlatılan istatistiksel yöntemler Türkiye'de Kuzey Anadolu Fay (KAF) hattında meydana gelen ve benzer jeofiziksel özelliklere sahip iki deprem için Harita Genel Komutanlığı tarafından Türkiye üzerine yerleştirilmiş TUSAGA Aktif YKS istasyonlarından elde edilen TEİ veri setleri üzerine uygulanmıştır. Bu istasyonlar Mayıs 2009 tarihinden itibaren aktif olarak veri sağlamaktadır. 2009 yılı jeomanyetik açıdan oldukça sakin bir yıl olması sebebiyle bu kısım çalışmada sismik hareketliliğin yaşandığı günler sadece iyonkürenin jeomanyetik açıdan sakin olduğu günlerle karşılaştırılmıştır. Türkiye için elde edilen sonuçlara, bu bölümün ikinci kısmında yer verilmiştir.

5.1. Japonya ve Çin Sismik Bölgeleri İçin Elde Edilen Bulgular

Japonya ve Çin sismik bölgeleri için yapılan bu çalışmada Bölüm 4'te anlatılan istatistiksel analiz yöntemleri IGS TEİ veri setleri üzerinde üç farklı uygulama grubu içinde uygulanmıştır. Birinci grupta, kullanılan YKS istasyonları istasyonlar arası çaprazlama yapılarak karşılaştırılmıştır. İkinci grupta, kullanılan her bir YKS istasyonu için kestirilen VTEC verileri, her istasyonun kendisi için elde edilen Ortalama Değer Sakin Gün (ODSG) VTEC vektörü ile karşılaştırılmıştır. Üçüncü grupta, kullanılan her bir YKS istasyonunun ardışık günleri için kestirilen VTEC verileri birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

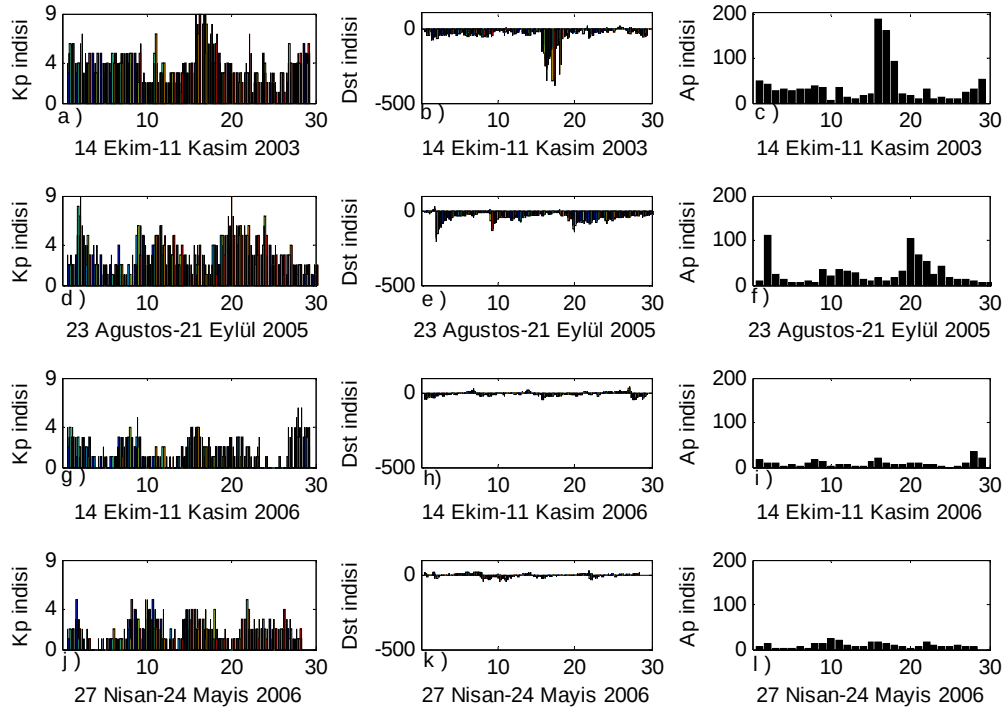
Bu bölge uygulaması için, 2003-2008 yılları arasında Japonya’da meydana gelen ve büyüklükleri 5.9 ile 8.3 arasında değişen beş deprem ve 12 Mayıs 2008 tarihinde Çin’de meydana gelen ve büyüklüğü 7.9 olan deprem seçilmiştir. Seçilen depremler Çizelge 5.1’de tarih, zaman (saat, Greenwich Saati-GS), coğrafik konum (enlem, boylam-derece), Richter ölçeğine göre büyüklük (M), yer yüzeyine derinlik (z-km) ve deprem merkezine en yakın seçilen YKS istasyonu verilmiştir [64]. Tabloda E1, E2, E3, E4, E5, E6 olarak kodlanan deprem merkezleri sırasıyla Hokkaido/Japonya, Honşu/Japonya, Honşu/Japonya, Kiyuşiya/Japonya, Honşu/Japonya, Şiyan/Çin bölgelerini temsil etmektedir. Deprem Dönemi (DD) günleri, her bir depremden öncesi ve sonrası 15 gün olmak üzere toplam 31 günlük bir zaman aralığında seçilmiştir. Seçilen deprem günleri zaman aralıklarında iyonkürede jeomanyetik anlamda bir bozulma yoktur. Depremin olduğu günler şekillerde bir ok ile gösterilmiştir.

Çizelge 5.1. Depremlerin konum, zaman, büyüklük ve derinlik ve seçilen merkez istasyon göstergesi

depremler	tarih	saat	enlem	boylam	M	z (km)	Merkez İstasyon
E1	25.09 2003	19 50	41° K	143° D	8.3	27	mizu
E2	05.09 2004	14 57	33° K	137° D	7.4	10	kgni
E3	13.06 2008	23 43	39° K	140° D	6.9	10	mizu
E4	11.06 2006	20 01	33° K	131° D	6.3	154	usud
E5	23.07 2005	07 34	35° K	139° D	5.9	65.6	mtka
E6	12.05 2008	06 28	30° K	103° D	7.9	19	kunm

İyonkürede jeomanyetik açıdan bozulmalı olarak seçilen Bozulmalı Dönem (BD) günlerinde bu bölgelerde herhangi bir sismik hareketlilik yoktur. Bozulmalı Dönem olarak incelenen birinci dönem zaman aralığında (BD₁) 14 Ekim-11 Kasım 2003 arasındaki 20 günlük bir zaman aralığı seçilmiştir. İkinci dönem bozulmalı zaman aralığı için de (BD₂) 23 Ağustos-21 Eylül 2005 arasındaki 30 günlük bir dönem seçilmiştir. Sakin Dönem (SD) zaman aralıkları, iyonkürede jeomanyetik ve sismik hareketliliğin yaşanmadığı zaman aralıklarına göre seçilmiştir. Buna göre birinci dönem sakın zaman aralığında (SD₁) 14 Ekim-11 Kasım 2006 arasındaki 20 günlük bir zaman aralığı kullanılmıştır. İkinci dönem sakın zaman aralığında (SD₂) ise 27 Nisan-24 Mayıs 2006 arasındaki 28 günlük bir zaman aralığı kullanılmıştır. ODSG vektörü elde ederken Japonya bölgesinde kullanılan YKS istasyonları için 27 Nisan-24 Mayıs 2006 arasındaki günler, Çin bölgesinde kullanılan YKS istasyonu için de 14 Ekim-11 Kasım 2006 arasındaki günler

kullanılmıştır. İyonkürenin jeomanyetik açıdan bozulmalı ve sakin olduğu bu zaman aralıkları, Kp, Ap ve Dst jeomanyetik indislerine bakılarak seçilmiştir [65-67]. Bozulmalı zaman aralıkları BD₁ ve BD₂ sırasıyla Şekil 5.1a-5.1f’de, sakin zaman aralıkları SD₁ ve SD₂ sırasıyla Şekil 5.1g-5.1l’de verilmiştir.



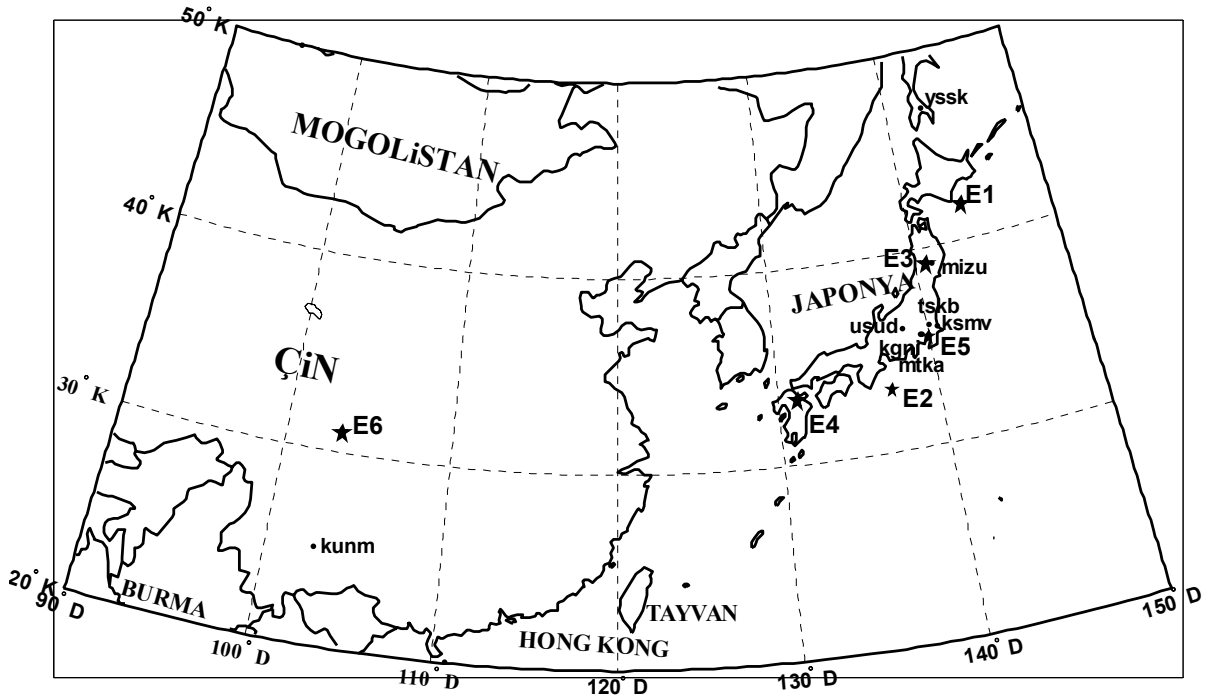
Şekil 5.1. Günlük jeomanyetik hareketlilik indisleri; BD₁ için a) Kp indisi, b) Dst indisi, c) Ap indisi; BD₂ için d) Kp indisi, e) Dst indisi, f) Ap indisi; SD₁ için g) Kp indisi, h) Dst indisi, i) Ap indisi; SD₂ için j) Kp indisi, k) Dst indisi, l) Ap indisi.

Çalışma kapsamında kullanılan VTEC verileri, bu bölgeler için sekiz IGS (International GPS Service) istasyonundan sağlanmıştır [68]. Bu istasyonlara ait YKS (RINEX) uydu yörünge ve uydu yanlışlığı verileri IGS merkezlerinin (IGS), IONEX formatında alınmıştır. Bu dosyalar D-TEİ yöntemi ile birleştirilmiş ve IONOLAB-TEC yüksek zaman çözünürlüklü gürbüz TEİ değerleri elde edilmiştir [62, 69, 70]. Japonya ve Çin’de kullanılan sekiz IGS istasyonunun konum ve kodları Çizelge 5.2’de verilmiştir. Bu istasyonların deprem merkezlerine uzaklıkları 33 km ile 2000 km arasında değişmektedir. Şekillerde ve çizelgelerde görünen kayıp veriler, kullanılan istasyonun o gün için alınamamış verisinden kaynaklanmaktadır.

Çizelge 5.2. Çalışma kullanılan IGS alıcı istasyonlarının konum ve kodları [68].

YKS İstasyonu	Alıcı Kodu	Enlem	Boylam
Koganei, Japonya	kgn	35.5° K	139.4° D
Kashima, Japonya	ksmv	35.7° K	140.6° D
Mizusawa, Japonya	mizu	38.9° K	141.1° D
Mitaka, Japonya	mtka	35.4° K	139.5° D
Tsukuba, Japonya	tskb	35.9° K	140.0° D
Usuda, Japonya	usud	35.9° K	138.3° D
Yuzh.-Sakh, Rusya	yssk	46.8° K	142.7° D
Kunming, Çin	kunm	24.8° K	102.8° D

Şekil 5.2’de, çalışma kapsamında kullanılan ve Çizelge 5.1’de verilen depremler ile Çizelge 5.2’de verilen IGS-YKS istasyonlarının deprem merkezlerine ve birbirine olan uzaklıkları bir haritada gösterilmiştir.



Şekil 5.2. Çalışma kapsamında kullanılan depremler ve IGS-YKS istasyonlarının konumları.

Birinci grup istasyonlar arası çaprazlama uygulamasında (Grup I), Japonya bölgesinde kullanılan YKS istasyonları birbirlerine olan uzaklıklarına göre mesafe kategorilerine ayrılarak incelenmiştir. 12 Mayıs 2008 Çin depremi için sadece bir YKS istasyonundan veri sağlanabildiği için bu deprem birinci istasyonlar arası çaprazlama karşılaştırması için birinci grup uygulamada incelenememiştir. Çizelge 5.1’de yer alan ilk beş deprem için ve Çizelge 5.2’de yer alan ilk yedi YKS istasyonu için istasyon çiftleri arasında k uzaklık kategorisi, altı grup içinde ayrılmıştır:

- k1: $k < 20$ km;
k2: $30 \text{ km} < k < 70$ km;
k3: $80 \text{ km} < k < 150$ km;
k4: $150 \text{ km} < k < 340$ km;
k5: $340 \text{ km} < k < 450$ km;
k6: $450 \text{ km} < k$.

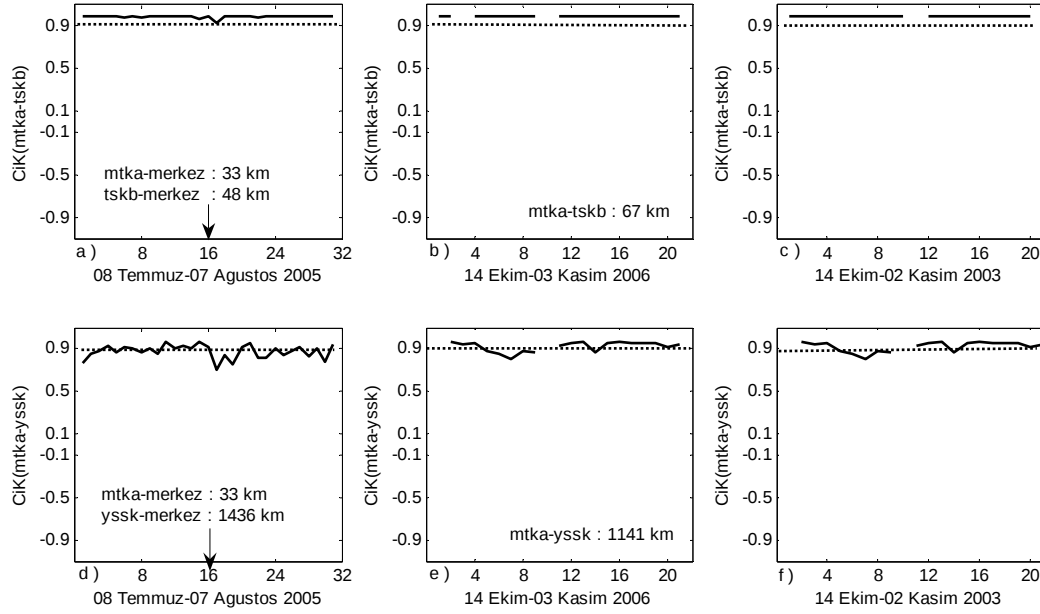
Her bir uzaklık kategorisi içinde en az bir istasyon çifti yer almıştır. Çizelge 5.2’de yer alan ilk yedi istasyonun tümünün deprem günleri ve sakin günleri (SD_1) için, kgni, ksmv, mtka, tskb istasyonlarının BD_1 günleri için, mizu, usud istasyonlarının BD_2 günleri için kestirilen IONOLAB-TEİ verileri, sırasıyla Eşitlik 4.5, 4.9 ve 4.12 ile verilen ÇİK, KLD ve L2N kullanılarak istasyonlar çaprazlama yapılarak karşılaştırılmıştır. Bu grup uygulama için toplamda 2171 ÇİK değeri hesaplanmıştır. Literatürde ÇİK yöntemi kullanılarak yapılan çalışmalarda [11-28], iki veri seti arasındaki günlük ÇİK değerlerinin 0.9’dan büyük olduğu yerde bu setlerin yüksek ilintili olduğu söylenmiştir. Bu çalışmada, literatürdeki bu çalışmalara bağlı kalarak, 0.9 değeri eşik kabul edilip karşılaştırmalar yapılmıştır. Çizelge 5.3’de tüm mesafe kategorilerine göre 0.9 eşik değeri altında kalan istasyonların yüzde oranı verilmiştir. Buna göre, ÇİK yönteminin sismik açıdan ya da jeomanyetik açıdan bozulmalı günleri, sakin günlerden ayırmada iyi bir ölçüt olmadığı gözlenmiştir. k1 ve k2 kategorileri için VTEC değerleri deprem günleri, bozulmalı günler ve sakin günler için Çizelge 5.3’te yüksek ilintilidir. Yine Çizelge 5.3’te k5 ve k6 kategorileri için ÇİK değerleri BD_1 ve BBD_2 günlerinde yüksek ilintili olmasına karşın, ilinti SD_1 ve deprem öncesi günlerde zayıftır. Çizelge 5.3’te, deprem öncesi günler, her bir depremden önceki 15 günü kapsamaktadır. Bu zaman aralıkları E1, E2, E3, E4 ve E5 depremleri için sırasıyla 10 Eylül-24 Eylül 2003, 21 Ağustos-04 Eylül 2004, 29 Mayıs-12 Haziran 2008, 27 Mayıs-10 Haziran 2006 ve 08 Temmuz-22 Temmuz 2005’dir.

Çizelge 5.3. Deprem öncesi günler, Bozulmalı Dönemler ve Sakin Dönemler için 0.9 değerinden küçük olan ÇİK değerlerinin yüzde oranları.

Zaman aralığı	k1	k2	k3	k4	k5	k6
Deprem öncesi günler	0	1.2	5	7.6	2.9	31.6
BD_1, BD_2	0	1.6	5.1	-	0	0
SD_1, SD_2	2.5	3	3	3.3	9.2	35.8

Şekil 5.3’de, Çizelge 5.3’de elde edilen sonuçları destekleyen bir bulgu gösterilmiştir. Şekil 5.3’de yer alan mtka-tskb istasyon çifti k2 kategorisinde olup aralarındaki uzaklık 67 km, mtka-yssk istasyon çifti ise k6 kategorisinde olup aralarındaki uzaklık 1436 km’dir. k2 kategorisinde yer alan

mtka-tskb istasyon çifti için E5 depreminde sakin ve bozulmalı günlerde ilintinin yüksek olduğu Şekil 5.3a, 5.b ve 5.3c'den, k6 kategorisinde yer alan mtka-yssk istasyon çifti için ise üç dönemde de ilintinin zayıf olduğu Şekil 5.3d, 5.e ve 5.3f'den görülmektedir. İstasyonlar arası ilinti, dönemlere bağlı olmayıp istasyonlar arası uzaklık arttıkça düşmektedir.



Şekil 5.3. E5 depremi için a) mtka-tskb arasında E5 günlerindeki, b) mtka-tskb arasında SD₁ günlerindeki, c) mtka-tskb arasında BD₁ günlerindeki, d) mtka-yssk arasında E5 günlerindeki, e) mtka-yssk arasında SD₁ günlerindeki, f) mtka-yssk arasında BD₁ günlerindeki Çapraz İlinti Katsayıları.

İstasyonlar arası çaprazlama uygulamasında, sırasıyla Eşitlik 4.9 ve Eşitlik 4.12 ile tanımlanan simetrik Kullback-Leibler Mesafesi (KLD) ve L2-Normu (L2N), deprem, sakin ve bozulmalı dönemlerin hepsi için k1-k6 kategorisinde bulunan istasyon çiftleri için kestirilen IONOLAB-TEİ verileri üzerine uygulanmıştır. Bu grup uygulamada istasyonlar arası mesafenin 150 km'den daha az olduğu istasyon çiftleri için (k1-k3 kategorileri) için deprem günlerinde elde edilen KLD ve L2N değerlerinin sakin günlerde elde edilen değerlerden çok büyük olduğu gözlenmiştir. Eğer istasyonlar arası mesafe 340 km'den daha büyük ise (kategori k4), deprem günlerindeki ve sakin günlerdeki KLD ve L2N değerlerinin birbirine yakın olduğu görülmüştür. Ayrıca, eğer istasyonlar E3 ve E5 depremlerinde olduğu gibi deprem merkezlerine çok yakın ise, deprem günlerinde elde edilen KLD ve L2N değerlerinin sakin günlerde elde edilen değerlerden çok büyük olduğu da gözlenmiştir. Bu bulguları desteklemek için bir dönem boyunca bir kategori içinde bulunan istasyon çiftleri için Eşitlik 4.23 ve Eşitlik 4.24 ile tanımlanmış olan en büyük değer (max) ile en küçük değer (min) KLD ve en büyük değer (max) ile en küçük değer (min) L2N arasındaki farklar hesaplanmıştır.

$$\Delta_{KLD} = \max(KLD) - \min(KLD) \quad (4.23)$$

$$\Delta_{L2N} = \max(L2N) - \min(L2N) \quad (4.24)$$

Japonya sismik bölgesinde yer alan k kategorilerindeki tüm istasyon çiftleri için deprem günleri, sakin günler ve bozulmalı günlerde hesaplanan Δ_{KLD} ve Δ_{L2N} değerleri sırasıyla Çizelge 5.4 ve Çizelge 5.5'te verilmiştir. Her iki çizelgede de yazılmayan değerler, ait olduğu kategorideki istasyon çiftleri için veri kaybından kaynaklanmaktadır. Çizelge 5.4 ve Çizelge 5.5 bakıldığında, aralarında 340 km'den fazla mesafe olan k5 ve k6 kategorilerindeki istasyon çiftleri için, Δ_{KLD} ve Δ_{L2N} değerlerinin hem sakin ve bozulmalı günlerde birbirine çok yakın değerlerde olduğu görülmektedir. Ayrıca istasyonlar arası mesafenin 150 km'den az olduğu istasyon çiftleri (k1-k3 kategorileri) için de bu değerlerin her iki dönem için birbirine çok yakın olduğu gözlenmektedir. Deprem günleri için tüm kategorilerde elde edilen Δ_{KLD} ve Δ_{L2N} değerlerinin sakin ve bozulmalı günlerden önemli ölçüde büyük olduğu görülmektedir. Bu bulgular doğrultusunda, KLD ve L2N yöntemlerinin, deprem merkezlerine yakın konumlanmış istasyonlar için deprem alarm sinyalinin oluşturmada iyi ölçekler olabileceği gözlenmiştir.

Çizelge 5.4. E1, E2, E3, E4, E5, SD₁, BD₁, BD₂ için k1-k6 kategorisindeki istasyon çiftlerine ait Δ_{KLD} değerleri.

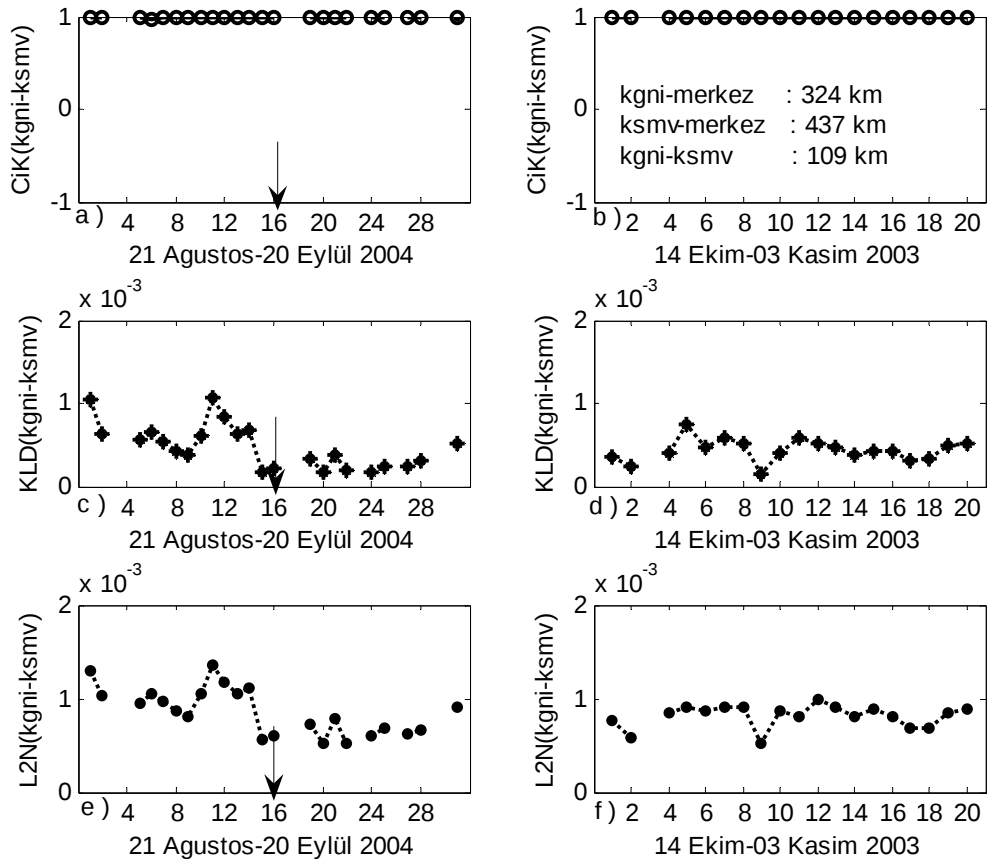
Dönemler	k1	k2	k3	k4	k5	k6
SD ₁	0.0005	0.0008	0.0005	0.0006	0.008	0.06
BD ₁ , BD ₂	0.0006	0.0014	0.0014	—	0.009	0.064
E1	0.0196	0.0094	0.0053	0.0009	0.023	0.028
E2	—	0.0013	0.00069	0.0008	0.017	0.021
E3	—	—	0.002	0.023	0.006	—
E4	0.0156	0.0096	0.013	0.001	0.0087	0.002
E5	0.0898	0.049	0.048	0.0047	—	0.054

Çizelge 5.5. E1, E2, E3, E4, E5, SD₁, BD₁, BD₂ için k1-k6 kategorisindeki istasyon çiftlerine ait Δ_{L2N} değerleri.

Dönemler	k1	k2	k3	k4	k5	k6
SD ₁	0.0013	0.0013	0.0012	0.00082	0.0023	0.0048
BD ₁ , BD ₂	0.0011	0.001	0.001	—	0.0026	0.0057
E1	0.0083	0.0049	0.0036	0.00082	0.0053	0.0052
E2	—	0.0035	0.0024	0.00054	0.0029	0.0037
E3	—	—	0.009	0.0063	0.0031	—
E4	0.0066	0.0026	0.0035	0.00087	0.0026	0.0036
E5	0.011	0.0055	0.0065	0.0018	—	0.0073

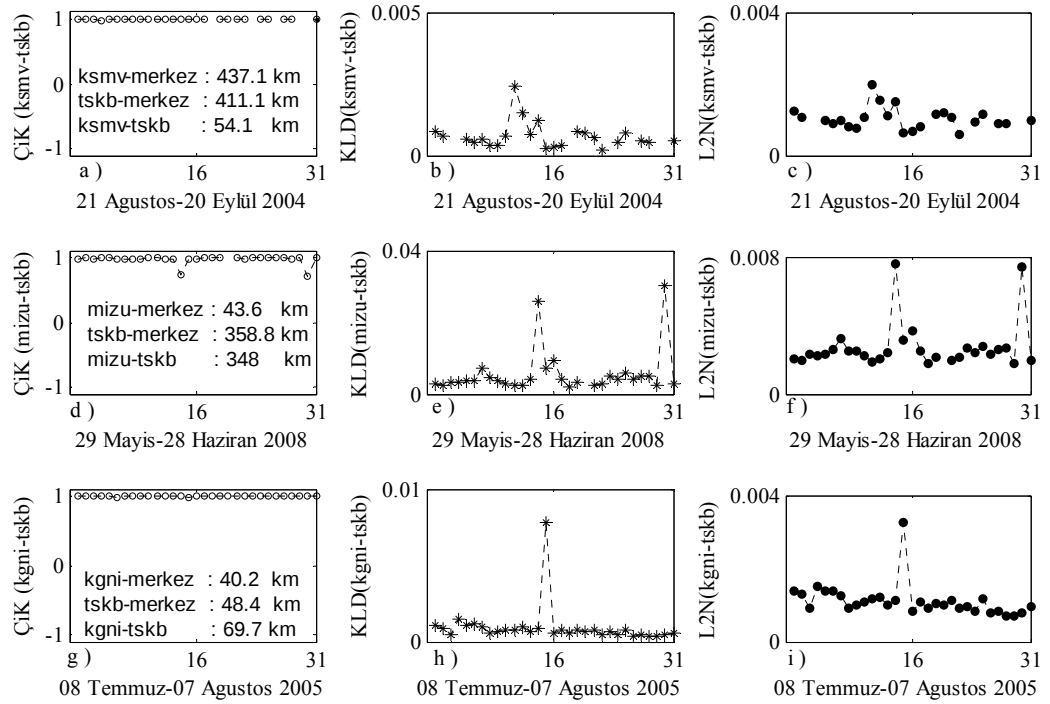
Şekil 5.4’de, E2 günlerinde ve BD₁ günlerinde, k3 kategorisinde kgni-ksmv istasyonları arasındaki ÇİK, KLD ve L2N değişimleri verilmiştir. E2 depremi için kgni istasyonu deprem merkezine en yakın istasyondur ve bu deprem için merkez istasyon olarak seçilmiştir. Şekil 5.4a ve 5.4b’de bakıldığında hem E2 günlerinde hem de bozulmalı günlerde ilintinin yüksek olduğu görülmektedir. Şekil 5.4c ve 5.4e’ye bakıldığında ise KLD ve L2N değerlerinin depremden önceki 2. ile 6. gün arasında büyük olduğu gözlenmektedir. Bu istasyon çifti arasında bozulmalı günlerdeki KLD ve L2N değerlerinin ise deprem gününde elde edilen değerlerden küçük olduğu Şekil 5.4d ve 5.4f’den görülmektedir. Bu bulgular ışığında, KLD ve L2N yöntemlerinin sismik hareketliliğin yarattığı bozulmayı, ÇİK yönteminden daha iyi ölçtüğü gözlenmiştir.

Başka bir örnek olarak, Şekil 5.5’de E2 günlerinde ksmv-tskb istasyon çifti için (kategori k2), E3 günlerinde mizu-tskb istasyon çifti için (kategori k4), E5 günlerinde kgni-tskb istasyon çifti için (kategori k2), ÇİK, KLD ve L2N değerleri verilmiştir. E2 depreminde depremden iki ve beş gün önce, E3 depreminde depremden iki gün önce ve E5 depreminde depremden bir gün önce KLD ve L2N değerlerinde ani bir artış gözlenirken bu günlerde ÇİK değerleri +1 değerine yakın değişmektedir. İki kategoride yer alan üç istasyon çifti ve üç deprem için KLD ve L2N yöntemlerinin deprem günlerinden önceki bu günlerde gözlemlenen bu farklılığa tepki verdiği görülürken ÇİK yönteminin her üç deprem dönemi boyunca yüksek ilinti sergileyerek deprem günlerine tepki veremediği Şekil 5.5a, 5.5d ve 5.5g’den görülmektedir.



Şekil 5.4. kgni-ksmv istasyonları arasındaki a) E2 depremi için ÇİK değerleri, b) BD1 için ÇİK değerleri, c) E2 depremi için KLD değerleri, d) BD1 için KLD değerleri, e) E2 depremi için L2N değerleri, f) BD1 için L2N değerleri. ÇİK değerleri “daire”, KLD değerleri “yıldız” ve L2N değerleri “nokta” ile gösterilmiştir.

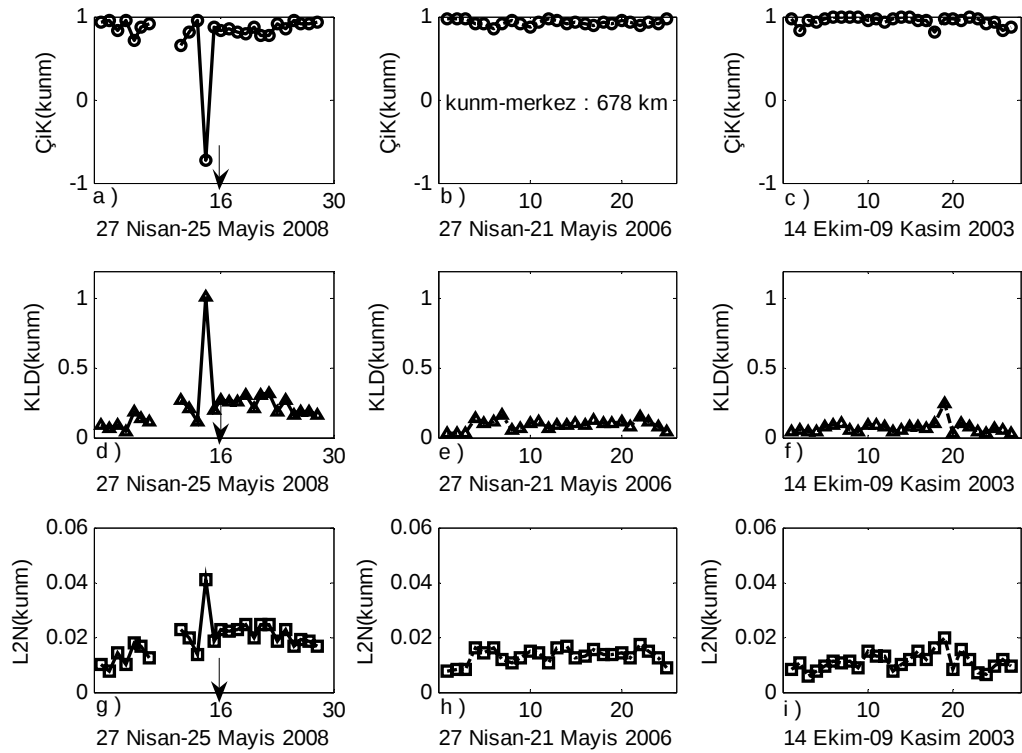
Grup-I uygulamasıyla ÇİK, KLD ve L2N yöntemleri kullanılarak elde edilen tüm sonuçlara EK C’de yer verilmiştir.



Şekil 5.5. E2 günlerinde ksmv-tskb istasyonları arasındaki a) ÇİK, b) KLD, c) L2N; E3 günlerinde mizu-tskb istasyonları arasındaki a) ÇİK, b) KLD, c) L2N; E5 günlerinde kgni-tskb istasyonları arasındaki a) ÇİK, b) KLD, c) L2N değerleri.

İkinci grup Ortalama Değer Sakin Gün (ODSG) karşılaştırması uygulamasında (Grup III), Çizelge 5.2’de yer alan her istasyon için seçilen sakin günler zaman aralığında önce Eşitlik 4.3 ile verilen Ortalama Değer Sakin Gün (ODSG) TEİ vektörleri ve daha sonra Eşitlik 4.4 ile verilen bu vektörlerin düzgelenmiş değerleri elde edilmiştir. Her bir istasyonun için düzgelenmiş ODSG değerleri, deprem günleri, sakin günler ve bozulmalı günlerde elde edilmiş TEİ değerleri ile Eşitlik 4.6 ile verilen ÇİK yöntemi, Eşitlik 4.10 ile verilen KLD yöntemi ve Eşitlik 4.13 ile verilen L2N yöntemi kullanılarak karşılaştırılmıştır. ODSG karşılaştırması sonucunda, deprem merkezlerine uzaklığı 150 km’den az olan istasyonlar için deprem günleri-ODSG eşleşmesinde elde edilen KLD ve L2N değerlerinin, sakin günler-ODSG ve bozulmalı günler ODSG eşleşmelerinde elde edilen değerlerde büyük olduğu gözlenmiştir. İstasyonların deprem merkezlerine olan uzaklıkları 150 km’den fazla olduğunda, deprem günleri-ODSG ile sakin günler-ODSG eşleşmelerinde elde edilen KLD ve L2N değerlerinin birbirine yakın olduğu görülmüştür. KLD ve L2N yöntemlerinin, bu grup uygulama ile bozulmalı günleri sakin günlerden ayıramadığı gözlenmiştir. ÇİK değerleri ise istasyonların deprem merkezlerine uzaklığına bağlı olmaksızın bu grup uygulama için deprem günleri, sakin günler ve bozulmalı günler periyotlarının hepsinde +0.2 ile +0.7 arasında değiştiği görülmüştür. Şekil 5.6’da, elde edilen bu sonuca istisnai bir durum olarak, E6 depremi için veri

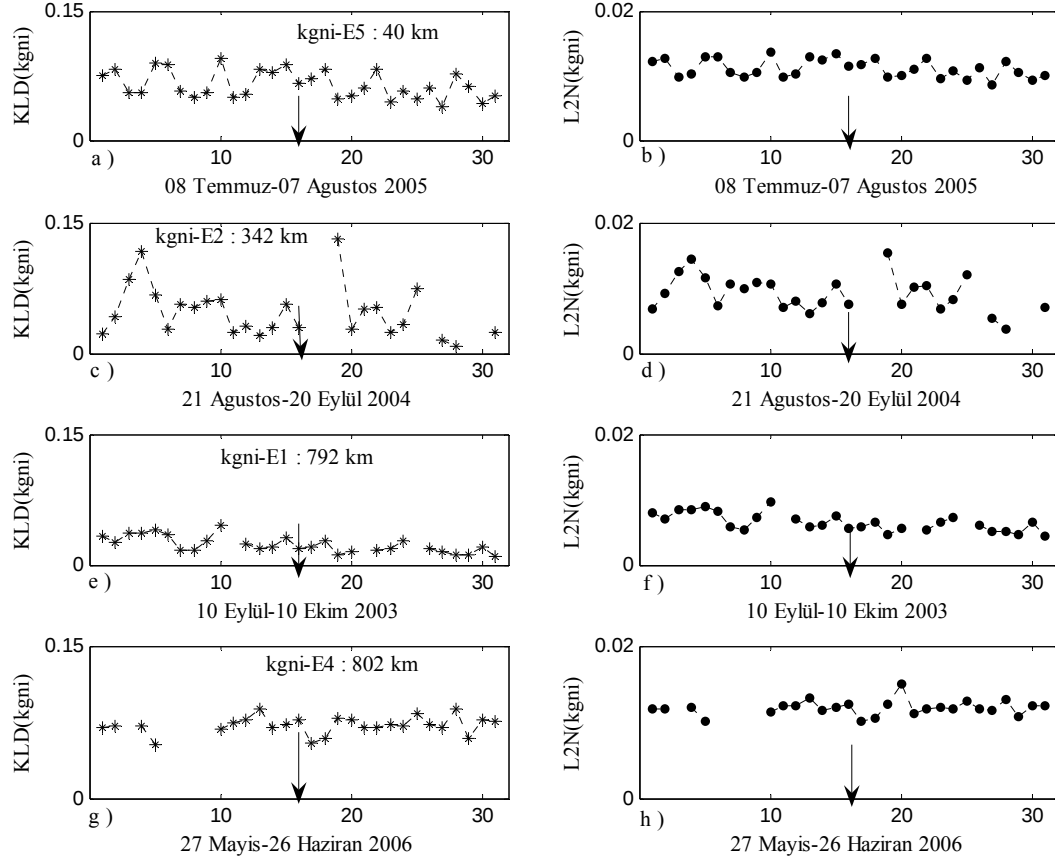
sağlanabilen tek istasyon olan kunm istasyonuna ait ÇİK, KLD ve L2N değişimleri verilmiştir. kunm istasyonunun deprem merkezine uzaklığı 600 km'den fazla olmasına rağmen ÇİK, KLD ve L2N değerlerinin özellikle deprem gününden iki gün önce diğer günlerden oldukça farklı olduğu Şekil 5.6a, 5.6d ve 5.5g'den görülmektedir. Bu istasyon için BD_1 ile ODSG ve SD_2 ile ODSG eşleşmelerin de elde edilen ÇİK- KLD ve L2N değerleri de sırasıyla Şekil 5.6b, 5.6c, 5.6e, 5.6h ve 5.6i'de gösterilmiştir. ÇİK değerlerinin hem sakin günler hem de bozulmalı günler zaman aralıklarında +1'e çok yakın değiştiği yine Şekil 5.6b ve 5.6c'den gözlenmektedir. KLD ve L2N değerlerinin de bu iki dönemde birbirine çok yakın değerlerde olduğu yine Şekil 5.6'dan gözlenmektedir.



Şekil 5.6. kunm istasyonu için ÇİK değerleri: a) E6 günleri ile ODSG arasında, b) SD_2 günleri ile ODSG arasında, c) BD_1 günleri ile ODSG arasında; KLD değerleri: a) E6 günleri ile ODSG arasında, b) SD_2 günleri ile ODSG arasında, c) BD_1 günleri ile ODSG arasında; L2N değerleri: a) E6 günleri ile ODSG arasında, b) SD_2 günleri ile ODSG arasında, c) BD_1 günleri ile ODSG arasında. ÇİK değerleri “daire” ile, KLD değerleri “üçgen” ile, L2N değerleri “kare” ile temsil edilmiştir.

Bir başka örnek olarak Şekil 5.7’de kgni istasyonunun, deprem merkezlerine olan mesafesine göre yakından uzağa sıralanarak E5, E2, E1 ve E4 deprem dönemlerindeki KLD ve L2N değişimleri gösterilmiştir. İstasyonun deprem merkezlerine olan uzaklığı arttıkça KLD ve L2N değerlerinin daha küçük değerlere sahip olduğu görülmektedir. Deprem merkezine olan uzaklık az ise deprem

günlerindeki TEİ değerlerinin ortalama bir sakin gündeki TEİ değerine daha yakın olduğu Şekil 5.7’den gözlemektedir.

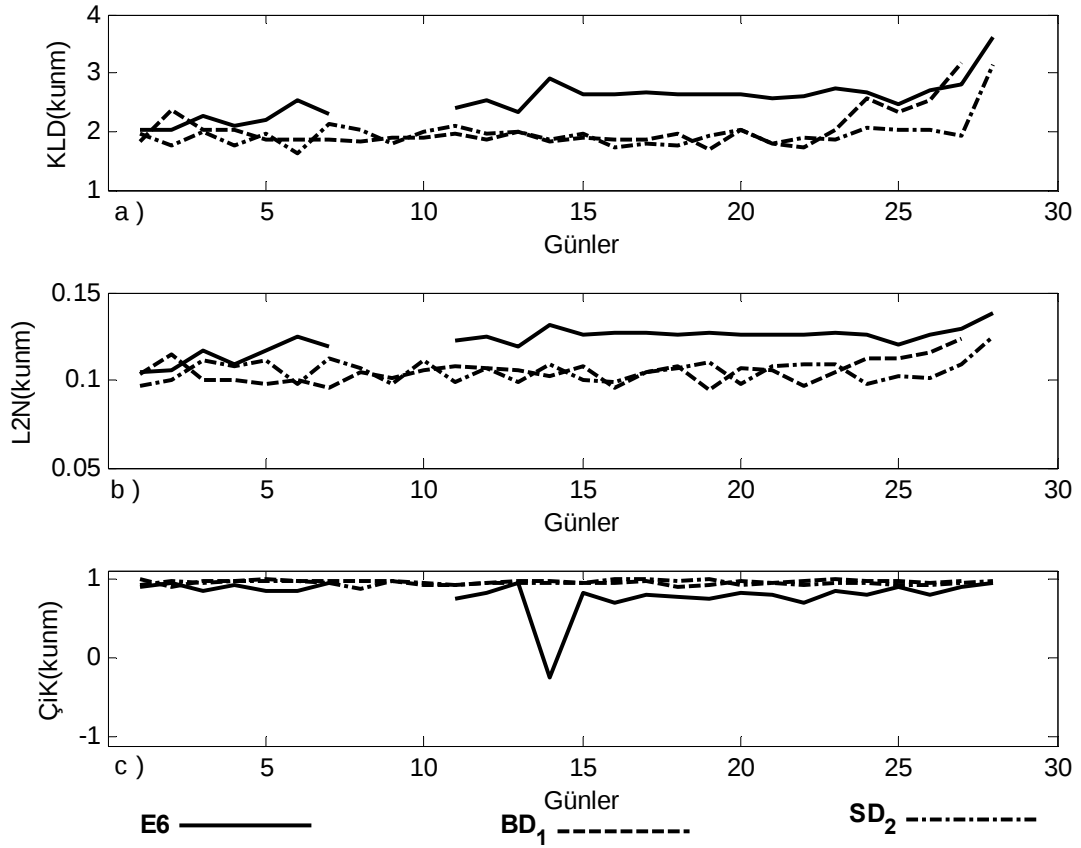


Şekil 5.7. kgni istasyonu için deprem günleri ile ODSG arasındaki Kullback-Leibler Mesafesi ve L2-Norm değerleri: a) E5 depremi için KLD, b) E5 depremi için L2N, c) E2 depremi için KLD, d) E2 depremi için L2N, e) E1 depremi için KLD, f) E1 depremi için L2N, g) E4 depremi için KLD, h) E4 depremi için L2N.

Çizelge 5.2’de yer alan her bir istasyon için deprem günleri, sakin günler v bozulmalı günlerde elde edilen TEİ değerleri ile ODSG TEİ değerleri arasında hesaplanan Çapraz İlinti Katsayıları, Kullback-Leibler Mesafesi ve L2-Norm değişim eğrilerine EK D’de yer verilmiştir.

Bu grup uygulama içinde, deprem günleri sakin günler ve bozulmalı günler zaman aralıklarındaki TEİ değerleri için Eşitlik 4.17 ile tanımlanan sınırlar elde edilmiştir. Bu zaman aralıkları için elde edilen sınırlar ile ODSG-TEİ için elde edilen sınır, $r_{S1}(\hat{\mathbf{P}}_{u;d}; \hat{\mathbf{P}}_{u;d_i-d_s})$ fonksiyonuyla tanımlanan ÇİK yöntemi, $KLD_{S1}(\hat{\mathbf{P}}_{u;d}; \hat{\mathbf{P}}_{u;d_i-d_s})$ fonksiyonuyla tanımlanan KLD yöntemi ve $L2N_{S1}(\hat{\mathbf{P}}_{u;d} \setminus \hat{\mathbf{P}}_{u;d_i-d_s})$ fonksiyonuyla tanımlanan L2N yöntemi kullanılarak

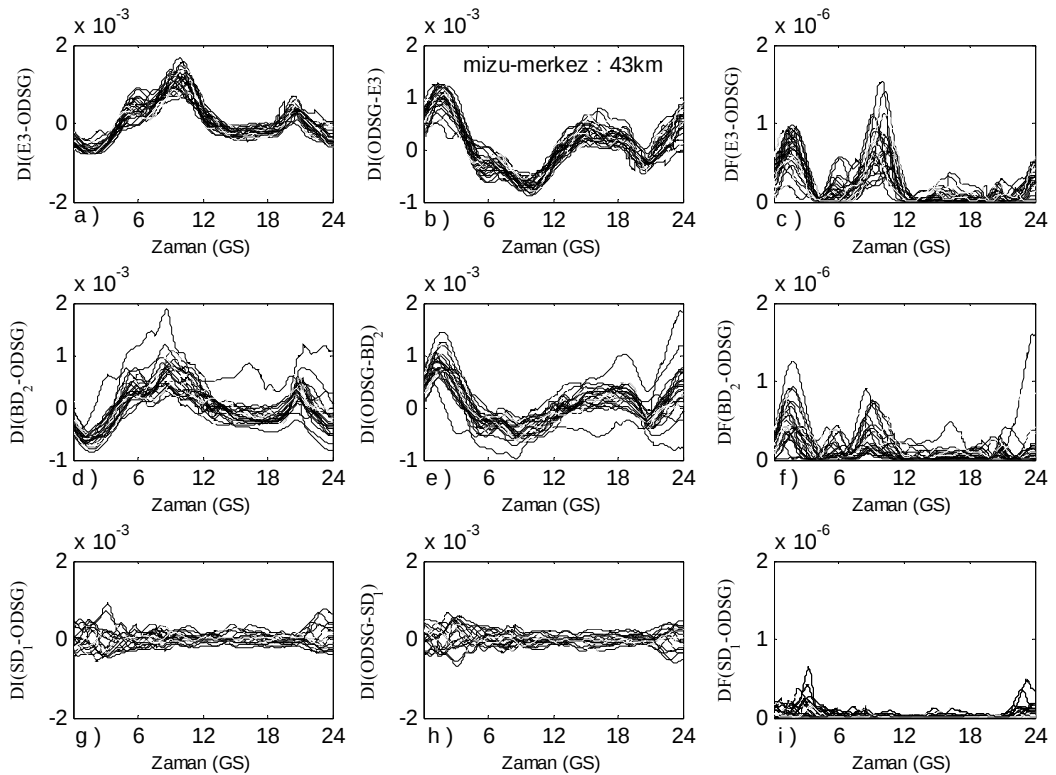
karşılaştırılmıştır. Bu sınırlar ile karşılaştırmalar sonucunda her üç yöntemin de deprem günlerini diğer zaman aralıklarındaki günlerden ayırmada başarılı olduğu görülmüştür. Bu üç yöntemin bu uygulama ile bozulmalı günleri sakin günlerden ayıramadığı gözlenmiştir. Bu uygulamaya bir örnek olarak Şekil 5.8’de, yine E6 depreminde veri sağlanabilen tek istasyon olan kunm istasyonuna ait değişimler gösterilmiştir. Deprem günleri sınırı ile ODSG sınırı arasında elde edilen KLD ve L2N değerlerinin özellikle deprem gününden iki gün önce (14.gün) BD₁ sınırı ile ODSG sınırı ve SD₂ sınırı ile ODSG sınırından elde edilen değerlerden önemli ölçüde büyük olduğu görülmektedir. ÇİK değerleri ise her üç dönemde için elde edilen sınırlar için birbirine çok yakın olduğu gözlenmektedir. Deprem gününden iki gün önce ise ÇİK değerlerinde ani bir düşüş gözlenmektedir.



Şekil 5.8. kunm istasyonu için E6 günleri sınırı ile ODSG sınırı, BD₁ sınırı ile ODSG sınırı ve SD₂ sınırı ile ODSG sınırı arasındaki a) KLD değerleri, b) L2N değerleri, c) ÇİK değerleri.

Çizelge 5.2’de yer alan her bir istasyona ait deprem günleri, sakin günler ve bozulmalı günlerde elde edilen S1 sınırları ile ortalama TEİ S1 sınırları arasında hesaplanan Çapraz İlinti Katsayıları, Kullback-Leibler Mesafesi ve L2-Norm değerleri EK D’de sunulmuştur.

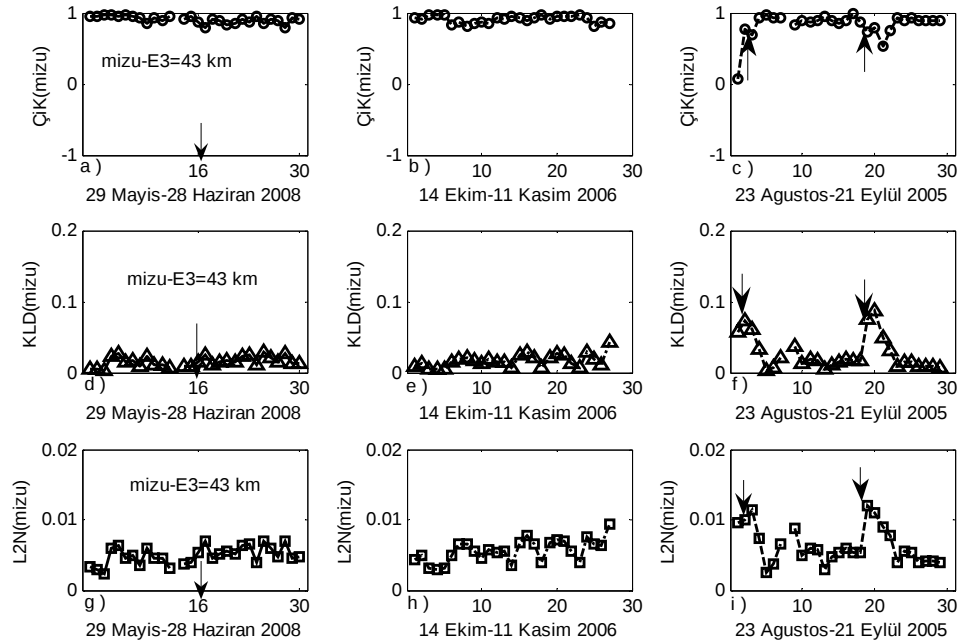
Ortalama değer sakın gün karşılaştırmasının üçüncü kısımda izelge 5.2’de yer alan her bir istasyonun sakın günlerde elde edilmiş ortalama TEİ dağılımı ile deprem günleri, bozulmalı günler ve sakın günler dağılımları arasında Eşitlik 4.19 ve Eşitlik 4.20 kullanılarak Dağılımlar Iraksaklığı ve Dağılımlar Farkı hesaplanmıştır. DI ve DF değişimlerinden deprem merkezine olan uzaklık arttıkça istasyonların deprem günlerindeki dağılımların, ortalama bir sakın güne benzediği, deprem merkezine olan mesafe azaldıkça istasyonun deprem dönemi dağılımlarının da ortalama bir sakın günden uzaklaştığı gözlenmiştir. Deprem günleri ile ODSG için ve bozulmalı günler ile ODSG için elde edilen DI ve DF değerlerinin de sakın günler ile ODSG için elde edilen değerlerden büyük olduğu gözlenmiştir. Bu uygulamaya bir örnek olarak şekil 5.9’da, mizu istasyonunun deprem günleri, BD₂ günleri ve SD₁ günleri ile ODSG arasındaki DI ve DF değişimleri verilmiştir. Deprem günleri ve bozulmalı günler ile ODSG arasında elde edilen DI ve DF değerlerinin sakın günler ile ODSG arasında elde edilen değerlerden daha büyük olduğu sırasıyla şekil 5.9a, 5.9b, 5.9c, 5.9d, 5.9e v 5.9f’den görülmektedir.



şekil 5.9. mizu istasyonu için: a) E3 ile ODSG arasındaki DI, b) ODSG ile E3 arasındaki DI, c) E3 ile ODSG arasındaki DF, d) BD₂ ile ODSG arasındaki DI, e) ODSG ile BD₂ arasındaki DI, f) BD₂ ile ODSG arasındaki DF, g) SD₁ ile ODSG arasındaki DI, h) ODSG ile SD₁ arasındaki DI, i) SD₁ ile ODSG arasındaki DF değişimleri.

Çizelge 5.2’de yer alan yedi istasyonun, izelge 5.1’de yer alan deprem günleri, bozulmalı günleri ve sakın günleri TEİ değerleri ile ODSG TEİ dağılımıyla elde edilen DI ve DF değişimleri EK D’de sunulmuştur.

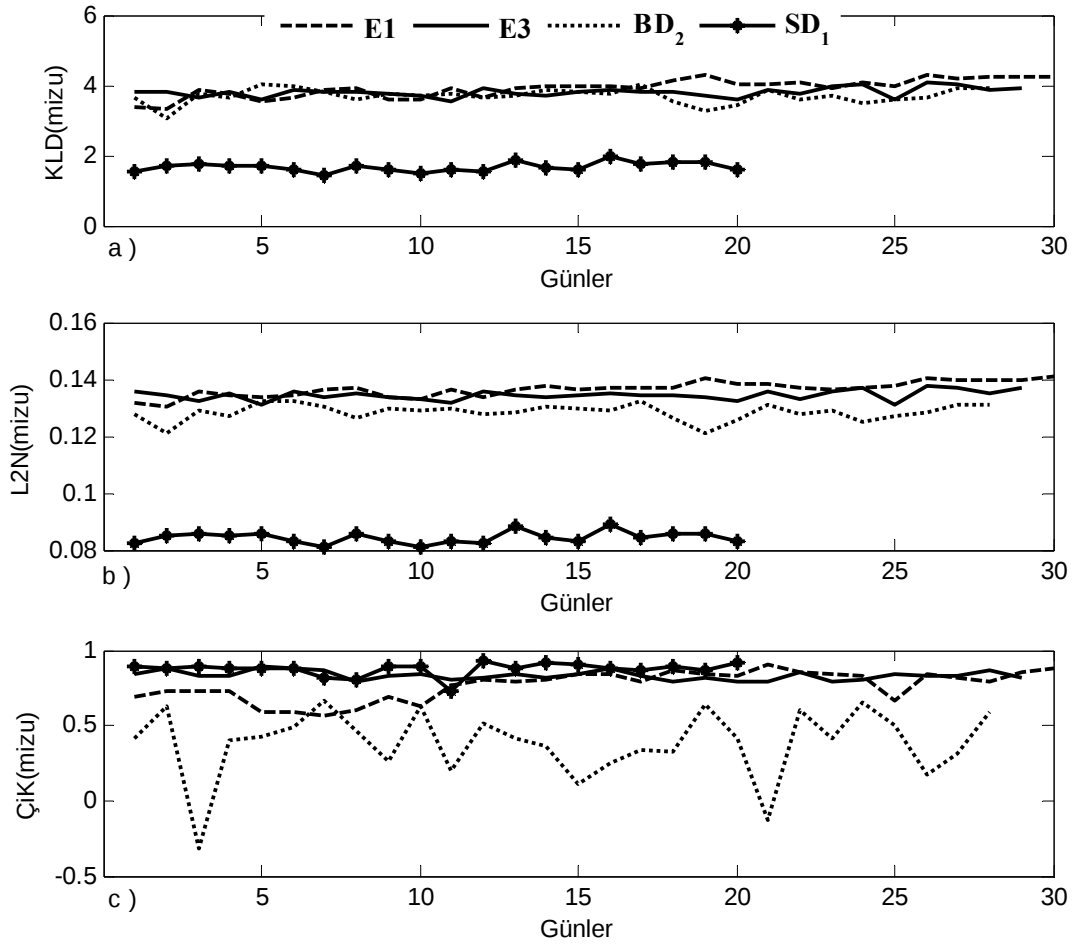
Üçüncü grup ardışık günler karşılaştırması uygulamasında (Grup III), Çizelge 5.2’de verilen tüm istasyonların ardışık deprem günleri, ardışık sakin günleri ve ardışık bozulmalı günleri için kestirilen günlük TEİ verileri, Eşitlik 4.7 ile verilen ÇİK yöntemi, Eşitlik 4.11 ile verilen KLD yöntemi ve Eşitlik 4.14 ile verilen L2N yöntemi kullanılarak karşılaştırılmıştır. İstasyonların verilen zaman aralıkları içindeki ardışık günleri arasındaki karşılaştırma ile ÇİK, KLD ve L2N yöntemlerinin hepsinin, özellikle Kp indisinin 6’dan büyük olduğu jeomanyetik fırtınalı günlerde, bozulmalı günleri deprem ve sakin günlerden ayırdığı gözlenmiştir. Her üç yöntem de bu uygulama ile iyonkürede jeomanyetik hareketliliğin meydana getirdiği bozulmayı ölçtüğü gözlenmiştir. Deprem günleri ve sakin günlerde edilen ÇİK, KLD ve L2N değerlerinde önemli ölçüde değişimler izlenememiştir. Bu sonuçlara bir örnek olarak Şekil 5.10’da, E3 depreminde merkez istasyon olarak seçilen ve E3 depreminin merkezine 43 km mesafede bulunan mizu istasyonunun ardışık deprem günlerindeki, ardışık sakin günlerindeki ve ardışık bozulmalı günlerindeki ÇİK, KLD ve L2N değişimleri verilmiştir. Ardışık deprem günlerindeki ve ardışık sakin günlerindeki KLD ve L2N değerlerinin birbirine çok yakın olduğu Şekil 5.10’dan görülmektedir. ÇİK değerleri ise bu iki zaman aralığında yüksek ilintiye sahiptir. Fakat ardışık BD₂ günlerinde, özellikle fırtınanın çok etkili olduğu ikinci ve on sekizinci günde (Kp≥ 6), KLD ve L2N değerlerinin ani artışlar sergilediği yine Şekil 5.10f ve 5.10i’den gözlenmektedir. ÇİK değerleri ise bu günlerde 0.9’dan düşüktür (Şekil 5.10c). Jeomanyetik fırtınanın yaşandığı günler Şekil 5.10c, 5.10f ve 5.10i’de oklarla belirtilmiştir.



Şekil 5.10. mizu’nun ardışık günleri için: ÇİK değerleri a) E3 günlerindeki, b) SD₁ günlerindeki, c) BD₂ günlerindeki; KLD değerleri d) E3 günlerindeki, e) SD₁ günlerindeki, f) BD₂ günlerindeki; L2N değerleri g) E3 günlerindeki, h) SD₁ günlerindeki, i) BD₂ günlerindeki.

Çizelge 5.2’de yer alan istasyonların, ardışık deprem günlerinde, ardışık sakin günlerinde ve ardışık bozulmalı günlerinde elde edilen ÇİK, KLD ve L2N değişimleri EK E’de sunulmuştur.

Ardışık günler uygulamansın ikinci kısmında, ardışık deprem günleri, ardışık sakin günler ve ardışık bozulmalı günler için Eşitlik 4.17 ile verilen sınırlar hesaplanmıştır. Hesaplanan bu sınırlar, $r_{S1}(\hat{\mathbf{P}}_{u;d}; \hat{\mathbf{P}}_{u;d+1})$ işleviyle tanımlanan ÇİK yöntemi, $KLD_{S1}(\hat{\mathbf{P}}_{u;d}; \hat{\mathbf{P}}_{u;d+1})$ işleviyle tanımlanan KLD yöntemi ve $L2N_{S1}(\hat{\mathbf{P}}_{u;d} \setminus \hat{\mathbf{P}}_{u;d+1})$ işleviyle tanımlanan L2N yöntemi kullanılarak karşılaştırılmıştır. Bu uygulamayla da KLD ve L2N yöntemlerinin iyonküredeki jeomanyetik bozulmayı ölçtüğü gözlenmiştir. KLD ve L2N yöntemlerinin sismik hareketliliğin iyonkürede yarattığı bozulmayı, jeomanyetik bozulmadan ayıramadığı görülmüştür. Ardışık bozulmalı günlerde hesaplan sınırlarla elde edilen ÇİK değerlerinin, ardışık deprem günleri ve ardışık sakin günler sınırlarıyla hesaplanan ÇİK değerlerinden oldukça düşük olduğu gözlenmiştir. Bu nedenle, ardışık günler içi hesaplanan sınırlar uygulamasıyla ÇİK yönteminin iyonküredeki jeomanyetik bozulmanın habercisi olduğu düşünülebilir. Bu uygulamaya bir örnek olarak Şekil 5.11’de, yine mizu istasyonunun ardışık günlerinde elde edilen sınırları arasındaki ÇİK, KLD ve L2N değişimleri gösterilmiştir. Ardışık E1 ve E3 günlerinde, ardışık BD₂ günlerinde ve ardışık SD₁ günlerinde hesaplanan sınırlarla elde edilen KLD, L2N ve ÇİK değerleri sırasıyla Şekil 5.11a, 5.11b ve 5.11c’de verilmiştir. Ardışık bozulmalı gün sınırları için elde edilen ÇİK değerlerinin ardışık deprem günleri ve sakin günler sınırlarıyla elde edilen değerlerden daha küçük olduğu Şekil 5.11c’den gözlenmektedir. KLD ve L2N yöntemlerinin de ardışık deprem günlerini ve ardışık bozulmalı günleri, ardışık sakin günlerden ayırdığı fakat bu iki bozulmayı birbirinden ayıramadığı Şekil 5.11a ve 5.11b’den gözlenmektedir. E1 depreminin büyüklüğü 8.3, E3 depreminin büyüklüğü ise 6.9’dur. KLD ve L2N yöntemleri depremin iyonkürede neden olduğu bozulmayı, depremin büyüklüğünün etkisine göre de ölçmemiştir. Ardışık E1 ve E3 günlerinde elde edilen KLD ve L2N değerlerinin birbirine çok yakın olduğu yine Şekil 5.11a ve 5.11’den görülmektedir.

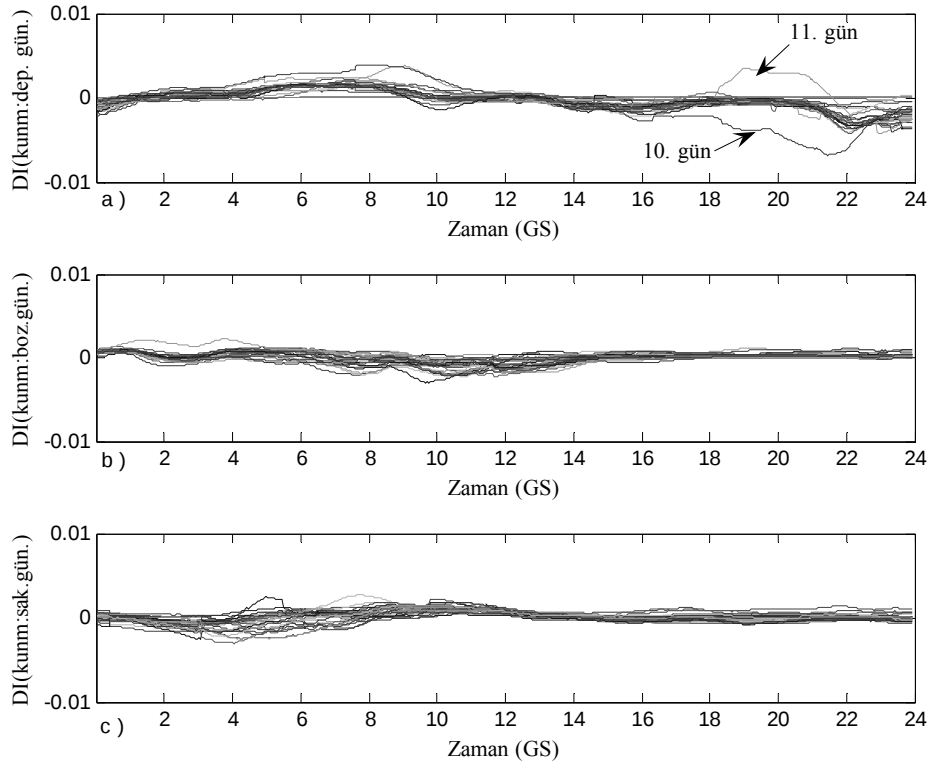


Şekil 5.11. mizu istasyonu için ardışık E1 ve E3 günlerinde, ardışık BD₂ günlerinde ve ardışık SD₁ günlerinde hesaplanan sınırlarla elde edilen a) KLD değerleri, b) L2N değerleri, c) ÇİK değerleri.

Çizelge 5.2’de yer alan istasyonların, ardışık deprem günleri, ardışık bozulmalı günleri ve ardışık sakin günleri için hesaplanan S1 sınırları ile elde edilen ÇİK, KLD ve L2N değerlerine ait tüm değişim eğrileri EK E’de sunulmuştur.

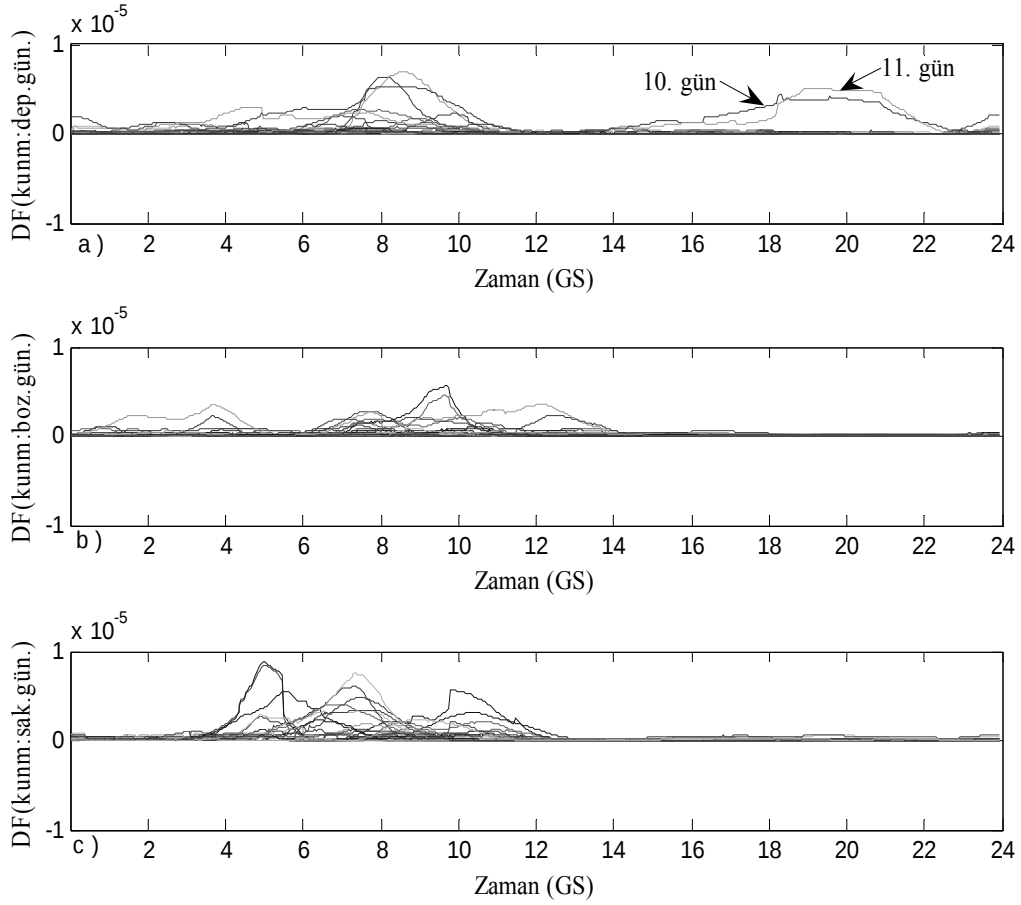
Ardışık günler karşılaştırmasının üçüncü kısmında Çizelge 5.2’de yer alan her bir istasyonun ardışık deprem günleri, ardışık bozulmalı günleri ve ardışık sakin günleri arasında Eşitlik 4.21 ve Eşitlik 4.22 kullanılarak Dağılımlar Iraksaklığı ve Dağılımlar Farkı hesaplanmıştır. Bir dönem için dağılımların birbirine ne kadar benzediğini veya ayrıştığını gösteren bu iki iç işlevin veri setleri üzerine uygulanmasıyla, ardışık bozulmalı günlerin ve ardışık sakin günlerin birbirine iraksak olmadığı gözlenmiştir. Ardışık deprem günlerinde elde edilen dağılımların da genel yapı itibariyle ardışık sakin günler ve ardışık bozulmalı günlerde elde edilen dağılımlara benzediği görülmüştür. Ancak deprem gününden 1-7 gün öncesindeki günlerde elde edilen dağılımların, deprem günleri, sakin günler ve bozulmalı günlerden ayrıştığı ve DI ve DF değerlerinin arttığı gözlenmiştir. Bu uygulamaya bir örnek olarak Şekil 5.12’de kunm istasyonu için ardışık E6

günlerindeki, ardışık BD_1 günlerindeki ve ardışık SD_2 günlerindeki DI değişimleri gösterilmiştir. Bozulmalı ve sakin günlerde dağılımların birbirine ıraksak olmadığı, birbirine çok benzediği görülmektedir Şekil 5.12b ve 5.12c'den görülmektedir. Deprem günleri dağılımlarında oklar ile gösterilen 10. gündeki ve 11. gündeki dağılımların özellikle GS 16 00 ile 22 00 saatleri arasında diğer günlerden farklı olduğu Şekil 5.12a'dan gözlenmektedir. Depremden 4 ve 5 gün öncesine denk gelen bu günlerdeki bu fark, bu günlerde elde edilen TEİ değerlerinin, diğer günlerde elde edilen TEİ değerlerinden farklı olduğunu göstermektedir.



Şekil 5.12. kunm istasyon için Dağılımlar Iraksaklığı değişimleri: a) ardışık E6 günlerinde, b) ardışık BD_1 günlerinde, c) ardışık SD_2 günlerinde.

Bir başka örnek olarak Şekil 5.13'de yine kunm istasyonu için ardışık E6 günlerindeki, ardışık BD_1 günlerindeki ve ardışık SD_2 günlerindeki Dağılımlar Farkı değişimleri gösterilmiştir. Ardışık deprem günleri arasında, Şekil 5.13'de gösterilen DI değişimlerine paralel olarak 10. gündeki ve 11. gündeki DF değerlerinin büyük olduğu Şekil 5.13a'dan gözlenmektedir. Deprem günlerinde elde edilen DF değerlerindeki bu fark, deprem gününden dört ve beş gün öncesine denk gelen bu günlerdeki TEİ değerlerinin diğer günlerden daha büyük olduğunu göstermektedir.



Şekil 5.13. kunm istasyon için Dağılımlar Farkı değişimleri: a) ardışık E6 günlerinde, b) ardışık BD1 günlerinde, c) ardışık SD2 günlerinde.

Çizelge 5.2’de yer alan her bir istasyon için ardışık deprem günlerinde, ardışık bozulmalı günlerde ve sakin günlerde elde edilen DI ve DF değişimleri EK E’de sunulmuştur.

Japonya ve Çin sismik bölgeleri için yapılan bu çalışmada, altı deprem, sekiz IGS-YKS istasyonu, iki jeomanyetik fırtına dönemi ve iki sakin gün dönemi için, IONOLAB-TEİ verileri arasında ve bunların kayan pencere istatistiksel analizi ile elde edilen sınırları arasında, Çapraz İlinti Katsayısı, simetrik Kullback-Leibler Mesafesi ve L2-Normu yöntemleri kullanılarak karşılaştırmalar yapılmıştır. Olası bir iyonküresel değişkenliği ayırabilmek için, istatistiksel yöntemler bir ortalama sakin gün için de uygulanmıştır. Çalışma, TUBİTAK EEEAG 105E171 numaralı proje tarafından desteklenmiş ve elde edilen bulgular proje kapsamında bir rapor olarak sunulmuştur. Bu uygulamalarla iyonküredeki sismik ya da jeomanyetik açıdan oluşan bir bozulmayı seçebilmek için ÇİK, KLD ve L2N yöntemlerinin farklı uygulama grupları içinde birlikte veya ayrı ayrı kullanılabileceği gözlenmiştir. Sonuç olarak, iyonküredeki herhangi bir nedenden kaynaklanan bozulmanın habercisi sayılabilen bu metotların geliştirilmeye ihtiyacı vardır.

5.2. Türkiye Sismik Bölgesi İçin Bulgular

Bölüm 5.1’de geniş olarak bahsedilen Japonya ve Çin sismik bölgeleri için yapılan deprem-iyonküre bağlaşımı çalışmalarında [35-37], büyüklüğü 6 ve üzerinde olan farklı jeofiziksel özelliklere sahip altı deprem incelenmiştir. Bu çalışmalarda üç farklı zaman aralığında iyonkürenin değişkenliği, TEİ kestirimleri ile incelenmiştir. Deprem dönemlerindeki TEİ değişkenliği, depremin olmadığı fakat jeomanyetik bozulmaların olduğu bozulmalı dönem ve deprem ve jeomanyetik bozulmanın olmadığı sakin dönemdeki değişimlerle karşılaştırılarak kritik sınırlar elde edilmiştir. İstatistiksel analiz yöntemleri olarak Bölüm 4’de de verilmiş olan Çapraz İlinti Katsayısı (ÇİK), Simetrik Kullback-Leibler Mesafesi (KLD) ve L2-Normu (L2N), kayan pencere istatistiksel analizi ve Dağılımlar Iraksaklığı (DI) ile Dağılımlar Farkı (DF) yöntemleri, istasyonlar arası çaprazlama uygulaması, Ortalama Değer Sakin Gün (ODSG) uygulaması ve ardışık günler uygulaması olmak üzere üç farklı karşılaştırma yöntemi içinde uygulanmıştır. İstasyonlar arası çaprazlama uygulamasında ÇİK yöntemi deprem günlerini sakin ve bozulmalı günlerden ayırt edememiştir ve bu nedenle bu yöntem Japonya ve Çin depremleri için deprem alarm sinyalinin oluşturulmasında belirleyici olmamıştır. KLD ve L2N yöntemleri için istasyonlar arası mesafe eğer 340 km’den az ise deprem dönemlerindeki değerlerin, sakin ve bozulmalı dönem değerlerinden büyük olduğu görülmüştür. Ortalama Değer Sakin Gün uygulamasında KLD ve L2N yöntemleri deprem alarm sinyali için etkili sonuçlar ortaya koymuştur. Bu uygulama grubunda bir istasyonun deprem merkezine uzaklığı 150 km’den az ise KLD ve L2N için deprem dönemi değerlerinin sakin ve bozulmalı dönem değerlerinden çok çok büyük olduğu gözlenmiştir. Bu uygulama grubu için KLD ve L2N yöntemleri Japonya ve Çin depremlerinde deprem dönemlerini sakin ve bozulmalı dönemlerden ayırıcı yöntemler olmuştur. Ardışık günler uygulamasında ise her üç yöntem de iyonkürenin jeomanyetik açıdan bozulmalı olduğu dönemi deprem döneminden ve jeomanyetik açıdan sakin olduğu dönemden ayırmıştır. Bozulmalı dönemlerdeki KLD ve L2N değerleri deprem ve sakin dönem değerlerinden büyük olarak gözlenmiştir. ÇİK değerleri ise özellikle Kp-indisinin 4’ten büyük oldu günlerde zayıf ilintili olarak değişmiştir. Bu bölümde ise Japonya ve Çin sismik bölgeleri için elde edilen tüm bu bulgular ve mesafe sınırları doğrultusunda, ÇİK, KLD ve L2N yöntemleri Türkiye üzerinde denenmiştir. Bu yöntemler, Türkiye’de Kuzey Anadolu Fay Hattı’nda meydana gelmiş iki deprem için Japonya ve Çin bölgesi uygulamalarında olduğu gibi istasyonlar arası çaprazlama uygulaması (Grup-I), Ortalama Değer Sakin Gün uygulaması Grup-II) ve ardışık günler uygulaması (Grup-III) olmak üzere üç uygulama grubu içinde kullanılmıştır. Çalışma kapsamında kullanılan istasyonlar, Japonya ve Çin depremlerinde ortaya konulan sonuçlar doğrultusunda deprem merkezlerine 427 km mesafeye kadar seçilmiştir.

Çalışmanın amacı için Türkiye’de meydana gelen farklı büyüklükteki iki deprem seçilmiştir. Her iki deprem de Kuzey Anadolu Fay (KAF) hattı üzerinde bulunup benzer jeofiziksel

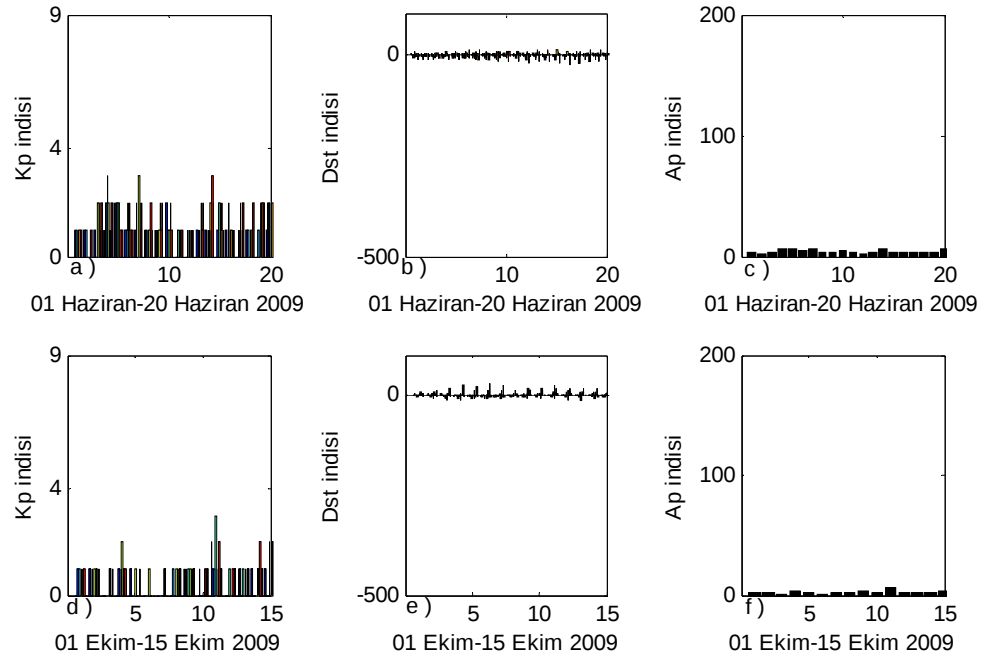
özellikler taşımaktadır. Depremlerin tarihi, oluş zamanı, konumu ($^{\circ}$ K- $^{\circ}$ D), büyüklüğü (M-Richter) ve derinliği (z-km) Çizelge 5.6'da verilmiştir. Çizelge 5.6'da E1 ve E2 olarak temsil edilen depremler sırasıyla 30.07.2009 tarihli Çağlayan/Erzincan [71] ve 08.08.2009 tarihli Yenice/Çanakkale [64] depremidir. Deprem dönemi günleri için her bir depremden on gün öncesi ve sonrası olmak üzere toplam yirmi bir günlük zaman aralığı seçilmiştir. Tüm şekiller üzerinde, depremin olduğu 11. gün bir ok ile gösterilmiştir.

Çizelge 5.6. Depremlerin konum, zaman, büyüklük ve derinlik göstergesi.

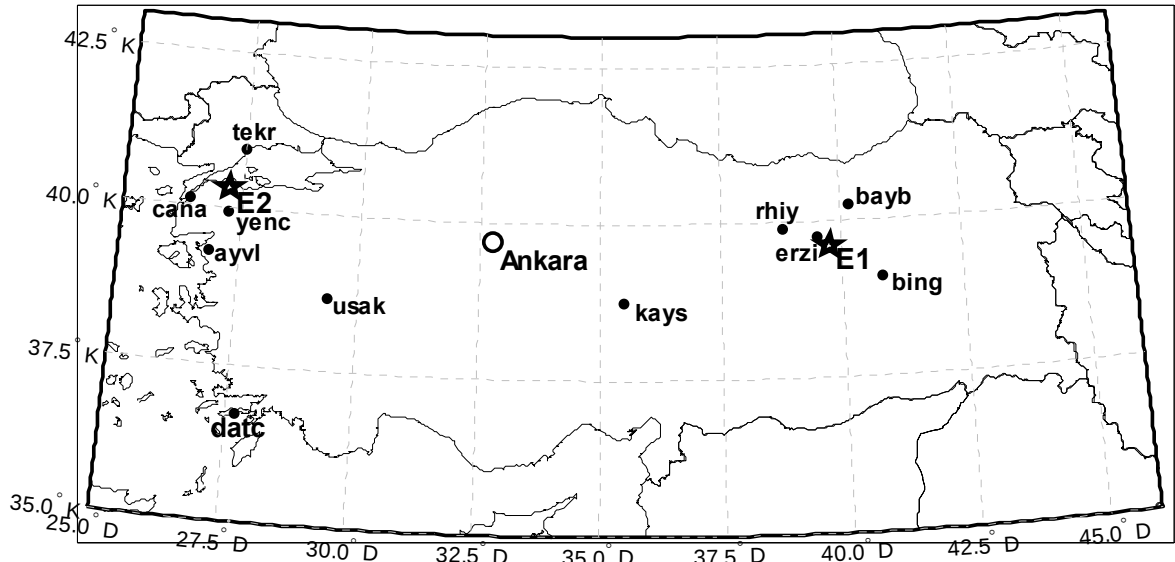
yer	tarih	saat	enlem	boylam	M	z (km)
E1 Çağlayan	30.07 2009	10 37	39.6° K	40.3° D	5	5
E2 Yenice	08.08 2009	04 52	40.3° K	27.2° D	4.2	10

Türkiye’de deprem öncesi sismik hareketliliğin iyonküre üzerindeki etkilerini inceleyebilmek için, iyonkürenin Güneş’te meydana gelen hareketliliğe bağlı olarak jeomanyetik hareketliliğin yaşanmadığı sakin günler zaman aralığı da ele alınmıştır. TEİ kestirimleri için kullanılan Türkiye’deki YKS istasyon ağı Mayıs 2009 tarihinden itibaren işlevsellik kazanmıştır. 2009 yılı jeomanyetik olarak bozulmanın yaşanmadığı oldukça sakin bir yıl olarak geçmiştir. Bu nedenle karşılaştırmalar sadece deprem dönemi ve sakin dönem olmak üzere iki zaman aralığı için yapılabilmektedir. Sakin günler zaman aralığı seçilirken jeomanyetik hareketliliği ölçeklendiren Dst, Kp ve Ap indisleri dikkate alınmıştır [65-67]. Sakin günler zaman aralığı için (SD₁) 01 Ekim-15 Ekim 2009 tarihleri arasındaki günler, ODSG için (SD₂) de 01-20 Haziran 2009 tarihleri arasındaki günler kullanılmıştır. Bu iki zaman aralığında, seçilen deprem bölgelerinde önemli sayılabilecek bir sismik hareketlilik yoktur. Bu iki sakin döneme ait Kp-indisi, Dst-indisi ve Ap-indisi değişimleri Şekil 5.14’de verilmiştir. Her iki depremdeki 21 günlük zaman aralığı boyunca önemli sayılabilecek bir jeomanyetik hareketlilik yoktur. Kp indisinin en büyük değeri 4 civarındadır. Bu anlamda deprem günleri zaman aralığı da jeomanyetik açıdan oldukça sakindir. Seçilen deprem dönemi günlerine ait Kp ve Ap indislerine EK B’de yer verilmiştir.

Bu çalışmada, Harita Genel Komutanlığı tarafından Türkiye üzerine düzgün konumlandırılmış TUSAGA Aktif YKS istasyonlarından elde edilen IONOLAB-TEİ kestirimleri kullanılmıştır [62, 69 70]. Kullanılan istasyonların ve seçilen depremlerin konumları Şekil 5.15’de verilmiştir. Şekil 5.15’de deprem merkezleri “yıldız” ile YKS istasyonları “nokta” ile gösterilmiştir. İstasyonların birbirlerine olan uzaklıkları, 69 km’den 441 km’ye kadar değişmektedir.

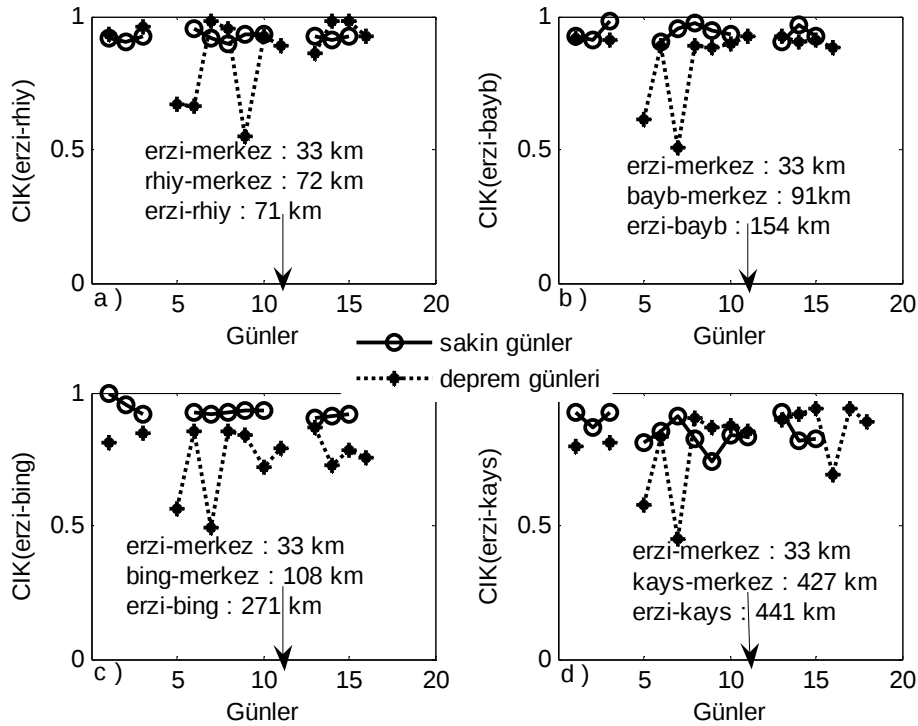


Şekil 5.14. Günlük jeomanyetik hareketlilik indisleri; SD₂ için a) Kp indisi, b) Dst indisi, c) Ap indisi; SD₁ için d) Kp indisi, e) Dst indisi, f) Ap indisi.

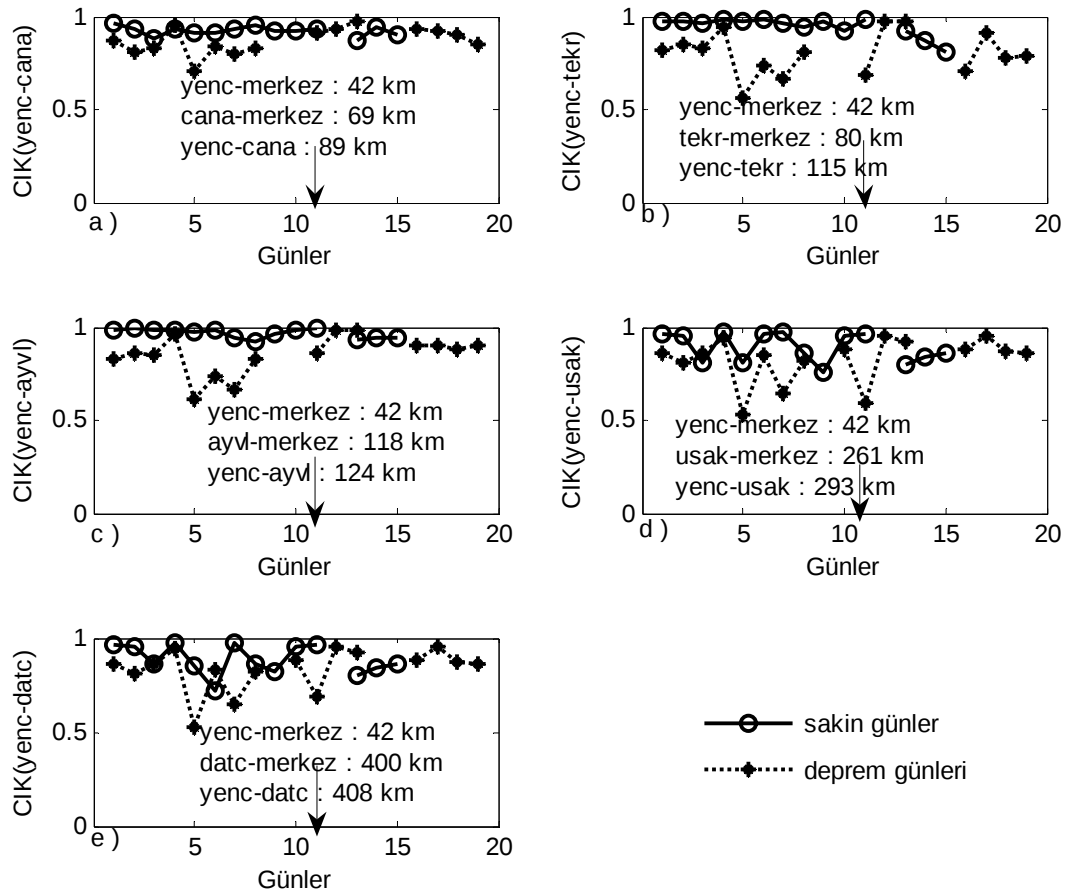


Şekil 5.15. Çalışma kapsamında seçilen depremler ve TUSAGA-Aktif YKS istasyonları.

Birinci grup uygulamada, Eşitlik 4.5 ile tanımlanan ÇİK yöntemi, Eşitlik 4.9 ile tanımlanan KLD yöntemi ve Eşitlik 4.12 ile tanımlanan L2N yöntemi, E1 depreminde bayb, bing, erzi, kays, rhiy ve E2 depreminde ayvl, cana, datc, tekr, usak, yenc istasyonlarının TEİ değerleri arasında uygulanmıştır. Bu grup çalışmaya göre her iki depremde kullanılan istasyonların çaprazlama ÇİK değerleri sakin günlerde +1'e yakın değişirken deprem günlerinde +0.5 değerine kadar düşmüştür. Japonya ve Çin'de meydana gelen depremlerde ÇİK yöntemi deprem günleri için ayırt edici bir yöntem değilken Türkiye üzerindeki depremlerde deprem günlerini ayırabilmiştir. İstasyonların deprem dönemi çaprazlama KLD değerlerinin sakin günlerde elde edilen değerlerden 10 kat büyük olduğu gözlenmiştir. İstasyonlar arası L2N değerleri deprem dönemlerinde ve sakin dönemlerde birbirine yakın değişmiştir. L2N yöntemi, deprem dönemi ile sakin dönemde istasyonlar arasındaki farkı KLD yöntemi kadar iyi ölçememiştir. Şekil 5.16'de ve Şekil 5.17'de bu uygulamaya örnek olarak sırasıyla E1 ve E2 depremleri için deprem merkezine en yakın istasyon olan merkez istasyon ile diğer istasyonlar arasındaki deprem dönemi ve sakin dönem ÇİK değerleri verilmiştir. Deprem günlerinde ilintinin zayıf, sakin günlerde ise ilintinin yüksek olduğu Şekil 5.16'dan ve Şekil 5.17'den görülmektedir. İstasyonlar arasındaki mesafe arttıkça ve deprem gününe yaklaştıkça ilintinin azaldığı yine Şekil 5.16'dan ve Şekil 5.17'den gözlenmektedir.

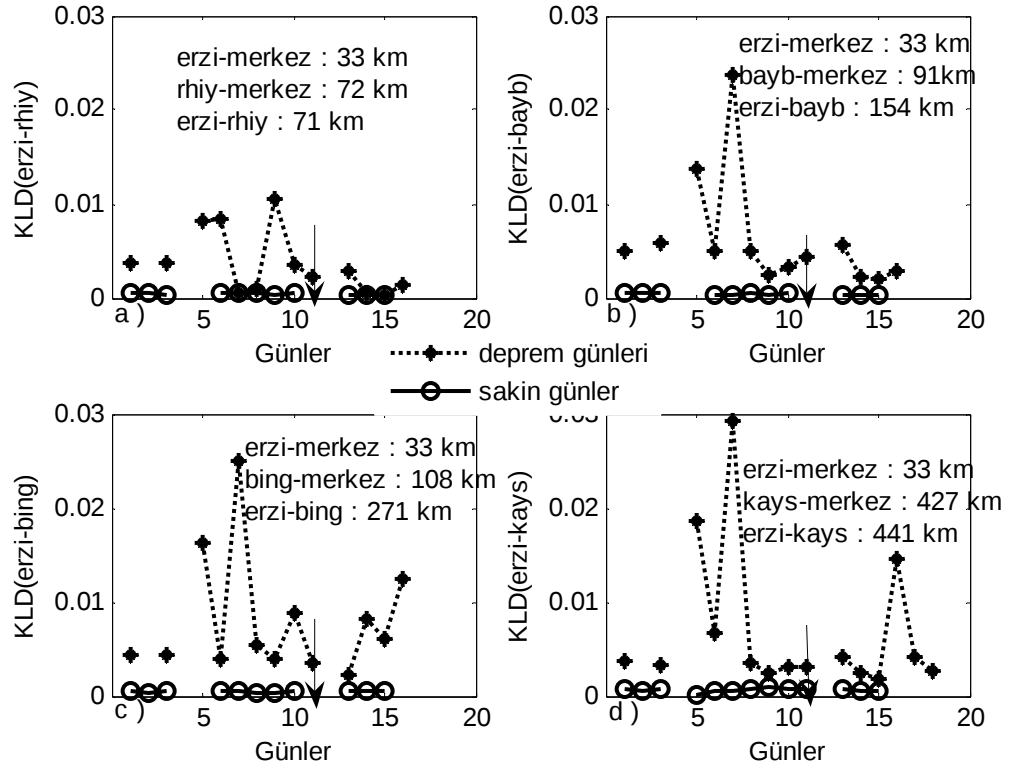


Şekil 5.16. E1 depremi ve sakin günlerde: a) erzi-rhiy, b) erzi-bayb, c) erzi-bing, d) erzi-kays istasyonları arasındaki ÇİK değerleri.

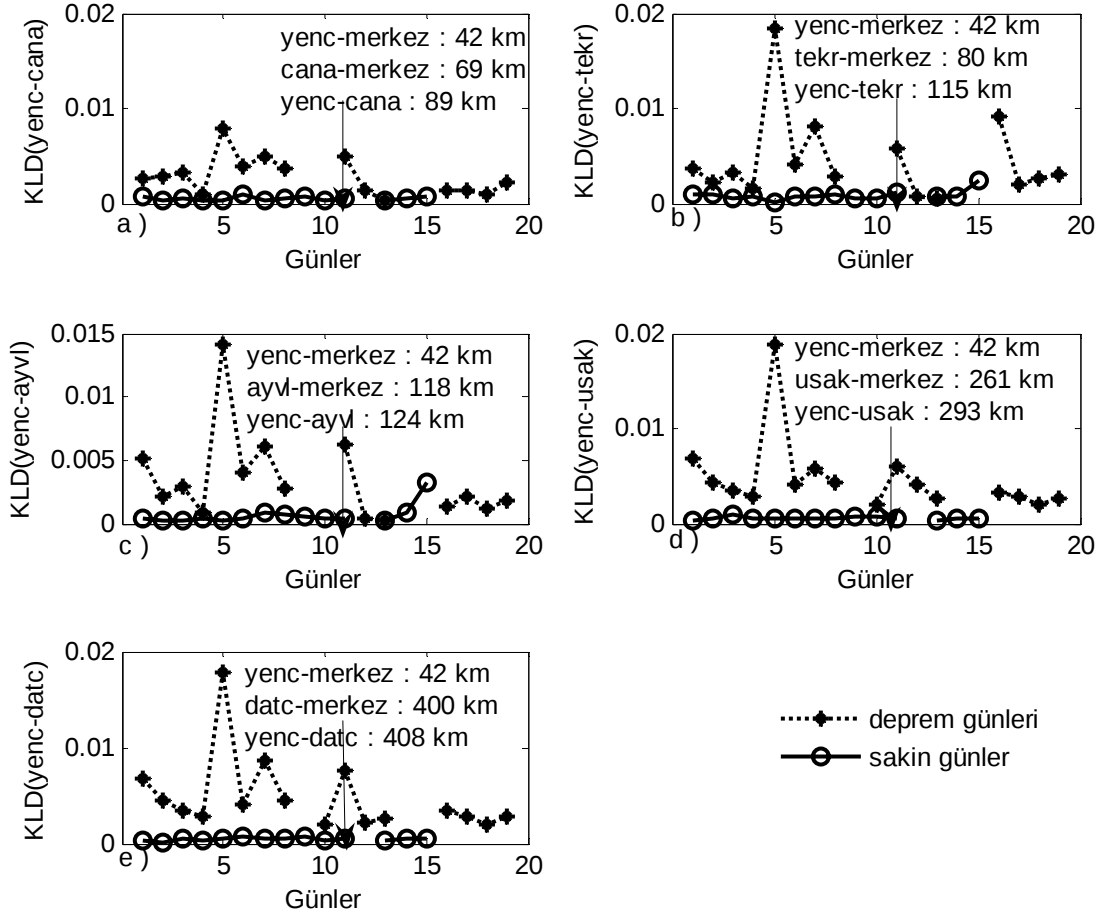


Şekil 5.17. E2 depremi ve sakin günlerde: a) yenc-cana, b) yenc-tekr, c) yenc-ayvl, d) yenc-usak, e) yenc-datc istasyonları arasındaki ÇİK değerleri.

Şekil 5.18 ve 5.19’da Grup-I uygulamaya örnek olarak sırasıyla E1 ve E2 depremlerinde ve sakin günlerde istasyonlar arasındaki KLD değerleri verilmiştir. Her iki depremde de KLD değerlerinin sakin günlerden çok büyük olduğu Şekil 5.18 ve 5.19’dan görülmektedir. Özellikle istasyonların merkez istasyona olan uzaklıkları ve depremin büyüklüğü arttıkça deprem günlerinde bu farkın daha da arttığı gözlenmektedir. Birbirine yakın olan istasyonlar arasında deprem günlerinde KLD değerleri daha küçük olduğu görülmektedir.

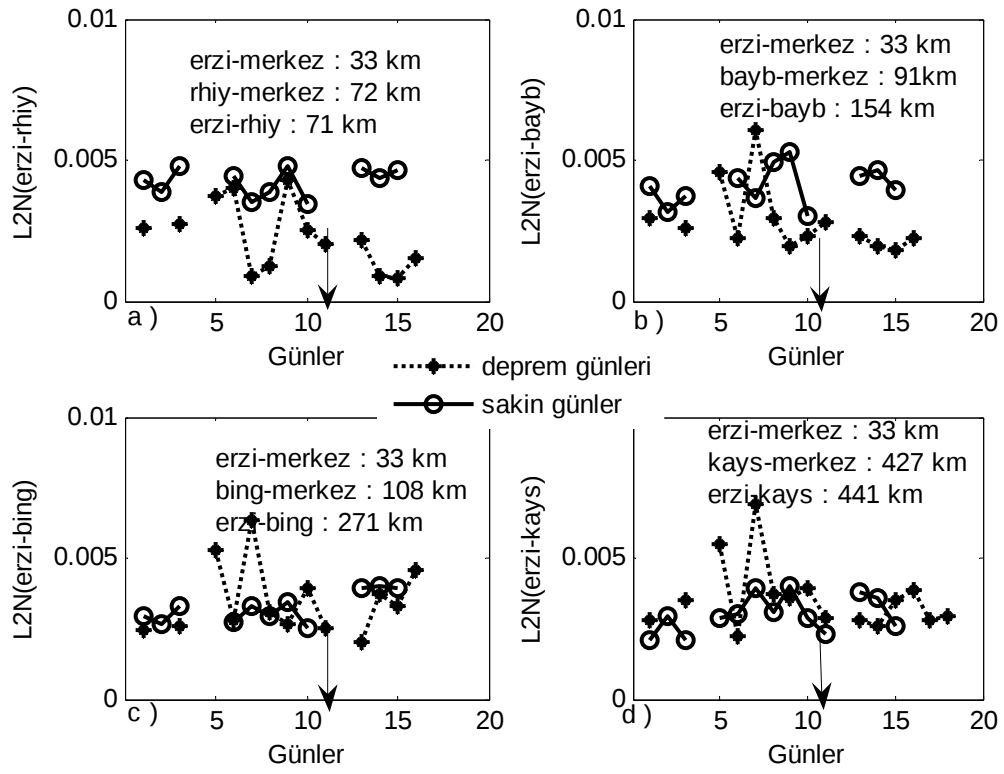


Şekil 5.18. E1 depremi ve sakin günlerde: a) erzi-rhiy, b) erzi-bayb, c) erzi-bing, d) erzi-kays istasyonları arasındaki KLD değerleri.

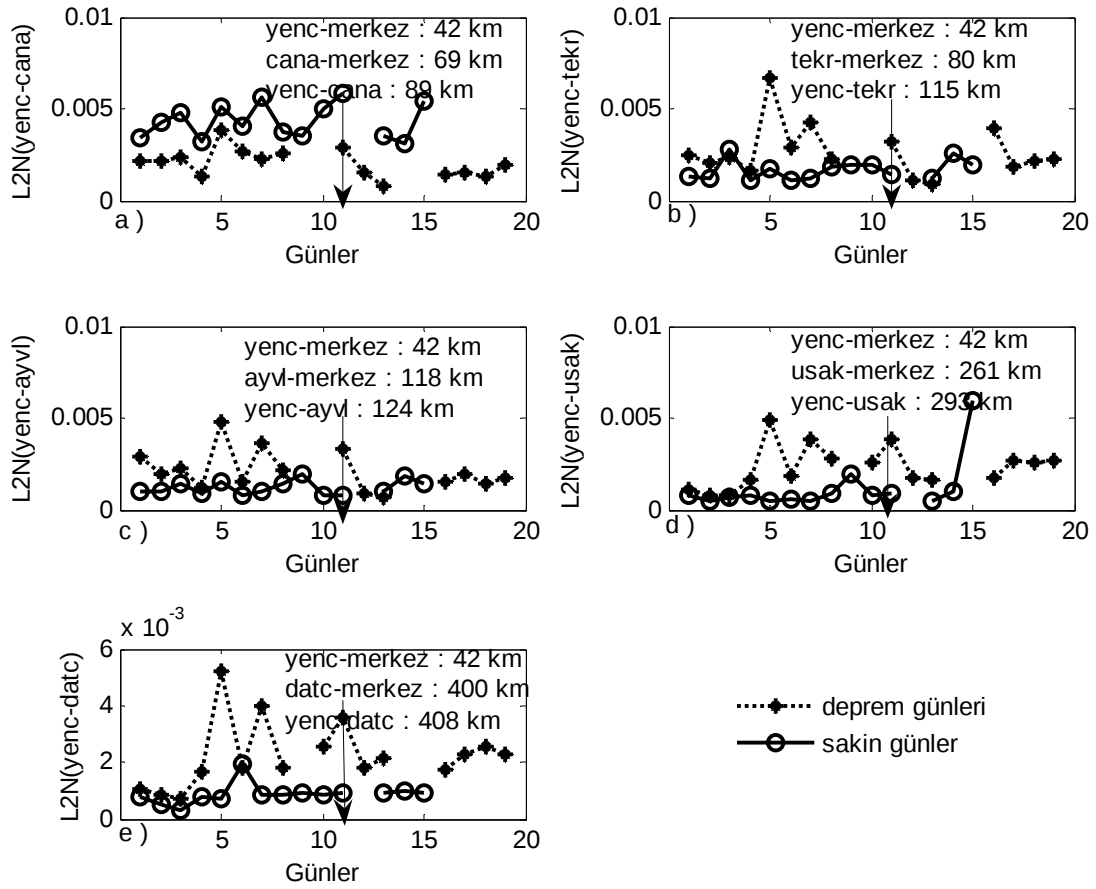


Şekil 5.19. E2 depremi ve sakin günlerde: a) yenc-cana, b) yenc-tekr, c) yenc-ayvl, d) yenc-usak, e) yenc-datc istasyonları arasındaki KLD değerleri.

Şekil 5.20 ve 5.21’de Grup-I uygulamaya örnek olarak sırasıyla E1 ve E2 depremlerindeki ve sakin günlerdeki L2N değerleri verilmiştir. Deprem günlerindeki L2N değerlerinin sakin günlere yakın değiştiği her iki deprem içinde gözlenmektedir. Her iki deprem için L2N değerlerinin deprem ile sakin günler arasındaki farkın KLD değerleri kadar belirgin olmadığı Şekil 5.20 ve 5.21’den gözlenmektedir.

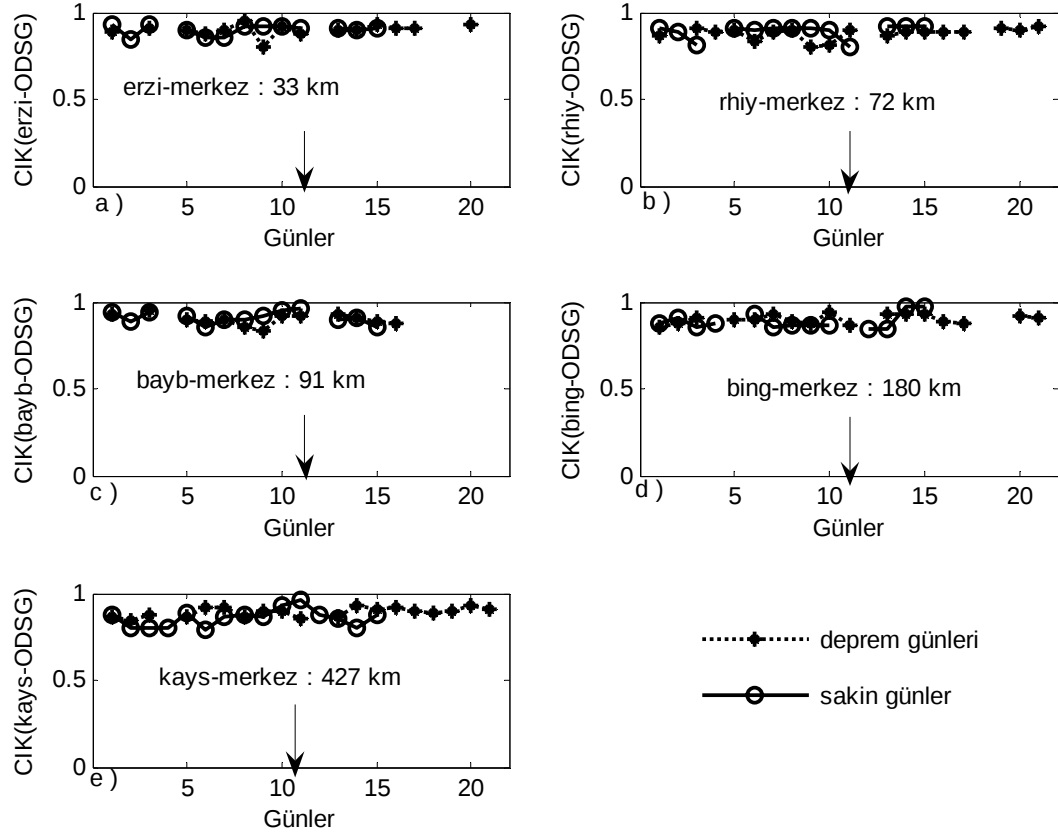


Şekil 5.20. E1 depremi ve sakin günlerde: a) erzi-rhiy, b) erzi-bayb, c) erzi-bing, d) erzi-kays istasyonları arasındaki L2N değerleri.

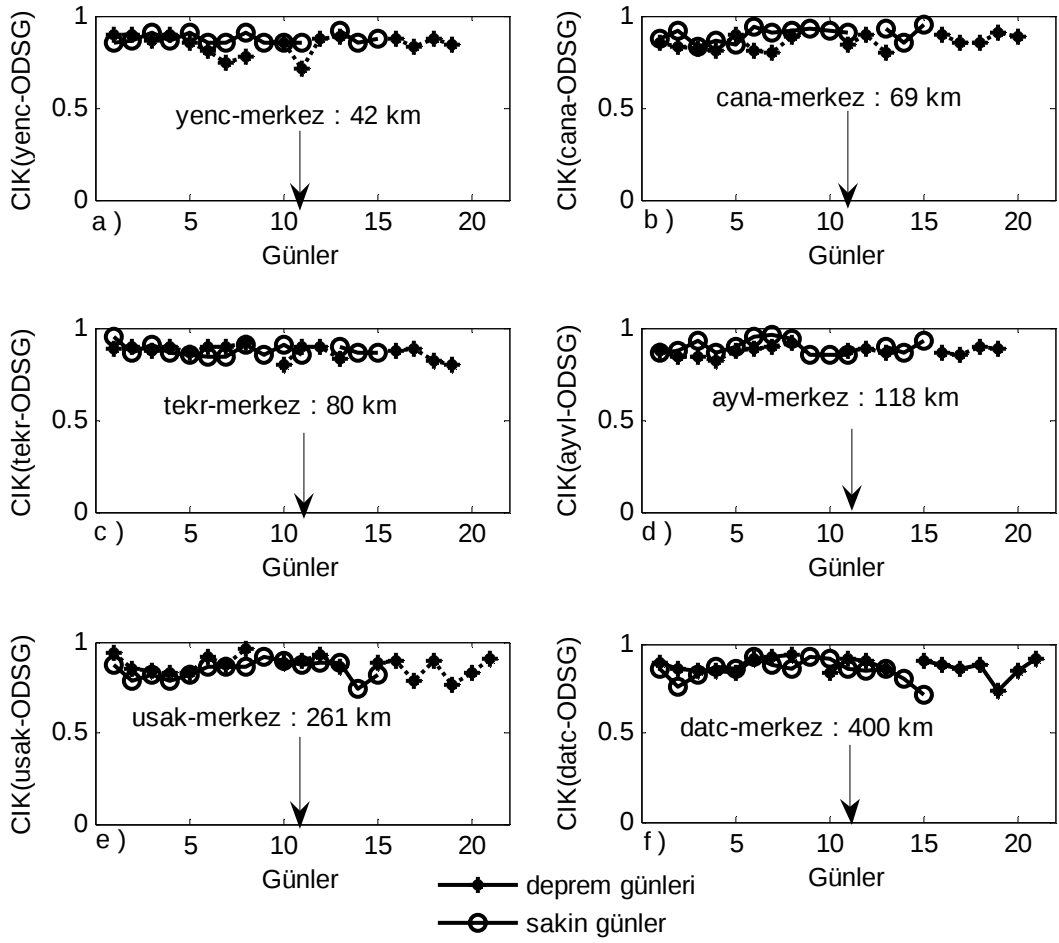


Şekil 5.21. E2 depremi ve sakin günlerde: a) yenc-cana, b) yenc-tekr, c) yenc-ayvl, d) yenc-usak, e) yenc-datc istasyonları arasındaki L2N değerleri.

İkinci grup uygulamada Eşitlik 4.6 ile verilen ÇİK yöntemi, Eşitlik 4.10 ile verilen KLD yöntemi ve Eşitlik 4.13 ile verilen L2N yöntemi, çalışma kapsamında kullanılan her bir YKS istasyonunun ODSG TEİ vektörü ile deprem dönemi ve sakin dönem günlerinde elde edilen TEİ değerleri arasında uygulanmıştır. Bu grup çalışmayla, hem ODSG-deprem hem de ODSG sakin eşleşmesi için ÇİK değerlerinin 0.8 ile 1 arasında değiştiği gözlenmiştir. Deprem öncesi bazı günlerde ise ÇİK değerlerinin 0.6'ya kadar düştüğü gözlenmiştir. KLD ve L2N yöntemlerinin bu uygulamada paralel sonuçlar ortaya koyduğu görülmüştür. ODSG-deprem eşleşmesinin KLD ve L2N değerlerinin, ODSG-sakin eşleşmesi değerlerinden çok daha büyük değiştiği gözlenmiştir. KLD ve L2N değerlerinde özellikle ODSG-deprem eşleşmesinde ani artışlar gözlenmiştir. Şekil 5.22 ve 5.23'de, kullanılan her bir YKS istasyonu için sırasıyla E1 ve E2 depremleri ve sakin günler ile ODSG arasındaki ÇİK değerleri gösterilmiştir. ÇİK yönteminin deprem günlerini ayırmada bu uygulama için ayırt edici bir yöntem olmadığı Şekil 5.22 ve 5.23'den görülmektedir.

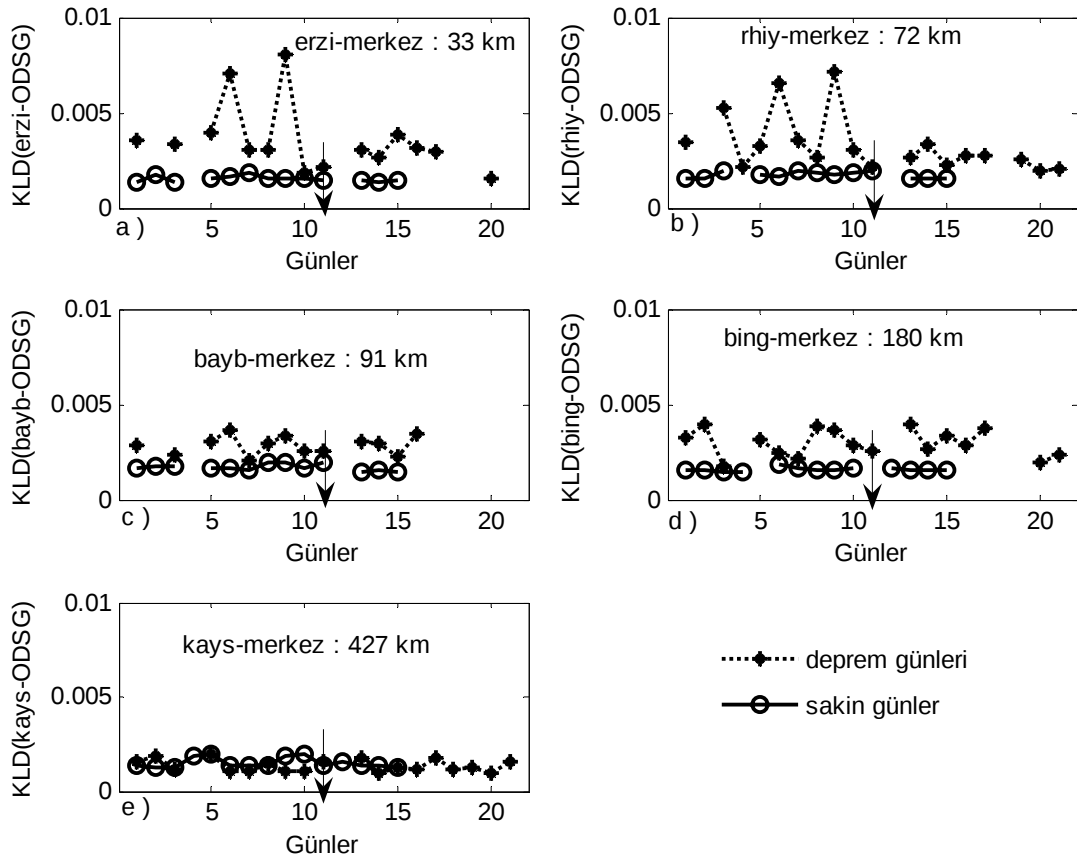


Şekil 5.22. E1 depremi ile ODSG ve sakin günler ile ODSG eşleşmeleri için: a) erzi, b) rhiy, c) bayb, d) bing, e) kays istasyonuna ait ÇİK değerleri.

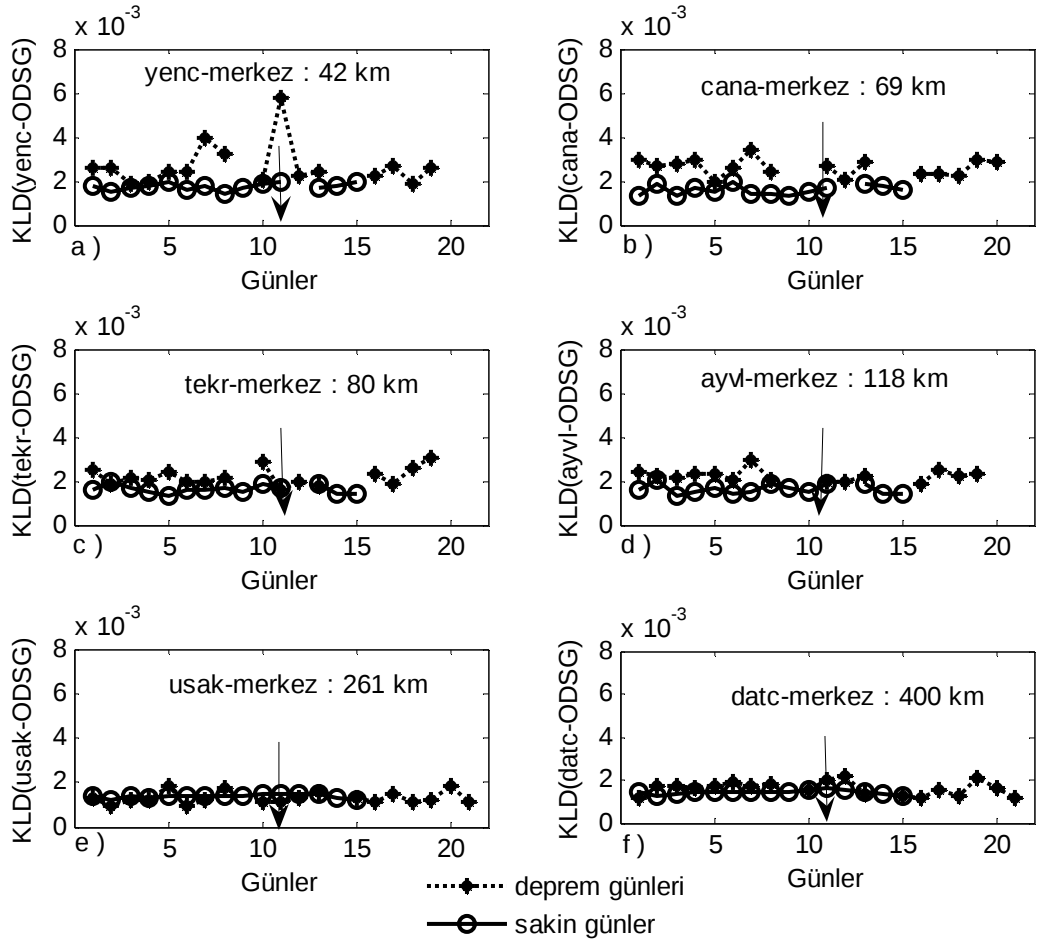


Şekil 5.23. E2 depremi ile ODSG ve sakin günler ile ODSG eşleşmeleri için:
a) yenc, b) cana, c) tekr, d) ayvl, e) usak, f) datc istasyonuna ait ÇİK değerleri.

Şekil 5.24 ve 5.25’de, kullanılan her bir YKS istasyonu için sırasıyla E1 ve E2 depremleri ve sakin günler ile ODSG arasındaki KLD değerleri verilmiştir. Deprem merkezine yakın istasyonlarda deprem-ODSG eşleşmesi değerlerinin sakin-ODSG eşleşmesi değerlerinden büyük olduğu, istasyonların deprem merkezine uzaklığı arttıkça bu eşleşmelerin birbirine çok yakın değerlerde olduğu Şekil 5.24 ve 5.25’den gözlenmektedir. Depremin büyüklüğü arttıkça deprem-ODSG eşleşmesi değerlerinin de arttığı Şekil 5.24 ve 5.25 karşılaştırıldığında görülmektedir.

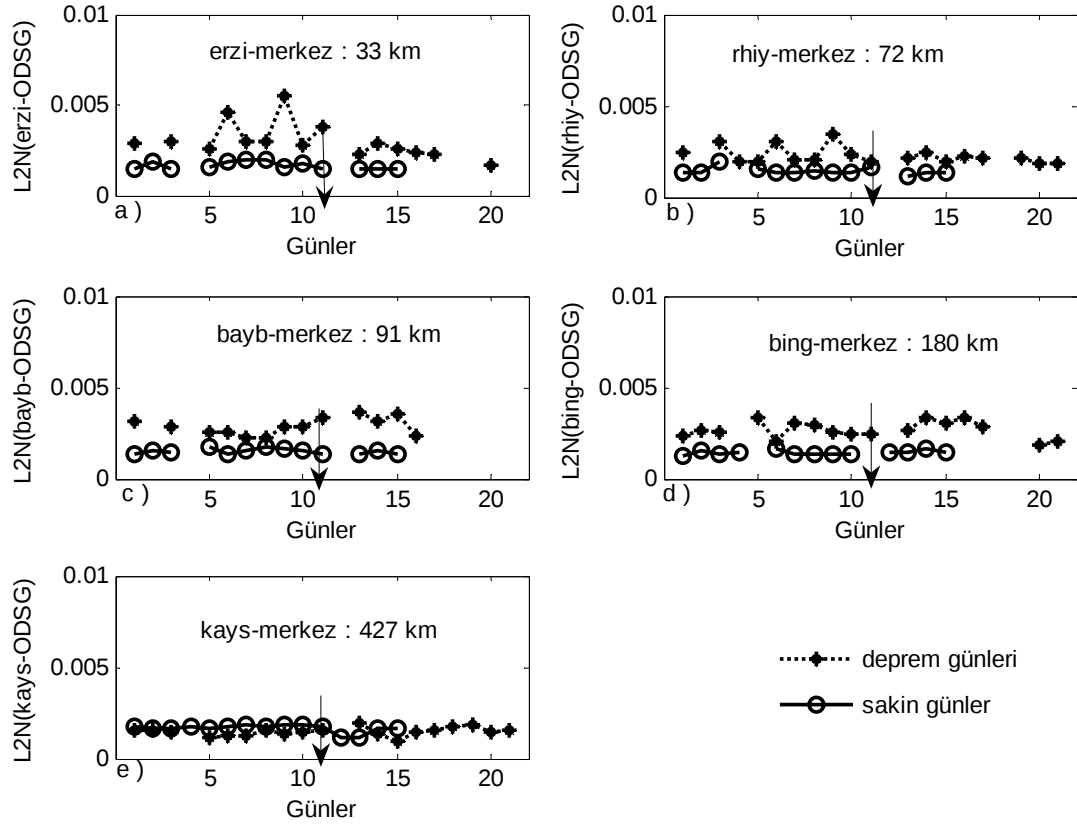


Şekil 5.24 E1 depremi ile ODSG ve sakın günleri ile ODSG eşleşmeleri için: a) erzi, b) rhiy, c) bayb, d) bing, e) kays istasyonuna ait KLD değerleri.

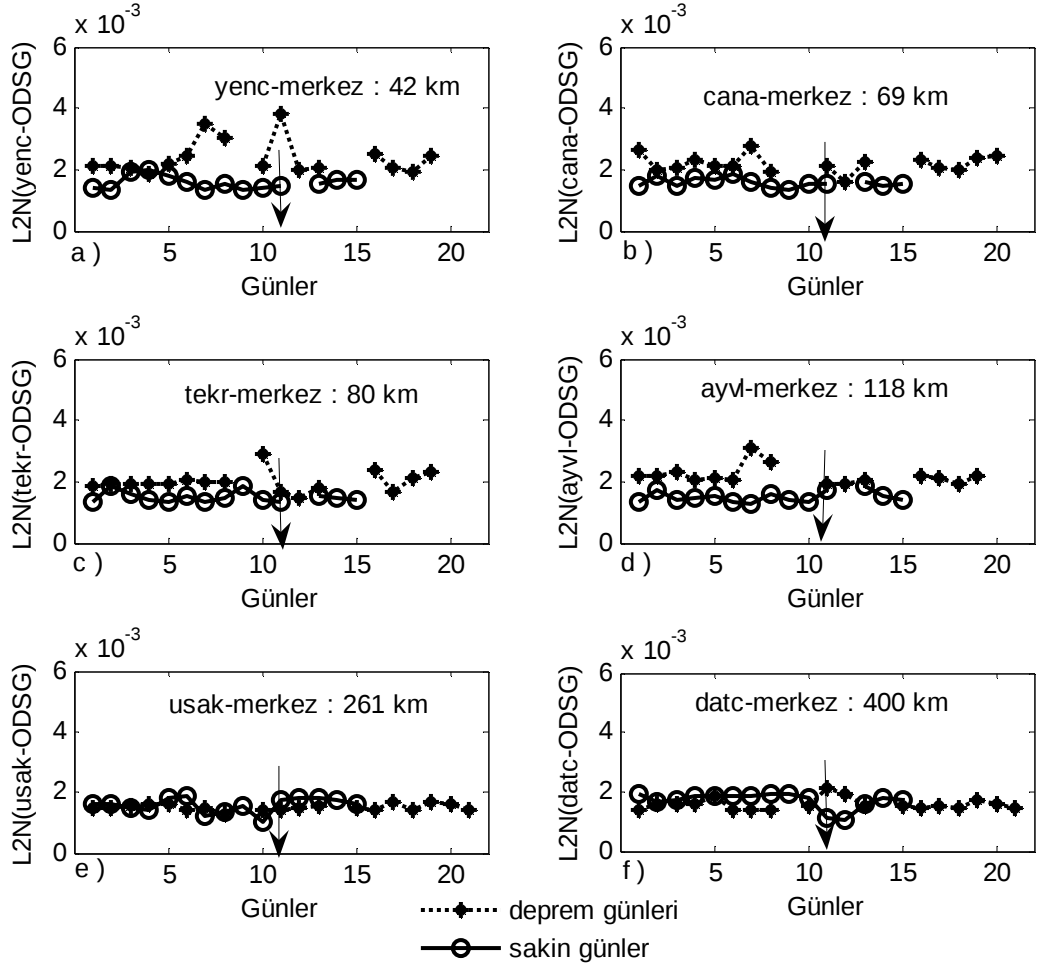


Şekil 5.25. E2 depremi ile ODSG ve sakin günler ile ODSG eşleşmeleri için: a) yenc, b) cana, c) tekr, d) ayvl, e) usak, f) datc istasyonuna ait KLD değerleri.

Şekil 5.26 ve 5.27’de, kullanılan her bir YKS istasyonu için sırasıyla E1 ve E2 depremleri ve sakin günler ile ODSG arasındaki L2N değerleri verilmiştir. Deprem merkezine yakın istasyonlarda özellikle deprem gününden önceki günlerde deprem-ODSG eşleşmesi değerlerinin sakin-ODSG eşleşmesi değerlerinden büyük olduğu Şekil 5.26 ve 5.27’den görülmektedir. Deprem merkezine 180’den uzak olan istasyonların deprem-ODSG eşleşmesi ile sakin-ODSG eşleşmesi değerlerinin birbirine çok yakın olduğu yine Şekil 5.26 ve 5.27’den de gözlenmektedir.



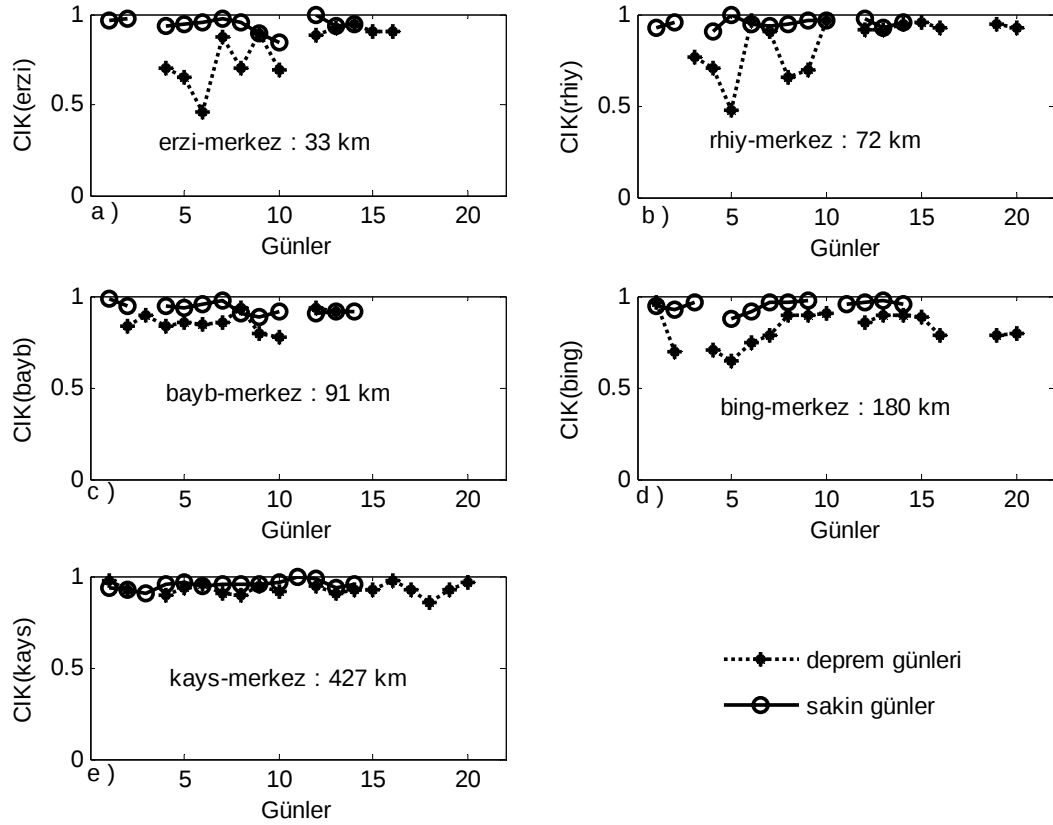
Şekil 5.26. E1 depremi ile ODSG ve sakın günler ile ODSG eşleşmeleri için: a) erzi, b) rhiy, c) bayb, d) bing, e) kays istasyonuna ait L2N değerleri.



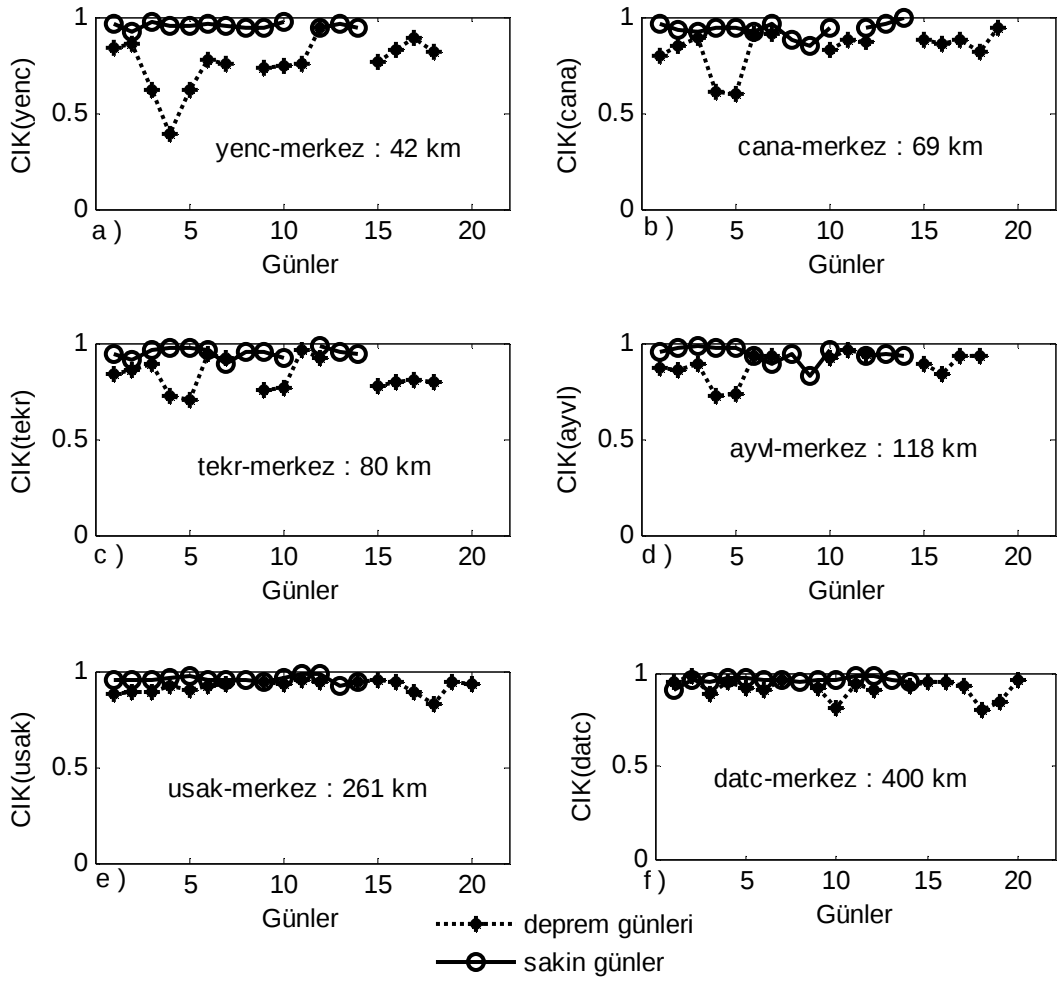
Şekil 5.27. E2 depremi ile ODSG ve sakin günler ile ODSG eşleşmeleri için: a) yenc, b) cana, c) tekr, d) ayvl, e) usak, f) datc istasyonuna ait L2N değerleri.

Üçüncü grup uygulamada Eşitlik 4.7 ile verilen ÇİK yöntemi, Eşitlik 4.11 ile verilen KLD yöntemi ve Eşitlik 4.14 ile verilen L2N yöntemi, çalışma kapsamında kullanılan her bir YKS istasyonunun ardışık deprem günleri ve ardışık sakin günleri arasında uygulanmıştır. Bu uygulamayla, ardışık sakin günler arasındaki ÇİK değerlerinin +1'e yakın değiştiği, ardışık deprem günlerinde ise ÇİK değerlerinin +0.2'ye kadar düşerek zayıf ilinti sergilediği gözlenmiştir. Ardışık deprem günleri için elde edilen KLD değerlerinin, ardışık sakin günler için elde edilen KLD değerlerinden yaklaşık olarak 10 kat büyük olduğu görülmüştür. Benzer olarak ardışık deprem günleri için elde edilen L2N değerlerinin, ardışık sakin günler için elde edilen L2N değerlerinden yaklaşık olarak 2 kat büyük olduğu gözlenmiştir. Bu uygulamada her üç yöntemin de deprem günlerini, sakin günlerden ayırdığı gözlenmiştir. Bu uygulamaya bir örnek olarak Şekil 5.28 ve 5.29'da, istasyonların deprem merkezlerine olan uzaklığına göre sırasıyla E1 ve E2 depremleri için ardışık deprem günleri ve ardışık sakin günler arasındaki ÇİK değerleri verilmiştir. Deprem merkezlerine yakın olan

istasyonlarda $\dot{C}IK$ değerlerinin deprem öncesi günlerde zayıf ilintili olduğu görülmektedir. Deprem merkezlerine daha uzak olan kays (427 km), usak (261 km) ve datc (400 km) istasyonları için ardışık deprem ve ardışık sakin günlerde ilintinin benzer ve yüksek olduğu yine Şekil 5.28 ve 5.29'dan gözlenmektedir.

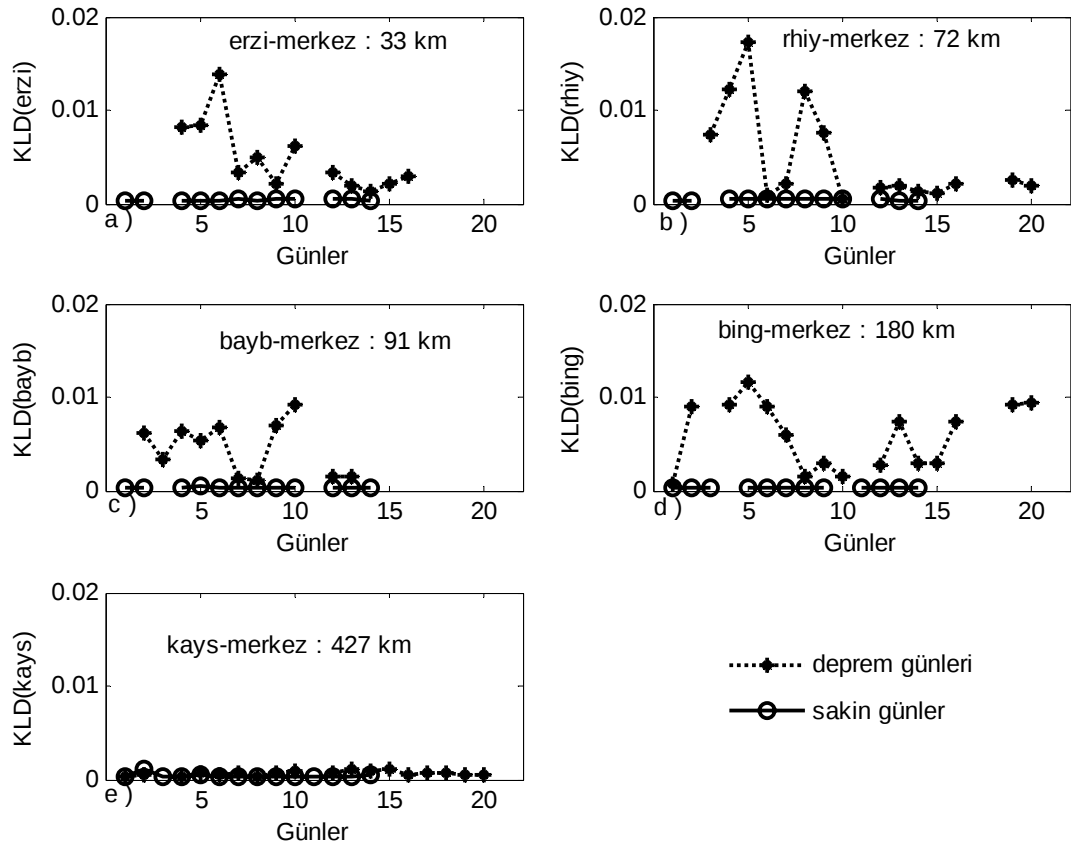


Şekil 5.28. Ardışık E1 günleri ve ardışık sakin günler arasındaki $\dot{C}IK$ değerleri:
a) erzi, b) rhiy, c) bayb, d) bing, e) kays.

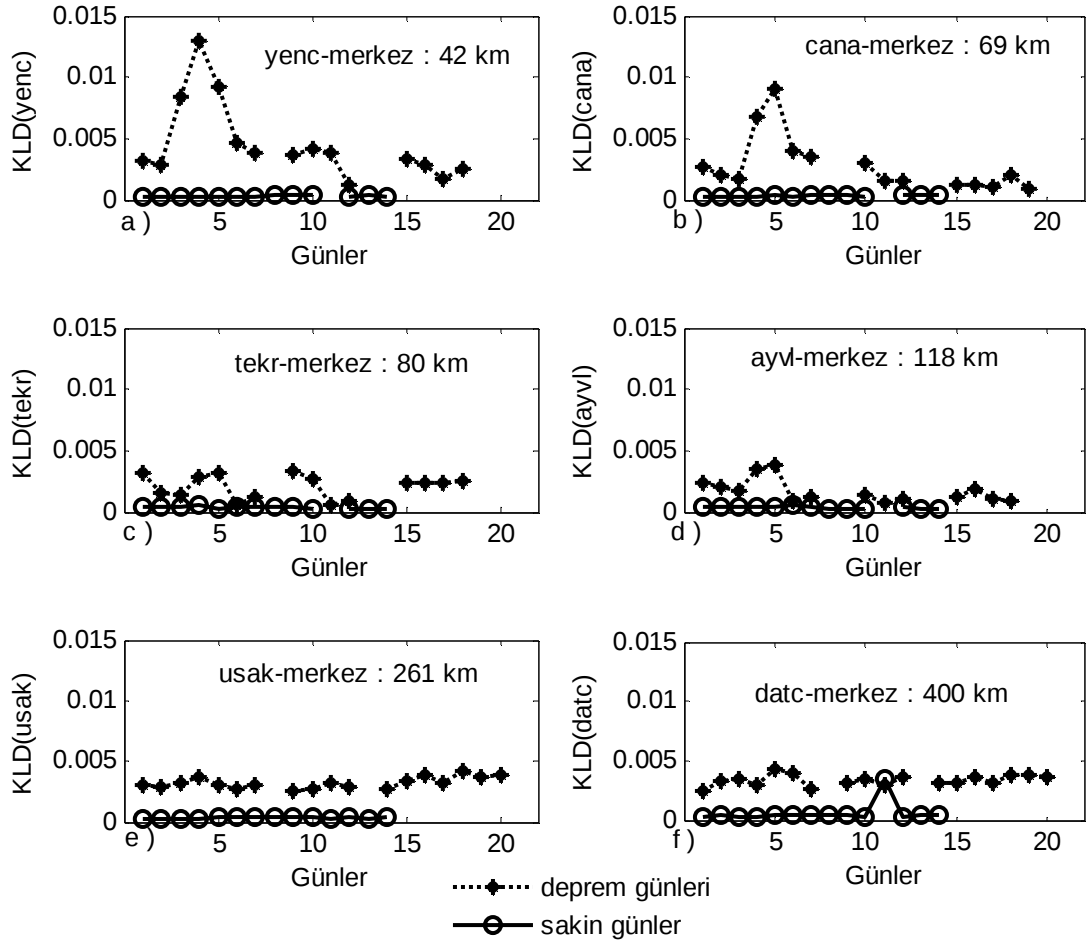


Şekil 5.29. Ardışık E2 günleri ve ardışık sakin günler arasındaki ÇİK değerleri:
a) yenc, b) cana, c) tekr, d) ayvl, e) usak, f) datc.

Şekil 5.30 ve 5.31’de, istasyonların deprem merkezlerine olan uzaklığına göre sırasıyla E1 ve E2 depremleri için ardışık deprem günleri ve ardışık sakin günler arasındaki KLD değerleri verilmiştir. Ardışık deprem günlerindeki KLD değerlerinin ardışık sakin günlerdeki KLD değerlerinden çok büyük olduğu ve KLD yönteminin ardışık deprem günlerini 400 km’ye kadar ardışık sakin günlerden çok iyi ayırdığı Şekil 5.30 ve 5.31’den görülmektedir. Büyüklüğü daha fazla olan E1 depremi için KLD değerlerinin E2 depremi için elde edilen KLD değerlerinden özellikle deprem merkezine yakın istasyonlar için daha büyük olduğu Şekil 5.30 ve 5.31’den gözlenmektedir.

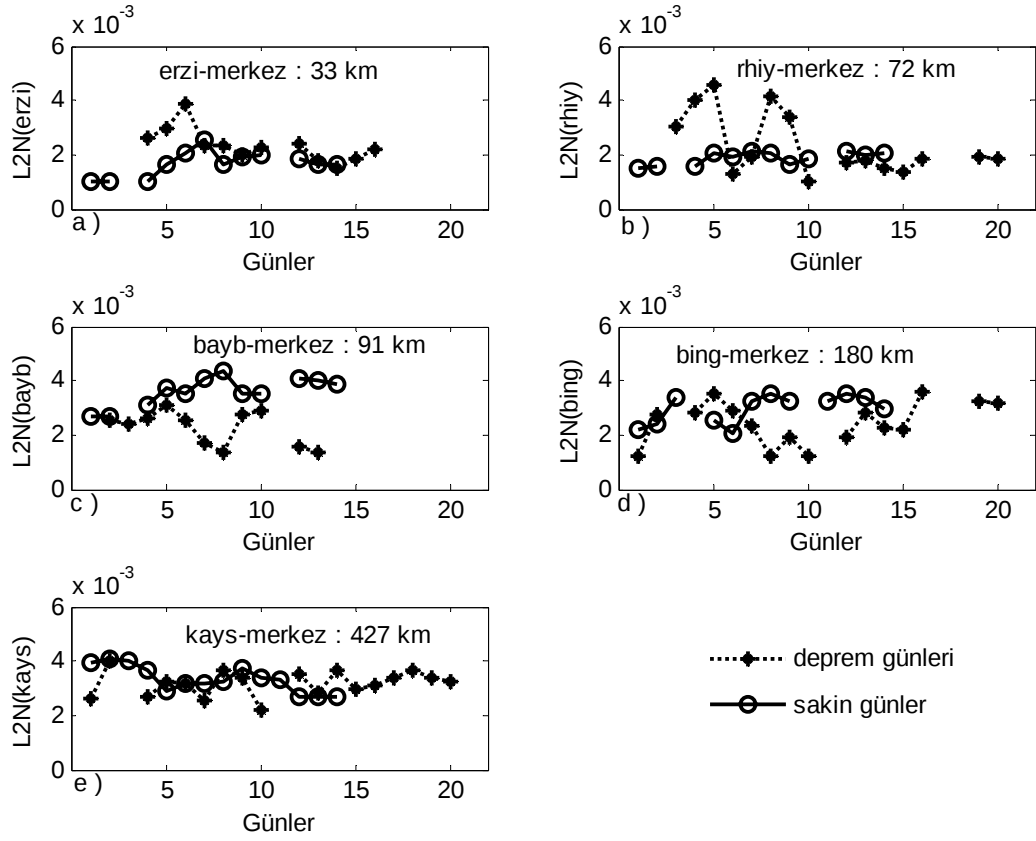


Şekil 5.30. Ardışık E1 günleri ve ardışık sakin günler arasındaki KLD değerleri:
a) erzi, b) rhiy, c) bayb, d) bing, e) kays.

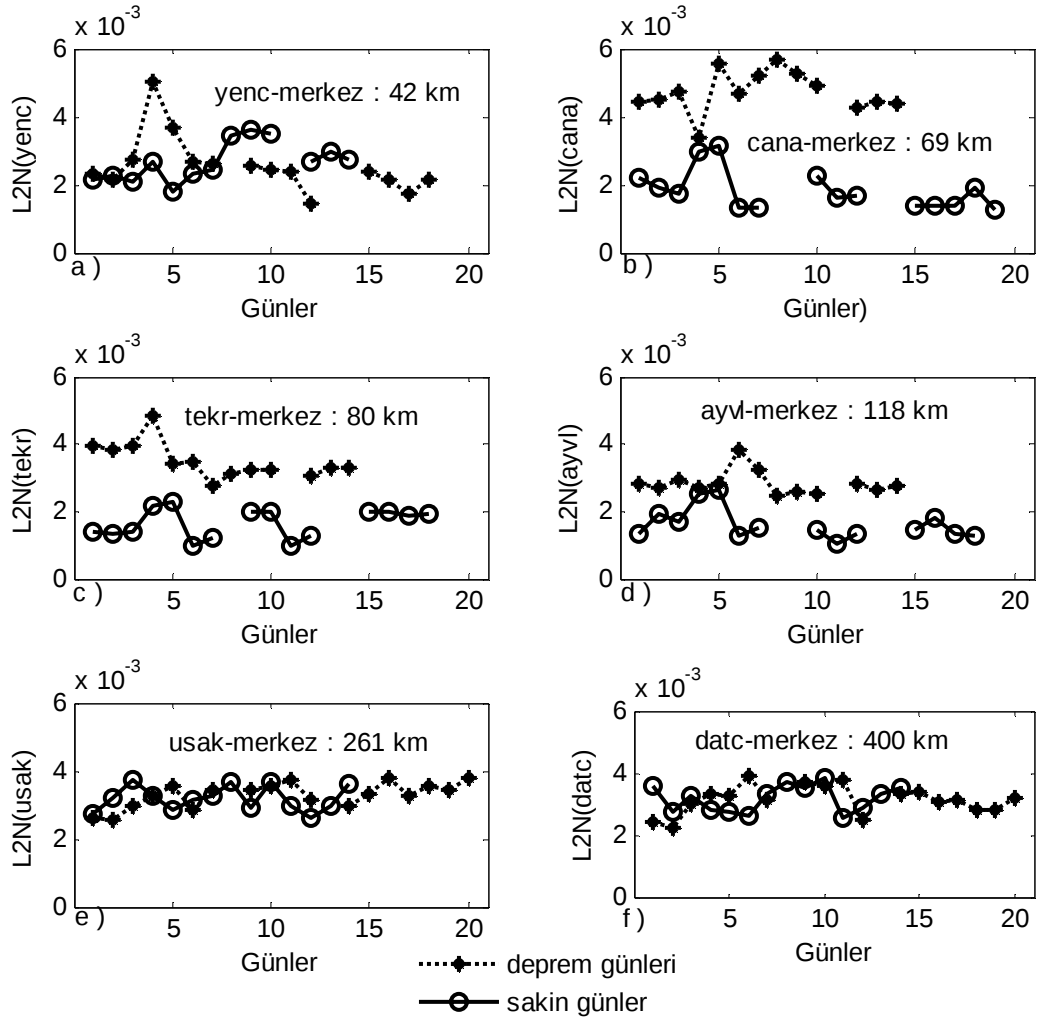


Şekil 5.31. Ardışık E2 günleri ve ardışık sakin günler arasındaki KLD değerleri:
a) yenc, b) cana, c) tekr, d) ayvl, e) usak, f) datc.

Şekil 5.32 ve 5.33’de istasyonların deprem merkezlerine olan uzaklığına göre sırasıyla E1 ve E2 depremleri için ardışık deprem günleri ve ardışık sakin günler arasındaki L2N değerleri verilmiştir. Her iki deprem için istasyonların deprem merkezine olan uzaklığı arttıkça, ardışık deprem günleri ve ardışık sakin günlerdeki L2N değerlerinin birbirine yaklaştığı Şekil 5.32 ve 5.33’den görülmektedir. 180 km uzaklık sınırından sonra her iki dönem için elde edilen L2N değerlerin birbirine benzediği ve deprem merkezine yakın olan istasyonlarda ardışık deprem günleri ve ardışık sakin günler arasındaki farkın ise büyüdüğü Şekil 5.32 ve 5.33’den gözlenmektedir.



Şekil 5.32. Ardışık E1 günleri ve ardışık sakın günler arasındaki L2N değerleri:
a) erzi, b) rhiy, c) bayb, d) bing, e) kays.



Şekil 5.33. Ardışık E2 günleri ve ardışık sakin günler arasındaki L2N değerleri:
a) yenc, b) cana, c) tekr, d) ayvl, e) usak, f) datc.

Türkiye sismik bölgesi için yapılan bu çalışmada, Türkiye’de Kuzey Anadolu Fay Hattı’nda meydana gelen benzer jeolojik ve sismik özelliklere sahip iki deprem ve iki sakin dönem için Çapraz İlinti Katsayısı, simetrik Kullback-Leibler Mesafesi ve L2-Normu yöntemleri, TUSAGA-Aktif YKS istasyonlarından elde edilen günlük TEİ verileri üzerinde uygulanarak karşılaştırmalar yapılmıştır. İyonüredeki sismik hareketliliğin yarattığı bozulma etkilerini herhangi bir bozulmanın olmadığı günlerden ayırmak için istatistiksel yöntemler sakin günler için de uygulanmıştır. Çalışma, TÜBİTAK EEEAG 109E055 numaralı proje tarafından desteklenmiş ve elde edilen bulgular proje kapsamında bir rapor olarak sunulmuştur. Türkiye için elde edilen bu bulgular ışığında bu üç yöntemin, deprem alarm sinyali oluşturabilmek adına geliştirilmeye ihtiyacı olduğu sonucuna varılmıştır.

6. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Bu çalışmada, sismik hareketliliğin iyonkürede meydana getirdiği etkiler, Yerküresel Konumlama Sisteminden (YKS) elde edilen Toplam Elektron İçeriği (TEİ) verileriyle, Çapraz İlinti Katsayısı (ÇİK), simetrik Kullback-Leibler Mesafesi (KLD), L2-Normu (L2N), kayan pencere istatistiksel analizi ve Dağılımlar Iraksaklığı ve Dağılımlar Farkı olmak üzere beş istatistiksel yöntem kullanılarak incelenmiştir. Sismik hareketliliğin iyonkürede yarattığı bozulmalar, iyonkürenin jeomanyetik olarak bozulduğu ve iyonkürenin jeomanyetik açıdan sakin olduğu yapıyla karşılaştırılmıştır. İncelemeler Japonya ile Çin sismik bölgeleri ve Türkiye sismik bölgesi olmak üzere iki farklı bölge için yapılmıştır. Kullanılan istatistiksel yöntemler, istasyonlar arası çaprazlama karşılaştırması (Grup I), Ortalama Değer Sakin Gün karşılaştırması (ODSG) (Grup II) ve ardışık günler karşılaştırması (Grup III) olmak üzere üç farklı uygulama grubu içinde kullanılmıştır.

Japonya ve Çin sismik bölgeleri için yapılan incelemelerde büyüklüğü ve jeofiziksel özellikleri farklı altı deprem ve iki çok kuvvetli iyonküresel jeomanyetik fırtına seçilmiştir. IONOLAB TEİ kestirimleri bu bölgelerde konumlanmış sekiz IGS-YKS istasyonu için her bir depremden on beş gün öncesi ve sonrası olmak üzere deprem dönemleri için, jeomanyetik bozulmalı dönemler için ve iyonkürenin jeomanyetik açıdan sakin dönemleri için elde edilmiştir. Tüm mesafe kategorilerinde istasyonlar arası çaprazlama uygulaması (Grup-I), ODSG uygulaması (Grup II) ve ardışık günler uygulaması (Grup III) için toplamda 9500'den fazla değer hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar depremin büyüklüğüne, istasyonlar arasındaki mesafeye, istasyonların deprem merkezlerine olan uzaklıklarına, depremlerin derinliğine ve incelenen zaman aralıklarına göre sınıflandırılmıştır. Tüm bu sınıflandırmalar doğrultusunda ÇİK yönteminin istasyonlar arası uygulamayla deprem alarm sinyali oluşturabilmek için kullanılamayacağı gözlenmiştir. KLD ve L2N yöntemlerinin ise bu uygulamayla istasyonlar arası mesafenin 340 km'den az olduğu bölgelerde deprem günlerinin diğer zaman aralıklarındaki günlerden ayırmak için kullanılabileceği görülmüştür. İkinci grup uygulamayla, KLD ve L2N yöntemlerinin deprem merkezlerine mesafesi 150 km'den az olan istasyonlar için deprem alarm sinyali oluşturmada uygun istatistiksel yöntemler olduğu sonucu gözlenmiştir. Üçüncü grup uygulamayla, ÇİK, KLD ve L2N yöntemlerinin hepsinin iyonkürede meydana gelen bir jeomanyetik bozulmayı, sismik bozulmadan ayırmak için uygun istatistiksel yöntemler olduğu görülmüştür.

Türkiye sismik bölgesi için, sismik hareketliliğin iyonkürede meydana getirdiği bozulma etkileri, Harita Genel Komutanlığı tarafından Türkiye üzerine düzgün konumlandırılmış TUSAGA Aktif ağında yer alan YKS istasyonlarından kestirilen TEİ değerleri kullanılarak incelenmiştir. İnceleme için ÇİK, KLD ve L2N olmak üzere üç farklı istatistiksel analiz yöntemi yine üç farklı uygulama grubu içinde kullanılmıştır. Kuzey Anadolu Fay hattı üzerinde meydana gelen benzer

jeolojik özelliklere sahip Çanakkale ve Erzincan depremleri inceleme kapsamında ele alınmıştır. İnceleme zaman aralıkları olarak, kullanılan her bir TUSAGA istasyonunun depremden 10 gün öncesi ve sonrası olmak üzere 21 günlük deprem aralığı ile jeomanyetik ve sismik açıdan hareketliliğin yaşanmadığı, iyonkürenin sakin olduğu 15 günlük zaman aralığı seçilmiştir. Kullanılan TUSAGA-YKS istasyonları bu bağlamda Japonya ve Çin’de kullanılmış olan IGS-YKS istasyonlarına göre deprem merkezlerine ve birbirine çok yakındır. Buna bağlı olarak istasyonlar arası çaprazlama uygulamasında (Grup I) Japonya ve Çin için yapılan çalışmalarda deprem ve sakin günler arasındaki farkı ölçemeyen ÇİK yönteminin, Türkiye’de deprem günlerini sakin günlerden ayırdığı görülmüştür. Sakin günlerde ÇİK değerlerinin yüksek ilinti sergilediği ve deprem döneminde özellikle deprem öncesi günlerde değerlerin 0.5’e kadar düştüğü gözlenmiştir. KLD ve L2N yöntemleri Japonya ve Çin için birbirlerine paralel sonuçlar ortaya koyarken bu çalışmada deprem bozulmasını çaprazlama uygulamasında KLD yöntemi L2N yöntemine göre daha iyi ölçmüştür. Sakin günlerde ise KLD değerleri çok küçük olarak elde edilmiştir. Buna karşın deprem dönemi günlerinde KLD değerleri sakin günlere göre çok büyük olarak gözlenmiştir. Depremin büyüklüğü ve istasyonların deprem merkezine ve merkez olarak seçilen istasyona olan uzaklıkları arttıkça KLD değerlerinde de artış gözlenmiştir. ODSG karşılaştırmasında (Grup II) ÇİK yöntemi Japonya ve Çin sonuçlarına benzer olarak ayırt edici olamamıştır. Hem deprem günlerinde hem de sakin günlerde ÇİK değerlerinin yüksek ilintili olarak değiştiği gözlenmiştir. Bu grup çalışmada KLD yöntemi deprem günlerini sakin günlerden ayırmada L2N yöntemine göre daha başarılı olmuştur. Deprem merkezine 180 km mesafedeki istasyonlarda KLD değerleri sakin günlerden daha büyük olarak gözlenmiştir. Deprem merkezine 50 km uzaklıktaki istasyonlarda L2N yöntemi ile sakin günler ve deprem günleri arasında çok az bir fark gözlenmiştir. Ardışık günler uygulamasında (Grup III) deprem merkezine en fazla 180 km’ye kadar olan istasyonlarda ÇİK değerlerinin deprem günlerinde zayıf ilintili olduğu gözlenmiştir. Buna paralel olarak KLD değerlerinde bu uzaklık alanı içindeki istasyonlarda deprem dönemi günlerinde ani artışlar gözlenmiştir. Her iki yöntem de bu grup uygulamada deprem günlerini ayırt edici olmuştur. L2N değerlerinin ise bu grup çalışmada deprem günlerinde ve sakin günlerde birbirine yakın değiştiği gözlenmiştir.

Bu çalışmayla, kullanılan istatistiksel yöntemlerin, iyonkürede sismik ve jeomanyetik hareketliliğin neden olduğu bozulmanın birbirinden ayrılabilmesi adına oluşturulacak bir alarm sinyali için geliştirilmeye uygun olduğu görülmüştür. Bu nedenle, daha fazla istatistiğin çıkarılabilmesi ve yöntemlerin uygulanabilirliğinin denenmesi için, depremlerin Türkiye’nin önemli bir sorunu olması sebebiyle uzun süreli gözlemler yapılarak özellikle Türkiye üzerinde farklı fay hatlarında meydana gelmiş ve farklı büyüklükteki depremler incelenmelidir. Bu nedenle bu çalışmayla, gelecek çalışmaların, özellikle Türkiye’de sismik hareketliliğin yoğun olduğu ve bu

anlamda tehlike arz eden bölgelere yakın konumlanmış YKS istasyonlarından elde edilen TEİ ile uzay-zaman kestirimlerinin karşılaştırılmasının gerekliliği ortaya konmuştur.

KAYNAKLAR

- [1] Nasa/TM, 2001, Understanding Plasma Interactions with the Atmosphere: the Geospace Electrodynamics Connections Mission, Report of the NASA and Technology Definition Team, 2-3.
- [2] <http://www.windows.ucar.edu/tour/link=/earth/Atmosphere/overview>
- [3] <http://radar.weather.gov/jetstream/atmos/layers>
- [4] Aydoğdu, M., 1980, Ariel 4 uydusuyla elde edilen elektron yoğunluğu verilerinin 70°-80° D ve 60°-70° B boylamları arasında incelenmesi, *Doktora Tezi*, Ege Üniversitesi Fen Fakültesi, İzmir.
- [5] Nayir, H., 2007, Yerküresel Konumlama Sistemi işaretleri kullanarak iyonküre Toplam Elektron İçeriği Kestirimi, *Yüksek Lisans Tezi*, H.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [6] Rishbeth, H. ve Garriot, O.K., 1969, Introduction to Ionospheric Physics, Academic Press, New York.
- [7] Biqiang, Z., Weixing, W., Libo, L., Tian, M., 2007, Morphology in the Total Electron Content under geomagnetic disturbed conditions: results from global ionosphere maps, *Annales Geophysicae*, 25(7): 1555-1568.
- [8] Vlasov, M., Kelley, M.C., Kil, H., 2003, Analysis of ground-based and satellite observations of F-region behavior during the great magnetic storm of July 15, 2000, *Journal of Atmospheric and Solar Terrestrial Physics*, 65, 1223-1234.
- [9] Zhang, D., Xiao, Z., 2000, Study of ionospheric TEC using GPS during the large solar flare burst on November 6, 1997, *Chinese Science Bulletin*, 45(19), 1749-1752.
- [10] Ondoh, T., 2000, Seismo-ionospheric phenomena, *Advances in Space Research*, 26(8), 1267-1272.
- [11] Pulnits, S.A., 2004, Ionospheric precursors of earthquakes; recent advances in theory and practical applications, *TAO*, 15(3), 413-435.
- [12] Pulnits, S.A., Gaivoronska, T.B., Contreras L.A., Ciraolo, I., 2004, Correlation analysis technique revealing ionospheric precursors of earthquake, *Natural Hazards and Earth Systems Sciences*, 4, 697-702.
- [13] Pulnits, S.A., Contreas, A.L., Bisiacchi-Giraldi, G., Ciraolo, L., 2005, Total Elektron Content variations in the ionosphere before the Collima, Mexico earthquake of 21 January 2003, *Geofisica Internacional*, 44(4), 369-377.
- [14] Pulnits, S.A., Kotsarenko, A.N., Ciraolo, L., Pulnits, I.A., 2006, Special case of ionospheric day-to-day variability associated with earthquake preparation, *Advances in Space Research*, 39(2007), 970-977.
- [15] Liu, J.Y., Chen, Y.I., Pulnits, S.A., Tsai, Y.B., Chuo, Y.J., 2000, Seismo-ionospheric signatures prior to M $\geq$ 6.0 Taiwan earthquakes, *Geophysical Research Letters*, 27(19), 3113-3116.

- [16] Liu, J.Y., Chuo, Y.J., Shan, S.J., Tsai, Y.B., Chen, Y.I., Pulinets, S.A., Yu, S.B., 2004, Pre-earthquake ionospheric anomalies registered by continuous GPS TEC measurements, *Annales Geophysicae*, **22**(5), 1585-1593.
- [17] Chuo, Y.J., Chen, Y.I., Liu, J.Y., Pulinets, S.A., 2001, Ionospheric foF2 variations prior to strong earthquakes in Taiwan area, *Advances in Space Research*, **27**(6), 1305-1310.
- [18] Lazo, B., Alazo, K., Rodriguez, M., Calzadilla, A., 2004, TEC variability over Havana for different solar activity conditions, *Advances in Space Research*, **34**(9), 2044-2048.
- [19] Zhang, M. L., Shi, J. K., Wang, X., Radicella, S. M., 2004, Ionospheric variability at low latitude station: Hainan, China, *Advances in Space Research*, **34**(9), 1860-1868.
- [20] Plotkin, V.V., 2003, GPS detection of ionospheric perturbations before the 13 February 2001 El Salvador earthquake, *Natural Hazards and Earth Systems Sciences*, **3**, 249-253.
- [21] Trigunait, A., Parrot, M., Pulinets, S.A., Li, F., 2004, Variations of the ionospheric electron density during the Bhuj seismic event, *Annales Geophysicae*, **22** (12), 4123-4131.
- [22] Bondur, V., Smirnov, V., 2006, Seismoionospheric variations during the earthquake in Pakistan (September 2005) as a precursor of seismic events, *Advances in Space Technologies International Conference*, 2-3 September.
- [23] Smirnova, E.V., Smirnov, V.M., 2007, Monitoring the earth ionosphere during the earthquake by radio transluence method by GPS data, *Proceeding of 3rd RAST (Recent Advances in Space Technologies)*, İstanbul, Turkey, 14-16 June.
- [24] Aydoğdu, M., 1991, Effects of the ionospheric conductivity on the longitudinal structure of the F-region equatorial anomaly, *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics*, **54**(2), 179-182.
- [25] Özcan, O., Aydoğdu, M., 2004, Possible effects of the total solar eclipse of August 11, 1999 on the geomagnetic field variations over Elazığ-Turkey, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, **66**, 997-1000.
- [26] Smirnova E.V., Smirnov, V.M., 2005, Modification of electron density profile about the earthquake epicenter by GPS data, *Proceeding of 2nd RAST (Recent Advances in Space Technologies)*, İstanbul, Turkey, 9-11 June.
- [27] Kouris, S.S., Fotiadis, D.N., 2002, Ionospheric variability: a comparative statistical study, *Advances in Space Research*, **29**(6), 977-985.
- [28] Kouris, S.S., Polimeris, K.V., Cander, L.R., 2006, Specifications of TEC variability, *Advances in Space Research*, **37**(5), 983-1004.
- [29] Cover, T.M., Thomas, A.J., 2006, Elements of Information Theory, Wiley Inter-Science, New York.
- [30] Hall, P., 1987, On Kullback-Leibler loss and estimation, *The Annals of Statistics*, **15**(4), 1491-1519.

- [31] Inglada, J., 2003, Change detection on SAR images by using a parametric estimation of the Kullback-Leibler Divergence, *IGARSS*, **6(21-25)**, 4104-4106.
- [32]. Rached, Z., Alajaji, F., Campbell, L.L., 2004, The Kullback-Leibler Divergence rate between Markov sources, *IEEE Transactions of Information Theory*, **50**, 917-923.
- [33] Bratsolis, E., Sigelle, M., 2003, Kullback-Leibler Divergence and Markov Random Fields for speckled image restoration, *Signal Processing and Its Applications*, **1**, 425-428.
- [34] Chiang, L. H., Braatz, R. D., 2003, Process monitoring using causal map and multivariate statistics fault detection and identification, *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, **65**, 159-178.
- [35] Karatay, S., Arıkan, F., Arıkan, O., 2009, Toplam elektron içeriği ile Litosfer-İyonosfer bağlaşımının incelenmesi, *IEEE of SİU (17. Sinyal İşleme ve Uygulamaları Kurultayı)*, Kocaeli Üniversitesi, Antalya, Türkiye, 9-11 Nisan, s. 261-264.
- [36] Arıkan, F., Karatay, S., Arıkan, O., 2009, Investigation of ionospheric disturbance due to strong earthquakes using Total Electron Content, *Proceeding of EGU (European Geosciences Union)*, Vienna, Austria, 19-24 April.
- [37] Karatay, S., Arıkan, F., Arıkan, O., 2009, Investigation of hourly and daily patterns for Lithosphere-Ionosphere coupling before strong earthquakes, *Proceeding of IEEE of 4th RAST (Recent Advances in Space Technologies)*, İstanbul, Turkey, 11-13 June, 670-674.
- [38] Karatay, S., Arıkan, F., Arıkan, O., Sayın, I., Aysezen, M.Ş., Lenk, Dr.Müh. O., Aktuğ, Doç.Müh. B., 2010, Litosfer-İyonosfer bağlaşımının TUSAGA Aktif TEİ kestirimleri ile incelenmesi, *IEEE of SİU (18. Sinyal İşleme ve Uygulamalar Kurultayı)*, Diyarbakır, Türkiye, 22-23 Nisan, s. 463-466.
- [39] Karatay, S., Arıkan, F., Arıkan, O., 2010, Comparison of ionospheric variations in seismic and quiet days by using TUSAGA-Active GPS TEC estimates, *Proceeding of BSS (Beacon Satellite Symposium)*, Barcelona, Spain, 7-11 June.
- [40] Kreyszig, E., 1988, Advanced Engineering Mathematics, John Wiley & Sons Inc., New York.
- [41] Arıkan F., C.B., Erol, 1998, Statistical characterization of time variability in midlatitude single tone HF channel response, *Radio Science*, **33(5)**, 1429-1444.
- [42]. Erol, C.B., Arıkan F., 2005, Statistical characterization of the ionosphere using GPS Signals, *Journal of Electromagnetic Waves and Applications*, **19(3)**, 373-387.
- [43] Aydoğdu, M., 1988, Dip Ekvatoru Üzerindeki İyonkürenin F-Bölgesindeki Elektron Kayıp Katsayısının (β) Hesaplanması, *Doğa*, **12**, 14-21.
- [44] Rishbeth, H., 1967, A Review of Ionospheric F Region Theory, *Proceedings of The Iee*, **55**, 16-35.
- [45] Tascione, T.F., 1988, Introduction to the Space Environment, Orbit Book Company, Florida.

- [46] Aydoğdu, M., 1986, North-south asymmetry in NmF2 at mid-latitude conjugate ionospheric produced by asymmetrical thermospheric winds, *Journal of Geomagnetic Geoelectrics*, **39**, 177-185.
- [47] Aydoğdu, M., Yeşil, A., Güzel, E., 2003, The group refractive indices of HF waves in the ionosphere and departure from the magnitude without collisions, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, **66**, 343-348.
- [48] Aydogdu, M., Ozcan, O., 1996, Effect of magnetic declination on refractive index and wave polarization coefficients of electromagnetic waves in mid-latitude ionosphere, *Indian Journal of Radio & Space Physics*, **25**, 263-270.
- [49] Aydoğdu, M., Güzel, E., Yeşil, A., Özcan, O., Canyılmaz, M., 2007, Comparison of the calculated absorption and the measured field strength of HF waves reflected from the ionosphere, *Il Nuovo Cimento DOI 10.1393/ncc/i2007-10245-7*, **30**, 243-253.
- [50] [http://en.wikipedia.org/wiki/Plasma_\(physics\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Plasma_(physics))
- [51] Sharma, D.K., Rai, J., Israil, M., Shalini, P., Subrahmanyam, P., Chopra, P., Grg, S.C., 2003, Sunrise effect on ionospheric temperatures as measured by SROSS-C2 satellite, *Journal of Indian Geophysical Union*, **7(2)**, 117-123.
- [52] Bailey, G.J., Simmons, P.A., Moffett, R.J., 1987, A theoretical study of the relationship between electron temperature and electron concentration in the daytime mid- to low latitude F-Layer, *Planetary Space Science*, **35(7)**, 887-901.
- [53] Hawarey, M., Ayan, T., 2004, Uzay mekiği tırmanışı, deprem ve füze fırlatışından kaynaklanan TEC değişimlerinin GPS ile belirlenmesi, *İTÜ Dergisi*, **3**, 45-46.
- [54] Schuh, H., Hobiger, T., Boehm, J., Determination of Ionospheric Parameters by Geodetic VLBI, Report of Institute of Geodesy and Geophysics IGG, University of Technology, Vienna.
- [55] Naaman, Sh., Alperovich, L.S., Wdowinski, Sh., Hayakawa, M., Calasis, E., 2001, Comparison of simultaneous variations of the ionospheric Total Electron Content and geomagnetic field associated with strong earthquakes, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, **1**, 53-59.
- [56] Eftaxiadis, K., Cervera, M.A., Thomas, R.M., A Global Positioning System Receiver for Monitoring Ionospheric Total Electron Content.
<http://dspace.dsto.defence.gov.au/dspace/handle/1947/4006>
- [57] Shagimuratov, I. I., Baran, W., Wielgosz, P., 2002, Yakimova, G. A., The structure of mid and high-latitude ionosphere during September 1999 storm event obtained from observations, *Annales Geophysicae*, **20**, 655-661.
- [58] High Frequency Active Auroral Research Program WEB
<http://www.harp.alaska.edu>
- [59] De Canck, M.H., 2007, Ionosphere properties and behaviors, *Antennex*, **119**, 6-7.

- [60] Mosna, Z., Sauli, P., Santolik, O., 2007, Preparation of a database for the study of scaling phenomena in the ionosphere, *WDS'07 Proceeding of Contributed Papers*, **2**, 86-92.
- [61] <http://www.oulu.fi/~spaceweb/textbook/indices1>
- [62] Nayir, H., Arikan, F., Arikan, O., Erol, C.B., 2007, Total Electron Content estimation with Reg-Est, *Journal of Geophysical Research-Space Physics*, **112**, A11313.
- [63] Arıcı, H., 2005, İstatistik Yöntemler ve Uygulamalar, METEKSAN, Ankara, 90-103.
- [64] <http://earthquake.usgs.gov/regional/world>
- [65] http://www.swpc.noaa.gov/ftpmenu/indices/old_indices
- [66] <http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/dstdir/>
- [67] <http://www.cbk.waw.pl/rwc/idce.html>
- [68] <http://igscb.jpl.nasa.gov/>
- [69] Arikan, F., C. B. Erol and O. Arikan, 2003, Regularized estimation of vertical total electron content from Global Positioning System data, *Journal of Geophysical Research-Space Physics*, **109**(A12), 1469, doi:10.1029/2003JA009605.
- [70] <http://www.ionolab.org>
- [71] www.koeri.boun.edu.tr
- [72] Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., Collins, J., 1992, Theory and Practice of GPS, SpringerWien, NewYork.
- [73] Ducic, V., Artu, J., Occhipinti, G., Lononne, P., Detection of Ionospheric Shaking and Heating After the Hector Mine Earthquake, Report of Département de Géophysique Spatiale et Planétaire, Institut de Physique du Globe de Paris, France.
- [74] <http://www.biltek.tubitak.gov.tr>
- [75] <http://tr.wikipedia.org>

EKLER

EK A: Yerküresel Konumlama Sistemi (GPS-Global Positioning System)

Yerküresel Konumlama Sistemi (YKS) şeklinde açılımı olan sistem, uydu tabanlı radyo seyir sistemine verilen addır. Amerikan Savunma Bakanlığı'nın denetiminde ve kontrolünde olup askeri veya sivil amaçlı olarak kullanılmaktadır. YKS, Uydu segmenti, Kontrol segmenti ve Kullanıcı segmenti olmak üzere üç ana kısımda incelenebilir. Uyduların Yer'in yüzeyinden yüksekliği 20.200 km'dir ve 24 aktif uyduyu kapsamaktadır. Bazı eski uydularının yerine yenilerinin gönderilmesi nedeniyle bu sayı değişebilmektedir. Her bir uydu dünya üzerindeki turunu 12 saatte tamamlamaktadır. Dünyanın kendi eksenini etrafındaki hareketinden dolayı her bir uydu dünya üzerindeki belirli bir noktadan 24 saat içinde iki kez geçmektedir. İlk uydu 1978 yılında yörüngeye oturtulmuş olup 24 aktif uyduya ulaşılması 1994 yılında gerçekleşmiştir. YKS uyduları güneş enerjisi ile çalışmaktadır. Güneş enerjisini kullanamadığı durumlarda faaliyetlerinin devamı için uydular üzerinde yedek piller bulunmaktadır. Her bir uydunun ömrü yaklaşık 10 yıldır. Kontrol Segmenti YKS uydularını izler, uydular için gerekli olan zaman ve yörünge düzeltme bilgilerini sağlar. YKS kontrol segmenti beş yer istasyonundan oluşmaktadır. Ana kontrol merkezi Colorado'da bulunan Falcon Hava Kuvvetleri Üssüdür. Burada YKS uydularından alınan işaretlerin seviyelerine göre yörünge verileri hesaplanır, yörünge ve zaman düzeltme bilgileri uydulara gönderilir [5].

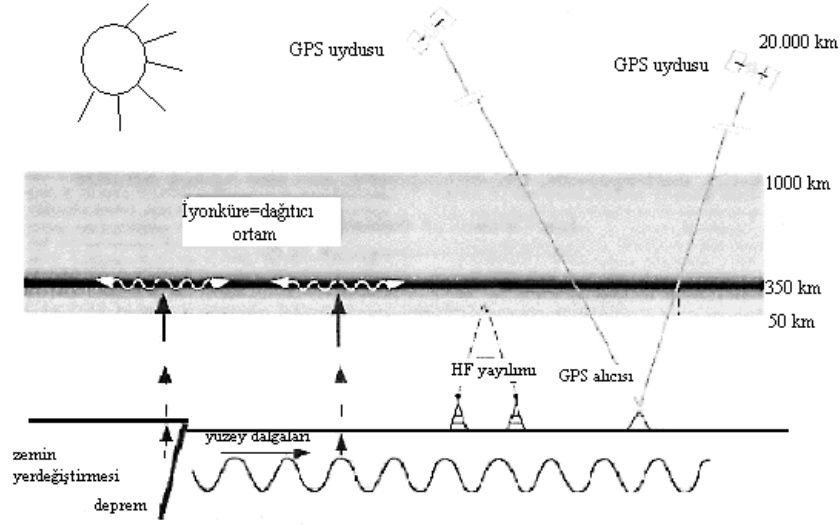
Herhangi bir zamanda, dünyanın herhangi bir yerinde bulunan bir kullanıcının konumunu belirleyen ve en az 4 uydudan kod-faz varış zamanının ölçülmesi esasına dayanan bir uydu ölçme sistemidir. Ülke jeodezik ağlarının ölçülmesi ve sıklaştırılması, detay ölçmeleri, aplikasyon uygulamaları, CBS için veri toplama gibi birçok alanda kolaylık sağlayan, çalışmalara hız ve ekonomi getiren bir yöntemdir. Uyduların yörünge hareketi 12 saat sürer. Ufuk çizgisi üzerinde erişilebilen maksimum uydu sayısı günün saati ve konuma bağlı olarak 8–12 arasında değişir. 3 boyutlu pozisyon elde edebilmek için en az 4 adet uydudan yayınlanan sinyalin işlenmesi gerekir. Normal şartlarda yani çevrede YKS sinyallerini engelleyecek fiziksel engel yok ise en az 6–8 arası sayıda uydu ile iletişim kurulur [72].

Sistem, temel olarak jeodezideki en eski tekniklerden biri olan “geriden kestirme” esasına dayanır. Geriden kestirme, konumu bilinmeyen bir noktadan konumu bilinen noktalara yapılan gözlem ve hesapları kapsar. Konumu bilinen noktalar YKS uydularıdır. Bilinmeyenler, bulunulan noktanın yer merkezli (earth-fixed) kartezyen koordinatlarıdır (X, Y, Z). Matematik kuralı olarak bu 3 bilinmeyen için 3 ölçü değeri yetiyor gibi gözükse de, saat hatalarını ortadan kaldırmak için en az 4 tane konumu bilinen uyduya ihtiyaç vardır. YKS, 4 boyutlu bir sistemdir

(3D+zaman). Uydularla konum belirlemede uydu sinyallerinin bir alıcı tarafından kaydedilerek, sinyalin uydudan yayınlandığı an ile alıcıda kaydedildiği an arasında geçen süre çok hassas olarak ölçülür. Bu süre, sinyalin yayılma hızı ile çarpılarak uydu ile alıcı arasındaki mesafe belirlenir, uydunun koordinatları zamana bağlı olarak bilindiğinden, alıcının konumu hesaplanabilir. Uydular, yüksek doğruluklu atomik saatler içerirler [72].

YKS uyduları, iki mikrodalga taşıyıcı sinyali iletirler. Uydular bu sinyallerle **faz** ve **kod** ölçüleri ile kendi konum bilgilerini (efemeris) yayınlarlar. Sinyaller iki farklı frekansta taşıyıcı dalga üzerinden iletilirler. L1 frekansı 1575,42 MHz, dalga boyu 19 cm, L2 frekansı 1227,60 MHz, dalga boyu 24 cm'dir. Faz ölçülerinden uzaklık belirlemede alıcı ile uydu arasında ilk irtibat kurulmasından itibaren, taşıyıcı dalgaların (L1, L2) alıcıya giren tepe noktaları sayısı ölçülmektedir. 20 km'den uzun bazların çözümünde statik ölçme kullanılır. Güvenilir ve yüksek duyarlık istenen çalışmaları kapsamaktadır. Ölçü süresi uzundur ve baz uzunluğu ile orantılıdır. Kayıt aralığı 10 sn'dir. Bilinen bir noktadaki konumlama hatalarının belirlenip, aynı bölgedeki başka alıcıların konum hesaplarının düzeltilerek doğruluğun arttırıldığı tekniğe "Diferansiyel YKS (DYKS)" denir. Bu sistemde konumu belirli referans noktası üzerinde ölçme yapılmakta ve temel olarak ölçülerin olması gereken değerleri ölçülerle karşılaştırılmaktadır. Uygulama alanları; navigasyon, araç takibi, filo yönetimi, GIS veri toplama, hassas tarım vb. DYKS, sistem olarak alıcı ve alıcının o anki konumuna bağlı yansıma ve sinyal gürültüsü gibi hataları elemine edememekte ancak birçok uygulama bu hataların ihmal edilebilir mertebede olacak şekilde hazırlanması nedeniyle etkin biçimde kullanılmaktadır. Bu tür hataları elemine etmek için taşıyıcı dalga faz ölçüleri ile kod ölçülerini filtreleme gibi diğer yöntemler kullanılmaktadır. YKS'de hatalar uydu kaynaklı, sinyal yayılması kaynaklı ya da alıcı kaynaklı olabilir [72].

Yer'in yüzeyinden itibaren yaklaşık 50 km kalınlığındaki tabakayı Troposfer, buradan itibaren yaklaşık 950 km kalınlığındaki tabakayı ise İyonküre olarak kabul ediyoruz. Uydu sinyalleri alıcıya ulaşmaya kadar bu tabakalarda bir yol izlemektedir. Bu tabakalarda karşılaştığı dirençten dolayı bir gecikmeye uğrar. İyonküre'deki gecikme, sinyal yolu boyunca elektron aktivitesine bağlıdır ve metreküpteki elektron sayısının işlevi olarak hesaplanır. Bu işlev, zamana ve enleme bağlı olarak hızlı bir değişim gösterir. İyonküresel gecikmenin giderilmesi için, farklı frekanstaki dalgaların farklı dirençle karşılaşacağı gerçeğinden hareket ederek çift frekanslı YKS alıcıları kullanılmalıdır. Bu nedenle ölçülecek mesafeler büyüdükçe çift frekansta ölçü alma daha büyük önem taşır [72]. Şekil A1'de farklı frekanslardaki dalgaların Troposfer ve İyonküre'deki davranışları gösterilmektedir.



Şekil A1. YKS sinyallerinin İyonküre üzerinden alıcıya ulaşması.

İyonküre boyunca yayılan bir elektromanyetik sinyal iki biçimde etkilenir. Faz hızı artarken grup hızı azalır. Her iki etki de büyüklük olarak aynı fakat ters işaretlidir. Diğer bir deyişle YKS kod ölçmeleri gecikir, fakat taşıyıcı faz ölçmeleri ise hızlanır. Bu yüzden uydu ile alıcı arasındaki geometrik uzunluğa kıyasla kod ön-uzunlukları daha uzun, taşıyıcı faz ön-uzunlukları daha kısa ölçülür. Her ikisinde de boyut aynıdır. İyonküresel kırılmanın neden olduğu uzunluktaki değişim, Toplam Elektron İçeriğinin (TEİ) belirlenmesiyle ölçülmüş olur.

İki frekansta yapılan gözlemleri birleştirme, İyonküresel etkileri gidermede en kolay ve en doğru yöntemdir. Zaten YKS'ye iki tane taşıyıcı dalga yerleştirilmiş olmasının ana nedeni de bu çift-frekans yöntemi kullanımına olanak tanımaktır. Ancak, sadece tek frekans ölçmelerinin mevcut olduğu durumlarda İyonküresel etkileri giderecek modeller bir kaç yıldan beri geliştirilmektedir. Gerçek-zamanlı YKS uygulamaları için gerçekleştirilen bu yerel modeller genel modellerden çok daha doğru sonuçlar üretir. Tek frekans ölçmeleriyle İyonküresel gecikmeleri hesaplayan modeller kullanarak elde edilen sonuçlar oldukça iyi olmasına rağmen çift-frekanslı ölçmelerin kullanılması halinde en iyi sonuçlar elde edilir. Tek frekanslı ölçmelerin ve İyonküresel modellerin yüksek duyarlılık gerektiren uygulamalarda pek kullanılmayacağı görülmüştür [73].

EK B: Deprem Dönemleri, Sakin Dönem ve Bozulmalı Dönem Zaman Aralıklarındaki Kp-indisi ve Ap-indisi Değerleri

Çizelge B1. 25 Eylül 2003 Hokkaido Depremi için
10 Eylül-10 Ekim 2003 tarihli jeomanyetik indisler [65].

Tarih (G.A.Y.)	Ap-indisi	Kp-indisi
10.09.2003	19	4 2 3 4 3 3 4 3
11.09.2003	15	4 5 2 3 3 3 3 3
12.09.2003	11	3 3 3 3 3 3 2 2
13.09.2003	11	3 3 3 3 2 2 2 2
14.09.2003	7	2 1 2 2 2 3 2 2
15.09.2003	6	2 1 1 2 2 2 2 3
16.09.2003	37	4 3 5 5 6 5 4 2
17.09.2003	61	5 5 5 7 7 4 4 5
18.09.2003	40	4 6 5 6 4 4 4 5
19.09.2003	32	4 4 5 5 5 4 4 3
20.09.2003	25	4 4 5 4 4 4 3 2
21.09.2003	21	4 3 4 4 5 4 3 3
22.09.2003	18	3 4 4 4 4 3 4 2
23.09.2003	17	3 4 3 3 3 3 4 3
24.09.2003	33	5 5 5 4 4 4 4 4
25.09.2003	28	4 4 5 5 4 4 4 3
26.09.2003	17	3 3 4 4 3 3 3 3
27.09.2003	9	3 2 2 3 2 2 2 2
28.09.2003	6	2 1 2 3 2 2 2 1
29.09.2003	7	2 2 1 3 3 2 2 1
30.09.2003	7	2 2 2 3 3 2 2 2
01.10.2003	10	3 2 2 3 2 2 3 3
02.10.2003	9	2 3 2 2 2 3 3 3
03.10.2003	16	3 5 3 3 3 3 3 2
04.10.2003	9	1 2 4 2 3 2 2 2
05.10.2003	9	2 2 1 2 2 3 3 4
06.10.2003	10	2 2 2 2 3 3 3 3
07.10.2003	13	4 2 2 3 3 3 3 3
08.10.2003	9	2 2 2 2 3 3 3 3
09.10.2003	8	4 2 2 2 2 2 2 2
10.10.2003	5	2 1 1 2 2 2 1 2

Çizelge B2. 05 Eylül 2004 Honşu Depremi için
21 Ağustos-20 Eylül 2004 tarihli jeomanyetik indisler [65].

Tarih (G.A.Y)	Ap-indisi	Kp-indisi
21.08.2004	17	3 4 4 3 3 3 3 3
22.08.2004	13	3 3 4 4 3 3 2 2
23.08.2004	7	2 2 2 2 2 3 2 2
24.08.2004	5	2 1 1 1 2 2 2 2
25.08.2004	7	1 2 1 2 3 2 2 2
26.08.2004	7	2 1 1 1 2 3 3 3
27.08.2004	8	3 1 1 2 2 3 2 3
28.08.2004	12	2 3 4 3 3 3 3 2
29.08.2004	8	2 2 0 2 2 3 3 3
30.08.2004	34	3 2 5 5 5 4 4 5
31.08.2004	28	6 4 5 4 3 3 4 3
01.09.2004	9	3 1 2 2 2 3 3 3
02.09.2004	9	2 2 3 3 2 2 2 3
03.09.2004	3	2 1 1 0 1 2 1 1
04.09.2004	4	1 1 0 1 2 1 2 1
05.09.2004	7	1 1 2 2 2 3 3 2
06.09.2004	14	2 2 4 4 3 3 2 3
07.09.2004	16	3 4 4 4 3 3 2 2
08.09.2004	9	2 3 4 2 3 2 2 2
09.09.2004	4	1 1 0 1 2 1 2 2
10.09.2004	5	2 1 1 2 2 2 2 2
11.09.2004	6	2 0 0 1 3 2 3 2
12.09.2004	4	1 1 0 0 2 2 2 2
13.09.2004	8	2 1 0 1 2 2 3 4
14.09.2004	28	4 4 4 5 4 3 4 4
15.09.2004	14	4 3 2 3 3 3 3 2
16.09.2004	17	3 3 4 4 4 3 3 3
17.09.2004	20	5 4 4 3 3 3 3 4
18.09.2004	16	5 5 1 3 3 2 1 2
19.09.2004	5	1 1 1 1 2 2 2 3
20.09.2004	13	3 1 4 3 3 2 2 2

Çizelge B3. 13 Haziran 2008 Honşu Depremi için
29 Mayıs-28 Haziran 2008 tarihli jeomanyetik indisler [65].

Tarih (G.A.Y)	Ap-indisi	Kp-indisi
29.05.2008	9	3 3 2 1 2 2 2 2
30.05.2008	11	4 1 0 1 2 3 4 2
31.05.2008	8	1 2 2 2 3 2 2 2
01.06.2008	8	2 2 1 1 2 3 2 3
02.06.2008	5	2 2 1 1 1 2 1 2
03.06.2008	4	1 2 1 1 1 1 1 2
04.06.2008	4	2 1 1 0 1 1 0 2
05.06.2008	2	1 0 0 1 0 1 1 1
06.06.2008	8	1 2 2 2 1 2 2 3
07.06.2008	12	2 2 3 3 2 3 3 3
08.06.2008	7	3 2 2 1 2 2 1 2
09.06.2008	5	2 1 0 1 1 1 2 1
10.06.2008	4	1 0 0 0 1 2 1 1
11.06.2008	4	1 1 1 1 1 2 1 1
12.06.2008	3	1 0 0 1 1 1 1 1
13.06.2008	3	1 0 0 0 0 1 1 1
14.06.2008	16	0 1 0 0 1 3 5 5
15.06.2008	20	4 5 4 3 3 2 3 3
16.06.2008	13	3 2 2 3 2 3 4 4
17.06.2008	9	3 2 3 2 2 2 2 2
18.06.2008	9	3 3 2 2 2 1 0 2
19.06.2008	6	2 1 1 1 2 1 2 3
20.06.2008	11	3 4 3 2 1 2 2 3
21.06.2008	5	2 1 1 1 1 1 1 2
22.06.2008	4	1 1 0 0 1 1 1 2
23.06.2008	3	1 2 0 0 1 1 0 1
24.06.2008	4	1 1 0 0 0 1 2 3
25.06.2008	12	4 3 3 1 1 2 3 3
26.06.2008	16	4 4 2 4 3 2 3 2
27.06.2008	8	3 2 2 2 2 2 2 2
28.06.2008	7	2 2 1 2 1 2 3 2

Çizelge B4. 11 Haziran 2006 Kıyüşıyu Depremi için
27 Mayıs-26 Haziran 2006 tarihli jeomanyetik indisler [65].

Tarih (G.A.Y)	Ap-indisi	Kp-indisi
27.05.2006	3	2 0 0 0 1 1 1 2
28.05.2006	7	2 2 1 1 2 1 2 3
29.05.2006	3	1 1 0 0 0 1 0 1
30.05.2006	9	2 2 0 2 3 2 3 2
31.05.2006	6	3 2 1 1 1 1 1 2
01.06.2006	13	2 2 2 4 2 2 4 3
02.06.2006	8	3 3 2 1 1 2 2 1
03.06.2006	4	1 1 1 0 1 1 1 1
04.06.2006	2	1 0 0 0 1 1 1 1
05.06.2006	4	1 1 1 0 0 2 1 1
06.06.2006	23	2 2 4 4 3 4 5 4
07.06.2006	24	4 4 4 3 3 3 4 4
08.06.2006	20	4 5 4 2 3 3 3 3
09.06.2006	10	3 2 3 2 2 2 2 2
10.06.2006	8	3 3 2 2 2 2 2 2
11.06.2006	5	2 1 2 1 2 1 1 2
12.06.2006	4	1 0 1 0 1 1 1 1
13.06.2006	3	1 1 0 0 0 1 2 1
14.06.2006	7	2 1 1 1 1 2 2 3
15.06.2006	28	2 4 5 5 3 3 3 4
16.06.2006	10	3 3 2 1 2 2 3 3
17.06.2006	10	2 3 4 2 2 2 3 1
18.06.2006	8	1 2 3 3 1 1 1 2
19.06.2006	5	3 1 0 0 0 1 1 2
20.06.2006	4	2 1 0 0 1 1 2 2
21.06.2006	4	1 0 0 0 1 2 1 2
22.06.2006	6	1 2 2 1 1 2 1 1
23.06.2006	2	1 0 0 0 1 1 1 1
24.06.2006	4	1 0 0 1 1 2 2 2
25.06.2006	5	2 1 0 1 1 1 1 1
26.06.2006	3	1 0 0 0 1 1 1 1

Çizelge B5. 23 Temmuz 2005 Honşu Depremi için
08 Temmuz-07 Ağustos 2005 tarihli jeomanyetik indisler [65].

Tarih (G.A.Y)	Ap-indisi	Kp-indisi
08.07.2005	5	2 2 1 1 1 2 2 2
09.07.2005	19	3 3 3 3 4 4 3 4
10.07.2005	47	4 4 5 5 6 5 5 5
11.07.2005	23	4 3 5 3 4 3 4 3
12.07.2005	48	5 6 5 6 6 5 3 2
13.07.2005	30	3 4 5 5 5 4 3 4
14.07.2005	11	2 4 3 3 2 2 1 1
15.07.2005	6	1 2 2 1 1 2 2 2
16.07.2005	9	2 2 2 1 1 3 3 3
17.07.2005	22	3 2 3 5 3 3 3 5
18.07.2005	34	5 6 6 3 3 2 2 3
19.07.2005	10	3 2 3 1 2 2 2 3
20.07.2005	20	4 3 3 3 4 3 3 4
21.07.2005	29	5 5 4 5 2 3 2 3
22.07.2005	13	3 3 2 2 3 3 3 3
23.07.2005	5	2 1 1 1 1 1 2 1
24.07.2005	5	1 1 1 1 3 2 2 1
25.07.2005	6	2 2 1 1 1 2 2 2
26.07.2005	6	1 1 2 1 2 2 2 2
27.07.2005	17	2 2 3 2 3 3 4 5
28.07.2005	28	3 5 4 4 5 3 3 4
29.07.2005	19	3 4 3 4 3 4 3 3
30.07.2005	16	4 4 4 3 1 1 2 2
31.07.2005	9	2 3 2 1 3 2 2 3
01.08.2005	16	4 1 3 4 3 3 3 3
02.08.2005	12	3 3 2 3 3 2 2 2
03.08.2005	11	2 3 2 1 2 3 3 3
04.08.2005	14	3 3 4 3 2 2 2 3
05.08.2005	9	2 2 1 1 2 3 3 3

Çizelge B6. 12 Mayıs 2008 Şiyan Depremi için
27 Nisan-24 Mayıs 2008 tarihli jeomanyetik indisler [65].

Tarih (G.A.Y)	Ap-indisi	Kp-indisi
27.04.2008	10	2 3 3 2 1 3 2 2
28. 04.2008	11	2 1 2 3 3 3 3 3
29. 04.2008	8	3 3 1 1 1 3 2 1
30. 04.2008	8	1 0 0 1 1 3 4 2
01.05.2008	9	0 1 2 0 1 3 3 4
02. 05.2008	12	4 4 3 0 3 2 0 2
03. 05.2008	12	3 3 2 3 3 2 3 2
04. 05.2008	8	1 2 3 3 1 2 2 2
05. 05.2008	11	2 2 3 0 2 3 3 2
06. 05.2008	10	4 3 3 2 1 1 1 1
07. 05.2008	4	2 1 0 0 1 2 2 2
08. 05.2008	4	2 1 2 2 1 0 1 1
09. 05.2008	3	1 1 1 1 1 1 0 1
10. 05.2008	5	1 2 1 1 1 1 1 2
11. 05.2008	3	2 1 0 0 1 1 2 1
12. 05.2008	4	1 0 1 0 1 1 1 2
13. 05.2008	4	2 2 0 0 1 2 1 1
14. 05.2008	3	1 1 0 0 1 0 1 1
15. 05.2008	4	0 1 1 0 1 1 1 2
16. 05.2008	4	2 1 1 1 2 1 1 1
17. 05.2008	2	1 0 0 0 1 1 0 1
18. 05.2008	3	1 1 0 1 2 1 0 1
19. 05.2008	8	3 2 1 3 2 2 1 1
20. 05.2008	10	2 2 3 1 2 3 2 3
21. 05.2008	13	3 4 3 3 2 2 1 3
22. 05.2008	9	3 2 1 1 2 3 3 3
23. 05.2008	10	2 2 0 1 3 2 3 3
24. 05.2008	7	3 1 1 2 2 2 1 2

Çizelge B7. İyonkürenin bozulmalı olarak seçilen 14 Ekim-11 Kasım 2003 zaman aralığına ait jeomanyetik indisler [65].

Tarih (G.A.Y)	Ap-indisi	Kp-indisi
14.10.2003	48	3 4 6 6 6 4 5 6
15.10.2003	42	3 4 7 6 4 4 4 4
16.10.2003	26	5 3 4 5 4 4 4 4
17.10.2003	31	4 5 5 5 4 3 3 3
18.10.2003	27	4 5 4 4 4 3 4 4
19.10.2003	32	3 4 5 5 5 4 4 4
20.10.2003	30	3 4 5 5 4 4 4 5
21.10.2003	39	5 5 5 5 5 4 4 5
22.10.2003	33	4 5 6 5 4 4 3 2
23.10.2003	7	3 2 2 2 2 2 2 2
24.10.2003	34	2 2 2 4 5 7 4 5
25.10.2003	14	3 3 2 2 4 4 3 3
26.10.2003	10	2 2 2 3 2 3 3 3
27.10.2003	15	3 3 4 3 2 3 3 1
28.10.2003	20	3 4 4 4 3 4 3 4
29.10.2003	189	4 3 9 8 7 7 9 8
30.10.2003	162	8 7 6 5 5 8 9 9
31.10.2003	93	8 7 7 6 6 5 4 4
01.11.2003	21	4 5 4 3 3 3 3 3
02.11.2003	18	3 4 3 3 3 4 4 3
03.11.2003	10	3 3 2 3 2 3 2 3
04.11.2003	31	3 2 5 7 3 3 4 3
05.11.2003	9	2 1 2 2 2 3 3 3
06.11.2003	14	2 2 2 2 3 3 5 4
07.11.2003	8	3 2 1 2 3 3 2 2
08.11.2003	10	1 1 1 3 3 3 3 3
09.11.2003	25	2 3 4 4 6 4 4 3
10.11.2003	30	4 4 4 5 5 4 4 4
11.11.2003	51	5 6 5 6 5 5 5 4

Çizelge B8. İyonkürenin bozulmalı olarak seçilen
23 Ağustos-21 Eylül 2005 zaman aralığına ait jeomanyetik indisler [65].

Tarih (G.A.Y)	Ap-indisi	Kp-indisi
23.08.2005	9	3 2 2 2 2 3 2 2
24.08.2005	110	3 3 7 9 8 5 6 5
25.08.2005	24	5 4 3 3 4 5 3 2
26.08.2005	11	3 4 4 2 2 2 2 2
27.08.2005	7	3 1 2 2 2 2 1 1
28.08.2005	7	2 2 0 1 1 1 2 3
29.08.2005	9	2 4 2 1 2 1 1 1
30.08.2005	4	1 0 0 0 1 1 3 2
31.08.2005	36	2 2 2 3 5 6 6 5
01.09.2005	21	5 5 3 3 4 2 2 2
02.09.2005	33	3 4 5 4 4 5 5 4
03.09.2005	32	6 6 4 5 3 3 2 4
04.09.2005	26	4 4 5 5 3 3 2 3
05.09.2005	14	4 2 3 4 2 3 3 2
06.09.2005	9	3 2 0 2 2 3 1 2
07.09.2005	15	4 3 2 3 2 4 4 1
08.09.2005	8	3 2 1 1 1 2 2 3
09.09.2005	17	1 2 0 1 4 4 4 4
10.09.2005	30	2 2 5 3 4 5 5 5
11.09.2005	105	5 7 9 7 6 5 5 4
12.09.2005	66	6 4 6 6 5 6 5 6
13.09.2005	51	6 5 6 6 5 3 4 4
14.09.2005	25	3 3 5 5 5 3 3 2
15.09.2005	43	3 2 3 5 6 7 5 4
16.09.2005	18	4 4 3 4 3 2 3 2
17.09.2005	12	2 2 1 3 3 3 3 3
18.09.2005	12	1 3 4 4 3 2 2 1
19.09.2005	8	2 2 2 2 2 2 2 1
20.09.2005	6	1 2 2 2 2 1 2 1
21.09.2005	5	1 1 2 2 2 1 1 1

Çizelge B9. İyonkürenin sakın olarak seçilen
14 Ekim-11 Kasım 2006 zaman aralığına ait jeomanyetik indisler [65].

Tarih (G.A.Y)	Ap-indisi	Kp-indisi
14.10.2006	18	4 4 3 3 2 3 3 4
15.10.2006	10	3 3 2 3 1 1 1 2
16.10.2006	8	3 2 2 1 1 1 2 3
17.10.2006	2	1 0 0 1 0 0 1 0
18.10.2006	4	1 2 1 0 0 0 1 1
19.10.2006	2	0 1 0 1 1 0 0 1
20.10.2006	10	2 0 1 2 3 3 3 3
21.10.2006	15	3 2 3 3 3 4 3 2
22.10.2006	13	2 5 3 1 2 2 3 3
23.10.2006	3	1 0 0 1 1 1 1 1
24.10.2006	4	0 1 2 1 1 1 1 1
25.10.2006	4	1 2 2 1 0 0 0 0
26.10.2006	1	0 0 1 0 1 0 0 0
27.10.2006	2	1 0 0 1 0 0 1 2
28.10.2006	14	1 2 3 4 2 3 3 4
29.10.2006	21	3 4 4 3 3 3 4 4
30.10.2006	9	3 2 2 3 2 2 1 2
31.10.2006	4	2 0 1 0 1 1 1 2
01.11.2006	6	2 1 1 1 2 1 2 2
02.11.2006	8	2 3 1 1 2 3 3 2
03.11.2006	8	1 3 1 3 3 1 1 1
04.11.2006	6	1 2 2 1 1 2 2 2
05.11.2006	5	0 1 2 3 1 1 0 1
06.11.2006	1	0 0 1 0 0 0 0 1
07.11.2006	0	0 0 0 0 0 0 0 0
08.11.2006	1	0 0 0 0 1 0 0 0
09.11.2006	10	0 0 0 0 1 3 4 4
10.11.2006	36	4 6 4 6 5 3 3 2
11.11.2006	20	3 4 4 4 4 3 3 2

Çizelge B10. İyonkürenin sakin olarak seçilen
24 Nisan-21 Mayıs 2006 zaman aralığına ait jeomanyetik indisler [65].

Tarih (G.A.Y)	Ap-indisi	Kp-indisi
27.04.2006	5	2 2 1 1 1 2 1 2
28.04.2006	12	3 3 5 2 1 1 2 2
29.04.2006	3	1 0 0 0 1 2 1 1
30.04.2006	1	0 0 0 0 0 0 0 1
01.05.2006	2	0 0 1 1 0 1 0 1
02.05.2006	4	1 0 1 0 0 1 2 1
03.05.2006	3	1 0 0 0 0 1 1 2
04.05.2006	14	1 1 3 2 5 3 3 3
05.05.2006	13	4 3 4 3 2 2 0 1
06.05.2006	24	2 3 2 2 4 5 5 4
07.05.2006	19	3 4 5 4 3 2 2 3
08.05.2006	8	2 4 3 1 1 1 1 1
09.05.2006	4	0 0 1 2 1 1 1 2
10.05.2006	4	0 0 0 1 1 1 1 3
11.05.2006	18	3 4 4 4 3 2 3 4
12.05.2006	16	4 4 4 2 3 2 2 3
13.05.2006	11	3 4 3 2 2 1 2 2
14.05.2006	8	3 4 2 1 1 1 1 2
15.05.2006	4	1 1 1 1 1 1 1 2
16.05.2006	2	1 0 0 0 1 0 1 1
17.05.2006	5	1 2 1 1 1 1 1 3
18.05.2006	16	2 2 3 2 2 5 4 2
19.05.2006	8	2 2 3 0 1 2 2 3
20.05.2006	7	2 2 2 3 1 2 2 2
21.05.2006	7	3 0 1 2 1 1 3 2
22.05.2006	8	2 2 0 1 2 2 2 4
23.05.2006	7	3 3 2 1 1 1 2 1
24.05.2006	4	1 1 2 1 2 1 0 1

Çizelge B11. 30.07.2009 Çağlayan/Erzincan depremi için
20 Temmuz-09 Ağustos 2009 tarihli jeomanyetik indisler [65].

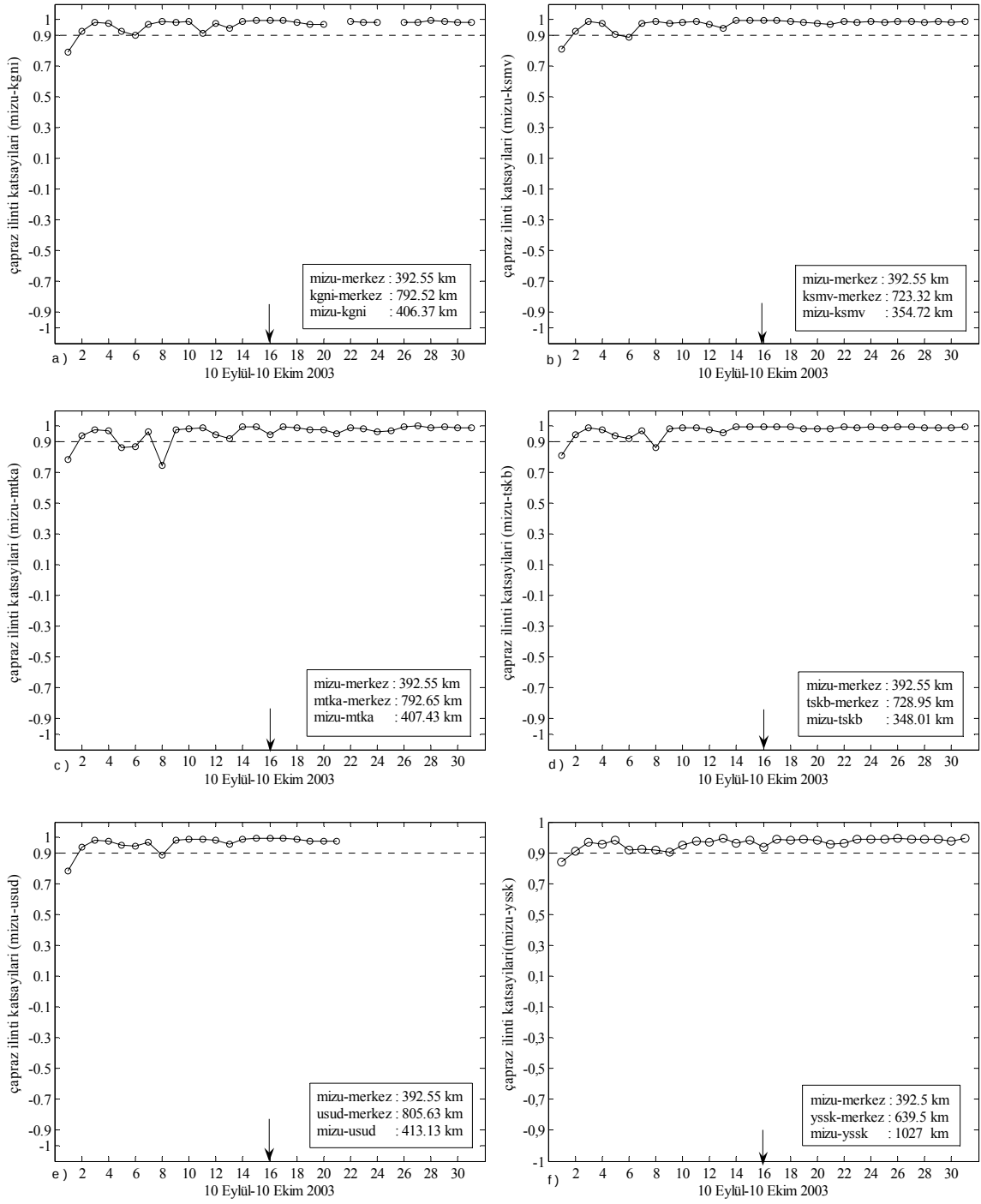
Tarih (G.A.Y)	Ap-indisi	Kp-indisi
20.07.2009	6	1 1 1 2 2 1 1 1
21.07.2009	4	2 1 1 1 1 1 2 1
22.07.2009	24	3 6 5 4 2 2 2 2
23.07.2009	8	1 2 3 2 1 2 2 2
24.07.2009	6	2 1 2 2 1 2 2 2
25.07.2009	7	3 3 0 1 1 1 2 2
26.07.2009	3	1 0 0 0 1 1 1 1
27.07.2009	4	1 1 1 0 1 1 1 1
28.07.2009	4	1 2 1 1 1 1 1 1
29.07.2009	2	1 1 0 0 0 1 0 1
30.07.2009	3	0 0 0 1 1 2 1 1
31.07.2009	5	0 1 3 1 2 1 1 2
01.08.2009	4	1 1 1 1 2 2 0 2
02.08.2009	3	1 0 0 0 1 1 2 2
03.08.2009	10	3 3 3 2 2 2 2 1
04.08.2009	4	1 1 1 0 1 0 1 1
05.08.2009	6	2 2 2 2 2 2 2 2
06.08.2009	14	3 4 4 2 2 3 2 2
07.08.2009	8	2 2 1 2 1 2 3 3
08.08.2009	4	2 1 0 0 1 1 1 1
09.08.2009	8	2 3 3 2 1 1 2 2

Çizelge B12. 08.08.2009 Yenice/Çanakkale depremi için
29 Temmuz-18 Ağustos 2009 tarihli jeomanyetik indisler [65].

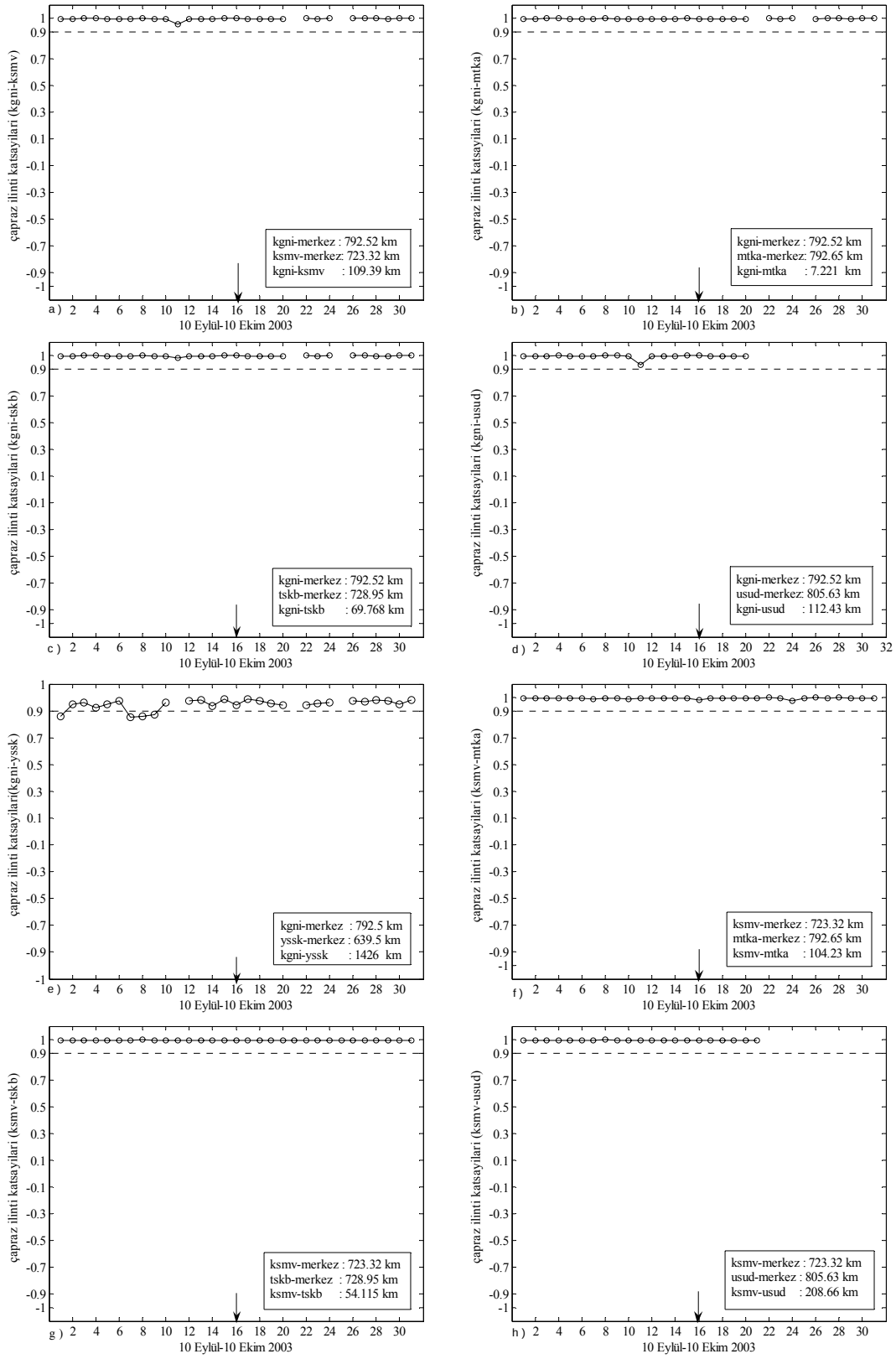
Tarih (G.A.Y)	Ap-indisi	Kp-indisi
29.07.2009	2	1 1 0 0 0 1 0 1
30.07.2009	3	0 0 0 1 1 2 1 1
31.07.2009	5	0 1 3 1 2 1 1 2
01.08.2009	4	1 1 1 1 2 2 0 2
02.08.2009	3	1 0 0 0 1 1 2 2
03.08.2009	10	3 3 3 2 2 2 2 1
04.08.2009	4	1 1 1 0 1 0 1 1
05.08.2009	6	2 2 2 2 2 2 2 2
06.08.2009	14	3 4 4 2 2 3 2 2
07.08.2009	8	2 2 1 2 1 2 3 3
08.08.2009	4	2 1 0 0 1 1 1 1
09.08.2009	8	2 3 3 2 1 1 2 2
10.08.2009	4	2 0 0 0 1 1 2 2
11.08.2009	4	1 1 0 0 0 1 2 2
12.08.2009	5	2 1 1 1 2 2 1 1
13.08.2009	5	2 2 1 1 2 2 1 1
14.08.2009	4	1 2 1 1 1 1 1 1
15.08.2009	3	1 0 1 0 1 2 1 1
16.08.2009	3	1 0 0 0 1 1 1 2
17.08.2009	3	1 0 0 0 1 1 1 2
18.08.2009	4	1 1 0 0 1 1 1 1

EK C: İstasyonlar Arası Çaprazlama Yöntemiyle Elde Edilen Eğriler

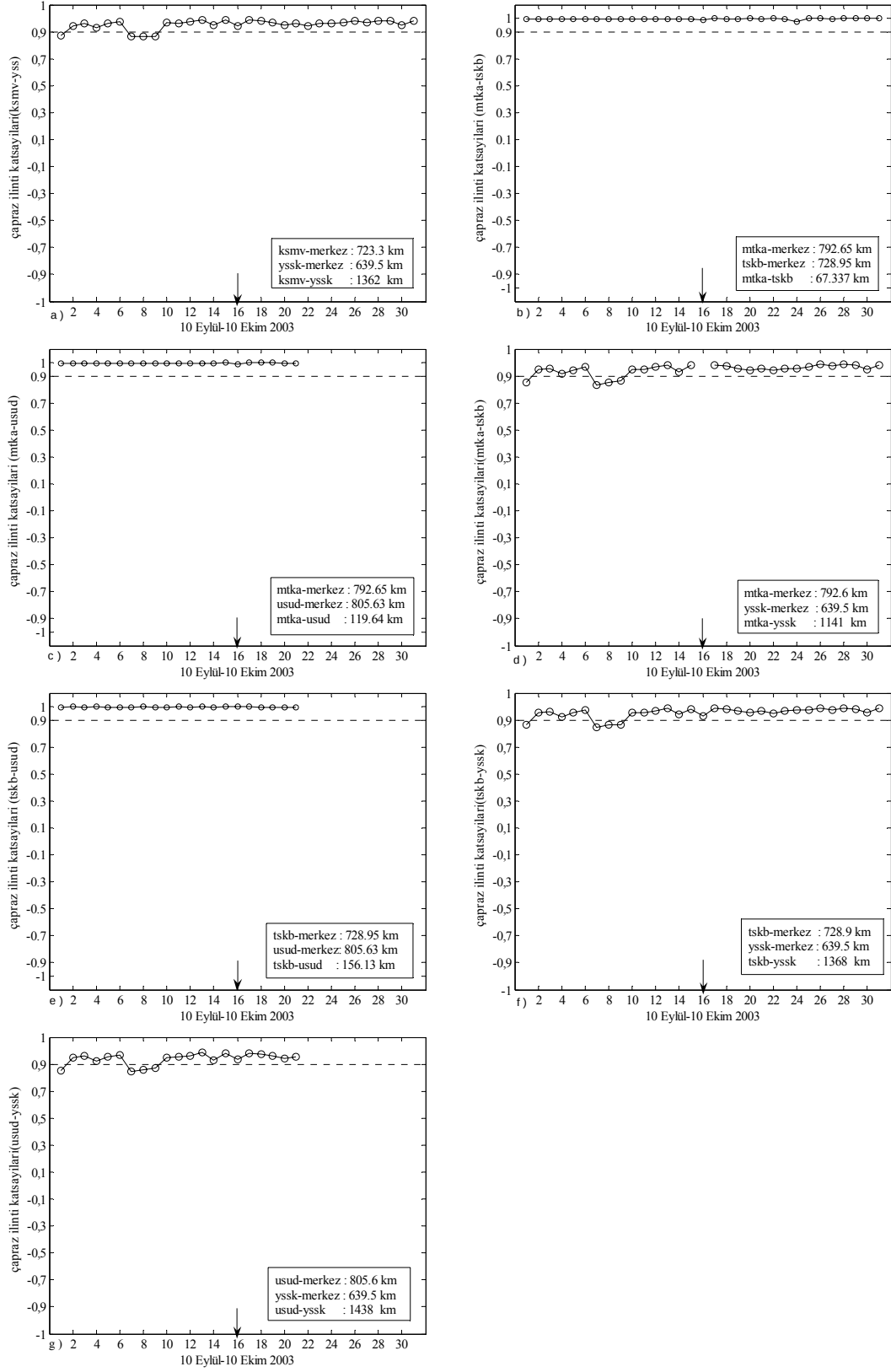
Bölüm 4’te anlatılan ve Çapraz İlinti Katsayısı (ÇİK) yöntemi, Kullback-Leibler Mesafesi (KLD) yöntemi ve L2-Norm (L2N) yöntemi Çizelge 5.1’de verilen ilk beş depremin otuz bir günlük zaman aralığında önce merkez istasyonun diğer istasyonlarla daha sonra da geri kalan tüm istasyonların kendi aralarındaki çaprazlanmasıyla uygulanmıştır. Bu yöntemler Çizelge 5.2’de yer alan ilk altı istasyonun iyonkürenin bozulmalı ve sakin olduğu zaman aralıklarında da çaprazlanarak uygulanmıştır. Depremler Çizelge 5.1’de verildiği gibi ölçeklerine göre büyükten küçüğe sıralanmıştır. Bozulmalı ve sakin dönemlerde istasyonlar alfabetik sıralamaya göre çaprazlanmıştır. Eğrilerde ÇİK değerleri daire, KLD değerleri yıldız, L2N değerleri nokta ile gösterilmiştir. Deprem dönemi eğrilerinde depremin olduğu onaltıncı gün ok ile belirtilmiştir. İstasyonların deprem merkezine ve birbirlerine olan uzaklıkları da deprem döneminde elde edilen eğriler üzerinde belirtilmiştir.



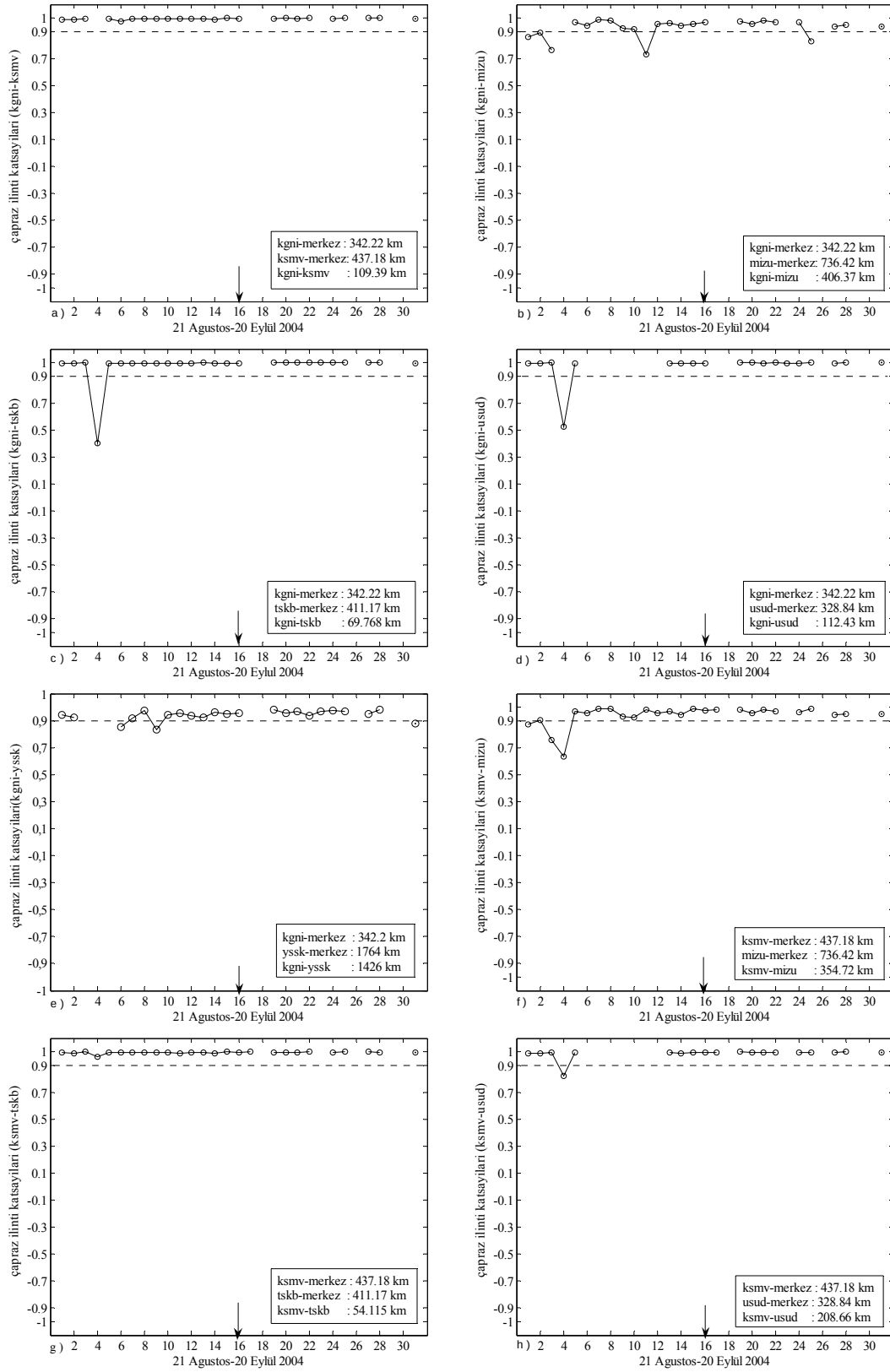
Şekil C1. 25 Eylül 2003 Hokkaido depremi için a) mizu-kgni, b) mizu-ksmv, c) mizu-mtka, d) mizu-tskb, e) mizu-usud, f) mizu-yssk istasyonları arası Çapraz İlinti Katsayıları.



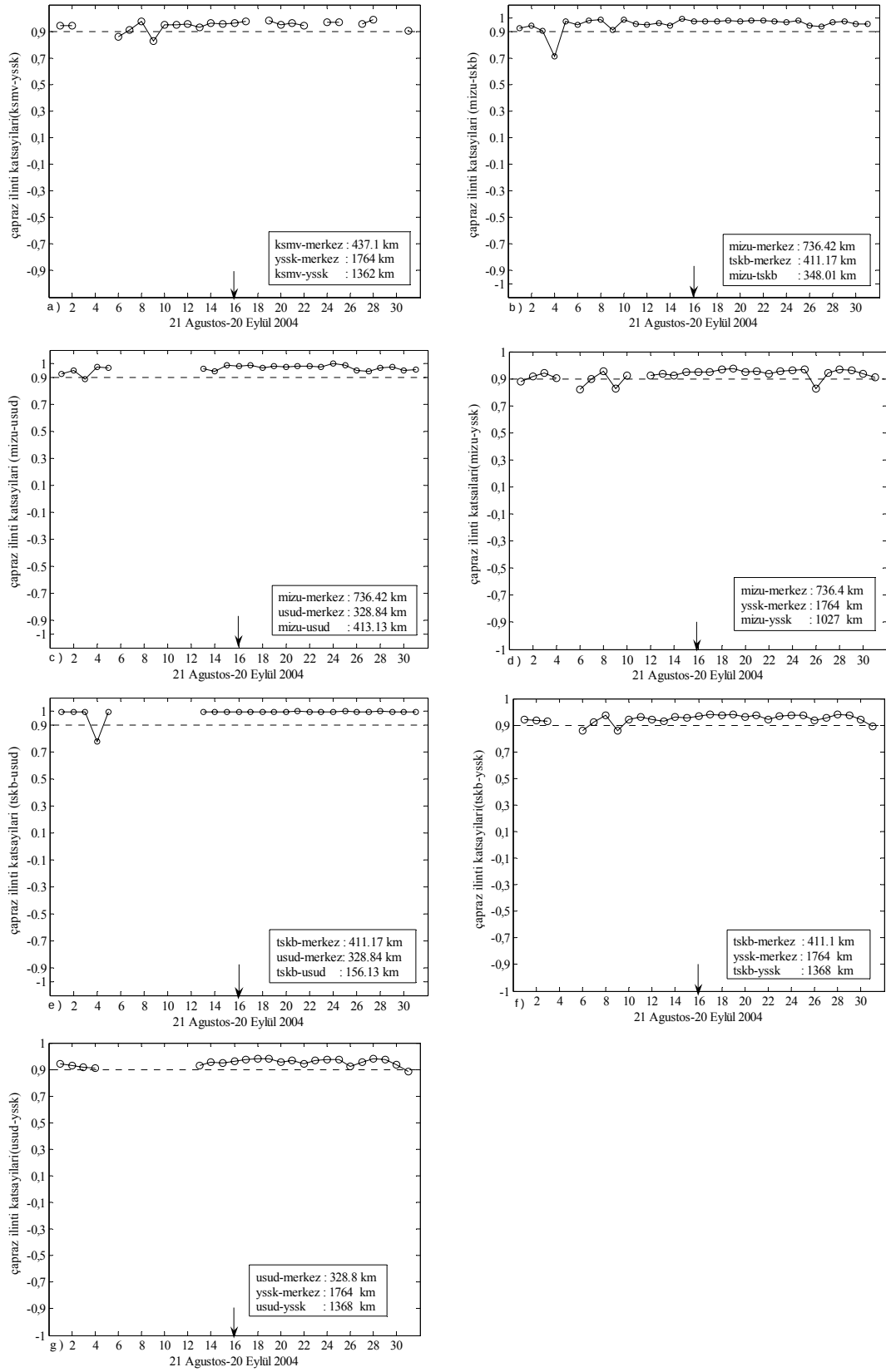
Şekil C2. 25 Eylül 2003 Hokkaido depremi için a) kgni-ksmv, b) kgni-mtka, c) kgni-tskb, d) kgni-usud, e) kgni-yssk, f) ksmv-mtka, g) ksmv-tskb, h) ksmv-usud istasyonları arası Çapraz İlinti Katsayıları.



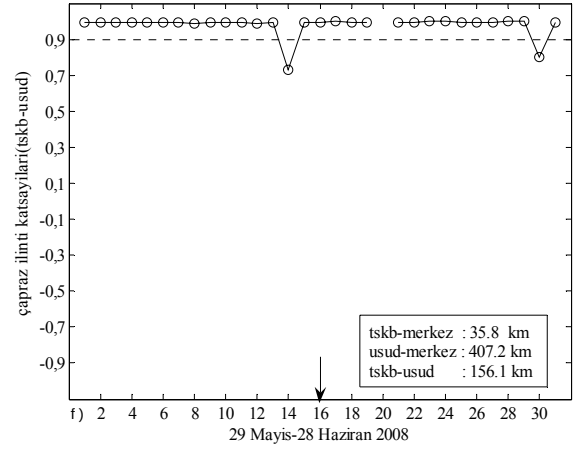
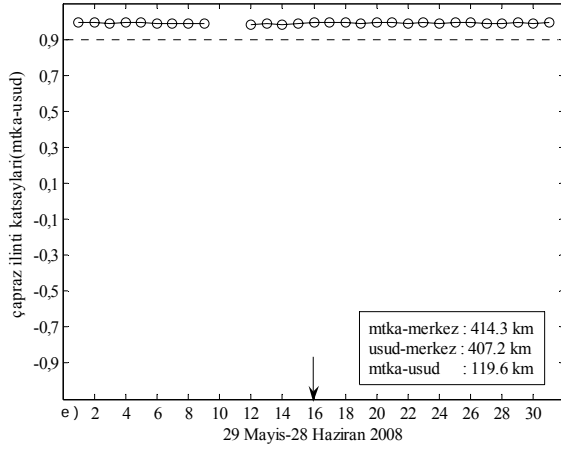
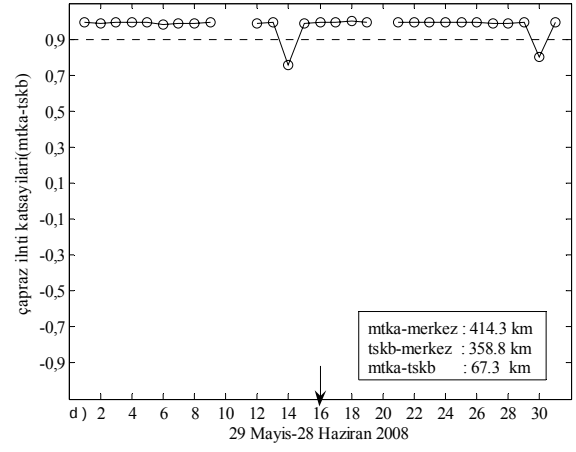
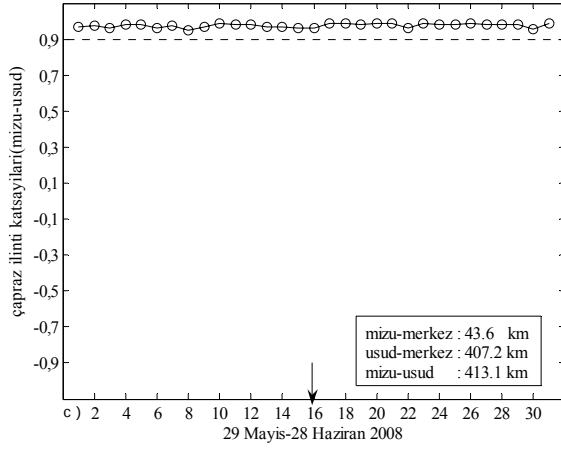
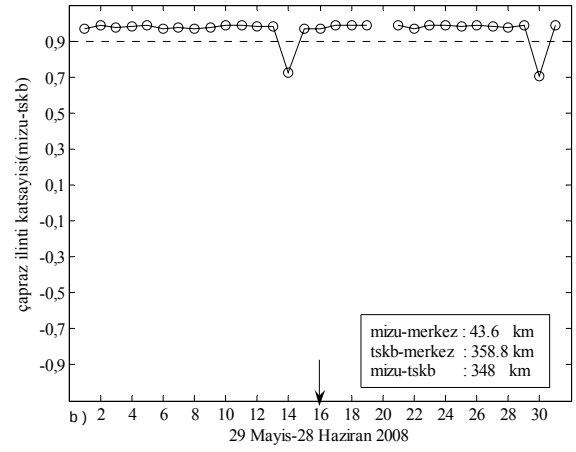
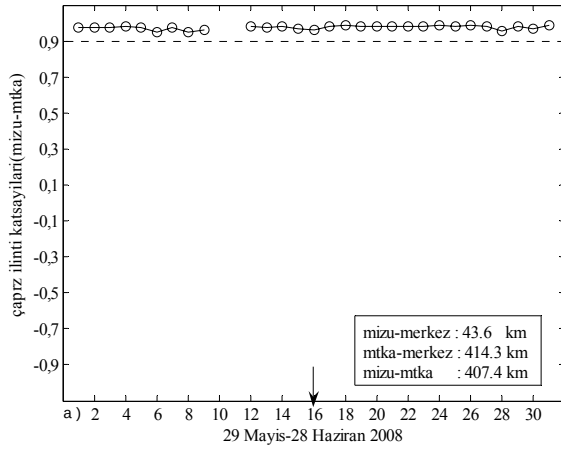
Şekil C3. 25 Eylül 2003 Hokkaido depremi için a) ksmv-yssk, b) mtka-tskb, c) mtka-usud, d) mtka-yssk, e) tskb-usud, f) tskb-yssk, g) usud-yssk istasyonları arası Çapraz İlinti Katsayıları.



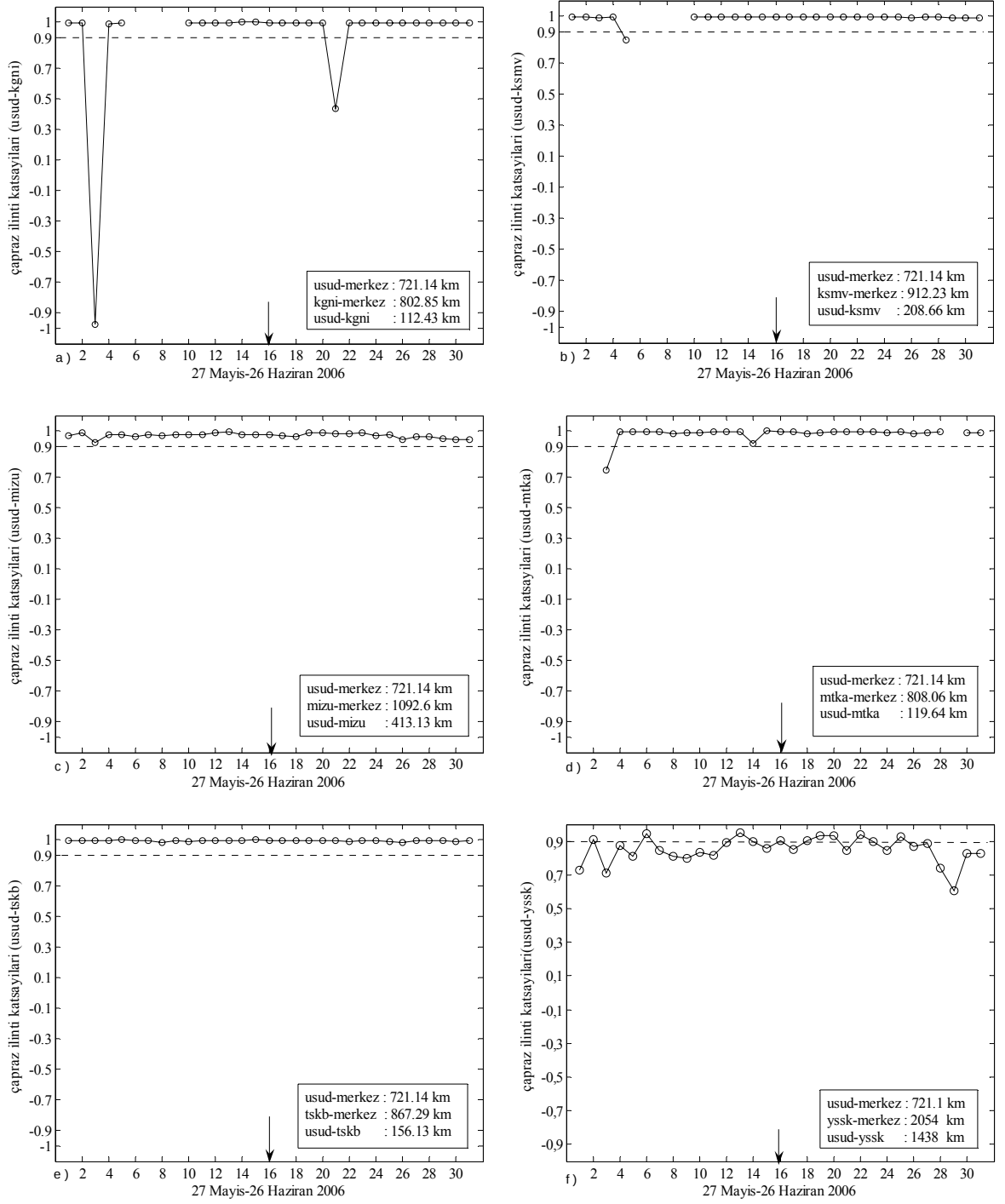
Şekil C4. 5 Eylül 2004 Honşu depremi için a) kgni-ksmv, b) kgni-mizu, c) kgni-tskb, d) kgni-usud, e) kgni-yssk, f) ksmv-mizu, g) ksmv-tskb, h) ksmv-usud istasyonları arası Çapraz İlinti Katsayıları.



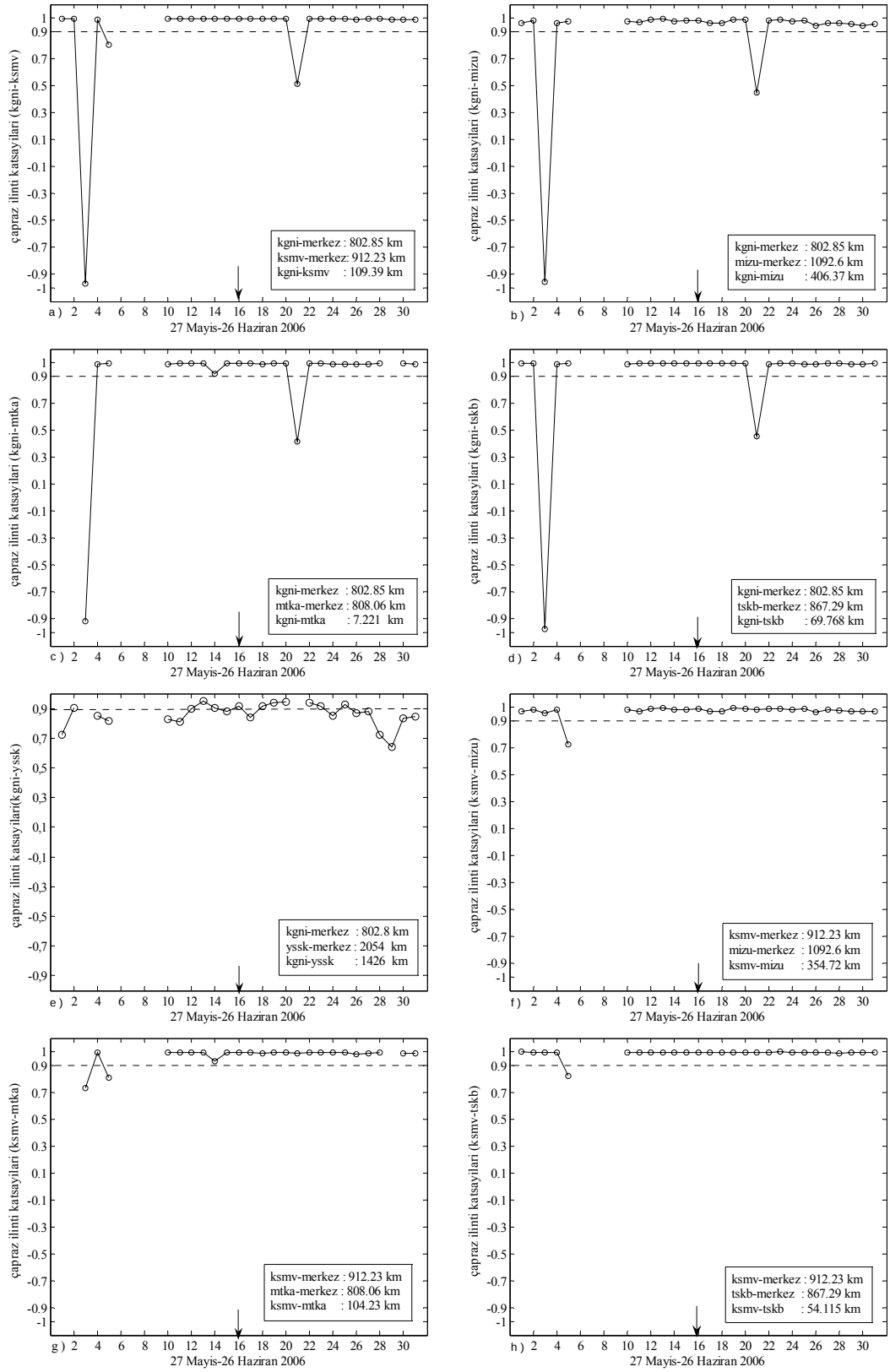
Şekil C5. 5 Eylül 2004 Honşu depremi için a) ksmv-yssk, b) mizu-tskb, c) mizu-usud, d) mizu-yssk, e) tskb-usud, f) tskb-yssk, g) usud-yssk istasyonları arası Çapraz İlinti Katsayıları.



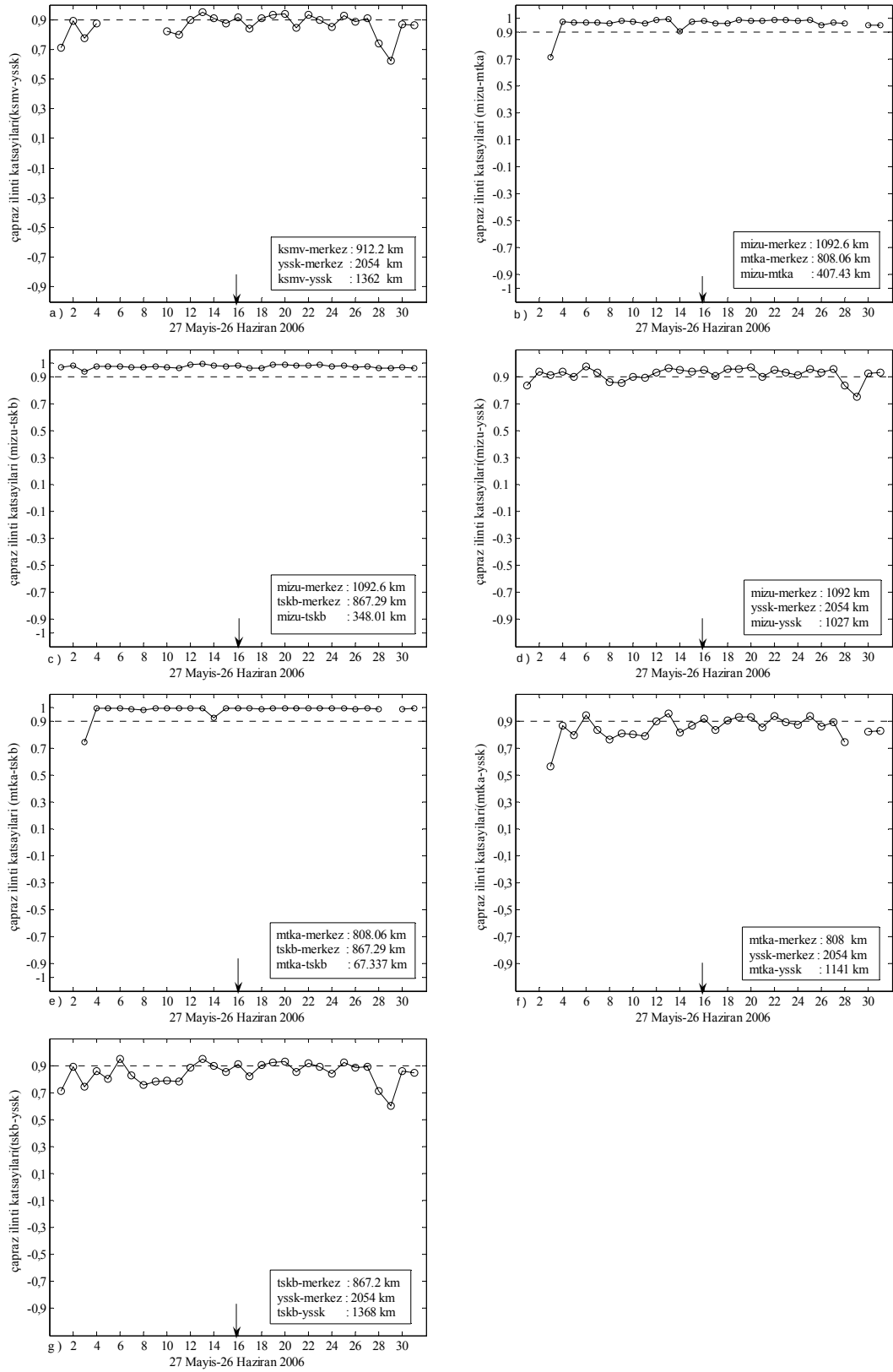
Şekil C6. 13 Haziran 2008 Honşu depremi için a) mizu-mtka, b) mizu-tskb, c) mizu-usud, d) mtka-tskb, e) mtka-usud, f) tskb-usud istasyonları arası Çapraz İlinti Katsayıları.



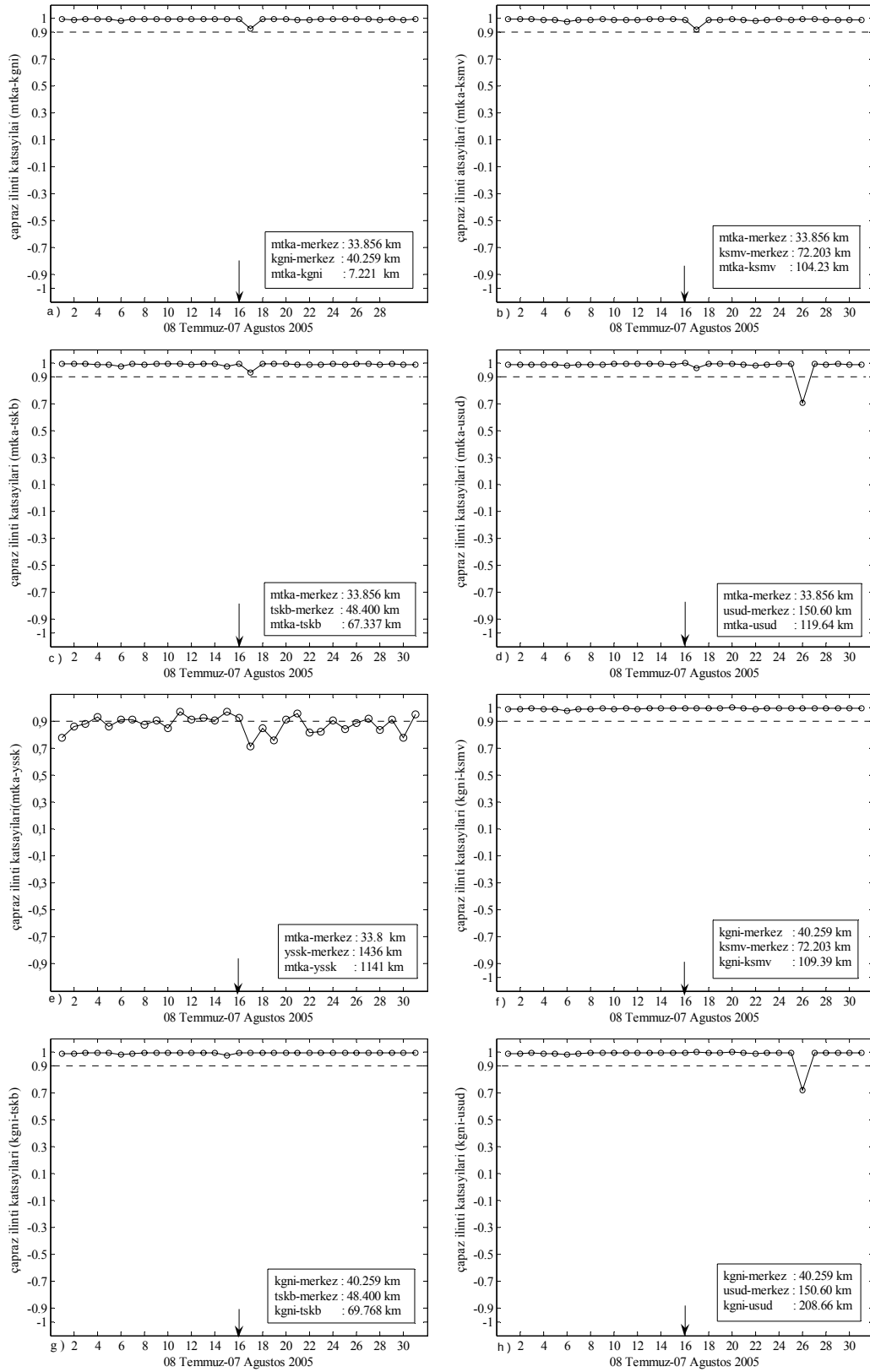
Şekil C7. 11 Haziran 2006 Kiyuşiyu depremi için a) usud-kgni, b) usud-ksmv, c) usud-mizu, d) usud-mtka, e) usud-tskb, f) usud-yssk istasyonları arası Çapraz İlinti Katsayıları.



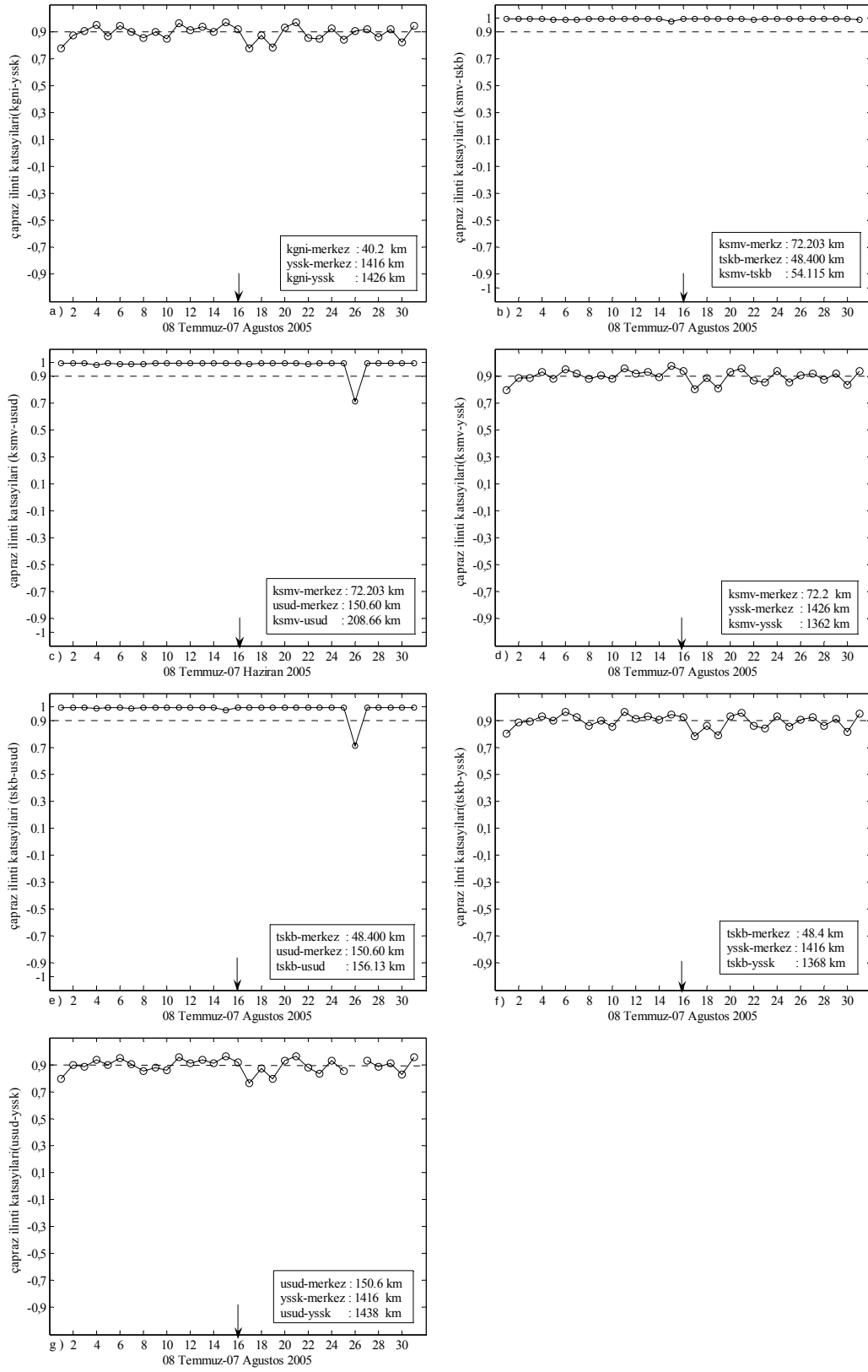
Şekil C8. 11 Haziran 2006 Kiyuşiyu depremi için a) kgni-ksmv, b) kgni-mizu, c) kgni-mtka, d) kgni-tskb, e) kgni-yssk, f) ksmv-mizu, g) ksmv-mtka, h) ksmv-tskb istasyonları arası Çapraz İlinti Katsayıları.



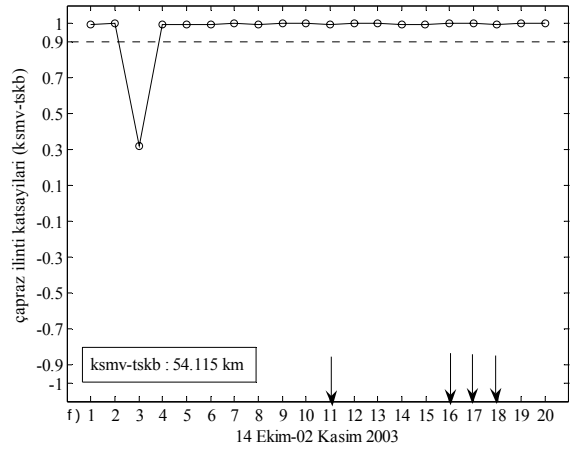
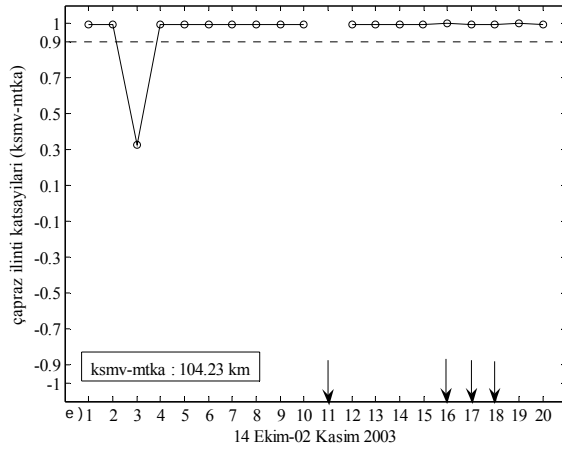
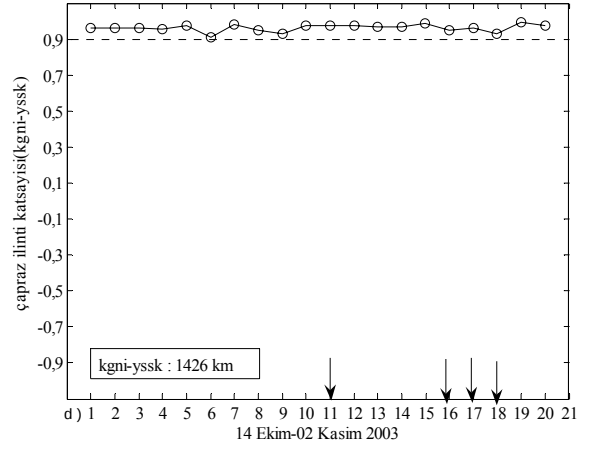
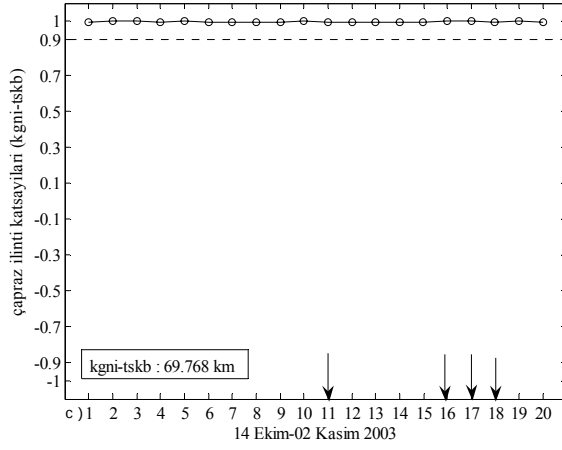
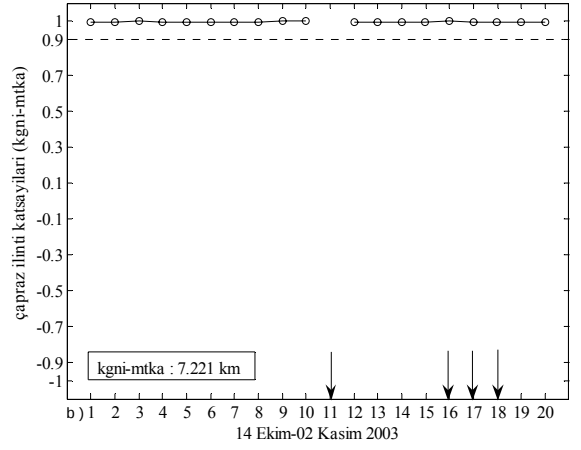
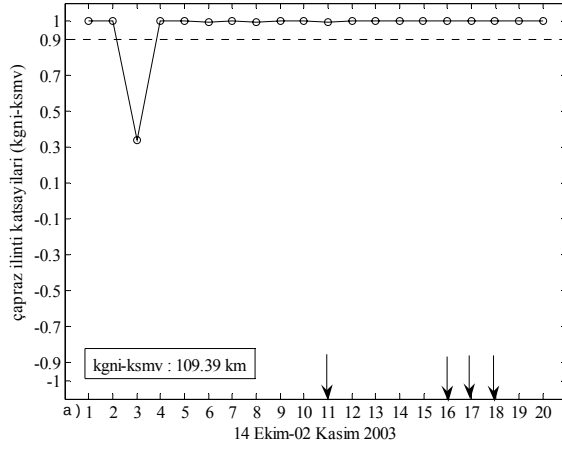
Şekil C9. 11 Haziran 2006 Kiyuşiyu depremi için a) ksmv-yssk, b) mizu-mtka, c) mizu-tskb, d) mizu-yssk, e) mtka-tskb, f) mtka-yssk, g) tskb-yssk istasyonları arası Çapraz İlti Katsayıları.



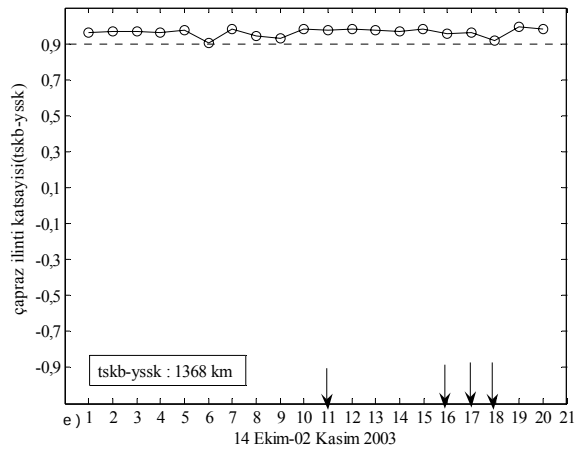
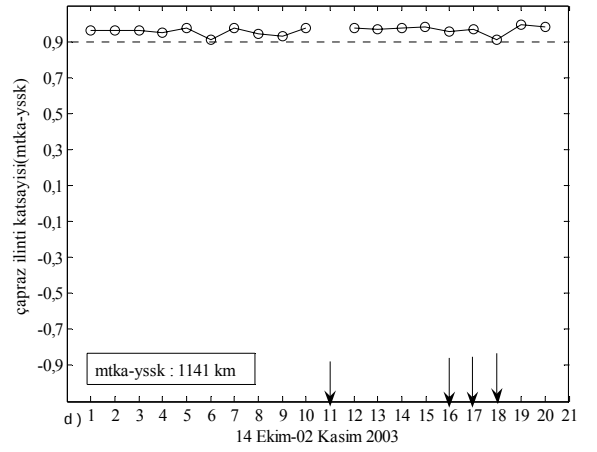
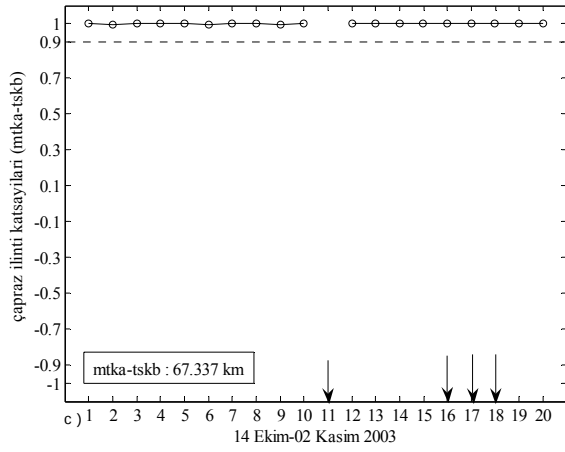
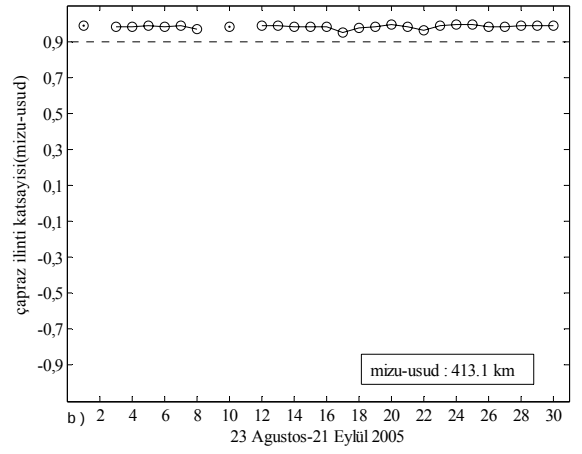
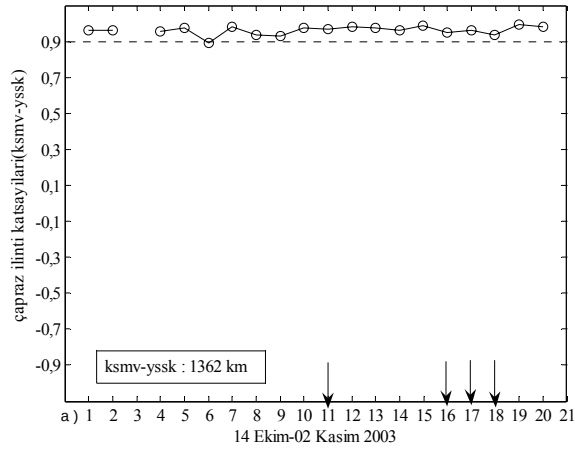
Şekil C10. 23 Temmuz 2005 Honşu depremi için a) mtka-kgni, b) mtka-ksmv, c) mtka-tskb, d) mtka-usud, e) mtka-yssk, f) kgni-ksmv, g) kgni-tskb, h) kgni-usud istasyonları arası Çapraz İlinti Katsayıları.



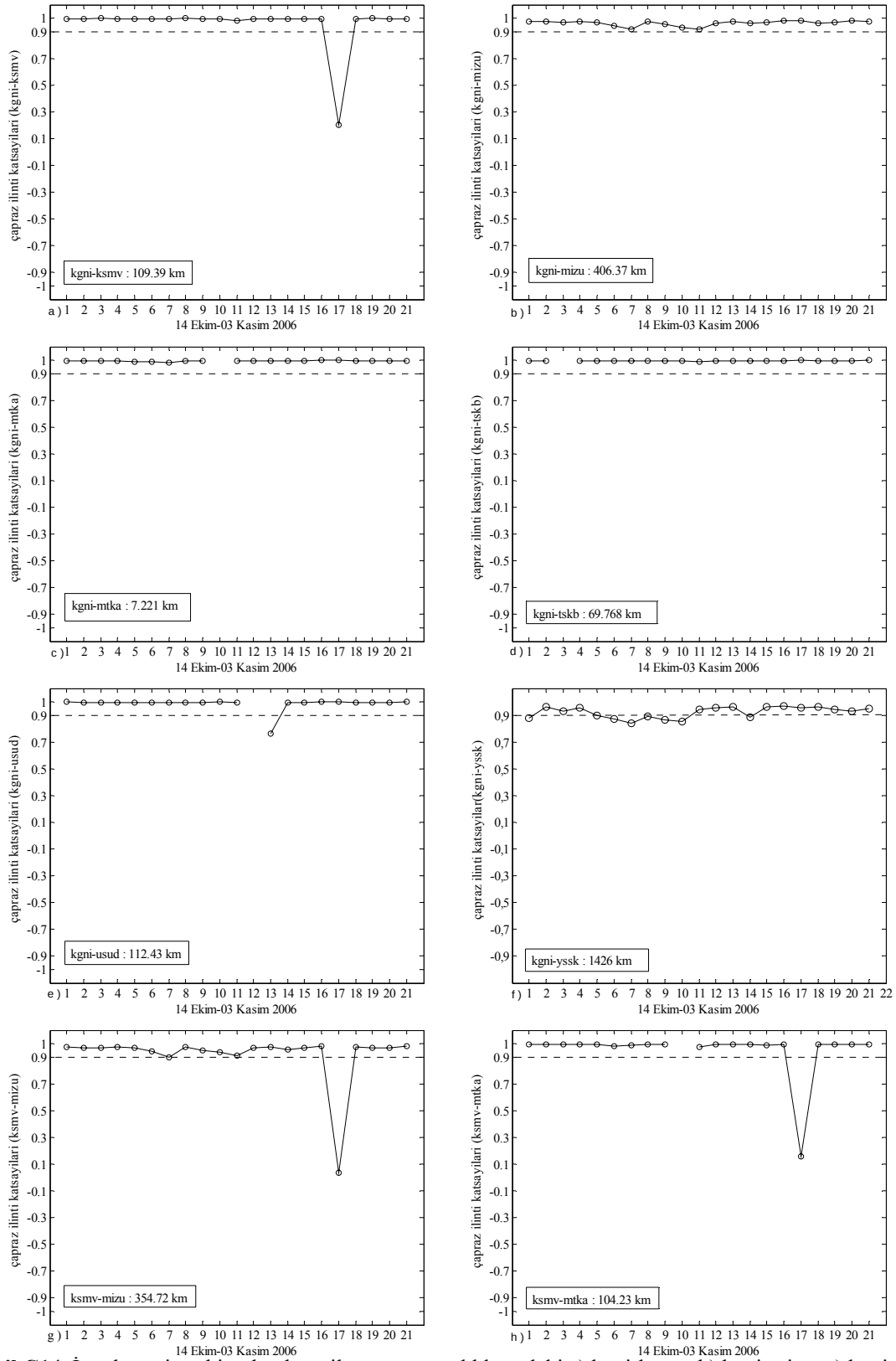
Şekil C11. 23 Temmuz 2005 Honşu depremi için a) kgni-yssk, b) ksmv-tskb, c) ksmv-usud, d) ksmv-yssk, e) tskb-usud, f) tskb-yssk, g) usud-yssk istasyonları arası Çapraz İlinti Katsayıları.



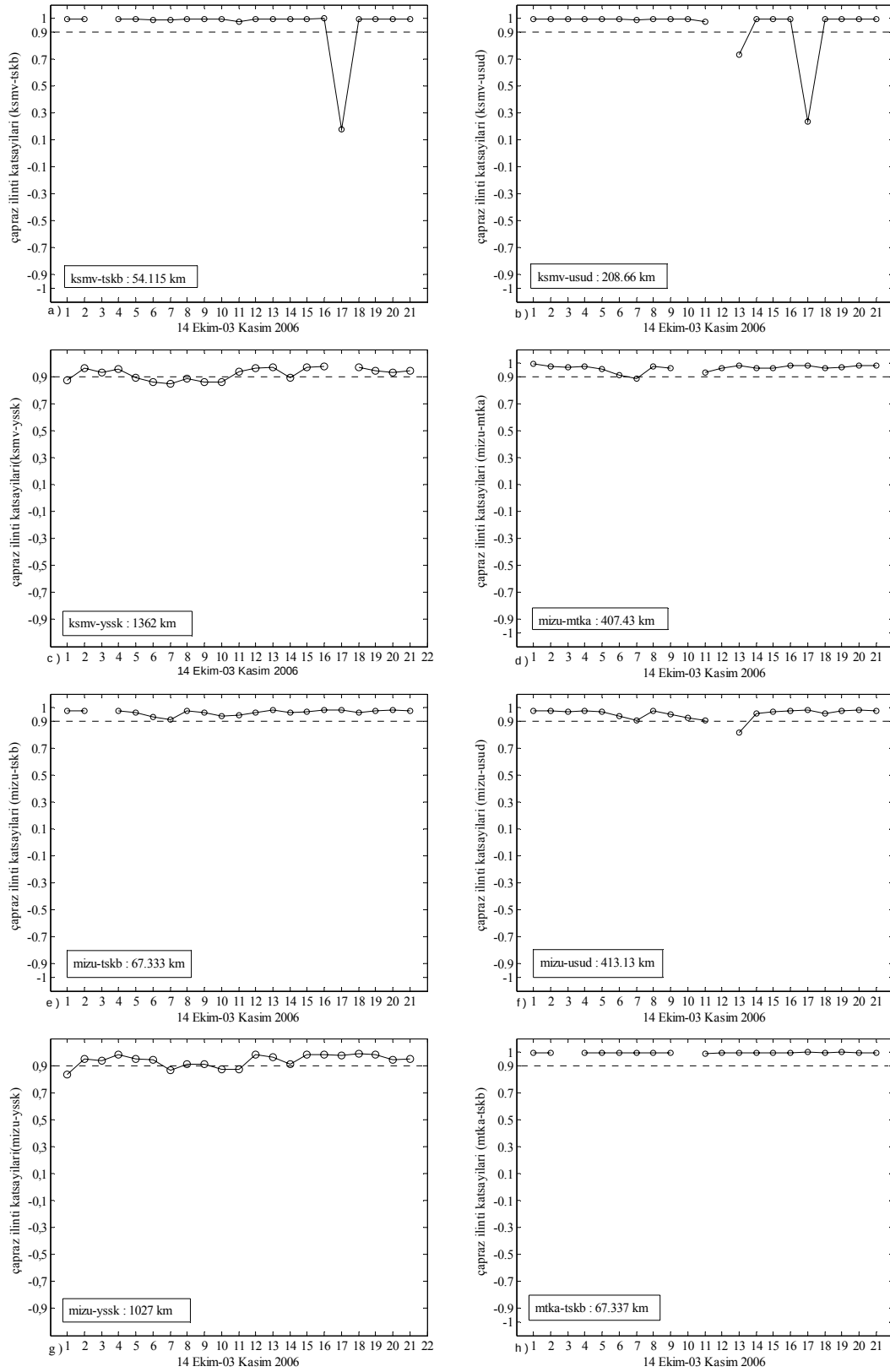
Şekil C12. İyonkürenin bozulmalı olarak seçilen zaman aralıklarındaki a) kgni-ksmv, b) kgni-mtka, c) kgni-tskb, d) kgni-yssk, e) ksmv-mtka, f) ksmv-tskb istasyonları arası Çapraz İlinti Katsayıları.



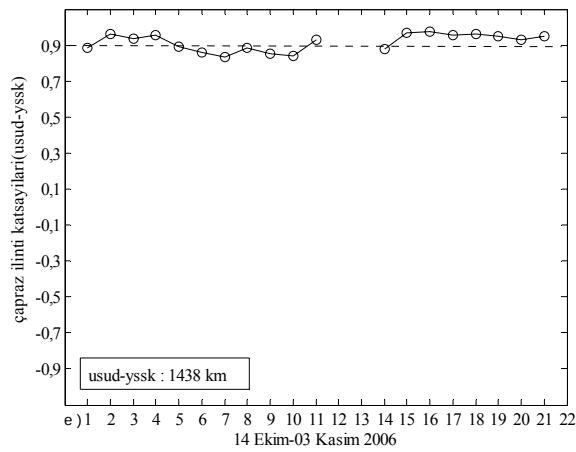
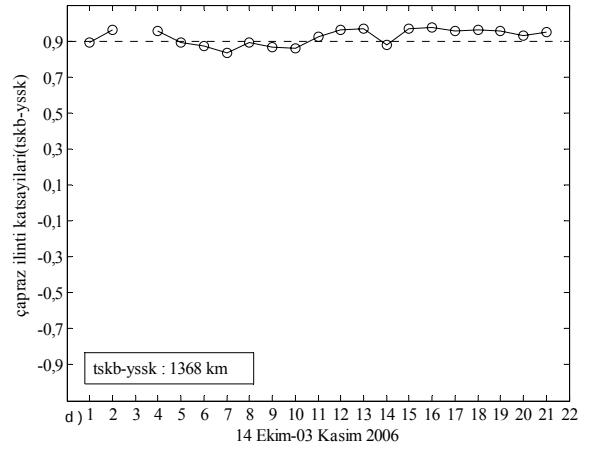
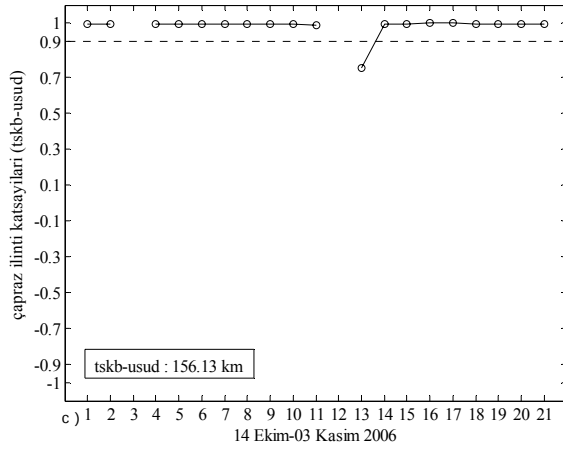
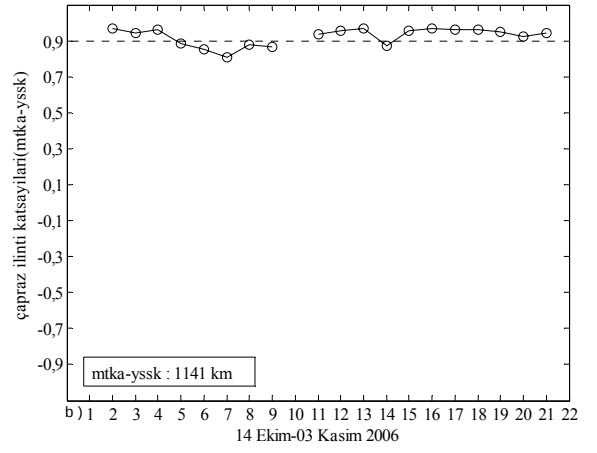
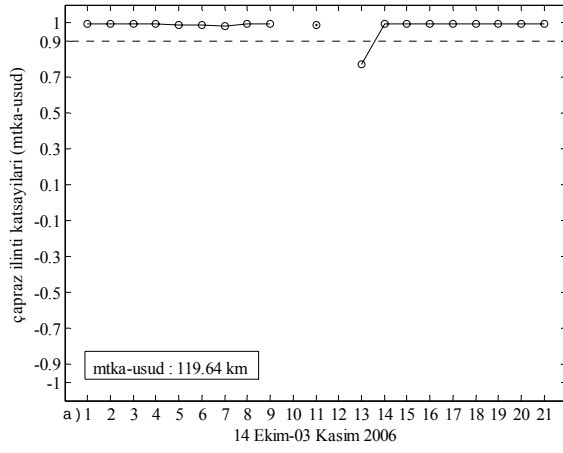
Şekil C13. İyonkürenin bozulmalı olarak seçilen zaman aralıklarındaki a) ksmv-yssk, b) mizu-usud, c) mtka-tskb, d) mtka-yssk, e) tskb-yssk istasyonları arası Çapraz İlinti Katsayıları.



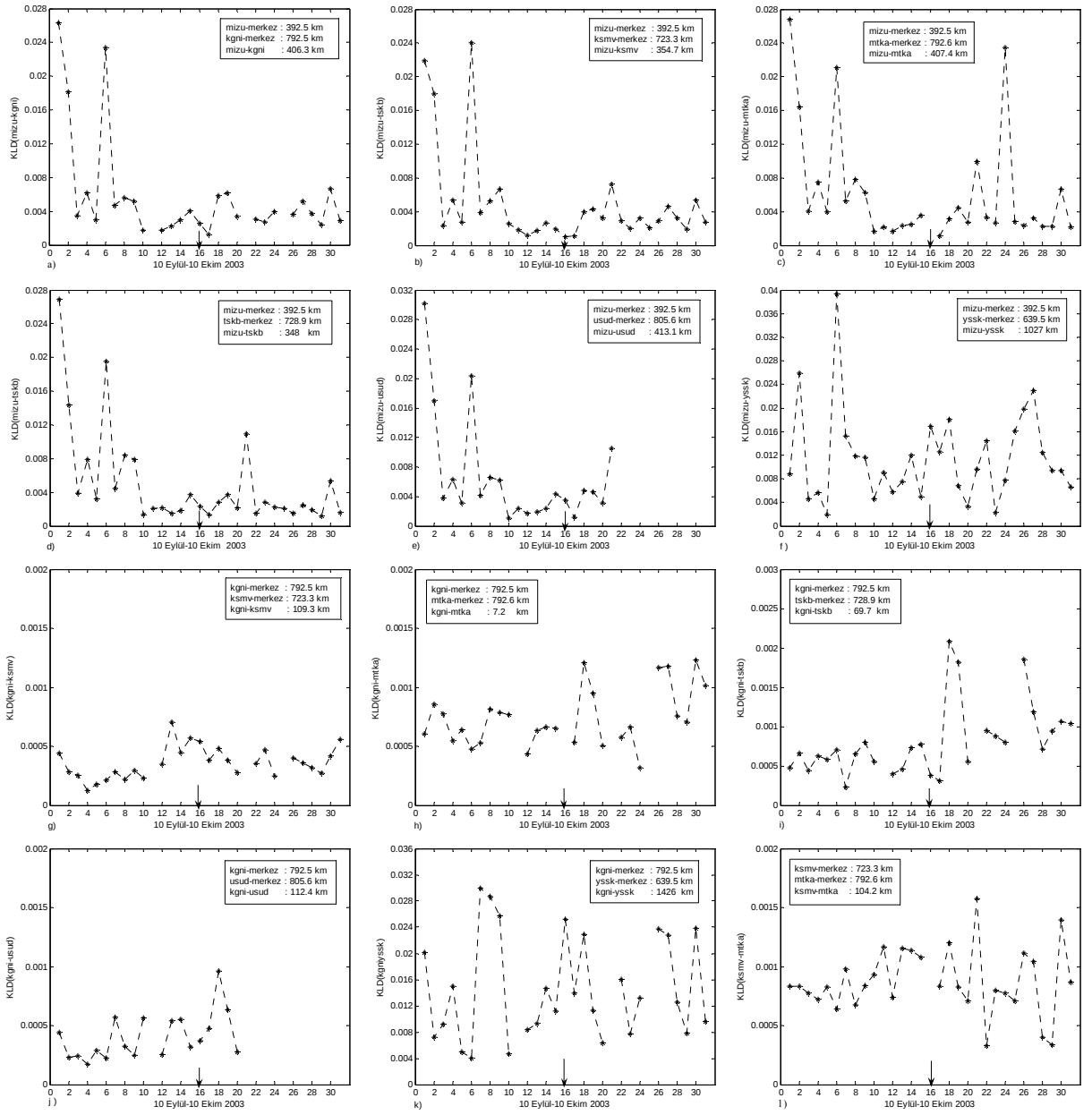
Şekil C14. İyonkürenin seçilen zaman aralıklarındaki a) $kgni-ksmv$, b) $kgni-mizu$, c) $kgni-mtka$, d) $kgni-tskb$, e) $kgni-usud$, f) $kgni-yssk$, g) $ksmv-mizu$, h) $ksmv-mtka$ istasyonları arası Çapraz İlinti Katsayıları.



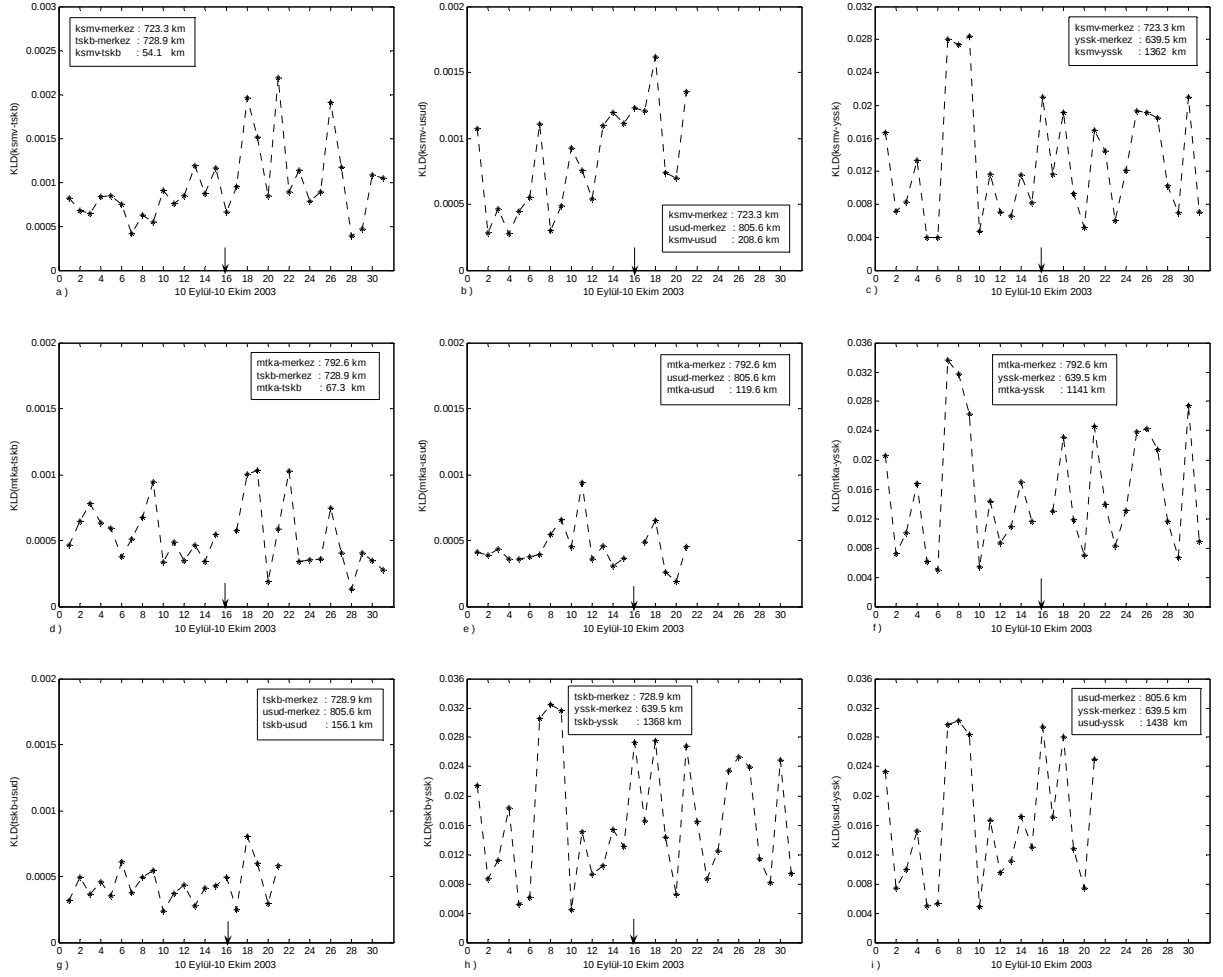
Şekil C15. İyonkürenin sakini olarak seçilen zaman aralıklarındaki a) ksmv-tskb, b) ksmv-usud, c) ksmv-yssk, d) mizu-mtka, e) mizu-tskb, f) mizu-usud, g) mizu-yssk, h) mtka-tskb istasyonları arası Çapraz İlinti Katsayıları.



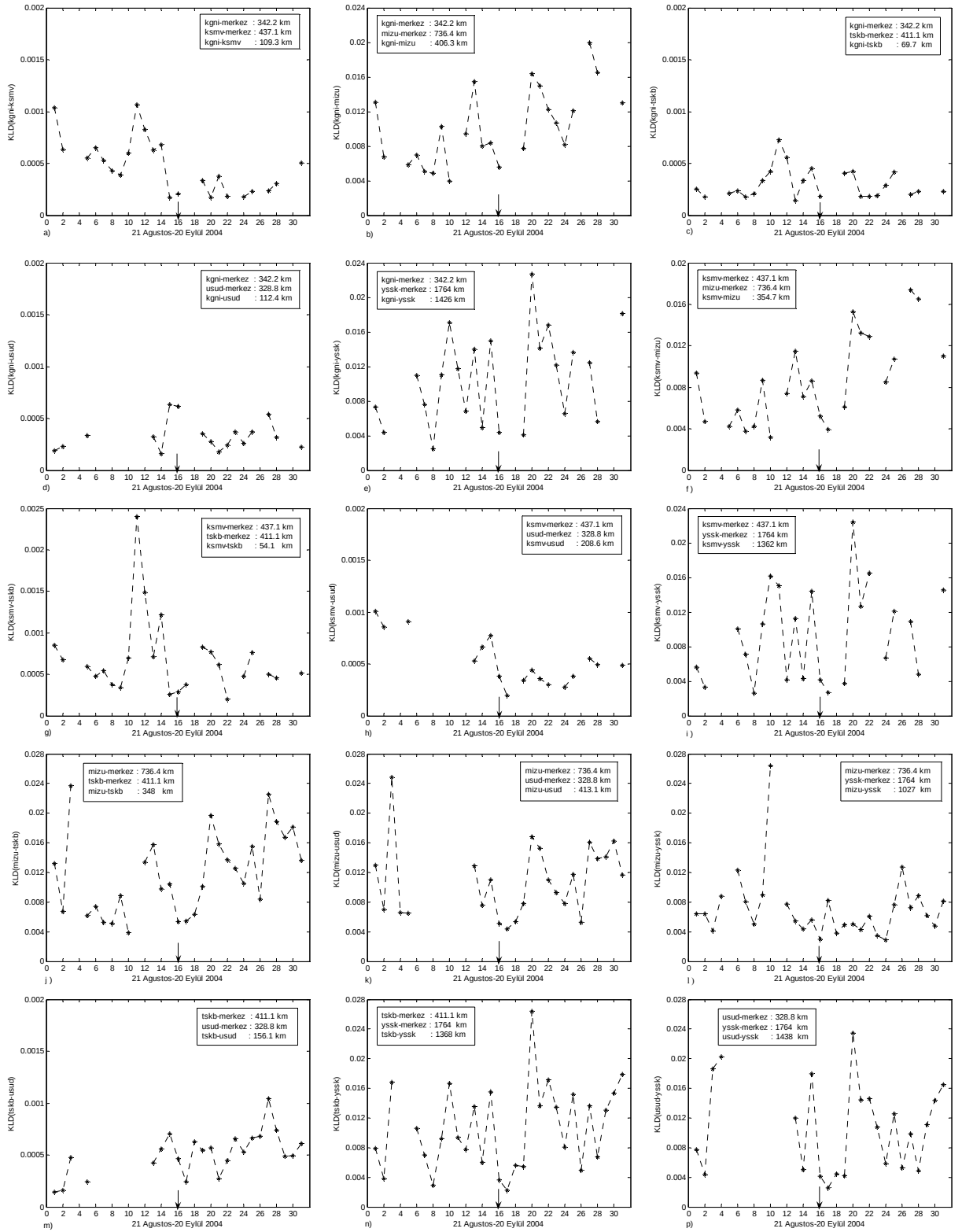
Şekil C16. İyonkürenin sakın olarak seçilen zaman aralıklarındaki a) mtka-usud, b) mtka-yssk, c) tskb-usud, d) tskb-yssk, e) usud-yssk istasyonları arası Çapraz İlinti Katsayıları.



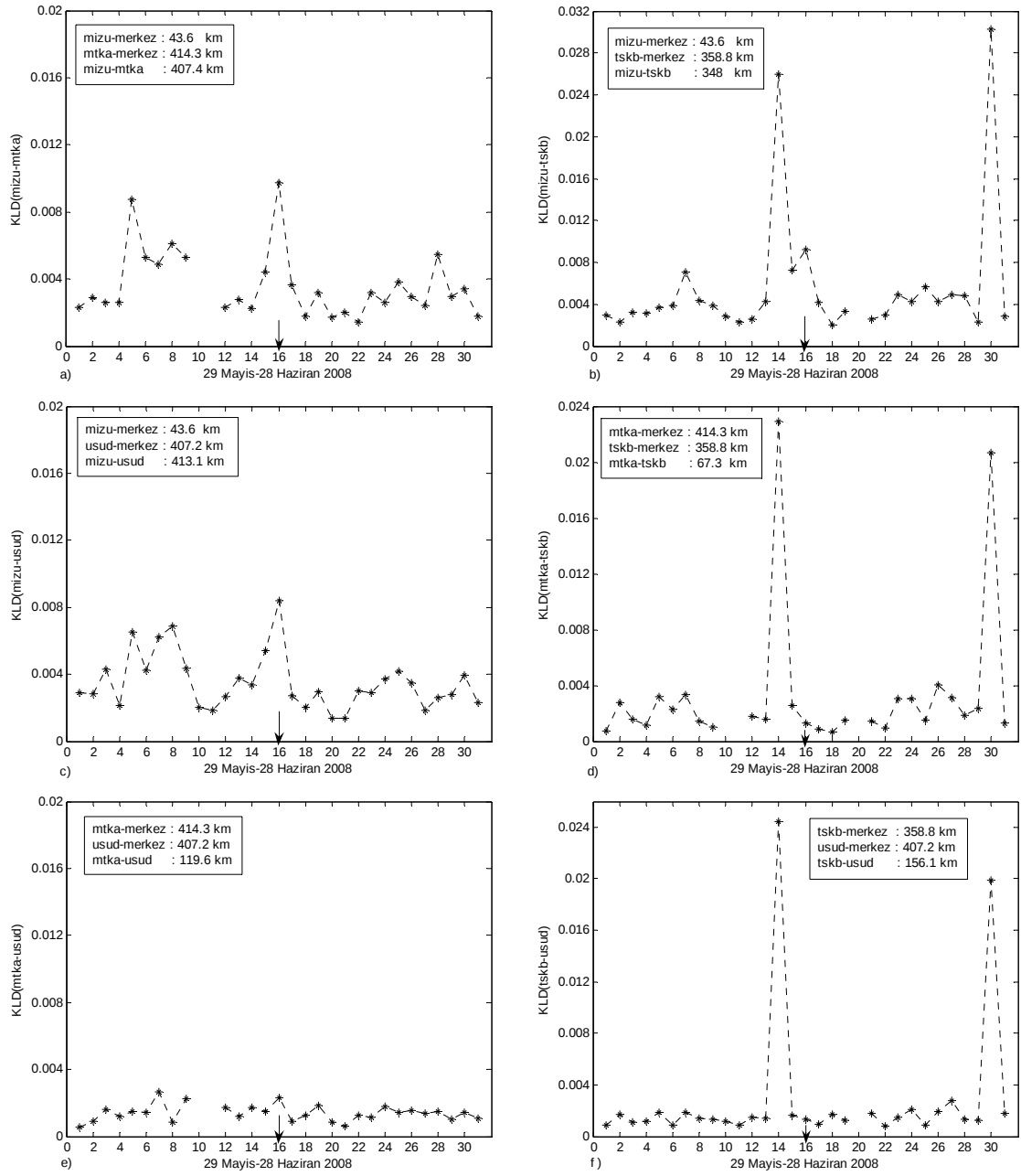
Şekil C17. 25 Eylül 2003 Hokkaido depremi için a) mizu-kgni, b) mizu-ksmv, c) mizu-mtka, d) mizu-tskb, e) mizu-usud, f) mizu-yssk, g) kgni-ksmv, h) kgni-mtka, i) kgni-tskb, j) kgni-usud, k) kgni-yssk, l) ksmv-mtka istasyonları arası KLD değerleri.



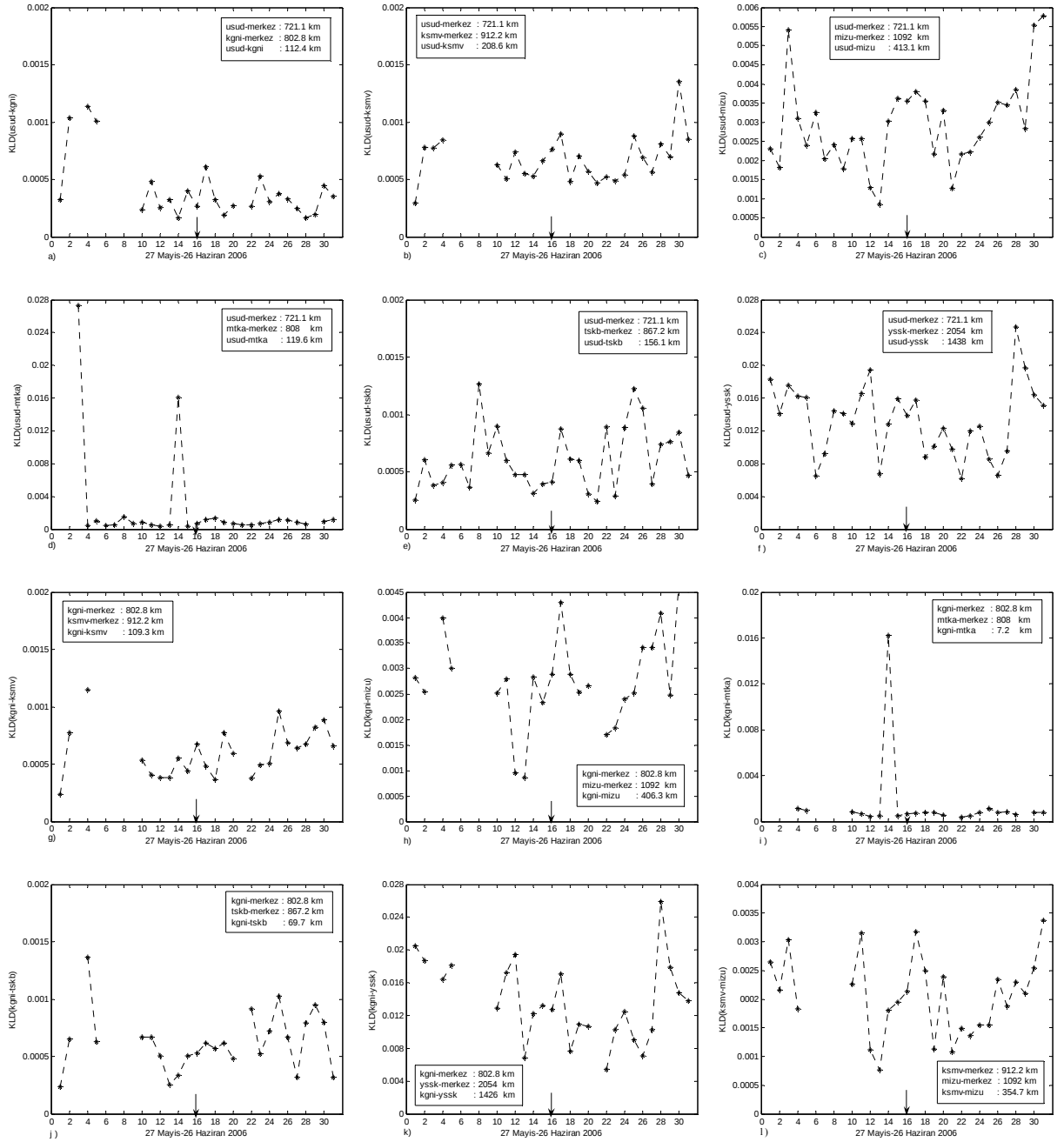
Şekil C18. 25 Eylül 2003 Hokkaido depremi için a) ksmv-tskb, b) ksmv-usud, c) ksmv-yssk, d) mtka-tskb, e) mtka-usud, f) mtka-yssk, g) tskb-usud, h) tskb-yssk, i) usud-yssk istasyonları arası KLD değerleri.



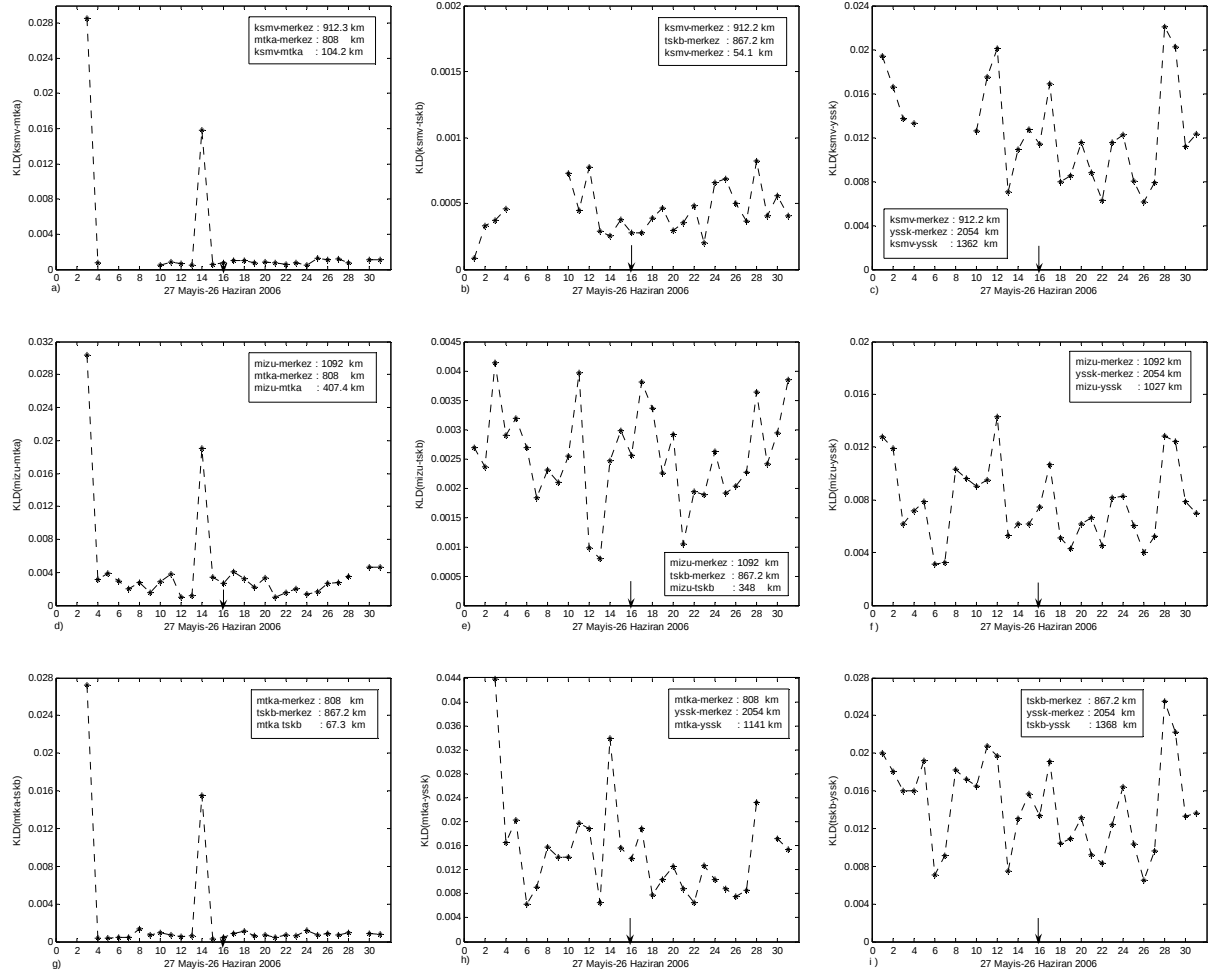
Şekil C19. 5 Eylül 2004 Honşu depremi için a) kgni-ksmv, b) kgni-mizu, c) kgni-tskb, d) kgni-usud, e) kgni-yssk, f) ksmv-mizu, g) ksmv-tskb, h) ksmv-usud, i) ksmv-yssk, j) mizu-tskb, k) mizu-usud, l) mizu-yssk, m) tskb-usud, n) tskb-yssk, p) usud-yssk istasyonları arası KLD değerleri.



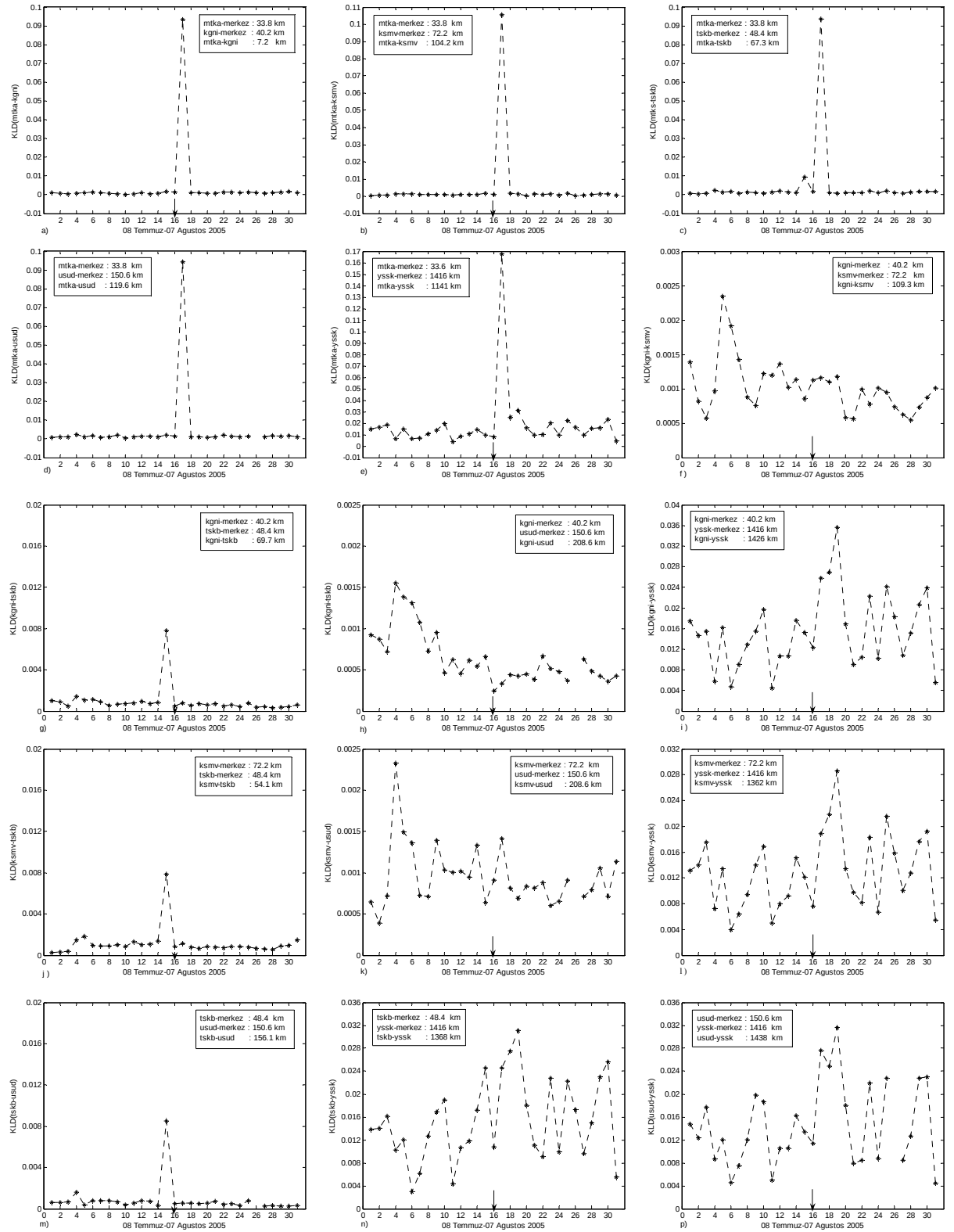
Şekil C20. 13 Haziran 2008 Honşu depremi için a) mizu-mtka, b) mizu-tskb, c) mizu-usud, d) mtka-tskb, e) mtka-usud, f) tskb-usud istasyonları arası KLD değerleri.



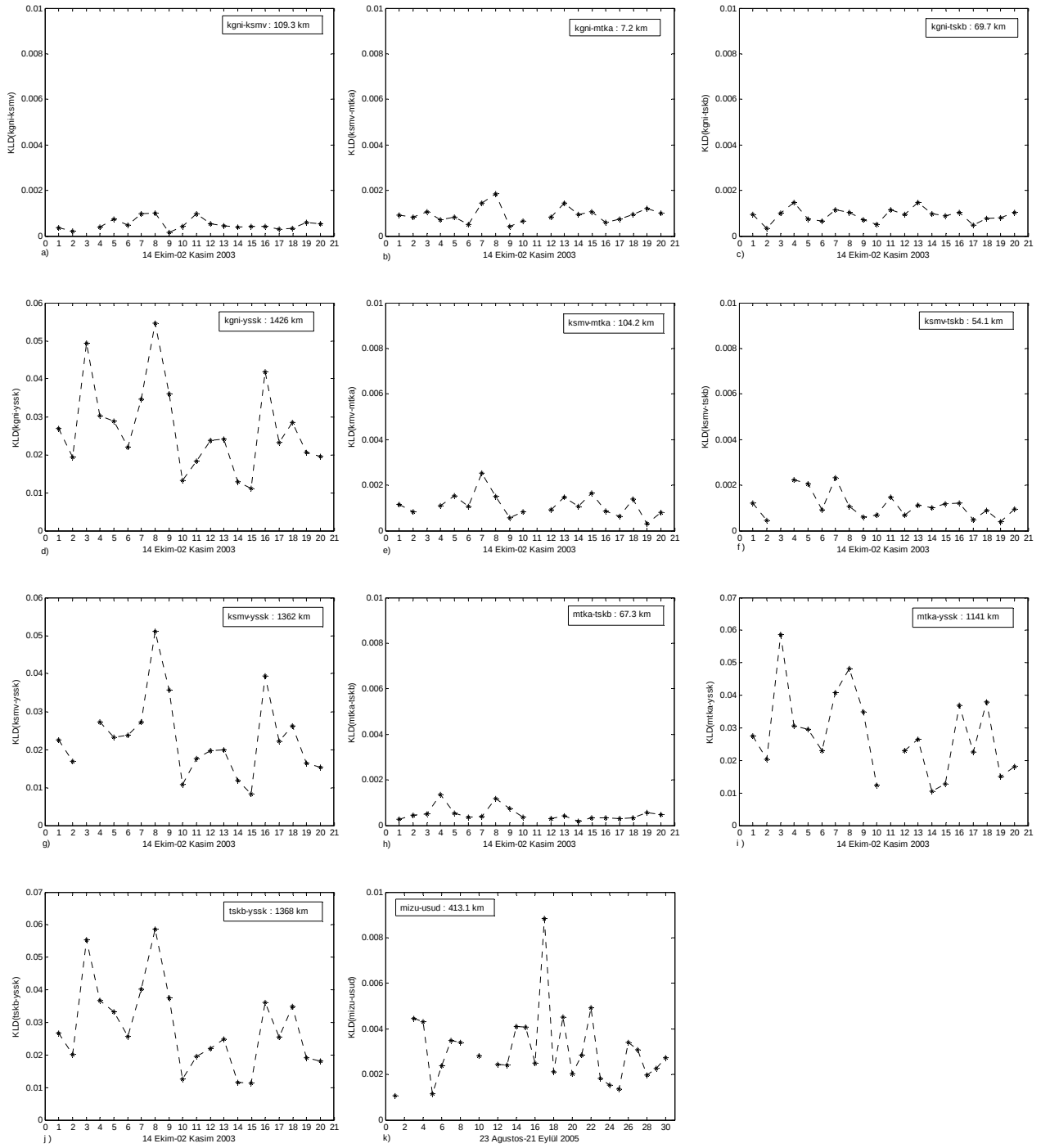
Şekil C21. 11 Haziran 2006 Kiyuşiyu depremi için a) usud-kgni, b) usud-ksmv, c) usud-mizu, d) usud-mtka, e) usud-tskb, f) usud-yssk, g) kgni-ksmv, h) kgni-mizu, i) kgni-mtka, j) kgni-tskb, k) kgni-yssk, l) ksmv-mizu istasyonları arası KLD değerleri.



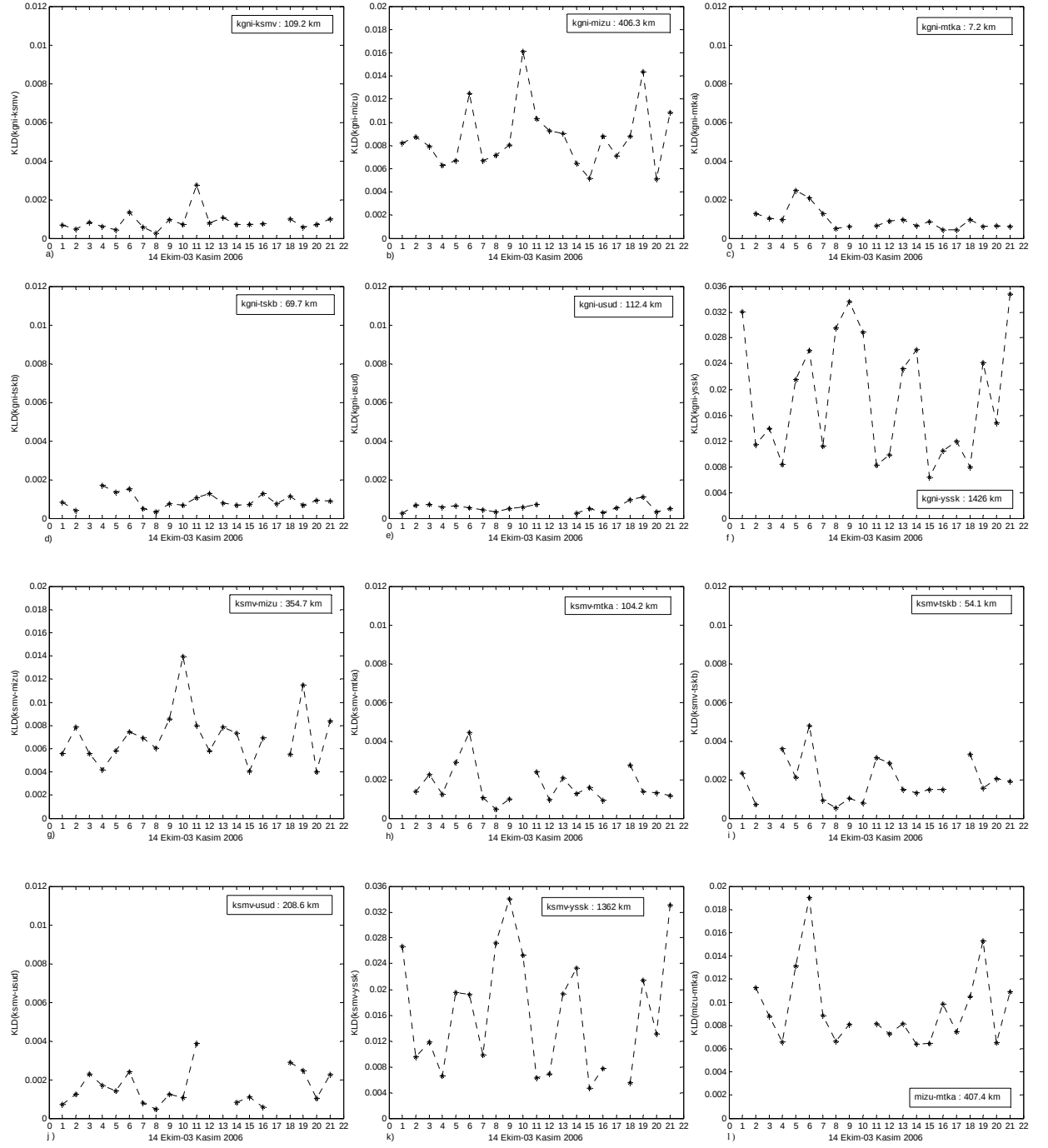
Şekil C22. 11 Haziran 2006 Kiyuşıyu depremi için a) ksmv-mtka, b) ksmv-tskb, c) ksmv-yssk, d) mizu-mtka, e) mizu-tskb, f) mizu-yssk, g) mtka-tskb, h) mtka-yssk, i) tskb-yssk istasyonları arası KLD değerleri.



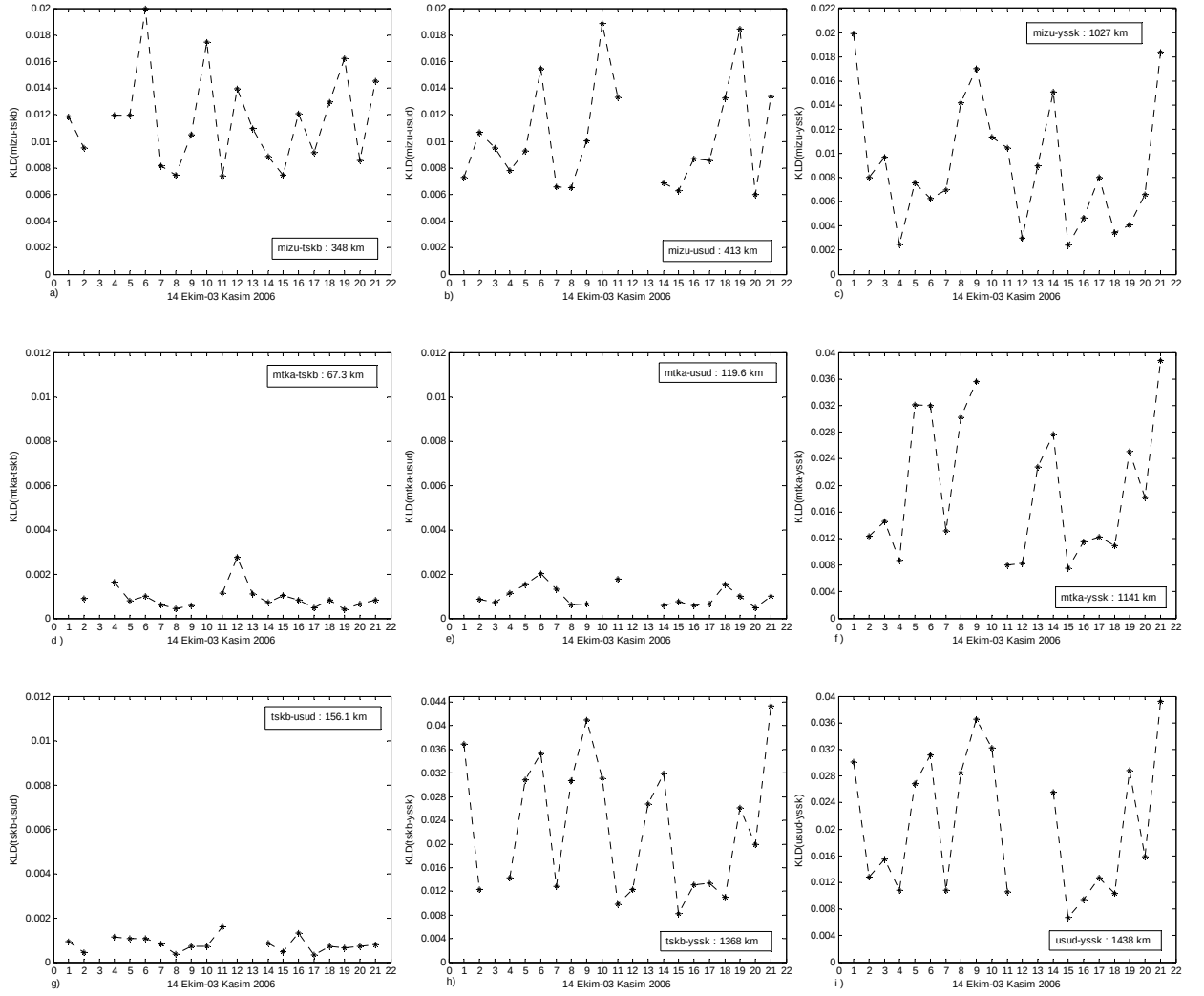
Şekil C23. 23 Temmuz 2005 Honşu depremi için a) mtka-kgni, b) mtka-ksmv, c) mtka-tskb, d) mtka-usud, e) mtka-yssk, f) kgni-ksmv, g) kgni-tskb, h) kgni-usud, i) kgni-yssk, j) ksmv-tskb, k) ksmv-usud, l) ksmv-yssk, m) tskb-usud, n) tskb-yssk, p) usud-yssk istasyonları arası KLD değerleri.



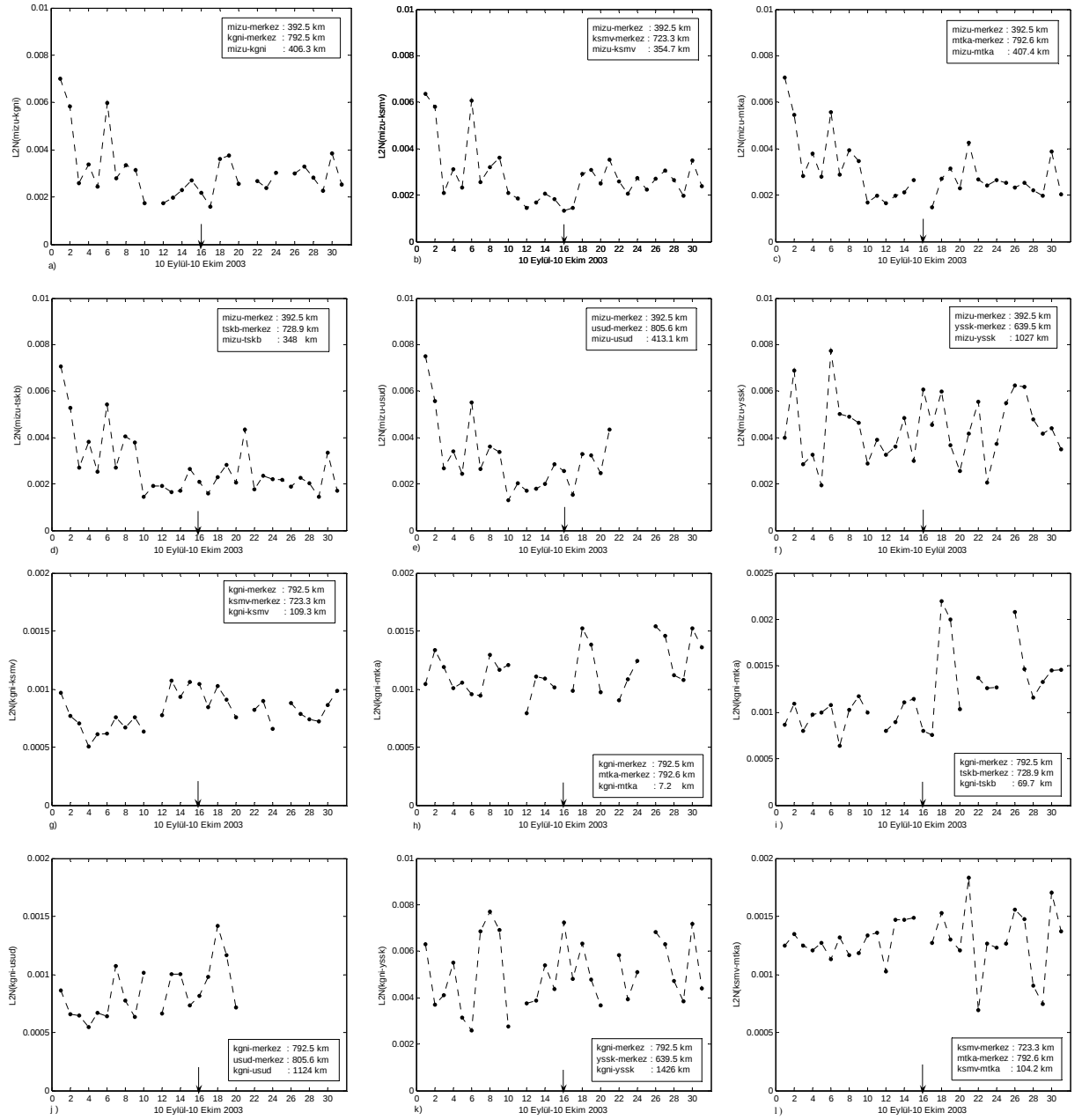
Şekil C24. İyonkürenin bozulmalı olarak seçilen zaman aralıklarındaki a) kgni-ksmv, b) kgni-mtka, c) kgni-tskb, d) kgni-yssk, e) ksmv-mtka, f) ksmv-tskb, g) ksmv-yssk, h) mtka-tskb, i) mtka-yssk, j) tsbk-yssk, k) mizu-usud istasyonları arası KLD değerleri.



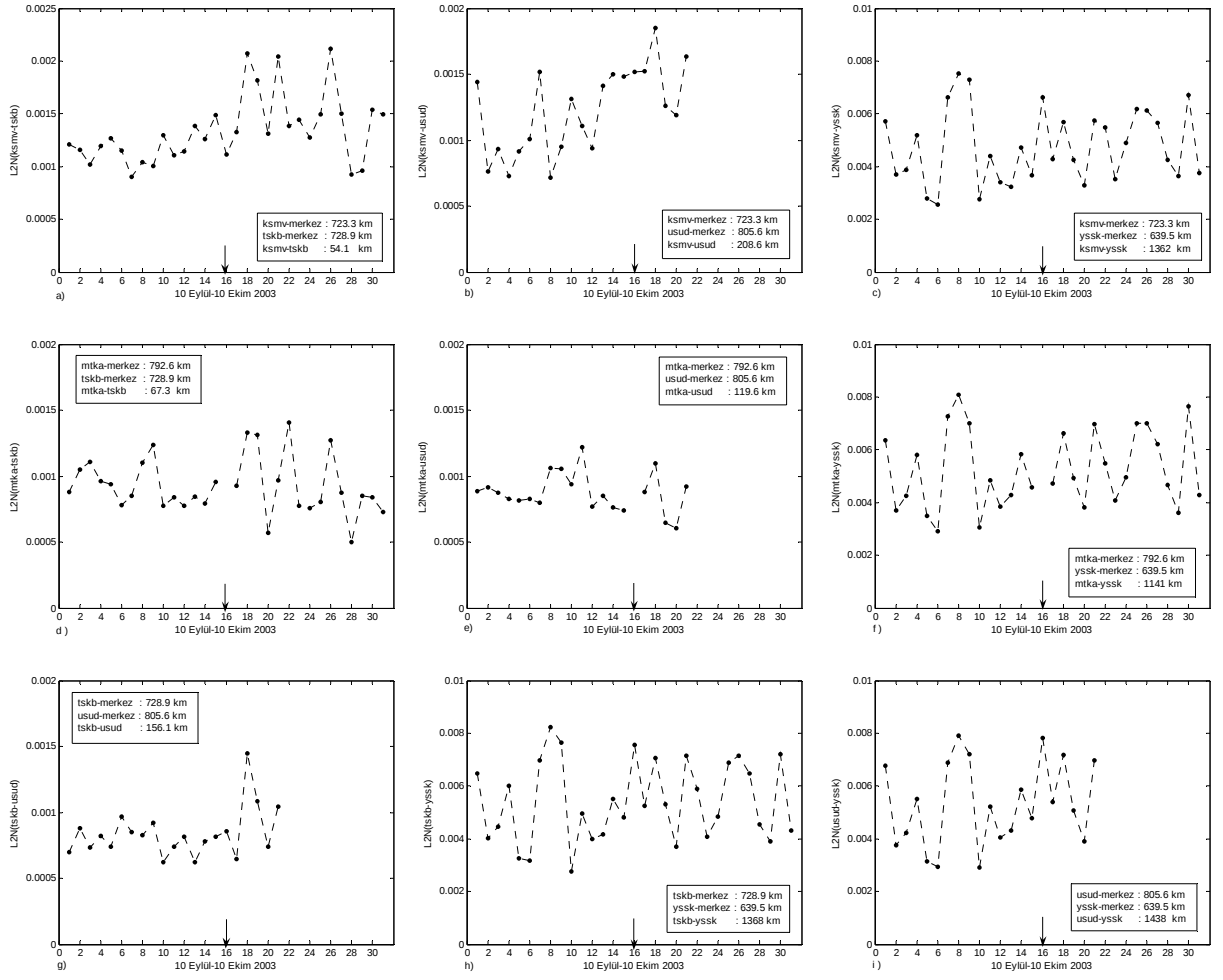
Şekil C24. İyonkürenin sakın olarak seçilen zaman aralığındaki a) kgni-ksmv, b) kgni-mizu, c) kgni-mtka, d) kgni-tskb, e) kgni-usud, f) kgni-yssk, g) ksmv-mizu, h) ksmv-mtka, i) ksmv-tskb, j) ksmv-usud, k) ksmv-yssk, l) mizu-mtka istasyonları arası KLD değerleri.



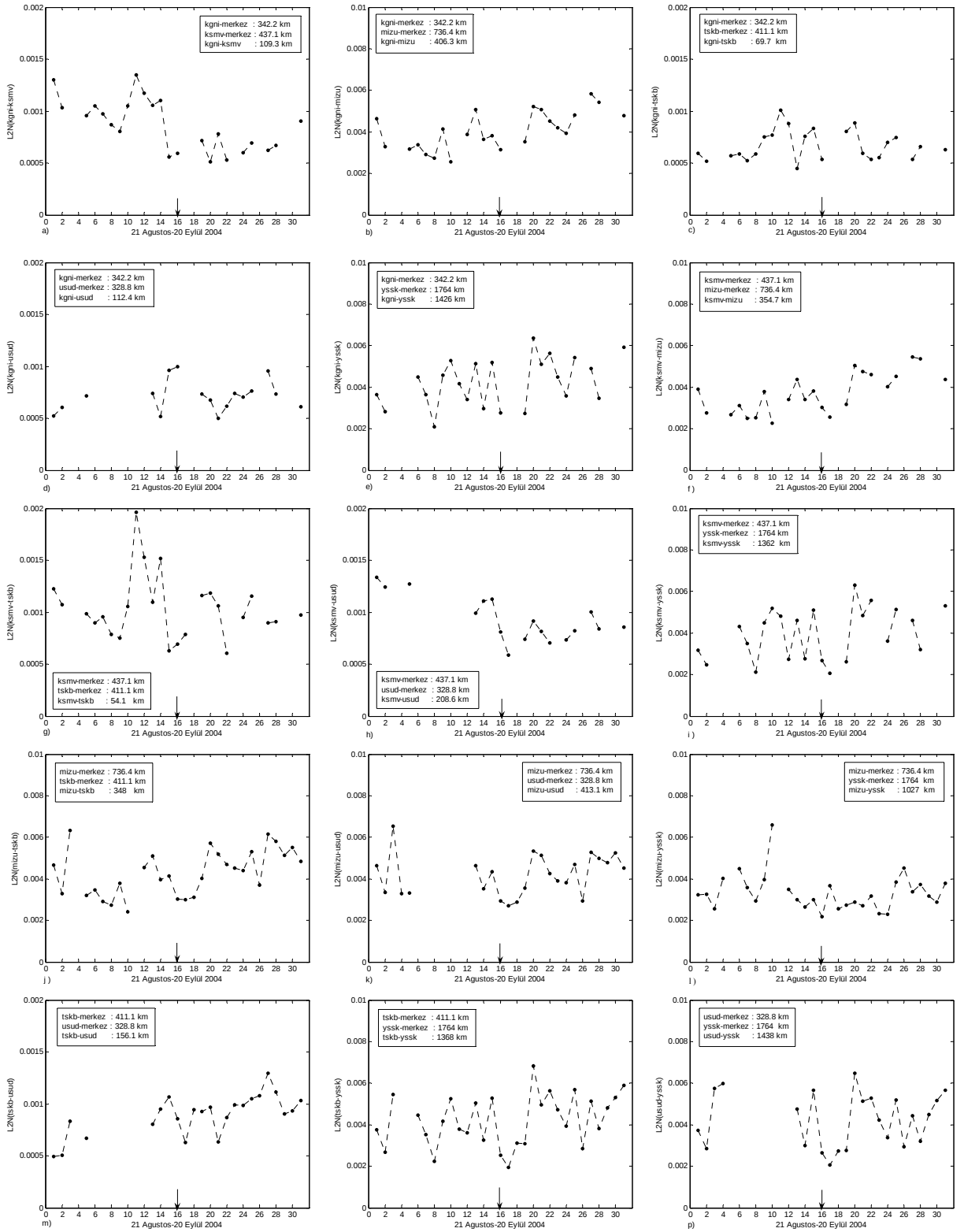
Şekil C25. İyonkürenin sakın olarak seçilen zaman aralığındaki a) mizu-tskb, b) mizu-usud, c) mizu-yssk, d) mtka-tskb, e) mtka-usud, f) mtka-yssk, g) tskb-usud, h) tskb-yssk, i) usud-yssk istasyonları arası KLD değerleri.



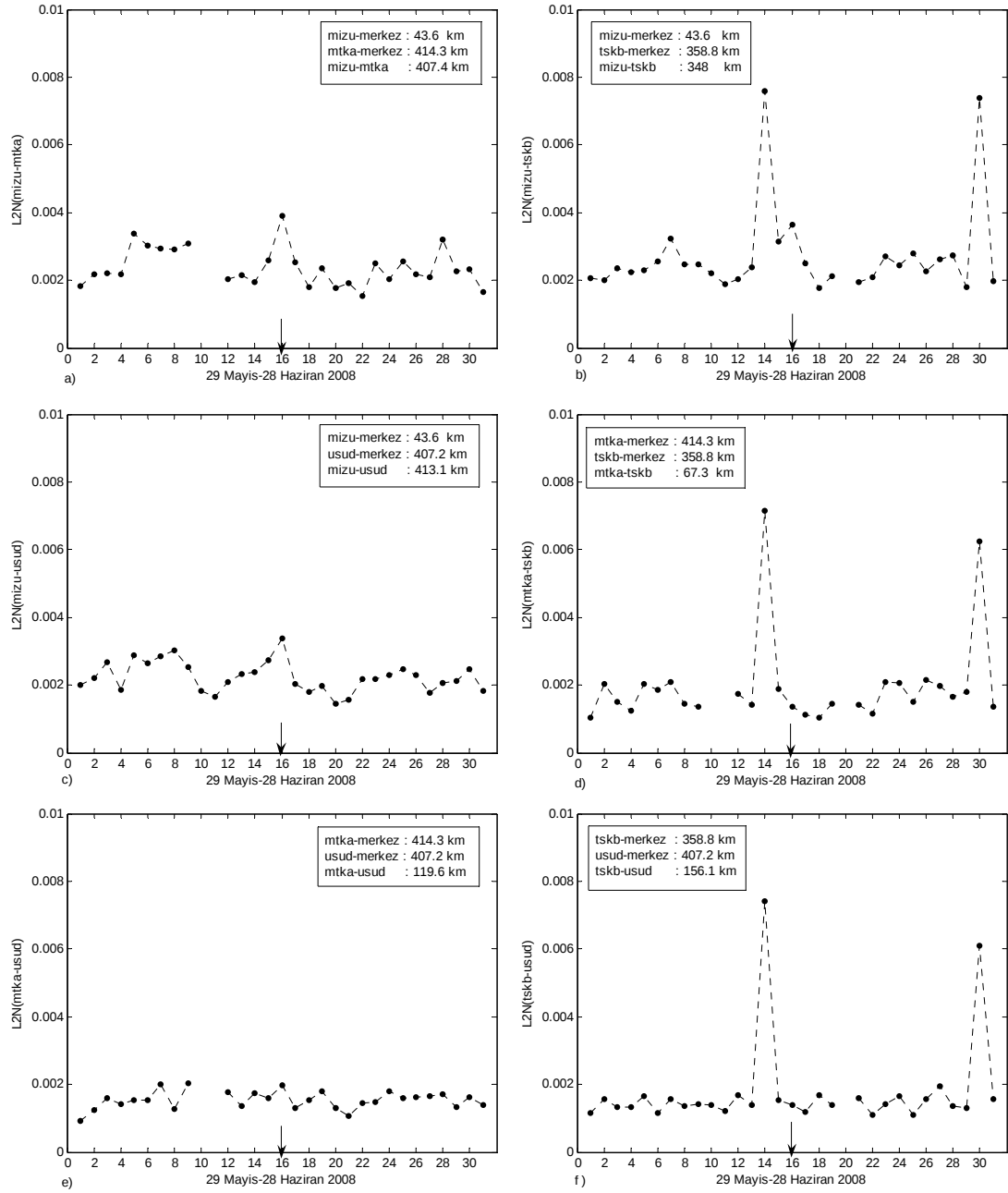
Şekil C26. 25 Eylül 2003 Hokkaido depremi için a) mizu-kgni, b) mizu-ksmv, c) mizu-mtka, d) mizu-tskb, e) mizu-usud, f) mizu-yssk, g) kgni-ksmv, h) kgni-mtka, i) kgni-tskb, j) kgni-usud, k) kgni-yssk, l) ksmv-mtka istasyonları arası L2N değerleri.



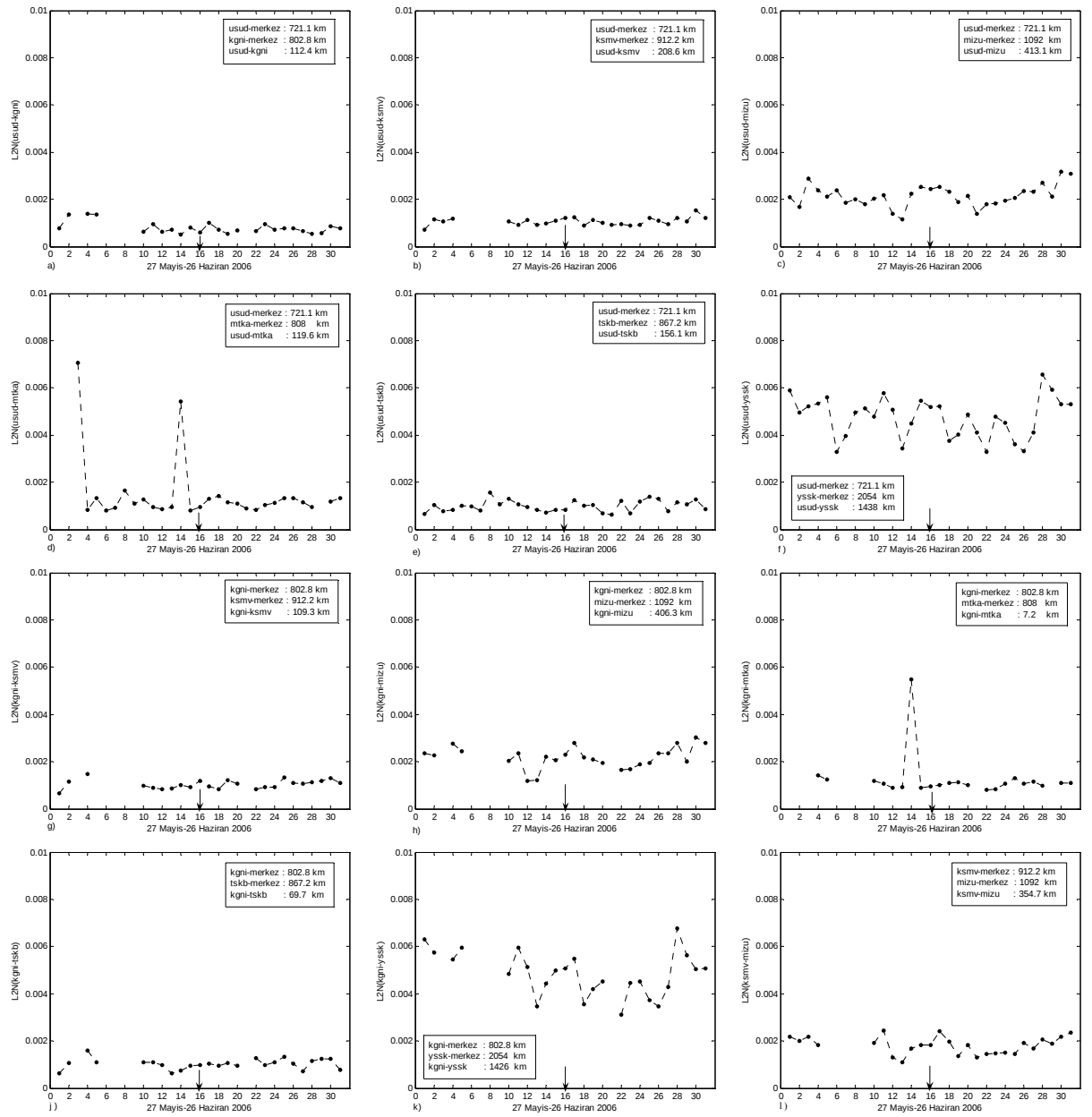
Şekil C27. 25 Eylül 2003 Hokkaido depremi için a) ksmv-tskb, b) ksmv-usud, c) ksmv-yssk, d) mtka-tskb, e) mtka-usud, f) mtka-yssk, g) tskb-usud, h) tskb-yssk, i) usud-yssk istasyonları arası L2N değerleri.



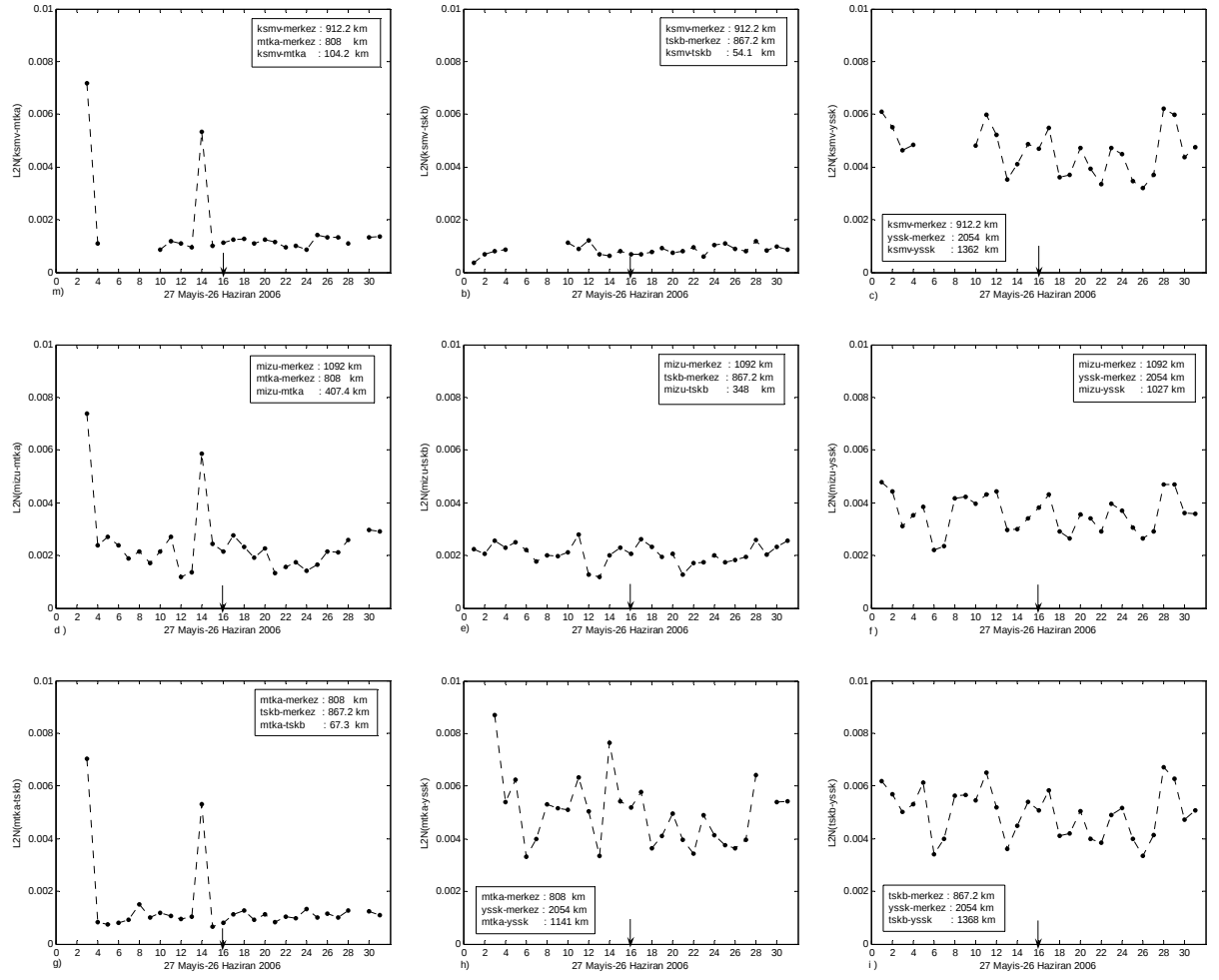
Şekil C28.5 Eylül 2004 Honşu depremi için a) kgni-ksmv, b) kgni-mizu, c) kgni-tskb, d) kgni-usud, e) kgni-yssk, f) ksmv-mizu, g) ksmv-tskb, h) ksmv-usud, i) ksmv-yssk, j) mizu-tskb, k) mizu-usud, l) mizu-yssk, m) tskb-usud, n) tskb-yssk, p) usud-yssk istasyonları arası L2N değerleri.



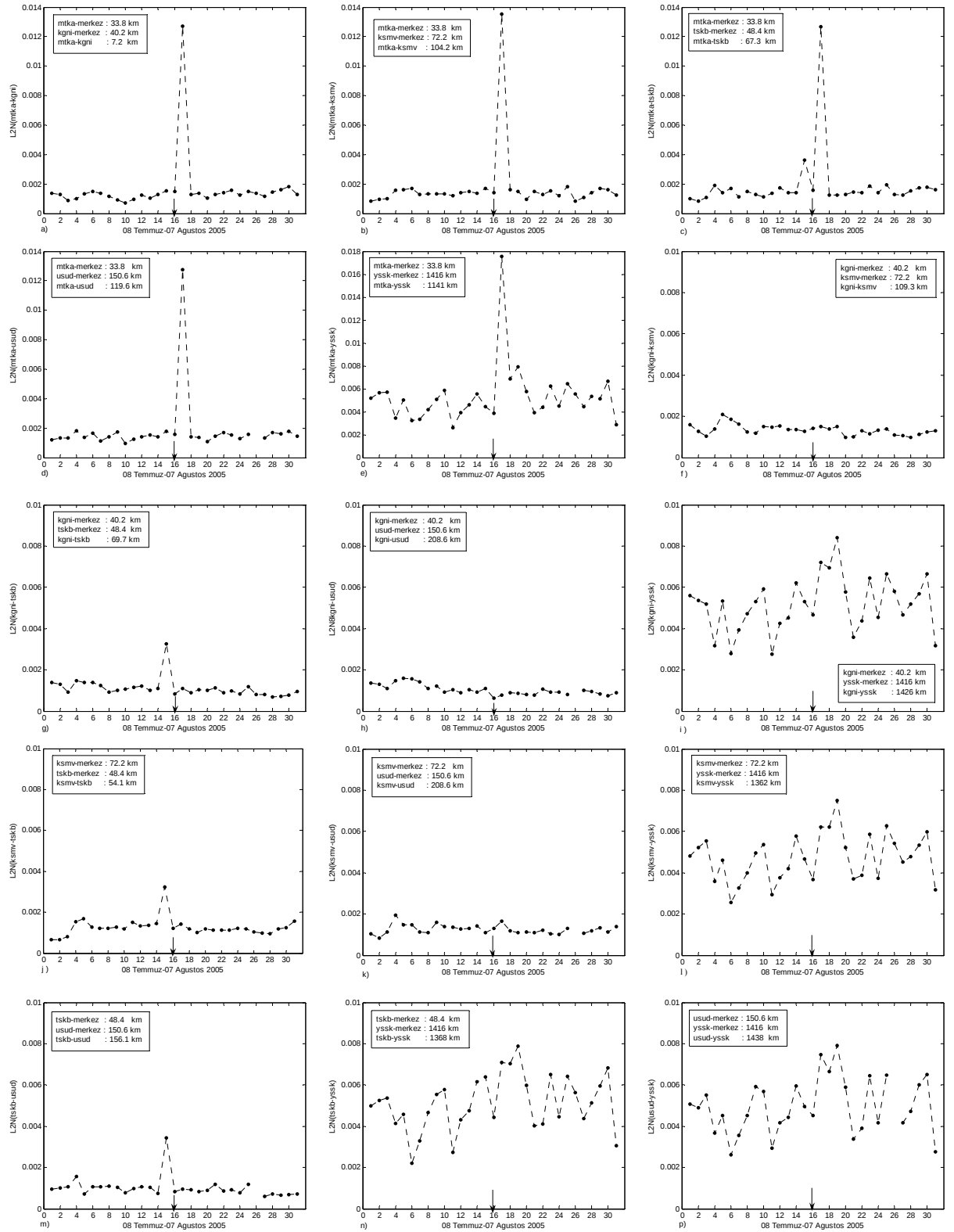
Şekil C29. 13 Haziran 2008 Honşu depremi için a) mizu-mtka, b) mizu-tskb, c) mizu-usud, d) mtka-tskb, e) mtka-usud, f) tskb-usud istasyonları arası L2N değerleri.



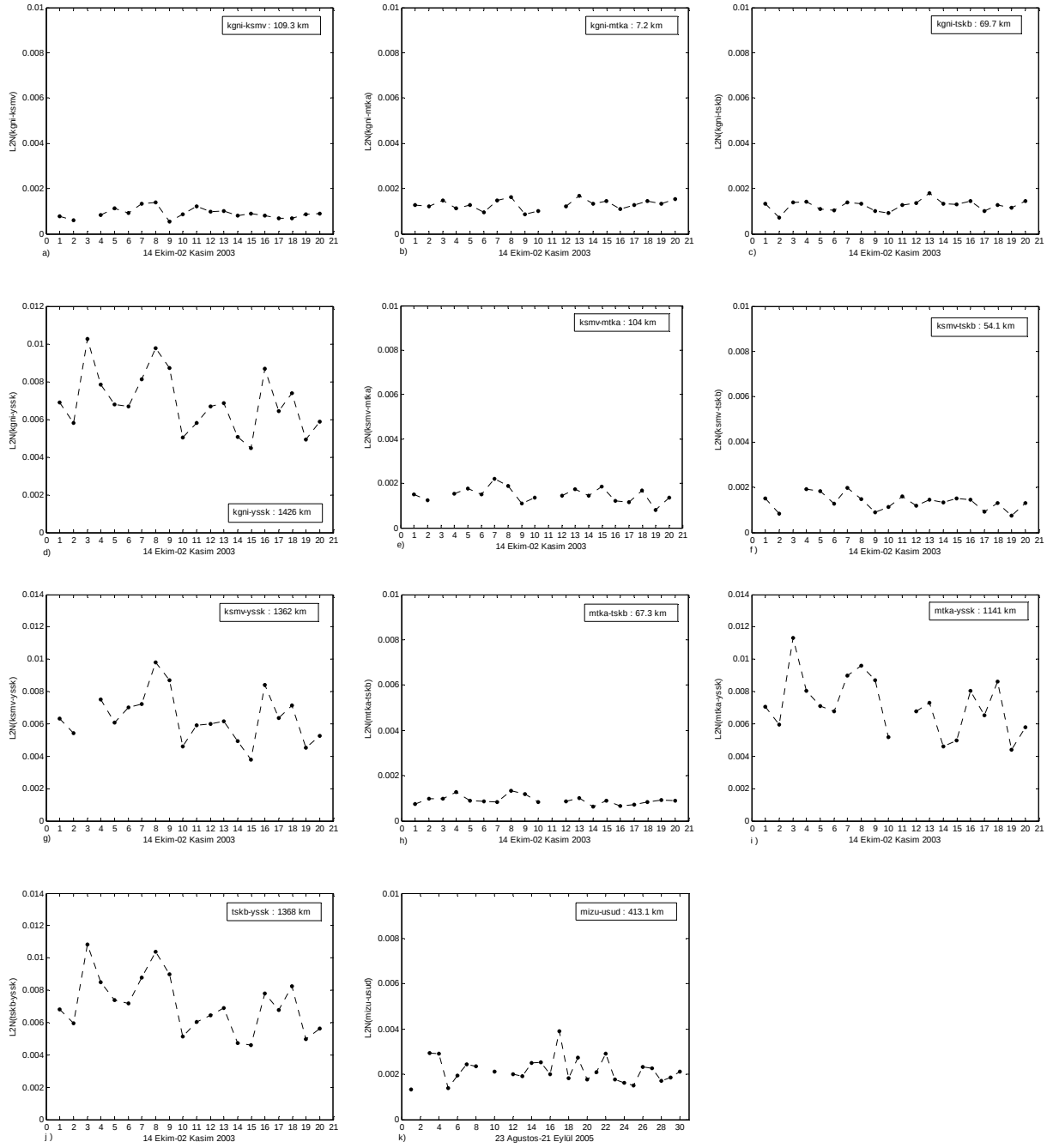
Şekil C30. 11 Haziran 2006 Kiyuşiyu depremi için a) usud-kgni, b) usud-ksmv, c) usud-mizu, d) usud-mtka, e) usud-tskb, f) usud-yssk, g) kgni-ksmv, h) kgni-mizu, i) kgni-mtka, j) kgni-tskb, k) kgni-yssk, l) ksmv-mizu istasyonları arası L2N değerleri.



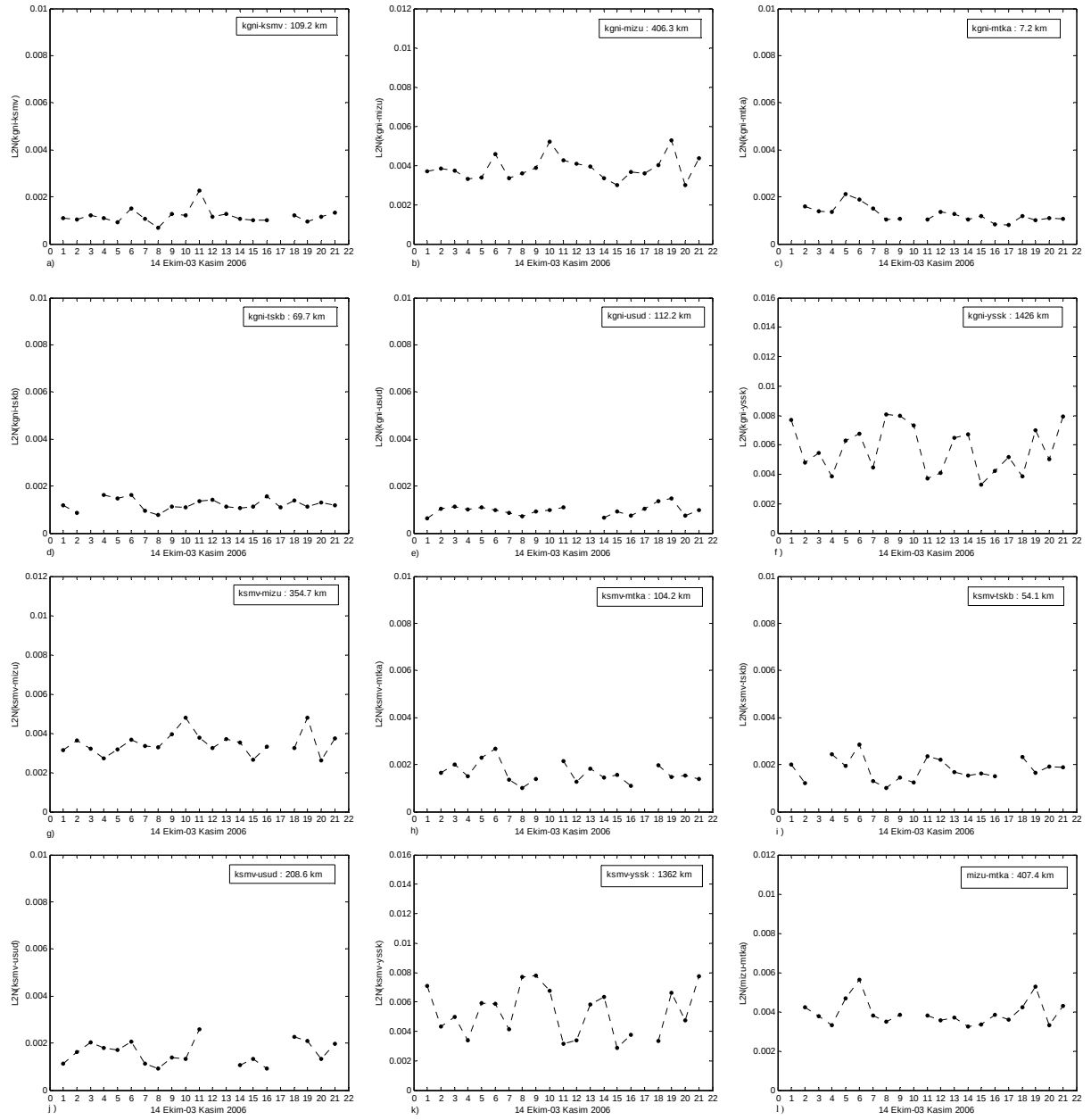
Şekil C31. 11 Haziran 2006 Kiyuşiyu depremi için a) ksmv-mtka, b) ksmv-tskb, c) ksmv-yssk, d) mizu-mtka, e) mizu-tskb, f) mizu-yssk, g) mtka-tskb, h) mtka-yssk, i) tskb-yssk istasyonları arası L2N değerleri.



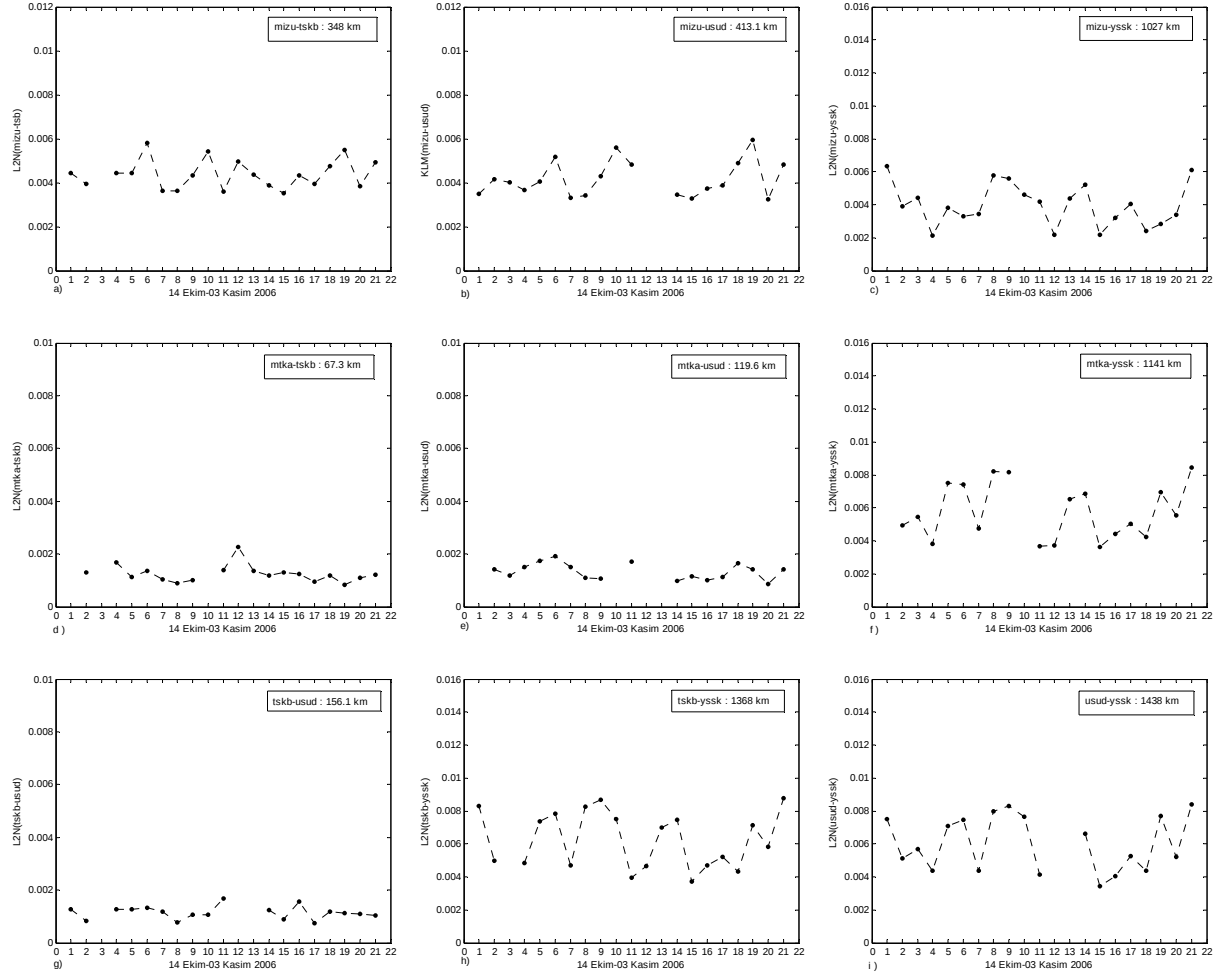
Şekil C32. 23 Temmuz 2005 Honşu depremi için a) mtka-kgni, b) mtka-ksmv, c) mtka-tskb, d) mtka-usud, e) mtka-yssk, f) kgni-ksmv, g) kgni-tskb, h) kgni-usud, i) kgni-yssk, j) ksmv-tskb, k) ksmv-usud, l) ksmv-yssk, m) tskb-usud, n) tskb-yssk, p) usud-yssk istasyonları arası L2N değerleri.



Şekil C33. İyonkürenin bozulmalı olarak seçilen zaman aralıklarındaki a) kgni-ksmv, b) kgni-mtka, c) kgni-tskb, d) kgni-yssk, e) ksmv-mtka, f) ksmv-tskb, g) ksmv-yssk, h) mtka-tskb, i) mtka-yssk, j) tskb-yssk, k) mizu-usud istasyonları arası L2N değerleri.



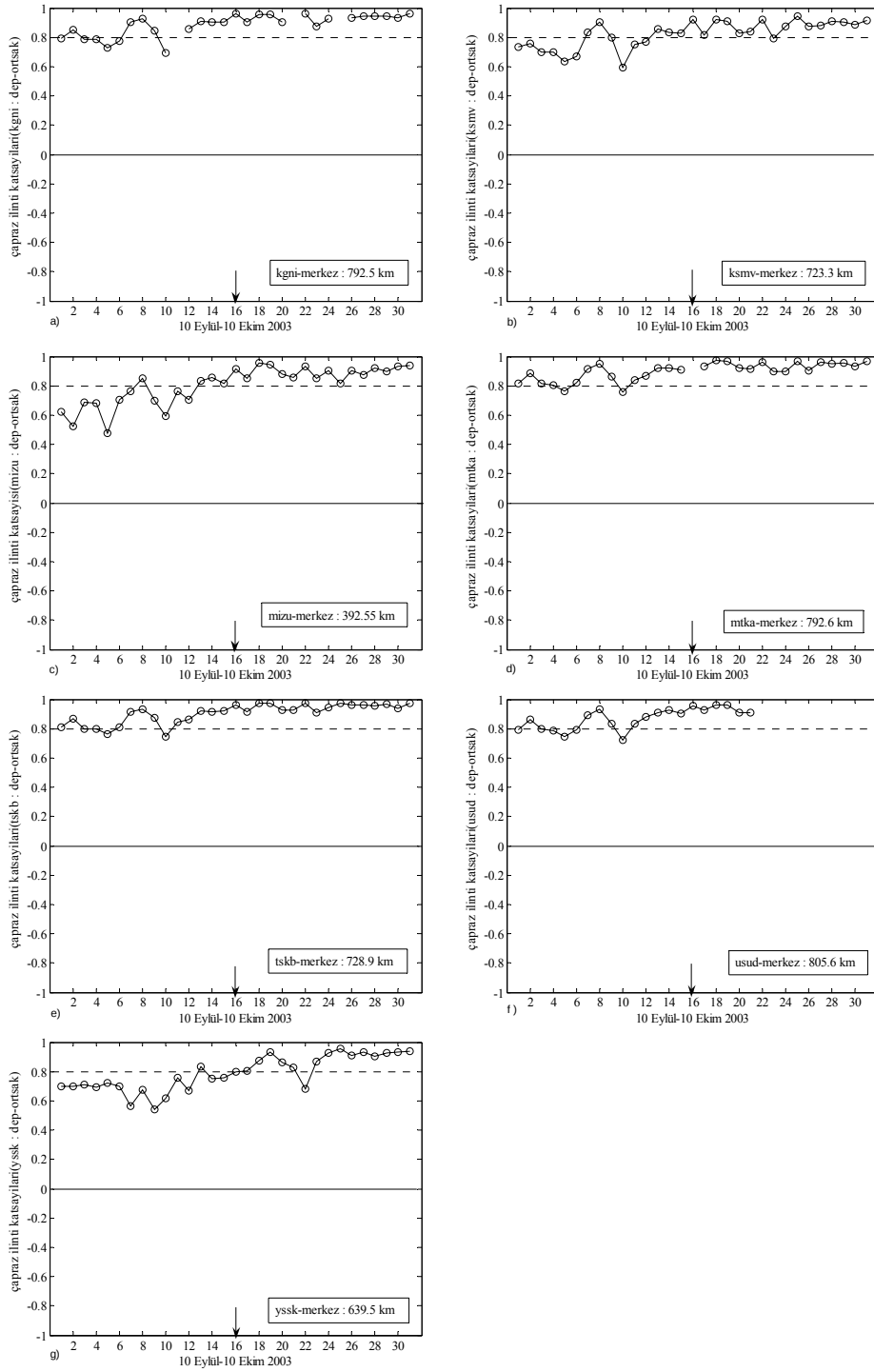
Şekil C34. İyonkürenin yakın olarak seçilen zaman aralığındaki a) kgni-ksmv, b) kgni-mizu, c) kgni-mtka, d) kgni-tskb, e) kgni-usud, f) kgni-yssk, g) ksmv-mizu, h) ksmv-mtka, i) ksmv-tskb, j) ksmv-usud, k) ksmv-yssk, l) mizu-mtka istasyonları arası L2N değerleri.



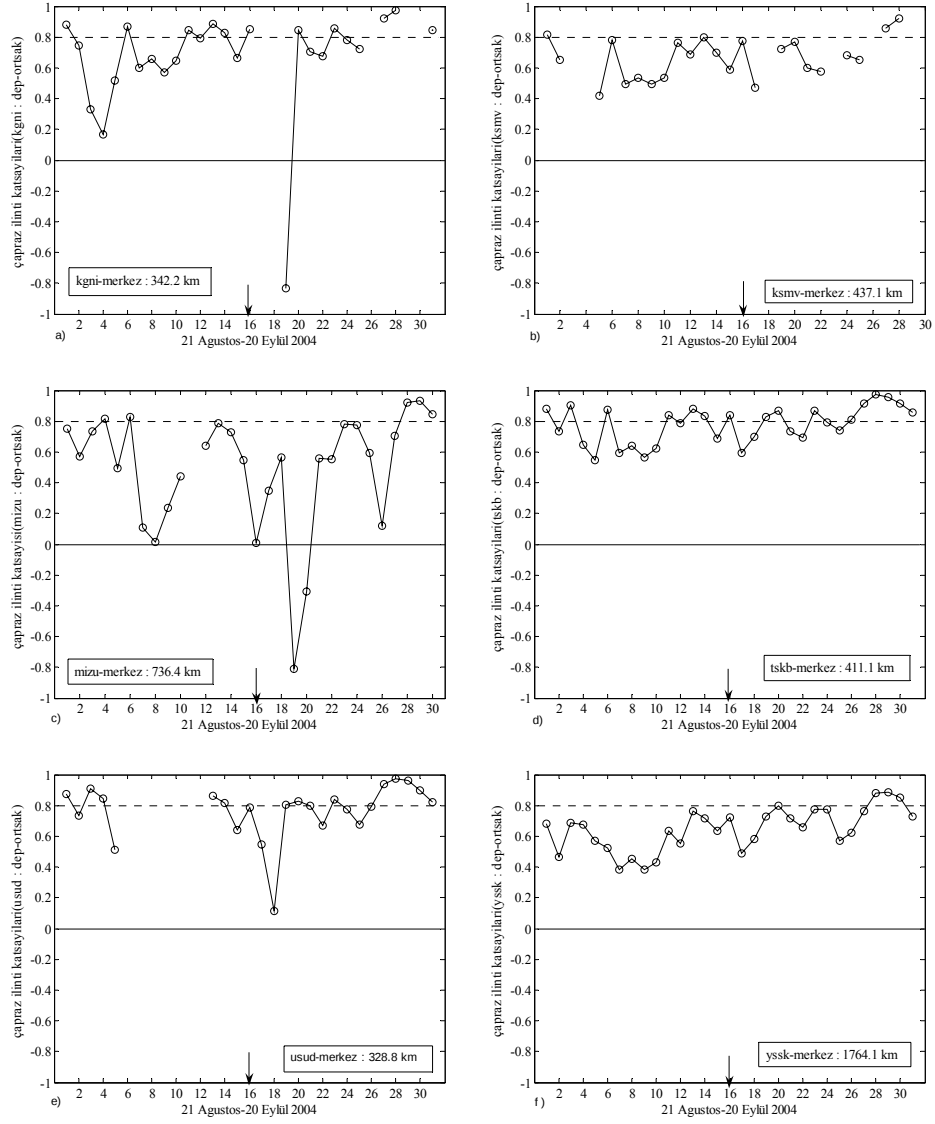
Şekil C35. İyonkürenin sakin olarak seçilen zaman aralığındaki a) mizu-tskb, b) mizu-usud, c) mizu-yssk, d) mtka-tskb, e) mtka-usud, f) mtka-yssk, g) tskb-usud, h) tskb-yssk, i) usud-yssk istasyonları arası L2N değerleri.

EK D: Ortalama Değer Sakin Gün Uygulaması İle Elde Edilen Eğriler

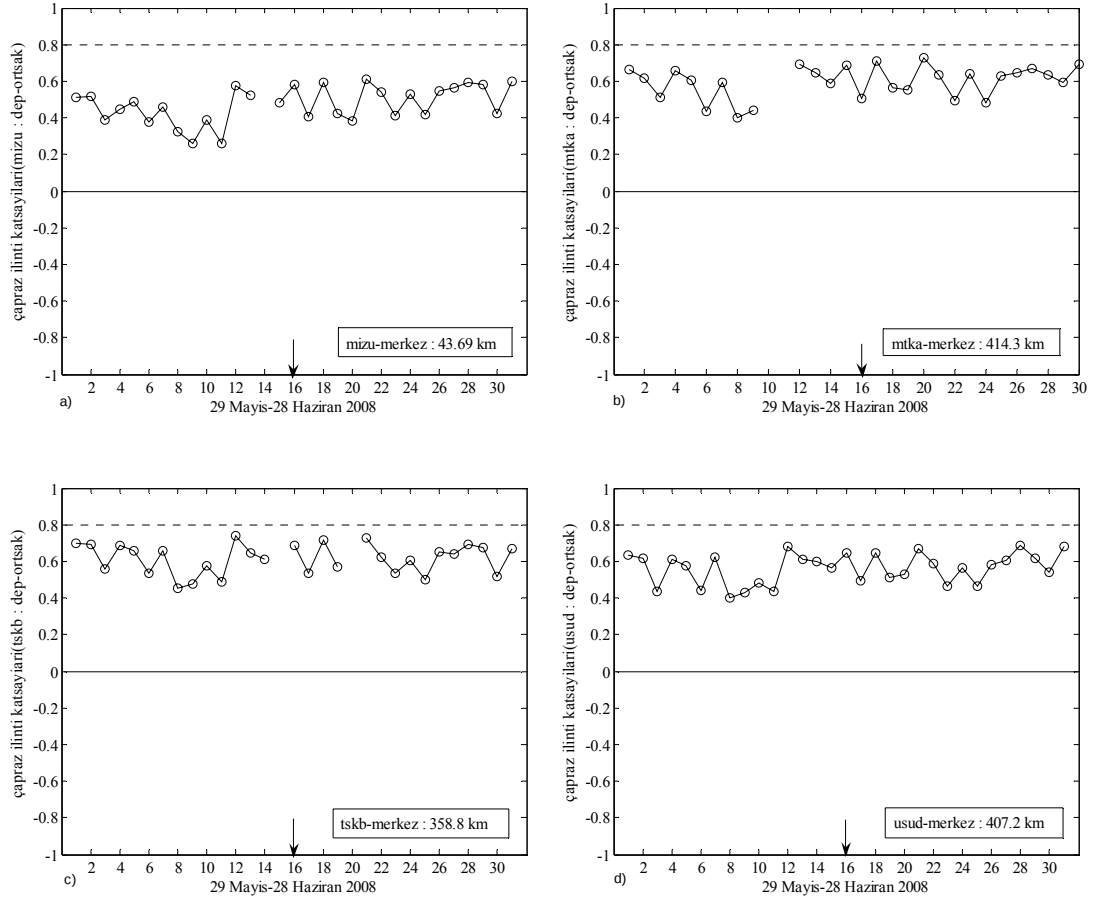
Bölüm 4'te anlatılan ve Çapraz İlinti Katsayısı (ÇİK) yöntemi, Kullback-Leibler Mesafesi (KLD) yöntemi, L2-Norm (L2N) yöntemi, kayan pencere istatistiksel analizi ve Dağılımlar Iraksaklığı (DI) ile Dağılımlar Farkı (DF) yöntemi önce Çizelge 5.2'de verilen her bir istasyondan elde edilen Ortalama Değer Sakin Gün (OSDG) vektörü ile aynı istasyonların Çizelge 5.1'de verilen her bir depremin otuz bir günlük zaman aralığındaki günleri arasında uygulanmıştır. Bu yöntemler istasyonların ODSG vektörü ve iyonkürenin bozulmalı ve sakin olduğu zaman aralıklarındaki günleri arasında da uygulanmıştır. Yöntemlerin uygulanma sırası Bölüm 4'te anlatıldığı gibidir. Depremler Çizelge 5.1'de verildiği gibi ölçeklerine göre büyükten küçüğe sıralanmıştır. Bozulmalı ve sakin dönemlerde istasyonlar alfabetik sıralamaya göre dizilmiştir. Eğrilerde ÇİK değerleri daire, KLD değerleri yıldız, L2N değerleri nokta ile gösterilmiştir. Deprem dönemi eğrilerinde depremin olduğu onaltıncı gün ok ile belirtilmiştir. İstasyonların deprem merkezine olan uzaklıkları da deprem döneminde elde edilen eğriler üzerinde belirtilmiştir.



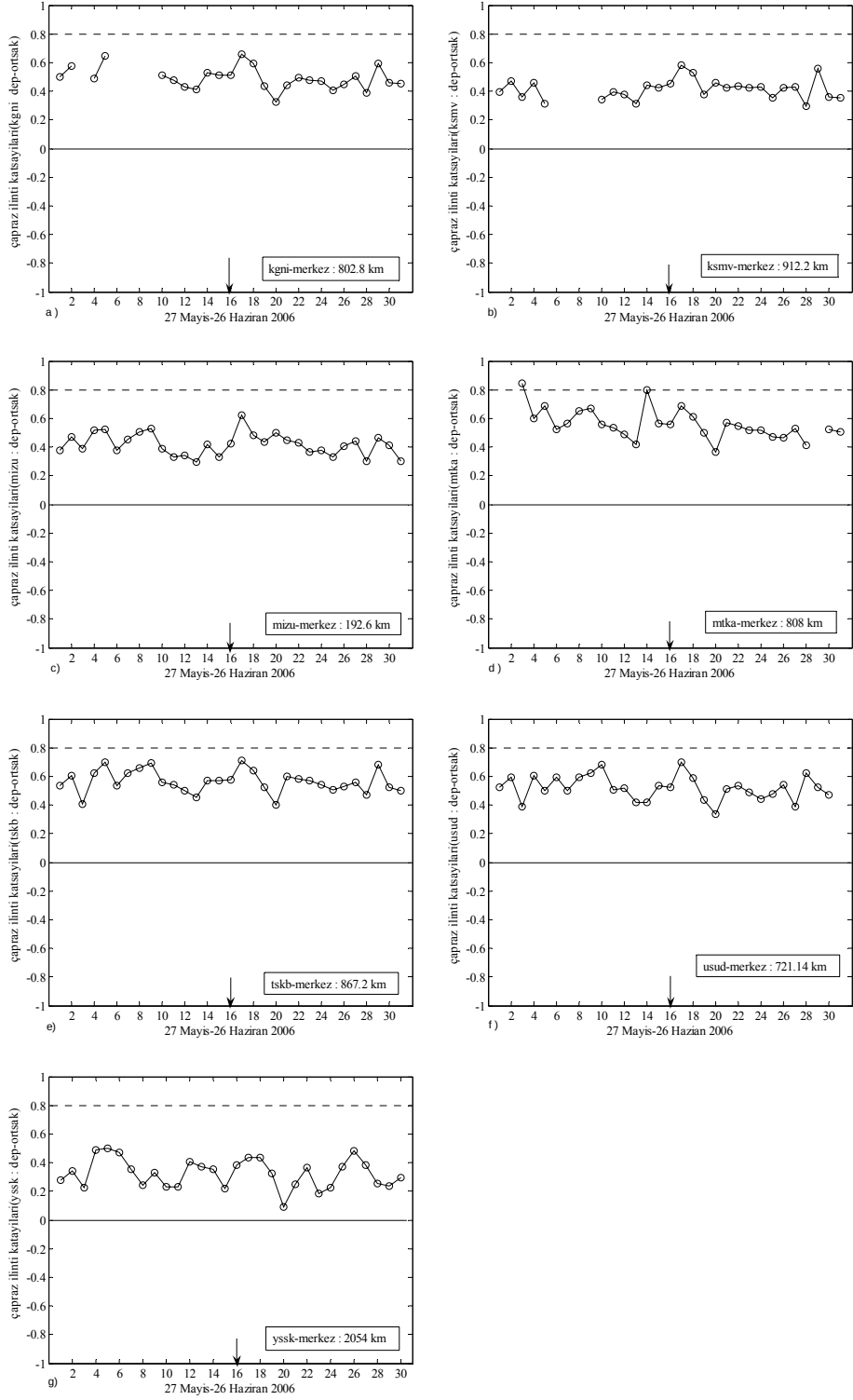
Şekil D1. 25 Eylül 2003 Hokkaido depremi için a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) yssk istasyonlarına ait deprem günleri ile ODSG arasındaki Çapraz İlinti Katsayıları.



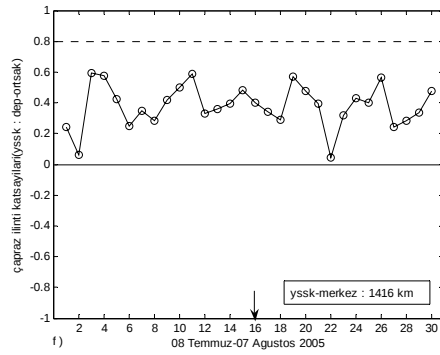
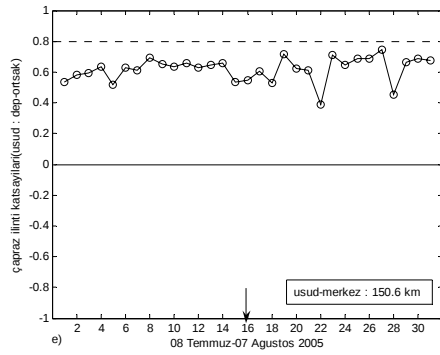
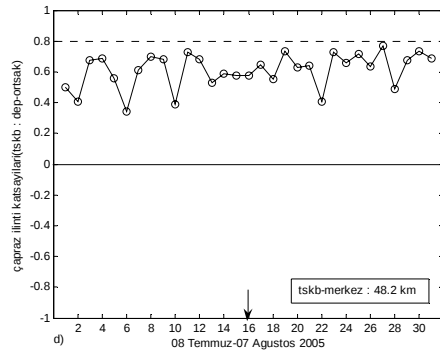
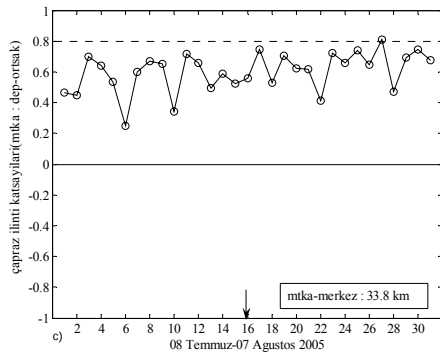
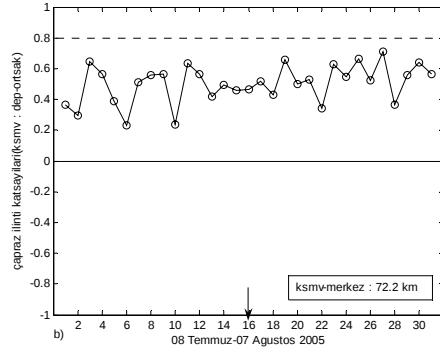
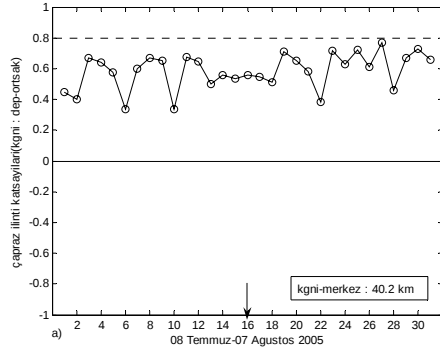
Şekil D2. 5 Eylül 2004 Honşu depremi için a) kgni, b) ksmv, c) mizu, e) tskb, f) usud, g) yssk istasyonlarına ait deprem günleri ile ODSG arasındaki Çapraz İlinti Katsayıları.



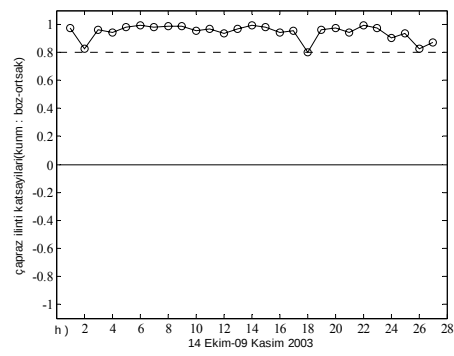
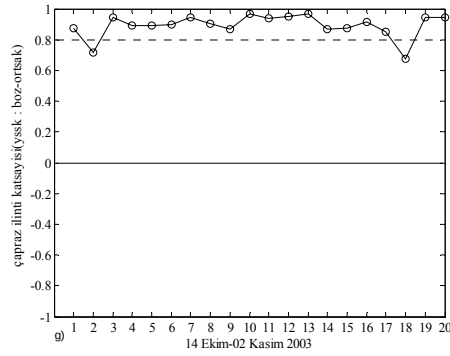
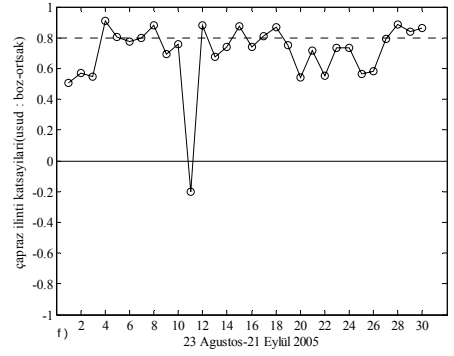
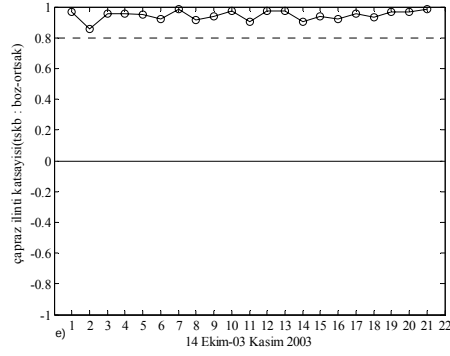
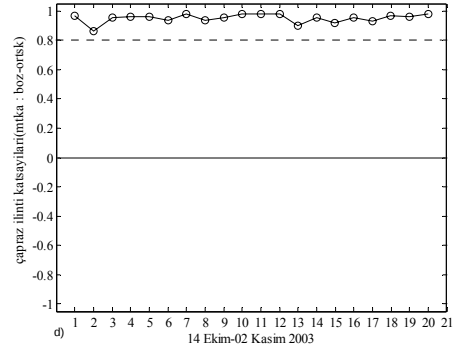
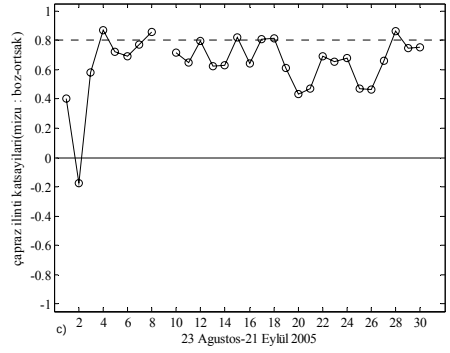
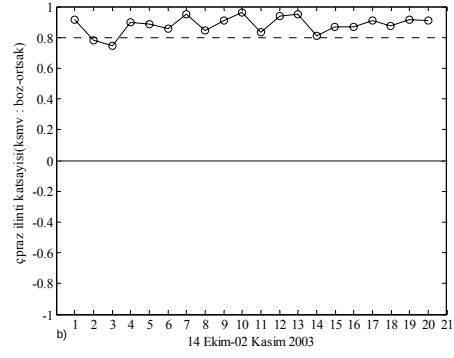
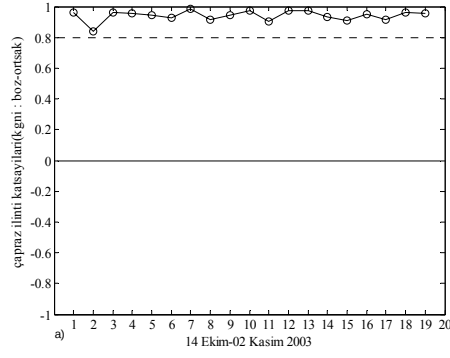
Şekil D3. 13 Haziran 2008 Honşu depremi için a) mizu, b) mtka, c) tskb, d) usud istasyonlarına ait deprem günleri ile ODSG arasındaki Çapraz İlinti Katsayıları.



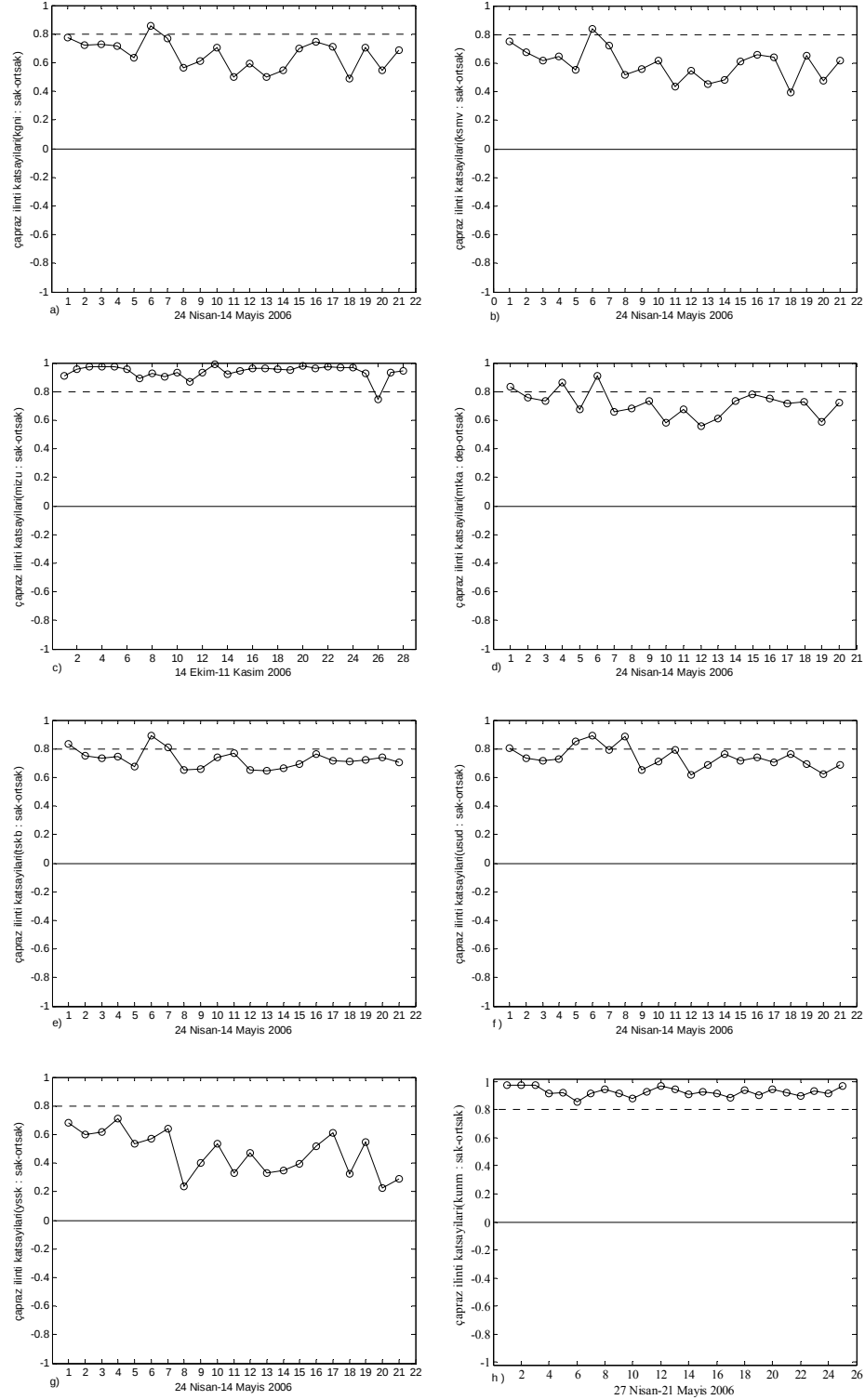
Şekil D4. 11 Haziran 2006 Kıyüşiü depremi için a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) yssk istasyonlarına ait deprem günleri ile ODSG arasındaki Çapraz İlinti Katsayıları.



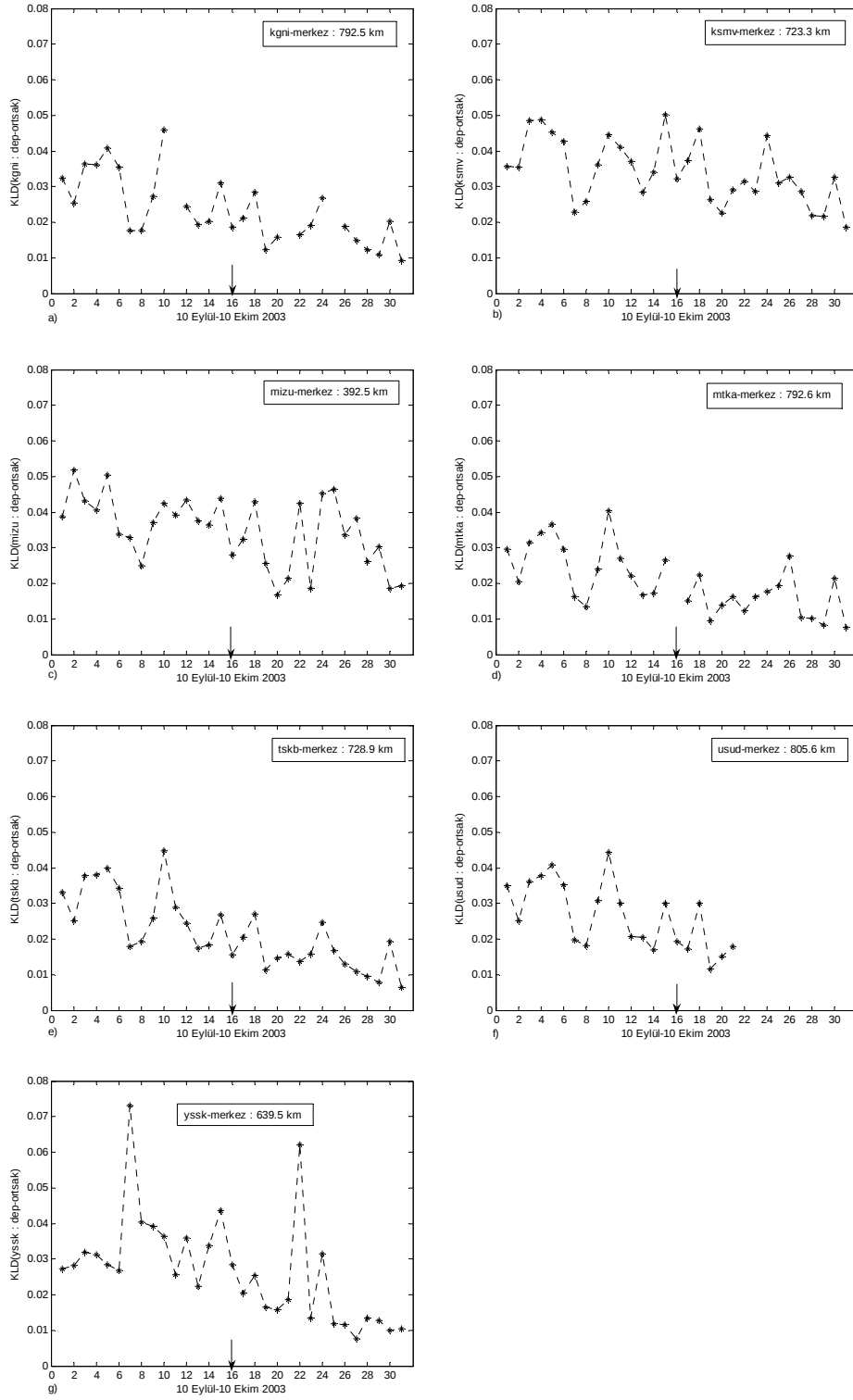
Şekil D5. 23 Temmuz 2005 Honşu depremi için a) kgni, b) ksmv, c) mtka, d) tskb, e) usud, f) yssk istasyonlarına ait deprem günleri ile ODSG arasındaki Çapraz İlini Katsayıları.



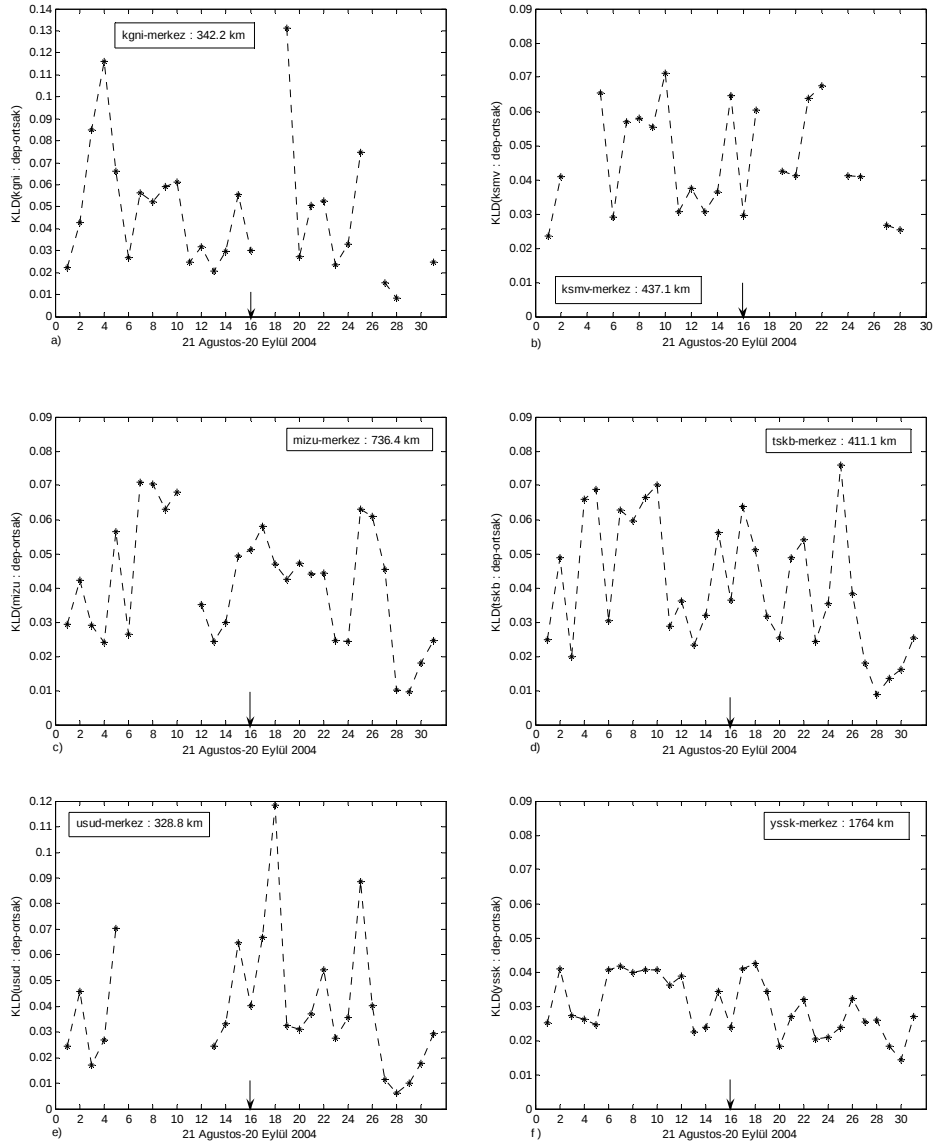
Şekil D6. İyonkürenin bozulmalı olarak seçilen zaman aralığı için a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) yysk, h) kunm istasyonlarına ait bozulmalı günler ile ODSG arasındaki Çapraz İlinti Katsayıları.



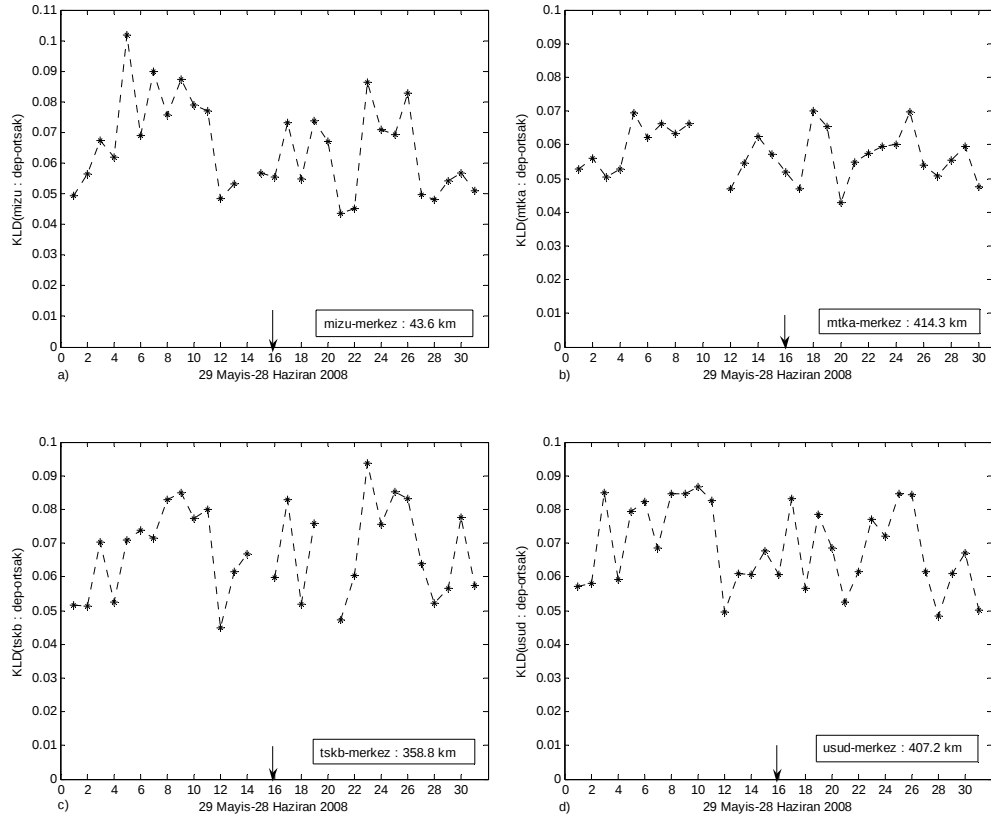
Şekil D7. İyonkürenin sakın olarak seçilen zaman aralıkları için a) kgñi, b) ksmv, c) mizu, d) mtk, e) tskb, f) usud, g) yssk, h) kunm istasyonlarına ait sakın günler ile ODSG arasındaki Çapraz İlti Katsayıları.



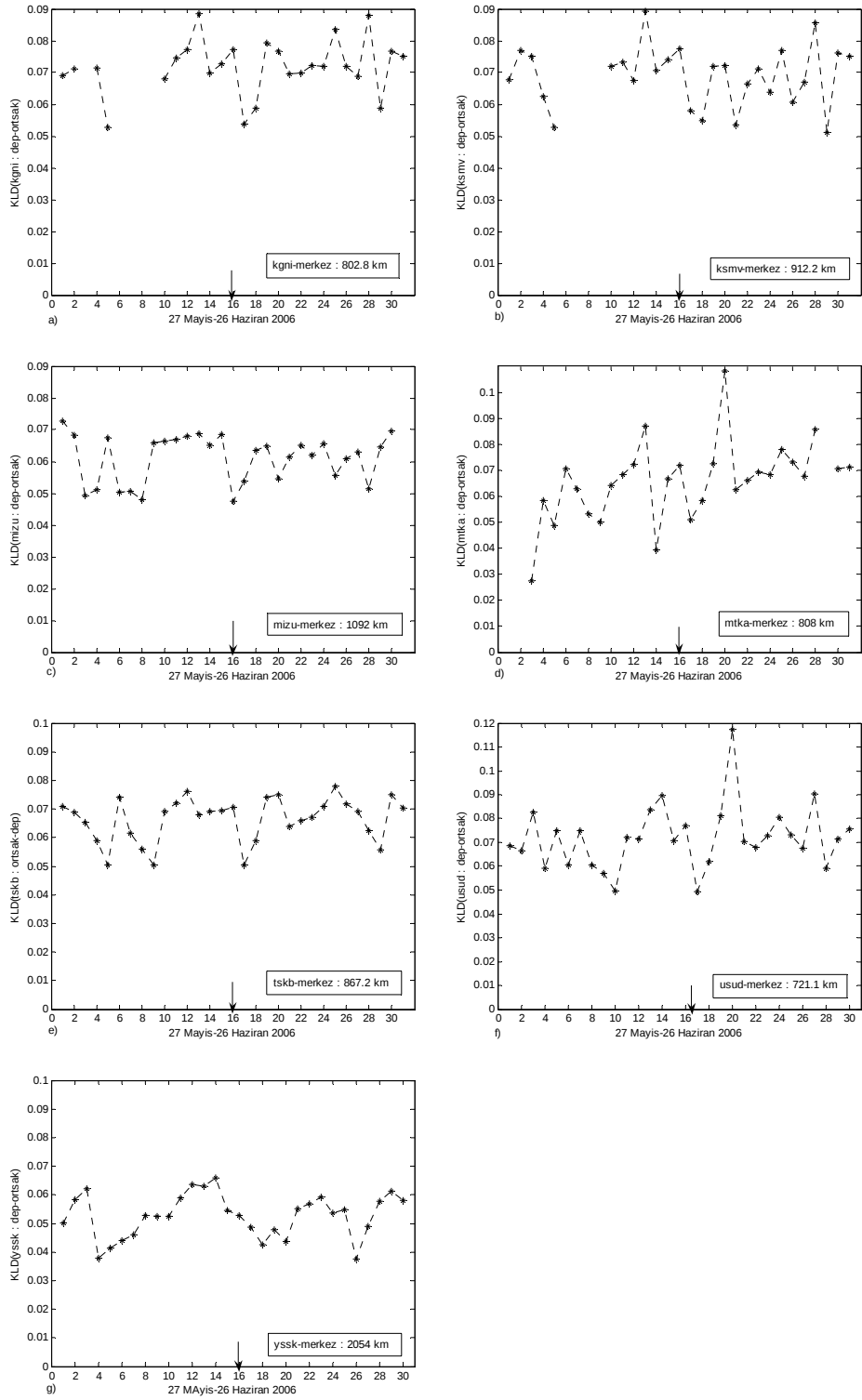
Şekil D8. 25 Eylül 2003 Hokkaido depremi için a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) yssk istasyonlarına ait deprem günleri ile ODSG arasındaki KLD değerleri.



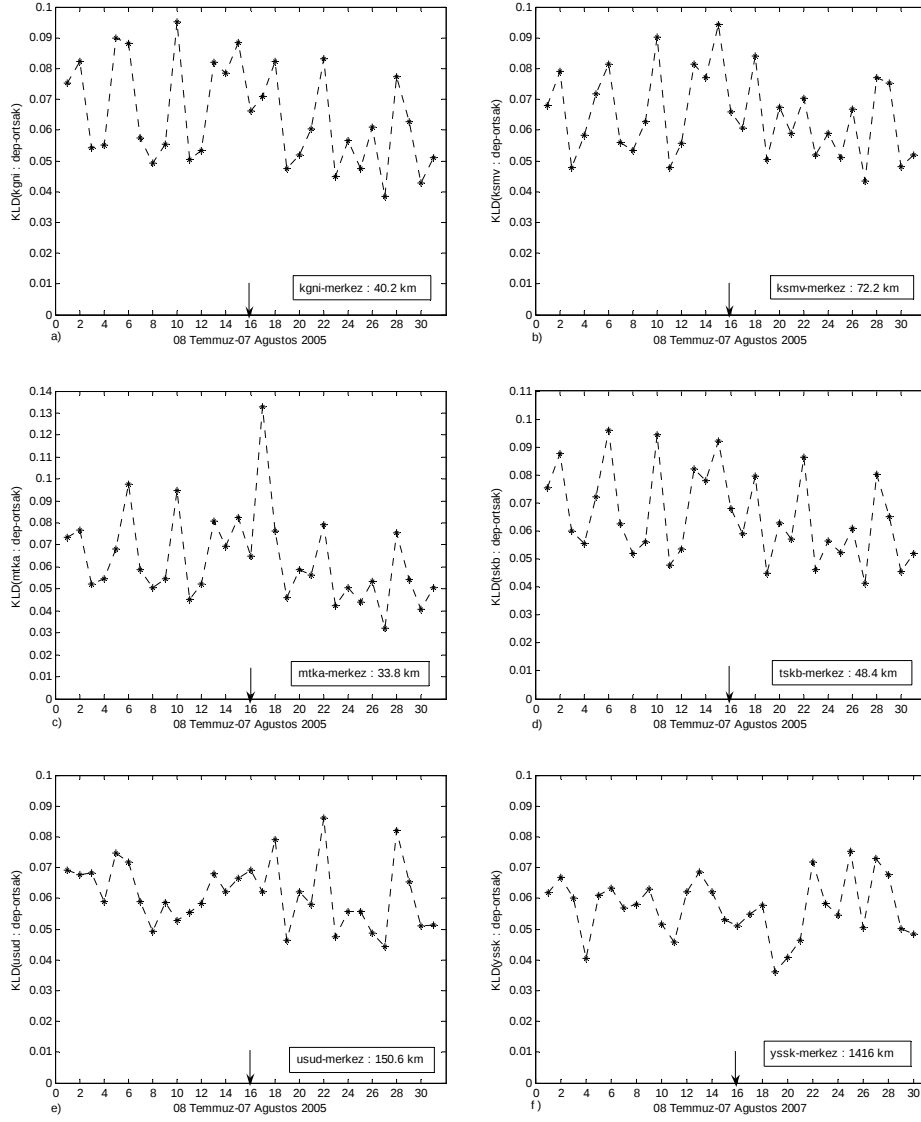
Şekil D9. 5 Eylül 2004 Honşu depremi için a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) tskb, e) usud, f) yssk istasyonlarına ait deprem günleri ile ODSG arasındaki KLD değerleri.



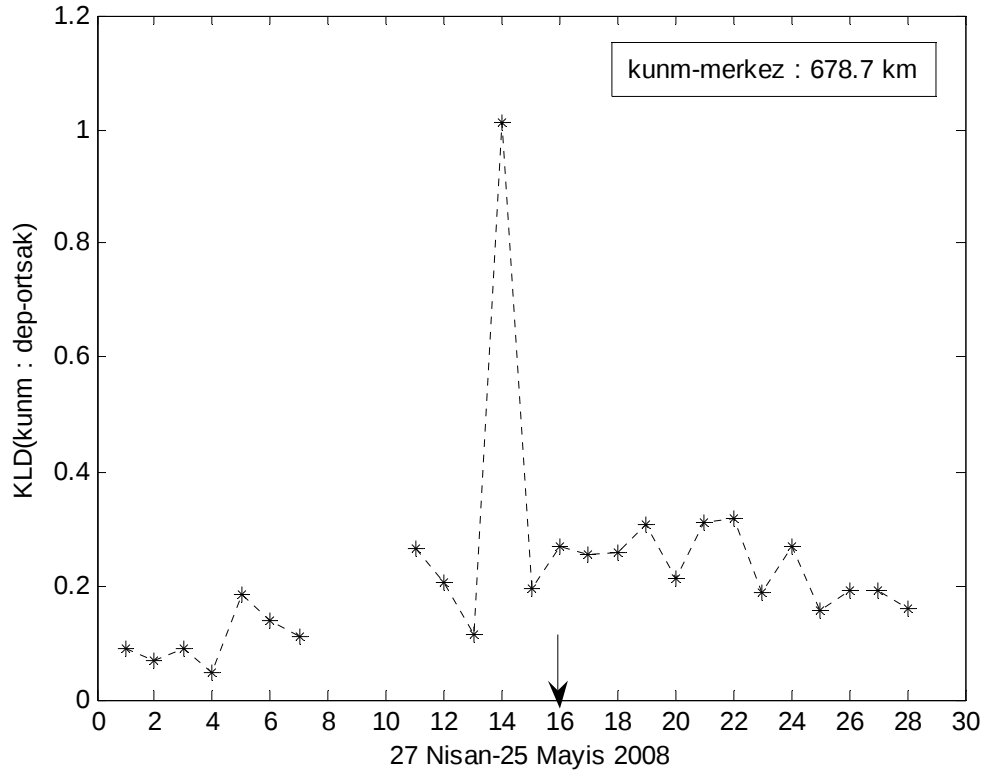
Şekil D10. 13 Haziran 2008 Honşu depremi için a) mizu, b) mtka, c) tskb, d) usud istasyonlarına ait deprem günleri ile ODSG arasındaki KLD değerleri.



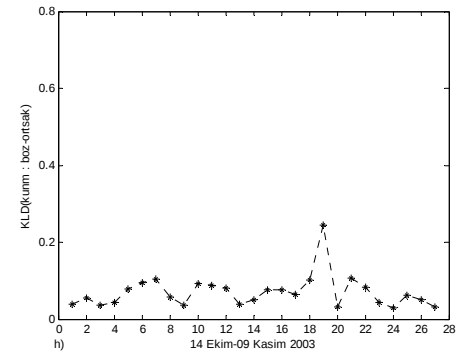
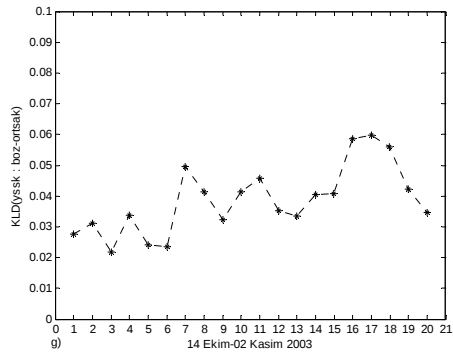
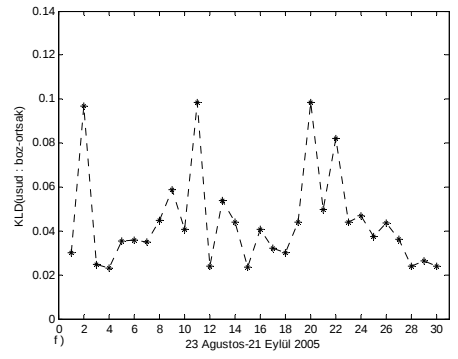
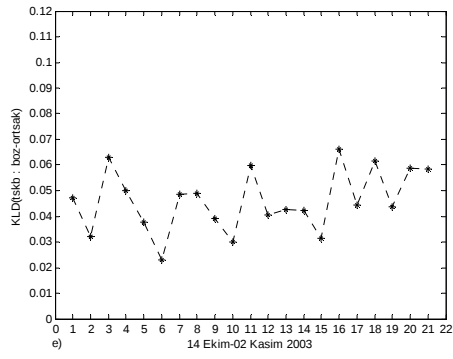
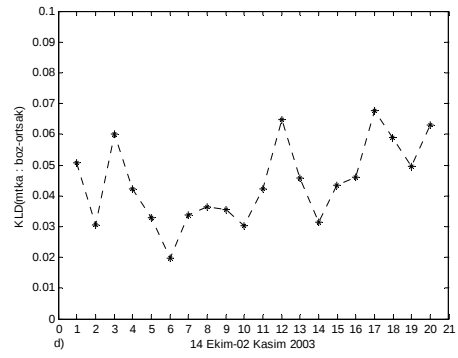
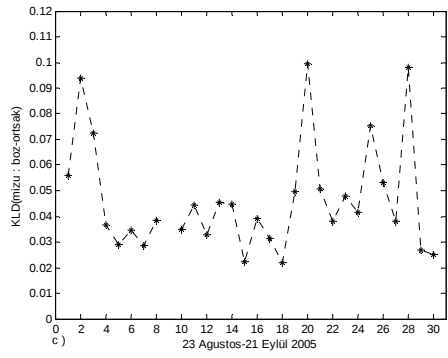
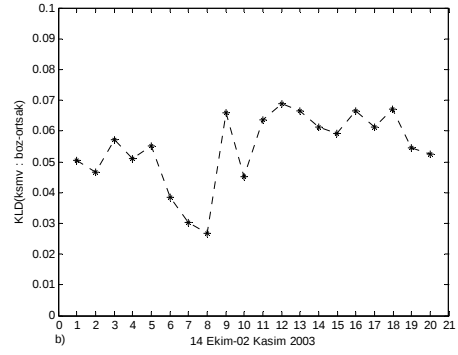
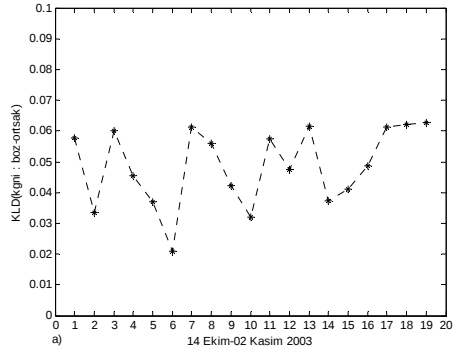
Şekil D11. 11 Haziran 2006 Kıyüşıyu depremi için a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) yssk istasyonlarına ait deprem günleri ile ODSG arasındaki KLD değerleri.



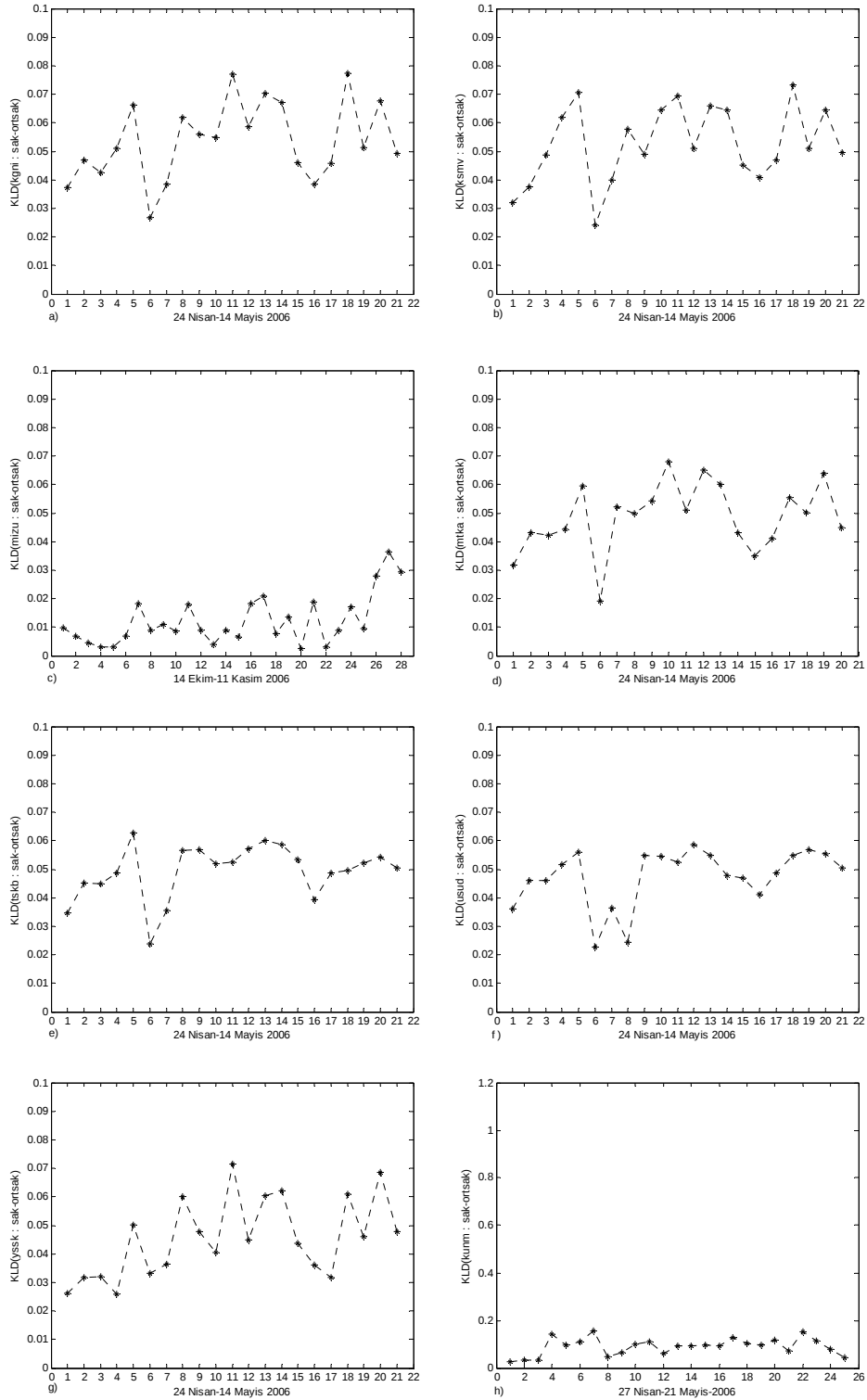
Şekil D12. 23 Temmuz 2005 Honşu depremi için a) kgni, b) ksmv, c) mtka, d) tskb, e) usud, f) yssk istasyonlarına ait deprem günleri ile ODSG arasındaki KLD değerleri.



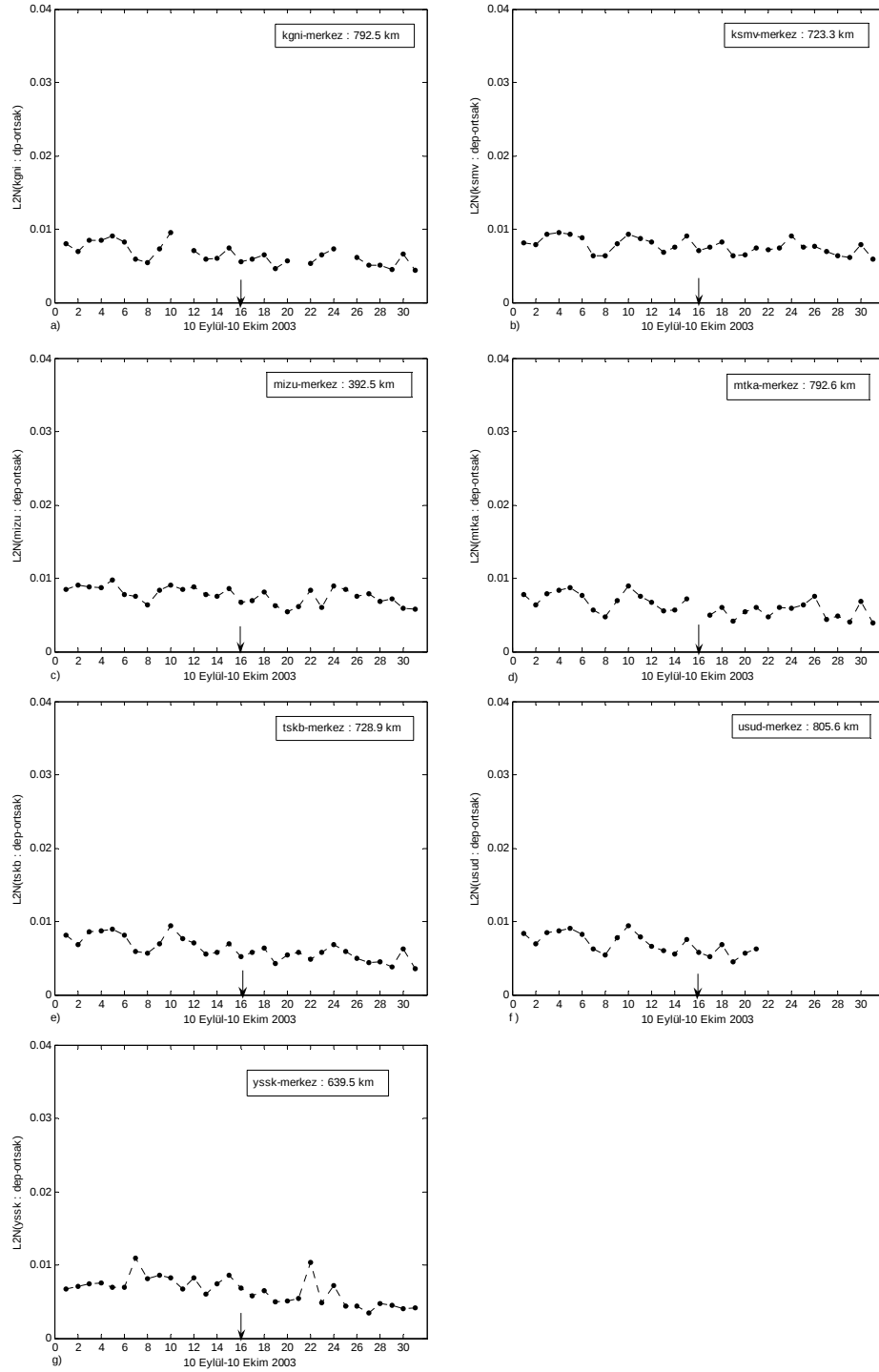
Şekil D13. 12 Mayıs 2008 Şiyan depremi için kunm istasyonuna ait deprem günleri ile ODSG arasındaki KLD değerleri.



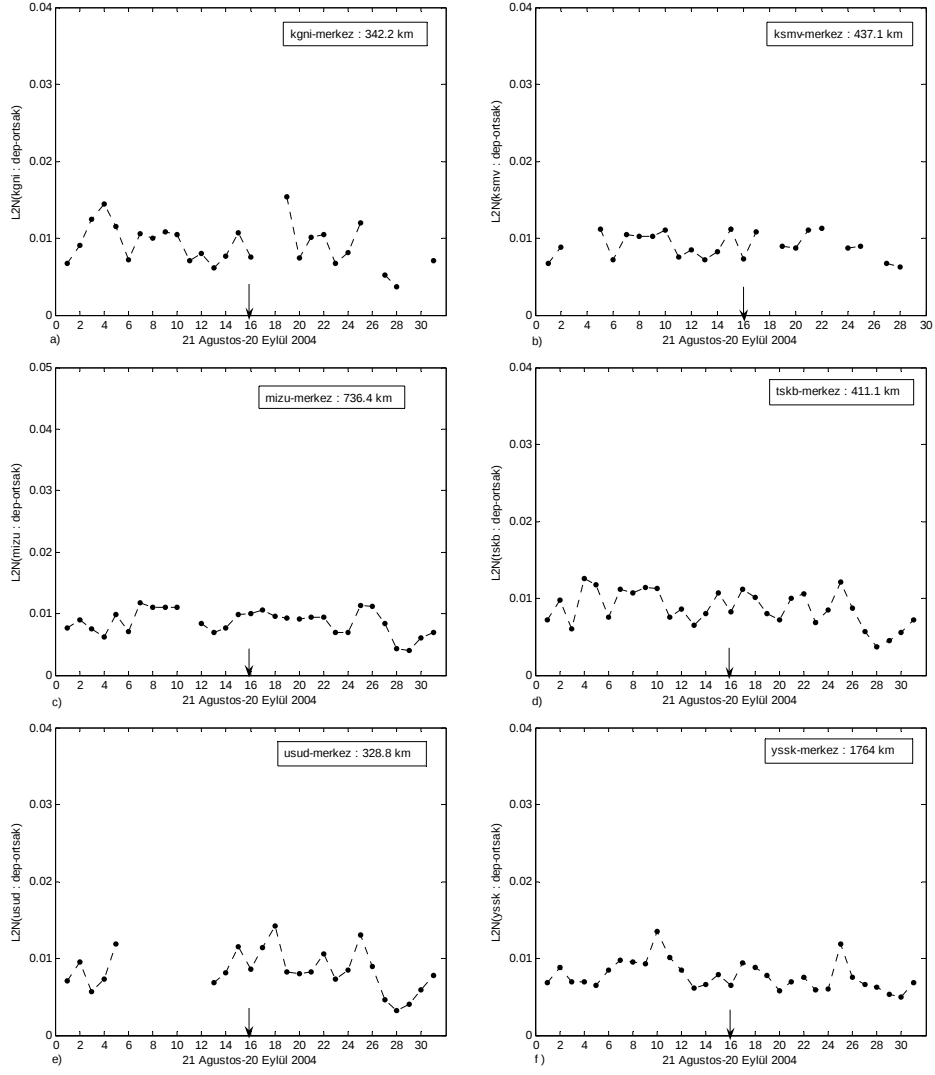
Şekil D14. İyonkürenin bozulmalı olarak seçilen zaman aralıkları için a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) yysk, h) kunm istasyonlarına ait bozulmalı günler ile ODSG arasındaki KLD değerleri.



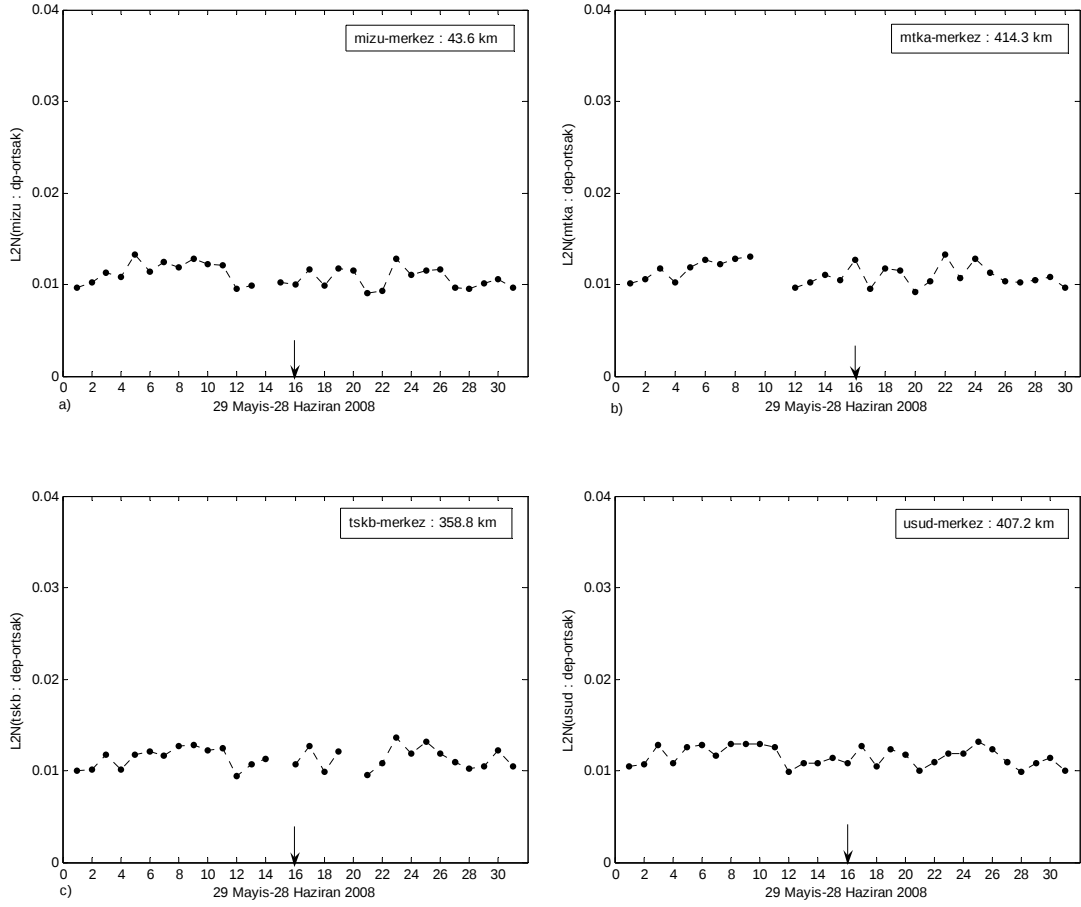
Şekil D15. İyonkürenin sakin olarak seçilen zaman aralıkları için a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) yssk, h) kunm istasyonlarına ait sakin günler ile ODSG arasındaki KLD değerleri.



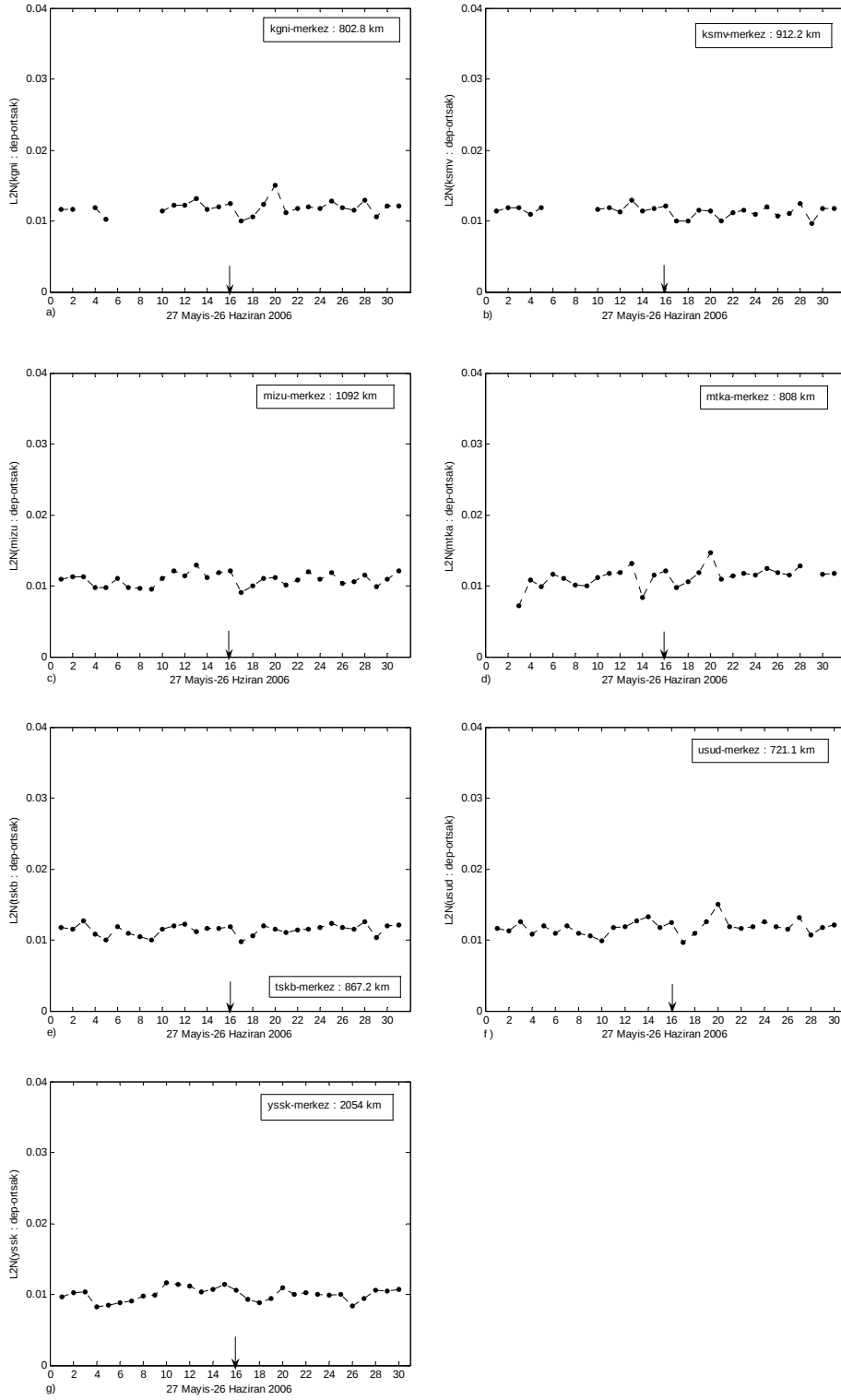
Şekil D16. 25 Eylül 2003 Hokkaido depremi için a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) yssk istasyonlarına ait deprem günleri ile ODSG arasındaki L2N değerleri.



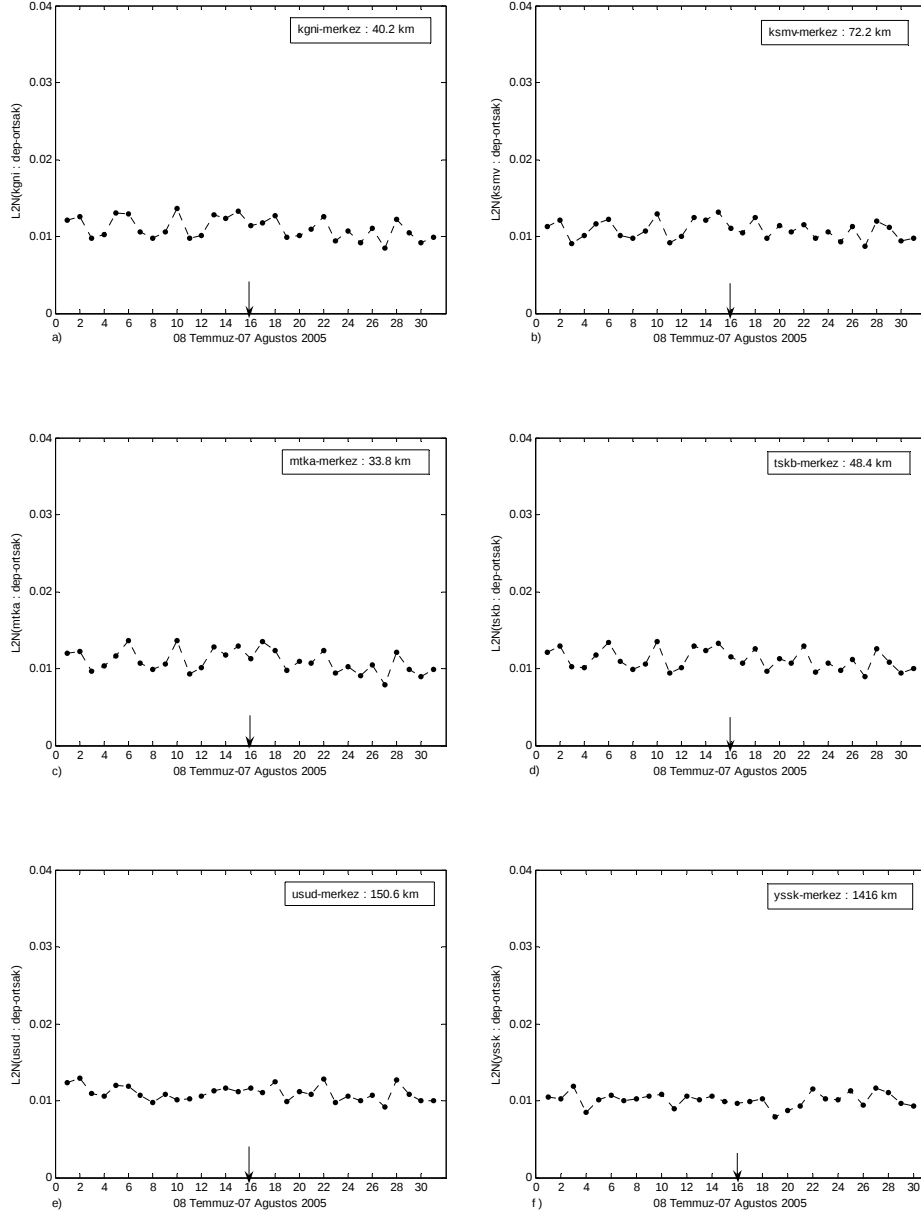
Şekil D17. 5 Eylül 2004 Honşu depremi için a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) tskb, e) usud, f) yssk istasyonlarına ait deprem günleri ile ODSG arasındaki L2N değerleri.



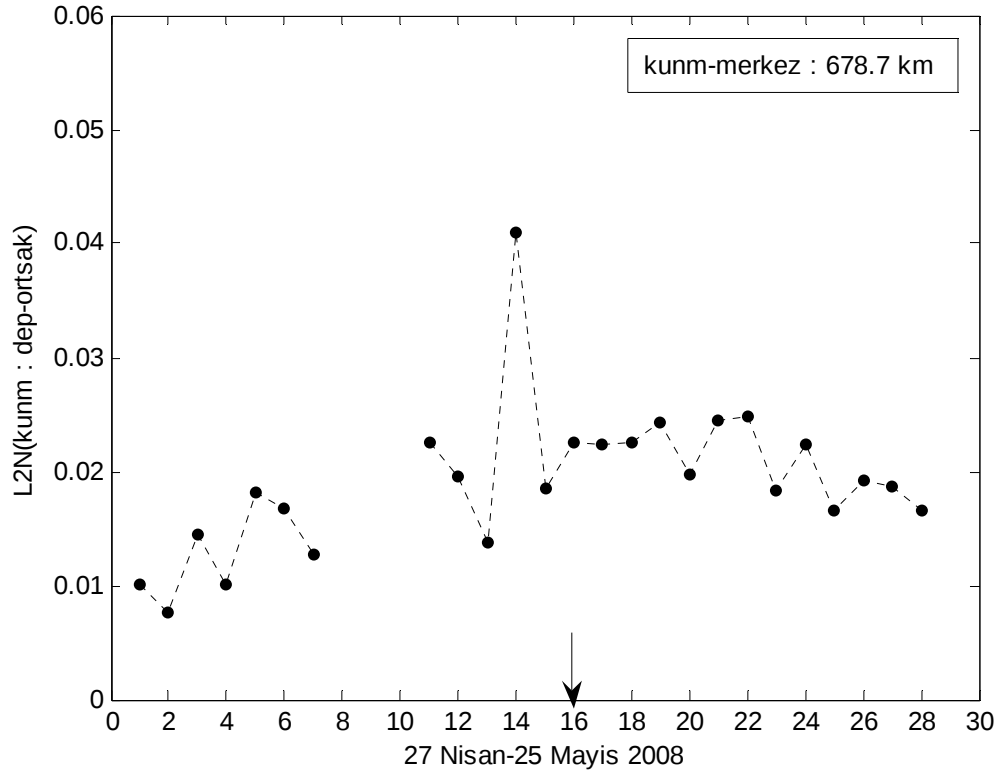
Şekil D18. 13 Haziran 2008 Honşu depremi için a) mizu, b) mtka, c) tskb, d) usud istasyonlarına ait deprem günleri ile ODSG arasındaki L2N değerleri.



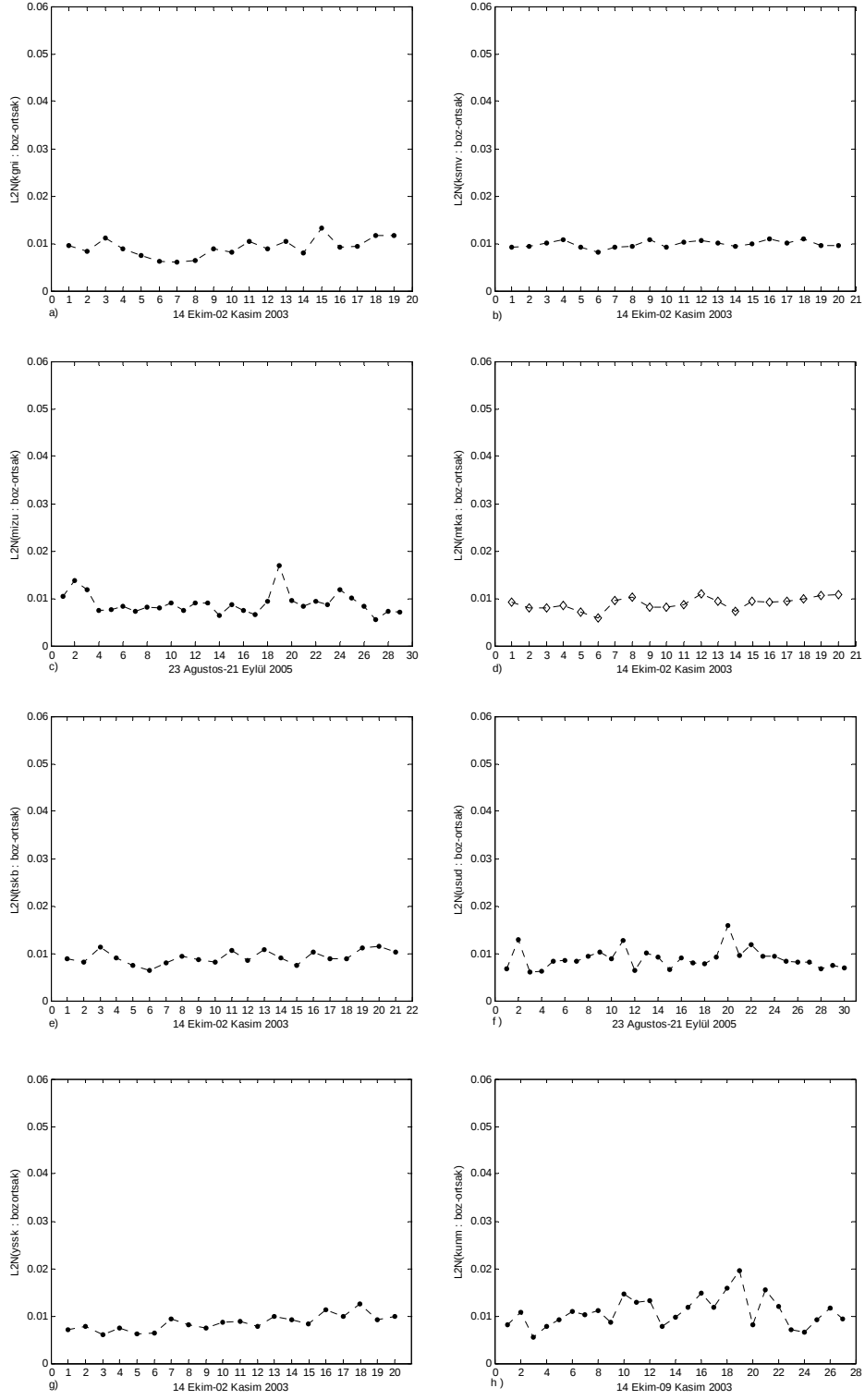
Şekil D19. 11 Haziran 2006 Kıyüşıyu depremi için a) kgñi, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tsbk, f) usud, g) yssk istasyonlarına ait deprem günleri ile ODSG arasındaki L2N değeri.



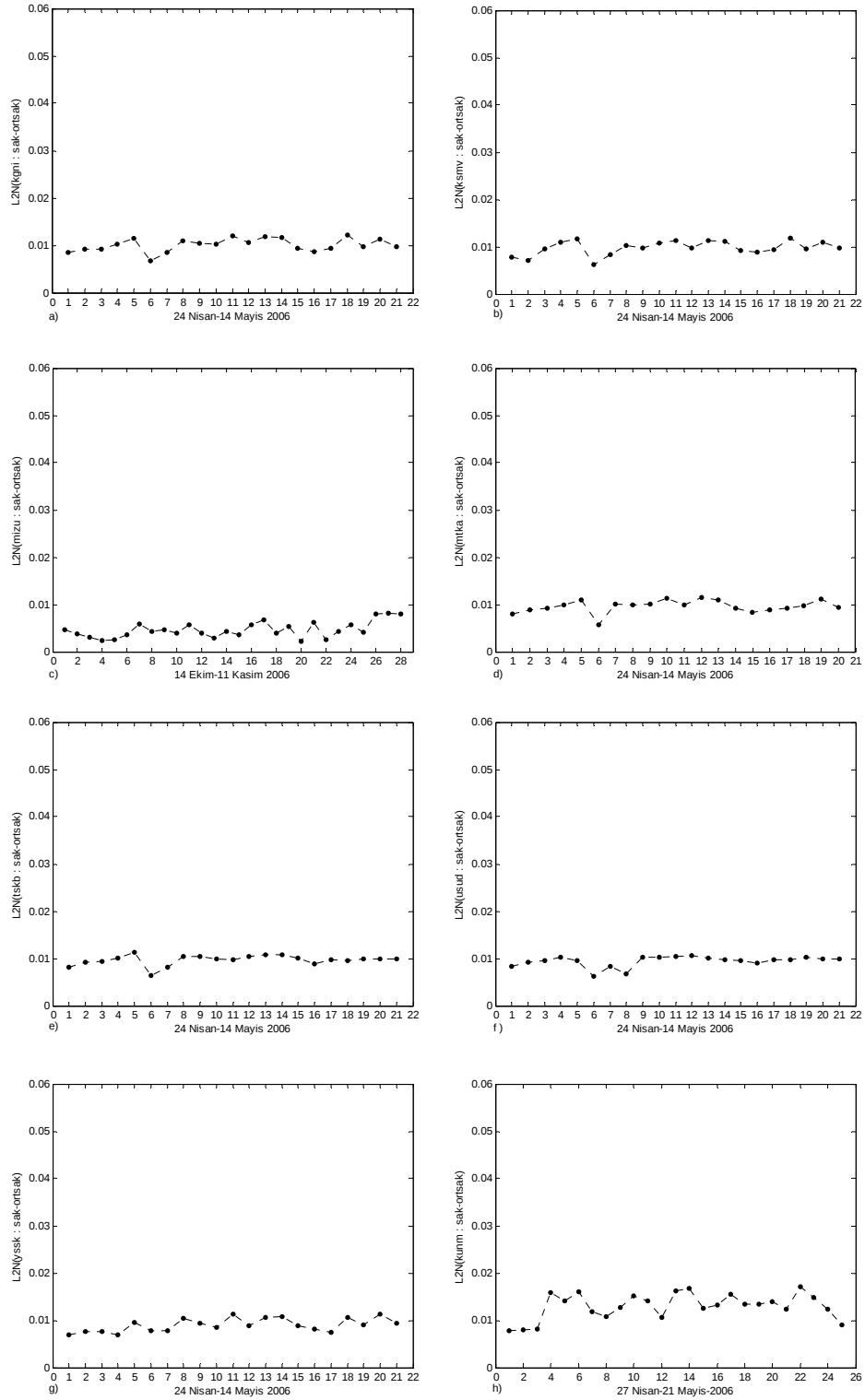
Şekil D20. 23 Temmuz 2005 Honşu depremi için a) kgni, b) ksmv, c) mtka, d) tskb, e) usud, f) yssk istasyonlarına ait deprem günleri ile ODSG arasındaki L2N değerleri.



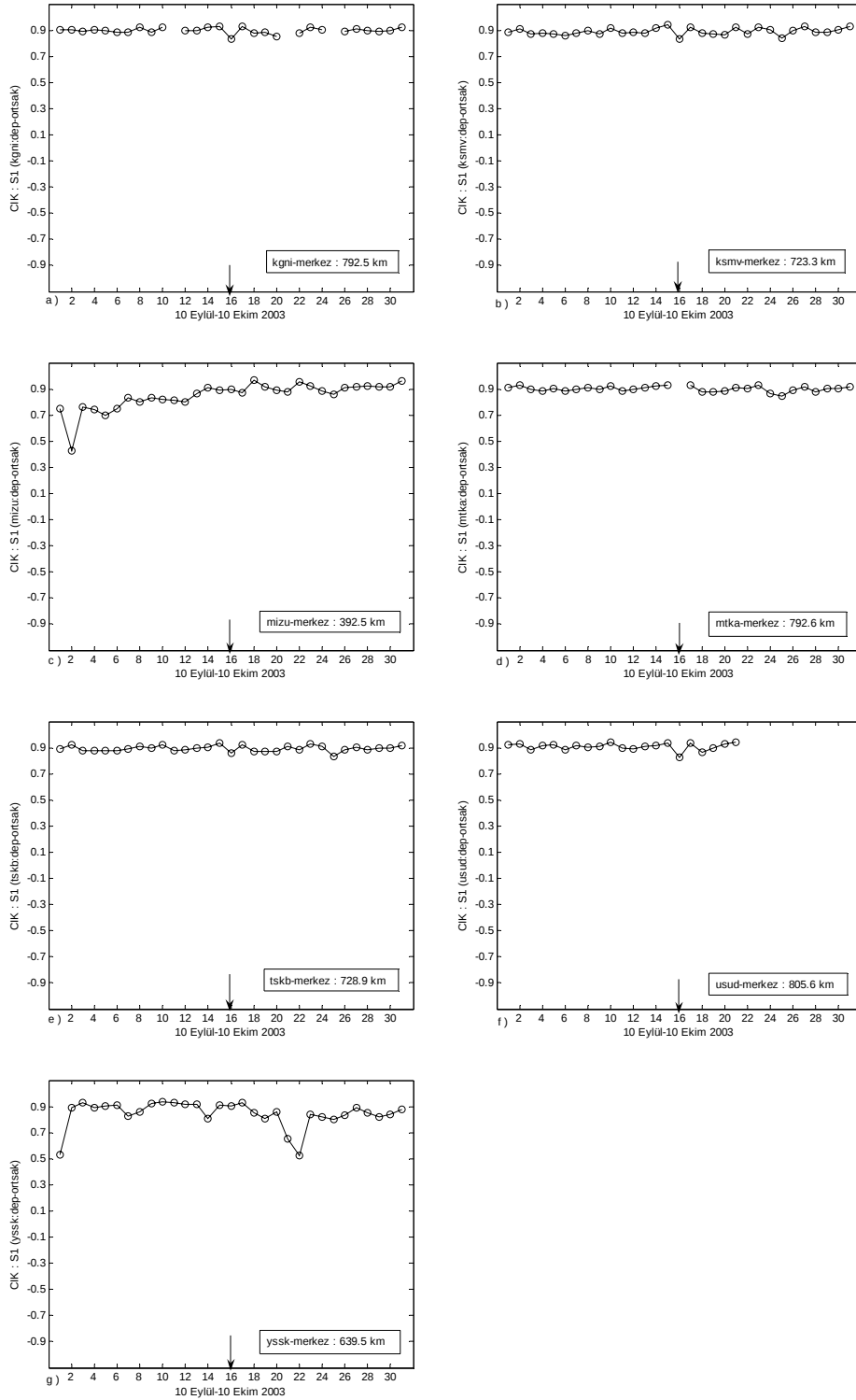
Şekil D21. 12 Mayıs 2008 Şiyan depremi için kunm istasyonuna ait deprem günleri ile ODSG arasındaki L2N değerleri.



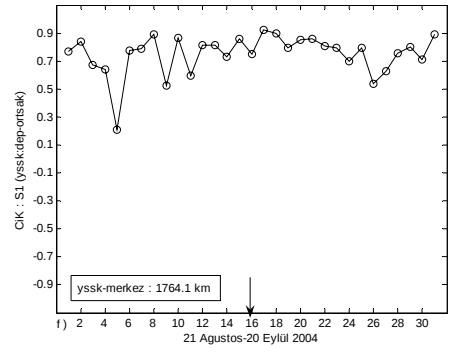
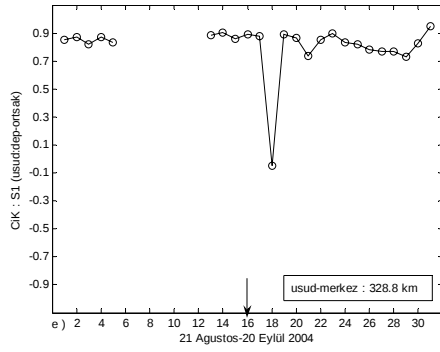
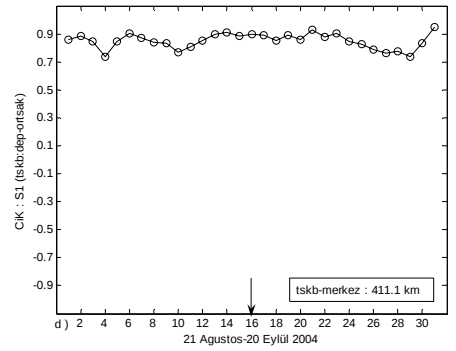
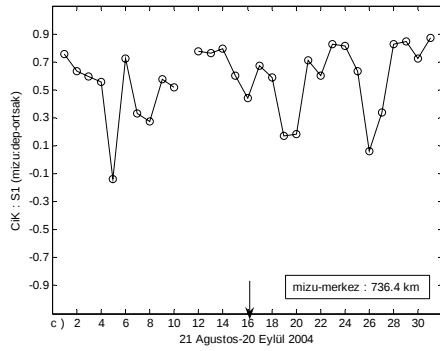
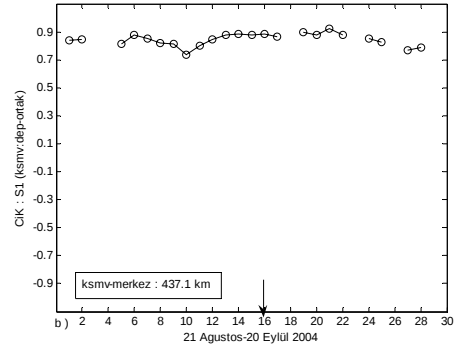
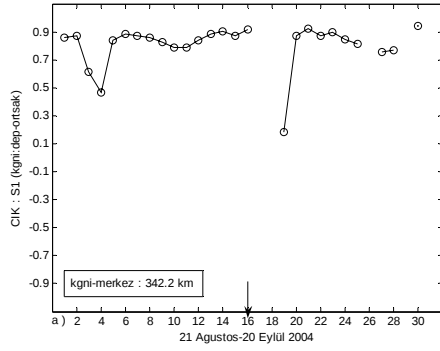
Şekil D22. İyonkürenin bozulmalı olarak seçilen zaman aralıkları için a) kgri, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) yssk, h) kunm istasyonlarına ait bozulmalı günler ile ODSG arasındaki L2N değerleri.



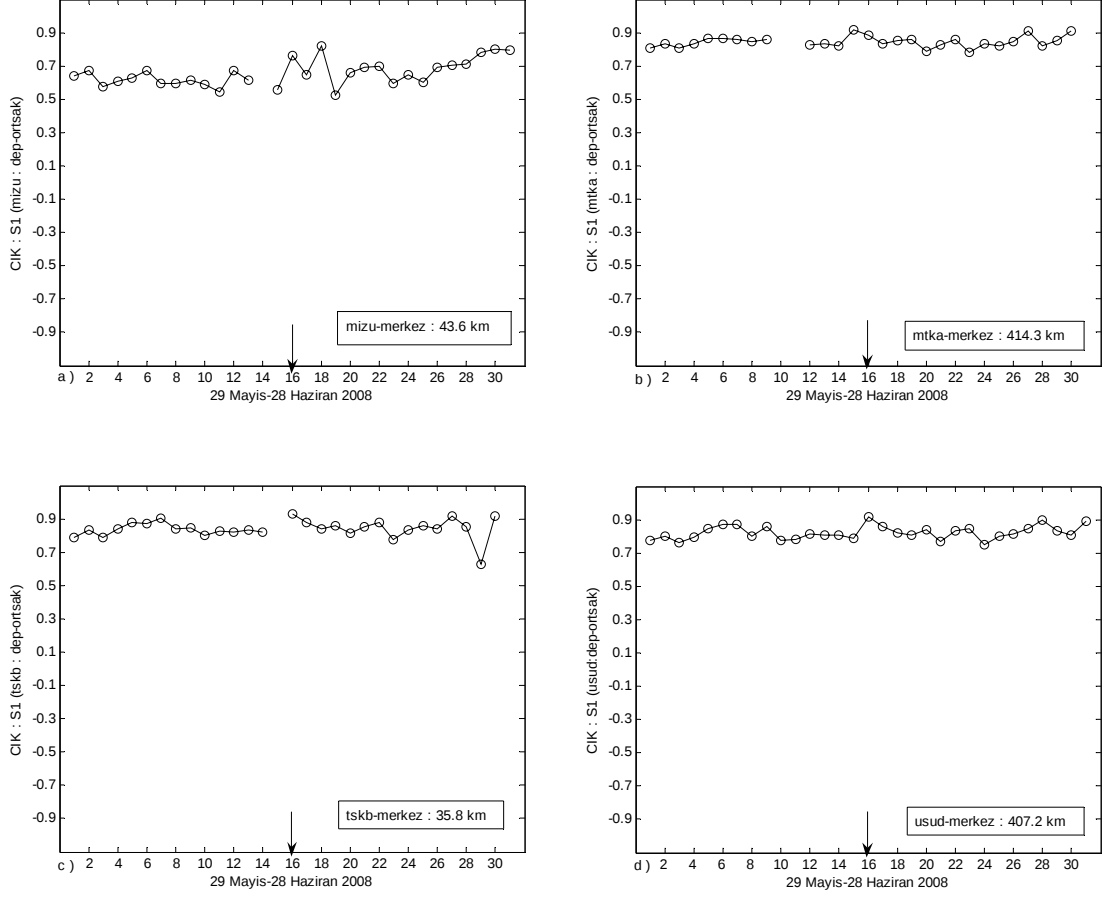
Şekil D23. İyonkürenin sakın olarak seçilen zaman aralıkları için a) kgmi, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tsbk, f) usud, g) yssk, h) kunm istasyonlarına ait sakın günler ile ODSG arasındaki L2N değerleri.



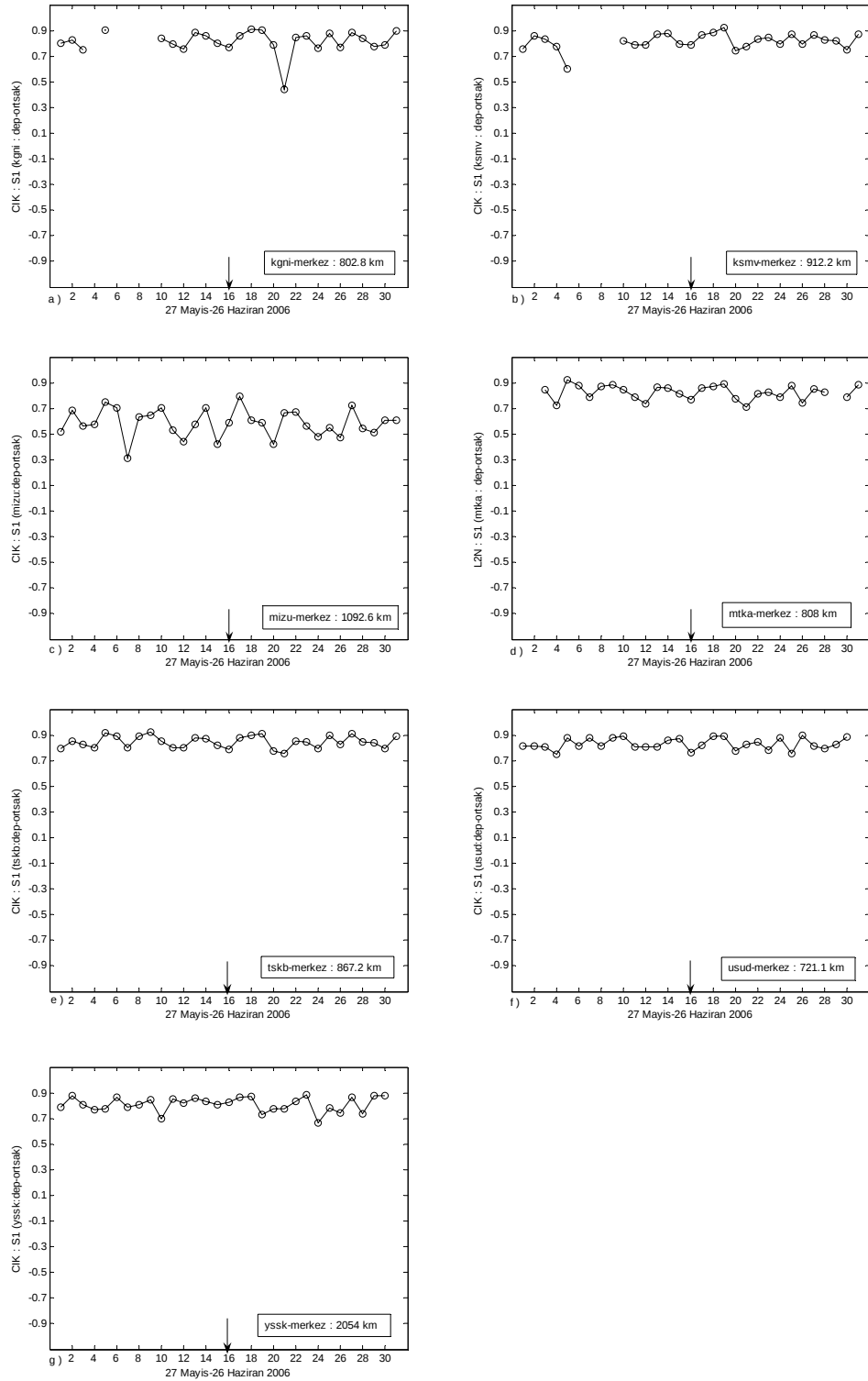
Şekil D24. 25 Eylül 2003 Hokkaido depremi için a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) yssk istasyonlarının deprem günleri S1 sınırı ve ODSG S1 sınırı arasındaki Çapraz İlinti Katsayıları.



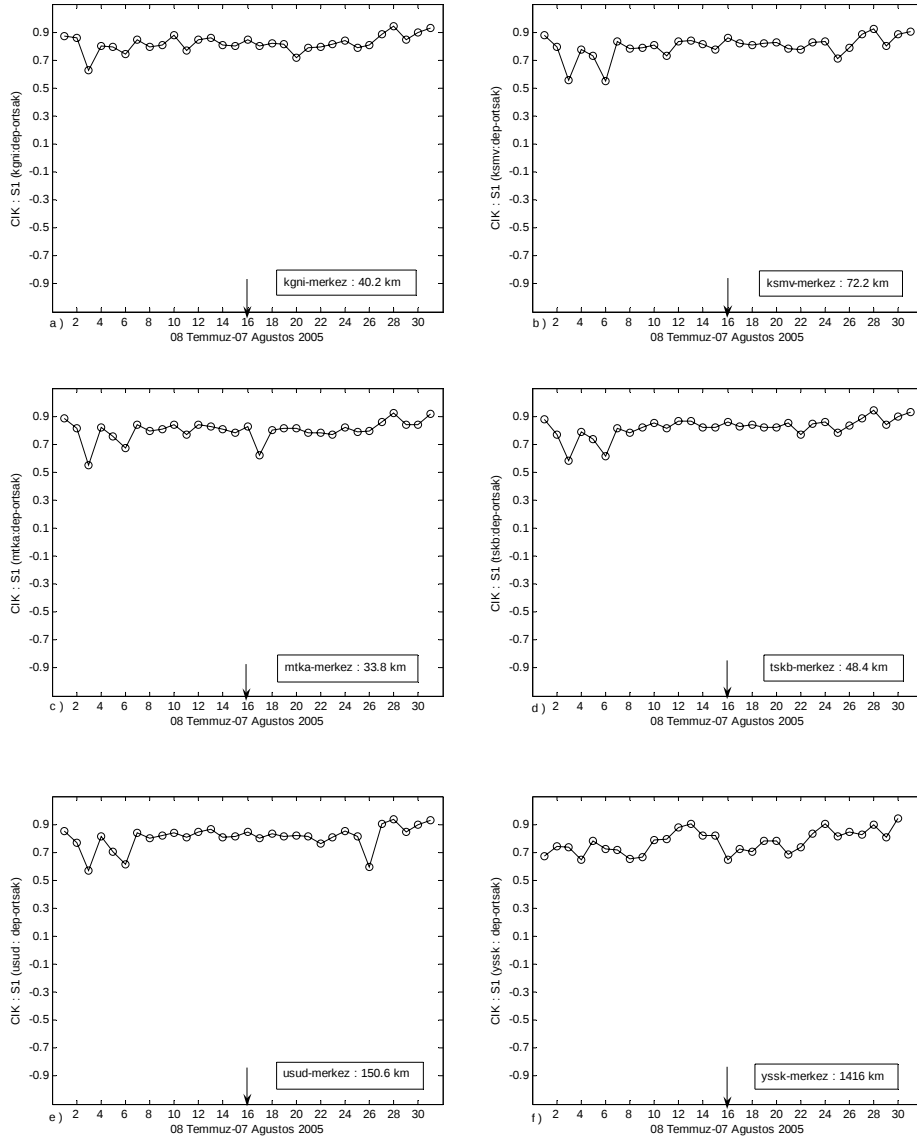
Şekil D25. 5 Eylül 2004 Honşu depremi için a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) tskb, e) usud, f) yssk istasyonlarının deprem günleri S1 sınırı ve ODSG S1 sınırı arasındaki Çapraz İlinti Katsayıları.



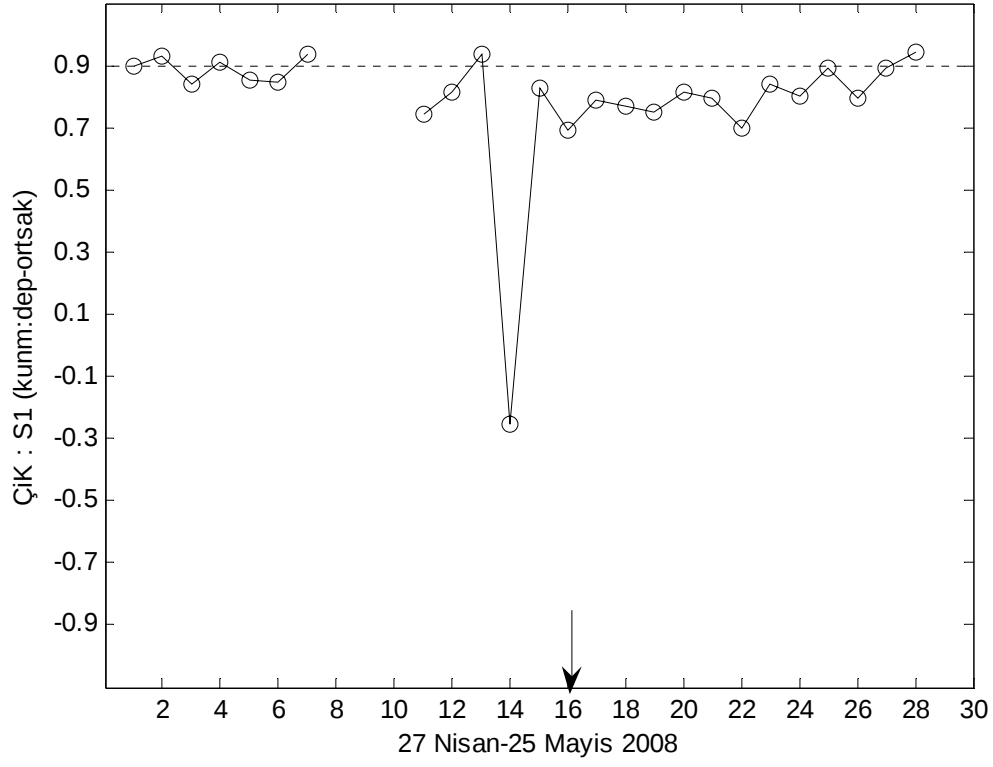
Şekil D26. 13 Haziran 2008 Honşu depremi için a) mizu, b) mtka, c) tskb, d) usud istasyonlarının deprem günleri S1 sınırı ve ODSG S1 sınırı arasındaki Çapraz İlinti Katsayıları.



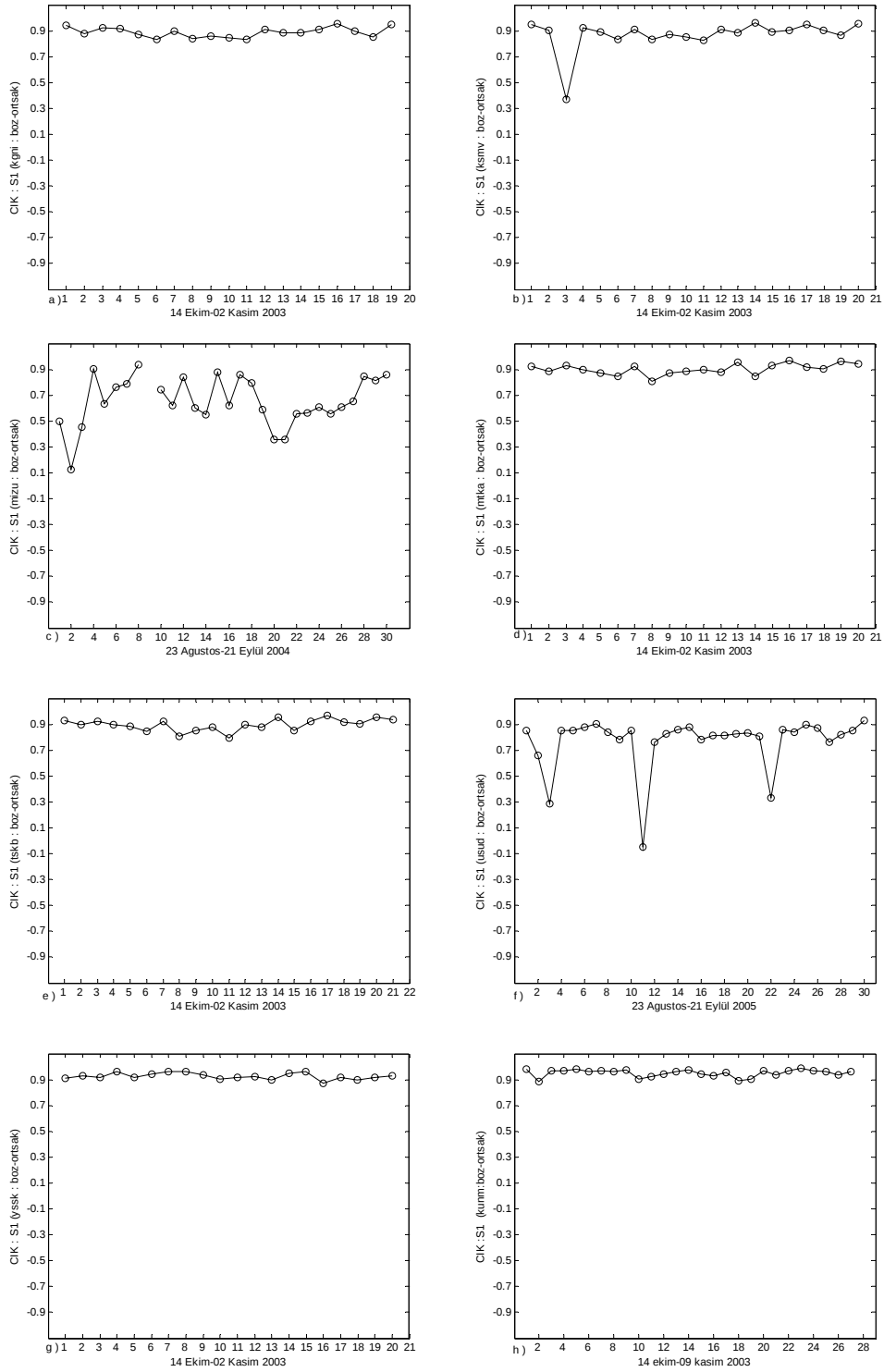
Şekil D26. 11 Haziran 2006 Kıyüşıyu depremi için a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) yssk istasyonlarının deprem günleri S1 sınırı ve ODSG S1 sınırı arasındaki Çapraz İlinti Katsayıları.



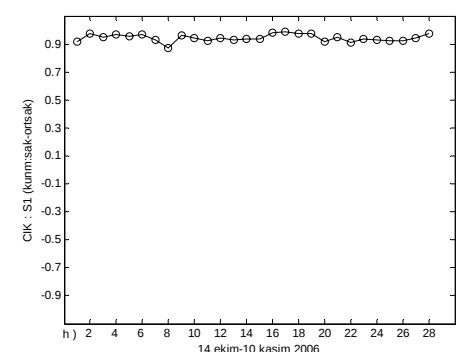
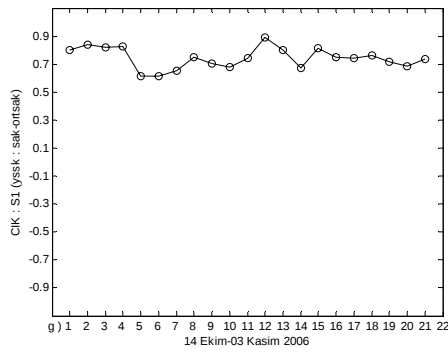
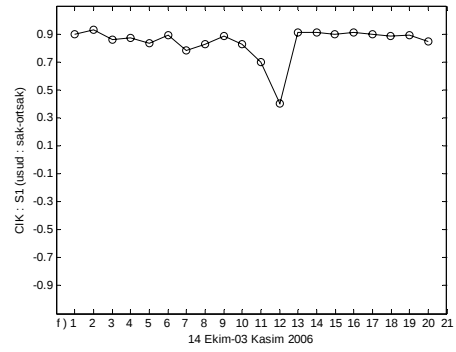
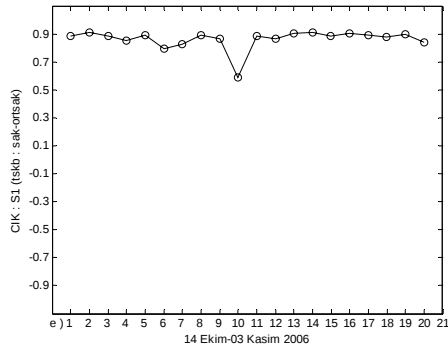
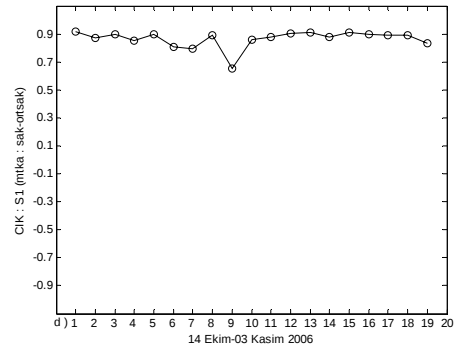
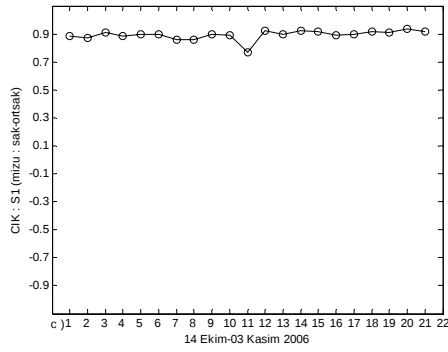
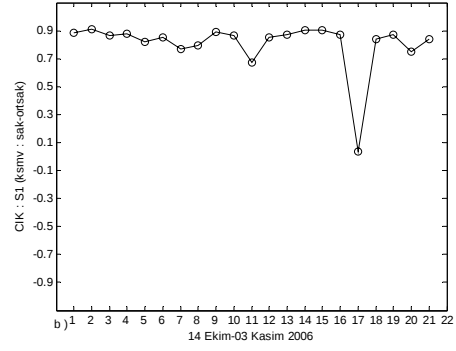
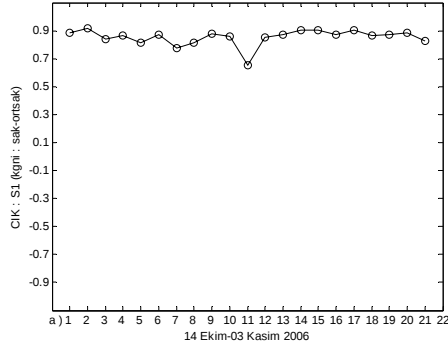
Şekil D27. 23 Temmuz 2005 Honşu depremi için a) kgni, b) ksmv, c) mtka, d) tskb, e) usud, f) yssk istasyonlarının deprem günleri S1 sınırı ve ODSG S1 sınırı arasındaki Çapraz İlinti Katsayıları.



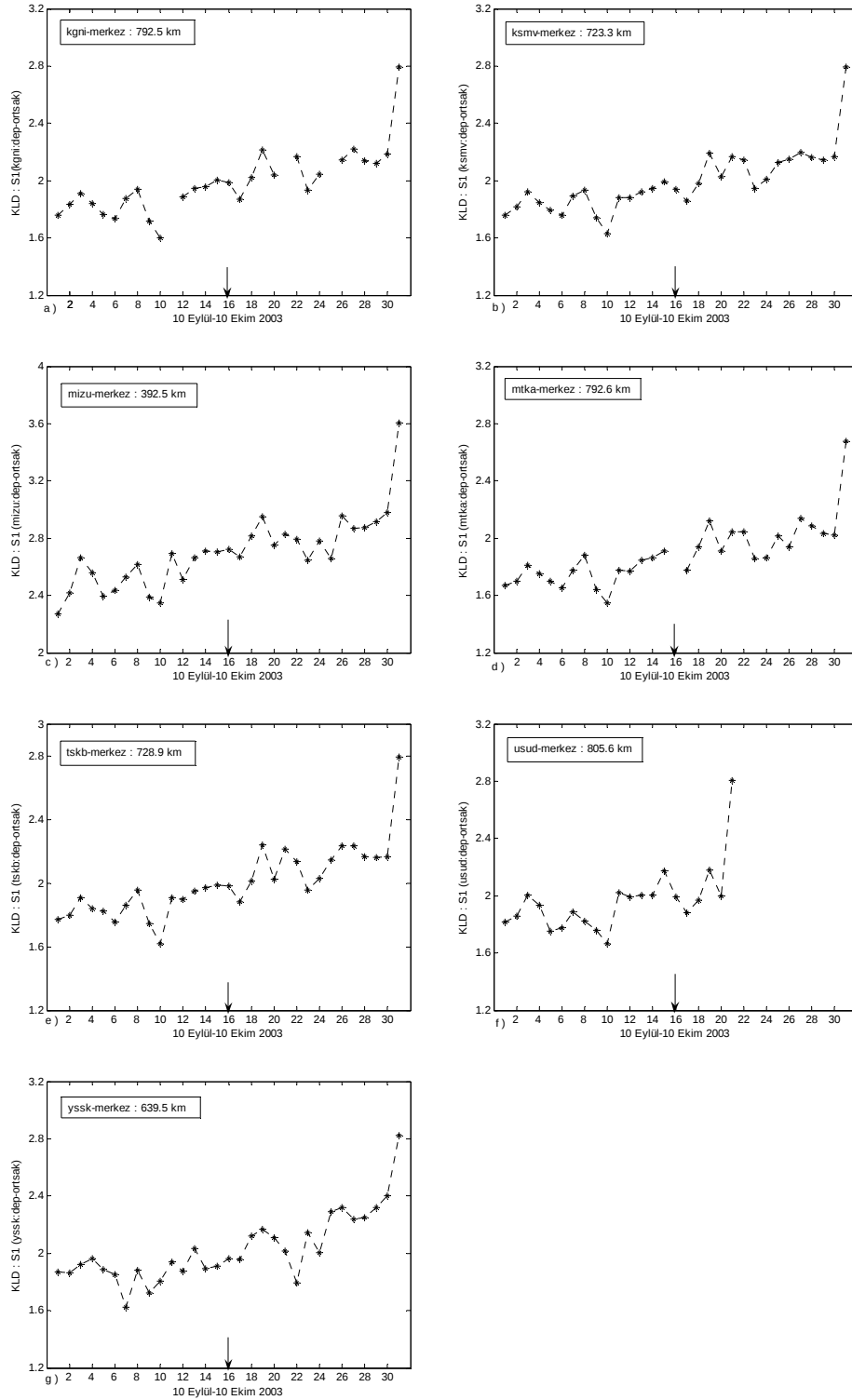
Şekil D28. 12 Mayıs 2005 Şiyan depremi için kunm istasyonunun deprem günleri S1 sınırı ve ODSG S1 sınırı arasındaki Çapraz İlinti Katsayıları.



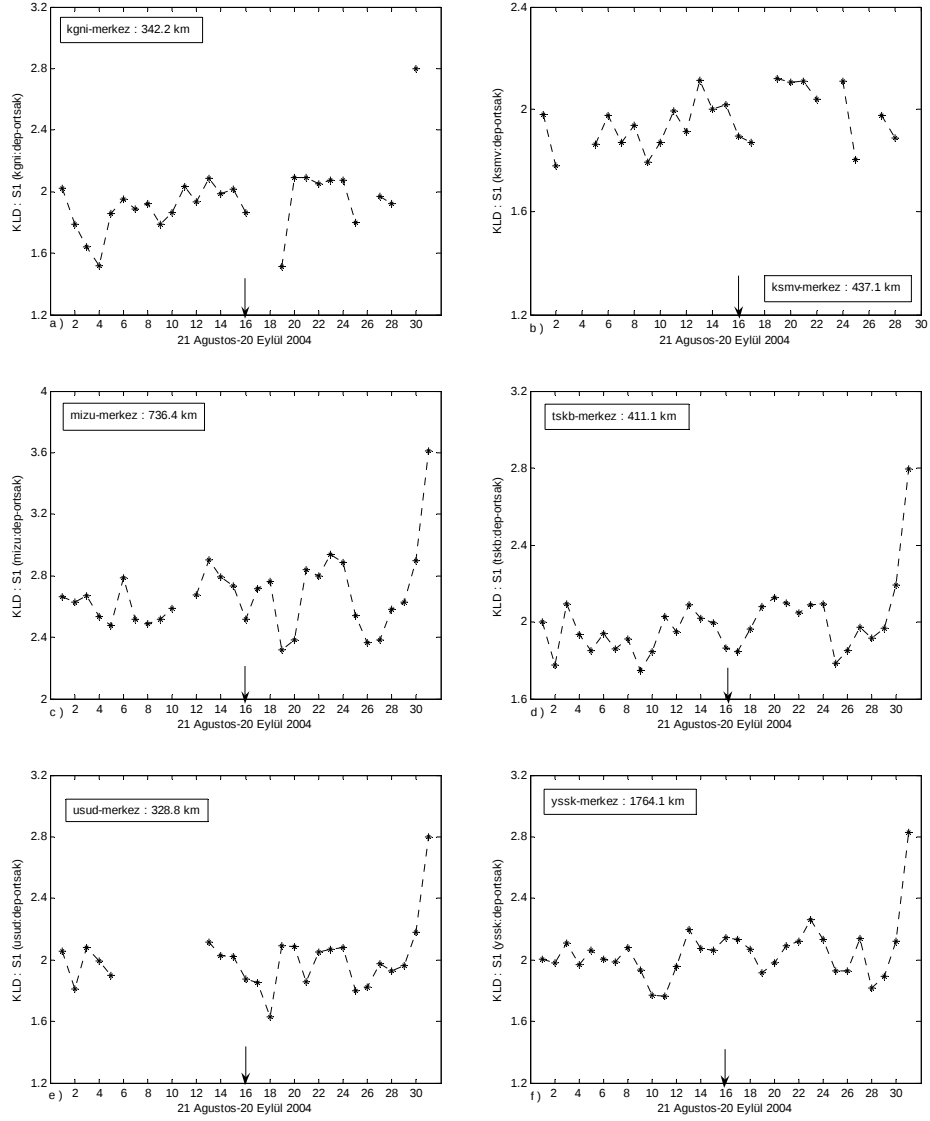
Şekil D29. İyonkürenin bozulmalı olarak seçilen zaman aralıkları için a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) yssk, h) kunm istasyonlarının bozulmalı günler S1 sınırı ve ODSG S1 sınırı arasındaki Çapraz İlinti Katsayıları.



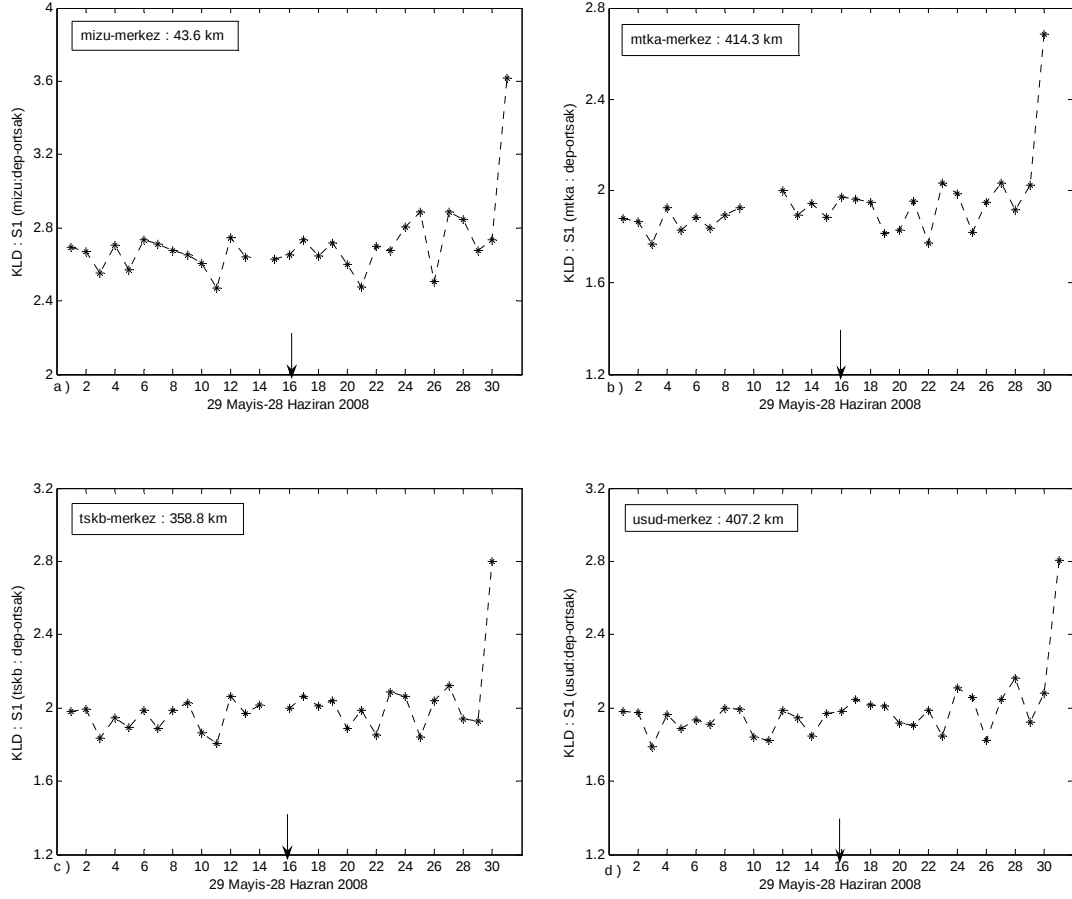
Şekil D30. İyonkürenin sakın olarak seçilen zaman aralıkları için a) kgm, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) yssk, h) kunm istasyonlarının sakın günler S1 sınırı ve ODSG S1 sınırı arasındaki Çapraz İlinti Katsayıları.



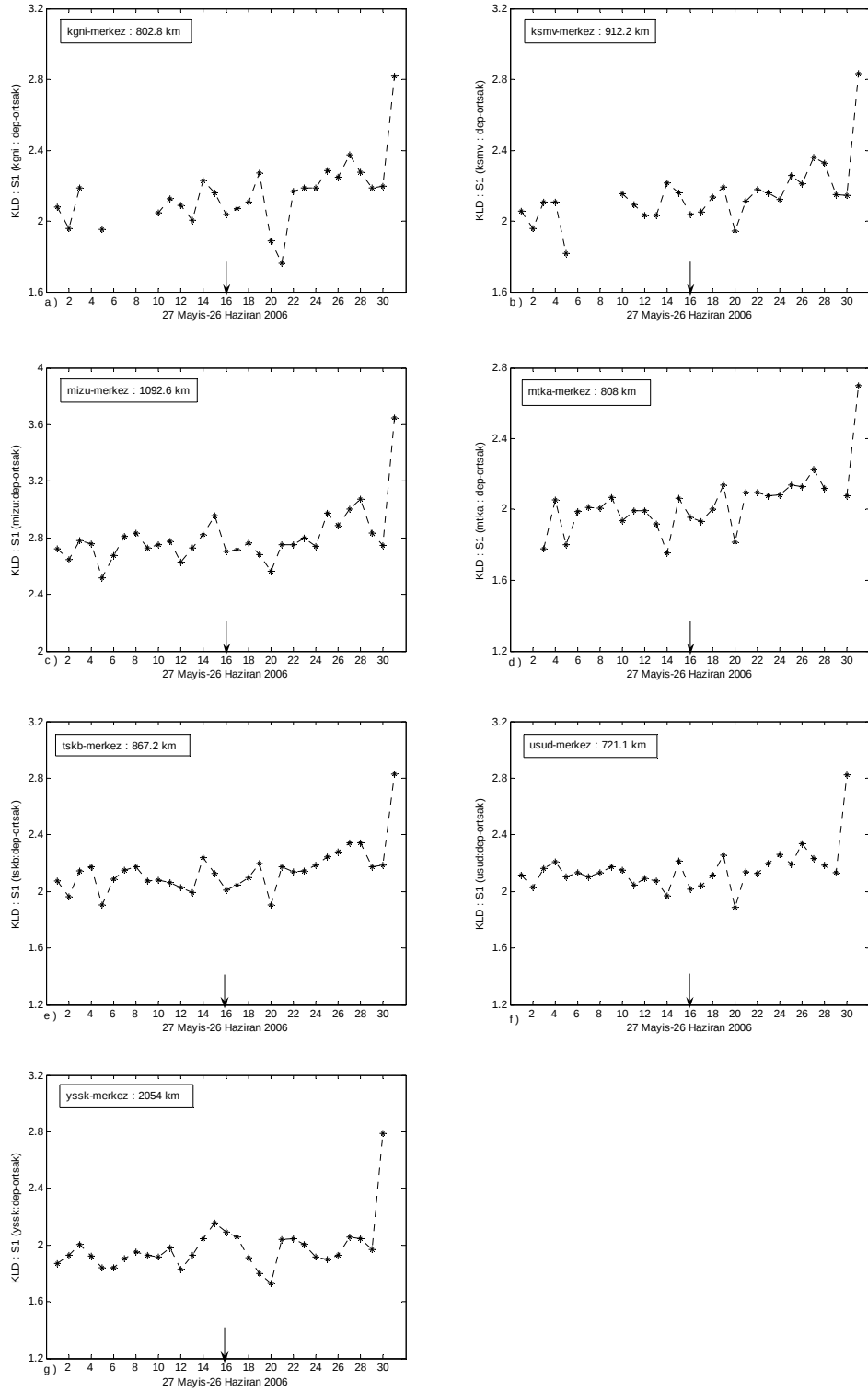
Şekil D31. 25 Eylül 2003 Hokkaido depremi için a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) yssk istasyonlarının deprem günleri S1 sınırı ve ODSG S1 sınırı arasındaki KLD değerleri.



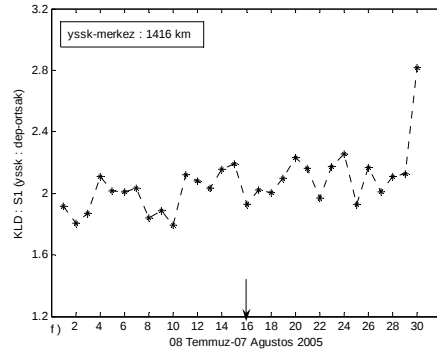
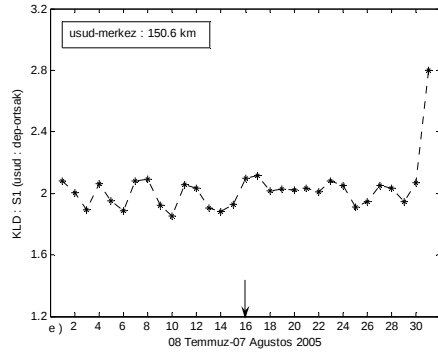
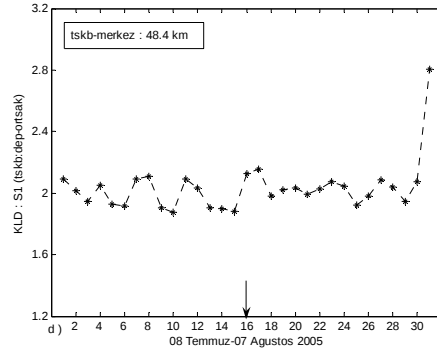
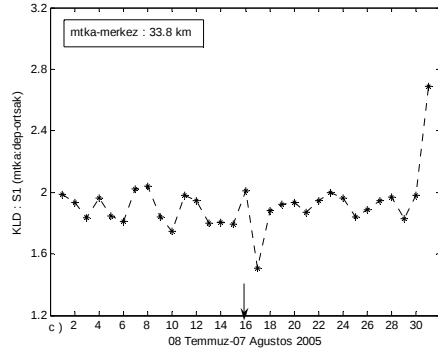
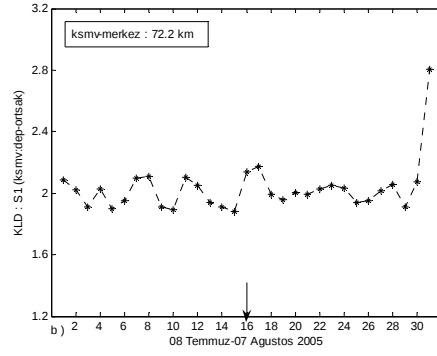
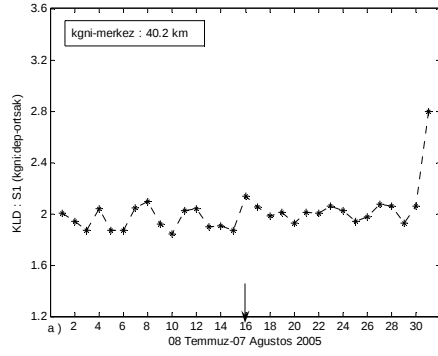
Şekil D32. 5 Eylül 2004 Honşu depremi için a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) tskb, e) usud, f) yssk istasyonlarının deprem günleri S1 sınırı ve ODSG S1 sınırı arasındaki KLD değerleri.



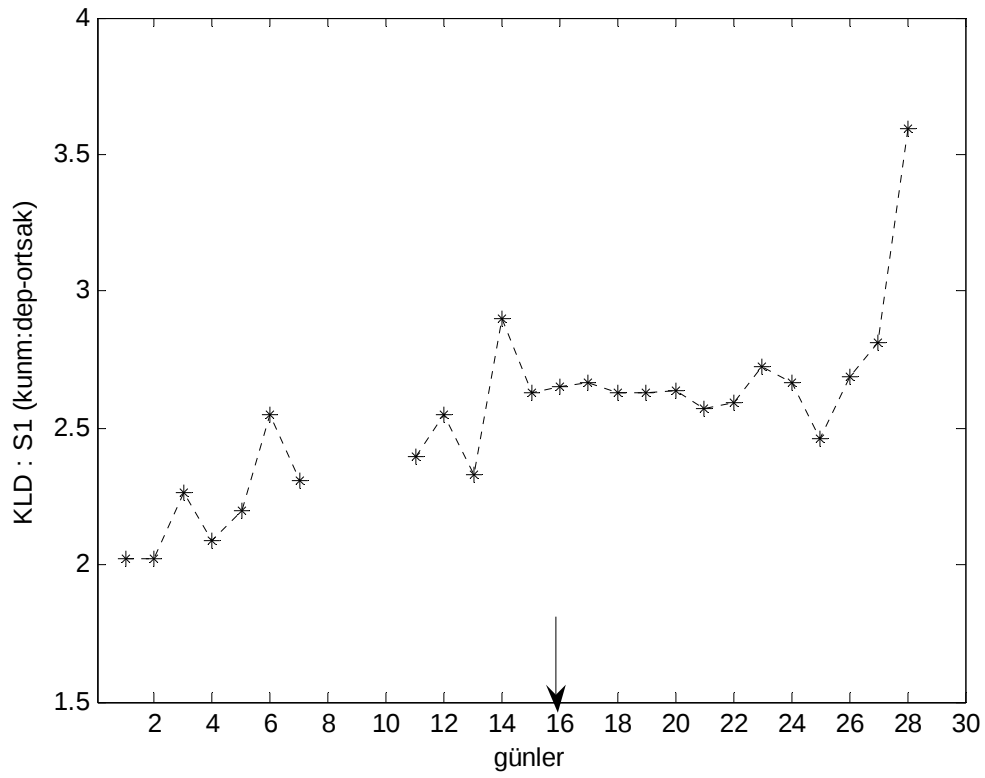
Şekil D33. 13 Haziran 2008 Honşu depremi için a) mizu, b) mtka, c) tskb, d) usud istasyonlarının deprem günleri S1 sınırı ve ODSG S1 sınırı arasındaki KLD değerleri.



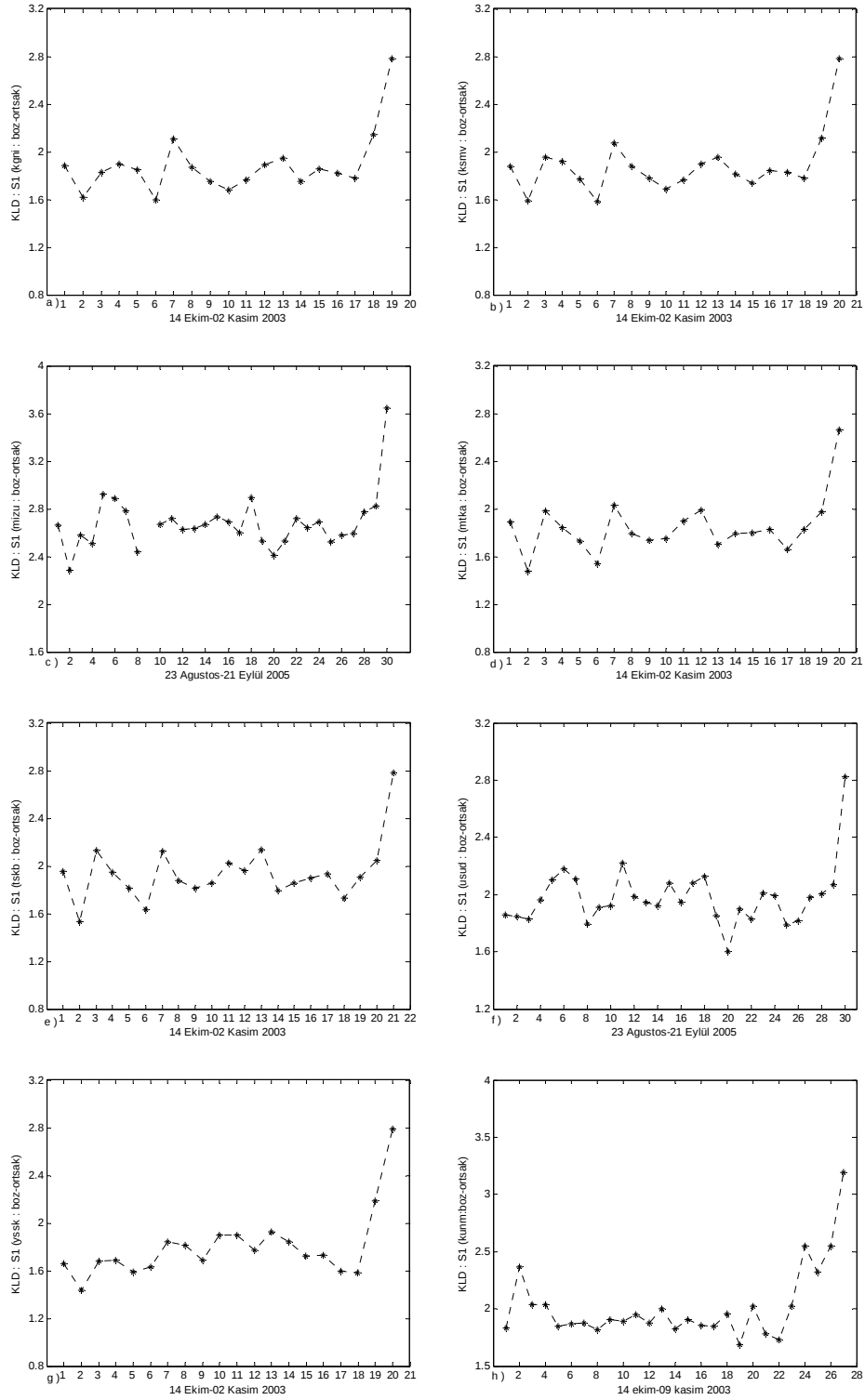
Şekil D34. 11 Haziran 2008 Kiyuşiyu depremi için a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) yssk istasyonlarının deprem günleri S1 sınırı ve ODSG S1 sınırı arasındaki KLD değerleri.



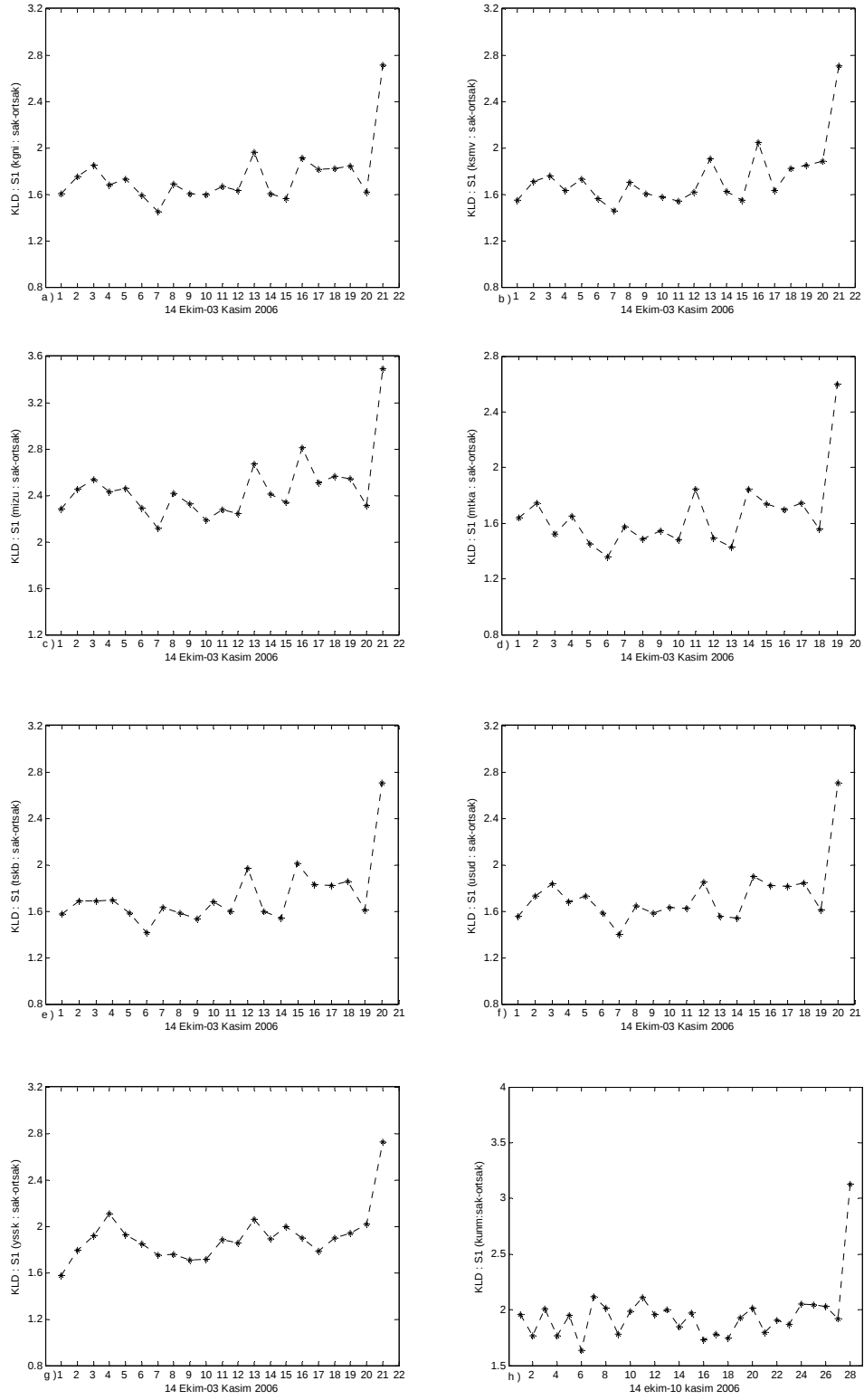
Şekil D35. 23 Temmuz 2005 Honşu depremi için a) kgni, b) ksmv, c) mtka, d) tskb, e) usud, f) yysk istasyonlarının deprem günleri S1 sınırı ve ODSG S1 sınırı arasındaki KLD değerleri.



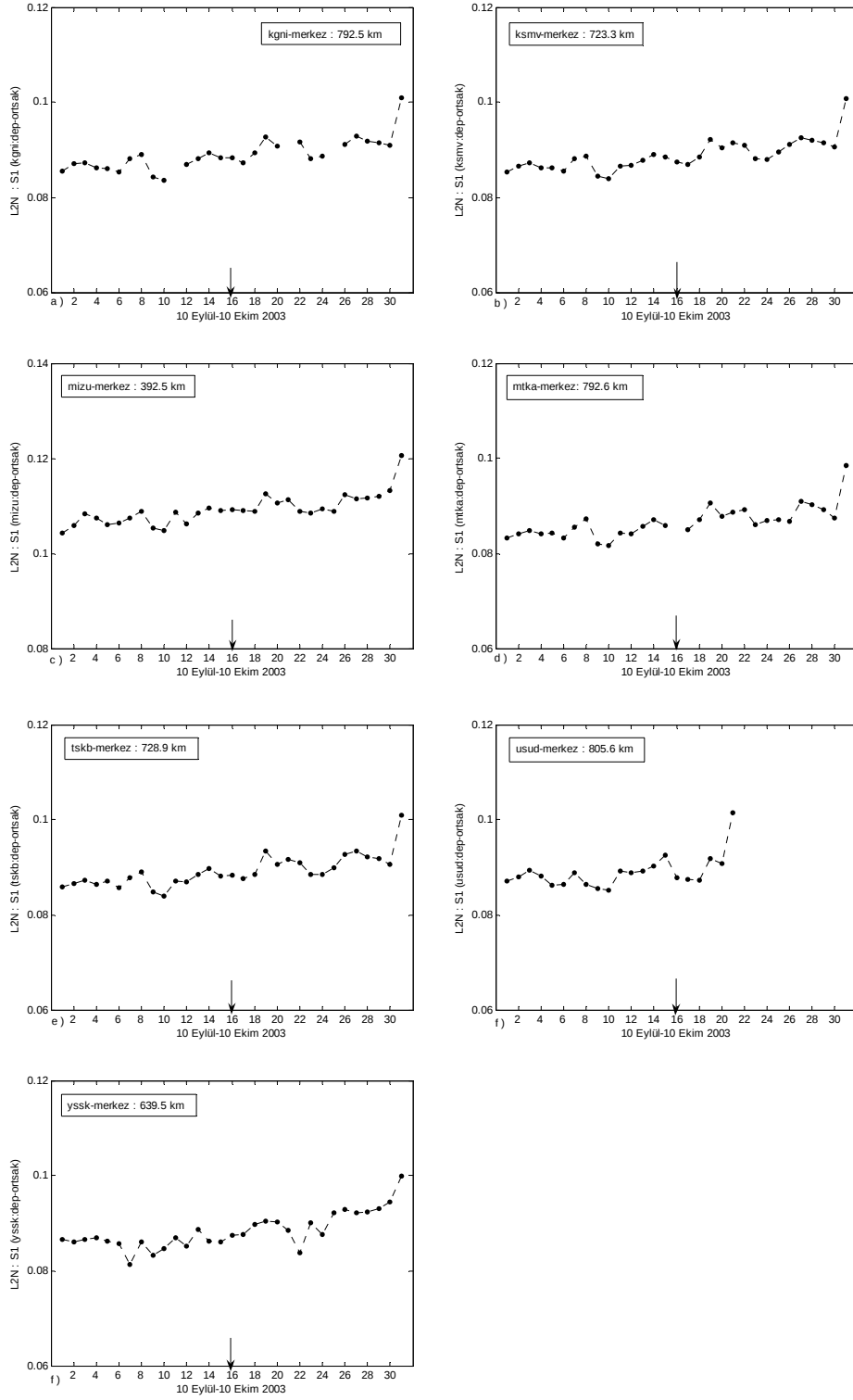
Şekil D36. 12 Mayıs 2008 Şiyan depremi için kunm istasyonunun deprem günleri S1 sınırı ve ODSG S1 sınırı arasındaki KLD değerleri.



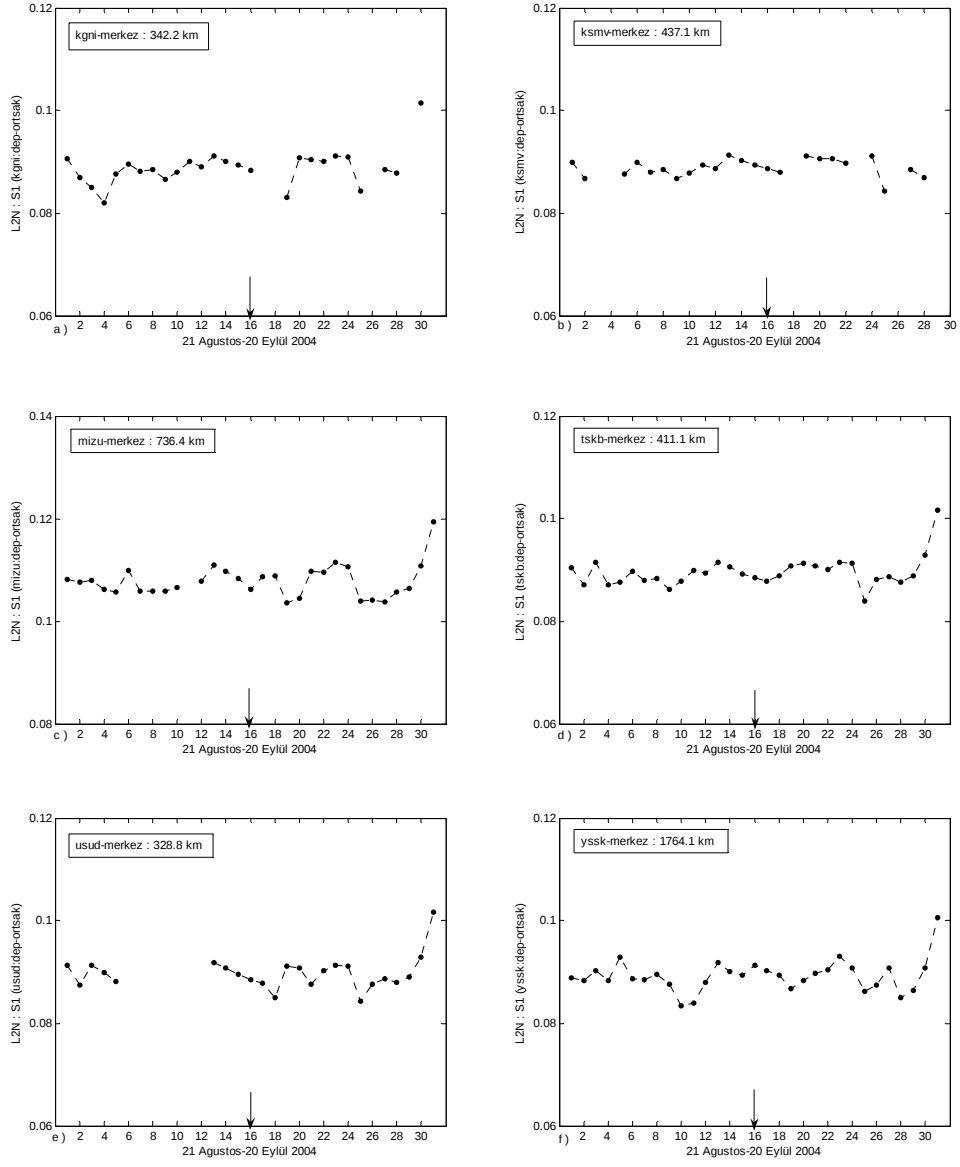
Şekil D37. İyonkürenin bozulmalı olarak seçilen zaman aralıklarındaki a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) ysk, h) kum istasyonlarının bozulmalı günler S1 sınırı ve ODSG S1 sınırı arasındaki KLD değerleri.



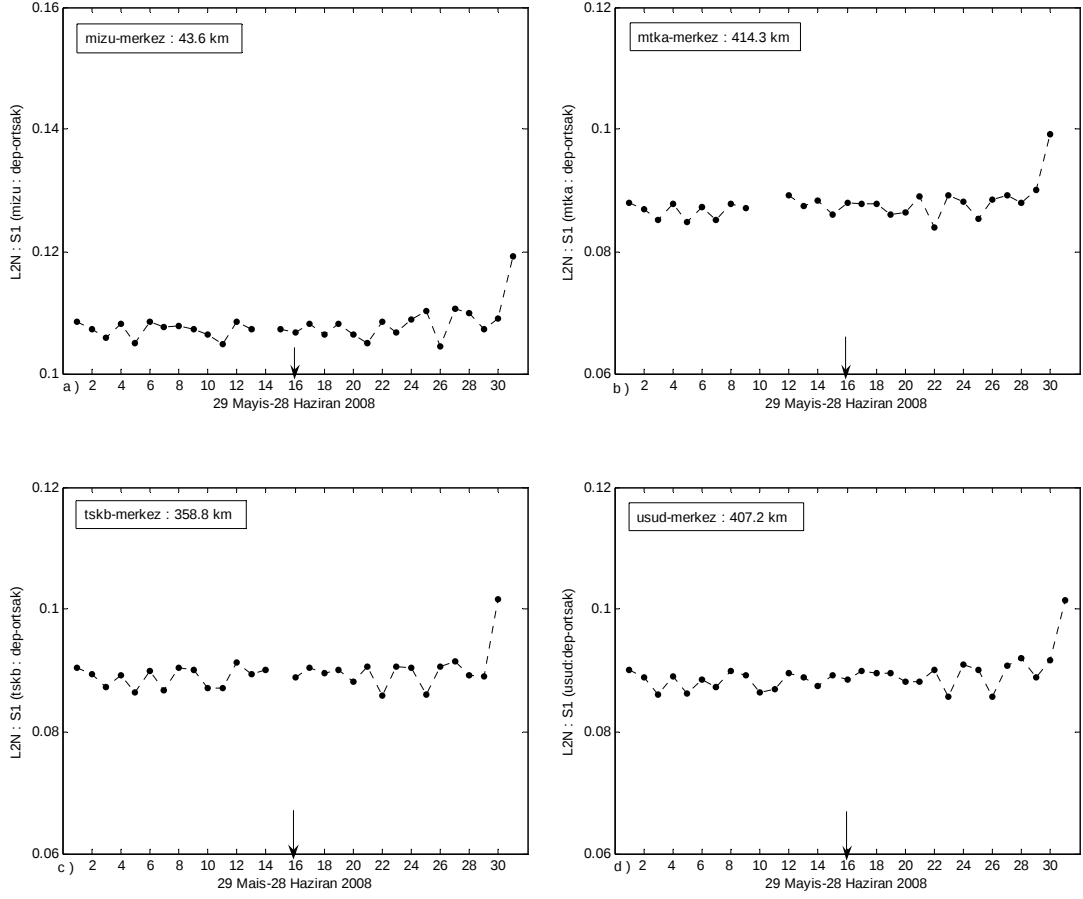
Şekil D38. İyonkürenin sakın olarak seçilen zaman aralılarındaki a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) yssk, h) kurm istasyonlarının sakın günler S1 sınırı ve ODSG S1 sınırı arasındaki KLD değerleri.



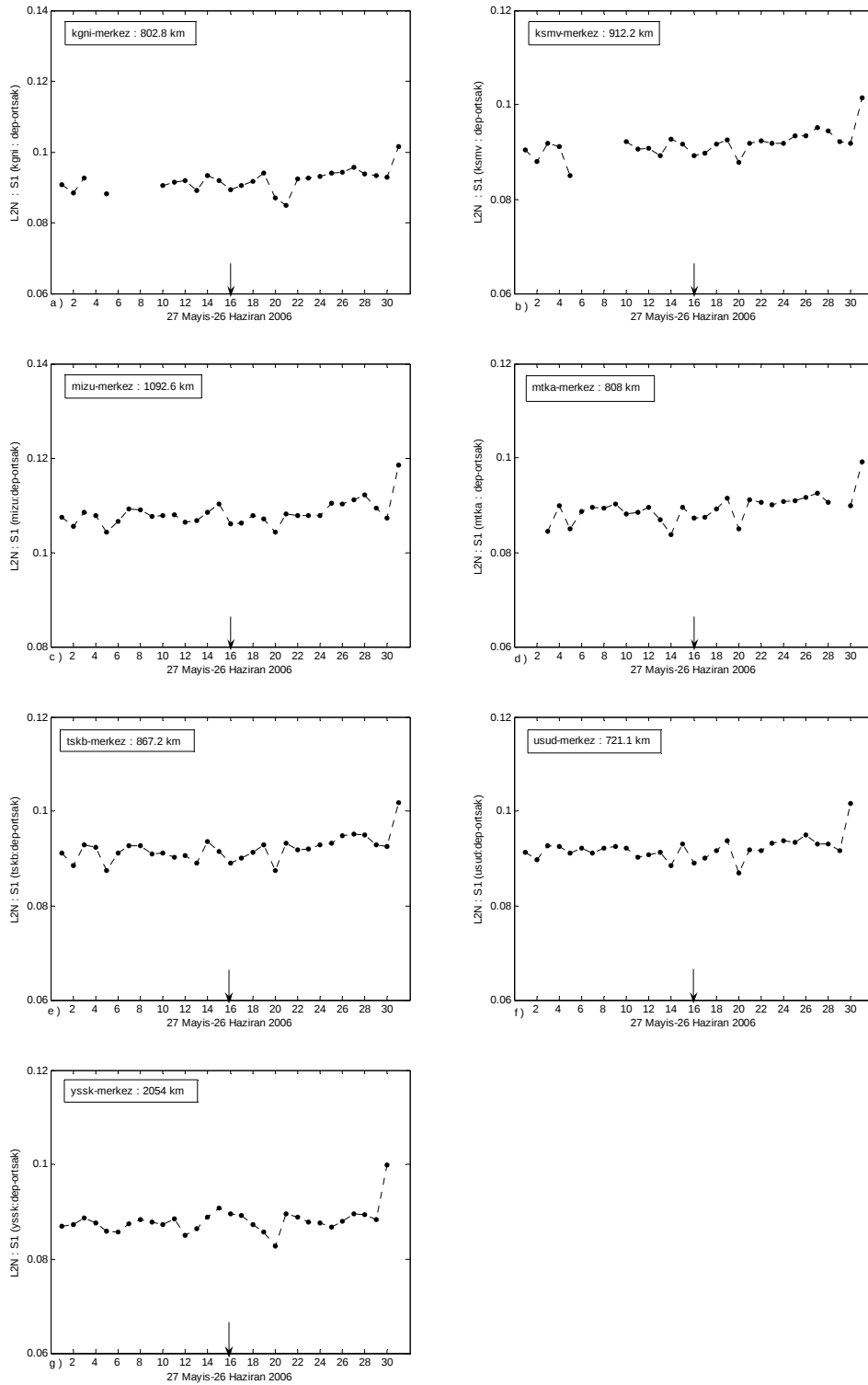
Şekil D39. 25 Eylül 2003 Hokkaido depremi için a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) yssk istasyonlarının deprem günleri S1 sınırı ve ODSG S1 sınırı arasındaki L2N değerleri.



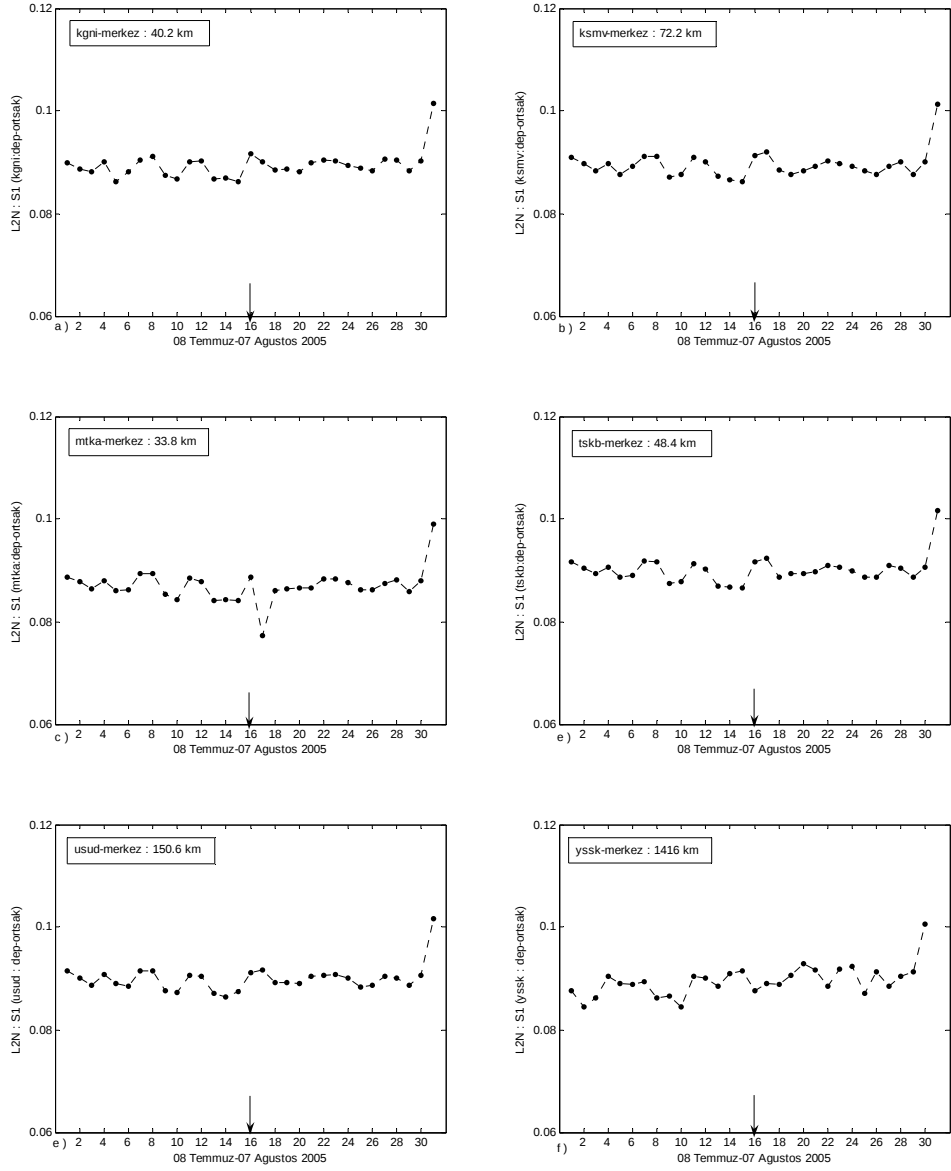
Şekil D40. 5 Eylül 2004 Honşu depremi için a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) tskb, e) usud, f) yssk istasyonlarının deprem günleri S1 sınırı ve ODSG S1 sınırı arasındaki L2N değerleri.



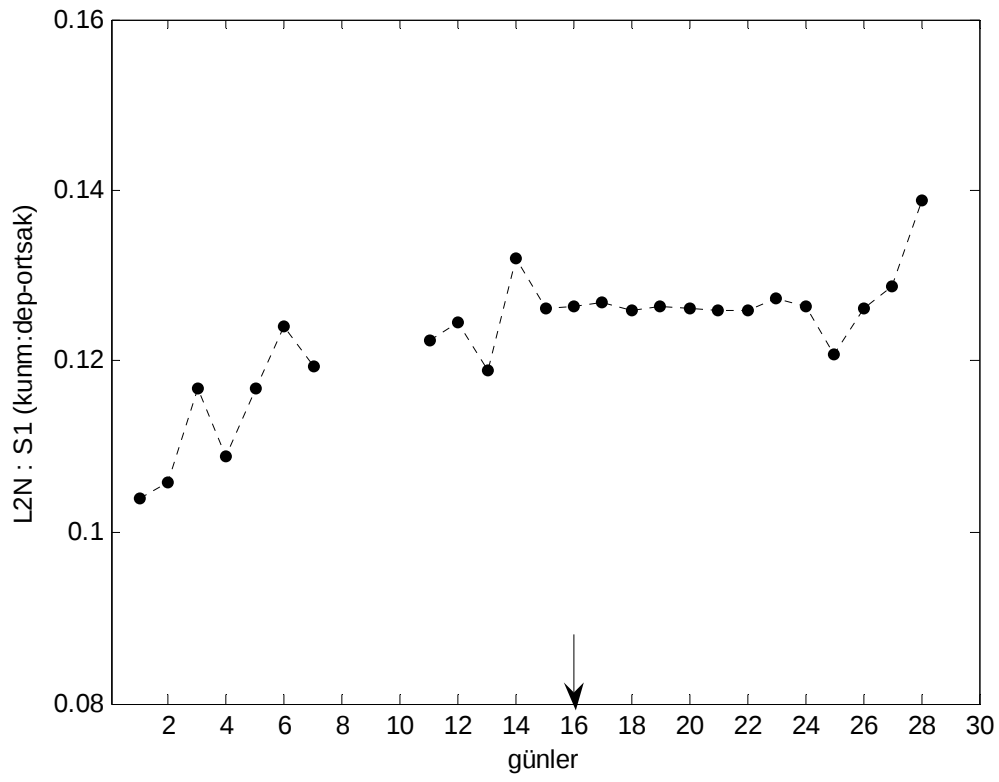
Şekil D41. 13 Haziran 2008 Honşu depremi için a) mizu, b) mtka, c) tskb, d) usud istasyonlarının deprem günleri S1 sınırı ve ODSG S1 sınırı arasındaki L2N değerleri.



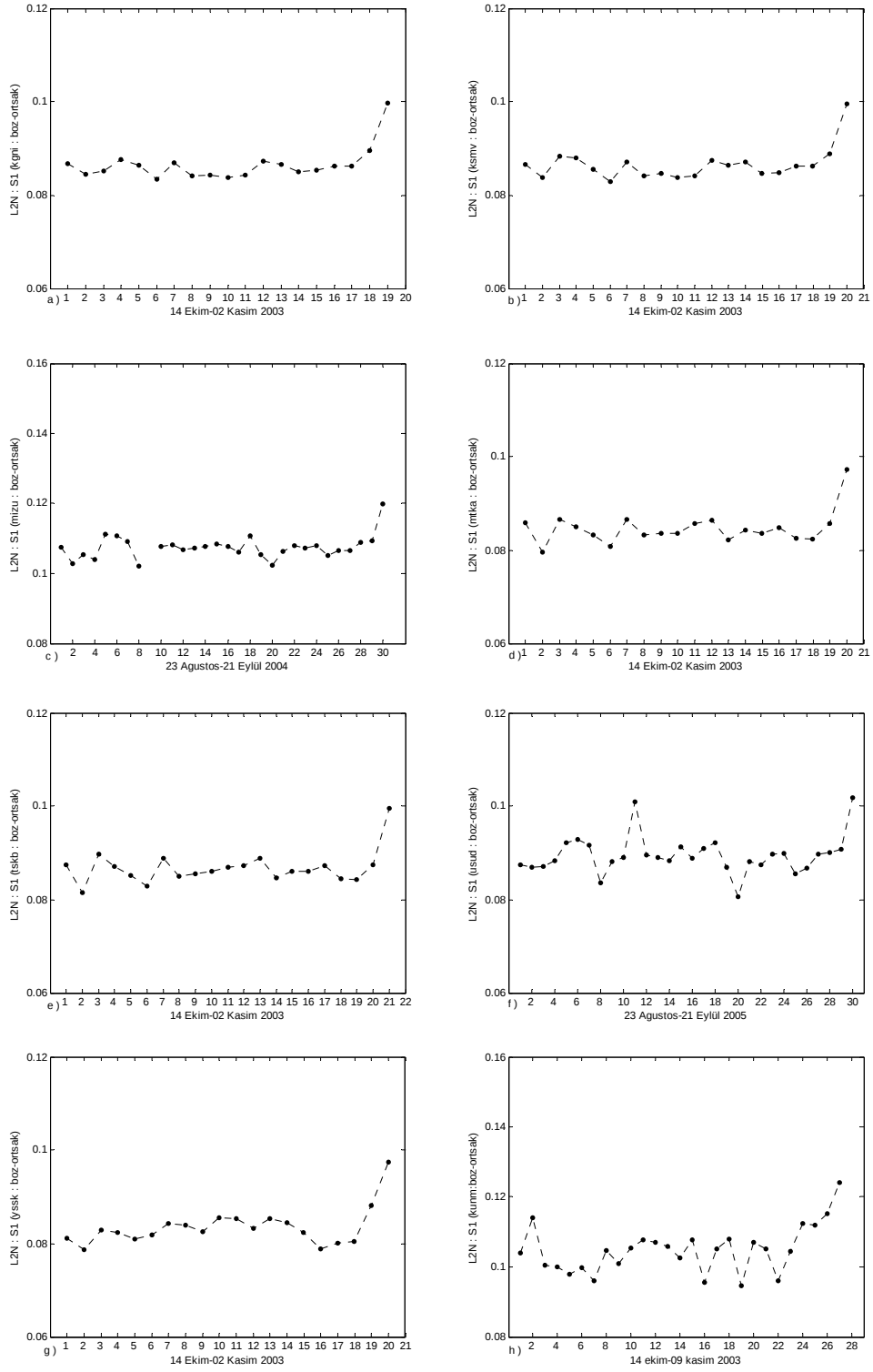
Şekil D42. 11 Haziran 2006 Kıyüşiyu depremi için a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) yssk istasyonlarının deprem günleri S1 sınırı ve ODSG S1 sınırı arasındaki L2N değeri.



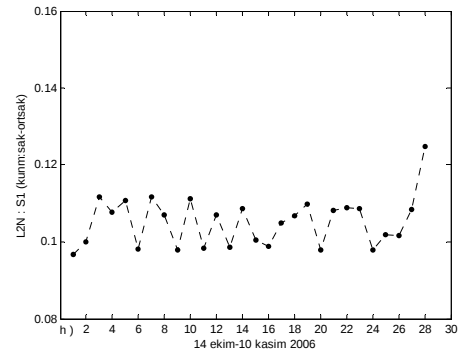
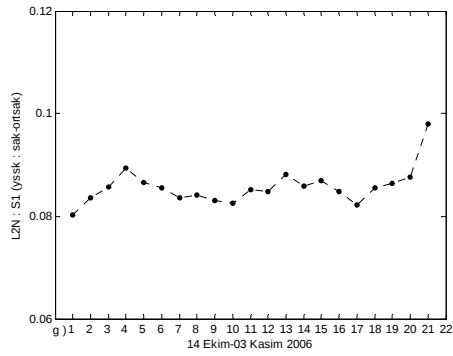
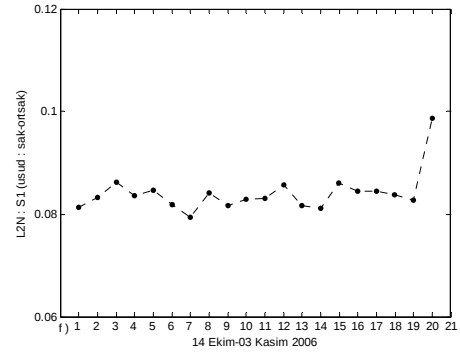
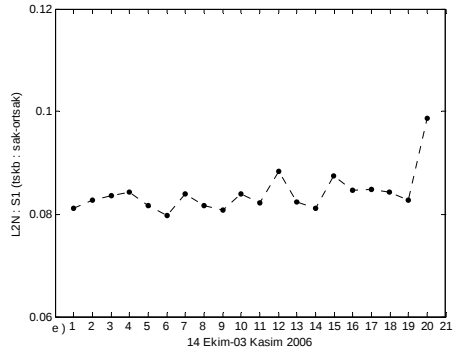
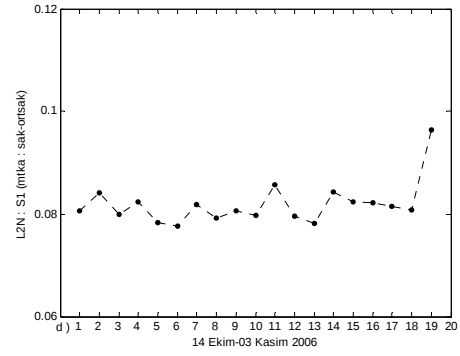
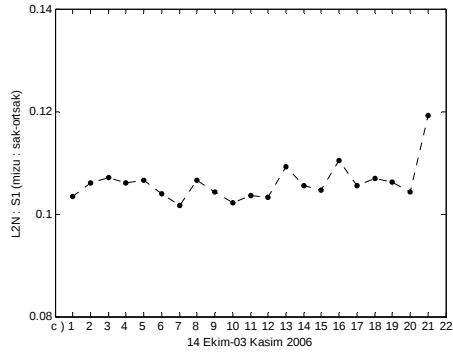
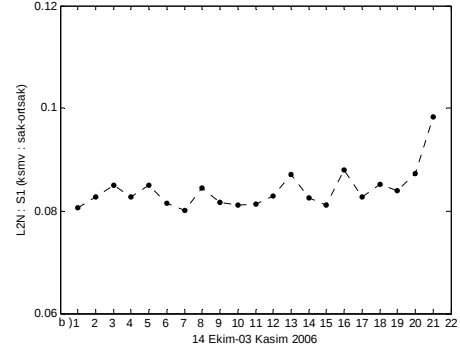
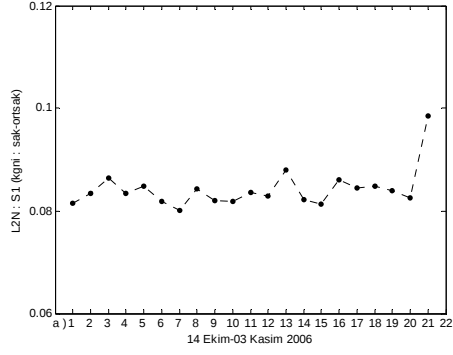
Şekil D43. 23 Temmuz 2005 Honşu depremi için a) kgni, b) ksmv, c) mtka, d) tskb, e) usud, f) yssk istasyonlarının deprem günleri S1 sınırı ve ODSG S1 sınırı arasındaki L2N değerleri.



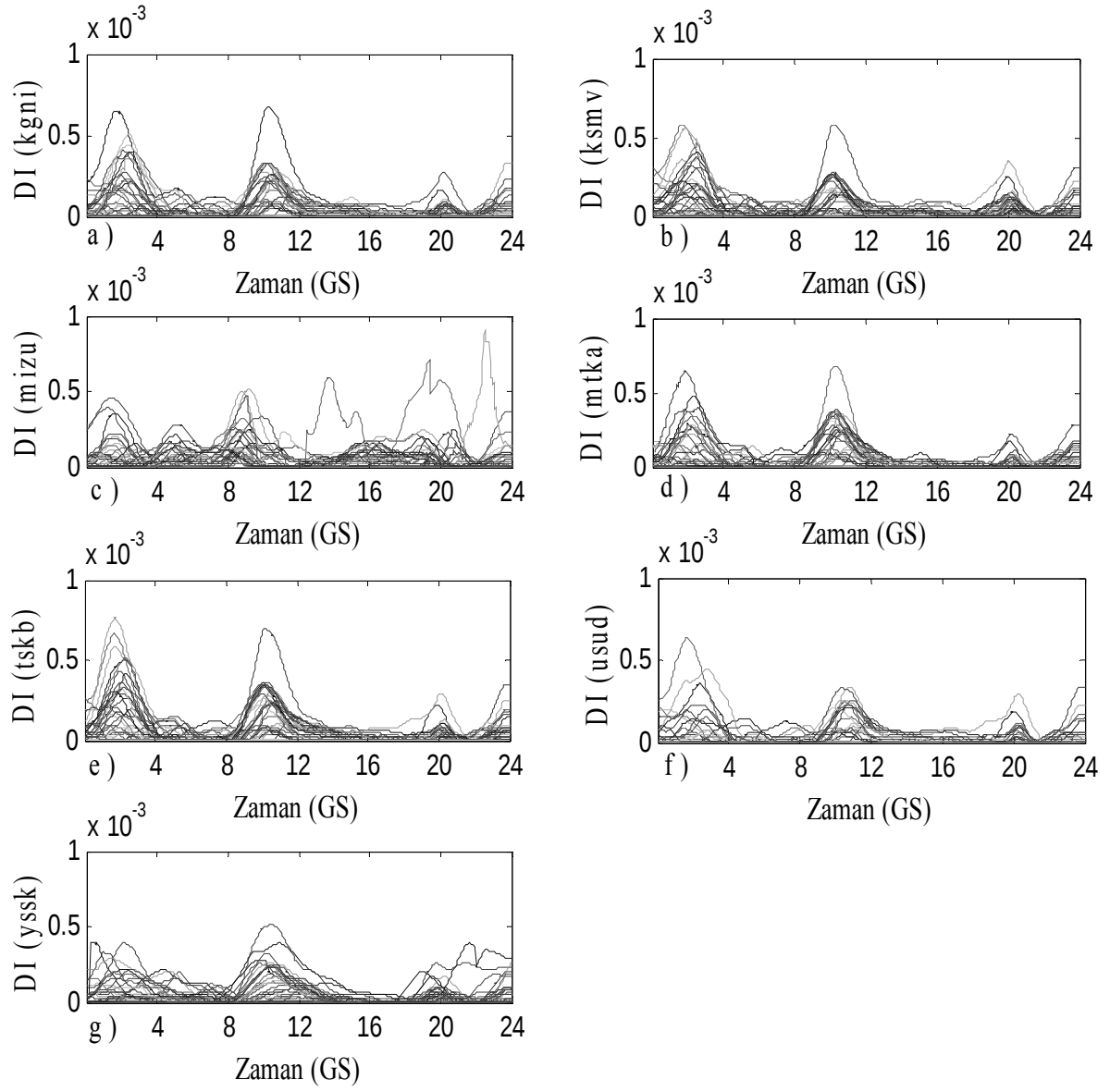
Şekil D44. 12 Mayıs 2008 Şiyan depremi için kunm istasyonunun deprem günleri S1 sınırı ve ODSG S1 sınırı arasındaki L2N değerleri.



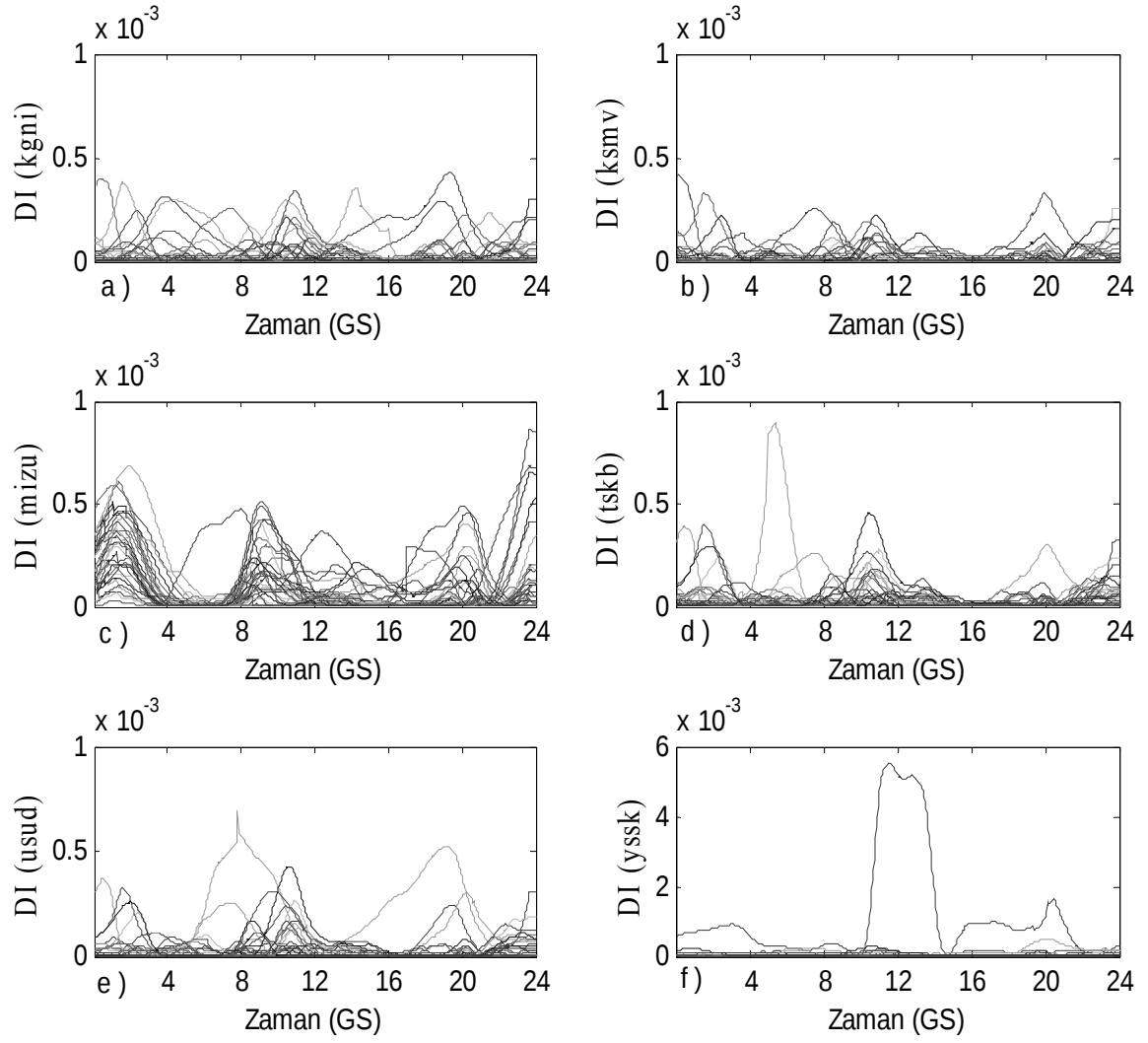
Şekil D45. İyonkürenin bozulmalı olarak seçilen zaman aralıklarındaki a) kgm, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) yssk, h) kunm istasyonlarının bozulmalı günler S1 sınırı ve ODSG S1 sınırı arasındaki L2N değerleri.



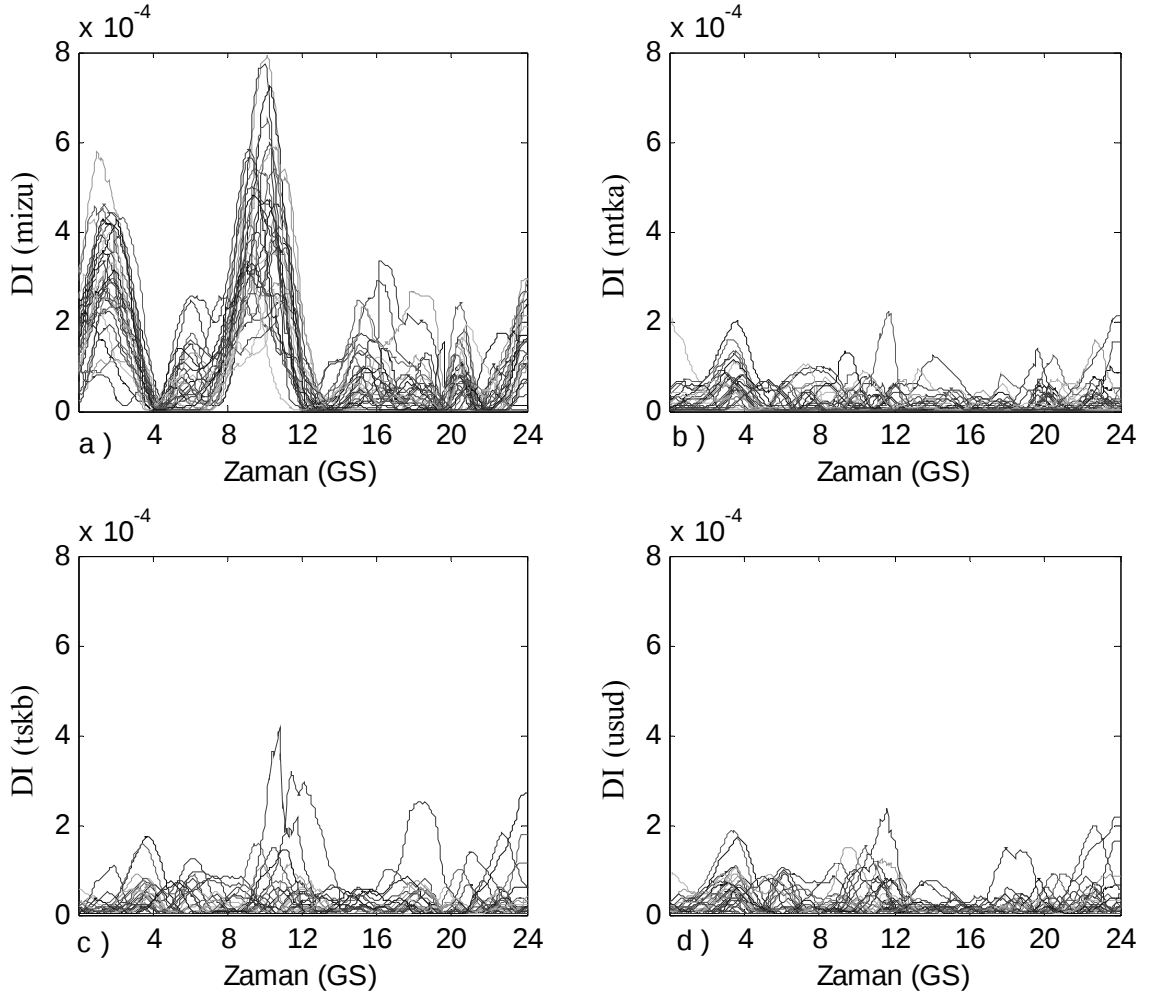
Şekil D46. İyonkürenin sakın olarak seçilen zaman aralıklarındaki a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) yssk, h) kunm istasyonlarının sakın günler S1 sınırı ve ODSG S1 sınırı arasındaki L2N değerleri.



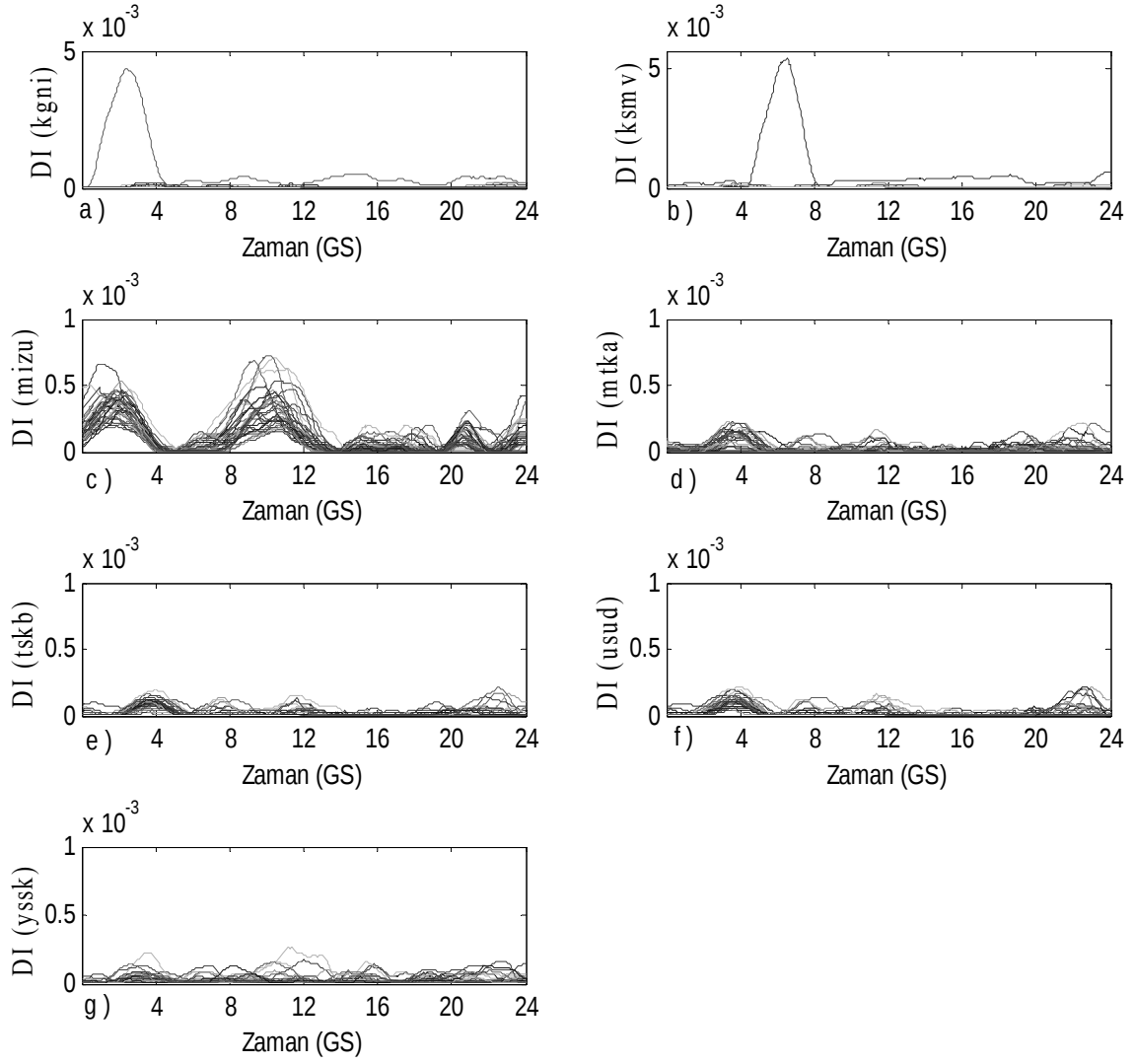
Şekil D47. 25 Eylül 2003 Hokkaido depremi için a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) yssk istasyonlarına ait deprem günleri ile ODSG arasındaki Dağılımlar Iraksaklığı değerleri.



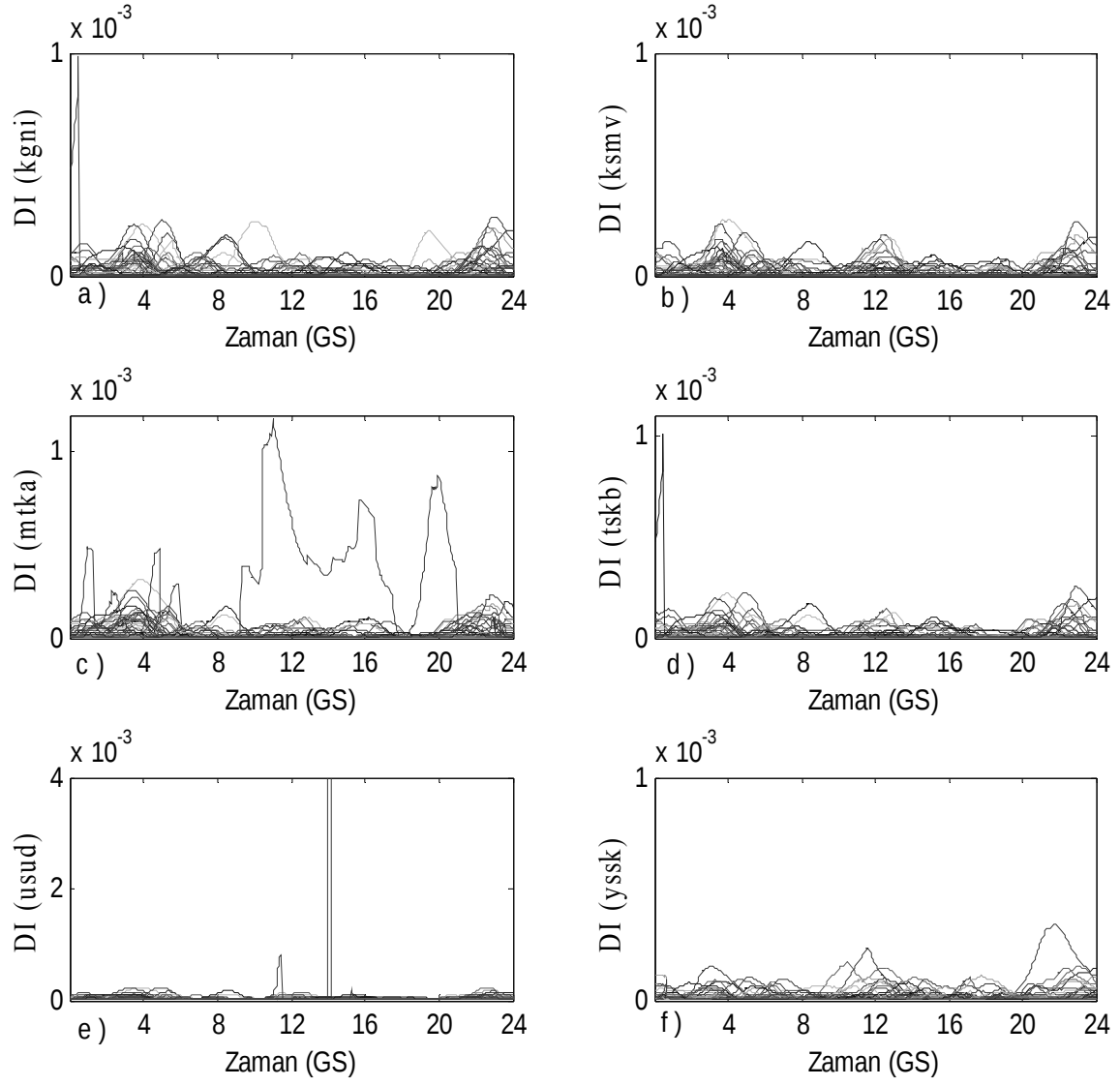
Şekil D48. 5 Eylül 2004 Honşu depremi için a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) tskb, e) usud, f) yssk istasyonlarına ait deprem günleri ile ODSG arasındaki Dağılımlar Iraksaklığı değerleri.



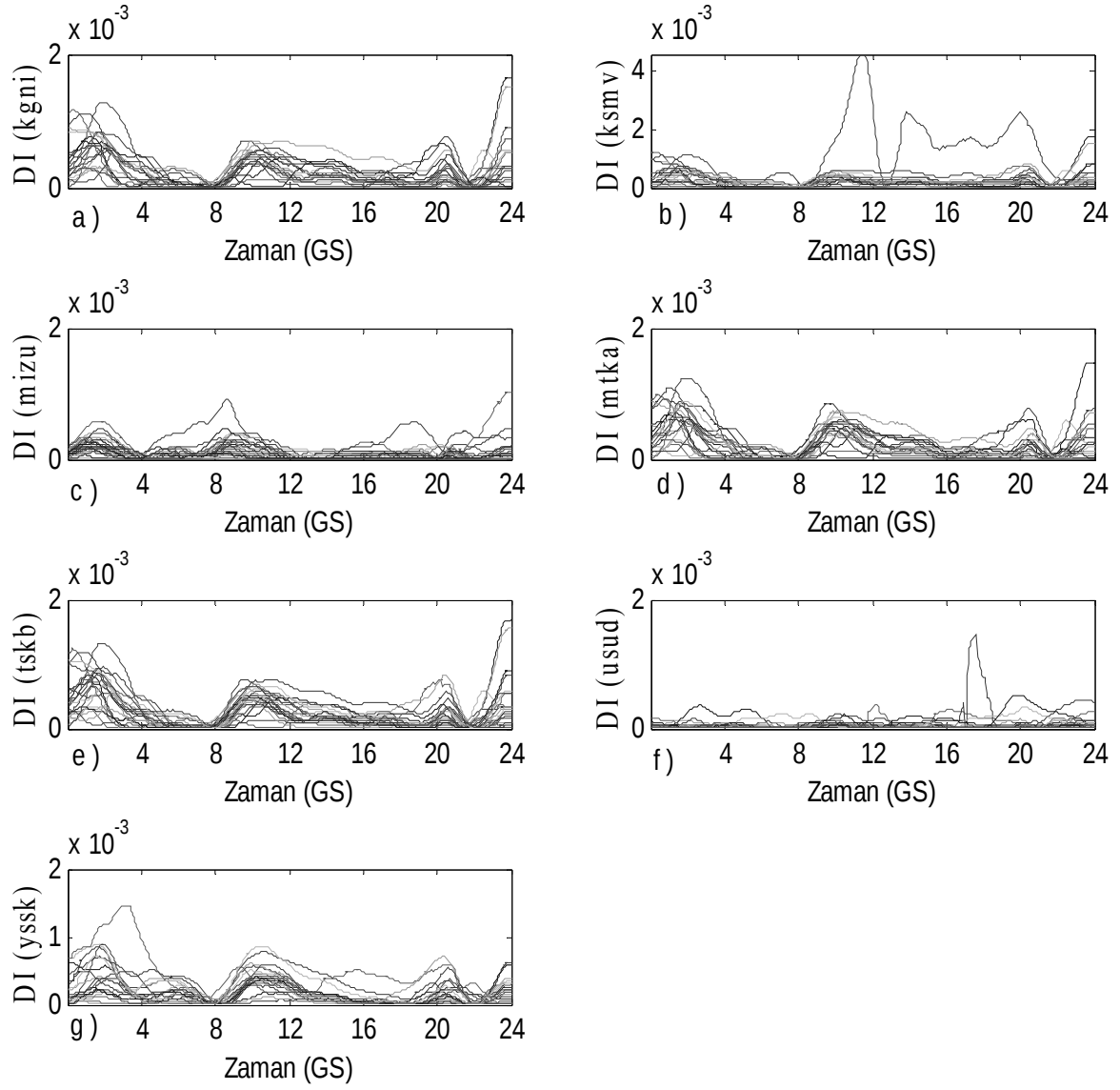
Şekil D49. 13 Haziran 2008 Honşu depremi a) mizu, b) mtka, c) tskb, d) usud istasyonlarına ait deprem günleri ile ODSG arasındaki Dağılımlar İraksaklığı değerleri.



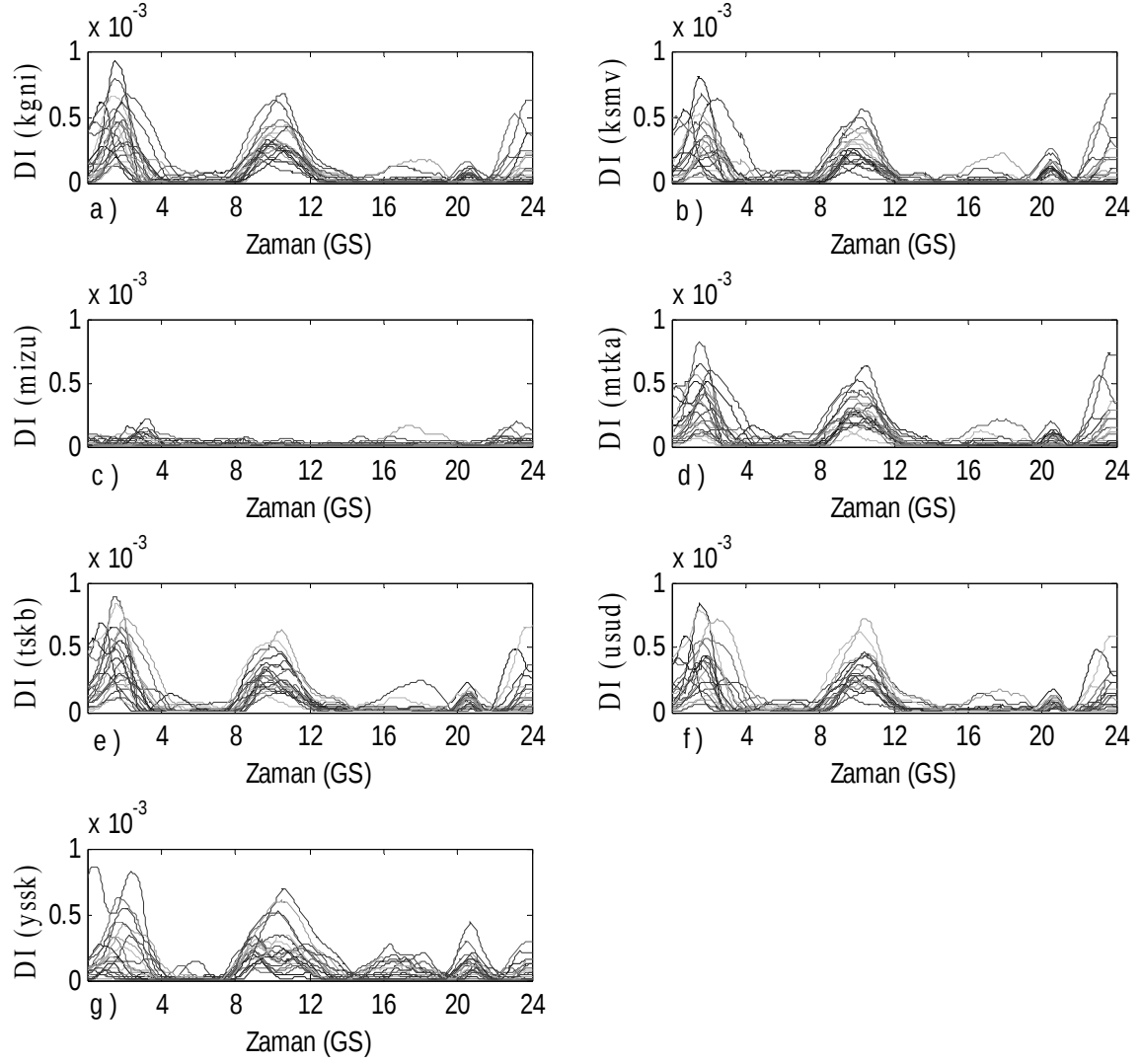
Şekil D50. 11 Haziran 2006 Kiyuşıyu depremi a) kgni, b) ksmc, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) yssk istasyonlarına ait deprem günleri ile ODSG arasındaki Dağılımlar Iraksaklığı değerleri.



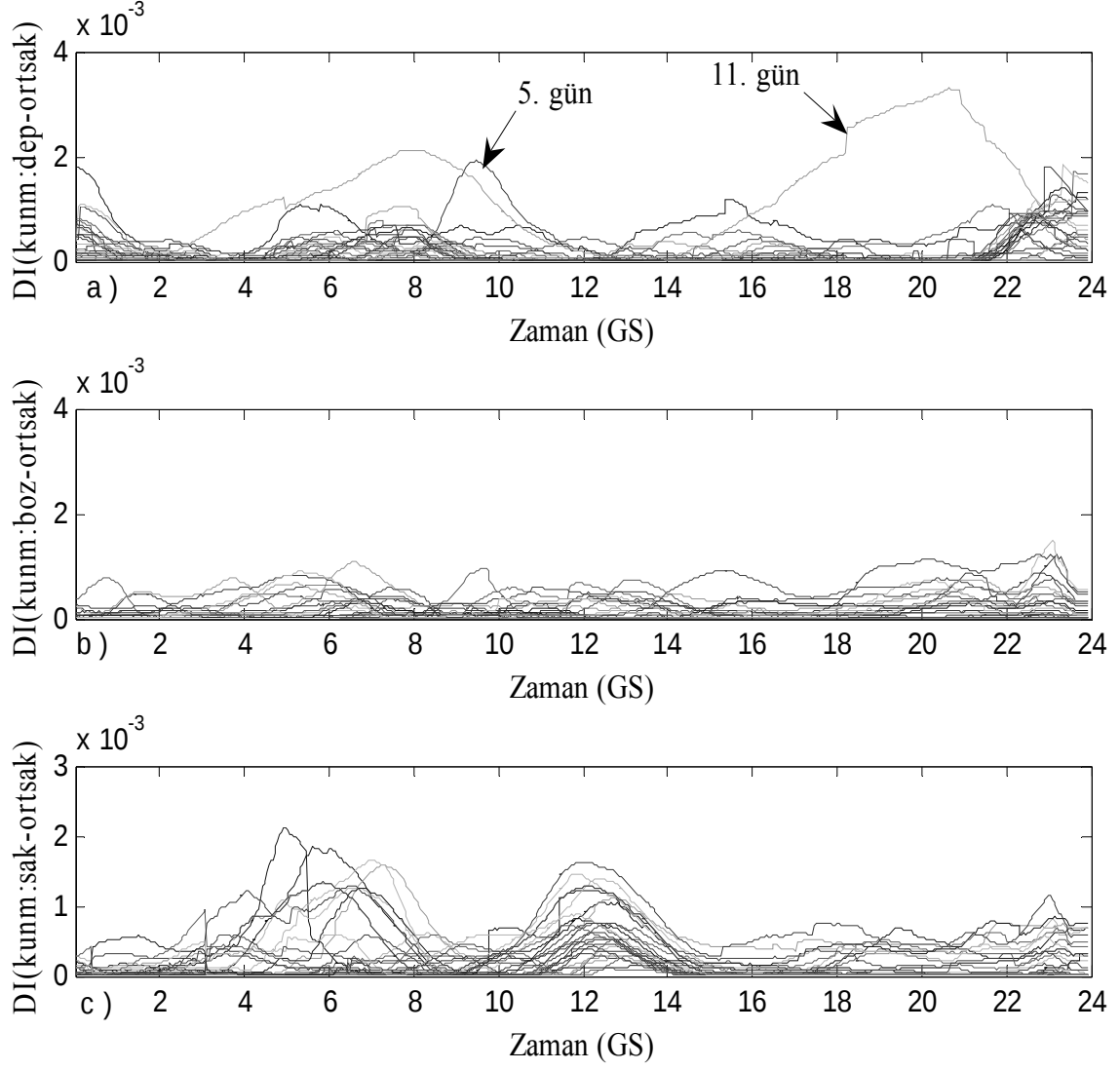
Şekil D51. 23 Temmuz 2005 Honşu depremi için a) kgni, b) ksmc, c) mtka, d) tskb, e) usud, f) yssk istasyonlarına ait deprem günleri ile ODSG arasındaki Dağılımlar Iraksaklığı değerleri.



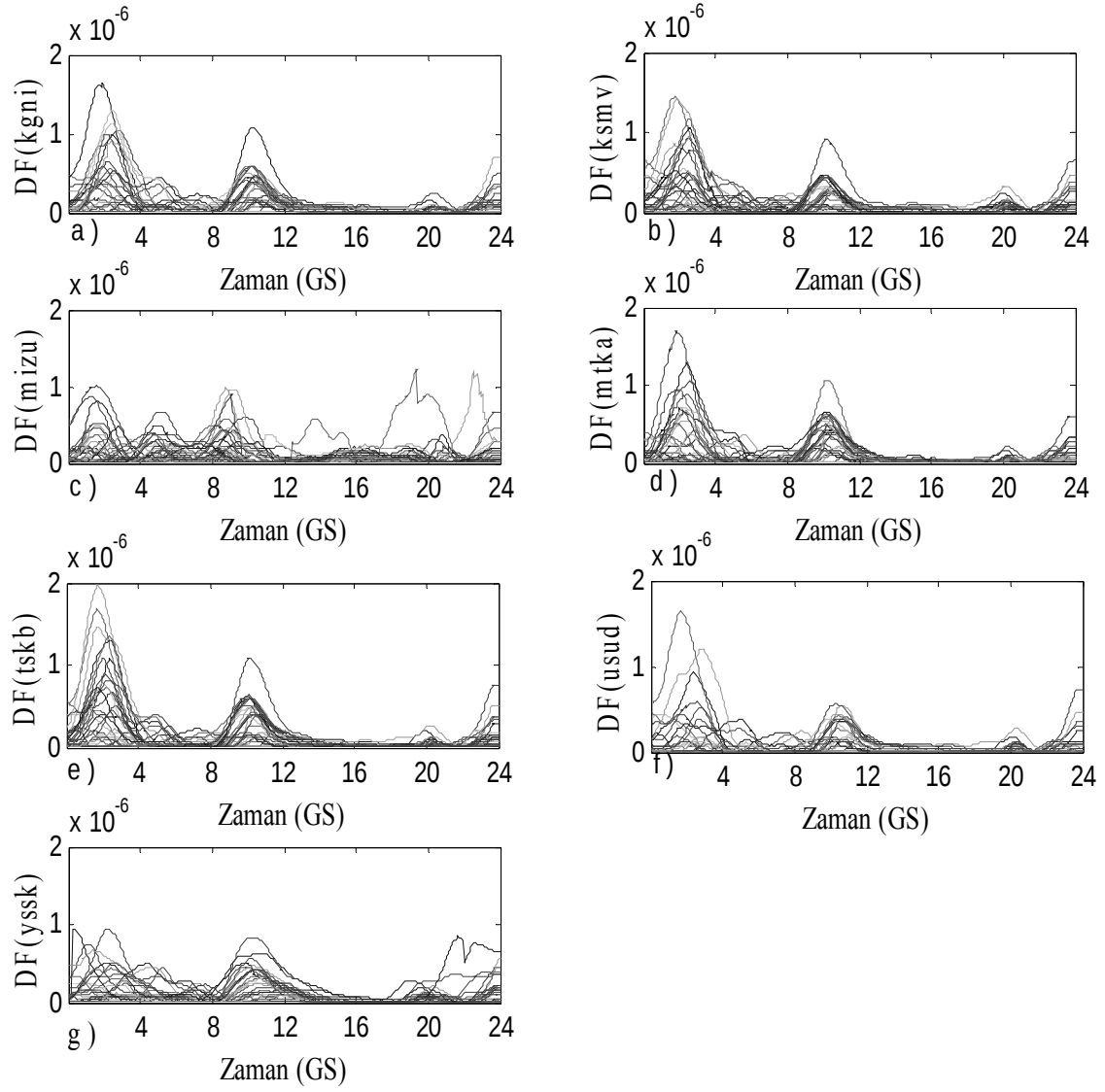
Şekil D52. İyonkürenin bozulmalı olduğu zaman aralıklarında a) kgni, b) ksmc, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) yssk istasyonlarına ait bozulmalı günler ile ODSG arasındaki Dağılımlar Iraksaklığı değerleri.



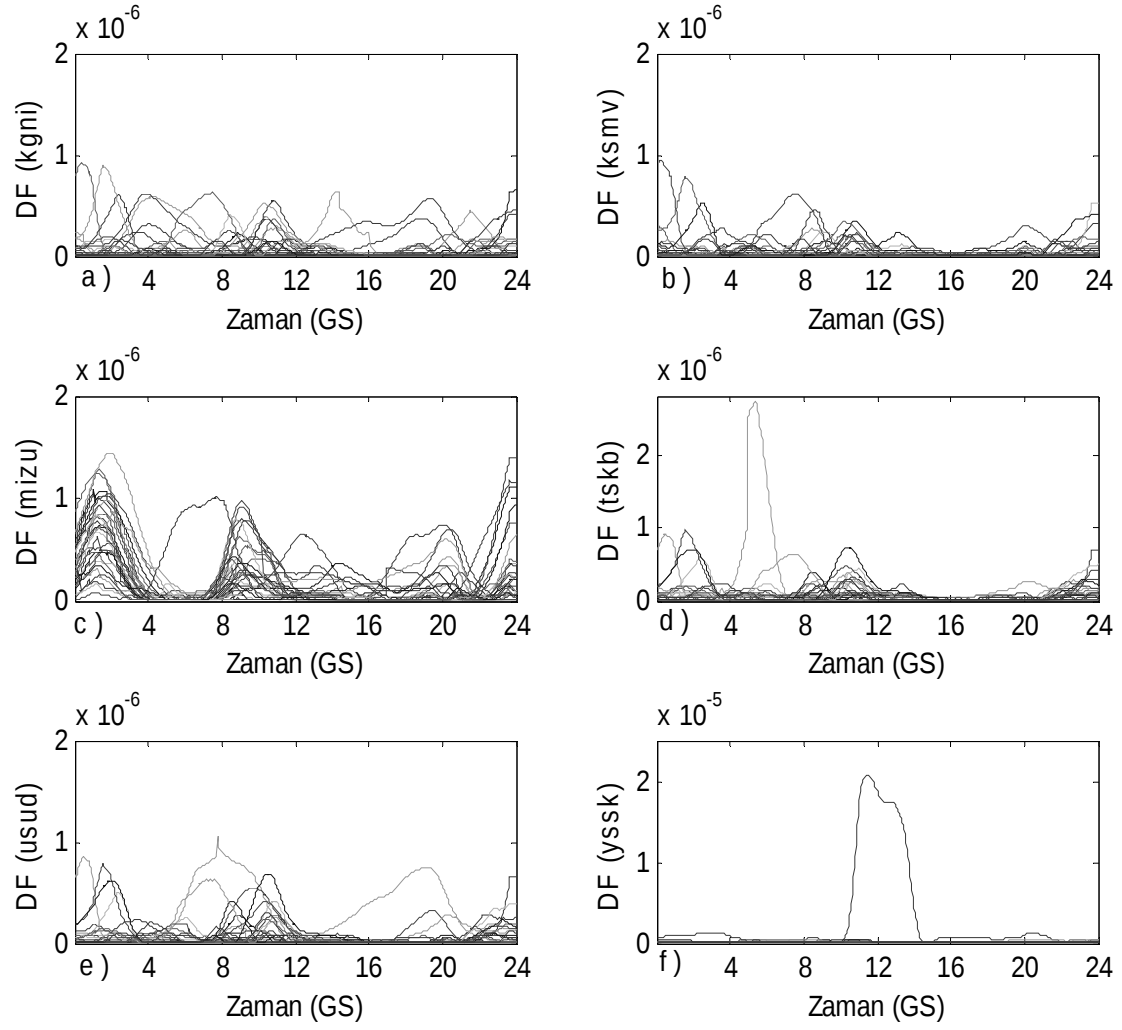
Şekil D53. İyonkürenin sakin olduğu zaman aralıklarında a) kgni, b) ksmc, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) yssk istasyonlarına ait sakin günler ile ODSG arasındaki Dağılımlar Iraksaklığı değerleri.



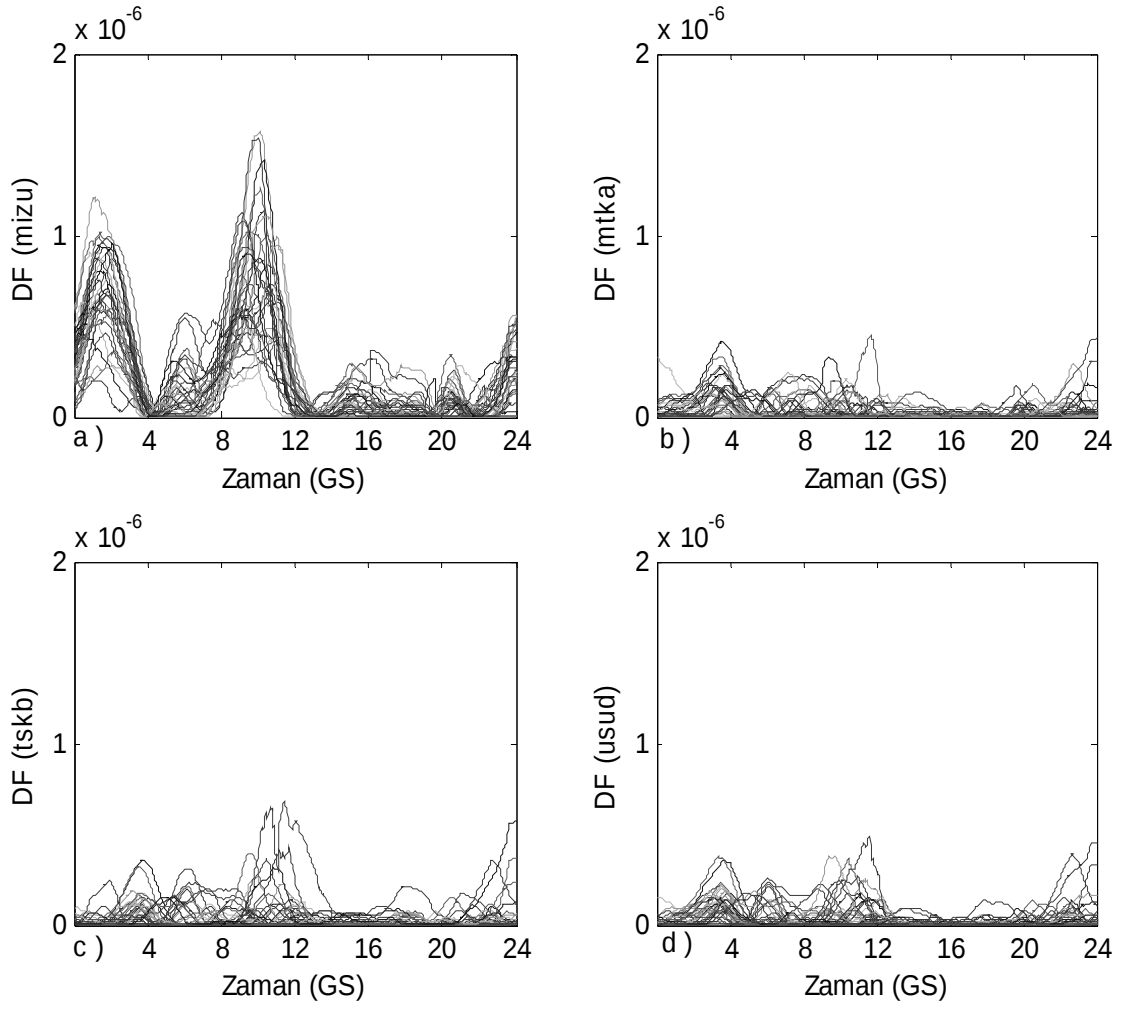
Şekil D54. kunm istasyonu için a) E6 deprem günleri, b) bozulmalı günler, c) sakin günler ile ODSG arasındaki Dağılımlar Iraksaklığı değerleri.



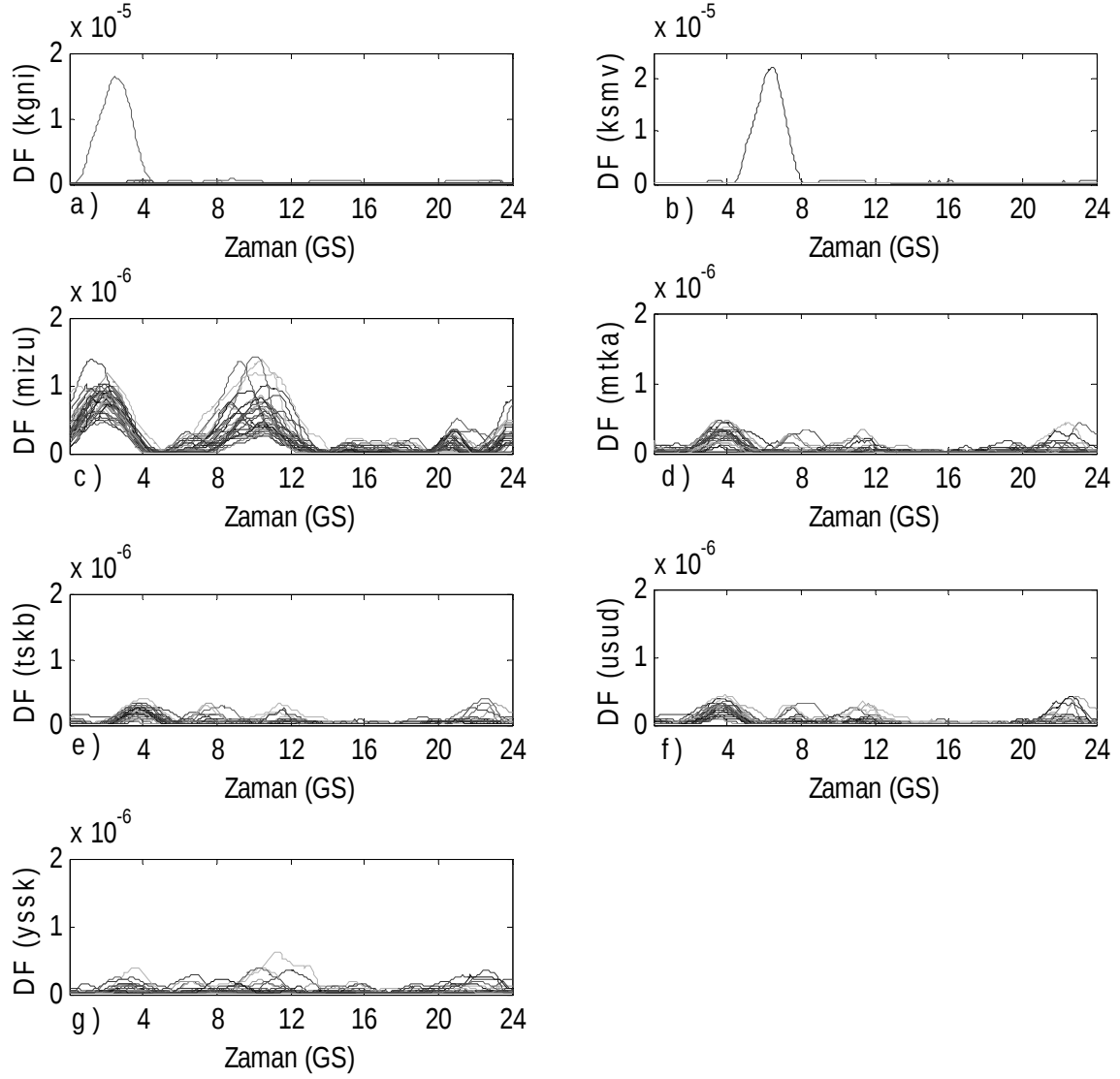
Şekil D55. 25 Eylül 2003 Hokkaido depremi için a) kgni, b) ksmc, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) yssk istasyonlarına ait deprem günleri ile ODSG arasındaki Dağılımlar Farkı değerleri.



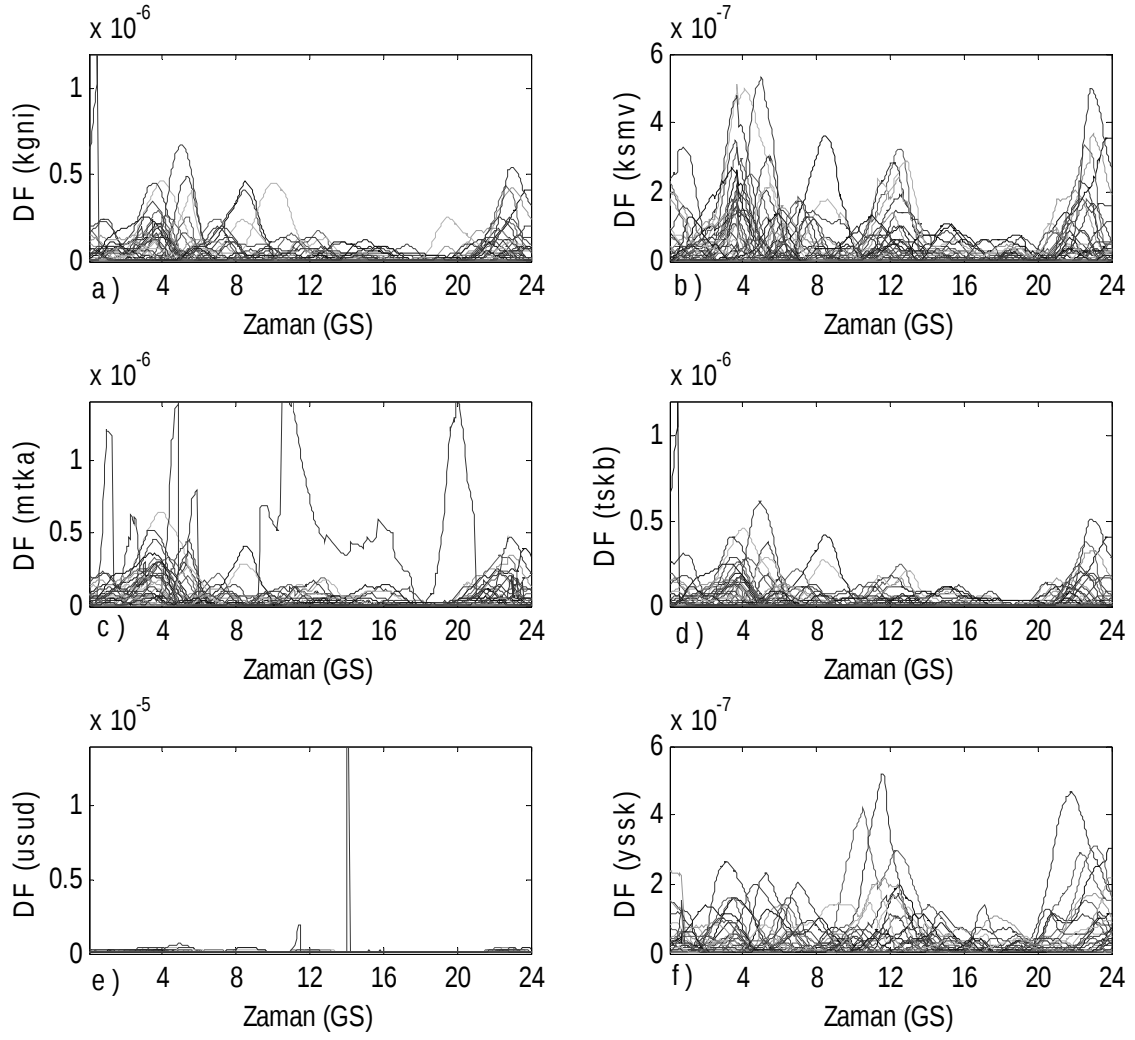
Şekil D56. 5 Eylül 2004 Honşu depremi için a) kgni, b) ksmc, c) mizu, d) tskb, e) usud, f) yssk istasyonlarına ait deprem günleri ile ODSG arasındaki Dağılımlar Farkı değerleri.



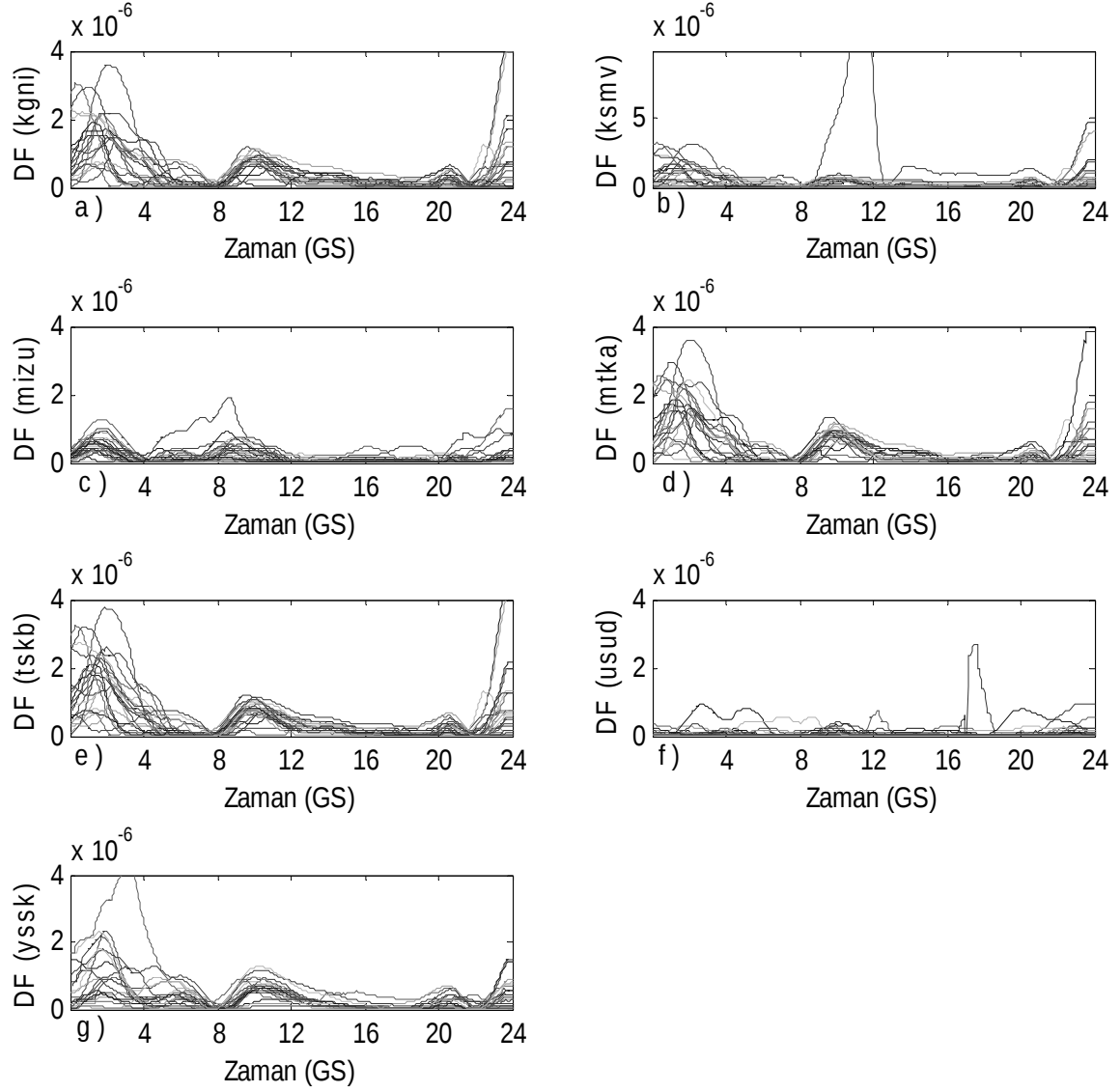
Şekil D57. 13 Haziran 2008 Honşu depremi a) mizu, b) mtka, c) tskb, d) usud istasyonlarına ait deprem günleri ile ODSG arasındaki Dağılımlar Farkı değerleri.



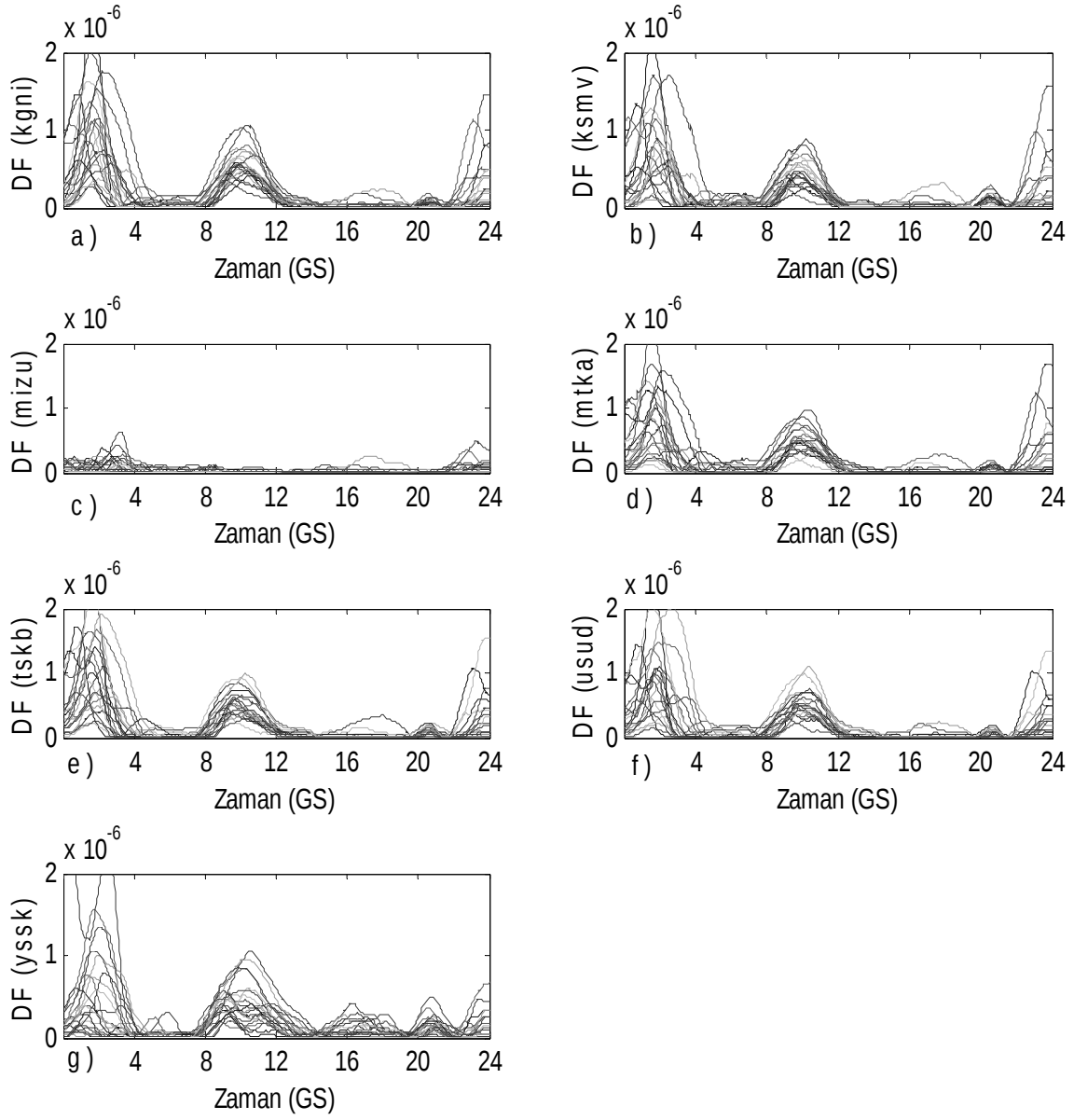
Şekil D58. 11 Haziran 2006 Kiyuşiyu depremi için a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) yssk istasyonlarına ait deprem günleri ile ODSG arasındaki Dağılımlar Farkı değerleri.



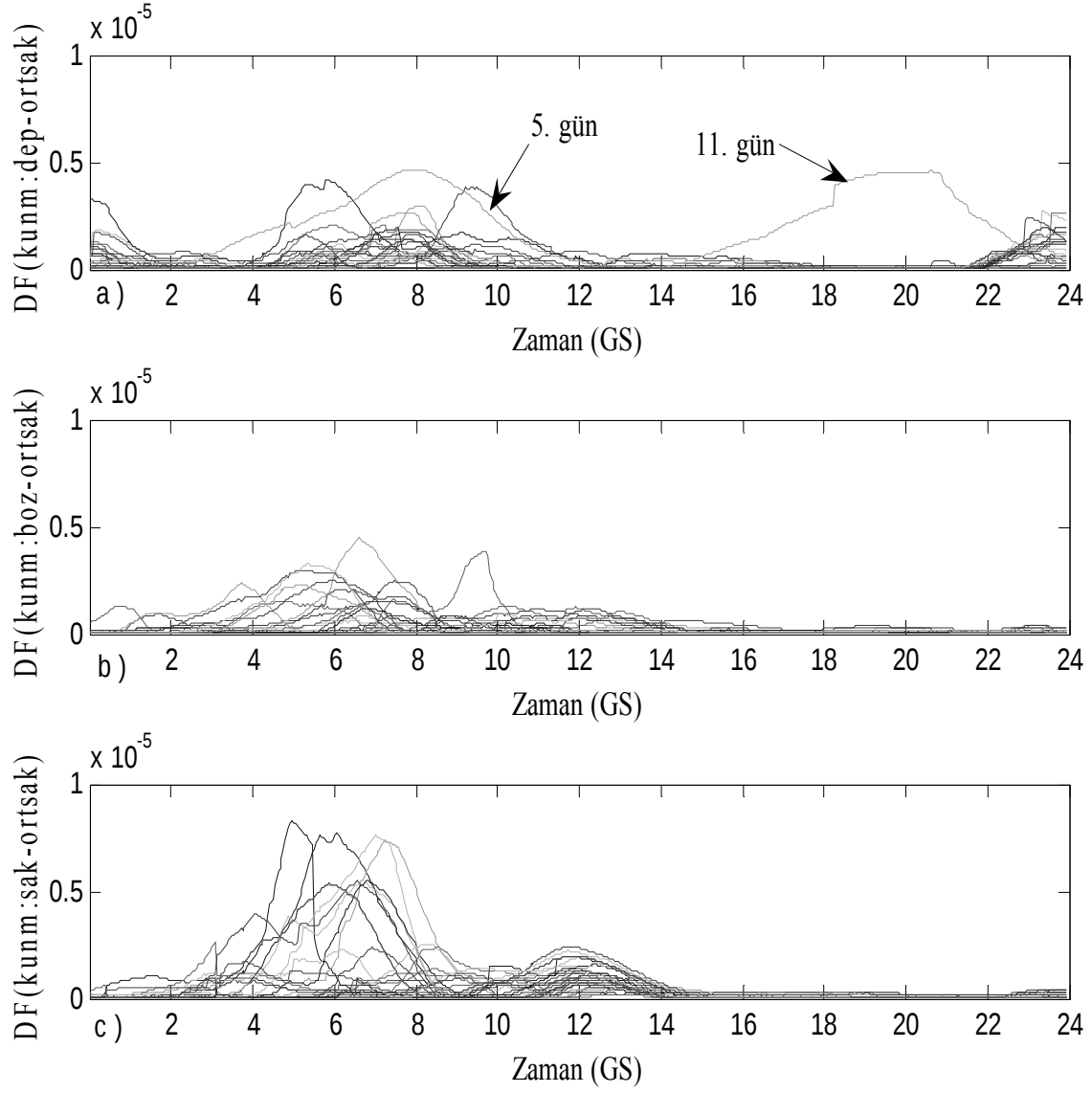
Şekil D59. 23 Temmuz 2005 Honşu depremi için a) kgni, b) ksmv, c) mtka, d) tskb, e) usud, f) yssk istasyonlarına ait deprem günleri ile ODSG arasındaki Dağılımlar Farkı değerleri.



Şekil D60. İyonkürenin bozulmalı olduğu zaman aralıkları için a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) yssk istasyonlarına ait bozulmalı günler ile ODSG arasındaki Dağılımlar Farkı değerleri.



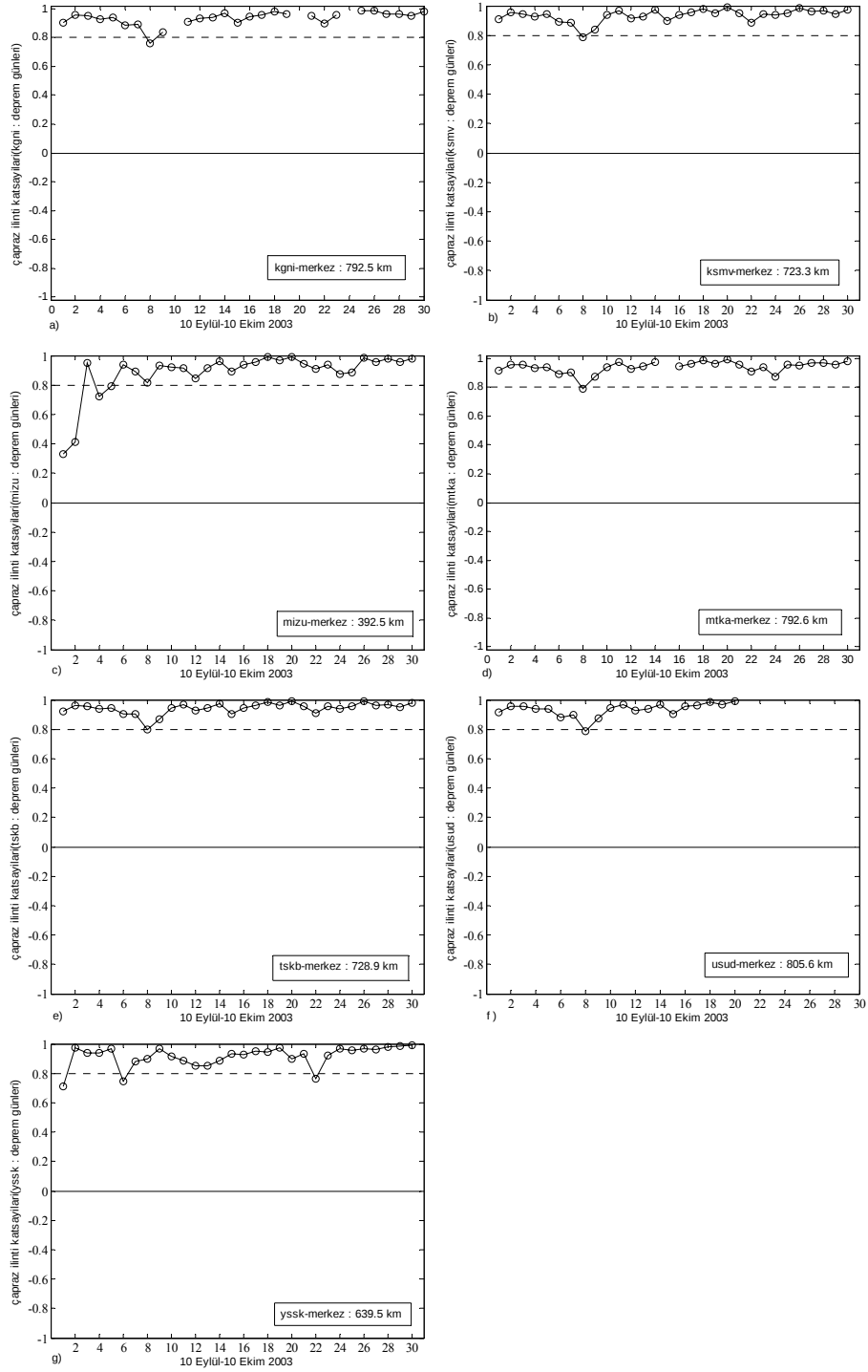
Şekil D61. İyonkürenin sakin olduğu zaman aralıkları için a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) yssk istasyonlarına ait sakin günleri ile ODSG arasındaki Dağılımlar Farkı değerleri.



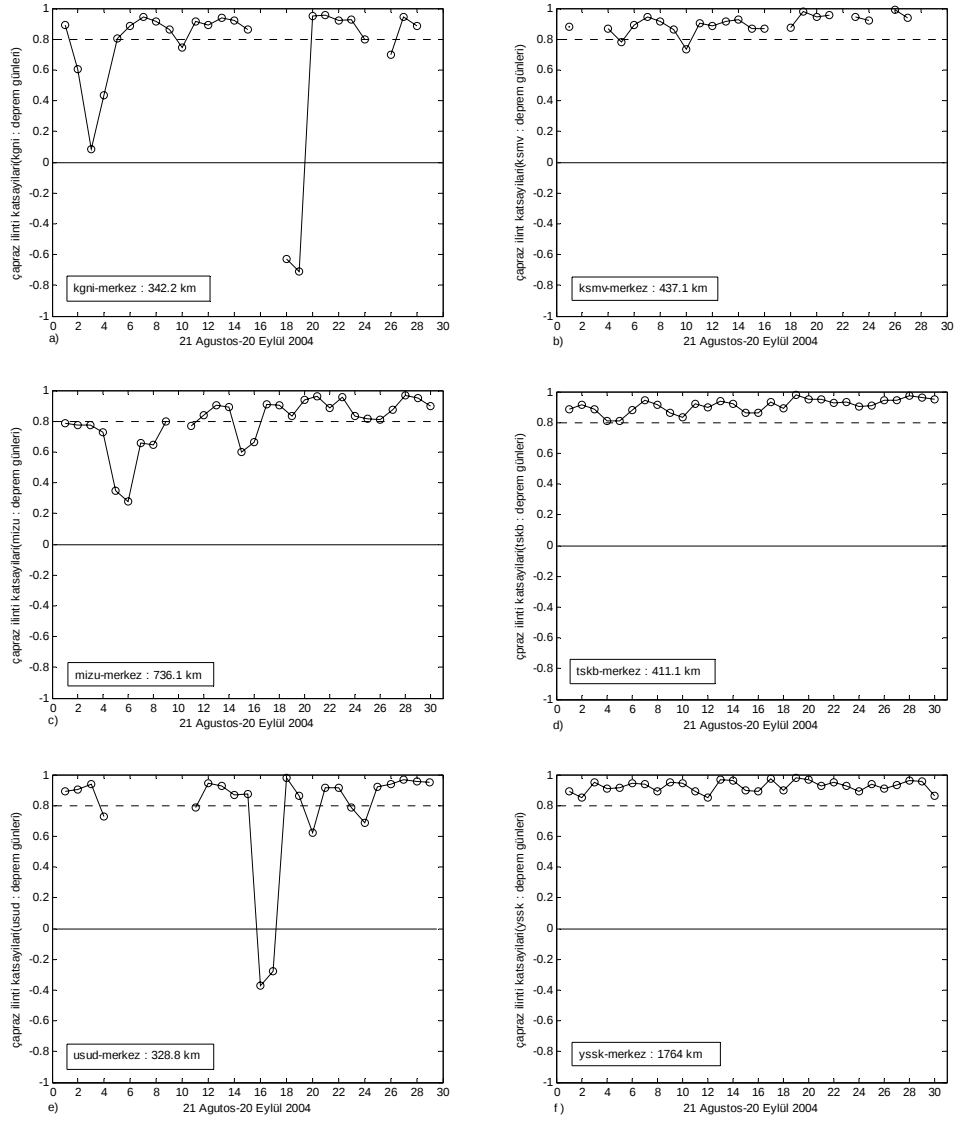
Şekil D62. kunm istasyonu için a) E6 deprem günleri, b) bozulmalı günler, c) sakin günler ile ODSG arasındaki Dağılımlar Farkı değerleri.

EK E: Ardışık Günler Uygulaması İle Elde Edilen Eğriler

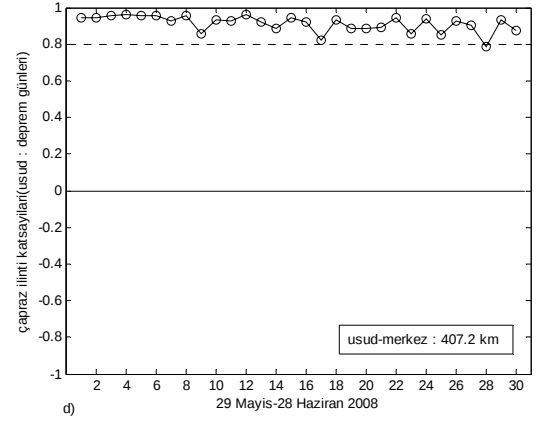
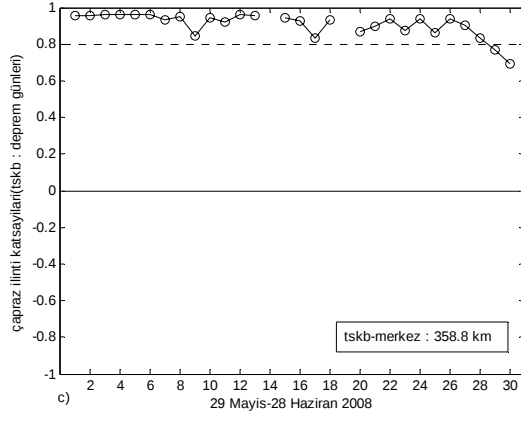
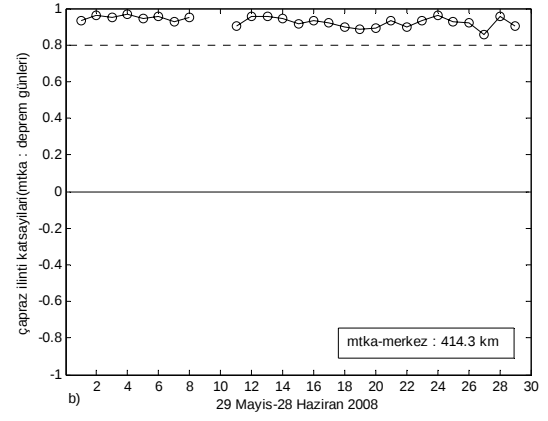
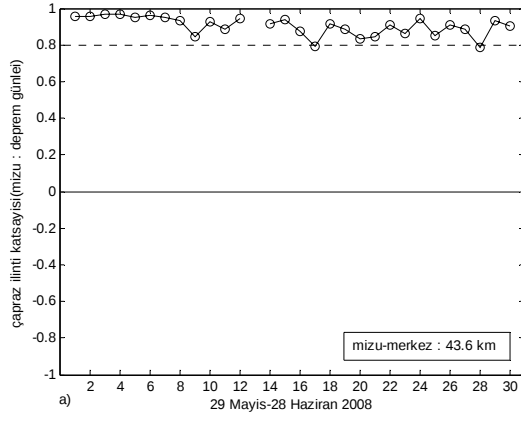
Bölüm 4’te anlatılan ve Çapraz İlinti Katsayısı (ÇİK) yöntemi, Kullback-Leibler Mesafesi (KLD) yöntemi, L2-Norm (L2N) yöntemi, kayan pencere istatistiksel analizi ve Dağılımlar Iraksaklığı (DI) ile Dağılımlar Farkı (DF) yöntemi önce Çizelge 5.2’de verilen her bir istasyonun önce Çizelge 5.1’de verilen her bir depremin otuz bir günlük zaman aralığındaki ardışık günleri arasında uygulanmıştır. Bu yöntemler istasyonların iyonkürenin bozulmalı ve sakin olduğu zaman aralıklarındaki ardışık günleri arasında da uygulanmıştır. Yöntemlerin uygulanma sırası Bölüm 4’te anlatıldığı gibidir. Depremler Çizelge 5.1’de verildiği gibi ölçeklerine göre büyükten küçüğe sıralanmıştır. Bozulmalı ve sakin dönemlerde istasyonlar alfabetik sıralamaya göre dizilmiştir. Eğrilerde ÇİK değerleri daire, KLD değerleri yıldız, L2N değerleri nokta ile gösterilmiştir. Deprem dönemi eğrilerinde depremin olduğu onaltıncı gün ok ile belirtilmiştir. İstasyonların deprem merkezine olan uzaklıkları da deprem döneminde elde edilen eğriler üzerinde belirtilmiştir.



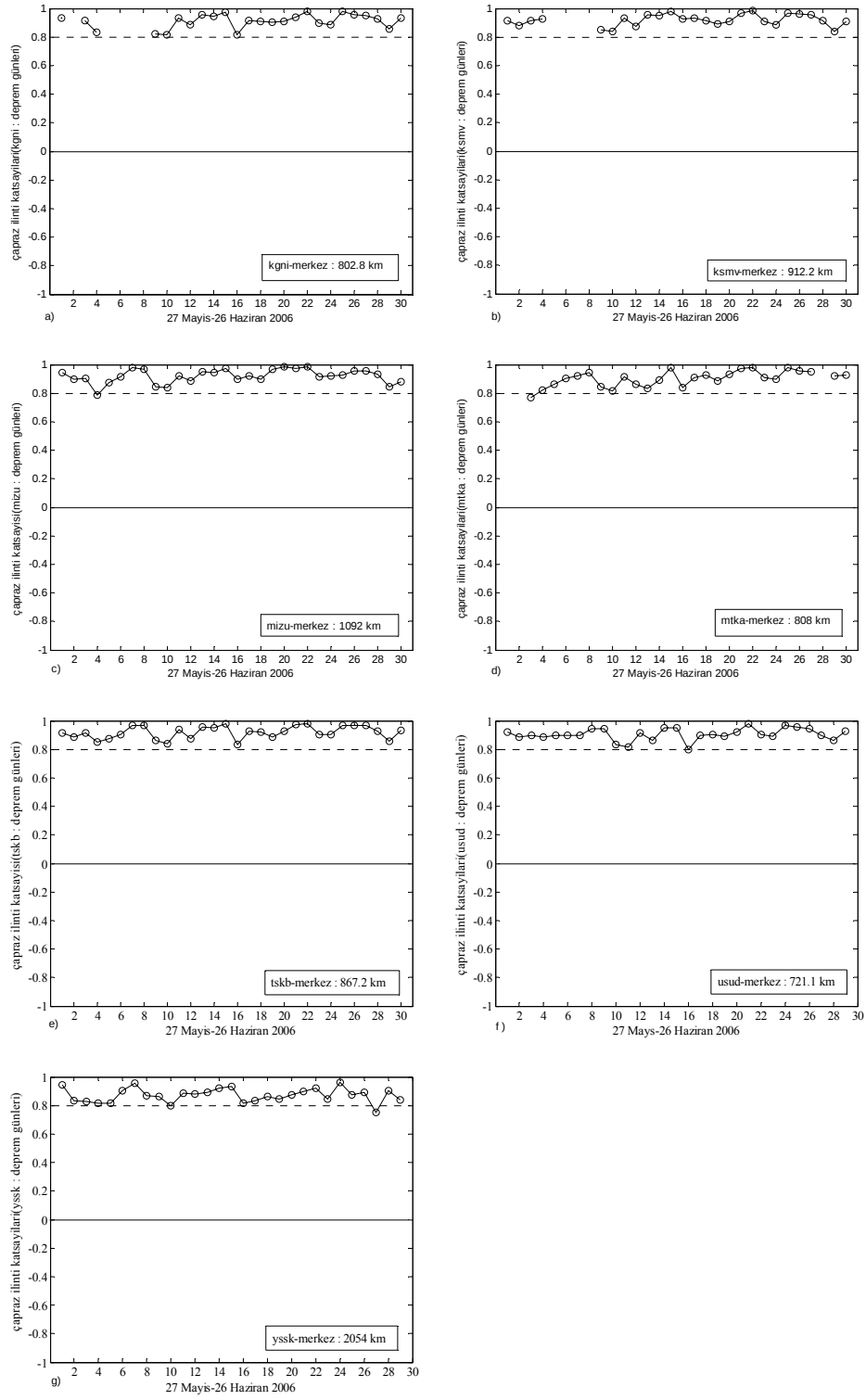
Şekil E1. 25 Eylül 2003 Hokkaido depremi döneminde a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) yssk istasyonlarının ardışık günleri arasındaki Çapraz İlinti Katsayıları.



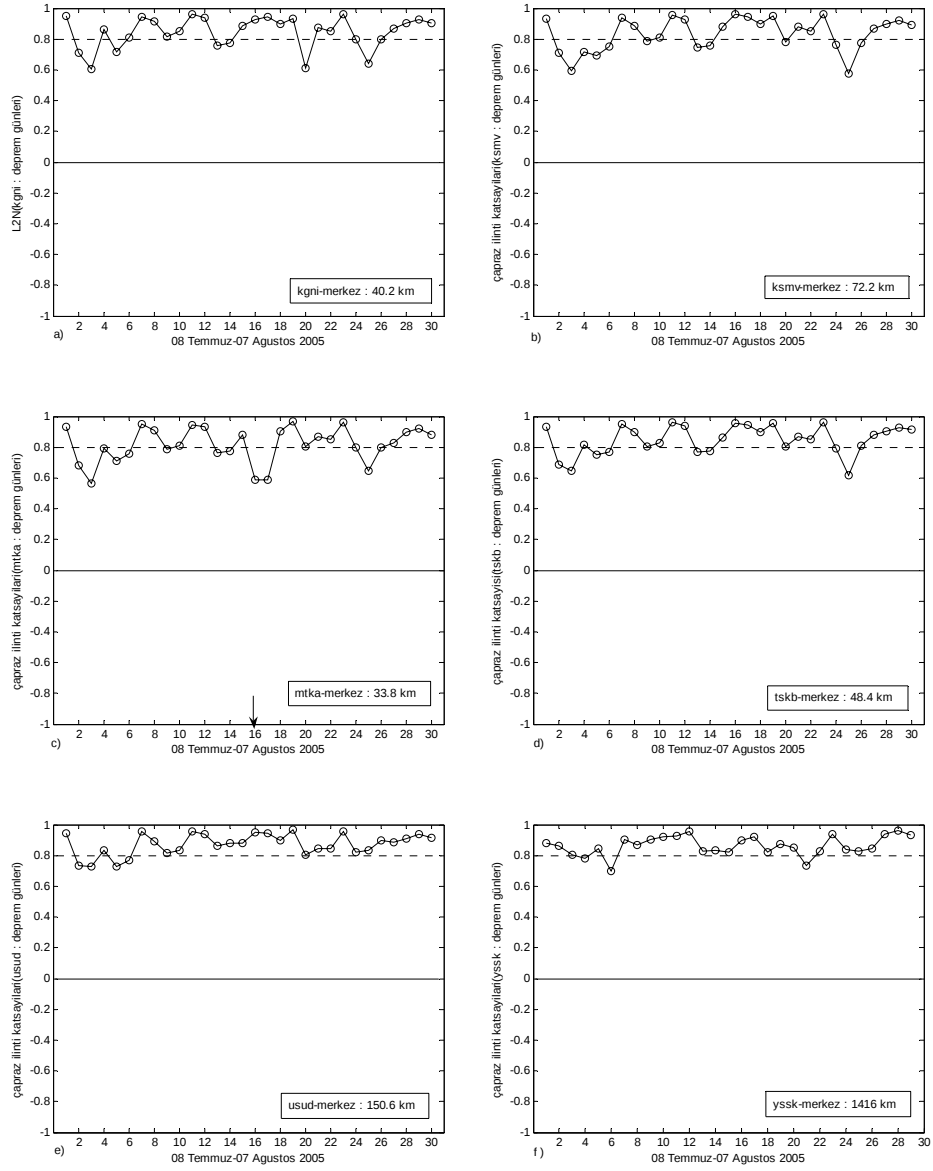
Şekil E2. 5 Eylül 2004 Honşu depremi döneminde a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) tskb, e) usud, f) yssk istasyonlarının ardışık günleri arasındaki Çapraz İlinti Katsayıları.



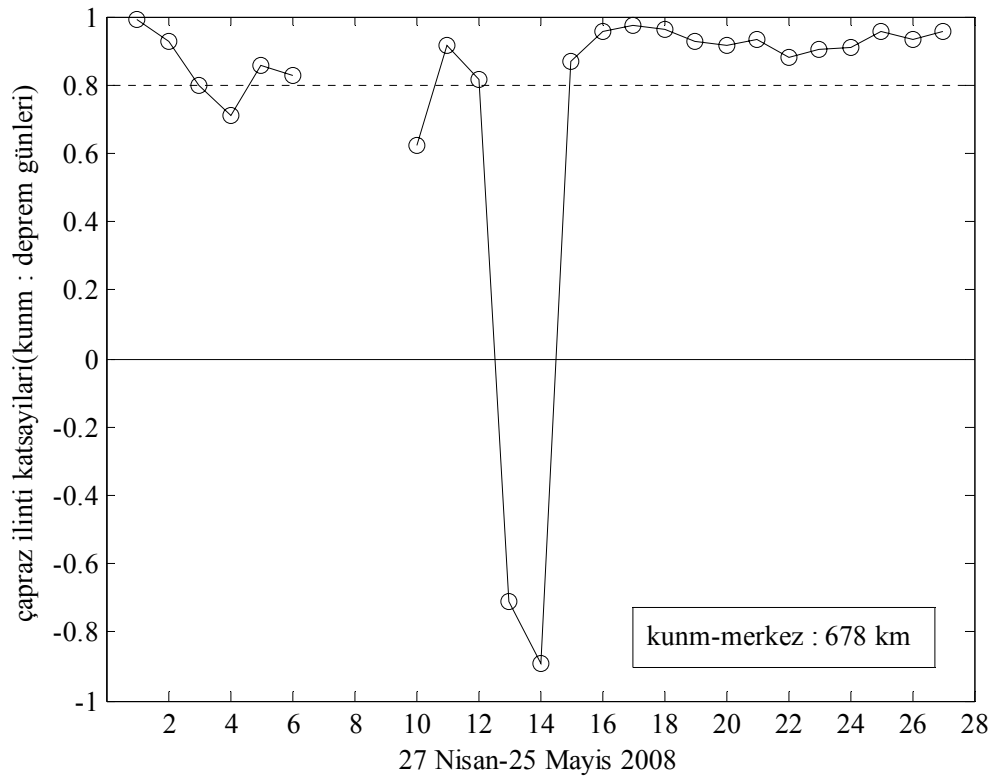
Şekil E3. 13 Haziran 2008 Honşu depremi döneminde a) mizu, b) mtka, c) tskb, d) usud istasyonlarının ardışık günleri arasındaki Çapraz İlinti Katsayıları.



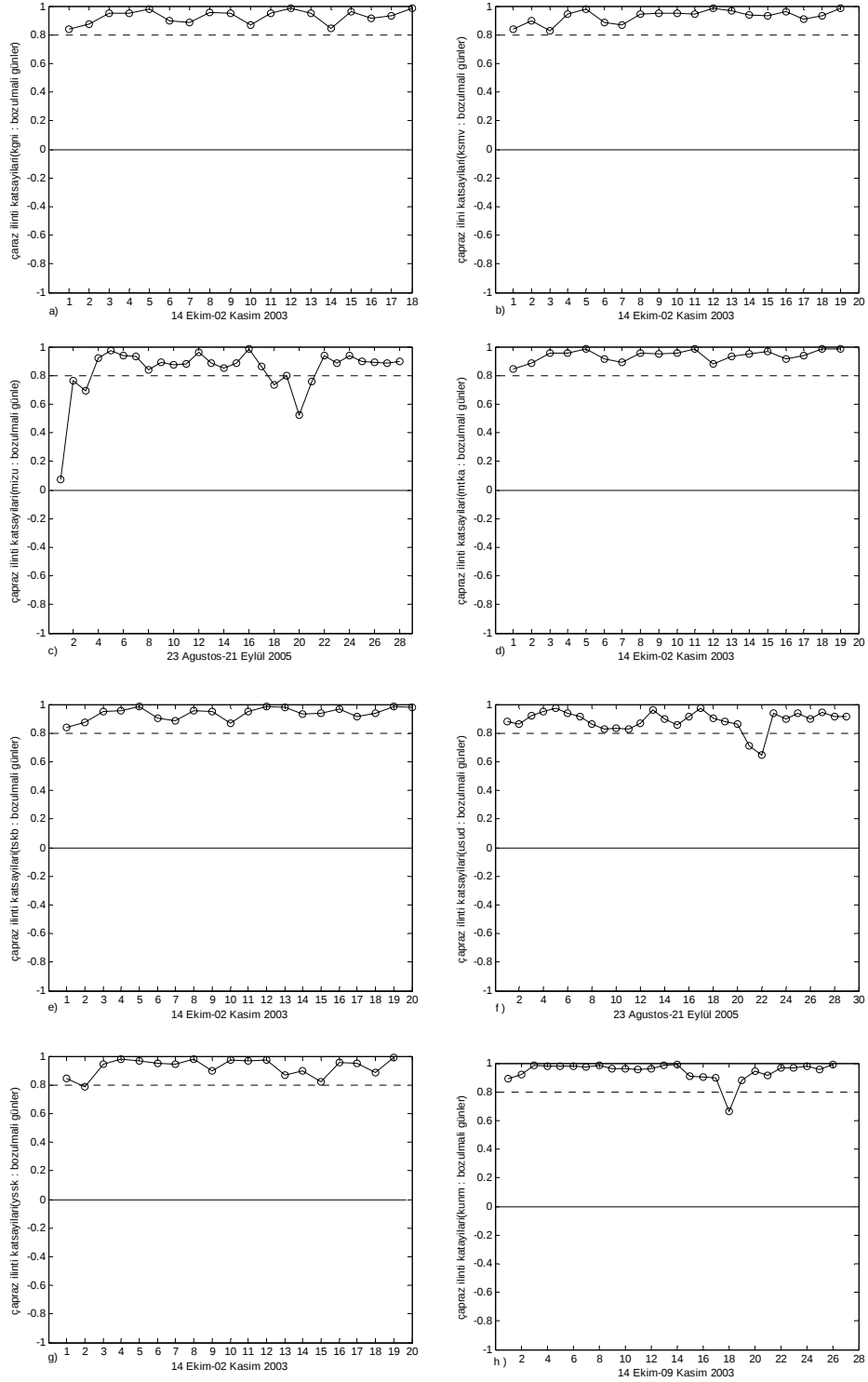
Şekil E4. 11 Haziran 2006 Kiyuşiyu depremi döneminde a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) yssk istasyonlarının ardışık günleri arasındaki Çapraz İlti Katsayıları.



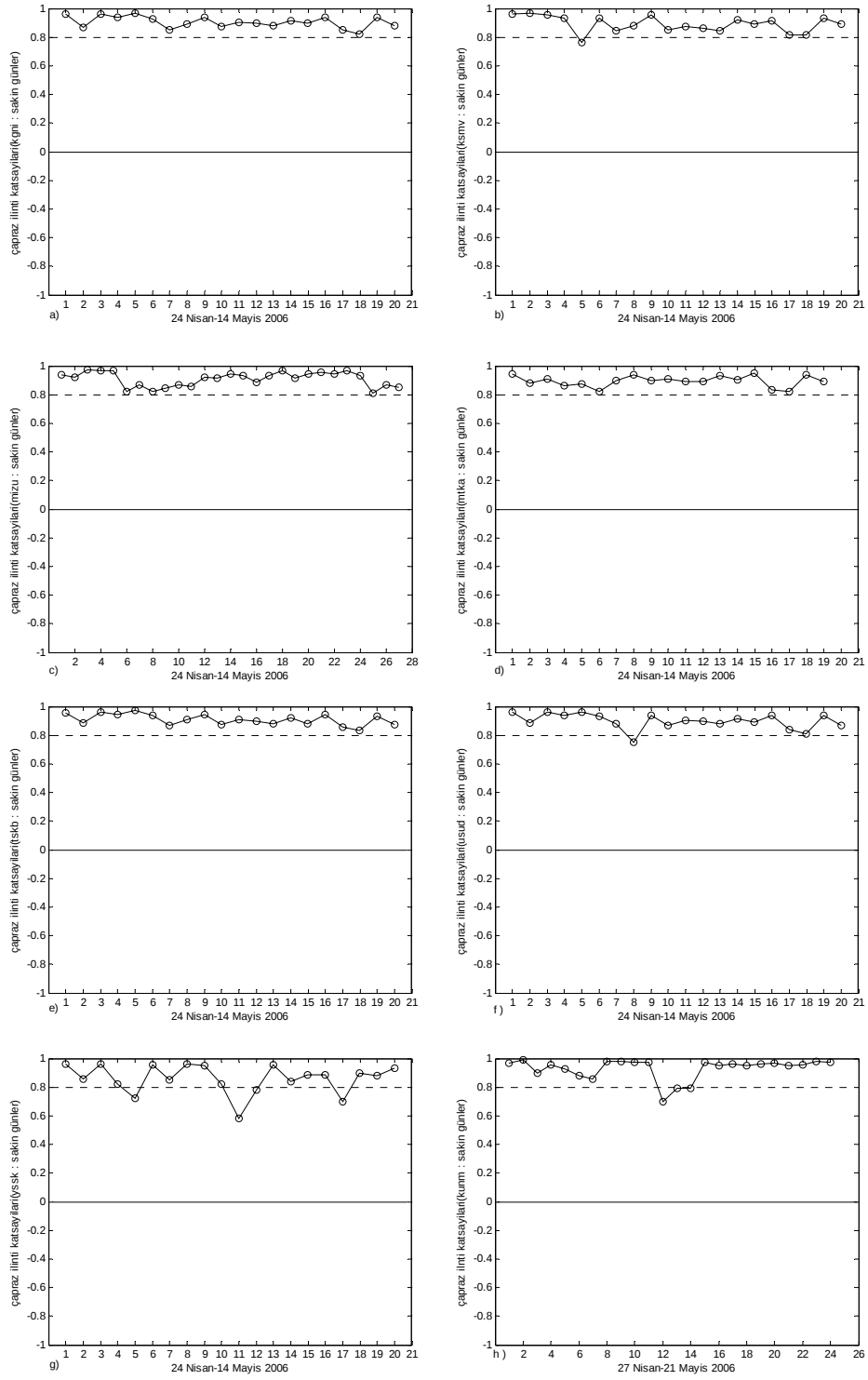
Şekil E5. 23 Temmuz 2005 Honşu depremi döneminde a) kgni, b) ksmv, c) mtka, d) tskb, e) usud, f) yssk istasyonlarının ardışık günleri arasındaki Çapraz İlinti Katsayıları.



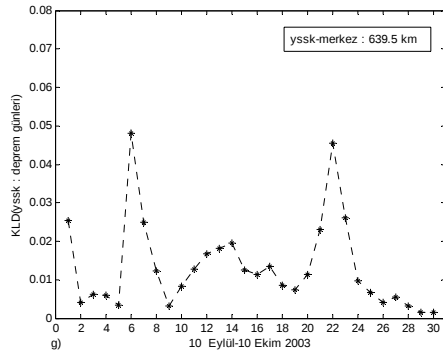
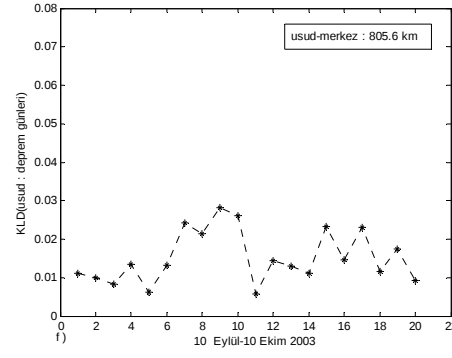
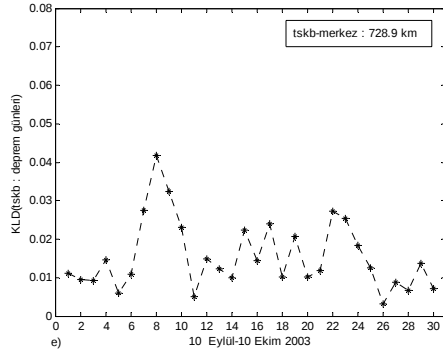
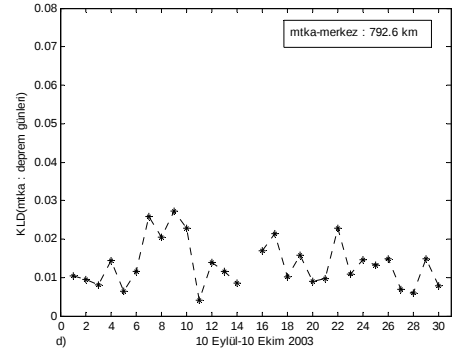
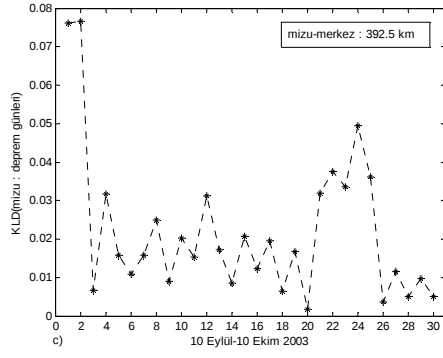
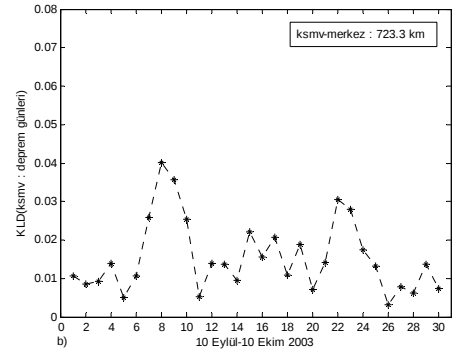
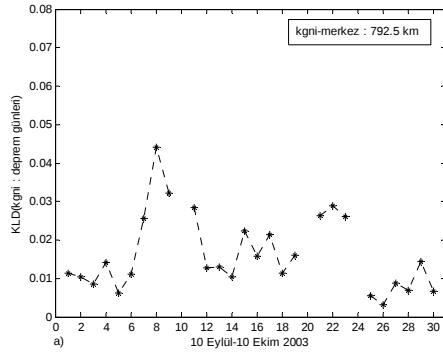
Şekil E6. 12 Mayıs 2008 Şiyan depremi döneminde kunm istasyonunun ardışık günleri arasındaki Çapraz İlinti Katsayıları.



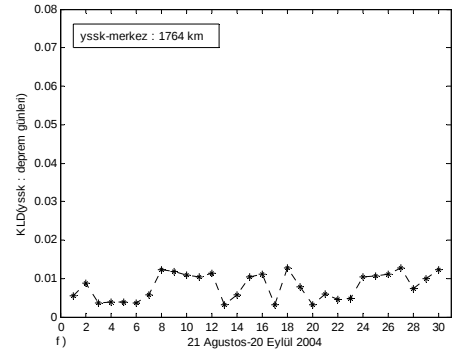
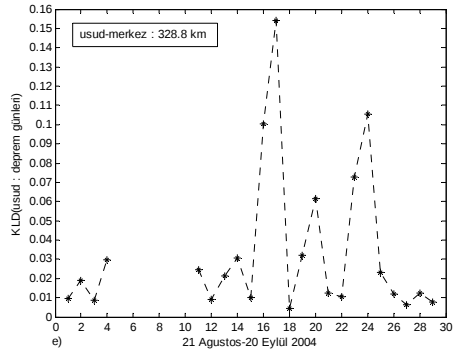
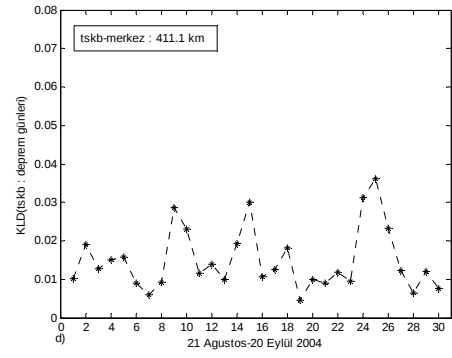
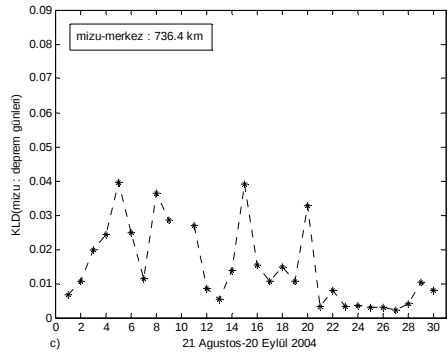
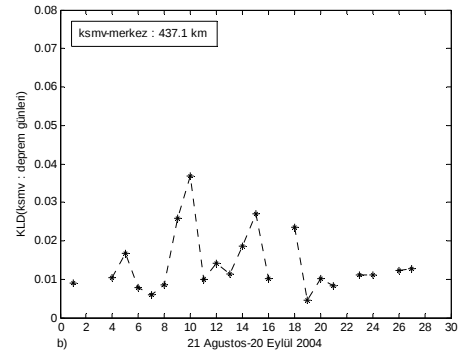
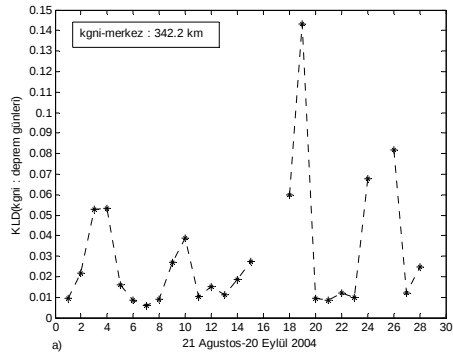
Şekil E7. İyonkürenin bozulmalı olduğu zaman aralıklarında a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) yssk, h) kunm istasyonlarının ardışık günleri arasındaki Çapraz İlinti Katsayıları.



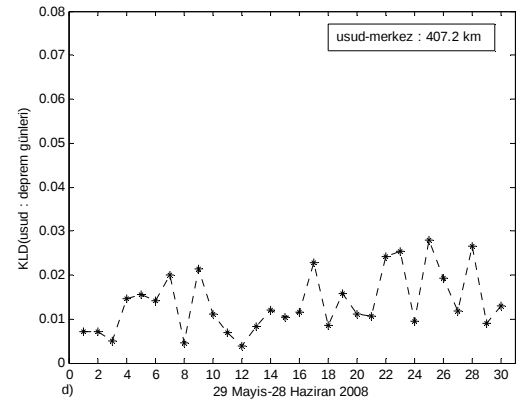
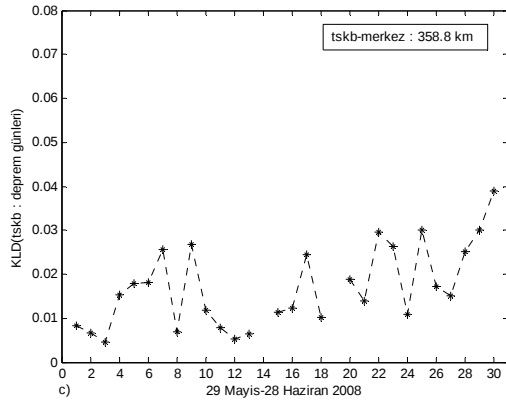
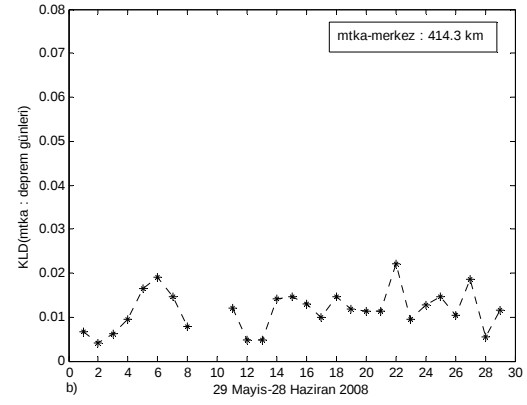
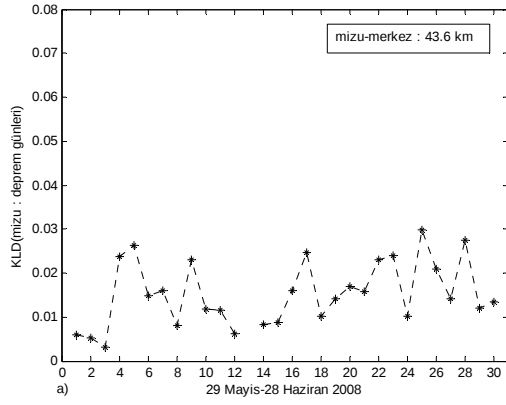
Şekil E8. İyonkürenin sakın olduğu zaman aralıklarında a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tsbk, f) usud, g) yssk, h) kunm istasyonlarının ardışık günleri arasındaki Çapraz İlinti Katsayıları.



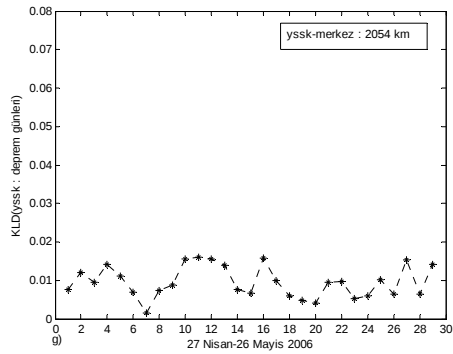
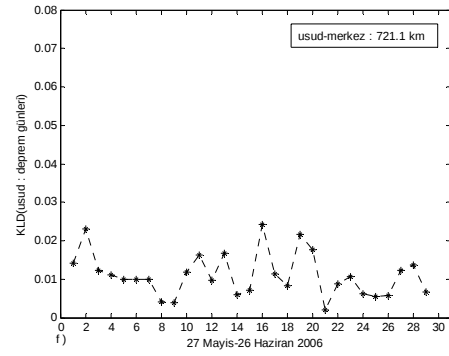
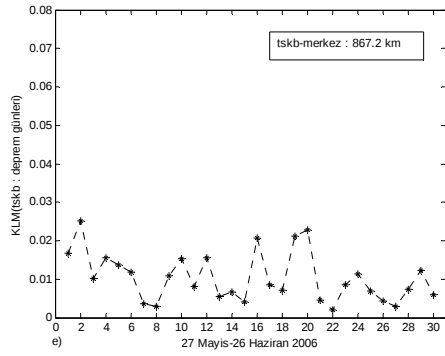
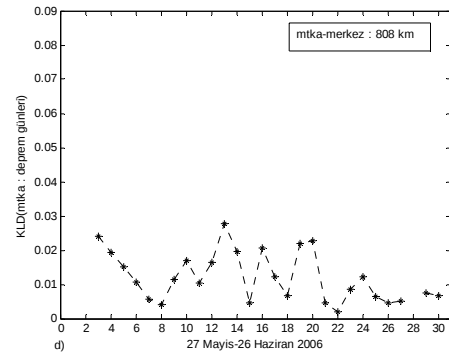
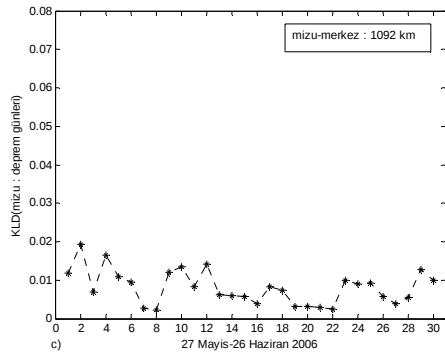
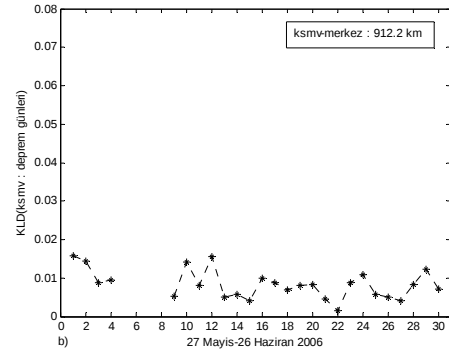
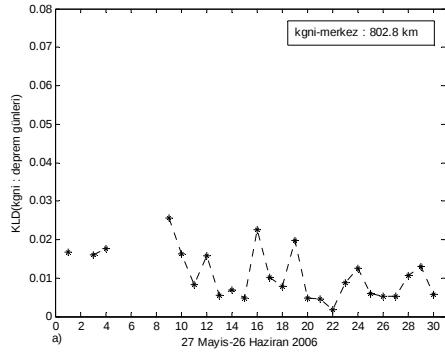
Şekil E9. 25 Eylül 2003 Hokkaido depremi döneminde a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtk, e) tskb, f) usud, g) yssk istasyonlarının ardışık günleri arasındaki KLD değerleri.



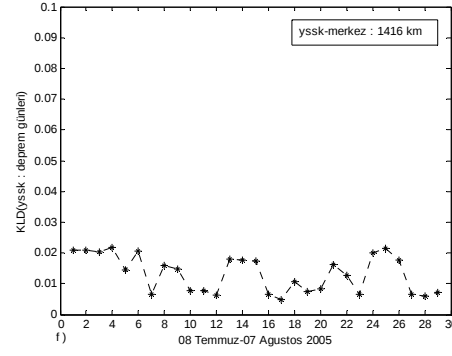
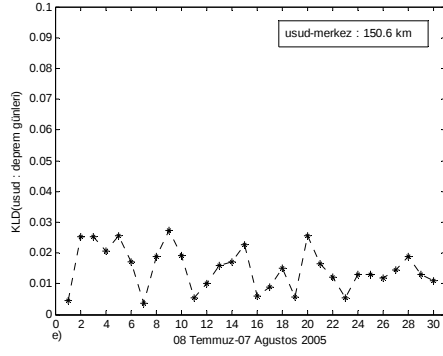
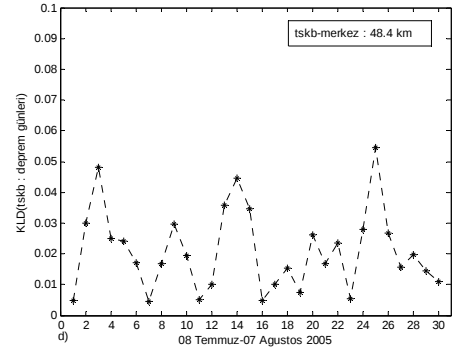
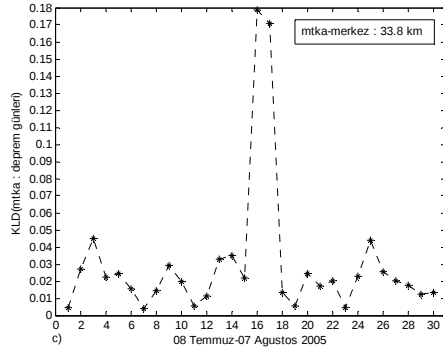
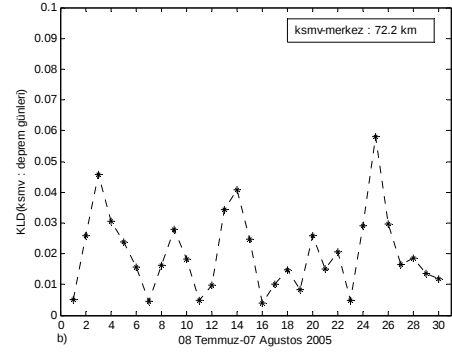
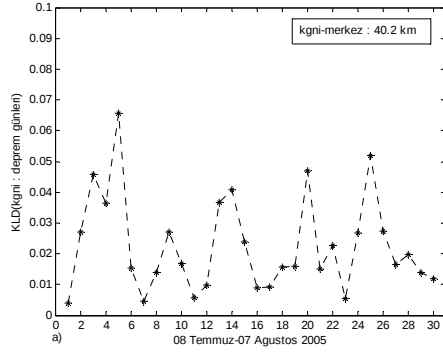
Şekil E10. 5 Eylül 2004 Honşu depremi döneminde a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) tskb, e) usud, f) yssk istasyonlarının ardışık günleri arasındaki KLD değerleri.



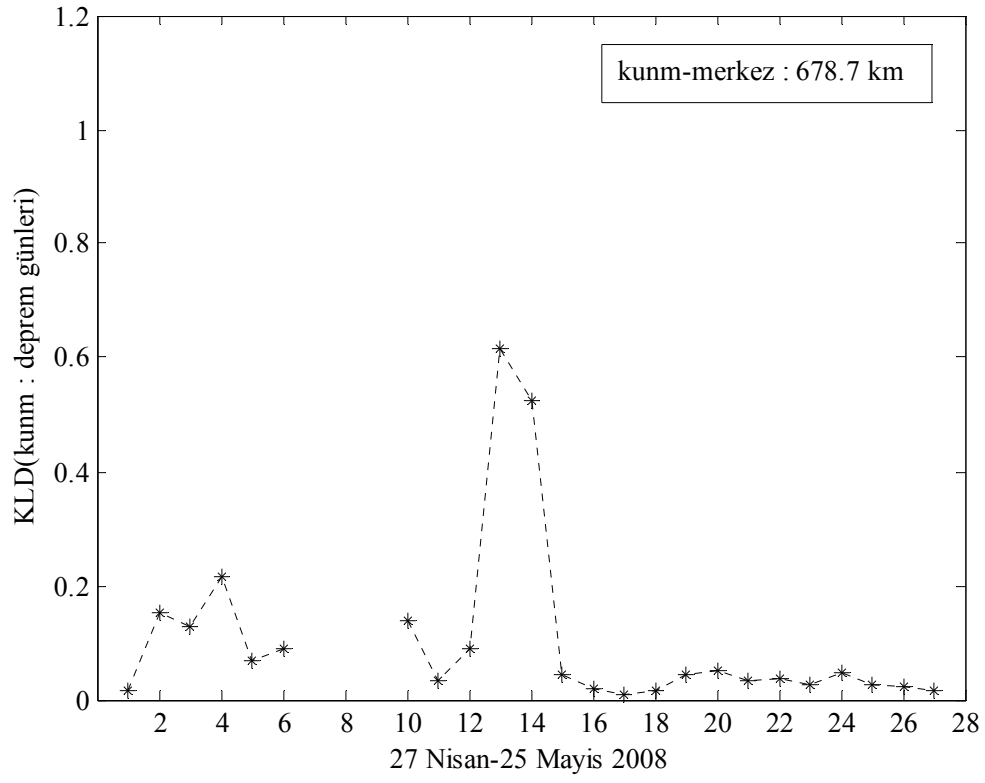
Şekil E11. 13 Haziran 2008 Honşu depremi döneminde a) mizu, b) mtka, c) tskb, d) usud istasyonlarının ardışık günleri arasındaki KLD değerleri.



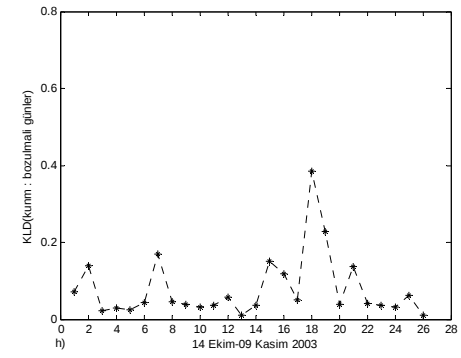
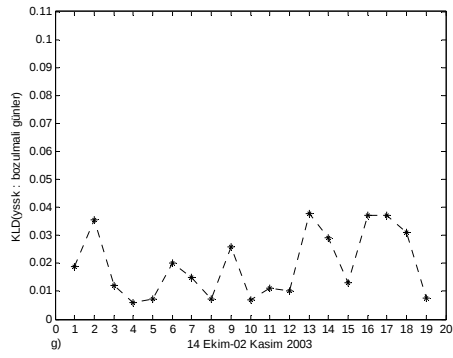
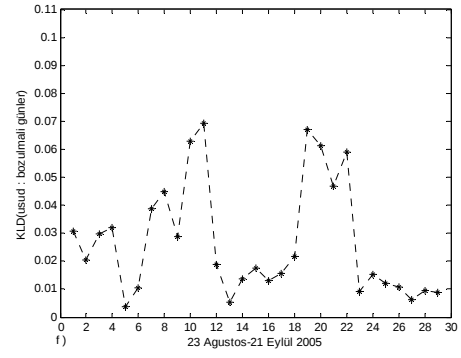
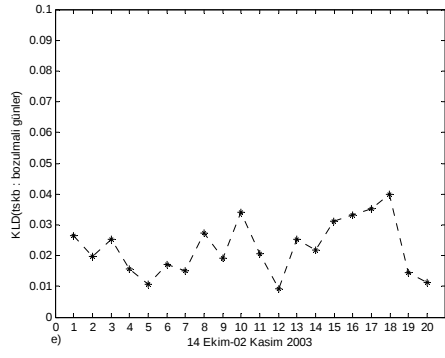
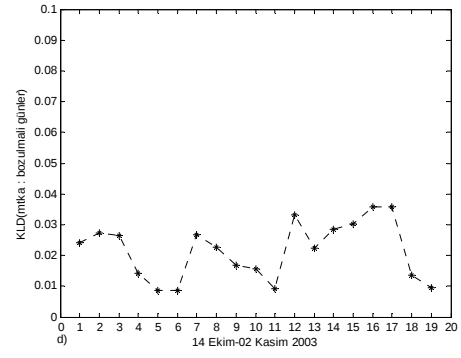
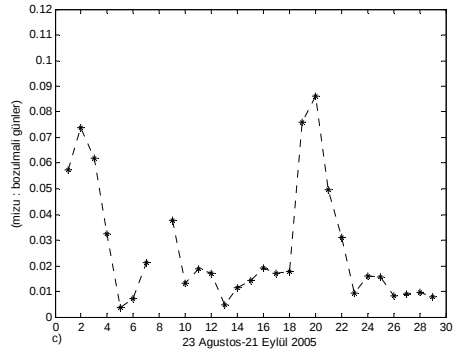
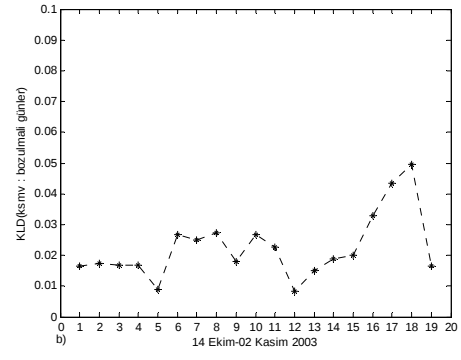
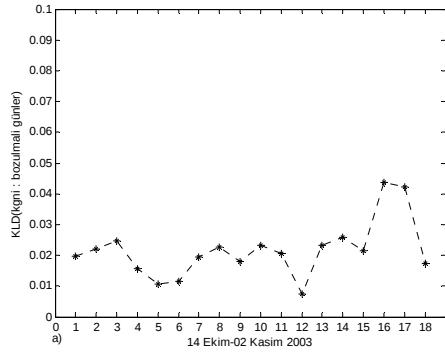
Şekil E12. 11 Haziran 2006 Kiyuşiyu depremi döneminde a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) yssk istasyonlarının ardışık günleri arasındaki KLD değerleri.



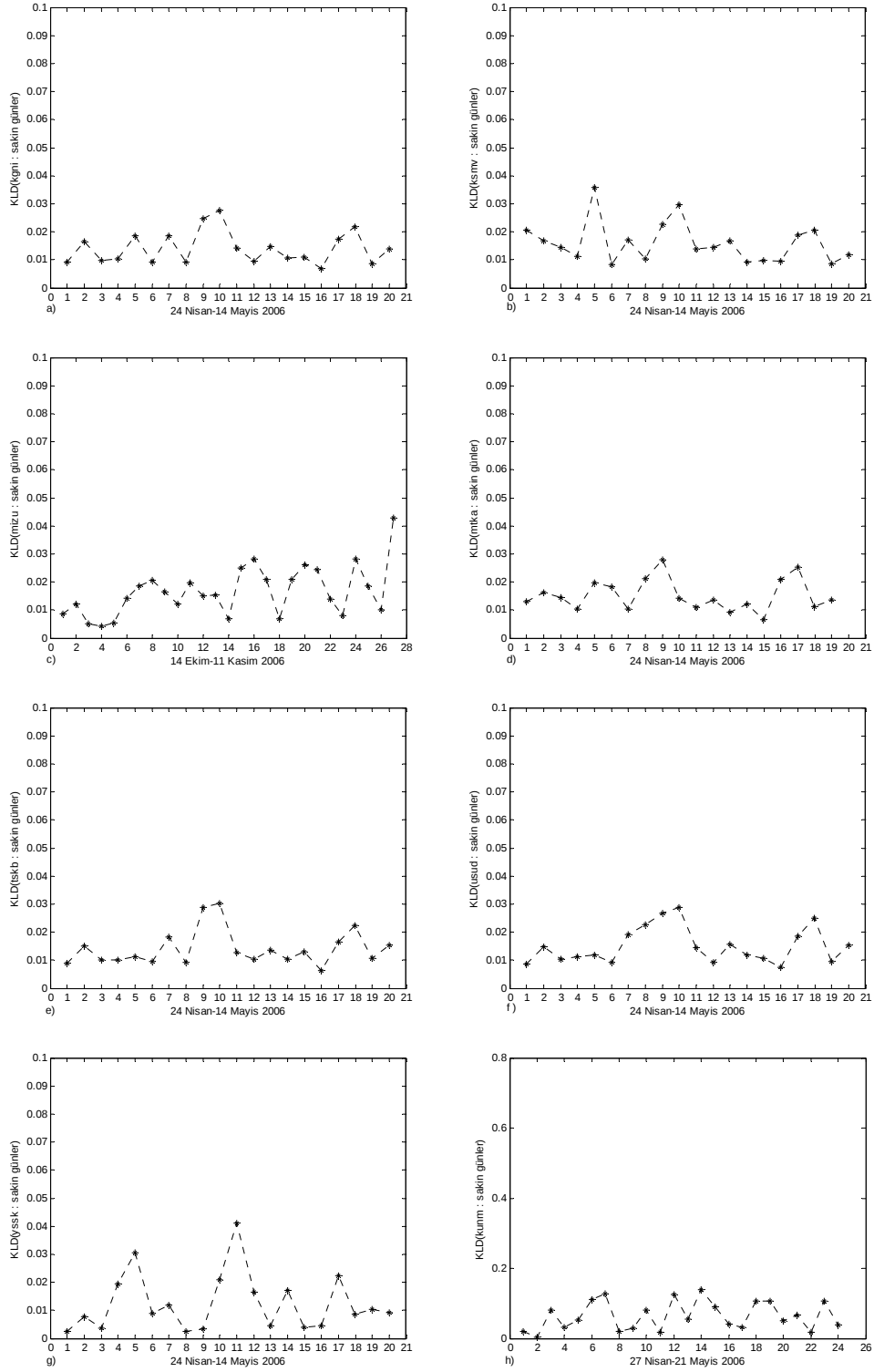
Şekil E13. 23 Temmuz 2005 Honşu depremi döneminde a) kgni, b) ksmv, c) mtka, d) tskb, e) usud, f) yssk istasyonlarının ardışık günleri arasındaki KLD değerleri.



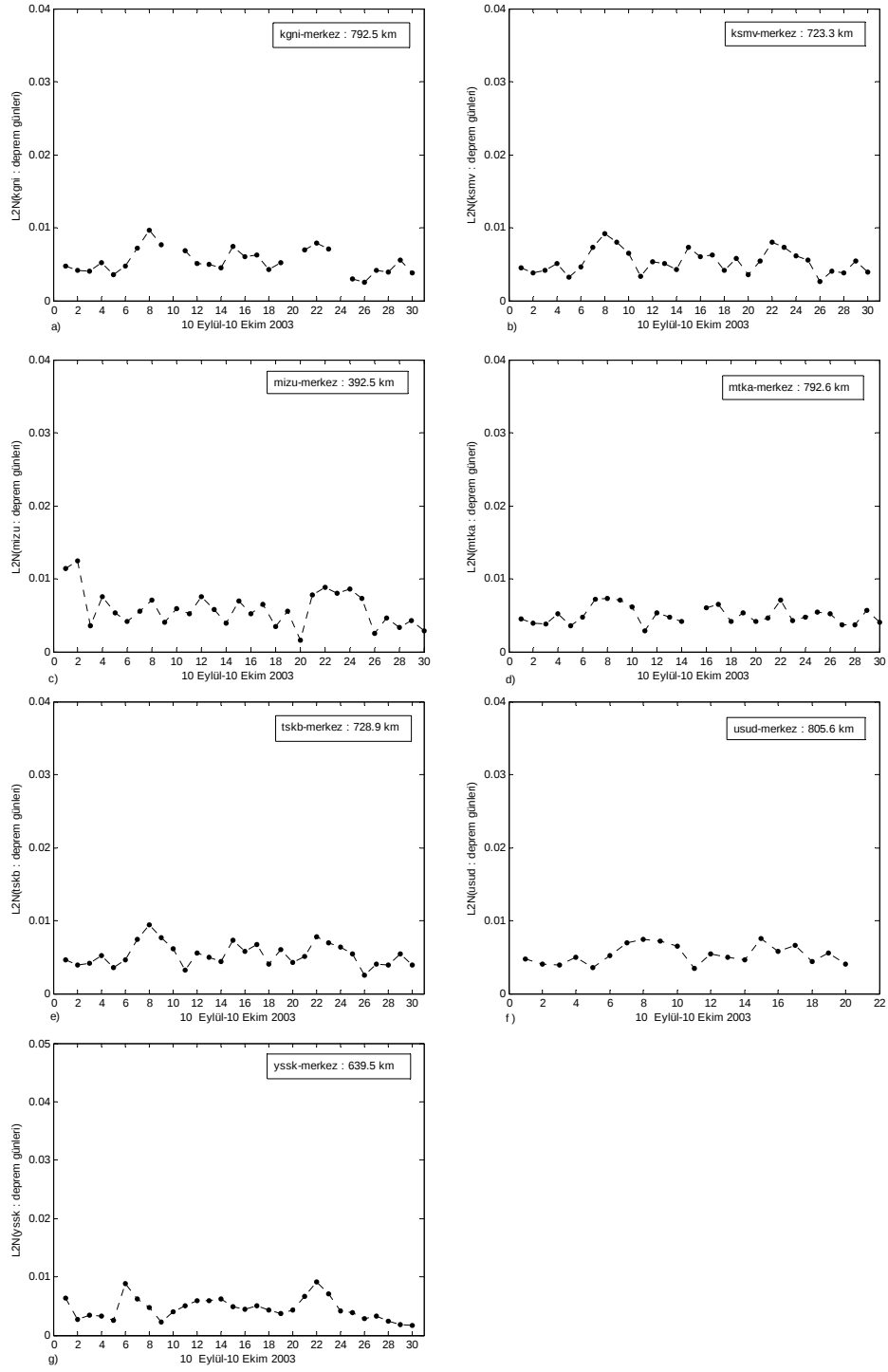
Şekil E14. 12 Mayıs 2008 Şiyan depremi döneminde kunm istasyonunun ardışık günleri arasındaki KLD değerleri.



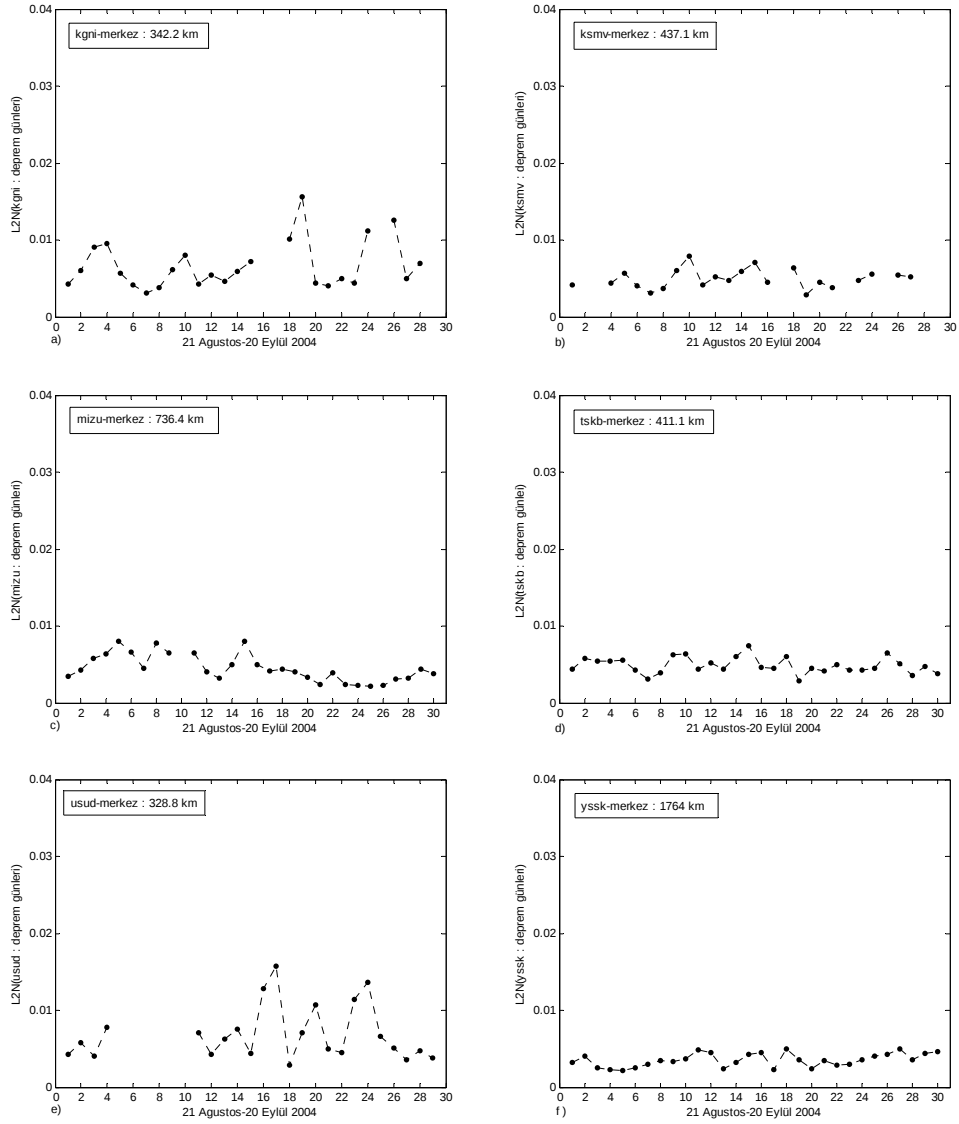
Şekil E15. İyonkürenin bozulmalı olduğu zaman aralıklarında a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) yssk, h) kunm istasyonlarının ardışık günleri arasındaki KLD değerleri.



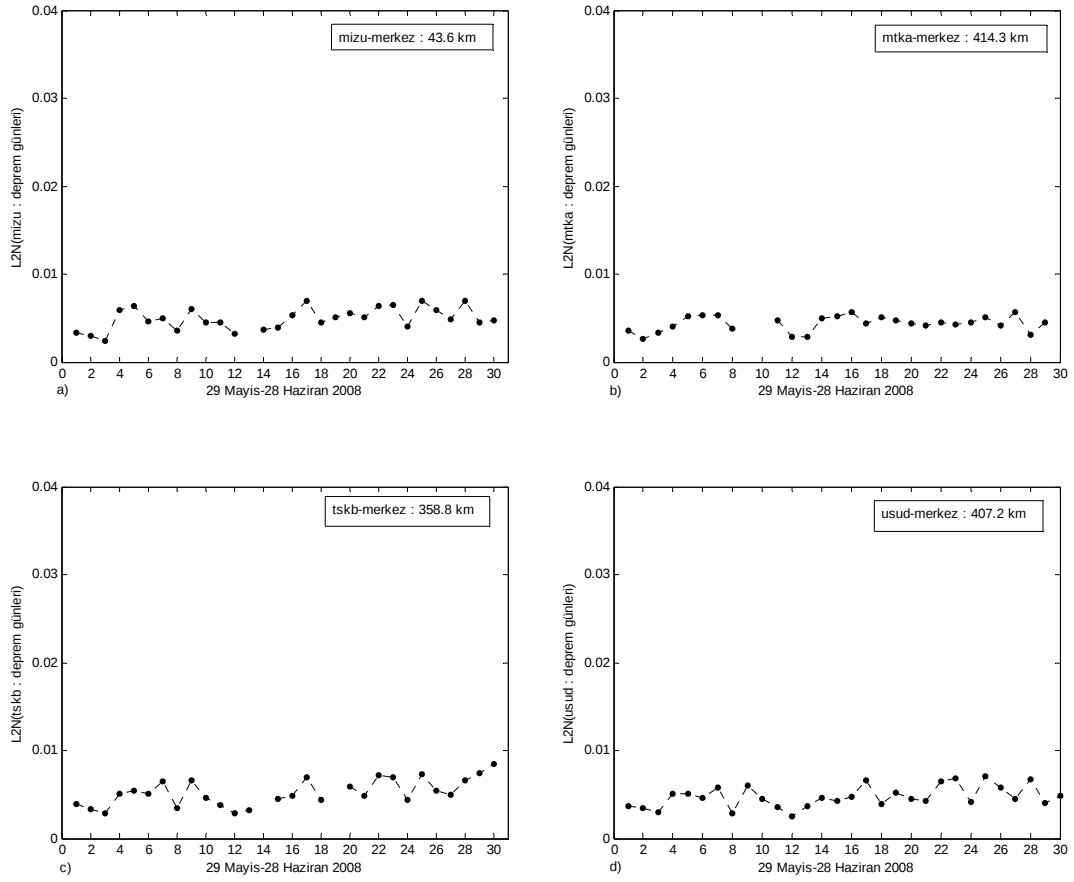
Şekil E16. İyonkürenin sakın olduğu zaman aralıklarında a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) yssk, h) kunm istasyonlarının ardışık günleri arasındaki KLD değerleri.



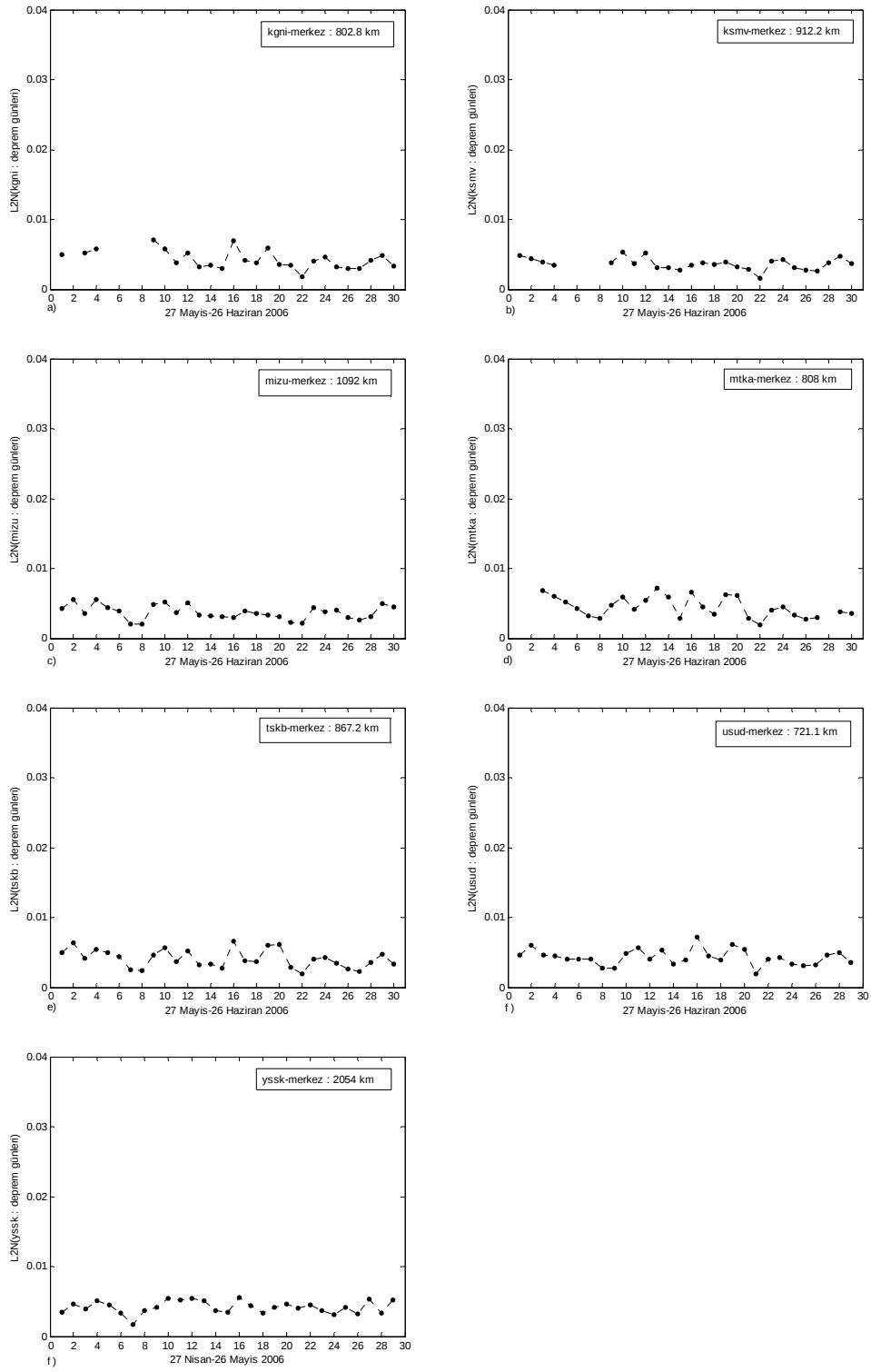
Şekil E17. 25 Eylül 2003 Hokkaido depremi döneminde a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) yssk istasyonlarının ardışık günleri arasındaki L2N değerleri.



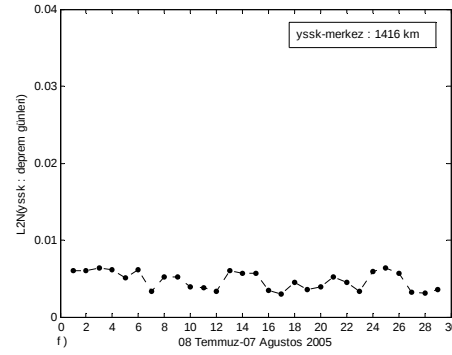
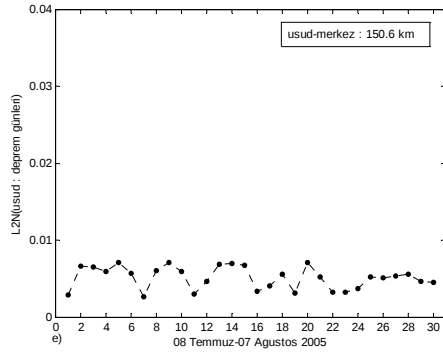
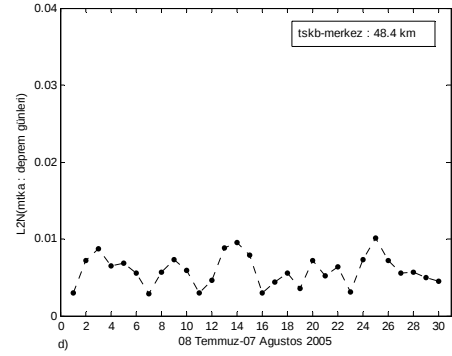
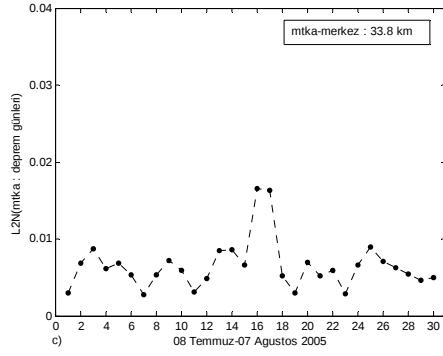
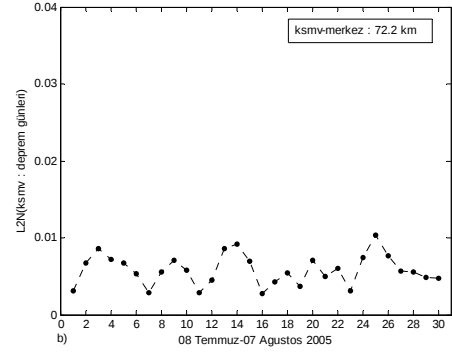
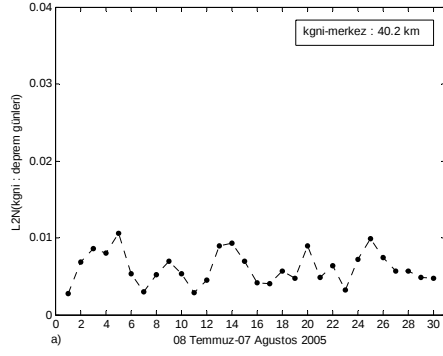
Şekil E18. 5 Eylül 2004 Honşu depremi döneminde a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) tsbk, e) usud, f) yssk istasyonlarının ardışık günleri arasındaki L2N değerleri.



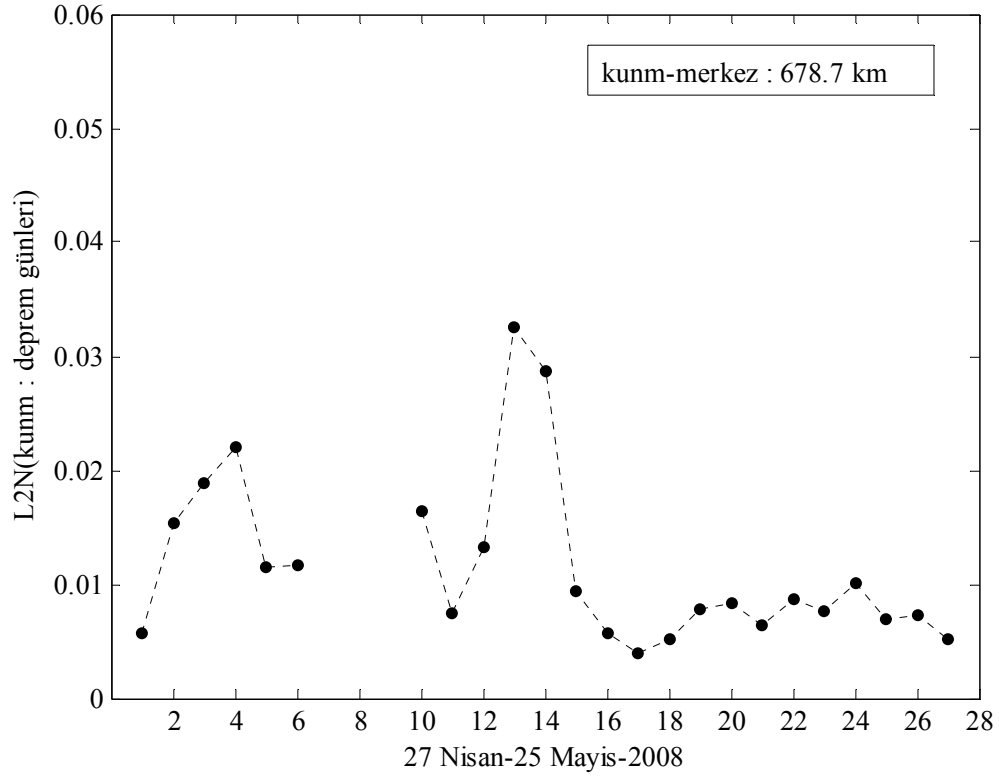
Şekil E19. 13 Haziran 2008 Honşu depremi döneminde a) mizu, b) mtka, c) tskb, d) usud istasyonlarının ardışık günleri arasındaki L2N değerleri.



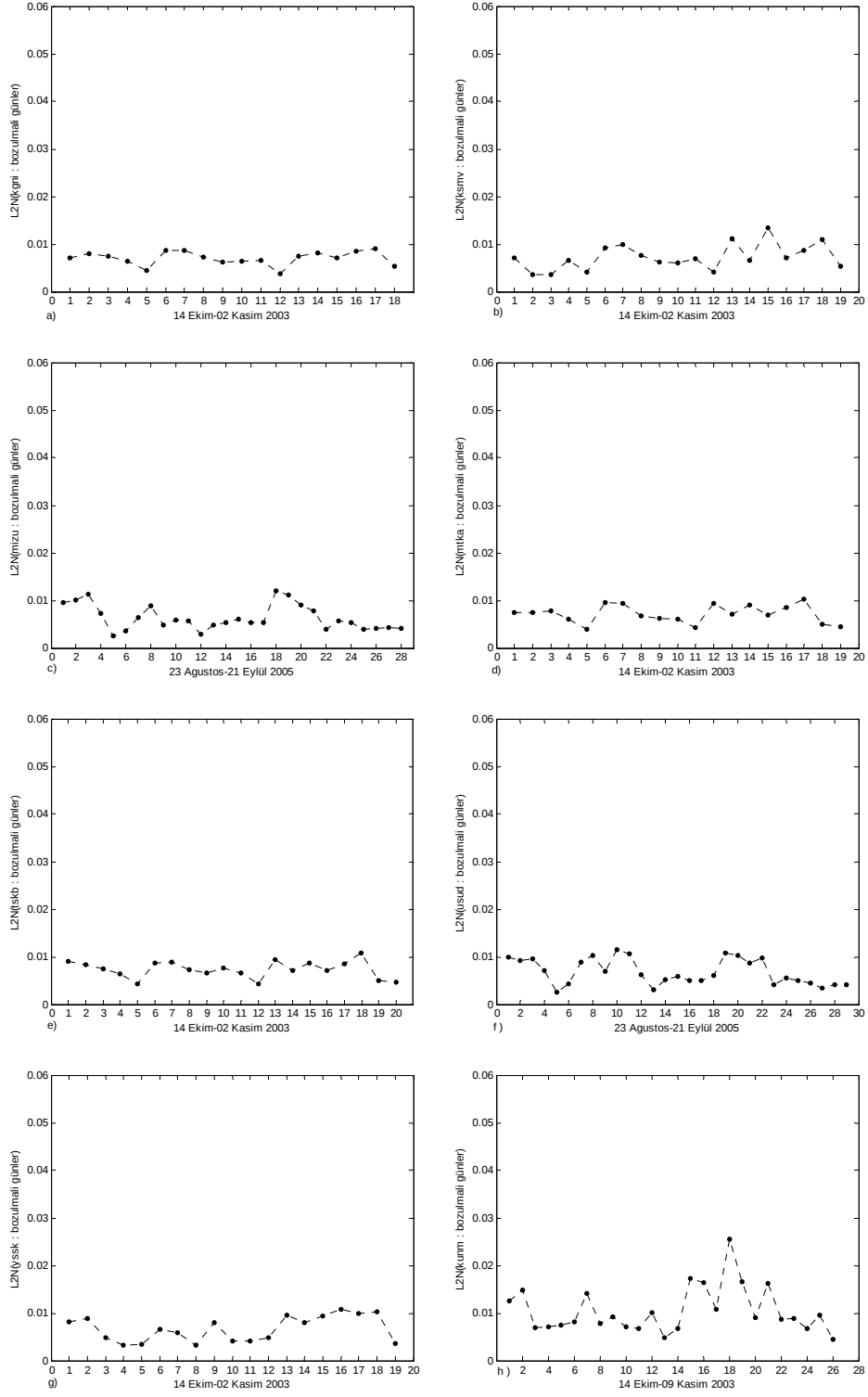
Şekil E20. 11 Haziran 2006 Kiyuşiyu depremi döneminde a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) yssk istasyonlarının ardışık günleri arasındaki L2N değerleri.



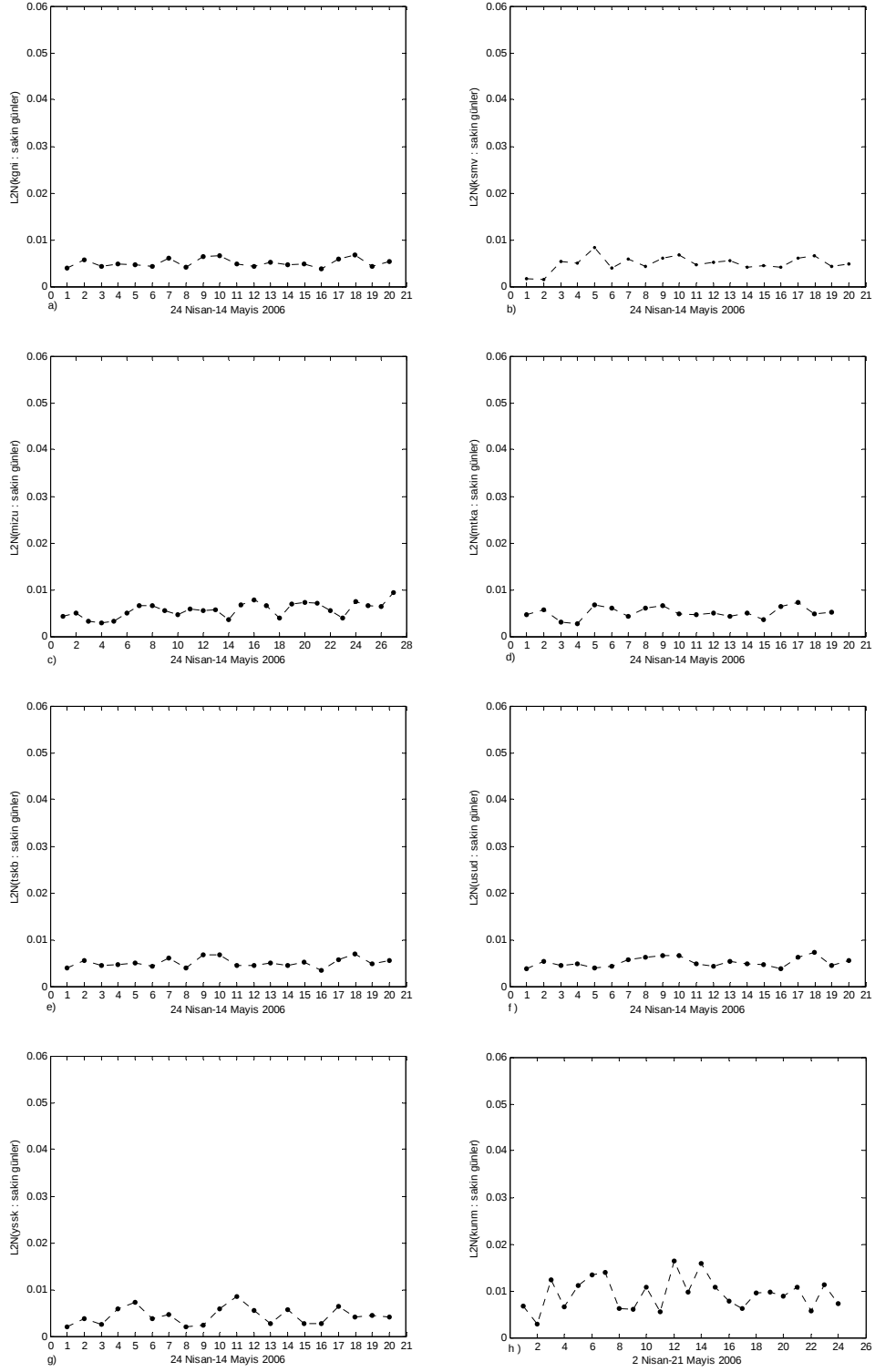
Şekil E21. 23 Temmuz 2005 Honşu depremi döneminde a) kgni, b) ksmv, c) mtka, d) tskb, e) usud, f) yssk istasyonlarının ardışık günleri arasındaki L2N değerleri.



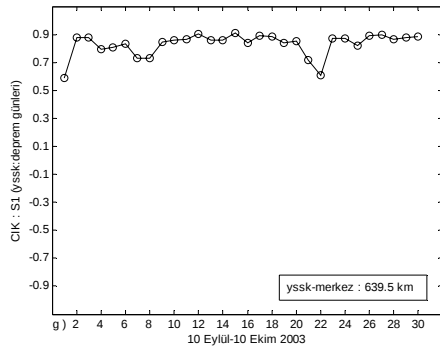
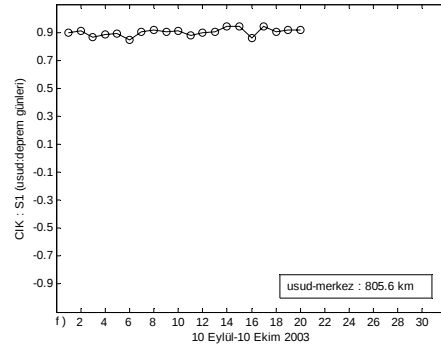
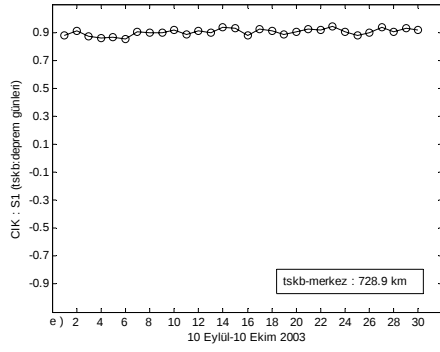
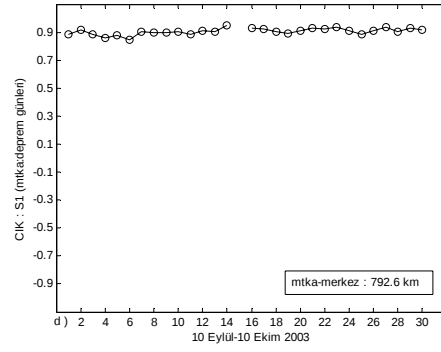
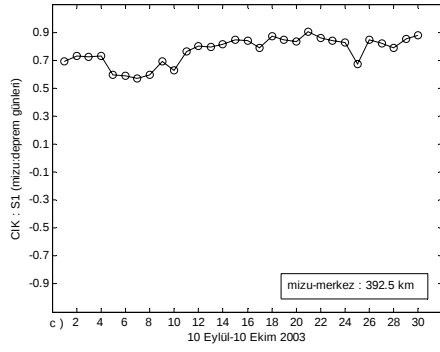
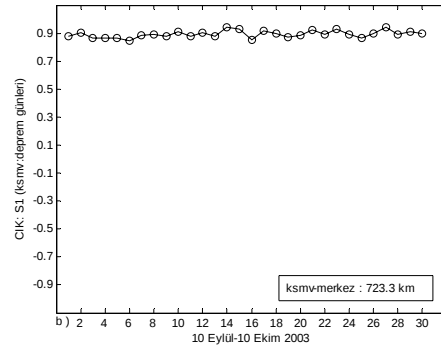
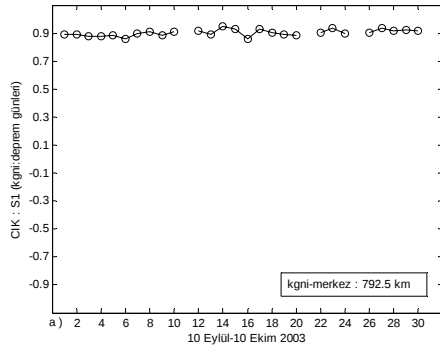
Şekil E22. 12 Mayıs 2008 Şiyan depremi döneminde kunm istasyonunun ardışık günleri arasındaki L2N değerleri.



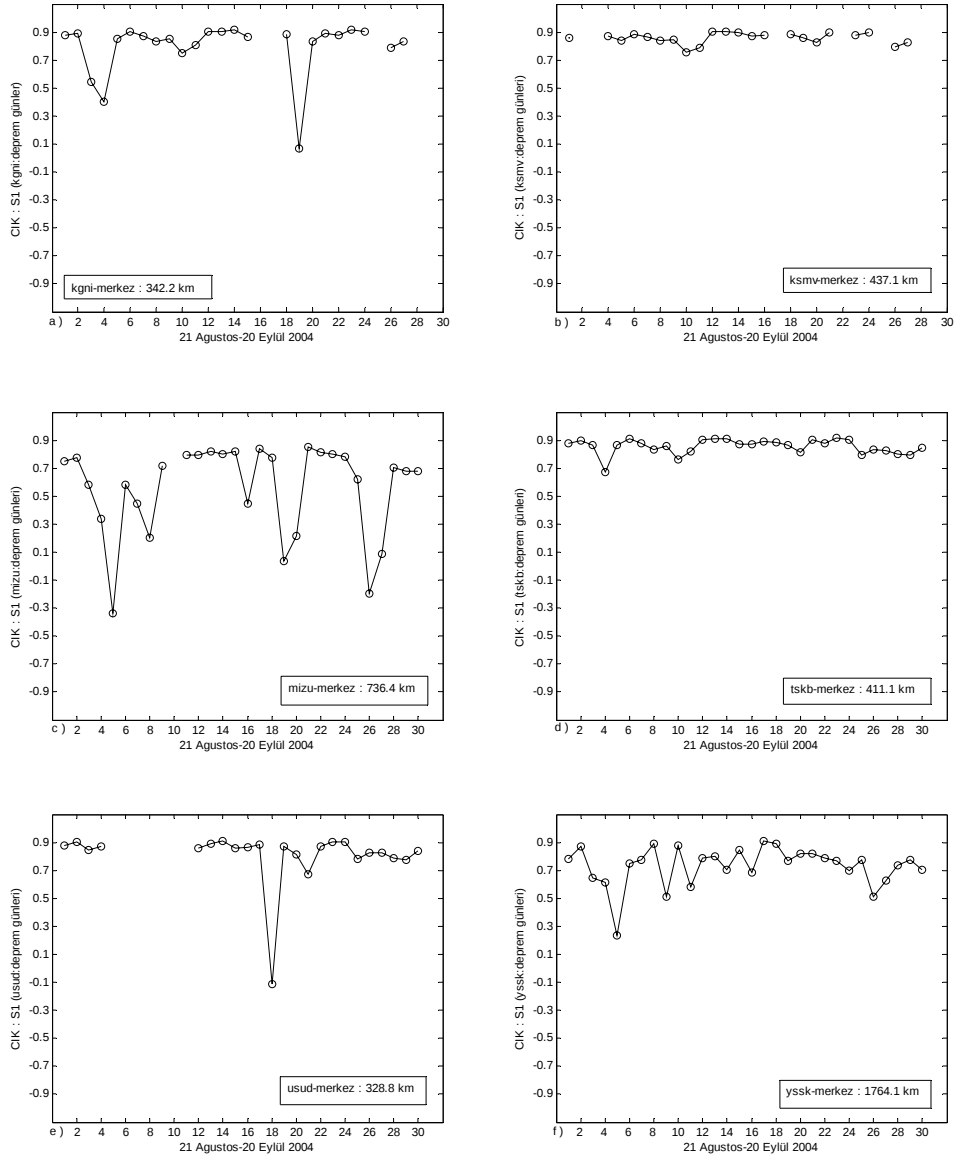
Şekil E23. İyonkürenin bozulmalı olduğu zaman aralıklarında a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) yssk, h) kunm istasyonlarının ardışık günleri arasındaki L2N değerleri.



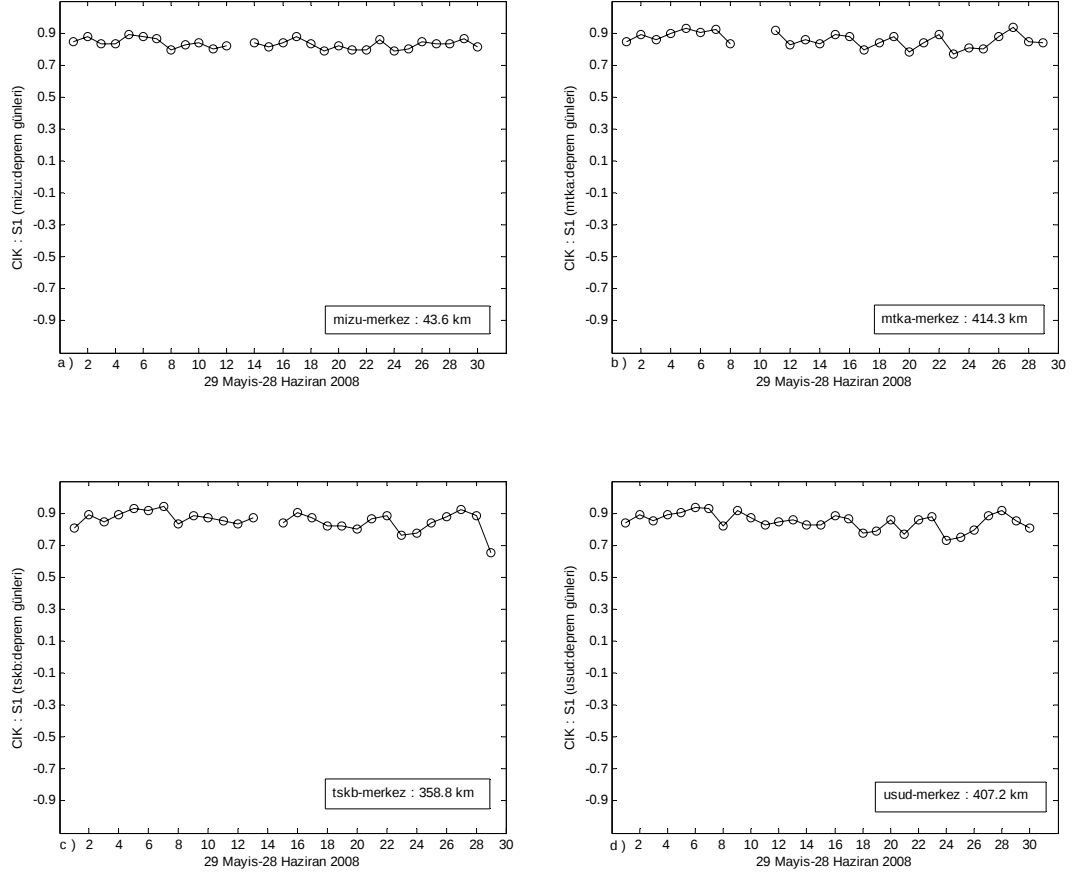
Şekil E24. İyonkürenin sakın olduğu zaman aralıklarında a) kgmi, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) yssk, h) kunm istasyonlarının ardışık günleri arasındaki L2N değerleri.



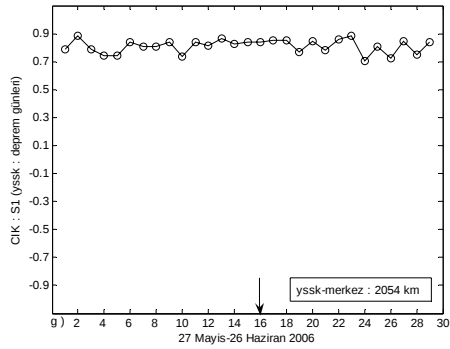
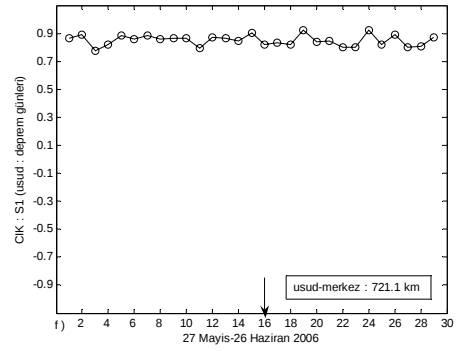
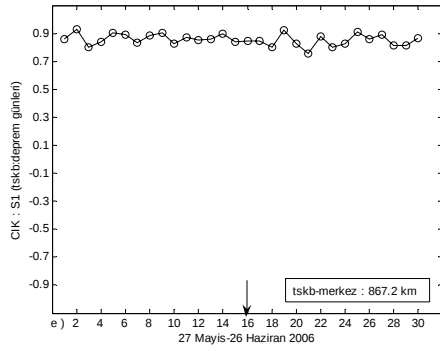
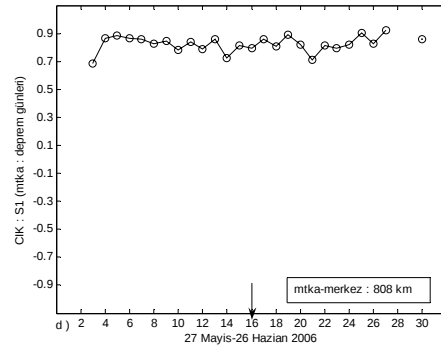
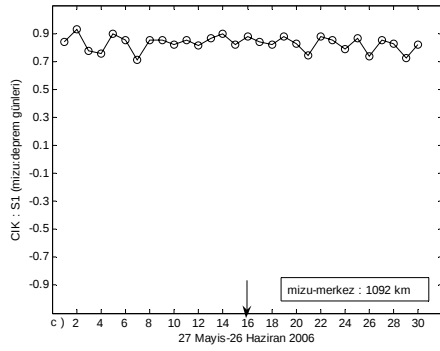
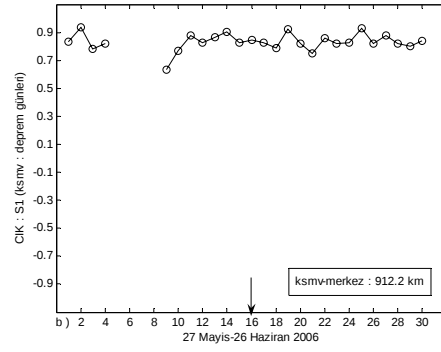
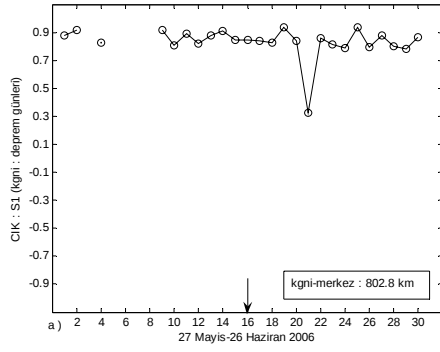
Şekil E25. 25 Eylül 2003 Hokkaido depremi için a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) yssk istasyonlarının ardışık deprem günleri S1 sınırları arasındaki Çapraz İlinti Katsayıları.



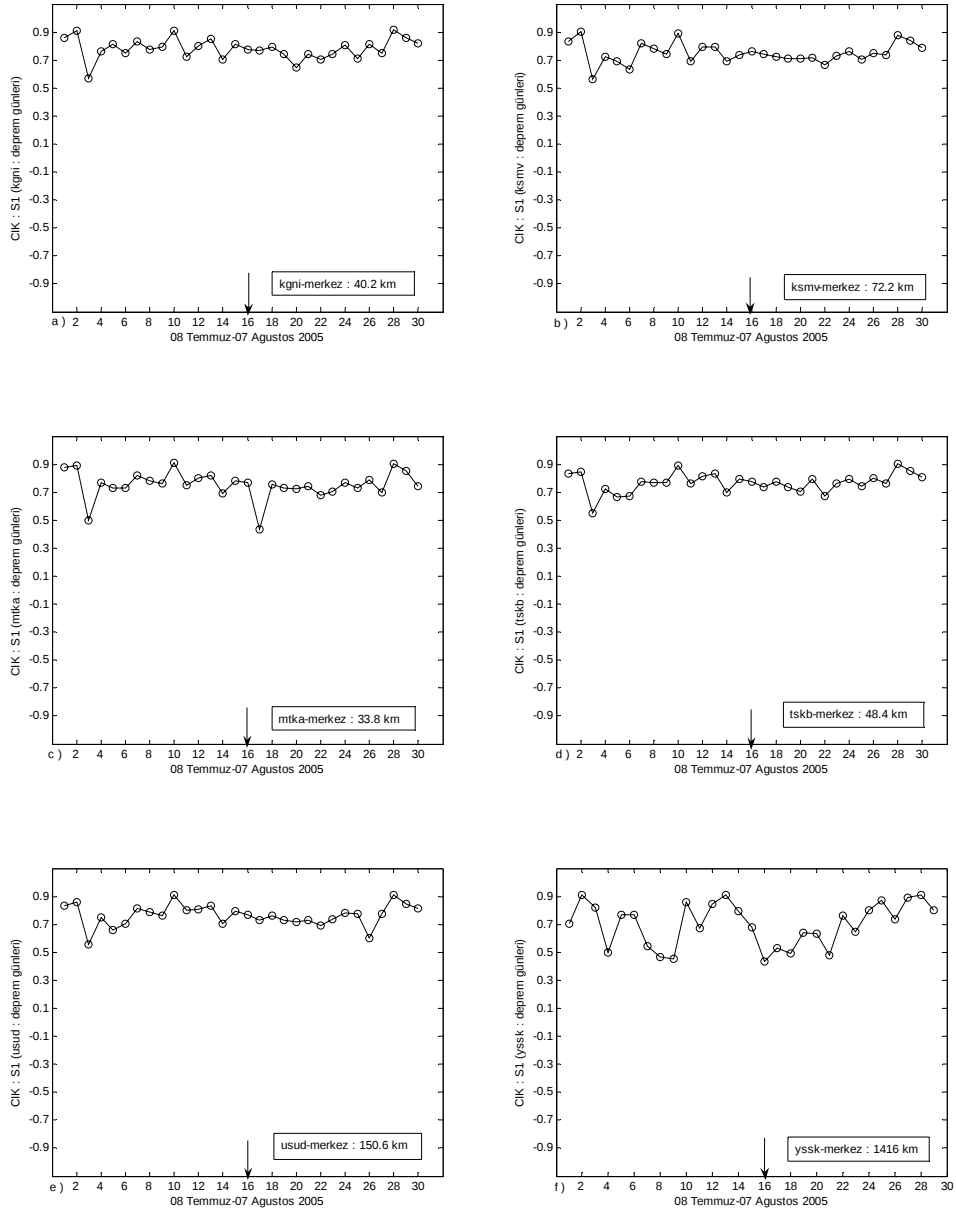
Şekil E26. 5 Eylül 2004 Honşu depremi için a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) tskb, e) usud, f) yssk istasyonlarının ardışık deprem günleri S1 sınırları arasındaki Çapraz İlinti Katsayıları.



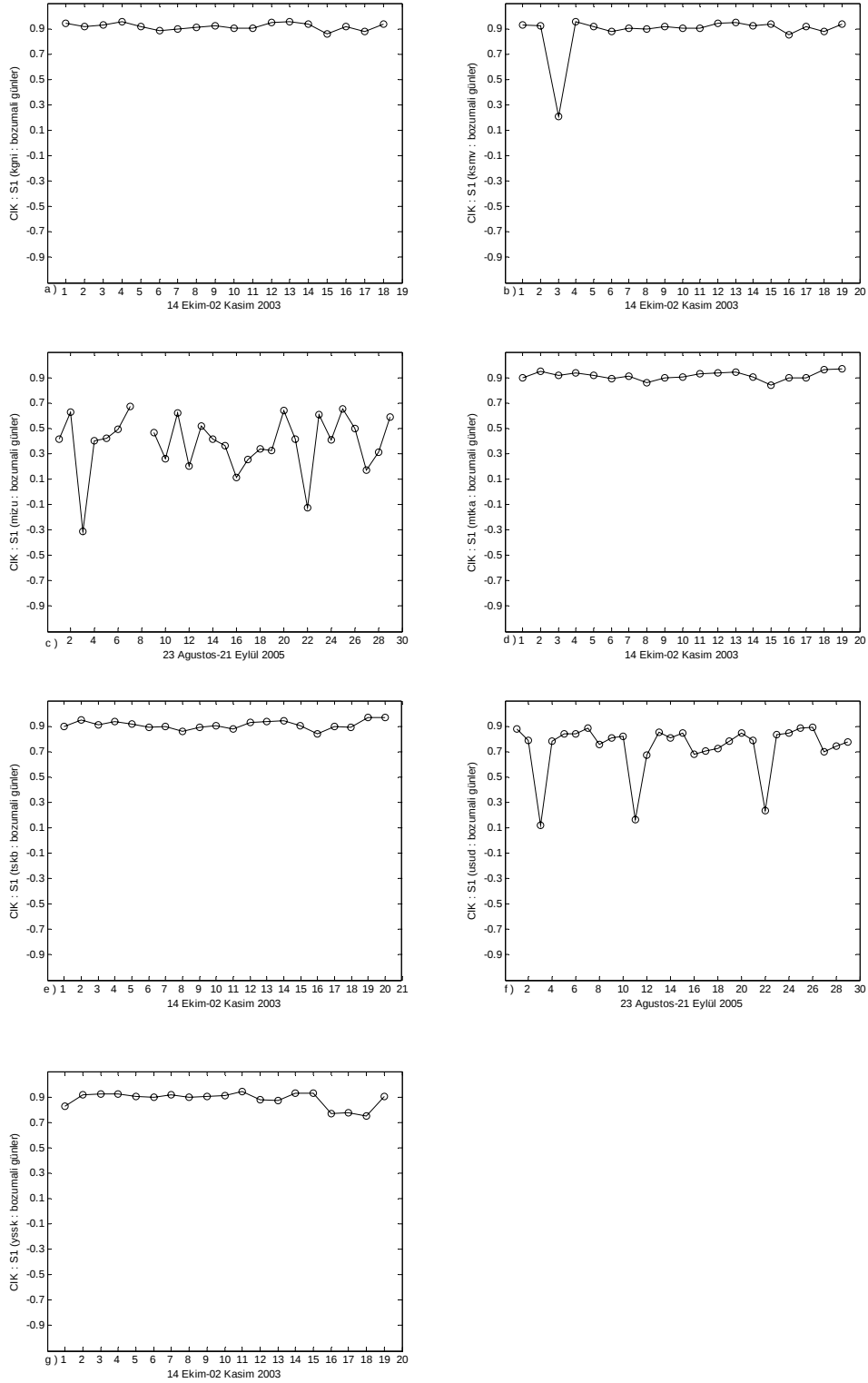
Şekil E27. 13 Haziran 2008 Honşu depremi için a) mizu, b) mtka, c) tskb, d) usud, istasyonlarının ardışık deprem günleri S1 sınırları arasındaki Çapraz İlinti Katsayısı.



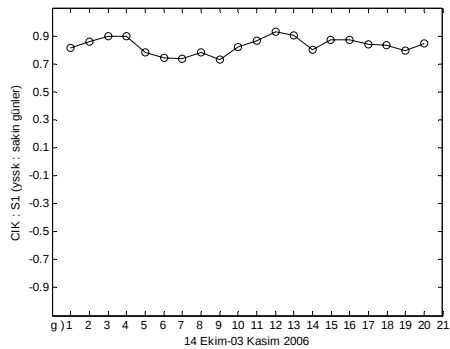
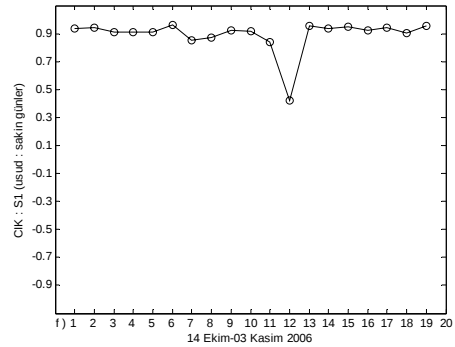
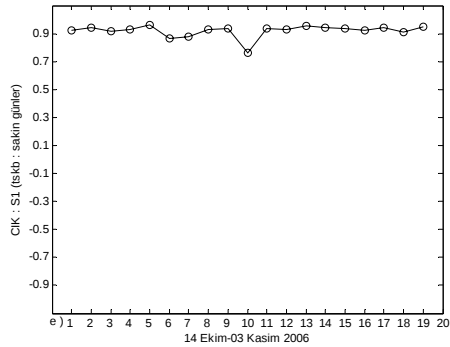
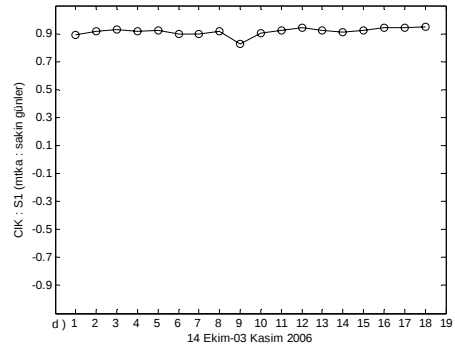
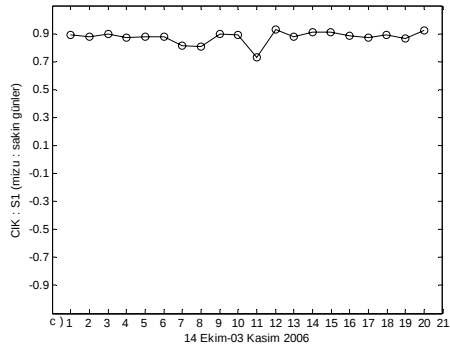
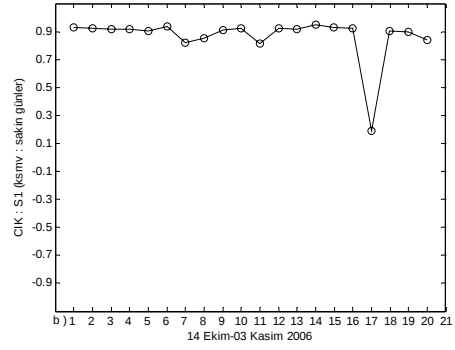
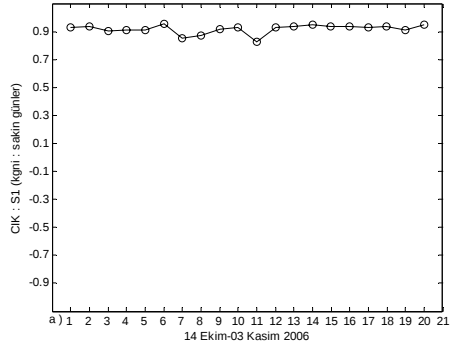
Şekil E28. 11 Haziran 2006 Kiyuşiyu depremi için a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tsbk, f) usud, g) yssk istasyonlarının ardışık deprem günleri S1 sınırları arasındaki Çapraz İlinti Katsayısı.



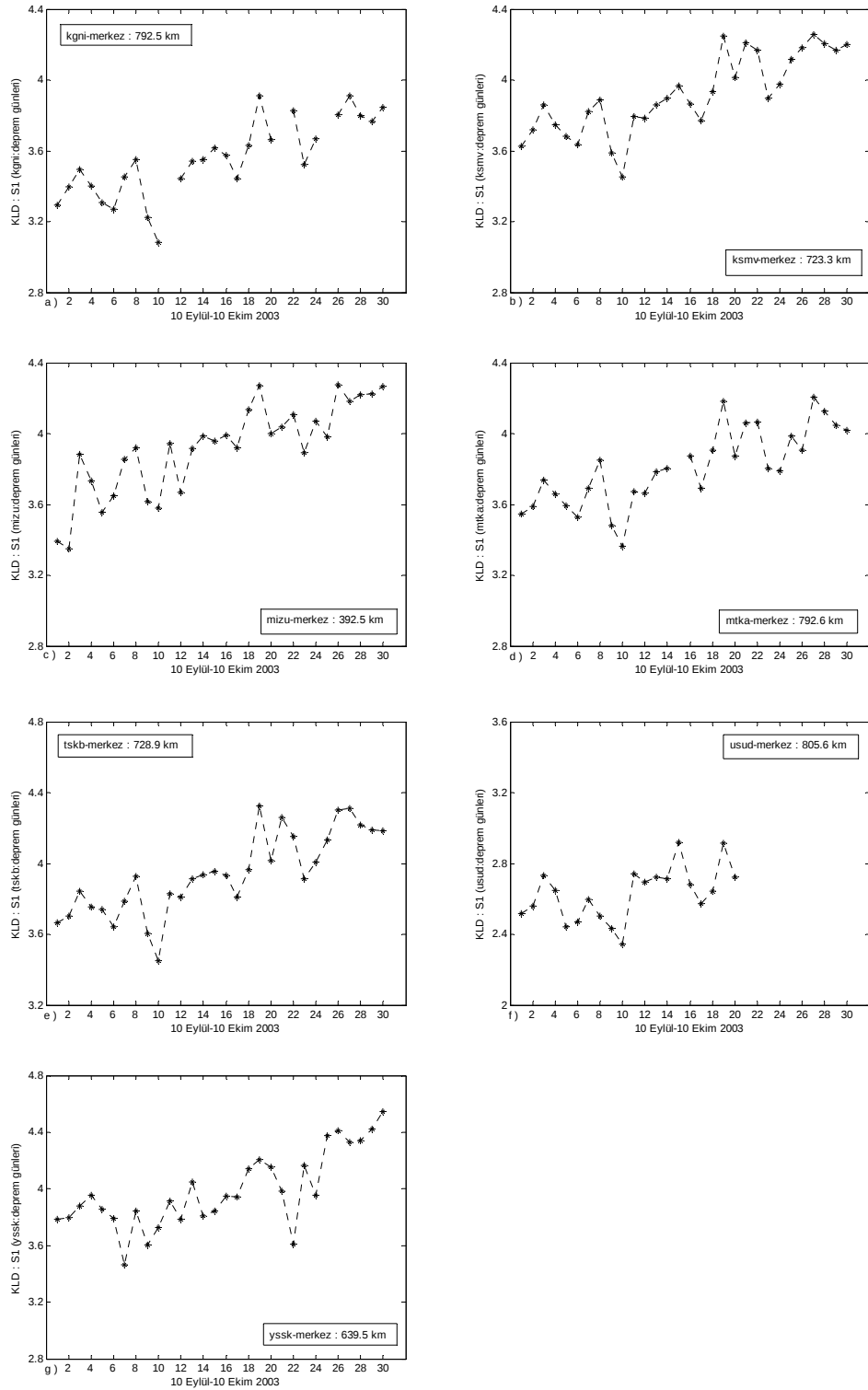
Şekil E29. 23 Temmuz 2005 Honşu depremi için a) kgni, b) ksmv, c) mtka, d) tskb, e) usud, f) yssk istasyonlarının ardışık deprem günleri S1 sınırları arasındaki Çapraz İlinti Katsayıları.



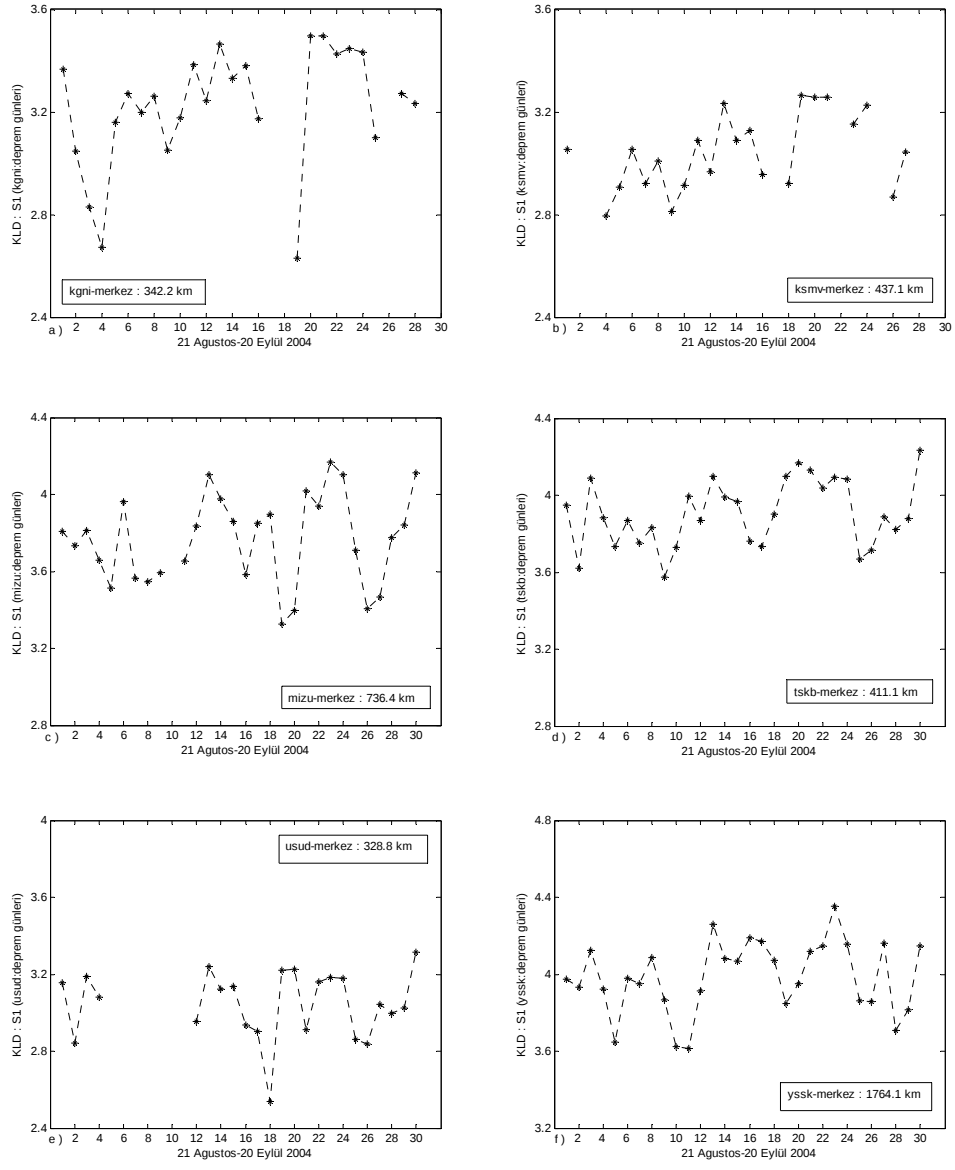
Şekil E30. İyonkürenin bozulmalı olduğu zaman aralıklarında a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) yssk istasyonlarının ardışık bozulmalı günler S1 sınırları arasındaki Çapraz İlinti Katsayıları.



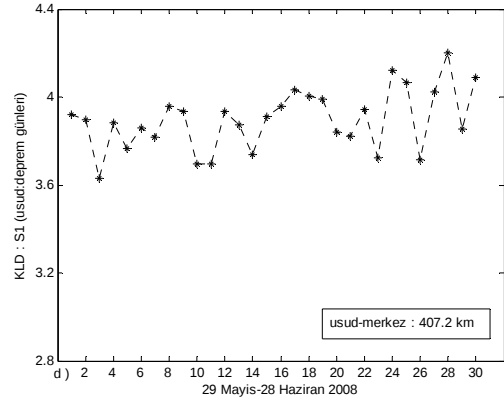
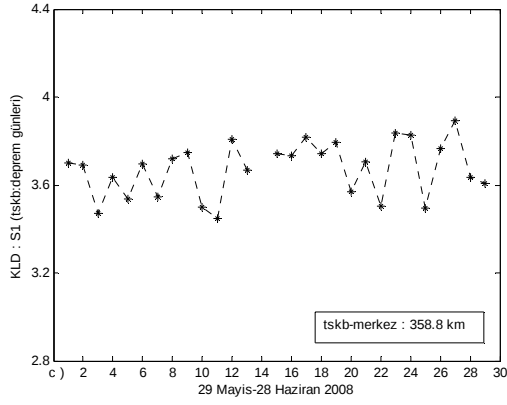
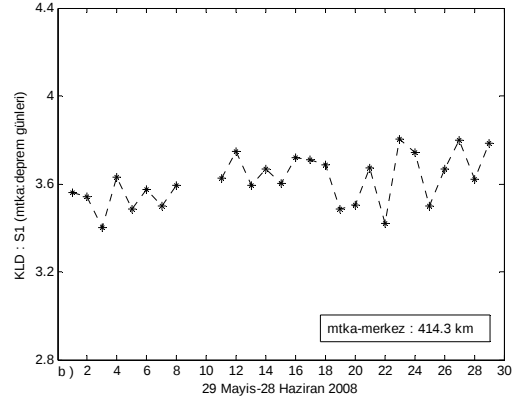
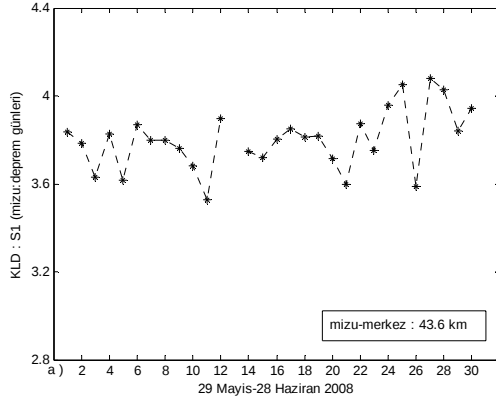
Şekil E31. İyonküreninsakin olduğu zaman aralıklarında a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) ysk istasyonlarının ardışık sakın günler S1 sınırları arasındaki Çapraz İlinti Katsayısı.



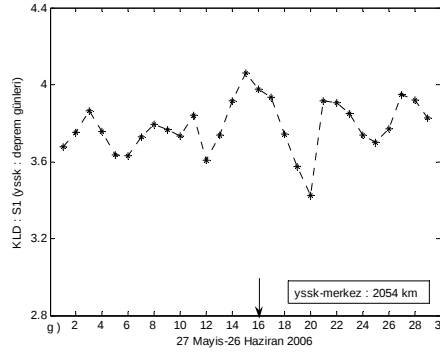
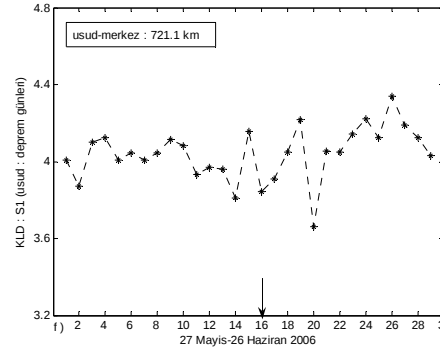
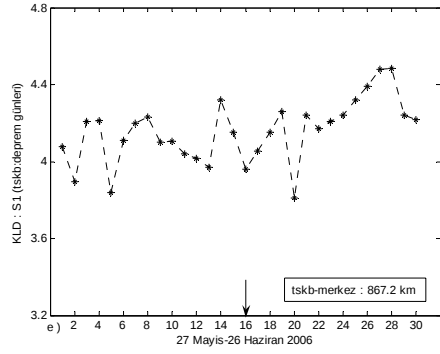
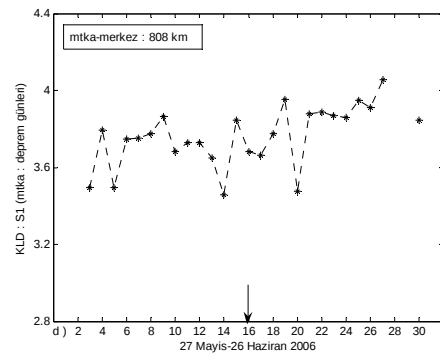
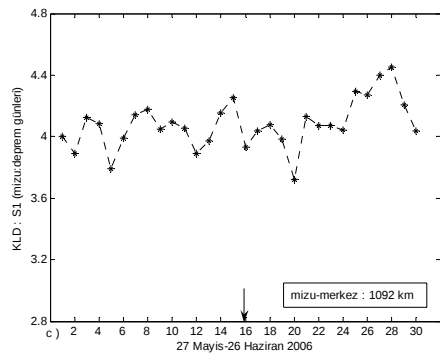
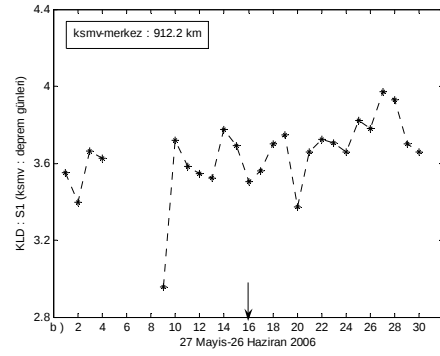
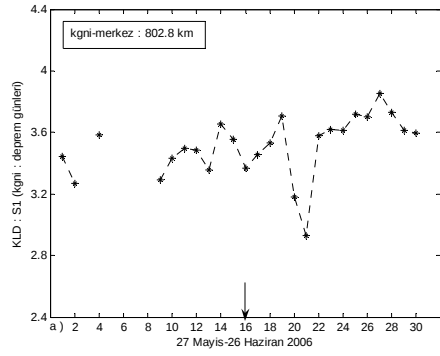
Şekil E32. 25 Eylül 2003 Hokkaido depremi için a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) yssk istasyonlarının ardışık deprem günleri S1 sınırları arasındaki KLD değerleri.



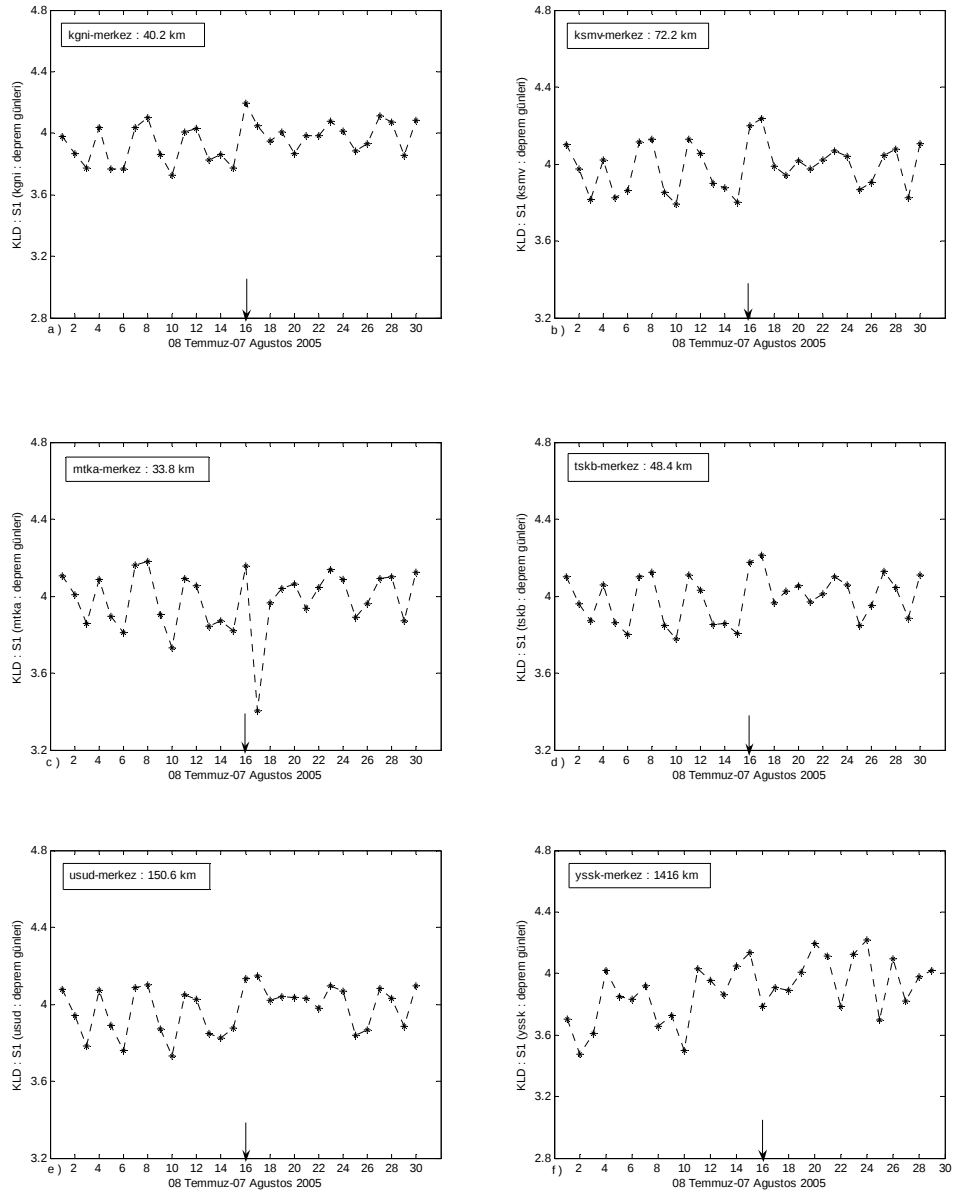
Şekil E33. 5 Eylül 2004 Honşu depremi için a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) tskb, e) usud, f) yssk istasyonlarının ardışık deprem günleri S1 sınırları arasındaki KLD değerleri.



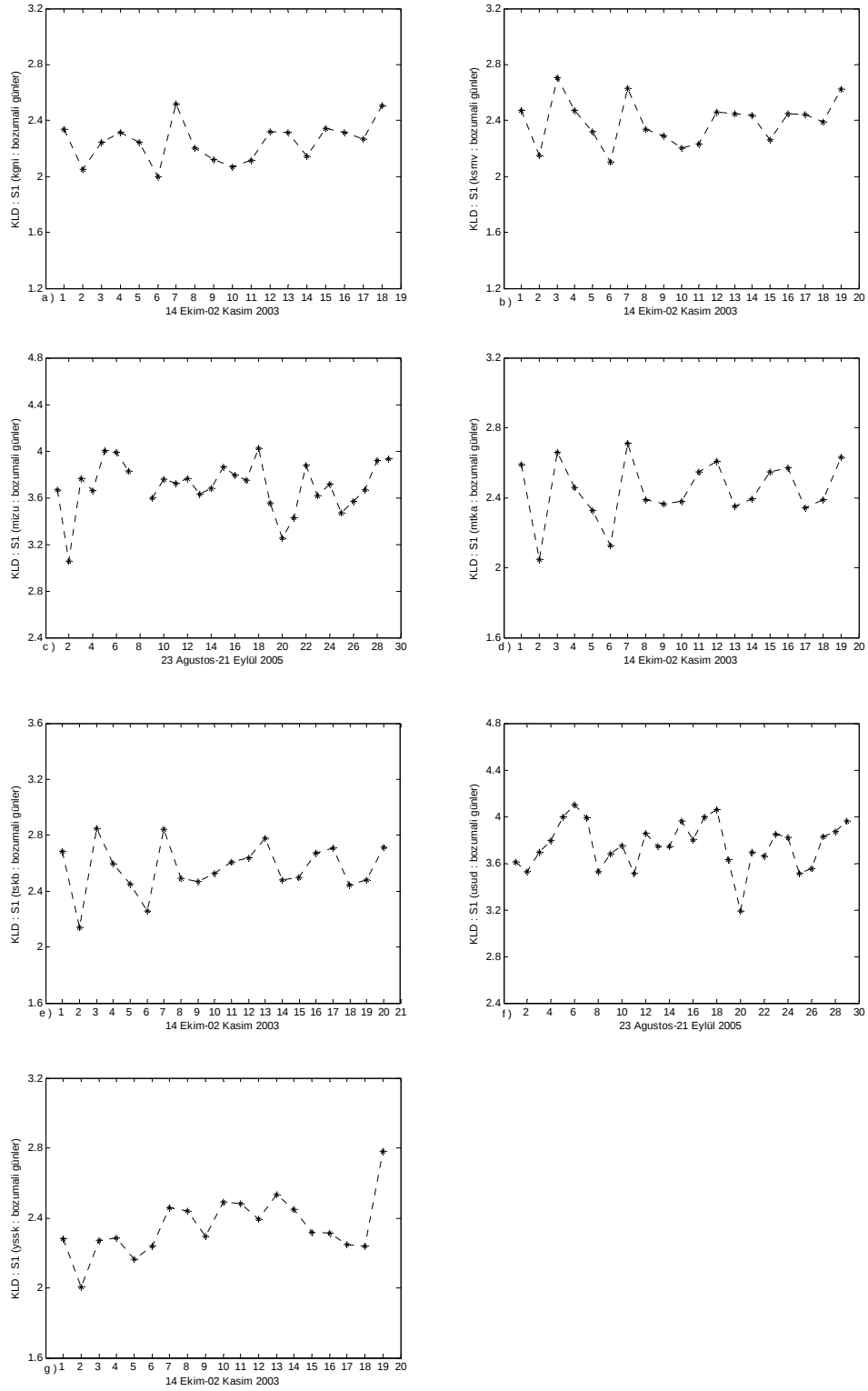
Şekil E34. 13 Haziran 2008 Honşu depremi için a) mizu, b) mtka, c) tskb, d) usud, istasyonlarının ardışık deprem günleri S1 sınırları arasındaki KLD değerleri.



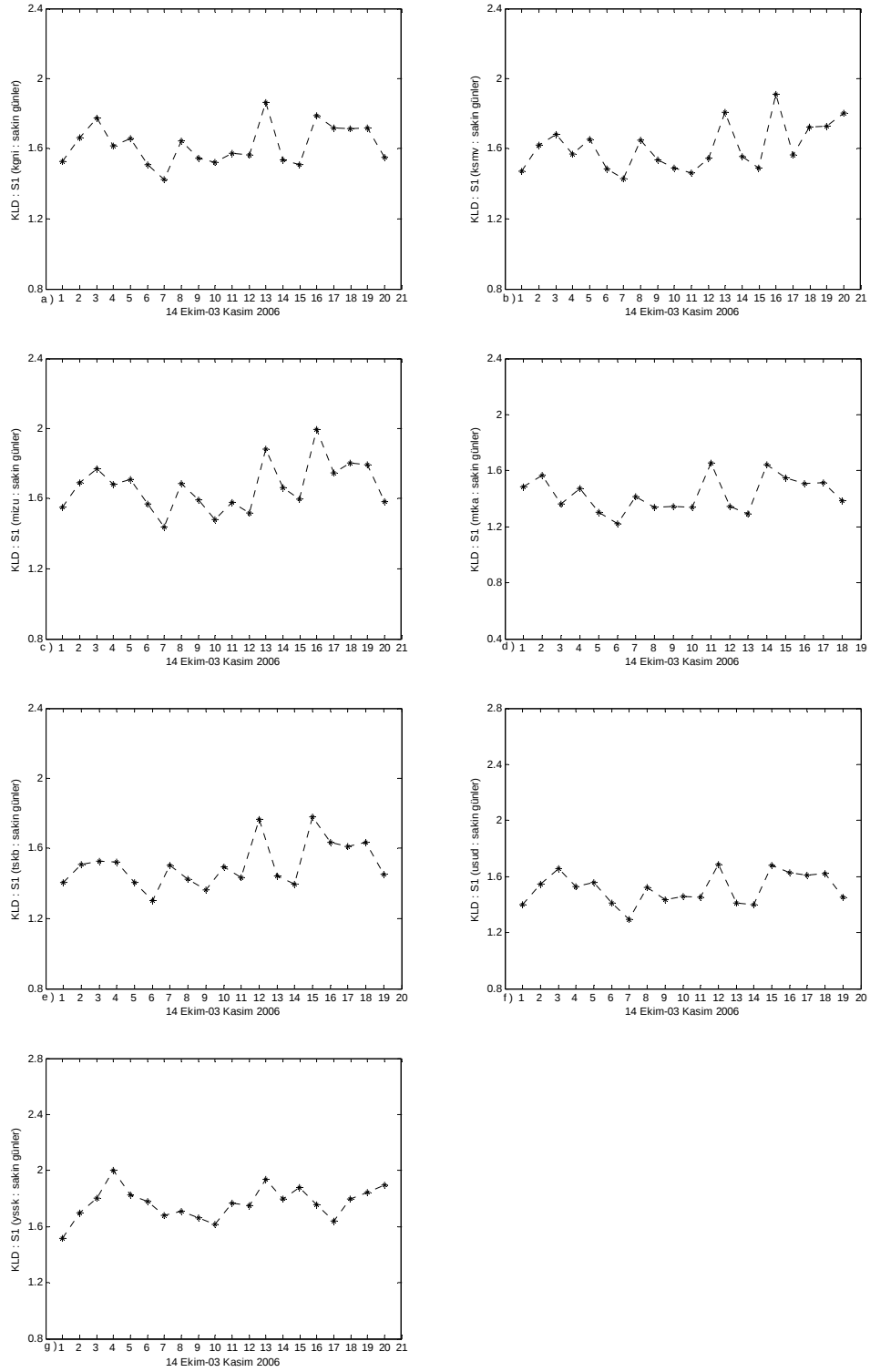
Şekil E35. 11 Haziran 2006 Kiyuşiyu depremi için a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) ysk istasyonlarının ardışık deprem günleri S1 sınırları arasındaki KLD değerleri.



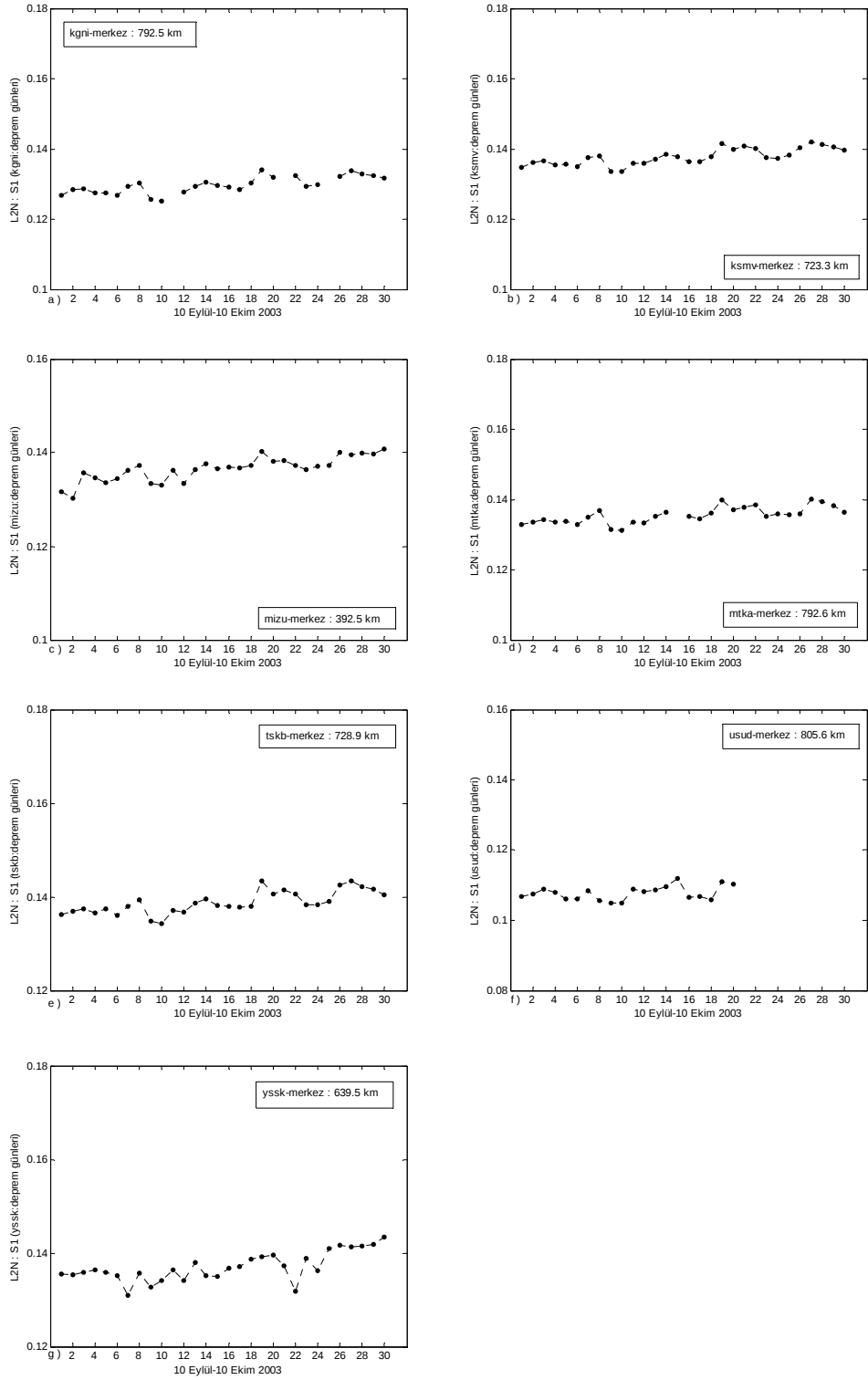
Şekil E36. 23 Temmuz 2005 Honşu depremi için a) kgni, b) ksmv, c) mtka, d) tskb, e) usud, f) yssk istasyonlarının ardışık deprem günleri S1 sınırları arasındaki KLD değerleri.



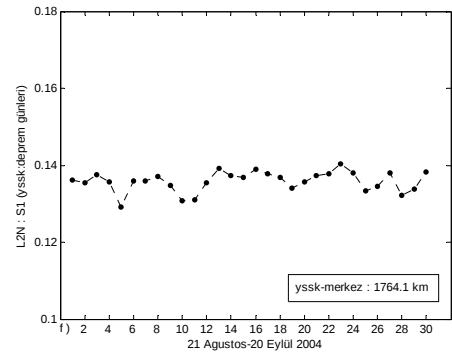
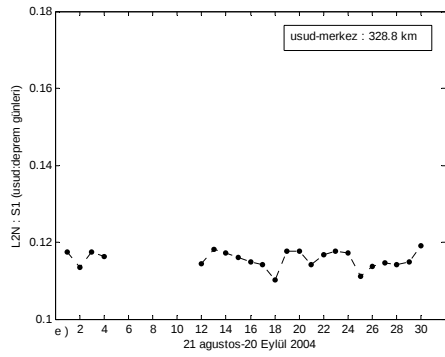
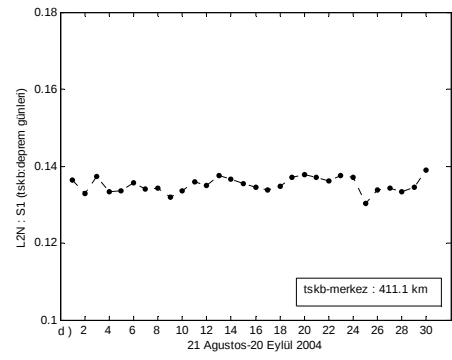
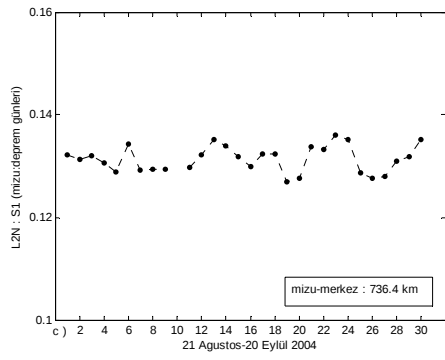
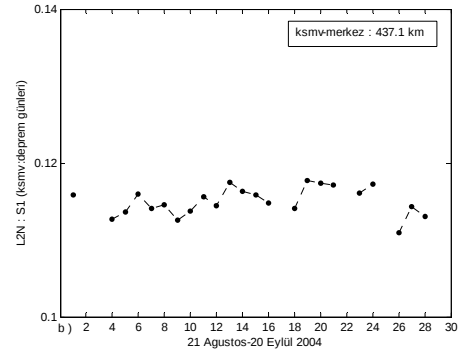
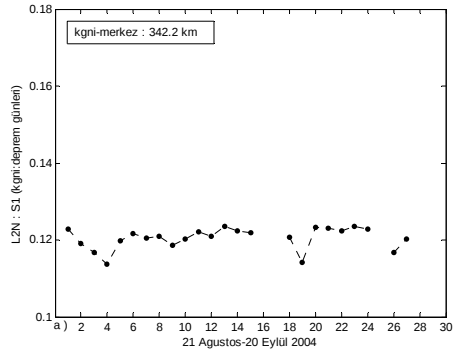
Şekil E37. İyonkürenin bozulmalı olduğu zaman aralıklarında a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) ysk istasyonlarının ardışık bozulmalı günler S1 sınırları arasındaki KLD değerleri.



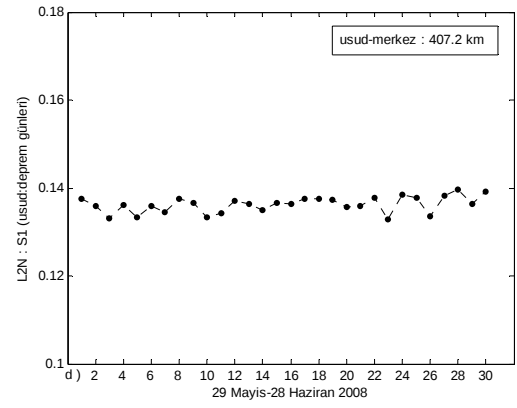
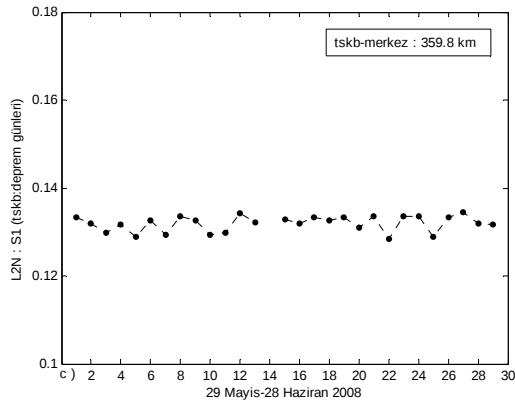
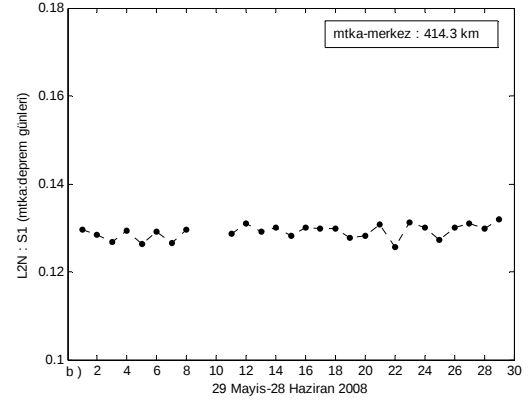
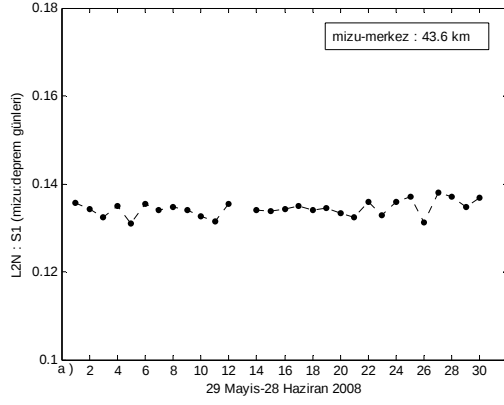
Şekil E38. İyonkürenin sakın olduğu zaman aralıklarında a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) yssk istasyonlarının ardışık sakın günler S1 sınırları arasındaki KLD değerleri.



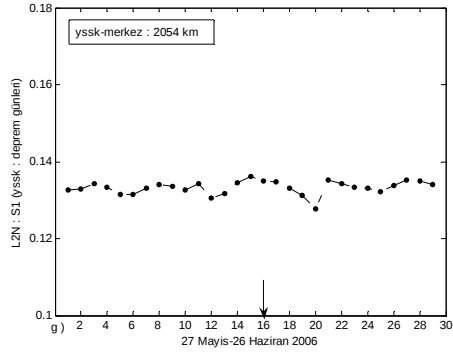
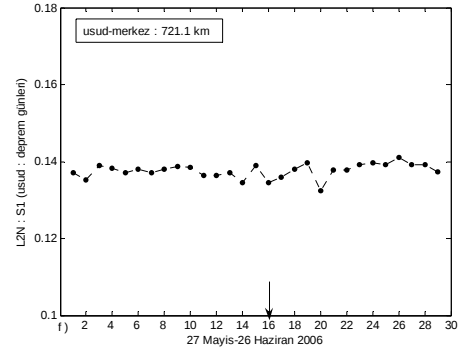
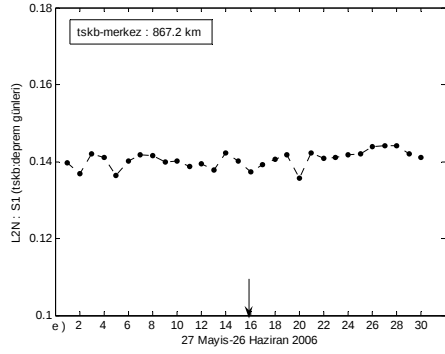
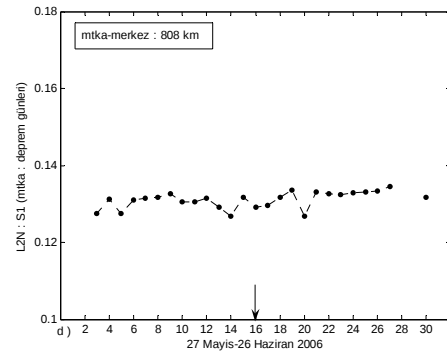
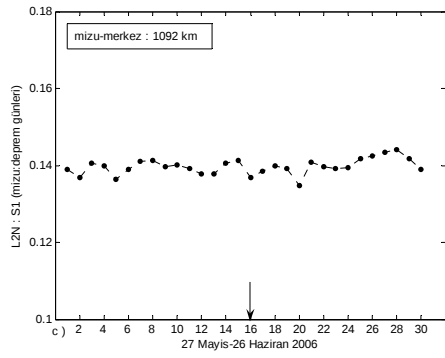
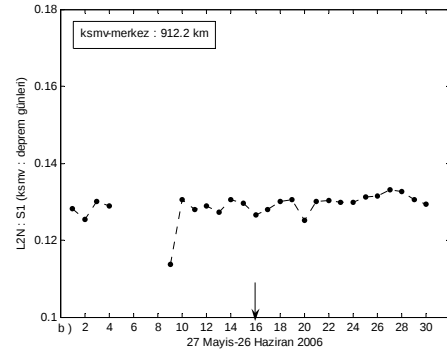
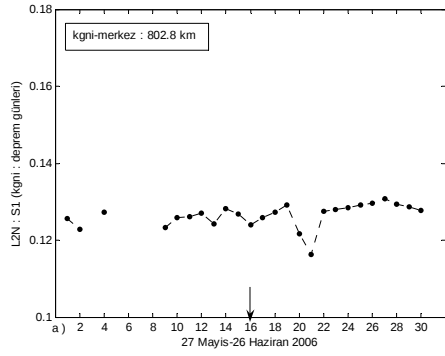
Şekil E39. 25 Eylül 2003 Hokkaido depremi için a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) yssk istasyonlarının ardışık deprem günleri S1 sınırları arasındaki L2N değerleri.



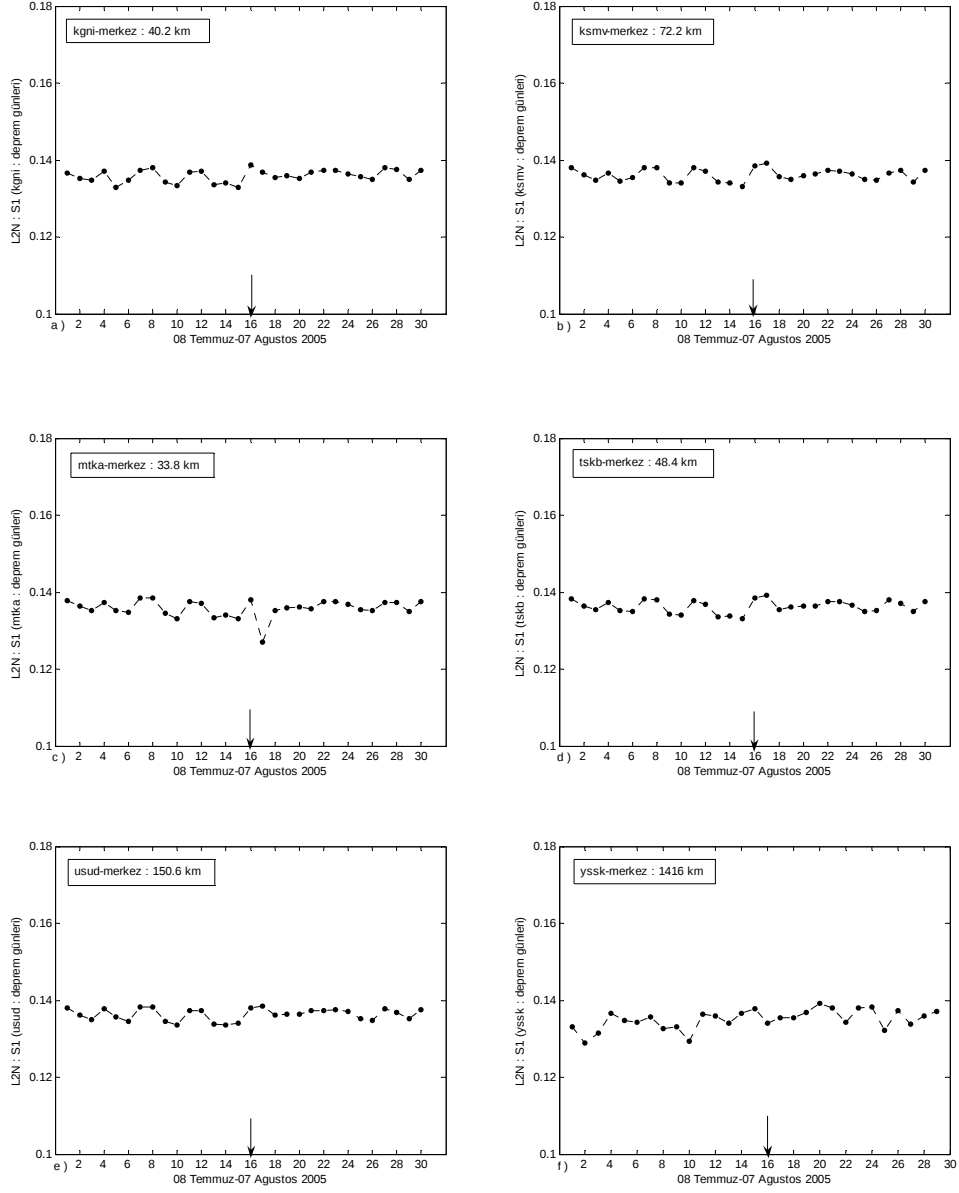
Şekil E40. 5 Eylül 2004 Honşu depremi için a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) tskb, e) usud, f) yssk istasyonlarının ardışık deprem günleri S1 sınırları arasındaki L2N değerleri.



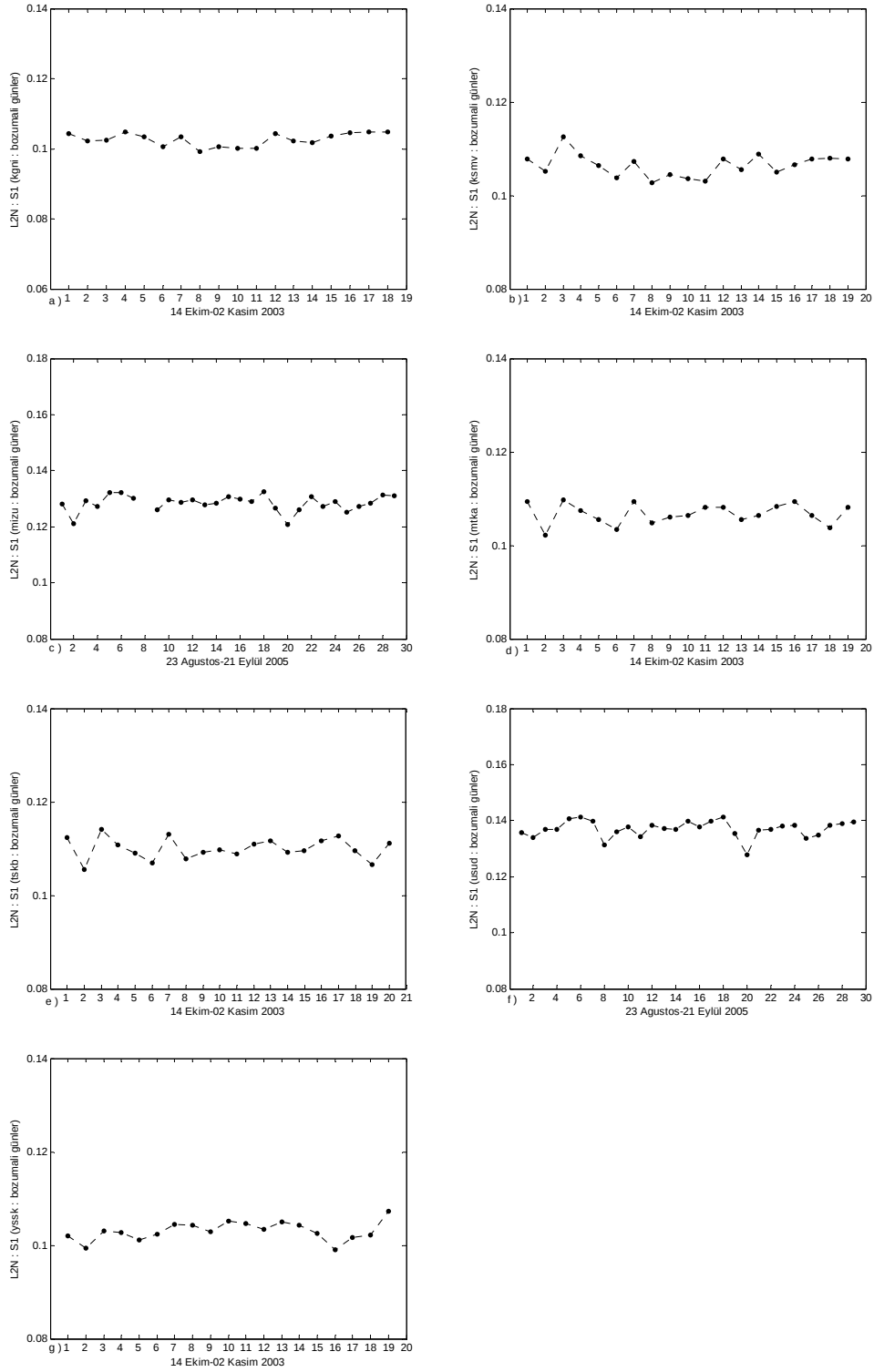
Şekil E41. 13 Haziran 2008 Honşu depremi için a) mizu, b) mtka, c) tskb, d) usud, istasyonlarının ardışık deprem günleri S1 sınırları arasındaki L2N değerleri.



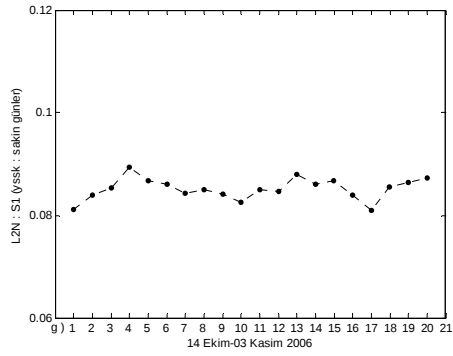
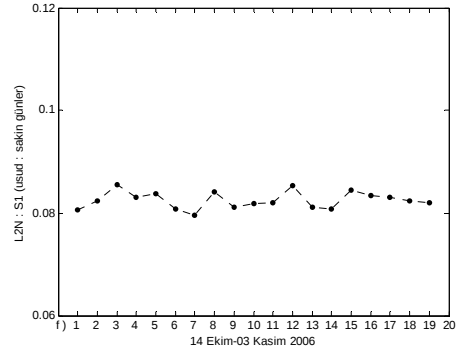
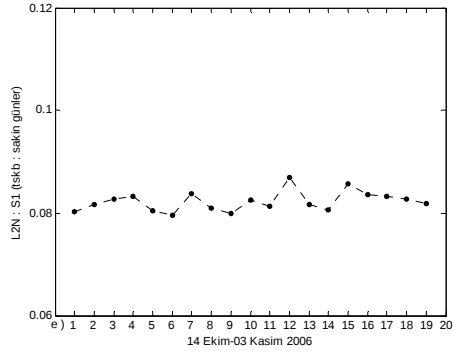
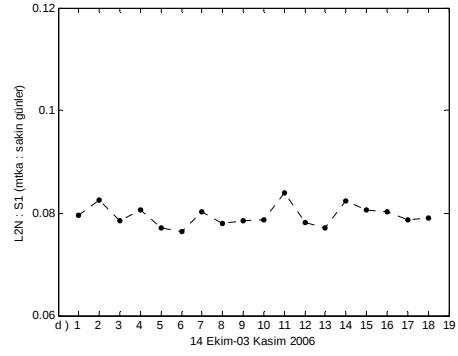
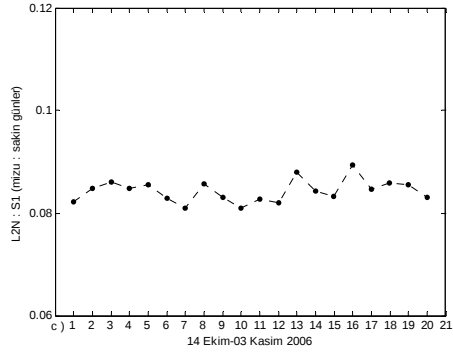
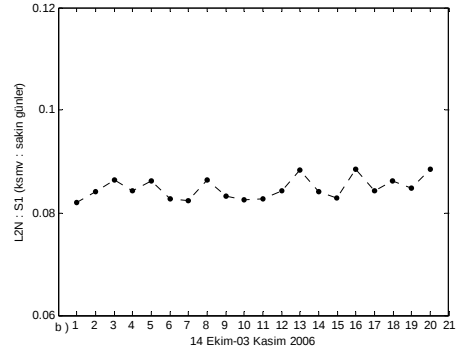
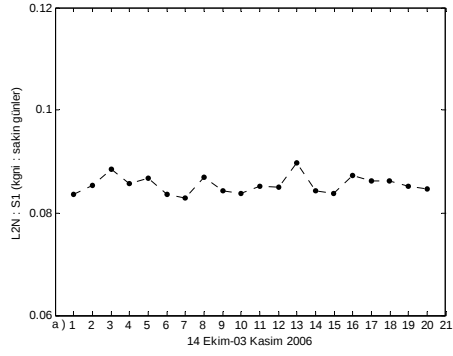
Şekil E42. 11 Haziran 2006 Kiyuşiyu depremi için a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) yssk istasyonlarının ardışık deprem günleri S1 sınırları arasındaki L2N değerleri.



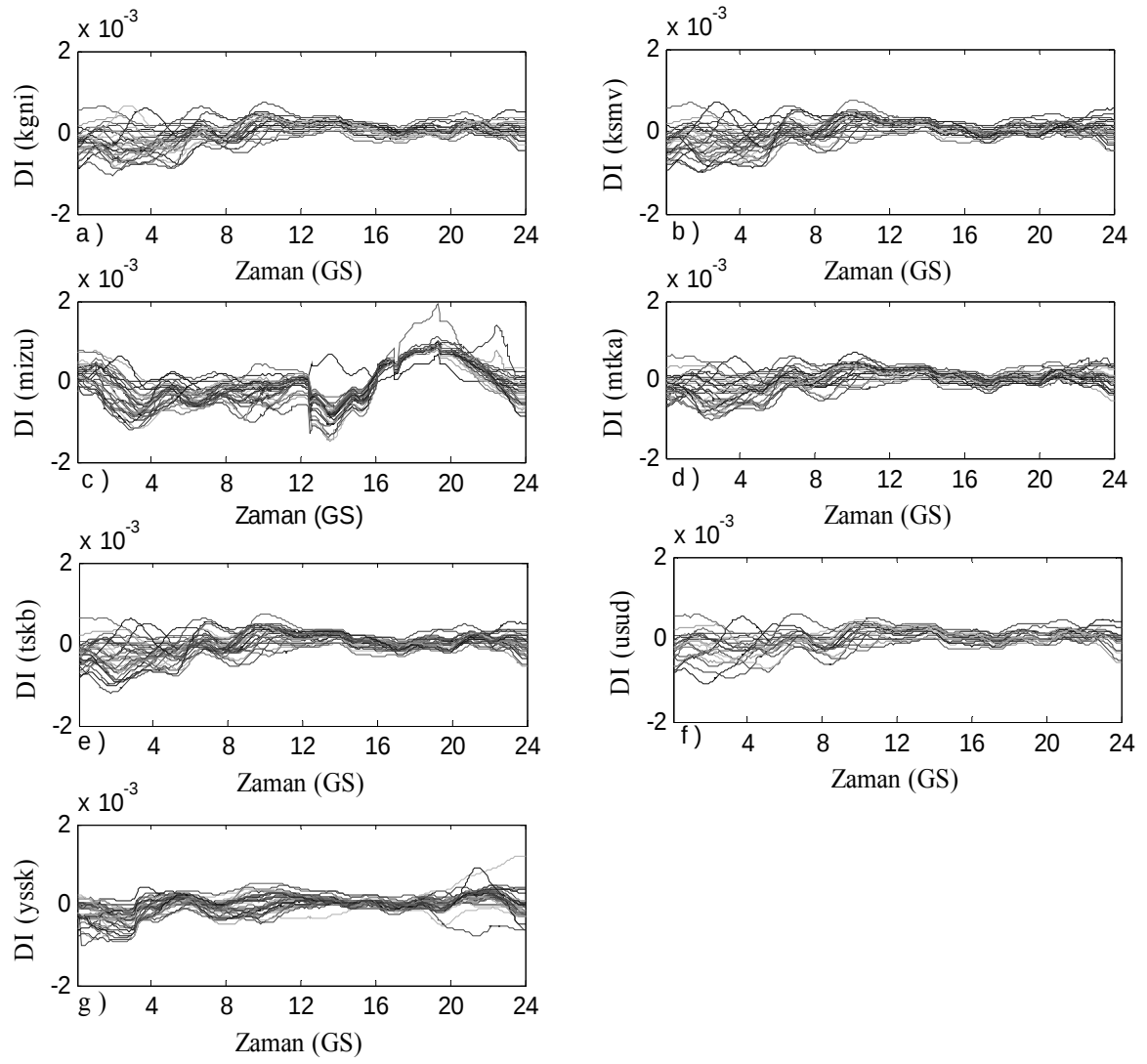
Şekil E43. 23 Temmuz 2005 Honşu depremi için a) kgni, b) ksmv, c) mtka, d) tskb, e) usud, f) yssk istasyonlarının ardışık deprem günleri S1 sınırları arasındaki L2N değerleri.



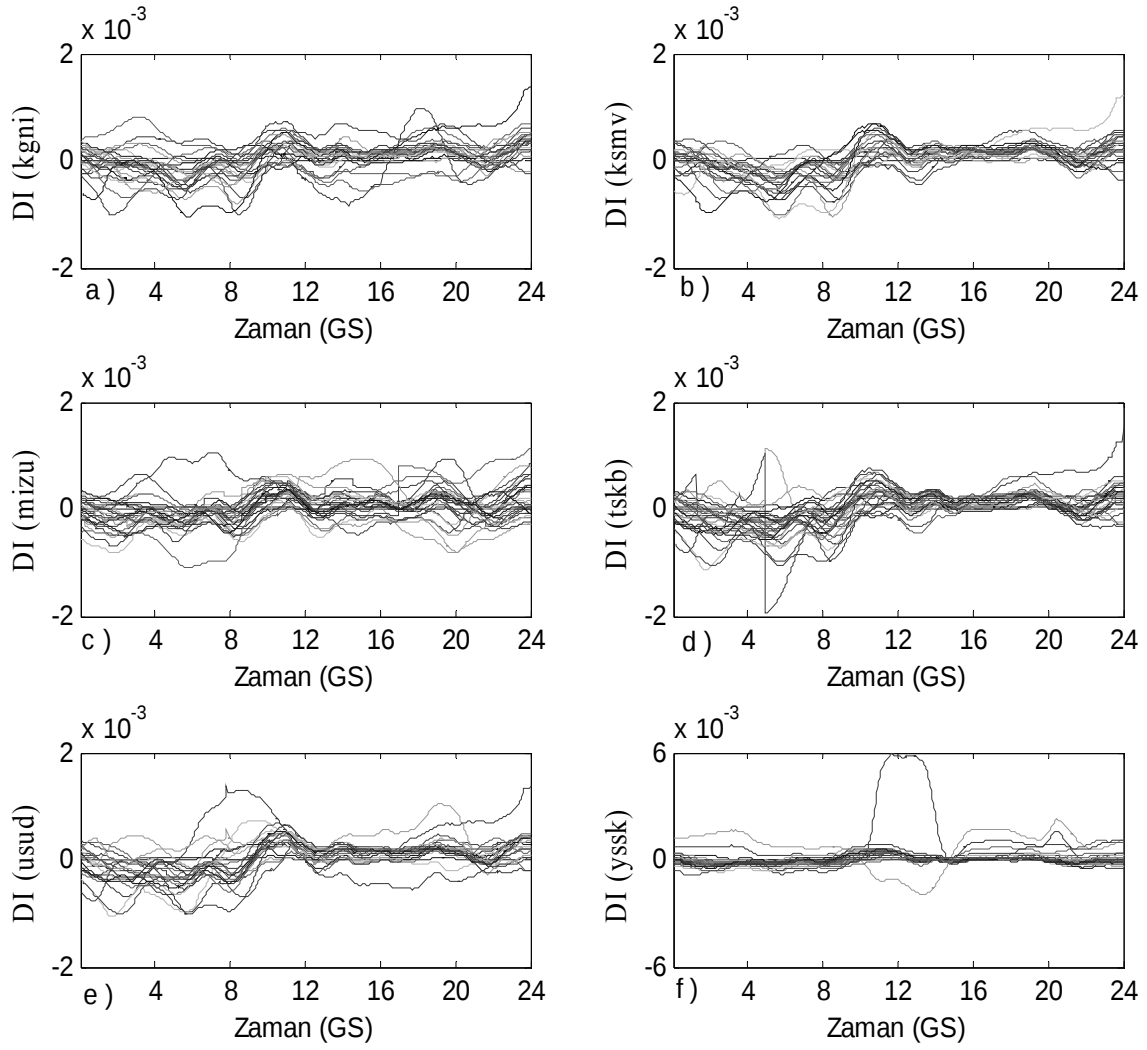
Şekil E44. İyonkürenin bozulmalı olduğu zaman aralıklarında a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) yssk istasyonlarının ardışık bozulmalı günler S1 sınırları arasındaki L2N değerleri.



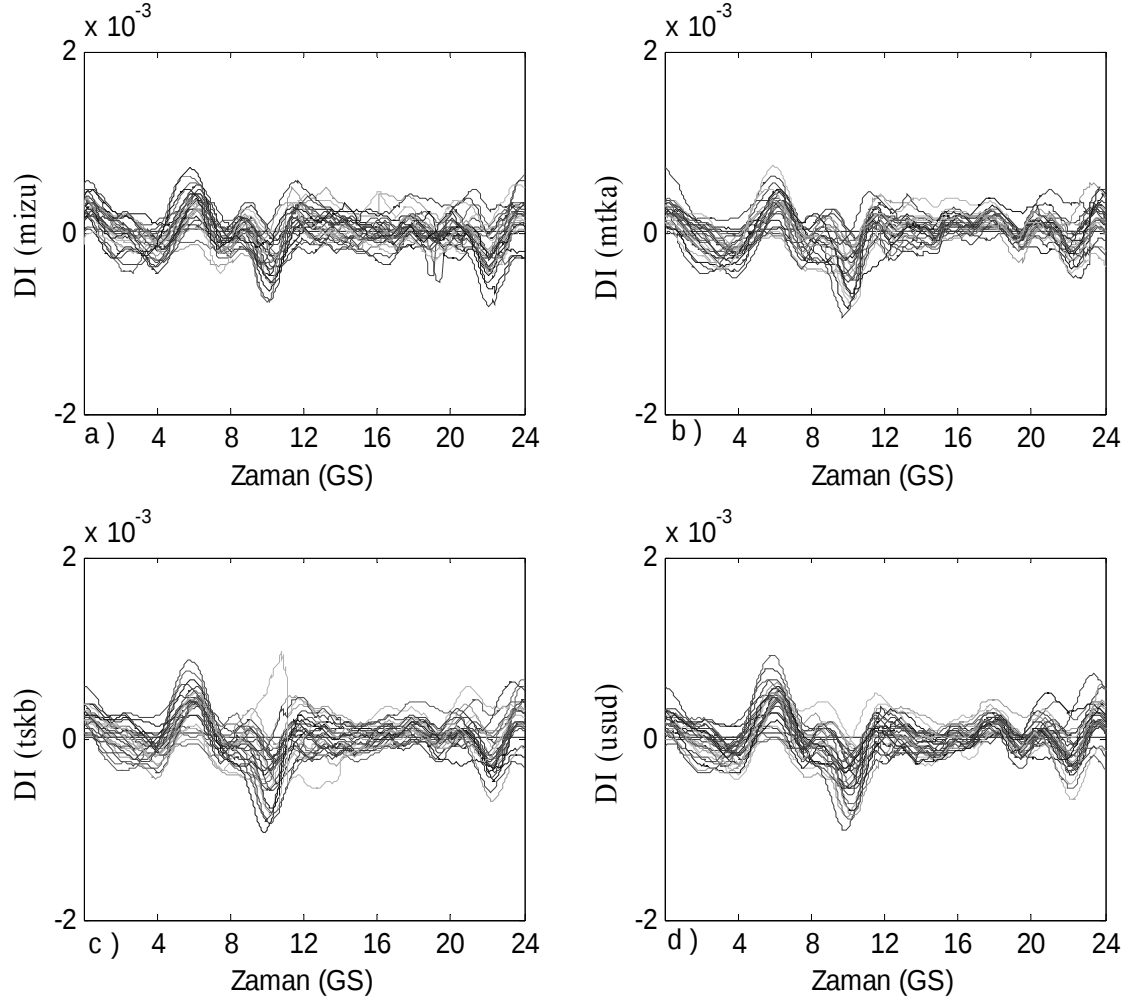
Şekil E45. İyonkürenin sakın olduğu zaman aralıklarında a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) yysk istasyonlarının ardışık sakın günler S1 sınırları arasındaki L2N değerleri.



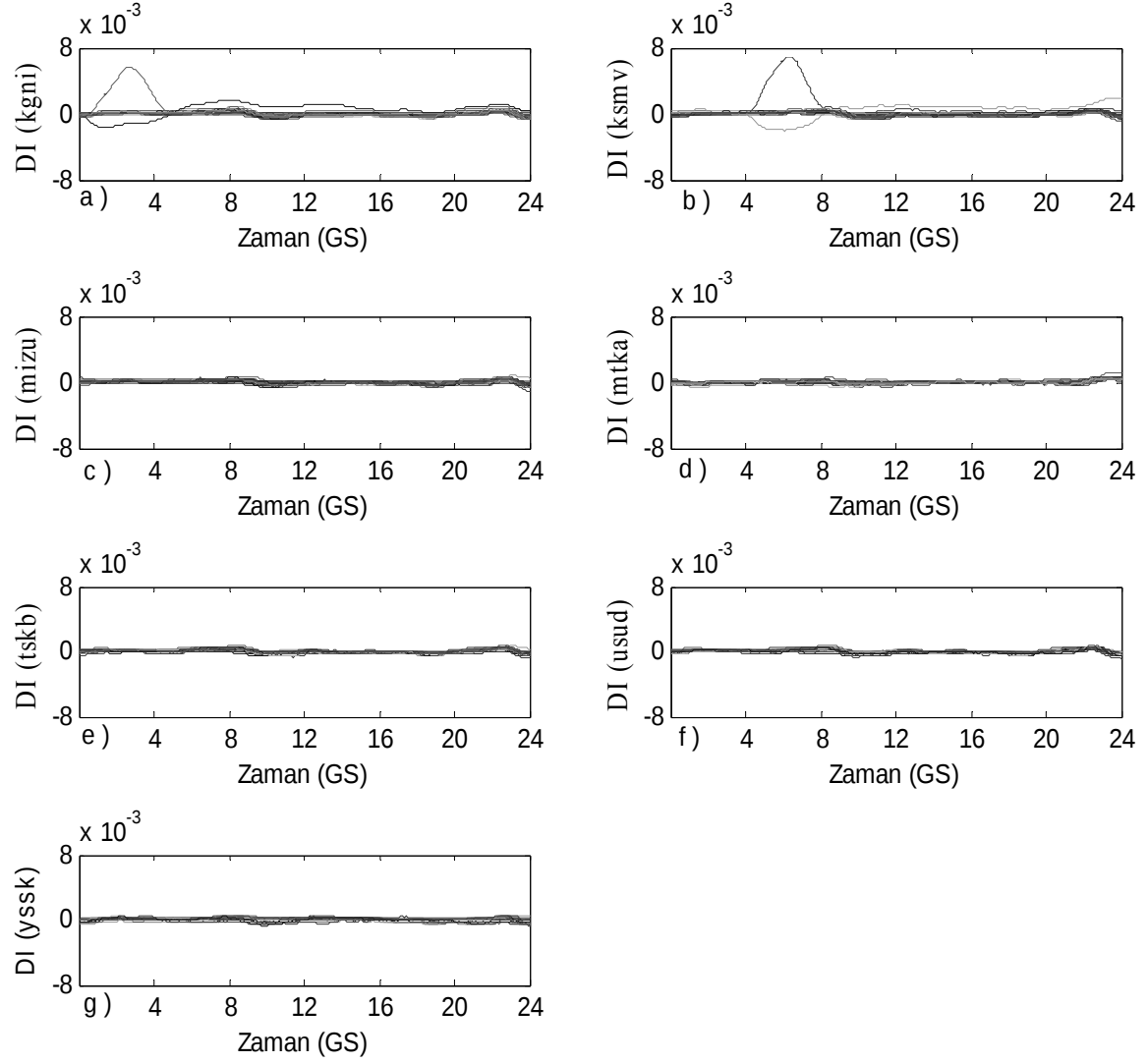
Şekil E46. 25 Eylül 2003 Hokkaido depremi için a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) yssk istasyonlarının ardışık deprem günleri arasındaki Dağılımlar Iraksaklığı değerleri.



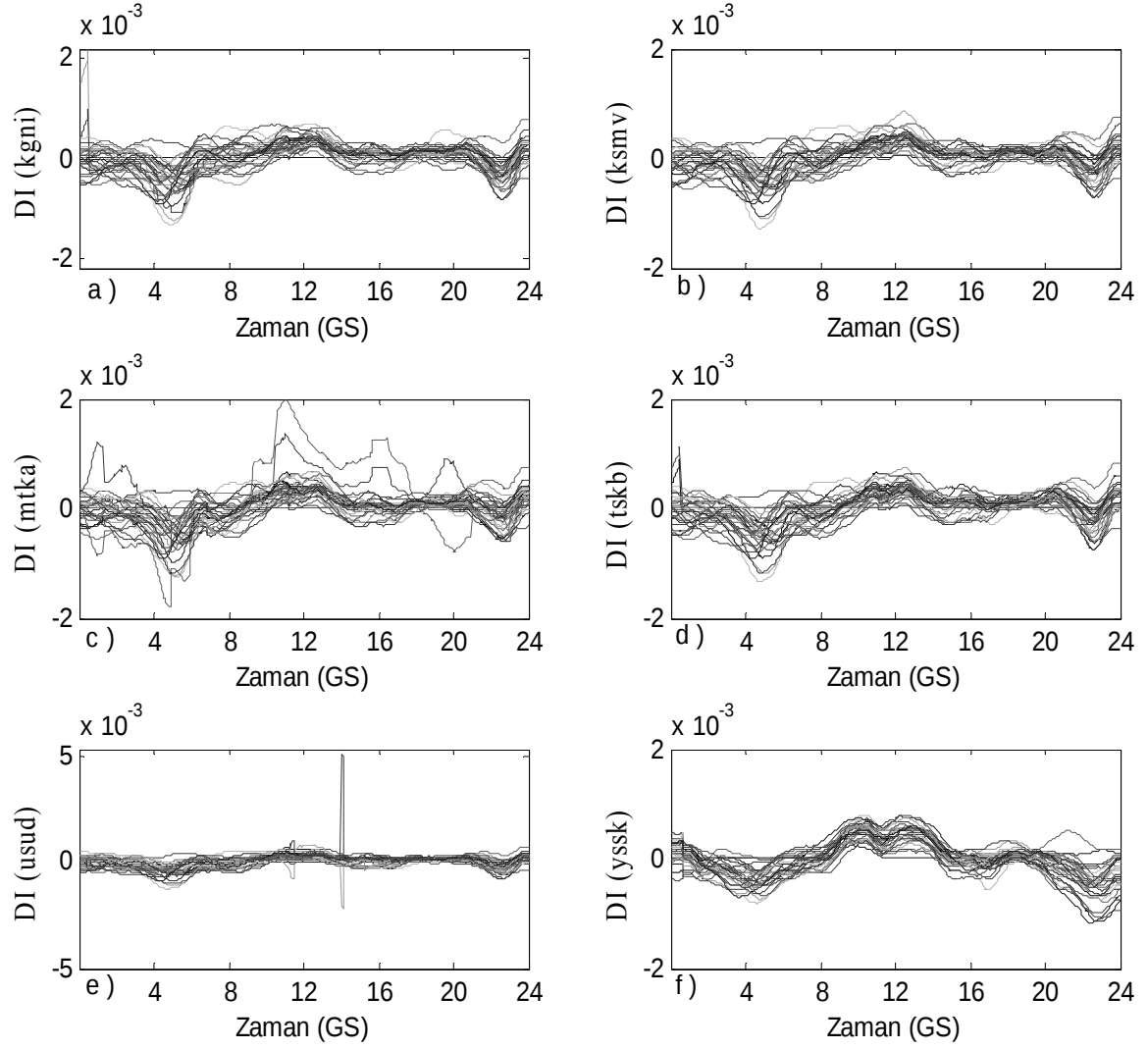
Şekil E47. 5 Eylül 2004 Honşu depremi için a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) tskb, e) usud, f) yssk istasyonlarının ardışık deprem günleri arasındaki Dağılımlar Iraksaklığı değerleri.



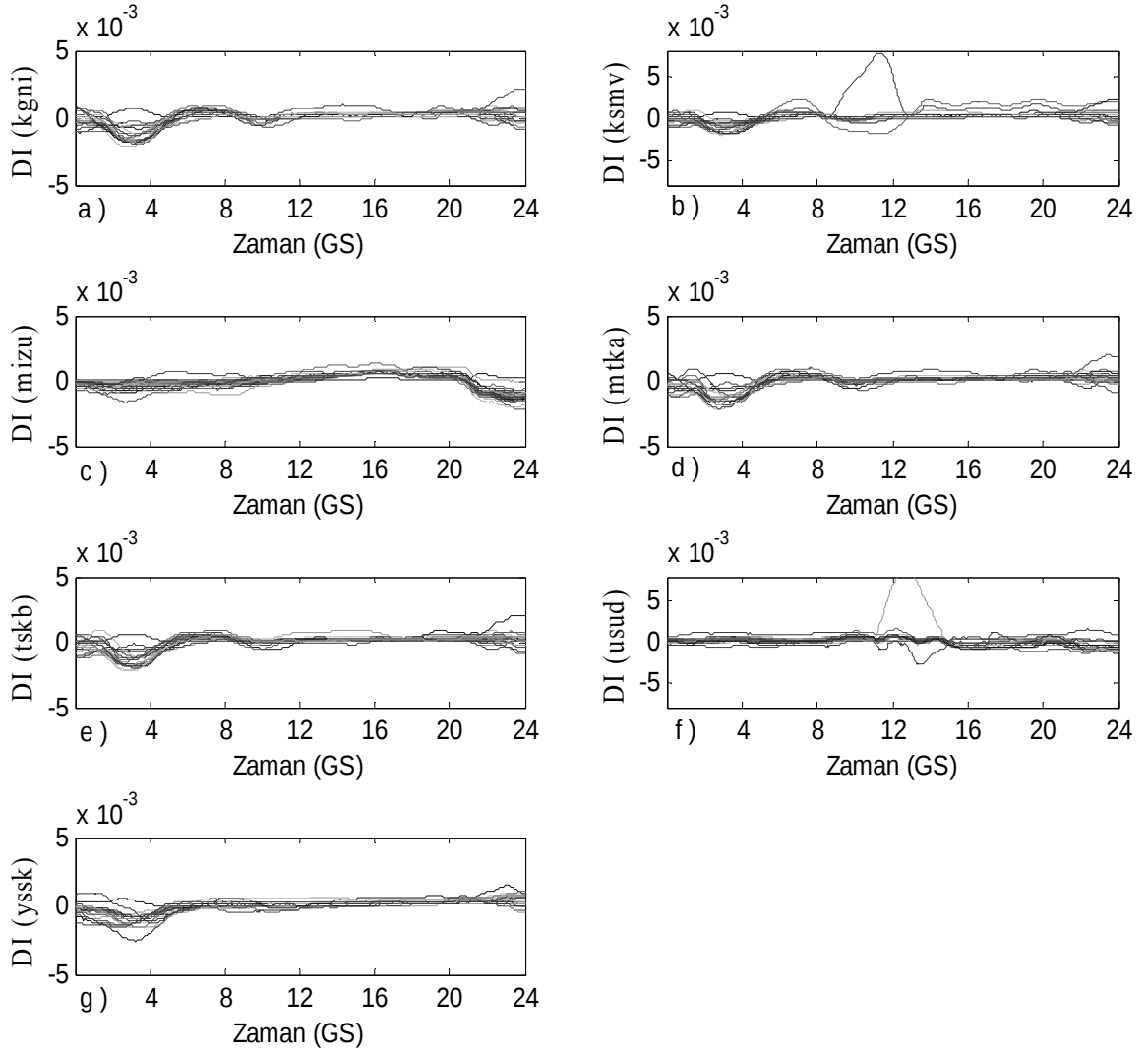
Şekil E48. 13 Haziran 2008 Honşu depremi için a) mizu, b) mtka, c) tskb, d) usud, istasyonlarının ardışık deprem günleri arasındaki Dağılımlar Iraksaklığı değerleri.



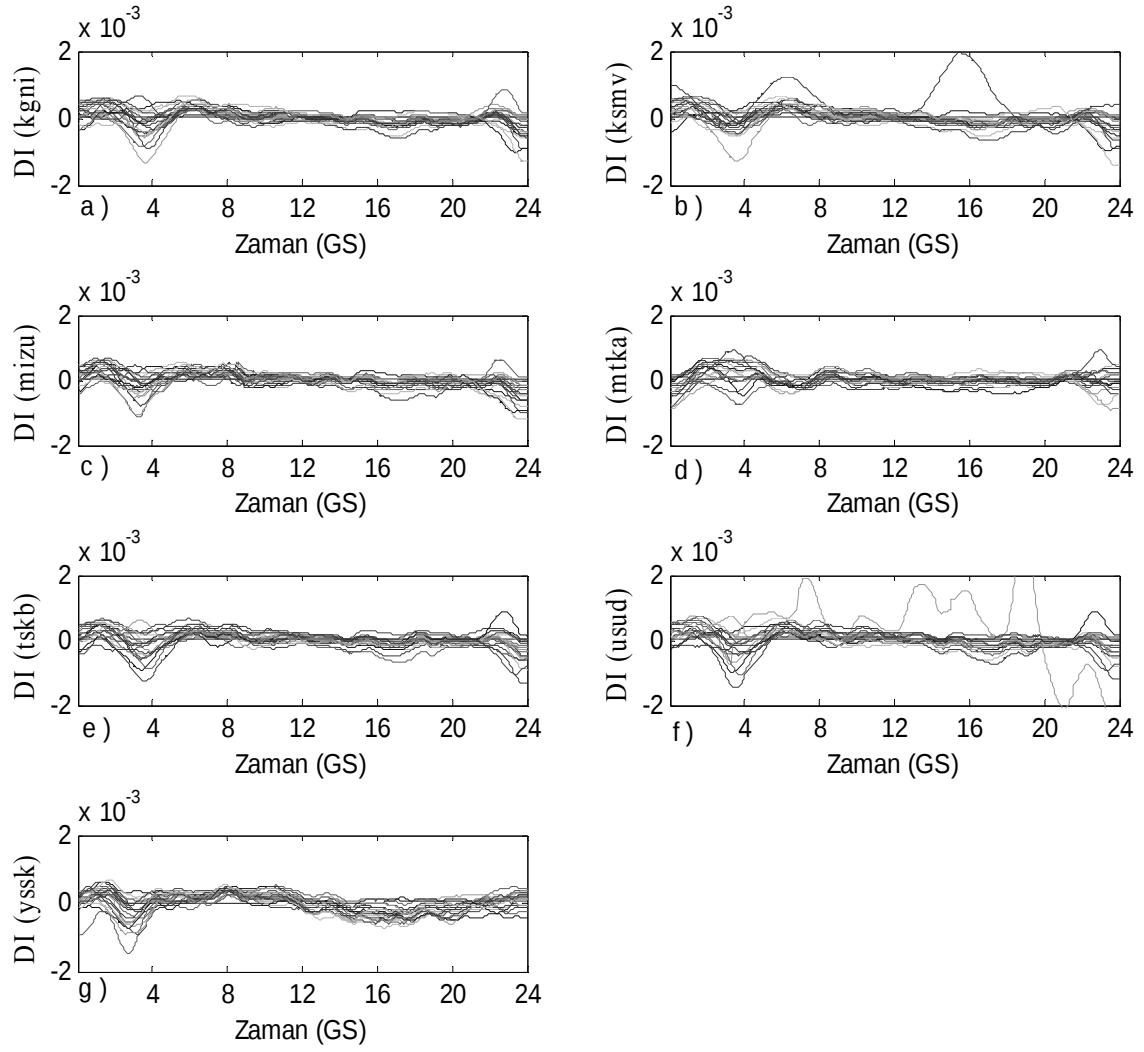
Şekil E49. 11 Haziran 2006 Kiyuşiyu depremi için a)kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) yssk istasyonlarının ardışık deprem günleri arasındaki Dağılımlar Iraksaklığı değerleri.



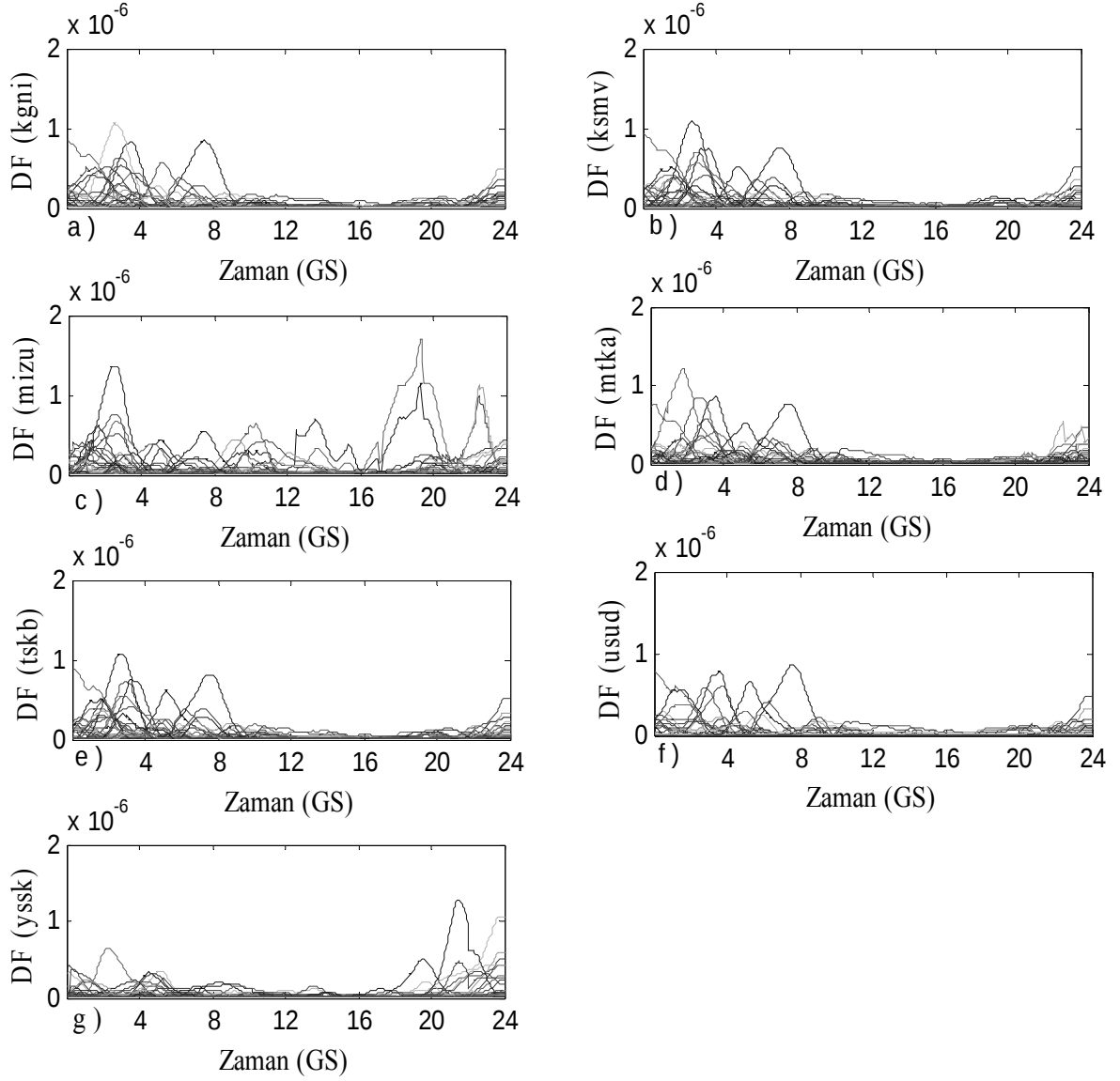
Şekil E50. 23 Temmuz 2005 Honşu depremi için a) kgni, b) ksmv, c) mtka, d) tskb, e) usud, f) yssk istasyonlarının ardışık deprem günleri arasındaki Dağılımlar Iraksaklığı değerleri.



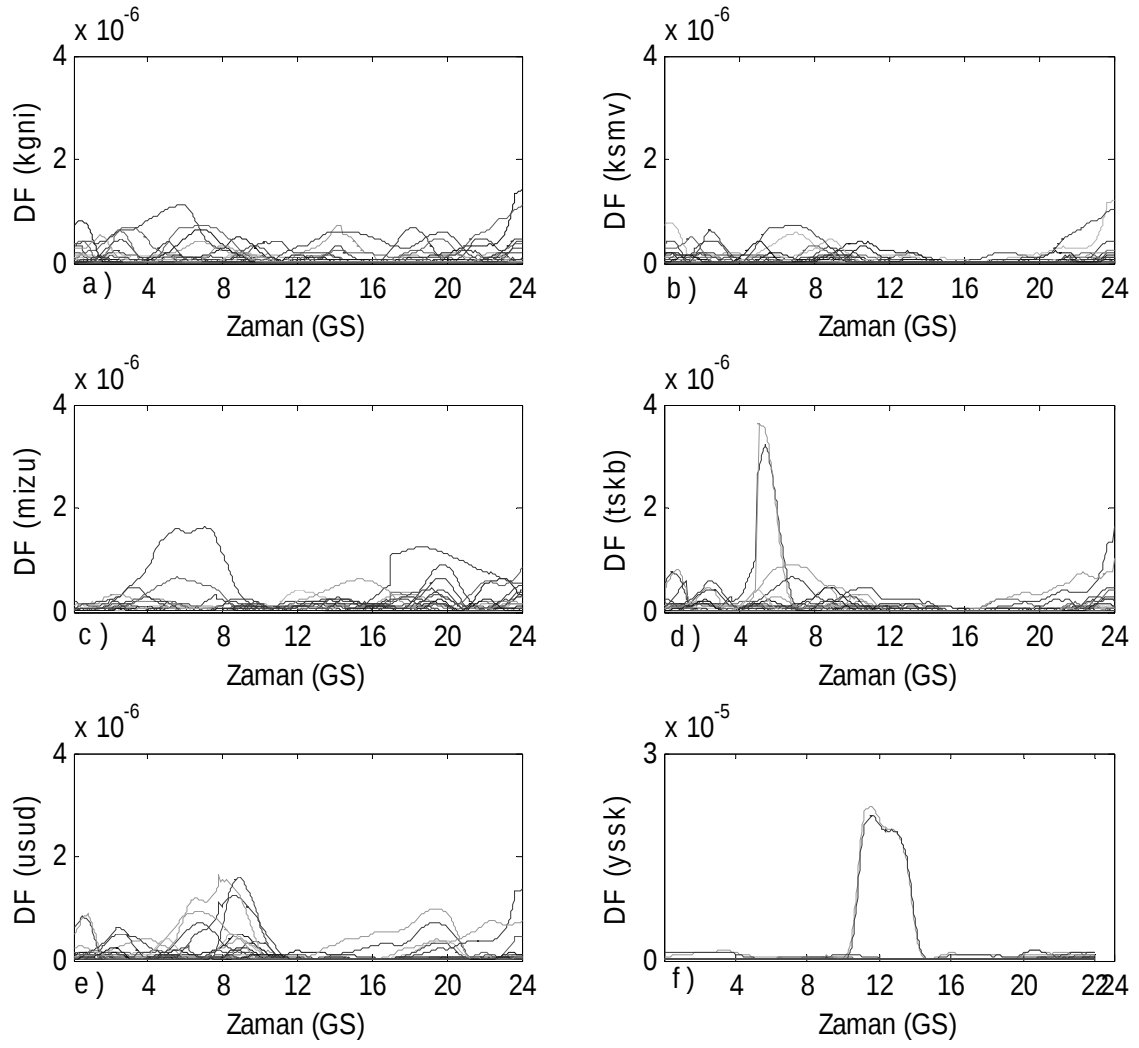
Şekil E51. İyonkürenin bozulmalı olduğu zaman aralıklarında a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) yssk istasyonlarının ardışık bozulmalı günler arasındaki Dağılımlar Iraksaklığı değerleri.



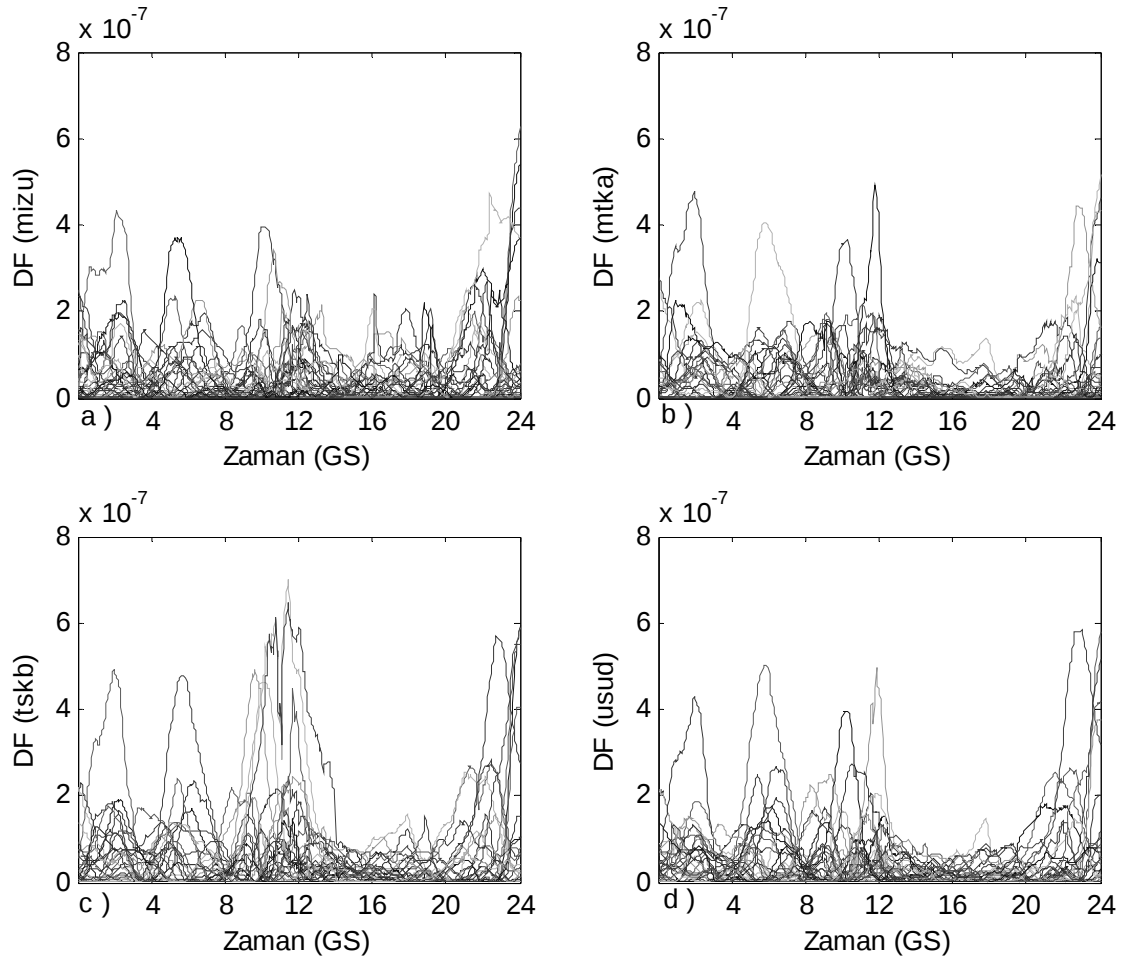
Şekil E52. İyonkürenin sakin olduğu zaman aralıklarında a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) yssk istasyonlarının ardışık sakin günler arasındaki Dağılımlar Iraksaklığı değerleri.



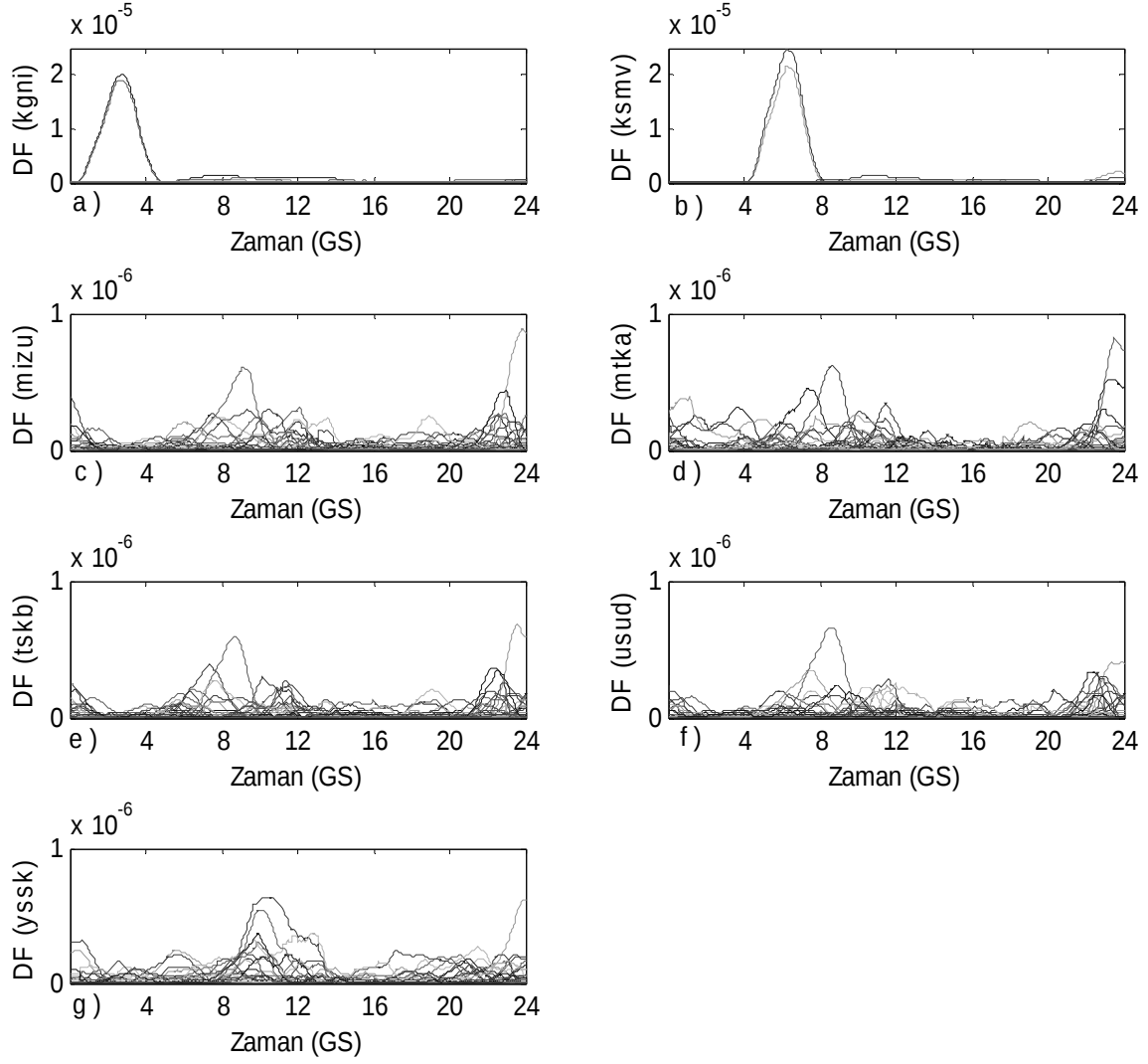
Şekil E53. 25 Eylül 2003 Hokoido depremi için a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) yssk istasyonlarının ardışık deprem günleri arasındaki Dağılımlar Farkı değerleri.



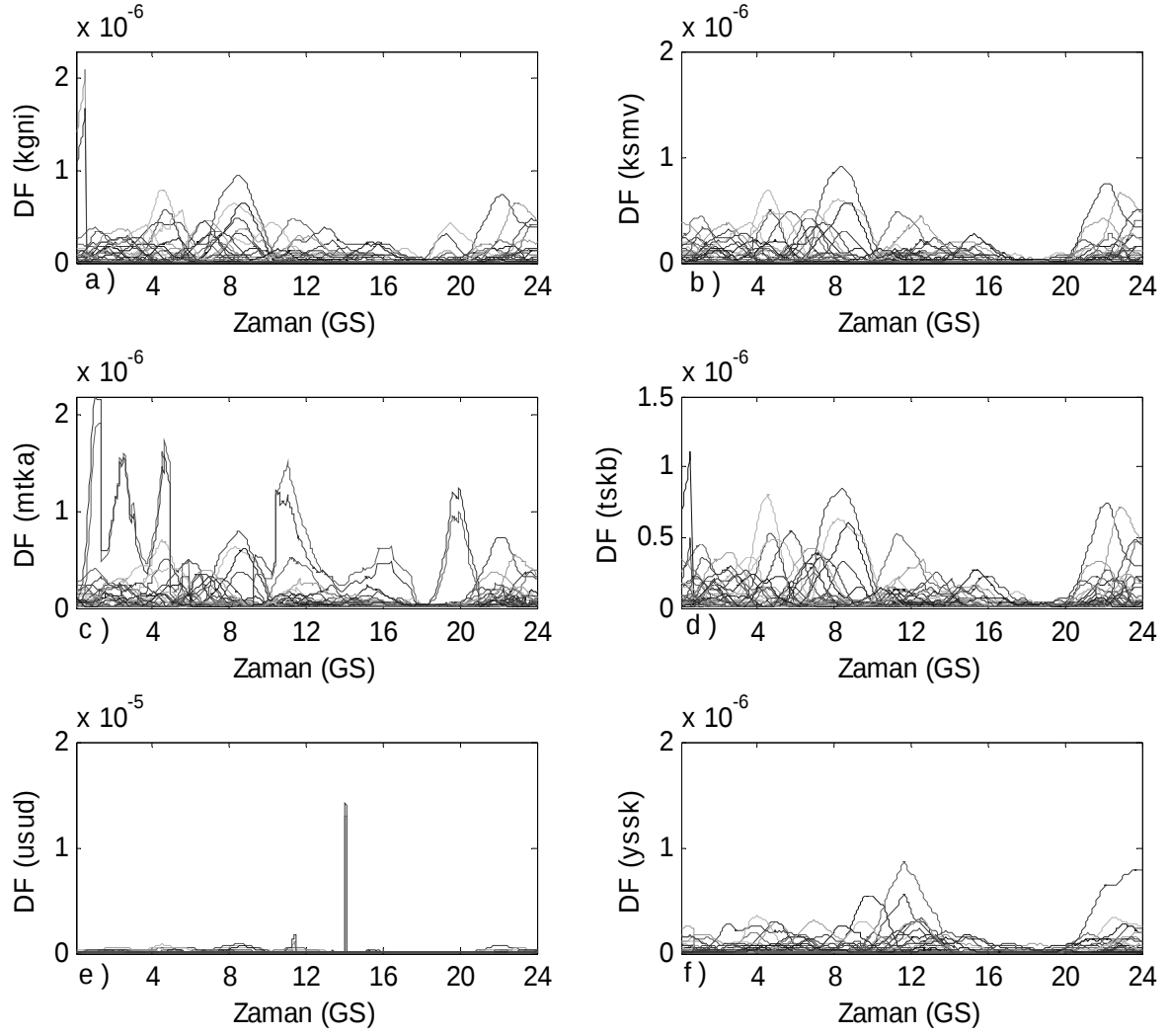
Şekil E54. 5 Eylül 2004 Honşu depremi için a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) tskb, e) usud, f) yssk istasyonlarının ardışık deprem günleri arasındaki Dağılımlar Farkı değerleri.



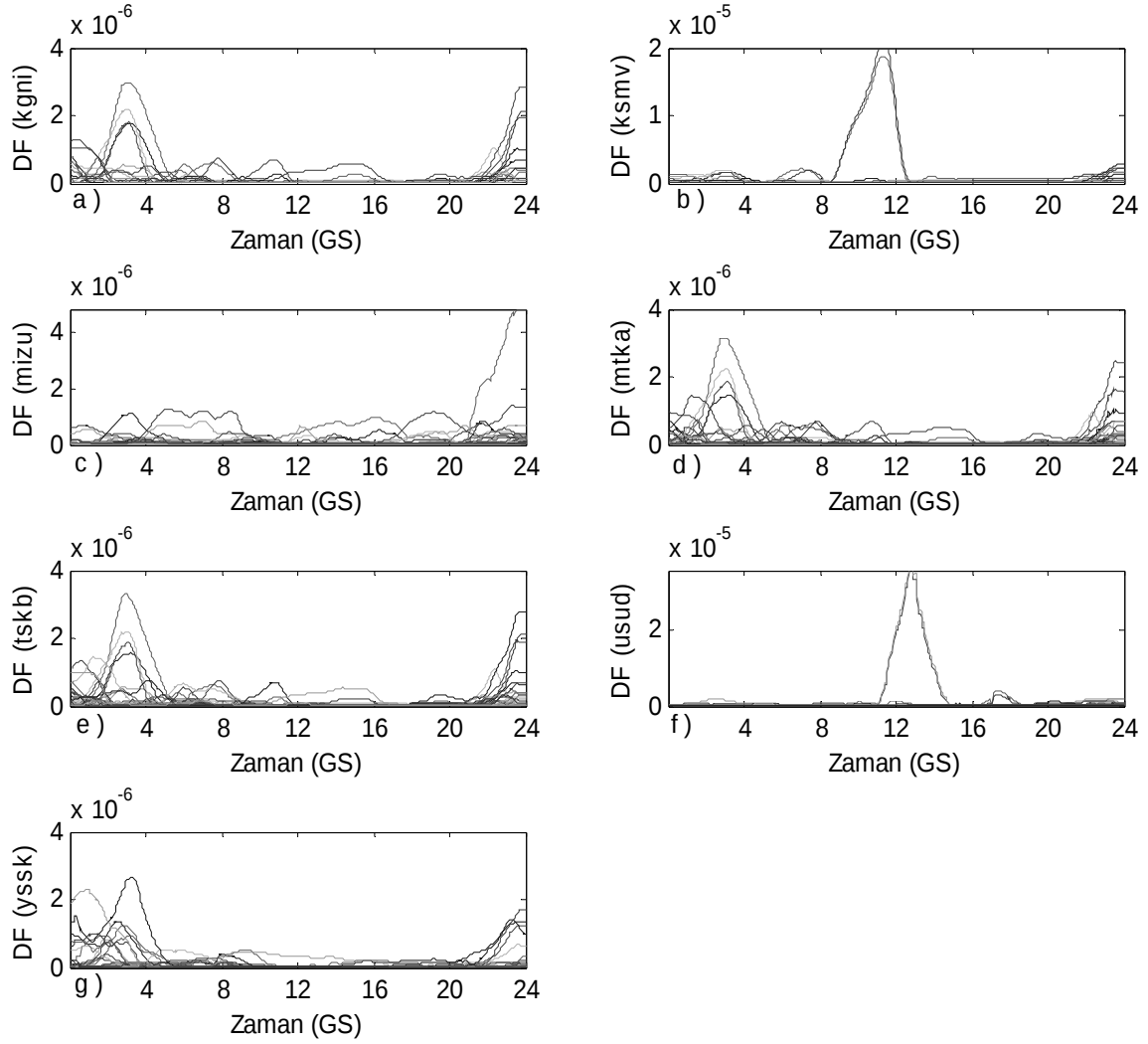
Şekil E55. 13 Haziran 2008 Honşu depremi için a) mizu, b) mtka, c) tskb, d) usud istasyonlarının ardışık deprem günleri arasındaki Dağılımlar Farkı değerleri.



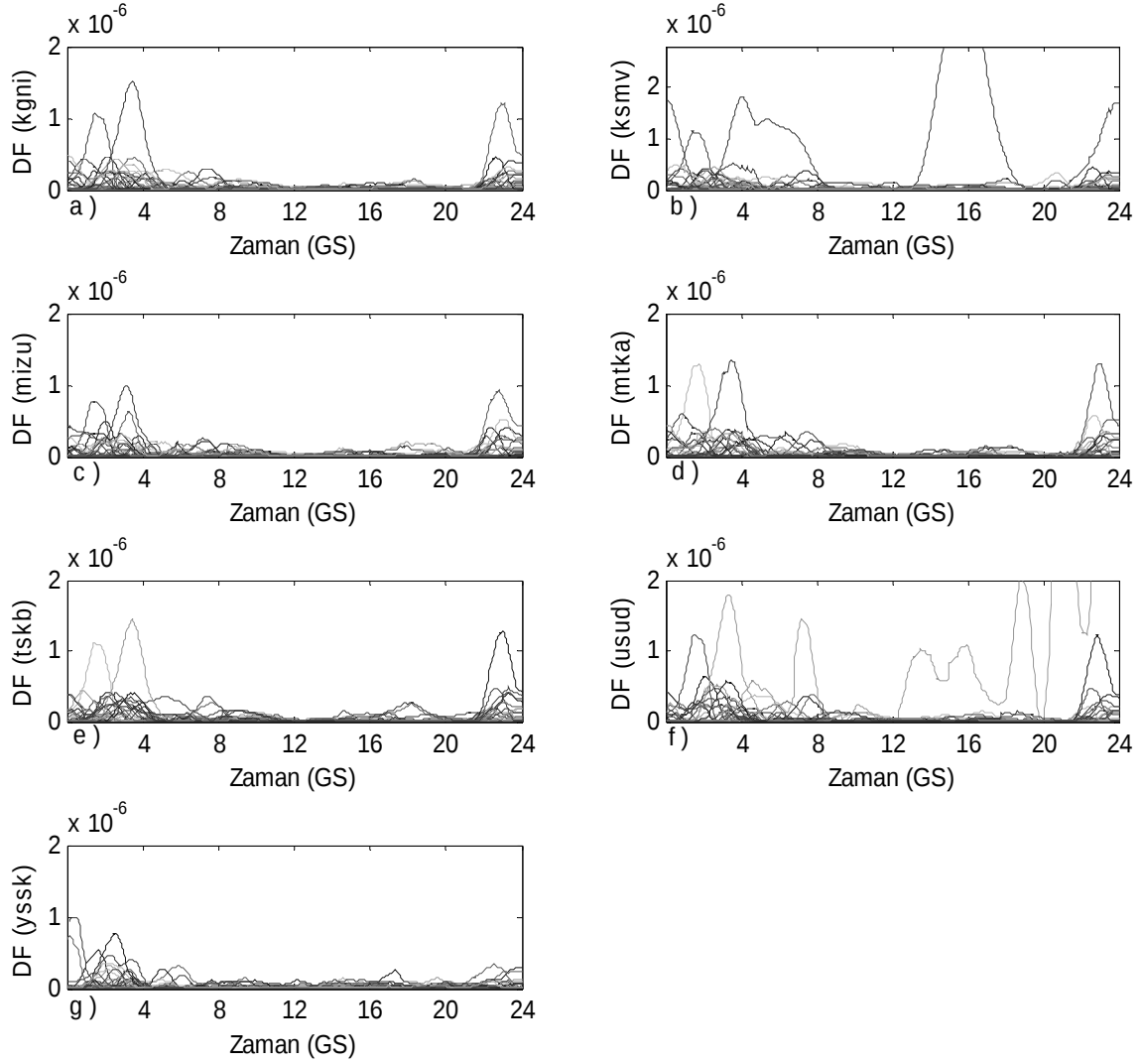
Şekil E56. 11 Haziran 2006 Kiyuşiyu depremi için a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) yssk istasyonlarının ardışık deprem günleri arasındaki Dağılımlar Farkı değerleri.



Şekil E57. 23 Temmuz 2005 Honşu depremi için a) kgni, b) ksmv, c) mtka, d) tskb, e) usud, f) yssk istasyonlarının ardışık deprem günleri arasındaki Dağılımlar Farkı değerleri.



Şekil E58. İyonkürenin bozulmalı olduğu zaman aralıklarında a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) yssk istasyonlarının ardışık bozulmalı günleri arasındaki Dağılımlar Farkı değerleri.



Şekil E59. İyonkürenin sakin olduğu zaman aralıklarında a) kgni, b) ksmv, c) mizu, d) mtka, e) tskb, f) usud, g) yssk istasyonlarının ardışık sakin günleri arasındaki Dağılımlar Farkı değerleri.

EK F: Richter Ölçeği:

Richter ölçeği, 1930 yılında, Charles Richter ile Beno Gutenberg tarafından Kaliforniya Teknoloji Enstitüsü'nde geliştirilmiştir. Richter, doktorasını teorik fizik alanında yapmış olmakla birlikte, kariyerinin geri kalan bölümünü depremleri incelemekle geçirmiştir. Richter kuvvetinin bulunmasından önce, bir depremin büyüklüğünü ölçmek son derece zordu. Depremin büyüklüğü, yerin sallanmasını insanların nasıl hissettiklerine ve binalara verdiği hasara göre ölçülmekteydi. Oysa değişik insanların depremlere değişik tepkiler verdikleri bir gerçek. Aynı şekilde bina yapım kalitesinin bir yerden diğerine farklılıklar gösterdiği de ortada. Richter bu sorunların üstesinden, depremin büyüklüğünü ölçmek için sismik kayıt cihazları (sismograflar) kullanarak gelmiştir. Depremin şiddetinin ölçülebilmesi açısından, yerin sarsılması, deprem karşısında insanların verdikleri tepkilerden ya da binalarda meydana gelen hasarlardan çok daha doğru bir ölçüdür. 1'den 9'a kadar numaralanan Richter ölçeği logaritmik bir ölçektir, yani bir depremin etkileri, ölçeğin derecesi ile birlikte artar. Ölçekteki her birlik bir artışa karşılık, yer sarsıntısında 10'un katları şeklinde artan bir büyüklük söz konusudur. Bu, 6 büyüklüğünde bir depremin, 5 büyüklüğünde bir depremin on katı daha fazla sarsıntı meydana getirdiği anlamına gelmektedir. Dolayısıyla 7 büyüklüğünde bir deprem, 5 büyüklüğünde bir depremin yarattığı sarsıntının yüz katı bir sarsıntı meydana getirir; 8 büyüklüğündeki bir deprem 5 büyüklüğündeki depremin yarattığı sarsıntının 1000 katı büyüklüğünde bir sarsıntı meydana getirir. 1 büyüklüğünde bir deprem, dışmerkezden 100 km uzaklıkta, dönemi 0.8 sn olan ve toprağın devinimlerini 2800 kere büyüten bir sismograf iğnesinin yerini 0.01 mm değiştirir. 9 büyüklüğünde deprem olağandışıdır; bu büyüklükteki tek örnek, 1755'te Lizbon'da gerçekleşen yer sarsıntısıdır [74].

Enerji ve magnitüd arasındaki logaritmik bağıntı, aşağıdaki formül gereğince tahminen elde edilebilir:

$$M = 2 + \frac{2}{3} \log_{10} W \text{ veya } W = 10^{3/2(M-2)}$$

Burada M; magnitüd ve W; eşdeğer TNT ton bazında enerjidir [75].

ÖZGEÇMİŞ

Seçil KARATAY

KİŞİSEL BİLGİLER

Doğum Tarihi: 21.03.1979

Cinsiyeti: Bayan

Medeni Durumu: Bekâr

Uyruk: TC

EĞİTİM DURUMU

Lisans: Fırat Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü (2001)
Fırat Üniversitesi Eğitim Fakültesi Öğretmenlik Sertifikası
(2001) (Pedagojik Formasyon)

Yüksek Lisans: Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (2004)
Fizik Anabilim Dalı Yüksek Enerji ve Plazma Fiziği Bilim Dalı

Y. Lisans Tezi: İyonküre Plazmasında Kış Anormalliği

Doktora: Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (Devam)
Fizik Anabilim Dalı Yüksek Enerji ve Plazma Fiziği Bilim Dalı
Hacettepe Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği
Anabilim Dalı-Eş Danışmanlık

Yabancı Dil: İngilizce

ÇALIŞMA DURUMU

- 1- Elazığ Ekol Dershane Fizik Öğretmeni (2003–2004)
- 2- Elazığ Özel Bilgem Koleji Fizik Öğretmeni (2004–2005)
- 3- Ankara Şen İkizler Eğitim Merkezi Fen Bilgisi Öğretmeni (2006- 2007)

İLETİŞİM BİLGİLERİ

e-posta: karatays@gmail.com, skaratay@firat.edu.tr

Cep Tel: (532) 760 79 63, (505) 627 16 01

Ev Adresi: Ş. Cengiz Karaca Mah. 1046. Sok. No:4/8 DİKMEN/ANKARA