

**RADYOAKTİF SERPİNTİ SEVİYELERİNİN
BELİRLENMESİ İÇİN
BİR RİSK ANALİZ METODU**

Ahmet BİLİCİ

**Yüksek Lisans Tezi
Fizik Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Fatih KÜLAHÇI
KASIM-2012**

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

**RADYOAKTİF SERPİNTİ SEVİYELERİNİN BELİRLENMESİ İÇİN BİR RİSK
ANALİZ METODU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AHMET BİLİCİ

Anabilim Dalı: Fizik

Programı: Nükleer Fizik

Danışman: Doç. Dr. Fatih KÜLAHCI

KASIM-2012

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

**RADYOAKTİF SERPİNTİ SEVİYELERİNİN BELİRLENMESİ İÇİN BİR RİSK
ANALİZ METODU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AHMET BİLİCİ

(101114102)

Anabilim Dalı: Fizik

Programı: Nükleer Fizik

Danışman: Doç. Dr. Fatih KÜLAHCI

KASIM-2012

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

RADYOAKTİF SERPİNTİ SEVİYELERİNİN BELİRLENMESİ İÇİN BİR RİSK
ANALİZ METODU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ahmet BİLİCİ

(101114102)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 14.11.2012

Tezin Savunulduğu Tarih: 29.11.2012

Tez Danışmanı :

Doç. Dr. Fatih KÜLAHCI (F.Ü.)



Diğer Jüri Üyeleri :

Doç. Dr. Sinan AKPINAR (F.Ü.)



Doç. Dr. Oktay BAYKARA (F.Ü.)



KASIM-2012

ÖNSÖZ

Bu çalışmada, 11 Mart 2011 günü Fukushima Dai Ichi nükleer güç santrali kazası sonrası açığa çıkan ^{131}I radyoizotopunun topraktaki aktivite değerleri için bir risk analizi metodu verilmiştir. 1. Bölümde literatür taraması yapılmıştır, 2. Bölümde gerekli materyal ve metotlar hakkında bilgiler verilmiştir, 3. Bölümde sonuçlar elde edilip yorumlanmıştır ve 4. Bölümde ileride yapılabilecek çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.

Öncelikle bu çalışmanın en başından itibaren her aşamasında ilgi ve önerileri ile yol gösteren, maddi ve manevi desteğini esirgemeyen danışman hocam Doç. Dr. Fatih KÜLAHCI'ya içtenlikle teşekkür ederim. Çalışmalarım esnasında bana maddi-manevi destek olan aileme, özellikle ablam Tuba BİLİCİ'ye teşekkür ederim. Verileri düzenlememde ve diğer çalışmalarımda bana yardımcı olan arkadaşlarım Arş. Gör. Seçil NİKSARLIOĞLU, Şerif ÇİÇEK, Sevim KARAMAN ve Miraç KAMIŞLIOĞLU'na teşekkür ederim.

Bu çalışmayı FÜBAP-FF.12.25 projesi olarak destekleyen Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine teşekkür ederim.

Ahmet BİLİCİ

ELAZIĞ-2012

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
İÇİNDEKİLER	IV
ÖZET.....	VI
SUMMARY.....	VII
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	VIII
TABLolar LİSTESİ.....	XII
KISALTMALAR LİSTESİ.....	XV
SEMBOLLER LİSTESİ.....	XVI
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Radyasyon ve Radyoaktivite.....	2
1.2. Radyoaktif Bozunum Kanunu.....	3
1.3. Nükleer Güç Santrali Kazaları	5
1.3.1. Three Miles Island (TMI) Nükleer Güç Santrali Kazası.....	8
1.3.2. Çernobil Nükleer Güç Santrali Kazası.....	8
1.3.3. Fukushima Dai-Ichi Nükleer Güç Santrali Kazası.....	9
2. MATERYAL ve METOT	12
2.1. ¹³¹ I Radyoizotopu	12
2.2. Kriging Metodu.....	14
2.3. En Küçük Kareler Metodu	14
2.4. Risk Analizi.....	15
2.5. Genelleştirilmiş Uç-Değer Dağılımı	17
2.6. Lognormal Dağılımı.....	18
2.7. Weibull Dağılımı.....	19

3. SONUÇLAR ve TARTIŞMA.....	20
3.1. En Küçük Kareler Metodu Sonuçları	20
3.2. Risk Analizi Sonuçları	25
3.3. Kriging Metodu Sonuçları	29
3.4. Genel Sonuç	33
4. ÖNERİLER.....	34
KAYNAKLAR.....	35
EKLER.....	41
EK 1	42
EK 2	59
EK 3	69
EK 4	75
EK 5	86
EK 6	92
EK 7	98
EK 8	104
ÖZGEÇMİŞ.....	110

ÖZET

Nükleer reaktör kazaları ve bunların sonuçları çevresel sistemler için çok büyük bir tehdittir. 11 Mart 2011’de, Fukushima Dai-Ichi nükleer santralinde meydana gelen kaza sonrası açığa çıkan çeşitli radyoizotoplar havada, suda ve toprakta birikmiştir. Bu çalışmada; Fukushima reaktör kazasından sonra, meydana gelen radyoaktif serpinti için bir risk analizi yapılmıştır. Metodolojinin uygulaması, kaza alanındaki toprak örneklerinde ^{131}I radyoizotopu için yapılmıştır. Risk analizi için bilgisayar programları yazılmış ve ^{131}I için ihtimal dağılım fonksiyonları oluşturulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Risk analizi; Dağılım fonksiyonları; Radyoaktif Atıklar; En Küçük Kareler Metodu.

Bu tez, FÜBAP (proje no: FF.12.25) tarafından desteklenmiştir.

SUMMARY

Nuclear reactor accidents and the results of them are a great threat for the environmental system. The various radionuclides, which had occurred after the accident in Fukushima Dai-Ichi Nuclear Central on March 11 2011, have precipitated in air, soil and water. In this study, a risk analysis model is proposed for the radioactive fallout which had occurred after the nuclear accident in Fukushima. Methodology is applied for ^{131}I radionuclide in the type of the soils in the accident area. A computer program for the risk analysis is written, and the probability distribution functions are obtained for ^{131}I data.

Key Words: Risk Analysis; Distribution Functions; Radioactive Waste; Least Squares Method.

This thesis is supported by FÜBAP (The contract number is FF.12.25).

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1 Fukushima Dai Ichi, Japonya sınırları içindeki ve komşu ülkelerde bulunan NGSler.....	9
Şekil 3.1 3 nolu istasyon için aktivitenin zamana karşı grafiği.....	24
Şekil 3.2 240. saatteki aktiviteye karşı risk grafiği	27
Şekil 3.3 240. saatteki aktivite haritası.....	29
Şekil 3.4 240. saatteki, aktivite değerlerine karşılık gelen Genelleştirilmiş Uç-Değer dağılımına göre risk değerleri için harita	31
Şekil 3.5 240. saatteki, aktivite değerlerine karşılık gelen Genelleştirilmiş Uç-Değer dağılımına göre çevresel risk değerleri için harita	32
Ek-2 Şekil 1 1. istasyon için zamana karşı, ölçülen aktivite değerleri ve EKKM ile elde edilen eğri grafiği	60
Ek-2 Şekil 2 2. istasyon için zamana karşı, ölçülen aktivite değerleri ve EKKM ile elde edilen eğri grafiği	60
Ek-2 Şekil 3 4. istasyon için zamana karşı, ölçülen aktivite değerleri ve EKKM ile elde edilen eğri grafiği	61
Ek-2 Şekil 4 5. istasyon için zamana karşı, ölçülen aktivite değerleri ve EKKM ile elde edilen eğri grafiği	61
Ek-2 Şekil 5 6. istasyon için zamana karşı, ölçülen aktivite değerleri ve EKKM ile elde edilen eğri grafiği	62
Ek-2 Şekil 6 7. istasyon için zamana karşı, ölçülen aktivite değerleri ve EKKM ile elde edilen eğri grafiği	62
Ek-2 Şekil 7 8. istasyon için zamana karşı, ölçülen aktivite değerleri ve EKKM ile elde edilen eğri grafiği	63
Ek-2 Şekil 8 9. istasyon için zamana karşı, ölçülen aktivite değerleri ve EKKM ile elde edilen eğri grafiği	63
Ek-2 Şekil 9 10. istasyon için zamana karşı, ölçülen aktivite değerleri ve EKKM ile elde edilen eğri grafiği	64

Ek-2 Şekil 10 11. istasyon için zamana karşı, ölçülen aktivite değerleri ve EKKM ile elde edilen eğri	64
Ek-2 Şekil 11 12. istasyon için zamana karşı, ölçülen aktivite değerleri ve EKKM ile elde edilen eğri	65
Ek-2 Şekil 12 13. istasyon için zamana karşı, ölçülen aktivite değerleri ve EKKM ile elde edilen eğri	65
Ek-2 Şekil 13 14. istasyon için zamana karşı, ölçülen aktivite değerleri ve EKKM ile elde edilen eğri	66
Ek-2 Şekil 14 15. istasyon için zamana karşı, ölçülen aktivite değerleri ve EKKM ile elde edilen eğri	66
Ek-2 Şekil 15 16. istasyon için zamana karşı, ölçülen aktivite değerleri ve EKKM ile elde edilen eğri	67
Ek-2 Şekil 16 17. istasyon için zamana karşı, ölçülen aktivite değerleri ve EKKM ile elde edilen eğri	67
Ek-2 Şekil 17 18. istasyon için zamana karşı, ölçülen aktivite değerleri ve EKKM ile elde edilen eğri	68
Ek-2 Şekil 18 19. istasyon için zamana karşı, ölçülen aktivite değerleri ve EKKM ile elde edilen eğri	68
Ek-3 Şekil 1 360. saatteki aktivite haritası	70
Ek-3 Şekil 2 480. saatteki aktivite haritası	70
Ek-3 Şekil 3 600. saatteki aktivite haritası	71
Ek-3 Şekil 4 720. saatteki aktivite haritası	71
Ek-3 Şekil 5 840. saatteki aktivite haritası	72
Ek-3 Şekil 6 960. saatteki aktivite haritası	72
Ek-3 Şekil 7 1080. saatteki aktivite haritası	73
Ek-3 Şekil 8 1200. saatteki aktivite haritası	73
Ek-3 Şekil 9 1320. saatteki aktivite haritası	74
Ek-3 Şekil 10 1440. saatteki aktivite haritası	74
Ek-5 Şekil 1 360. saatteki aktiviteye karşı risk grafiği	87
Ek-5 Şekil 2 480. saatteki aktiviteye karşı risk grafiği	87
Ek-5 Şekil 3 600. saatteki aktiviteye karşı risk grafiği	88

Ek-5 Şekil 4 720. saatteki aktiviteye karşı risk grafiği	88
Ek-5 Şekil 5 840. saatteki aktiviteye karşı risk grafiği	89
Ek-5 Şekil 6 960. saatteki aktiviteye karşı risk grafiği	89
Ek-5 Şekil 7 1080. saatteki aktiviteye karşı risk grafiği	90
Ek-5 Şekil 8 1200. saatteki aktiviteye karşı risk grafiği	90
Ek-5 Şekil 9 1320. saatteki aktiviteye karşı risk grafiği	91
Ek-5 Şekil 10 1440. saatteki aktiviteye karşı risk grafiği	91
Ek-6 Şekil 1 360. saatteki, aktivite değerlerine karşılık gelen Genelleştirilmiş Uç- Değer dağılımına göre risk değerleri için harita	93
Ek-6 Şekil 2 480. saatteki, aktivite değerlerine karşılık gelen Genelleştirilmiş Uç- Değer dağılımına göre risk değerleri için harita	93
Ek-6 Şekil 3 600. saatteki, aktivite değerlerine karşılık gelen Genelleştirilmiş Uç- Değer dağılımına göre risk değerleri için harita	94
Ek-6 Şekil 4 720. saatteki, aktivite değerlerine karşılık gelen Genelleştirilmiş Uç- Değer dağılımına göre risk değerleri için harita	94
Ek-6 Şekil 5 840. saatteki, aktivite değerlerine karşılık gelen Genelleştirilmiş Uç- Değer dağılımına göre risk değerleri için harita	95
Ek-6 Şekil 6 960. saatteki, aktivite değerlerine karşılık gelen Genelleştirilmiş Uç- Değer dağılımına göre risk değerleri için harita	95
Ek-6 Şekil 7 1080. saatteki, aktivite değerlerine karşılık gelen Genelleştirilmiş Uç- Değer dağılımına göre risk değerleri için harita	96
Ek-6 Şekil 8 1200. saatteki, aktivite değerlerine karşılık gelen Genelleştirilmiş Uç- Değer dağılımına göre risk değerleri için harita	96
Ek-6 Şekil 9 1320. saatteki, aktivite değerlerine karşılık gelen Genelleştirilmiş Uç- Değer dağılımına göre risk değerleri için harita	97
Ek-6 Şekil 10 1440. saatteki, aktivite değerlerine karşılık gelen Genelleştirilmiş Uç- Değer dağılımına göre risk değerleri için harita	97
Ek-8 Şekil 1 360. saatteki, aktivite değerlerine karşılık gelen Genelleştirilmiş Uç- Değer dağılımına göre çevresel risk değerleri için harita	105
Ek-8 Şekil 2 480. saatteki, aktivite değerlerine karşılık gelen Genelleştirilmiş Uç- Değer dağılımına göre çevresel risk değerleri için harita	105

Ek-8 Şekil 3 600. saatteki, aktivite değerlerine karşılık gelen Genelleştirilmiş Uç- Değer dağılımına göre çevresel risk değerleri için harita	106
Ek-8 Şekil 4 720. saatteki, aktivite değerlerine karşılık gelen Genelleştirilmiş Uç- Değer dağılımına göre çevresel risk değerleri için harita	106
Ek-8 Şekil 5 840. saatteki, aktivite değerlerine karşılık gelen Genelleştirilmiş Uç- Değer dağılımına göre çevresel risk değerleri için harita	107
Ek-8 Şekil 6 960. saatteki, aktivite değerlerine karşılık gelen Genelleştirilmiş Uç- Değer dağılımına göre çevresel risk değerleri için harita	107
Ek-8 Şekil 7 1080. saatteki, aktivite değerlerine karşılık gelen Genelleştirilmiş Uç- Değer dağılımına göre çevresel risk değerleri için harita	108
Ek-8 Şekil 8 1200. saatteki, aktivite değerlerine karşılık gelen Genelleştirilmiş Uç- Değer dağılımına göre çevresel risk değerleri için harita	108
Ek-8 Şekil 9 1320. saatteki, aktivite değerlerine karşılık gelen Genelleştirilmiş Uç- Değer dağılımına göre çevresel risk değerleri için harita	109
Ek-8 Şekil 10 1440. saatteki, aktivite değerlerine karşılık gelen Genelleştirilmiş Uç- Değer dağılımına göre çevresel risk değerleri için harita	109

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 1.1 INES seviyeleri ve genel olarak tanımları	6
Tablo 1.2 Tarihte meydana gelen reaktör kazaları.....	7
Tablo 2.1 ¹³¹ I Radyoizotopu için verilen bazı bilgiler	12
Tablo 2.2 Ölçümlerin alındığı istasyonlar için bazı bilgiler	13
Tablo 3.1 En küçük kareler metodu ile elde edilen katsayılar	21
Tablo 3.2 3 nolu istasyon için zamana karşı ölçülen ve hesaplanan aktivite değerleri	23
Tablo 3.3 240. saatteki risk ve çevresel risk değerleri	25
Tablo 3.4 Saatlere göre dağılım fonksiyonlarının parametreleri	26
Tablo 3.5 Dağılımların korelasyon katsayılarının karesi (R^2)	27
Tablo 3.6 240. saatteki, genelleştirilmiş Uç-Değer dağılımına göre risk ve çevresel risk değerleri.....	28
Ek-1 Tablo 1 1nolu istasyon için zamana karşı ölçülen ve hesaplanan aktivite değerleri	43
Ek-1 Tablo 2 2nolu istasyon için zamana karşı ölçülen ve hesaplanan aktivite değerleri	44
Ek-1 Tablo 3 4nolu istasyon için zamana karşı ölçülen ve hesaplanan aktivite değerleri	45
Ek-1 Tablo 4 5nolu istasyon için zamana karşı ölçülen ve hesaplanan aktivite değerleri	46
Ek-1 Tablo 5 6nolu istasyon için zamana karşı ölçülen ve hesaplanan aktivite değerleri	47
Ek-1 Tablo 6 7nolu istasyon için zamana karşı ölçülen ve hesaplanan aktivite değerleri	47
Ek-1 Tablo 7 8 nolu istasyon için zamana karşı ölçülen ve hesaplanan aktivite değerleri.....	48
Ek-1 Tablo 8 9 nolu istasyon için zamana karşı ölçülen ve hesaplanan aktivite değerleri.....	49

Ek-1 Tablo 9 10 nolu istasyon için zamana karşı ölçülen ve hesaplanan aktivite değerleri.....	50
Ek-1 Tablo 10 11 nolu istasyon için zamana karşı ölçülen ve hesaplanan aktivite değerleri.....	50
Ek-1 Tablo 11 12 nolu istasyon için zamana karşı ölçülen ve hesaplanan aktivite değerleri.....	51
Ek-1 Tablo 12 13 nolu istasyon için zamana karşı ölçülen ve hesaplanan aktivite değerleri.....	52
Ek-1 Tablo 13 14 nolu istasyon için zamana karşı ölçülen ve hesaplanan aktivite değerleri.....	53
Ek-1 Tablo 14 15 nolu istasyon için zamana karşı ölçülen ve hesaplanan aktivite değerleri.....	54
Ek-1 Tablo 15 16 nolu istasyon için zamana karşı ölçülen ve hesaplanan aktivite değerleri.....	55
Ek-1 Tablo 16 17 nolu istasyon için zamana karşı ölçülen ve hesaplanan aktivite değerleri.....	56
Ek-1 Tablo 17 18 nolu istasyon için zamana karşı ölçülen ve hesaplanan aktivite değerleri.....	57
Ek-1 Tablo 18 19 nolu istasyon için zamana karşı ölçülen ve hesaplanan aktivite değerleri.....	58
Ek-4 Tablo 1 360. saatteki risk ve çevresel risk değerleri	76
Ek-4 Tablo 2 480. saatteki risk ve çevresel risk değerleri	77
Ek-4 Tablo 3 600. saatteki risk ve çevresel risk değerleri	78
Ek-4 Tablo 4 720. saatteki risk ve çevresel risk değerleri	79
Ek-4 Tablo 5 840. saatteki risk ve çevresel risk değerleri	80
Ek-4 Tablo 6 960. saatteki risk ve çevresel risk değerleri	81
Ek-4 Tablo 7 1080. saatteki risk ve çevresel risk değerleri	82
Ek-4 Tablo 8 1200. saatteki risk ve çevresel risk değerleri	83
Ek-4 Tablo 9 1320. saatteki risk ve çevresel risk değerleri	84
Ek-4 Tablo 10 1440. saatteki risk ve çevresel risk değerleri	85

Ek-7 Tablo 1 360. ve 480. saatlerdeki Genelleştirilmiş Uç-Değer dağılımına göre risk ve çevresel risk değerleri	99
Ek-7 Tablo 2 600. ve 720. saatlerdeki Genelleştirilmiş Uç-Değer dağılımına göre risk ve çevresel risk değerleri	100
Ek-7 Tablo 3 840. ve 960. saatlerdeki Genelleştirilmiş Uç-Değer dağılımına göre risk ve çevresel risk değerleri	101
Ek-7 Tablo 4 1080. ve 1200. saatlerdeki Genelleştirilmiş Uç-Değer dağılımına göre risk ve çevresel risk değerleri	102
Ek-7 Tablo 5 1320. ve 1440. saatlerdeki Genelleştirilmiş Uç-Değer dağılımına göre risk ve çevresel risk değerleri	103

KISALTMALAR LİSTESİ

NGS	: Nükleer Güç Santrali
IAEA	: Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu
FDINGS	: Fukushima Dai-Ichi Nükleer Güç Santrali
INES	: Uluslararası Nükleer ve Radyolojik Olay Ölçeği
NISA	:Nükleer ve Endüstriyel Güvenlik Ajansı
TEPCO	: Tokyo Elektrik Enerjisi Şirketi
MEXT	: Japonya Eğitim, Kültür, Spor, Bilim ve Teknoloji Bakanlığı
EKKM	:En Küçük Kareler Metodu

SEMBOLLER LİSTESİ

λ	: Radyoaktif bozunum sabiti
$t_{1/2}$	: Radyoaktif yarı-ömür
t	: Zaman parametresi
N_0	: Başlangıçtaki radyoaktif çekirdek sayısı
$N(t)$	: t zamanındaki radyoaktif çekirdek sayısı
$N_r(t)$	: r. radyoaktif çekirdeğin t zamanındaki çekirdek sayısı
$N_n(t)$	: Kararlı çekirdeğin t zamanındaki çekirdek sayısı
A_0	: Başlangıçtaki aktivite
$A(t)$	: t zamanındaki aktivite
x_i	: i . bağımsız parametre
$f(x_i)$	: i . bağımlı parametre
$g(x)$	: Teorik eğri
ε_i	: i . hata
E	: Hataların toplamının karesi
a_i	: i . katsayı
x_0	: Tahmin noktası

$w_i(x_o)$	: Tahmin noktası için i . istasyondan gelen katkıyı gösteren ağırlık değeri
G	: Güven
R	: Risk
s	: Tüm durumlar toplamı
g	: Çevresel risk oranı
r	: Risk oranı
m	: Mertebe
g_{eb}	: En büyük aktivite değeri için çevresel risk
m_{eb}	: En büyük aktivite değeri için mertebe
A	: Aktivite olayı
$P(A)$	: A olayının görülme ihtimali
A_k	: Küçük aktivite değeri olayı
A_b	: Büyük aktivite değeri olayı
α	: Weibull dağılımı için skala parametresi
β	: Weibull dağılımı için şekil parametresi
μ	: Lognormal ve Genelleştirilmiş Uç-Değer dağılımı için konum parametresi
σ	: Lognormal ve Genelleştirilmiş Uç-Değer dağılımı için skala parametresi
k	: Genelleştirilmiş Uç-Değer dağılımı için şekil parametresi

$f(x|k, \mu, \sigma)$: Genelleştirilmiş Uç-Değer dağılım fonksiyonu

$F(x|k, \mu, \sigma)$: Genelleştirilmiş Uç-Değer kümülatif dağılım fonksiyonu

g_{gud} : Genelleştirilmiş Uç-Değer dağılımı için çevresel risk

r_{gud} : Genelleştirilmiş Uç-Değer dağılımı için risk

1. GİRİŞ

Günümüz dünyasında “Nükleer Enerji” en büyük güçtür. Ülkeler Nükleer Güç Santralleri (NGS) sayesinde enerji ihtiyacını karşıladığında, enerji daha ucuza mâl olmaktadır. Bu durum sermayeyi azaltmakta, alım gücünü arttırmaktadır. Bu da ülkelerin refah seviyesinin artmasına neden olmaktadır. Fakat bu denli fayda sağlayan nükleer enerji, olası bir kaza durumunda en büyük tehlikeyi de beraberinde getirmektedir. Three Mile Island, Çernobil ve son olarak Mart 2011 ‘de meydana gelen Fukushima Dai-Ichi Nükleer Güç Santrali (FDIGNS) kazaları, bazı çevrelerin bu enerji çeşidini ortadan kaldırma çalışmalarını başlatacak seviyede, insanları ürkütmüştür. Bu büyük bir problem! Fakat insanoğlu tarih boyunca sürekli problemlerle karşılaşmış ve bu problemlerin üstesinden gelmeyi başarmıştır. Her ne kadar bu problemi tamamen aşamasada, “Radyoaktif Atık Yönetimi” sayesinde zarar, asgari düzeye çekilebilir [1-4].

Günümüzde “Radyoaktif Atık Yönetimi”, başta Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu (IAEA) olmak üzere birçok kuruluş tarafından yapılan denetimler sayesinde, insanların asgari seviyede etkilenmesini sağlamaktadır. IAEA’ya üye 151 ülke, IAEA tarafından yayınlanan, Radyoaktif Atık Yönetimi’ni yürütmektedir. Bu sayede ülkeler günlük yaşantılarında radyasyondan daha az seviyede etkilenmektedir. Ayrıca, olası kaza durumlarında da asgari zarar görmeleri hedeflenmiştir [5-6].

Radyoaktif Atık Yönetimi’nin her aşaması için yapılan birçok çalışma vardır. Özellikle Çernobil kazasından sonra ülkeler, sıkı önlemler almaya başlamışlar, “kaos durumunda Radyoaktif atık yönetimi nasıl yapılmalıdır?” sorusuna cevaplar aramışlardır. Havada, yeraltı sularında, denizde, akarsularda, toprakta vb. ortamlardaki radyoizotop dağılımları için modeller tavsiye edilmiştir. Olası bir kaza sonrası açığa çıkacak radyoizotop serpintilerine önerilecek gerçekçi bir risk analizi modeli, Radyoaktif Atık Yönetimini optimum seviyede tutacaktır [6-7].

Bu çalışmada, FDINGS kazası sonrası açığa çıkan kısa yarı-ömürlü (yaklaşık 8,07 gün) ^{131}I radyoizotoplarının topraktaki aktivite yoğunluğu verileri kullanılarak, bir risk analizi modeli geliştirilmiştir ve izotopun dağılımı simüle edilmiştir. Veriler Japonya

Eğitim, Kültür, Spor, Bilim ve Teknoloji Bakanlığı (MEXT) internet sitesinden temin edilmiştir [8].

Bu çalışmanın temel çıkış noktası, Külahcı (2011) tarafından nükleer fiziğe uyarlanan risk analizi çalışmaları olmuştur [9-10]. Külahcı, önceleri mühendislik alanında sıklıkla zaman parametresi ile yapılan risk analizini [11-16], konum parametresi ile nükleer fiziğe uyarlamıştır.

1.1. Radyasyon ve Radyoaktivite

Radyasyon; maddesel ortamdan geçerken onunla etkileşerek iyon çiftleri oluşturabilen X-ışını, gama ışını gibi elektromanyetik ışınlarla, kinetik enerjileri olan yüklü parçacıklar, ağır iyonlar ve serbest nötronlar gibi tanecik karakterli ışınlardır [17]. Radyasyon; iyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon olarak ikiye ayrılır. Radyasyonu iyonlaştırma özelliğine göre sınıflandırdığımız gibi, parçacık-dalga özelliğine göre de ayırabiliriz [18-21].

Bazı atom çekirdeklerinin kararsız olması nedeniyle çeşitli tanecikler ve enerji yayınlarak başka cins çekirdeklere dönüşmesine radyoaktivite denir. Birim zamanda belirli bir enerji durumundaki radyoaktif çekirdek miktarına ise, aktivite denir [22].

Başlıca radyoaktivite türleri şunlardır:

Özellikle atom numarası 70 ten büyük, nötron bakımından fakir çekirdeklerin atom çekirdeğinden bir helyum çekirdeği çıkmasıyla oluşan radyoaktivite,

Nötron-proton dönüşümlerinde meydana gelen beta saçılmalarından kaynaklanan radyoaktivite,

Atomun, K kabuğundaki, ender olarak da L kabuğundaki elektronun çekirdek tarafından yakalanması; elektron yakalaması olayından kaynaklanan radyoaktivite,

Çekirdeği uyarılmış bir hâlden daha az uyarılmış veya kararlı bir hale getiren gama ışımlarından kaynaklanan radyoaktivite, iki uyarılmış hal arasındaki enerjinin foton olarak yayımlanmasından dolayı oluşan radyoaktivite,

Proton sayısı nötron sayısına göre çok yüksek olduğunda, kimi çekirdeklerde oluşan proton yayılımıyla oluşan radyoaktivite,

Ağır bir çekirdeğin kütleleri az farklı iki çekirdek hâline gelmesi sonucunda yüksek enerjili nötronların saçılmasıyla oluşan radyoaktivitedir [18-19,23-26].

Kararlı hâle gelmek için çekirdeğin kendiliğinden ışıma yapmasına doğal radyoaktivite denir. Atom numarası 83-92 arasında ki elementler doğal radyoaktif elementlerdir. Bunun yanında atom numarası 83'den küçük olup doğal radyoaktiflik gösteren elementler de (K, C, Rb) vardır [17,22,26].

1.2. Radyoaktif Bozunum Kanunu

Radyoaktifliğin keşfinden sonraki yıllarda, *Rutherford* ve *Soddy* saf bir radyoaktif numunenin zamanla bozunma hızının üstel kanuna uyduğu göstermiştir. Eğer bir t anında N tane radyoaktif çekirdek varsa ve numuneye yeni çekirdekler ilave edilmiyorsa dt süresinde bozunan dN çekirdek sayısı, N ile orantılıdır. Yani;

$$\lambda = \left(-\frac{dN}{dt} \right) / N \quad 1.1$$

olur. Burada λ bozunma sabitidir [18-20,25-26]. 1.1 denklemden;

$$\frac{dN}{dt} + \lambda N = 0 \quad 1.2$$

şeklinde 1. mertebeden sabit katsayılı homojen adi diferansiyel denklem elde edilir. Bu denklem çözüldüğünde;

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} \quad 1.3$$

üstel radyoaktif bozunma kanunu elde edilir.

Bir radyoaktif bozunma, bir radyoaktif ürünle sonuçlandığı zaman ortaya çıkar. Başlangıçta ($t=0$ 'da) N_0 tane ana çekirdek bulunduğu ve başlangıçta diğer bozunma

ürünlerinin bulunmadığını varsaydığımız; $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow \dots \rightarrow r \rightarrow \dots \rightarrow n$ bozunum zincirini ele alalım. Bozunum zincirinde $t=0$ 'da;

$$N_1(0)=N_0, N_2(0)=0, N_3(0)=0, N_4(0)=0, \dots, N_n(0)=0 \quad 1.4$$

olacak şekilde, N_1 ana çekirdek ve bozunma sabiti λ_1 olmak üzere, ana çekirdeklerin sayısı zamanla;

$$dN_1(t) = -\lambda_1 N_1(t) dt \quad 1.5$$

bağıntısına göre azalır. 2. radyoaktif madde ana çekirdeklerin bozunması ile artarken kendi bozunması sonucu azalır; (aynı sonuçlar diğer radyoaktif maddeler için de geçerlidir.)

$$dN_2(t) = \lambda_1 N_1(t) dt - \lambda_2 N_2(t) dt \quad 1.6$$

$$dN_3(t) = \lambda_2 N_2(t) dt - \lambda_3 N_3(t) dt \quad 1.7$$

$$dN_4(t) = \lambda_3 N_3(t) dt - \lambda_4 N_4(t) dt \quad 1.8$$

$\vdots$

$$dN_r(t) = \lambda_{r-1} N_{r-1}(t) dt - \lambda_r N_r(t) dt \quad 1.9$$

$\vdots$

$$dN_n(t) = \lambda_{n-1} N_{n-1}(t) dt \quad 1.10$$

yazılabilir. 1.5, 1.6, 1.7, 1.8 ve 1.9 diferansiyel denklemleri ardışık olarak çözüp, elde edilen sonuçlar yardımıyla, bu bozunum zincirinde bozunum sayılarını bir seri olarak düşünersek, her maddenin bozunum sayısı için ($r \geq 2$ ve $k \neq i$ olmak üzere);

$$N_r(t) = N_0 \sum_{i=1}^r \frac{\prod_{j=1}^{r-1} \lambda_j}{\prod_{k=1}^r (\lambda_k - \lambda_i)} e^{-\lambda_i t} \quad 1.11$$

elde edilir. 1.11 denklemi $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow \dots \rightarrow r \rightarrow \dots \rightarrow n$ şeklindeki bozunum zincirinin herhangi bir r . radyoaktif maddesinin t anındaki çekirdek sayısı ifadesidir.

Aynı şekilde bu zincirin son halkası olan n . kararlı madde için bir çözüm elde edilebilir. $1 \rightarrow 2$ radyoaktif bozunumunda 2. kararlı madde için çekirdek sayısı, $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3$ radyoaktif bozunum zincirinde 3. kararlı madde için çekirdek sayısı, $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4$ radyoaktif bozunum zincirinde 4. kararlı madde için çekirdek sayısı ifadelerini kullanarak $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow \dots \rightarrow n$ radyoaktif bozunum zincirinde n . kararlı madde için çekirdek sayısı ifadesi ($n \geq 2$ ve $k \neq i$ olmak üzere);

$$N_n(t) = N_0 \left(1 - \sum_{i=1}^{n-1} \frac{\prod_{j=1}^{n-1} \lambda_j}{\lambda_i \prod_{k=1}^{n-1} (\lambda_k - \lambda_i)} e^{-\lambda_i t} \right) \quad 1.12$$

şeklinde elde edilir. 1.12 denklemi $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 5 \rightarrow \dots \rightarrow r \rightarrow \dots \rightarrow n$ şeklindeki radyoaktif bozunum zincirindeki kararlı çekirdeğin t anındaki çekirdek sayısı ifadesidir [18-19,21,23,27].

1.3. Nükleer Güç Santrali Kazaları

Nükleer güç santrali (NGS), yakıt olarak radyoaktif maddelerin kullanılmasıyla elektrik enerjisinin üretildiği tesistir. NGS'nin çalışma mekanizmasını kısaca şöyle özetleyebiliriz: Reaktörün kalbinde elde edilen ısı enerjisi suya iletilir, su almış olduğu bu enerji sebebiyle kızgın buhar haline dönüşür. Elde edilen buhar daha sonra elektrik jeneratörüne bağlı olan buhar türbinine verilir. Su buharı türbin milini döndürür. Bu mekanik dönme hareketi sonucunda alternatörlerde elektrik elde edilir. Türbinden çıkan ısı enerjisi yani sahip olduğu basınç ve sıcaklığı düşmüş olan buhar, yoğunlaştırılıp su haline dönüştürüldükten sonra, tekrar reaktörün kalbine gönderilir. Yoğunlaştırma işlemini yapabilmek için çevrede bulunan deniz, göl veya yapay göller gibi su kaynakları soğutucu olarak kullanılır [1,24,28].

Dünyada 438 adet NGS bulunmaktadır. Bunların 104 adeti ABD sınırları içinde yer almaktadır. Ayrıca, 57 adet NGS inşası devam etmektedir. 149 adet NGS devletlerin gelecek planları arasında yer almaktadır [7]. FDINGS kazasından sonra devletler bu planlarını tekrar gözden geçirmektedir [29]. Tablo 1.1'de Uluslararası Nükleer ve Radyolojik Olay Ölçeği (INES) seviyeleri ve genel olarak tanımları verilmiştir [7].

Tablo 1.1 INES seviyeleri ve genel olarak tanımları

INES Seviyesi	Halk ve Çevre	Radyolojik Engeller ve Kontrol	Derinliğine Savunma
Seviye 7 (Büyük Kaza)	Büyük miktarda radyoaktif madde salımı, geniş alanda planlı bir şekilde uzun süreli önlem alınmasını gerektiren sağlık ve çevresel etkiler.		
Seviye 6 (Ciddi Kaza)	Önemli miktarda radyoaktif madde salımı, planlanmış önlemlerin uygulanması gereklidir.		
Seviye 5 (Geniş Sonuçları Olan Kaza)	Sınırlı miktarda radyoaktif madde salımı, planlanmış önlemlerin bir kısmının uygulanması gereklidir.Radyasyon sebebiyle ölüm gerçekleşmesi	Reaktörün kalbinde ciddi hasar meydana gelmesi.Tesis içerisinde halkı etkileme olasılığı yüksek olan, büyük miktarda radyoaktif madde salımı. Büyük bir kritiklik kazası ya da yangın bu tür bir olaya sebep olabilir	
Seviye 4 (Yerel Sonuçları Olan Kaza)	Az miktarda radyoaktif madde salımı, yerel besin kontrolundan başka bir önlemin uygulanması beklenmez.Radyasyon sebebiyle en az bir ölümün gerçekleşmesi.	Yakıt erimesi veya yakıt hasarı sonucu kor envanterinin %0.1'inden fazlasının salımı.Tesis içerisinde halkı etkileme olasılığı yüksek olan, sınırlı miktarda radyoaktif madde salımı.	
Seviye 3 (Ciddi Olay)	Çalışanlar için izin verilen yıllık doz miktarının on katını aşan radyasyona maruz kalma.Radyasyonun yanık gibi ölümcül olmayan deterministik etkilerinin görülmesi	Bir çalışma alanında 1 Sv/saat'in üzerinde doz hızına maruz kalma.Bir alanda tasarımı beklenmeyen şekilde, halkın etkilenmesi olasılığı düşük olan ciddi radyoaktif bulaşma olması.	Bir nükleer tesiste alınacak güvenlik önleminin kalmadığı, kazaya yakın durum.Kayıp ya da çalınmış yüksek aktiviteli, zırhlı radyasyon kaynağı.Gönderildiği adrese ulaşmamış, bulunduğu yerde kaynağı idare etmek için yeterli prosedürlerin olmadığı, yüksek aktiviteli zırhlı radyasyon kaynağı.
Seviye 2 (Olay)	Halktan bir bireyin 10 mSv'in üzerinde radyasyon dozuna maruz kalması. Bir çalışanın yıllık izin verilen miktarının üzerinde radyasyon dozu alması.	Bir çalışma alanında doz hızının 50 mSv/saat'in üzerinde olması.Tesisin tasarımı radyoaktif bulaşma öngörülmeden bir alanda, önemli ölçüde radyoaktif bulaşma olması.	Güvenlik önlemlerinde, gerçek bir sonuca yol açmayan önemli arızalar oluşması.Zırhlı yüksek aktiviteli radyoaktif kaynak, cihaz ya da taşıma paketinin çalınması veya kaybolması.Yüksek aktiviteli radyasyon kaynağının uygun olmayan şekilde paketlenmesi.
Seviye 1 (Anomali)			Halktan birinin yıllık izin verilenin üzerinde radyasyon dozu alması.Derinliğine savunmanın önemli miktarda hasar görmediği, güvenlik bileşenlerindeki küçük problemler.Düşük aktiviteli kaynak, cihaz ya da taşıma paketinin kaybolması veya çalınması.
Güvenlik Açısından Önemsiz (Ölçeğin Altında / Seviye 0)			

1990 yılında IAEA tarafından oluşturulan INES (International Nuclear and Radiological Events Scale-Uluslararası Nükleer ve Radyolojik Olay Ölçeği) sisteminde nükleer güç santralleri için kaza seviyeleri belirtilmiştir [5-7].

Tarihte meydana gelen reaktör kazaları Tablo 1.2’de konumları, reaktör ve termal güçleri ile birlikte verilmiştir [1].

Tablo 1.2 Tarihte meydana gelen reaktör kazaları

Tarih	Konum	Reaktör	Termal Güç (MW)
1952	Chalk River, Kanada	NRX	30
1955	Idaho Falls, ABD.	EBR-1	1,4
1957	Windscala, İngiltere	Windscale-1	180
1958	Chalk River, Kanada	NRU	200
1958	Idaho Falls, ABD.	HTRE-3	0,2
1959	Santa Susanna, ABD.	SRE	20
1960	Waltz Mills, ABD.	WTR	60
1961	Idaho Falls, ABD.	SL-1	3
1961	Idaho Falls, ABD.	ETR	90
1963	Oak Ridge, ABD.	ORR	30
1966	Newport, ABD.	Fermi-1	300
1967	Grenoble, Fransa	Siloe	30
1969	Lucens, İsviçre	Lucens	30
1969	St-Laurent-des-Eaux, Fransa	Saint Laurent A1	1650
1979	Tree Mile Island, ABD.	TMI-2	2770
1980	St-Laurent-des-Eaux, Fransa	Saint Laurent A2	1650
1986	Chernobyl, Ukrayna	Chernobyl1-4	3200
2011	Fukushima, Japonya	Fukushima1 1-3	1380, 2381, 2381

Tablo 1.2 de verilen reaktör kazalarından burada en önemlisi olan üçüne aşağıdaki kısımlarda değinilecektir.

1.3.1. Three Miles Island (TMI) Nükleer Güç Santrali Kazası

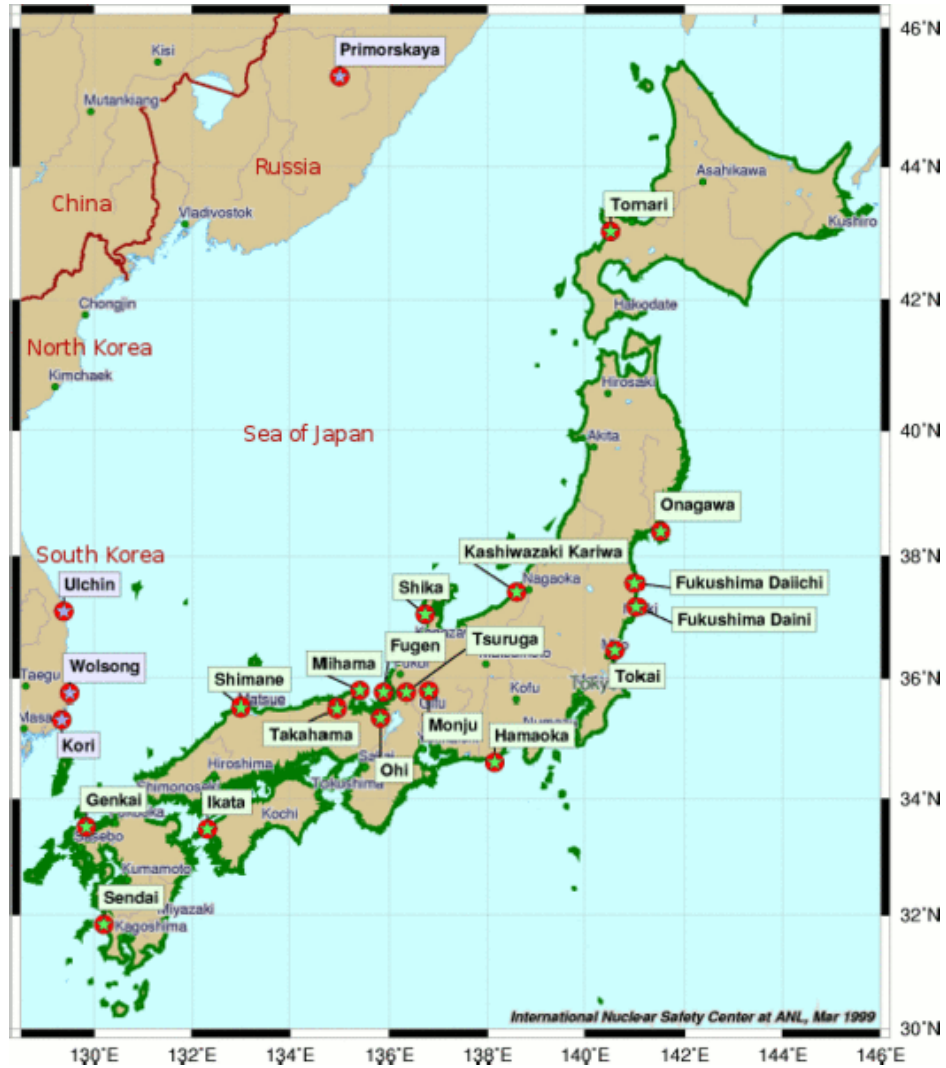
Three Mile Island (TMI) nükleer güç santrali, Pennsylvania’da Harrisburg kasabası yakınlarındaki Susquehanna Nehri üzerinde bir adada kurulmuş, 2770 MW gücünde çalışan bir santraldi. 28 mart 1979’da güç santralinin 2. ünitesindeki reaktör çekirdeğinde kısmi erime meydana gelmiş ve atmosfere radyoaktif parçacıklar salınmıştır. Kaza, 28 Mart 1979 günü 4:00 sularında başladı. Soğutma suyunu pompalayan vanalardan birinde veya fazlasında sızıntı meydana gelmiş fakat operatörler bu sızıntıyı gidermek için yaptıkları yanlış müdahale sonucunda soğutma suyu pompaları kapanmış ve soğutma işlemi gerçekleştirilemeyince sıcaklık 1800 °C civarına yükselmiş ve reaktörde kısmi erime meydana gelmiştir. Reaktörü çevreleyen beton koruyucu kabuğun sayesinde çevreye ciddi bir radyasyon sızıntısı olmamıştır [1,4,27,30-31]. Bu kaza INES sisteminde seviye 5 mertebesinde gösterilmiştir [7].

1.3.2. Çernobil Nükleer Güç Santrali Kazası

Çernobil Nükleer Güç Santrali, Sovyet Sosyalist Cumhuriyetleri Birliği’nde (Şimdi Ukrayna sınırları içinde) Kiev şehrinin 100 km kuzeyinde kurulmuş, 3200 MW gücünde çalışan bir santraldi. 26 Nisan 1986 günü 1:23 sularında 4. ünitesinde büyük bir nükleer kaza meydana gelmiştir. Bu kaza, reaktörün programlanmış olan durdurulmasından önce yapılan bir test sırasında meydana gelmiştir. Söz konusu test, bir elektrik kesilmesi hâlinde turbo jeneratörlerden birinin reaktörün elektrik gücü gereksinimini sağlayıp sağlayamayacağını saptamak üzere planlanmıştı. Kaza meydana geldiği zaman reaktör, 200 MW güçle çalışıyordu. Kazadan sonra yapılan soruşturmalar, kazanın, reaktör tasarımındaki hatalar ile güvenlik sistemlerinin devreden çıkarılması, işletme kurallarının hiçe sayılması ve reaktörün kararsız bir duruma getirilmesi gibi bir dizi insan hatası sonucu meydana geldiğini göstermiştir. Böylece meydana gelen hızlı bir güç yükselmesini izleyen buhar patlaması reaktörü ve reaktör binasını tahrip etmiş, reaktörün üst kapağını yerinden fırlatarak reaktörün üstünü açık bırakmıştır. Birkaç saniye sonra meydana gelen ikinci bir patlama ile üstü açık kalan reaktörün kızgın parçaları büyük bir hızla dışarı fırlamış ve bu sırada reaktörden salınan radyoaktif gazlar ve radyoaktif maddeler karışımı 1200 metreyi aşan yüksekliklere çıkmıştır [1-2,17,32]. Bu kaza INES sisteminde seviye 7 mertebesinde gösterilmiştir [7].

1.3.3. Fukushima Dai-Ichi Nükleer Güç Santrali Kazası

Fukushima Dai Ichi nükleer güç santrali (FDINGS), Japonya’da Fukushima eyaleti sınırlarındaki Futaba ilçesindeki Okuma kasabası civarında kurulmuş, birinci nesil nükleer enerji reaktörleri olarak 1970’li yıllarda işletmeye girmiştir. Bu santral daha sonra yapılan iyileştirmeler ile ikinci nesil nükleer elektrik santralleri haline dönüştürülmüştür. Santralde Tokyo Elektrik Güç Şirketi (TEPCO) tarafından işletilen altı tane kaynayan su reaktörü bulunmaktadır [1,3]. Şekil 1.1’de FDINGS, Japonya’da ve komşu ülkelerde bulunan NGSler ile gösterilmiştir [33].



Şekil 1.1 Fukushima Dai Ichi, Japonya sınırları içindeki ve komşu ülkelerde bulunan NGSler

11 Mart 2011günü saat 14:46 sularında Honshu adası açıklarında meydana gelen 8.9 büyüklüğündeki Tohoku depremi sonrası ortaya çıkan Tsunami dalgaları sonucu FDINGS reaktör kazaları meydana gelmiştir. İyileştirmelere rağmen bazı nükleer güvenlik zafiyetleri kapsamında ne yazık ki söz konusu tabii afetlerin meydana gelmesi sonucunda nükleer reaktör kazaları ortaya çıkmıştır. Santraldaki mevcut duvar, azami 5.7 metrelik dalgalara karşı koyacak şekilde tasarlanmıştır. Fakat depremden 15 dakika sonra oluşan tsunami dalgaların boyu 14 metreyi bulunca, bu duvarların hiçbir koruyucu özelliği kalmamıştır. Depremden sonra otomatik olarak kesilen şebeke elektriğinden dolayı FDINGS'ne dizel jeneratörler güç vermekteydi. Ancak Tsunami dalgalarından dolayı jeneratörleri su bastı ve bir saat sonra tüm jeneratörler durdu. Depremden önce rutin bakım nedeni ile 4., 5. ve 6. ünitelerdeki reaktörde bulunan yakıt çubukları çıkarılmış ve kullanılmış yakıt havuzuna koyulmuştu. 1., 2. ve 3. Ünitelerde çalışmalar devam etmekteydi. Meydana gelen enerji kaybı nedeni ile reaktörlerin soğutma sistemleri kapandı. Zirkonyum yakıt çubukları aşırı ısınmaya başladı ve etrafındaki buharla tepkimeye girerek hidrojen üretti. Reaktör binasının bacasından çıkarken oksijenle karıştığı yerde patlama meydana geldi. Bu sırada radyoaktif sezyum ve iyot havaya karıştı. Yoğuşurma kazanı küçük olduğu için daha az buhar yoğuşturdu. Radyasyonun büyük kısmı santralin içinde kaldı. Kazadan sonra 20 km çapında bir güvenlik çemberi oluşturuldu. Yaklaşık 80000 kişi bu bölgeden çıkarıldı ve yetkili olmayan kimse alınmadı [1,3,29,34]. Her bir üniteadaki farklı zamanlardaki bu patlamalar için INES sisteminde seviye 5 mertebesinde gösterilmiştir. Fakat bu patlamalar bir kazaya ait olduğu için ve çevreye verdiği zarar bakımından, FDINGS kazası seviye 7 olarak gösterilmiştir [7,29]. Kazadan sonra, 2 ay içerisinde, aynı yıllarda yapılan nükleer santraller ya kapatıldı ya da yenilenmeye başladı [29].

FDINGS kazasından sonra birçok yerde ölçüm ve çalışma yapılmıştır. Bu çalışma ve ölçümlere göre Amerika ve Asya kıtasının neredeyse tamamı bu kazadan etkilenmiş, Asya kıtasının doğu bölgelerindeki bazı ülkelerde ise doz seviyeleri yer yer IAEA tarafından müsaade edilen sınıra ulaşmıştır. Japonya'daki tarım ürünlerinin neredeyse tamamı bu kazadan etkilenmiş, şebeke suları müsaade edilen doz sınırına yaklaşmıştır [35-41]. Yapılan bazı çalışmalarda Avrupa'nın, daha çok batı ve kuzey batı bölgelerinin de bu kazadan etkilendiği tespit edilmiştir [42-44]. Açığa çıkan radyoaktif maddeler ile ilgili, çoğunlukla ölçüm çalışmaları vardır. Yapılan bazı çalışmalarda ise taşınım katsayısı

hesabı, topraktaki dikey dağılımları gibi çalışmalar yapılmıştır [44-47]. ^{131}I için konuma göre bir çalışmaya rastlanmamıştır.

2. MATERYAL ve METOT

2.1. ¹³¹I Radyoizotopu

İyot elementinin önemli izotoplarından olan ¹³¹I, uranyum ve plütonyum bozunum ürünlerinin ağırlık olarak yaklaşık% 3'nü ihtiva etmektedir. İlk olarak nükleer silah denemelerinde keşfedilen bu radyoizotop, NGS kazalarında da açığa çıkan tehlikeli radyoizotoplardandır. ¹³¹I radyoizotopu yaptığı negatif beta bozunumu ve gama ışımalarından sonra ¹³¹Xe kararlı çekirdeğine dönüşür [29,48].

Tablo 2.1'de ¹³¹I radyoizotopu için bazı bilgiler verilmiştir [48].

Tablo 2.1 ¹³¹I Radyoizotopu için verilen bazı bilgiler

Yarı ömür (gün)	Bozunum Türü	Bozunum Enerjisi (MeV)	Parçacık Enerjileri (MeV)	Parçacık Yoğunlukları (%)	Gama Enerjileri (KeV)	Gama Yoğunlukları (%)
8,070 ±0,009	β^-	0,970			80,164 ± 0,009	2,6
					177,19 ± 0,08	0,3
					272,45 ± 0,2	0,07
			0,257	1,6	284,31 ± 0,08	5,9
			0,333	6,9	318,14 ± 0,15	0,09
			0,487	0,5	325,80 ± 0,15	0,24
			0,606	90,4	364,49 ± 0,08	79
			0,806	0,6	503,13 ± 0,15	0,35
					637,01 ± 0,15	6,7
					642,80 ± 0,17	0,2
					722,92 ± 0,15	1,8

Bu çalışmada, FDINGS kazası sonrası açığa çıkan ¹³¹I radyoizotopunun topraktaki aktivite ölçümleri kullanılmıştır. Bu ölçümlerin alındığı istasyonlarla alakalı bazı bilgiler aşağıdaki tabloda verilmiştir [8].

Tablo 2.2’de 1. sütunda, istasyonların MEXT tarafından verilen numaraları verilmiştir. 2. sütunda istasyonların bu çalışmadaki numaraları verilmiştir. 3. sütunda istasyonların FDINGS’ne olan uzaklıkları km cinsinden verilmiştir. 4. ve 5. sütunda, istasyonların sırasıyla enlem ve boylam değerleri ondalıklı sayı olarak verilmiştir. 6. sütunda istasyonların bulunduğu yerleşim yerlerinin adı verilmiştir.

Tablo 2.2 Ölçümlerin alındığı istasyonlar için bazı bilgiler

İstasyon No (MEXT Numaralandırmalı)	İstasyon No	FDINGS’ne Uzaklık(km)	Enlem	Boylam	İstasyon Adı
3-14	1	40	37,601444	140,636667	Date county Kawamata town Yamakiya
1	2	62	37,750472	140,466861	Fukushima city Sugitsuma town
3-7	3	23	37,214403	140,994672	Futaba county Hirono town Shimokitaba
3-6	4	31	37,511156	140,697913	Futaba county Katsurao village Kaminogawa
104	5	25	37,503417	140,764472	Futaba county Katsurao village
76	6	22	37,337889	140,809489	Futaba county Kawauchi village Kamikawauchi
83	7	24	37,560550	140,823883	Futabacounty Namie town Akougi Kunugidaira
3-13	8	31	37,595000	140,754017	Futaba county Namie town Akougi Teshichiro
79	9	29	37,559156	140,759347	Futaba county Namie town shimotsushima kayabuka
84	10	39	37,175842	140,721517	Iwak icity Miwa town Saiso
38	11	34	37,121783	140,951067	Iwaki city Yotsukura town
107	12	23	37,608722	140,92675	Minami Soma city Haramachi ward Baba
108	13	29	37,662889	140,898556	Minami Soma city Haramachi ward Ohara Daihata
2-4	14	24	37,638739	140,986842	Minami Soma city Haramachi ward Takami town
3-10	15	32	37,70015	140,962647	Minami Soma city Kashima ward Terauchi Motoyashiki
3-11	16	32	37,690103	140,889811	Minami Soma city Kashima ward Jisabara aza Kamabai
39	17	41	37,767864	140,859896	Soma city Yamakami Kaminamik
3-1	18	33	37,612803	140,749111	Soma county Iitate Village Nagadoro
3-3	19	32	37,451964	140,677903	Tamura city Tokiwa town Yamane

2.2.Kriging Metodu

Kriging metodu, 1960'ların başlarında Güney Afrikalı maden mühendisi D.G. Krige tarafından geliştirilen interpolasyon yöntemi olup bilinmeyen karakteristiğin en iyi doğrusal objektif tahminini sağlayan lokal bir tahmin tekniğidir [17]. Bir bölgede, x değerlerine karşı alınan $f(x)$ ölçümleri için; x_0 noktasında bir tahmin yapmak istenilirse;

$$f(x_0) = \sum_{i=1}^n w_i(x_0) f(x_i) \quad 2.1$$

denklemini kullanılır. Burada; x_0 tahmin edilecek nokta, $f(x_0)$ tahmin değeri ve $w_i(x_0)$ ağırlık değerleridir. Ağırlık değerleri, kovaryans veya variogram metotlarından biriyle elde edilir [17]. Kriging metodunun, klasik lineer regresyondan farkı; değişimlerin bağımsız olmaması değil gözlemleri rastgele örneklemeler varsaymasıdır [49].

Bu çalışmada Kriging metodu, hem aktivite hem de risk değerleri için yüzey haritası elde etmek için kullanılmıştır. Aktivite ve risk değerleri konuma göre rassal olduğundan bu metot uygun görülmüştür. Bu haritalar SURFER® programı ile elde edilmiştir.

2.3. En Küçük Kareler Metodu

En küçük kareler yöntemi ilk olarak Carl Friedrich Gauss tarafından henüz 18 yaşındayken (1795) geliştirilmiştir. Gauss, 1801 yılında bu yöntemi, Ceresastroidinin yörüngesinin belirlenmesinde kullanmıştır. Bu yöntem Gauss'un toplu eserlerinin yayınlandığı ciltlerden ikincisinde, 1809 yılında yayınlanmıştır [50]. En küçük kareler yöntemi, birbirine bağlı olarak değişen iki fiziksel büyüklük arasındaki matematiksel bağıntıyı, mümkün olduğunca gerçeğe uygun bir denklem olarak yazmak için kullanılan, standart bir regresyon yöntemidir [51-53].

Yapılan bir çalışmada, alınan x_i - f_i çiftleri ile elde ettiğimiz saçılma diyagramına uydurduğumuz eğri $g(x)$ olsun. Bu diyagramda herhangi bir x_i 'nin; f_i ve $g(x_i)$ değerlerine karşılık gelmesi beklenecektir. Bunlar arasındaki fark;

$$\varepsilon_i = (g(x_i) - f_i) \quad 2.2$$

i . hatayı verecektir. Hataların toplamı hesabında, her x_i için bu hata pozitif veya negatif olabileceğinden, her bir hatanın karesi alınır. Hataların karelerinin toplamı;

$$E = \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 = \sum_{i=1}^n (g(x_i) - f_i)^2 \quad 2.3$$

ile verilir. $g(x)$ fonksiyonu, a_i ($1 \leq i \leq n$) katsayıları ile ifade edilen, x e bağlı bir fonksiyon olmak üzere. Öyle bir $g(x)$ fonksiyonu seçmeliyiz ki,

$$\frac{\partial E}{\partial a_i} = 0 \quad 2.4$$

sağlansın. 2.4 eşitliğinde 2.3 eşitliğini göz önüne alırsak;

$$\sum_{j=1}^n g(x_j) \frac{\partial g(x_j)}{\partial a_i} = \sum_{j=1}^n f_j \frac{\partial g(x_j)}{\partial a_i} \quad 2.5$$

elde edilir ki 2.5 eşitliğiyle verilen, i tane değişkenli, i tane denklem sistemi çözülürse a_i ler elde edilir [50,52,54].

2.4. Risk Analizi

Risk, istenmeyen olayların ortaya çıkma yüzdesi olarak tanımlanabilir [11]. Risk analizi de, güvenlik risklerinin, bu risklerin ölçeklerinin ve önlem alınması gereken alanların belirlenmesi süreci diye tanımlayabiliriz. Risk analizinde riskler belirlenirken mevcut kıymetler tek tek göz önüne alınır ve her bir kıymetin içinde bulunduğu tehditler belirlenir [16].

Bu çalışmada deneyici bir yaklaşımla risk değerleri elde edilmiştir. Aktivite riskini R , güvenliğini de G ile gösterirsek; bu olay için güven ve riskin toplamı daima sabittir. Bunu,

$$G + R = s \quad 2.6$$

gibi bir ifade ile belirtebiliriz. Denklem 2.6 deki s sabiti, tüm güvenli ve riskli durumların toplamıdır. Denklem 2.6 in her iki tarafını s sabitine bölersek, sırası ile güven risk oranlarını elde ederiz. Yani,

$$g + r = 1 \quad 2.7$$

olur ki, denklem 2.7 bir olay için güven ve risk oranlarının toplamının 1'e eşit olacağını verir [13].

Herhangi bir anda bir konumlarda alınan aktivite değerleri küçükten büyüğe doğru sıralanmış olsun. Küçükten büyüğe doğru sıralandığı zaman, herhangi bir aktivite değeri olayı (A_b), kendinden küçük aktivite değeri olayını (A_k) kapsayacaktır. Bu olayı Aile ifade edersek, yukarda bahsettiğimiz hesabı,

$$P(A \leq A_b) = P(A \leq A_k) + P(A_k < A \leq A_b) \quad 2.8$$

şeklinde yaparız. 2.8 ifadesinden de anlaşılacağı gibi, verilen aktivitelerin görülme ihtimali sürekli artarak 1'e yaklaşan değerler alacaktır. Buda elde edilen ihtimal fonksiyonlarının kümülatif olması demektir [9-15].

Küçükten büyüğe doğru sıralanmış aktivitelerin mertebeleri m ile verilsin. Ölçüm alınan istasyonlarla sınırlı bölgedeki en büyük aktivitenin ortaya çıkması ihtimali 1'e eşittir. Yani;

$$g_{eb} = \frac{m_{eb}}{n} \quad 2.9$$

olarak simgeleştirilebilir. Fakat bu durum gerçekçi değildir. Çünkü bu bölgede daha büyük aktiviteli yerlerin olacağı aşikârdır. Bunun için en büyük aktivite güveni 1 değil 1'e çok yakın bir değer olmalıdır. Bunun için 2.9 denklemi yerine,

$$g_{eb} = \frac{m_{eb}}{n+1} = \frac{n}{n+1} \quad 2.10$$

olması daha uygundur. Böylelikle daha büyük aktiviteli bölgeleri 2.10 denklemi ile kabul etmiş oluruz. Denklem 2.10'un her bir mertebe için en genel hali,

$$g = \frac{m}{n+1} \quad 2.11$$

şeklinde elde edilir. Denklem 2.7'den,

$$r = 1 - g = 1 - \frac{m}{n+1} \quad 2.12$$

elde edilir ki, 2.12 denklemi her bir mertebe için risk değeri ifadesidir [9-15]. m ile verilen mertebe, aynı zamanda, radyoaktif serpentinin çevreye verdiği zararın da mertebesidir [9]. Dolayısıyla, bu çalışmada g ile verilen değerler çevresel risk olarak adlandırılacak ve yine g ile gösterilecektir.

2.5. Genelleştirilmiş Uç-Değer Dağılımı

Genelleştirilmiş Uç-Değer dağılımı, Gumbel, Fréchet ve Weibull dağılımları kombinasyonu ile Uç-Değer teorisi kapsamında geliştirilen sürekli olasılık dağılımları ailesidir. Genelleştirilmiş Uç-Değer dağılımı, rasgele değişkenlerin uzun (sonlu) dizilerinin maksimumlarını(veya asgarilerini) modellemek için bir yaklaşım olarak kullanılır. Diğer dağılımlardan farklı olarak üç parametre ile ifade edilir: σ : skala parametresi, μ : konum parametresi ve k : şekil parametresi. Genelleştirilmiş Uç-Değer dağılımı, $k \neq 0$ ve $\left(1 + k \frac{(x - \mu)}{\sigma}\right) > 0$ olmak üzere;

$$f(x|k, \mu, \sigma) = \left(\frac{1}{\sigma}\right) \left(1 + k \frac{(x - \mu)}{\sigma}\right)^{-\frac{1}{k}} \exp\left(-\left(1 + k \frac{(x - \mu)}{\sigma}\right)^{-\frac{1}{k}}\right) \quad 2.13$$

şeklindedir. Kümülatif dağılım fonksiyonu, $k \neq 0$ ve $\left(1 + k \frac{(x - \mu)}{\sigma}\right) > 0$ olmak üzere;

$$F(x|k, \mu, \sigma) = \exp\left(-\left(1 + k \frac{(x - \mu)}{\sigma}\right)^{-\frac{1}{k}}\right) \quad 2.14$$

şeklindedir. Dağılım k parametresinin durumuna göre üçe ayrılır: $k=0$ için tip 1, $k>0$ için tip 2 ve $k<0$ için tip3. Bu tipler sırasıyla Gumbel, Fréchet ve Weibull dağılımlarına benzemektedir [55-58]. $k>0$ için tip 2 uyan Fréchet dağılımı, hidrolojide, yılda en fazla günlük yağış ve nehir deşarjları gibi uç değerli olaylara uygulanmıştır [58].

Genelleştirilmiş Uç-Değer dağılımı için çevresel risk ifadesi 2.14'den,

$$g_{gud} = F(x|k, \mu, \sigma) \quad 2.15$$

olacaktır. Yine 2.7'den, risk ifadesi,

$$r_{gud} = 1 - g_{gud} = 1 - F(x|k, \mu, \sigma) = 1 - \exp\left(-\left(1 + k \frac{(x - \mu)}{\sigma}\right)^{\frac{1}{k}}\right) \quad 2.16$$

olacaktır.

2.6. Lognormal Dağılımı

Lognormal dağılımı, logaritması normal dağılım gösteren rassal değişkenler için bir olasılık dağılımdır. Eğer x lognormal dağılım gösterirse o halde $\log(x)$ normal dağılım gösterir. Logaritma fonksiyonu için bazın ne olduğu önemli değildir: Herhangi iki pozitif sayı olan $a, b \neq 1$ için eğer $\log_a(x)$ normal dağılım gösterirse, $\log_b(x)$ fonksiyonu da normal dağılım gösterir. Lognormal dağılım için olasılık yoğunluk fonksiyonu, μ konum parametresi, σ skala parametresi ve $x>0$ için şudur:

$$f(x|\mu, \sigma) = \left(\frac{1}{x \ln(\sigma) \sqrt{2\pi}}\right) \exp\left(-\frac{(\ln(x) - \ln(\mu))^2}{2 \ln(\sigma)^2}\right) \quad 2.17$$

Kümülatif dağılım fonksiyonu ise,

$$F(x|\mu, \sigma) = \frac{1}{\ln(\sigma) \sqrt{2\pi}} \int_0^x \frac{\exp\left(-\frac{(\ln(t) - \ln(\mu))^2}{2 \ln(\sigma)^2}\right)}{t} dt \quad 2.18$$

şeklinde verilir. Rassal değişkenli durumları modellemek için kullanılan bir dağılım fonksiyonudur. Rassallık söz konusu olduğundan, başta finans ve ekonomi olmak üzere birçok mühendislik alanında da kullanılmaktadır [11,13,52,59].

2.7.Weibull Dağılımı

Weibull dağılımı, rassal değişkenler için bir olasılık dağılımdır. Weibull dağılım fonksiyonu, α şekil parametresi, β skala parametresi ve $x \geq 0$ olmak üzere;

$$f(x|\alpha, \beta) = \alpha \beta^{-\alpha} x^{\alpha-1} \exp\left(-\left(\frac{x}{\beta}\right)^{\alpha}\right) \quad 2.19$$

şeklindedir. Kümülatif dağılım fonksiyonu;

$$F(x|\alpha, \beta) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{x}{\beta}\right)^{\alpha}\right) \quad 2.20$$

şeklindedir. Lognormal dağılımı gibi, başta finans ve ekonomi olmak üzere birçok mühendislik alanında da kullanılmaktadır [11,13,52,59].

3. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Bu çalışmada, ^{131}I radyoizotopunun konuma göre risk analizi çalışıldığı için evvela her istasyonda herhangi bir zamanda aktivite değerinin bilinmesi gerekmektedir. Alınan ölçümler eş zamanlı olmadığından ve ^{131}I radyoizotopunun yarı ömrü kısa olduğundan, bu istasyonlara ait aktivite eğrileri elde etmek gerekmektedir. Bunun için her istasyondaki alınan ölçümlere en küçük kareler metodu uygulanırsa, bu istasyonlar için bir aktivite eğrisi elde edilmiş olur. Teorik olarak eş zamanlı aktivite değerleri elde edildikten sonra konuma göre risk analizi gerçekleştirilebilir.

3.1. En Küçük Kareler Metodu Sonuçları

^{131}I ölçümlerinin alındığı tarih ile kaza tarihi arasındaki süre t parametresi olarak alınmıştır. Aranan bağımlı parametre aktivite olduğundan, radyoaktif bozunum kanunu gereği;

$$A(t) = A_0 e^{-\lambda t} \quad 3.1$$

3.1 eşitliğindeki gibi eksponansiyel bir eğri elde etmek gerekir. 3.1 denkleminin her iki tarafına doğal logaritma uygulanırsa;

$$\ln(A(t)) = \ln(A_0) - \lambda t \quad 3.2$$

şeklinde lineer denklem elde edilir.

2.6 eşitliğinde verilen $g(x)$ denklemi,

$$g(x) = g(t) = \ln(A(t)) = \ln(A_0) - \lambda t \quad 3.3$$

şeklinde yazılırsa; 2.6 eşitliği;

$$\sum_{j=1}^n g(t_j) \frac{\partial g(t_j)}{\partial a_i} = \sum_{j=1}^n f_j \frac{\partial g(t_j)}{\partial a_i} \quad 3.4$$

şekline dönüşür ve bu denklem lineer olduğundan iki tane katsayısı olur. Dolayısıyla bu katsayılar;

$$a_1 = \lambda \text{ ve } a_2 = \ln(A_0) \quad 3.5$$

olur. Birtakım diferansiyel işlemlerden sonra 3.4 eşitliği

$$\ln(A_0) \sum_{j=1}^n t_j^2 + \lambda \sum_{j=1}^n t_j = - \sum_{j=1}^n f_j t_j$$

$$\ln(A_0) \sum_{j=1}^n t_j + \lambda n = - \sum_{j=1}^n f_j \quad 3.5$$

şeklinde 2 bilinmeyenli (λ ve $\ln(A_0)$) 2 lineer denklem sistemi haline dönüşür. Bu denklem sistemini, Tablo 3.2'deki ve Ek 1 tablolarının tamamındaki değerler için, yapılan MATLAB® programı yardımı ile çözülürse Tablo 3.1'deki değerleri elde edilir.

Tablo 3.1 En küçük kareler metodu ile elde edilen katsayılar
ve korelasyon katsayısı

İstasyon No	$\lambda(1/\text{saat})$	A_0 (Bq/kg)	R^2
1	0,00392764	299427,43373	0,94188
2	0,00368719	59981,31351	0,92728
3	0,00367660	154352,18930	0,80427
4	0,00351894	123625,37274	0,87599
5	0,00327673	105136,89993	0,89842
6	0,00344032	33636,09874	0,91790
7	0,00340739	1961742,03656	0,97333
8	0,00388169	1239414,46534	0,90204
9	0,00350144	671291,71932	0,89085
10	0,00420333	34583,15149	0,88103
11	0,00356767	141672,61541	0,91622
12	0,00376052	104126,36423	0,88164
13	0,00356378	48055,16404	0,90667
14	0,00367816	27845,91575	0,87996
15	0,00340255	37610,88942	0,93641
16	0,00372990	43316,68139	0,89384
17	0,00382736	51806,95983	0,94033
18	0,00351501	64909,40918	0,94780
19	0,00354769	37852,63059	0,90886

Tablo 3.1'in, 1. sütununda çalışmamızdaki istasyon numaraları, 2. sütunda bozunum sabiti (λ), 3. sütunda başlangıçtaki ($t = 0$ anındaki) aktivite değeri ve 4. sütunda bu sabitlerle elde edilen eğrinin korelasyon katsayısının karesi (R^2) verilmiştir.

EKKM ,

$$A(t) = A_0 e^{-\lambda t} + b \quad 3.6$$

$$A(t) = A_0 e^{-\lambda t} + bt + c \quad 3.7$$

şeklinde iki denklemde de denenmiştir. Fakat korelasyon katsayıları kareleri (R^2) 3.1 denklemi kadar iyi sonuç vermemiştir. Bu sonuçla, bu bölgede ^{131}I çekirdeğinin önceden bulunmadığı EKKM ile tasdik edilmiş olur.

Tablo 2.1 bilgilerine göre ^{131}I çekirdeğinin yarı ömrü $8,070 \pm 0,009$ gün olarak verilmiştir. Yani

$$t_{1/2} = (8,070 \pm 0,009) \times 24 \text{ saat} = 193,68 \pm 0,216 \text{ saat} \quad 3.8$$

olarak hesaplanır. Yine saat cinsinden bozunum sabiti, teorik olarak,

$$\lambda = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} = \frac{0,693}{193,68 \pm 0,216} \cong 0,00357883 \text{ } 1/\text{saat} \quad 3.9$$

şeklinde hesaplanır. Tablo 3.1 denklem 3.10'daki teorik değerle örtüşmektedir.

Tablo 3.1'deki aktivite değerlerine bakıldığında; FDINGS ile arasındaki mesafeler eşit olan istasyonlarda bile aktivite değerlerinin birbirinden çok farklı olduğu görülmektedir. Bu durum büyük olasılıkla coğrafi durumlardan, hava durumundan ve benzeri sebeplerden dolayıdır. Bu ise aktivitenin konuma göre rassal olduğunu gösterir. Rassal parametre söz konusu olduğundan, bu aşamadan sonra istatistiksel düşünce ve hesaplamalar devreye girmelidir.

Tablo 3.2 3 nolu istasyon için zamana karşı ölçülen ve hesaplanan aktivite değerleri

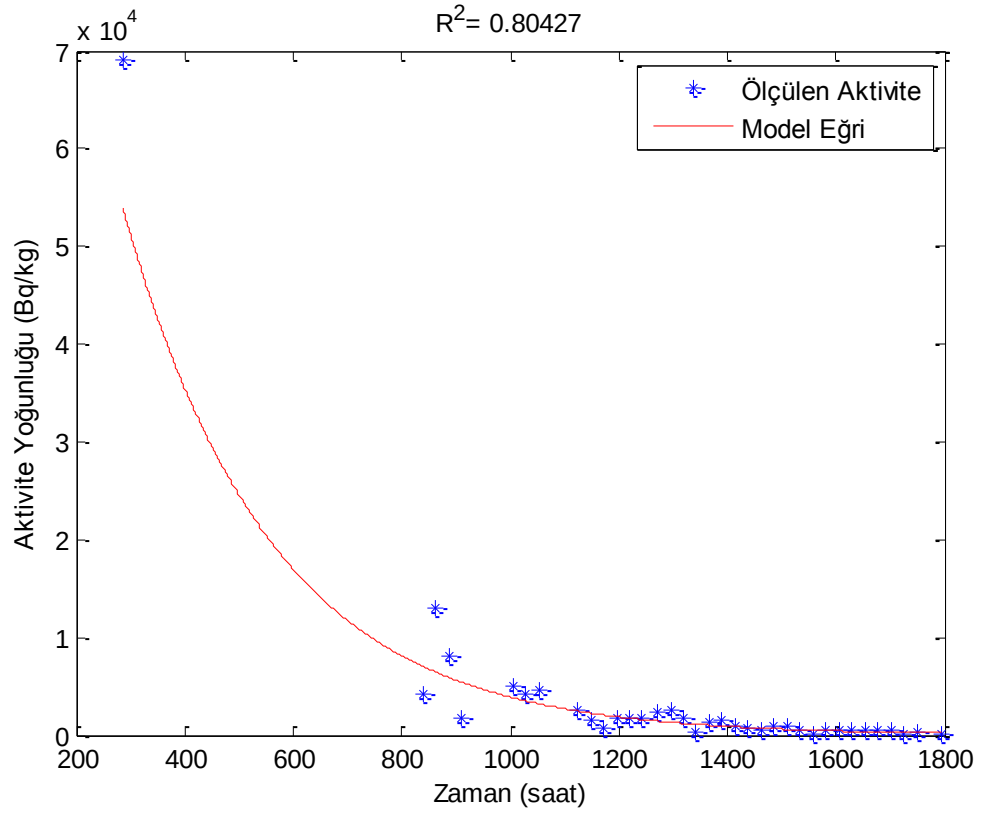
t (saat)	Ölçülen Aktivite (Bq/kg)	Hesaplanan Aktivite (Bq/kg)	t (saat)	Ölçülen Aktivite (Bq/kg)	Hesaplanan Aktivite (Bq/kg)
286	69000	53932,2300	1366	1300	1017,1420
838	4100	7086,8650	1389	1600	934,6665
863	13000	6464,5150	1414	940	852,5865
887	8100	5918,5380	1437	750	783,4543
909	1700	5458,6650	1461	500	717,2857
1005	5100	3835,3100	1485	910	656,7056
1029	4200	3511,3890	1509	940	601,2419
1053	4600	3214,8260	1534	480	548,4424
1125	2600	2467,1360	1557	65	503,9718
1148	1500	2267,0870	1581	580	461,4076
1173	710	2067,9980	1605	580	422,4383
1198	1800	1886,3920	1629	430	386,7602
1221	1700	1733,4330	1653	570	354,0954
1243	1800	1598,7440	1676	540	325,3835
1272	2300	1437,0570	1701	500	296,8092
1295	2600	1320,5330	1724	160	272,7423
1318	1800	1213,4570	1749	230	248,7908
1342	390	1110,9710	1796	190	209,3091

Tablo 3.2, 3 nolu istasyon için hesaplanan ve ölçülen aktivite değerlerini içermektedir. 1. ve 4. sütunda alınan ölçümlerin kazadan kaç saat sonra alındığı, 2. ve 5. sütunda ölçülen aktivite değerleri yer almaktadır. Tablo 3.1'den, 3. İstasyon için uydurulan eğrinin denklemi;

$$A(t) = 154352,1893 e^{-0,003676t} \quad 3.10$$

şeklindedir. 3. ve 6. sütunda en küçük kareler metodu ile uydurulan eğrinin verilen zamandaki değeri 3.12 eşitliğindeki gibi hesaplanmıştır. Bu işlemler 19 istasyon içinde yapıldığında elde edilen değerler, Tablo 3.2 ve Ek 1 tablolarının tamamında verilmiştir.

Bu hesaplamalarla, 3 nolu istasyon için elde edilen $Aktivite = f(t)$ grafiği, yapılan MATLAB® programının çıktısı olarak Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1 3 nolu istasyon için aktivitenin zamana karşı grafiği

Şekil 3.1’de kırmızı çizgi ile gösterilen eğri, EKKM ile 3 nolu istasyon için öngörülen en uygun eğridir. Diğer istasyonlar için elde edilen grafikler Ek 2’de verildi.

3.2. Risk Analizi Sonuçları

Fukushima kazası sonrası açığa çıkan ^{131}I radyoizotopunun aktivite değerleri, istatistiksel olarak ayrık olaylar değildir. Dolayısıyla bu aktivite değerleri için oluşturulacak ihtimali eğrisi kümülatif ihtimal fonksiyonudur. Denklem 2.8, Tablo 3.3'e uygulanabilir. Örneğin; 10 nolu istasyona ait aktivite değerinin ortaya çıkma ihtimali hesaplanırsa; bu ihtimal değeri, 14 nolu istasyona ait aktivite değerinin ortaya çıkma ihtimali ile iki istasyonun aktivite değerleri arasındaki değerlerin ortaya çıkma ihtimalinin toplamına eşittir. Bu olay A ile ifade edilirse, denklem 2.8'den

$$P(A \leq 12610,98) = P(A \leq 11518,14) + P(11518,14 < A \leq 12610,98) \quad 3.11$$

elde edilir. 3.12 ifadesinden de anlaşılabacağı gibi, elde edilen ihtimal fonksiyonlarının kümülatif olması gerekmektedir.

Tablo 3.3 240. saatteki risk ve çevresel risk değerleri

Doğal Sıralı		Küçükten Büyüğe Sıralı		Mertebe (m)	Çevresel Risk (g)	Risk (r)
İstasyon No	Aktivite Yoğunluğu (Bq/kg)	İstasyon No	Aktivite Yoğunluğu (Bq/kg)			
1	116656,90	14	11518,14	1	0,05	0,95
2	24757,00	10	12610,98	2	0,10	0,90
3	63870,15	6	14730,55	3	0,15	0,85
4	53128,32	19	16155,42	4	0,20	0,80
5	47887,16	15	16621,26	5	0,25	0,75
6	14730,55	16	17696,39	6	0,30	0,70
7	865939,70	17	20675,69	7	0,35	0,65
8	488231,10	2	24757,00	8	0,40	0,60
9	289703,60	13	33185,35	9	0,45	0,55
10	12610,98	12	42227,86	10	0,50	0,50
11	60176,24	5	47887,16	11	0,55	0,45
12	42227,86	4	53128,32	12	0,60	0,40
13	33185,35	11	60176,24	13	0,65	0,35
14	11518,14	3	63870,15	14	0,70	0,30
15	16621,26	1	116656,90	15	0,75	0,25
16	17696,39	18	279212,80	16	0,80	0,20
17	20675,69	9	289703,60	17	0,85	0,15
18	279212,80	8	488231,10	18	0,90	0,10
19	16155,42	7	865939,70	19	0,95	0,05

Tablo 3.3'deki 1. ve 2. sütunda istasyonlara ait aktivite değerleri verilmiştir. 4. sütunda aktivite değerleri küçükten büyüğe doğru sıralanmış ve bunlara karşılık gelen istasyon numaraları ise 3. sütunda verilmiştir. 5. sütunda ise küçükten büyüğe doğru sıralanmış aktivitelerin mertebeleri (m) verilmiştir. Denklem 2.10 ile elde edilen çevresel risk değerleri Tablo 3.3'de 6. sütunda verilmiştir. Denklem 2.12 ile elde edilen risk değerleri ise 7. sütunda verilmiştir. Diğer saatlere ait tablolar Ek 4'te verilmiştir. Tablo 3.3 ve Ek 4'de verilen tablolardaki çevresel risk ve risk değerleri, hiçbir aktivite değeri için 1 veya 0 değerini almamıştır. 2. bölümde de bahsedildiği gibi Fukushima kazası sonrası açığa çıkan ^{131}I radyoizotopunun en yüksek aktivite değerleri bilinemediğinden, en küçük değeri de ölçülemediğinden bu değerler makuldür.

Verilen saatlerde 19 istasyon için risk değerleri bulunmaktadır. Bu risk değerlerinin hangi dağılıma uyduğunu göstermek gerekir. MATLAB® ile yapılan programlar yardımı ile en uygun üç dağılımın parametreleri Tablo 3.4'de verilmiştir. 240. saatteki aktiviteye karşı risk grafiği Şekil 3.2'de verilmiştir. Diğer saatlerdeki grafikler Ek 5'te verilmiştir. Bu dağılımların uygunluğu Tablo 3.5'de verilen korelasyon katsayılarının karesi (R^2) ile tespit edilmiştir.

Tablo 3.4 Saatlere göre dağılım fonksiyonlarının parametreleri

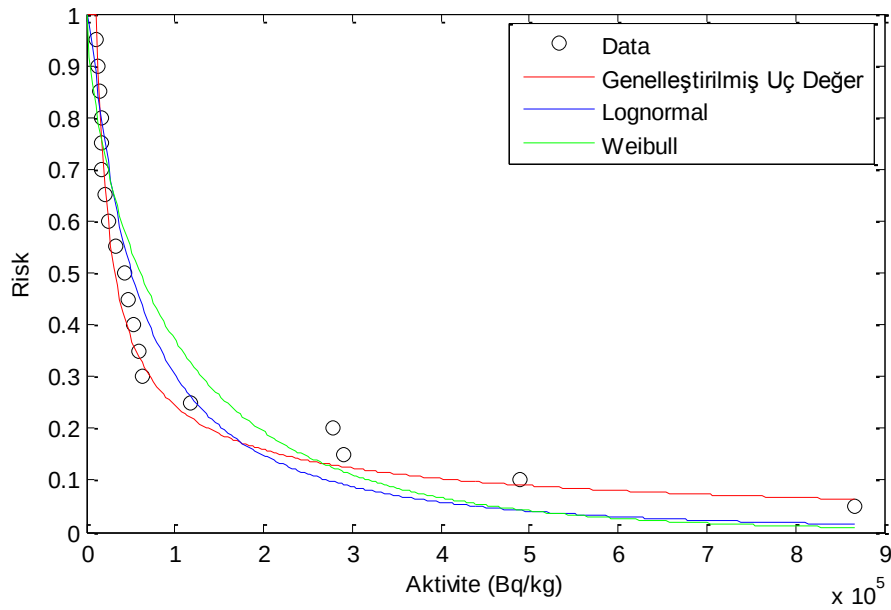
Zaman (saat)	Weibull		Lognormal		Genelleştirilmiş Uç-Değer		
	α (-)	β (Bq/kg)	μ (Bq/kg)	σ (Bq/kg)	k (-)	μ (Bq/kg)	σ (Bq/kg)
240.	0,723552	100805,64	51063,49	3,696306	1,552193	22590,07	19336,03
360.	0,720792	65285,54	33001,75	3,712866	1,565860	14509,79	12673,46
480.	0,717849	42289,84	21328,66	3,731421	1,501146	9576,53	8621,97
600.	0,714735	27399,39	13784,4	3,751977	1,413320	6385,04	5929,08
720.	0,711463	17755,40	8908,748	3,774546	1,343775	4236,60	4043,69
840.	0,708046	11508,10	5757,623	3,799133	1,290022	2797,48	2735,51
960.	0,704493	7460,35	3721,087	3,825752	1,247467	1840,53	1838,85
1080.	0,700818	4837,22	2404,896	3,854414	1,213026	1207,65	1230,01
1200.	0,697031	3136,99	1554,257	3,885124	1,184698	790,73	819,54
1320.	0,693143	2034,74	1004,499	3,917905	1,161139	516,89	544,31
1440.	0,689164	1320,02	649,1962	3,952764	1,141411	337,42	360,56

Tablo 3.4'ün, 1. sütununda hesaplama yapılan saatler mevcuttur. 2. ve 3. sütununda weibull dağılımının parametreleri, 4. ve 5. sütunda lognormal dağılımının parametreleri, 6., 7., ve 8. sütunda ise genelleştirilmiş Uç-Değer dağılımının parametreleri mevcuttur. 6. sütundaki k parametresinden dolayı ($k > 0$), genelleştirilmiş Uç-Değer dağılımının tip 2 kısmına uymaktadır.

Tablo 3.5 Dağılımların korelasyon katsayılarının karesi (R^2)

Zaman (saat)	Weibull	Lognormal	Genelleştirilmiş Uç-Değer
240.	0,888712	0,940069	0,986169
360.	0,889536	0,940809	0,983607
480.	0,890289	0,941416	0,982529
600.	0,890981	0,941914	0,981845
720.	0,891347	0,941951	0,979861
840.	0,892154	0,942522	0,978637
960.	0,893021	0,943168	0,977732
1080.	0,894562	0,944512	0,977316
1200.	0,896613	0,946485	0,978036
1320.	0,898463	0,948219	0,978693
1440.	0,899907	0,949435	0,978789

Tablo 3.5'in, 1. sütununda hesaplama yapılan zamanlar mevcuttur. 2., 3., ve 4. sütununda sırasıyla weibull, lognormal ve genelleştirilmiş Uç-Değer dağılımları ile verilen saatlerdeki risk değerleri arasındaki korelasyon katsayısının kareleri (R^2) mevcuttur. Korelasyon katsayısının karelerine bakıldığında tüm zamanlarda Genelleştirilmiş Uç-Değer dağılımı en uygun dağılımdır. Dikkat edilecek diğer bir husus; Genelleştirilmiş Uç-Değer dağılımına ait R^2 değerinin zamanla azalmasıdır. Bu durum beklenebilir. Çünkü zaman geçtikçe serpinti kaynaklı risk dağılımının azalması normaldir. Tablo 3.5'te bunu en iyi veren ihtimaliyet dağılım fonksiyonunu Genelleştirilmiş Uç-Değer dağılımı olduğunu görmekteyiz.

**Şekil 3.2** 240. saatteki aktiviteye karşı risk grafiği

Şekil 3.2 ve Ek 5'in tamamındaki grafiklere bakıldığında; Genelleştirilmiş Uç-Değer dağılımına ait eğrinin diğer dağılımlara ait eğrilerden daha çok noktayı kestiği görülmektedir. Korelasyon katsayısı hesabı ile elde edilen sonuç bu grafiklerle, görsel olarak tasdik edilmiştir.

Tablo 3.6'da 240. saatteki genelleştirilmiş Uç-Değer dağılımına göre risk ve çevresel risk değerleri, istasyon numaraları ile verilmiştir.

Tablo 3.6 240. saatteki, genelleştirilmiş Uç-Değer dağılımına göre risk ve çevresel risk değerleri

İstasyon No	Aktivite Yoğunluğu (Bq/kg)	Risk (r)	Genelleştirilmiş Uç-Değer Risk (r_{gud})	Genelleştirilmiş Uç-Değer Çevresel Risk (g_{gud})
14	11518,14	0,95	0,983700	0,016300
10	12610,98	0,90	0,940996	0,059004
6	14730,55	0,85	0,850516	0,149484
19	16155,42	0,80	0,797531	0,202469
15	16621,26	0,75	0,781794	0,218206
16	17696,39	0,70	0,748203	0,251797
17	20675,69	0,65	0,671588	0,328412
2	24757,00	0,60	0,594177	0,405823
13	33185,35	0,55	0,489650	0,510350
12	42227,86	0,50	0,419290	0,580710
5	47887,16	0,45	0,387075	0,612925
4	53128,32	0,40	0,362491	0,637509
11	60176,24	0,35	0,335184	0,664816
3	63870,15	0,30	0,322901	0,677099
1	116656,90	0,25	0,221919	0,778081
18	279212,80	0,20	0,129011	0,870989
9	289703,60	0,15	0,126078	0,873922
8	488231,10	0,10	0,09097	0,909030
7	865939,70	0,05	0,063444	0,936556

Tablo 3.6'nın 1. sütununda istasyon numaraları 2. sütununda istasyonlardaki aktivite değerleri, 3. sütununda denklem 2.10 ile elde edilen risk değerleri (r) mevcuttur. 4. ve 5. sütununda ise denklem 2.16 ve denklem 2.15 ile elde edilen genelleştirilmiş Uç-Değer dağılımı risk değerleri (r_{gud}) ve çevresel risk değerleri (g_{gud}) mevcuttur. Örnek bir işlem olarak Tablo 3.4'deki Genelleştirilmiş Uç-Değer dağılımına ait 240. saatteki k , μ ve σ parametreleri ile 14. istasyon için aktivite değeri, denklem 2.16'da yerine yazılırsa;

$$r_{gud} = 1 - F(11518.14 | 1.552193, 22590.07, 19336.03)$$

$$r_{gud} = 1 - \exp \left(- \left(1 + 1.552193 \frac{(11518.14 - 22590.07)}{19336.03} \right)^{-\frac{1}{1.552193}} \right)$$

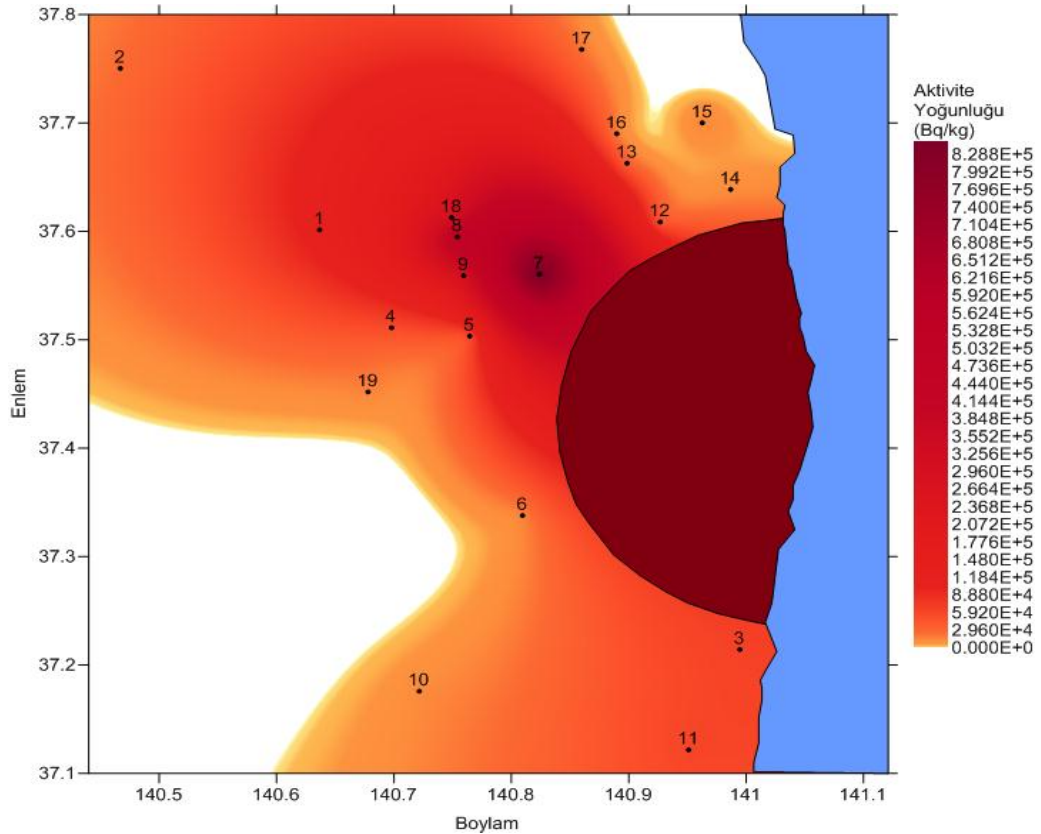
$$r_{gud} = 0.983700$$
3.12

elde edilir.

Tablo 3.6 ve Ek 7 tablolarının tamamında görüldüğü gibi risk ve çevresel risk değerleri, genelleştirilmiş Uç-Değer dağılımına ait risk ve çevresel risk değerleri ile örtüşmektedir.

3.3. Kriging Metodu Sonuçları

Yapılan işlemler neticesinde, EKKM ile herhangi bir anda 19 istasyon için veri elde edilmiştir. Fukushima kazasından 240 saat sonra ^{131}I 'in dağılım haritası Şekil 3.3'de verilmiştir.



Şekil 3.3 240. saatteki aktivite haritası

Şekil 3.3'deki haritanın dikey eksenini enlem, yatay eksenini ise boylam değerlerini göstermektedir. Rakamlarla gösterilen noktalar ise istasyonların bulunduğu konumu göstermektedir. Deniz kıyısındaki yarım daire ile gösterilen alan ise yasaklı bölgedir. Fukushima kazasından sonra 20 km'lik bölgenin yasaklandığını Bölüm 1'de bahsedilmişti. Bu bölge, aktivite yoğunluğu skalasının en üst kısmını temsil eden renkten daha koyu bir renkle gösterilmektedir. Kazadan sonra bu bölgede sadece doz ölçümü yapılmış, aktivite ölçümü yapılmamıştır. Bu duruma 4. Bölümde değinilecektir. Diğer zamanlar için elde edilmiş haritalar Ek 3'ün tamamında gösterilmektedir. Ayrıca bu haritalardan elde edilen simülasyon `ahmet_bilici_ek_aktivite_haritası.mpg` dosyasında gösterilmektedir.

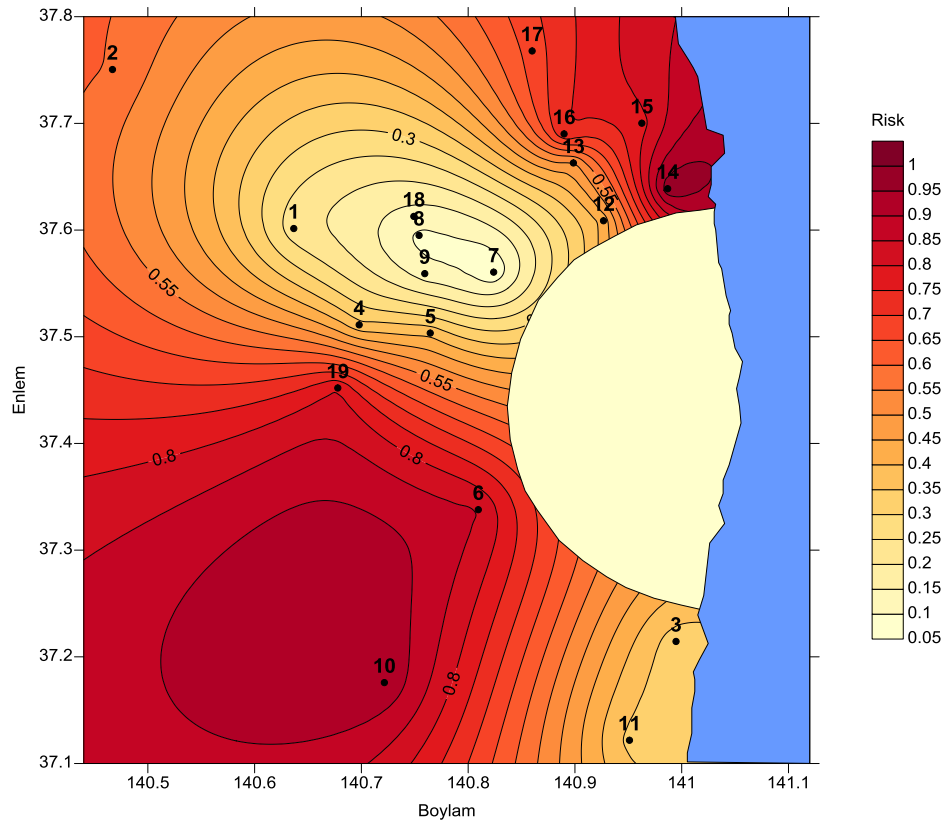
Şekil 3.3 ve Ek 3 haritalarının tamamına bakıldığında, Fukushima'nın kuzey kısmında ve güney-batı kısmında, aktivite değeri 0'a yakın değer göstermektedir. Bu tabii ki gerçeği yansıtmamaktadır. INES standartlarında seviye 7 olarak gösterilen bu kazanın ardından neredeyse tüm Dünya etkilenmiştir. Bu sebeple 60 km ötedeki bir bölgenin etkilenmemesi imkânsızdır. Kriging metodu gereği ve o bölgelerde ölçüm alınamamasından dolayı, bu bölgelerde aktivite değeri çok düşük olarak görülmektedir. Buna karşın, Fukushima'nın kuzey-batı ve güney kısmındaki bölgelerde aktivite değerleri yüksek görülmektedir. Bu durumda, kazadan sonra ^{131}I çekirdeğinin kuzey-batı ve güney yönünde taşındığını söylenebilir.

Simülasyon 1440 saatlik yani 60 günlük yapılmıştır. ^{131}I çekirdeğinin yarı ömründen dolayı, artık 60 günden sonra aktivite değeri çok çok düşük seviyelere inmiştir. Hatta Japon yetkililer 60 günden sonra ^{131}I ölçememişlerdir. Simülasyonda da görüldüğü gibi aktivite değerleri, zamanla, hızla azalmıştır.

Fukushima kazasından 240 saat sonraki aktivite değerlerine karşılık gelen Genelleştirilmiş Uç-Değer dağılımına göre risk değerleri için harita Şekil 3.4'de, çevresel risk değerleri için harita Şekil 3.5'de verilmiştir. Diğer zamanlar için elde edilmiş haritalar Ek 6'da ve Ek 8'de gösterilmektedir. Ayrıca bu haritalardan elde edilen simülasyon, `ahmet_bilici_ek_gud_risk_haritası.mpg` ve `ahmet_bilici_ek_gud_çevresel_risk_haritası.mpg` dosyalarında gösterilmektedir.

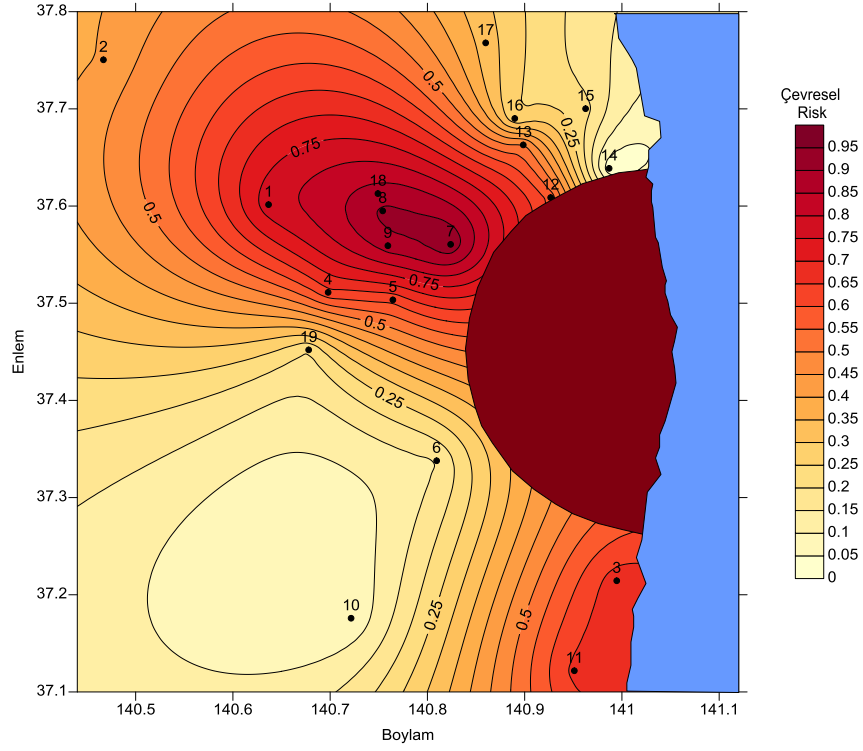
Şekil 3.4'deki ve Şekil 3.5'deki haritaların dikey eksenini enlem, yatay eksenini ise boylam değerlerini göstermektedir. Rakamlarla gösterilen noktalar ise istasyonların

bulunduğu konumu göstermektedir. İzoeğriler Şekil 3.4 için riski ve Şekil 3.5 için çevresel riski, bunlar üzerindeki rakamlar ise risk ve çevresel risk değerlerini göstermektedir. Yine deniz kıyısındaki yarım daire ile gösterilen alan yasaklı bölgedir. Bu bölge, Şekil 3.4 için risk skalasının en alt kısmını temsil eden renkten daha açık bir renkle gösterilmektedir ve Şekil 3.5 için çevresel risk skalasının en üst kısmını temsil eden renkten daha koyu bir renkle gösterilmektedir.



Şekil 3.4 240. saatteki, aktivite değerlerine karşılık gelen Genelleştirilmiş Uç-Değer dağılımına göre risk değerleri için harita

Şekil 3.4 ve Ek 6 haritalarının tamamına bakıldığında, Fukushima'nın kuzey kısmında ve güney-batı kısmında, risk değeri 1'e yakın gösterilmektedir. Bu durum aktivite haritaları için yapılan değerlendirme paralelindedir. Bu bölgelerde aktivite değerleri 0'a yaklaştığından risk değerleri 1'e yaklaşmıştır. Buna karşın, Fukushima'nın kuzey-batı ve güney kısmındaki bölgelerde risk değerleri düşük görülmektedir. Ayrıca simülasyonda da görüldüğü gibi risk değerleri, zamanla artmıştır.



Şekil 3.5 240. saatteki, aktivite değerlerine karşılık gelen Genelleştirilmiş Uç-Değer dağılımına göre çevresel risk değerleri için harita

Şekil 3.5 ve Ek 8 haritalarının tamamına bakıldığında, Fukushima'nın kuzey kısmında ve güney-batı kısmında, çevresel risk değeri 0'a yakın gösterilmektedir. Bu durum aktivite haritaları için yapılan değerlendirme paralelindedir. Bu bölgelerde aktivite değerleri 0'a yaklaştığından çevresel risk değerleri 0'a yaklaşmıştır. Buna karşın, Fukushima'nın kuzey-batı ve güney kısmındaki bölgelerde çevresel risk değerleri yüksek görülmektedir. Ayrıca simülasyonda da görüldüğü gibi çevresel risk değerleri, zamanla azalmıştır.

3.4. Genel Sonuç

11 Mart 2011 günündeki Fukushima kazasından sonra, kısa yarı ömürlü ^{131}I radyoizotopunun çalışma bölgesinde (Tablo 2.2) topraktaki ölçümler 19 istasyonda, farklı zamanlarda alınmıştır. Bu verilere uygun bir risk analizi metodu geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda öncelikle tüm istasyonlar için eş zamanlı veriler EKKM ile elde edilmiştir. Bu aşamadan sonra eş zamanlı verilerin risk değerleri elde edilmiştir. Son aşamada, bu risk değerlerinin Genelleştirilmiş Uç-Değer dağılımına uyduğu (Tablo 3.5) gösterilmiştir. Aktivite risk değerlerinin Genelleştirilmiş Uç-Değer dağılımına uyduğunu söylemek, Genelleştirilmiş Uç-Değer dağılımının bu bölgedeki aktivitelerin bir karakteristiği olduğunu söylemekle eşdeğerdir. O halde aktivite değeri azaldıkça, Genelleştirilmiş Uç-Değer dağılımının uygunluğunun da azalması beklenir. Sonuç olarak; kısa yarı ömürlü ^{131}I radyoizotopunun konuma göre risk dağılımı Genelleştirilmiş Uç-Değer dağılımına uymaktadır.

4. ÖNERİLER

Fukushima'dan önce meydana gelen reaktör kazalarında ^{131}I ölçümleri sağlıklı bir şekilde alınmamıştır. Bu nedenle ^{131}I radyoizotopuna ait modelleme çalışmaları yapılamamıştır. Fukushima kazasından sonra alınan ölçümler bu çalışmanın yapılmasına imkân sağlamıştır.

Bu kaza ve sonuçları incelendiğinde sonuçların genellikle lineer olmayan bir şekilde değiştiği görülmektedir. Çünkü atmosfere ve diğer çevresel sistemlere yayılan radyoaktif materyaller atmosferik basınçtan, ortamın nemine kadar pek çok değişkenlerden etkilenmektedir. Benzer çalışmalar için yapılacak modellemeler pür matematiksel işlemler yerine, yerlerini yapay zekâ tekniklerine bırakabilir. Örneğin, oluşturulabilecek ileri çalışmalarda yapay sinir ağları, bulanık mantık kullanılabilir. Diğer taraftan non-lineer çalışmalar için etkili sonuçlar veren kaotik hesaplamalarda bu ve benzer çalışmalar için sonraki adımlar olarak uygulanabilir.

KAYNAKLAR

- [1] **Lehr, J., H.**, 2011. Nuclear Energy Encyclopedia Science, Wiley, New Jersey.
- [2] **Park, C., C.**, 1989. Chernobyl: The Long Shadow, Taylor&Francis, New York.
- [3] **Boltz, F.**, 2012. Meltdown!: The Nuclear Disaster in Japan and Our Energy Future, Twenty-First Century Books, Minneapolis.
- [4] **Walker, S., J.**, 2005. Three Mile Island: A Nuclear Crisis in Historical Perspective, The University of California Press, California.
- [5] **IAEA**, Classification of Radioactive Waste, no: gsg1, Vienna, 2009.
- [6] **IAEA**, The Principles of Radioactive Waste Management, Safety Fundamentals, no: 111-G-11, 1994.
- [7] **TAEK**, Radyasyon, İnsan ve Çevre, ISBN: 978-975-8898-28-2, Ankara, 2009.
- [8] <http://radioactivity.mext.go.jp>, MEXT, 10.10.2011.
- [9] **Külahcı, F.**, 2011. A Risk Analysis Model for Radioactive Wastes. *Journal of Hazardous Materials*, **191**, 349-355.
- [10] **Külahcı, F. ve Şen, Z.**, 2009. Risk assesment of distribution coefficient from Cs-137 measurements, *Environ Monit Assess*, **149**, 363-370.
- [11] **Şen, Z.**, 2009. Kuraklık Afet ve Modern Hesaplama Yöntemleri, Su Vakfı Yayınları, İstanbul.
- [12] **Şen, Z.**, 1999. Simple risk calculations in dependent hydrological, *Hydrological Scieemces-Journal-desSciences Hidrologiques*, **44**, 871-878.
- [13] **Şen, Z.**, 2009. Taşkın Afet ve Modern Hesaplama Yöntemleri, Su Vakfı Yayınları, İstanbul.

- [14] **Şen, Z.**, 1976. Wetand Dry Periods of Annual Flow Series, *Journal of Hidraulics Division*, **102**, 1503-1514.
- [15] **Şen, Z.**, 2002. İstatistik Veri İşleme Yöntemleri, Su Vakfı Yayınları, İstanbul.
- [16] **Tevfik, A., T.**, 1997. Risk Analizine Giriş, Alfa, İstanbul.
- [17] **Niksarlıoğlu, S.**, 2010. Radyoaktif Serpentinin Uzay-Zaman Modellenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, FÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [18] **Valkovic, V.**, 2000. Radioactivity in the Enviromental, Elsevier, New York.
- [19] **Krane, K., S.**, 2001. Nükeer Fizik 1. Cilt, Palme Yayıncılık, Ankara.
- [20] **Burns, P., C. Ve Finch, R.**, 1999. Uranium: Mineralogy, Geochemistry And The Environment, Mineralogy Society of America, Washington.
- [21] **Blatt, J., M. ve Weisskopf, F.**, 1979. Theoretical Nuclear Physics, Springer, New York.
- [22] **Külahcı, F.**, 2005. Keban Baraj Gölü Uluova Kesiminin Doğal Radyoaktivitesinin Belirlenmesi, *Doktora Tezi*, FÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [23] **Bilici, A. ve Külahcı, F.**, 2011. $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow \dots \rightarrow r \rightarrow \dots \rightarrow n$ Radyoaktif Bozunum Zincirinde r. Radyoaktif Çekirdek ve n. Kararlı Çekirdek Sayısının Elde Edilmesi. *6. Ulusal Fizik Öğrencileri Kongresi*, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul.
- [24] **Lillington, J.**, 2004. The Future of Nuclear Power, Elsevier, New York.
- [25] **L'Annunziata, M., F.**, 2007. Radioactivity Introduction and History, Elsevier, Amsterdam.
- [26] **L'Annunziata, M., F.**, 2003. Handbook of Radioactivity Analysis, Elsevier, California.
- [27] **Henley, E., J. ve Kouts, H.**, 1962. Advances in Nuclear Science and Tecnology, Plenum Press, New York.

- [28] **Lewis, E., E.**, 2008. Fundamentals of Nuclear Physics, Elsevier, New York.
- [29] <http://www.iaea.org/news/2011/fukushimafull.html>, IAEA, Fukushima Nuclear Accident Log, 05.02.2012
- [30] **Osif, B., A., Barata, A., J. ve Conkling, T., W.**, 2006. TMI 25 Years Later: The Three Mile Island Nuclear Power Plant Accident and Its Impacts, Pennsylvania State University Press, Pennsylvania.
- [31] **Bevelacqua, J., J.**, 2012. Applicability of health physics lessons learned from the Three Mile Island Unit 2 accident to the Fukushima Dai ichi accident, *Journal of Environmental Radioactivity*, **105**, 6-10.
- [32] **TAEK**, 2007. Çernobil Nükleer Santralinin Özellikleri ve Kazanın Oluşumu, Milenyum Form, Ankara.
- [33] http://tr.wikipedia.org/wiki/Fuku%C5%9Fima_I_N%C3%BCkleer_Santrali_kazalar, Fukushima I Nükleer Santrali kazaları, 01.05.2012.
- [34] <http://www.taek.gov.tr/basin-aciklamalari/209-2011.html>, Basın Açıklamaları, 02.09.2011.
- [35] **Sinclair, L., E., Seywerd, H., C., Fortin, R., Carson, J., M., Saull, P., R., Coyle, M., J., Van Brabant, R., A., Buckle, J., L., Desjardins, S. ve Hall, R., M.**, 2011. Aerial measurement of radioxenon concentration of the West coast of Vancouver Island following the Fukushima reactor accident, *Journal of Environmental Radioactivity*, **102**, 1018-1023.
- [36] **Yamaguchi, N., Eguchi, S., Fujiwara, H., Hayashi, K. ve H. Tsukada**, 2012. Radiocesium and radioiodine in soil particle sagitated by agricultural practices: Field observation after the Fukushima nuclear accident, *Science of the Total Environment*, **425**, 128-134.
- [37] **Momoshima, N., Sugihara, S., Ichikawa, R. ve H. Yokoyama**, 2011. Atmospheric radionuclides transported to Fukuoka, Japan remote from Fukushima Daiichi nuclear power complex following the nuclear accident, *Journal of Environmental Radioactivity*, **xxx**, 1-5.

- [38] **Bolsunovsky, A. ve Dementyev, D.**, 2011. Evidence of radioactive fallout in the center of Asia (Russia) following the Fukushima Nuclear Accident, *Journal of Environmental Radioactivity*, **102**, 1062-1064.
- [39] **Tagami, K., Uchida, S., Uchihori, Y., Ishii, N., Kitamura, H. ve Y. Shirakawa**, 2011. Specific activity and activity ratios of radionuclides in soil collected about 20 km from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant: Radionuclide release to the south and southwest, *Science of the Total Environment*, **409**, 4885-4888.
- [40] **Morino, Y., Ohara, T. ve Nishizawa, M.**, 2011. Atmospheric behavior, deposition, and budget of radioactive materials from the Fukushima Daiichi nuclear power plant in March 2011, *Geophysical Research Letters*, **38**, L00G11 (doi:10.1029/2011GL048689).
- [41] **Huh, C.,A., Hsu, S.,C. ve Lin, C.,Y.**, 2012. Fukushima-derived fission nuclides monitored around Taiwan: Free tropospheric versus boundary layer transport, *Earth and Planetary Science Letters*, **319-320**, 9-14.
- [42] **Manolopoulou, M., Vagena, E., Stoulos, S., Ioannidou, A. ve Papastefanou, C.**, 2011. Radioiodine and radiocesium in Thessaloniki, Northern Greece due to the Fukushima nuclear accident, *Journal of Environmental Radioactivity*, **102**, 796-797.
- [43] **Lozano, R., L., Hernandez-Ceballos, M., A., Adame, J., A., Casas-Ruiz, M. ve Sorribas, M.**, 2011. Radioactive impact of Fukushima accident on the Iberian Peninsula: Evolution and plume previous Pathway, *Environment International*, **37**, 1259-1264.
- [44] **Pittauerova, D., Hettwing, B. ve Fischer, H., W.**, 2011. Fukushima fallout in Northwest German environmental media, *Journal of Environmental Radioactivity*, **102**, 877-880.
- [45] **Draxler, R., R. ve Rolph, G., D.**, 2012. Evaluation of the Transfer Coefficient Matrix (TCM) approach to model the atmospheric radionuclide air

concentrations from Fukushima, *Journal of Geophysical Research*, **117**, D05107(doi:10.1029/2011JD017205).

- [46] **Fujiwara, T., Saito, T., Muroya, Y., Sawahata, H., Yamashita, Y., Nagasaki, S., Okamoto, K., Takahashi, H., Uesaka, M., Katsumura, Y. ve Tanaka, S.**, 2012. Isotopic ratio and vertical distribution of radionuclides in soil affected by the accident of Fukushima Dai-ichi nuclear power plants, *Journal of Enviromental Radioactivity*, **113**, 37-44.
- [47] **Bowyer, T., W., Biegalski, S., R., Cooper, M., Eslinger, P., W., Haas, D., J., Hayes, C., Miley, H., S., Strom, D., J. ve Woods, V.**, 2011. Elevated radioxenon detected remotely following the Fukushima nuclear accident, *Jornual of Environmental Radioactivity*, **102**, 681-687.
- [48] **Weast, R., C.**, 1972. Handbook of Chemistry and Physics, The Chemical Rubber Company Press, Ohio.
- [49] **Davis, J., C.**, 2002. Statistics and Data Analysis in Geology, John Wiley and Sons, New York.
- [50] **Orhunbilge, N.**, 2002. Uygulamalı Regresyon ve Korelasyon Analizi, İstanbul Üniversitesi Basım ve Yayınevi, İstanbul.
- [51] **Bayazıt, M. ve Oğuz, B.**, 1981. Mühendisler için İstatistik, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- [52] **Cramer, H.**, 1962. Random Variables And Probability Distributions, Cambridge University Press, Cambridge.
- [53] **Forbey, C., Evans, M., Hostings, N. ve Peacock, B.**, 2010. Statistical Distributions, Wiley, New Jersey.
- [54] **Kitchens, L., J.**, 1996. Exploring Statistic, Duxbury, New York.
- [55] **Embrechts, P., Klüppelberg, C. ve Mikosch, T.**, 1997. Modelling extremal events for insurance and finance, Springer, Berlin.

- [56] **Leadbetter, M., R., Lindgren, G. ve Rootzen,H.,** 1983. Extremes and related properties of random sequences and processes, Springer.
- [57] **Resnick, S., I.,** 1987. Extrem values, regular variation and point processes, Springer.
- [58] **Coles, S.,** 2001. An Introduction to Statistical Modelling of Extreme Values, Springer.
- [59] **Işık, M.,** 1995. İhtimal Dağılımları ve Aralarındaki İlişkiler, *Yüksek Lisans Tezi*, FÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

EKLER

EK 1

19 İstasyon için Zamana Göre Ölçülen ve Hesaplanan Aktivite Değerleri Tabloları

Ek-1 Tablo 1 1nolu istasyon için zamana karşı ölçülen ve hesaplanan aktivite değerleri

t (saat)	Ölçülen Aktivite (Bq/kg)	Hesaplanan Aktivite (Bq/kg)	t (saat)	Ölçülen Aktivite (Bq/kg)	Hesaplanan Aktivite (Bq/kg)
337	73000	79698,91	1171	2400	3011,989
364	49000	71679,84	1196	2200	2730,294
403	65000	61499,65	1219	2600	2494,463
427	63000	55967,32	1243	2800	2270,069
452	71000	50733,01	1267	2400	2065,86
476	59000	46169,22	1292	2600	1872,652
500	54000	42015,98	1315	2000	1710,9
525	54000	38086,46	1339	2200	1556,993
572	6600	31666,51	1367	1700	1394,844
596	31000	28817,88	1387	1900	1289,468
621	41000	26122,71	1411	1700	1173,471
644	39000	23866,34	1435	1100	1067,909
668	27000	21719,4	1459	1100	971,843
715	14000	18058,32	1483	220	884,4189
740	22000	16369,43	1507	640	804,8592
790	15000	13450,73	1531	1300	732,4564
811	17000	12385,82	1556	1100	663,9539
835	5600	11271,63	1579	330	606,6045
859	6000	10257,67	1604	400	549,8722
883	9900	9334,919	1774	570	282,0223
907	17000	8495,178	1945	85	144,0786
957	4600	6980,471	1946	110	143,5138
979	9100	6402,626	1947	170	142,9513
1004	4300	5803,825	1947,5	160	142,6708
1051	3800	4825,517	1948	180	142,3909
1147	1500	3309,721			

Ek-1 Tablo 2 2nolu istasyon için zamana karşı ölçülen ve hesaplanan aktivite değerleri

t (saat)	Ölçülen Aktivite (Bq/kg)	Hesaplanan Aktivite (Bq/kg)	t (saat)	Ölçülen Aktivite (Bq/kg)	Hesaplanan Aktivite (Bq/kg)
555	6100	7749,628	1105	420	1019,888
577	11000	7145,814	1129	640	933,5135
600	5100	6564,797	1154	910	851,3095
625	7500	5986,709	1177	540	782,0905
673	7700	5015,62	1201	490	715,8553
696	4800	4607,805	1226	690	652,818
720	4300	4217,57	1242	750	615,4191
745	3200	3846,177	1266	440	563,2992
762	3400	3612,49	1290	670	515,5934
786	3880	3306,549	1314	520	471,9278
811	2900	3015,378	1345	360	420,9539
835	4800	2760,006	1362	400	395,3775
859	2100	2526,261	1386	430	361,893
887	2900	2278,459	1410	380	331,2443
912	2200	2077,821	1434	370	303,1912
935	1500	1908,875	1458	500	277,514
963	1700	1721,633	1482	190	254,0113
986	1200	1581,649	1506	410	232,4991
1010	1300	1447,699	1531	170	212,0255
1033	1400	1329,988	1554	340	194,786
1059	1200	1208,407	1578	100	178,2896
1082	1100	1110,153			

Ek-1 Tablo 3 4nolu istasyon için zamana karşı ölçülen ve hesaplanan aktivite değerleri

t (saat)	Ölçülen Aktivite (Bq/kg)	Hesaplanan Aktivite (Bq/kg)	t (saat)	Ölçülen Aktivite (Bq/kg)	Hesaplanan Aktivite (Bq/kg)
287	70000	45029,59	1340	1100	1107,246
361	13000	34706,2	1364	1500	1017,574
404	14000	29832,66	1389	1000	931,879
428	25000	27416,62	1414	760	853,4009
670	11000	11699,73	1437	470	787,0516
715	25000	9986,293	1461	960	723,311
742	14000	9081,161	1485	650	664,7325
813	8200	7073,513	1511	340	606,6137
837	6300	6500,654	1536	370	555,5278
861	1800	5974,188	1559	540	512,3372
886	12000	5471,072	1584	1100	469,1908
909	12000	5045,713	1608	430	431,1927
959	4400	4231,65	1631	340	397,6688
982	3700	3902,652	1655	360	365,4629
1007	4800	3573,991	1675	440	340,6263
1054	1500	3029,182	1699	69	313,0401
1076	2500	2803,521	1723	220	287,6881
1105	3200	2531,537	1747	420	264,3892
1173	2800	1992,796	1771	380	242,9772
1198	3100	1824,973	1795	350	223,2993
1223	4500	1671,283	1819	290	205,2151
1246	1600	1541,346	1843	150	188,5954
1271	630	1411,542	1867	170	173,3217
1296	2600	1292,669	1891	110	159,285
320	310	1187,98			

Ek-1 Tablo 4 5nolu istasyon için zamana karşı ölçülen ve hesaplanan aktivite değerleri

t (saat)	Ölçülen Aktivite (Bq/kg)	Hesaplanan Aktivite (Bq/kg)	t (saat)	Ölçülen Aktivite (Bq/kg)	Hesaplanan Aktivite (Bq/kg)
670	13000	11703,08	1414	910	1022,206
721	8000	9902,023	1437	1100	947,9994
742	11000	9243,566	1461	720	876,3033
766	11000	8544,486	1487	500	804,7384
884	5400	5804,49	1511	360	743,877
910	3900	5330,455	1535	400	687,6184
960	3700	4524,921	1559	580	635,6147
982	4000	4210,207	1583	310	587,5439
1007	5800	3879,063	1606	540	544,8912
1054	2800	3325,391	1630	740	503,6817
1078	4100	3073,895	1652	500	468,6501
1150	2000	2427,886	1676	560	433,2066
1174	2700	2244,268	1700	540	400,4437
1199	2700	2067,75	1724	450	370,1586
1222	3500	1917,642	1748	440	342,164
1248	1800	1761,034	1772	170	316,2865
1271	2400	1633,192	1796	120	292,3661
1297	1300	1499,814	1820	170	270,2548
1318	1800	1400,081	1844	180	249,8158
1341	1900	1298,442	1870	320	229,4141
1366	800	1196,316	2257	210	64,54955
1391	1700	1102,222			

Ek-1 Tablo 5 6nolu istasyon için zamana karşı ölçülen ve hesaplanan aktivite değerleri

t (saat)	Ölçülen Aktivite (Bq/kg)	Hesaplanan Aktivite (Bq/kg)	t (saat)	Ölçülen Aktivite (Bq/kg)	Hesaplanan Aktivite (Bq/kg)
573	5500	4684,678	1411	270	262,1889
814	2300	2044,556	1435	200	241,4103
836	1600	1895,52	1459	220	222,2783
860	2300	1745,299	1485	190	203,2592
884	1600	1606,982	1507	170	188,4429
956	2500	1254,397	1533	160	172,3189
980	1100	1154,985	1556	200	159,2092
1003	430	1067,117	1582	130	145,5866
1051	1300	904,679	1605	160	134,5107
1124	840	703,7597	1629	77	123,8506
1152	500	639,1301	1655	120	113,2534
1171	550	598,6888	1678	120	104,6373
1197	580	547,4623	1702	87	96,34473
1220	400	505,8126	1726	110	88,70933
1244	140	465,7265	1749	120	81,96052
1268	540	428,8173	1774	87	75,2059
1292	450	394,8332	1799	85	69,00795
1315	360	364,7952	1822	73	63,75799
1343	490	331,2943	1846	75	58,70511
1364	380	308,2035	1869	28	54,23896
1387	270	284,7561			

Ek-1 Tablo 6 7nolu istasyon için zamana karşı ölçülen ve hesaplanan aktivite değerleri

t (saat)	Ölçülen Aktivite (Bq/kg)	Hesaplanan Aktivite (Bq/kg)	t (saat)	Ölçülen Aktivite (Bq/kg)	Hesaplanan Aktivite (Bq/kg)
457	340000	413398,7	1368	19000	18546,54
669	210000	200747,2	1387	18000	17383,87
720	130000	168724,9	1411	20000	16018,84
744	190000	155476,2	1435	14000	14760,99
1339	31000	20472,8	1796	2800	4314,241

Ek-1 Tablo 7 8 nolu istasyon için zamana karşı ölçülen ve hesaplanan aktivite değerleri

t (saat)	Ölçülen Aktivite (Bq/kg)	Hesaplanan Aktivite (Bq/kg)	t (saat)	Ölçülen Aktivite (Bq/kg)	Hesaplanan Aktivite (Bq/kg)
335	88700	337656,3	1004	48000	25158,06
356	290000	311224	1052	36000	20881,37
381	550000	282441,3	1076	19000	19023,91
404	210000	258318,1	1127	23000	15607,17
428	660000	235340	1148	5700	14385,42
452	260000	214405,9	1173	12000	13055,02
476	91000	195333,9	1198	18000	11847,66
500	250000	177958,4	1221	6300	10835,76
525	120000	161500,4	1245	11000	9871,891
549	280000	147134,5	1268	2900	9028,738
573	157730	134046,5	1294	6000	8161,995
597	201800	122122,7	1316	5500	7493,916
621	125200	111259,5	1340	8900	6827,311
644	139810	101756,9	1367	10000	6147,991
670	85800	91988,41	1388	6200	5666,717
717	43605	76647,98	1412	6600	5162,646
743	114330	69289,91	1437	7900	4685,193
769	102450	62638,21	1460	4600	4285,033
812	69000	53009,06	1485	3700	3888,743
836	24000	48293,75	1509	3700	3542,829
860	58000	43997,89	1533	3100	3227,684
884	17000	40084,16	1558	3100	2929,181
908	10000	36518,56	1581	3600	2679,001
961	26000	29728,05	1606	1500	2431,241
980	35000	27614,45	1941	850	662,348

Ek-1 Tablo 8 9 nolu istasyon için zamana karşı ölçülen ve hesaplanan aktivite değerleri

t (saat)	Ölçülen Aktivite (Bq/kg)	Hesaplanan Aktivite (Bq/kg)	t (saat)	Ölçülen Aktivite (Bq/kg)	Hesaplanan Aktivite (Bq/kg)
813	51000	38959,9	1436	5600	4397,938
837	44000	35819,71	1460	3000	4043,462
861	9900	32932,63	1485	2600	3704,563
884	56000	30384,44	1509	5800	3405,973
909	14000	27837,8	1533	3800	3131,45
960	49000	23285,28	1558	2300	2868,99
981	20000	21634,54	1582	2100	2637,748
1006	14000	19821,26	1605	2100	2433,65
1053	31000	16813,59	1629	1000	2237,497
1149	17000	12013,72	1653	1800	2057,154
1173	9400	11045,41	1677	2300	1891,346
1198	9500	10119,64	1701	1800	1738,902
1221	8500	9336,63	1724	2000	1604,354
1247	9000	8524,189	1748	1200	1475,042
1270	10000	7864,625	1773	1200	1351,413
1317	7100	6671,249	1797	1500	1242,488
1340	8700	6155,057	1822	1800	1138,35
1368	4700	5580,251	1846	1000	1046,598
1388	3400	5202,841	1869	1100	965,6172
1412	5300	4783,49	1869	1100	965,6172

Ek-1 Tablo 9 10 nolu istasyon için zamana karşı ölçülen ve hesaplanan aktivite değerleri

t (saat)	Ölçülen Aktivite (Bq/kg)	Hesaplanan Aktivite (Bq/kg)	t (saat)	Ölçülen Aktivite (Bq/kg)	Hesaplanan Aktivite (Bq/kg)
812	1700	1139,129	1316	95	136,9399
836	860	1029,82	1339	170	124,3208
860	810	931,0005	1363	110	112,3912
884	1200	841,6632	1387	89	101,6063
956	1200	621,8758	1411	120	91,85636
980	650	562,2016	1435	79	83,04197
1004	400	508,2536	1459	100	75,0734
1100	230	339,4956	1483	17	67,86948
1124	170	306,9182	1532	67	55,23647
1148	270	277,4668	1556	51	49,93607
1172	330	250,8415	1580	70	45,14428
1196	180	226,7712	1604	47	40,81231
1220	250	205,0106	1628	48	36,89603
1244	130	185,3381	1652	33	33,35554
1268	250	167,5534	1700	37	27,2612
1292	88	151,4752			

Ek-1 Tablo 10 11 nolu istasyon için zamana karşı ölçülen ve hesaplanan aktivite değerleri

t (saat)	Ölçülen Aktivite (Bq/kg)	Hesaplanan Aktivite (Bq/kg)	t (saat)	Ölçülen Aktivite (Bq/kg)	Hesaplanan Aktivite (Bq/kg)
813	8700	7791,253	1364	1800	1091,131
839	4900	7101,047	1389	1300	998,0248
865	4600	6471,985	1412	630	919,4003
884	5300	6047,815	1436	790	843,9536
956	4800	4677,785	1460	750	774,6981
980	4400	4293,922	1485	650	708,5932
1004	3300	3941,559	1533	420	597,0694
1028	4600	3618,112	1556	520	550,0323
1100	2800	2798,49	1580	490	504,8962
1148	970	2358,042	1604	590	463,464
1173	3700	2156,831	1628	470	425,4318
1196	1700	1986,916	1652	310	390,5205
1221	1800	1817,372	1676	670	358,4741
1246	1900	1662,296	1700	460	329,0574
1269	2500	1531,34	1748	190	277,2678
1293	1900	1405,677	1796	320	233,6293
1317	2100	1290,326	1843	110	197,5625
1340	1100	1188,674	2069	60	88,21362

Ek-1 Tablo 11 12 nolu istasyon için zamana karşı ölçülen ve hesaplanan aktivite değerleri

t (saat)	Ölçülen Aktivite (Bq/kg)	Hesaplanan Aktivite (Bq/kg)	t (saat)	Ölçülen Aktivite (Bq/kg)	Hesaplanan Aktivite (Bq/kg)
671	5800	8350,288	1367	260	609,5549
718	8000	6997,49	1390	340	559,049
742	6000	6393,61	1414	230	510,8033
839	4600	4439,441	1439	760	464,9694
886	4800	3720,225	1462	500	426,4434
911	5200	3386,412	1487	360	388,179
959	3800	2827,141	1511	270	354,6793
983	1800	2583,16	1535	220	324,0707
1007	2600	2360,235	1558	270	297,2191
1056	1800	1963,043	1582	390	271,5692
1079	3100	1800,391	1606	320	248,1329
1102	3100	1651,216	1630	150	226,7192
1126	2500	1508,716	1655	310	206,3759
1151	1200	1373,341	1678	150	189,2762
1174	2000	1259,55	1702	310	172,9417
1199	990	1146,531	1726	130	158,0169
1222	920	1051,533	1750	310	144,3801
1246	460	960,7863	1774	51	131,9202
1271	380	874,5758	1798	160	120,5356
1295	940	799,1003	1823	290	109,72
1316	610	738,4221	1845	130	101,0081
1342	840	669,6412	1869	57	92,29111

Ek-1 Tablo 12 13 nolu istasyon için zamana karşı ölçülen ve hesaplanan aktivite değerleri

t (saat)	Ölçülen Aktivite (Bq/kg)	Hesaplanan Aktivite (Bq/kg)	t (saat)	Ölçülen Aktivite (Bq/kg)	Hesaplanan Aktivite (Bq/kg)
671	3500	7142,899	1342	740	653,6533
718	8500	6041,311	1368	460	595,8081
742	5500	5546,074	1390	370	550,8792
839	2400	3925,146	1414	170	505,7208
885	2700	3331,657	1439	440	462,6127
911	5400	3036,821	1462	350	426,2062
960	2400	2550,236	1487	340	389,876
983	2400	2349,539	1511	290	357,9159
1007	1900	2156,935	1535	310	328,5757
1031	2500	1980,12	1559	260	301,6407
1056	1500	1811,333	1583	320	276,9137
1079	3900	1668,786	1607	300	254,2136
1102	2200	1537,456	1631	290	233,3745
1126	2600	1411,423	1656	180	213,4814
1152	2800	1286,519	1678	210	197,3831
1174	1100	1189,505	1702	290	181,2026
1199	1300	1088,11	1726	120	166,3485
1222	750	1002,479	1751	160	152,1688
1246	1100	920,3003	1775	180	139,6948
1270	690	844,8586	1799	240	128,2433
1294	720	775,6012	1844	88	109,2413
1316	490	717,1144	1869	86	99,92945

Ek-1 Tablo 13 14 nolu istasyon için zamana karşı ölçülen ve hesaplanan aktivite değerleri

t (saat)	Ölçülen Aktivite (Bq/kg)	Hesaplanan Aktivite (Bq/kg)	t (saat)	Ölçülen Aktivite (Bq/kg)	Hesaplanan Aktivite (Bq/kg)
549	7300	3696,426	1126	680	442,6647
573	4400	3384,107	1148	500	408,2553
598	2000	3086,802	1172	260	373,7609
621	2000	2836,405	1197	460	340,9248
670	1900	2368,618	1221	140	312,1193
719	1500	1977,98	1246	180	284,6986
741	1300	1824,226	1271	120	259,6869
765	2400	1670,094	1295	330	237,7454
790	1200	1523,37	1319	240	217,6578
815	1200	1389,537	1342	87	200,0017
837	2200	1281,525	1366	120	183,1032
861	2300	1173,246	1388	190	168,8701
885	2100	1074,116	1414	190	153,4688
910	990	979,7517	1437	190	141,0196
932	1100	903,5931	1461	66	129,1046
957	540	824,2095	1485	94	118,1963
980	960	757,3509	1509	210	108,2096
1005	580	690,8151	1534	140	98,70304
1030	540	630,1247	1558	110	90,36341
1054	630	576,8841	1583	150	82,42469
1075	390	534,002	1606	85	75,73852
1101	480	485,2999			

Ek-1 Tablo 14 15 nolu istasyon için zamana karşı ölçülen ve hesaplanan aktivite değerleri

t (saat)	Ölçülen Aktivite (Bq/kg)	Hesaplanan Aktivite (Bq/kg)	t (saat)	Ölçülen Aktivite (Bq/kg)	Hesaplanan Aktivite (Bq/kg)
333	11000	12112,59	739	4800	3042,902
356	14000	11200,82	794	2600	2523,563
403	11000	9545,476	836	2000	2187,512
431	8400	8678,043	860	1800	2015,976
457	6100	7943,308	908	1500	1712,204
477	9600	7420,741	957	1400	1449,265
500	5400	6862,147	980	1300	1340,172
525	7800	6302,565	1004	1400	1235,081
548	4900	5828,141	1029	930	1134,365
572	5500	5371,123	1053	920	1045,413
596	4600	4949,942	1076	1100	966,7199
621	5100	4546,293	1099	790	893,9503
644	4200	4204,072	1124	1700	821,0521
668	3600	3874,407	1148	550	756,6686
715	2400	3301,817			

Ek-1 Tablo 15 16 nolu istasyon için zamana karşı ölçülen ve hesaplanan aktivite değerleri

t (saat)	Ölçülen Aktivite (Bq/kg)	Hesaplanan Aktivite (Bq/kg)	t (saat)	Ölçülen Aktivite (Bq/kg)	Hesaplanan Aktivite (Bq/kg)
356	13000	11480,98	1364	110	267,389
403	8200	9634,849	1389	130	243,5828
837	1700	1909,055	1413	240	222,7253
861	1900	1745,587	1437	180	203,6538
909	3000	1459,444	1461	170	186,2153
958	1600	1215,664	1485	110	170,2701
980	1200	1119,892	1510	52	155,1106
1004	930	1023,998	1534	100	141,8288
1029	600	932,8292	1557	230	130,1689
1053	600	852,953	1582	170	118,5797
1077	1100	779,9164	1605	150	108,8311
1100	980	715,7987	1630	130	99,14168
1124	1500	654,5063	1653	69	90,99115
1149	630	596,2343	1676	120	83,51067
1171	380	549,2621	1700	64	76,35983
1196	850	500,3602	1725	85	69,56135
1220	550	457,5154	1749	74	63,60496
1244	320	418,3393	1773	31	58,1586
1268	470	382,5178	1798	89	52,98062
1292	590	349,7636	1822	90	48,444
1316	170	319,8141	1846	60	44,29584
1342	120	290,2557			

Ek-1 Tablo 16 17 nolu istasyon için zamana karşı ölçülen ve hesaplanan aktivite değerleri

t (saat)	Ölçülen Aktivite (Bq/kg)	Hesaplanan Aktivite (Bq/kg)	t (saat)	Ölçülen Aktivite (Bq/kg)	Hesaplanan Aktivite (Bq/kg)
836	1900	2112,461	1387	310	256,3991
859	3100	1934,453	1411	260	233,8965
908	1700	1603,653	1435	160	213,3688
956	1300	1334,519	1459	150	194,6427
980	1100	1217,396	1484	99	176,8818
1003	860	1114,811	1508	120	161,3579
1052	1000	924,1736	1532	150	147,1965
1076	990	843,0644	1556	190	134,2779
1099	650	772,0229	1579	190	122,9629
1123	660	704,267	1604	73	111,7427
1148	1500	640,0035	1627	140	102,3266
1171	520	586,073	1652	87	92,98941
1195	420	534,6369	1675	94	85,15357
1219	460	487,715	1699	93	77,68015
1243	370	444,9112	1723	81	70,86263
1267	300	405,864	1747	60	64,64344
1292	350	368,8294	1771	45	58,97007
1339	340	308,1074	1795	84	53,79462
1364	290	279,993	1847	41	44,08638

Ek-1 Tablo 17 18 nolu istasyon için zamana karşı ölçülen ve hesaplanan aktivite değerleri

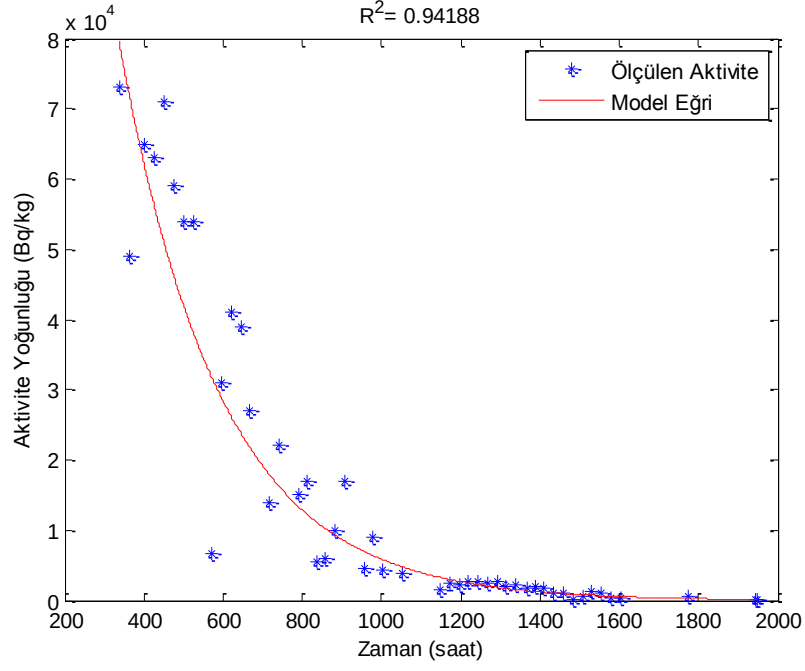
t (saat)	Ölçülen Aktivite (Bq/kg)	Hesaplanan Aktivite (Bq/kg)	t (saat)	Ölçülen Aktivite (Bq/kg)	Hesaplanan Aktivite (Bq/kg)
284	200000	239203,3	1004	26000	19039,27
335	251000	199946,1	1051	24000	16139,96
381	93000	170095	1123	11000	12531,14
404	110000	156884,8	1147	12000	11517,37
428	220000	144192,9	1195	9800	9729,243
452	190000	132527,7	1220	5200	8910,771
476	160000	121806,2	1243	7900	8218,728
500	130000	111952,1	1268	9700	7527,327
525	69000	102534,1	1291	7400	6942,728
548	125510	94570,92	1317	9200	6336,359
572	88243	86920,14	1339	9000	5864,833
596	90816	79888,3	1362	3200	5409,349
621	74481	73167,7	1391	5700	4885,118
644	72500	67485,23	1410	3700	4569,52
668	66007	62025,67	1434	4100	4199,846
716	62639	52395,87	1458	3700	3860,078
743	41103	47651,89	1482	3100	3547,798
770	43000	43337,44	1507	2600	3249,339
811	30000	37521,02	1531	2200	2986,468
835	10000	34485,57	1555	1600	2744,863
859	21000	31695,69	1580	4700	2513,951
884	38000	29029,29	1602	2400	2326,873
907	22000	26774,77	1628	2200	2123,647
961	36000	22145,83	1963	760	654,1657
980	40000	20715,12			

Ek-1 Tablo 18 19 nolu istasyon için zamana karşı ölçülen ve hesaplanan aktivite değerleri

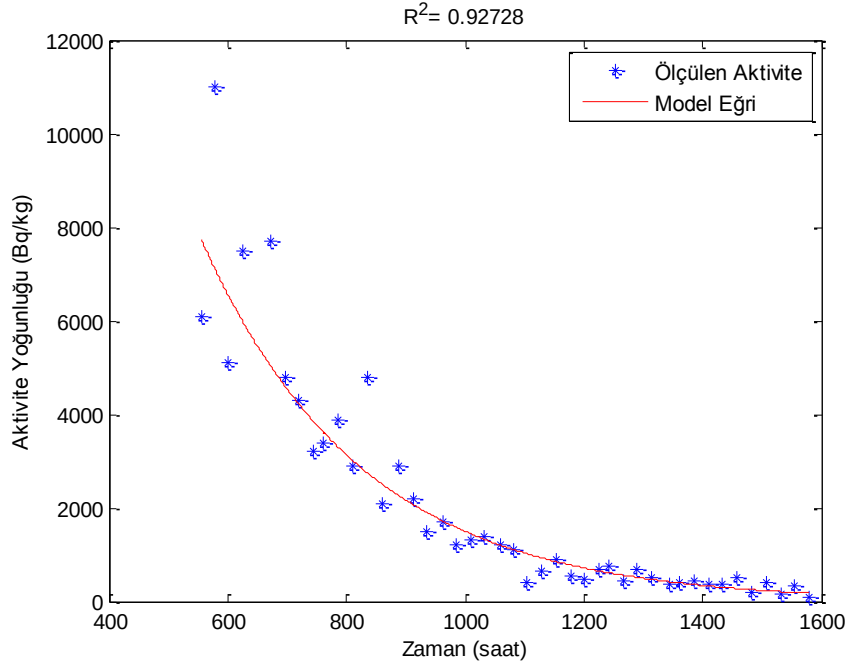
t (saat)	Ölçülen Aktivite (Bq/kg)	Hesaplanan Aktivite (Bq/kg)	t (saat)	Ölçülen Aktivite (Bq/kg)	Hesaplanan Aktivite (Bq/kg)
286	11000	13722,84	1341	230	325,0587
310	4900	12602,78	1364	350	299,5883
813	1600	2115,794	1389	230	274,1614
837	1700	1943,102	1413	350	251,7842
861	2400	1784,505	1438	230	230,4146
885	2800	1638,853	1461	200	212,3601
908	1900	1510,438	1487	220	193,6483
957	2200	1269,423	1510	160	178,4746
981	1400	1165,813	1532	61	165,0746
1005	1600	1070,658	1557	150	151,0642
1029	1200	983,2708	1581	120	138,7343
1053	1300	903,0158	1604	130	127,8636
1103	1300	756,2376	1628	230	117,4273
1125	570	699,4585	1652	110	107,8428
1150	790	640,0935	1676	170	99,04064
1172	710	592,0347	1700	52	90,9569
1196	200	543,7125	1724	96	83,53296
1221	840	497,5661	1748	95	76,71496
1245	500	456,9545	1772	48	70,45345
1270	450	418,1715	1797	38	64,47387
1295	420	382,6801	1822	61	59,00179
1316	190	355,2061			

EK 2

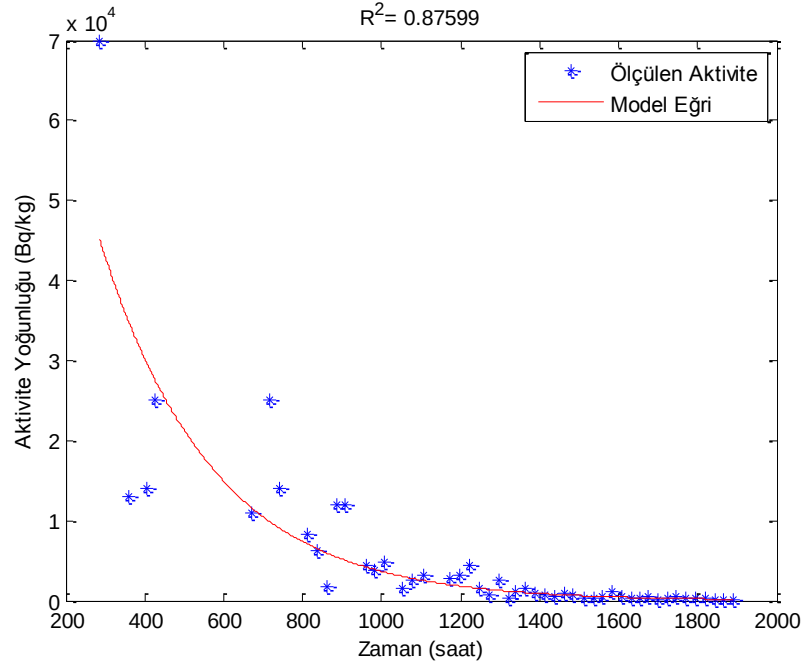
Her Bir İstasyon İçin Zamana Karşı Ölçülen Aktivite Değerleri ve EKKM İle Elde Edilen Eğrilerin Grafikleri



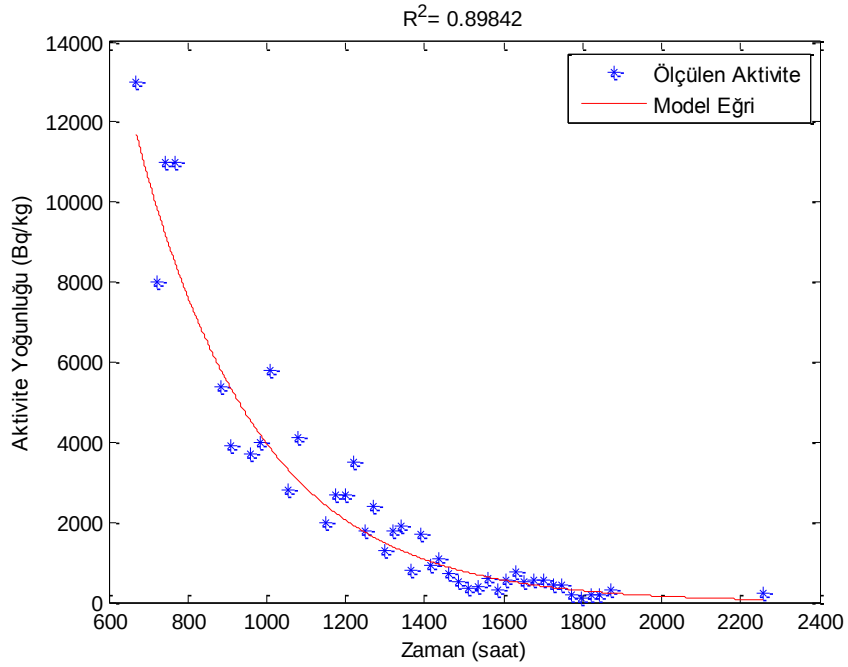
Ek-2 Şekil 1 1. istasyon için zamana karşı, ölçülen aktivite değerleri ve EKKM ile elde edilen eğri grafiği



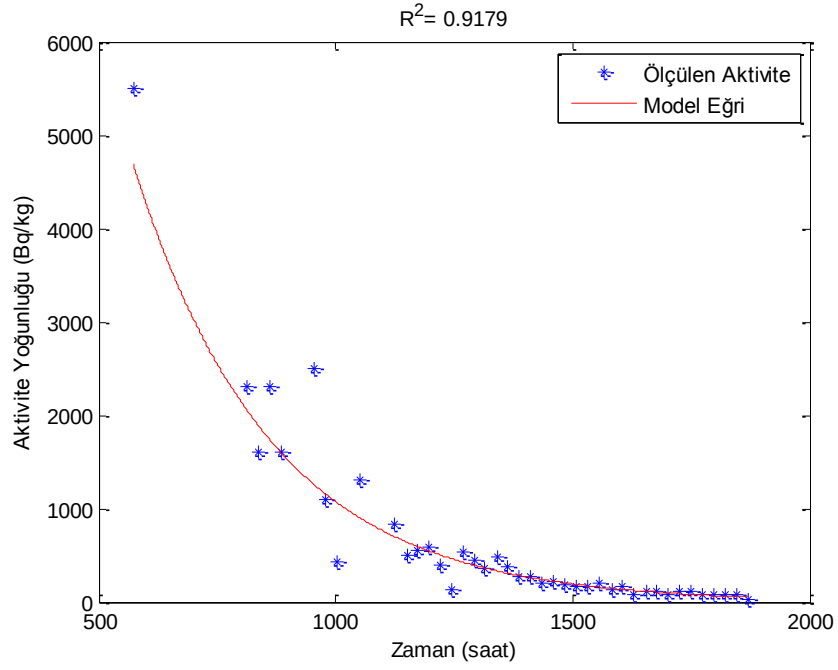
Ek-2 Şekil 2 2. istasyon için zamana karşı, ölçülen aktivite değerleri ve EKKM ile elde edilen eğri grafiği



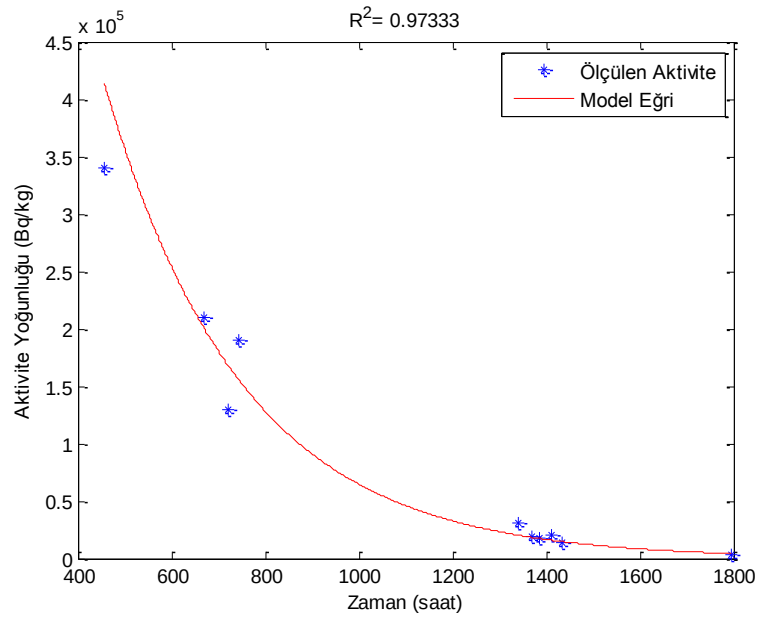
Ek-2 Şekil 3 4. istasyon için zamana karşı, ölçülen aktivite değerleri ve EKKM ile elde edilen eğri grafiği



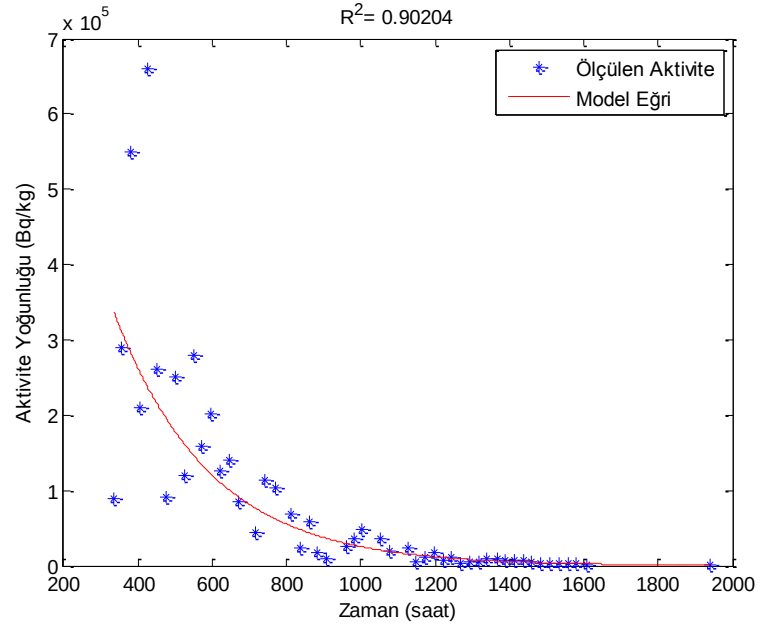
Ek-2 Şekil 4 5. istasyon için zamana karşı, ölçülen aktivite değerleri ve EKKM ile elde edilen eğri grafiği



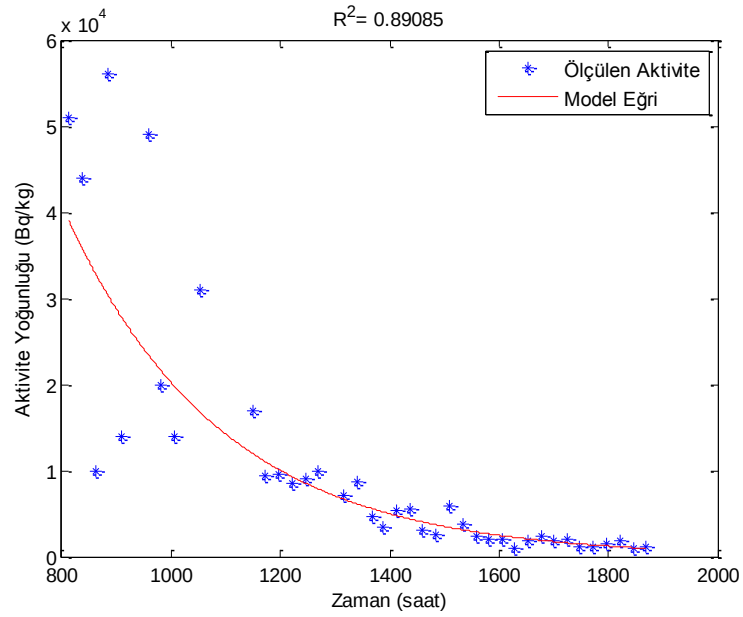
Ek-2 Şekil 5 6. istasyon için zamana karşı, ölçülen aktivite değerleri ve EKKM ile elde edilen eğri grafiği



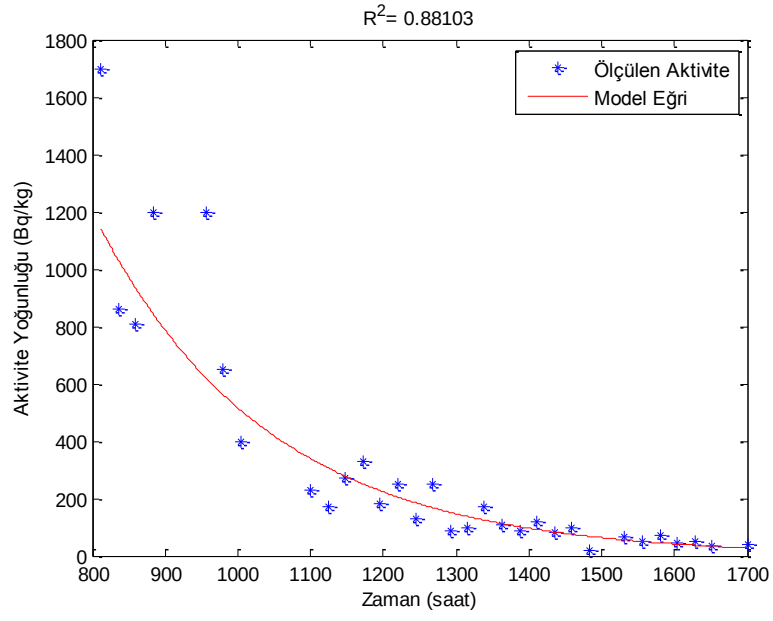
Ek-2 Şekil 6 7. istasyon için zamana karşı, ölçülen aktivite değerleri ve EKKM ile elde edilen eğri grafiği



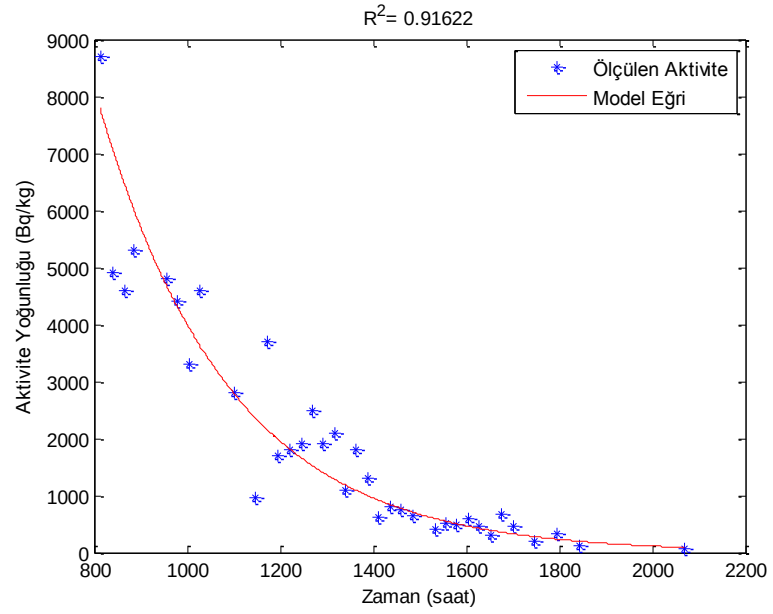
Ek-2 Şekil 7 8. istasyon için zamana karşı, ölçülen aktivite değerleri ve EKKM ile elde edilen eğri grafiği



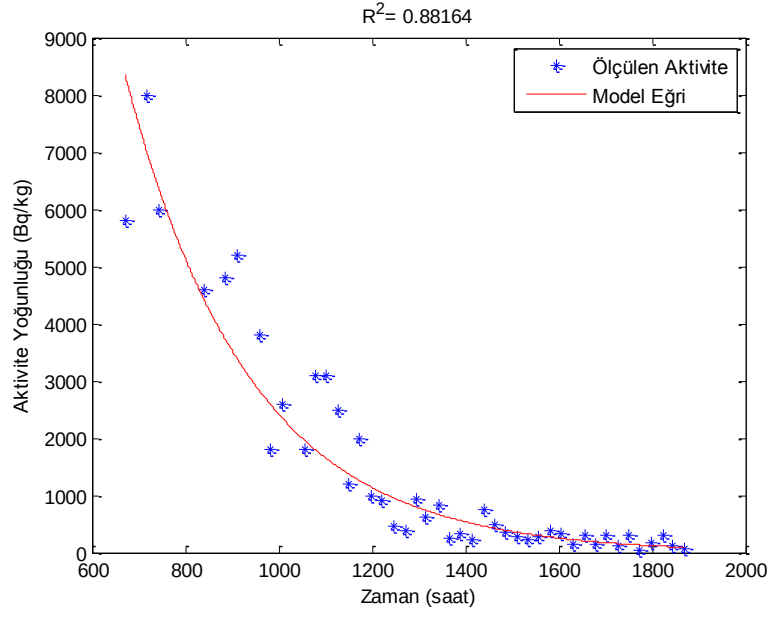
Ek-2 Şekil 8 9. istasyon için zamana karşı, ölçülen aktivite değerleri ve EKKM ile elde edilen eğri grafiği



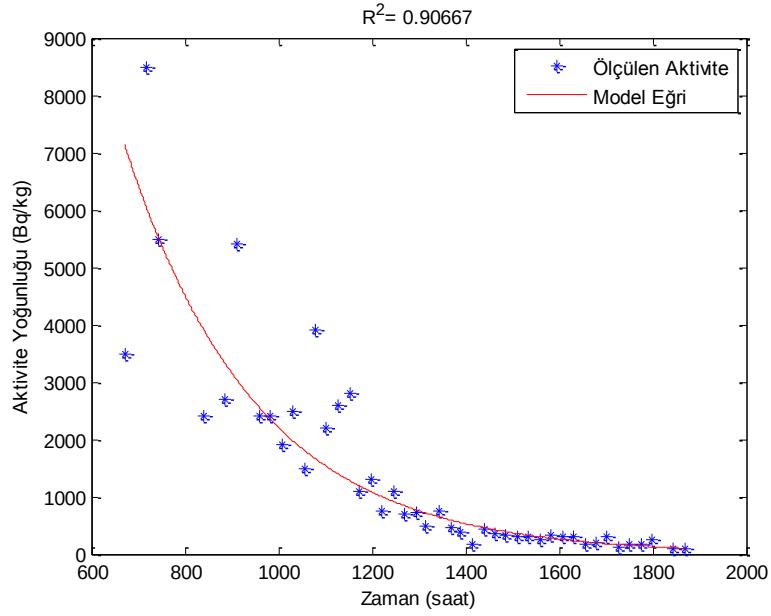
Ek-2 Şekil 9 10. istasyon için zamana karşı, ölçülen aktivite değerleri ve EKKM ile elde edilen eğri grafiği



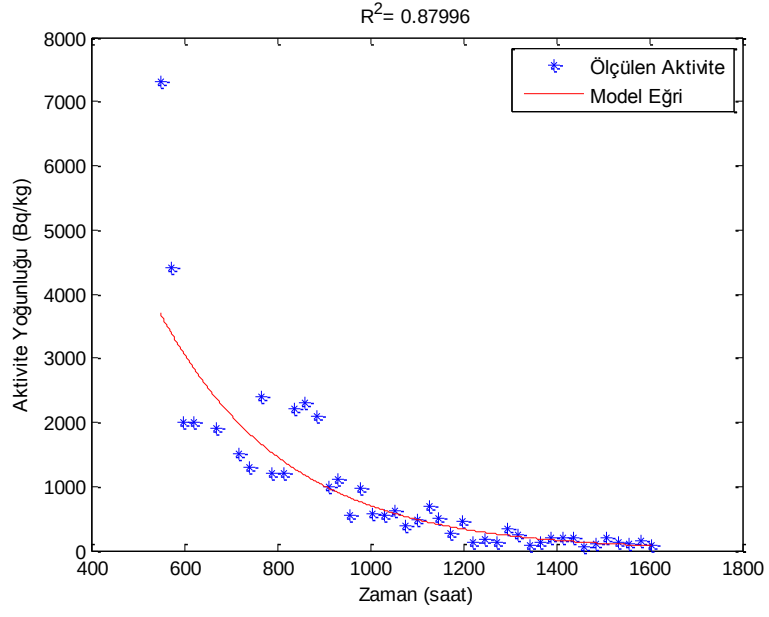
Ek-2 Şekil 10 11. istasyon için zamana karşı, ölçülen aktivite değerleri ve EKKM ile elde edilen eğri grafiği



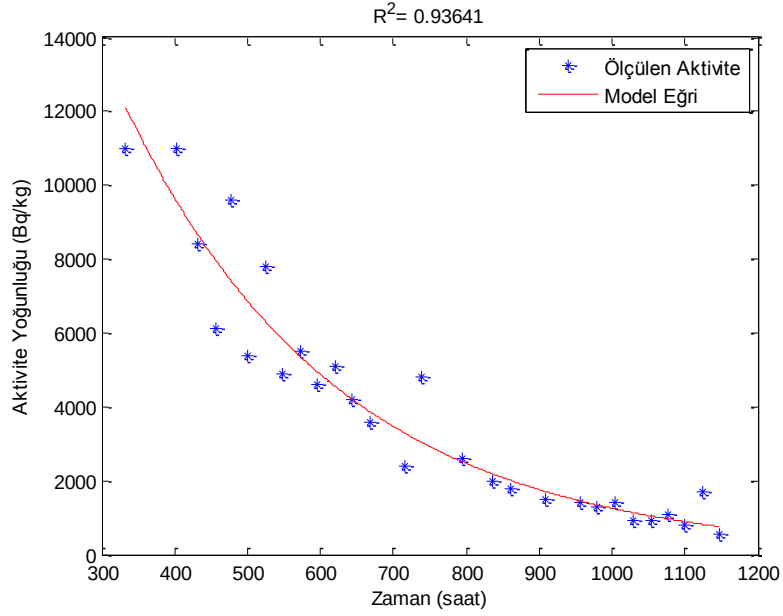
Ek-2 Şekil 11 12. istasyon için zamana karşı, ölçülen aktivite değerleri ve EKKM ile elde edilen eğri grafiği



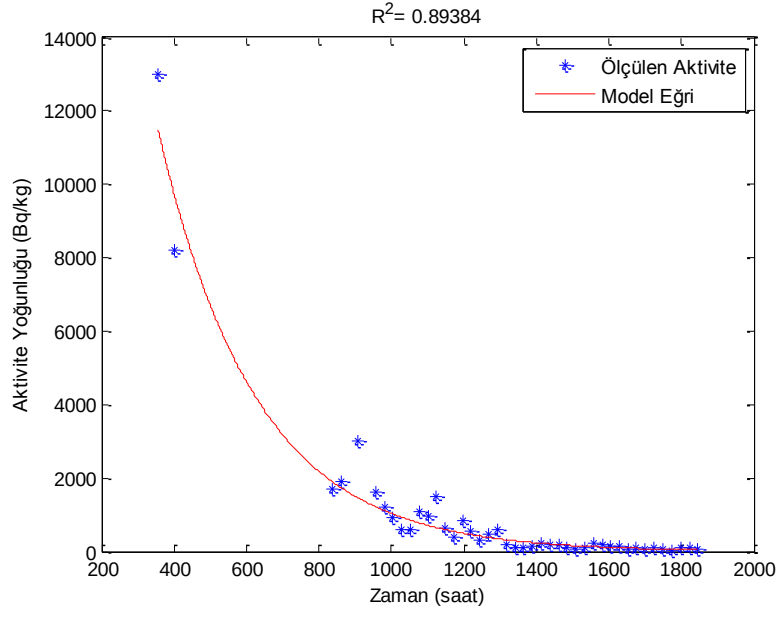
Ek-2 Şekil 12 13. istasyon için zamana karşı, ölçülen aktivite değerleri ve EKKM ile elde edilen eğri grafiği



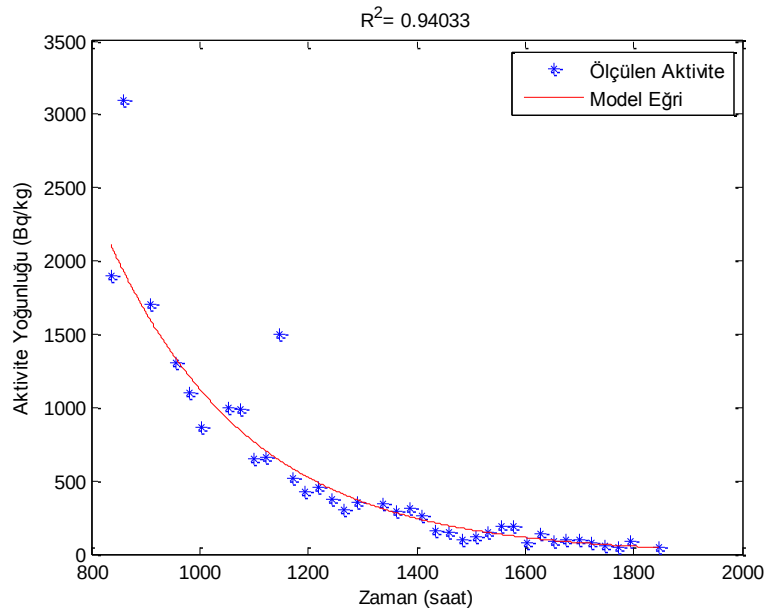
Ek-2 Şekil 13 14. istasyon için zamana karşı, ölçülen aktivite değerleri ve EKKM ile elde edilen eğri grafiği



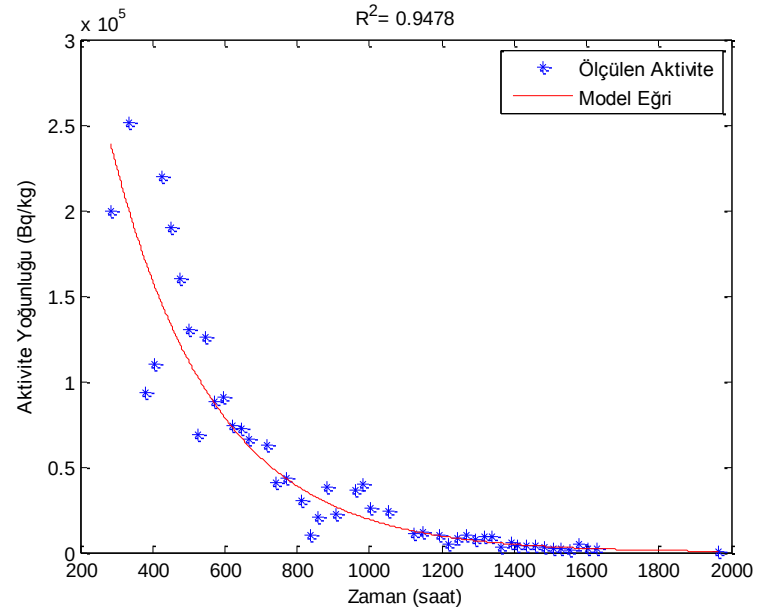
Ek-2 Şekil 14 15. istasyon için zamana karşı, ölçülen aktivite değerleri ve EKKM ile elde edilen eğri grafiği



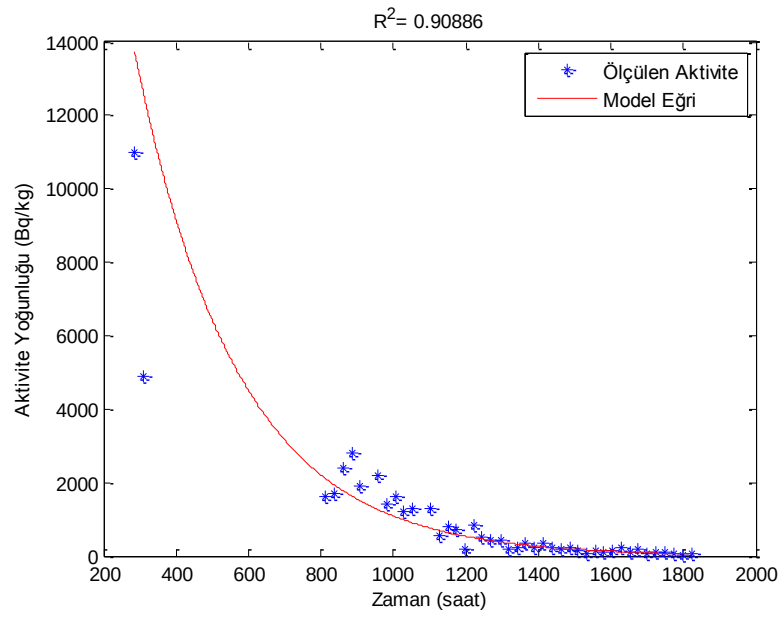
Ek-2 Şekil 15 16. istasyon için zamana karşı, ölçülen aktivite değerleri ve EKKM ile elde edilen eğri grafiği



Ek-2 Şekil 16 17. istasyon için zamana karşı, ölçülen aktivite değerleri ve EKKM ile elde edilen eğri grafiği



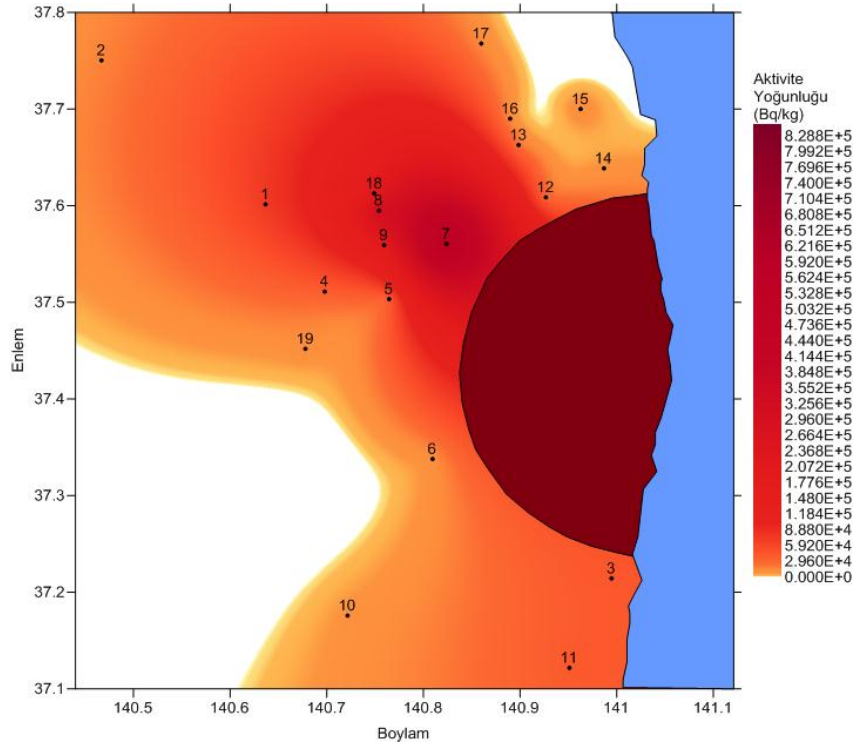
Ek-2 Şekil 17 18. istasyon için zamana karşı, ölçülen aktivite değerleri ve EKKM ile elde edilen eğri grafiği



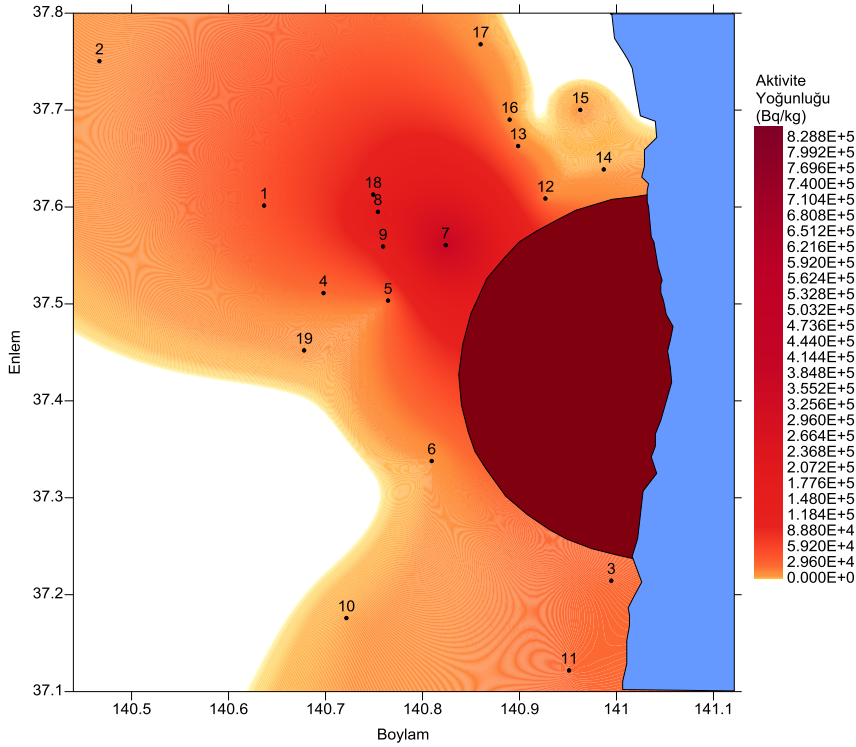
Ek-2 Şekil 18 19. istasyon için zamana karşı, ölçülen aktivite değerleri ve EKKM ile elde edilen eğri Grafiği

EK 3

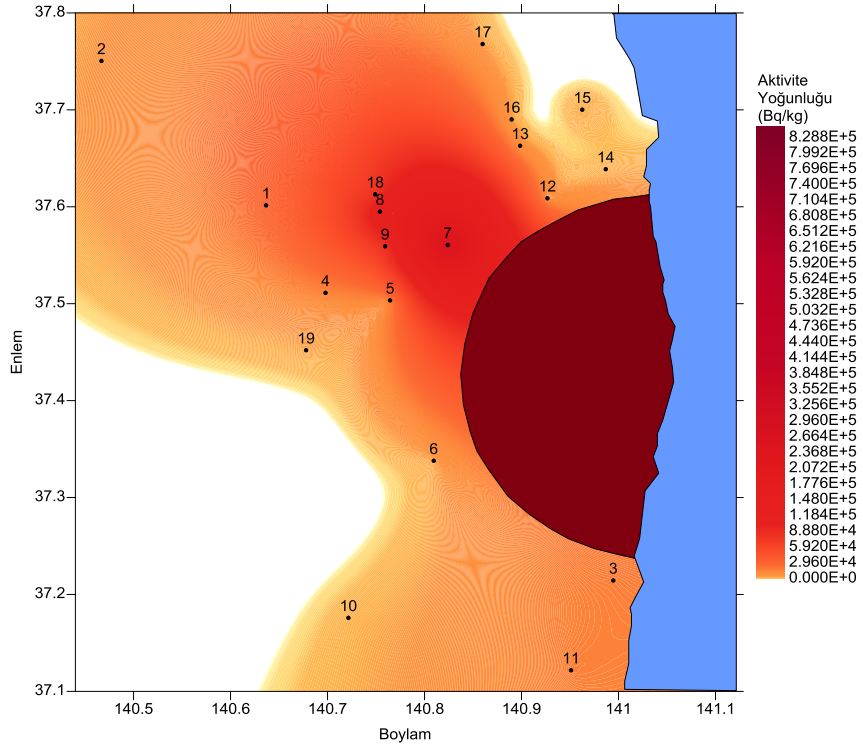
Verilen Saatlerdeki Aktivite Haritaları



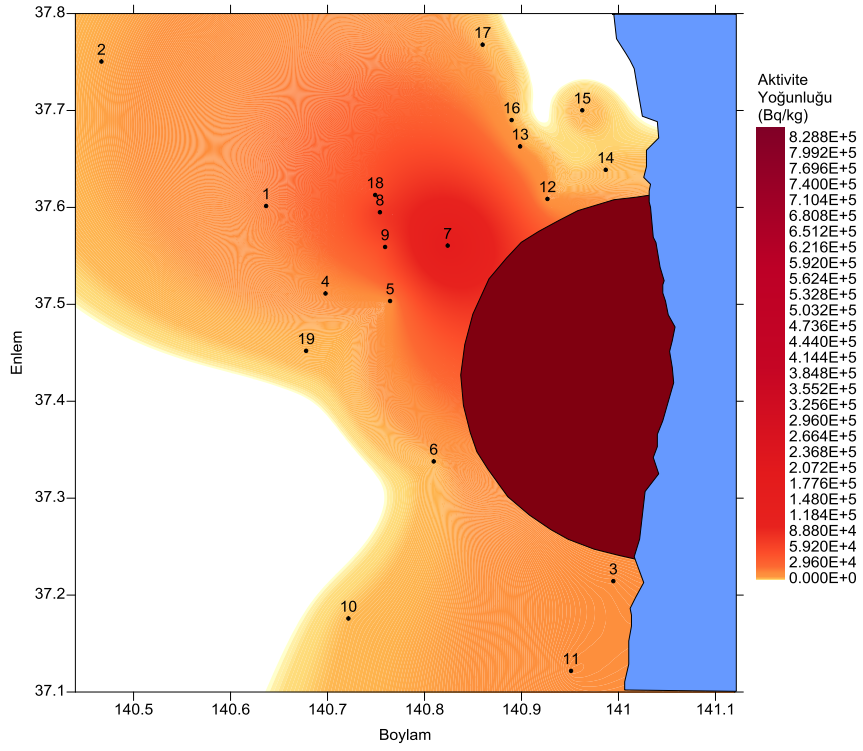
Ek-3 Şekil 1 360. saatteki aktivite haritası



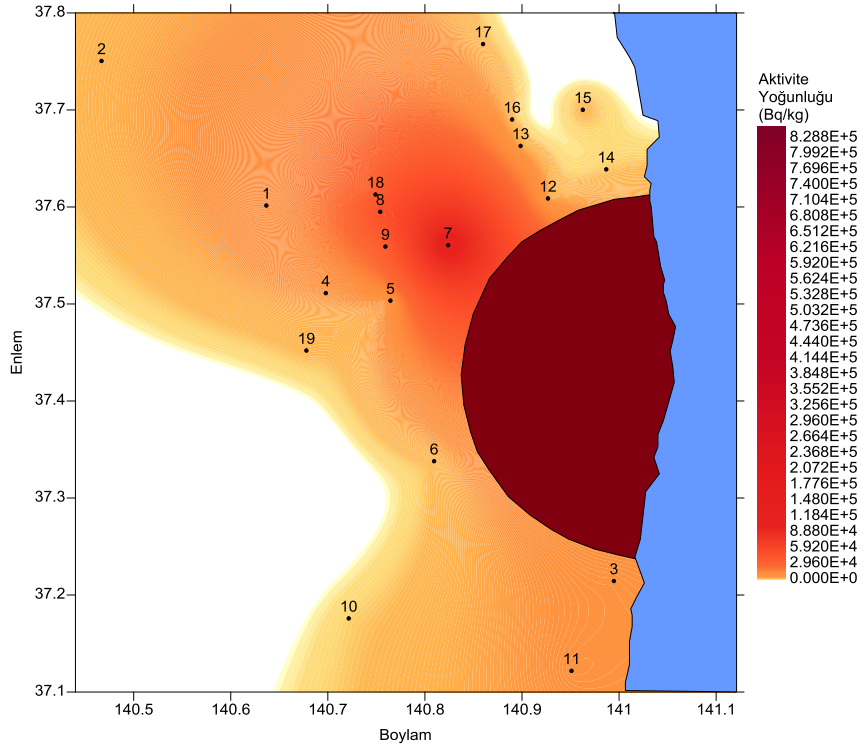
Ek-3 Şekil 2 480. saatteki aktivite haritası



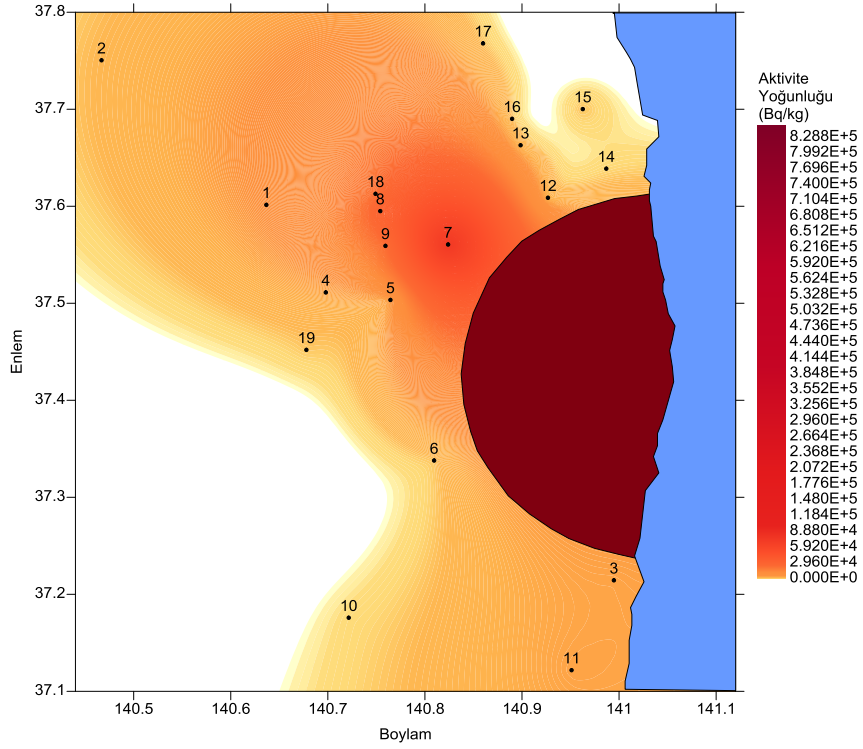
Ek-3 Şekil 3 600. saatteki aktivite haritası



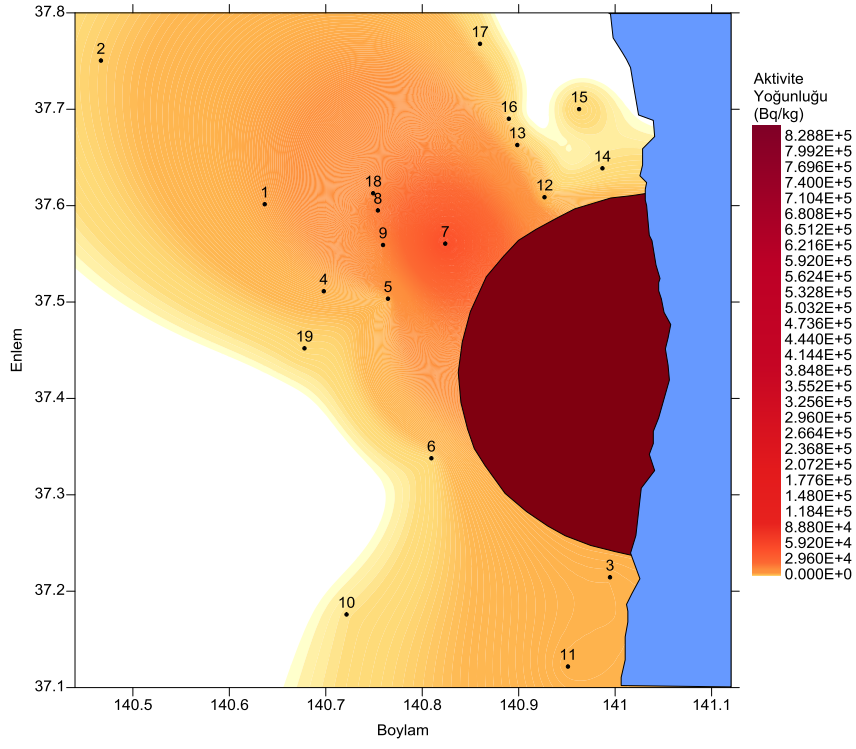
Ek-3 Şekil 4 720. saatteki aktivite haritası



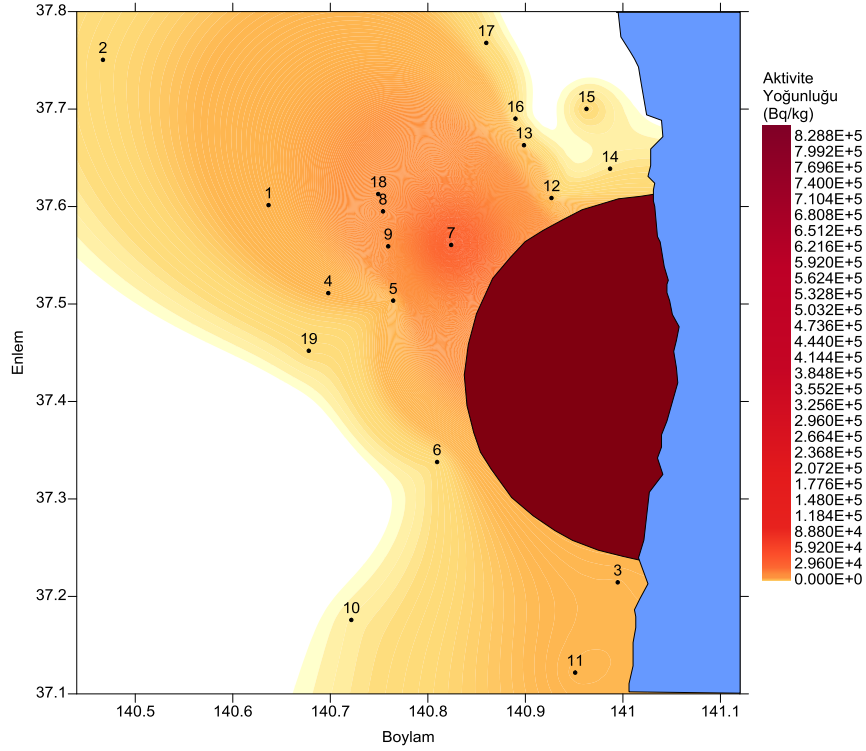
Ek-3 Şekil 5 840. saatteki aktivite haritası



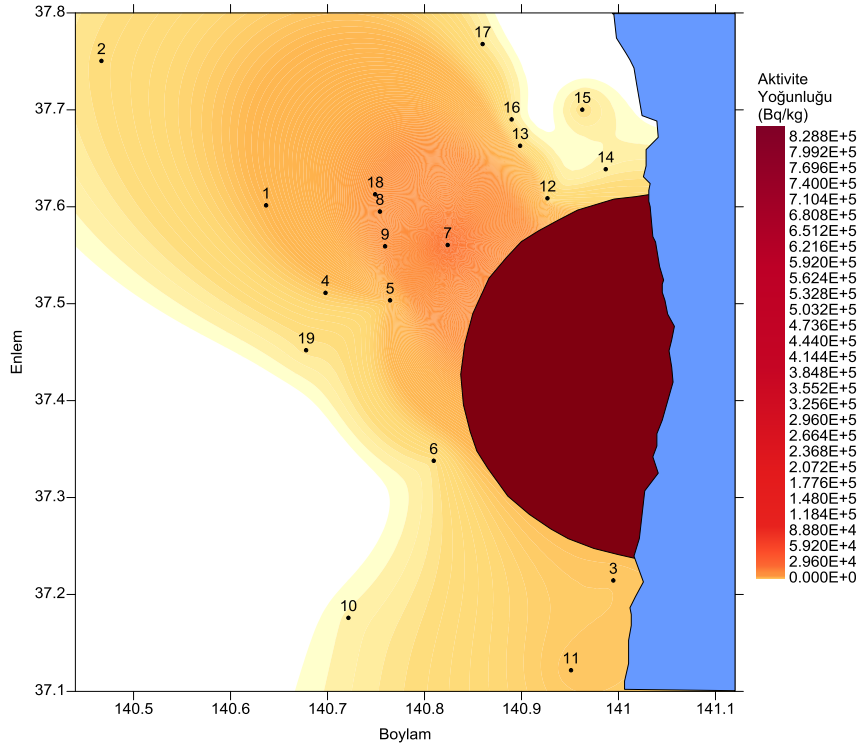
Ek-3 Şekil 6 960. saatteki aktivite haritası



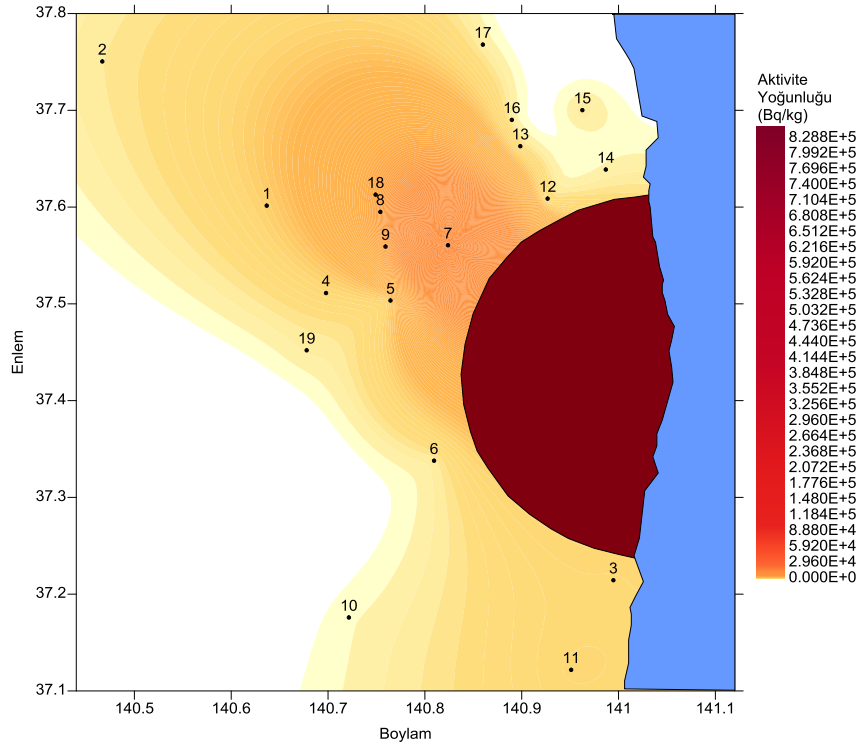
Ek-3 Şekil 7 1080. saatteki aktivite haritası



Ek-3 Şekil 8 1200. saatteki aktivite haritası



Ek-3 Şekil 9 1320. saatteki aktivite haritası



Ek-3 Şekil 10 1440. saatteki aktivite haritası

EK 4

Verilen Saatlerde Her Bir İstasyondaki Risk ve Çevresel risk Değerlerini Veren Tablolar

Ek-4 Tablo 1 360. saatteki risk ve çevresel risk değerleri

Doğal Sıralı		Küçükten Büyüğe Sıralı		Mertebe m	Risk r	Çevresel Risk g
İstasyon No	Aktivite Yoğunluğu (Bq/kg)	İstasyon No	Aktivite Yoğunluğu (Bq/kg)			
1	72814,87	14	7407,863	1	0,05	0,95
2	15905,2	10	7615,37	2	0,10	0,90
3	41085,68	6	9748,224	3	0,15	0,85
4	34828,54	19	10554,29	4	0,20	0,80
5	32318,49	15	11049,41	5	0,25	0,75
6	9748,224	16	11310,96	6	0,30	0,70
7	575321,4	17	13061,59	7	0,35	0,65
8	306429,1	2	15905,2	8	0,40	0,60
9	190315,9	13	21638,08	9	0,45	0,55
10	7615,37	12	26891,7	10	0,50	0,50
11	39218,83	5	32318,49	11	0,55	0,45
12	26891,7	4	34828,54	12	0,60	0,40
13	21638,08	11	39218,83	13	0,65	0,35
14	7407,863	3	41085,68	14	0,70	0,30
15	11049,41	1	72814,87	15	0,75	0,25
16	11310,96	18	183125,7	16	0,80	0,20
17	13061,59	9	190315,9	17	0,85	0,15
18	183125,7	8	306429,1	18	0,90	0,10
19	10554,29	7	575321,4	19	0,95	0,05

Ek-4 Tablo 2 480. saatteki risk ve çevresel risk değerleri

Doğal Sıralı		Küçükten Büyüğe Sıralı		Mertebe m	Risk r	Çevresel Risk g
İstasyon No	Aktivite Yoğunluğu (Bq/kg)	İstasyon No	Aktivite Yoğunluğu (Bq/kg)			
1	45449,54	10	4598,679	1	0,05	0,95
2	10218,34	14	4764,348	2	0,10	0,90
3	26429,14	6	6451,076	3	0,15	0,85
4	22832,03	19	6895,094	4	0,20	0,80
5	21811,38	16	7229,602	5	0,25	0,75
6	6451,076	15	7345,378	6	0,30	0,70
7	382237,6	17	8251,484	7	0,35	0,65
8	192324,4	2	10218,34	8	0,40	0,60
9	125024,9	13	14108,83	9	0,45	0,55
10	4598,679	12	17125,27	10	0,50	0,50
11	25560,2	5	21811,38	11	0,55	0,45
12	17125,27	4	22832,03	12	0,60	0,40
13	14108,83	11	25560,2	13	0,65	0,35
14	4764,348	3	26429,14	14	0,70	0,30
15	7345,378	1	45449,54	15	0,75	0,25
16	7229,602	18	120105,6	16	0,80	0,20
17	8251,484	9	125024,9	17	0,85	0,15
18	120105,6	8	192324,4	18	0,90	0,10
19	6895,094	7	382237,6	19	0,95	0,05

Ek-4 Tablo 3 600. saatteki risk ve çevresel risk değerleri

Doğal Sıralı		Küçükten Büyüğe Sıralı		Mertebe m	Risk r	Çevresel Risk g
İstasyon No	Aktivite Yoğunluğu (Bq/kg)	İstasyon No	Aktivite Yoğunluğu (Bq/kg)			
1	28368,67	10	2776,996	1	0,05	0,95
2	6564,797	14	3064,178	2	0,10	0,90
3	17001,04	6	4269,124	3	0,15	0,85
4	14967,66	19	4504,548	4	0,20	0,80
5	14720,25	16	4620,928	5	0,25	0,75
6	4269,124	15	4883,029	6	0,30	0,70
7	253954,7	17	5212,764	7	0,35	0,65
8	120708,8	2	6564,797	8	0,40	0,60
9	82132,99	13	9199,482	9	0,45	0,55
10	2776,996	12	10905,78	10	0,50	0,50
11	16658,42	5	14720,25	11	0,55	0,45
12	10905,78	4	14967,66	12	0,60	0,40
13	9199,482	11	16658,42	13	0,65	0,35
14	3064,178	3	17001,04	14	0,70	0,30
15	4883,029	1	28368,67	15	0,75	0,25
16	4620,928	18	78772,92	16	0,80	0,20
17	5212,764	9	82132,99	17	0,85	0,15
18	78772,92	8	120708,8	18	0,90	0,10
19	4504,548	7	253954,7	19	0,95	0,05

Ek-4 Tablo 4 720. saatteki risk ve çevresel risk değerleri

Doğal Sıralı		Küçükten Büyüğe Sıralı		Mertebe m	Risk r	Çevresel Risk g
İstasyon No	Aktivite Yoğunluğu (Bq/kg)	İstasyon No	Aktivite Yoğunluğu (Bq/kg)			
1	17707,14	10	1676,94	1	0,05	0,95
2	4217,57	14	1970,718	2	0,10	0,90
3	10936,24	6	2825,175	3	0,15	0,85
4	9812,124	19	2942,81	4	0,20	0,80
5	9934,523	16	2953,548	5	0,25	0,75
6	2825,175	15	3246,119	6	0,30	0,70
7	168724,9	17	3293,093	7	0,35	0,65
8	75760,59	2	4217,57	8	0,40	0,60
9	53955,89	13	5998,404	9	0,45	0,55
10	1676,94	12	6945,059	10	0,50	0,50
11	10856,84	4	9812,124	11	0,55	0,45
12	6945,059	5	9934,523	12	0,60	0,40
13	5998,404	11	10856,84	13	0,65	0,35
14	1970,718	3	10936,24	14	0,70	0,30
15	3246,119	1	17707,14	15	0,75	0,25
16	2953,548	18	51664,33	16	0,80	0,20
17	3293,093	9	53955,89	17	0,85	0,15
18	51664,33	8	75760,59	18	0,90	0,10
19	2942,81	7	168724,9	19	0,95	0,05

Ek-4 Tablo 5 840. saatteki risk ve çevresel risk değerleri

Doğal Sıralı		Küçükten Büyüğe Sıralı		Mertebe m	Risk r	Çevresel Risk g
İstasyon No	Aktivite Yoğunluğu (Bq/kg)	İstasyon No	Aktivite Yoğunluğu (Bq/kg)			
1	11052,44	10	1012,65	1	0,05	0,95
2	2709,589	14	1267,462	2	0,10	0,90
3	7034,945	6	1869,614	3	0,15	0,85
4	6432,388	16	1887,812	4	0,20	0,80
5	6704,694	19	1922,531	5	0,25	0,75
6	1869,614	17	2080,367	6	0,30	0,70
7	112099,1	15	2157,941	7	0,35	0,65
8	47549,7	2	2709,589	8	0,40	0,60
9	35445,42	13	3911,183	9	0,45	0,55
10	1012,65	12	4422,778	10	0,50	0,50
11	7075,758	4	6432,388	11	0,55	0,45
12	4422,778	5	6704,694	12	0,60	0,40
13	3911,183	3	7034,945	13	0,65	0,35
14	1267,462	11	7075,758	14	0,70	0,30
15	2157,941	1	11052,44	15	0,75	0,25
16	1887,812	18	33884,78	16	0,80	0,20
17	2080,367	9	35445,42	17	0,85	0,15
18	33884,78	8	47549,7	18	0,90	0,10
19	1922,531	7	112099,1	19	0,95	0,05

Ek-4 Tablo 6 960. saatteki risk ve çevresel risk değerleri

Doğal Sıralı		Küçükten Büyüğe Sıralı		Mertebe m	Risk r	Çevresel Risk g
İstasyon No	Aktivite Yoğunluğu (Bq/kg)	İstasyon No	Aktivite Yoğunluğu (Bq/kg)			
1	6898,704	10	611,5074	1	0,05	0,95
2	1740,782	14	815,1647	2	0,10	0,90
3	4525,361	16	1206,629	3	0,15	0,85
4	4216,785	6	1237,253	4	0,20	0,80
5	4524,921	19	1255,985	5	0,25	0,75
6	1237,253	17	1314,244	6	0,30	0,70
7	74477,48	15	1434,547	7	0,35	0,65
8	29843,67	2	1740,782	8	0,40	0,60
9	23285,28	13	2550,236	9	0,45	0,55
10	611,5074	12	2816,53	10	0,50	0,50
11	4611,504	4	4216,785	11	0,55	0,45
12	2816,53	5	4524,921	12	0,60	0,40
13	2550,236	3	4525,361	13	0,65	0,35
14	815,1647	11	4611,504	14	0,70	0,30
15	1434,547	1	6898,704	15	0,75	0,25
16	1206,629	18	22223,81	16	0,80	0,20
17	1314,244	9	23285,28	17	0,85	0,15
18	22223,81	8	29843,67	18	0,90	0,10
19	1255,985	7	74477,48	19	0,95	0,05

Ek-4 Tablo 7 1080. saatteki risk ve çevresel risk değerleri

Doğal Sıralı		Küçükten Büyüğe Sıralı		Mertebe m	Risk r	Çevresel Risk g
İstasyon No	Aktivite Yoğunluğu (Bq/kg)	İstasyon No	Aktivite Yoğunluğu (Bq/kg)			
1	4306,029	10	369,2698	1	0,05	0,95
2	1118,37	14	524,271	2	0,10	0,90
3	2911,024	16	771,238	3	0,15	0,85
4	2764,335	6	818,7763	4	0,20	0,80
5	3053,816	19	820,5317	5	0,25	0,75
6	818,7763	17	830,2559	6	0,30	0,70
7	49482,07	15	953,6518	7	0,35	0,65
8	18730,82	2	1118,37	8	0,40	0,60
9	15296,87	13	1662,849	9	0,45	0,55
10	369,2698	12	1793,633	10	0,50	0,50
11	3005,468	4	2764,335	11	0,55	0,45
12	1793,633	3	2911,024	12	0,60	0,40
13	1662,849	11	3005,468	13	0,65	0,35
14	524,271	5	3053,816	14	0,70	0,30
15	953,6518	1	4306,029	15	0,75	0,25
16	771,238	18	14575,8	16	0,80	0,20
17	830,2559	9	15296,87	17	0,85	0,15
18	14575,8	8	18730,82	18	0,90	0,10
19	820,5317	7	49482,07	19	0,95	0,05

Ek-4 Tablo 8 1200. saatteki risk ve çevresel risk değerleri

Doğal Sıralı		Küçükten Büyüğe Sıralı		Mertebe m	Risk r	Çevresel Risk g
İstasyon No	Aktivite Yoğunluğu (Bq/kg)	İstasyon No	Aktivite Yoğunluğu (Bq/kg)			
1	2687,735	10	222,9903	1	0,05	0,95
2	718,4997	14	337,1835	2	0,10	0,90
3	1872,571	16	492,9504	3	0,15	0,85
4	1812,174	17	524,503	4	0,20	0,80
5	2060,985	19	536,0513	5	0,25	0,75
6	541,841	6	541,841	6	0,30	0,70
7	32875,38	15	633,9645	7	0,35	0,65
8	11756,04	2	718,4997	8	0,40	0,60
9	10049,03	13	1084,239	9	0,45	0,55
10	222,9903	12	1142,228	10	0,50	0,50
11	1958,762	4	1812,174	11	0,55	0,45
12	1142,228	3	1872,571	12	0,60	0,40
13	1084,239	11	1958,762	13	0,65	0,35
14	337,1835	5	2060,985	14	0,70	0,30
15	633,9645	1	2687,735	15	0,75	0,25
16	492,9504	18	9559,745	16	0,80	0,20
17	524,503	9	10049,03	17	0,85	0,15
18	9559,745	8	11756,04	18	0,90	0,10
19	536,0513	7	32875,38	19	0,95	0,05

Ek-4 Tablo 9 1320. saatteki risk ve çevresel risk değerleri

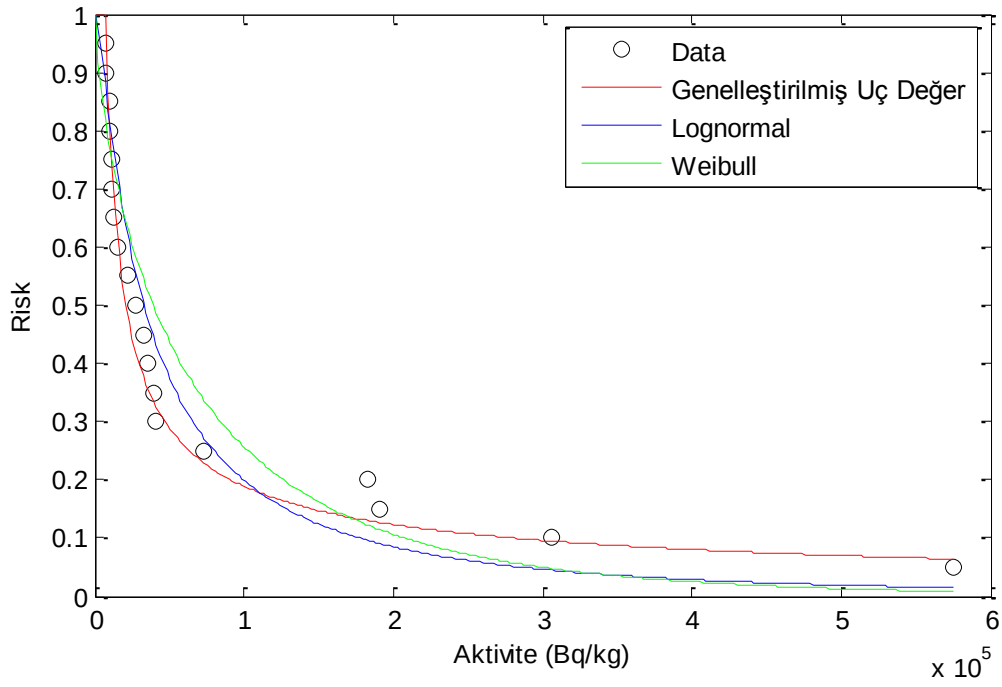
Doğal Sıralı		Küçükten Büyüğe Sıralı		Mertebe m	Risk r	Çevresel Risk g
İstasyon No	Aktivite Yoğunluğu (Bq/kg)	İstasyon No	Aktivite Yoğunluğu (Bq/kg)			
1	1677,629	10	134,6567	1	0,05	0,95
2	461,6019	14	216,8587	2	0,10	0,90
3	1204,567	16	315,078	3	0,15	0,85
4	1187,98	17	331,3477	4	0,20	0,80
5	1390,935	19	350,201	5	0,25	0,75
6	358,5738	6	358,5738	6	0,30	0,70
7	21842,06	15	421,4442	7	0,35	0,65
8	7378,458	2	461,6019	8	0,40	0,60
9	6601,539	13	706,9643	9	0,45	0,55
10	134,6567	12	727,3978	10	0,50	0,50
11	1276,59	4	1187,98	11	0,55	0,45
12	727,3978	3	1204,567	12	0,60	0,40
13	706,9643	11	1276,59	13	0,65	0,35
14	216,8587	5	1390,935	14	0,70	0,30
15	421,4442	1	1677,629	15	0,75	0,25
16	315,078	18	6269,893	16	0,80	0,20
17	331,3477	9	6601,539	17	0,85	0,15
18	6269,893	8	7378,458	18	0,90	0,10
19	350,201	7	21842,06	19	0,95	0,05

Ek-4 Tablo 10 1440. saatteki risk ve çevresel risk değerleri

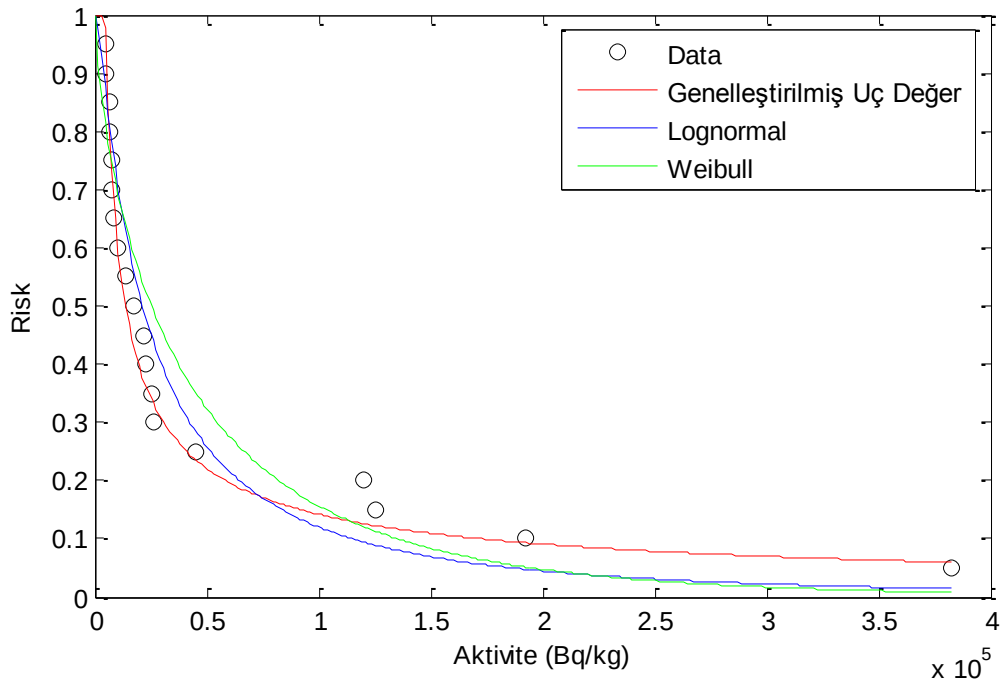
Doğal Sıralı		Küçükten Büyüğe Sıralı		Mertebe m	Risk r	Çevresel Risk g
İstasyon No	Aktivite Yoğunluğu (Bq/kg)	İstasyon No	Aktivite Yoğunluğu (Bq/kg)			
1	1047,142	10	81,31492	1	0,05	0,95
2	296,5574	14	139,4721	2	0,10	0,90
3	774,8605	16	201,3877	3	0,15	0,85
4	778,7865	17	209,3244	4	0,20	0,80
5	938,726	19	228,7855	5	0,25	0,75
6	237,2931	6	237,2931	6	0,30	0,70
7	14511,64	15	280,1659	7	0,35	0,65
8	4630,95	2	296,5574	8	0,40	0,60
9	4336,771	13	460,967	9	0,45	0,55
10	81,31492	12	463,2241	10	0,50	0,50
11	831,9953	3	774,8605	11	0,55	0,45
12	463,2241	4	778,7865	12	0,60	0,40
13	460,967	11	831,9953	13	0,65	0,35
14	139,4721	5	938,726	14	0,70	0,30
15	280,1659	1	1047,142	15	0,75	0,25
16	201,3877	18	4112,198	16	0,80	0,20
17	209,3244	9	4336,771	17	0,85	0,15
18	4112,198	8	4630,95	18	0,90	0,10
19	228,7855	7	14511,64	19	0,95	0,05

EK 5

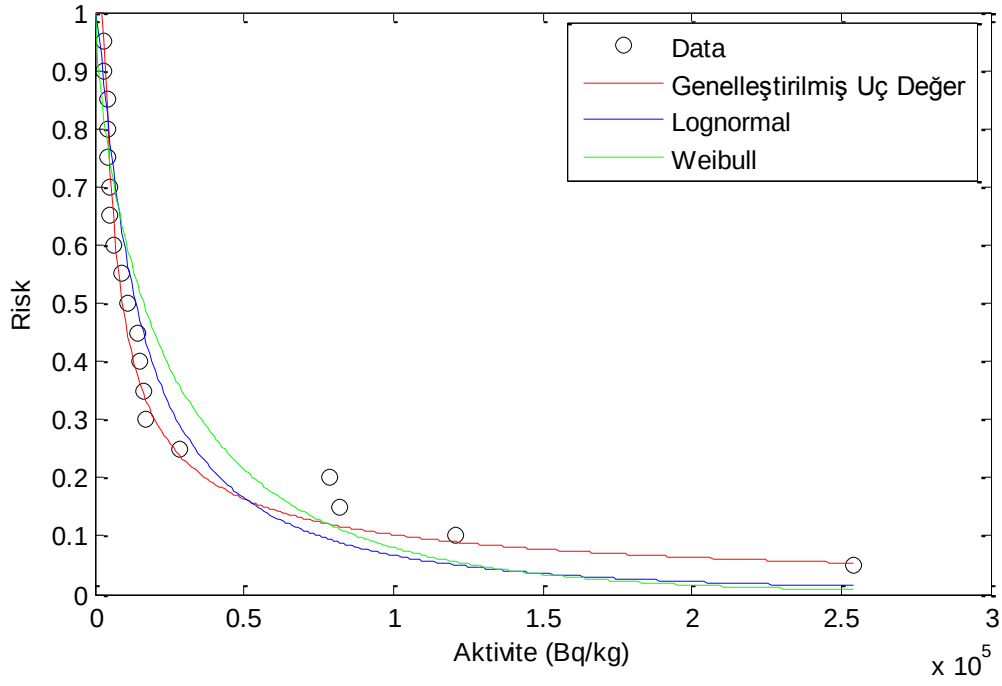
Verilen Saatlerdeki Aktiviteye Karşı Risk Grafikleri ve En Uygun Dağılımlar



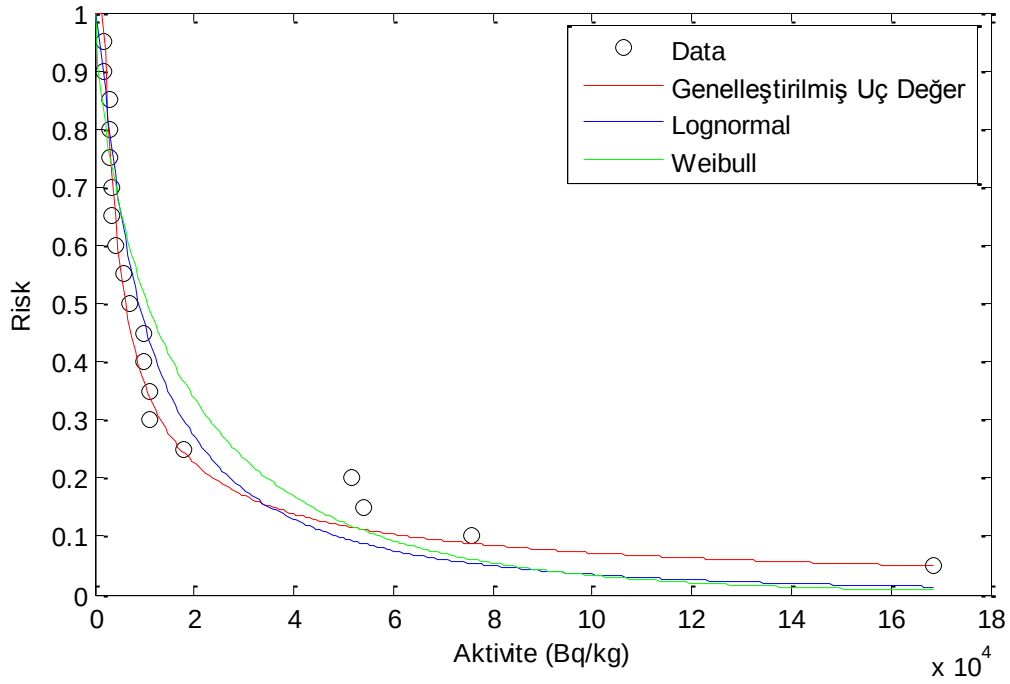
Ek-5 Şekil 1 360. saatteki aktiviteye karşı risk grafiği



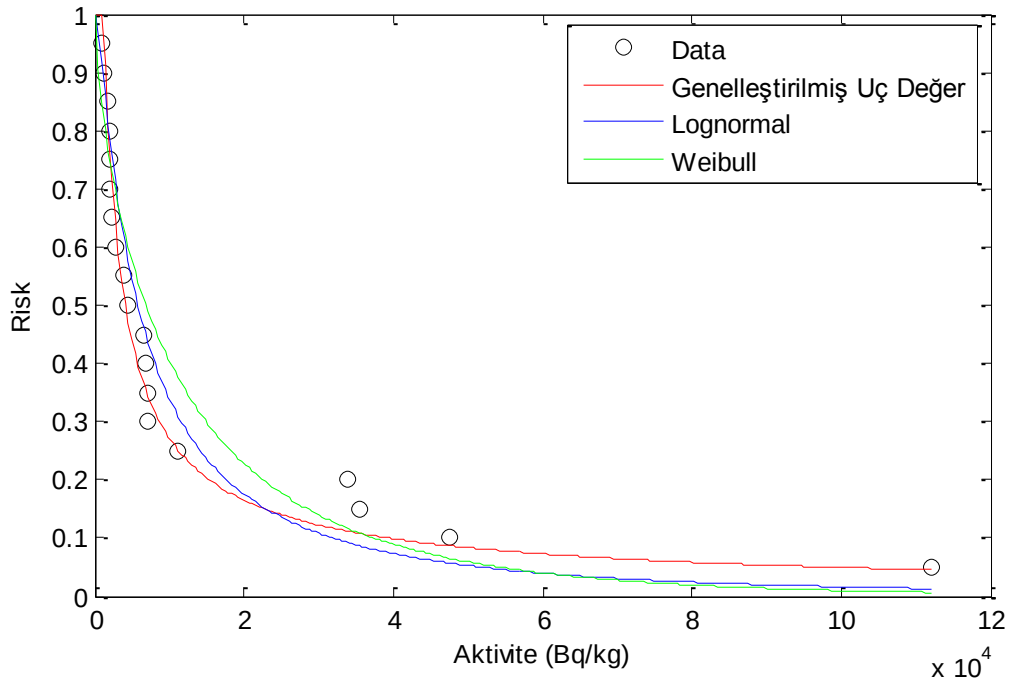
Ek-5 Şekil 2 480. saatteki aktiviteye karşı risk grafiği



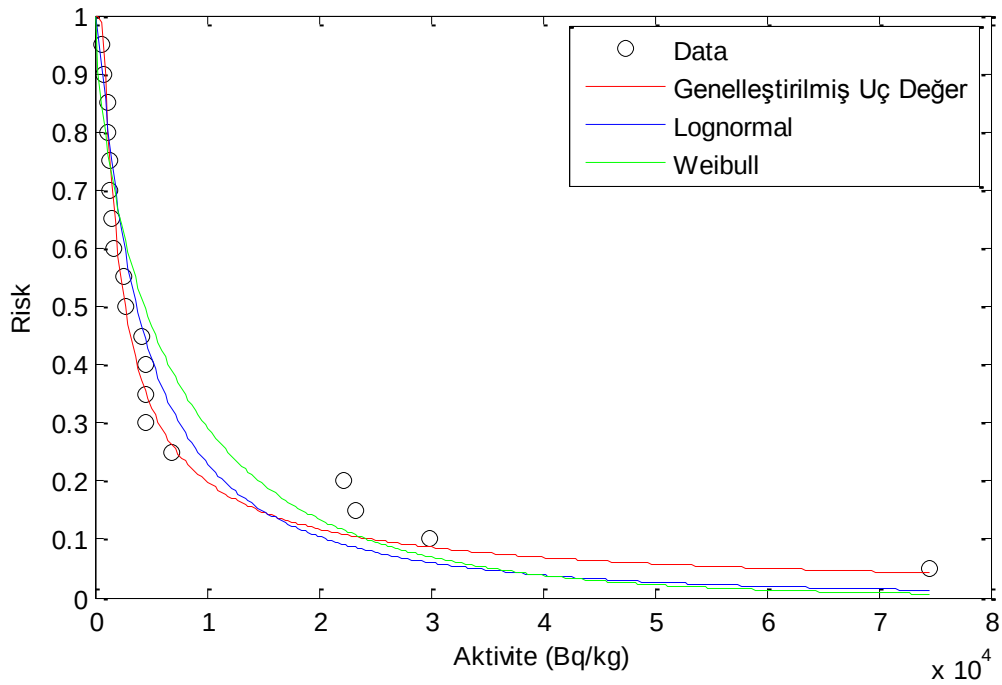
Ek-5 Şekil 3 600. saatteki aktiviteye karşı risk grafiği



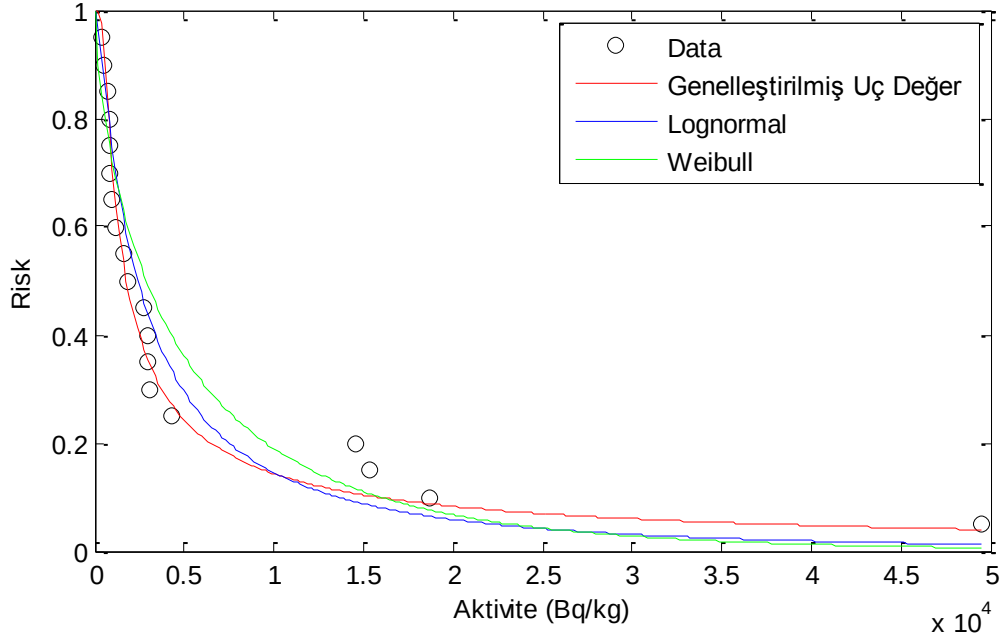
Ek-5 Şekil 4 720. saatteki aktiviteye karşı risk grafiği



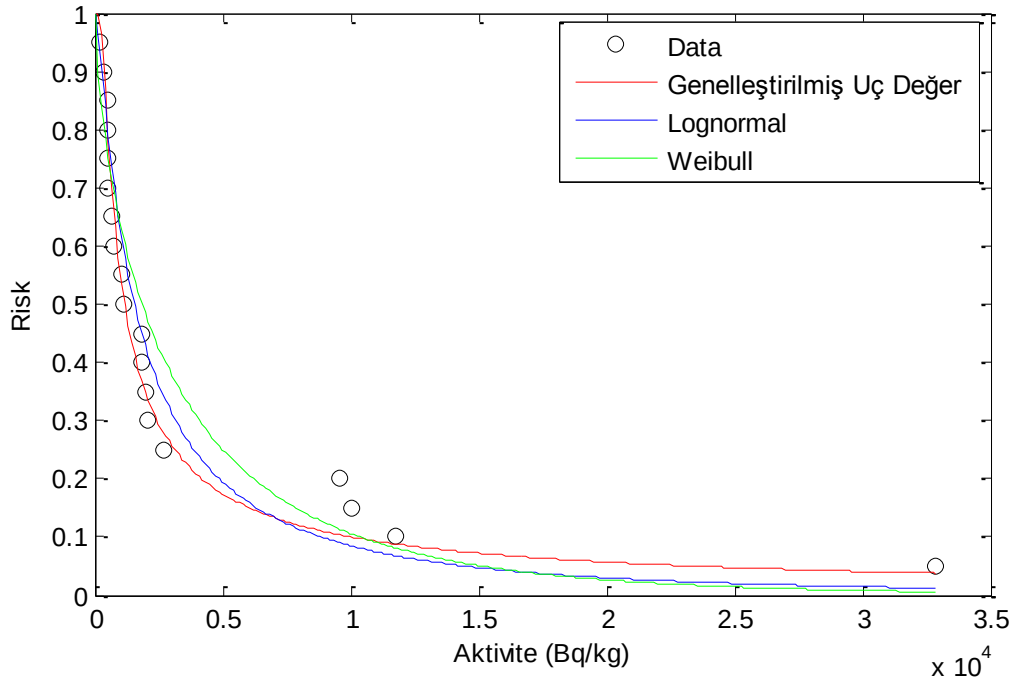
Ek-5 Şekil 5 840. saatteki aktiviteye karşı risk grafiği



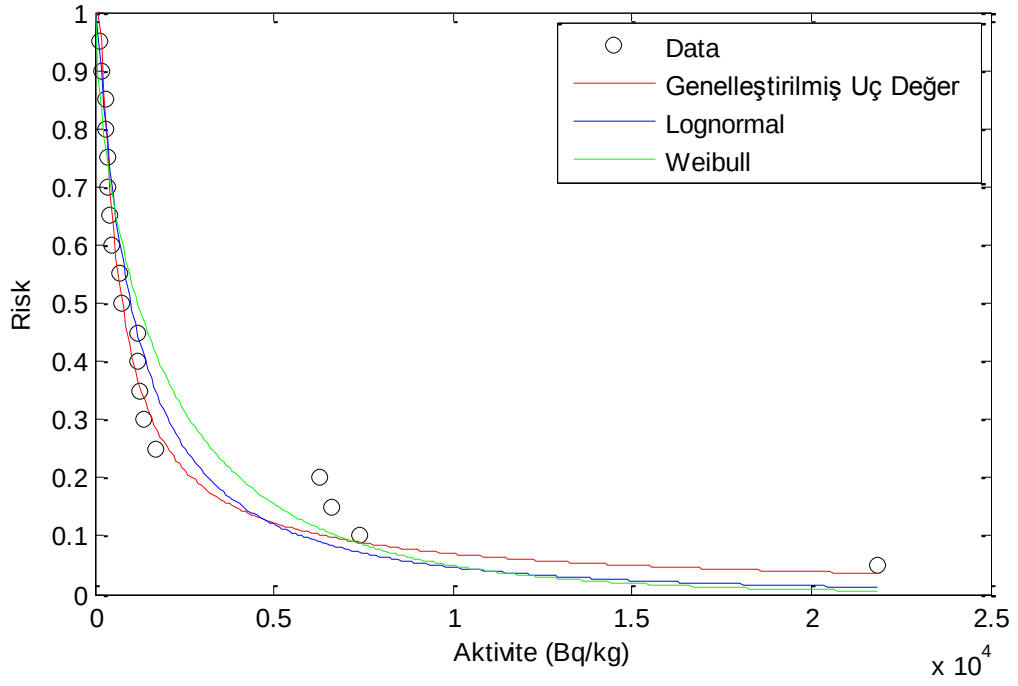
Ek-5 Şekil 6 960. saatteki aktiviteye karşı risk grafiği



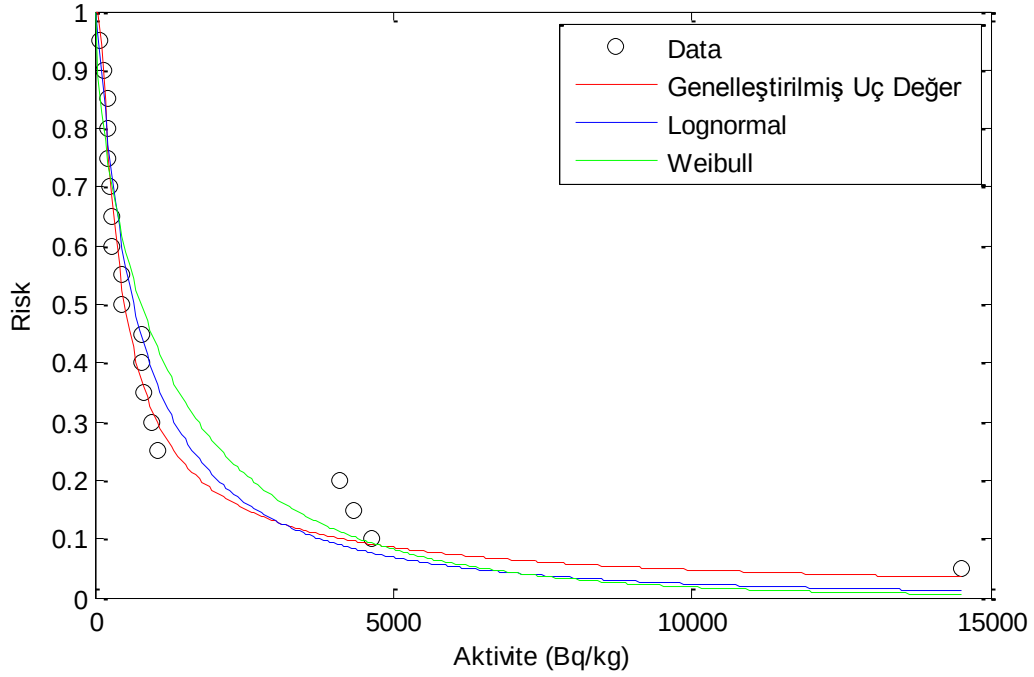
Ek-5 Şekil 7 1080. saatteki aktiviteye karşı risk grafiği



Ek-5 Şekil 8 1200. saatteki aktiviteye karşı risk grafiği



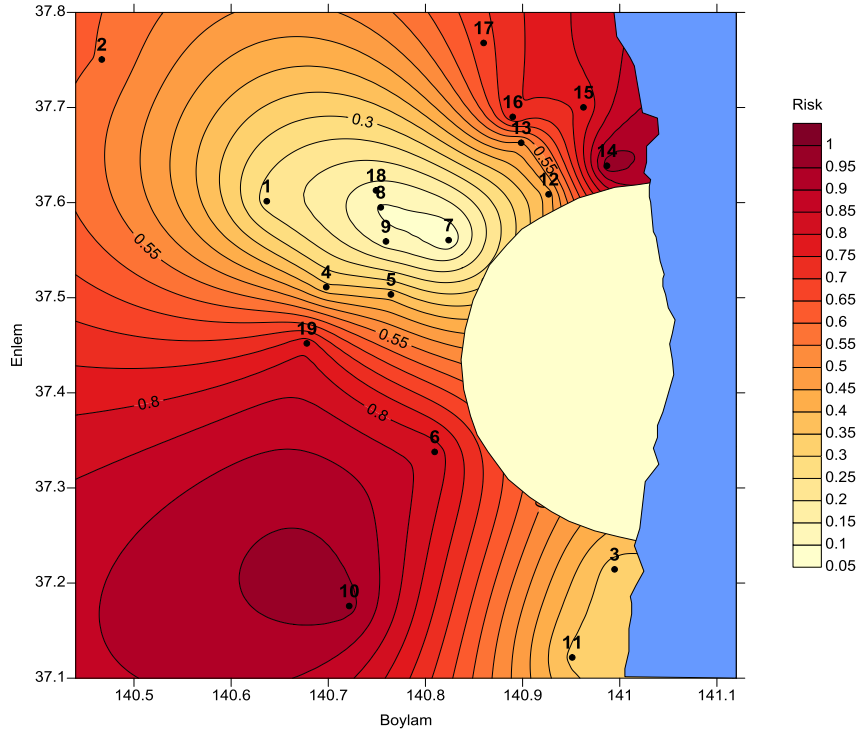
Ek-5 Şekil 9 1320. saatteki aktiviteye karşı risk grafiği



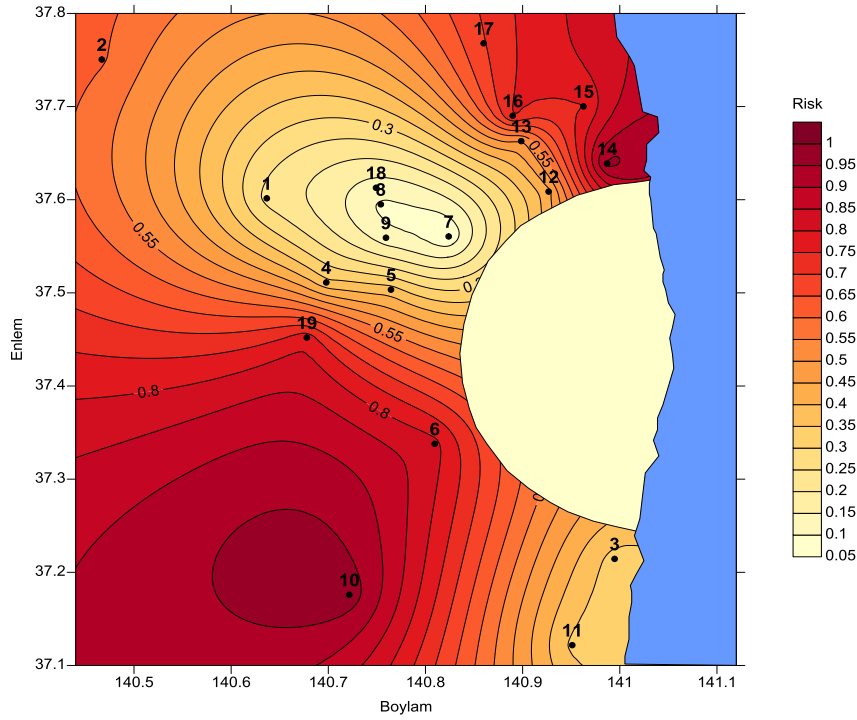
Ek-5 Şekil 10 1440. saatteki aktiviteye karşı risk grafiği

EK 6

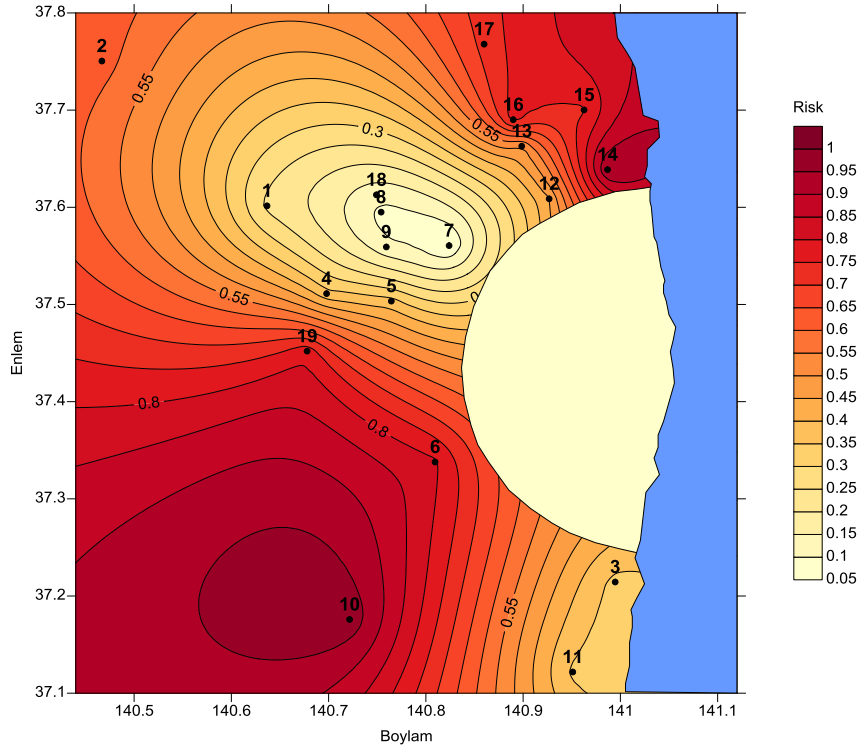
Verilen Saatlerde, Aktivite Değerlerine Karşılık Gelen Genelleştirilmiş Uç-Değer Dağılımına Göre Risk Değerleri İçin Haritalar



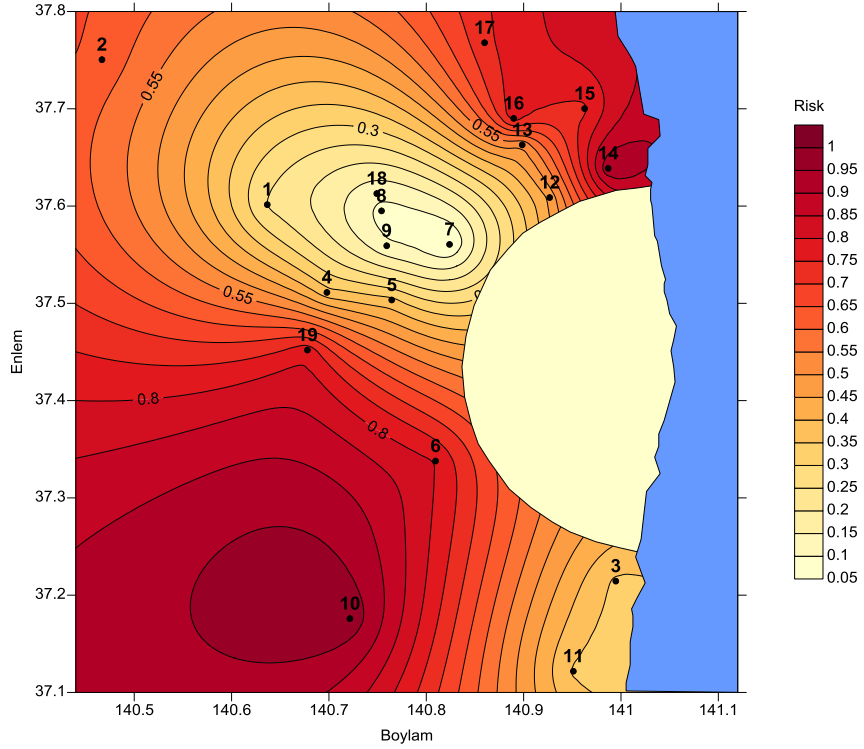
Ek-6 Şekil 1 360. saatteki, aktivite değerlerine karşılık gelen Genelleştirilmiş Uç-Değer dağılımına göre risk değerleri için harita



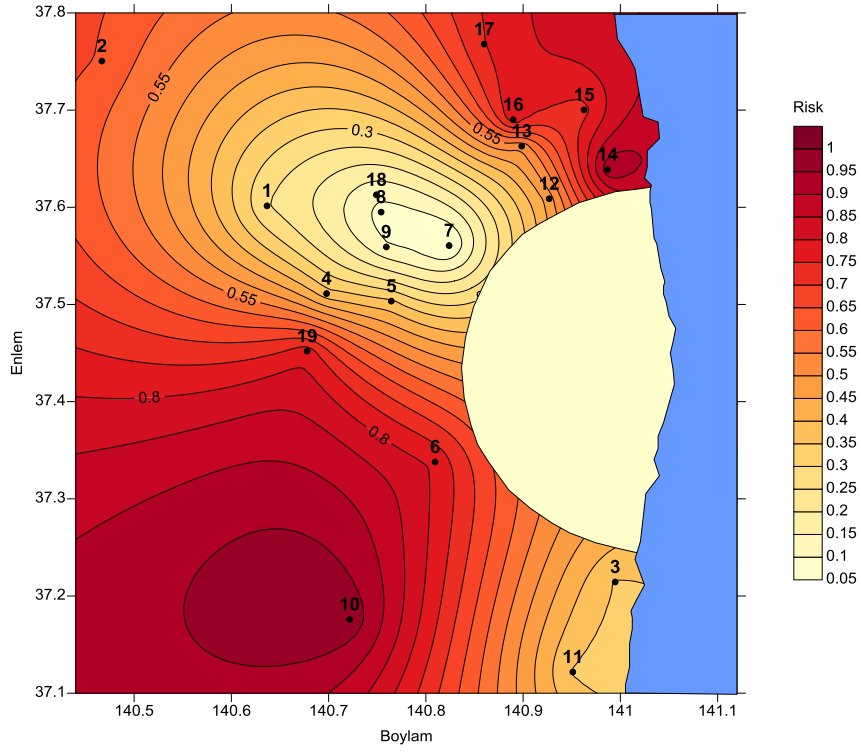
Ek-6 Şekil 2 480. saatteki, aktivite değerlerine karşılık gelen Genelleştirilmiş Uç-Değer dağılımına göre risk değerleri için harita



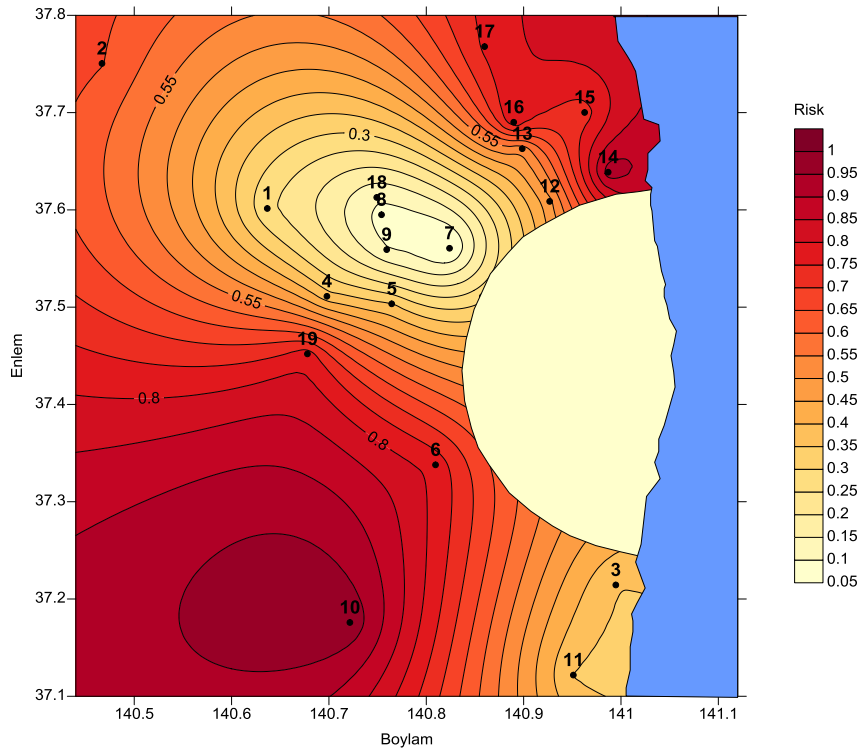
Ek-6 Şekil 3 600. saatteki, aktivite değerlerine karşılık gelen Genelleştirilmiş Uç-Değer dağılımına göre risk değerleri için harita



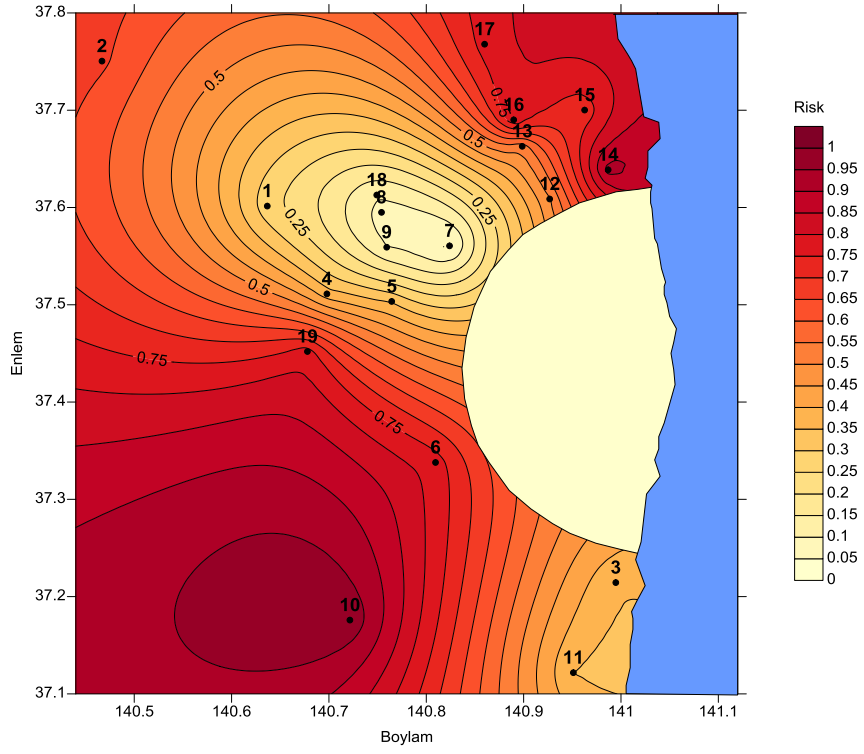
Ek-6 Şekil 4 720. saatteki, aktivite değerlerine karşılık gelen Genelleştirilmiş Uç-Değer dağılımına göre risk değerleri için harita



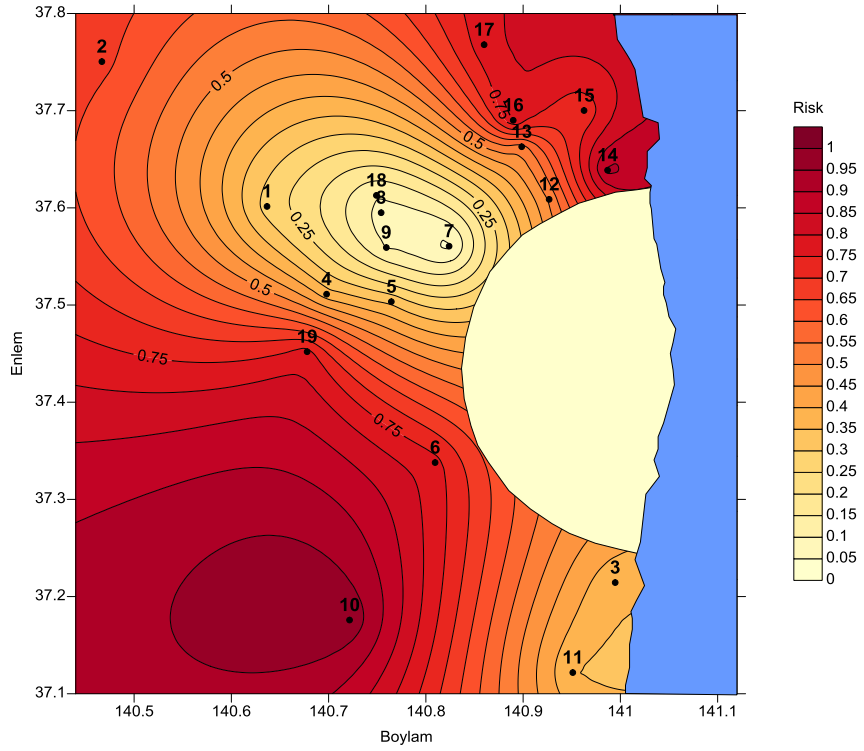
Ek-6 Şekil 5 840. saatteki, aktivite değerlerine karşılık gelen Genelleştirilmiş Uç-Değer dağılımına göre risk değerleri için harita



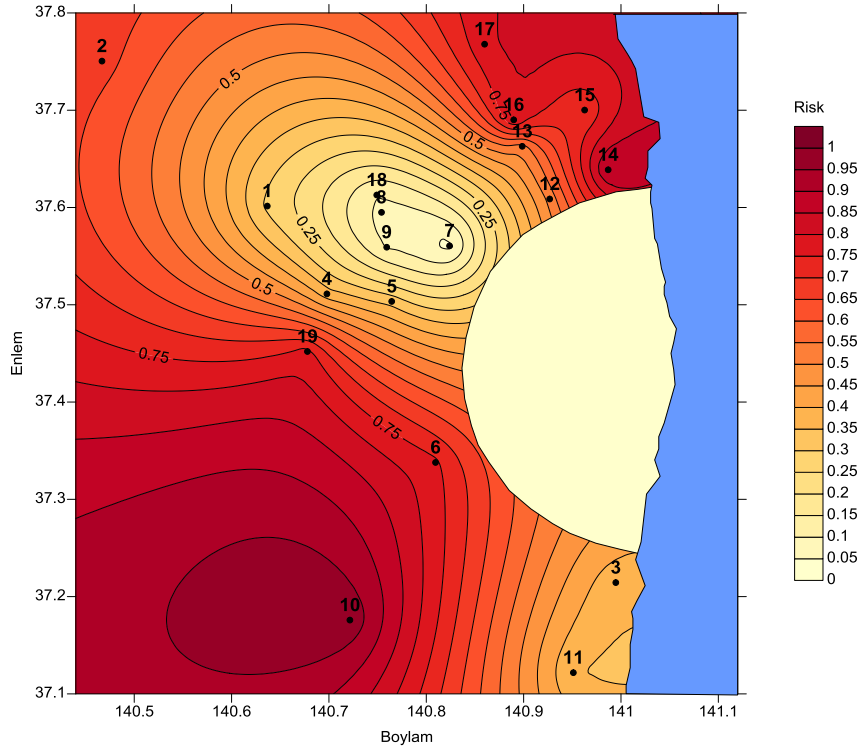
Ek-6 Şekil 6 960. saatteki, aktivite değerlerine karşılık gelen Genelleştirilmiş Uç-Değer dağılımına göre risk değerleri için harita



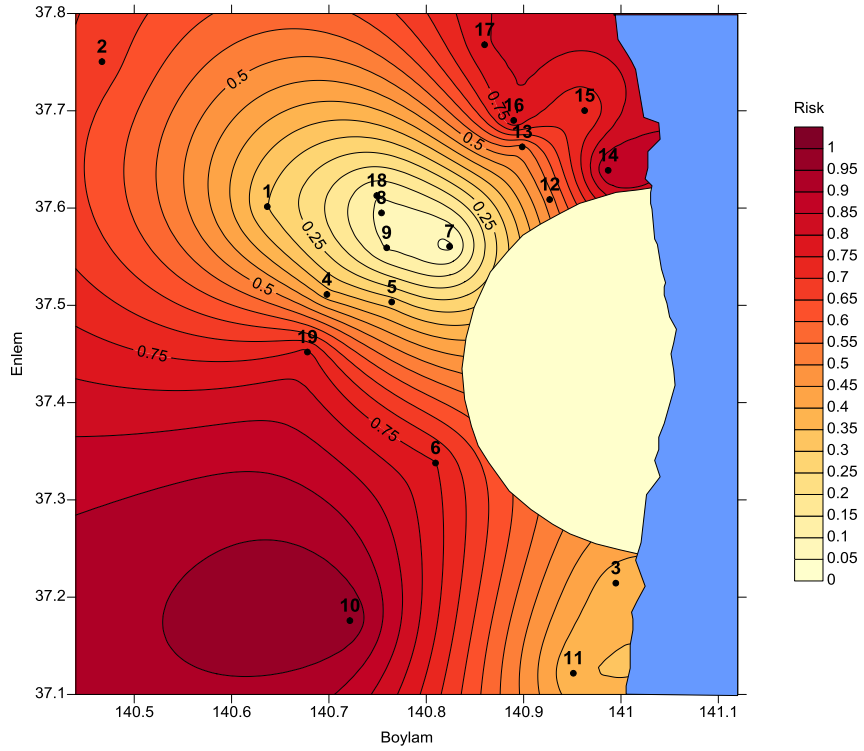
Ek-6 Şekil 7 1080. saatteki, aktivite değerlerine karşılık gelen Genelleştirilmiş Uç-Değer dağılımına göre risk değerleri için harita



Ek-6 Şekil 8 1200. saatteki, aktivite değerlerine karşılık gelen Genelleştirilmiş Uç-Değer dağılımına göre risk değerleri için harita



Ek-6 Şekil 9 1320. saatteki, aktivite değerlerine karşılık gelen Genelleştirilmiş Uç-Değer dağılımına göre risk değerleri için harita



Ek-6 Şekil 10 1440. saatteki, aktivite değerlerine karşılık gelen Genelleştirilmiş Uç-Değer dağılımına göre risk değerleri için harita

EK 7

Verilen Saatlerde Genelleştirilmiş Uç-Değer Dağılımına Göre Risk Değerleri

Ek-7 Tablo 1 360. ve 480. saatlerdeki Genelleştirilmiş Uç-Değer dağılımına göre risk ve çevresel risk değerleri

360. saat			480. saat		
İstasyon No	Genelleştirilmiş Uç-Değer Risk (r_{qud})	Genelleştirilmiş Uç-Değer Çevresel Risk (q_{qud})	İstasyon No	Genelleştirilmiş Uç-Değer Risk (r_{qud})	Genelleştirilmiş Uç-Değer Çevresel Risk (q_{qud})
14	0,978114	0,021886	10	0,978244	0,021756
10	0,966129	0,033871	14	0,965252	0,034748
6	0,828397	0,171603	6	0,815050	0,184950
19	0,784506	0,215494	19	0,781381	0,218619
15	0,760200	0,239800	16	0,758035	0,241965
16	0,748104	0,251896	15	0,750334	0,249666
17	0,678312	0,321688	17	0,696055	0,303945
2	0,594814	0,405186	2	0,606182	0,393818
13	0,487292	0,512708	13	0,492745	0,507255
12	0,424668	0,575332	12	0,435489	0,564511
5	0,378574	0,621426	5	0,373495	0,626505
4	0,361384	0,638616	4	0,362825	0,637175
11	0,335774	0,664226	11	0,337790	0,662210
3	0,326268	0,673732	3	0,330715	0,669285
1	0,229554	0,770446	1	0,234580	0,765420
18	0,130271	0,869729	18	0,126140	0,873860
9	0,127213	0,872787	9	0,122926	0,877074
8	0,094746	0,905254	8	0,093107	0,906893
7	0,064008	0,935992	7	0,059585	0,940415

Ek-7 Tablo 2 600. ve 720. saatlerdeki Genelleştirilmiş Uç-Değer dağılımına göre risk ve çevresel risk değerleri

600. saat			720. saat		
İstasyon No	Genelleştirilmiş Uç-Değer Risk (r_{qud})	Genelleştirilmiş Uç-Değer Çevresel Risk (g_{qud})	İstasyon No	Genelleştirilmiş Uç-Değer Risk (r_{qud})	Genelleştirilmiş Uç-Değer Çevresel Risk (g_{qud})
10	0,982056	0,017944	10	0,983686	0,016314
14	0,951843	0,048157	14	0,941037	0,058963
6	0,806643	0,193357	6	0,798459	0,201541
19	0,781969	0,218031	19	0,781132	0,218868
16	0,770341	0,229659	16	0,779586	0,220414
15	0,745473	0,254527	15	0,739701	0,260299
17	0,716621	0,283379	17	0,733686	0,266314
2	0,621201	0,378799	2	0,633857	0,366143
13	0,501141	0,498859	13	0,508186	0,491814
12	0,449034	0,550966	12	0,462177	0,537823
5	0,369386	0,630614	4	0,367674	0,632326
4	0,365379	0,634621	5	0,364629	0,635371
11	0,340617	0,659383	11	0,343482	0,656518
3	0,336092	0,663908	3	0,341797	0,658203
1	0,239476	0,760524	1	0,245815	0,754185
18	0,130271	0,879778	18	0,115488	0,884512
9	0,127213	0,883156	9	0,111950	0,888050
8	0,094746	0,910247	8	0,087685	0,912315
7	0,064008	0,946313	7	0,048994	0,951006

Ek-7 Tablo 3 840. ve 960. saatlerdeki Genelleştirilmiş Uç-Değer dağılımına göre risk ve çevresel risk değerleri

840. saat			960. saat		
İstasyon No	Genelleştirilmiş Uç-Değer Risk (r_{qud})	Genelleştirilmiş Uç-Değer Çevresel Risk (g_{qud})	İstasyon No	Genelleştirilmiş Uç-Değer Risk (r_{qud})	Genelleştirilmiş Uç-Değer Çevresel Risk (g_{qud})
10	0,984608	0,015392	10	0,985213	0,014787
14	0,932391	0,067609	14	0,925333	0,074667
6	0,790328	0,209672	16	0,791820	0,208180
16	0,786471	0,213529	6	0,782368	0,217632
19	0,779204	0,220796	19	0,776681	0,223319
17	0,747685	0,252315	17	0,759449	0,240551
15	0,733085	0,266915	15	0,726011	0,273989
2	0,644190	0,355810	2	0,652773	0,347227
13	0,513696	0,486304	13	0,517968	0,482032
12	0,474472	0,525528	12	0,485956	0,514044
4	0,369450	0,630550	4	0,370713	0,629287
5	0,359130	0,640870	5	0,353025	0,646975
3	0,347476	0,652524	3	0,353001	0,646999
11	0,346096	0,653904	11	0,348393	0,651607
1	0,253271	0,746729	1	0,261540	0,738460
18	0,111772	0,888228	18	0,108760	0,891240
9	0,108082	0,891918	9	0,104924	0,895076
8	0,086742	0,913258	8	0,086614	0,913386
7	0,045316	0,954684	7	0,042343	0,957657

Ek-7 Tablo 4 1080. ve 1200. saatlerdeki Genelleştirilmiş Uç-Değer dağılımına göre risk ve çevresel risk değerleri

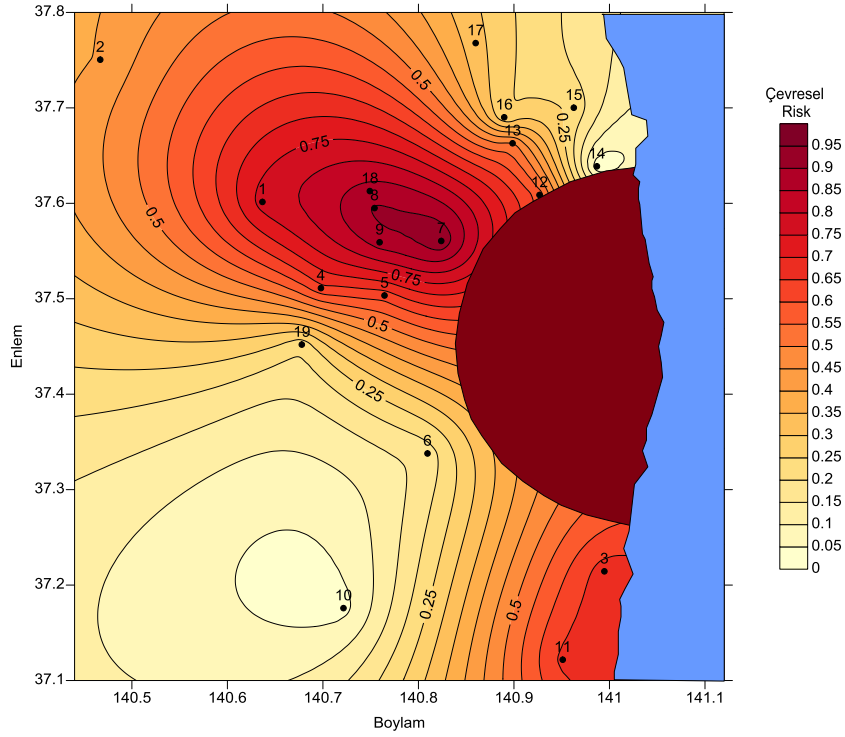
1080. saat			1200. saat		
İstasyon No	Genelleştirilmiş Uç-Değer Risk (r_{qud})	Genelleştirilmiş Uç-Değer Çevresel Risk (g_{qud})	İstasyon No	Genelleştirilmiş Uç-Değer Risk (r_{qud})	Genelleştirilmiş Uç-Değer Çevresel Risk (g_{qud})
10	0,985645	0,014355	10	0,985969	0,014031
14	0,919463	0,080537	14	0,914501	0,085499
16	0,796148	0,203852	16	0,799771	0,200229
6	0,774622	0,225378	17	0,778434	0,221566
19	0,773845	0,226155	19	0,770844	0,229156
17	0,769566	0,230434	6	0,767084	0,232916
15	0,718699	0,281301	15	0,711265	0,288735
2	0,660046	0,339954	2	0,666316	0,333684
13	0,521268	0,478732	13	0,523796	0,476204
12	0,496720	0,503280	12	0,506852	0,493148
4	0,371520	0,628480	4	0,371932	0,628068
3	0,358331	0,641669	3	0,363456	0,636544
11	0,350375	0,649625	11	0,352067	0,647933
5	0,346453	0,653547	5	0,339530	0,660470
1	0,270433	0,729567	1	0,279826	0,720174
18	0,106249	0,893751	18	0,104108	0,895892
9	0,102272	0,897728	9	0,099994	0,900006
8	0,087094	0,912906	8	0,088053	0,911947
7	0,039875	0,960125	7	0,037783	0,962217

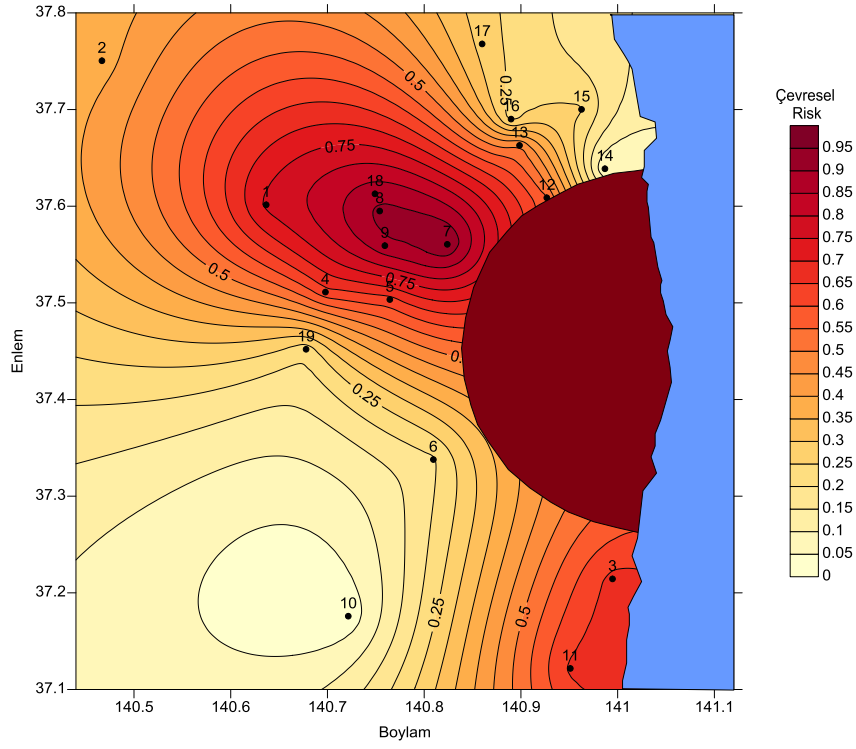
Ek-7 Tablo 5 1320. ve 1440. saatlerdeki Genelleştirilmiş Uç-Değer dağılımına göre risk ve çevresel risk değerleri

1320. saat			1440. saat		
İstasyon No	Genelleştirilmiş Uç-Değer Risk (r_{qud})	Genelleştirilmiş Uç-Değer Çevresel Risk (g_{qud})	İstasyon No	Genelleştirilmiş Uç-Değer Risk (r_{qud})	Genelleştirilmiş Uç-Değer Çevresel Risk (g_{qud})
10	0,986221	0,013779	10	0,98642	0,01358
14	0,910253	0,089747	14	0,906576	0,093424
16	0,802885	0,197115	16	0,805623	0,194377
17	0,786326	0,213674	17	0,793436	0,206564
19	0,76776	0,232240	19	0,764635	0,235365
6	0,759734	0,240266	6	0,752543	0,247457
15	0,703765	0,296235	15	0,696229	0,303771
2	0,671800	0,328200	2	0,676653	0,323347
13	0,525700	0,474300	13	0,527093	0,472907
12	0,516426	0,483574	12	0,525504	0,474496
4	0,372004	0,627996	3	0,373116	0,626884
3	0,368382	0,631618	4	0,371784	0,628216
11	0,353495	0,646505	11	0,354688	0,645312
5	0,332350	0,667650	5	0,32499	0,675010
1	0,289634	0,710366	1	0,299794	0,700206
18	0,102253	0,897747	18	0,100626	0,899374
9	0,098007	0,901993	9	0,096252	0,903748
8	0,089409	0,910591	8	0,091103	0,908897
7	0,035982	0,964018	7	0,034414	0,965586

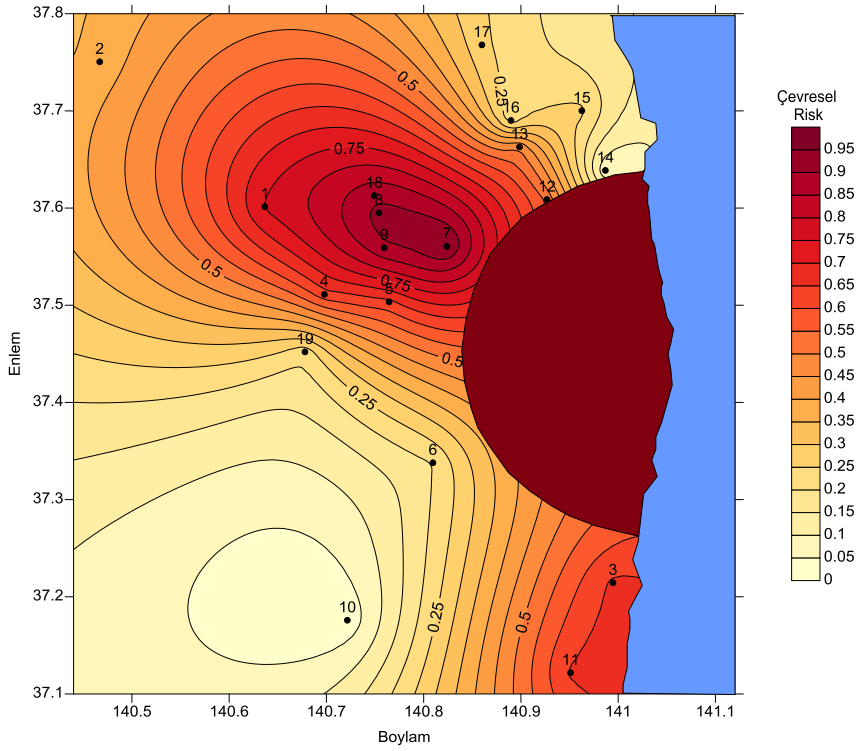
EK 8

Verilen Saatlerde, Aktivite Değerlerine Karşılık Gelen Genelleştirilmiş Uç-Değer Dağılımına Göre Elde Edilen Risk Değerleri Haritaları

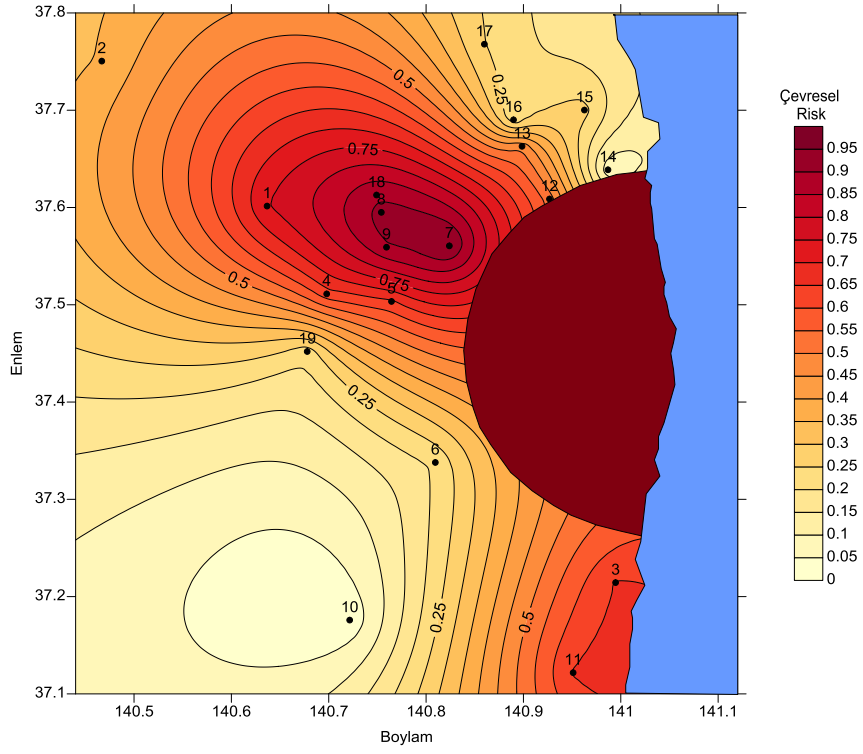




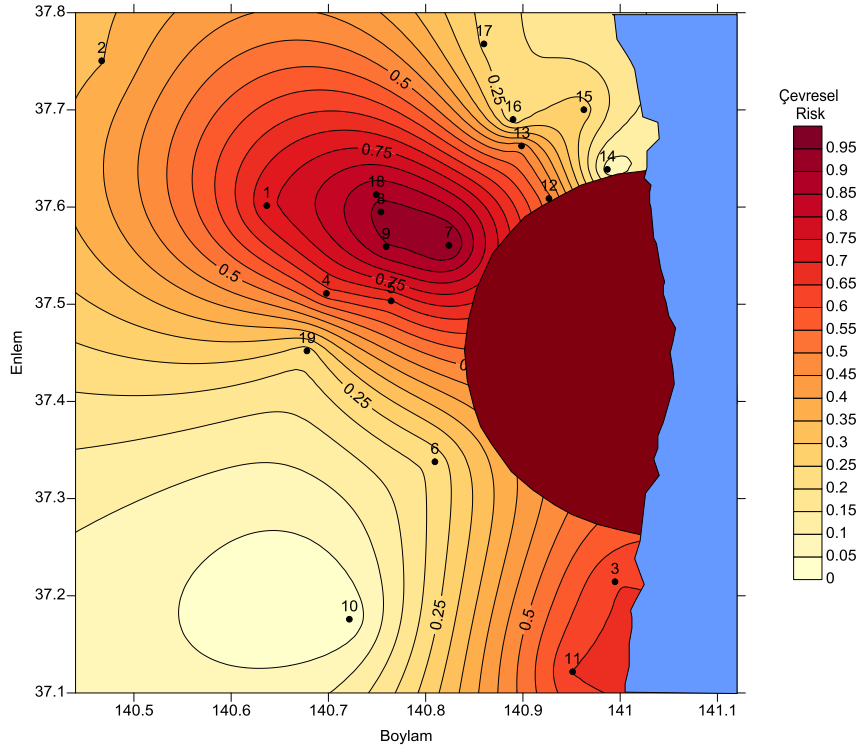
Ek-8 Şekil 3 600. saatteki, aktivite değerlerine karşılık gelen Genelleştirilmiş Uç-Değer dağılımına göre çevresel risk değerleri için harita



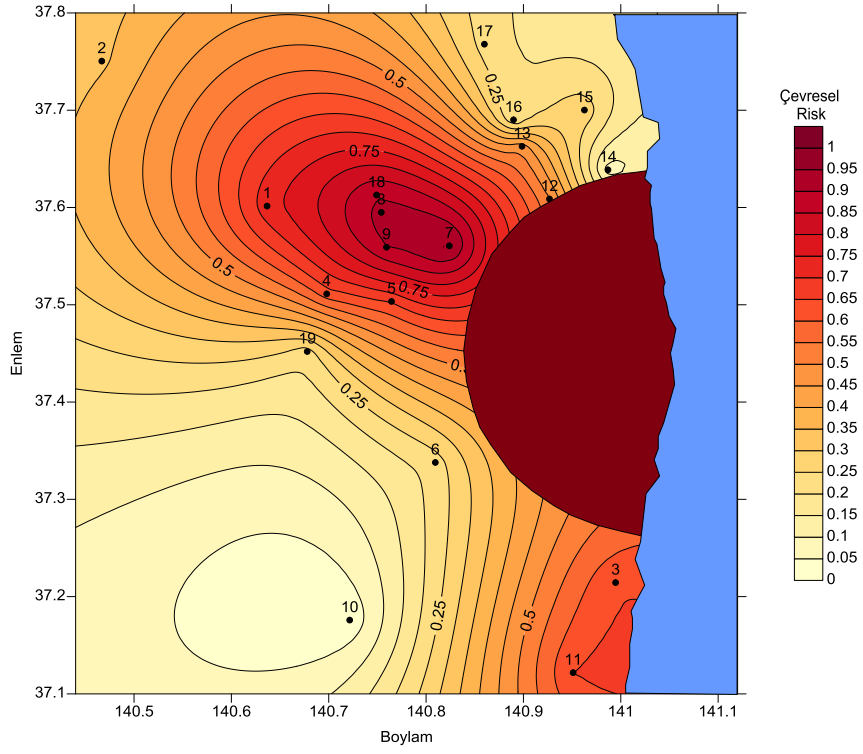
Ek-8 Şekil 4 720. saatteki, aktivite değerlerine karşılık gelen Genelleştirilmiş Uç-Değer dağılımına göre çevresel risk değerleri için harita



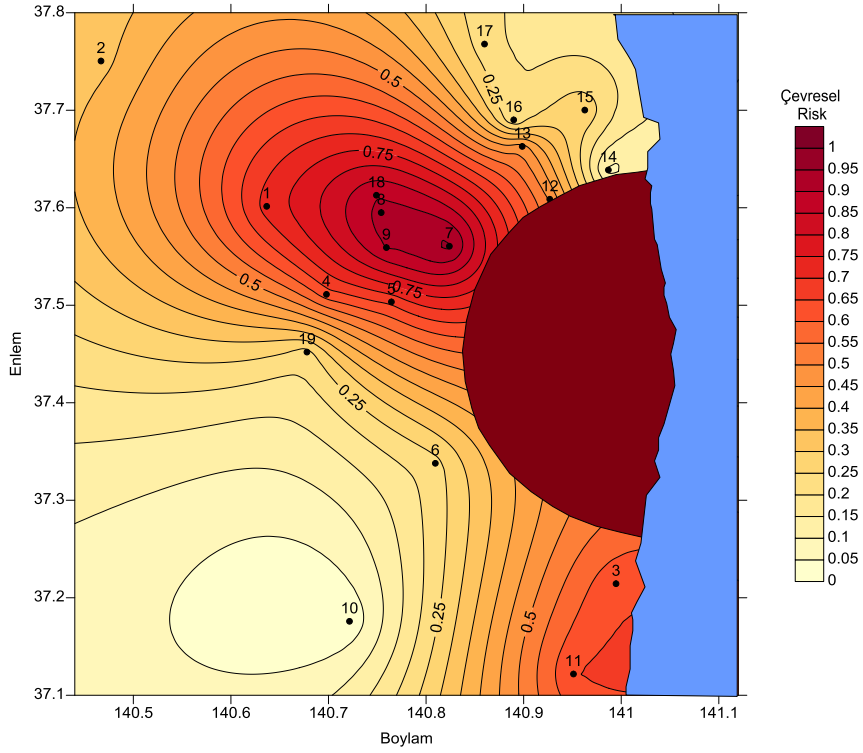
Ek-8 Şekil 5 840. saatteki, aktivite değerlerine karşılık gelen Genelleştirilmiş Uç-Değer dağılımına göre çevresel risk değerleri için harita



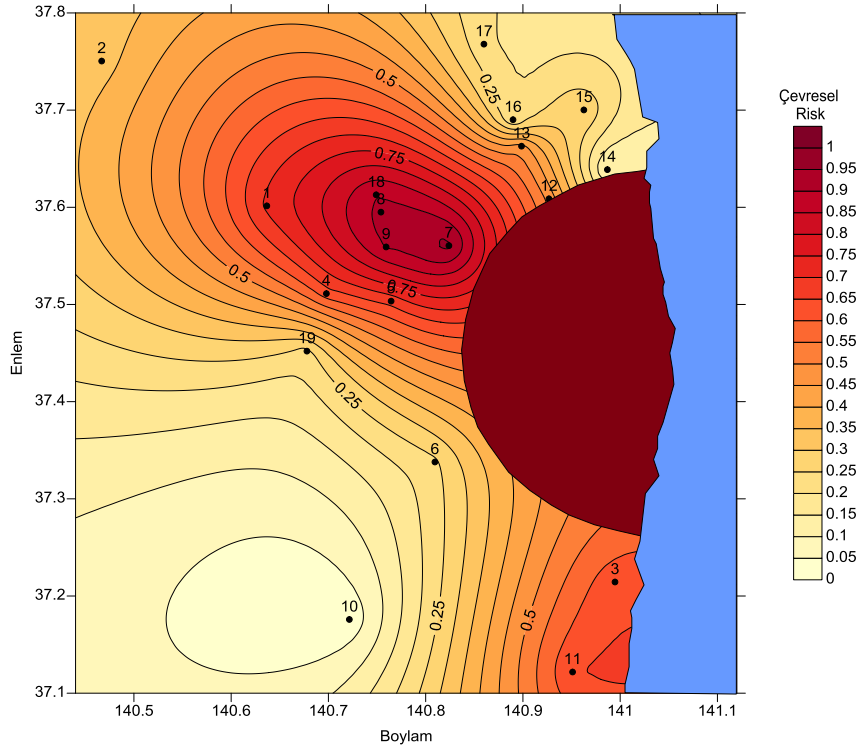
Ek-8 Şekil 6 960. saatteki, aktivite değerlerine karşılık gelen Genelleştirilmiş Uç-Değer dağılımına göre çevresel risk değerleri için harita



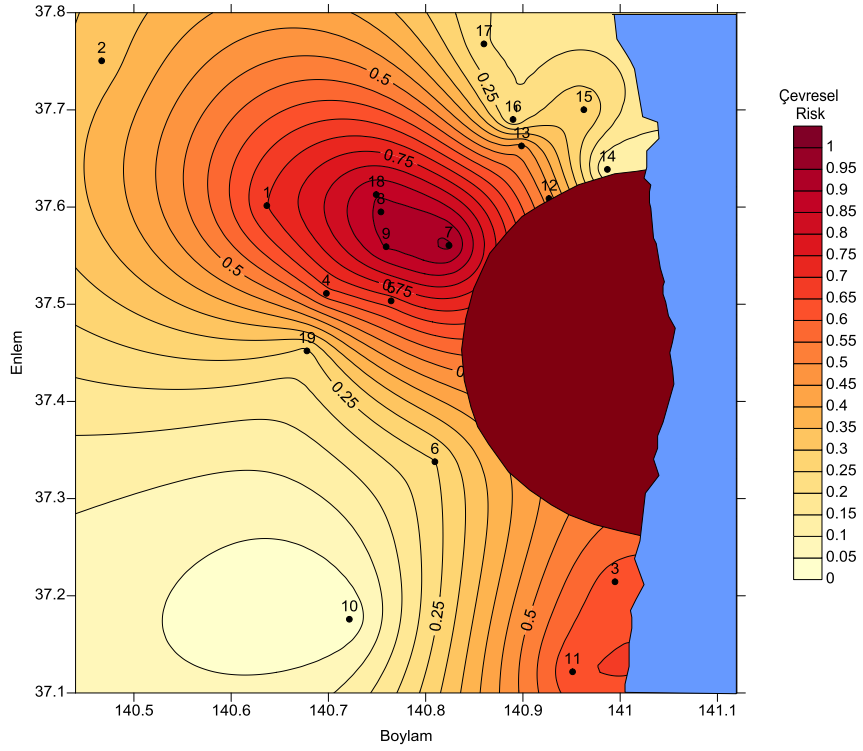
Ek-8 Şekil 7 1080. saatteki, aktivite değerlerine karşılık gelen Genelleştirilmiş Uç-Değer dağılımına göre çevresel risk değerleri için harita



Ek-8 Şekil 8 1200. saatteki, aktivite değerlerine karşılık gelen Genelleştirilmiş Uç-Değer dağılımına göre çevresel risk değerleri için harita



Ek-8 Şekil 9 1320. saatteki, aktivite değerlerine karşılık gelen Genelleştirilmiş Uç-Değer dağılımına göre çevresel risk değerleri için harita



Ek-8 Şekil 10 1440. saatteki, aktivite değerlerine karşılık gelen Genelleştirilmiş Uç-Değer dağılımına göre çevresel risk değerleri için harita

ÖZGEÇMİŞ

25.10.1986 Merkez/ELAZIĞ doğumlu. İlk ve Orta öğrenimini Elazığ Nahit Ergene İlköğretim Okulu'nda, Lise eğitimini Elazığ 75. Yıl Lisesi'nde tamamladı. 2006 yılında Fırat Üniversitesi Fizik bölümünü kazandı. 2008 yılında Çift Ana Dal Programı dâhilinde Matematik bölümüne başladı. Fizik Bölümünü 2010 yılında bitirdi. Aynı yıl Nükleer Fizik Bilim Dalında tezli yüksek lisansa başladı. 2011 yılında Matematik bölümünü bitirdi.