

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FİZİK ANABİLİM DALI

**JEOİSTATİSTİK ANALİZ, YAPAY SİNİR AĞLARI VE BULANIK MANTIK
YAKLAŞIMLARI KULLANARAK ÇEVRESEL RADYOAKTİVİTENİN
ARADEĞERLEME MODELLEMESİ VE HARİTALANDIRILMASI**

DOKTORA TEZİ

Cafer Mert YEŞİLKANAT

OCAK 2016
TRABZON



**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

FİZİK ANABİLİM DALI

**JEOİSTATİSTİK ANALİZ, YAPAY SİNİR AĞLARI VE BULANIK MANTIK
YAKLAŞIMLARI KULLANARAK ÇEVRESEL RADYOAKTİVİTENİN
ARADEĞERLEME MODELLEMESİ VE HARİTALANDIRILMASI**

Cafer Mert YEŞİLKANAT

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"DOKTOR (FİZİK)"**

Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 28 / 12 / 2015

Tezin Savunma Tarihi : 21 / 01 / 2016

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Uğur ÇEVİK

İkinci Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Yaşar KOBYA

Trabzon 2016

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Fizik Anabilim Dalında
Cafer Mert YEŞİLKANAT Tarafından Hazırlanan**

**JEOİSTATİSTİK ANALİZ, YAPAY SİNİR AĞLARI VE BULANIK MANTIK
YAKLAŞIMLARI KULLANARAK ÇEVRESEL RADYOAKTİVİTENİN
ARADEĞERLEME MODELLEMESİ VE HARİTALANDIRILMASI**

**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 29/12 /2015 gün ve 1633 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
DOKTORA TEZİ
olarak kabul edilmiştir.**

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Mahmut DOĞRU

Üye : Prof. Dr. Gökhan APAYDIN

Üye : Prof. Dr. Kamil COŞKUNÇELEBİ

Üye : Prof. Dr. Uğur ÇEVİK

Üye : Prof. Dr. Abdulhalik KARABULUT

M. Doğru
G. Apaydin
K. Coşkunçelebi
U. Çevik
A. Karabulut

**Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ
Enstitü Müdürü**

ÖNSÖZ

Doktora tezi olarak sunduğum bu çalışmanın gerçekleşmesi sürecinde bana her konuda yol gösteren, bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan, çok değerli hocam sayın Prof. Dr. Uğur ÇEVİK' e en içten saygı ile teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım boyunca anlayış, ilgi ve yardımlarını benden asla esirgemeyen ikinci danışmanım ve değerli hocam sayın Yrd. Doç. Dr. Yaşar KOBYA' ya ve AÇÜ-BAP tarafından desteklenen bu tezin oluşması için TAEK ile imzaladıkları protokol kapsamı ile radyoaktiflik ölçümlerinin alınmasında en büyük katkıyı sağlayan Sayın Rektörüm Prof. Dr. Mehmet DUMAN' a en içten saygı ve teşekkürlerimi sunarım

Radyoaktiflik analizlerinin ölçümünde gösterdiği yakın ilgi ve değerli yardımlarından dolayı ve Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezindeki kıymetli hocalarım Halim TAŞKIN' a ve Dr. Ahmet VARİNLİOĞLU' na teşekkür ederim. Ayrıca R programlama dilindeki karşılaştığım sorunlar karşısında yardımlarını esirgemeyen ve tecrübelerini benimle paylaşmaktan çekinmeyen Muenster Üniversitesinden Sayın Prof. Dr. Edzer J. PEBESMA' ya ve Cornell Üniversitesinden Sayın Prof. Dr. David G. ROSSITER' e teşekkürlerimi sunarım. Toprak ve su numunelerinin ölçüme hazırlanmasında emekleri olan mesai arkadaşım Sayın Arş. Gör. Dr. Bakiye ÇAKIR' a ve arazi çalışmalarındaki yardım ve anlayışları için Artvin Çoruh Üniversitesi yönetimine teşekkür ederim. Akademik hayata adım attıktan sonra ki her anımda değerli görüş ve önerileri ile bilimsel çalışmanın yöntem ve ilkelerini bana öğreten, yakın ilgi ve yardımlarını asla esirgemeyen sayın hocam Prof. Dr. Uğur KÖLEMEN' e ayrıca teşekkürlerimi sunarım

Bu süreçte maddi ve manevi olarak bana her zaman ve her konuda destek olan, anlayış ve hoşgörülle yaklaşan aileme, sevgili eşim Özgü YEŞİLKANAT'a ve moral kaynağı canım kızım Bade'ye en içten sevgi, minnet ve teşekkürlerimi sunarım.

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Doktora Tezi olarak sunduğum ‘‘Jeoistatistik Analiz, Yapay Sinir Ağları Ve Bulanık Mantık Yaklaşımları Kullanarak Çevresel Radyoaktivitenin Aradeğerleme Modellemesi Ve Haritalandırılması’’ başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Uğur ÇEVİK’ in sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 21/01/2016

Cafer Mert YEŞİLKANAT

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ	IV
İÇİNDEKİLER	V
ÖZET	IX
SUMMARY	X
ŞEKİLLER DİZİNİ	XI
TABLolar DİZİNİ.....	XVII
SEMBOLLER DİZİNİ	XVIII
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş	1
1.2. Radyoaktivite	4
1.2.1. Yapay Radyoaktivite	5
1.2.2. Doğal Radyoaktivite	6
1.2.3. Radyoaktif Bozunum Kanunu	7
1.2.4. Radyoaktif Bozunum Serileri	8
1.2.5. Radyoaktif Bozunum Türleri	9
1.2.5.1. Alfa (α) Bozunumu	9
1.2.5.2. Beta (β) Bozunumu.....	12
1.2.5.3. Gama (γ) Bozunumu	13
1.2.6. Radyasyon	14
1.2.6.1. Radyasyon Dozu ve Ölçüm Birimleri	15
1.2.6.2. Çevresel Radyasyon ve Kaynakları.....	16
1.2.6.3. Radyasyonun İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri.....	19
1.3. Jeostatistik Analiz	20
1.3.1. Rastlantı Fonksiyonları.....	20
1.3.2. Jeostatistikteki Temel Varsayımlar.....	21
1.3.3. Jeostatistik Analizin Aşamaları	22
1.3.3.1. Tanımlayıcı İstatistiksel Bilgiler	22
1.3.3.2. Yarıvariogram Analizi.....	23
1.3.3.3. Kriging Yöntemi.....	25
1.3.3.3.1. Ordinary Kiriging Yöntemi (OK).....	26

1.3.3.3.2.	Universal Kriging Yöntemi (UK).....	28
1.3.3.3.3.	Co-Kriging Yöntemi (CK).....	29
1.3.3.4.	Çapraz Doğrulama.....	30
1.4.	Yapay Sinir Ağları.....	31
1.4.1.	İleri Beslemeli Yapay Sinir Ağları.....	31
1.4.1.1.	Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağları (MLP).....	32
1.4.1.2.	Radyal Fonksiyon Tabanlı Yapay Sinir Ağları (RBFNN).....	35
1.4.1.3.	Kantil Regresyonlu Yapay Sinir Ağları (QRNN).....	36
1.4.2.	Geri Beslemeli Yapay Sinir Ağları.....	38
1.4.2.1.	Jordan Ağları.....	39
1.4.2.2.	Elman Ağları.....	39
1.5.	Bulanık Mantık Yaklaşımları.....	40
1.5.1.	Bulanık Kümeler ve Üyelik Fonksiyonları.....	41
1.5.2.	Bulanık :Mantık Modellemesi.....	44
1.5.2.1.	Bulanıklaştırma Birimi.....	44
1.5.2.2.	Bulanık Mantıkta Kural Tabanı.....	44
1.5.2.3.	Bulanık Sonuç Çıkarma Birimi.....	45
1.5.2.4.	Durulaştırma Birimi.....	47
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR VE TARTIŞMA.....	49
2.1.	Deneysel Kısım.....	49
2.1.1.	Çalışma Alanının Coğrafik ve Jeolojik Yapısı.....	49
2.1.2.	Numune Alınan Noktaların Belirlenmesi.....	52
2.1.3.	Toprak Örneklerinin Toplanması ve Analize Hazırlanması.....	52
2.1.4.	Su Örneklerinin Toplanması ve Analize Hazırlanması.....	54
2.1.5.	Ölçümlerin Yapılması ve Analiz Sistemleri.....	57
2.1.5.1	Çevresel Gama Doz Hızlarının Ölçülmesi.....	57
2.1.5.2	Toprak Örnekleri Sayım Sistemi.....	60
2.1.5.3	Su Örnekleri Sayım Sistemi.....	61
2.1.6.	Artvin İli Çevresel Gama Doz Hızı Bulguları.....	63
2.1.7.	Artvin İli Doğal Kaynak Sularında Radyoaktivite Bulguları.....	63
2.1.8.	Artvin İli Topraklarında Radyoaktivite Bulguları.....	68
2.1.8.1.	Doğal Radyonüklidlerin Aktivite Konsantrasyonları.....	68
2.1.8.2.	Yapay Radyonüklid Kaynaklı Aktivite Konsantrasyonları.....	73
2.1.8.3.	Topraktaki Radyoaktiflik Bulgularının Değerlendirilmesi.....	73

2.2.	Teorik Kısım.....	75
2.2.1.	Programlama Kaynakları	75
2.2.2.	Radyolojik Haritalandırma	75
2.2.3.	Çevresel Gama Doz Hızının Aradeğer Modellemesi	76
2.2.3.1.	Çevresel Gama Doz Hızı Verilerinin Değerlendirilmesi.....	77
2.2.3.2.	Dış Gama Doz Hızını Etkileyen Faktörler	78
2.2.3.3.	Çevresel Gama Doz Hızının Jeostatistiksel Modellemesi.....	81
2.2.3.3.1.	Verilerin Dönüştürülmesi	81
2.2.3.3.2.	Variogramlar.....	82
2.2.3.3.3.	Test Verilerinin Çapraz Doğrulaması.....	83
2.2.3.4.	Çevresel Gama Doz Hızının Yapay Sinir Ağları Modellemesi.....	86
2.2.3.4.1.	Verilerin Dönüştürülmesi	86
2.2.3.4.2.	Yapay Sinir Ağlarının Mimarisi ve Eğitimi	86
2.2.3.4.3.	Test Verilerinin Çapraz Doğrulaması.....	87
2.2.3.5.	Çevresel Gama Doz Hızının Bulanık Mantık Modellemesi.....	92
2.2.3.5.1.	Bulanık Kümelerin Oluşturulması.....	92
2.2.3.5.2.	Bulanık Kural Tabanı ve Sonuç Çıkarımı	94
2.2.3.5.3.	Test Verilerinin Çapraz Doğrulaması.....	95
2.2.3.6.	Modellerin Performans Değerlendirmesi	97
2.2.3.7.	Çevresel Gama Doz Hızının Haritalandırılması.....	98
2.2.4.	Toplam Alfa Ve Toplam Beta Konsantrasyonunun Aradeğer Modellemesi... 100	
2.2.4.1.	Toplam Alfa ve Toplam Beta Aktivite Verilerinin Değerlendirilmesi.....	100
2.2.4.2.	Toplam Alfa ve Beta Aktivitesinin Jeostatistiksel Modellemesi	102
2.2.4.2.1.	Verilerin Dönüştürülmesi	102
2.2.4.2.2.	Variogramlar.....	104
2.2.4.2.3.	Test Verilerinin Çapraz Doğrulaması.....	108
2.2.4.3.	Toplam Alfa Ve Beta Aktivitesinin Yapay Sinir Ağları Modellemesi	111
2.2.4.3.1.	Verilerin Dönüştürülmesi	111
2.2.4.3.2.	Yapay Sinir Ağlarının Mimarisi ve Eğitimi	111
2.2.4.3.3.	Test Verilerinin Çapraz Doğrulaması.....	114
2.2.4.4.	Toplam Alfa Ve Beta Aktivitesinin Bulanık Mantık Modellemesi.....	119
2.2.4.4.1.	Bulanık Kümelerin Oluşturulması.....	119
2.2.4.4.2.	Bulanık Kural Tabanı Ve Sonuç Çıkarımı	121
2.2.4.4.3.	Test Verilerinin Çapraz Doğrulaması.....	122

2.2.4.5.	Modellerin Performans Değerlendirmesi	124
2.2.4.6.	Toplam Alfa Ve Toplam Beta Aktivitesinin Haritalandırılması	126
2.2.5.	Doğal ve Yapay Radyonüklidlerin Aradeğer Modellemesi.....	129
2.2.5.1.	Doğal ve Yapay Radyonüklid Verilerinin Değerlendirilmesi	129
2.2.5.2.	Doğal ve Yapay Radyonüklidlerin Jeostatistiksel Modellemesi	129
2.2.5.2.1.	Verilerin Dönüştürülmesi	132
2.2.5.2.2.	Variogramlar.....	132
2.2.5.2.3.	Test Verilerinin Çapraz Doğrulaması.....	135
2.2.5.3.	Doğal ve Yapay Radyonüklidlerin Yapay Sinir Ağları Modellemesi.....	137
2.2.5.3.1.	Verilerin Dönüştürülmesi	137
2.2.5.3.2.	Yapay Sinir Ağlarının Mimarisi ve Eğitimi	137
2.2.5.3.3.	Test Verilerinin Çapraz Doğrulaması.....	141
2.2.5.4.	Doğal ve Yapay Radyonüklidlerin Bulanık Mantık Modellemesi	152
2.2.5.4.1.	Bulanık Kümelerin Oluşturulması.....	152
2.2.5.4.2.	Bulanık Kural Tabanı Ve Sonuç Çıkarımı	152
2.2.5.4.3.	Test Verilerinin Çapraz Doğrulaması.....	156
2.2.5.5.	Modellerin Performans Değerlendirmesi	159
2.2.5.6.	Doğal ve Yapay Radyonüklidlerin Dağılımının Haritalandırılması.....	162
3.	SONUÇLAR	167
4.	ÖNERİLER	172
5.	KAYNAKLAR	173
6.	EKLER	185
	ÖZGEÇMİŞ	

Doktora Tezi

ÖZET

JEOİSTATİSTİK ANALİZ, YAPAY SİNİR AĞLARI VE BULANIK MANTIK
YAKLAŞIMLARI KULLANARAK ÇEVRESEL RADYOAKTİVİTENİN
ARADEĞERLEME MODELLEMESİ VE HARİTALANDIRILMASI

Cafer Mert YEŞİLKANAT

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Uğur ÇEVİK
İkinci Danışman: Yrd. Doç. Dr. Yaşar KOBYA
2016, 184 sayfa, 60 Ek sayfa

Bu çalışmada, çevresel radyoaktivitenin dağılımını araştırmak ve görüntülenmesini sağlamak için jeostatistik analiz yöntemleri (Kriging teknikleri) ve yapay zeka uygulamalarının (yapay sinir ağları ve bulanık mantık yaklaşımları) uygunluğu incelenmiş ve karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Çalışmada kullanılan her bir yöntem ile ölçüm alınmamış ara değer bölgelerinin aktivite tahmini yapılarak çalışma alanı olan Artvin için radyolojik dağılım belirlenmiştir. Çalışmada Artvin'i temsil edecek düzeyde 204 istasyonda dış ortamda gama doz hızı ölçümü yapılmış, 117 istasyonda da toprak ve su numunesi toplanmıştır. Bu örneklerden elde edilen aktivite verilerinin %70'i ile ara değer tahmin modelleri oluşturulmuş, geri kalan %30'luk veri seti ise, yöntemlerin performanslarını belirlemek için test verisi olarak ayrılmıştır. Ayrıca ara değer tahmin yöntemleri kullanılarak çalışma alanının toprak (^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , ^{137}Cs), su (gross alfa ve gross beta) ve hava (dış gama doz hızı) ölçümleri için radyolojik dağılım haritaları oluşturulmuştur. Elde edilen bulgular, radyolojik dağılımı belirlemek için yapay zeka yaklaşımlarının daha yüksek performans gösterdiğini ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler: Çevresel radyoaktivite, Jeostatistik analiz, Yapay sinir ağları, Bulanık mantık yaklaşımları, Radyolojik haritalandırma, Artvin

PhD. Thesis

SUMMARY

INTERPOLATION MODELING AND MAPPING OF ENVIRONMENTAL
RADIOACTIVITY USING GEOSTATISTIC METHODS, ARTIFICIAL NEURAL
NETWORKS AND FUZZY LOGIC APPROACH

Cafer Mert YEŞİLKANAT

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Physics Graduate Program
Supervisor: Prof. Dr. Uğur ÇEVİK
Co-Supervisor: Asst. Prof. Dr. Yaşar KOBYA
2016, 184 Pages, 60 Pages Appendix

In this study, appropriateness of geostatistic analysis techniques (Kriging techniques) and artificial intelligence applications (artificial neural networks and fuzzy logic approach) were examined and comparatively evaluated in order to investigate the environmental radioactivity distribution and ensure its monitoring. Radiological dispersion of Artvin was determined by estimating activity of interpolation regions through each method used in the study. Outdoor gamma dose measurements were performed in 204 outdoor stations, that are considered to be representing Artvin, and soil and water samples were collected from 117 stations. Interpolation estimation models were created with 70% of the activity data obtained from these samples and the remaining 30% of the dataset was separated as the test data to be used to determine performance of the methods. In addition, radiological distribution maps were created for soil (^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , ^{137}Cs), water (gross alpha and gross beta) and air (outdoor gamma dose rate) measurements by using these interpolation estimation methods. The findings obtained indicate that artificial intelligence approaches have shown better performance while determining radiological distribution.

Key Words: Environmental Radioactivity, Geostatistic Analysis, Artificial Neural Networks , Fuzzy Logic Approach , Radiological Maps, Artvin

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Radyoaktif bozunum serileri. a) ^{232}Th kaynaklı toryum bozunma zinciri, b) ^{238}U kaynaklı, uranyum bozunma zinciri, c) ^{235}U kaynaklı, aktinyum bozunma zinciri	10
Şekil 1.2. Radyoaktif bozunum türleri.....	11
Şekil 1.3. Elektromanyetik ışınım spektrumu.....	15
Şekil 1.4. Radyasyonun insanlara geçiş yolları [81].....	17
Şekil 1.5. Teorik ve deneysel semivariogramın yapısı	25
Şekil 1.6. a) Biyolojik bir nöronun genel yapısı. b) Yapay sinir hücresinin genel yapısı ve proses elemanları.	32
Şekil 1.7. Yapay sinir ağlarının genel mimarisi yapısı a) İleri beslemeli yapay sinir ağları, b) Çok katmanlı ANN, c) Radyal fonksiyon tabanlı ANN, d) Kantil regresyon ANN, e) Geri beslemeli ağlar, f) Elman ağları, g) Jordan ağları.....	33
Şekil 1.8. Klasik ve bulanık mantık kümelerinin karşılaştırılması [136].	41
Şekil 1.9. Klasik ve bulanık kümeleme sistemi.	42
Şekil 1.10. Bulanık kümelerde en çok kullanılan üyelik fonksiyonları.....	43
Şekil 1.11 Bulanık mantık modellemesinin temel aşamaları.....	45
Şekil 1.12. Mamdani çıkarım yöntemi ile bulanık kümenin elde edilişi.	46
Şekil 1.13. Durulaştırma yöntemleri [138].	48
Şekil 2.1. Çalışma alanının coğrafi yapısı.	50
Şekil 2.2. Artvin için sayısal yükseklik modeli ile belirlenmiş rakım haritası [145].	50
Şekil 2.3. Çalışma alanının jeolojik yapısı. MTA'nın 1:500000'lik Türkiye jeoloji haritasından modifiye edilmiştir [150]..	51
Şekil 2.4. Artvinin büyük toprak grupları haritası [153].	51
Şekil 2.5. Gama doz hızının yapıldığı istasyonlar (204 adet)	53
Şekil 2.6. Toprak ve su örneklerinin toplandığı istasyonlar (117 adet).	53
Şekil 2.7. Ölçüme hazır hale getirilmiş toprak örnekleri.	54
Şekil 2.8. Analiz için hazırlanan su örnekleri.	55
Şekil 2.9. a) Kalıntı tayini için düşük sıcaklıklarda buharlaştırma işlemi, b) EPA 900.0 buharlaştırma yöntemi için planşetlerin fırına verilmesi.	55
Şekil 2.10. SM 7110C çöktürme yöntemi.....	58
Şekil 2.11. Gama doz oranı ölçüm cihazı ve sintilasyon dedektörü.	60

Şekil 2.12. a) HPGe dedektörlü gama spektrometrik cihazının çalışma düzeneği, b) Gama spektrometrik analiz sistemi düzeneği (ÇNAEM).....	61
Şekil 2.13. a) Toplam alfa ve beta sayım cihazının çalışma düzeneği, b) Toplam alfa ve beta sayım cihazı (ÇNAEM).	62
Şekil 2.14. Artvin ve ilçeleri için gama doz hızlarının ortalama değerleri	64
Şekil 2.15. Artvin ve İlçeleri için gama doz hızlarının istatistiksel özeti (N, ilçelerdeki istasyon sayısını göstermektedir.).....	64
Şekil 2.16. Artvin ve ilçeleri için doğal kaynak sularında toplam alfa aktivitesi ortalama değerleri.....	66
Şekil 2.17. Artvin ve İlçeleri için toplam alfa aktivite konsantrasyonunun istatistiksel özeti (N, ilçelerdeki istasyon sayısını göstermektedir.).....	66
Şekil 2.18. Artvin ve ilçeleri için doğal kaynak sularında toplam beta aktivitesi ortalama değerleri.....	67
Şekil 2.19. Artvin ve ilçeleri için toplam beta aktivite konsantrasyonunun istatistiksel özeti (N, ilçelerdeki istasyon sayısını göstermektedir.).....	67
Şekil 2.20. Artvin ve ilçeleri için topraklardaki ²²⁶ Ra aktivitesi ortalama değerleri.	69
Şekil 2.21. Artvin ve ilçeleri için topraklardaki ²²⁶ Ra aktivitesinin istatistiksel özeti (N, ilçelerdeki istasyon sayısını göstermektedir.).....	69
Şekil 2.22. Artvin ve ilçeleri için topraklardaki ²³² Th aktivitesi ortalama değerleri.	71
Şekil 2.23. Artvin ve ilçeleri için topraklardaki ²³² Th aktivitesinin istatistiksel özeti (N, ilçelerdeki istasyon sayısını göstermektedir.).....	71
Şekil 2.24. Artvin ve ilçeleri için topraklardaki ⁴⁰ K aktivitesi ortalama değerleri.	72
Şekil 2.25. Artvin ve ilçeleri için topraklardaki ⁴⁰ K aktivitesinin istatistiksel özeti (N, ilçelerdeki istasyon sayısını göstermektedir.).....	72
Şekil 2.26. Artvin ve ilçeleri için topraklardaki ¹³⁷ Cs aktivitesi ortalama değerleri.	74
Şekil 2.27. Artvin ve ilçeleri için topraklardaki ¹³⁷ Cs aktivitesinin istatistiksel özeti (N, ilçelerdeki istasyon sayısını göstermektedir.).....	74
Şekil 2.28. Radyolojik haritalar için grid sistemi	76
Şekil 2.29. Eğitim ve test verilerinin histogramları.	78
Şekil 2.30. Eğitim ve test verileri için gama doz hızı ve yükseklik arasındaki ilişki.....	79
Şekil 2.31. Eğitim ve test verileri için gama doz hızı ile büyük toprak gruplarının kutubiyık diyagramları.....	79
Şekil 2.32. Eğitim ve test verileri için gama doz hızı ile jeolojik kayaç yapıları kutubiyık diyagramları.....	80
Şekil 2.33. Eğitim ve test verilerinin Log-dönüşümlü histogramları.	82
Şekil 2.34. Deneysel ve teorik variogramlar a) izotropik variogram, b) kalıntı variogram. (Sayılar, deneysel variogramdaki uygulama mesafesi değerine sahip istasyon çiftlerini göstermektedir.).....	84

Şekil 2.35. Tahmin edilen değerlere karşı gama doz oranlarının gerçek değerinin saçılma diyagramı ve hata istatistikleri a) OK yöntemi sonuçları, b) UK yöntemi sonuçları, c)OK yöntemi nin test istasyonlarını tahmin etme performansı d)UK yönteminin test istasyonlarını tahmin etme performansı (numaralar test istasyonlarını göstermektedir).	85
Şekil 2.36. Çalışmada kullanılan yapay sinir ağlarının eğitim ve test verileri için iterasyon değerlerindeki hata değişimleri.....	88
Şekil 2.37. Yapay sinir ağları ile tahmin edilen değerlere karşı gama doz hızlarının gerçek değerinin saçılma diyagramı ve hata istatistikleri.....	89
Şekil 2.38. Geri beslemeli yapay sinir ağlarının test istasyonlarını tahmin etme performansı (numaralar test istasyonlarını göstermektedir).....	90
Şekil 2.39. İleri beslemeli yapay sinir ağlarının test istasyonlarını tahmin etme performansı (numaralar test istasyonlarını göstermektedir).....	91
Şekil 2.40. Gama doz hızının tahmininde kullanılan bulanık kümeler	93
Şekil 2.41. Birinci test verisi için bulanık çıkarım kümesi ve durulaştırma işlemi.	95
Şekil 2.42. a) Bulanık mantık yaklaşımı ile tahmin edilen değerlere karşı gama doz hızlarının gerçek değerinin saçılma diyagramı ve hata istatistikleri. b) Bulanık mantık modellemesinin test istasyonlarını tahmin etme performansı (numaralar test istasyonlarını göstermektedir)	96
Şekil 2.43. Taylor diyagramı ve model performanslarının karşılaştırılması	97
Şekil 2.44. Artvindeki çevresel gama doz hızı dağılımının tüm modeller ile oluşturulan tahmin haritaları.....	99
Şekil 2.45. Toplam alfa konsantrasyon değerleri için eğitim ve test verilerinin histogramları.....	101
Şekil 2.46. Toplam beta konsantrasyon değerleri için eğitim ve test verilerinin histogramları.....	101
Şekil 2.47. Toplam alfa konsantrasyon değerlerinin logaritmik dönüşümlü histogramları.....	103
Şekil 2.48. Toplam beta konsantrasyon değerlerinin logaritmik dönüşümlü histogramları.....	103
Şekil 2.49. Toplam alfa konsantrasyonu için oluşturulan izotropik ve çapraz yarıvariogramlar. (Sayılar, deneysel variogramdaki uygulama mesafesi değerine sahip istasyon çiftlerini göstermektedir).....	106
Şekil 2.50. Toplam beta konsantrasyonu için oluşturulan izotropik ve çapraz yarıvariogramlar. (Sayılar, deneysel variogramdaki uygulama mesafesi değerine sahip istasyon çiftlerini göstermektedir).....	107
Şekil 2.51. Tahmin edilen değerlere karşı toplam alfa aktivitesinin gerçek değerinin saçılma diyagramı ve hata istatistikleri a) OK yöntemi sonuçları, b) CK yöntemi sonuçları, c)OK yönteminin test istasyonlarını tahmin etme performansı d)UK yönteminin test istasyonlarını tahmin etme performansı (numaralar test istasyonlarını göstermektedir).	109

Şekil 2.52. Tahmin edilen değerlere karşı toplam beta aktivitesinin gerçek değerinin saçılma diyagramı ve hata istatistikleri a) OK yöntemi sonuçları, b) CK yöntemi sonuçları, c)OK yönteminin test istasyonlarını tahmin etme performansı d)UK yönteminin test istasyonlarını tahmin etme performansı (numaralar test istasyonlarını göstermektedir).	110
Şekil 2.53. Çalışmada kullanılan yapay sinir ağlarının toplam alfa eğitim ve test verileri için iterasyon değerlerindeki hata değişimleri.....	113
Şekil 2.54. Çalışmada kullanılan yapay sinir ağlarının toplam beta eğitim ve test verileri için iterasyon değerlerindeki hata değişimleri.....	113
Şekil 2.55. Geri beslemeli yapay sinir ağlarının test istasyonları için toplam alfa ve toplam beta aktivitesini tahmin etme performansları (numaralar test istasyonlarını göstermektedir).	115
Şekil 2.56. İleri beslemeli yapay sinir ağlarının test istasyonları için toplam alfa ve toplam beta aktivitesini tahmin etme performansları (numaralar test istasyonlarını göstermektedir).	116
Şekil 2.57. Yapay sinir ağları ile tahmin edilen değerlerine karşı toplam alfa aktivitesinin gerçek değerinin saçılma diyagramı ve hata istatistikleri.....	117
Şekil 2.58. Yapay sinir ağları ile tahmin edilen değerlerine karşı toplam beta aktivitesinin gerçek değerinin saçılma diyagramı ve hata istatistikleri.....	118
Şekil 2.59. Toplam alfa ve toplam beta aktivitesinin aradeğer tahmini için kullanılan bulanık kümeler.	120
Şekil 2.60. Birinci test verisi için bulanık çıkarım kümesi ve durulaştırma işlemi.	122
Şekil 2.61. Bulanık mantık yaklaşımı ile tahmin edilen değerlere karşı gerçek değerinin saçılma diyagramı ve hata istatistikleri a) Toplam alfa aktivitesi için b)Toplam beta aktivitesi için. Bulanık mantık modellemesinin test istasyonlarını tahmin etme performansı c) Toplam alfa aktivitesi için d)Toplam beta aktivitesi için.	123
Şekil 2.62. Toplam alfa aktivitesi için Taylor diyagramı ve model performanslarının karşılaştırılması.....	125
Şekil 2.63. Toplam beta aktivitesi için Taylor diyagramı ve model performanslarının karşılaştırılması.....	125
Şekil 2.64. Artvindeki toplam alfa konsantrasyon dağılımının tüm modeller ile oluşturulan tahmin haritaları.....	127
Şekil 2.65. Artvindeki toplam beta konsantrasyon dağılımının tüm modeller ile oluşturulan tahmin haritaları.....	128
Şekil 2.66. Doğal ve yapay radyonüklidlerin aktivite değerleri için eğitim ve test verilerinin histogramları.	131
Şekil 2.67. Doğal ve yapay radyonüklidlerin konsantrasyon değerlerinin logaritmik dönüşümlü histogramları.	133
Şekil 2.68. Doğal ve yapay radyonüklidlerin aktivite yoğunluğu için oluşturulan izotropik variogram ve en iyi fit fonksiyonları.....	135

Şekil 2.69. Doğal ve yapay radyonüklid aktivitelerinin tahmin edilen değerlere karşı gerçek değerinin saçılma diyagramı ve hata istatistikleri.....	136
Şekil 2.70. OK yönteminin test istasyonlarını tahmin etme performansı (numaralar test istasyonlarını göstermektedir).	136
Şekil 2.71. Çalışmada kullanılan yapay sinir ağlarının ²²⁶ Ra aktivite verilerinin iterasyon değerlerindeki hata değişimleri.....	139
Şekil 2.72. Çalışmada kullanılan yapay sinir ağlarının ²³² Th aktivite verilerinin iterasyon değerlerindeki hata değişimleri.....	139
Şekil 2.73. Çalışmada kullanılan yapay sinir ağlarının ⁴⁰ K aktivite verilerinin iterasyon değerlerindeki hata değişimleri.	140
Şekil 2.74. Çalışmada kullanılan yapay sinir ağlarının ¹³⁷ Cs aktivite verilerinin iterasyon değerlerindeki hata değişimleri.....	140
Şekil 2.75. Yapay sinir ağlarının test istasyonları için ²²⁶ Ra aktivitesini tahmin etme performansları (numaralar test istasyonlarını göstermektedir).....	144
Şekil 2.76. Yapay sinir ağlarının test istasyonları için ²³² Th aktivitesini tahmin etme performansları (numaralar test istasyonlarını göstermektedir).....	145
Şekil 2.77. Yapay sinir ağlarının test istasyonları için ⁴⁰ K aktivitesini tahmin etme performansları (numaralar test istasyonlarını göstermektedir).....	146
Şekil 2.78. Yapay sinir ağlarının test istasyonları için ¹³⁷ Cs aktivitesini tahmin etme performansları (numaralar test istasyonlarını göstermektedir).....	147
Şekil 2.79. ²²⁶ Ra aktivitesinin yapay sinir ağları ile tahmin edilen değerlerine karşı gerçek değerinin saçılma diyagramı ve hata istatistikleri.....	148
Şekil 2.80. ²³² Th aktivitesinin yapay sinir ağları ile tahmin edilen değerlerine karşı gerçek değerinin saçılma diyagramı ve hata istatistikleri.....	149
Şekil 2.81. ⁴⁰ K aktivitesinin yapay sinir ağları ile tahmin edilen değerlerine karşı gerçek değerinin saçılma diyagramı ve hata istatistikleri.	150
Şekil 2.82. ¹³⁷ Cs aktivitesinin yapay sinir ağları ile tahmin edilen değerlerine karşı gerçek değerinin saçılma diyagramı ve hata istatistikleri.....	151
Şekil 2.83. Doğal ve yapay radyonüklidler için oluşturulan bulanık kümeler.	153
Şekil 2.84. Birinci test verisi için bulanık çıkarım kümesi ve durulaştırma işlemi	156
Şekil 2.85. Bulanık mantık yaklaşımı ile tahmin edilen değerlere karşı gerçek değerinin saçılma diyagramı ve hata istatistikleri.	157
Şekil 2.86. Bulanık mantık yaklaşımı ile test istasyonlarını tahmin etme performansı (numaralar test istasyonlarını göstermektedir)	158
Şekil 2.87. ²²⁶ Ra aktivitesi için Taylor diyagramı ve model performanslarının karşılaştırılması.....	160
Şekil 2.88. ²³² Th aktivitesi için Taylor diyagramı ve model performanslarının karşılaştırılması.....	160
Şekil 2.89. ⁴⁰ K aktivitesi için Taylor diyagramı ve model performanslarının karşılaştırılması.....	161

Şekil 2.90. ^{137}Cs aktivitesi için Taylor diyagramı ve model performanslarının karşılaştırılması.....	161
Şekil 2.91. Artvindeki ^{226}Ra aktivite konsantrasyon dağılımının tüm modeller ile oluşturulan aradeğerleme tahmin haritaları.	163
Şekil 2.92. Artvindeki ^{232}Th aktivite konsantrasyon dağılımının tüm modeller ile oluşturulan aradeğerleme tahmin haritaları.	164
Şekil 2.93. Artvindeki ^{40}K aktivite konsantrasyon dağılımının tüm modeller ile oluşturulan aradeğerleme tahmin haritaları.	165
Şekil 2.94. Artvindeki ^{137}Cs aktivite konsantrasyon dağılımının tüm modeller ile oluşturulan aradeğerleme tahmin haritaları.	166

TABLULAR DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1.1. Bazı yapay radyonüklidler ve kullanım alanları [78]. [U(n,f) Uranyum fisyon ürünlerini temsil etmektedir.]	5
Tablo 1.2. Uzun ömürlü bazı radyoaktif çekirdekler [1]	6
Tablo 1.3. Kozmojenik kaynaklı bazı radyoaktif çekirdekler [82].	6
Tablo 1.4. Radyasyon terimleri, eski ve yeni birimlerin karşılaştırmalı gösterimi.....	16
Tablo 2.1. Çevresel gama doz hızı (nGy/h) ölçümlerinin istatistiksel özeti	77
Tablo 2.2. İzotropik variogramı en iyi fit eden fonksiyonu belirlemek için oluşturulan model parametreleri.....	83
Tablo 2.3. İzotropik variogramı en iyi fit eden fonksiyonu belirlemek için oluşturulan model parametreleri.....	83
Tablo 2.4. Çalışmada kullanılan yapay sinir ağlarının genel mimari yapısı.....	87
Tablo 2.5. Toplam alfa aktivite konsantrasyonu (mBq/L) bulgularının istatistiksel özeti	100
Tablo 2.6. Toplam beta aktivite konsantrasyonu (mBq/L) bulgularının istatistiksel özeti.	102
Tablo 2.7. Toplam alfa aktivitesinde izotropik ve çapraz variogramı en iyi fit eden fonksiyonu belirlemek için oluşturulan model parametreleri.....	105
Tablo 2.8. Toplam beta aktivitesinde izotropik ve çapraz variogramı en iyi fit eden fonksiyonu belirlemek için oluşturulan model parametreleri.....	105
Tablo 2.9. Çalışmada kullanılan yapay sinir ağlarının genel mimari yapısı.....	112
Tablo 2.10. Doğal ve yapay radyonüklidlerin aktivitelerinin (Bq/kg) istatistiksel özeti ...	130
Tablo 2.11. Doğal ve yapay radyonüklidlerde oluşturulan izotropik variogramı en iyi fit eden fonksiyonu belirlemek için oluşturulan model parametreleri	134
Tablo 2.12. Çalışmada kullanılan yapay sinir ağlarının genel mimari yapısı	138

SEMBOLLER DİZİNİ

$\phi(.)$:Gauss aktivasyon fonksiyonu
$f(.)$: Doğrusal aktivasyon fonksiyonu
a	: Etki mesafesi
$Y(.)$: Hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonu
ω_i	: Kriging ağırlıkları
c_0	: Külçe etkisi
$\varphi(.)$: Logistik aktivasyon fonksiyon
$T_{1/2}$: Radyoçekirdeğin yarı ömrü
c	: Yapısal varyans (partial sill)
$\gamma(h)$: Yarivariogram
$\mu(x)$: Bulanık küme üyelik fonksiyonu
\bar{T}	: Ortalama ömür
α	: Alfa parçacığı (ışınması)
$A(t)$: Aktiflik
Becquerel	: Aktivite birimi
Curie	: Aktivite birimi
e	: Elektron
I_A	: Radyoçekirdeğin aktivitesi
K	: Atomun kütle numarası
N	: Çekirdekdeki nötron sayısı
Q	: Bozunma enerjisi
W_R	: Radyasyon ağırlık faktörü
Z	: Çekirdeğin proton sayısı
$Z(x)$: Rastlantı fonksiyonu
β	: Beta parçacığı (ışınması)
γ	: Gama ışını
λ	: Bozunma sabiti

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Radyoaktivite kararsız atom çekirdeklerinin kendiliğinden bozunmasının bir sonucu olarak ortaya çıkan veya nükleer bir reaksiyondan kaynaklanan ışınların (α , β ve γ ışınları) yayınlanmasıdır [1]. Radyoaktivite ile ilgili çalışmalar, 1896 yılında Henri Becquerel tarafından başlatılmıştır. H. Becquerel uranyum tuzlarından gözle görülmeyen ışınlar çıktığını ve bu ışınların maddeden geçerek fotoğraf filmine etki ettiğini fark etmiştir. Daha sonra devam eden çalışmalar ile doğada bu tür ışın çıkaran birçok radyoizotop keşfedilmiştir. İlk dönemlerde bu radyoaktif ışınların insanlar üzerine etkisi çok bilinmemesine rağmen, yıllar boyunca yapılan çalışmalar ve karşılaşılan durumlar ile radyasyonun insan sağlığı üzerine bir çok olumsuz etkisinin olduğu ortaya çıkmıştır. Bu sebepten günümüzde, çevresel radyoaktivitenin belirlenmesi ve insanların vücutlarına aldıkları yıllık doz miktarlarının takibi halk sağlığı açısından yaşamsal bir konu haline gelmiştir.

Günlük hayatta canlılar ve özellikle de insanlar, yaşamları boyunca sürekli olarak uzaydan gelen kozmik ışınlar ve doğada bulunan radyoaktif elementlerden kaynaklanan doğal radyasyona maruz kalırlar. Ayrıca tıbbi görüntüleme cihazları, nükleer silah denemeleri ve nükleer santrallerden kaynaklanan serpinetiler sonucunda oluşan yapay radyasyon da çeşitli yollarla vücuda alınabilir. Çevresel radyoaktivite olarak da bilinen bu doğal ve yapay radyasyon türleri iyonlaştırıcı ışınım sınıfında olup hücrelerin yapısını bozabilmektedir. Eğer canlı dokuya etkileyen zarar küçükse, sürekli bir etki kalmadan doku kendisini onarabilir [2]. Ancak uzun yıllar boyunca vücudun maruz kaldığı bu ışınım (içilen su, tüketilen gıda, temas edilen hava ve toprak, vb.) ile hücrelerin genel yapısı bozularak, çeşitli kanser türleri, üreme hücrelerinin DNA'sında hasar oluşturarak, zihinsel engelleri olan çocukların doğmasına yol açar [3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10]. Elbette çeşitli yollarla vücuda alınan ışınımın dozları arttıkça insanlar üzerindeki yukarıda bahsedilen etkilerin daha da artacağı düşünülebilir. Bu sebepten radyoaktivitenin halk sağlığı ile doğrudan ilişki içinde olmasından dolayı, canlıların yaşamlarını sürdürdüğü çevredeki doğal ve yapay radyasyonun belirlenmesi ve bölgede yaşayan insanların radyasyondan etkilenme miktarlarının hesaplanması sağlık açısından son derece önemlidir. Böylece mevcut tehlikelerden haberdar olmak ve ileride

oluşabilecek tehlikelere karşı önlem almak mümkün olabilecektir.

İnsanların vücutlarına aldıkları çevresel radyasyon dozlarını belirlemeye yönelik çalışmalar; Dünyada ICRP ve UNSCEAR, ülkemizde Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) gibi ulusal ve uluslararası kuruluşlar tarafından yapılmaktadır. Ayrıca dünyada ve ülkemizde bu konu ile ilgili olarak bilim adamları tarafından pek çok araştırma yayınlanmıştır. Dünya örnekleri olarak verilebilecek, İngiltere [11], İspanya [12, 13], İtalya [14], Fransa [15], Yunanistan [16], Mısır [17], Hindistan [18, 19, 20], Malezya [21] ve Çin'deki [22, 23], bazı çalışmalarda, toprak, su, hava ve gıdalardan alınan numuneler üzerine yapılan araştırmalar ile insanların maruz kaldığı çevresel radyoaktivite miktarları ve risk tespitleri yapılmıştır. Benzer olarak ülkemizde de, İstanbul [24], Adana [25], Trabzon [26, 27], Çanakkale [28], Manisa [29], Şanlıurfa [30], Batman [31], Rize [32], Bolu [33], Samsun [34], Tekirdağ [35], Kastamonu [36], Kocaeli [37], Eskişehir [38] ve Kırklareli [39] gibi pek çok ilde de çevresel radyoaktivite düzeyleri belirlenmiştir. Ancak literatürdeki bu çalışmalarda sadece ölçüm alınan istasyonlar için radyoaktivite değerlendirmesi yapılmış, ölçüm alınmayan ara noktalar için bir değer gösterilememiş ve bu nedenle çalışma alanının geneli hakkında bir kanıya varılamamıştır.

Çevresel radyoaktivitenin belirlenmesi çalışmalarında amaç çalışılan tüm bölge için radyolojik düzeylerin genel dağılımının gösterilmesidir [40]. Bu amaç doğrultusunda bölgenin tamamı için ölçüm alınması hem maliyetli hem de zordur. Bu sebeplerden, çalışılan tüm bölgenin radyolojik karakterizasyonunun belirlenebilmesi için, bazı modeller ve matematiksel yaklaşımlar kullanarak ölçüm yapılmayan ara bölgelerin hangi radyolojik seviyelerde olabileceğinin kestirilmesi gerekir. Ayrıca bu sonuçların bölgenin tamamını kaplayacak şekilde bir dağılım haritası üzerinde görselleştirilmesi, çevresel radyoaktivitenin belirlenmesi ve takibi için oldukça uygun bir yöntemdir. Dahası herhangi bir radyolojik acil durumda, radyonuklidlerin (radyoaktif çekirdekler) bölgedeki dağılımının en az numune ile kısa sürede belirlenmesi için de numune alınamayan bölgelerin tahmin edilmesi ve anlık olarak görüntülenmesi gerekebilir. Tüm bu açıklamalar göz önüne alındığında, hem rutin hem de acil durumlar için ölçüm alınmayan ara değerlerin matematiksel yaklaşımlar ile tahmin edilmesi, hızlı bir şekilde dağılımın belirlenmesine yardımcı olabileceği gibi maliyetin düşmesini de sağlayacaktır.

Günümüzde çevre ve yer bilimleri başta olmak üzere bir çok farklı alanda ko-

numsal dağılımın belirlenmesi için aradeğerleme (aradeğer tahmin) yöntemleri ve konumsal korelasyon teknikleri kullanılmaktadır. Maden yapılarının değerlendirilmesinde [41], rüzgarların dağılımının incelenmesi ve konumsal tahmininde [42], yer altı ve yer üstü sularının kalite parametrelerinin dağılımlarının incelenmesinde [43, 44, 45, 46], toprak yapısının araştırması ve haritalanmasında [47, 48, 49, 50], ağır metal kirliliğinin konumsal değerlendirmesinde [51, 52, 53], güneşlenme radyasyonunun incelenmesinde ve geleceğe yönelik tahmininde [54, 55, 56], meteorolojik tahmin (yağış ve sıcaklık ortalamaları) sonuçların değerlendirilmesinde [57, 58, 59, 60] ve hatta epidemik hastalık vakalarının araştırılmasında [61] aradeğerleme yöntemleri oldukça sık kullanılan yöntemlerdir. Son yıllarda doğadaki radyonuklidlerin dağılımının belirlenmesi ve radyolojik haritaların oluşturulması için aradeğer tahmin yöntemlerinden yararlanılmaya başlanmıştır [62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73].

Literatürde konumsal analiz için en çok kullanılan ara değer tahmin yöntemleri; jeostatistik analiz, yapay sinir ağları ve bulanık mantık yaklaşımlarıdır [40]. Jeostatistik analizde, klasik istatistik yöntemlerinden farklı olarak örnekler arası ilişki, örneklerin alındıkları koordinatların hesaba katılmasıyla belirlenir [74]. Bu hesaplama yönteminin, yapılan hata miktarının belirli güven düzeylerinde belirlenebilmesi gibi çok önemli avantajları bulunmaktadır [75]. Ayrıca hesaplanan ara değer tahminlerinin görselleştirilmesi ve haritalanması da bu yöntem ile oldukça kolaydır. Jeostatistik yaklaşımlarda kriging yöntemi en çok karşılaşılan yöntem olmakla birlikte aynı zamanda bilinen en iyi lineer yansız hesaplayıcı (best linear unbiased estimator, BLUE) olarak tanımlanır [76]. Kriging yöntemi klasik istatistik teoremindeki ağırlıklı ortalama yöntemine benzer bir şekilde yakındaki noktalardan daha fazla etkilenmeyi sağlayan bir ağırlık modeli kullanır. Yapay sinir ağları ve bulanık mantık yaklaşımları yapay zeka uygulamalarının alt dallarında kullanılan iki farklı yöntemdir. Yapay zekada amaç bilgisayarların ve makinelerin, öğrenme, analiz etme, yorumlama ve sonuç çıkarma gibi insani özellikleri gerçekleştirebilmesini sağlamaktır. Bilgisayarlar yüksek ve hızlı hesaplama güçlerine karşın problemi anlama ve çözüm tecrübelerini başka benzer problemlere uygulama konusunda oldukça yetersizdirler [77]. Bu yetersizliği hafifletmek için son yıllarda bir çok yöntem ve yaklaşım geliştirilmiştir. Bulanık mantık ve yapay sinir ağları yöntemleri, geliştirilen bu yöntemlerden ikisi olup literatürde en çok karşılaşılan yaklaşımlardır. Bulanık mantıkta amaç, insan zekasında olduğu gibi, tecrübeye

dayalı sözel kuralların ışığında bilinmeyen bir durum için sonucun tahmin edilmesidir. Yapay sinir ağlarında ise benzer olaylardan elde edilen sonuçlar ile ağın eğitimi sağlanır ve ardından hiç bilinmeyen bir durum için sonuç belirlenmeye çalışılır. Her iki yapay zeka uygulamasında da bilinen sonuçların yardımı ile bilinmeyen noktalar için uygun bir tahmin sonucu belirlenebilmektedir.

Bu çalışmanın amacı; jeostatistik analiz yöntemleri (Kriging teknikleri) ve yapay zeka uygulamaları (Yapay sinir ağları ve Bulanık mantık) kullanılarak, ölçüm alınan noktaların yanısıra ölçüm alınmayan ara değerlerin hesaplanması ile Artvin ilinin çevresel radyoaktivitesini belirlemek ve elde edilecek sonuçların değerlendirilmesi ile en etkili ara değer hesabı yöntemini bulmaktır. Bunun yanısıra çevresel radyoaktivitenin Kriging teknikleri, Yapay sinir ağları ve Bulanık mantık yöntemleri kullanılarak elde edilen aradeğer hesaplamaları ile Artvin ilinin genel radyolojik haritalarını oluşturmaktır. Artvin İlinin radyolojik dağılımının belirlenmesinde toprak için ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , ^{137}Cs , su için toplam- α , toplam- β ve hava için dış γ doz oranı haritalarının oluşturulması amaçlanmaktadır. Bu tez çalışması farklı aradeğer tahmin yöntemlerinin radyolojik ölçümler üzerine uygulanması, kendi içlerinde en iyi yöntemin ortaya çıkarılması için karşılaştırılması ve bu aradeğer hesaplama yöntemlerinden elde edilen sonuçlar ile Artvin ilinin sadece ölçüm alınan noktaları değil genel radyolojik karakterizasyonunun belirlenmesi açısından ilk çalışma özelliğindedir.

1.2. Radyoaktivite

Hidrojen atomu hariç doğadaki tüm atomlar çekirdeklerinde nötron ve protonlara sahiptirler. Küçük çekirdekli atomlarda bu parçacıkların sayısı birbirine eşitken çekirdek kararlı durumda olur. Ancak atom numarasının büyümesi ile bu oran bozulur ve kararsız çekirdekler oluşur. En ağır kararlı çekirdek $^{209}_{83}Bi$ atomudur. Bu atomdan daha ağır çekirdekler sahip oldukları fazla enerjiden dolayı kararsız durumdadırlar. Böyle kararsız atomlar, radyoaktif çekirdekler (radyonüklid) olarak adlandırılırlar ve fazla enerjilerinden radyasyon (radyoaktif ışınlar) yayınlamaya ve kararlı duruma geçmeye çalışırlar. Bu olaya radyoaktivite veya radyoaktif bozunma denir [78]. Radyoaktivite, kontrol edilemeyen, yavaşlatılamayan veya durdurulamayan bir olaydır. Zayıflayan bir tempo ile kendiliğinden tükeninceye kadar devam eder [79]. Radyoaktivite olayı doğal ve yapay olarak iki farklı şekilde meydana gelebilir.

1.2.1. Yapay Radyoaktivite

İki çekirdek birbirlerine yaklaştığında yeni bir çekirdek oluşmasıyla sonuçlanan bir nükleer reaksiyon (çekirdek tepkimesi) gerçekleşebilir [2]. Bu nükleer reaksiyon ile hızla gelen bir parçacık (α -parçacıkları, protonlar, nötronlar, döteronlar, trityum vb) hedef çekirdeğe çarparak, atom ve kütle numarası, başlangıçtaki toplam atom ve toplam kütle numarasına eşit olan, yeni radyoaktif bir çekirdek (yapay radyonüklid) oluştururlar. Bu yeni yapay çekirdeğin uyarılmış durumda olmasından dolayı, uyarılma enerjisine bağlı olarak bir veya daha fazla radyoaktif bozunma oluşabilir. Yapay radyonüklidler tarafından oluşturulan bu olaya yapay radyoaktivite denir [2]. Başlıca yapay radyoaktivite kaynakları, tıbbi, zirai ve endüstriyel amaçla kullanılan X -ışınları ve yapay radyoaktif maddeler, nükleer bomba deneyimleri sonucu meydana gelen nükleer serpinçler, çok az da olsa nükleer güç üretiminden salınan radyoaktif maddeler ile bazı tüketici ürünlerinde kullanılan radyoaktif maddeler olarak sıralanabilir [79].

Gelişen teknoloji ile birlikte pek çok alanda insanların ihtiyaçlarına en uygun, en kapsamlı, en hızlı ve en az maliyetli cevaplar sunmak için, barışçıl amaçlarla radyoaktivitenin kullanımı, günümüzde en sık karşılaşılan yöntemlerdendir. Bu sebepten doğada mevcut olmayan bazı radyasyon kaynaklarının oluşturulması ve çeşitli alanlarda kullanılması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Elbette yapay radyasyon kaynakları da tıpkı doğal radyasyon kaynakları gibi belli miktarlarda radyasyon dozuna maruz kalınmasına neden olurlar [78]. Ancak bu doz miktarı, talebe bağlı olarak artsa da, doğal kaynaklardan alınan doza göre çok daha düşüktür [79]. Günümüzde çeşitli amaçlarda kullanılmak üzere yapay olarak üretilen 1300 den fazla radyonüklid bulunmaktadır [1]. Bunlardan bazıları Tablo 1.1’de gösterilmiştir.

Tablo 1.1. Bazı yapay radyonüklidler ve kullanım alanları [78]. [$U(n, f)$ Uranyum fisyon ürünlerini temsil etmektedir.]

Radyonüklid	Yarılanma Ömrü	Üretim Metodu	Kullanım Alanı
^{15}O	2.05 dakika	$^{14}_7N + {}^2_1H \rightarrow {}^1_0n + {}^{15}_8O$	Psikolojik testler
^{81}Rb	4.5 saat	$^{79}_{35}Br + {}^4_2\alpha \rightarrow {}^{21}_0n + {}^{81}_{37}Rb$	Kanser tedavisi
^{113}Sn	118 gün	$^{112}_{50}Sn + {}^1_0n \rightarrow \gamma + {}^{113}_{50}Sn$	Kalp debisi ölçümü
^{123}I	13.3 dakika	$^{121}_{51}Sb + {}^2_1p \rightarrow {}^{123}_{53}I$	Böbrek çalışmaları
^{131}I	8.1 dakika	$U(n, f) {}^{131}_{52}Te \rightarrow {}^0_{-1}\beta + {}^{131}_{53}I$	Kanser tedavisi
^{137}Cs	30 yıl	$U(n, f) {}^{137}_{54}Xe \rightarrow {}^0_{-1}\beta + {}^{137}_{55}Cs$	Kalibrasyon
^{201}Tl	74 saat	$^{203}_{81}Tl + {}^1_1p \rightarrow 3 {}^1_0n + {}^{201}_{82}Pb$	Tıbbi görüntüleme

1.2.2. Doğal Radyoaktivite

Doğal radyoaktivite kararsız çekirdeklerin kararlı hale geçmek için dışarıdan herhangi bir enerjiye ihtiyaç duymaksızın kendiliğinden ışınım yapması olayıdır. Doğal radyoaktif elementler genelde uzun ömürlü olup, evrenin yaratıldığı zamanlardan kalmışlardır [80]. Bu radyonüklidler doğada tek başlarına bulunabilecekleri gibi (^{40}K , ^{87}Rb , vb), bozunma serileri altında da toplanabilirler (^{238}U , ^{232}Th , vb). Uzun ömürlü radyonüklidler olarak tanımlanan bu doğal radyoaktif elementlerden bazıları Tablo 1.2’de verilmiştir. Ayrıca kozmik ışın etkileşimleri sonucunda oluşan radyoaktif maddeler de doğada mevcuttur [1]. Tablo 1.3’te bu tür kozmojenik radyonüklidlerden bazıları verilmiştir.

Tablo 1.2. Uzun ömürlü bazı radyoaktif çekirdekler [1].

Radyonüklid	Yarılanma Ömrü (Yıl)	Temel ışınım	Bozunma Ürünü
^{40}K	1.26×10^9	β^- , γ	$^{40}_{20}Ca$, $^{40}_{18}Ar$
^{50}V	1.4×10^{17}	β^- , γ	$^{50}_{24}Cr$, $^{50}_{22}Ti$
^{87}Rb	4.88×10^{10}	β^-	$^{87}_{38}Sr$
^{138}La	1.06×10^{11}	β^- , γ	$^{138}_{58}Ce$, $^{138}_{56}Ba$
^{142}Ce	5.0×10^{16}	α	$^{138}_{56}Ba$
^{144}Nd	2.1×10^{15}	α	$^{140}_{58}Ce$
^{232}Th	1.4×10^{10}	α	$^{228}_{88}Ra$
^{235}U	7.04×10^8	α	$^{231}_{90}Th$
^{238}U	4.46×10^9	α	$^{234}_{90}Th$

Tablo 1.3. Kozmojenik kaynaklı bazı radyoaktif çekirdekler [82].

Radyonüklid	Yarılanma Ömrü	Temel ışınım türü	Hedef Çekirdekler
^{10}Be	1.5×10^6 Yıl	β^-	N , O
^{26}Al	7.1×10^5 Yıl	β^+	Ar
^{36}Cl	3.0×10^5 Yıl	β^-	Ar
^{80}Kr	2.1×10^5 Yıl	$K x - ray$	Kr
^{35}S	87.4 Gün	β^-	Ar
^{33}P	25.3 Gün	β^-	Ar
^{38}Mg	21.0 Saat	β^-	Ar
^{31}Si	2.62 Saat	β^-	Ar
^{38}Cl	37.29 Dakika	β^-	Ar

1.2.3. Radyoaktif Bozunum Kanunu

Radyoaktif çekirdeğin bozunması istatistiksel bir süreçtir ve bir çekirdeğin tam olarak ne zaman bozunacağı belirlenmesi mümkün değildir [78]. Ancak bununla beraber birim süre başına bozunma olasılığı ve buna bağlı olarak başlangıçtaki bozunmamış radyoaktif çekirdeklerin sayısı belirlenebilir [2]. Buradaki bozunma olasılığı radyoaktif bozunma sabiti, λ olarak tanımlanmaktadır. Eğer bir t anında N radyoaktif çekirdek varsa ve numuneye yeni çekirdekler ilave edilmiyorsa dt süresi içinde bozunan dN çekirdek sayısı, N ile orantılıdır ve bu orantı katsayısı bozunma sabiti (λ) olarak tanımlanır [80]. Bozunma sabiti denklem 1.1’de gösterilmiştir.

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

Burada (dN/dt) radyoaktif madde içindeki atomların bozunma hızı olup maddenin aktifliği olarak tanımlanır. Denklem 1.1’den *Aktiflik* = λN olarak gösterilebilir ve aşağıdaki düzenlemeler yapılabilir.

$$\frac{dN}{N} = -\lambda dt \implies \int_{N_0}^N \frac{dN}{N} = -\lambda \int_0^t dt \quad (1.2)$$

$$\implies \ln N - \ln N_0 = -\lambda t \quad (1.3)$$

$$\implies N = N_0 e^{-\lambda t} \quad (1.4)$$

Burada N_0 ve N ifadeleri, sırasıyla başlangıç anında ($t = 0$) bozunmamış radyonüklidlerin sayısını ve herhangi bir t zamanındaki radyoaktif çekirdeklerin sayısını göstermektedir. Eşitlik 1.4’ te $N = N_0/2$ yazılırsa radyoaktif maddenin yarısının ne kadar süre içinde bozunacağı belirlenebilir. $T_{1/2}$ ile gösterilen bu değer radyonüklidin yarıömrü ya da yarılanma ömrü olarak tanımlanır (denklem 1.7).

$$\frac{1}{2}N_0 = N_0 e^{-\lambda T_{1/2}} \implies e^{-\lambda T_{1/2}} = \frac{1}{2} \quad (1.5)$$

$$\implies \lambda T_{1/2} = \ln 2 \quad (1.6)$$

$$\implies T_{1/2} = \frac{0.693}{\lambda} \quad (1.7)$$

Bir radyoaktif maddedeki her bir atomun ortalama ömrü bir çekirdeğin bozununcaya kadar geçirdiği ortalama süre olarak tanımlanır [80]. Buna göre bir radyonüklidin ne zaman bozunacağını belirlemek mümkün olmadığı halde \bar{T} (ortalama ömür) zamanı içinde bozunacağını belirlebilir [83]. Ortalama ömür (\bar{T}) denklem 1.8'de gösterildiği gibi tanımlanmaktadır [2].

$$\bar{T} = \frac{1}{\lambda} \implies \bar{T} = \frac{T_{1/2}}{0.693} \quad (1.8)$$

$$\implies \bar{T} = 1.44 T_{1/2} \quad (1.9)$$

Bir radyonüklidin yarıömrü ile ortalama ömrü, farklı kavramlardır. Eşitlik 1.9'dan radyoaktif çekirdeğin ortalama ömrünün, yarıömründen yaklaşık %44 daha uzun olduğu görülmektedir.

Denklem 1.4'ün her iki tarafı λ ile çarpılıp, denklem 1.1'deki; $aktiflik = \lambda N$ ifadesi burada göz önüne alınırsa,

$$\lambda N = \lambda N_0 e^{-\lambda t} \implies A = A_0 e^{-\lambda t} \quad (1.10)$$

Burada, A_0 ve A sırasıyla, radyonüklidin başlangıçtaki ve herhangi bir t anındaki aktivitesini göstermektedir. Denklem 1.10 aktifliğin zamanla üstel olarak azaldığını göstermektedir. Bu üstel eğri ile aktiflik zamanın fonksiyonu olarak ölçülebilir. Ancak bu ölçme yöntemi, çok kısa ve çok uzun yarı-ömürlü radyonüklidler için kullanışlı bir yöntem değildir. Bunlara ek olarak insan ömründen büyük yarı-ömürlü radyonüklidlerin aktifliğinde kayda değer bir azalmada gözlenemeyecektir.

1.2.4. Radyoaktif Bozunum Serileri

Bozunum serisi radyonüklidlerin kararlı elementlere dönüşümünde, peşpeşe bozunması ve her bir bozunma sonunda yeni bir radyoizotopa dönüşmesi sürecidir. Doğada uzun ömürlü üç radyonüklid kaynaklı bozunma zinciri vardır. Bunlar ^{232}Th kaynaklı, toryum bozunma zinciri ($4n$), ^{238}U kaynaklı, uranyum bozunma zinciri ($4n+2$) ve ^{235}U kaynaklı, aktinyum bozunma zinciri ($4n+3$) olarak tanımlanırlar. Burada n , 50 ve 60 arasında bir tam sayı olmak üzere $4n$, $4n + 2$ ve $4n + 3$ ifadeleri bozunma zincirlerindeki tüm radyonüklidler için

kütle numarasını temsil etmektedir [1]. Ayrıca dünyada olmasa da (bu serideki izotopların kısa yarı ömürlerinden dolayı) Neptünyum ($4n+1$) serisinin mevcut olduğu düşünülmektedir. Şekil 1.1a'da gösterilen toryum serisinde, ${}^{232}_{90}Th$ radyoizotopu ile başlayan bozunma, kararlı ${}^{208}_{82}Pb$ atomuna kadar 10 adımda gerçekleşir. Şekil 1.1b'de Uranyum serisi görülmektedir. Bu seri ${}^{238}_{92}U$ radyonüklidi ile başlar ve 14 adımda kararlı ${}^{206}_{82}Pb$ atomu ile sonlanır. Şekil 1.1c de ise ${}^{235}_{92}U$ çekirdeğinin 11 ara bozunum ile kararlı ${}^{207}_{82}Pb$ atomuna dönüşümünü gösteren aktinyum serisi gösterilmektedir.

1.2.5. Radyoaktif Bozunum Türleri

Kararsız radyoizotoplar beş türde bozunma gerçekleştirirler. Bunlar alfa (α) bozunumu, beta (β^-) bozunumu, pozitron (β^+) yayımlama, elektron yakalama ve gama bozunumudur. Gama ışınması hariç bu bozunmaların hepsinde bozunma sonucu yeni bir çekirdek oluşur. Bu oluşum esnasında dışarıya bozunma türüne bağlı olarak çeşitli ışınlar yayımlanır. Bunlar 4_2He çekirdekleri, elektronlar ve yüksek enerjili fotonlar olarak, sırasıyla alfa, beta ve gama ışınları olarak adlandırılırlar. Şekil 1.2'de bozunma türleri gösterilmiş ve her bir bozunma sonucu açığa çıkan ışınım türleri sınıflandırılmıştır. Burada gama ışınının madde içine giriciliği en fazla olan ışınım türü olduğu dikkati çekmektedir.

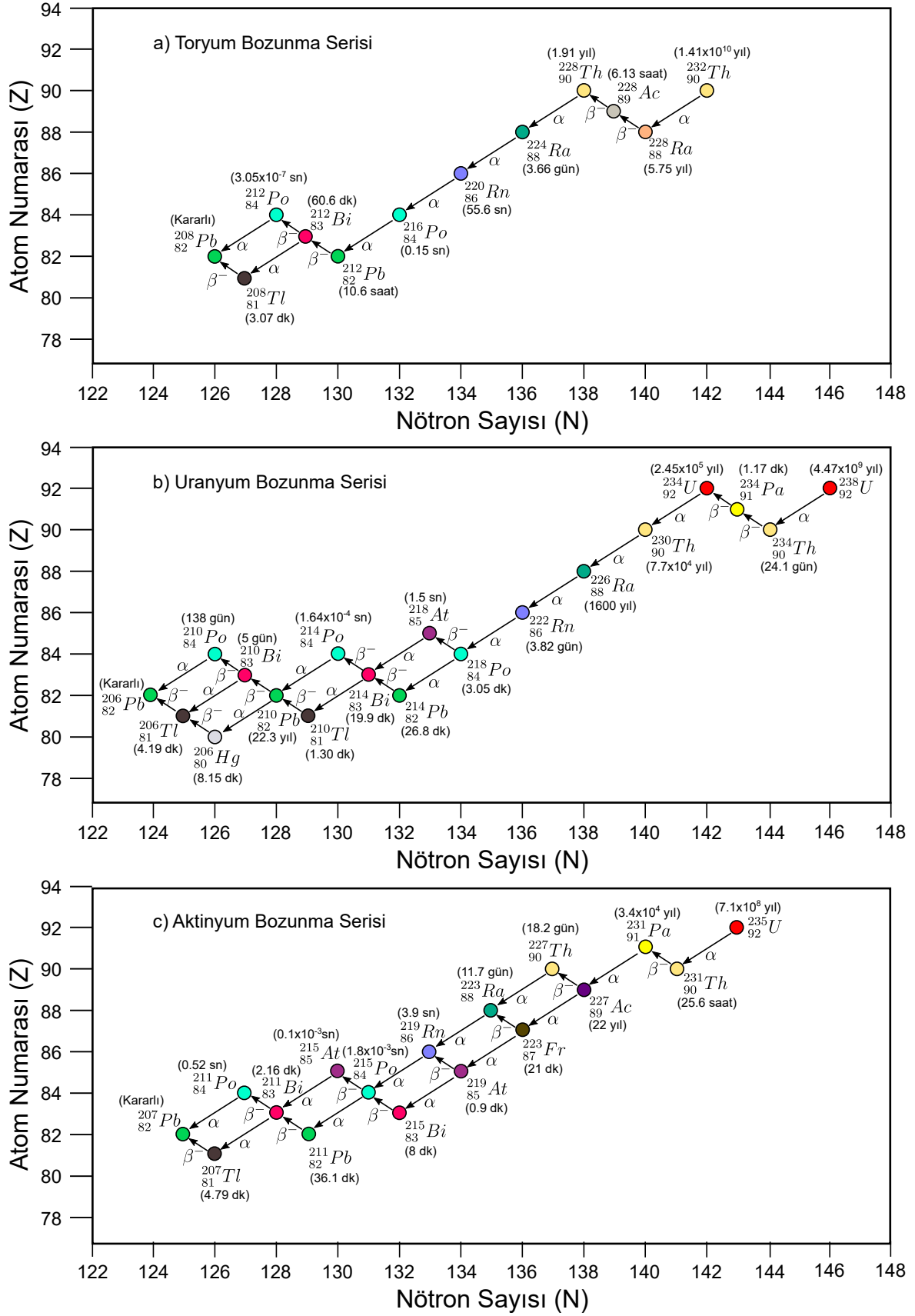
1.2.5.1. Alfa Bozunumu

Kütle numarası 210 ve daha fazla olan çekirdekler oldukça kararsız yapıdadır ve alfa bozunumu yaparak kararlı duruma gelmeye çalışırlar. Alfa bozunumunda radyonüklidin kütle numarası 4 birim azalırken atom numarası 2 birim azalır. Bozunma sonucunda 2 proton ve 2 nötrondan oluşan $4 - 9 MeV$ enerjili alfa parçacığı (4_2He) salınımı olur. Alfa bozunumunda gerçekleşen dönüşüm denklem 1.11'de gösterilmiştir.

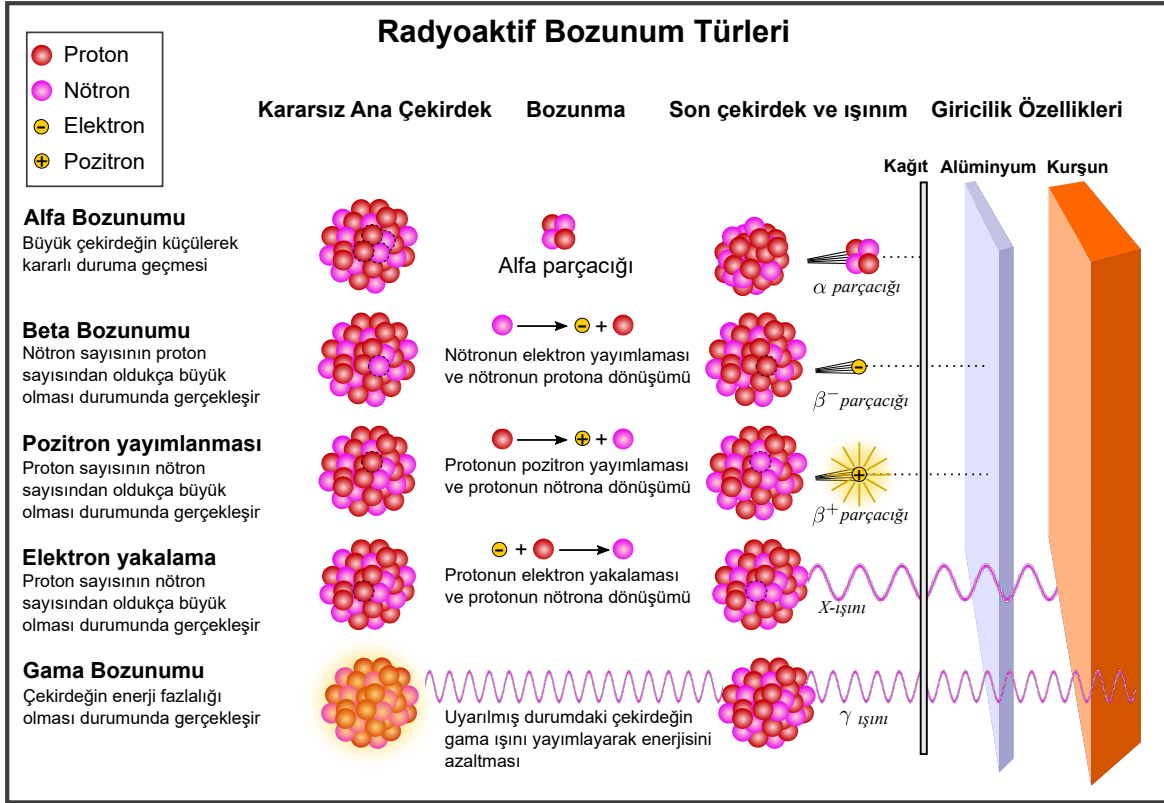


Burada, X ; ana radyoizotopu, Y ; ürün çekirdeğini, A ; çekirdeğin kütle numarasını, Z ; atom numarasını (proton sayısını) göstermektedir. Enerji korunumu ilkesinden sistemin bozunma enerjisini (Q) denklem 1.12'de olduğu gibi gösterebiliriz[2].

$$Q = (m_i - m_s - m_\alpha)c^2 \quad (1.12)$$



Şekil 1.1. Radyoaktif bozunum serileri. a) ^{232}Th kaynaklı toryum bozunma zinciri, b) ^{238}U kaynaklı, uranyum bozunma zinciri, c) ^{235}U kaynaklı, aktinyum bozunma zinciri



Şekil 1.2. Radyoaktif bozunum türleri

Burada, m_i ilk çekirdeğin kütlesi, m_s ürün çekirdeğinin kütlesi ve m_α alfa parçacığının kütlesidir. Ayrıca enerji korunum yasası dikkate alındığında, E_s ve E_α sırasıyla, son çekirdeğin ve alfa parçacığının kinetik enerjisi olmak üzere, bozunma enerjisinin kinetik enerjideki artışa da eşit olduğu gösterilebilir (Denklem 1.13).

$$Q = E_s + E_\alpha \quad (1.13)$$

Momentum korunumu gereği alfa parçacığı çekirdekten fırlatıldığında çekirdek küçük bir kinetik enerjiyle geri teptiğinden yayımlanan alfa parçacığının kinetik enerjisi (E_α) bozunma enerjisine eşit olamaz. Alfa parçacığının kinetik enerjisi ana çekirdek kütlesi K ve bozunma enerjisi Q olmak üzere denklem 1.14'de gösterildiği gibidir.

$$E_\alpha = \frac{K - 4}{K} Q \quad (1.14)$$

Alfa ışıması gerçekleştiren tüm radyonüklidlerin kütle numaraları çok büyük olduğundan $(K - 4)/K$ ifadesi 1'e yakın olacaktır. Bu durumda Q bozunma enerjisinin

büyük bir kısmı alfa parçacığının kinetik enerjisi olarak ortaya çıkar.

1.2.5.2. Beta Bozunumu

Çekirdeğin kararlı duruma geçmek için gerçekleştirdiği bir diğer bozunum türü beta bozunumudur. Bu bozunum türünde çekirdeğin kütle numarası değişmezken proton ve nötron sayıları değişir. Beta bozunumunun β^- (beta) bozunumu, β^+ (pozitron) bozunumu ve elektron yakalama olayları olarak 3 temel türü mevcuttur.

β^- Bozunumu: Bu bozunum türünde çekirdeğin içindeki bir nötronun bir elektron yayımlaması, bu nötronun protona dönüşmesine sebep olur. Bu bozunma sonucunda atom numarası 1 birim artarken kütle numarası değişmez. β^- bozunumunda gerçekleşen dönüşüm, denklem 1.15'de gösterilmiştir.



Burada bozunma enerjisi (Q_{β^-}) ve kinetik enerjideki net artış (K_{Δ}) sırasıyla denklem 1.16 ve 1.17'de gösterilmiştir.

$$Q_{\beta^-} = (m_i - m_s)c^2 \quad (1.16)$$

$$K_{\Delta} = (K_{\beta^-})_{maks} + K_{\gamma} \quad (1.17)$$

Burada, $(K_{\beta^-})_{maks}$; bozunumdan çıkan elektronun taşıdığı maksimum enerji miktarı, K_{γ} ; gama enerjisi, m_i ; ana çekirdeğin kütlesi ve m_s ; ürün çekirdeğinin kütlesini göstermektedir. Ayrıca bu bozunmada kinetik enerjideki net artış bozunma enerjisine eşittir.

β^+ Bozunumu: Bu bozunum türünde çekirdeğin içindeki bir protonun pozitron β^+ yayımlaması bir protonun nötrona dönüşmesine sebep olur. Bu bozunum sonucunda atom numarası 1 birim azalırken kütle numarası değişmez. β^+ bozunumunda gerçekleşen dönüşüm, denklem 1.18'de gösterilmiştir.



Burada bozunma enerjisi (Q_{β^+}) 1.19'da gösterilmiştir.

$$Q_{\beta^-} = (m_i - m_s)c^2 = 2m_e + K_{\Delta} \quad (1.19)$$

Burada, m_i ; ana çekirdeğin kütlesi, m_s ; ürün çekirdeğinin kütlesi, m_e ; pozitronun durgun kütlesi ve K_{Δ} ; kinetik enerjideki net artışı göstermekte olup denklem 1.20'de gösterilmiştir.

$$K_{\Delta} = (K_{\beta^+})_{maks} + K_{\gamma} \quad (1.20)$$

Radyoaktif bir bozunumun kendiliğinden gerçekleşebilmesi için Q değerinin pozitif olması gerekmektedir [83]. Bu durum denklem 1.19'da dikkate alındığında $m_i - m_s > 2m_e$ şartının sağlanması gerektiği ortaya çıkmaktadır.

Elektron yakalama: Çekirdeğin içindeki bir protonun çekirdeğe yakın elektronlarından birisini yakalaması, protonu nötrona dönüştürecektir. Bu durumda β^- bozunumuna benzer olarak çekirdeğin atom numarası 1 birim azalırken kütle numarası değişmez. Elektron yakalama olayında gerçekleşen dönüşüm, denklem 1.21'de gösterilmiştir.



Burada, ν ve γ sırasıyla saçılan nötrino ve oluşan gama ışınlarıdır. Elektron yakalamanın bozunma enerjisi (Q_{EC}) denklem 1.22'de gösterilmektedir.

$$Q_{EC} = (m_i - m_s)c^2 = K_{\Delta} \quad (1.22)$$

olur. K_{Δ} toplam kinetik enerji miktarı olmak üzere, saçılan nötrinonun kinetik enerjisi (K_{ν}) ve gama ışınlarının kinetik enerjisi (K_{γ}) türünden denklem 1.23'de gösterilmektedir.

$$K_{\Delta} = K_{\nu} + K_{\gamma} \quad (1.23)$$

1.2.5.3. Gama Bozunumu

Radyoizotoplar karalı hale geçebilmek için alfa ve beta bozunması yaparlar. Ancak bazı durumlarda bozunum gerçekleşmesine karşın çekirdek kararsız yapısını sürdürmeye

devam edebilir. Bunun sebebi çekirdeğin içindeki enerji fazlalığıdır. Bu fazla enerji ile çekirdek tıpkı atomlar gibi uyarılmış konumda bulunur. Uyarılmış çekirdek belirli bir zaman aralığında bir veya birkaç gama ışını yayınlarken üzerindeki fazla enerjiyi atar ve kararlı hale gelir. Ortaya çıkan gama ışınlarının enerji miktarı çekirdeğin uyarılma miktarı ile orantılıdır. E_i ve E_s sırasıyla ilk ve son durum enerji seviyelerini göstermek üzere, çekirdeğin yayımladığı gama ışını enerjisi denklem 1.24 gösterildiği gibidir.

$$E_\gamma = h\nu = E_i - E_s \quad (1.24)$$

Gama bozunumu yapmış bir çekirdeğin hem atom numarası hemde kütle numarasında bir değişiklik olmaz. Çekirdek sadece içerisindeki fazla enerjiden yüksek enerjili fotonlar (gama ışınları) yayınlarken kurtulur. Gama bozunumunun genel gösterimi denklem 1.25'de gösterilmektedir.

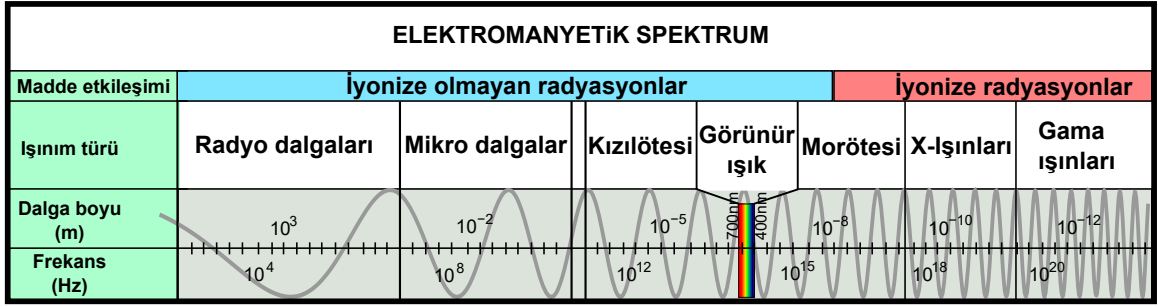


Uyarılmış çekirdeklerin gama bozunumu yarı ömürleri çok kısadır [2]. Ancak bir kaç saate kadar kalabilen bazı çekirdekler de mevcuttur. Bu kısmen uzun ömürlü uyarılmış çekirdeklere izomerik (yarı kararlı) çekirdek adı verilir [83].

1.2.6. Radyasyon

Radyasyon; enerjinin elektromagnetik dalgalar veya parçacıklar yoluyla bir madde-den başka bir maddeye aktarılması ve yayılması olayıdır. [1]. Genel anlamıyla ışınım olarak tanımlanan radyasyon, sahip olduğu enerji (frekans) değerine göre farklı temel gruplar ile ifade edilir. Bu gruplar Şekil 1.3 deki elektromanyetik spektrumda gösterilmiştir.

Bazı radyasyon türleri yüksek enerjilerinden dolayı atomları uyararak iyonize edebilirler. Bu tür ışınımlara iyonize radyasyon adı verilir. α parçacıkları, β parçacıkları, γ ışınları, x -ışınları, ve yüksek enerjili mor ötesi ışınlar iyonize radyasyon örnekleridir. Bu sınıftaki ışınım türleri canlı doku için çok zararlı olup belirli bir süre maruz kalınması halinde ciddi sağlık sorunlarına yol açabilirler. İyonize olmayan radyasyonların enerjileri ise atomları uyarabilecek kadar büyük değildir. Bu sebepten canlı doku üzerinde hasara yol açamazlar. Radyo dalgaları, mikro dalgalar, kızıl ötesi ışık ve görünür ışık iyonize olmayan radyasyonlardır.



Şekil 1.3. Elektromanyetik ışınım spektrumu

1.2.6.1. Radyasyon Dozu ve Ölçüm Birimleri

Hedef kütle veya dokular tarafından belirli bir sürede soğurulan toplam ışınım miktarı radyasyon dozu olarak tanımlanır. Radyasyon dozunun madde içinde oluşturduğu etki, radyasyonun maruz kalma süresi, radyasyonun enerjisi ve birim sürede alınan doz miktarı gibi parametrelere bağlıdır. Yani farklı radyasyon kaynakları ile soğurulan enerjiler eşit olsa bile biyolojik etkileri farklı olabilmektedir [79].

Işınlanma dozu normal hava şartlarında havanın 1 kg 'ında $2.58 \times 10^{-4}\text{ C}$ ' luk elektrik yükü değerinde pozitif ve negatif iyonlar oluşturan x ve γ ışını miktarıdır ve C/kg biriminde ölçülür [79].

Radyasyon doz eşdeğeri sievert (Sv) biriminde ölçülür. 1 Sv , 1 kg 'lık vücut dokusunun 1 joule 'luk x -ışını veya γ ışını ile aynı biyolojik etkiyi meydana getiren radyasyon miktarıdır [2]. Bir bireyin bir yıldaki ışınım dozu ($Sv/Yıl$) yıllık eşdeğer doz miktarı olarak belirlenebilir.

Soğurulan doz miktarı gray (Gy) biriminde ölçülür. 1 Gy , 1 kg 'lık vücut dokusunun 1 joule 'lik enerji soğurmasına neden olan herhangi bir radyasyon miktarıdır. Bir bireyin bir saatte vücuduna aldığı doz miktarı ($Gy/saat$) soğurulan doz oranı (doz hızı) olarak belirlenebilir.

Uluslararası Birimler Sistemi (SI) ile birimlendirilen radyasyon kavramları daha önceden Uluslararası Radyasyon Birimleri Komitesi (ICRU) tarafından tanımlanmış olan bazı özel birimler ile temsil edilmiştir. Günümüzde pek kullanılmayan bu eski birimler Aktivite için Curie (Ci), Işınlanma dozu için Röntgen (R), Soğrulma dozu için rad ve doz eşdeğeri için rem 'dir. Tablo 1.4'de radyasyon çalışmalarında kullanılan eski ve yeni birimler karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.

Tablo 1.4. Radyasyon terimleri, eski ve yeni birimlerin karşılaştırmalı gösterimi

Terim	Eski birim sistemi	Yeni birim sistemi	Dönüşüm
Aktivite	Curie (Ci):	Becquerel (Bq)	$1Ci=37GBq$
Işınlanma dozu	Röntgen (R)	Coulomb/kg ($\frac{C}{kg}$)	$1C/kg=3876R$
Soğurulmuş doz	rad	Gray (Gy)	$1Gy=100rad$
Doz eşdeğeri	rem	Sievert (Sv)	$1Sv=100rem$

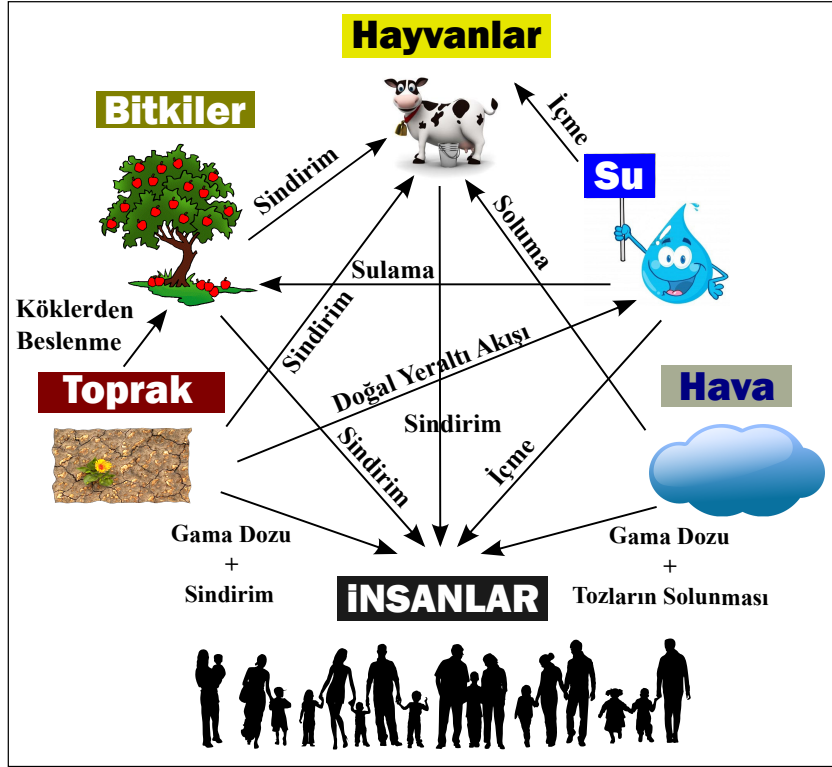
1.2.6.2. Çevresel Radyasyon ve Kaynakları

İnsanlar dünyanın ilk zamanlarından beri sürekli olarak radyasyonla iç içe yaşamak zorunda kalmıştır. Tüm yaşamları boyunca canlıların doğada maruz kaldığı ve çeşitli yollarla vücuduna aldığı bu radyasyon çevresel radyasyon olarak isimlendirilir. Yıllar boyunca doğadan alınan çevresel radyasyon, bir süre sonra vücutta belirli tahribatlara yol açabilmekte, hatta bu tahribatlar ölümle sonuçlanabilmektedir. Bu sebeple insanların yaşadığı ortamdaki radyoaktivite seviyelerinin belirlenmesi ve maruz kaldıkları radyasyon dozlarının bulunması amacıyla deneysel ve teorik olarak bir çok çalışma yapılmaktadır. Çevresel radyasyon ölçümlerindeki temel amaç, insanların çevresel kaynaklardan aldıkları radyasyon türü ile dozunun belirlenmesi ve oluşturacağı riskin değerlendirilmesidir.

Çevresel radyasyon kaynaklarını yapay ve doğal radyasyon kaynakları olarak gruplamak mümkündür. Dünyada bir insan yıllık olarak, radyasyon dozunun yaklaşık %85'ini doğal radyasyon kaynaklardan, geri kalan %15 ise yapay radyasyon kaynaklarından almaktadır [84]. Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu (IAEA) [85] tarafından, doğal radyasyon kaynaklarından gelen radyasyon dozunun kişi başına yaklaşık $2.4 mSv$ 'lik doza eşdeğer olduğu rapor edilmiştir. Ayrıca doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan toplam radyasyon dozunun dünya ortalamasının $2.7 mSv/yıl$ olduğu belirlenmiştir. [85].

Yapay radyasyonun başlıca kaynakları, zirai, endüstriyel ve tedavi amaçlı amaçlı kullanılan yapay radyoaktif maddeler, tıbbi görüntüleme kullanılan x -ışınları, nükleer bomba denemeleri sonucu meydana gelen nükleer serpintiler, çok az da olsa nükleer güç üretiminden salınan radyoaktif maddelerdir [79].

Doğal radyasyon kaynakları ise kozmik (uzaysal) ve karasal kaynaklı olmak üzere iki ana gruba ayrılır. Kozmik radyasyonun, yıldızlarda meydana gelen füzyon olayı sonucunda, uzaya yüksek miktarlarda iyonlaştırıcı radyasyon salınmasından kaynaklandığı düşünülmektedir [78]. Dünyaya ulaşan kozmik ışın miktarı genelde sabit olmasına karşın güneşteki pat-



Şekil 1.4. Radyasyonun insanlara geçiş yolları [81]

lamaların olduğu günlerde kozmik radyasyonların belirli bir miktar arttığı gözlemlenmiştir [86]. Uzaydan dünyamıza ulaşan kozmik ışınların büyük bir kısmı dünyanın atmosferi ve manyetik alanı tarafından yeryüzüne ulaşması engellenir ancak yine de bu ışınların küçük bir miktarı dünya yüzeyine ulaşmayı başarabilir [82].

Karasal kaynaklı radyasyonun insanlara ulaşma yolları hem doğrudan hemde dolaylı şekillerde gerçekleşebilir. Şekil 1.4' de radyasyonun insanlara ulaşma yolları gösterilmiştir. Karasal kaynaklı radyasyonu 5 grup altında toplamak mümkündür. Bunlar; toprak, su, hava, gıdalar ve insan vücudundaki doğal radyoaktivite kaynaklı radyasyonlardır.

Topraktaki doğal radyoaktivite: Karasal radyasyonun büyük bir kısmı, toprak tabakanın hemen altında yer alan, çeşitli yapılardan oluşmuş kaya tabaka tarafından oluşturulduğu düşünülmektedir. Kayaçların yapısına bağlı olarak radyonüklidlerin toprakta bulunma miktarları (radyasyon seviyeleri) değişkenlik gösterir. Yüksek Sıcaklık ve basınç altında kristalleşmiş yapılarda bulunan kayaçlarda (granit, siyanit, gabro ve pirit gibi volkanik kökenli kayalar) önemli miktarlarda ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K kaynaklarıdır [87]. Yapılan radyometrik çalışmalar sonucunda bu tip kayaların bulunduğu alanlarda özellikle volkanik aktivitelerin yoğun olarak gözlemlendiği fay hattı bölgelerinde ölçülen gama radyasyonu

oldukça yüksek belirlenmiştir [88]. Kayaç yapılarına ek olarak toprağın radyasyon seviyesini değiştiren bir diğer etmen ise topraktaki verimi artırmak için kullanılan suni gübreler ve tarımsal çalışmalardır [89].

Sulardaki doğal radyoaktivite: Su yatakları her zaman toprak ve kayalar ile ilişki içindedir. Bu sebeple toprak ve kayaların içerisindeki element, mineraller ve radyonüklidler suya çok kolay bir şekilde karışabilir. Temas ettikleri radyoaktif kayaçların yeraltı sularında fazla miktarda olması onları yüzey sularına göre radyasyon seviyesinin biraz daha fazla olmasına sebep olur. Ayrıca yer yüzü sularına ek olarak meteorolojik sular olarak adlandırılan yağmur ve kar suları da, havada asılı bulunan pek çok radyonüklidi ve kozmik ışınlardan etkilenen atomları içeriğinde bulundurabilir. Hem karasal (toprak ve kayalar) hem de atmosferik olarak radyasyondan etkilenen sular yeraltı rezervuarlarında ve barajlarda toplanarak insanlara ulaşır [80].

Havadaki doğal radyoaktivite: Yüzeğe yakın atmosferdeki radyasyon kaynakları, hem yapay radyoaktivite kaynaklı (nükleer kazalar, nükleer denemeler vb), hem de doğal radyoaktivite kaynaklı (kozmetik etkileşimler, volkanik patlamalar vb) olabilmektedir. Özellikle termik santrallerden havaya salınan toz ve partiküller, volkanik patlamalar sonucu atmosfere bırakılan küller ve şiddetli rüzgarlar ile havada asılı kalan karasal kaynaklı radyonüklidler havadaki doğal radyoaktivitenin kaynağını oluşturmaktadır [64, 90]. Atmosferdeki radyoaktif partiküller hava akımlarının etkisi ile bölgesel olarak yayılır, yağış olarak bir serpinti oluşturabilirler. Bunlara ek olarak radyoaktif olarak kirlenmiş hava, soğuyarak yüzeğe yaklaşabilir ve insanlar tarafından solunarak vücuda alınabilir.

Gıdalardaki doğal radyoaktivite: Bitkisel ve hayvansal gıdalar dolaylı olarak radyasyon kaynağıdır. Bitkiler kökleri vasıtasıyla su ve topraktan besleyici öğeler ile birlikte radyonüklidleri de yapılarına katabilirler. Elbette burada toprak ve jeolojik kayaç yapısının yanında suni gübrelerin kullanımı da bitkilerdeki radyasyon seviyesini etkileyen faktörlerdendir [91]. Gıda kaynağı olarak bitkileri kullanan hayvanlar hem bitkilerden hem de tıpkı insanlar gibi doğal ve yapay diğer radyasyon kaynaklarından doğrudan etkilenirler.

İnsan vücudundaki iç ışınım: Sindirim ve solunum yolu ile vücuda alınan radyoizotoplar, canlı dokuda iç ışımalara sebep olurlar. Solunum yolu ile iç ışınımın en önemli bileşenini radon ve ürünleridir. Sindirim yolu ile iç ışınım kaynağından alınan yıllık ortalama etkin doz miktarının yarısının ^{40}K 'dan kaynaklandığı tahmin edilmektedir [92].

1.2.6.3. Radyasyonun İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri

Radyasyonun vücuda alınmasını takiben canlı dokulardaki atom ve molekülleri uyarılmaya başlar, vücut içinde iyonlaşmalar oluşur. Bu etki çok kısa sürelerde (10^{-15} s) gerçekleşir ve hemen ardından iyonlaşmanın şiddetine göre kimsayasal ve biyolojik değişimleri içeren bir süreç zinciri başlar. Sonuç olarak, vücuda giren yüksek enerjili ışınımlar 1 s'den daha kısa bir sürede atom ve molekülleri uyarak dokularda bozukluklar oluşturur. Ancak oluşan bu zarar radyasyon derecesine göre küçükse, sürekli bir etki kalmadan doku kendisini onarabilir [2]. Ancak uzun yıllar boyunca bu radyasyonun belirli dozlarda maruz kalınması (içilen su, tüketilen gıda, temas edilen hava ve toprak, vb.) halinde hücrelerin genel yapısında onarılamayacak bozukluklar, çeşitli kanser türleri, üreme hücrelerinin DNA'sında fiziksel şekil bozuklukları ve zihinsel engelleri olan çocukların doğmasına yol açan değişiklikler olabilir [3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10]. Radyasyona bağlı olarak gelişen hastalıklar gizli ve belirti vermeden ilerleyebilir. Örneğin, kemik kanseri ve kan kanseri için en az 2 yıl gibi bir gizlilik süreci gösterirken, vücutta bir tümör kitlesinin oluşumu için bu süreç 10 yıla kadar çıkabilir [93]. Radyasyonun vücuda etkisi dozuna, maruz kalma sürelerine ve etkiledikleri yapılara bağlı olarak bedensel ve genetik olarak iki grupta sınıflandırılabilir.

Bedensel etkiler: Yüksek enerjili radyasyonun kısa süreli olarak maruz kalınması durumunda ortaya çıkan şiddetli etkilerdir. Somatik etkiler olarak isimlendirilen bu etkiler doz miktarına bağlı olarak değişiklik gösterse de, belirgin ve rastgele etkiler olmak üzere ikiye ayrılır. Radyasyonun belirgin etkileri, körlük, kısırlık, vücutta ekimoz ve yaralar, deri bütünlüğünün kaybolması ve deformasyonların oluşması vb. şeklinde ortaya çıkabilir. Radyasyonun rastgele etkileri ise vücuttaki herhangi bir dokunun hücresel yapısının bozulmasına yol açarak kötü huylu tümörler de dahil pek çok hastalığı ortaya çıkarması olarak tanımlanır [94].

Genetik etkiler: Bu etki türünde radyasyonun hücre çekirdeği içinde bulunan ve genetik bilginin saklandığı DNA molekülünü tahrip ederek sonraki kuşaklara bu tahribatın aktarılmasına sebep olur. Bu genetik değişimler canlıların tüm özelliklerinin saklandığı DNA da gerçekleştiği için oldukça ciddi sorunlara yol açabilirler. Genlerdeki bu tahribat nesilden nesile aktarılabilir ve bu sebepten sonraki kuşaklar da bu zararlı değişikliklerden etkilenmiş olurlar.

1.3. Jeostatistik Analiz

Jeostatistik, klasik istatistik yöntemlerinden farklı olarak örnekler arası ilişkiyi örneklerin alındıkları koordinatları da hesaba katarak ele alan ve temelleri fonksiyonlar teorisindeki durağan rastlantı teoremine dayanan istatistiksel bir hesaplama metodudur [74]. Bu hesaplama yönteminin, yapılan hata miktarının belirli güven düzeylerinde belirlenebilmesi gibi çok önemli avantajları bulunmaktadır [75]. Jeostatistiksel çalışmalar, gözlem verilerinin deneysel değişim (varyans veya variogram) yapısının belirlenmesi ve bu yapıya teorik bir modelin uydurulmasına (fit edilmesi) dayanmaktadır [95].

Jeostatistiksel teoremin temelleri ilk kez Fransız maden mühendisi G. Matheron [96] tarafından ortaya atılmış ve daha sonra mekansal verilere sahip tüm bilim dallarında kullanılmaya başlanmıştır [98]. Belirli bir bölgeden alınan numunelerden elde edilen ölçüm sonuçları yalnızca örneklenmiş noktalarda bellidir. Rastlantısal değişkenin dağılımının yaklaşık olarak belirlenebilmesi için örneklenmemiş noktalardaki bilinmeyen değerlerin hesaplanması gerekir. İşte bu hesaplama işlemine kestirim (ara değer tahmini) denir. Jeostatistiksel yöntemlerle, gözlemlerin yapıldığı noktaların konumları ve gözlemler arası korelasyon dikkate alınarak yansız ve minimum varyanslı (değişkenli) kestirimler yapılabilmektedir [99]. Burada yansızlık, tahmincinin beklenen değerinin gerçek değere yakın olması durumudur [97]. Yansızlığı oluşturmak için alınan her bir örneğin ağırlıklarının uygun metotlarla belirlenmesi gerekir. Ara-değer tahmini probleminde bölgesel değerlerin uzaklığa bağlı değişimleri basit bir fonksiyonel modelle ifade edilemeyecek kadar düzensiz olduğundan bölgesel değişkenlerin uzaklığa bağlı değişimleri durağan rastlantı fonksiyonlarının olasılık çatası altında modellenmesi ile belirlenebilir [95, 98].

1.3.1. Rastlantı Fonksiyonları

Her bir ölçüm noktasına ait x deneysel verileri, $Z(x)$ rastlantı fonksiyonunun, bir $z(x)$ çıktısı olarak düşünülebilir. Buna jeostatistikte sürüklenme adı verilir. Ölçüm alınmayan noktalardaki rastgele $z(x)$ değerleri, tam olarak bilinmese de dağılım özellikleri iyi tanımlanabilir. Ayrıca bu değerler $Z(x)$ rastlantısal değerlere uyan çıktılar olarak düşünülebilir. Matematiksel olarak tüm bu rastgele değerler kümesine rastlantı fonksiyonu adı verilir. Rastlantı fonksiyonu tüm rastlantısal değerlerin sonsuz boyutlu dağılımlarını karakterize eder. Yani tüm x_1, x_2, \dots, x_k değerleri için $Z(x_1), Z(x_2), \dots, Z(x_k)$ rastlantı

değişkenleri oluşturularak ve tüm uzay için bir dağılım belirlenebilir. Ancak bazı varsayımların kabulü olmaksızın bu fonksiyonlardan anlamlı sonuçlar çıkarmak imkansız olacaktır. Bu varsayımlar jeostatistiğin temel varsayımları olarak kabul edilmektedir [99].

1.3.2. Jeostatistikteki Temel Varsayımlar

Jeostatistiğin iki temel varsayımı vardır. Bunlar birinciden ve ikinciden durağanlık olarak isimlendirilir. Durağanlık bir sürecin istatistiksel olarak dengede kalma durumudur. Böyle durumlarda istatistiksel değişkenlerin özellikleri zamanla değişmez. Birinci dereceden durağanlıkta, bir $Z(x)$ rastlantı değişkeninin ortalama değeri tüm çalışma alanı için her (x_i) noktasında sabit bir değerde olması beklenir [100]. Bu durum denklem 1.26'da gösterilmektedir.

$$\mathbb{E}[Z(x_i) - Z(x_i + h)] = 0 \quad (1.26)$$

Burada \mathbb{E} ; ortalama değer operatörü, $Z(x_i)$; x_i noktasındaki rastlantısal değer ve h ; noktalar arasındaki öklid mesafesidir. İkinci dereceden durağanlıkta ise x_i ve $x_i + h$ noktalarındaki kovaryans fonksiyonu noktalar arasındaki h mesafesine bağlı olup x_i noktasından bağımsız olur. Kovaryans iki değişkenin birlikte ne kadar değiştiklerinin ölçüsüdür. İkinci dereceden durağanlık ifadesi denklem 1.27'de gösterilmiştir.

$$\text{Cov}[Z(x_i + h), Z(x_i)] = \text{Cov}[Z(h), Z(0)] = \text{Cov}(h) \quad (1.27)$$

Klasik istatistikte iki değişken birbirine özdeşlerse kovaryans fonksiyonu o tek özdeş değişkenin varyansı olarak yazılabilir. Denklem 1.27'den görüldüğü gibi $Z(x_i + h)$ ve $Z(x_i)$ rastlantısal değişkenleri sadece h mesafe fonksiyonuna bağlıdır. Bu sebepten;

$$\left. \begin{aligned} \text{Var}[Z(x_i)] &= \text{Cov}(0) \\ \text{Var}[Z(x_i + h)] &= \text{Cov}(h) \end{aligned} \right\} \Rightarrow \gamma(h) = \text{Cov}(0) - \text{Cov}(h) \quad (1.28)$$

olarak yazılabilir. Burada $\gamma(h)$; h mesafe değerindeki yarıvariogram olarak adlandırılır. Denklem 1.28'de verilen ifade varyansın sonlu ve tek değerli olmasını gerektirir [95]. Bu koşul pratikte pek gerçekleşemez. Bu sebepten intrinsic varsayımları olarak tanımlanan daha zayıf bir durağanlık varsayımı tanımlanır. Bu varyasyona göre, denklem 1.26'ya ek olarak,

$Z(x_i)$ rastlantısal fonksiyonunun tüm $[Z(x_i) - Z(x_i + h)]$ değişimleri için sadece h öklid uzaklık vektörlerine bağlı olacak şekilde sonlu varyanslı olması gerekir. Diğer bir ifade ile aralarındaki uzaklık aynı olan farklı değişken ikililerinin varyans değerlerindeki birbirinin aynı olması gerekir. Buna göre varyans, yarıvaryans türünden, denklem 1.29'da gösterildiği gibi olacaktır [100].

$$2\gamma(h) = \text{Var}[Z(x_i) - Z(x_i + h)] \Rightarrow \gamma(h) = \frac{1}{2}\text{Var}[Z(x_i) - Z(x_i + h)] \quad (1.29)$$

Ayrıca denklem 1.26 göz önüne alındığında $[Z(x_i) - Z(x_i + h)]$ farklarının ortalamasının sıfır olduğu düşünülür. Buna göre; $\gamma(h)$ bu farkların ortalama kare değerinin yarısı olacaktır (Denklem 1.30).

$$\gamma(h) = \frac{1}{2}\mathbb{E}[Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (1.30)$$

Eğer denklem 1.30'da h uzunluğundaki ölçüm noktaları çiftlerinin sayısı N tane ise o zaman yarıvariogram eşitliği denklem 1.31'de olduğu gibi genişletilebilir.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (1.31)$$

Burada; $\gamma(h)$; yarıvaryans değeri, h ; iki ölçüm noktası arasındaki uzaklık, $N(h)$; h uzunluğundaki nokta çiftleri sayısı (bölge içindeki h konumsal vektörü sayısı), $Z(x_i)$; değişkenin i noktasındaki ölçülen değeri ve $Z(x_i + h)$; değişkenin $x_i + h$ noktasında ölçülen değeridir.

1.3.3. Jeostatistik Analizin Aşamaları

Jeostatistik analiz 4 aşamadan meydana gelir. Bunlar; konumsal değişkenlerin tanımlayıcı istatistiksel bilgisi, variogram analizi, kriging aradeğer tahmini ve çapraz doğrulama işlemidir.

1.3.3.1. Tanımlayıcı istatistiksel Bilgiler

Bu aşamada çalışılan bölgeden elde edilen ölçümlerin sayısı, maksimum- minimum değerleri, ortalama, standart sapma gibi temel istatistik analizleri ve merkezi eğilim ölçüleri

sayısal olarak belirlenir. Ayrıca histogram, Q-Q grafikleri ve normallik testleri ile ölçümlerin parametrik dağılımları incelenir sonuçta verilerin güvenilirlikleri ve geçerlilikleri sınanır. Normal dağılım sergilemeyen veriler ise bazı dönüşümlerle normal dağılıma yaklaştırılabilir. Jeostatistiksel analiz yapabilmek için verilerin normal (gaussian) dağılıma uyması beklenir. Jeostatistik analizde dağılımın normal olmaması variogramın yapısını bozarak tahmin ağırlıklarının yanlış hesaplanmasına yol açabilir. Bu yüzden sık sık log-normal olan deneysel veriler, normal dağılıma uymasını sağlamak için veri dönüşümleri uygulanır [102, 53].

1.3.3.2. Yarıvariogram Analizi

Çalışma alanından alınan konumsal bir numunenin en temel iki temel özelliği, sonucun belirli bir bölgeye özgü olması ve en azından bir koordinatla ifade edilebilmesidir. Bu özelliklerinden dolayı bu tür değişkenler konumsal değişkenler olarak tanımlanır. Konumsal değişkenlerin aldığı değerler, yalnızca çalışma alanının örneklenmiş noktalarında bellidir. Bilinmeyen ara değerlerin hesaplanması, örneklenmiş noktalardaki bilinen değerler yardımıyla yapılır. Konumsal değişkenlerin deneysel ölçüm değerleri arasındaki fark, bu değişkenler arasındaki uzaklığa bağlı bir fonksiyon olarak yazılabilir [99, 101, 96].

Konumsal değişkenlerin uzaklığa bağlı değişimleri denklem 1.31'de gösterildiği gibi yarıvaryans fonksiyonu ile tanımlanabilir. Bu fonksiyon aralarındaki mesafe h kadar olan iki konumsal değişkenin arasındaki farkın varyansı olarak ifade edilir [74]. Burada değişkenler arasındaki uzaklığın artması ile farklılıklar artacak ve buna bağlı olarak değişkenler arası varyans değerleride artacaktır [97]. Bir başka deyişle, birbirine yakın mesafede olan noktaların benzerliklerinin, uzak mesafede bulunan noktalara göre daha fazla olması beklenecektir.

Yarıvariogram veya deneysel variogram noktalar arasındaki her bir h mesafe değerine karşılık gelen yarıvaryans değerlerinin grafiğidir. Bu grafik ile konuma bağlı olarak değişen ve çalışma alanının konumsal korelasyonu hakkında bilgi veren lineer olmayan bir fonksiyonu oluşturulabilir. Deneysel variogram sadece ölçüm yapılan uzaklıklar için belirlenebilir. Ölçüm alınmamış uzaklık değerlerinde varyans değeri bilinemediği için deneysel variogram bu noktalar için oluşturulamayacaktır. Ancak bölgesel değişkenin özelliklerinin belirlenmesinde ve özellikle örneklenmemiş noktaların aradeğer tahmininde variogram değerinin bütün uzunluklarda ve her doğrultuda bilinmesi gerekir [103]. Bu ise deneysel variogram değerlerine uygun bir parametrik fonksiyonun fit edilmesi ile belirlenebilir. Literatürde en

çok kullanılan modeller, küresel (Denklem 1.32), üstel (Denklem 1.33), gauss (Denklem 1.34), pentaspherical (Denklem 1.35), lineer (Denklem 1.36) ve çembersel (Denklem 1.37) modellerdir [104].

$$\gamma(h) = \begin{cases} c_0 + c \left(\frac{3h}{2a} - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right) , & h \leq a \text{ ise} \\ c_0 + c & , \quad h > a \text{ ise} \end{cases} \quad (1.32)$$

$$\gamma(h) = c_0 + c \left(1 - \exp \left(- \frac{h}{a} \right) \right) , \quad h \leq 0 \text{ ise} \quad (1.33)$$

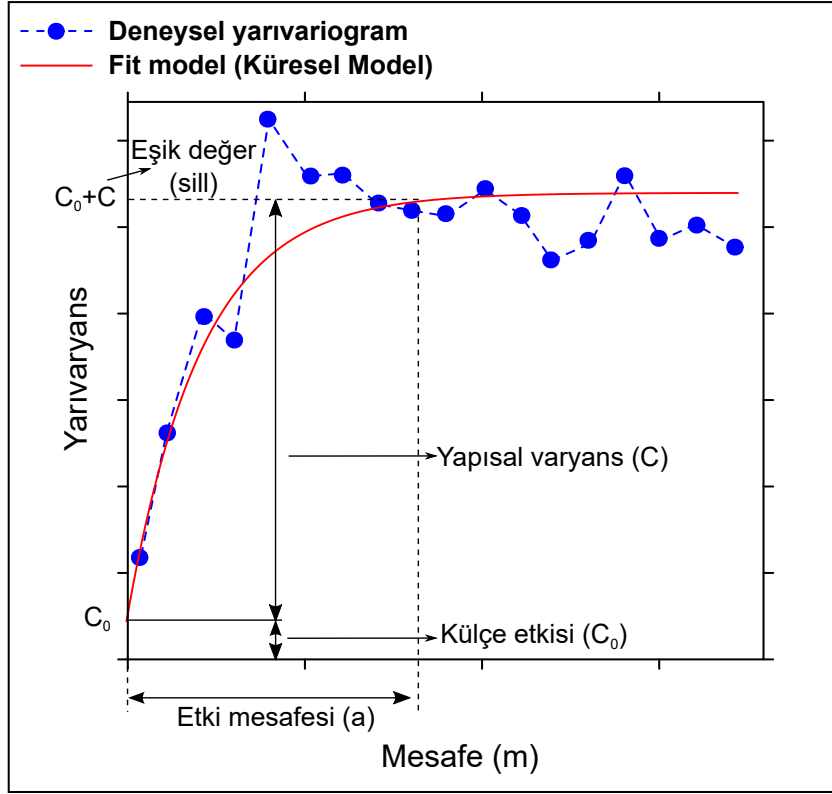
$$\gamma(h) = c_0 + c \left(1 - \exp \left(- \frac{h^2}{a^2} \right) \right) , \quad h \leq 0 \text{ ise} \quad (1.34)$$

$$\gamma(h) = \begin{cases} c_0 + c \left(\frac{15h}{8a} - \frac{5}{4} \left(\frac{h}{a} \right)^3 + \frac{3}{8} \left(\frac{h}{a} \right)^5 \right) , & h \leq a \text{ ise} \\ c_0 + c & , \quad h > a \text{ ise} \end{cases} \quad (1.35)$$

$$\gamma(h) = \begin{cases} c_0 + c \left(\frac{h}{a} \right) , & h \leq a \text{ ise} \\ c_0 + c & , \quad h > a \text{ ise} \end{cases} \quad (1.36)$$

$$\gamma(h) = \begin{cases} c_0 + c \left(1 + \frac{2}{\pi} \cos^{-1} \left(\frac{h}{a} \right) + \frac{2h}{\pi a} \sqrt{1 - \frac{h^2}{a^2}} \right) , & h \leq a \text{ ise} \\ c_0 + c & , \quad h > a \text{ ise} \end{cases} \quad (1.37)$$

Burada, a ; variogramın etki mesafesi (range) değeridir. Bu değerden sonra konumsal bağıllık ortadan kalkar ve varyans değerleri sabit kalır. $c_0 + c$; eşik (sill) değeridir. Bu değer yarıvaryansın maksimum olduğu noktadır. c ; yapısal varyans, c_0 ; külçe etkisi (nugget effect) veya kontrolsüz etki varyansıdır. Bu değer çalışma alanının homojenliğini ifade eder ve h ; örnekleme mesafesidir. Fit edilen model değerleri bir sonraki kısımda anlatılacak olan kriging aradeğer tahmini için gerekli olan giriş parametrelerini (ağırlık katsayılarını) sağlar. Ayrıca bölgenin spatial yapısı hakkında bilgi verir. Şekil 1.5 küresel bir model için hem deneysel hem de teorik yarıvariogramı göstermektedir.



Şekil 1.5. Teorik ve deneysel yarivariogramın yapısı

1.3.3.3. Kriging Yöntemi

Afrikalı bir maden mühendisi olan Daniel Krige [105] tarafından bulunup, Georges Matheron [96] tarafından geliştirilen ve uygulamalı jeostatistiğe kazandırılan bu yöntem, literatürde en iyi lineer yansız tahmin edici (BLUE [best linear unbiased estimator]) olarak tanımlanır [100]. Yansızlık; tahmincinin beklenen değerinin gerçek değere yakın olması durumudur. Kriging yönteminin temelleri kestirim hatasının minimum olması şartına göre ağırlıkların belirlenmesine dayanır. Bu yöntemde bilinmeyen ara değer noktası, kendisine yakın bilinen noktalardan fazla etkilenirken uzak olan noktadan daha az etkilenmesini sağlayacak bir ağırlık çarpanı ile tahmin edilir. Bu özelliği ile kriging yöntemi klasik istatistik teoremindeki ağırlıklı ortalama yöntemine oldukça benzemektedir. Kriging yönteminin genel hali denklem 1.38'de gösterilmiştir.

$$\hat{Z}(x_0) = \sum_{i=1}^N \omega_i Z(x_i) \quad (1.38)$$

Burada; $\hat{Z}(x_0)$; x_0 noktasında bilinmeyen ancak tahmin edilen Z değeri, ω_i ; $\hat{Z}(x_0)$ 'nin tahmininde kullanılan ve her bir $Z(x_i)$ için farklı değerliliğe sahip ağırlık değerleri, $Z(x_i)$; $\hat{Z}(x_0)$ 'in tahmin edilmesinde kullanılan deneysel veriler, N ; $\hat{Z}(x_0)$ 'nin tahmininde kullanılan konumsal veri sayısıdır. Literatürde pek çok kriging yöntemi bulunmakta olup kullanım amacına göre en yaygın olanları Ordinary kriging, Universal kriging ve Co-kriging yöntemleridir [74, 104].

1.3.3.3.1. Ordinary Kriging Yöntemi (OK)

OK yönteminde, yansızlık (denklem 1.39) ve hatalarının varyansının minimum olması (denklem 1.40) ilkesi şartlarının sağlanması gereklidir [99].

$$\mathbb{E}[\hat{Z}(x_0) - Z(x_0)] = 0 \iff \text{Yansızlık} \quad (1.39)$$

$$\text{Var}[\hat{Z}(x_0) - Z(x_0)] = \text{Min.} = 2\gamma(h) \iff \text{Hataların minimum varyansı} \quad (1.40)$$

Burada yansızlık koşulu ; m , $\hat{Z}(x_0)$ tahmin değerleri ve $Z(x_0)$ gerçek değerlerin ortalaması olmak üzere değerlendirildiğinde;

$$\mathbb{E}[\hat{Z}(x_0) - Z(x_0)] = 0 \Rightarrow \mathbb{E}[\hat{Z}(x_0)] - \mathbb{E}[Z(x_0)] = 0 \quad (1.41)$$

$$\Rightarrow \mathbb{E}\left[\sum_{i=1}^N \omega_i Z(x_i)\right] - \mathbb{E}[Z(x_0)] = 0 \quad (1.42)$$

$$\Rightarrow \sum_{i=1}^N \omega_i \mathbb{E}[Z(x_i)] - \mathbb{E}[Z(x_0)] = 0 \quad (1.43)$$

$$\Rightarrow \sum_{i=1}^N \omega_i m - m = 0 \Rightarrow m \left(\sum_{i=1}^N \omega_i - 1 \right) = 0 \quad (1.44)$$

$$\Rightarrow \sum_{i=1}^N \omega_i = 1 \quad \text{ve} \quad m = 0 \quad (1.45)$$

Denklem 1.45'den $\hat{Z}(x_0)$ noktasını tahmin etmek için tüm ağırlıkların toplamının 1'e eşit olması gerektiği ortaya çıkacaktır [99]. Ayrıca kriging işleminde ağırlıklar yarıvareogramın bir fonksiyonu olarak yazılabilmektedir. İkinci koşul olan tahmin hatalarının varyansının minimum olması, $\gamma(h)$ varyansının, her bir h mesafe değeri için farklı ω ağırlık çarpanlarının belirlenmesi ve denklem 1.46' da gösterildiği gibi, bu ağırlıklarının toplamının

olarak denklem 1.50 elde edilir.

$$\underbrace{\begin{pmatrix} \gamma(h_{11}) & \gamma(h_{12}) & \dots & \gamma(h_{1n}) & 1 \\ \gamma(h_{21}) & \gamma(h_{22}) & \dots & \gamma(h_{2n}) & 1 \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots & 1 \\ \gamma(h_{n1}) & \gamma(h_{n2}) & \dots & \gamma(h_{nn}) & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix}}_{\Gamma} \times \underbrace{\begin{pmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \\ \vdots \\ \omega_n \\ \lambda \end{pmatrix}}_{\Omega} = \underbrace{\begin{pmatrix} \gamma_0(h_1) \\ \gamma_0(h_2) \\ \vdots \\ \gamma_0(h_n) \\ 1 \end{pmatrix}}_{\Gamma_0} \quad (1.50)$$

Yansızlık koşulu altında hatanın varyansını minimum yapacak kriging ağırlıkları (Ω), denklem 1.49 matrisinde yalnız bırakılarak belirlenir. Buna göre;

$$\Gamma \times \Omega = \Gamma_0 \implies \Omega = \Gamma^{-1} \times \Gamma_0 \quad (1.51)$$

olarak bulunur. Burada σ , kriging standart sapması olmak üzere hatanın varyansı denklem 1.52 ve aradeğer tahmin değeri denklem 1.53'de gösterildiği gibi belirlenir.

$$\text{var}[\hat{Z}(x_0) - Z(x_0)] = \sigma^2 = \Omega^T \times \Gamma_0 \quad (1.52)$$

$$\hat{Z}(x_0) = \Omega[Z(x)] \quad (1.53)$$

Burada, Ω , her ölçüm noktası için belirlenen kriging ağırlıkları ve $[Z(x)]$, ölçüm değerleridir.

1.3.3.3.2. Universal Kriging Yöntemi (UK)

Bazı kaynaklarda regression kriging olarak da tanımlanan [109] universal krigingde, ordinary kriging yönteminden farklı olarak, $\hat{Z}(x_0)$ rastlantısal fonksiyonunun durağanlık göstermediği ve buna bağlı olarak belirli bölgelerde eğilim oluşturduğu düşünülür. Bu eğilim nedeni ile rastlantısal fonksiyonun ortalaması bilinmemesine karşın, bilinen bir $f(x)$ fonksiyonunun lineer birleşimi olarak düşünülebilir [100]. Bu durumda, konumsal tahmin değeri, denklem 1.54'de verildiği gibi, regresyon terimi bileşeni (trend) ve hata terimlerinin toplamı

olarak yazılır [72, 106].

$$\hat{Z}(x_0) = \omega_0 + \sum_{i=1}^N \omega_i f_i(x) + e(x) \quad (1.54)$$

Burada ω ve ω_0 fonksiyonun bilinmeyen ağırlıkları, $f_i(x)$; çalışma alanındaki i 'nci bilinen tahmin edici fonksiyon, x ; çalışılan bölgenin yapısına bağlı olarak değişen ve eğilimi tanımlayan değişken ve $e(x)$; hata terimidir. Bu hata teriminin ortalaması 0 olup $e(x)$ ile $e(x + h)$ arasındaki kovaryansı sadece h mesafe vektörü ile belirlenir [76, 108]. Burada tahmin edici fonksiyon olarak değişkenliği etkileyen ve tahmin edilmesi istenen her noktada değeri bilinen faktörler kullanılabilir (yükseklik değeri, jeolojik yapı, toprak tipi vb). UK yönteminde durağanlık şartı sağlanamadığından tahmin edilen değer ve gerçek değer arasında bir fark olacaktır. Bu fark hata terimi (kalıntı terimi) olarak denklem 1.54'de görülmektedir.

1.3.3.3. Co-Kriging Yöntemi (CK)

Bu yöntem yapı bakımından ordinary kriging yöntemine oldukça benzemektedir. CK yönteminde, iki veya daha çok değişkenin konumsal korelasyonu incelenerek tahmin yapılır. $\hat{Z}(x_0)$ rastlantısal değişkenini tahmin etmek için, hedef $Z(x_i)$ değişkenine yardımcı, eş veya yakın koordinatlı $K(x_i)$ değişkenide (eş-değişken ya da ikincil değişken) hesaplamaya katılır. $Z(x_i)$ ve $K(x_i)$ değişkenleri arasında bir ilişkinin olması CK dağılımının daha doğru belirlenmesinde etkilidir. Eğer hedef $Z(x_i)$ değişkenini ölçmek ya da belirlemek zor ve masraflı bir süreç ise, $K(x_i)$ eş-değişkeninin yardımı ile co-kriging işlemi uygulayarak $\hat{Z}(x_0)$ noktalarının aradeğer tahminlerini bulmak mümkündür. Eş koordinatlı ve iki değişkenli bir durumda CK eşitliğinin en genel hali denklem 1.55'de verilmiştir [104].

$$\hat{Z}(x_0) = \sum_{i=1}^N \omega_i Z(x_i) + \sum_{i=1}^N \varpi_i K(x_i) \quad (1.55)$$

Burada $\hat{Z}(x_0)$; x_0 noktasında tahmin edilen Z değeri, ω_i ve ϖ_i sırasıyla Z ve K değişkenleri için i 'nci ağırlık değeri, $Z(x_i)$ ve $K(x_i)$ değerleri sırasıyla x_i noktasındaki Z ve K ölçüm değerlerini göstermektedir. Bu yöntemde tıpkı OK yönteminde olduğu gibi tahmin sonuçları yansız ve hatalar minimum varyanslı olarak hesaplanır.

1.3.3.4. Çapraz Doğrulama

Kriging ağırlıklarının bulunmasından sonra oluşturulan tahmin işleminin sonunda, modelin performansını değerlendirmek için çapraz doğrulama (cross-validation) işlemi gerçekleştirilir. Çapraz doğrulamada bir gözlem noktası veri setinin dışında tutulur ve diğer noktalar kullanılarak oluşturulan kriging modeli ile bu nokta tahmin edilir. Dışarıda bırakılan noktaların tahminlerinin standart hataları hesaplanır ve dört tanımlayıcı istatistik uygulanır. Bunlar; ortalama hata (mean error, ME, denklem 1.56), hata karelerinin ortalamasının karekökü (root mean squared error, RMSE, denklem 1.57), ortalama hata karesi oranı (mean squared deviation ratio, MSDR, denklem 1.58) ve düzeltilmiş \bar{R}^2 (Adjusted R^2 , denklem 1.59)'dır. Kriging yansız bir hesaplayıcı olduğundan dolayı ortalama hata (ME) ideal olarak "0" olmalıdır. Kriging yarıvaryogramdaki hatalar için duyarsız olduğundan hesaplanan ME, zayıf bir tanımlayıcıdır. RMSE'nin küçük olması istenir (yaklaşık "0"). Eğer yarıvaryogram modeli doğruysa, RMSE krigleme varyansının (kriging variation) karesine eşit olmalıdır. Bu nedenle de MSDR "1" olmalıdır. Ayrıca düzeltilmiş R^2 değerleri, modelin açıkladığı varyansı belirlediği için 1' yakın olması gerekmektedir [104].

$$ME = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\hat{Z}(x_i) - Z(x_i) \right) \quad (1.56)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\hat{Z}(x_i) - Z(x_i) \right)^2} \quad (1.57)$$

$$MSDR = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{\left(\hat{Z}(x_i) - Z(x_i) \right)^2}{\hat{\sigma}^2(x_i)} \quad (1.58)$$

$$\bar{R}^2 = 1 - \left[\frac{(1 - R^2)(N - 1)}{N - k - 1} \right] \quad (1.59)$$

Burada, $\hat{\sigma}^2$; x_i noktasındaki kriging varyansı, $Z(x_i)$; bilinen değer, $\hat{Z}(x_i)$; tahmin edilen değer, N ; veri sayısı, k ; değişken sayısı ve R ; Pearson's r korelasyon katsayısıdır.

1.4. Yapay Sinir Ağları

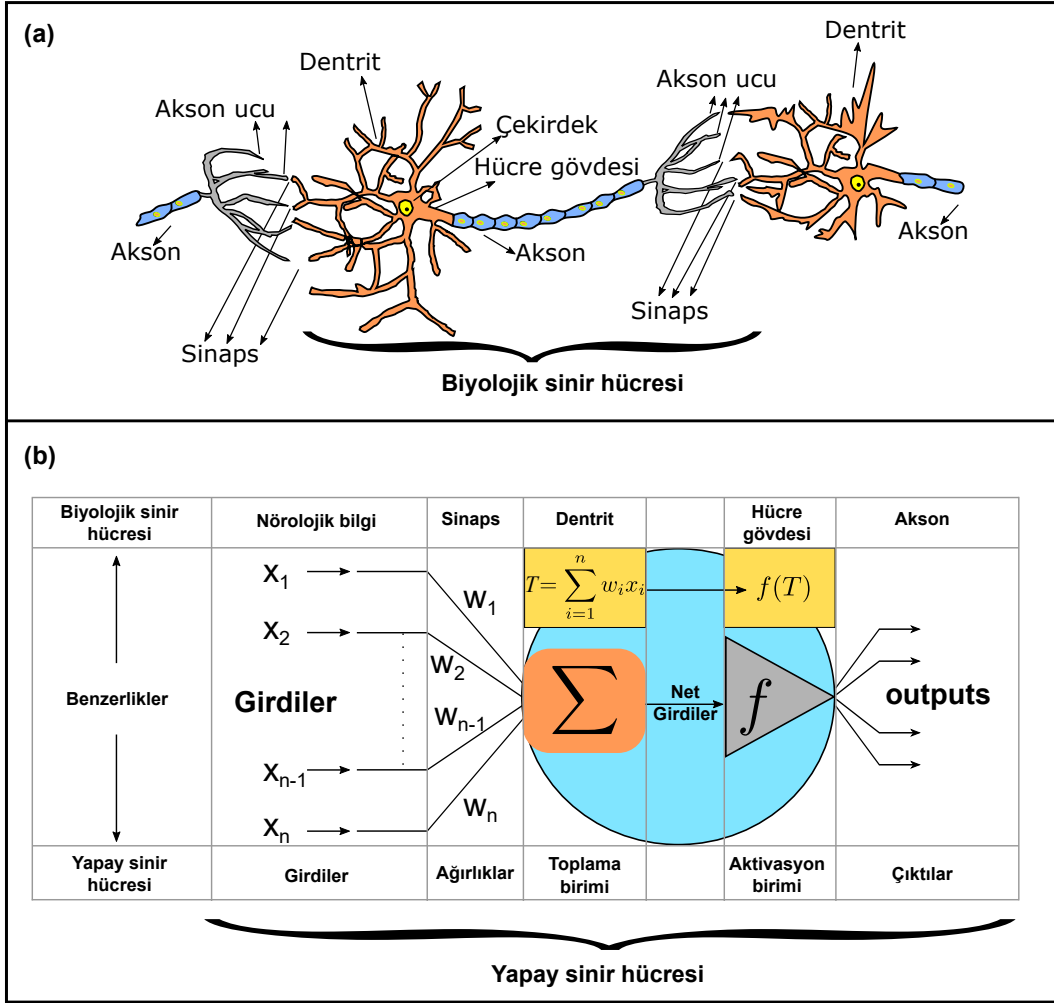
Yapay Sinir Ağları (Artificial Neural Network, ANN) biyolojik sinir sisteminden esinlenerek geliştirilmiş bir bilgi işleme, tanımlama, tahmin etme ve kümeleme sistemidir. Bu sistemin en küçük işlem elemanı yapay sinir hücresidir. Bu hücre içerisinde 5 ünite bulunmaktadır. Bunlar, dış doğadan, ölçümlerden veya tecrübelerden elde edilen girdiler, girdilerin etki derecelerini gösteren ağırlıklar, tüm girişlerin ağırlıklı değerlerinin birleştirildiği toplama birimi, toplama birimine gelen net bilginin işlenmesi sonucu eşik bilgisinin değerlendirildiği aktivasyon birimi ve aktivasyon biriminden elde edilen çıkışlardır. Şekil 1.6'da biyolojik bir nöronla, yapay sinir hücresi arasındaki ilişki gösterilmiştir. Burada dış dünyadan gelen bilgilerin hem biyolojik bir nöronda hem de yapay sinir hücresindeki işleniş basamakları her iki yapı içinde benzerlikler gösterdiği açıkça belirtilmiştir.

Yapay sinir hücreleri bir araya gelerek yapay sinir ağlarını oluşturmaktadır. Bu ağlar kullanım amaçlarına göre farklı şekillerde sınıflandırılmaktadır [110]. Bu çalışmada konumsal aradeğer tahmini için ileri beslemeli (Feed forward) ve geri beslemeli (Recurrent) yapay sinir ağları incelenmiştir.

1.4.1. İleri Beslemeli Yapay Sinir Ağları

İleri beslemeli ağlar genellikle katmanlara ayrılmışlardır. İlk katman, tüm girdilerin ağa tanıtıldığı girdi katmanıdır. İkincisi gizli katman olup birden fazla sütundan oluşabilir. Üçüncüsü de sonuçların elde edildiği çıktı katmanıdır. İleri beslemeli yapay sinir ağlarında bilgi akışı, girdi katmanından çıktı katmanına kadar tek yönlü olarak iletilir. Bu bilgi iletimi esnasında her bir katmanın çıktısı, hesaplanan ağırlık değerlerine bağlı olarak bir sonraki katmanın girdi bilgisi halini alır [111]. Şekil 1.7a'da ileri beslemeli bir ağın genel yapısı verilmiştir. Burada j gizli katman neuronu (h_j), i girdisini (x_i), w_{ij} ağırlığına göre almaktadır. Daha sonra aktivasyon fonksiyonu ile bir çıktı üretilir. Bu yeni çıktı, j gizli katman nöronundan, k gizli katman nöronuna (h_k), w_{jk} ağırlığı ile iletilir ve bu nöronda yeni aktivasyon çıktısı hesaplanır. Bu işlem tüm gizli katmanlar ve çıktı katmanı için tekrarlandıktan sonra tamamlanır.

İleri beslemeli sinir ağlarının birçok çeşidi vardır [112]. Bu çalışmada tahmin hesapları için çok katmanlı yapay sinir ağı (Multi Layer Perceptrons, MLP), radyal fonksiyon tabanlı yapay sinir ağı (Radial Basis Functional Neural Network, RBFNN) ve kantil regresyon yapay

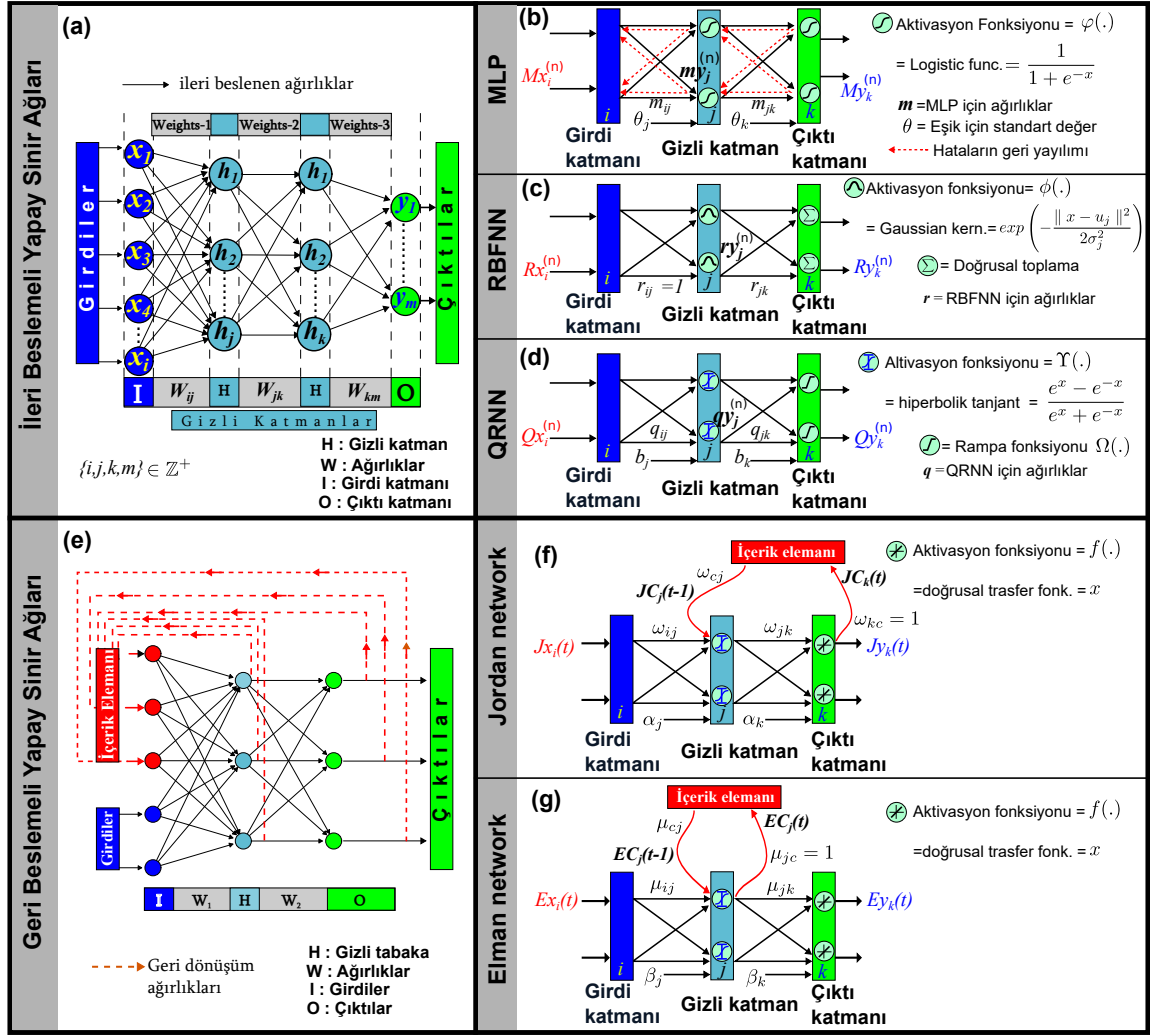


Şekil 1.6. a) Biyolojik bir nöronun genel yapısı. b) yapay sinir hücresinin genel yapısı ve proses elemanları.

sinir ağı (Quantile Regression Neural Networks, QRNN) tipleri kullanılmıştır.

1.4.1.1. Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağları (MLP)

İlk kez Rumelhart [113] tarafından geliştirilen MLP, tahmin problemlerinde en yaygın kullanılan ANN türüdür. Bu ağda bir girdi, bir çıktı katmanı arasında bir veya birden çok gizli katman yer almaktadır [110, 114]. Bu ağların öğrenme algoritması, temelleri bir dik iniş (gradient descent) [115, 116] tekniğine dayanan geri yayılım algoritmasıdır. Geri yayılım ağlarında amaç, ağın ürettiği çıktılar ile gerçek ölçülen değerlerinin farkı olan hatanın, minimize edilmesini sağlamaktır. Bu nedenle, bulunan hatanın ağın ağırlık değerlerine dağıtılarak bir sonraki iterasyonda hatanın azaltılması sağlanır [117]. Şekil 1.7b’de MLP nin genel yapısı görülmektedir. Burada girdi katmanından, çıktı katmanına doğru ilerleyen siyah oklar ağın



Şekil 1.7. Yapay sinir ağlarının genel mimarisi yapısı a) İleri beslemeli yapay sinir ağları, b) Çok katmanlı ANN, c) Radyal fonksiyon tabanlı ANN, d) Kantil regresyon ANN, e) Geri beslemeli ağlar, f) Elman ağları, g) Jordan ağları

çıkıtısını belirlemek için ileri doğru hesaplamayı gösterir. Kesikli kırmızı oklar ise çıktı katmanından girdi katmanına doğru ilerleyen hataların ağırlıklara yayıldığı geriye doğru hesaplamayı temsil eder. MLP de gizli katmandaki her işlemci nöron, girdi katmanındaki tüm işlemci nöronlardan gelen bilgileri, bağlantı ağırlıklarının etkisi ile alır ve aktivasyon işlevi sonrası bilgileri bir sonraki katmana iletilir. Denklem 1.60 ve 1.61 bu sıralamayı açıklamaktadır [118].

$$my_j^{(n)} = \varphi\left(\sum_i Mx_i^{(n)} m_{ij} + \theta_j\right) \quad (1.60)$$

$$My_k^{(n)} = \varphi\left(\sum_j my_j^{(n)} m_{jk} + \theta_k\right) \quad (1.61)$$

Burada, θ ; birimlerin eşik değerleri (bias), $\varphi(\cdot)$; katmanlardaki aktivasyon fonksiyonu (bu çalışma için logistic fonksiyon), m_{ij} ve m_{jk} ise sırasıyla gizli tabaka ve çıktı tabakasının ağırlıklarıdır. Ayrıca $Mx_i^{(n)}$; girdi katmanındaki i 'ninci nörona giren n 'ninci girdi verisi ve $My_k^{(n)}$; n 'ninci girdi verisine karşılık ağdan elde edilen çıktıyı göstermektedir. Bu ağın k nöronundan hesaplanan $My_k^{(n)}$ çıktı değerleri ile n 'inci girdi verisine ait ölçülen gerçek değer ($Dy_k^{(n)}$) arasındaki fark hata olarak hesaplanır ve ağ için toplam hata (E_m) denklem 1.62 ile gösterilmiştir.

$$E_m = \frac{1}{2} \sum_n \sum_k \left(Dy_k^{(n)} - My_k^{(n)} \right)^2 \quad (1.62)$$

Bu hata değerini minimize etmek için dik iniş tekniği ile hata geri yayılır ve t 'ninci iterasyon sonunda ağırlıklardaki değişimler denklem 1.63'de görüldüğü gibidir.

$$\Delta m(t) = -\lambda \frac{\delta E_m}{\delta m} + \rho \Delta m_{ji}(t-1) \quad (1.63)$$

Burada, λ ve ρ sırasıyla öğrenme oranı ve momentum faktörüdür. Buna göre aktivasyon fonksiyonu olarak logistic fonksiyonun kullanılması durumunda, çıktı ve gizli katmanlarının ağırlıklarının değişimi sırasıyla denklem 1.64 ve denklem 1.65'de gösterildiği gibi olur.

$$\Delta m_{kj}(t) = \lambda \delta_k^{(n)} My_j^{(n)} + \rho \Delta m_{ji}(t-1) \quad (1.64)$$

$$\Delta m_{ji}(t) = \lambda \delta_j^{(n)} My_i^{(n)} + \rho \Delta m_{ji}(t-1) \quad (1.65)$$

Burada, $\delta_j^{(n)}$ ve $\delta_k^{(n)}$ değerleri sırasıyla, n 'inci girdi verisinin gizli katman ve çıktı katmanına ait hata miktarını göstermektedir. Denklem 1.66 ve denklem 1.67'de bu hata miktarları gösterilmektedir.

$$\delta_k^{(n)} = My_k^{(n)} \left(1 - My_k^{(n)} \right) \left(Dy_k^{(n)} - My_k^{(n)} \right) \quad (1.66)$$

$$\delta_j^{(n)} = My_j^{(n)} \left(1 - My_j^{(n)} \right) \left(\sum_k \delta_k^{(n)} m_{kj} \right) \quad (1.67)$$

Sonuç olarak, MLP de t 'ninci iterasyon sonunda çıktı katmanı, gizli katmanlar ve eşik değerlerin (bias) ağırlıklarındaki yeni değerler sırasıyla denklem 1.68, denklem 1.69 ve denklem 1.70'de gösterildiği gibi olur.

$$m_{jk}(t) = m_{jk}(t-1) + \Delta m_{jk}(t) \quad (1.68)$$

$$m_{ij}(t) = m_{ij}(t-1) + \Delta m_{ij}(t) \quad (1.69)$$

$$\underbrace{\theta_{jk}(t) = \theta_{jk}(t-1) + \Delta \theta_{jk}(t)}_{\text{Çıktı tabakası eşik değeri}} \quad ; \quad \underbrace{\theta_{ij}(t) = \theta_{ij}(t-1) + \Delta \theta_{ij}(t)}_{\text{Gizli tabaka eşik değeri}} \quad (1.70)$$

1.4.1.2. Radyal Fonksiyon Tabanlı Yapay Sinir Ağları (RBFNN)

İleri beslemeli yapay sinir ağlarından olan ve ilk kez Broomhead ve Lowe [119] tarafından önerilen radyal fonksiyon tabanlı yapay sinir ağları (Radial Basis Functional Neural Networks, RBFNN), iki karakteristik özelliği ile MLP'den ayrılmaktadır. Bunlar sırasıyla gizli katman nöronlarında radyal tabanlı aktivasyon fonksiyonu (gauss, cu chy, çoklu-kuadratik fonksiyonlar vb.) kullanmaları ve yapısında bir tane gizli katman bulundurmasıdır [120]. Şekil 1.7c'de RBFNN'nin genel yapısı gösterilmiştir. Burada girdi tabakasının i 'ninci nöronuna gelene n 'ninci girdi verisi ($Rx_i^{(n)}$) değiştirilmeden gizli tabakaya aktarılır. Bu sebepten RBFNN'de girdi ve gizli tabakalar arasındaki bağlantı ağırlıklarının, $r_{ij} = 1$ olduğu söylenebilir [121]. RBFNN'de asıl eğitimin gerçekleştiği kısım, radyal tabanlı aktivasyon fonksiyonuna sahip gizli katmanın olduğu bölümdür. Gizli katmanın tüm çıktıları lineer bir şekilde toplanarak çıktı katmanına iletilir. Sonunda ağa tanıtılan n 'inci girdi verisi, çıktı katmanının k 'ninci nöronundan ($Ry_k^{(n)}$) değerinde çıkar. Bu ağın çıktı sonucu denklem 1.71'de gösterilmiştir.

$$Ry_k^{(n)} = \sum_j r_{jk} \phi(\|x - u_j\|, \sigma_j) \quad (1.71)$$

ve $\phi(\cdot)$ Gauss fonksiyonu denklem 1.72'de gösterildiği gibidir.

$$\phi(\|x - u_j\|, \sigma_j) = \exp\left(-\frac{\|x - u_j\|^2}{2\sigma_j^2}\right) \quad (1.72)$$

Burada, r_{jk} ; gizli ve çıktı katmanları arasındaki ağırlıklar, j ; gizli katmandaki nöron sayısı, $\phi(\cdot)$; gizli katmandaki j 'ninci birimin radyal tabanlı aktivasyon fonksiyonu (bu çalışma için gauss fonksiyonu), x ; ağırlık girdi verisi, u_j ; j 'ninci radyal tabanlı fonksiyonun merkezini, σ_j ; bu fonksiyonun standart sapmasını ve $\|\cdot\|$; girdi verisinin merkezden öklid uzaklığını temsil etmektedir.

RBFNN'un eğitimi tıpkı MLP de olduğu gibi danişmalı biçimde gerçekleştiğinden dolayı yapı fonksiyonu olarak denklem 1.62'deki yapı aynen kullanılabilir [122, 123]. Bu durumda RBFNN'nin hata fonksiyonu Denklem 1.73'te gösterildiği gibi olur.

$$E_r = \frac{1}{2} \sum_n \sum_k \left(Dy_k^{(n)} - Ry_k^{(n)} \right)^2 \quad (1.73)$$

Bu çalışmada E_r hata fonksiyonunun minimizasyonu ise dik iniş (gradient descent) yaklaşımı ile gerçekleştirilmiştir [124, 125].

1.4.1.3. Kantil Regresyonlu Yapay Sinir Ağları (QRNN)

Kantiller (Quantiles) bir veri setini eşit kısımlara ayıran değerlerdir [126]. Alternatif regression modellerinden biri olan kantil regresyon modeli normal dağılımın bozulduğu durumlarda kullanılan bir hesaplama yöntemidir [127]. Bu metodun doğrusal regresyon modelinden en önemli farkı, farklı kantiller (örneğin medyan) için bağımlı değişkenin bağımsız değişkene göre koşullu dağılımının tümü hakkında bilgi vermesidir [128]. Ayrıca varyans değeri anlık değişen durumlar için doğrusal regresyon modeline göre daha uygun regresyon eğrileri oluşturulabilir. Çünkü kantil regresyon modelinde oluşturulan regresyon eğrileri ağırlıklı ortalama noktalarından değil kantillerden geçer, bu durum tahmin problemlerinin çözümünde oldukça önemlidir. t zamanında şartlı τ kantili için oluşturulan kantil regresyonu hata fonksiyonunun (E_τ) genel yapısı denklem 1.74' te gösterilidiği gibidir [129].

$$E_\tau = \frac{1}{N} \sum_t \rho_\tau \left(y(t) - Y_\tau^*(t) \right) \quad (1.74)$$

$Y_\tau^*(t)$ tahmin değeri denklem 1.75' de gösterildiği gibidir.

$$Y_\tau^*(t) = \sum_i m_i x_i(t) + n \quad (1.75)$$

Burada $y(t)$; ölçülen gerçek değer, $Y_\tau^*(t)$; kantil regresyon tahmini, m_i ; fonksiyonun eğimi, n ; fonksiyonun y-eksininde kestiği nokta, $x_i(t)$ ($i = 1, 2, 3, \dots, \ell$); bağımsız tahmin edici, N ; veri sayısı ve $\rho(\cdot)$ kontrol fonksiyonudur. Bu fonksiyon denklem 1.76'da olduğu gibi tanımlanır [128].

$$\rho_\tau(z) = \begin{cases} \tau z & , z \geq 0 \text{ ve } \tau \in (0, 1) \\ (\tau - 1)z & , z < 0 \text{ ve } \tau \in (0, 1) \end{cases} \quad (1.76)$$

Buna göre denklem 1.74, denklem 1.75 ve denklem 1.76 birlikte değerlendirildiğinde, lineer kantil regresyonu için mutlak hatanın minimizasyonu denklem 1.77'de gösterildiği gibi olur [127, 130];

$$\text{Min} \left(\underbrace{\sum_t \tau |y(t) - Y_\tau^*(t)|}_{y(t) \geq Y_\tau^*(t)} + \underbrace{\sum_t (1 - \tau) |y(t) - Y_\tau^*(t)|}_{y(t) < Y_\tau^*(t)} \right) \quad (1.77)$$

Şekil 1.7d'de QRNN'nin genel mimarisi görülmektedir. Burada i 'nci giriş düğümüne gelen n 'inci $Qx_i^{(n)}$ verisi, gizli katmanın j düğümüne q_{ij} ağırlığı ile aktarılır. Burada b_j eşik değerlerinin eklenmesi ve $\Upsilon(\cdot)$ hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonunun uygulanması ile $qy_j^{(n)}$ gizli katman çıktısı elde edilir (denklem 1.78).

$$qy_j^{(n)} = \Upsilon \left(\sum_i Qx_i^{(n)} q_{ij} + b_j \right) \quad (1.78)$$

Daha sonra elde edilen bu değer çıktı katmanının k 'nci düğümüne q_{jk} ağırlığı ile iletilir. Sonuç olarak, b_k eşik değerinin eklenmesi ve $\Omega(\cdot)$ aktivasyon fonksiyonu ile ağırlık τ kantil regresyon tahmini olan $Qy_k^{(n)}$ değeri denklem 1.79'da gösterildiği gibi hesaplanır.

$$Qy_k^{(n)} = \Omega \left(\sum_j qy_j^{(n)} q_{jk} + b_k \right) \quad (1.79)$$

Burada, $\Omega(\cdot)$ aktivasyon fonksiyonunun seçimi sansürlenmiş regresyon kantillerinin tahmin edilip edilememesine göre belirlenir [129]. İstatistiksel olarak sansürlenmişlik, ölçülen gerçek değerlere karşılık, tahmin edilen değerlerin bazılarının elde edilememesi durumudur. Eğer ε bir sansürleme noktası olarak değerlendirildiğinde, denklem 1.76 göz önüne alınırsa $\Omega(\cdot)$ aktivasyon fonksiyonunun denklem 1.80' de görüldüğü gibi bir rampa fonksi-

yon özelliği taşıdığı belirlenebilir.

$$\Omega(a) = \begin{cases} a & , a \geq \varepsilon \text{ ve } a \in (0, 1) \\ \varepsilon & , a < \varepsilon \text{ ve } a \in (0, 1) \end{cases} \quad (1.80)$$

Denklem 1.77' deki lineer quantile fonksiyonu yerine Şekil 1.7d'de gösterilen QRNN model sonucu yerleştirildiğinde ve denklem 1.78 ve denklem 1.79, denklem 1.76 ile beraber düşünüldüğünde, minimizasyon problemi denklem 1.81'de gösterildiği gibi olmaktadır [127, 130].

$$\text{Min} \left(\underbrace{\sum_t \tau |Dy_k^{(n)} - Qy_k^{(n)}|}_{Dy_k^{(n)} \geq Qy_k^{(n)}} + \underbrace{\sum_t (1 - \tau) |Dy_k^{(n)} - Qy_k^{(n)}|}_{y(t) < Qy_k^{(n)}} + \lambda_1 \sum_j q_{ij}^2 + \lambda_2 \sum_k q_{jk}^2 \right) \quad (1.81)$$

Burada, τ kantil sayısı, λ_1 ve λ_2 yapay sinir ağının ezberlemesini engellemek için gizli tabakadaki birimlerin çapraz doğrulaması ile elde edilen düzenleştirici parametreleridir [115, 130].

1.4.2. Geri Beslemeli Yapay Sinir Ağları

Geri beslemeli yapay sinir ağları gizli veya çıktı katmanından elde ettikleri sonuçları geriye tekrar girdi olarak kullanan ve istenilen çıktılar elde edilene kadar ağ yapısını değiştirebilme yeteneğine sahip ağlardır [131]. Yapılarına göre tam ve kısmi geri dönüşümlü ağlar olarak ikiye ayrılırlar [132]. Tam geri dönüşümlü ağlarda girdi ve çıktı elemanları aynıdır dolayısıyla bu tür ağlar danışmansız öğrenme yöntemi sınıfındadırlar. Kısmi geri dönüşümlü ağlarda ise giriş, gizli ve çıktı katmanlarına ek olarak, bir önceki ağırlık aktivasyon sonuçlarını hafızada saklayan, içerik elemanı bulunur. Bu eleman sabit ağırlıklarda, bir adım gecikme ile gizli veya çıktı katmanından elde edilen aktivasyon sonucunu girdi kısmına iletir. Böylelikle girdi kısmının verileri hem bir önceki sonuçlarından hem de yeni girdi verilerinden oluşur. Bu ağlar danışmalı öğrenme grubunda olup bu çalışmada kullanılmıştır. Şekil 1.7e'de bu yapıya sahip geri dönüşümlü yapay sinir ağlarının en genel mimarisi verilmiştir. Bu tür ağlar Jordan ve Elman ağları olarak iki grupta incelenirler [133].

1.4.2.1. Jordan Ağları

Geri dönüşümlü ağların ilk örneklerinden olan Jordan ağında [134], içerik (hafıza) elemanına gelen aktivite değerlerinin kaynağı çıktı katmanıdır. Bu ağlar kısım 1.4.1.1' de anlatılan geri yayımlı öğrenme algoritmasını kullanırlar. Ancak MLP'den farklı olarak içerik elemanı yardımı ile çıktı katmanından elde edilen aktivasyon sonucunu girdi kısmına iletirler. Böylelikle bir adım önceki aktivasyon sonucu ile yeni girdi değerleri ağın girdi katmanının yeni elemanları olmuş olur. Şekil 1.7f Jordan ağının genel yapısını göstermektedir. Burada, $Jy_k(t)$; t 'nci iterasyon sonunda çıktı katmanındaki k 'ncü elemanın aktivasyon sonucu, $Jx_i(t)$; t 'nci iterasyonda girdi katmanındaki i 'ncü elemanın girdi değeri, $JC_k(t)$; t 'nci iterasyon sonunda çıktı katmanının k 'ncü nöronundan içerik elemanına iletilen çıktı sonuçları ve $JC_j(t - 1)$; içerik katmanından gizli katmanın j 'ncü elemanına iletilen $t - 1$ 'inci iterasyonda gizli katman çıktıları göstermektedir. Ayrıca ω_{ij} ve ω_{jk} sırasıyla girdi katmanı ile gizli katman arasındaki ağırlıklar ve gizli katman ile çıktı katmanı arasındaki ağırlıklardır. Benzer şekilde, ω_{kc} çıktı katmanı ile içerik katmanı arasındaki geri dönen ağırlıkları (bu ağırlıklar sabit olup değerleri 1'e eşittir) ve ω_{cj} içerik katmanı ile gizli katman arasındaki bağlantı ağırlıklarını temsil etmektedir. Buna göre Jordan ağının çıktı sonucu denklem 1.82'de verilmiştir.

$$Jy_k(t) = F \left(\alpha_k + \sum_k \omega_{jk} \Upsilon \left(\alpha_j + \sum_j \omega_{ij} Jx_i(t) + \sum_j \omega_{cj} JC_j(t - 1) \right) \right) \quad (1.82)$$

Burada α_k ve α_j sırasıyla çıktı ve gizli katmanların eşik (bias) terimlerini temsil etmektedir.

1.4.2.2. Elman Ağları

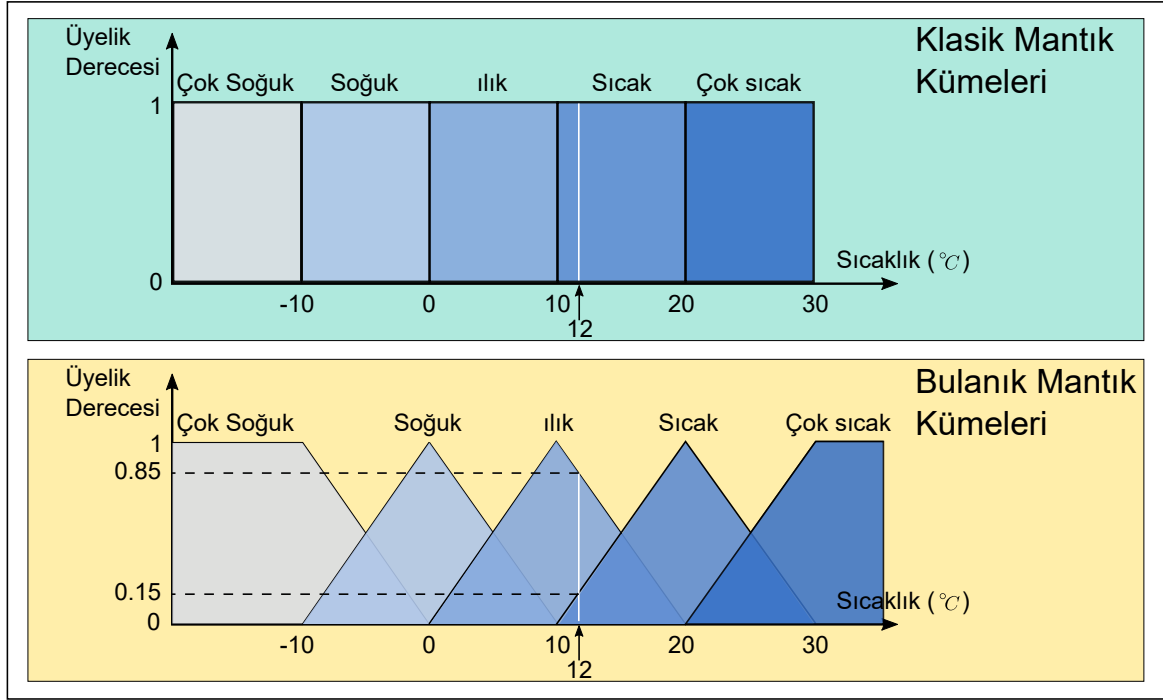
Elman ağları [135] tıpkı Jordan ağları gibi bir içerik elemanı kullanan ve bu eleman yardımı ile önceki iterasyon sonuçlarını hatırlayıp bu sonuçları ağa bir girdi olarak sunabilen geri dönüşümlü bir yapay sinir ağı yapısıdır. Jordan ağından temel farkı, içerik elemanına gizli katmandan çıktı sonuçlarının gelmesidir. Şekil 1.7g'de Elman ağının genel yapısı gösterilmektedir. Burada $Ey_k(t)$; t 'nci iterasyon sonunda çıktı katmanındaki k 'ncü elemanın aktivasyon sonucu, $Ex_i(t)$; t 'nci iterasyonda girdi katmanındaki i 'ncü elemanın girdi değeri, $EC_j(t)$ ve $EC_j(t - 1)$ sırasıyla, t 'nci iterasyonda gizli katmanının j 'ncü nöro-

nundan içerik elemanına iletilen çıktı ve $t - 1$ 'inci iterasyonda içerik elemanından gizli katmanın j 'ninci nöronuna aktarılan girdiyi göstermektedir. Ayrıca μ_{ij} ; girdi katmanı ile gizli katman arasındaki ağırlıkları, μ_{jk} ; gizli katman ile çıktı katmanı arasındaki ağırlıkları temsil etmektedir. Benzer şekilde, μ_{jc} gizli katman ile içerik katmanı arasındaki geri dönüşüm ağırlıkları (bu ağırlıklar sabit olup değerleri 1'e eşittir) ve μ_{cj} içerik katmanı ile gizli katman arasındaki bağlantı ağırlıklarını göstermektedir. Ayrıca β_k ve β_j sırasıyla çıktı ve gizli katmanların eşik terimlerini temsil etmektedir. Buna göre Elman ağının çıktı sonucu denklem 1.83'de verilmiştir.

$$Ey_k(t) = F\left(\beta_k + \sum_k \mu_{jk} \Upsilon\left(\beta_j + \sum_j \mu_{ij} Ex_i(t) + \sum_j \mu_{cj} EC_j(t-1)\right)\right) \quad (1.83)$$

1.5. Bulanık Mantık Yaklaşımları

Bulanıklık bir araştırmacının incelediği konunun tam kesinlikte bilinmemesi durumunda sahip olduğu belirsiz bilgilerin tümüdür [136]. Bu anlamı ile düşünüldüğünde bulanık bir kümenin gerçek dünyanın matematiksel olarak modellenmesinde oldukça başarılı olduğu belirlenebilir. Çünkü klasik mantıkta olduğu gibi varlık-yokluk, sıcak-soğuk, uzun-kısa, büyük küçük vb. gibi "1" (o kümenin elemanı) ve "0" (o kümenin elemanı değil) biçimli bir sınıflama gerçek dünyayı tam olarak yansıtmamaktadır. Gerçek dünya düzeni sadece "1" ve "0" dan oluşmuş bir kümeleme düzeninde değil aynı zamanda bu değerlerin ara değerlerindeki içeren bir kümeleme ile tanımlanır. Örneğin gerçek dünyada *soğuk-sıcak* ilişkisi, *çok soğuk, soğuk, ılık, sıcak, çok sıcak* gibi ısının farklı derecelerine sahip bir sıralama biçiminde sunulur. Bu kümelerin hiç birinin tam sınırları bilinmese de tecrübelerle dayanılarak bu kümelerin nerede başlayıp nerede sonlanacağı belirlenebilir. Bu sınırlar bazen birbirleri içinde kesişim fonksiyonları biçiminde bulunabilir. Bu durumda o bu kesişim kümesinin elemanı olan bir değer, üyelik derecesine göre her iki kümeden de etkilenebilir. Şekil 1.8'de klasik küme ve bulanık kümelerin genel yapısı gösterilmiştir. Burada klasik mantık ile oluşturulan bir kümenin belirli keskin sınırları olduğu görülmektedir. Bu sınırlar dahilinde bir kümenin elemanı olan değer, sınırın aşımında hemen komşu kümenin elemanı olabilir. Ancak bulanık mantık ile oluşturulan bir kümede ise bu sınırlar keskin değildir. Bir değer her iki farklı üyelik derecelerinde her iki kümenin elemanıdır. Buna göre Şekil 1.8'de 12°C klasik mantıkta sadece sıcak kümesinin elemanı iken, bulanık mantıkta hem sıcak (%15 oranında) kümesinin hem



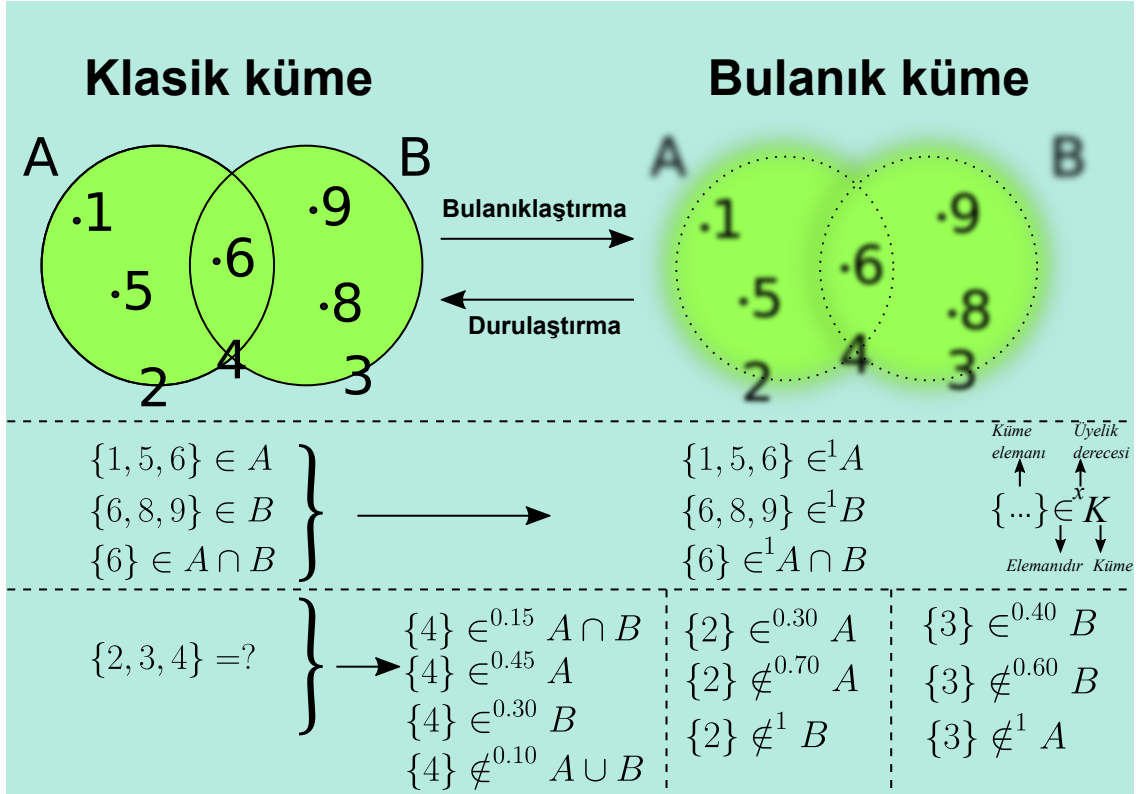
Şekil 1.8. Klasik ve bulanık mantık kümelerinin karşılaştırılması [136]

de ılık (%85 oranında) kümesinin elemanı olacaktır.

Bulanık mantık ve bulanık küme kavramları ilk olarak 1965 yılında California Üniversitesinden Azeri asıllı bilim adamı Lüftü A. Zadeh [137] tarafından ortaya atılmıştır.

1.5.1. Bulanık Kümeler ve Üyelik Fonksiyonları

Küme, nesnelerin özelliklerini iyi bir şekilde tanımlamak için oluşturulan listelerin bütünüdür. Kümeyi oluşturan tüm nesneler o kümenin elemanlarıdır. Klasik olarak her bir küme elemanı o kümeyle tamamen ait olup küme içinde bir üyelik derecesi ile sınıflanmaz. Bulanık küme, kümeyle ait elemanlarının üyelik değerleri ile tanımlanmış olan kümeyle ifade eder. Bu üyelik değerleri küme elemanının o kümeyle aitlik derecelerini temsil eder. Şekil 1.9' da hem sınırları kesin belirlenmiş klasik bir küme hem de sınırları bulanıklaştırılmış bir bulanık küme görülmektedir. Klasik kümede belirli elemanların kümeyle ait olup olmadıkları çok kolay bir şekilde belirlenebilir [138]. Örneğin; Şekil 1.9'da klasik küme için $\{1, 5, 6\} \in A$, $\{6, 8, 9\} \in B$ ve $6 \in A \cap B$ yazılabilirken, $\{2, 3, 4\}$ sayılarının kümelerin elemanı olup olmadığını belirlemek imkansızdır. Ancak klasik küme bulanıklaştırılıp keskin sınırları ortadan kaldırılırsa, $\{2, 3, 4\}$ elemanlarının belirli derecelerde kümelerin elemanı oldukları gösterilebilir. Örneğin $\{4\}$ küme elemanı belirli derecelerde hem A 'nın hem B 'nin



Şekil 1.9. Klasik ve bulanık kümeleme sistemi

elemanıdır. Ayrıca yine belirli derecelerde hem $A \cap B$ elemanı hem de $A \cup B$ 'nin elemanı değildir. Bu üyelik derecelendirmelerinin toplamı her zaman 1'dir. Şekil 1.9'da gösterilen bulanık küme işlemlerinde "elemanıdır (\in)" sembolünün üstündeki indis o elemanın kümedeki aitlik miktarını bildiren üyelik derecesidir.

Bulanık bir kümede üyelik dereceleri üyelik fonksiyonları ile belirlenir. Şekil 1.10 'da literatürde en fazla kullanılan üyelik fonksiyonları gösterilmektedir. Bunlar; üçgen üyelik fonksiyonları, yamuk üyelik fonksiyonları, ihtimaliyet yoğunluk fonksiyonları ve Gauss (çan eğrisi) fonksiyonudur [136].

Üçgen Üyelik Fonksiyonu; En basit ve yoğun kullanılan üyelik fonksiyonudur. Bu üyelik fonksiyonu üç parametre ile tanımlanabilir. Denklem 1.84'de üçgen üyelik fonksiyonu için matematiksel bağlantı verilmektedir.

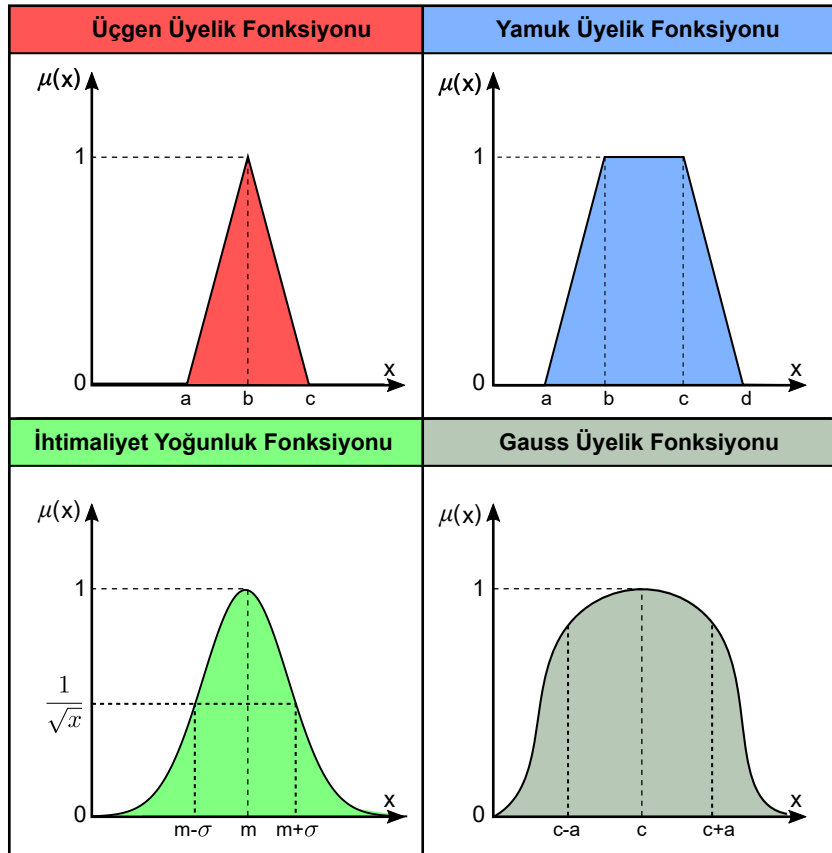
$$\mu(x, a, b, c) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x \leq c \\ 0, & c \leq x \end{cases} \quad (1.84)$$

Yamuk Üyelik Fonksiyonu; Bu üyelik fonksiyonu dört parametre ile tanımlanabilir. Denklem 1.85'de yamuk üyelik fonksiyonu için matematiksel bağlantı verilmektedir

$$\mu(x, a, b, c, d) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 1, & b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c}, & c \leq x \leq d \\ 0, & d \leq x \end{cases} \quad (1.85)$$

İhtimaliyet Yoğunluk Fonksiyonları; Bu üyelik fonksiyonu σ standart sapma ve m ortalama olmak üzere iki parametre ile tanımlanabilir. Denklem 1.86'da Gauss eğrisi esaslı ihtimaliyet yoğunluk fonksiyonu için matematiksel bağlantı verilmektedir.

$$\mu(x, x, \sigma) = \exp\left(-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (1.86)$$



Şekil 1.10. Bulanık kümelerde en çok kullanılan üyelik fonksiyonları

Gauss (Çan Biçimli) Fonksiyonu; Bu fonksiyon üç parametre ile tanımlanabilir. Denklem 1.87’de bu fonksiyon için matematiksel bağlantı verilmektedir.

$$\mu(x, a, b, c) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x - c}{a} \right|^{2b}} \quad (1.87)$$

1.5.2. Bulanık Mantık Modellemesi

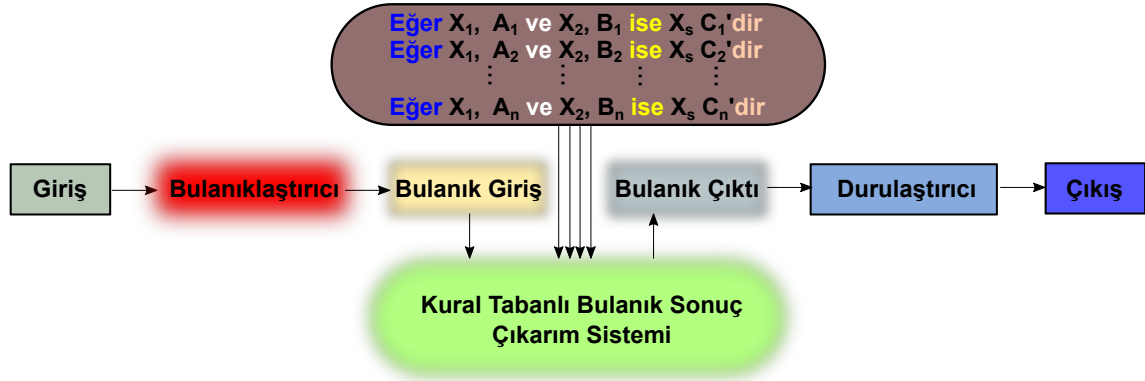
Bulanık mantık ile modelleme gerçekleştirmek için öncelikle dış dünyadan alınan bilgilerin bulanıklaştırılması gerekir. Ardından bulanık kümelerle ifade edilen girdi verileri, bulanık kural tabanı ile değerlendirilir. Bulanık çıkarım işlemi sonucunda belirlenen bulanık çıktılar durulaştırılır ve bir sonuca varılır [139]. Bu yapılan süreç bulanık mantık modellemesinin temel aşamaları olup Şekil 1.11’de gösterilmiştir.

1.5.2.1. Bulanıklaştırma Birimi

Bu aşamada bulanık model oluşturmak için girdi ve çıktı verileri her biri sözel ifadelerden oluşan bulanık kümelerle dönüştürülür. Yani tüm sayısal değerler belirli özelliklerde oluşturulan sözel bulanık kümelerin elemanları olarak yazılır. Bu duruma örnek olarak; 1’den, 30’a kadar olan sayıların küçükten büyüğe doğru 10’arlı gruplar halinde A,B ve C kümeleri oluşturmaları düşünülebilir. Bulanıklaştırma işleminde girdi ve çıktı bulanık kümelerinin sınırları iyi derecede tanımlayıcı olmalıdır. Ayrıca oluşturulan bulanık kümelerin herbirinin normal ve dışbükey olarak bir geometrik şekilleri (Üçgen, Yamuk, Gauss, vb.) olmalıdır. Bu geometrik şekle göre modelin performansıda değişektir. Bulanıklaştırma işleminde oluşturulan, bulanık küme sayılarında bir sınır bulunmamasına karşın, her bir değişken için en az 3 bulanık küme tanımlanması önerilmektedir [139]. Bulanıklaştırma işleminin sonunda girdi değerleri bulanık girdilere dönüştürülür ve kural tabanlı bulanık sonuç çıkarma birimine aktarılır.

1.5.2.2. Bulanık Mantıkta Kural Tabanı

Bulanık modeller, değişkenler arasındaki ilişkileri belirlenen kurallar yardımıyla tanımlayan sistemlerdir. Bu kurallar ”Eğer... ise” mantıksal ilişkisi yapısında olup tecrübeler veya uzman görüşüne dayanmaktadırlar. Bulanık kuralların genel yapısı ”sebe-sonuç”



Şekil 1.11. Bulanık mantık modellemesinin temel aşamaları

ilişikisine dayanır. Şekil 1.11'deki kural tabanları değerlendirildiğinde, burada X_1 ve X_2 girdi verilerine karşılık X_s çıktısı elde edilmektedir. (A_1, A_2, \dots, A_n) ifadeleri X_1 değişkeni için oluşturulan bulanık kümeleri temsil eden sözel ifadelerdir. Aynı şekilde (B_1, B_2, \dots, B_n) ve (C_1, C_2, \dots, C_n) ifadeleri sırasıyla X_2 girdisinin ve X_s çıktısının bulanık kümelerini temsil eden sözel ifadelerdir. Kural sayısı değişkenlerin sayısının artmasına bağlı olarak artabilir. Bir bulanık modellemede ne kadar çok kural oluşturulursa, bulanık çıkarımda o kadar çok kural tetikleneceği için tahmin performansı artar. Burada tetiklenen kuralların değerlendirilmesinde mantıksal operatörler kullanılır. Litaratürde yaygın olarak kullanılan mantıksal operatörler aşağıda tanımlandığı gibidir [140].

$$\text{Birleşim ; (VEYA)} \quad \implies A \cup B = \text{Maks}(\mu_A, \mu_B)$$

$$\text{Kesişim ; (VE)} \quad \implies A \cap B = \text{Min}(\mu_A, \mu_B)$$

$$\text{Tersi ; (DEĞİL)} \quad \implies 1 - A = (1, -\mu_A)$$

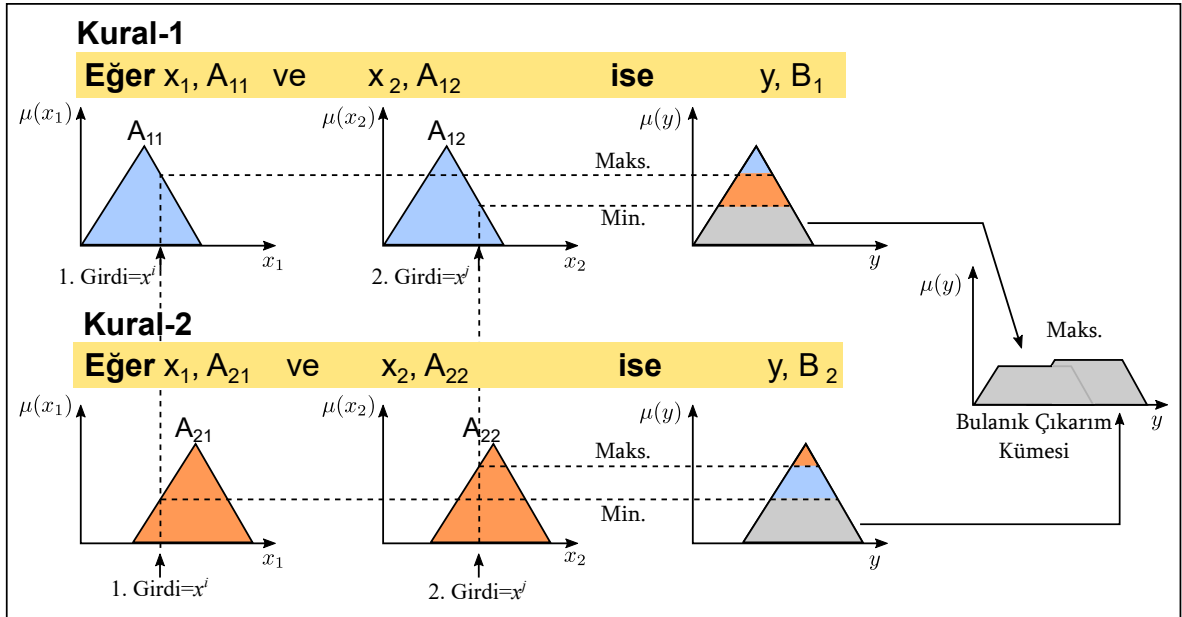
1.5.2.3. Bulanık Sonuç Çıkarma Birimi

Bu sistem belirlenen kuralların yardımı ile bulanık bir sonuç kümesi tanımlayan birimlerdir. Bu birimler modelleme yaparken matematiksel denklemler yerine bulanık kümeleri ve kural tabanını kullanırlar [136]. Bulanık çıkarım sistemini uzman bir kişiye danışarak onun fikirlerini almak şeklinde yorumlayabiliriz. Uzman kişilerde zihninde oluşturacağı bir kural tabanlı çıkarım ile problemler karşısında en uygun tahmini yapabilirler. Bulanık mantıksal çıkarım, gözlenmiş veya ölçülmüş değerlerin yardımı ile oluşturulan kurallar ile bilinmeyen veya ölçülmemiş benzer değerler için sonuç çıkaran sistemlerdir.

Bulanık mantık modellemelerinin temelleri kural tabanlı bulanık sonuç çıkarım sistemine dayanır. Literatürde en çok kullanılan bulanık sonuç çıkarma sistemi, Mamdani'nin [141] önerdiği sistemdir [138]. Mamdani bulanık girdi kümelerinin bir kural tabanı ile yine bulanık olan çıktı kümelerine bağlanmasını sağlamıştır [136]. Mamdani yapısında, oluşturulan kuralların yardımı ile girdi verilerinin, bulanık kümeler için üyelik dereceleri ayrı ayrı tespit edilir. Daha sonra tetiklenen her kural için çıktı bulanık kümesinin minimumu (kesişimi) belirlenir (denklem 1.88). Son aşamada tetiklenen her bir kural için oluşturulan çıktı bulanık kümelerinin maksimumu (birleşimi) ile çıktı bulanık kümesi oluşturulur. Literatürde bu yöntem minimumların maksimumu (*min-maks*) yöntemi denir ve kural tabanı denklem 1.88'de verilen bulanık kümeler için Mamdani çıkarım sonucu denklem 1.89'da olduğu gibi verilir [138]. Şekil 1.12'de *min-max* bulanık çıkarım yöntemi ve bulanık çıkarım kümesinin elde edilişi gösterilmiştir.

$$\left\| \begin{array}{l} \text{EĞER } x_1, A_{11} \text{ ve } x_2, A_{12} \text{ İSE } y, B_1 \text{ 'dir} \\ \text{EĞER } x_1, A_{21} \text{ ve } x_2, A_{22} \text{ İSE } y, B_2 \text{ 'dir} \end{array} \right\| \quad (1.88)$$

$$\mu_B(y) = \text{Maks} \left[\text{Min} [\mu_{A_{11}}(x^i), \mu_{A_{12}}(x^j)], \text{Min} [\mu_{A_{21}}(x^i), \mu_{A_{22}}(x^j)] \right] \quad (1.89)$$



Şekil 1.12. Mamdani çıkarım yöntemi ile bulanık kümenin elde edilişi

1.5.2.4. Durulaştırma Birimi

Bulanık çıkarım sonunda elde edilen sonuç bulanık küme yapısında olup bu sonucu tek bir sayı biçiminde gösterilmesi gereklidir. İşte bulanık haldeki bu sonucu anlamlı bir sayıya dönüştürme işine durulaştırma denir. Bulanık kümeleri durulaştırmak için pek çok yöntem olmasına karşın literatürde en çok kullanılan yöntemler; ağırlık merkezi yöntemi, ağırlıklı ortalama yöntemi, en büyük üyelik ilkesi ve ortalama en büyük üyelik merkezi olarak sıralanabilir [136].

Ağırlık Merkezi Yöntemi : En yaygın olarak kullanılan durulaştırma yöntemidir (Şekil 1.13a). Üyelik derecesi μ_i olmak üzere; yöntemin matematiksel ifadesi denklem 1.90'da gösterilmiştir.

$$z^* = \frac{\int \mu_i(z) \times z \times dz}{\int \mu_i(z) \times dz} \quad (1.90)$$

Ağırlıklı Ortalama Yöntemi : Bu yöntem sadece simetrik (Geometrik şekil bakımından birbirine benzer) üyelik fonksiyonuna sahip bulanık çıktılar için kullanılır (Şekil 1.13b).Yöntemin matematiksel ifadesi denklem 1.91'de gösterilmiştir.

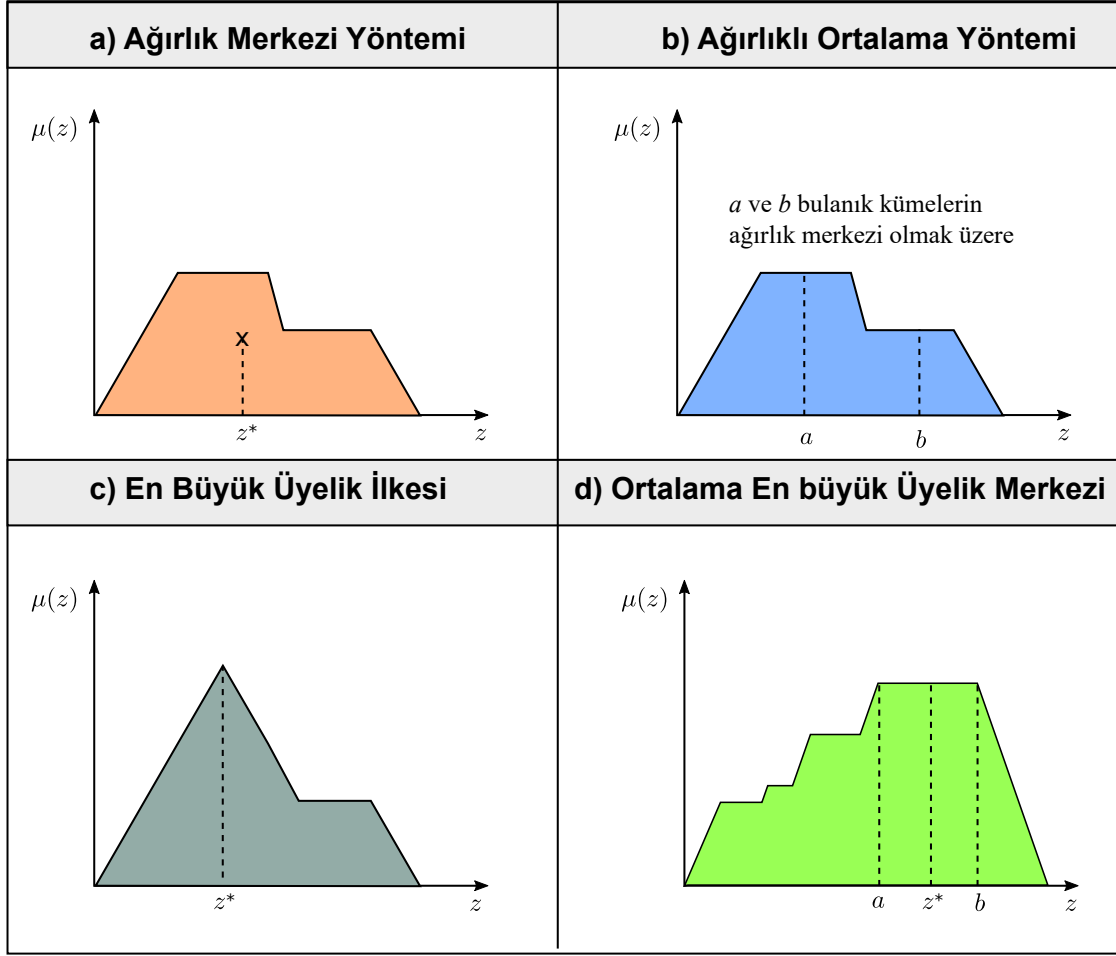
$$z^* = \frac{\sum \mu_i(\bar{z}) \times \bar{z}}{\sum \mu_i(\bar{z})} \quad (1.91)$$

En Büyük Üyelik İlkesi : Yükseklik yöntemi olarak da bilinen bu yöntemin uygulanabilmesi için tepeli yapıya sahip bir bulanık çıktı kümesinin olması gerekmektedir (Şekil 1.13c).Yöntemin matematiksel ifadesi denklem 1.92'de gösterilmiştir.

$$\mu_i(z^*) \geq \mu_i(z) \quad (1.92)$$

Ortalama En Büyük Üyelik Merkezi: En büyüklerin ortalaması olarak da adlandırılan bu yöntemde birden fazla maksimum üyelik fonksiyonuna sahip bulanık kümelerin ortalaması alınır (Şekil 1.13d). Yöntemin matematiksel ifadesi denklem 1.93'de gösterilmiştir.

$$z^* = \frac{a + b}{2} \quad (1.93)$$



Şekil 1.13. Durulaştırma yöntemleri [138]

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR VE TARTIŞMA

2.1. Deneysel Kısım

Bu kısımda Artvin İlinin çevresel radyoaktivitesinin ara değer modellemesi ve haritalandırılması için gerekli deneysel bulguların nasıl belirlendiği anlatılmaktadır.

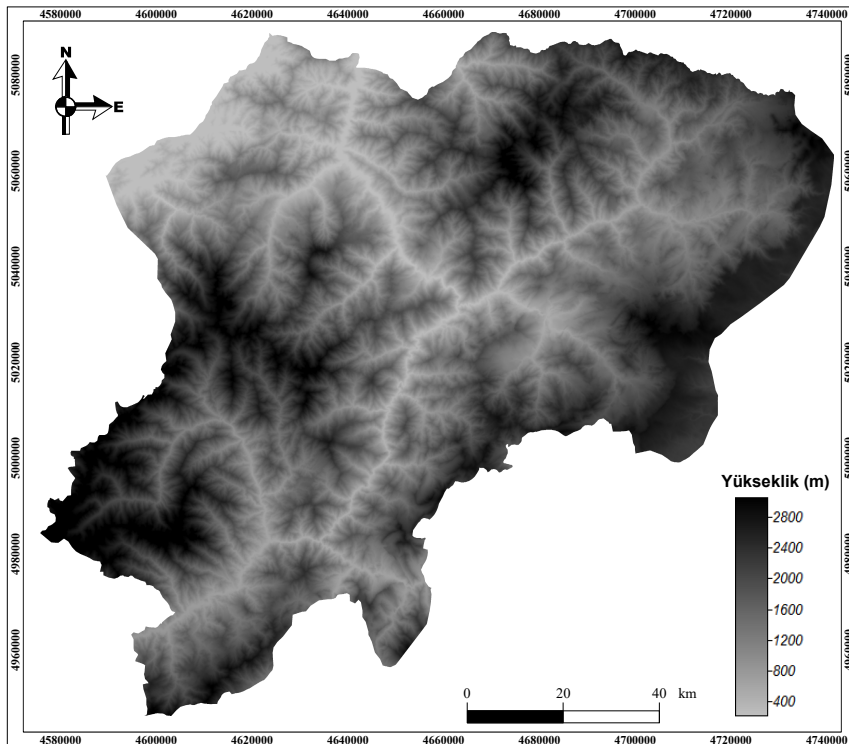
2.1.1. Çalışma Alanının Coğrafik ve Jeolojik Yapısı

Çalışma alanı olarak seçilen Artvin, Doğu Karadeniz'in en doğusunda, $40^{\circ}36'$ - $41^{\circ}31'$ kuzey enlemleri, $41^{\circ}09'$ - $42^{\circ}35'$ doğu boylamları arasında yer almaktadır. Batıda Rize, doğuda Ardahan, güneyde Erzurum kuzeyde Karadeniz ve Gürcistan ile sınırı bulunmaktadır (Şekil 2.1). 7436 km^2 lik yüz ölçümü ile ülkenin yaklaşık %1 lik bir kısmını kaplar ve 2015 verilerine göre bölge nüfusu kırsalda 69011, şehirler de 99359 olmak üzere toplam 168370 dir [142]. Bölge Türkiye'nin en engebeli arazisine sahiptir. Artvin ili, 0–3300 metre arasında değişen yükseklikler ve yaylalar barındırmaktadır. Şekil 2.2'de Artvin'in sayısal yükseklik haritası görülmektedir [145]. Buradaki anlık yükselti değişiklikleri kozmik ışıklardan etkilene miktarlarını da değiştirir [143, 144]. Kuzey Anadolu sıra dağlarının en yüksek dağı olan Kaçkar dağları (3937 m) yörenin en yüksek zirvesini oluşturur. Bu dağların çevresinde sönmüş volkan kraterleri ve dik yamaçlar bulunmaktadır.

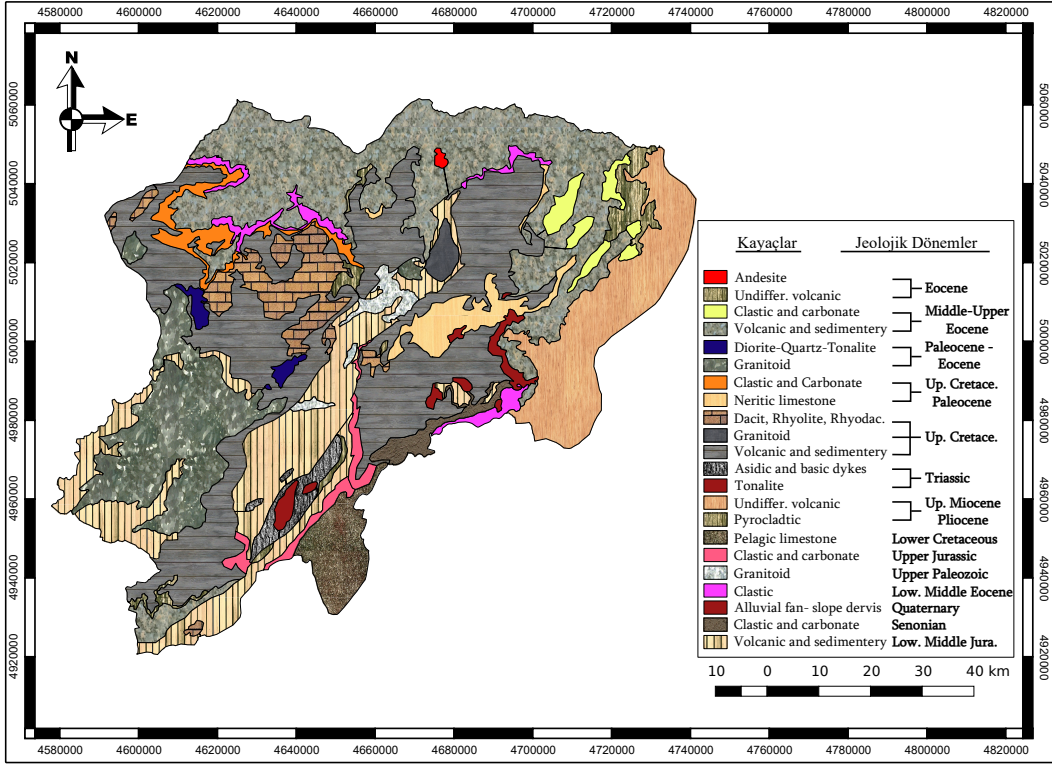
Bölgenin jeolojik özelliklerine bakıldığında Orta Üst Eosen (Middle- Upper Eocene) , Üst Kretasa (Upper Cretaceous) ve alt orta Jura (Lower middle Jurassic) volkanitleri ve sedimentleri (volcanic and sedimentary), Üst Kretasa (Upper Cretaceous) dasit riyolit riyodasitleri (dacite, rhyolite, rhyodacite), Pleosen-Eosen (Pleocene-Eocene) ve Üst Pleozoik (upper Pleozoic) Granitoidleri (Granitoid) kayalarının hakim olduğu görülmektedir [146]. Şekil 2.3'te de çalışma alanının jeolojik ve kayaç yapısı gösterilmektedir. Jeolojik yapı ile doğal radyasyon seviyeleri arasında yüksek bir ilişki mevcuttur [147, 148, 149]. Çevresel radyoaktivitenin %85'lik kısmının doğal kaynaklardan alındığı düşünüldüğünde, 0 – 30 cm derinlikteki kayaç yapılarının ve jeolojik etmenlerin önemi anlaşılabilir. Yüksek radyasyon seviyeleri özellikle granit, siyanit, gabro ve pirit gibi volkanik kökenli kayalarda görülür. Bu tür kayaç yapıları, yüksek sıcaklık ve basınç altında kristalleşmiş yapılar olup önemli miktarlarda ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K kaynaklarıdır [87].



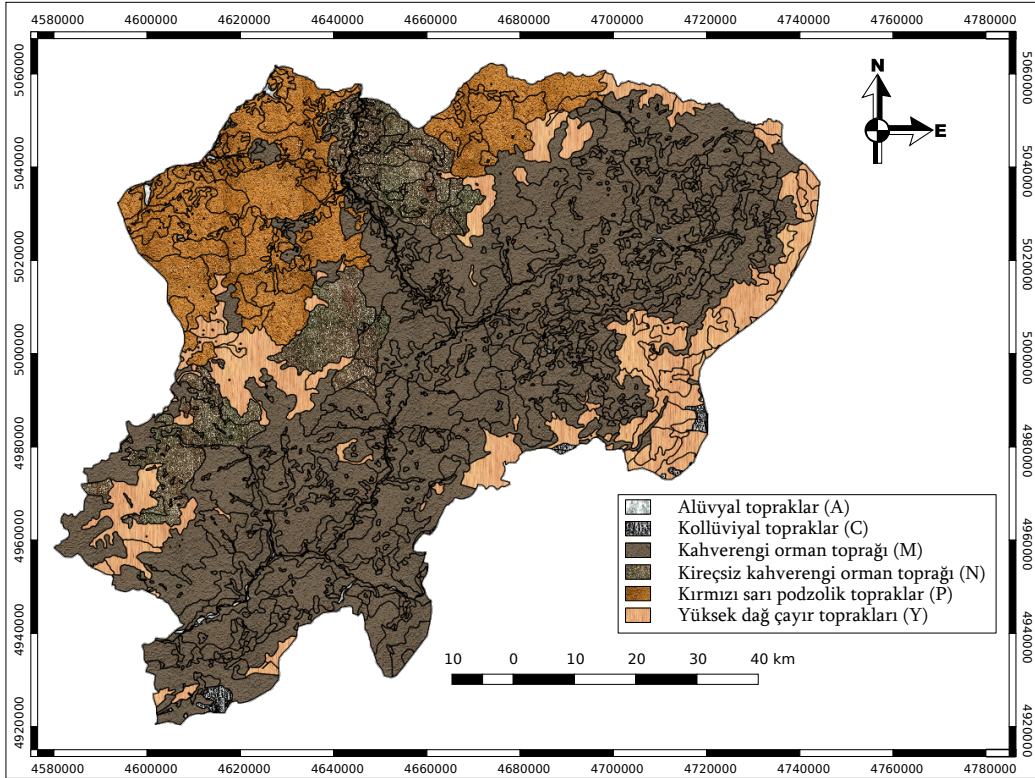
Şekil 2.1. Çalışma alanının coğrafi yapısı



Şekil 2.2. Artvin için sayısal yükseklik modeli ile belirlenmiş rakım haritası [145]



Şekil 2.3. Çalışma alanının jeolojik yapısı. MTA'nın 1:500000 lık Türkiye jeoloji haritasından modifiye edilmiştir [150]



Şekil 2.4. Artvin'in büyük toprak grupları haritası [153]

Artvin ilinde yayılan topraklar kırmızı-sarı podzolik topraklar (P) (%17), yüksek dağ çayır toprakları(Y) (%17), kireçsiz kahverengi orman toprağı (N) (%12), alüvyal (A) (%4), kollivial (C) (%2) ve kahverengi orman toprağı (M) (%48), olmak üzere altı grupta toplanmaktadır [151]. Artvinin büyük toprak grupları haritası Şekil 2.4'de gösterilmiştir. Bu toprak gruplarından kahverengi orman toprağı ve kireçsiz kahvrenği orman toprakları özellikle U-238 ve Th-232 kaynağı olarak yüksek radyasyon seviyelerine sebep olmaktadır [25]. Ayrıca Artvin'de organik madde ayrışması ve parçalanması yeteri ölçüde olmadığından, topraklar organik madde yönünden zengindir. Topraktaki organik madde ile radyoaktiflik seviyeleri arasında ise yüksek bir ilişki mevcuttur [152].

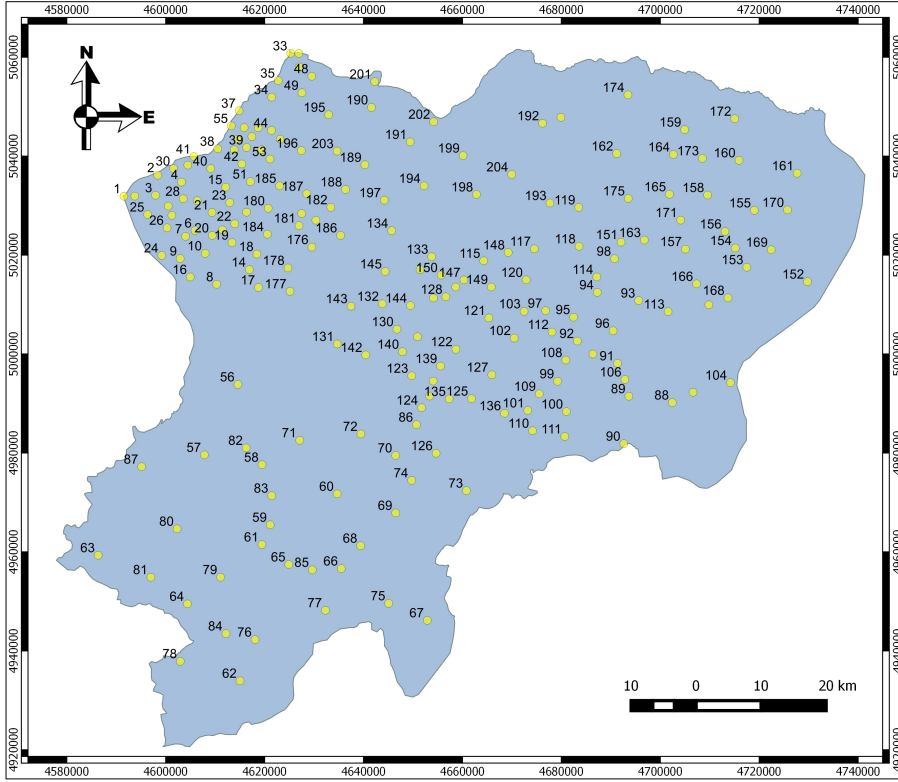
2.1.2. Numune Alınan Noktaların Belirlenmesi

Artvin ilinin genelinde, gama doz hızlarının belirlenmesi için havadan 204 adet, toplam alfa, toplam beta ve doğal-yapay radyonüklidlerin dağılımlarının belirlenmesi için su ve topraktan 117 adet örnek toplanmıştır. Şekil 2.5 ve 2.6'da sırasıyla gama doz hızı ölçüm istasyonları ve su-toprak örnekleri toplama istasyonları konumsal olarak gösterilmiştir. Toplanan tüm örnekler uygun şartlarda toplanmış, muhafaza edilmiş ve ölçüm için hazırlanmıştır. Çalışılan bölgenin genişliği dikkate alındığında toplanan numunelerin bölgenin tamamını temsil edecek büyüklükte olması, modelleme aşamasında tahmin edilen ara değerlerin hata oranını azaltacak temel etmenlerden biridir. Bu sebepten numuneler toplanırken bu durum göz önünde tutulmuş ve özellikle insanların daha çok bulunduğu yerleşim alanlarına yakın noktalardan örnekler toplanmıştır.

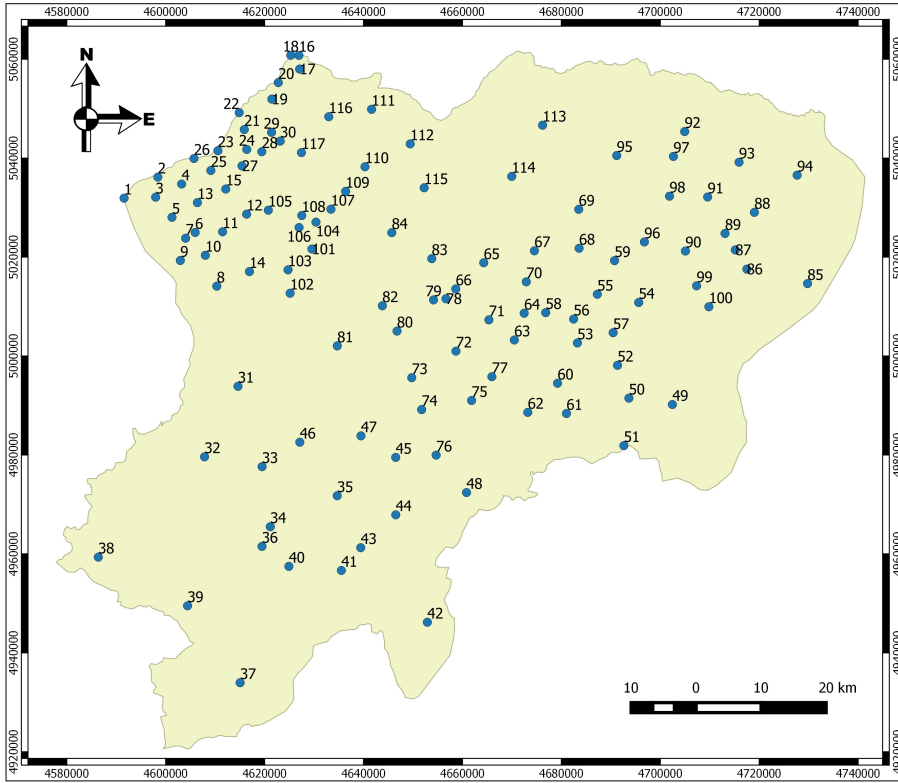
2.1.3. Toprak Örneklerinin Toplanması ve Analize Hazırlanması

Toprak örnekleri, işlenmemiş topraklardan seçilmesine özen gösterilerek 0 – 15 *cm* derinlikten kürek ve 30 *cm* çapında toprak alma aleti kullanılarak alınmıştır. Numunelerin alındığı istasyonların özellikle nüfusun yoğun olduğu yerleşim yerlerine yakın, kısmen düz, vadi eteklerinden uzak ve ekim alanı olmayan yerler olarak belirlenmesine dikkat edilmiştir.

Numunelerin toplanmasına 2014 Eylül ayında başlanmış ve yine aynı yılın kasım ayında bitirilmiştir. GPS cihazı ile koordinatları belirlenen, 117 ölçüm istasyonunun hepsinden, yaklaşık 3 *kg* olarak alınan toprak örnekler, temiz poşetlere konularak, istasyon isimleri ve koordinatları ile etiketlenip laboratuvara taşınmıştır. Burada kuru, nemsiz bir ortamda ve



Şekil 2.5. Gama doz hızı ölçümünün yapıldığı istasyonlar (204 adet)



Şekil 2.6. Toprak ve su örneklerinin toplandığı istasyonlar (117 adet)

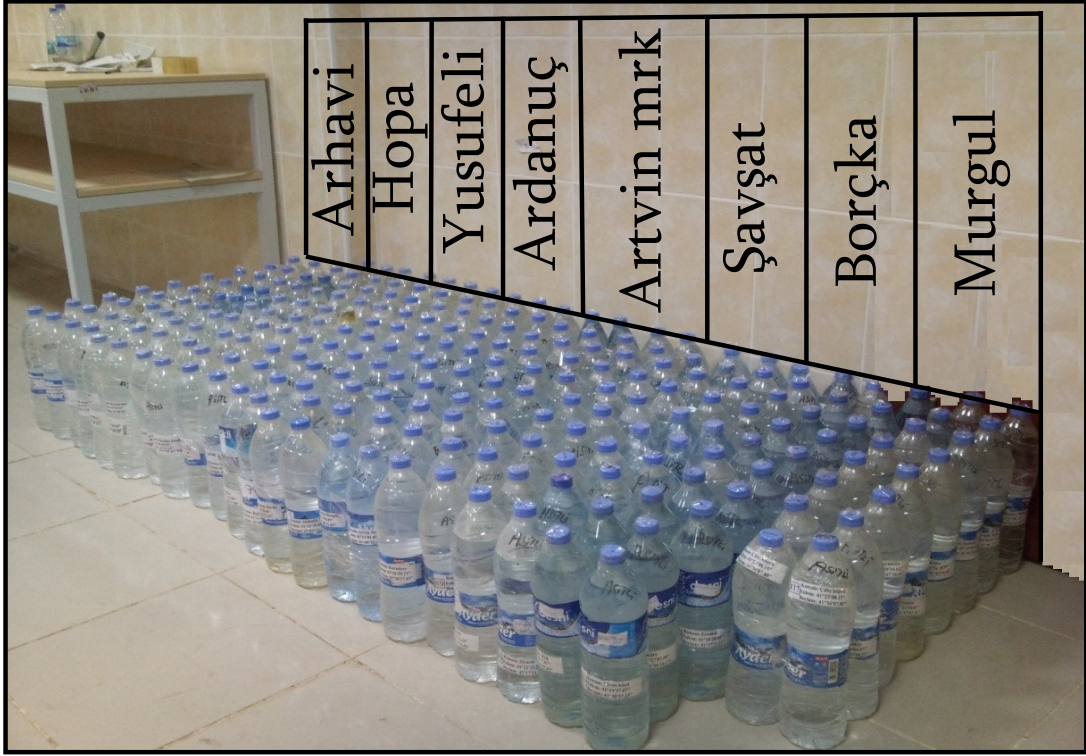


Şekil 2.7. Ölçüme hazır hale getirilmiş toprak numuneleri

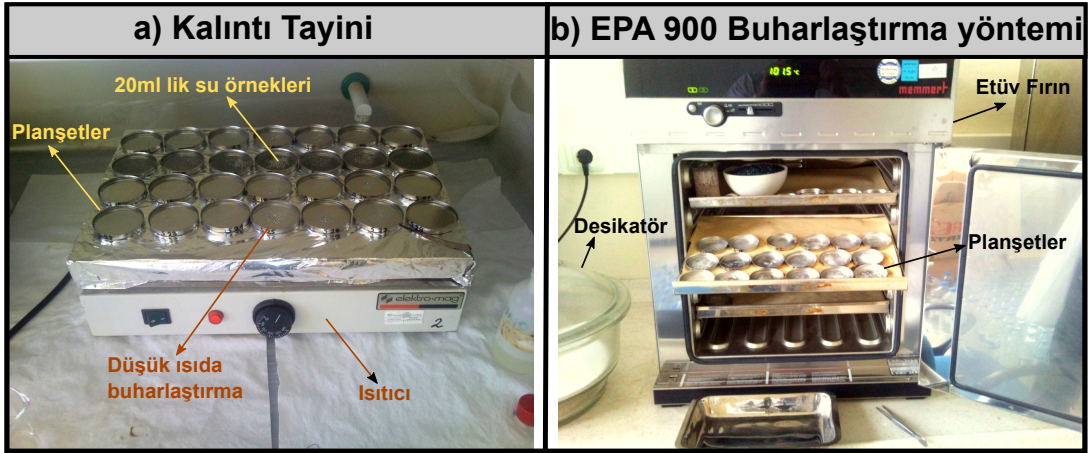
oda sıcaklığında poşetlere serilip nemden arındırılması sağlanmıştır. Kuruyan tüm örnekler yaklaşık 1.5 kg'lık kütleye ulaşıncaya kadar 0.5 mm'lik gözenekli eleklerden geçirilmiş ve dışarıdan hava girmeyecek şekilde çift katlı poşetlere ağızları bağlanarak, etiketlenip yerleştirilmiştir. Bu aşamadan sonra toprak örnekleri yaklaşık 1 ay bekletilerek sayıma hazır hale getirilmiştir. Şekil 2.7'de, toprak örneklerinin ölçüme hazır son hali gösterilmiştir.

2.1.4. Su Örneklerinin Toplanması ve Analize Hazırlanması

Su örneklerinin toplanmasında, numunelerin insanların içme suyu olarak kullandığı doğal kaynak suları olmasına dikkat edilmiştir. Bunun en önemli sebebi, suların yapısındaki toplam alfa ve beta ışıması gerçekleştiren radyonüklidlerin, içilerek vücuda alınması sonucunda vücut içinde bir ışıma oluşturmalarıdır. Toplanan su örneklerine ait radyoaktiflik derecelerinin, toprak örneklerinden çıkan sonuçlarla karşılaştırılması için, su örnekleri toprakların alındığı istasyonların yakınındaki noktalardan alınmış ve koordinatları GPS cihazı ile tespit edilerek kaydedilmiştir. Belirlenen istasyonlarda su örnekleri saf su ile yıkanmış 1.5 L'lik plastik şişelere alınmıştır ve her bir istasyonun konum bilgisi etiketlenerek şişeler üzerine yapıştırılmıştır. Ayrıca su içerisindeki elementlerin kabın çeperlerine yapışmasını ve tortu oluşumunu engellemek amacıyla nitrik asit ile suyun pH seviyesi 2'nin altına düşürülmüştür. Daha sonra kapakları sıkıca kapatılıp kalın bantlarla yapıştırılmış ve şişenin



Şekil 2.8. Analiz için hazırlanan su örnekleri



Şekil 2.9. a) Kalıntı tayini için oda sıcaklığında buharlaştırma işlemi, b) EPA 900 buharlaştırma yöntemi için planşetlerin fırına yerleştirilmesi

sızdırması engellenmiştir. Şekil 2.8’de su örneklerinin ölçüme hazırlanması sırasındaki son durumları gösterilmiştir.

Su numunelerindeki toplam alfa ve beta radyoaktivite seviyelerinin belirlenmesinde örneklerin uygun yöntemler ile analize hazırlanması gerekir. Bunun için analize başlamadan önce kalıntı (rezidü) tayininin yapılması önemlidir. Bu kalıntı tayin işlemi, her bir örnekten planşetlere alınan 20 ml’lik su numunelerinin düşük sıcaklıkta buharlaştırılıp kurutulduktan

sonra geriye kalan tortuların miktarının belirlenmesine dayanır (Şekil 2.9a). Bu çalışmada kalıntı miktarının 500 mg dan fazla olduğu numuneler EPA 900 buharlaştırma yöntemi ile analize hazırlanırken, kalıntı miktarlarının 500 mg dan az olduğu durumda SM 7110C çöktürme yöntemi ile numuneler analize hazırlanmıştır.

EPA 900 buharlaştırma yöntemi: Bu yöntemde, buharlaştırma sonunda planşet içinde en az 500 mg kalıntı bırakacak miktarda su numunesi temizlenmiş ve örneğin tanıtıcı özellikleri ile etiketlenmiş beherin içine yerleştirilmiştir. Buharlaşma işlemi sırasında beherin çeperine tortuların yapışmasını önlemek için bir miktar nitrik asit (HNO_3) ilave edilmiştir. Beherler içindeki numuneler 50°C de bir ısıtıcı üzerinde yaklaşık 50 ml kalana kadar buharlaştırılmıştır. Bu işlemler bir numune için ortalama 4 saat kadar sürmüştür. Beher içinde kalan 50 ml 'lik yoğunlaştırılmış numune miktarı, boş ağırlıkları kaydedilmiş ve temizlenmiş planşetler içine konularak buharlaştırmaya devam edilmiştir. Buharlaştırma işlemi sonuçlandığında, planşetler ısıtıcı zeminden alınıp etüv fırında 4 buçuk saat 101.5°C 'de bekletilmiştir (Şekil 2.9b). Ardından desikatörün içinde oda sıcaklığına gelmesi beklenen planşetler, tekrar tartılmış ve kalan rezidü değeri belirlenmiştir. En son olarak bu planşetler kısım 2.1.5.3'de bahsedilen toplam alfa ve toplam beta sayım cihazında analiz edilmiştir [154].

SM 7110C çöktürme yöntemi: EPA 900.0 yönteminin analiz sürecinde yetersiz kaldığı durumlarda bu yöntem kullanılmaktadır [155]. Bu yöntemde çözülmüş madde miktarı değeri önemli olmasa da, çöküntü oluşturmak için çeşitli kimyasalların kullanılması ($BaSO_4$ ve $Fe(OH)$) maliyeti artırıcı bir etmen olduğu için çok tercih edilen bir yöntem değildir. Şekil 2.10'da bu yöntemin işlem süreçleri basamak basamak gösterilmiştir. Buna göre; ilk önce su numunesinden 250 ml alınmış ve viskoziteyi düşürmek için içine 1 damla *tween80*'e 4 damla su ile seyreltilmiş kimyasal deterjan toplam 5 damla olarak ilave edilmiştir (Şekil 2.10a). Bu karışım beheri ısıtıcı üzerine (105°C) yerleştirilip manyetik karıştırıcı ile karıştırılmaya başlanmıştır. Karışım içindeki karbonat-bikarbonatlar ve CO_2 gazlarını ortamdaki uzaklaştırmak için, beherin içine 20 ml sülfirik asit (H_2SO_4) eklenerek çözelti karıştırılarak kaynaması beklenmiştir (Şekil 2.10b). Daha sonra ısıtıcının sıcaklığı yarıya düşürülmüştür ve hemen ardından 1 ml baryum taşıyıcı ($BaSO_4$) eklenecek karıştırma işlemine devam edilmiştir. Yaklaşık 30 dakika sonra çözeltinin içine sırasıyla 1 ml $1/1000$ 'lik *bromocresol purple* gösterge (indikatör) çözeltisi, 1 ml demir taşıyıcı çözel-

tisi ($Fe(OH)_3$) ve 5 ml kağıt lifi/su karışımı ilave edilmiştir. Bu durumda karışımın asitlik derecesinin göstergesi olan saman sarısı renk ortaya çıkmıştır (Şekil 2.10c-d). 5 dakika karıştırılmaya devam eden bu karışım içine rengi sarıdan mora dönene kadar damla damla baz özelliği gösteren amonyak $NH_4(OH)$ ilavesiyle edilmiştir (Şekil 2.10e). Bu halde karıştırılarak ısıtılmaya devam edilmiş ve asidik bir çözeltiden bazik bir çözelti oluşturularak beherin içinde parçacıkların birleşmesinden oluşan bir çökelek elde edilmiştir. Çözeltinin dipte çökmesi için bir müddet beklendikten sonra (Şekil 2.10f), oluşan çökelek darası bilinen $0.45 \mu m$ gözenekli filtre kâğıdından süzümüştür (Şekil 2.10g). Daha sonra filtre kağıdının üstünde kalan çökelek içinden radon ürünlerinin uzaklaşması için 3 buçuk saat bekletilmiştir (Şekil 2.10h). Son olarak $105^\circ C$ 'de etüv fırın içinde yarım saat kurutulmuştur (Şekil 2.10ı). Kuruyan filtre kağıtları çökelekli içerikleri ile tartılmış ve başlangıçtaki kütle değerinden çıkarılarak çökelek miktarı (rezidü) belirlenmiştir (Şekil 2.10j). filtre kağıdında çöktürülen örnekler toplam alfa aktivitesi belirlemek için kısım 2.1.5.3'de bahsedilen analiz sisteminde sayımlar gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.10k-1) [154].

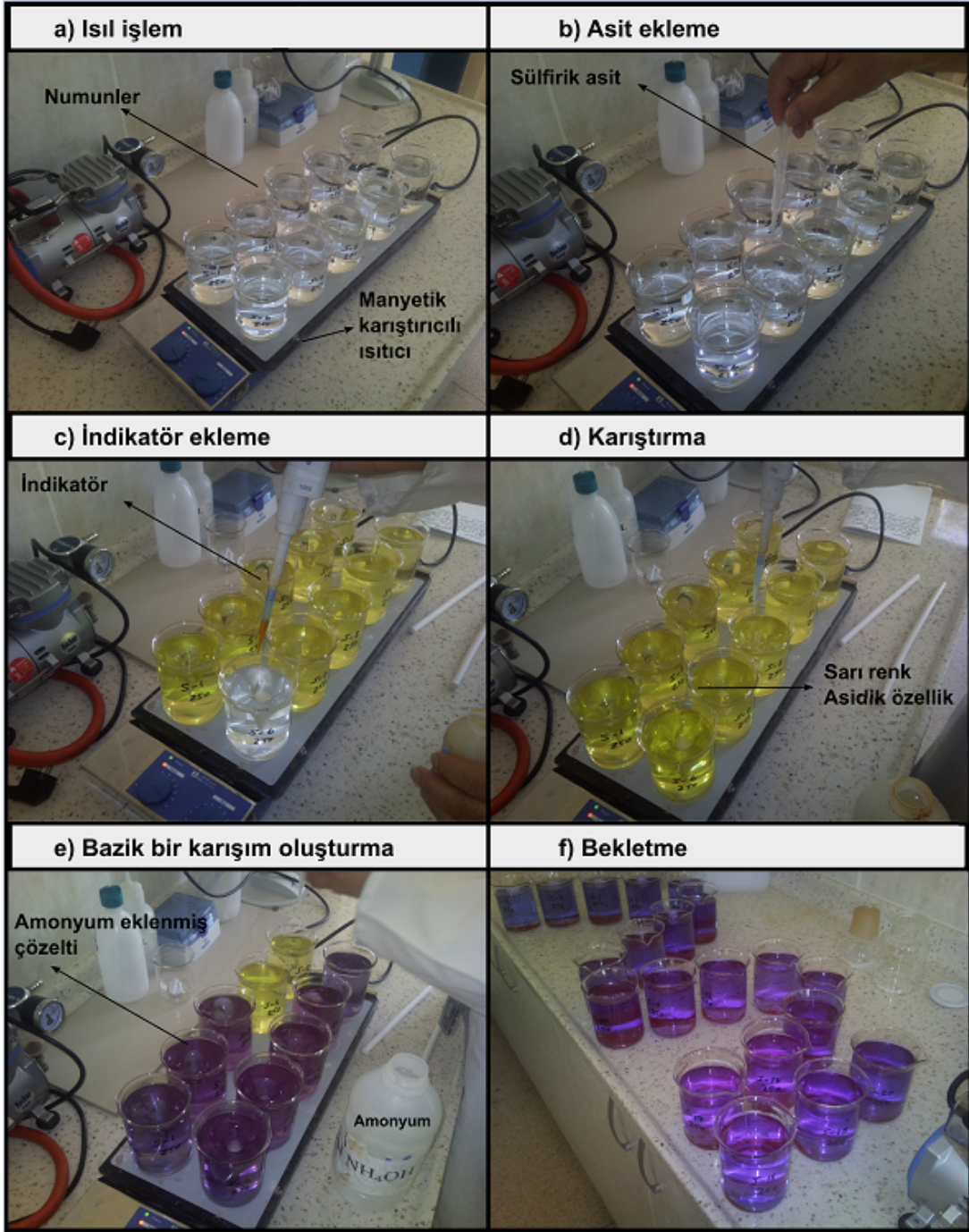
2.1.5. Ölçümlerin Yapılması ve Analiz Sistemleri

Artvin'deki çevresel doğal ve yapay radyoaktivite seviyelerinin belirlenmesinde gerçekleştirilen tüm analiz ve ölçümler Ek-6'da sunulmuş olan, Artvin Çoruh Üniversitesi (AÇÜ) ve Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) arasında imzalanan iş birliği protokolu uyarınca, Avrupa Atom Enerjisi Komisyonu tarafından akredite edilmiş bir kurum olan Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezinde (ÇNAEM) gerçekleştirilmiştir.

2.1.5.1. Çevresel Gama Doz Hızlarının Ölçülmesi

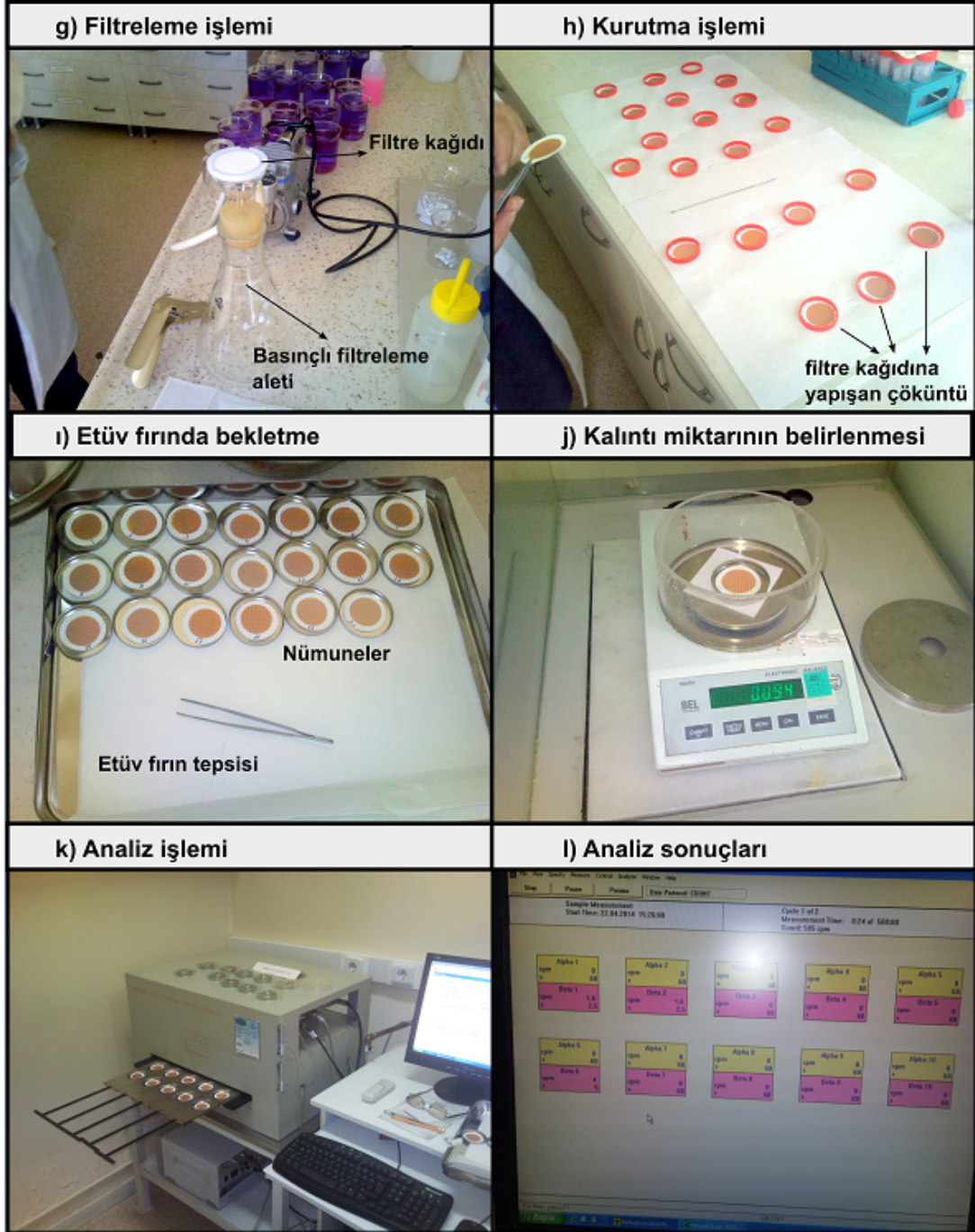
Dış gama doz hızı seviyelerinin belirlenmesi için ÇNAEM'den temin edilen SPA-6 model sintilasyon dedektörüne bağlı Eberline smart taşınabilir (ESP-2) dijital cihazı kullanılmıştır. Şekil 2.11'de bu cihaz gösterilmektedir.

Dış gama doz hızları, Artvin ili genelini tanımlayacak biçimde, Şekil 2.5'te gösterilen toplam 204 adet ölçüm istasyonundan, dış ortamda, yerden 1 m yükseklikte, 1 dakika süreyle $\mu Sv/h$ biriminde alınmıştır. Daha sonra soğurulan doz hesabı için nGy/h birimine çevrilmiştir. Her bir noktadan ölçülen gama doz hızları, istasyon bilgileri ile birlikte Ek-2'de verilmiştir.



Şekil 2.10. SM 7110C çöktürme yöntemi

Şekil 2.10.'un devamı



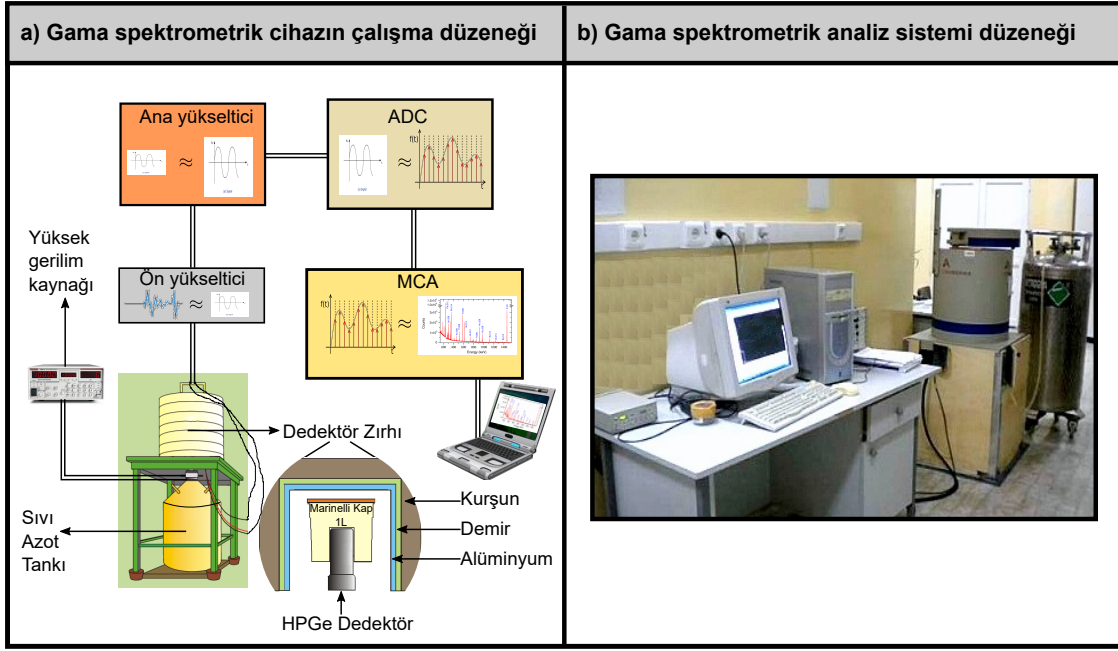


Şekil 2.11. Gama doz hızı ölçüm cihazı ve sintilasyon dedektörü

2.1.5.2. Toprak Örnekleri Sayım Sistemi

Artvin'den alınan toprak örneklerinde doğal ve yapay radyoaktivite seviyelerinin belirlenmesi için gama spektrometrik ölçümler, Canberra coaxial (eş eksenli) HPGe yarıiletken dedektörlü analiz sistemi kullanılarak yapılmıştır. Bu sistemin genel yapısı Şekil 2.12a'daki diyagramda gösterilmiştir. Burada, dedektör; yüksek saflıktaki germanyum dedektör, Ön yükseltici; dedektörden gelen pulsların depolanan enerjilerle orantılı bir şekilde voltaj sinyaline dönüştüğü yer, Yüksek voltaj kaynağı; dedektörde yüklerin birikmesi için gerekli elektrik alanını sağlayan ünite, Ana yükseltici; ön yükselteçten gelen voltaj sinyallerinin, analiz yapabilecek kadar yükseltilmesini sağlayan birim, Analog dijital çevirici (ADC); yükselticiden gelen sinyallerin genlikle orantılı olarak sayısal verilere dönüştürüldüğü kısım ve Çok kanallı analizör (MCA); her sinyalin genlik derecelerine bağlı olarak belirli enerji seviyelerine karşılık gelen kanallara yerleştiği birimdir [154]. Şekil 2.12b'de gama spektrometrik analiz sistemi düzeneği görülmektedir (ÇNAEM).

Ölçüme hazır hale getirilmiş toprak örnekleri, gama ışın yayan izotopların standart karışımları ile kalibre edilen, gama spektrometrik analiz cihazına yerleştirilerek, her bir istasyon için 50000 saniye süresince sayımları gerçekleştirilmiştir. Sayım işlemi sonunda elde



Şekil 2.12. a) HPGe dedektörlü gama spektrometrik cihazının çalışma düzeneği, b) Gama spektrometrik analiz sistemi düzeneği (ÇNAEM)

edilen gama spektrumu analizinde ^{238}U serisi için ^{214}Pb (351.9 keV), ^{214}Bi (609.3 keV) enerjilerindeki, ^{232}Th serisi için ^{208}Tl (583.2 keV), ^{228}Ac (911.2 keV) enerjilerindeki piklerinin alanlarının ortalaması, ^{137}Cs ve ^{40}K için sırayla 661.6 keV ve 1460.8 keV enerjisindeki pikin alanı alınmıştır. Bu enerjilerdeki alanların seçilmesinin sebebi doğada bulunma yüzdelерinin diğer izotoplara göre daha fazla olmasıdır. Denklem 2.1’de aktivite konsantrasyonlarının değerlerinin elde edilmesi gösterilmektedir.

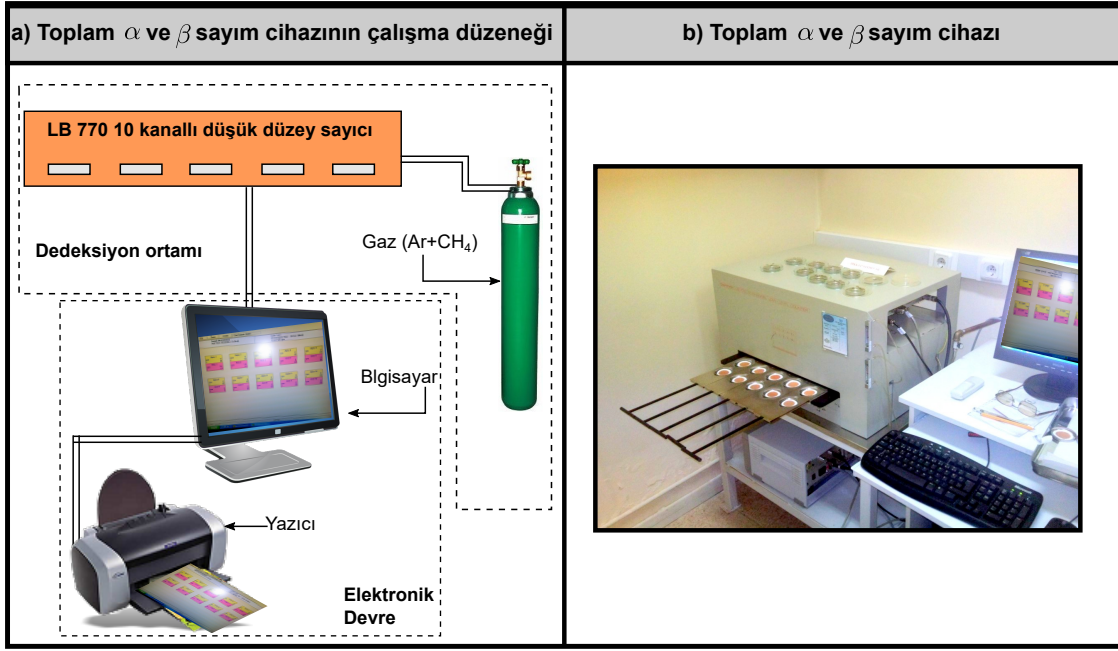
$$\text{Aktivite}(\text{Bq/kg}) = \frac{\text{Net Alan}}{\text{Sayım süresi} \times \text{Bolluk} \times \text{Numune miktarı} \times \text{Dedektör verimi}} \quad (2.1)$$

Burada, net alan; piklerin altında kalan alandan, temel seviye sayımı (background) sonucu elde edilen alanın çıkarılması ile bulunur.

Artvin’de 117 istasyondan toplanan toprak örneklerinin doğal radyonüklidler (^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K) ve yapay radyonüklid (^{137}Cs) aktivite konsantrasyonlarının ölçüm sonuçları Ek-4’de verilmiştir.

2.1.5.3. Su Örnekleri Sayım Sistemi

Artvin’den alınan su örneklerinde toplam alfa ve toplam beta aktivite konsantrasyonlarının belirlenmesi için ÇNAEM Sağlık Fiziği Bölümü Laboratuvarında bulunan Berthold



Şekil 2.13. a) Toplam alfa ve beta sayım cihazının çalışma düzeneği, b) Toplam alfa ve beta sayım cihazı (ÇNAEM)

marka LB770 model 10 kanallı düşük seviyeli alfa-beta sayım cihazı kullanılmıştır. 10 farklı istasyona ait numunenin alfa ve beta sayımlarını aynı anda belirleyebilen bu cihaz dedeksiyon ortamı ve elektronik devre olmak üzere başlıca iki kısımdan meydana gelir. Toplam alfa ve beta sayım cihazının çalışma düzeneği Şekil 2.13a'da gösterilmiştir. Analizde dedeksiyon için en çok kullanılan gazlar; argon (Ar), ksenon (Xe), izobütan (C_4H_{10}), helyum (He) ve metan (CH_4) olup bu çalışmada % 90 argon ve % 10 metan gaz karışımı kullanılmıştır. Cihazın toplam alfa sayma verimi % 15 – 20 civarında ve temel seviye sayımı dakikada 0.1'in altındadır. Cihazın toplam beta sayma verimi % 37 – 40 arasında ve temel seviyesi dakikada 1.0 sayımdan küçüktür. Toplam alfa ve toplam beta sayım cihazı Şekil 2.13b'de gösterilmiştir.

Gazlı dedektörlerin çalışma prensibi gaz içinde meydana gelen iyonlar zıt işaretli elektrotlarda toplanması ilkesine dayanır. İyonların elektrotlarda toplanmasından meydana gelen elektrik akımı laboratuvar sayım cihazının elektronik devresinde tespit edilir.

Toplam alfa veya toplam beta sayımında kullanılan bu gaz akışlı orantılı sayıcılar genellikle yarım küre şeklinde bir sayım odasına sahiptir. Ortalarında tungstenden yapılmış bir tel halka bulunur. Tel, anot görevi, oda duvarları da katot görevi görür. Akışkan gaz, oda içinden geçirilerek oda içinde pozitif iyonlar oluşturulur. Detektörün çalışma voltajı 1650 V olup çapı 5 cm'dir [80, 156].

2.1.6. Artvin İli Çevresel Gama Doz Hızı Bulguları

Bu çalışmada elde edilen gama doz hızları $\mu Sv/saat$ olarak belirlenmiş olup her bir istasyon için sonuçlar Ek-2 de verilmiştir. Ölçüm değerleri havada saatte emilen doz miktarını belirlemek için nGy/h birimine denklem 2.2 ile çevrilmiştir. Artvin geneli için ilçelere göre soğurulan doğal gama doz hızları Şekil 2.14’de verilmektedir. Şekil 2.15’da ise her bir ilçe değeri için gama doz hızlarının istatistiksel değerleri görülmektedir.

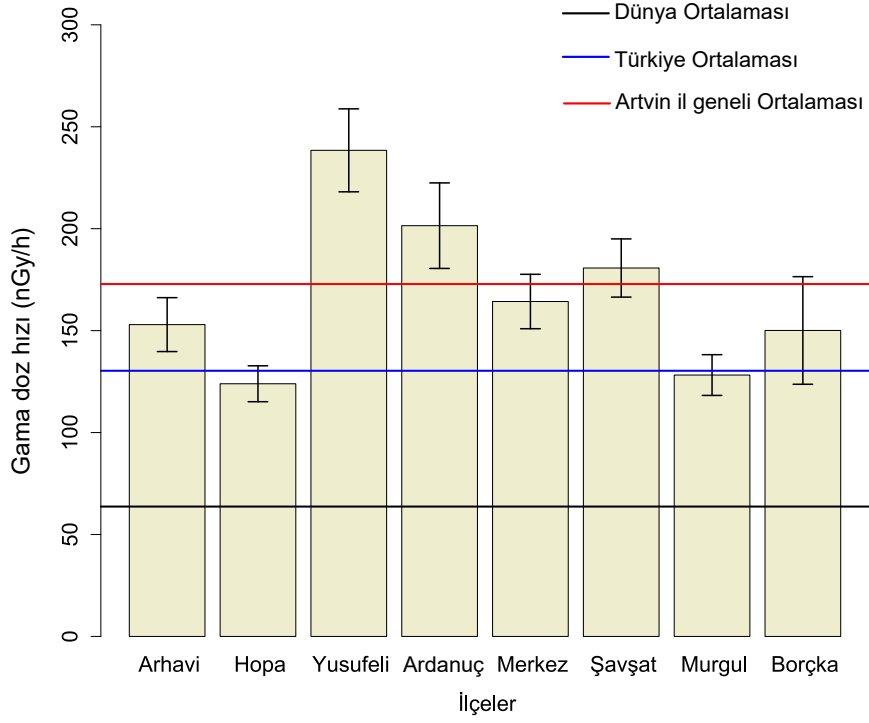
$$\text{Soğurulan doz miktarı} = \left[\text{Yayınlanmış doz eşdeğeri}/0.7 \right] \times 1000 \quad (2.2)$$

Artvin il genelinde alınan çevresel doğal gama doz hızı ölçümleri sonucunda, minimum gama doz hızı $44.28 nGy/h$ olarak Arhavi ilçesi Rize sınırında elde edilirken, maksimum gama doz hızı da $502.85 nGy/h$ olarak Yusufeli Altıparmak köyünde tespit edilmiştir. İlçelere göre ortalama gama doz hızlarına bakıldığında, Yusufeli ilçesi $236.14 nGy/h$ ile en yüksek değere sahip iken, Hopa ilçesi $122.85 nGy/h$ ile en düşük ortalama değere sahip olduğu belirlenmiştir. İl geneli ortalaması $172.85 nGy/h$ olarak tespit edilmiş olup bu değer hem TAEK tarafından belirlenen Türkiye ortalamasından ($131.42 nGy/h$) [157] hem de UNSCEAR’ın tespit ettiği dünya ortalamasından ($65.71 nGy/h$) [158] yüksek değerde bulunmuştur. İl Merkezi, Arhavi, Hopa, Murgul, Borçka ilçeleri il ortalamasından düşük iken, Yusufeli, Ardanuç ve Şavşat ilçelerinin ise il ortalamasından yüksek bir seviyeye sahip olduğu tespit edilmiştir.

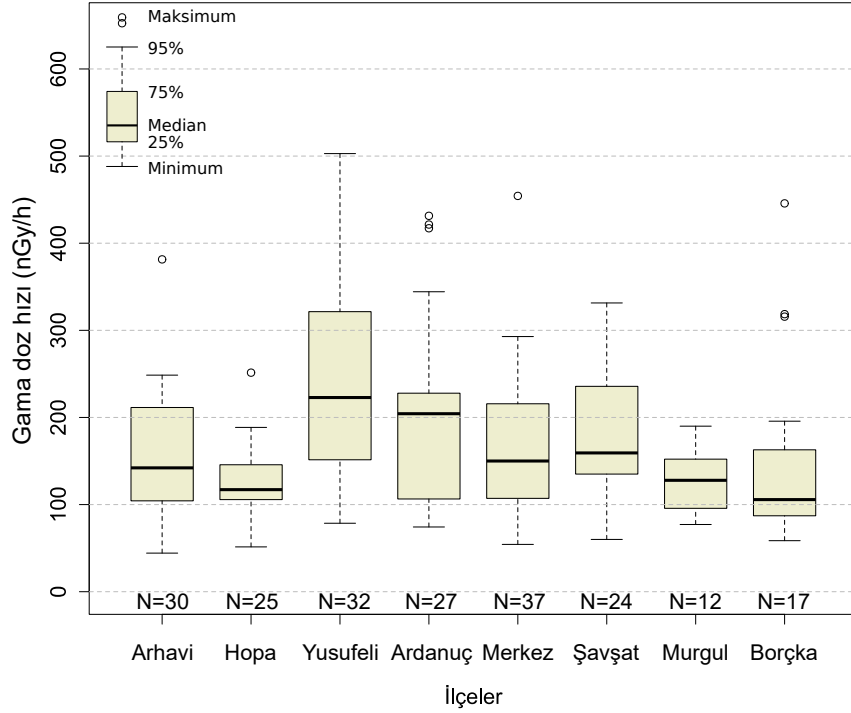
2.1.7. Artvin İli Doğal Kaynak Sularında Radyoaktivite Bulguları

Bu çalışmada, Artvin ilini temsil edecek şekilde koordinatları belirlenen ve yerleşim alanının içme suyu ihtiyacını karşılayan toplam 117 noktadan kaynak suyu örnekleri alınmıştır. Su örneklerinin toplam alfa ve toplam beta aktivite konsantrasyonları Berthold marka LB770 model 10 kanallı düşük seviyeli gaz akışlı orantılı cihaz kullanılarak mBq/L olarak belirlenmiştir. Her bir istasyon için elde edilen bulgular Ek-3’de verilmiştir.

Artvin ili suları için toplam alfa radyoaktivite seviyeleri : Artvin merkezi ve ilçeleri için su örneklerinin toplam alfa radyoaktivite konsantrasyonunun ortalama değerleri Şekil 2.16’de ve istatistiksel özeti ise Şekil 2.17’de gösterilmektedir. Toplam alfa radyoaktivite konsantrasyonu analiz sonuçlarına göre; en yüksek değer Yusufeli ilçesi Günyayla



Şekil 2.14. Artvin ve ilçeleri için gama doz hızlarının ortalama değerleri



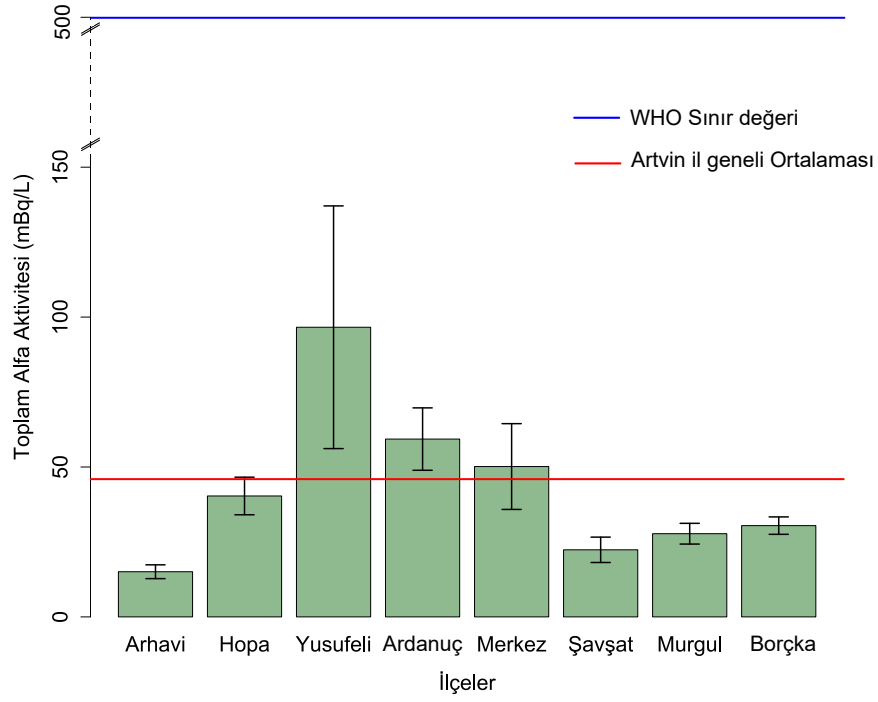
Şekil 2.15. Artvin ve İlçeleri için gama doz hızlarının istatistiksel özeti (N, ilçelerdeki istasyon sayısını göstermektedir)

Köyü'nden alınan su örneğinden 771 mBq/L olarak elde edilirken en düşük değer ise 5 mBq/L olarak Arhavi ilçesi tünel üstü mevki'nden alınan su örneğinden elde edilmiştir. En yüksek toplam alfa aktivite ortalaması 96 mBq/L değeri ile Yusufeli ilçesi olarak belirlenmiştir. İl ortalaması 45 mBq/L olarak hesaplamıştır. Bu değer Yusufeli ilçe ortalamasının yaklaşık yarısı kadardır. En düşük toplam alfa aktivite ortalama değer ise 15 mBq/L ile Arhavi ilçesinden alınan örneklerden elde edilmiştir. İl merkezi, Yusufeli ve Ardanuç ilçelerinin toplam alfa aktivite konsantrasyonları, Artvin ortalaması üzerinde bulunurken Merkez, Arhavi, Hopa, Şavşat, Murgul ve Borçka ilçelerinin toplam alfa aktivite konsantrasyonları Artvin ortalamasının altında bulunmuştur.

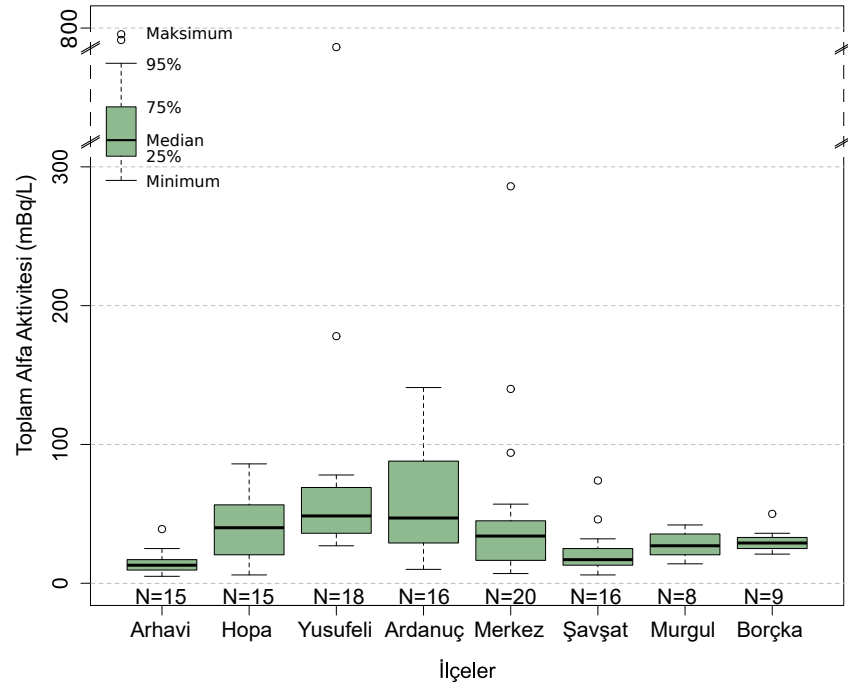
Dünya Sağlık Örgütü (WHO)'nün 2006 yılında yeniden düzenlediği rapora göre toplam alfa radyoaktivitesi sınır değeri 500 mBq/L olarak belirlenmiştir [159]. Artvin ilinin geneli için ortalama toplam alfa aktivite değeri (45 mBq/L), WHO'nun belirlediği bu sınır değerinin altında olduğu tespit edilmiştir. Bu sınır değerini aşan tek istasyon ise Yusufeli ilçesi Günyayla Köyü (771 mBq/L) olarak belirlenmiştir.

Artvin ili suları için toplam beta radyoaktivite seviyeleri: Artvin merkezi ve ilçeleri için su örneklerinin toplam beta radyoaktivite konsantrasyonunun ortalama değerleri Şekil 2.18'de ve istatistiksel özeti ise Şekil 2.19'de gösterilmektedir. Toplam beta radyoaktivite konsantrasyonu analiz sonuçlarına göre; en yüksek değer Yusufeli ilçesi Günyayla Köyü'nden alınan su örneğinden 808 mBq/L olarak belirlenirken, en düşük değer ise 13 mBq/L olarak Şavşat ilçesi Karaköy'den alınan su örneğinden elde edilmiştir. En yüksek toplam beta aktivite ortalaması 171 mBq/L olarak Yusufeli ilçesi olarak belirlenmiştir. Artvin il geneli toplam beta aktivitesi ortalaması ise 91 mBq/L olarak hesaplanmıştır. Bu değer Yusufeli ilçe ortalamasının yaklaşık yarısı kadardır. En düşük ortalama değer ise 42 mBq/L ile Arhavi ilçesinden alınan örneklerden elde edilmiştir. İl merkezi, Yusufeli ve Ardanuç ilçelerinin ortalama toplam alfa aktivite konsantrasyonları, Artvin ortalaması üzerinde bulunurken Arhavi, Hopa, Şavşat, Murgul ve Borçka ilçelerinin ortalama toplam alfa aktivite konsantrasyonları Artvin ortalamasının altında bulunmuştur.

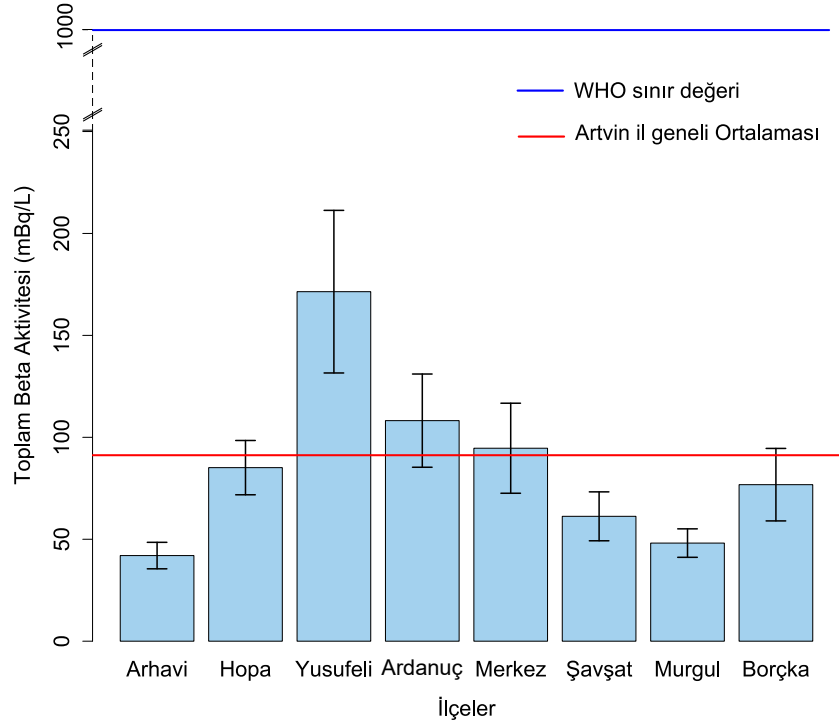
Toplam beta radyoaktivite konsantrasyonunun WHO'nün belirlediği sınır değeri 1000 mBq/L 'dir [159]. Elde edilen toplam beta radyoaktivite konsantrasyonu analiz sonuçlarına göre; Artvin ilinde toplam beta radyoaktivite konsantrasyonu için WHO'nun belirlediği sınır değer olan 1 Bq/l değerinden yüksek olan içme suyu örneği tespit edilmemiştir.



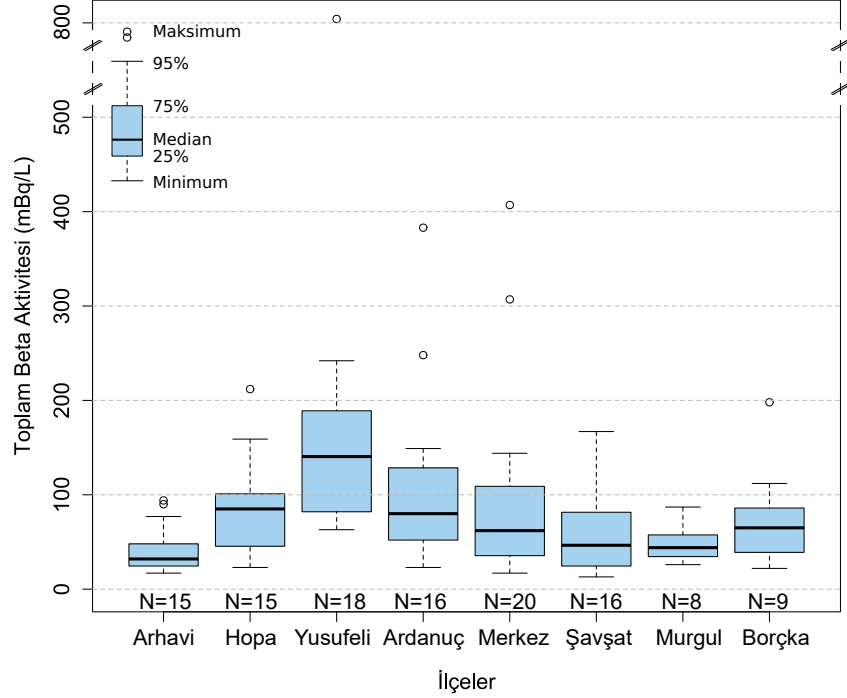
Şekil 2.16. Artvin ve ilçeleri için doğal kaynak sularında toplam alfa aktivitesi ortalama değerleri



Şekil 2.17. Artvin ve İlçeleri için toplam alfa aktivite konsantrasyonunun istatistiksel özeti (N, ilçelerdeki istasyon sayısını göstermektedir)



Şekil 2.18. Artvin ve ilçeleri için doğal kaynak sularında toplam beta aktivitesi ortalama değerleri



Şekil 2.19. Artvin ve ilçeleri için toplam beta aktivite konsantrasyonunun istatistiksel özeti (N, ilçelerdeki istasyon sayısını göstermektedir)

2.1.8. Artvin İli Topraklarında Radyoaktivite Bulguları

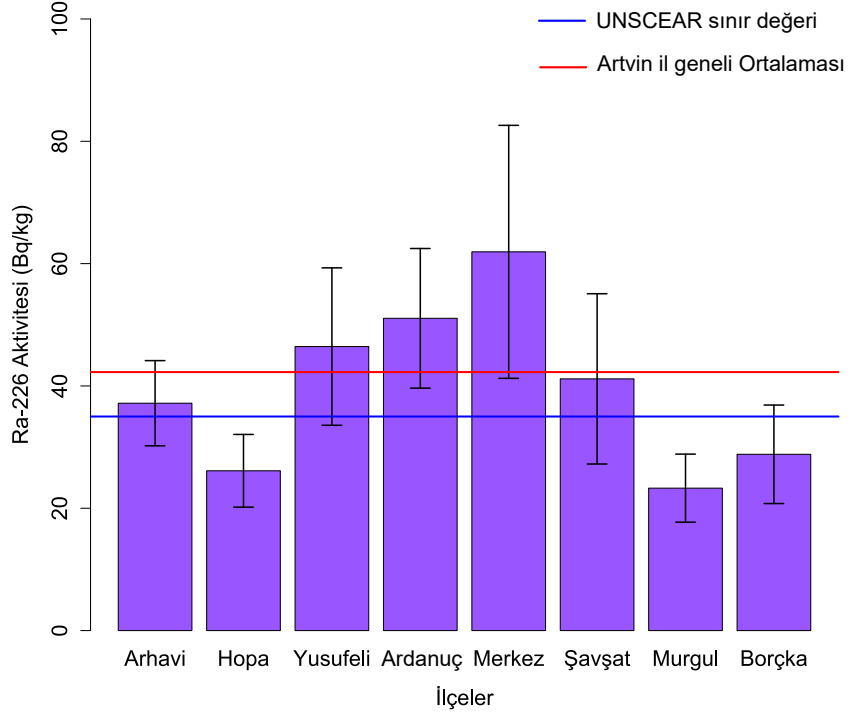
Artvin ilini temsil edecek şekilde, GPS cihazı ile koordinatları belirlenen 117 noktadan alınan her bir toprak örnek, gama spektrometre sayım sistemi ile analiz edilmiştir. Analiz sonucunda toprak örneklerinin doğal (^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K) ve yapay (^{137}Cs) radyonüklid kaynaklı aktivite konsantrasyonları belirlenmiştir. Artvin il topraklarında her bir istasyon için elde edilen radyoaktivite bulguları Ek-4'de sunulmuştur.

2.1.8.1. Doğal Radyonüklidlerin Aktivite Konsantrasyonları

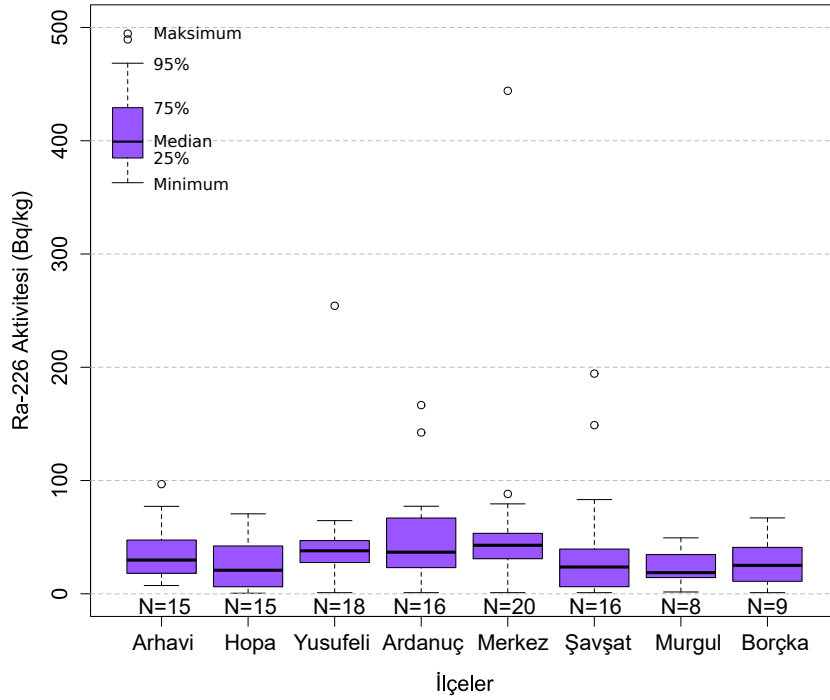
Radyum-226 (^{226}Ra) radyoizotopu sonuçları: Artvin ili ve ilçelerinin ortalama ^{226}Ra radyoaktivite konsantrasyonu dağılımı Şekil 2.20'de gösterilmektedir. Ayrıca bu radyoaktivite konsantrasyonlarının ilçelere göre istatistiksel dağılımları Şekil 2.21'de kutu bıyık diyagramı ile gösterilmiştir. Şekil 2.20'de ilçelerin ortalama ^{226}Ra radyoaktivite konsantrasyonuna bakıldığında, her bir ilçeden alınan toprak örneklerinde en yüksek ortalama değer, 61.92 Bq/kg ile Artvin Merkez, en düşük ortalama değer de 23.28 Bq/kg olarak Murgul ilçesi olarak tespit edilmiştir. Uluslararası atomik radyasyon komitesinin 2000 yılındaki raporunda [158] ^{226}Ra sınır değeri 35 Bq/kg olarak yayınlanmıştır. Artvin topraklarında il genelinde belirlenen ^{226}Ra radyoizotopunun aktivite konsantrasyon ortalaması 42.26 Bq/kg olarak belirlenmiş ve bu değer dünya ortalamasının üstünde olduğu tespit edilmiştir. İlçelere göre değerlendirildiğinde; en yüksek ^{226}Ra radyoaktivite konsantrasyonu değeri 444.10 Bq/kg olarak Artvin merkez Zeytinlik mevki istasyonunda rastlanmıştır. En düşük değer ise $< 0.6 Bq/kg$ olarak Hopa ilçesi Balık köyünde belirlenmiştir (Şekil 2.21).

Yapılan çalışma sonunda Arhavi, Yusufeli, Ardanuç, Merkez ve Şavşat ilçelerinin ^{226}Ra aktivite konsantrasyon ortalamaları, Artvin ortalaması üzerinde bulunurken, Hopa, Murgul ve Borçka ilçelerinin ^{226}Ra aktivite ortalamaları Artvin ortalamasının altında bulunmuştur.

Toryum-232 (^{232}Th) radyoizotopu sonuçları: Artvin ili ve ilçelerinin ortalama ^{232}Th radyoaktivite konsantrasyonu dağılımı Şekil 2.22'de gösterilmektedir. Ayrıca bu radyoaktivite konsantrasyonlarının ilçelere göre istatistiksel dağılımları Şekil 2.23'de kutu bıyık diyagramı ile gösterilmiştir. Şekil 2.22'de ilçelerin ortalama ^{232}Th radyoaktivite konsantrasyonuna bakıldığında, her bir ilçeden alınan toprak örneklerinde en yüksek ortalama değer, 39.28 Bq/kg ile Artvin Merkez, en düşük ortalama değer de 13.23 Bq/kg olarak Murgul



Şekil 2.20. Artvin ve ilçeleri için topraklardaki ^{226}Ra aktivitesi ortalama değerleri



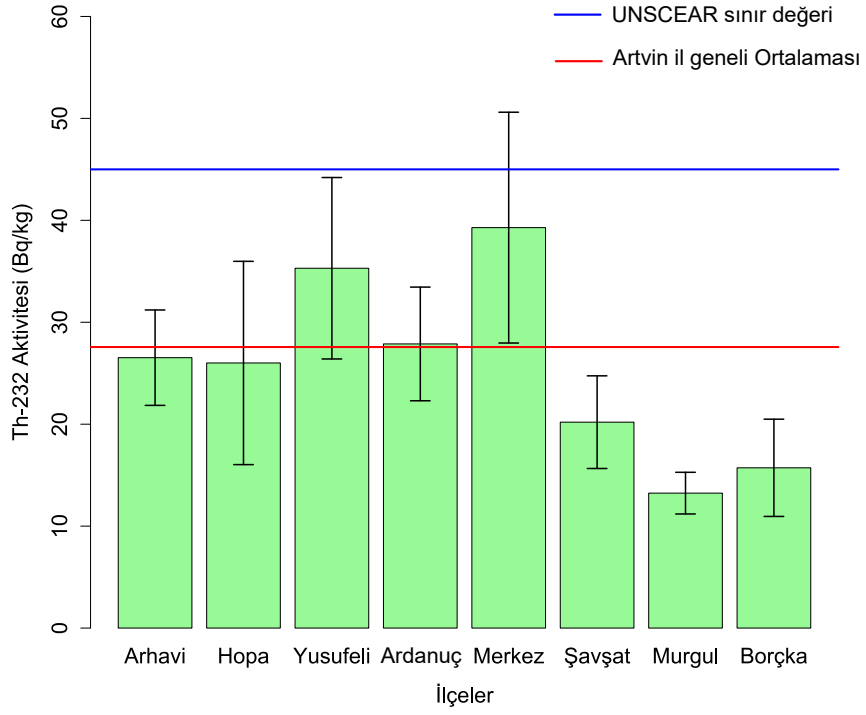
Şekil 2.21. Artvin ve ilçeleri için topraklardaki ^{226}Ra aktivitesinin istatistiksel özeti (N, ilçelerdeki istasyon sayısını göstermektedir)

ilçesi olarak tespit edilmiştir. Uluslararası atomik radyasyon komitesinin 2000 yılındaki raporunda [158], toryumun sınır değeri $45 Bq/kg$ olarak yayınlanmıştır. Artvin topraklarında il genelinde belirlenen ^{232}Th radyoizotopunun aktivite konsantrasyon ortalamasının $27.57 Bq/kg$ olarak belirlenmiş ve bu değer dünya ortalamasının altında olduğu tespit edilmiştir. İlçelere göre değerlendirildiğinde; en yüksek ^{232}Th radyoaktivite konsantrasyonu değeri $246 Bq/kg$ olarak Artvin merkez Zeytinlik mevki istasyonunda rastlanmıştır. En düşük değer ise $< 0.5 Bq/kg$ olarak Hopa ilçesi Balık köyünde belirlenmiştir (Şekil 2.23).

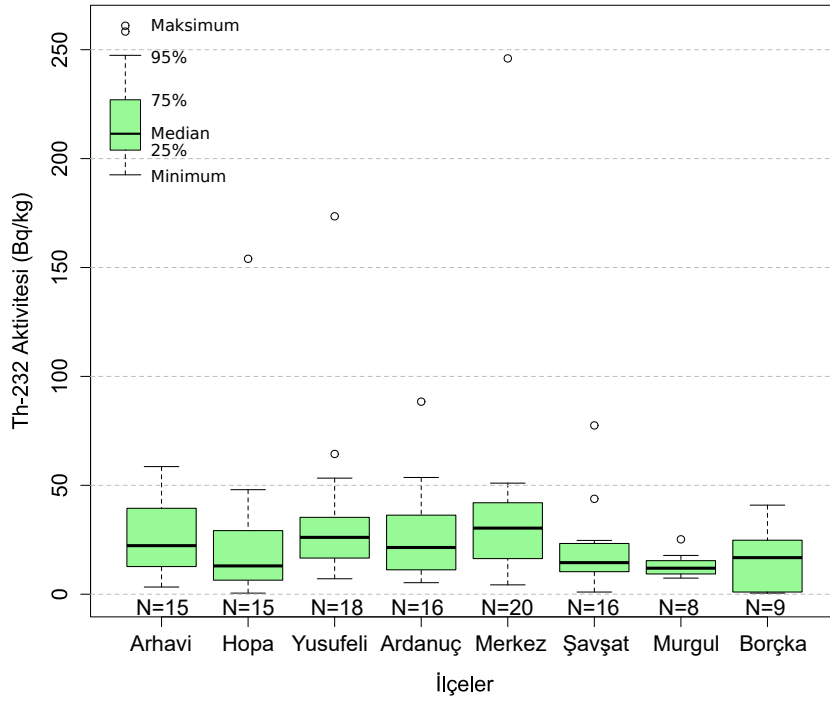
Yapılan çalışma sonunda Artvin Merkez ve Yusufeli ilçelerinin ^{232}Th aktivite konsantrasyon ortalamaları, Artvin ortalaması üzerinde bulunurken, Arhavi, Hopa, Şavşat, Murgul ve Borçka ilçelerinin ^{232}Th aktivite ortalamaları Artvin ortalamasının altında bulunmuştur. Ardanuç ilçesinin ^{232}Th ortalaması ise il geneli ortalamasına oldukça yakın olarak tespit edilmiştir.

Potasyum-40 (^{40}K) radyoizotopu sonuçları: Artvin ili ve ilçelerinin ortalama ^{40}K radyoaktivite konsantrasyonu dağılımı da Şekil 2.24'de gösterilmektedir. Ayrıca bu radyoaktivite konsantrasyonlarının ilçelere göre istatistiksel dağılımları Şekil 2.25'de kutu bıyık diyagramı ile gösterilmiştir. Şekil 2.24'de ilçelerin ortalama ^{40}K radyoaktivite konsantrasyonuna bakıldığında, her bir ilçeden alınan toprak örneklerinde en yüksek ortalama değer, $528.25 Bq/kg$ ile Artvin Merkez, en düşük ortalama değer de $225.24 Bq/kg$ olarak Arhavi ilçesi olarak tespit edilmiştir. Uluslararası atomik radyasyon komitesinin 2000 yılındaki raporunda [158] ^{40}K radyonüklidinin sınır değeri $400 Bq/kg$ olarak yayınlanmıştır. Artvin topraklarında il genelinde belirlenen ^{40}K radyoizotopunun aktivite konsantrasyon ortalamasının $390.42 Bq/kg$ olarak belirlenmiş ve bu değer dünya ortalamasına oldukça yakın olduğu tespit edilmiştir. İlçelere göre değerlendirildiğinde; en yüksek ^{40}K radyoaktivite konsantrasyonu değeri $3319.00 Bq/kg$ olarak Artvin merkez Zeytinlik mevki istasyonunda rastlanmıştır. En düşük değer ise $7 Bq/kg$ olarak Arhavi merkezinde belirlenmiştir (Şekil 2.25).

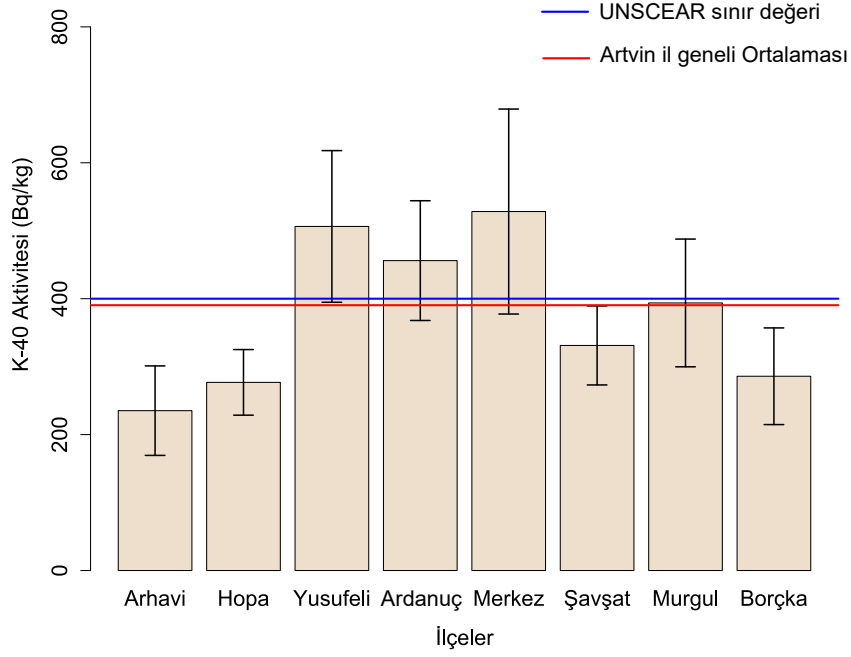
Yapılan çalışma sonunda Artvin Merkez, Ardanuç ve Yusufeli ilçelerinin ^{40}K aktivite konsantrasyon ortalamaları, Artvin ortalaması üzerinde bulunurken, Arhavi, Hopa, Şavşat, ve Borçka ilçelerinin ^{40}K aktivite ortalamaları Artvin ortalamasının altında bulunmuştur. Murgul ilçesinin ^{40}K ortalaması ise il geneli ortalamasına oldukça yakın olarak tespit edilmiştir.



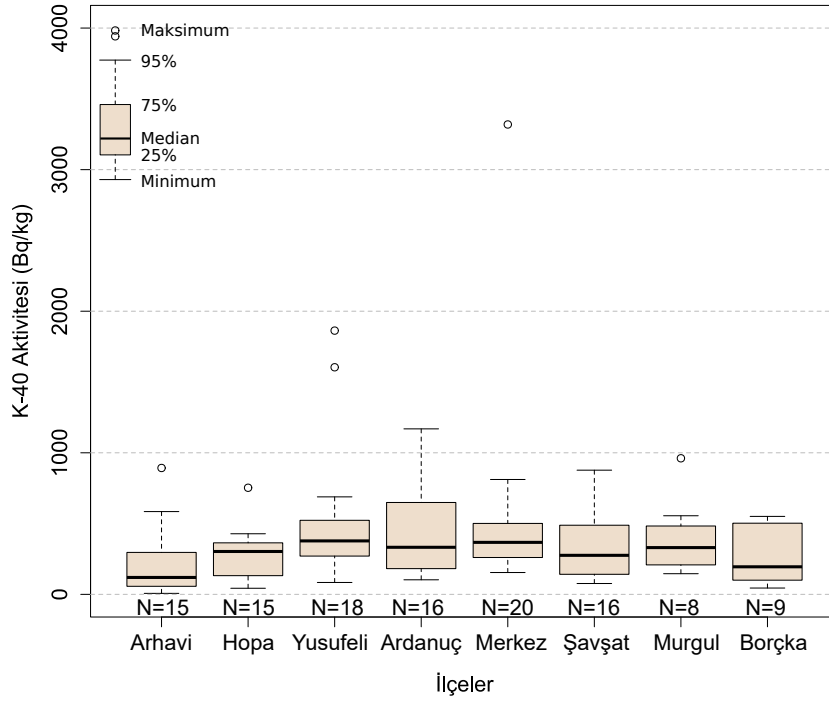
Şekil 2.22. Artvin ve ilçeleri için topraklardaki ^{232}Th aktivitesi ortalam değerleri



Şekil 2.23. Artvin ve ilçeleri için topraklardaki ^{232}Th aktivitesinin istatistiksel özeti (N, ilçelerdeki istasyon sayısını göstermektedir.)



Şekil 2.24. Artvin ve ilçeleri için topraklardaki ^{40}K aktivitesi ortalama değerleri



Şekil 2.25. Artvin ve ilçeleri için topraklardaki ^{40}K aktivitesinin istatistiksel özeti (N, ilçelerdeki istasyon sayısını göstermektedir.)

2.1.8.2. Yapay Radyonüklid Kaynaklı Aktivite Konsantrasyonu

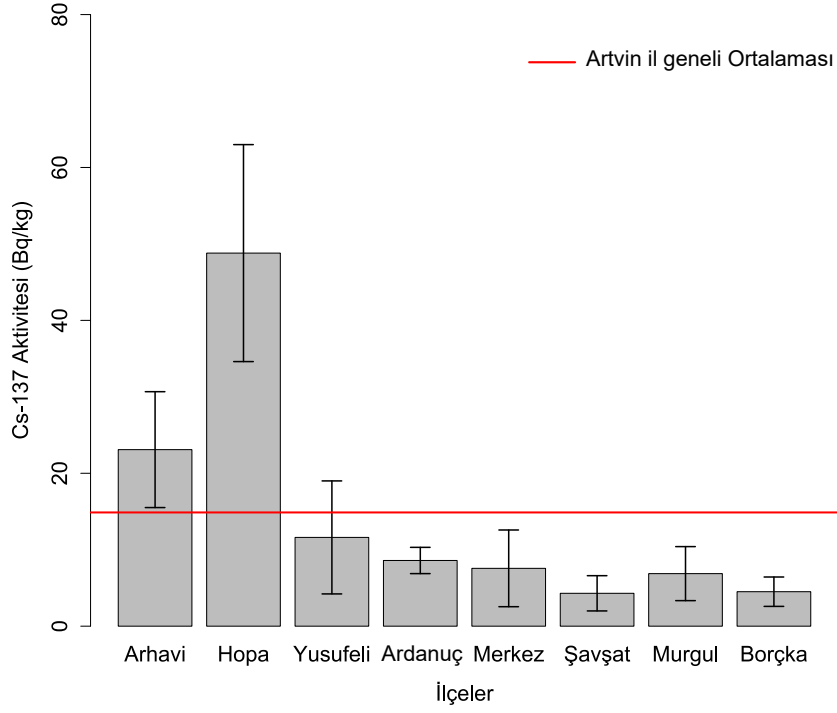
Sezyum-137 (^{137}Cs) radyoizotopu sonuçları: Artvin ili ve ilçelerinin ortalama ^{137}Cs radyoaktivite konsantrasyonu dağılımı Şekil 2.26'da gösterilmektedir. Ayrıca bu radyoaktivite konsantrasyonlarının ilçelere göre istatistiksel dağılımları Şekil 2.27'de kutu bıyık diyagramı ile gösterilmiştir. Şekil 2.26'da ilçelerin ortalama ^{137}Cs radyoaktivite konsantrasyonuna bakıldığında, her bir ilçeden alınan toprak örneklerinde en yüksek ortalama değer, 48.8 Bq/kg ile Hopa ilçesi, en düşük ortalama değer de 4.3 Bq/kg olarak Şavşat ilçesi olarak tespit edilmiştir. Artvin topraklarında il genelinde belirlenen ^{137}Cs radyoizotopunun aktivite konsantrasyon ortalaması 14.87 Bq/kg olarak belirlenmiştir. İlçelere göre değerlendirildiğinde; en yüksek ^{137}Cs radyoaktivite konsantrasyonu değeri 200.00 Bq/kg olarak Hopa Cankurtaran geçidi istasyonunda rastlanmıştır. En düşük değer ise $< 0.6 Bq/kg$ olarak Borçka merkezinde belirlenmiştir (Şekil 2.27).

Yapılan çalışma sonunda Arhavi ve Hopa ilçelerinin ^{137}Cs aktivite konsantrasyon ortalamaları, Artvin ortalaması üzerinde bulunurken, Yusufeli, Ardanuç, Artvin Merkez, Şavşat, Murgul ve Borçka ilçelerinin ^{137}Cs aktivite ortalamaları Artvin ortalamasının altında bulunmuştur.

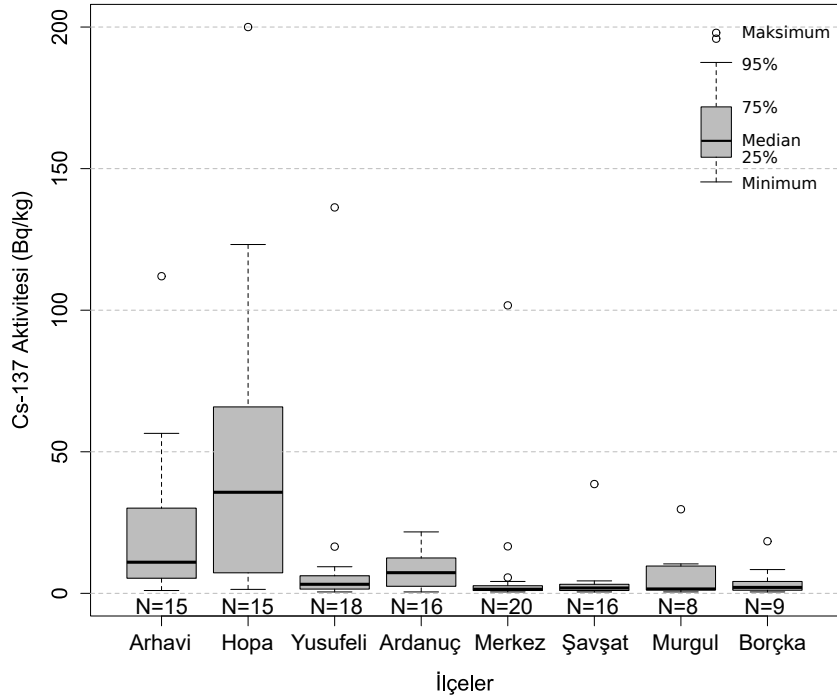
2.1.8.3. Topraktaki Radyoaktiflik Bulgularının Değerlendirilmesi

Sonuçlar değerlendirildiğinde doğal radyonüklidlerin aktivite konsantrasyonlarının genellikle Artvin'in orta ve güney bölgelerinde, kıyı kesimlerine göre kısmen daha yüksek seviyelerinde olduğu belirlenmiştir. Özellikle Artvin Merkez ve Yusufeli ilçesinde yüksek aktivite değerlerinin tespit edilmesinin bölgenin granit ve volkanik kaynaklı kayaç yapısına bağlı olduğu düşünülmektedir.

Yapay radyonüklid kaynaklı radyasyon bakımından değerlendirildiğinde, Artvin'in özellikle kıyı kesimlerinin (Arhavi ve Hopa) yüksek ^{137}Cs aktivite konsantrasyonuna sahip olduğu belirlenmiştir. Bunun sebebinin 1986 yılında meydana gelen Çernobil reaktör kazasının günümüzde devam eden etkilerinden olduğu düşünülmektedir. ^{137}Cs 'nin yarılanma ömrü (30 yıl) ile dikkate alındığında, bu radyoizotopun bölgede özellikle, Çernobil'e yakın kuzey kesimlerde hala etkin olduğu sonucuna ulaşabiliriz.



Şekil 2.26. Artvin ve ilçeleri için topraklardaki ^{137}Cs aktivitesi ortalama değerleri



Şekil 2.27. Artvin ve ilçeleri için topraklardaki ^{137}Cs aktivitesinin istatistiksel özeti (N, ilçelerdeki istasyon sayısını göstermektedir.)

2.2. Teorik Kısım

Bu kısımda Artvin ilinin çevresel radyoaktivitesinin farklı yöntemler (Jeoistatistik analiz, Yapay sinir ağları ve Bulanık mantık yaklaşımları) ile ara değer modellemesi ve haritalandırılmasına ait bulgular ve yöntemlerin performanslarına ait değerlendirmeler anlatılmaktadır.

2.2.1. Programlama Kaynakları

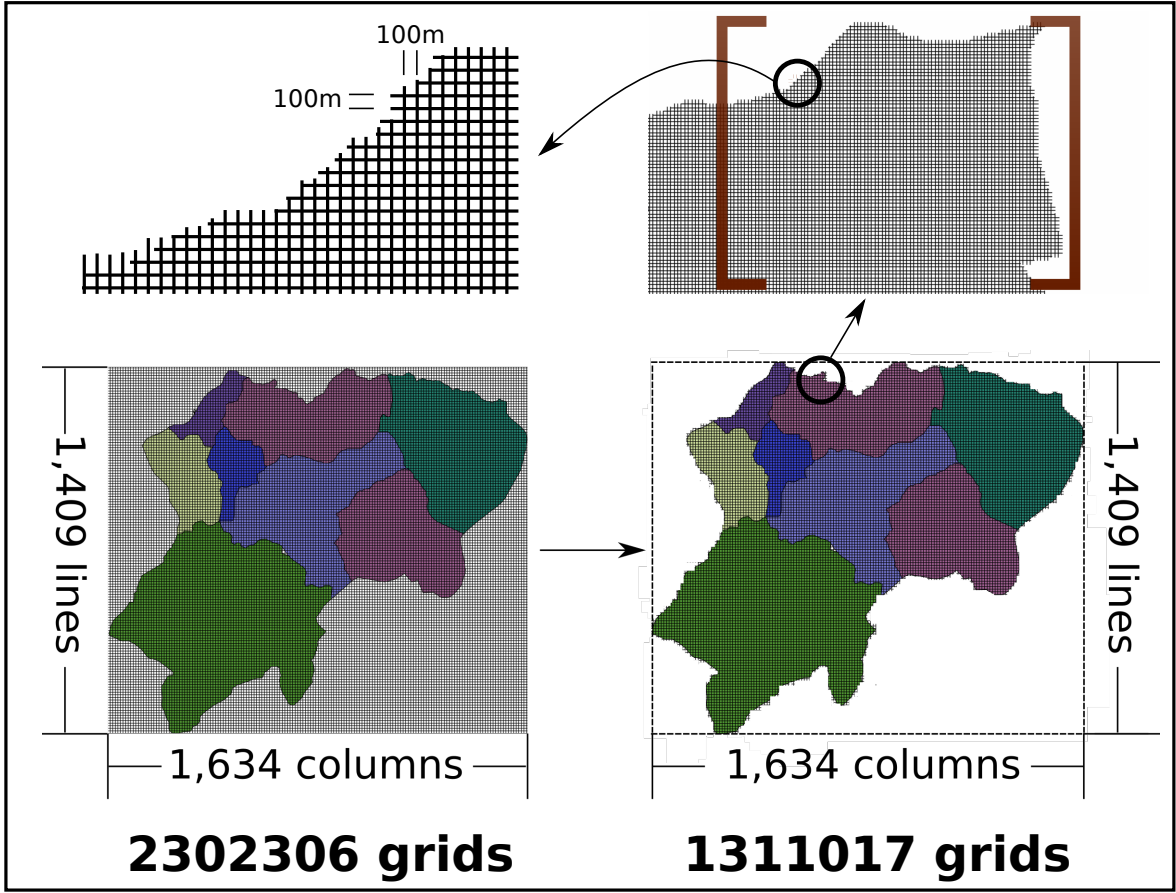
Bu çalışmadaki tüm istatistiksel analizler ve aradeğer tahmin hesaplamaları, R programlama [160, 161] dilinde uygulanarak çalışılmıştır. R dili S programlama dilinin genel kamu lisansı (GNU) ile lisanslanmış açık kaynak kodlu ve özgür versiyonudur. R programlama dili, istatistiki yazılım geliştirilmesi, veri analizi, verilerin görselleştirilmesi, grafiklendirilmesi, veri madenciliği, ve yoğun hesaplamalar gerektiren pekçok alanda kullanılmaktadır [162].

Bu çalışmada jeoistatistik hesaplamalar için *gstat* [163] ve *sp* [164] R paketleri kullanılmıştır. Bu paketlerde jeoistatistik analiz hesaplama kütüphane dosyaları bulunmakta olup, pek çok makalede bu paketler ile yapılan analizler kullanılmıştır [71, 72]. Benzer şekilde yapay sinir ağları hesaplamaları için *neuralnet* [165], *RSNNS* [166] ve *QRNN* [129] ve bulanık mantık hesaplamaları için *FuzzyToolkitUoN* [167] paket dosyaları kullanılmıştır.

R dilini derleyici olarak açık kaynak kodlu (GNU lisansı) kullanılan R-studio Version 0.98.1103 [168] yazılımı kullanılmıştır. Ayrıca bu yazılımlara ek olarak; haritaların oluşturulmasında kuantum coğrafik bilgi sistemleri versiyon 2.10.0 Pisa (Quantum geographic information system, QGIS) [169], haritaların sayısallaştırılması ve tahmin edilecek noktaların konumsal analiz özelliklerini belirlemek için SAGA-GIS versiyon 2.2.2 [170] ve vektör tabanlı çizimlerin oluşturulmasında inkscape versiyon 0.91 [171] programları kullanılmıştır. Bu programların hepsi açık kaynak kodlu (GNU) olup, internet ortamında bedava bir şekilde ulaşılabilmektedir.

2.2.2. Radyolojik Haritalandırma

Tüm radyonüklidler için oluşturulan haritalar $100 \times 100 m^2$ (1 ha mekansal çözünürlük) piksel boyutundadır. Bu piksellere iki boyutlu örgü noktaları (grid) da denilmektedir [109]. Artvin geneli için aradeğer tahmini ve dağılım haritalarının oluşturulmasında,



Şekil 2.28. Radyolojik haritalar için grid sistemi

1634 sütun ve 1409 satırlık dikdörtgen şeklindeki grid sistemi belirlenmiştir. Daha sonra Artvin sınırları dışında olan ve tahmin edilmeyecek grid noktaları sistemden çıkarılmış ve toplamda 1311017 grid değeri ile Artvin yüzeyi 1 ha'lık mekansal çözünürlükte temsil edilmiştir. Şekil 2.28'de Artvin için oluşturulan bu grid sistemi gösterilmektedir.

Aradeğer tahmin işlemleri tüm bu grid noktaları için ayrı ayrı hesaplanmış ve elde edilen değerlerin derecelendirilmesine göre grid pikselleri renklendirilerek haritalar oluşturulmuştur. Tahmin edilen yöntem farklı olmasına rağmen her bir grid değeri bilgisinin (enlem, boylam, yükseklik, toprak yapısı, jeolojik kayaç yapısı, vb.) sabit tutularak farklı yöntemler ile aynı noktaların tahmin edilmesi sağlanmıştır.

2.2.3. Çevresel Gama Doz Hızının Aradeğer Modellemesi

Bu çalışmada çevresel gama doz hızı için ölçüm alınmamış ara değerlerin tahmin edilmesinde, üç farklı modelleme tekniği kullanılmıştır. Bunlar konumsal korelasyonu dikkate alan jeostatistik yaklaşımlar (Ordinary kriging ve Universal kriging teknikleri), deneysel

bulgulardan yararlanarak lineer veya non-lineer sistemlerin genel yapısı hakkında tahminde bulunabilen yapay sinir ağıları yöntemi (ileri ve geri beslemeli yapay sinir ağıları) ve sözel bulanık küme kavramları ile günlük hayattaki sorunlara gerçekçi çözümler üretebilen bulanık mantık yaklaşımlarıdır. Her üç yöntemde yapı ve matematiksel taban bakımından birbirlerinden oldukça farklı olsalar da, deneysel bulgulardan yararlanarak sistemin genel dağılımının yorumlanması bakımından ortak bir özellikleri mevcuttur. Bu sebepten gama doz hızı deneysel bulguların istatistiksel ve dağılım özellikleri bakımından değerlendirilmesi gerekmektedir.

2.2.3.1. Çevresel Gama Doz Hızı Verilerinin Değerlendirilmesi

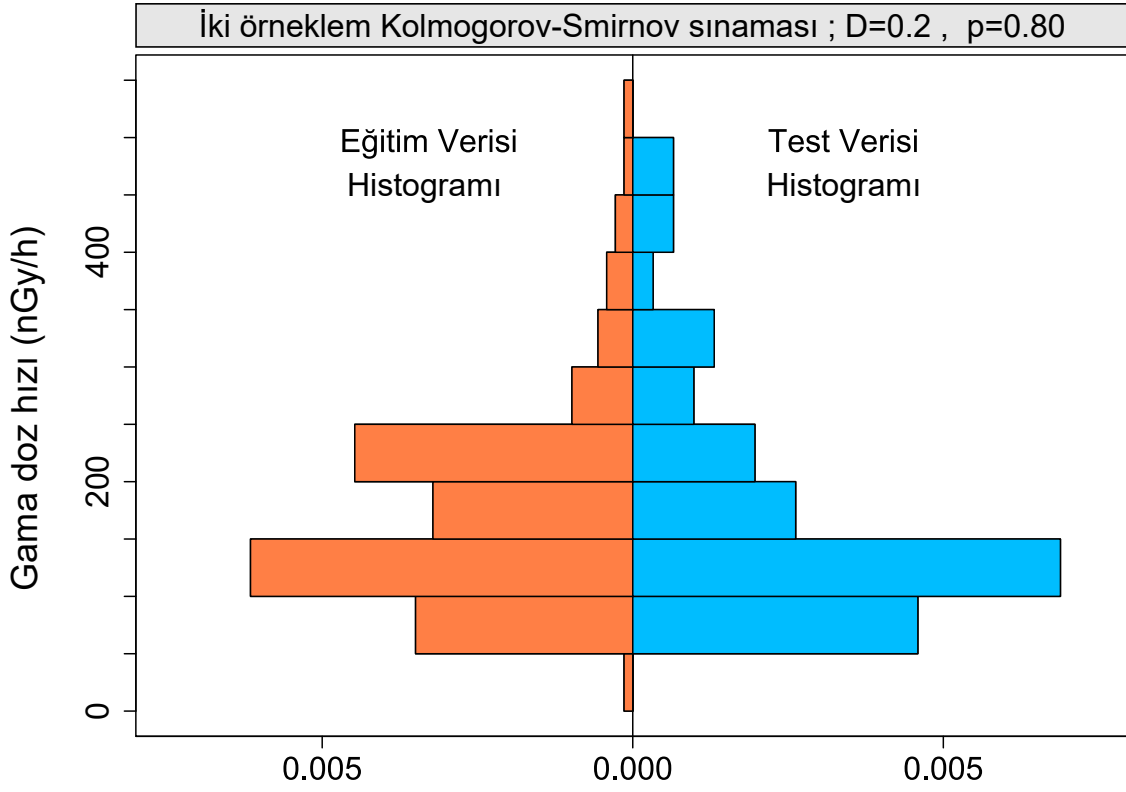
Artvin ilindeki çevresel gama doz hızlarının tespit edildiği 204 adet istasyon verisi, çapraz doğrulama gerçekleştirmek için iki kısma ayrılmıştır. İlk kısımda tüm istasyonların %70'i (143 istasyon) alınarak eğitim veri seti oluşturulmuştur. Tahmin modelleri bu veri seti üzerinden değerlendirilmiştir. Geri kalan %30 luk (61 istasyon) veri seti ise çapraz doğrulama için ayrılarak sisteme tanıtılmamıştır. Bu veri setleri tamamen gelişmiş olarak belirlenmiş ve tüm aradeğer tahmin modellerinde aynen kullanılmıştır. Gama doz hızı bulguları için eğitim ve test verilerinin istatistiksel özetleri Tablo 2.1'de gösterilmiştir. Ayrıca Shapiro-Wilk normallik testi ($p < 0.05$), çarpıklık ve basıklık değerlerinden iki veri setinin de normal dağılıma sahip olmadığı belirlenmiştir.

Şekil 2.29'da hem eğitim verisi hem de test verisi için histogram diyagramları gösterilmiştir. Bu şekilde Kolmogorov-Smirnov testi ($D = 0.2, p = 0.80$) ile her iki histog-

Tablo 2.1. Çevresel gama doz hızı (nGy/h) ölçümlerinin istatistiksel özeti

	Eğitim Verisi	Test Verisi	Tüm Veri
Numune sayısı	143	61	204
Ortalama	172.51	173.68	172.85
Minimum	44.28	51.43	44.28
Maksimum	502.85	454.29	502.85
Standart sapma	87.31	104.56	92.55
Çarpıklık	1.28	1.27	1.28
Basıklık	2.14	0.90	1.63
Normallik*	W=0.90; p<0.01	W=0.85; p<0.01	W=0.89; p<0.01

* Shapiro-Wilk testi

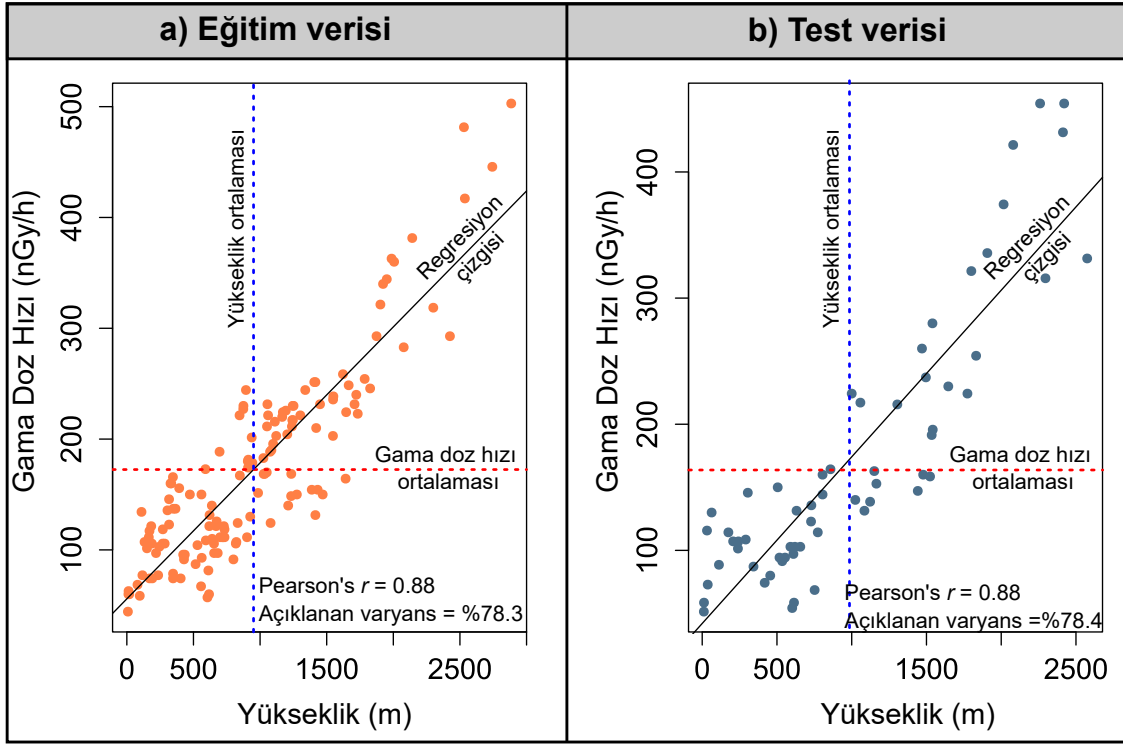


Şekil 2.29. Eğitim ve test verilerinin histogramları

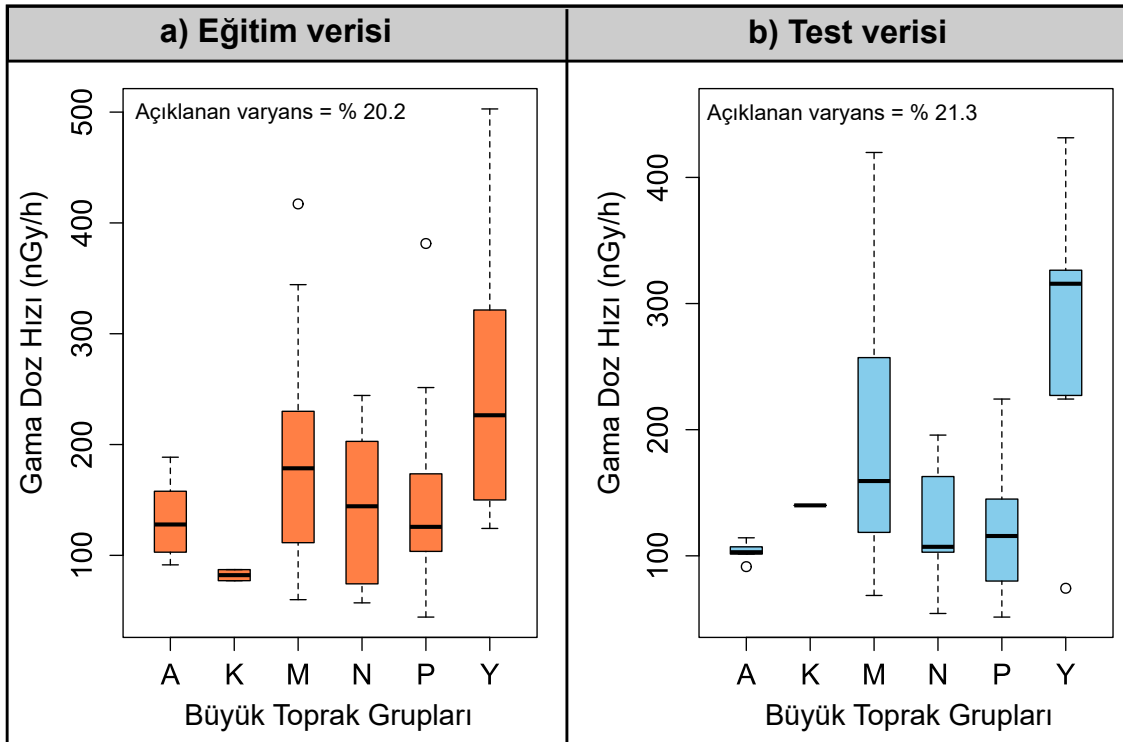
ramın anlamlı bir şekilde birbirinden farklı olmadığı görülmektedir. Yani hem eğitim verileri hem de test verileri aynı istatistiksel yapıya sahip olduğu belirlenmiştir.

2.2.3.2. Dış Gama Doz Hızını Etkileyen Faktörler

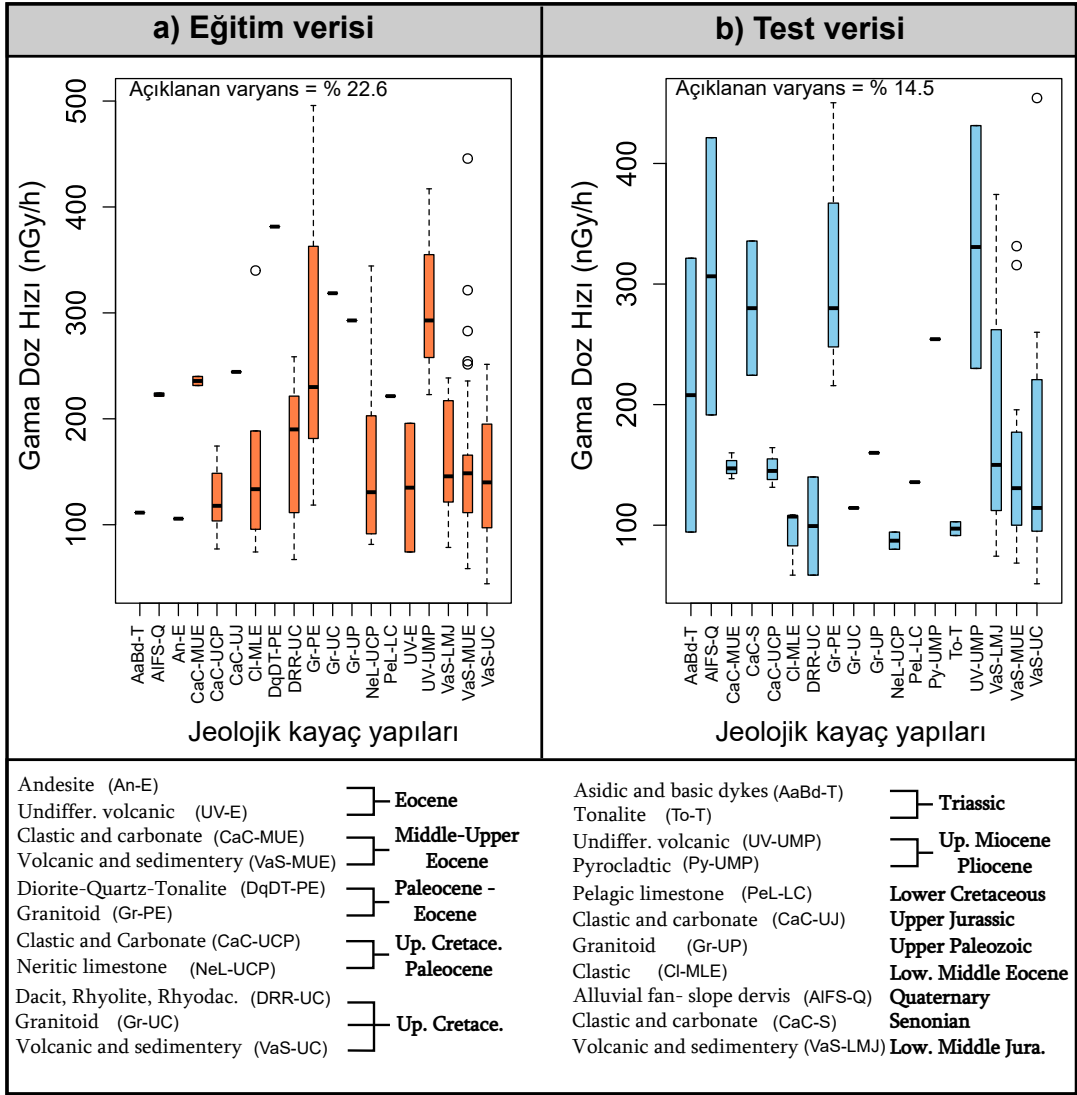
Çevresel gama doz hızlarını etkileyen en önemli faktörler yükseklik, toprak tipi ve jeolojik kayaç yapısıdır. Regresyona bağlı hesap yapan (UK yöntemi) metodlarda gama doz hızının regresyon analizinin belirlenmesi önemlidir. İlk faktör olan yükseklik ile gama doz hızı arasında yapılan regresyon modeline göre, güçlü pozitif bir korelasyon belirlenmiştir (Pearson's $r = 0.88$, $p < 0.001$, $n = 143$, eğitim verisi için). Ayrıca yükseklik gama doz hızındaki değişkenliğin %78.3'ünü açıklamaktadır. Bunun sebebinin yüksek bölgelerin kozmik ışınlardan daha çok etkilenmesinin neden olduğu düşünülmektedir [143, 144]. Çalışma alanı olan Artvin, Türkiye'nin en engebeli arazisi konumunda olup yükseklik değişimi çok hızlıdır. Buna bağlı olarak bu çalışmada gama doz hızlarında ani değişimler belirlenmiştir. Şekil 2.30'da hem eğitim hem de test verileri için gama doz hızı ile yükseklik arasındaki ilişki gösterilmiştir.



Şekil 2.30. Eğitim ve test verileri için gama doz hızı ve yükseklik arasındaki ilişki



Şekil 2.31. Eğitim ve test verileri için gama doz hızı ile büyük toprak gruplarının kutu-bıyık diyagramları



Şekil 2.32. Eğitim ve test verileri için gama doz hızı ile jeolojik kayaç yapıları kutu-bıyık diyagramları

İkinci faktör olan büyük toprak grupları ile gama doz hızları arasında oluşturulan çoklu doğrusal regresyon modeli ile gama doz hızındaki değişimin %20.1 (eğitim verisi için)'ini açıkladığı hesaplanmıştır. Şekil 2.31'de hem eğitim hem de test verileri için gama doz hızı ile büyük toprak gruplarının kutu-bıyık diyagramları görülmektedir. Ortalama olarak en yüksek gama doz hızları yüksek dağ çayır topraklarında en düşük gama doz hızı ise kollivial topraklarda belirlenmiştir. Bu toprak gruplarının Artvin yöresindeki dağılım haritası Şekil 2.4'de gösterilmiştir.

Üçüncü faktör olan jeolojik kayaç yapıları ile dış gama doz hızları arasında oluşturulan çoklu doğrusal regresyon modeli ile gama doz hızındaki değişimin %22.6 (eğitim verisi için)'ini açıkladığı hesaplanmıştır. Şekil 2.32'de hem eğitim hem de test verileri için gama

doz hızı ile büyük toprak gruplarının kutu-bıyık diyagramları görülmektedir. Ortalama olarak en yüksek gama doz hızları granit ve volkanik kaynaklı kayaç yapılarında belirlenmiştir. Artvin yöresinin jeolojik yapısını gösteren harita Şekil 2.3’de gösterilmiştir.

Gama doz hızını etkileyen yükseklik, toprak tipi ve jeolojik kayaç yapısı beraber değerlendirilip çoklu regresyon modeli uygulandığında; üç faktörün birlikte gama doz hızındaki değişkenliğin %76.4’ünü açıkladığı belirlenmiştir. Denklem 2.3 ile tanımlanan çoklu regresyon modeli, UK yönteminde tahmin edici denklem olarak kullanılmıştır.

$$\begin{aligned} \text{Dış Gama Doz Hızı} = & 52.09 + 0.12(H) - 34.7(M) - 45.3(N) - 40.2(Y) \\ & +112.1(\text{CaC_UJ}) + 72.4(\text{Gr_PL}) \end{aligned} \quad (2.3)$$

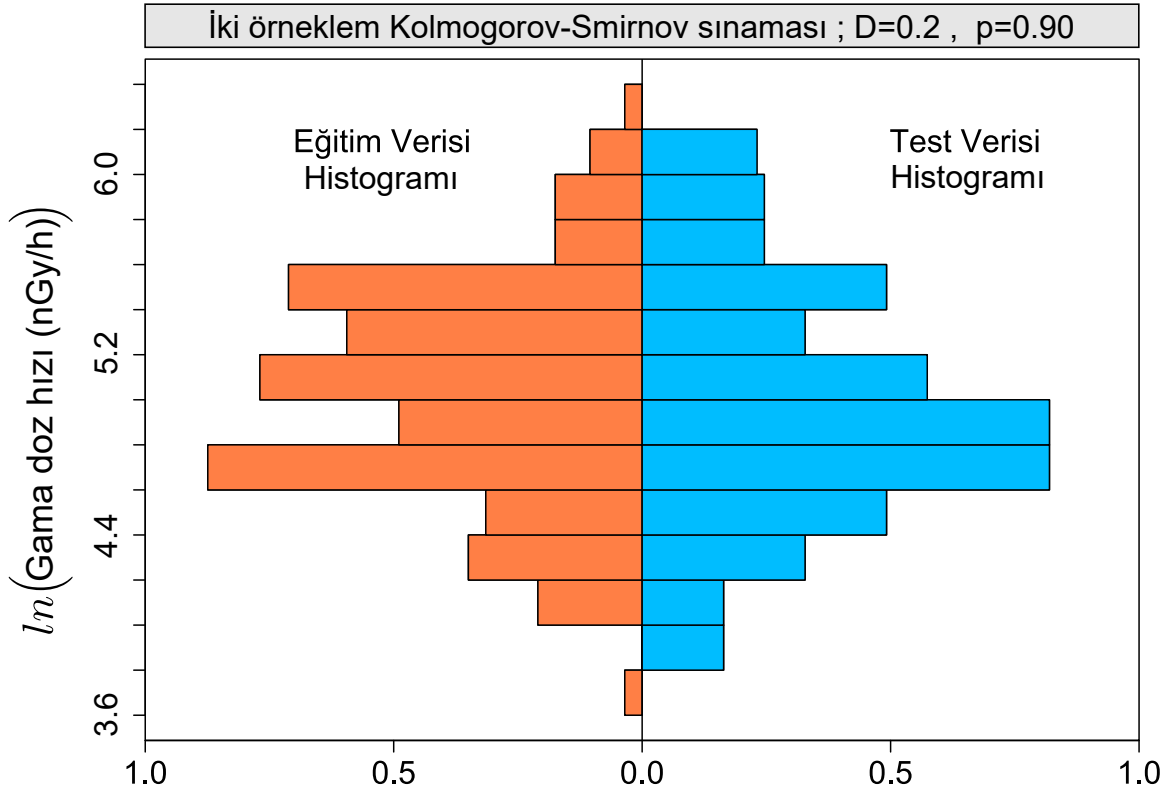
2.2.3.3. Çevresel Gama Doz Hızının Jeostatistiksel Modellemesi

Bu kısımda gama doz hızının konumsal yapısına bağlı olarak oluşturulan deneysel variogramlar ve bu variogramların uygun bir parametrik fonksiyonun fit edilmesi ile oluşturulan teorik variogramlardan elde edilen model parametreleri ile Ordinary Kriging (OK) ve Universal kriging (UK) yöntemleri kullanılarak ölçüm alınmamış noktalar için tahmin değerleri hesaplandı.

Bu kısım 3 aşamadan meydana gelmektedir. Bunlar; verilerin dönüştürülmesi, variogramların belirlenmesi, çapraz doğrulamadır.

2.2.3.3.1. Verilerin Dönüştürülmesi

Şekil 2.29’da hem eğitim verisi hem de test verisinin histogram diyagramlarından normal dağılıma uymadığı gösterilmiştir. Variogramın yapısını bozan ve kriging ağırlıklarının yanlış hesaplanmasına yol açan bu durumu ortadan kaldırmak için dağılımın normal dağılıma dönüştürülmesi gerekmektedir. Literatürde pek çok dönüşüm yöntemleri mevcut olup [53] bu çalışmada, eğitim ve test verilerinin doğal logaritmaları \ln alınarak veri kümesi dağılımlarının normal dağılıma dönüşmesi sağlanmıştır. Şekil 2.33’de logaritma dönüşümü yapılmış verilerin histogramları görülmektedir. Bu iki histogramın da Kolmogorov-Smirnov testi ($D=0.2$, $p\text{-value}=0.90$) ile anlamlı bir şekilde birbirinden farklı olmadığı görülmektedir. Ayrıca Shapiro-Wilk normallik testi ($p > 0.05$) ile iki veri setinin de normal dağılıma sahip olduğu belirlenmiştir.



Şekil 2.33. Eğitim ve test verilerinin Log-dönüştümlü histogramları

2.2.3.3.2. Variogramlar

Ordinary kriging (OK) aradeğer tahmini, deneysel izotropik yarıvariogramın oluşturulması ve uygun modelin bu yarıvariograma fit edilmesi ile belirlenebilir. Universal Kriging (UK) interpolation tahmini ise denklem 2.3 ile verilen çoklu regresyon modeline göre önerilen fonksiyon yardımı ile konumsal yapıyı yeniden belirlemek için kalıntıların yarıvariogramının oluşturulması ile elde edilir. Her iki deneysel variogramda uygun modeli bulmak için eğitim verileri için çapraz doğrulama işlemi gerçekleştirilir ve fit edilen parametrik fonksiyon ile elde edilen model parametreleri kullanılarak ara değer tahmini yapılabilir. Tablo 2.2 ve Tablo 2.3’de variogram fonksiyonunu en iyi temsil eden parametrik modelin seçilmesine yardım eden tanımlayıcı istatistiklerin özeti verilmektedir. Doğru tahminleri sağlayan bir model için ortalama hata (ME) ve hata karelerinin ortalamasının karekökü (RMSE) 0’a, ortalama hata karesi oran’ı (MSDR) 1’e mümkün olduğu kadar yakın olmalıdır. Buna göre dış gama doz hızının deneysel variogramı ve regresyon kalıntıları variogramının her ikisini de en iyi fit eden modelin üstel model olduğu belirlenmiştir. Şekil 2.34’de bu variogramlar ve fit edilen model parametreleri görülmektedir. İzotropik variog-

Tablo 2.2. İzotropik variogramı en iyi fit eden fonksiyonu belirlemek için oluşturulan model parametreleri

Model	ME	RMSE	MSDR	Range (m)	Nugget	Par. Sill	Nugget/Sill
Küresel	0.01	0.40	1.32	21973.11	0.03	0.18	0.14
Üstel	0.01	0.39	1.29	9084.67	0.004	0.23	0.017
Gauss	0.02	0.42	1.49	8781.01	0.05	0.15	0.25
Pentaspherical	0.01	0.40	1.32	26628.8	0.03	0.18	0.14
lineer	0.01	0.40	1.52	17363.13	0.05	0.17	0.22
Çembersel	0.01	0.39	0.33	19498.44	0.04	0.17	0.19

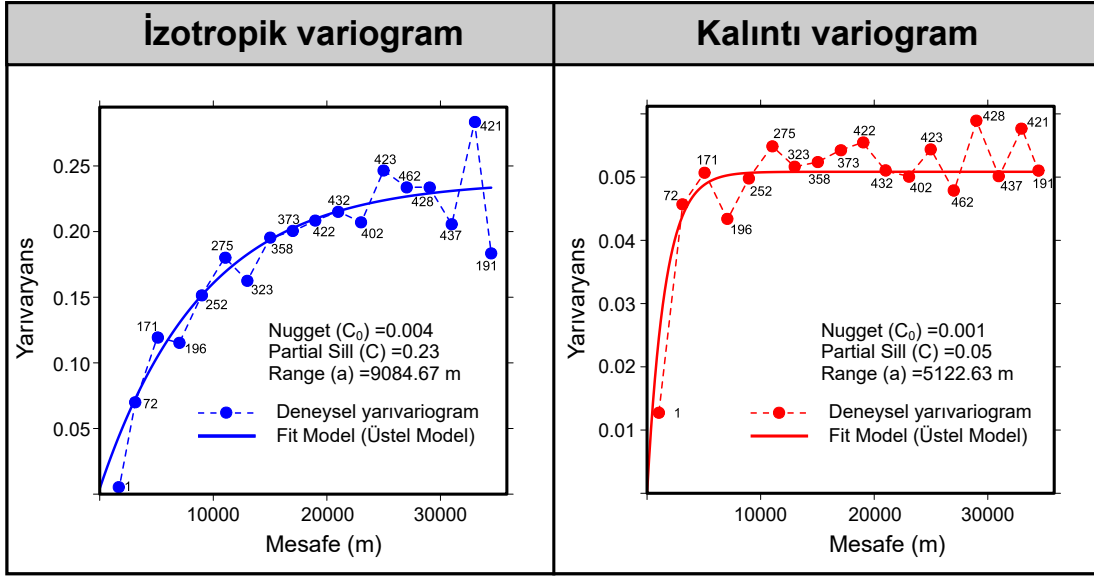
Tablo 2.3. Kalıntı variogramı en iyi fit eden fonksiyonu belirlemek için oluşturulan model parametreleri

Model	ME	RMSE	MSDR	Range (m)	Nugget	Par. Sill	Nugget/Sill
Küresel	0.001	0.25	1.31	4308.96	0.001	0.05	0.02
Üstel	0.001	0.25	1.24	5122.63	0.001	0.05	0.02
Gauss	0.001	0.27	1.33	8942.67	0.04	0.009	0.81
Pentaspherical	0.001	0.25	1.30	5098.93	0.001	0.05	0.02
lineer	0.001	0.33	1.35	13560.06	0.04	0.010	0.8
Çembersel	0.001	0.28	1.27	16301.91	0.04	0.011	0.78

ram (Şekil 2.34a) ve kalıntı variogramı (Şekil 2.34b) için sırasıyla, külçe etkisi (nugget effect, C_0) 0.004 ve 0.001 olarak bulunmuştur. Bu değerlerin küçük olması konumsal yapıyı ortaya çıkarmak için örnekleme yoğunluğunun uygun olduğunu göstermektedir. Ayrıca konumsal korelasyonun bir göstergesi olan etki mesafesi (range, a) 9084.67 m ve 45122.63 m olarak belirlenmiştir. Bu değerler örnekleme sıklığından (yaklaşık ortalama 4000 m) büyüktür. Bunlara ek olarak *nugget/sill* oranı her iki variogramda da %5 den az olması değişken için konumsal bağıllığın güçlü olduğunu göstermektedir. Bu sebeplerden aradeğer tahmin haritalarının ortaya koyacağı konumsal yapının, hem OK de hem de UK de gama doz hızlarının dağılımını iyi bir şekilde yansıtacağı ortaya konulmuştur.

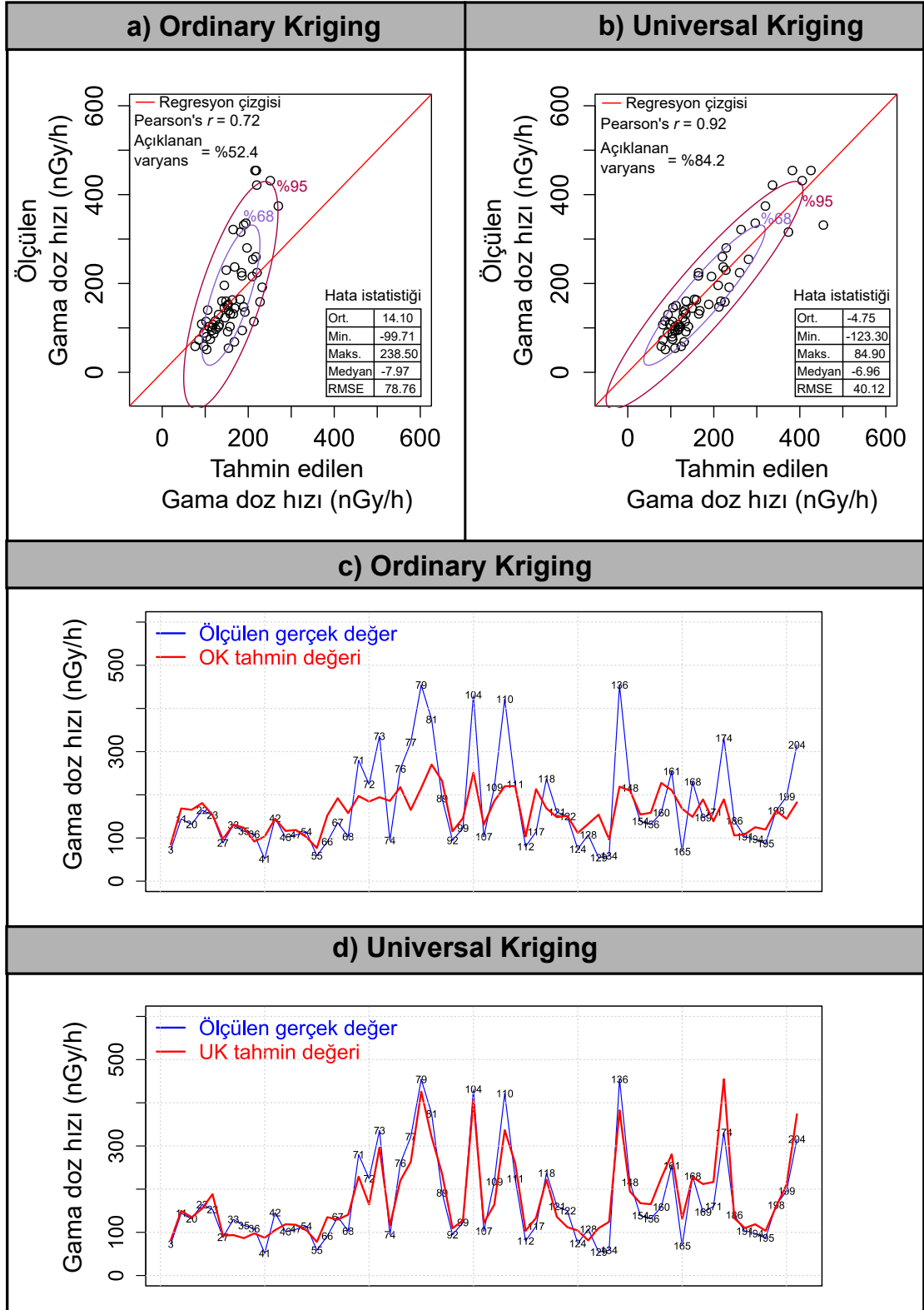
2.2.3.3.3. Test Verilerinin Çapraz Doğrulaması

Üstel model ile fit edilen variogramların model parametrelerinden yararlanarak ordinary kriging (OK) ve universal kriging (UK) yöntemleri ile test verileri tahmin edilmiş ve gerçek değerler ile karşılaştırılmıştır. Şekil 2.35a ve Şekil 2.35b'de hem ordinary kriging hem



Şekil 2.34. Deneyisel ve teorik variogramlar a) izotropik variogram , b) kalıntı variogram. (Sayılar, deneyisel variogramdaki uygulama mesafesi değerine sahip istasyon çiftlerini göstermektedir)

de universal kriging için gerçek ve tahmin edilen veriler için saçılma grafikleri verilmiştir. Her iki diyagramda da tahmin edilen tüm noktalar %95'lik güven elipsi içinde kalmıştır. Ancak UK güven elipsinin uzun çapı regresyon çizgisine OK'dan daha yakındır. Bu durum UK yönteminin tahmin performansının OK'den daha iyi olduğunu göstermektedir. Bir diğer performans ölçütü olan Pearson's r katsayısı ise OK ve UK için sırasıyla 0.72 ($p < 0.001$) ve 0.92 ($p < 0.001$) olarak belirlenmiştir. Ayrıca RMSE ve ME, OK için 78.76 ve 11.10; UK için 40.12 ve -4.75 olarak hesaplanmıştır. OK yöntemi kullanılarak önerilen model ile gama doz hızındaki toplam değişimin %52.4 açıklanırken UK yöntemi kullanılarak önerilen model ile toplam değişimin %84.2'si açıklanmıştır. Şekil 2.35c ve Şekil 2.35d sırasıyla OK ve UK yöntemlerinin test verilerini her bir istasyon için tahmin etme performansları gösterilmiştir. Bu şekillerde de açıkça görüldüğü gibi UK yönteminin matematiksel hesap yükü fazla olsa da, gama doz hızları ara değer tahmininde OK yönteminden daha yüksek performansa sahip olduğu belirlenmiştir. Ancak ek bir regresyon verisine ihtiyaç duymadan sadece örnekleme istasyonlarının konumsal ilişkisine bağlı olarak hesaplama yapan OK yönteminin, gama doz hızının dağılımının genel yapısını ortaya çıkartılmasında etkili olduğu görülmüştür.



Şekil 2.35. Tahmin edilen değerlere karşı gama doz hızlarının gerçek değerinin saçılma diyagramı ve hata istatistikleri a) OK yöntemi sonuçları, b) UK yöntemi sonuçları, c)OK yöntemi nin test istasyonlarını tahmin etme performansı d)UK yönteminin test istasyonlarını tahmin etme performansı (numaralar test istasyonlarını göstermektedir)

2.2.3.4. Çevresel Gama Doz Hızının Yapay Sinir Ağları Modellemesi

Bu kısımda çevresel gama doz hızı deneysel bulgularından yararlanarak oluşturulan yapay sinir ağları (YSA) yapısı ile tüm alanın gama doz hızı dağılım tahmini belirlenmiştir. Bu çalışmada ileri beslemeli (Çok katmanlı YSA (MLP), Radyal fonksiyon tabanlı YSA (RBFNN) ve Kantil regresyon YSA (QRNN)) ve geri beslemeli (Jordan Ağları (JA) ve Elman ağları (EA)) kullanılmış ve tahmin performansları kendi aralarında değerlendirilmiştir.

Bu kısım 3 aşamadan meydana gelmektedir. Bunlar; verilerin dönüştürülmesi, yapay sinir ağları mimarisi ve eğitimi son olarak test verilerinin çapraz doğrulamasıdır.

2.2.3.4.1. Verilerin Dönüştürülmesi

Eğitim ve test için ayrılan verilerin her ikisini de yapay sinir ağı eğitimine başlatmadan önce birimsizleştirmek gerekir. Çünkü logistik ya da hiperbolik tanjant gibi doğrusal olmayan aktivasyon fonksiyonları bir nöronun çıktısını $(0, 1)$ veya $(-1, 1)$ aralığında sıkıştırırlar [110]. Eğer dönüşüm sağlanmazsa hesaplamalarda kaçınılmaz hatalar meydana gelir.

Bu çalışmada istatistiksel normalizasyon kuralı uygulanmıştır. İstatistiksel normalizasyon, μ ve σ sırasıyla verilerin ortalaması ve standart sapması olmak üzere denklem 2.4'de gösterildiği gibidir.

$$x_n = \frac{x_0 - \mu}{\sigma} \quad (2.4)$$

Burada, x_n normalleştirilmiş veriyi, x_0 orjinal veriyi temsil etmektedir. Hesaplama işleminin sonunda ağdan alınan çıktı verilerinin de tekrar ters dönüşümle orjinal gösterimlerine çevrilmesi sağlanmıştır.

2.2.3.4.2. Yapay Sinir Ağlarının Mimarisi ve Eğitimi

Verilerin normalleştirilmesinden sonra gama doz hızı dağılımının genel yapısını belirlemek için tüm ağların deneysel veriler ile eğitimi gerçekleştirilmiştir. Mimari yapısı tablo 2.4'de gösterilen bu ağların eğitimi için; 5 girdi parametresi tanımlanmıştır. Bunlar; enlem, boylam, yükseklik, toprak yapısı ve jeolojik kayaç yapısıdır. Çıktı parametresi ise bu verilere karşılık gelen çevresel gama doz hızı değerleridir.

Tablo 2.4'de yer alan , GS; girdi sayısı, ÇS; çıktı sayısı, GKS; gizli katman sayısı,

Tablo 2.4. Çalışmada kullanılan yapay sinir ağlarının genel mimari yapısı

YSA	GS	ÇS	GKS	MİS	TF	AF	IF
MLP	5	1	(33,21,12)	150	BP (0.2, 0)	LF	RA
RBFNN	5	1	52	150	BP(0.1, 0)	GF	RA
QRNN	5	1	(20,12,15)	150	BP($\tau=0.99$)	HTF	RA
Jordan	5	1	(36,16)	150	JEBP (0.01)	HTF	JEA
Elman	5	1	(30,20)	150	JEBP (0.01)	HTF	JEA

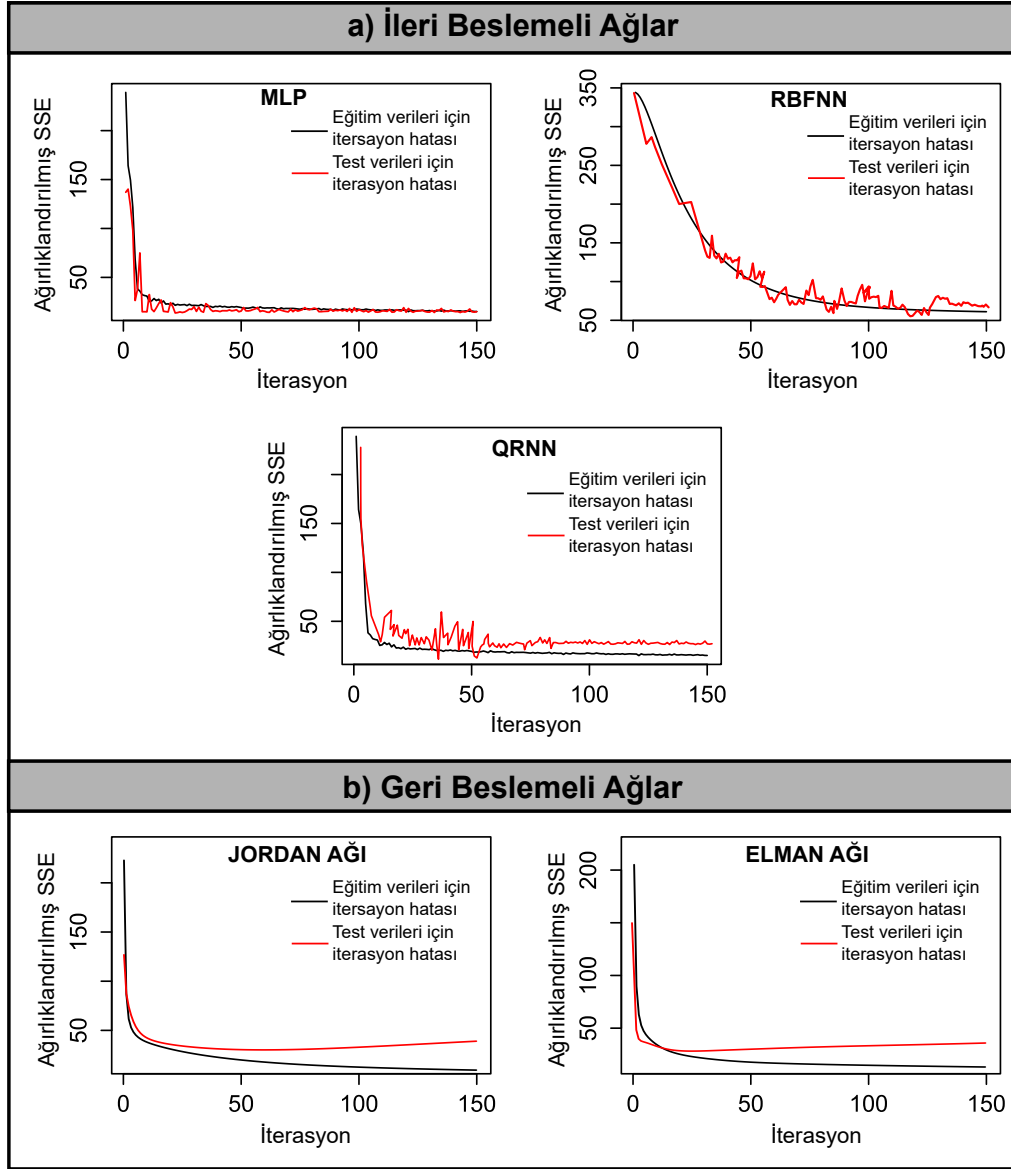
BP= Geri yayılım fonksiyonu; LF= Lojistik fonksiyon; RA= Rastgele ağırlıklar, GF= Gauss Fonksiyonu; HTF= Hiperbolik tanjant fonksiyonu; JEBP= Jordan-Elman geri yayılım fonksiyonu; JEA=Jordan-Elman başlangıç ağırlıkları

MİS; maksimum iterasyon sayısı, TF ; öğrenme fonksiyonu, AF; aktivasyon fonksiyonu ve IF; başlangıç fonksiyonu'nu temsil etmektedir. Ayrıca MLP ve RBFNN ağ yapısı için, eğitim fonksiyonu satırda parantez içinde gösterilen 0.2 ve 0 değerleri sırasıyla gradyent inişin adım parametresi ve hedef değer ile çıktı değerleri arasındaki maksimum tolere edilebilen hata değeridir. Jordan ve Elman ağ yapısı için, eğitim fonksiyonu satırda parantez içinde gösterilen 0.01 öğrenme fonksiyonu için belirlenen parametre değeridir. QRNN ağ yapısındaki eğitim fonksiyonu parametresi olarak belirlenen 0.99 değeri, hesaplamalarda kantil sayısı olarak (τ), olarak kullanılmıştır.

Şekil 2.36'da, her bir ağ yapısı için iterasyon değerlerindeki hata değişimleri hem eğitim hemde test verileri için gösterilmiştir. Burada ağırlıklandırılmış SSE eksenini, hata karelerinin toplamını (summed squared error, SSE) göstermektedir. Bu şekillerde her bir iterasyonda geri yayılan hataların azaldığı ve zamanla sabitlendiği görülmektedir. Özellikle MLP, RBFNN ve QRNN (ileri beslemeli ağlar) ağlarında eğitim ve test verileri için uygun hata azalışları gözlenmesine rağmen Jordan ve Elman (geri beslemeli ağlar) ağlarında test verileri için belirli bir iterasyondan sonra hataların azda olsa artış eğiliminde olduğu görülmektedir. Ancak bu durum ağların performansını etkileyecek düzeylerde bir artış oluşturmadığından tahmin hesaplarında bir aksaklığa yol açmamıştır.

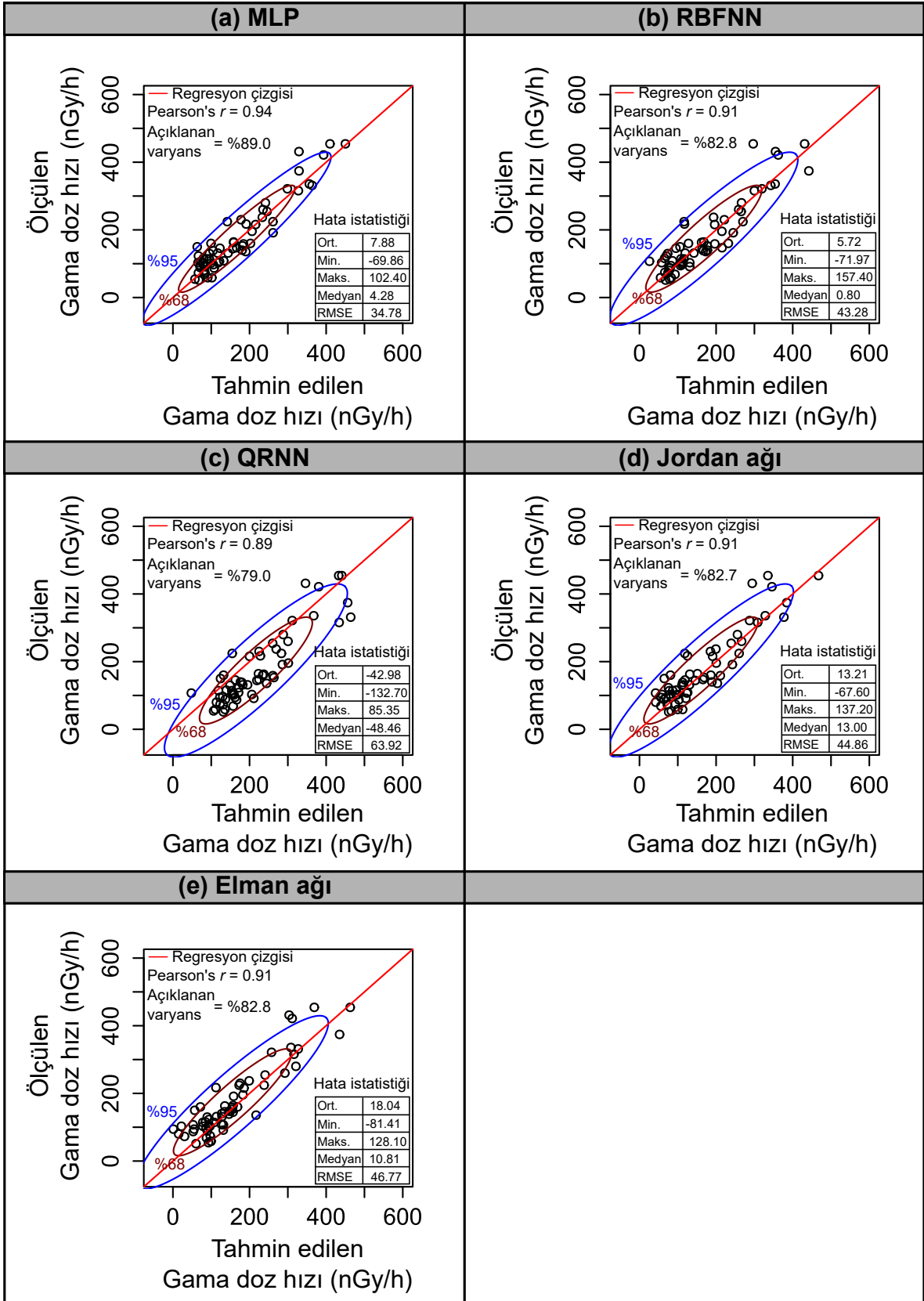
2.2.3.4.3. Test Verilerinin Çapraz Doğrulaması

Çapraz doğrulamada belirlenen YSA'ların her biri ile ağlara hiç tanıtılmamış test verilerinin ağ tarafından tahmin edilmesi sağlanmıştır. Böylelikle deneysel bulgular ile elde



Şekil 2.36. Çalışmada kullanılan yapay sinir ağlarının eğitim ve test verileri için iterasyon değerlerindeki hata değişimleri

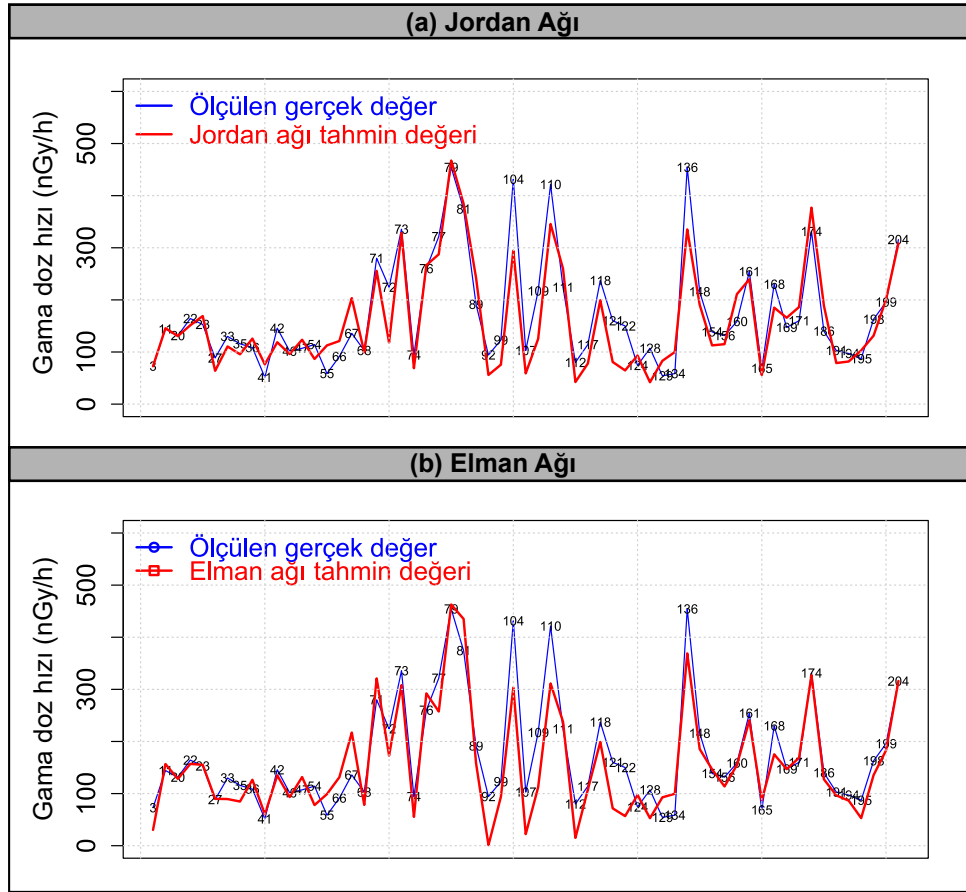
edilen gerçek sonuçların YSA ile tahmin edilen çıktı değerleri ile karşılaştırması yapılmıştır. Şekil 2.37’de her bir ağ yapısı ile oluşturulan çapraz doğrulama sonuçları gösterilmektedir. Buna göre; ileri beslemeli ağlar olan MLP, RBFNN ve QRNN de Pearson’s r korelasyon katsayıları sırasıyla, 0.94,0.91 ve 0.89 ($p < 0.001$); RMSE değerleri, 34.78,43.28 ve 63.92 olarak belirlenmiştir. Ayrıca MLP, RBFNN ve QRNN modelleri ile gama doz hızındaki toplam değişimin sırasıyla %89.0, %82.8 ve %79.0 açıkladığı hesaplanmıştır. Her üç ileri beslemeli ağ yapısında da tahmin noktalarının çok büyük kısmı %95’lik güven elipsi içinde kalmıştır. Geri beslemeli ağlar olan Jordan ve Elman ağlarında Pearson’s r korelasyon katsayıları her ikisinde de 0.91 ($p < 0.001$) olarak hesaplanırken, RMSE değerleri, 44.86 ve 46.77 olarak



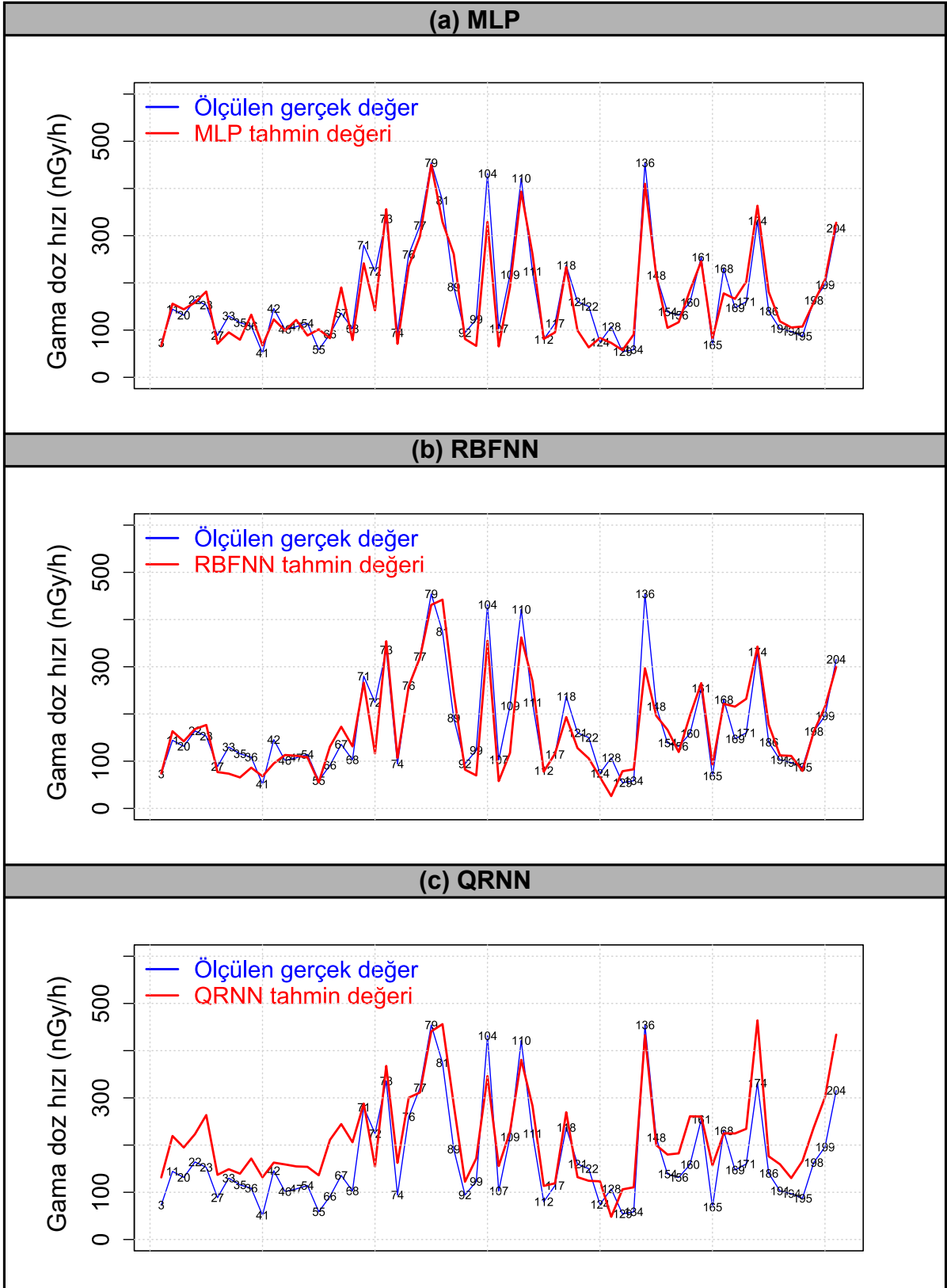
Şekil 2.37. Yapay sinir ağları ile tahmin edilen değerlere karşı gama doz hızlarının gerçek değerinin saçılma diyagramı ve hata istatistikleri

belirlenmiştir. Ayrıca Jordan ve Elman modelleri ile gama doz hızındaki toplam değişimin sırasıyla %82.7 ve %82.8 açıkladığı tespit edilmiştir. Her iki geri beslemeli ağ yapısında da tahmin noktalarının çok büyük kısmı %95'lik güven elipsi içinde kalmıştır.

Çapraz doğrulama sonuçlarına göre hem ileri beslemeli hem de geri beslemeli ağ yapıları ile oluşturulan modellerin test verilerindeki gama doz hızı değerlerini tahmin etme performanslarının çok yüksek oranda olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre MLP ağlarının gama doz hızlarının ara değer tahmininde diğer ağlara göre bir miktar daha yüksek performansa sahip olduğu belirlenmiştir. Şekil 2.38 ve Şekil 2.39'da sırasıyla geri ve ileri beslemeli yapay sinir ağlarının test verilerini her bir istasyon için tahmin etme performansları gösterilmiştir.



Şekil 2.38. Geri beslemeli yapay sinir ağlarının test istasyonlarını tahmin etme performansı (numaralar test istasyonlarını göstermektedir)



Şekil 2.39. İleri beslemeli yapay sinir ağlarının test istasyonlarını tahmin etme performansı (numaralar test istasyonlarını göstermektedir)

2.2.3.5. Çevresel Gama Doz Hızının Bulanık Mantık Modellemesi

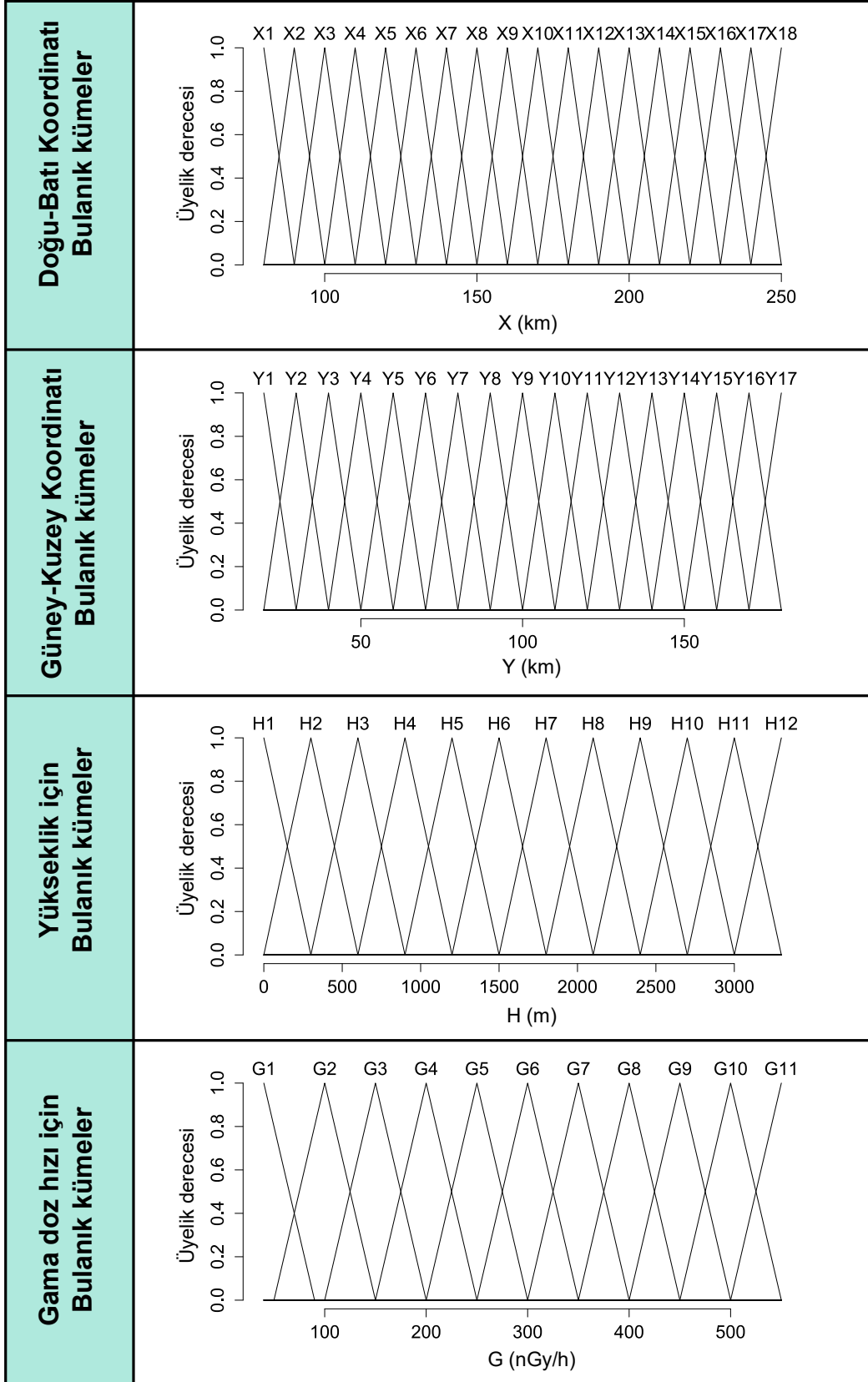
Bu kısımda çevresel gama doz hızı deneysel bulgularından yararlanarak oluşturulan bulanık kümeler ve bulanık kural tabanları ile tüm alanın gama doz hızı dağılım tahmini belirlenmiştir. Bu çalışmada Doğu-Batı X koordinatı, Güney-Kuzey Y koordinatı ve yükseklik verileri ile birlikte gama doz hızları değerleride bulanık kümeler ile gösterilmiş ve ölçüm verilerine göre kural tabanları oluşturulmuştur.

Bu kısım 3 aşamadan meydana gelmektedir; bunlar; verilerin dönüştürülmesi ve bulanık kümeler, bulanık kural tabanı ve sonuç çıkarımı, son olarak test verilerinin çapraz doğrulamasıdır.

2.2.3.5.1. Bulanık Kümelerin Oluşturulması

Bulanık kümelerin oluşturulmasında sayısal verilerin sözel ifadeler ile belirli kümelere dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu çalışmada tahmin edilmek istenen grid değerlerinin koordinatı enlem boylam ve yükseklik değerleri ile tanımlanmış olduğundan gama doz hızı değerlerini tahmin etmek için bu üç kümenin bulanıklaştırılması gerçekleştirilmiştir. Şekil 2.40'da Doğu-Batı koordinatı (X), Güney-Kuzey koordinatı,(Y), yükseklik (H) ve gama doz hızı (G) sonuçlarının bulanıklaştırılmış kümeleri gösterilmektedir. Burada boylam ve enlem değerleri işlem kolaylığı sağlamak amacı ile standartlaştırılmıştır. Normal durumda Gauss-Kruger koordinat değerinde tanımlanan konum verileri, boylamlardan 4500000 çıkarıp 1000 bölerek, enlemlerden 4900000 çıkarıp 1000 bölerek, standart değerlerinde gösterilmiştir. Yükseklik verileri ise dönüştürülmeden aynen kullanılmıştır. Bu çalışmada Artvin sınırlarını ve özelliklerini tanımlayacak şekilde, yükseklik verileri 12, boylam ve enlem verileri sırasıyla, 18 ve 17 adet bulanık küme ile temsil edilmiştir. Gama doz hızı ölçüm sonuçları ise 11 adet bulanık küme ile tanımlanmıştır.

Bulanık kümelerin oluşturulmasında, çalışılan alanın genişliği ve bu alanın temsiliyet derecesinin yüksek olması dikkate alınmıştır. Jeolojik yapı ve toprak tipi gibi kendi aralarında derecelendirilemeyen kümeler için bulanıklaştırma yapılmamış ve bu gibi faktörler hesaplama katılmamıştır. Bu çalışmada gerçekleştirilen bulanık mantık modellemesi hem hesaplama hızını arttırmak hem de bulanık kural sayısını azaltmak için gama doz hızının 3 boyuttaki konumsal korelasyonlarına bağlı olarak değerlendirilmiştir.

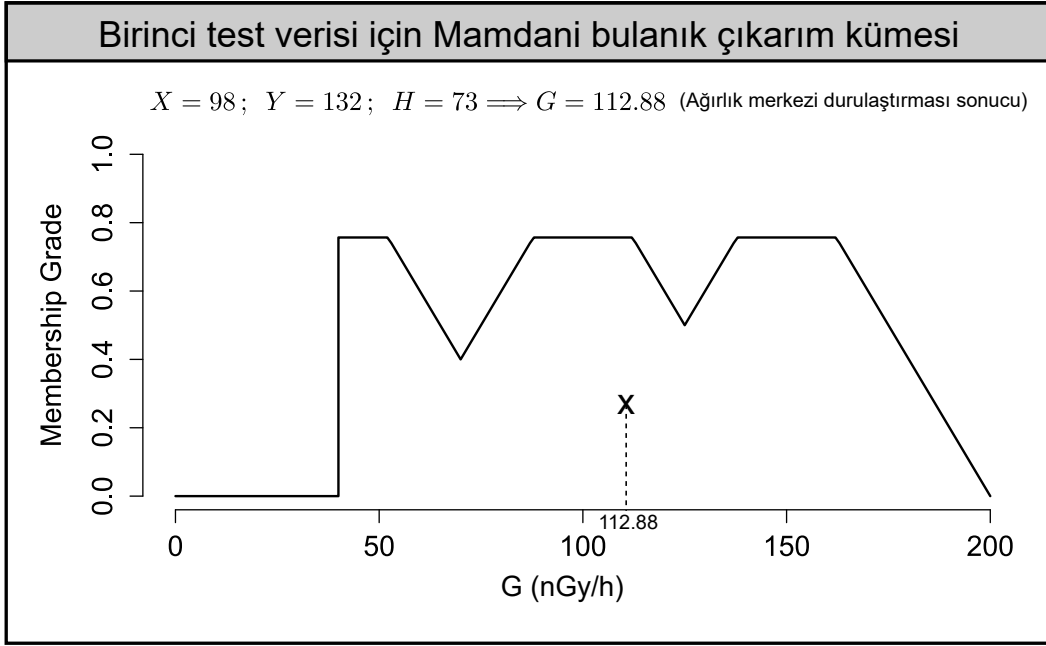


Şekil 2.40. Gama doz hızının tahmininde kullanılan bulanık kümeler

2.2.3.5.2. Bulanık Kural Tabanı ve Sonuç Çıkarımı

Gama doz hızlarının deneysel bulgularına göre belirlenen bulanık kuralların bir kısmı aşağıda verilmiştir.

Kural-1:	EĞER	X;	X2	ve	Y;	Y12	ve	H;	H1	İSE	G;	G1	'dir
Kural-2:	EĞER	X;	X3	ve	Y;	Y13	ve	H;	H1	İSE	G;	G1	'dir
Kural-3:	EĞER	X;	X4	ve	Y;	Y12	ve	H;	H3	İSE	G;	G3	'dir
Kural-4:	EĞER	X;	X3	ve	Y;	Y13	ve	H;	H2	İSE	G;	G2	'dir
Kural-5:	EĞER	X;	X4	ve	Y;	Y8	ve	H;	H8	İSE	G;	G7	'dir
Kural-6:	EĞER	X;	X2	ve	Y;	Y5	ve	H;	H9	İSE	G;	G10	'dir
Kural-7:	EĞER	X;	X5	ve	Y;	Y7	ve	H;	H5	İSE	G;	G5	'dir
Kural-8:	EĞER	X;	X12	ve	Y;	Y10	ve	H;	H5	İSE	G;	G4	'dir
Kural-9:	EĞER	X;	X11	ve	Y;	Y8	ve	H;	H5	İSE	G;	G4	'dir
Kural-10:	EĞER	X;	X9	ve	Y;	Y11	ve	H;	H5	İSE	G;	G3	'dir
Kural-11:	EĞER	X;	X8	ve	Y;	Y7	ve	H;	H4	İSE	G;	G5	'dir
Kural-12:	EĞER	X;	X7	ve	Y;	Y10	ve	H;	H3	İSE	G;	G1	'dir
Kural-13:	EĞER	X;	X10	ve	Y;	Y10	ve	H;	H7	İSE	G;	G6	'dir
Kural-14:	EĞER	X;	X15	ve	Y;	Y12	ve	H;	H5	İSE	G;	G3	'dir
Kural-15:	EĞER	X;	X16	ve	Y;	Y12	ve	H;	H7	İSE	G;	G5	'dir
Kural-16:	EĞER	X;	X5	ve	Y;	Y11	ve	H;	H5	İSE	G;	G3	'dir
Kural-17:	EĞER	X;	X11	ve	Y;	Y14	ve	H;	H10	İSE	G;	G9	'dir
Kural-18:	EĞER	X;	X3	ve	Y;	Y13	ve	H;	H1	İSE	G;	G3	'dir
Kural-19:	EĞER	X;	X5	ve	Y;	Y13	ve	H;	H2	İSE	G;	G2	'dir
Kural-20:	EĞER	X;	X4	ve	Y;	Y13	ve	H;	H5	İSE	G;	G6	'dir
Kural-21:	EĞER	X;	X1	ve	Y;	Y4	ve	H;	H10	İSE	G;	G9	'dir
Kural-22:	EĞER	X;	X4	ve	Y;	Y2	ve	H;	H5	İSE	G;	G3	'dir
Kural-23:	EĞER	X;	X2	ve	Y;	Y6	ve	H;	H10	İSE	G;	G11	'dir
Kural-24:	EĞER	X;	X13	ve	Y;	Y10	ve	H;	H4	İSE	G;	G1	'dir
Kural-25:	EĞER	X;	X10	ve	Y;	Y9	ve	H;	H3	İSE	G;	G1	'dir
Kural-26:	EĞER	X;	X13	ve	Y;	Y9	ve	H;	H4	İSE	G;	G5	'dir
Kural-27:	EĞER	X;	X10	ve	Y;	Y13	ve	H;	H11	İSE	G;	G8	'dir



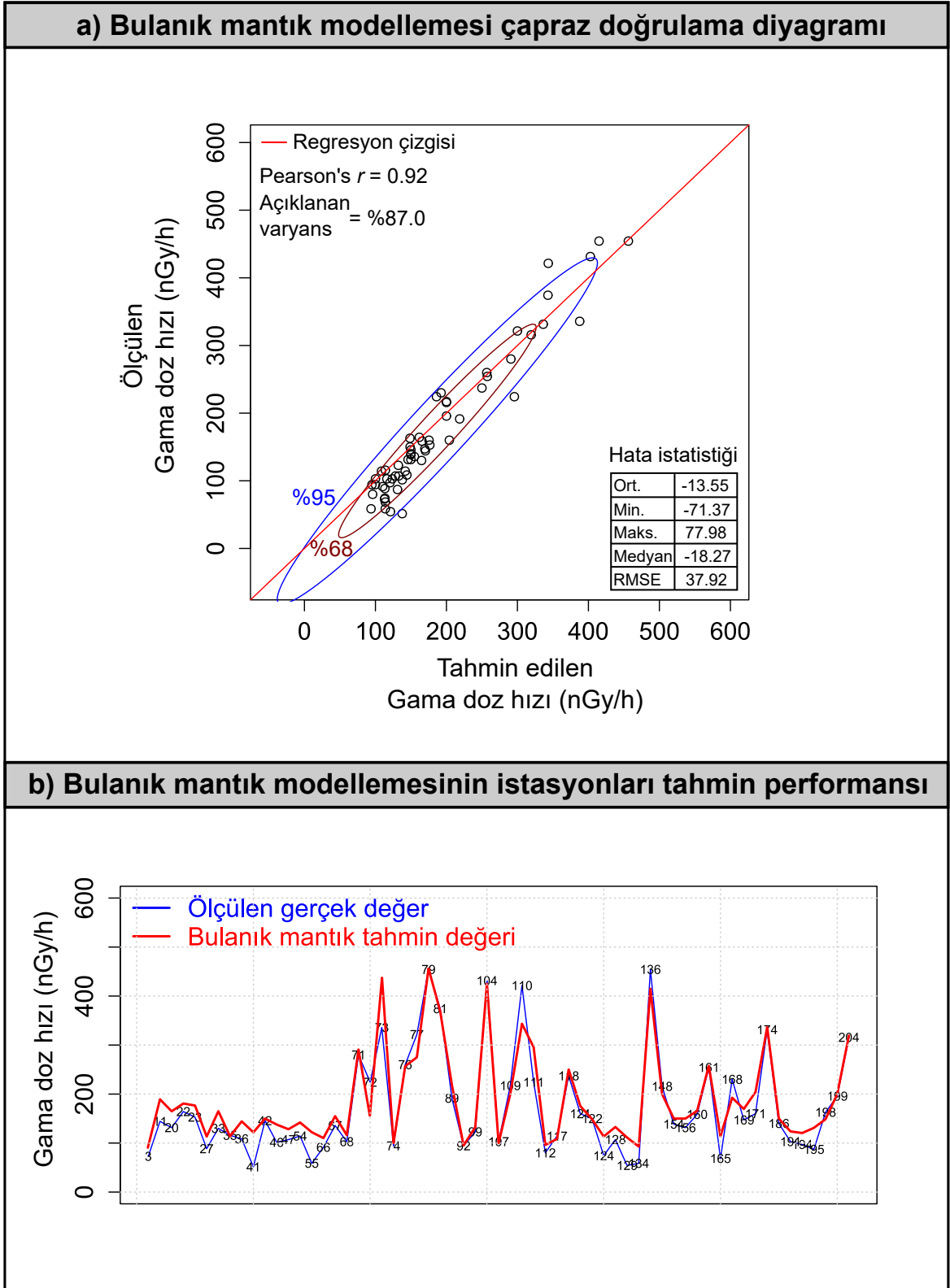
Şekil 2.41. Birinci test verisi için bulanık çıkarım kümesi ve durulaştırma işlemi

Tüm kural tabanı Mamdani bulanık çıkarım sisteminde değerlendirilmiştir. Şekil 2.41’de birinci test verisi için çıkarım bulanık kümesi sonucu gösterilmektedir. Bu oluşan bulanık küme ağırlık merkezi yöntemi ile durulaştırılmış ve tahmin sonucu olarak yazılmıştır.

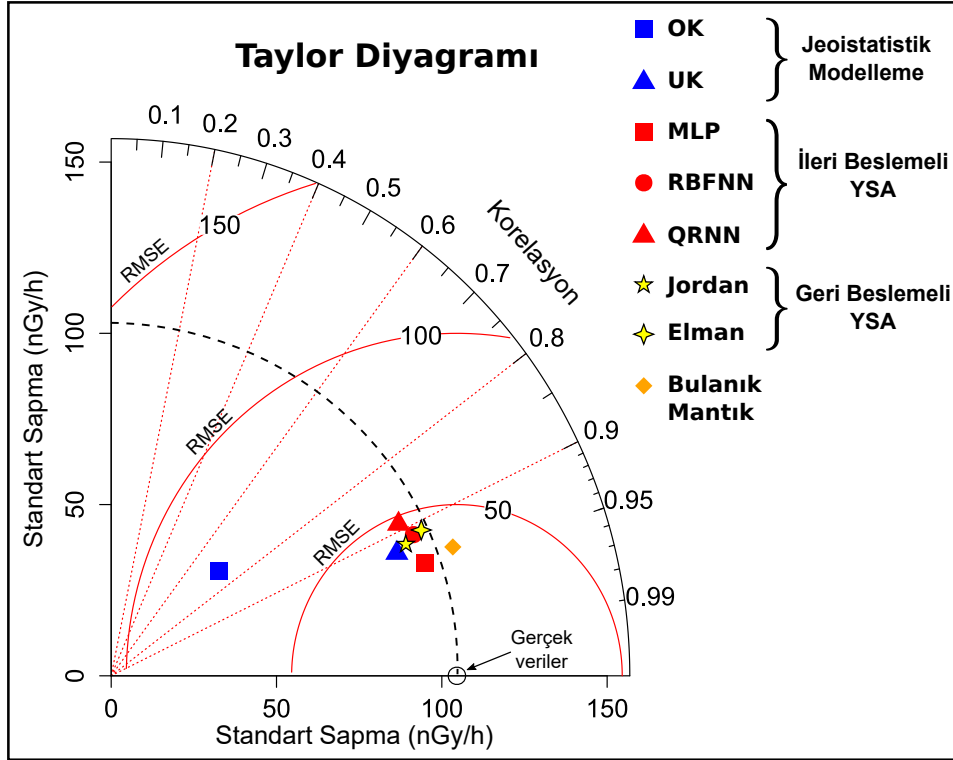
2.2.3.5.3. Test Verilerinin Çapraz Doğrulaması

Bulanık kümeler ve oluşturulan deneysel kurallar yardımı ile sisteme tanıtılmayan deneysel test verileri bulanık mantık modellemesi ile tahmin edilmiştir. Tahmin sonucunu gösteren çapraz doğrulama için saçılma diyagramı Şekil 2.42a’da gösterilmiştir. Buna göre; Pearson’s r korelasyon katsayısı ve RMSE değerleri, sırasıyla, 0.92 ($p < 0.001$) ve 37.92 olarak hesaplanmıştır. Bulanık mantık yaklaşımları ile oluşturulan modelin gama doz hızındaki toplam değişimin %87.0’nin açıkladığı belirlenmiştir. Ayrıca tahmin değerlerinin çok büyük kısmının %95’lik güven elipsi içinde kaldığı belirlenmiştir.

Bu sonuçlara göre bulanık mantık modelinin gama doz hızlarının ara değer tahmininde oldukça yüksek performansa sahip olduğu belirlenmiştir. Şekil 2.42b’de önerilen bulanık mantık modellemesinin gama doz hızlarına ait test verilerini, her bir istasyon için, tahmin etme performansları gösterilmiştir.



Şekil 2.42. a) Bulanık mantık yaklaşımı ile tahmin edilen değerlere karşı gama doz hızlarının gerçek değerinin saçılma diyagramı ve hata istatistikleri. b) Bulanık mantık modellemesinin test istasyonlarını tahmin etme performansı (numaralar test istasyonlarını göstermektedir)



Şekil 2.43. Taylor diyagramı ve model performanslarının karşılaştırılması

2.2.3.6. Modellerin Performans Değerlendirmesi

Bu çalışmada gama doz hızını tahmin etmek için önerilen tüm modellerin performansları, Taylor diyagramında görselleştirilerek değerlendirilmiştir. Taylor diyagramı [172] önerilen modellerin gerçek değerleri temsil etme güçlerini grafiksel olarak özetlemenin bir yoludur. Bu diyagram fazla sayıda ve farklı modellerin performanslarının karşılaştırılması ve değerlendirilmesinde oldukça kullanışlı bir gösterim şeklidir [173].

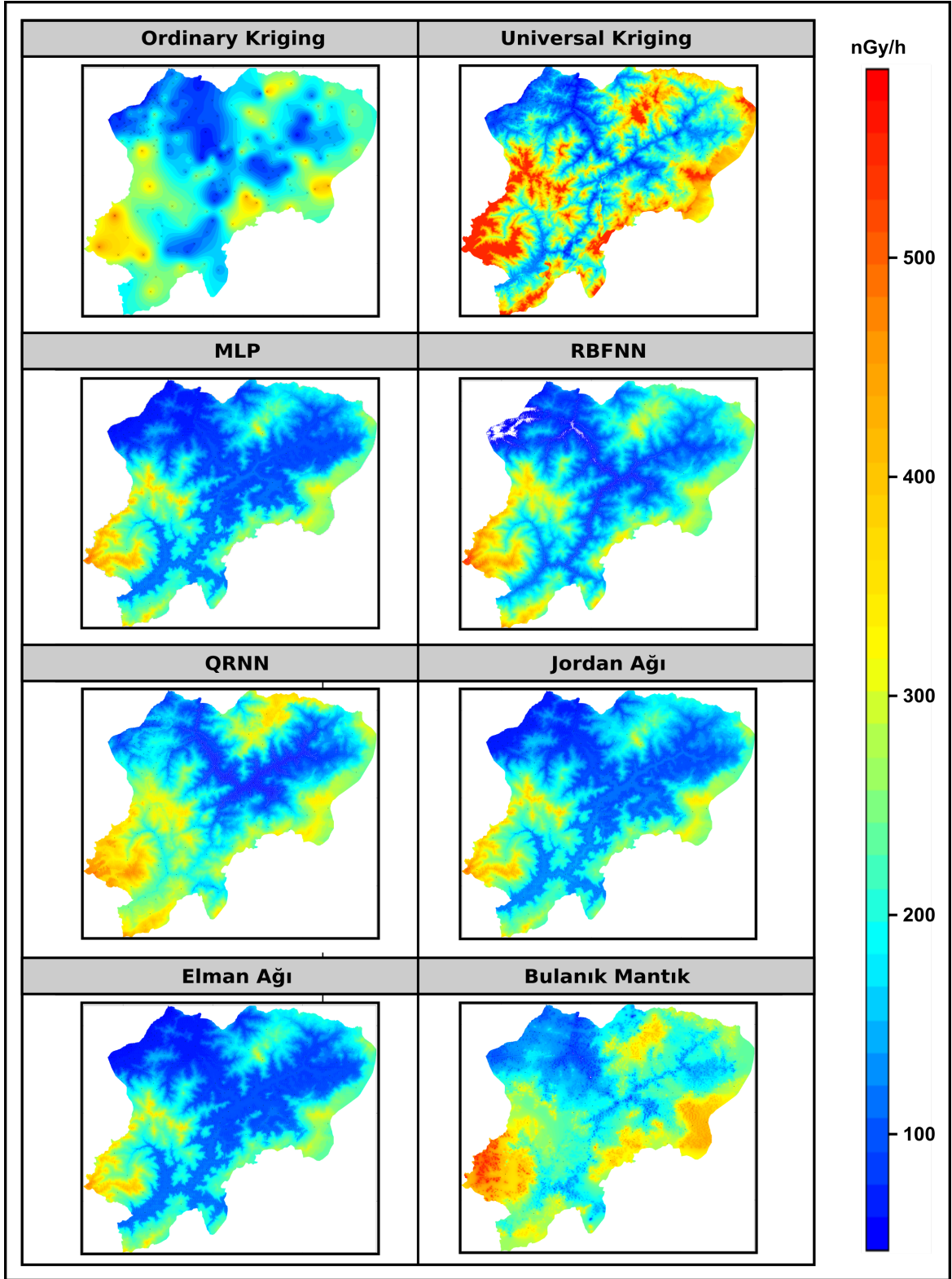
Şekil 2.43’de jeoistatistik analiz, yapay sinir ağları ve bulanık mantık yaklaşımları ile gama doz hızının gerçek test verilerini tahmin etme performansları Taylor diyagramında gösterilmiştir. Burada OK yöntemi hariç diğer tüm modellerin yüksek Korelasyon katsayısına, ve düşük RMSE değerlerine sahip olduğu göze çarpmaktadır. Ayrıca yine OK metodu dışında diğer tüm yöntemlerin gerçek verilerin değişkenlik aralığını (standart sapma miktarı=104.56 nGy/h) temsil etmede oldukça başarılı olduğu görülmektedir.

Bu çalışmada çevresel gama doz hızlarının aradeğer tahmininde başarılı olan en iyi model MLP (Pearson’s $r = 0.94$, RMSE = 34.78 ve standart sapma=100.53) olarak belirlenmiştir.

2.2.3.7. Çevresel Gama Doz Oranının Haritalandırılması

Örnek alınmamış noktaların tahmini ve haritalandırılması için çalışma alanı $100\text{ m} \times 100\text{ m}$ (1 ha'lık mekansal çözünürlük) hücrelere ayrılmış, grid sistemi ile temsil edilmiştir. Bölgenin tamamı için 1634 sütun (doğu-batı yönü 163400m) ve 1409 satırlık (güney-kuzey 140900 m) grid noktası oluşturulmuştur. Her bir grid noktası için, belirlenen tüm modellerde çevresel gama doz hızı aradeğer tahminleri hesaplanmış ve sonuçlar bir renk skalası ile renklendirilmiştir. Modeller ile belirlenen aradeğer tahmin haritaları Şekil 2.44'de gösterilmiştir. Bu haritalardan; OK tahmin yönteminin diğer yöntemlere göre yumuşatma etkisinin oldukça fazla olduğu dikkati çekmektedir. Bu sebepten yerel değişimler belirgin bir şekilde görülmemesine karşın çalışma alanındaki çevresel gama doz hızının dağılımını kabaca belirleyebilmiştir. UK yönteminde ise hesaplamada kullandığı yardımcı regresyon değişkenlerinin (yükseklik, jeolojik yapı ve toprak tipi) etkisi ile lokal değişimler oldukça belirgin olmasına karşın bazı noktalarda aşırı tahmin değerlerine ulaşılmıştır. Çapraz doğrulama verilerine göre dağılımı en iyi yansıtan MLP modelinde ise çevresel gama doz hızı değerlerinin dağılımının, diğer yapay sinir ağları modellerine (RBFNN, QRNN, Jordan ve Elman ağları) benzerlik gösterdiği görülmektedir. Ancak yerel değişimlerin belirlenmesinde çapraz doğrulama testinde olduğu gibi MLP modelinin daha başarılı olduğu belirlenmiştir. Bulanık mantık modellemesi ile oluşturulan harita ise tüm modellere benzer bir dağılım göstermiştir. Çevresel gama doz hızı dağılımını en iyi tanımlayan aradeğer tahmin haritası olan MLP yaklaşımına ait harita büyük ölçekli olarak Ek-1'te sunulmuştur.

Değişik modeller ile önerilen tüm haritalar çalışma alanının jeolojik (Şekil 2.3) ve toprak yapısı (Şekil 2.4) ile beraber değerlendirildiğinde, çevresel gama doz hızı değişiminin özellikle granit yapıları kayaçlar ve yüksek dağ çayır toprakları grubunun bulunduğu bölgelerde belirgin bir şekilde arttığı görülmektedir. Ayrıca çalışma alanının çok engebeli bir arazi olması sebebi ile yükseklik değerlerinin ani değişimi kozmik ışınların etkisi ile gama doz hızlarında ani değişime yol açmış ve bu durum oluşturulan tüm haritalarda açıkça belirlenmiştir.



Şekil 2.44. Artvindeki çevresel gama doz hızı dağılımının tüm modeller ile oluşturulan tahmin haritaları

2.2.4. Toplam Alfa Ve Toplam Beta Konsantrasyonunun Aradeğer Modellemesi

Bu çalışmada su numunelerinden belirlenen toplam alfa ve toplam beta aktivite yoğunluğunu, jeoistatistik yaklaşımlar (Ordinary kriging ve Co-kriging), yapay sinir ağıları yöntemi, bulanık mantık yaklaşımları ile modellenmiş ve dağılımları haritalandırılmıştır.

2.2.4.1. Toplam Alfa ve Toplam Beta Aktivite Verilerinin Değerlendirilmesi

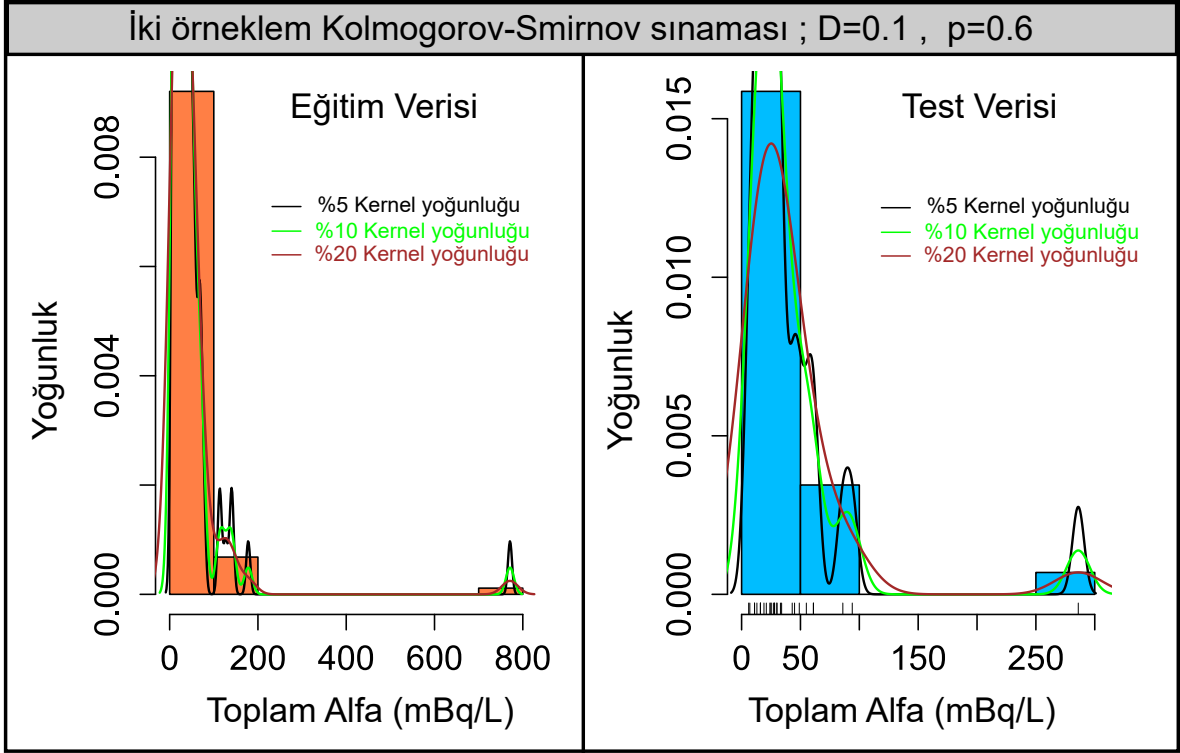
Doğal kaynak suları ölçümünden belirlenen toplam alfa ve toplam beta aktivite konsantrasyonları Artvin ilindeki 117 istasyondan elde edilmiştir. Bu istasyonların %75'i (88 istasyon) eğitim verisi ve geri kalan %25 lik (29 istasyon) kısım ise çapraz doğrulama yapmak için test verisi olarak ayrılmıştır. Rastgele belirlenen bu veri setlerine ait toplam alfa ve toplam beta bulgularının istatistiksel özetleri sırasıyla Tablo 2.5 ve Tablo 2.6'da gösterilmiştir. Burada Shapiro-Wilk normallik testi ($p < 0.05$) sonucu her iki aktivite konsantrasyonu içinde dağılımın normal olmadığı belirlenmiştir.

Şekil 2.45 ve Şekil 2.46'da sırasıyla toplam alfa ve toplam beta aktivite konsantrasyonları için histogram diyagramları gösterilmiştir. Toplam alfa ve toplam beta konsantrasyonlarına ait eğitim ve test verileri için Kolmogorov-Smirnov testi uygulanmış ve her iki konsantrasyona ait veri seti içinde her iki histogramın anlamlı bir şekilde birbirinden farklı olmadığı belirlenmiştir (toplam alfa için ve toplam beta için ; $D = 0.1, p = 0.6$). Yani hem toplam alfa hem de toplam beta aktivite değerleri için eğitim ve test verileri aynı istatistiksel yapıya sahip olduğu ve buna bağlı olarak çapraz doğrulama sonucunun anlamlılık ve güvenilirlik düzeyinin yüksek olduğu belirlenmiştir.

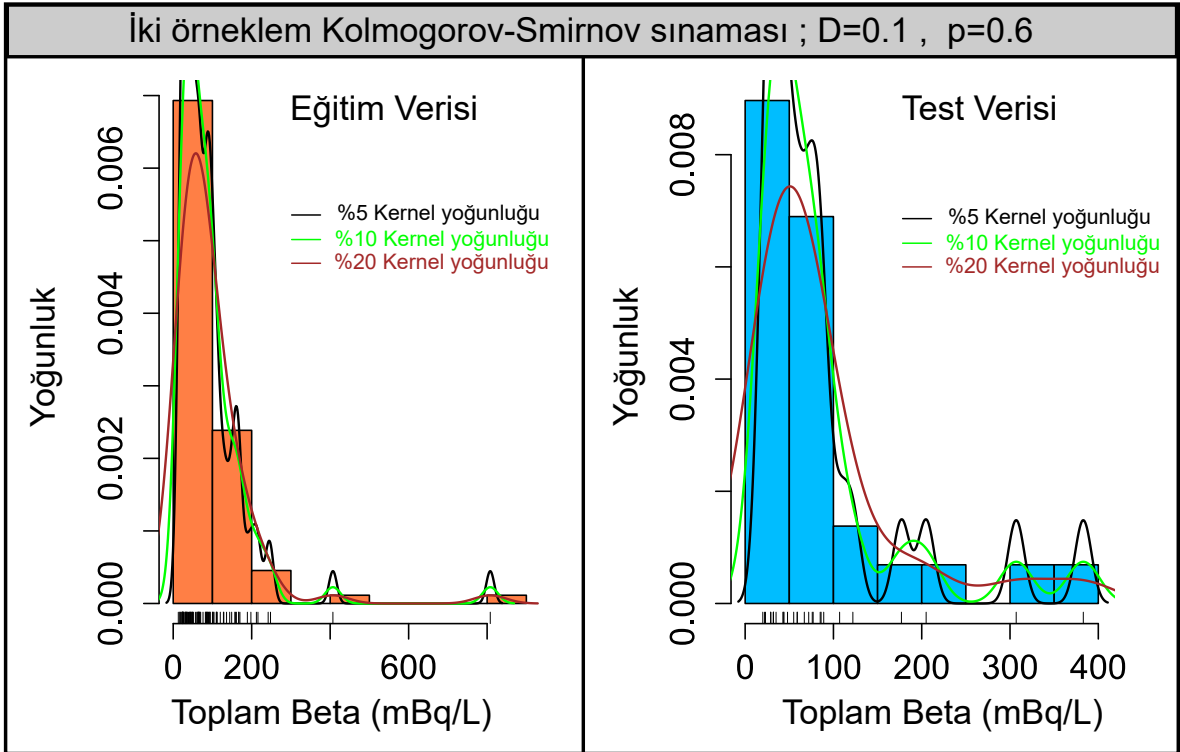
Tablo 2.5. Toplam alfa aktivite konsantrasyonu (mBq/L) bulgularının istatistiksel özeti

	Eğitim Verisi	Test Verisi	Tüm Veri
Numune sayısı	88	29	117
Ortalama	47.45	41.38	45.95
Minimum	5.00	6.00	5.00
Maksimum	771.00	286.00	771.00
Standart sapma	84.53	84.53	51.87
Çarpıklık	7.44	7.44	4.02
Basıklık	63.13	63.13	18.65
Normallik*	W=0.34; p<0.001	W=0.54; p<0.001	W=0.37; p<0.001

* Shapiro-Wilk testi



Şekil 2.45. Toplam alfa konsantrasyon değerleri için eğitim ve test verilerinin histogramları



Şekil 2.46. Toplam beta konsantrasyon değerleri için eğitim ve test verilerinin histogramları

Tablo 2.6. Toplam beta aktivite konsantrasyonu (mBq/L) bulgularının istatistiksel özeti

	Eğitim Verisi	Test Verisi	Tüm Veri
Numune sayısı	88	29	117
Ortalama	93.35	84.76	91.22
Minimum	13.00	20.00	13.00
Maksimum	808.00	383.00	808.00
Standart sapma	101.09	84.83	97.03
Çarpıklık	4.57	2.39	4.24
Basıklık	29.07	5.82	26.22
Normallik*	W=0.59; p<0.001	W=0.69; p<0.001	W=0.62; p<0.001

* Shapiro-Wilk testi

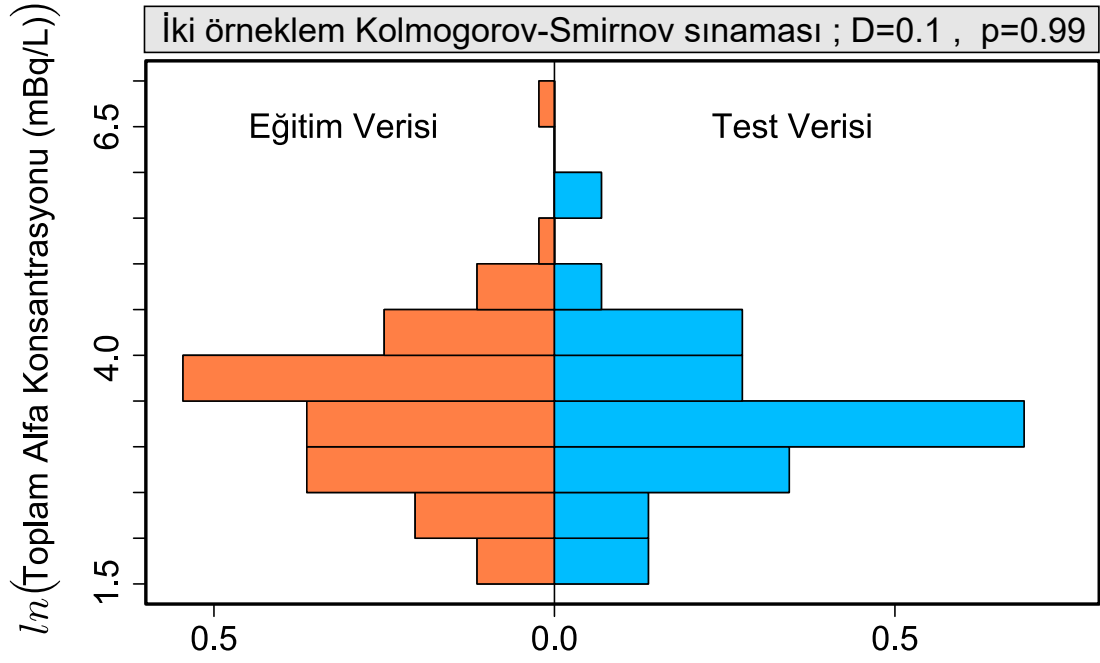
2.2.4.2. Toplam Alfa ve Beta Aktivitesinin Jeostatistiksel Modellemesi

Bu kısımda toplam alfa ve toplam beta aktivite konsantrasyonlarının konumsal korelasyonlarına bağlı olarak oluşturulan deneysel variogramların yardımı ile elde edilen model parametreleri kullanılarak Ordinary Kriging (OK) ve Co-kriging (CK) yöntemleri ile ölçüm alınmamış noktalar için tahmin değerleri hesaplanmıştır.

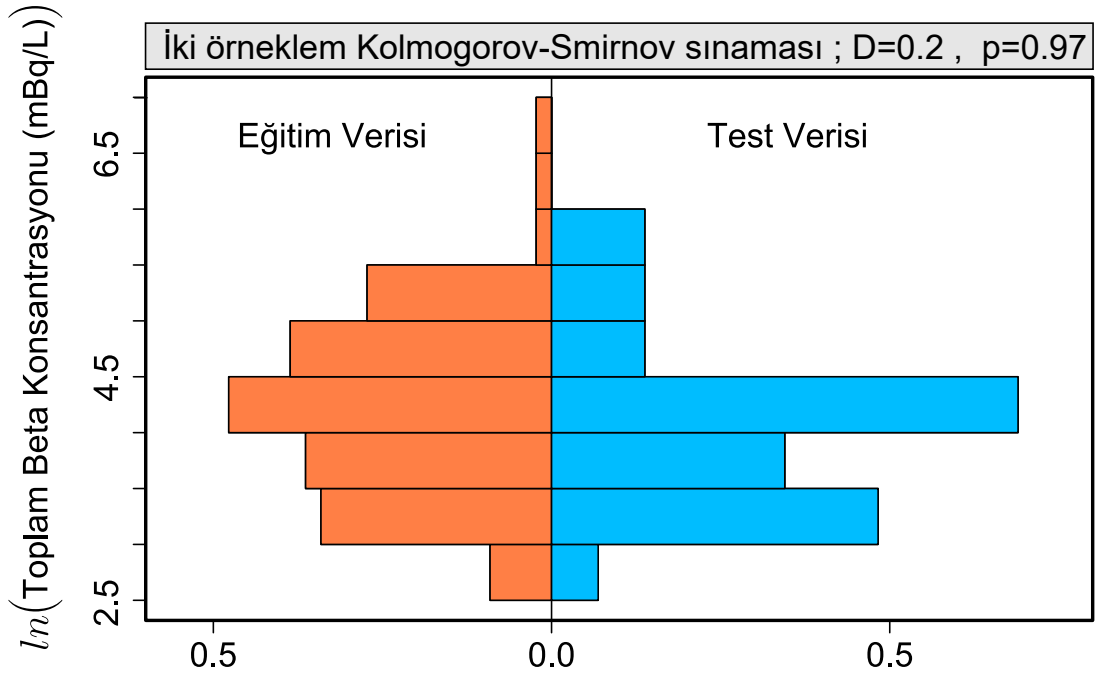
Bu kısım 3 aşamadan meydana gelmektedir. Bunlar; verilerin dönüştürülmesi, variogramların belirlenmesi, çapraz doğrulama.

2.2.4.2.1. Verilerin Dönüştürülmesi

Şekil 2.45 ve Şekil 2.46'da hem toplam alfa hem de toplam beta yoğunluklarının normal dağılıma uymadığı görülmektedir. Variogramın yapısını bozan ve kriging ağırlıklarının yanlış hesaplanmasına yol açan bu durumu ortadan kaldırmak için dağılımın normal dağılıma dönüştürülmesi gerekmektedir. Literatürde pek çok dönüşüm yöntemleri mevcut olup [53] bu çalışmada, eğitim ve test verilerinin doğal logaritmaları \ln alınarak veri kümesi dağılımlarının normal dağılıma dönüşmesi sağlanmıştır. Şekil 2.47 ve Şekil 2.48'de sırasıyla toplam alfa ve toplam beta aktivite verilerinin logaritma dönüşümü yapılmış histogramlarını gösterilmektedir. Bu iki histogramda yer alan eğitim ve test verilerinin Kolmogorov-Smirnov sınavası (toplam alfa için $D=0.1$, $p=0.99$; toplam beta için $D=0.1$, $p=0.97$) ile anlamlı bir şekilde birbirinden farklı olmadığı belirlenmiş ve ayrıca Shapiro-Wilk normallik testi ($p > 0.05$) ile iki veri setinin de normal dağılıma sahip olduğu gösterilmiştir.



Şekil 2.47. Toplam alfa konsantrasyon değerlerinin logaritmik dönüşümlü histogramları



Şekil 2.48. Toplam beta konsantrasyon değerlerinin logaritmik dönüşümlü histogramları

2.2.4.2.2. Variogramlar

Ordinary kriging (OK) aradeğer tahmini, deneysel izotropik yarıvariogramın oluşturulması ve uygun modelin bu yarıvariograma fit edilmesi ile belirlenebilir. Co-Kriging (CK) ara değer tahmini ise eş değişkenin yardımı ile oluşturulan çapraz variogramın (cross-variogram) oluşturulması ile hesaplanabilir. Bu çalışmada gerçekleştirilen Co-kriging yönteminde aralarında iyi derecede bir korelasyon ilişkisi bulunan (Pearson's $r=0.72$, $p < .001$), toplam alfa ve toplam beta konsantrasyonları birbirlerinin yardımcı değişkenleri olarak hesaplamaya katılmıştır. Hem izotropik hem de çapraz variogramı temsil edecek uygun modeli belirlemek için, tanımlayıcı istatistik verilerden yararlanılmış ve model parametreleri tespit edilmiştir.

Tablo 2.7 ve Tablo 2.8'de sırasıyla toplam alfa ve toplam beta aktivite değerleri için variogram fonksiyonunu en iyi temsil eden parametrik modelin seçilmesine yardım eden tanımlayıcı istatistiklerin özeti verilmektedir. Gerçek değerlere yakın tahminleri sağlayan bir model için ortalama hata (ME) ve hata karelerinin ortalamasının karekökü (RMSE) 0'a, ortalama hata karesi oran'ı (MSDR) 1'e mümkün olduğu kadar yakın olmalıdır. Buna göre hem toplam alfa hem de toplam beta aktivite konsantrasyonu dağılımını en iyi fit eden modelin, izotropik ve çapraz variogramının her ikisinde de üstel (exponential) model olduğu belirlenmiştir.

Şekil 2.49 ve Şekil 2.50'de sırasıyla toplam alfa ve toplam beta dağılımları için konumsal korelasyonu tanımlayan variogramlar ve bu variogramları uygun şekilde tanımlayan model için parametre değerleri görülmektedir. Toplam alfa aktivite konsantrasyonu için belirlenen izotropik ve çapraz variogramda (toplam beta konsantrasyonu yardımcı değişkenli) külçe etkisi (nugget effect, C_0) değeri sırasıyla 0.15 ve 0.13 olarak bulunmuştur. Ayrıca konumsal korelasyonun bir göstergesi olan etki mesafesi (range, a) sırasıyla 18372 m ve 30000 m olarak belirlenmiştir. Toplam beta aktivite konsantrasyonu için belirlenen izotropik ve çapraz variogramın (toplam alfa konsantrasyonu yardımcı değişkenli) her ikisinde de külçe etkisi değeri 0.13 olarak bulunmuştur. Ayrıca etki mesafesi de izotropik variogram için 17161 m çapraz variogramda ise 30000 m olarak hesaplanmıştır. Hem toplam alfa hem de toplam beta verilerine ait variogramların her ikisinde de belirlenen etki mesafesi değerleri örnekleme sıklığından (yaklaşık ortalama 8000 m) büyük olarak belirlenmiştir. Bu durum konumsal korelasyonun uyumlu bir etki mesafesinde bulunduğunu göstermektedir. Ayrıca

Tablo 2.7. Toplam alfa aktivitesinde izotropik ve çapraz variogramı en iyi fit eden fonksiyonu belirlemek için oluşturulan model parametreleri

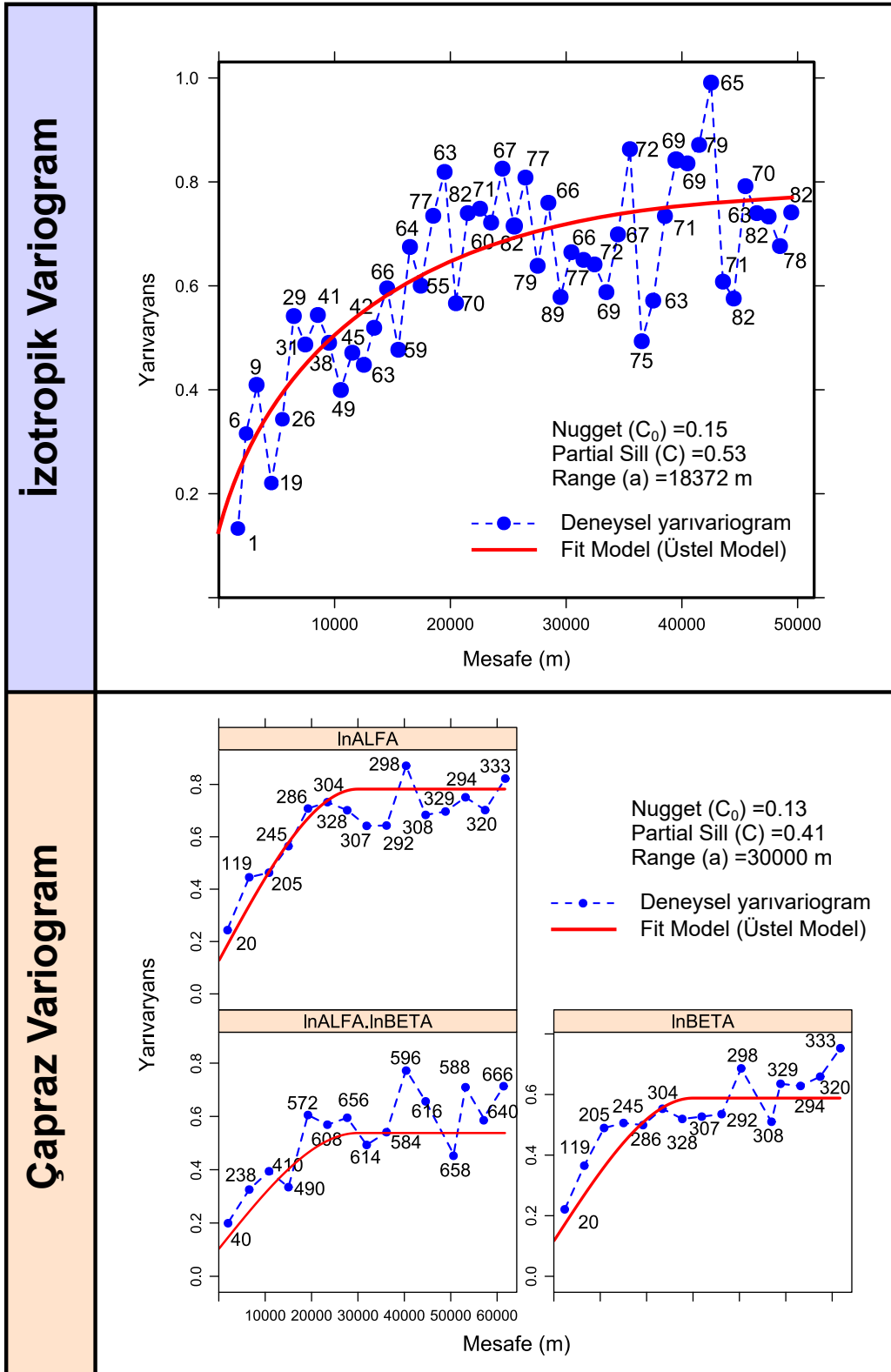
Model	ME	RMSE	MSDR	Range (m)	Nugget	Par. Sill	Nugget/Sill
Küresel (İV)	0.001	0.72	1.007	30006	0.29	0.42	0.40
Küresel (CV)	0.002	0.68	1.091	30000	0.29	0.41	0.41
Üstel (İV)	0.002	0.70	1.000	18372	0.15	0.53	0.22
Üstel (CV)	0.002	0.66	1.061	30000	0.13	0.41	0.24
Gauss (İV)	0.005	0.71	1.001	16922	0.36	0.36	0.50
Gauss(CV)	0.003	0.70	1.235	30000	0.42	0.42	0.50
P.spherical(İV)	0.004	0.72	1.003	39008	0.30	0.41	0.42
P.spherical(CV)	0.003	0.65	1.075	30000	0.26	0.42	0.38
Lineer (İV)	0.006	0.70	0.976	22433	0.32	0.38	0.45
Lineer (CV)	0.001	0.72	1.324	30000	0.34	0.40	0.45
Çember(İV)	0.005	0.70	0.966	26418	0.31	0.39	0.44
Çember(CV)	0.001	0.67	1.139	30000	0.31	0.41	0.43

İV= İzotropik vaiogram; CV=Co-variogram ; En uygun modeller koyu renkle gösterilmiştir.

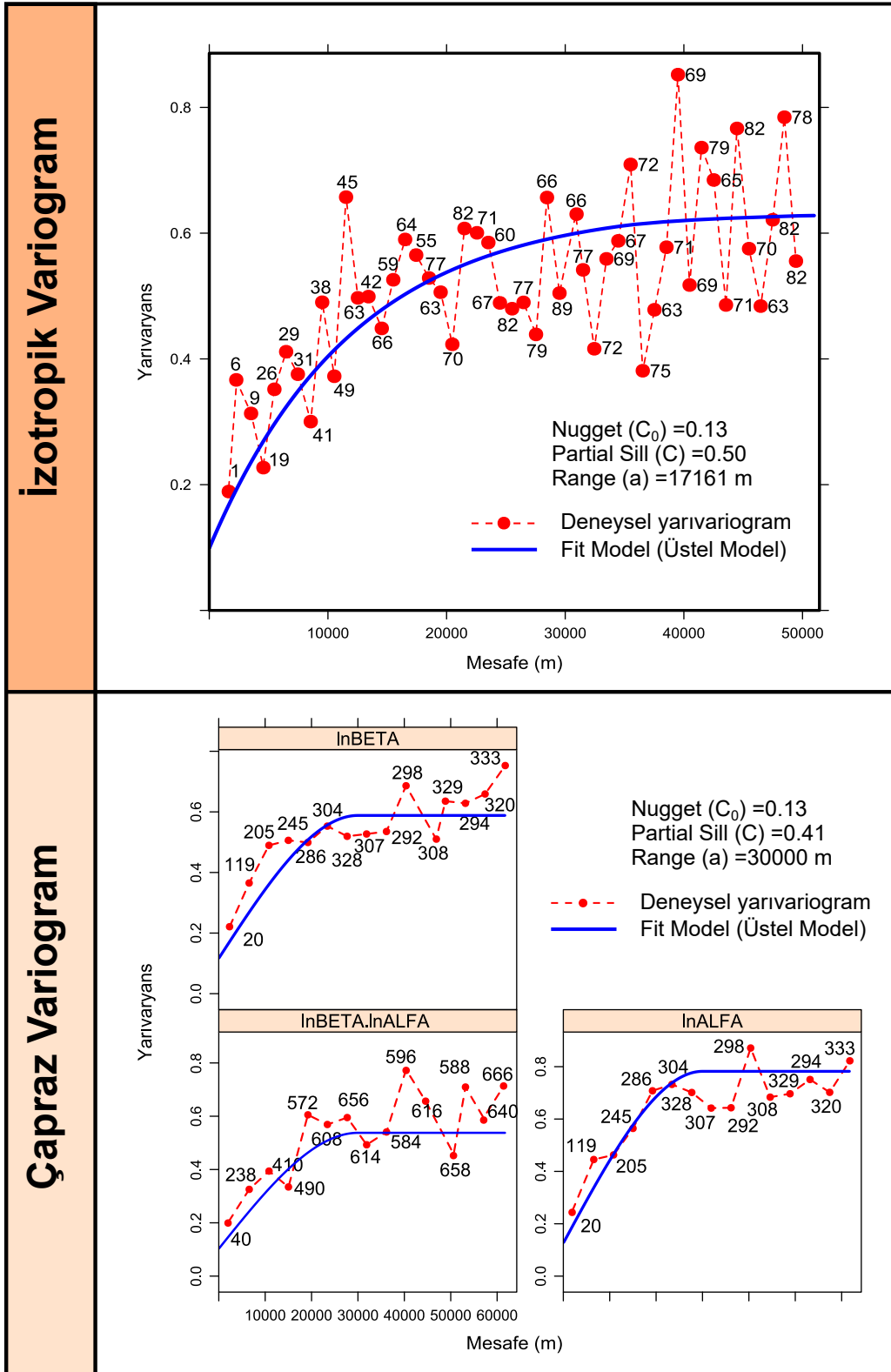
Tablo 2.8. Toplam alfa aktivitesinde izotropik ve çapraz variogramı en iyi fit eden fonksiyonu belirlemek için oluşturulan model parametreleri

Model	ME	RMSE	MSDR	Range (m)	Nugget	Par. Sill	Nugget/Sill
Küresel (İV)	0.004	0.69	1.053	25273	0.28	0.27	0.50
Küresel (CV)	0.002	0.68	1.091	30000	0.29	0.41	0.41
Üstel (İV)	0.001	0.68	1.002	17161	0.13	0.50	0.20
Üstel (CV)	0.002	0.66	1.061	30000	0.13	0.41	0.24
Gauss (İV)	0.005	0.69	1.033	12081	0.31	0.25	0.55
Gauss(CV)	0.003	0.70	1.235	30000	0.42	0.42	0.50
P.spherical(İV)	0.004	0.69	1.043	32853	0.28	0.28	0.50
P.spherical(CV)	0.003	0.65	1.075	30000	0.26	0.42	0.38
Lineer (İV)	0.005	0.70	1.086	17191	0.28	0.26	0.51
Lineer (CV)	0.001	0.72	1.324	30000	0.34	0.40	0.45
Çember(İV)	0.004	0.70	1.064	22283	0.28	0.27	0.50
Çember(CV)	0.001	0.67	1.139	30000	0.31	0.41	0.43

İV= İzotropik vaiogram; CV=Co-variogram ; En uygun modeller koyu renkle gösterilmiştir.



Şekil 2.49. Toplam alfa konsantrasyonu için oluşturulan izotropik ve çapraz yarıvariogramlar. (Sayılar, deneysel variogramdaki uygulama mesafesi değerine sahip istasyon çiftlerini göstermektedir)



Şekil 2.50. Toplam beta konsantrasyonu için oluşturulan izotropik ve çapraz yarıvariogramlar. (Sayılar, deneysel variogramdaki uygulama mesafesi değerine sahip istasyon çiftlerini göstermektedir)

nugget/sill oranı toplam alfa ve toplam beta için belirlenen her iki variogramda da %25'den az olduğu tespit edilmiştir. Bu durum konumsal bağılılığın uyumlu olduğunu göstermektedir.

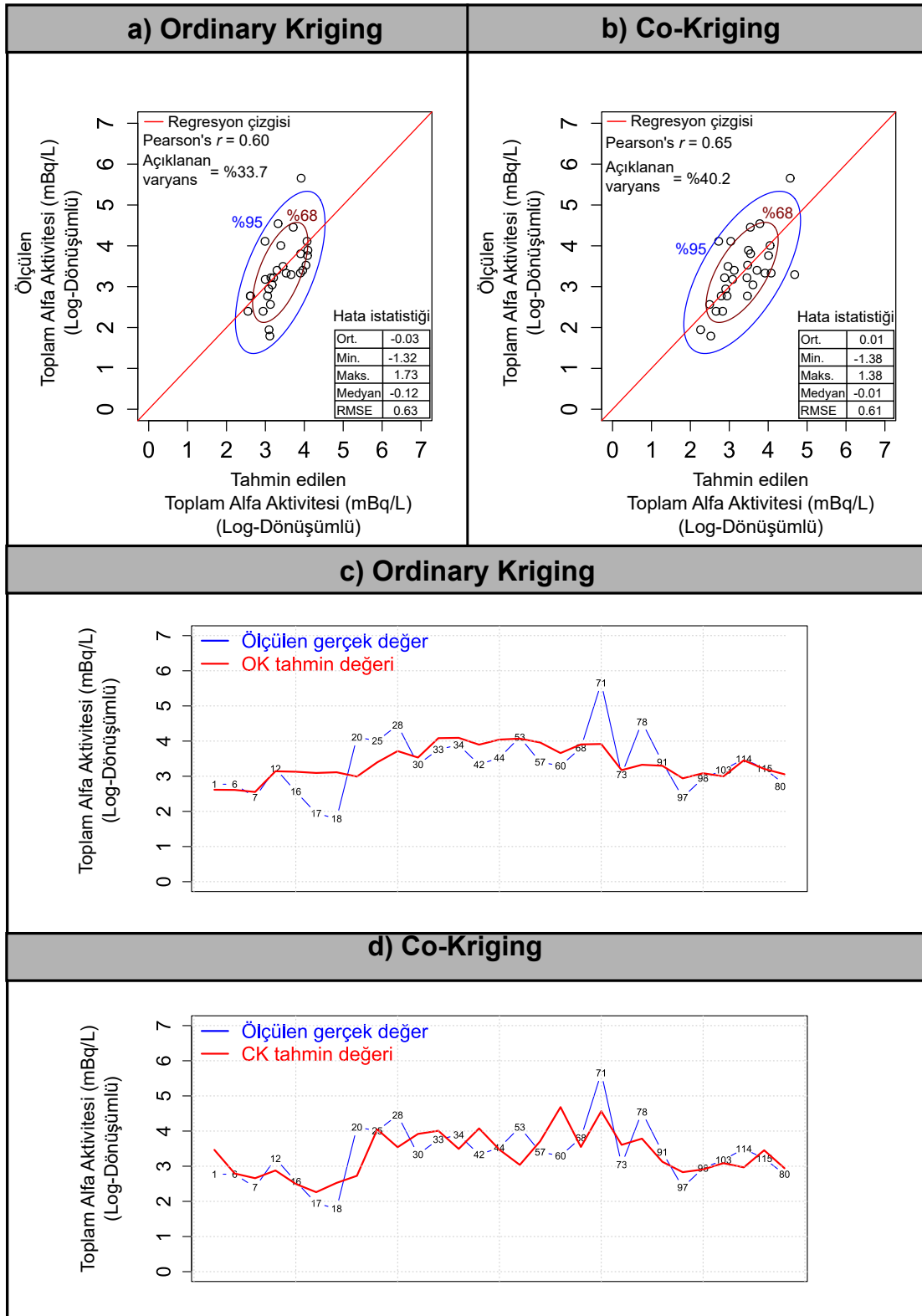
Sonuç olarak variogram analizinden elde edilen parametrik bilgilere göre, OK ve CK yöntemlerinin hem toplam alfa hem de toplam beta konsantrasyon dağılımlarını iyi bir şekilde yansıtacağı ortaya konulmuştur.

2.2.4.2.3. Test Verilerinin Çapraz Doğrulaması

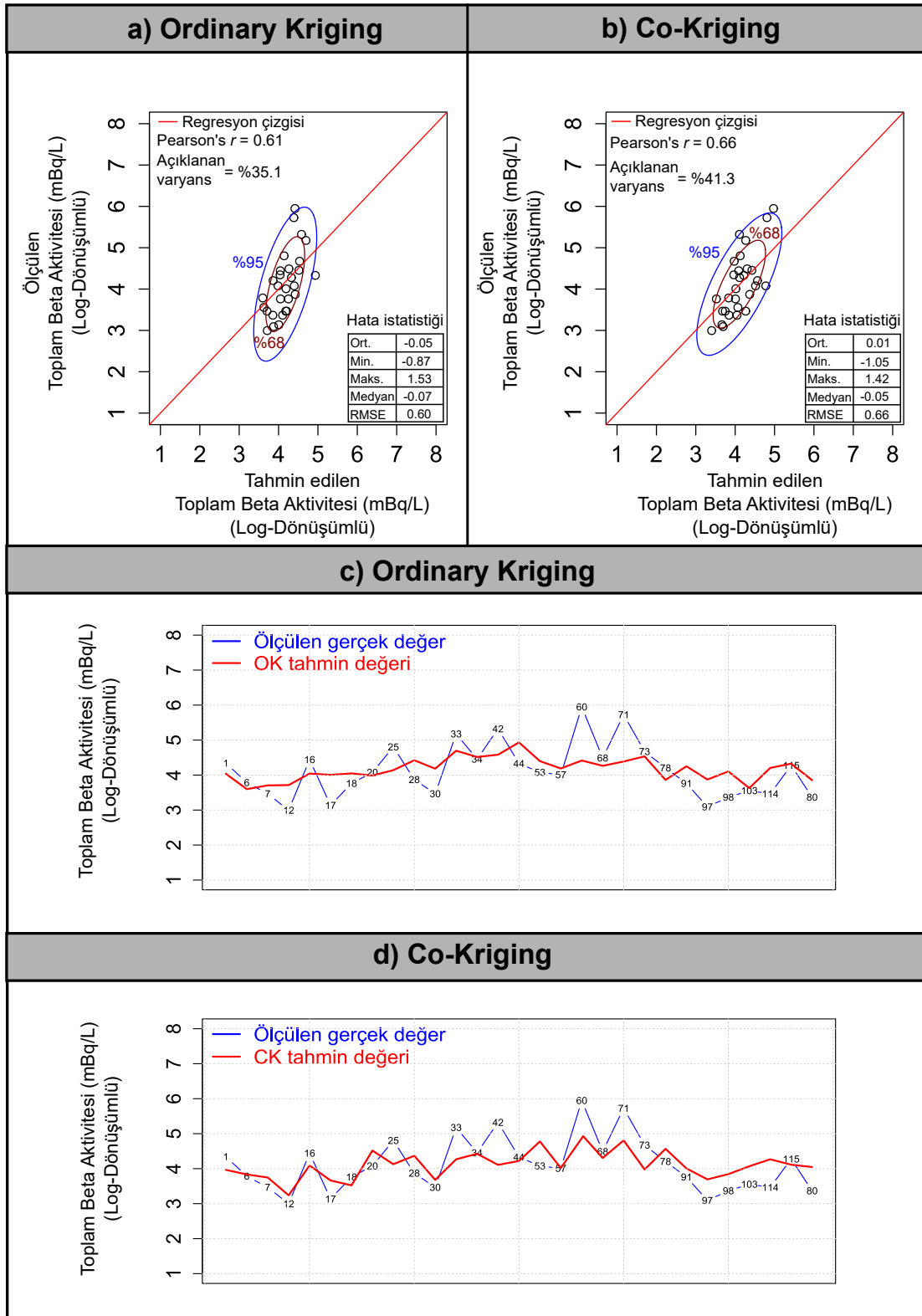
Üstel model ile fit edilen variogramların model parametrelerinden yararlanarak ordinary kriging ve co-kriging yöntemleri ile test dataları tahmin edilmiş ve gerçek değerler ile karşılaştırılmıştır.

Şekil 2.51a ve Şekil 2.51b'de toplam alfa aktivitesi için hem ordinary kriging hem de co-kriging yaklaşımları ile tahmin edilen verilerin gerçek değerlere göre çapraz doğrulama diyagramları verilmiştir. Şekil 2.51c ve 2.51d'de ordinary kriging ve co-kriging için toplam alfa konsantrasyonlarını her bir test istasyonu için tahmin etme performansları gösterilmiştir. Her iki diyagramda da tahmin edilen noktaların büyük bölümü %95'lik güven elipsi içinde kalmıştır. Çapraz doğrulama diyagramlarında, Pearson's r katsayısı ise OK ve CK için sırasıyla 0.60 ($p < 0.001$) ve 0.65 ($p < 0.001$) olarak belirlenmiştir. Ayrıca RMSE ve ME, OK için 0.63 ve -0.03 ; CK için 0.61 ve 0.01 olarak hesaplanmıştır. OK yöntemi kullanılarak önerilen model ile toplam alfa aktivitesindeki değişimin %33.7'sini açıklanırken, CK yöntemi kullanılarak önerilen model ile toplam değişimin %40.2'si açıklanmıştır.

Şekil 2.52a ve Şekil 2.52b'de toplam beta aktivitesi için hem ordinary kriging hem de co-kriging yaklaşımları ile tahmin edilen verilerin gerçek değerlere göre çapraz doğrulama diyagramları verilmiştir. Şekil 2.52c ve 2.52d'de ordinary kriging ve co-kriging için toplam beta konsantrasyonlarını her bir test istasyonu için tahmin etme performansları gösterilmiştir. Her iki diyagramda da tahmin edilen noktaların büyük bölümü %95'lik güven elipsi içinde kalmıştır. Çapraz doğrulama diyagramlarında, Pearson's r katsayısı ise OK ve CK için sırasıyla 0.60 ($p < 0.001$) ve 0.66 ($p < 0.001$) olarak belirlenmiştir. Ayrıca RMSE ve ME, OK için 0.60 ve -0.05 ; CK için 0.66 ve 0.01 olarak hesaplanmıştır. OK yöntemi kullanılarak önerilen model ile toplam beta aktivitesindeki değişimin %35.1'ini açıklanırken, CK yöntemi kullanılarak önerilen model ile toplam değişimin %41.3'ü açıklanmıştır.



Şekil 2.51. Tahmin edilen değerlere karşı toplam alfa aktivitesinin gerçek değerinin saçılma diyagramı ve hata istatistikleri a) OK yöntemi sonuçları, b) CK yöntemi sonuçları, c)OK yönteminin test istasyonlarını tahmin etme performansı d)UK yönteminin test istasyonlarını tahmin etme performansı (numaralar test istasyonlarını göstermektedir)



Şekil 2.52. Tahmin edilen değerlere karşı toplam beta aktivitesinin gerçek değerinin saçılma diyagramı ve hata istatistikleri a) OK yöntemi sonuçları, b) CK yöntemi sonuçları, c) OK yönteminin test istasyonlarını tahmin etme performansı d) UK yönteminin test istasyonlarını tahmin etme performansı (numaralar test istasyonlarını göstermektedir)

2.2.4.3. Toplam Alfa ve Beta Aktivitesinin Yapay Sinir Ağları Modellemesi

Bu kısımda toplam alfa ve toplam beta aktivite konsantrasyon bulgularından yararlanarak oluşturulan yapay sinir ağları (YSA) yapısı ile tüm çalışma alanının toplam alfa ve toplam beta aktivitelerinin dağılım tahmini belirlenmiştir. Bu çalışmada ileri beslemeli (MLP, RBFNN ve QRNN) ve geri beslemeli (Jordan Ağları ve Elman ağları) kullanılmış ve tahmin performansları kendi aralarında değerlendirilmiştir.

Bu kısım 3 aşamadan meydana gelmektedir; Bunlar; verilerin dönüştürülmesi, yapay sinir ağları mimarisi ve eğitimi son olarak test verilerinin çapraz doğrulamasıdır.

2.2.4.3.1. Verilerin Dönüştürülmesi

Toplam alfa ve toplam beta aktivite verilerini birimsizleştirmek için istatistiksel normalizasyon kuralı uygulanmıştır. Bu kural denklem 2.4'de verilmiştir. Hesaplama işleminin sonunda ağdan alınan çıktı verilerinin de tekrar ters dönüşümle orjinal gösterimlerine çevrilmesi sağlanmıştır.

2.2.4.3.2. Yapay Sinir Ağlarının Mimarisi ve Eğitimi

Verilerin normalleştirilmesinden sonra toplam alfa ve toplam beta aktivitesi dağılımının genel yapısını belirlemek için tüm ağların deneysel veriler ile eğitimi gerçekleştirilmiştir. Mimari yapısı Toplam alfa ve toplam beta verileri için Tablo 2.9'da gösterilen bu ağların eğitimi için; 5 girdi parametresi tanımlanmıştır. Bunlar; Enlem, boy-lam, yükseklik, toprak yapısı ve jeolojik kayaç yapısıdır. Çıktı parametresi ise bu verilere karşılık gelen toplam alfa ve toplam beta aktivite konsantrasyon değerleridir.

Tablo 2.9'de yer alan , GS; Girdi sayısı, ÇS; Çıktı sayısı, GKS; Gizli katman sayısı, MIS; Maksimum iterasyon sayısı, TF ; Öğrenme fonksiyonu, AF; Aktivasyon fonksiyonu ve IF; Başlangıç fonksiyonu'nu temsil etmektedir. Ayrıca MLP ve RBFNN ağ yapısı için, eğitim fonksiyonu satırda parantez içinde gösterilen 0.2 ve 0 değerleri sırasıyla gradyent inişin adım parametresi ve hedef değer ile çıktı değerleri arasındaki maksimum tolere edilebilen hata miktarıdır. Jordan ve Elman ağ yapısı için, eğitim fonksiyonu satırda paran-tez içinde gösterilen 0.01 öğrenme fonksiyonu için belirlenen parametre değeridir. QRNN ağ yapısındaki eğitim fonksiyonu parametresi olarak belirlenen 0.99 değeri, hesaplamalarda kantil sayısı olarak (τ), olarak kullanılmıştır.

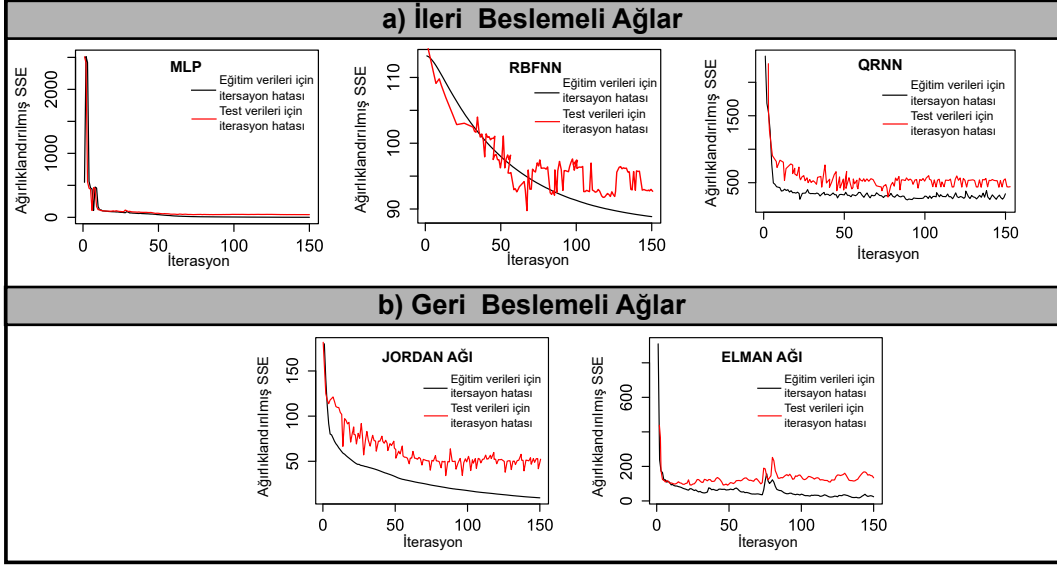
Tablo 2.9. Çalışmada kullanılan yapay sinir ağlarının genel mimari yapısı

YSA	Rad. nukld.	GS	ÇS	GKS	MİS	TF	AF	IF
MLP	(TA)	5	1	(52,33,30)	150	RP (0.2, 0)	LF	RA
MLP	(TB)	5	1	(33,21,12)	150	BP (0.2, 0)	LF	RA
RBFNN	(TA)	5	1	35	150	BP(0.1, 0)	GF	RA
RBFNN	(TB)	5	1	52	150	BP(0.1, 0)	GF	RA
QRNN	(TA)	5	1	(30,12,25)	150	BP($\tau=0.99$)	HTF	RA
QRNN	(TB)	5	1	(20,12,15)	150	BP($\tau=0.99$)	HTF	RA
Jordan	(TA)	5	1	(14,18)	150	JERP (0.01)	HTF	JEA
Jordan	(TB)	5	1	(36,16)	150	JERP (0.01)	HTF	JEA
Elman	(TA)	5	1	(25,20)	150	JEGY (0.01)	HTF	JEA
Elman	(TB)	5	1	(30,20)	150	JEGY (0.01)	HTF	JEA

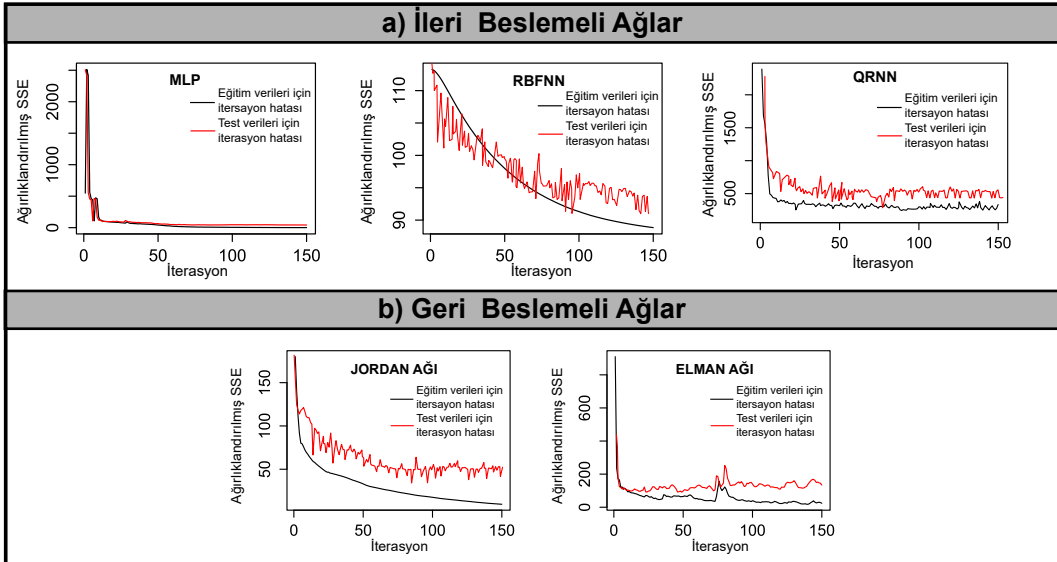
TA=Toplam alfa; **TB**=Toplam beta; **BP**=Geri yayılım fonksiyonu; **RP**= Tekrarlı geri yayılım fonksiyonu; **LF**= Lojistik fonksiyon; **RA**= Rastgele ağırlıklar, **GF**= Gauss Fonksiyonu; **HTF**= Hiperbolik tanjant fonksiyonu; **JERP**= Jordan-Elman tekrarlı geri yayılım fonksiyonu; **JEGY**= Jordan-Elman geri yayılım fonksiyonu; **JEA**=Jordan-Elman başlangıç ağırlıkları

Şekil 2.53’de, toplam alfa için her bir ağ yapısındaki hata değişimleri hem eğitim hem de test verileri için gösterilmiştir. Burada Ağırlıklandırılmış SSE ekseni, hata karelerinin toplamını (summed squared error, SSE) göstermektedir. Bu şekillerde her bir iterasyonda geri yayılan hataların eğitim setinde test setine göre daha uygun bir şekilde azaldığı ve zamanla sabitlendiği görülmektedir. Özellikle MLP ve QRNN ağlarında eğitim ve test verileri için uygun hata azlıkları gözlemlenmesine rağmen RBFNN, Jordan ve Elman ağlarında test verileri için geri yayılan hataların oldukça değişken olduğu belirlenmiştir. Bu durum tahmin performansını düşüren bir faktördür.

Şekil 2.54’de, toplam beta için her bir ağ yapısındaki hata değişimleri hem eğitim hem de test verileri için gösterilmiştir. Bu şekillerde her bir iterasyonda geri yayılan hataların eğitim setinde test setine göre daha uygun bir şekilde azaldığı ve zamanla sabitlendiği görülmektedir. Özellikle MLP, QRNN ve Jordan ağlarında eğitim ve test verileri için uygun hata azlıkları gözlemlenmesine rağmen RBFNN ve Elman ağlarında test verileri için geri yayılan hataların oldukça değişken olduğu belirlenmiştir.



Şekil 2.53. Çalışmada kullanılan yapay sinir ağlarının toplam alfa eğitim ve test verileri için iterasyon değerlerindeki hata değişimleri



Şekil 2.54. Çalışmada kullanılan yapay sinir ağlarının toplam beta eğitim ve test verileri için iterasyon değerlerindeki hata değişimleri

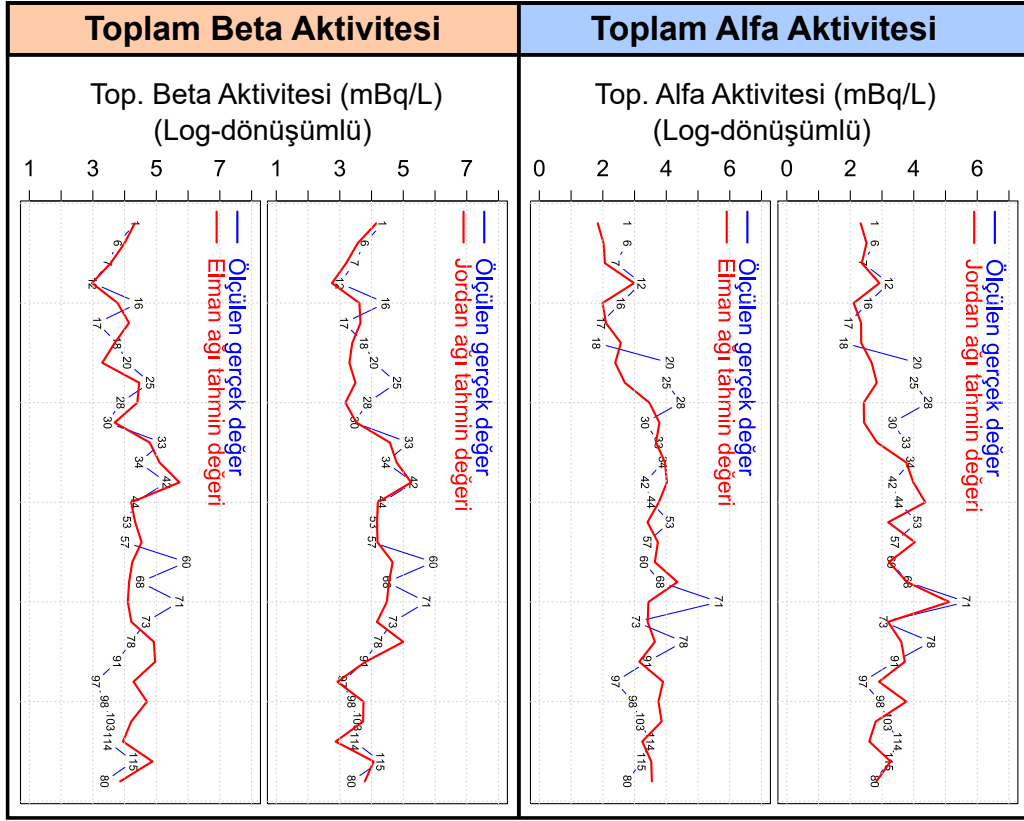
2.2.4.3.3. Test Verilerinin Çapraz Doğrulaması

Çapraz doğrulamada belirlenen YSA'ların her biri ile ağlara hiç tanıtılmamış test verilerinin ağ tarafından tahmin edilmesi sağlanmıştır. Böylelikle deneysel bulgular ile elde edilen gerçek sonuçların YSA ile tahmin edilen çıktı değerleri ile karşılaştırması yapılmıştır. Şekil 2.55 ve şekil 2.56 hem toplam alfa hem de toplam beta aktivite yoğunluklarının sırasıyla ileri ve geri beslemeli yapay sinir ağlarının, her bir test istasyonunu tahmin etme performansları gösterilmiştir.

Şekil 2.57'de toplam alfa aktivite konsantrasyonları için her bir ağ yapısı ile oluşturulan tahmin değerleri ile gerçek değerler arasındaki çapraz doğrulama sonuçları gösterilmektedir. Buna göre; ileri beslemeli ağlar olan MLP, RBFNN ve QRNN de Pearson's r korelasyon katsayıları sırasıyla, 0.81, 0.35 ve 0.80 ($p < 0.001$); RMSE değerleri, 0.48, 0.83 ve 0.58 olarak belirlenmiştir. Ayrıca MLP, RBFNN ve QRNN modellerinin toplam alfa aktivitesinin değişimini sırasıyla %65.8, %9.1 ve %64.0 oranında açıkladığı hesaplanmıştır. Her üç ileri beslemeli ağ yapısında da tahmin noktalarının çok büyük kısmı %95'lik güven elipsi içinde kalmıştır. Ancak RBFNN toplam alfa aktivitesinin tahmininde yetersiz kalmıştır. Geri beslemeli ağlar olan Jordan ve Elman ağlarında Pearson's r korelasyon katsayıları sırasıyla 0.57 ve 0.40 ($p < 0.001$) olarak hesaplanırken, RMSE değerleri, 0.73 ve 0.83 olarak belirlenmiştir. Ayrıca Jordan ve Elman modellerinin toplam alfa aktivitesinin değişimini sırasıyla %30.7 ve %13.1 oranında açıkladığı tespit edilmiştir. Her iki geri beslemeli ağ yapısında da tahmin noktalarının çok büyük kısmı %95'lik güven elipsi içinde kalmıştır. Ancak Elman ağı toplam alfa aktivitesinin tahmininde yetersiz kalmıştır.

Çapraz doğrulama sonuçlarına göre test verilerindeki toplam alfa aktivite değerlerini tahmin etme performanslarının MLP ve QRNN modellerinde diğer modellere oranla yüksek oranda olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre en yüksek Pearson's r ve en düşük RMSE değerine sahip olan MLP ağlarının toplam alfa aktivite konsantrasyonlarının ara değer tahmininde ve haritalanmasında en uygun YSA yöntemi olduğu belirlenmiştir.

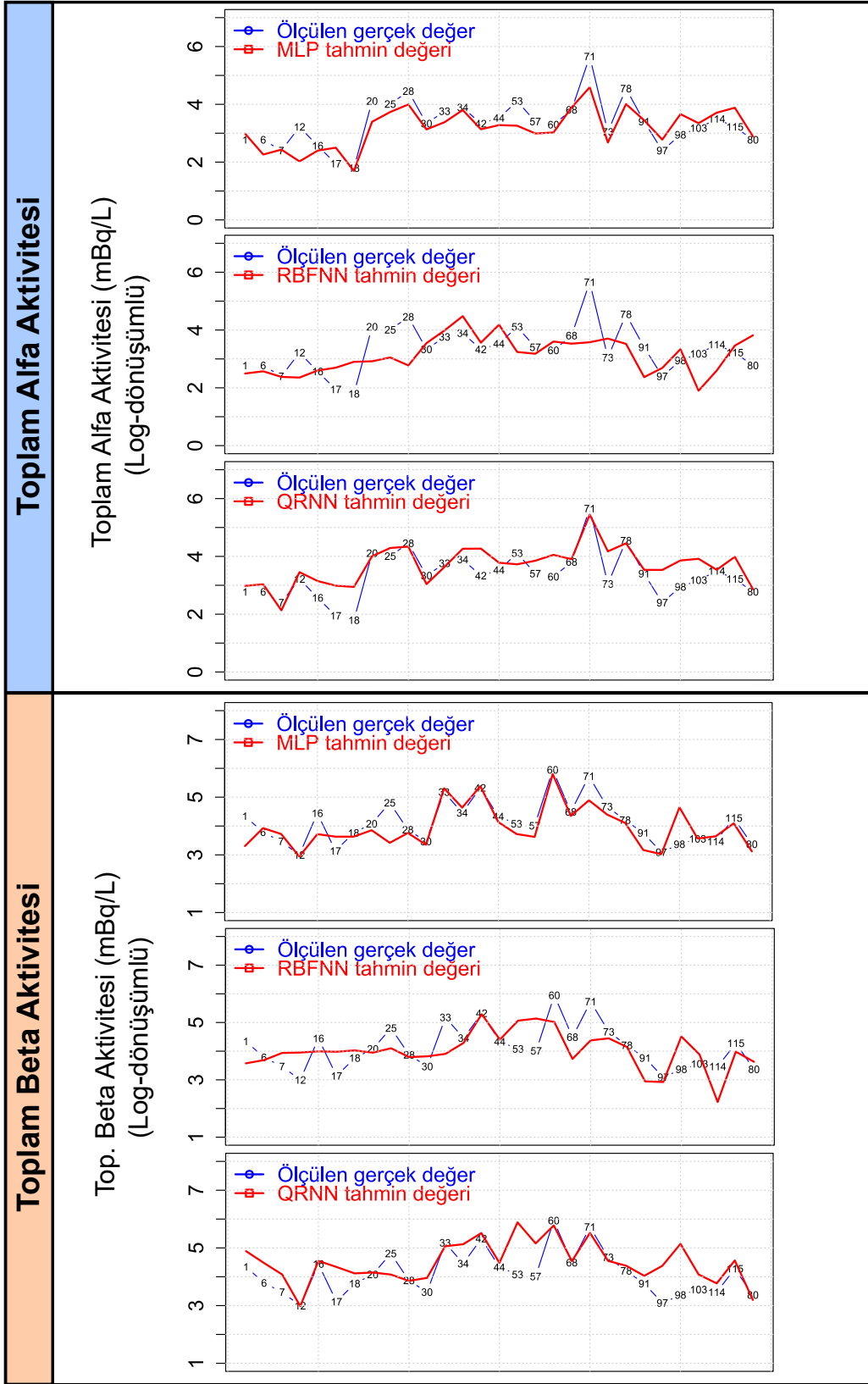
Şekil 2.58'de toplam beta aktivite konsantrasyonları için her bir ağ yapısı ile oluşturulan tahmin değerleri ile gerçek değerler arasındaki çapraz doğrulama sonuçları gösterilmektedir. Buna göre; ileri beslemeli ağlar olan MLP, RBFNN ve QRNN de Pearson's r korelasyon katsayıları sırasıyla, 0.78, 0.50 ve 0.67 ($p < 0.001$); RMSE değerleri, 0.50, 0.70 ve 0.69 olarak belirlenmiştir. Ayrıca MLP, RBFNN ve QRNN modellerinin



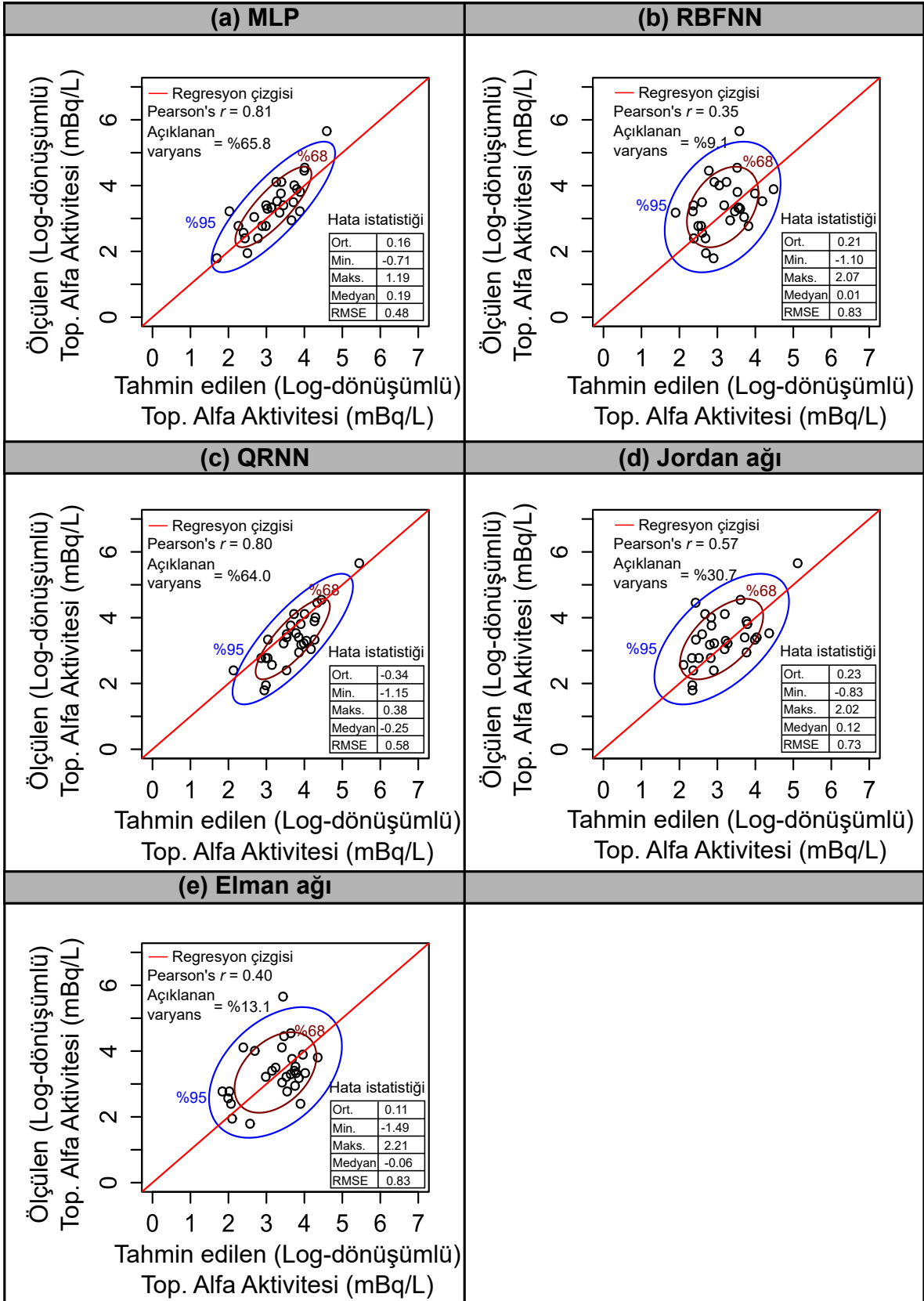
Şekil 2.55. Geri beslemeli yapay sinir ağlarının test istasyonları için toplam alfa ve toplam beta aktivitesini tahmin etme performansları (numaralar test istasyonlarını göstermektedir)

toplam beta aktivitesinin değişimini sırasıyla %60.8, %22.7 ve %43.4 oranında açıkladığı hesaplanmıştır. Her üç ileri beslemeli ağ yapısında da tahmin noktalarının çok büyük kısmı %95'lik güven elipsi içinde kalmıştır. Ancak RBFNN toplam beta aktivitesinin tahmininde yetersiz kalmıştır. Geri beslemeli ağlar olan Jordan ve Elman ağlarında Pearson's r korelasyon katsayıları sırasıyla 0.72 ve 0.40 ($p < 0.001$) olarak hesaplanırken, RMSE değerleri, 0.57 ve 0.74 olarak belirlenmiştir. Ayrıca Jordan ve Elman modellerinin toplam beta aktivitesinin değişimini sırasıyla %50.4 ve %13.6 oranında açıkladığı tespit edilmiştir. Her iki geri beslemeli ağ yapısında da tahmin noktalarının çok büyük kısmı %95'lik güven elipsi içinde kalmıştır. Ancak Elman ağı toplam beta aktivitesinin tahmininde yetersiz kalmıştır.

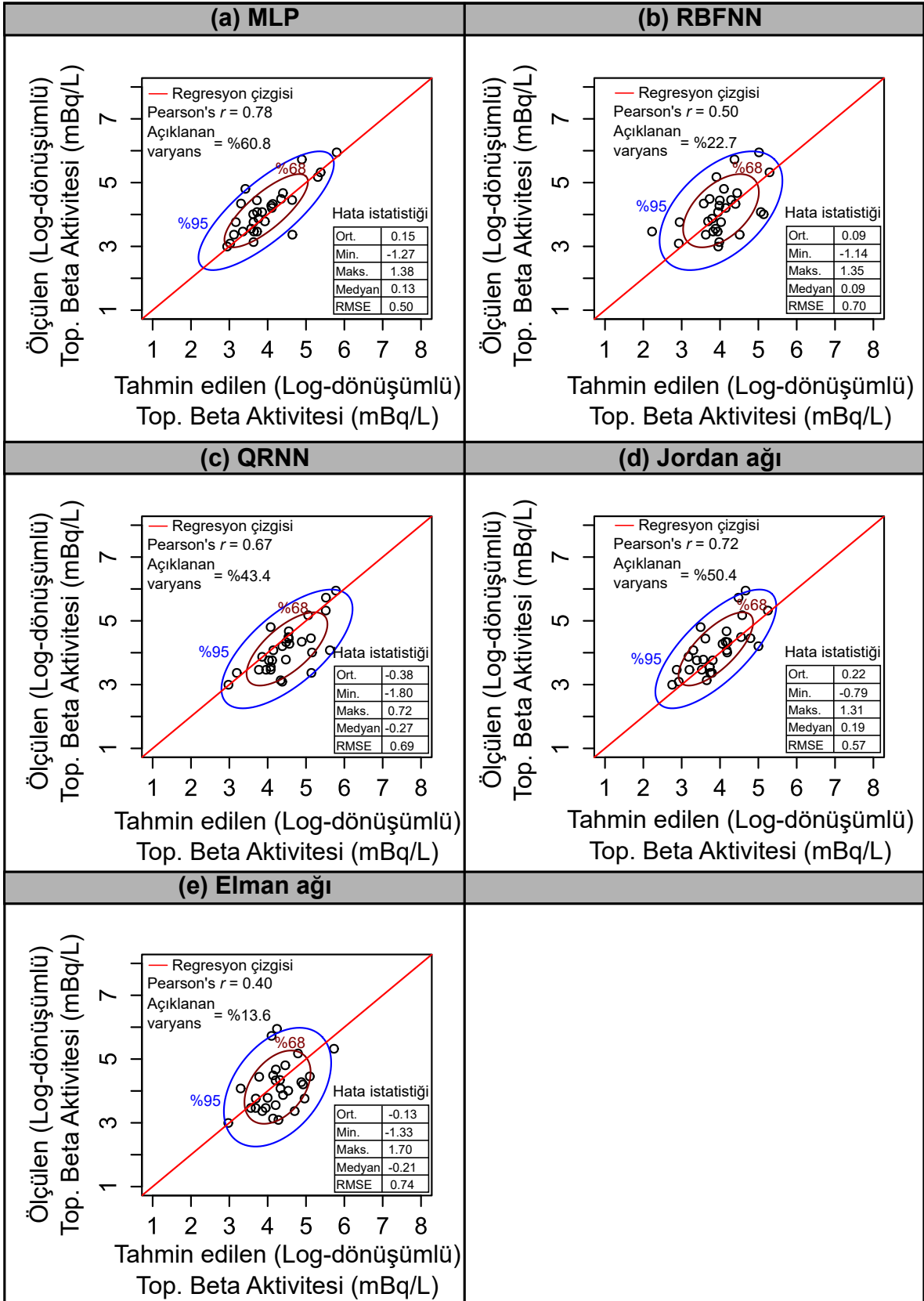
Çapraz doğrulama sonuçlarına göre test verilerindeki toplam beta aktivite değerlerini tahmin etme performanslarının MLP ve Jordan ağlarında diğer modellere oranla yüksek oranda olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre en yüksek Pearson's r ve en düşük RMSE değerine sahip olan MLP ağlarının toplam beta aktivite konsantrasyonlarının ara değer tahmininde ve haritalanmasında en uygun YSA yöntemi olduğu belirlenmiştir.



Şekil 2.56. İleri beslemeli yapay sinir ağlarının test istasyonları için toplam alfa ve toplam beta aktivitesini tahmin etme performansları (numaralar test istasyonlarını göstermektedir)



Şekil 2.57. Yapay sinir ağları ile tahmin edilen değerlerine karşı toplam alfa aktivitesinin gerçek değerinin saçılma diyagramı ve hata istatistikleri



Şekil 2.58. Yapay sinir ağları ile tahmin edilen değerlerine karşı toplam beta aktivitesinin gerçek değerinin saçılma diyagramı ve hata istatistikleri

2.2.4.4. Toplam Alfa ve Beta Aktivitesinin Bulanık Mantık Modellemesi

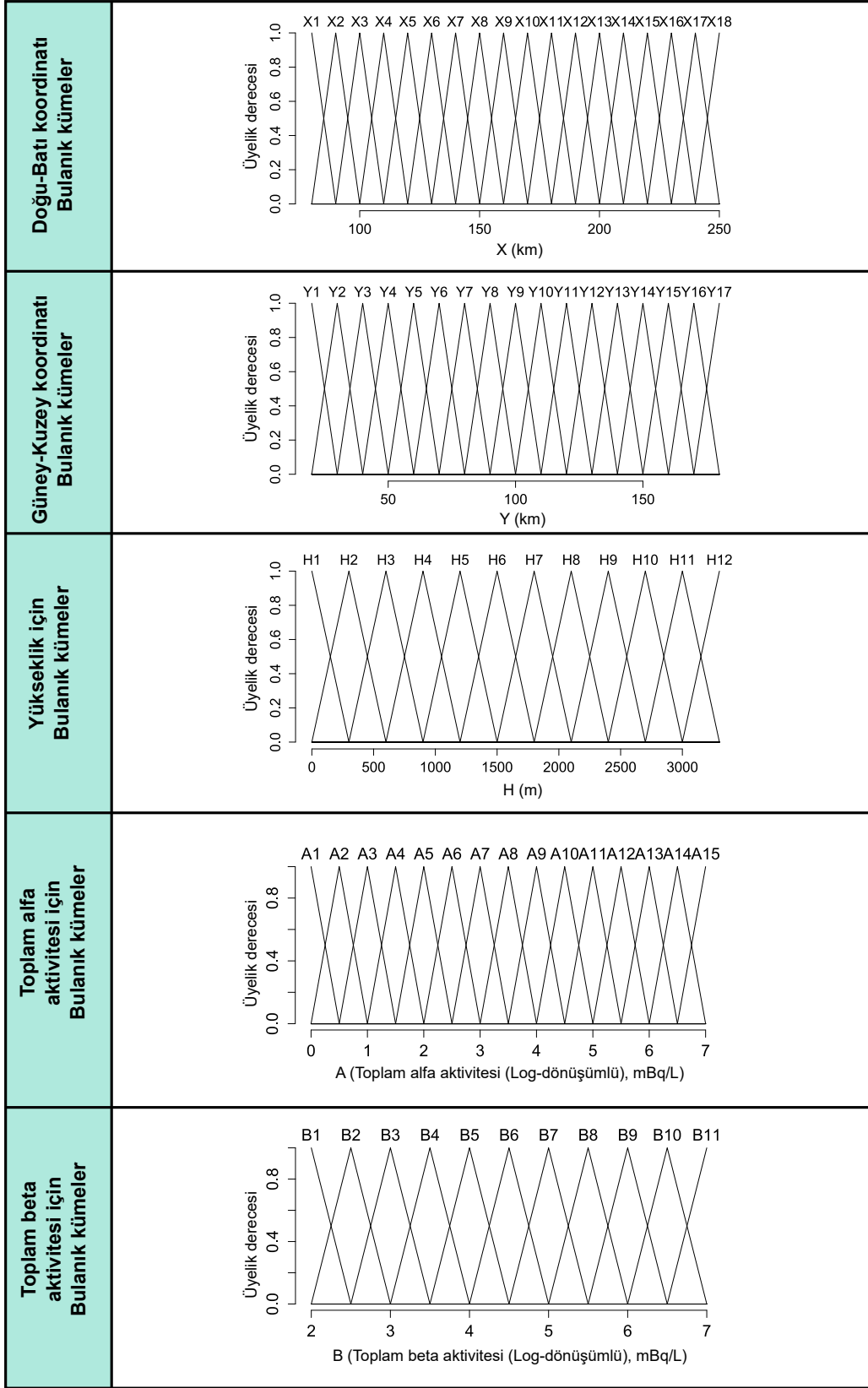
Bu kısımda toplam alfa ve toplam beta aktivitesine ait deneysel bulgularından yararlanarak oluşturulan bulanık kümeler ve bulanık kural tabanları ile tüm alanın toplam alfa ve toplam beta aktivite dağılım tahmini belirlenmiştir. Bu çalışmada Doğu-Batı X koordinatı, Güney-Kuzey Y koordinatı ve yükseklik verileri ile birlikte toplam alfa ve toplam beta konsantrasyonları bulanık kümeler ile gösterilmiş ve ölçüm verilerine göre kural tabanları oluşturulmuştur.

Bu kısım 3 aşamadan meydana gelmektedir. Bunlar; verilerin dönüştürülmesi ve bulanık kümeler, bulanık kural tabanı ve sonuç çıkarımı, son olarak test verilerinin çapraz doğrulamasıdır.

2.2.4.4.1. Bulanık Kümelerin Oluşturulması

Bulanık kümelerin oluşturulmasında sayısal verilerin sözel ifadeler ile belirli kümelere dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu çalışmada tahmin edilmek istenen grid değerlerinin koordinatı enlem boylam ve yükseklik değerleri ile tanımlanmış olduğundan toplam alfa ve toplam beta aktivitelerini tahmin etmek için bu üç kümenin bulanıklaştırılması gerçekleştirilmiştir. Şekil 2.59'da Doğu-Batı X koordinatı, Güney-Kuzey Y koordinatı, yükseklik (H) toplam alfa aktivitesi (Log.-dönüşümlü)(A) ve toplam beta aktivitesi (Log.-dönüşümlü)(B) sonuçlarının bulanıklaştırılmış kümeleri gösterilmektedir. Burada boylam ve enlem değerleri işlem kolaylığı sağlamak amacı ile standartlaştırılmıştır. Normal durumda Gauss-Kruger koordinat değerinde tanımlanan konum verileri, boylamlardan 4500000 çıkarıp 1000 bölerek, enlemlerden 4900000 çıkarıp 1000 bölerek, standart değerlerinde gösterilmiştir. Yükseklik verileri ise dönüştürülmeden aynen kullanılmıştır. Bu çalışmada Artvin sınırlarını ve özelliklerini tanımlayacak şekilde, yükseklik verileri 12, boylam ve enlem verileri sırasıyla, 18 ve 17 adet bulanık küme ile temsil edilmiştir. Toplam alfa ve toplam beta aktivite konsantrasyon sonuçları ise sırasıyla 15 ve 11 adet bulanık küme ile tanımlanmıştır.

Bulanık kümelerin oluşturulmasında, çalışılan alanın genişliği ve bu alanın temsiliyet derecesinin yüksek olması dikkate alınmıştır. Jeolojik yapı ve toprak tipi gibi kendileri arasında derecelendirilemeyen kümeler için bulanıklaştırma yapılmamış ve bu gibi faktörler hesaplama katılmamıştır.



Şekil 2.59. Toplam alfa ve toplam beta aktivitesinin aradeğer tahmini için kullanılan bulanık kümeler

2.2.4.4.2. Bulanık Kural Tabanı ve Sonuç Çıkarımı

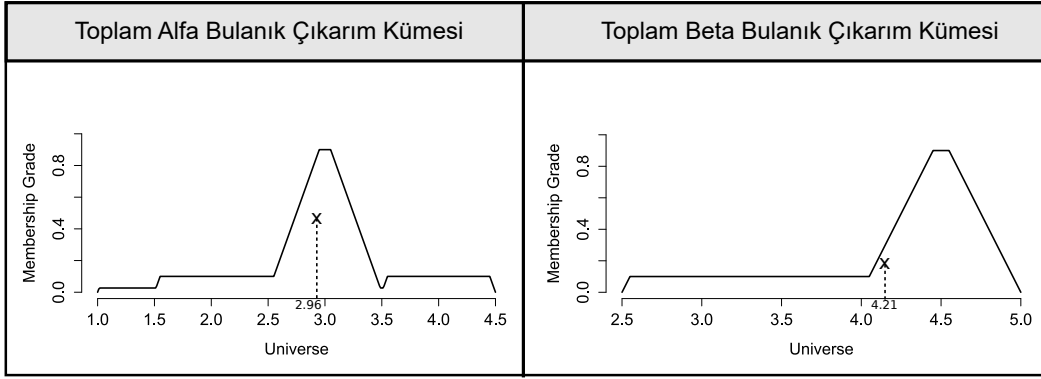
Toplam alfa ve toplam beta deneysel bulgularına göre belirlenen bulanık kuralların bir kısmı aşağıda verilmiştir.

Toplam alfa aktivitesi için belirlenen bazı kurallar;

- Kural-1: **EĞER** $X; X3$ ve $Y; Y12$ ve $H; H1$ **İSE** $A; A5$ 'dir
 Kural-2: **EĞER** $X; X6$ ve $Y; Y7$ ve $H; H6$ **İSE** $A; A11$ 'dir
 Kural-3: **EĞER** $X; X5$ ve $Y; Y13$ ve $H; H2$ **İSE** $A; A8$ 'dir
 Kural-4: **EĞER** $X; X6$ ve $Y; Y11$ ve $H; H5$ **İSE** $A; A6$ 'dir
 Kural-5: **EĞER** $X; X15$ ve $Y; Y12$ ve $H; H5$ **İSE** $A; A9$ 'dir
 Kural-6: **EĞER** $X; X2$ ve $Y; Y12$ ve $H; H2$ **İSE** $A; A4$ 'dir
 Kural-7: **EĞER** $X; X4$ ve $Y; Y10$ ve $H; H8$ **İSE** $A; A7$ 'dir
 Kural-8: **EĞER** $X; X3$ ve $Y; Y6$ ve $H; H4$ **İSE** $A; A7$ 'dir
 Kural-9: **EĞER** $X; X8$ ve $Y; Y10$ ve $H; H2$ **İSE** $A; A10$ 'dir
 Kural-10: **EĞER** $X; X7$ ve $Y; Y11$ ve $H; H2$ **İSE** $A; A9$ 'dir
 Kural-11: **EĞER** $X; X12$ ve $Y; Y13$ ve $H; H6$ **İSE** $A; A5$ 'dir
 Kural-12: **EĞER** $X; X3$ ve $Y; Y12$ ve $H; H2$ **İSE** $A; A8$ 'dir

Toplam beta aktivitesi için belirlenen bazı kurallar;

- Kural-1: **EĞER** $X; X3$ ve $Y; Y13$ ve $H; H1$ **İSE** $B; B4$ 'dir
 Kural-2: **EĞER** $X; X3$ ve $Y; Y12$ ve $H; H1$ **İSE** $B; B3$ 'dir
 Kural-3: **EĞER** $X; X4$ ve $Y; Y12$ ve $H; H3$ **İSE** $B; B5$ 'dir
 Kural-4: **EĞER** $X; X5$ ve $Y; Y2$ ve $H; H7$ **İSE** $B; B7$ 'dir
 Kural-5: **EĞER** $X; X7$ ve $Y; Y5$ ve $H; H3$ **İSE** $B; B6$ 'dir
 Kural-6: **EĞER** $X; X9$ ve $Y; Y6$ ve $H; H7$ **İSE** $B; B10$ 'dir
 Kural-7: **EĞER** $X; X10$ ve $Y; Y10$ ve $H; H2$ **İSE** $B; B8$ 'dir
 Kural-8: **EĞER** $X; X16$ ve $Y; Y10$ ve $H; H9$ **İSE** $B; B2$ 'dir
 Kural-9: **EĞER** $X; X6$ ve $Y; Y13$ ve $H; H2$ **İSE** $B; B3$ 'dir
 Kural-10: **EĞER** $X; X4$ ve $Y; Y3$ ve $H; H8$ **İSE** $B; B8$ 'dir
 Kural-11: **EĞER** $X; X10$ ve $Y; Y7$ ve $H; H8$ **İSE** $B; B11$ 'dir
 Kural-12: **EĞER** $X; X9$ ve $Y; Y7$ ve $H; H3$ **İSE** $B; B10$ 'dir



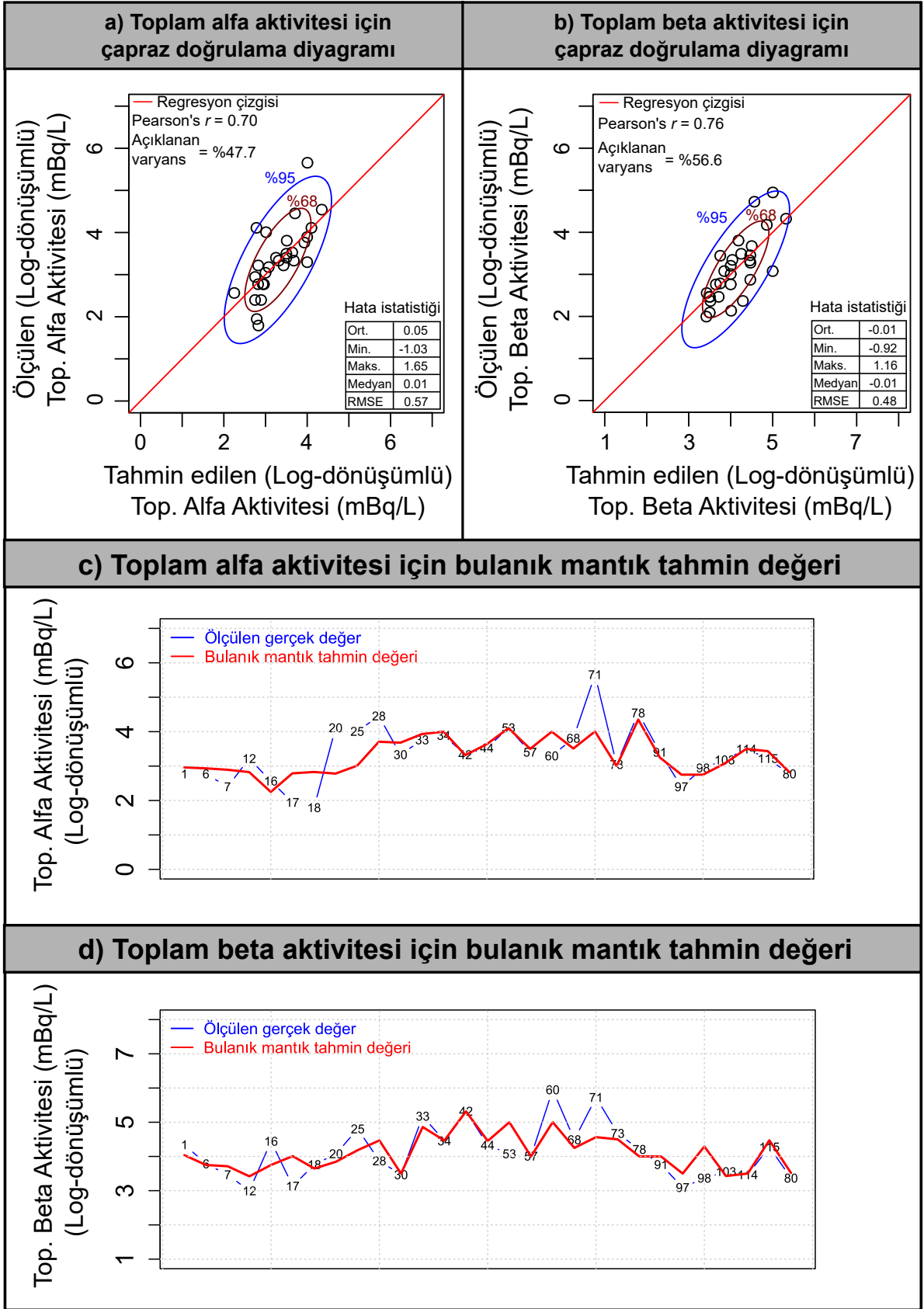
Şekil 2.60. Birinci test verisi için bulanık çıkarım kümesi ve durulaştırma işlemi

Tüm kural tabanı Mamdani bulanık çıkarım sisteminde değerlendirilmiştir. Şekil 2.60'da toplam alfa ve toplam beta aktivitelerine ait birinci test verisi için çıkarım kümesi sonuçları gösterilmektedir. Bu oluşan bulanık kümeler ağırlık merkezi yöntemi ile durulaştırılmış ve tahmin sonucu olarak yazılmıştır.

2.2.4.4.3. Test Verilerinin Çapraz Doğrulaması

Bulanık kümeler ve oluşturulan deneysel kurallar yardımı ile sisteme tanıtılmayan deneysel test verileri bulanık mantık modellemesi ile tahmin edilmiştir. Toplam alfa ve Toplam beta aktivitesi tahmin sonucunu gösteren çapraz doğrulama diyagramları sırasıyla şekil 2.61a ve Şekil 2.61b'da gösterilmiştir. Buna göre; Toplam alfa aktivitesi için tahmin ve gerçek değerler arasındaki Pearson's r korelasyon katsayısı ve RMSE değerleri, sırasıyla, 0.70 ($p < 0.001$) ve 0.57 olarak hesaplanmış. Bulanık mantık yaklaşımları ile oluşturulan modelin toplam alfa aktivite değişiminin %47.7'sini açıkladığı belirlenmiştir. Ayrıca tahmin değerlerinin çok büyük kısmının %95'lik güven elipsi içinde kaldığı belirlenmiştir. Toplam beta aktivitesi için tahmin ve gerçek değerler arasındaki Pearson's r korelasyon katsayısı ve RMSE değerleri ise, sırasıyla, 0.76 ($p < 0.001$) ve 0.48 olarak hesaplanmış. Bulanık mantık yaklaşımları ile oluşturulan modelin toplam beta aktivite değişiminin %56.6'sını açıkladığı belirlenmiştir. Ayrıca tahmin değerlerinin çok büyük kısmının %95'lik güven elipsi içinde kaldığı belirlenmiştir.

Bu sonuçlara göre bulanık mantık modelinin toplam alfa ve toplam beta aktivite konsantrasyonlarının aradeğer tahmininde iyi derecede bir performansa sahip olduğu belirlenmiştir. Şekil 2.61c ve 2.61d'de önerilen bulanık mantık modellemesinin hem toplam alfa hem de toplam beta için test verilerini tahmin etme performansları gösterilmiştir.



Şekil 2.61. Bulanık mantık yaklaşımı ile tahmin edilen değerlere karşı gerçek değerinin saçılma diyagramı ve hata istatistikleri a) Toplam alfa aktivitesi için b) Toplam beta aktivitesi için. Bulanık mantık modellemesinin test istasyonlarını tahmin etme performansı c) Toplam alfa aktivitesi için d) Toplam beta aktivitesi için

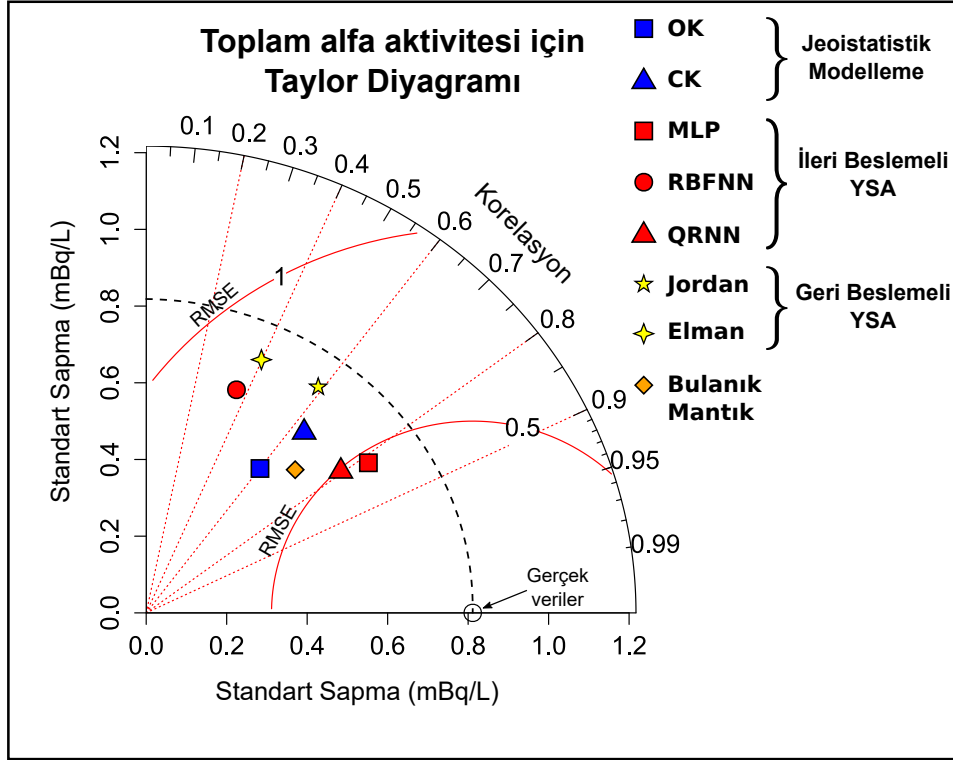
2.2.4.5. Modellerin Performans Değerlendirmesi

Bu çalışmada toplam alfa ve toplam beta aktivite konsantrasyonunu tahmin etmek için önerilen tüm modellerin performansları, Taylor diyagramında görselleştirilerek değerlendirilmiştir.

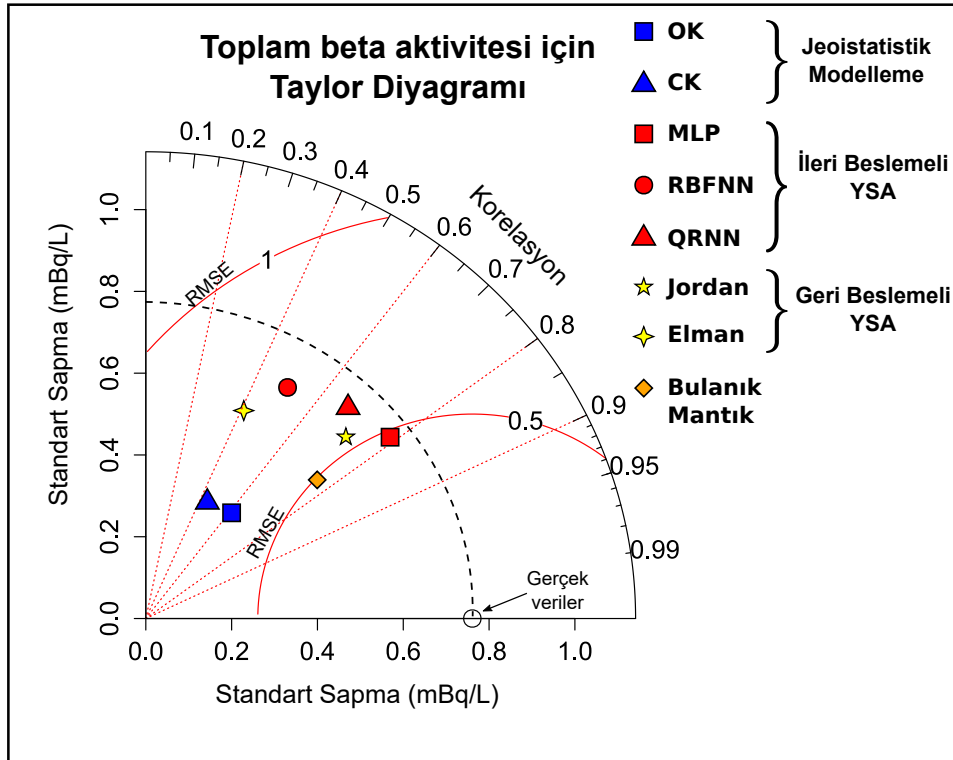
şekil 2.62’de toplam alfa konsantrasyonunun jeoistatistik analiz, yapay sinir ağları ve bulanık mantık yaklaşımları ile önerilen modellerin gerçek test verilerini tahmin etme performansları Taylor diyagramında gösterilmiştir. Burada RBFNN ve Elman ağları ile belirlenen modellerinin hem düşük korelasyon katsayısı hem de yüksek RMSE değerlerinden dolayı toplam alfa aktivitesini tanımlamakta oldukça yetersiz olduğu tespit edilmiştir. Buna karşın MLP ve QRNN yöntemlerinin ise dağılımı belirlemede ve gerçek verileri tahmin etmede oldukça başarılı olduğu belirlenmiştir. Jeoistatistik yöntemler, Bulanık mantık yaklaşımları ve Jordan ağları birbirlerine yakın bir performans göstermişlerdir. Ayrıca toplam alfa dağılımını en iyi karakterize eden model olarak belirlenen MLP yaklaşımının gerçek verilerin değişkenlik aralığını (standart sapma miktarı= 0.66 mBq/L) temsil etmede de oldukça başarılı olduğu görülmektedir.

şekil 2.63’de toplam beta konsantrasyonunun jeoistatistik analiz, yapay sinir ağları ve bulanık mantık yaklaşımları ile önerilen modellerin gerçek test verilerini tahmin etme performansları Taylor diyagramında gösterilmiştir. Burada RBFNN, OK ve Elman ağları ile belirlenen modellerinin hem düşük korelasyon katsayısı hem de yüksek RMSE değerlerinden dolayı toplam beta aktivitesini tanımlamakta oldukça yetersiz olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca jeoistatistik modellerin gerçek verilerin değişkenlik aralığından (standart sapma miktarı= 0.76 mBq/L) oldukça düşük bir değerde olduğu belirlenmiştir. Bu durum gerçek verileri temsil etmede yetersiz olduklarını göstermektedir. Buna karşın MLP, bulanık mantık yaklaşımları, QRNN ve jordan ağlarının ise dağılımı belirlemede ve gerçek verileri tahmin etmede oldukça başarılı olduğu belirlenmiştir. Ayrıca toplam beta dağılımını en iyi açıklayan model olarak belirlenen MLP yaklaşımının gerçek verilerin değişkenlik aralığını (standart sapma miktarı= 0.72 mBq/L) temsil etmede de oldukça başarılı olduğu görülmektedir.

Bu çalışmada hem alfa hem de beta aktivite konsantrasyonlarının aradeğer tahmininde başarılı olan en iyi model MLP (Toplam alfa için $r = 0.81$, $RMSE = 0.48$ ve standart sapma= 0.66 , toplam beta için $r = 0.78$, $RMSE = 0.50$ ve standart sapma= 0.72 ,) olarak belirlenmiştir.



Şekil 2.62. Toplam alfa aktivitesi için Taylor diyagramı ve model performanslarının karşılaştırılması

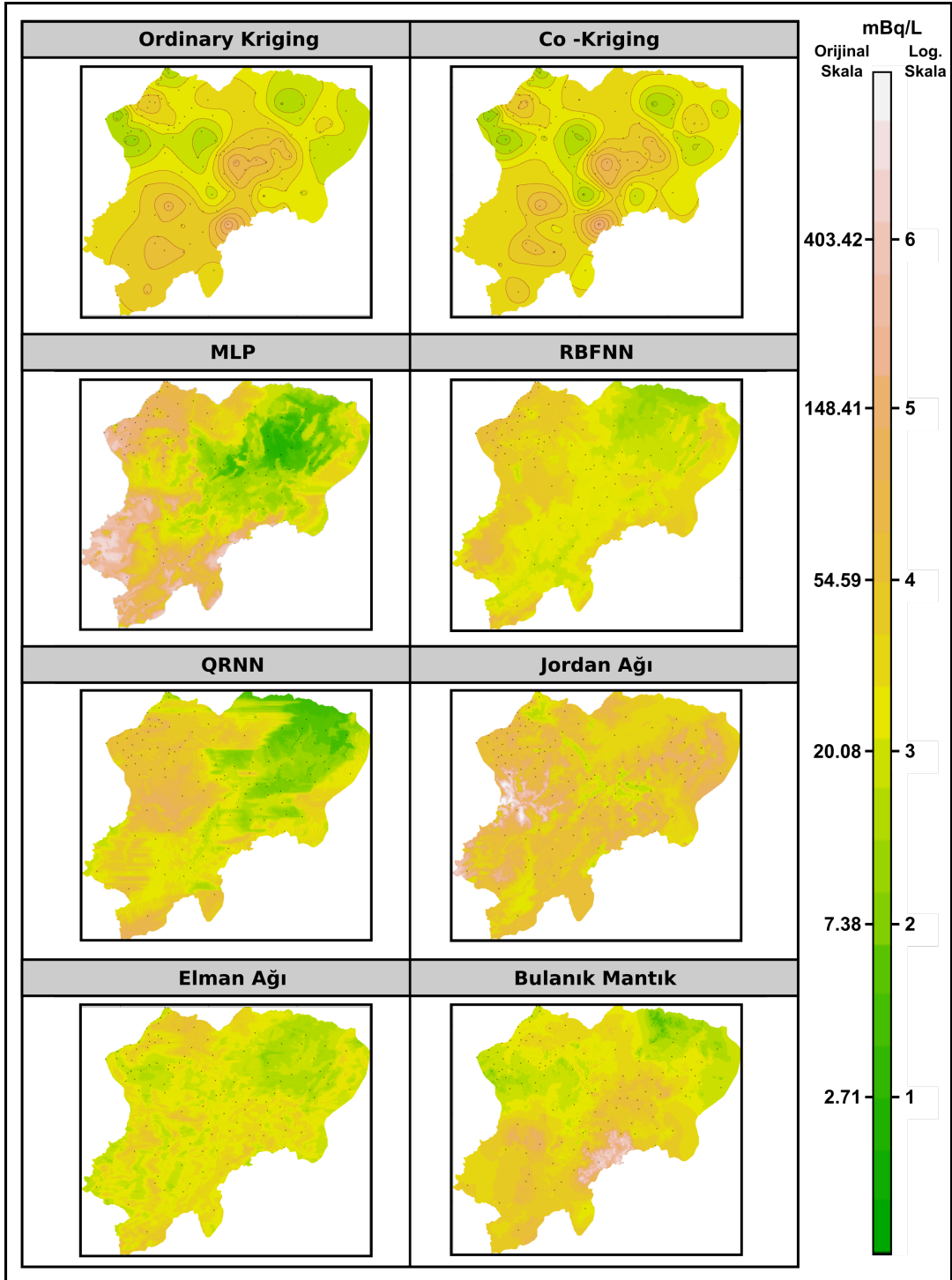


Şekil 2.63. Toplam beta aktivitesi için Taylor diyagramı ve model performanslarının karşılaştırılması

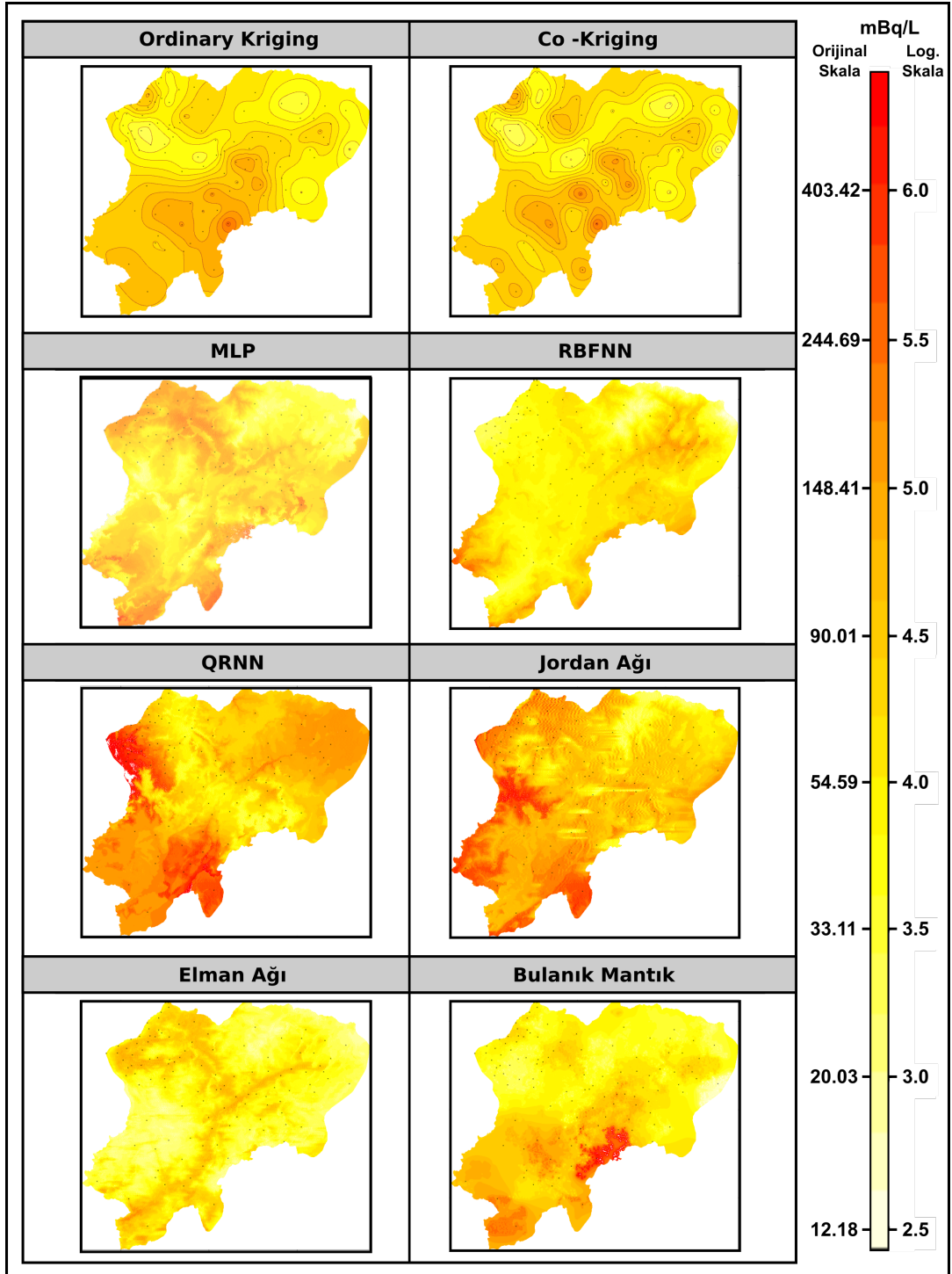
2.2.4.6. Toplam Alfa ve Toplam Beta Aktivitesinin Haritalandırılması

Örnek alınmamış noktaların tahmini ve haritalandırılması için çalışma alanı $100\text{ m} \times 100\text{ m}$ (1 ha'lık mekansal çözünürlük) hücrelere ayrılmış, grid sistemi ile temsil edilmiştir. Bölgenin tamamı için 1634 sütun (doğu-batı yönü 163400m) ve 1409 satırlık (güney-kuzey 140900 m) grid noktası oluşturulmuştur. Her bir grid noktası için, belirlenen tüm modellerde Toplam alfa ve toplam beta aktivite konsantrasyonları için aradeğer tahminleri hesaplanmış ve sonuçlar bir renk skalası ile renklendirilmiştir. Modeller ile belirlenen aradeğer tahmin haritaları toplam alfa için Şekil 2.64'de ve toplam beta için Şekil 2.65'de gösterilmiştir. Bu haritalardan; Toplam alfa ve toplam beta aktivitesi için OK ve CK tahmin yöntemlerinin diğer yöntemlere göre yumuşatma etkisinin oldukça fazla olduğu dikkati çekmektedir. Bu sebepten lokal değişimler belirgin bir şekilde görülmemesine karşın çalışma alanındaki toplam alfa ve toplam beta aktivite dağılımını kabaca belirleyebilmiştir. Çapraz doğrulama verilerine göre dağılımı en iyi yansıtan MLP modelinde ise toplam alfa ve toplam beta aktivite değerleri dağılımının, QRNN modeline yapısal olarak benzerlik gösterdiği görülmektedir. Ancak hem toplam alfa hem de toplam beta aktivitesinin lokal değişimlerin belirlenmesinde çapraz doğrulama testinde olduğu gibi tüm modellere oranla MLP modelinin daha başarılı olduğu belirlenmiştir. Bulanık mantık modellemesi ile oluşturulan harita ise her iki aktivite konsantrasyonu açısından MLP ağlarına benzer bir dağılım göstermiştir. Toplam alfa aktivitesinin aradeğer tahmin dağılımının belirlenmesinde Jordan ağı, Elman ağı ve RBFNN yöntemleri ile önerilen modellerin çapraz doğrulama verilerine paralel olarak yetersizlikleri belirlenmiştir. Toplam beta aktivitesi açısından ise dağılımın belirlenmesinde Elman ve RBFNN yöntemlerinin yetersizlikleri tespit edilmiştir. Toplam alfa ve toplam beta aktivitesi dağılımını en iyi tanımlayan aradeğer tahmin haritası olan MLP yaklaşımına ait harita büyük ölçekli olarak Ek-5'te sunulmuştur.

Değişik modeller ile önerilen tüm haritalar çalışma alanının jeolojik (Şekil 2.3) ve toprak yapısı (Şekil 2.4) ile beraber değerlendirildiğinde, toplam alfa ve toplam beta değişiminin özellikle volkanik yapıları kayaçlar ve yüksek dağ çayır toprakları grubunun bulunduğu bölgelerde artış gösterdiği belirlenmiştir.



Şekil 2.64. Artvindeki toplam alfa konsantrasyon dağılımının tüm modeller ile oluşturulan tahmin haritaları



Şekil 2.65. Artvindeki toplam beta konsantrasyon dağılımının tüm modeller ile oluşturulan tahmin haritaları

2.2.5. Doğal ve Yapay Radyonüklidlerin Aradeğer Modellemesi

Bu çalışmada toprak numunelerinden belirlenen ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K doğal radyonüklidleri ve ^{137}Cs yapay radyonüklidinin aktivite yoğunluğu, jeostatistik metod, yapay sinir ağları yöntemi, bulanık mantık yaklaşımları ile modellenmiş ve dağılımları haritalandırılmıştır.

2.2.5.1. Doğal ve Yapay Radyonüklid Verilerinin Değerlendirilmesi

Toprak ölçümlerinden belirlenen doğal ve yapay radyonüklidlerin aktivite konsantrasyonları Artvin ilindeki 117 istasyondan elde edilmiştir. Bu istasyonların %75'i (88 istasyon) eğitim verisi ve geri kalan %25 lik (29 istasyon) kısım ise çapraz doğrulama yapmak için test verisi olarak ayrılmıştır. Rastgele belirlenen bu veri setlerine ait doğal ve yapay radyonüklidlerin aktivite bulgularına ait istatistiksel özetler sırasıyla Tablo 2.10'da gösterilmiştir. Burada Shapiro-Wilk normallik testi ($p < 0.05$) sonucu her iki aktivite konsantrasyonu içinde dağılımın normal olmadığı belirlenmiştir.

Şekil 2.66 doğal ve yapay radyonüklidlerin aktivite konsantrasyonları için histogram diyagramlarını göstermektedir. Burada eğitim ve test verileri için Kolmogorov-Smirnov testi uygulanmış ve tüm radyonüklidler için de her iki histogramın anlamlı bir şekilde birbirinden farklı olmadığı belirlenmiştir (^{226}Ra için $D = 0.1$, $p = 0.8$, ^{232}Th için $D = 0.1$, $p = 0.9$, ^{40}K için $D = 0.2$, $p = 0.2$ ve ^{137}Cs için $D = 0.1$, $p = 0.6$). Yani radyonüklidlerin eğitim ve test verileri aynı istatistiksel yapıya sahip olduğu ve buna bağlı olarak çapraz doğrulama sonucunun anlamlılık ve güvenilirlik düzeyinin yüksek olduğu tespit edilmiştir.

2.2.5.2. Doğal ve Yapay Radyonüklidlerin Jeostatistiksel Modellemesi

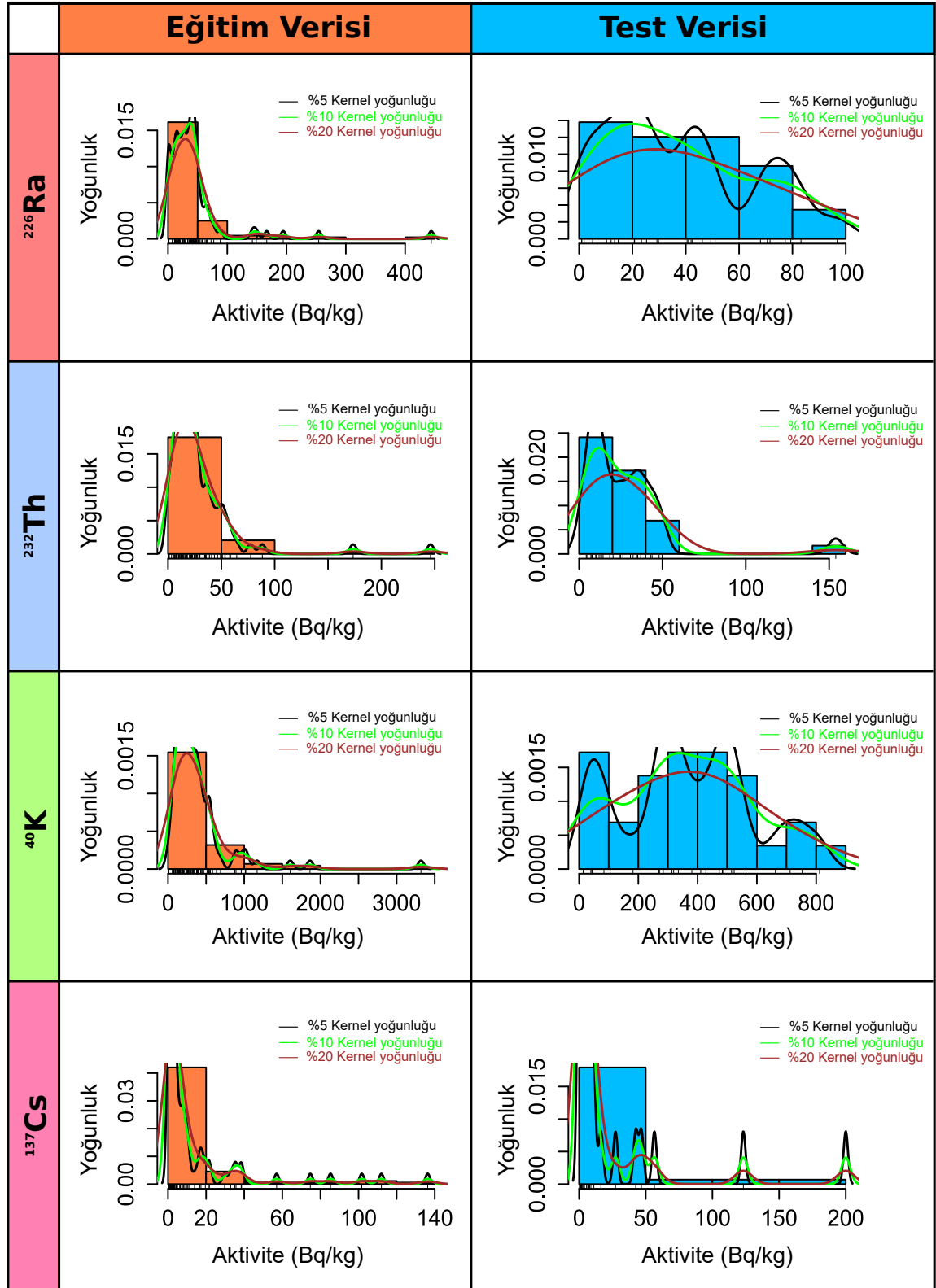
Bu kısımda doğal ve yapay radyonüklidlerin aktivite konsantrasyonlarının konumsal korelasyonlarına bağlı olarak oluşturulan deneysel variogramların yardımı ile elde edilen model parametreleri kullanılarak Ordinary Kriging (OK) yöntemi ile ölçüm alınmamış noktalar için tahmin değerleri hesaplanmıştır.

Bu kısım 3 aşamadan meydana gelmektedir. Bunlar; verilerin dönüştürülmesi, variogramların belirlenmesi, çapraz doğrulamadır.

Tablo 2.10. Doğal ve yapay radyonüklidlerin aktivitelerinin (Bq/kg) istatistiksel özeti

	Radyonüklidler	Eğitim Verisi	Test Verisi	Tüm Veri
Numune sayısı	^{226}Ra	88	29	117
	^{232}Th	88	29	117
	^{40}K	88	29	117
	^{137}Cs	88	29	117
Ortalama	^{226}Ra	43.82	37.54	42.27
	^{232}Th	27.83	26.79	27.57
	^{40}K	398.5	365.8	390.4
	^{137}Cs	12.95	20.73	14.88
Minimum	^{226}Ra	0.50	1.00	0.50
	^{232}Th	0.50	0.50	0.50
	^{40}K	7.0	13.8	7.00
	^{137}Cs	0.50	0.5	0.50
Maksimum	^{226}Ra	444.1	96.80	444.1
	^{232}Th	246.0	154.0	246.0
	^{40}K	3319	811.4	3319
	^{137}Cs	136.30	200.0	200.0
Standat sapma	^{226}Ra	59.77	27.64	53.58
	^{232}Th	33.49	28.49	32.21
	^{40}K	447.1	221.01	402.3
	^{137}Cs	24.9	42.89	30.37
Çarpıklık	^{226}Ra	4.38	0.52	4.61
	^{232}Th	4.29	3.32	4.13
	^{40}K	4.01	0.14	4.15
	^{137}Cs	3.21	3.30	3.64
Basıklık	^{226}Ra	24.53	0.78	29.00
	^{232}Th	23.77	14.41	22.38
	^{40}K	21.71	0.60	25.21
	^{137}Cs	10.80	11.61	15.30
Normallik*	^{226}Ra	W=0.55	W=0.93	W=0.57
	^{232}Th	W=0.59	W=0.66	W=0.60
	^{40}K	W=0.61	W=0.96	W=0.64
	^{137}Cs	W=0.52	W=0.51	W=0.50

* Shapiro-Wilk testi, $p < 0.001$



Şekil 2.66. Doğal ve yapay radyonüklidlerin aktivite değerleri için eğitim ve test verilerinin histogramları

2.2.5.2.1. Verilerin Dönüştürülmesi

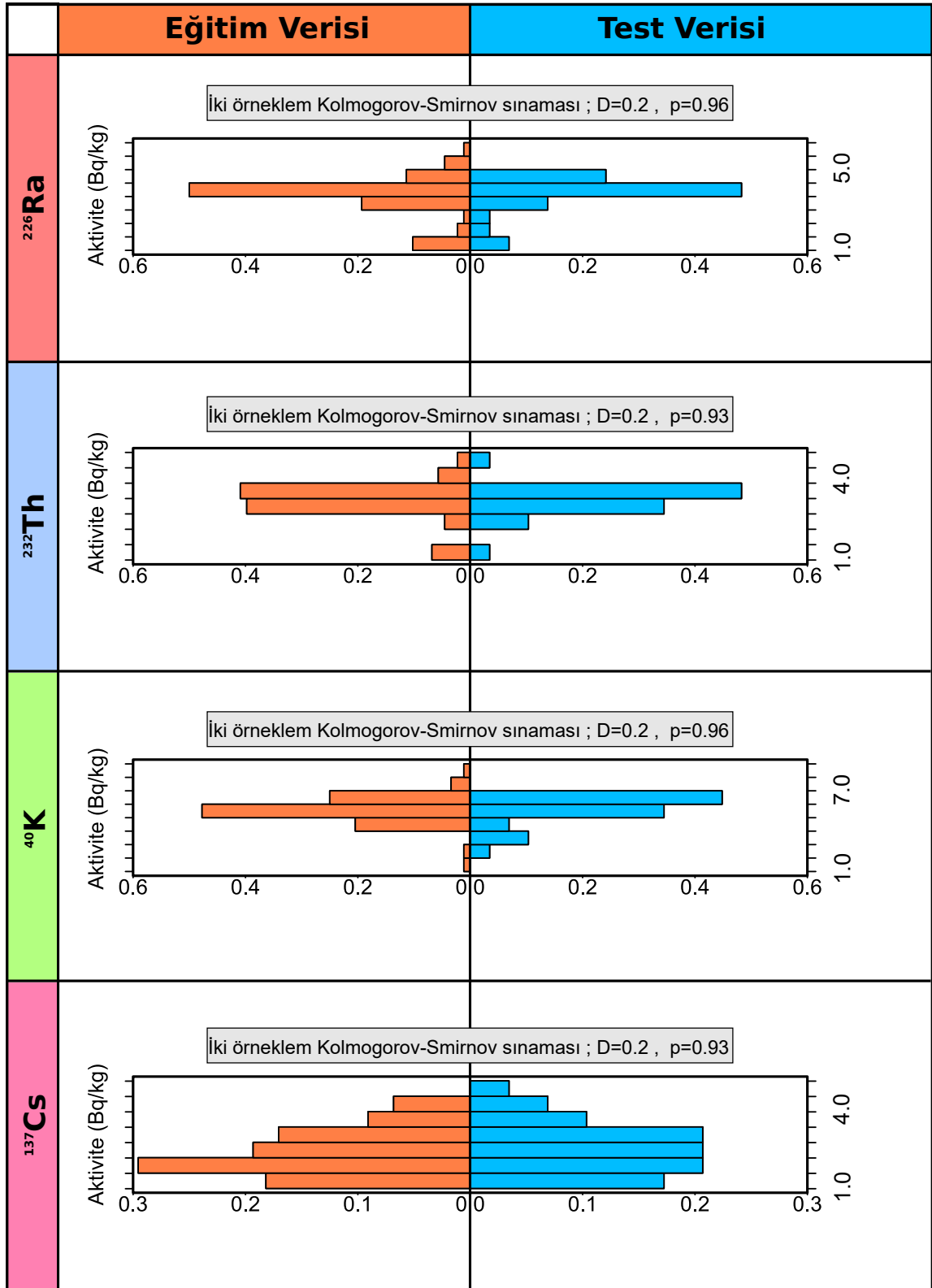
Şekil 2.66'da doğal ve yapay radyonüklidlerin yoğunluklarının normal dağılıma uymadığı görülmektedir. Variogramın yapısını bozan ve Kriging ağırlıklarının yanlış hesaplanmasına yol açan bu durumu ortadan kaldırmak için dağılımın normal dağılıma dönüştürülmesi gerekmektedir. Literatürde pek çok dönüşüm yöntemleri mevcut olup [53] bu çalışmada, eğitim ve test verilerinin doğal logaritmaları \ln alınarak veri kümesi dağılımlarının normal dağılıma dönüşmesi sağlanmıştır. Şekil 2.67'de doğal ve yapay radyonüklidlerin aktivite verilerinin logaritma dönüşümü yapılmış histogramları gösterilmektedir. Bu iki histogramda yer alan eğitim ve test verilerinin Kolmogorov-Smirnov sınaması (^{226}Ra için $D = 0.2, p = 0.96$, ^{232}Th için $D = 0.2, p = 0.93$, ^{40}K için $D = 0.2, p = 0.96$ ve ^{137}Cs için $D = 0.1, p = 0.93$) ile anlamlı bir şekilde birbirinden farklı olmadığı belirlenmiş ve ayrıca Shapiro-Wilk normallik testi ($p > 0.05$) ile her bir radyonüklid için iki veri setinin de normal dağılıma sahip olduğu gösterilmiştir.

2.2.5.2.2. Variogramlar

Ordinary Kriging (OK) aradeğer tahmini, deneysel izotropik yarıvariogramın oluşturulması ve uygun modelin bu yarıvariograma fit edilmesi ile belirlenebilir. İzotropik variogramı temsil edecek uygun modeli belirlemek için, tanımlayıcı istatistik verilerden yararlanılmış ve model parametreleri tespit edilmiştir.

Tablo 2.11'de doğal ve yapay radyonüklidlerin aktivite değerleri için variogram fonksiyonunu en iyi temsil eden parametrik modelin seçilmesine yardım eden tanımlayıcı istatistiklerin özeti verilmektedir. Gerçek değerlere yakın tahminleri sağlayan bir model için ortalama hata (ME) ve hata karelerinin ortalamasının karekökü (RMSE) 0'a, ortalama hata karesi oran'ı (MSDR) 1'e mümkün olduğu kadar yakın olmalıdır. Buna göre ^{226}Ra ve ^{232}Th radyonüklidlerin aktivite yoğunluk dağılımını en iyi fit eden modelin üstel model, ^{40}K ve ^{137}Cs radyonüklidlerin aktivite yoğunluk dağılımını en iyi fit eden modellerin ise sırasıyla Gauss ve küresel model olduğu belirlenmiştir.

Jeoistatistik metodlarda en önemli yaklaşım, birbirine yakın noktaların benzer özellikler taşıması sonucu değişkenlik miktarının ölçüldüğü variogramların belirlenmesidir. Şekil 2.68'de doğal ve yapay radyonüklidler için konumsal korelasyonu tanımlayan variogramlar ve bu variogramları uygun şekilde tanımlayan modeller için parametre değerleri görülmek-



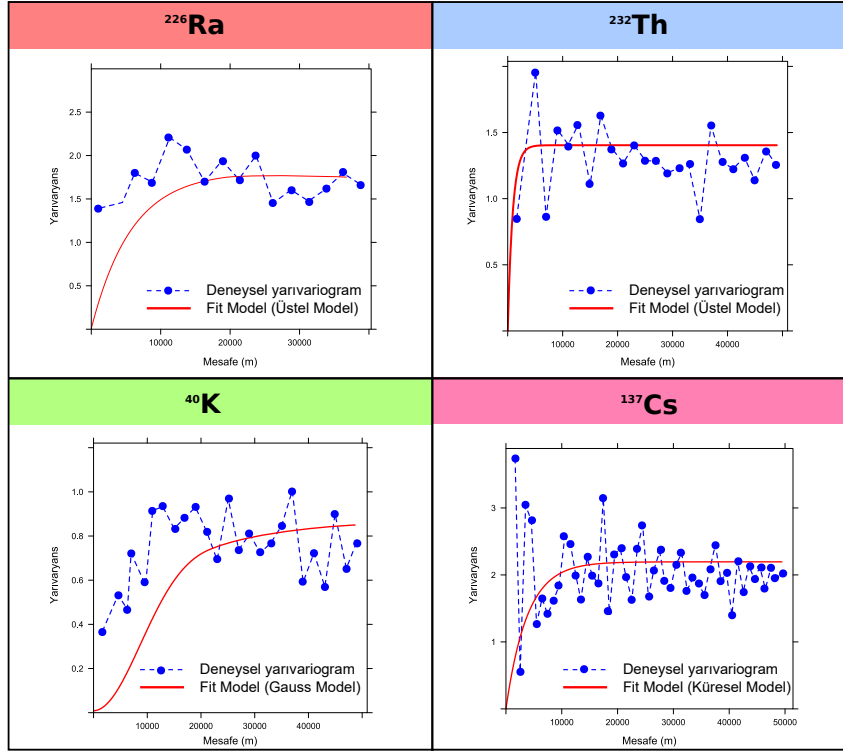
Şekil 2.67. Doğal ve yapay radyonüklidlerin konsantrasyon değerlerinin logaritmik dönüşümlü histogramları

Tablo 2.11. Doğal ve yapay radyonüklidlerde oluşturulan izotropik variogramı en iyi fit eden fonksiyonu belirlemek için oluşturulan model parametreleri

Model	Rad.nukd.	ME	RMSE	MSDR	Ran.(m)	Nug.	Par. Sill	N/S
Küresel	²²⁶ Ra	0.002	1.40	0.44	22895	4.06	0.00	1.00
	²³² Th	0.001	1.12	0.85	22895	1.46	0.00	1.00
	⁴⁰ K	0.001	0.95	0.88	22895	0.29	0.00	1.00
	¹³⁷ Cs	0.001	1.41	0.98	30894	1.94	0.10	0.95
Üstel	²²⁶ Ra	0.002	1.37	1.096	57967	1.54	0.57	0.72
	²³² Th	0.001	1.12	0.98	905	0.01	1.40	0.01
	⁴⁰ K	0.001	0.90	1.22	22050	0.57	0.59	0.49
	¹³⁷ Cs	0.001	1.38	0.93	34769	1.95	0.14	0.93
Gauss	²²⁶ Ra	0.001	1.38	0.74	75006	2.40	2.34	0.50
	²³² Th	0.001	1.12	0.87	28619	0.29	0.00	1.00
	⁴⁰ K	0.001	0.88	0.90	28619	1.00	0.00	1.00
	¹³⁷ Cs	0.002	1.38	1.93	20942	1.96	0.11	0.94
P.spherical	²²⁶ Ra	0.002	0.40	0.42	28619	4.22	0.00	1.00
	²³² Th	0.001	1.12	0.85	28619	1.46	0.00	1.00
	⁴⁰ K	0.001	0.95	0.88	28619	1.02	0.00	1.00
	¹³⁷ Cs	0.001	1.42	0.97	31116	1.94	0.09	0.95
Lineer	²²⁶ Ra	0.002	1.35	0.80	37655	2.24	0.00	1.00
	²³² Th	0.001	1.12	0.85	28619	1.46	0.00	1.00
	⁴⁰ K	0.001	0.95	0.88	28619	1.01	0.00	1.00
	¹³⁷ Cs	0.001	1.41	0.97	21119	1.94	0.10	0.95
Çembersel	²²⁶ Ra	0.001	1.35	0.45	75436	3.95	0.00	1.00
	²³² Th	0.001	1.12	0.85	28619	1.46	0.00	1.00
	⁴⁰ K	0.001	0.95	0.88	28619	1.02	0.00	1.00
	¹³⁷ Cs	0.001	0.40	0.96	26784	1.94	0.10	0.95

N/A= Nugget/Sill; En uygun modeller koyu renkle gösterilmiştir.

tedir. Bu variogramlar incelendiğinde çalışma alanındaki konumsal korelasyon ilişkisini bozan noktaların varlığı radyonüklidlerin aradeğer tahmininde, jeostatistiksel yaklaşımların performansının düşük olmasına sebep olmuştur. Burada özellikle yakın mesafeli olan noktalardan alınan ölçüm sonuçlarının birbirlerine benzememesi konumsal korelasyonun bozulmasına sebep olan en önemli etmen olmuştur.



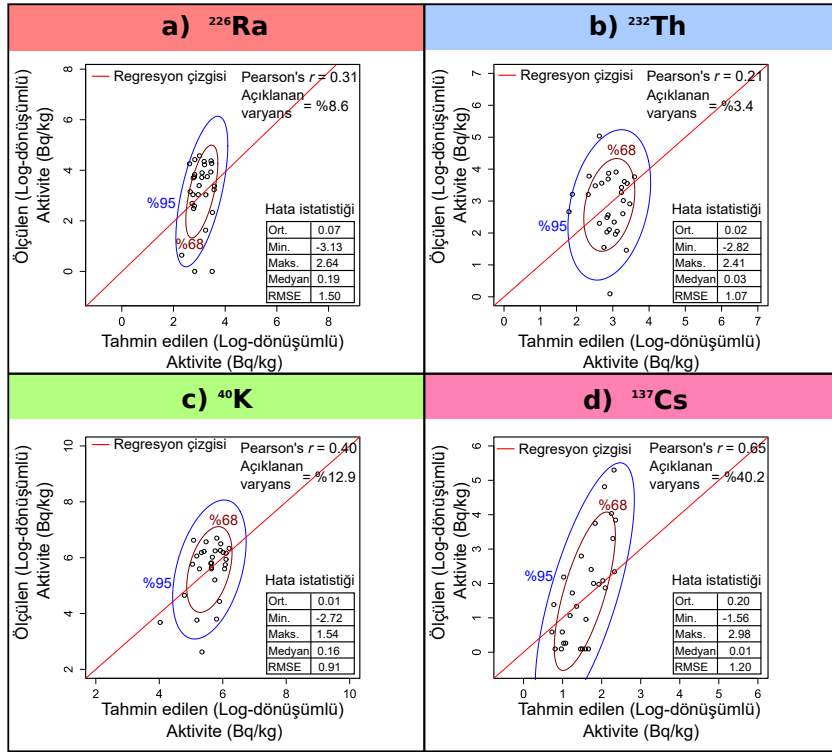
Şekil 2.68. Doğal ve yapay radyonüklidlerin aktivite yoğunluğu için oluşturulan izotropik variogram ve en iyi fit fonksiyonları

2.2.5.2.3. Test Verilerinin Çapraz Doğrulaması

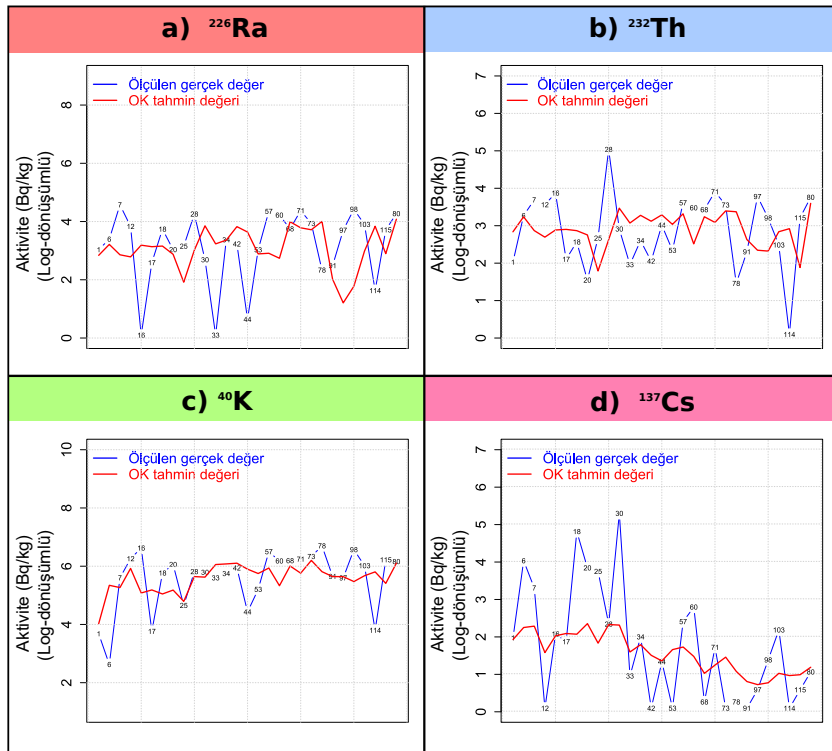
Uyumlu modeller ile elde edilen variogramların model parametrelerinden yararlanarak Ordinary Kriging yöntemi ile test verileri tahmin edilmiş ve gerçek değerler ile karşılaştırılmıştır.

Şekil 2.69a, Şekil 2.69b, Şekil 2.69c ve Şekil 2.69d sırasıyla ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs için hem ordinary kriging yaklaşımı ile tahmin edilen verilerin gerçek değerlere göre çapraz doğrulama diyagramları verilmiştir. Tüm diyagramda da tahmin edilen noktaların büyük bölümü %95'lik güven elipsi içinde kalmıştır. Çapraz doğrulama diyagramlarında, ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs Pearson's r katsayıları sırasıyla 0.31, 0.21, 0.40 ve 0.65 ($p < 0.001$) ve RMSE değerleri 1.50, 1.07, 0.91 ve 1.20 olarak belirlenmiştir. OK yöntemi kullanılarak önerilen model ile en az ^{232}Th radyonüklidinin aktivite değişimi açıklanırken (%3.4), en fazla ^{137}Cs radyonüklidinin aktivitesinin değişimi açıklanmıştır (%40.2).

Şekil 2.70'de ordinary kriging yöntemi ile doğal ve yapay radyonüklidlerin konsantrasyonlarını her bir test istasyonu için tahmin etme performansları gösterilmiştir.



Şekil 2.69. Doğal ve yapay radyonüklid aktivitelerinin tahmin edilen değerlere karşı gerçek değerinin saçılma diyagramı ve hata istatistikleri



Şekil 2.70. OK yönteminin test istasyonlarını tahmin etme performansı (numaralar test istasyonlarını göstermektedir)

2.2.5.3. Doğal ve Yapay Radyonüklidlerin Yapay Sinir Ağları Modellemesi

Bu kısımda doğal ve yapay radyonüklidlerin aktivite konsantrasyon bulgularından yararlanarak oluşturulan yapay sinir ağları yapısı ile tüm çalışma alanı için ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs aktivitelerinin dağılım tahmini belirlenmiştir. Bu çalışmada ileri beslemeli (MLP, RBFNN ve QRNN) ve geri beslemeli (Jordan Ağları ve Elman ağları) kullanılmış ve tahmin performansları kendi aralarında değerlendirilmiştir.

Bu kısım 3 aşamadan meydana gelmektedir. Bunlar; verilerin dönüştürülmesi, yapay sinir ağları mimarisi ve eğitimi ve son olarak test verilerinin çapraz doğrulamasıdır.

2.2.5.3.1. Verilerin Dönüştürülmesi

Doğal ve yapay radyonüklidlerin aktivite verilerini birimsizleştirmek için 2.4’de verilen istatistiksel normalizasyon kuralı uygulanmıştır. Hesaplama işleminin sonunda ağdan alınan çıktı verilerinin de tekrar ters dönüşümle orjinal gösterimlerine çevrilmesi sağlanmıştır.

2.2.5.3.2. Yapay Sinir Ağlarının Mimarisi ve Eğitimi

Verilerin normalleştirilmesinden sonra doğal ve yapay radyonüklidlerin aktivite dağılımının genel yapısını belirlemek için tüm ağların deneysel veriler ile eğitimi gerçekleştirilmiştir. Doğal ve yapay radyonüklidler için yapay sinir ağlarının mimari yapısı Tablo 2.12’de gösterilmiştir. Doğal radyonüklidlerin eğitimi için; 5 girdi parametresi tanımlanmıştır. Bunlar; enlem, boylam, yükseklik, toprak yapısı ve jeolojik kayaç yapısıdır. Çıktı parametresi ise bu verilere karşılık gelen doğal radyonüklidlerin aktivite konsantrasyon değerleridir. Ayrıca yapay radyoaktivite kaynağı olan ^{137}Cs radyoiztopunun eğitimi için 3 girdi (enlem, boylam, yükseklik) ve bir çıktı (^{137}Cs aktivitesi) parametresi kullanılmıştır.

Tablo 2.12’de yer alan GS; Girdi sayısı, ÇS; Çıktı sayısı, GKS; Gizli katman sayısı, MIS; Maksimum iterasyon sayısı, TF ; Öğrenme fonksiyonu, AF; Aktivasyon fonksiyonu ve IF; Başlangıç fonksiyonu’nu temsil etmektedir. Ayrıca MLP ve RBFNN ağ yapısı için, eğitim fonksiyonu satırda parantez içinde gösterilen 0.2 ve 0 değerleri sırasıyla gradyent inişin adım parametresi ve hedef değer ile çıktı değerleri arasındaki maksimum tolere edilebilen hata miktarıdır. Jordan ve Elman ağ yapısı için, eğitim fonksiyonu satırda parantez içinde gösterilen 0.01 öğrenme fonksiyonu için belirlenen parametre değeridir. QRNN

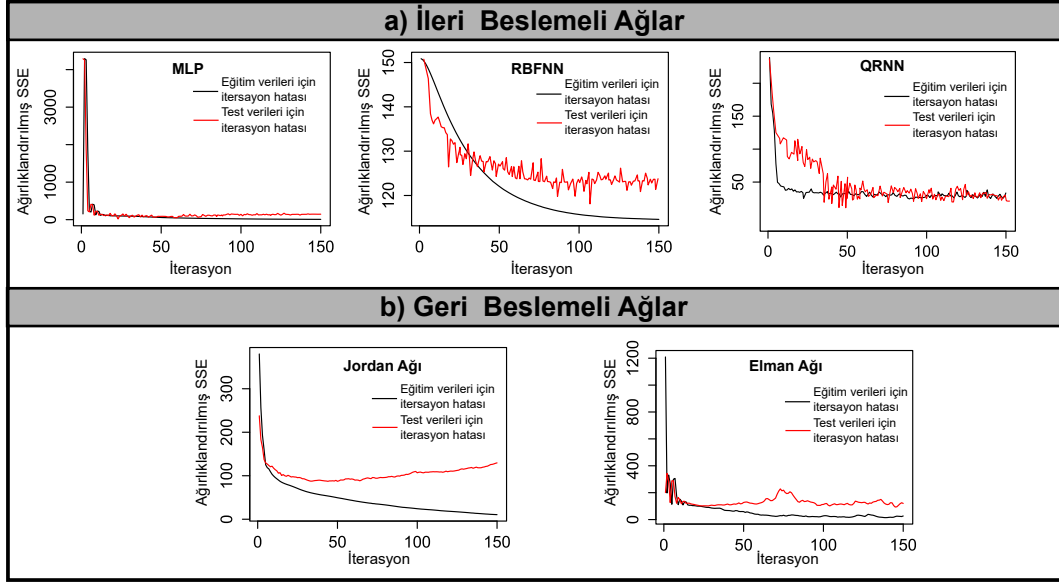
Tablo 2.12. Çalışmada kullanılan yapay sinir ağlarının genel mimari yapısı

YSA	Rad.nukld.	GS	ÇS	GKS	MİS	TF	AF	IF
MLP	^{226}Ra	5	1	(52,33,30)	150	RP (0.2, 0)	LF	RA
	^{232}Th	5	1	(46,37,15)	150	RP (0.2, 0)	LF	RA
	^{40}K	5	1	(50,21,32)	150	RP (0.2, 0)	LF	RA
	^{137}Cs	3	1	(54,33,17)	150	BP (0.2, 0)	LF	RA
RBFNN	^{226}Ra	5	1	35	150	BP(0.1, 0)	GF	RA
	^{232}Th	5	1	45	150	BP(0.1, 0)	GF	RA
	^{40}K	5	1	45	150	BP(0.1, 0)	GF	RA
	^{137}Cs	3	1	40	150	BP(0.1, 0)	GF	RA
QRNN	^{226}Ra	5	1	75	150	BP($\tau=0.99$)	HTF	RA
	^{232}Th	5	1	(45,35)	150	BP($\tau=0.99$)	HTF	RA
	^{40}K	5	1	(30,10,20)	150	BP($\tau=0.99$)	HTF	RA
	^{137}Cs	3	1	(20,15,15)	150	BP($\tau=0.99$)	HTF	RA
Jordan	^{226}Ra	5	1	(10,20)	150	JERP (0.01)	HTF	JEA
	^{232}Th	5	1	(15,15)	150	JERP (0.01)	HTF	JEA
	^{40}K	5	1	(10,15)	150	JERP (0.01)	HTF	JEA
	^{137}Cs	3	1	(30,25)	150	JERP (0.01)	HTF	JEA
Elman	^{226}Ra	5	1	(10,20)	150	JEGY (0.01)	HTF	JEA
	^{232}Th	5	1	(20,15)	150	JEGY (0.01)	HTF	JEA
	^{40}K	5	1	(18,24)	150	JEGY (0.01)	HTF	JEA
	^{137}Cs	3	1	(35,15)	150	JEGY (0.01)	HTF	JEA

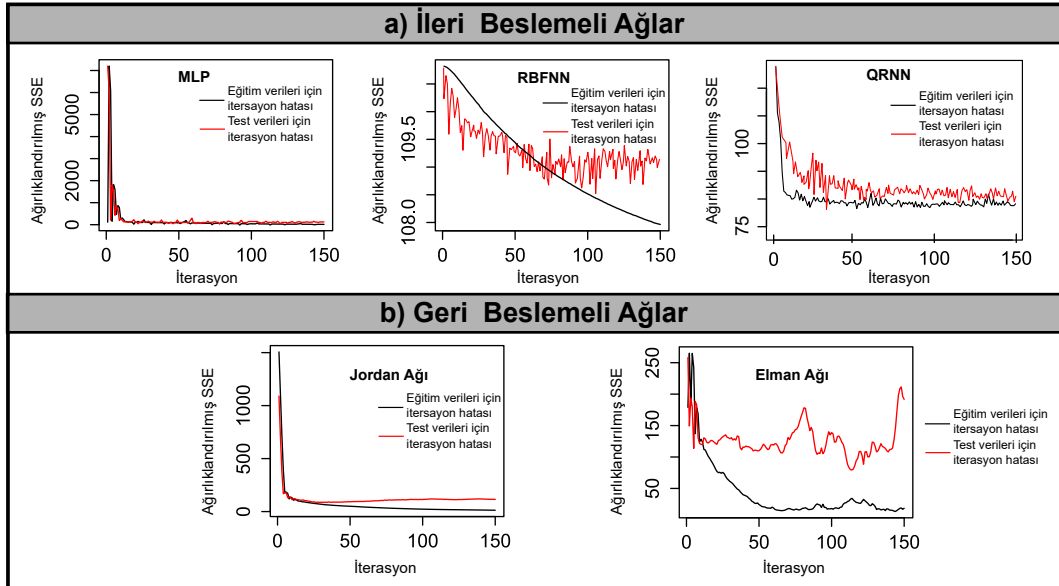
BP=Geri yayılım fonksiyonu; **RP**= Tekrarlı geri yayılım fonksiyonu; **LF**= Lojistik fonksiyon; **RA**= Rastgele ağırlıklar; **GF**= Gauss Fonksiyonu; **HTF**= Hiperbolik tanjant fonksiyonu; **JERP**= Jordan-Elman tekrarlı geri yayılım fonksiyonu; **JEGY**= Jordan-Elman geri yayılım fonksiyonu; **JEA**=Jordan-Elman başlangıç ağırlıkları

ağ yapısındaki eğitim fonksiyonu parametresi olarak belirlenen 0.99 değeri, hesaplamalarda kantil sayısı olarak (τ), olarak kullanılmıştır.

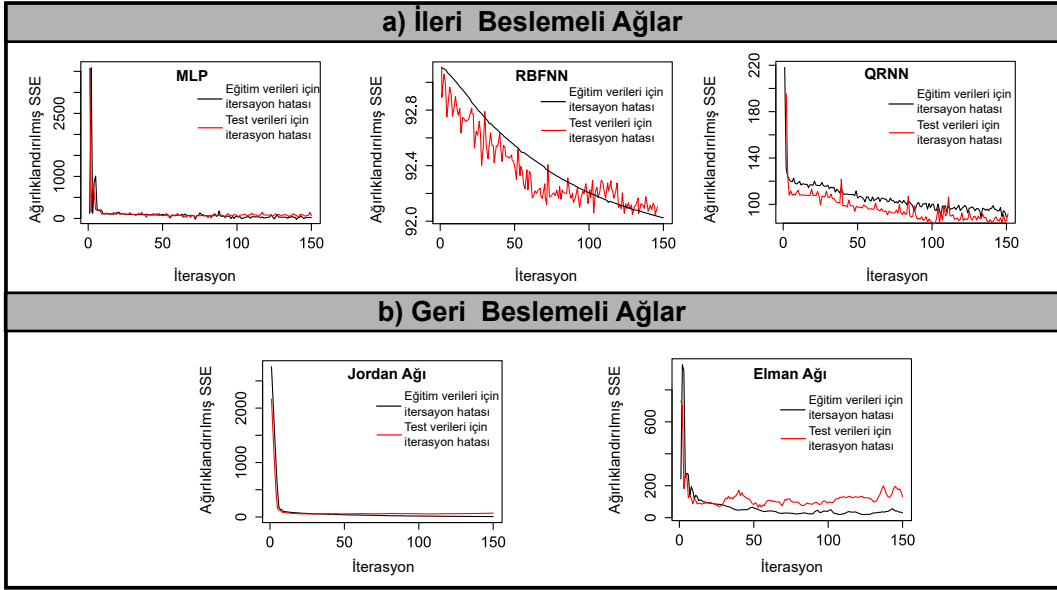
Şekil 2.71, Şekil 2.72 , Şekil 2.73 ve Şekil 2.74 sırasıyla ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyonüklidlerine ait her bir ağ yapısındaki hata değişimlerini göstermektedir. Burada ağırlıklandırılmış SSE eksenini, hata karelerinin toplamını göstermektedir. Bu şekillerde her bir iterasyonda geri yayılan hataların eğitim setinde test setine göre daha uygun bir şekilde azaldığı ve zamanla sabitlendiği görülmektedir.



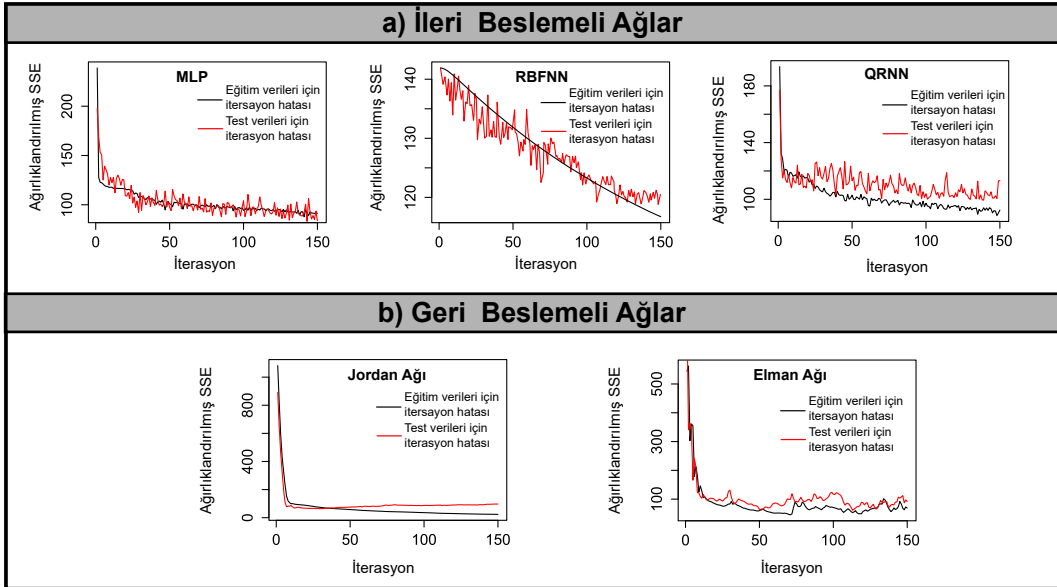
Şekil 2.71. Çalışmada kullanılan yapay sinir ağlarının ^{226}Ra aktivite verilerinin iterasyon değerlerindeki hata değişimleri



Şekil 2.72. Çalışmada kullanılan yapay sinir ağlarının ^{232}Th aktivite verilerinin iterasyon değerlerindeki hata değişimleri



Şekil 2.73. Çalışmada kullanılan yapay sinir ağlarının ^{40}K aktivite verilerinin iterasyon değerlerindeki hata değişimleri



Şekil 2.74. Çalışmada kullanılan yapay sinir ağlarının ^{137}Cs aktivite verilerinin iterasyon değerlerindeki hata değişimleri

2.2.5.3.3. Test Verilerinin Çapraz Doğrulaması

Çapraz doğrulamada belirlenen YSA'ların her biri ile ağlara hiç tanıtılmamış test verilerinin ağ tarafından tahmin edilmesi sağlanmıştır. Böylelikle deneysel bulgular ile elde edilen gerçek sonuçların YSA ile tahmin edilen çıktı değerleri ile karşılaştırması yapılmıştır. Şekil 2.75, Şekil 2.76, Şekil 2.77 ve Şekil 2.78 sırasıyla ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyonüklidleri için ileri ve geri beslemeli yapay sinir ağlarının, her bir test istasyonunu tahmin etme performanslarını göstermektedir.

Şekil 2.79'da ^{226}Ra radyonüklidinin aktivite konsantrasyonu için her bir ağ yapısı ile oluşturulan tahmin değerleri ile gerçek değerler arasındaki çapraz doğrulama sonuçları gösterilmektedir. Buna göre; ileri beslemeli ağlar olan MLP, RBFNN ve QRNN de Pearson's r korelasyon katsayıları sırasıyla, 0.70, 0.51 ve 0.87 ($p < 0.001$); RMSE değerleri, 0.94, 1.07 ve 0.75 olarak belirlenmiştir. Ayrıca MLP, RBFNN ve QRNN modellerinin ^{226}Ra aktivitesinin değişimini sırasıyla %48.1, %24.2 ve %75.2 oranında açıkladığı hesaplanmıştır. Her üç ileri beslemeli ağ yapısında da tahmin noktalarının çok büyük kısmı %95'lik güven elipsi içinde kalmıştır. Ancak RBFNN ^{226}Ra 'un aktivite tahmininde yetersiz kalmıştır. Geri beslemeli ağlar olan Jordan ve Elman ağlarında Pearson's r korelasyon katsayıları sırasıyla 0.21 ve 0.43 ($p < 0.001$) olarak hesaplanırken, RMSE değerleri, 1.65 ve 1.25 olarak belirlenmiştir. Ayrıca Jordan ve Elman modellerinin ^{226}Ra aktivitesinin değişimini sırasıyla %0.5 ve %15.6 oranında açıkladığı tespit edilmiştir. Her iki geri beslemeli ağ yapısında da tahmin noktalarının çok büyük kısmı %95'lik güven elipsi içinde kalmıştır. Ancak geri beslemeli bu ağlar ^{226}Ra aktivitesinin tahmininde yetersiz kalmıştır. Çapraz doğrulama sonuçlarına göre test verilerindeki ^{226}Ra aktivite değerlerini tahmin etme performanslarının QRNN ve MLP modellerinde diğer modellere karşılaştırıldığında yüksek oranda olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre en yüksek Pearson's r ve en düşük RMSE değerine sahip olan QRNN modelinin ^{226}Ra aktivite konsantrasyonlarının ara değer tahmininde ve haritalanmasında en uygun YSA yöntemi olduğu belirlenmiştir.

Şekil 2.80'de ^{232}Th radyonüklidinin aktivite konsantrasyonu için her bir ağ yapısı ile oluşturulan tahmin değerleri ile gerçek değerler arasındaki çapraz doğrulama sonuçları gösterilmektedir. Buna göre; ileri beslemeli ağlar olan MLP, RBFNN ve QRNN de Pearson's r korelasyon katsayıları sırasıyla, 0.26, 0.32 ve 0.75 ($p < 0.001$); RMSE değerleri, 1.00, 0.94 ve 0.70 olarak belirlenmiştir. Ayrıca MLP, RBFNN ve QRNN modellerinin ^{232}Th

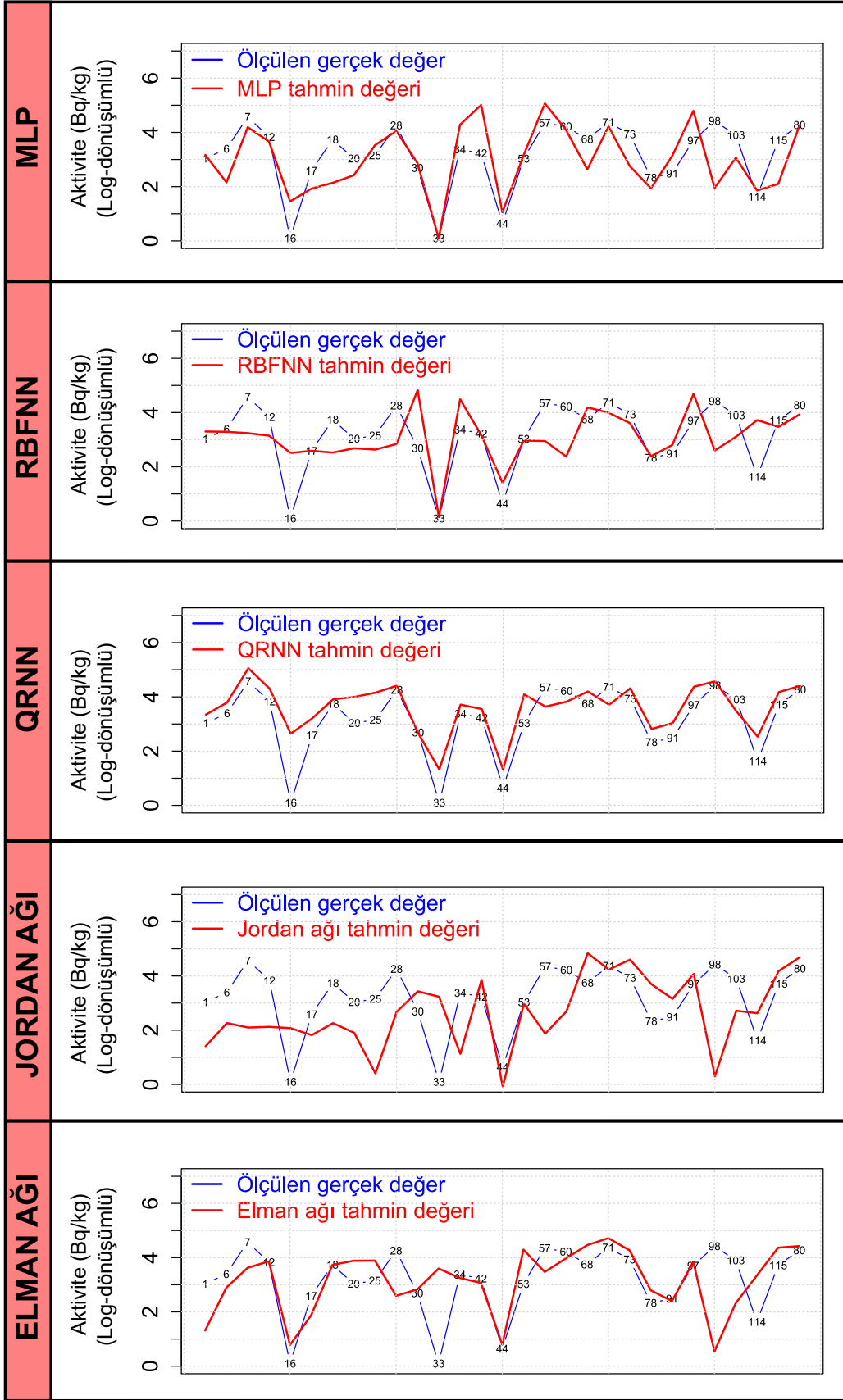
aktivitesinin değişimini sırasıyla %3.7, %7.2 ve %54.9 oranında açıkladığı hesaplanmıştır. Her üç ileri beslemeli ağ yapısında da tahmin noktalarının çok büyük kısmı %95'lik güven elipsi içinde kalmıştır. Ancak RBFNN ve MLP ağ yapıları ^{232}Th 'un aktivite tahmininde yetersiz kalmıştır. Geri beslemeli ağlar olan Jordan ve Elman ağlarında Pearson's r korelasyon katsayıları sırasıyla 0.60 ve 0.35 ($p < 0.001$) olarak hesaplanırken, RMSE değerleri, 0.90 ve 1.05 olarak belirlenmiştir. Ayrıca Jordan ve Elman modellerinin ^{232}Th aktivitesinin değişimini sırasıyla %33.9 ve %9.1 oranında açıkladığı tespit edilmiştir. Her iki geri beslemeli ağ yapısında da tahmin noktalarının çok büyük kısmı %95'lik güven elipsi içinde kalmıştır. Ancak Elman ağ yapısı ^{232}Th aktivitesinin tahmininde yetersiz kalmıştır. Çapraz doğrulama sonuçlarına göre test verilerindeki ^{232}Th aktivite değerlerini tahmin etme performanslarının QRNN ve Jordan ağında diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında yüksek oranda olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre en yüksek Pearson's r ve en düşük RMSE değerine sahip olan QRNN modelinin ^{232}Th aktivite konsantrasyonlarının ara değer tahmininde ve haritalanmasında en uygun YSA yöntemi olduğu belirlenmiştir.

Şekil 2.81'de ^{40}K radyonüklidinin aktivite konsantrasyonu için her bir ağ yapısı ile oluşturulan tahmin değerleri ile gerçek değerler arasındaki çapraz doğrulama sonuçları gösterilmektedir. Buna göre; ileri beslemeli ağlar olan MLP, RBFNN ve QRNN de Pearson's r korelasyon katsayıları sırasıyla, 0.61, 0.63 ve 0.71 ($p < 0.001$); RMSE değerleri, 0.79, 0.77 ve 0.76 olarak belirlenmiştir. Ayrıca MLP, RBFNN ve QRNN modellerinin ^{40}K aktivitesinin değişimini sırasıyla %36.2, %38.3 ve %48.7 oranında açıkladığı hesaplanmıştır. Her üç ileri beslemeli ağ yapısında da tahmin noktalarının çok büyük kısmı %95'lik güven elipsi içinde kalmıştır. MLP, RBFNN ve QRNN ağ yapılarının her biri ^{40}K 'un aktivite tahmininde birbirlerine yakın performans sonuçları göstermişlerdir. Geri beslemeli ağlar olan Jordan ve Elman ağlarında Pearson's r korelasyon katsayıları sırasıyla 0.50 ve 0.39 ($p < 0.001$) olarak hesaplanırken, RMSE değerleri, 1.03 ve 1.10 olarak belirlenmiştir. Ayrıca Jordan ve Elman modellerinin ^{40}K aktivitesinin değişimini sırasıyla %22.3.9 ve %12.1 oranında açıkladığı tespit edilmiştir. Her iki geri beslemeli ağ yapısında da tahmin noktalarının çok büyük kısmı %95'lik güven elipsi içinde kalmıştır. Ancak geri beslemeli bu ağlar ^{40}K aktivitesinin tahmininde yetersiz kalmıştır. Çapraz doğrulama sonuçlarına göre test verilerindeki ^{40}K aktivite değerlerini tahmin etme performanslarının ileri beslemeli ağlarda geri beslemeli ağlara göre daha yüksek oranda olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre en yüksek Pearson's r ve

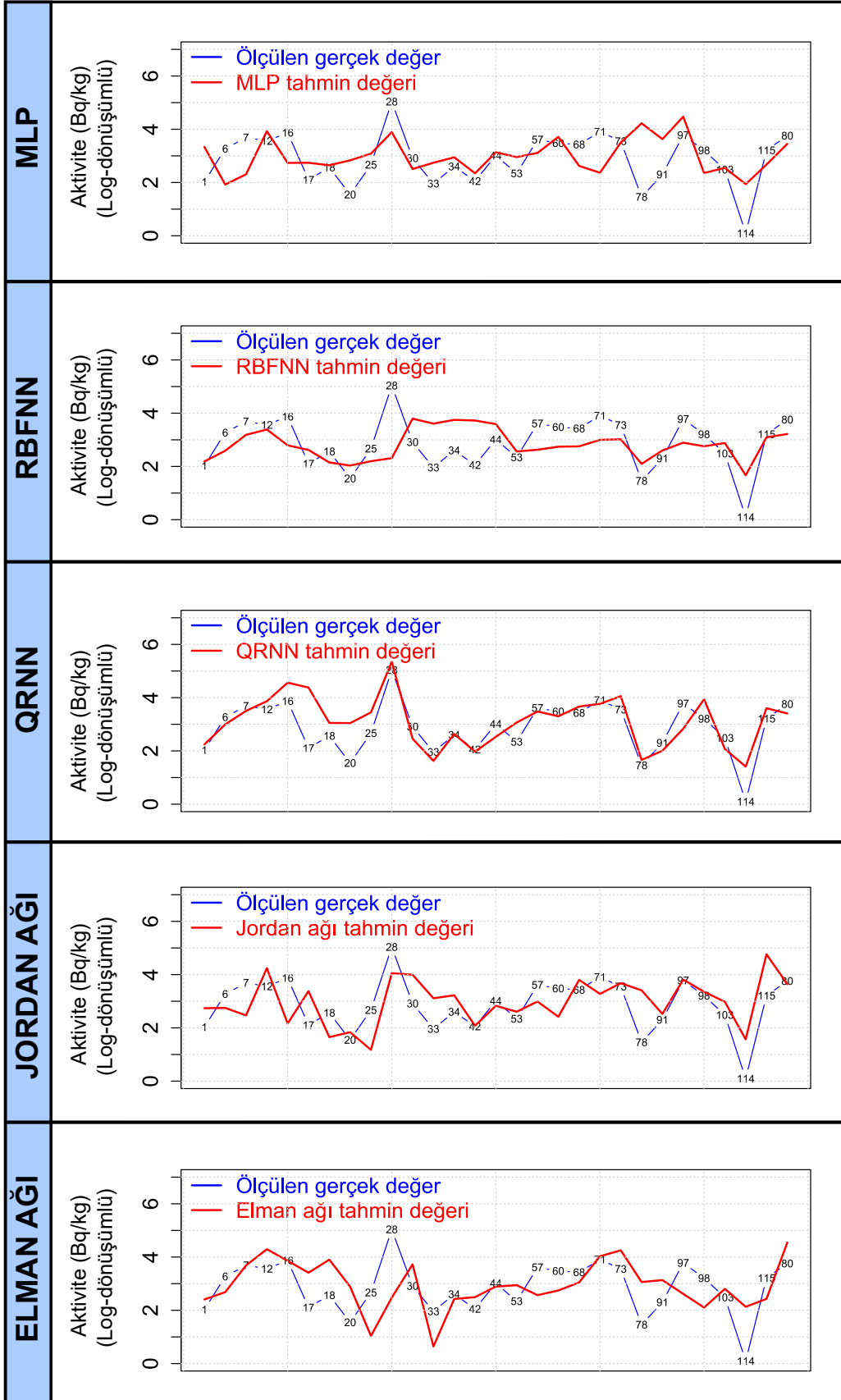
en düşük RMSE değerine sahip olan QRNN modelinin ^{40}K aktivite konsantrasyonunun ara değer tahmininde ve haritalanmasında en uygun YSA yöntemi olduğu belirlenmiştir.

Şekil 2.82’de ^{137}Cs radyonüklidinin aktivite konsantrasyonu için her bir ağ yapısı ile oluşturulan tahmin değerleri ile gerçek değerler arasındaki çapraz doğrulama sonuçları gösterilmektedir. Buna göre; ileri beslemeli ağlar olan MLP, RBFNN ve QRNN de Pearson’s r korelasyon katsayıları sırasıyla, 0.70, 0.66 ve 0.67 ($p < 0.001$); RMSE değerleri, 1.08, 1.28 ve 1.37 olarak belirlenmiştir. Ayrıca MLP, RBFNN ve QRNN modellerinin ^{137}Cs aktivitesinin değişimini sırasıyla %48.2, %41.5 ve %42.8 oranında açıkladığı hesaplanmıştır. Her üç ileri beslemeli ağ yapısında da tahmin noktalarının çok büyük kısmı %95’lik güven elipsi içinde kalmıştır. MLP, RBFNN ve QRNN ağ yapılarının her biri ^{137}Cs ’un aktivite tahmininde birbirlerine yakın performans sonuçları göstermişlerdir. Geri beslemeli ağlar olan Jordan ve Elman ağlarında Pearson’s r korelasyon katsayıları sırasıyla 0.48 ve 0.53 ($p < 0.001$) olarak hesaplanırken, RMSE değerleri, 1.41 ve 1.56 olarak belirlenmiştir. Ayrıca Jordan ve Elman modellerinin ^{137}Cs aktivitesinin değişimini sırasıyla %20.5 ve %26.5 oranında açıkladığı tespit edilmiştir. Her iki geri beslemeli ağ yapısında da tahmin noktalarının çok büyük kısmı %95’lik güven elipsi içinde kalmıştır. Ancak geri beslemeli bu ağlar ^{137}Cs aktivitesinin tahmininde yetersiz kalmıştır. Çapraz doğrulama sonuçlarına göre test verilerindeki ^{137}Cs aktivite değerlerini tahmin etme performanslarının ileri beslemeli ağlarda geri beslemeli ağlara göre daha yüksek oranda olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre en yüksek Pearson’s r ve en düşük RMSE değerine sahip olan MLP modelinin ^{137}Cs aktivite konsantrasyonunun ara değer tahmininde ve haritalanmasında en uygun YSA yöntemi olduğu belirlenmiştir.

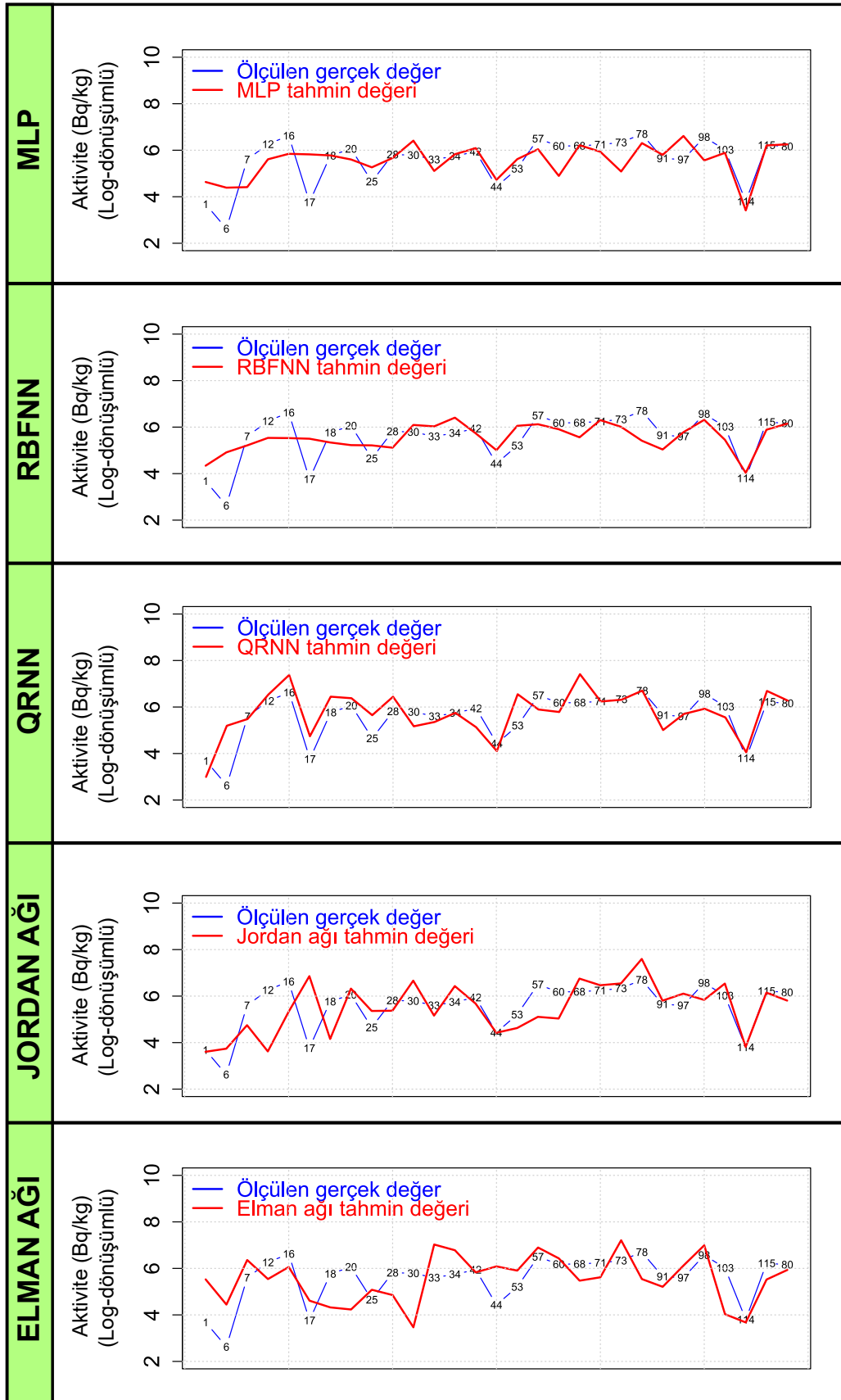
Sonuç olarak doğal ve yapay radyonüklidlerin dağılımının yapay sinir ağları ile belirlenebileceği gösterilmiştir. Ayrıca ileri beslemeli ağ yapılarının genel olarak doğal ve yapay radyonüklidlerde, geri beslemeli ağlara göre daha yüksek performansa sahip olduğu belirlenmiştir. ileri beslemeli ağlarda ise QRNN yapısı yüksek performans değerleri ile gerçek değerleri tahmin etmedeki başarısı ile öne çıkmaktadır.



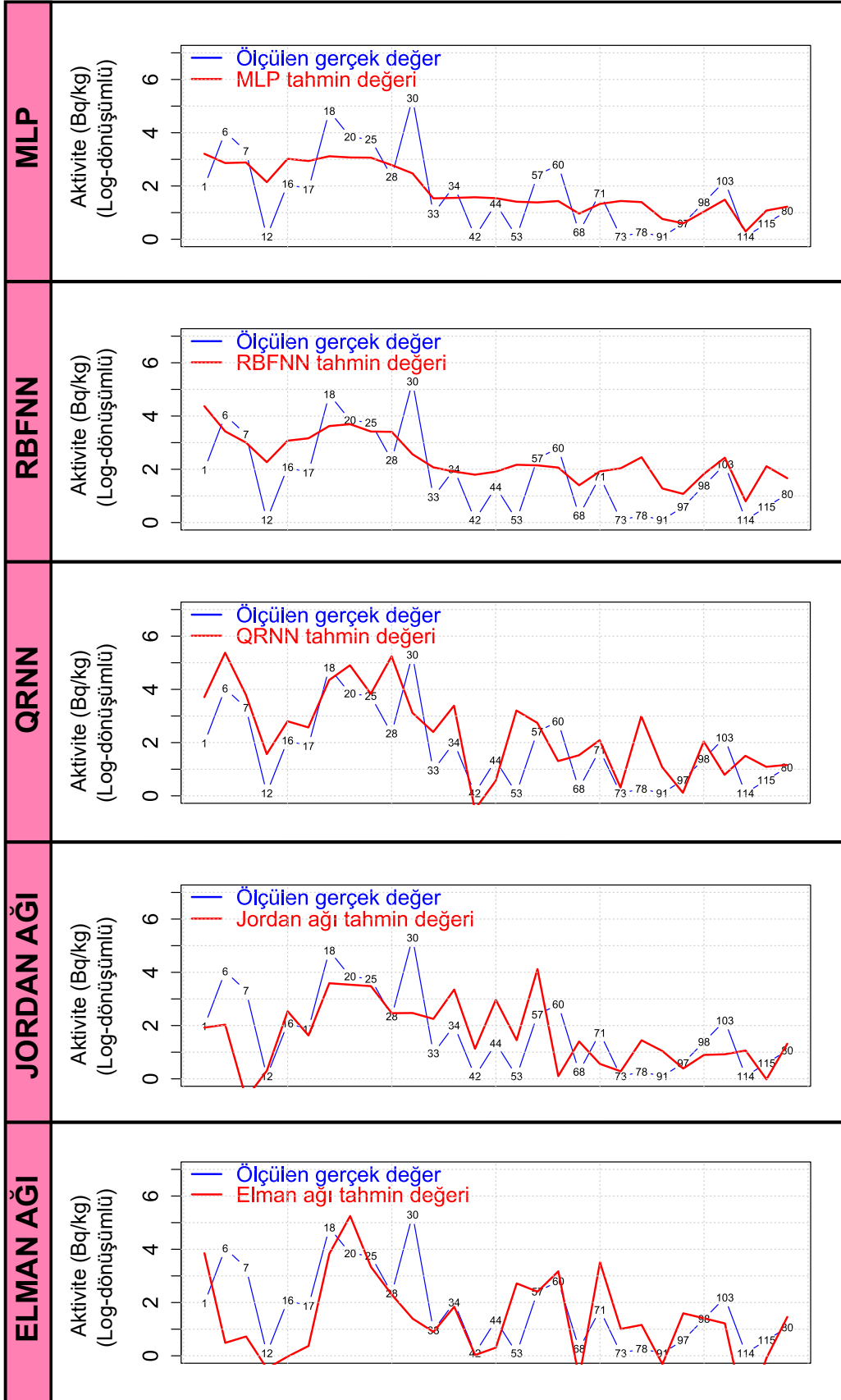
Şekil 2.75. Yapay sinir ağlarının test istasyonları için ^{226}Ra aktivitesini tahmin etme performansları (numaralar test istasyonlarını göstermektedir)



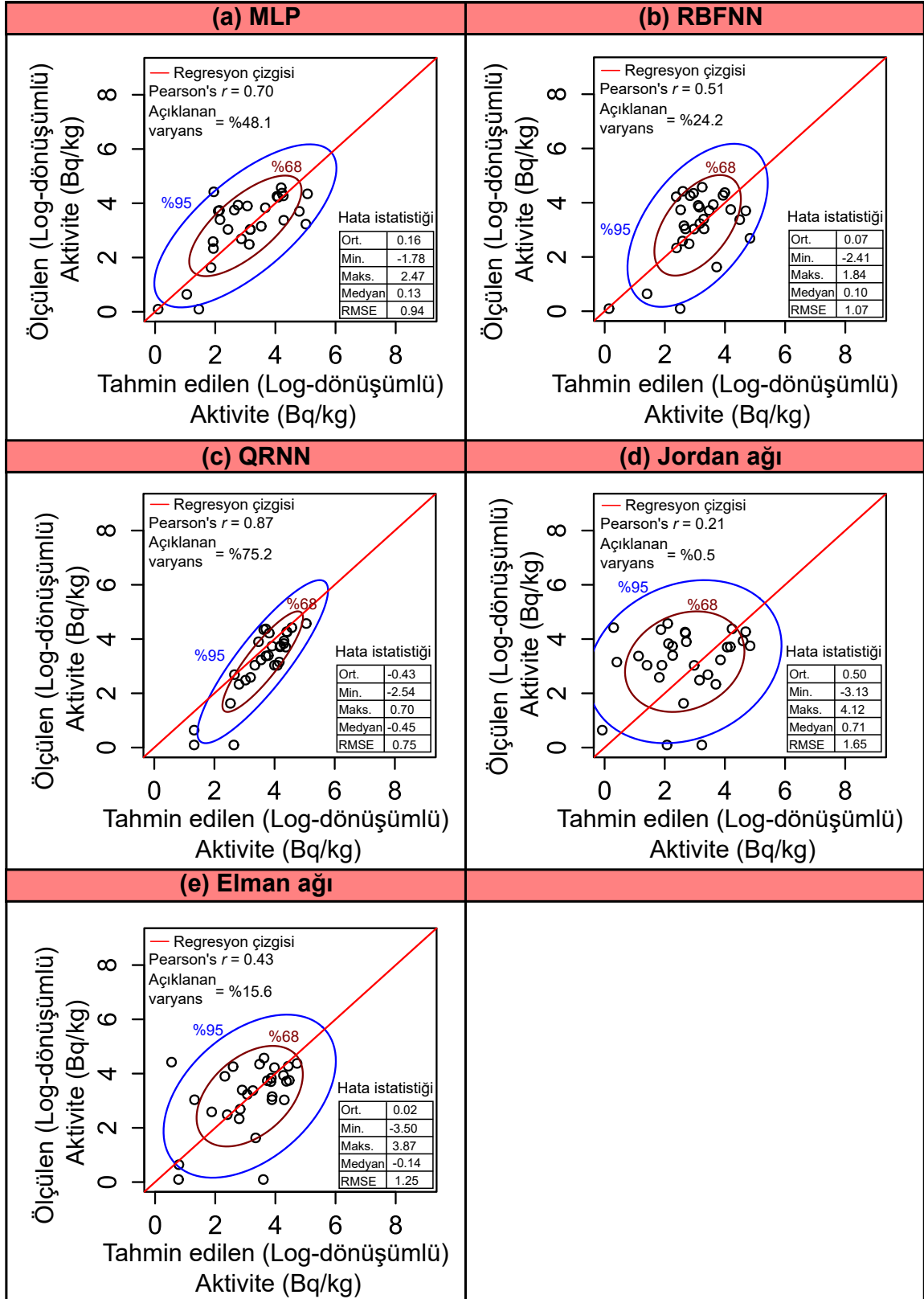
Şekil 2.76. Yapay sinir ağlarının test istasyonları için ^{232}Th aktivitesini tahmin etme performansları (numaralar test istasyonlarını göstermektedir)



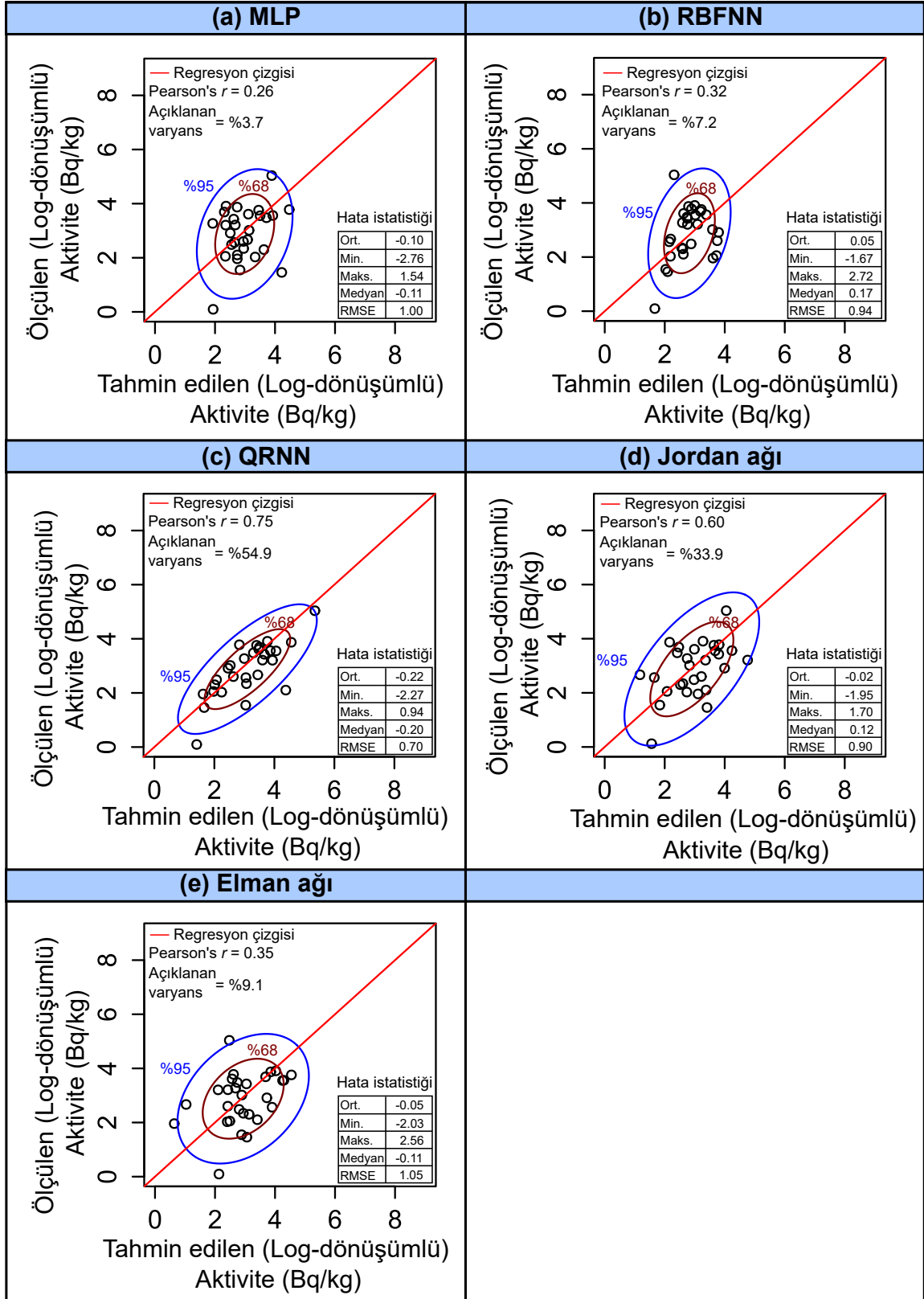
Şekil 2.77. Yapay sinir ağlarının test istasyonları için ^{40}K aktivitesini tahmin etme performansları (numaralar test istasyonlarını göstermektedir)



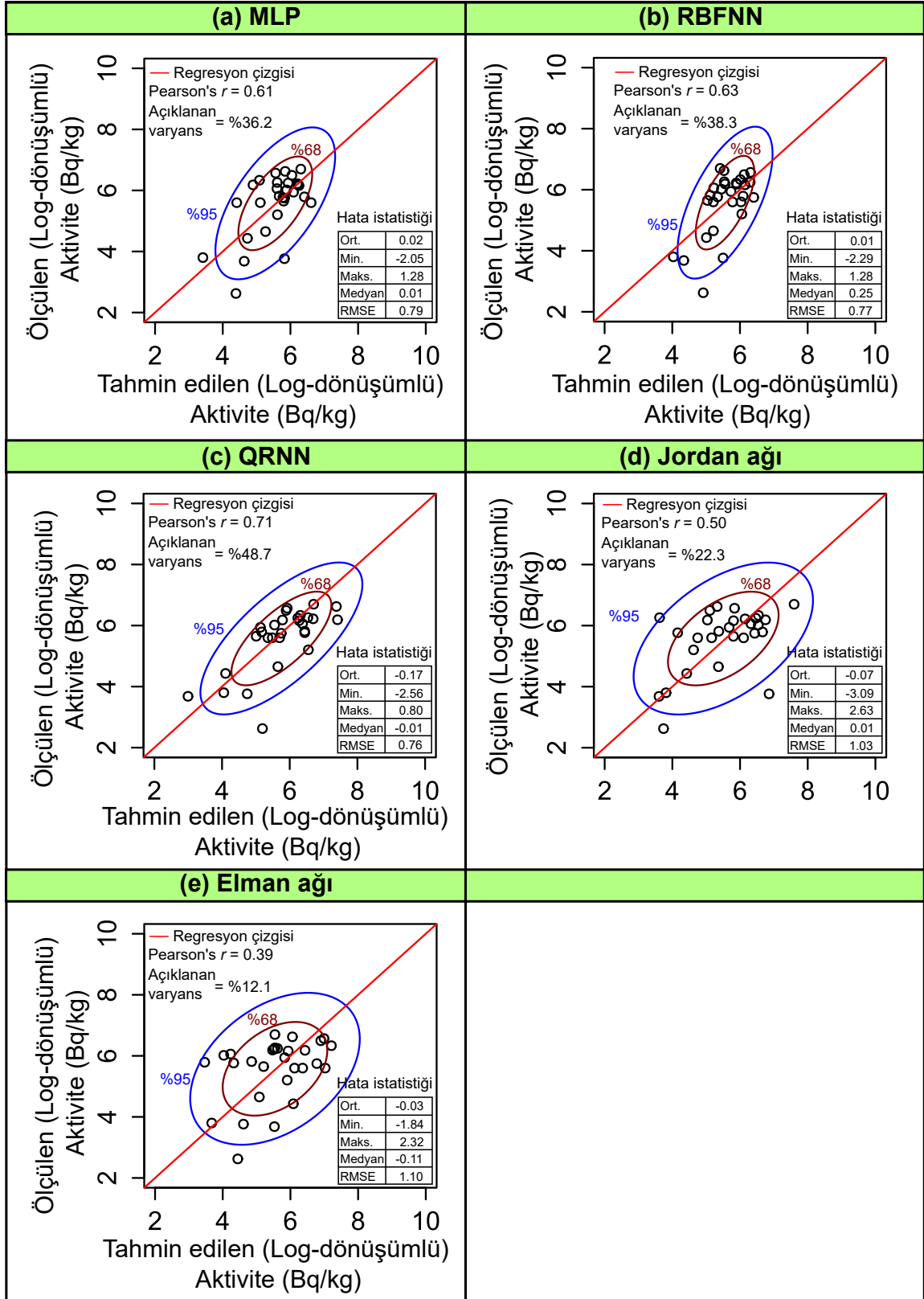
Şekil 2.78. Yapay sinir ağlarının test istasyonları için ^{137}Cs aktivitesini tahmin etme performansları (numaralar test istasyonlarını göstermektedir)



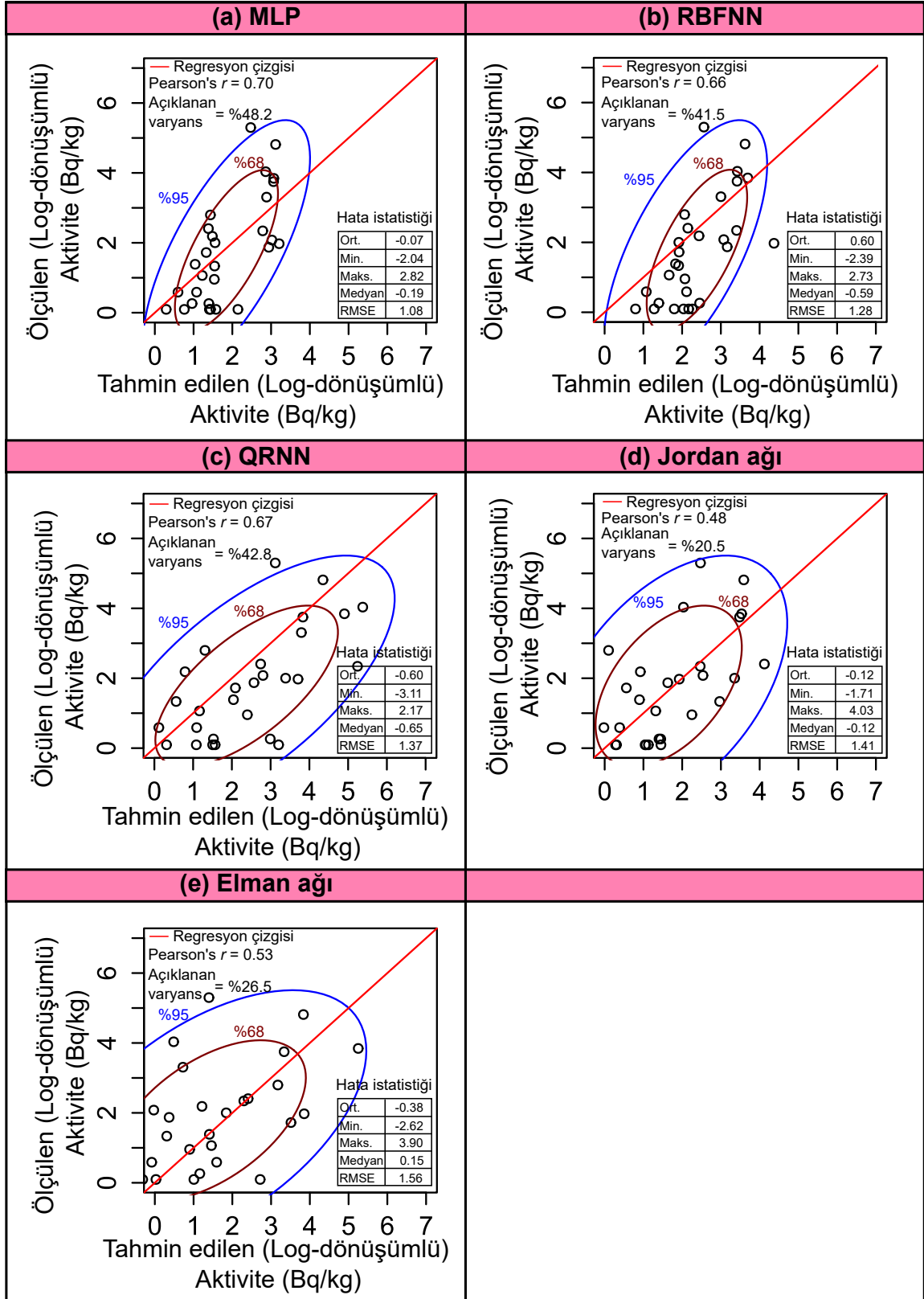
Şekil 2.79. ^{226}Ra aktivitesinin yapay sinir ağları ile tahmin edilen değerlerine karşı gerçek değerinin saçılma diyagramı ve hata istatistikleri



Şekil 2.80. ^{232}Th aktivitesinin yapay sinir ağları ile tahmin edilen değerlerine karşı gerçek değerinin saçılma diyagramı ve hata istatistikleri



Şekil 2.81. ^{40}K aktivitesinin yapay sinir ağları ile tahmin edilen değerlerine karşı gerçek değerinin saçılma diyagramı ve hata istatistikleri



Şekil 2.82. ^{137}Cs aktivitesinin yapay sinir ağları ile tahmin edilen değerlerine karşı gerçek değerinin saçılma diyagramı ve hata istatistikleri

2.2.5.4. Doğal ve Yapay Radyonüklidlerin Bulanık Mantık Modellemesi

Bu kısımda doğal ve yapay radyonüklidlerin aktivite konsantrasyonlarına ait deneysel bulgularından yararlanarak oluşturulan bulanık kümeler ve bulanık kural tabanları ile tüm alanın radyolojik dağılım tahmini yapılmıştır. Bu çalışmada Doğu-Batı X koordinatı, Güney-Kuzey Y koordinatı ve yükseklik verileri ile birlikte doğal ve yapay radyonüklidlerin aktivite bulguları bulanık kümeler ile gösterilmiş ve ölçüm verilerine göre kural tabanları oluşturulmuştur.

Bu kısım 3 aşamadan meydana gelmektedir. Bunlar; verilerin dönüştürülmesi ve bulanık kümeler, bulanık kural tabanı ve sonuç çıkarımı ve son olarak test verilerinin çapraz doğrulamasıdır.

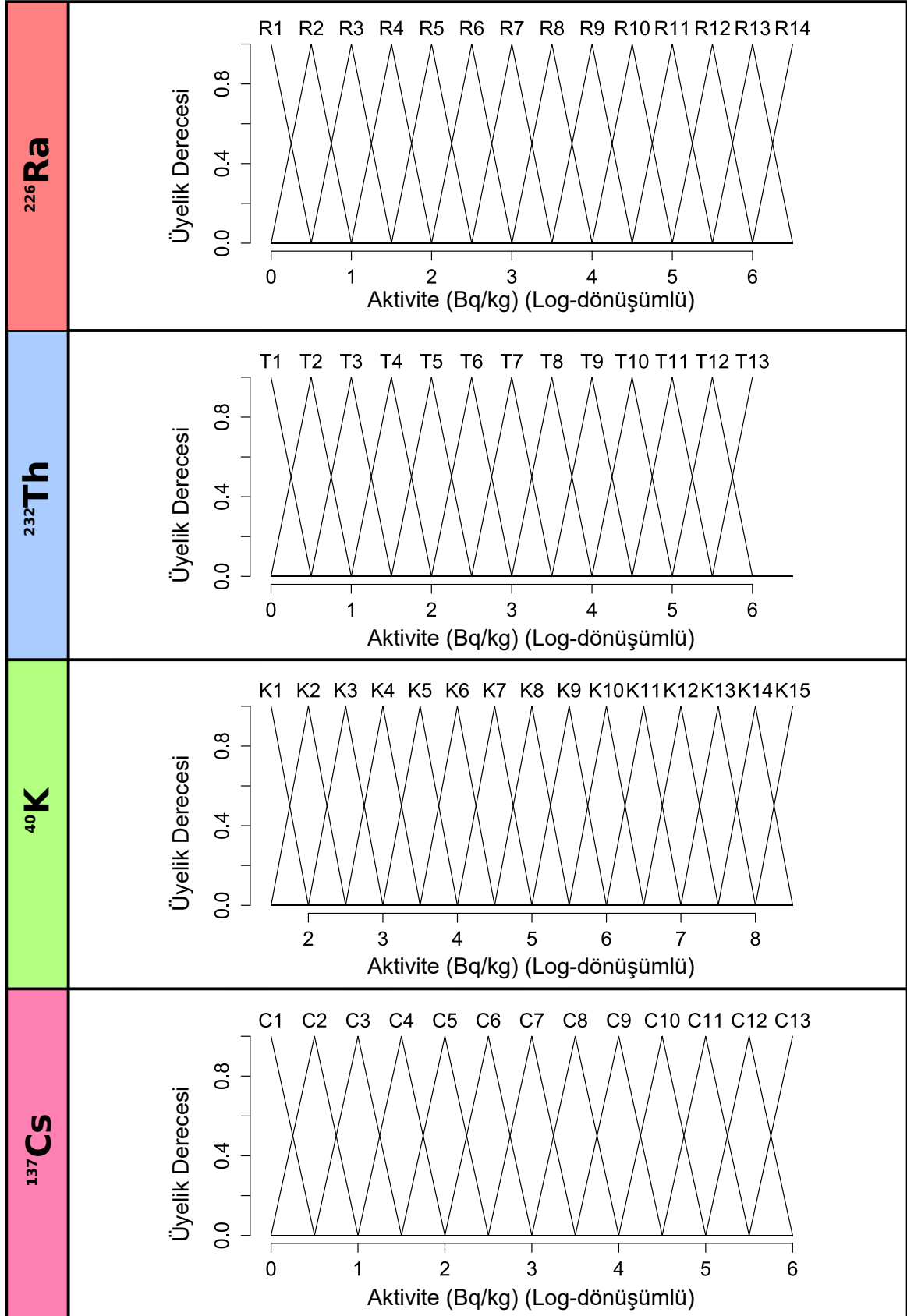
2.2.5.4.1. Bulanık Kümelerin Oluşturulması

Bulanık kümelerin oluşturulmasında sayısal verilerin sözel ifadeler ile belirli kümelere dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu çalışmada tahmin edilmek istenen grid değerlerinin koordinatı Doğu-Batı X koordinatı, Güney-Kuzey Y koordinatı ve yükseklik değerleri ile tanımlanmış olduğundan doğal ve yapay radyonüklid aktivitelerini tahmin etmek için bu üç kümenin bulanıklaştırılması gerçekleştirilmiştir. Bu bulanık kümeler gama doz hızı ve toplam alfa-toplam beta modellenmesinde kullanılan bulanık kümeler ile aynı üyelik dercelerine ve aynı standart dönüşümlere sahip olarak belirlenmiştir. Şekil 2.83'de doğal ve yapay radyonüklidlerin aktivite değerleri için bulanıklaştırılmış kümeler görülmektedir. Burada ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyonüklid aktiviteleri için sırasıyla, 14, 13, 15 ve 13 adet bulanık küme oluşturulmuştur.

Bulanık kümelerin oluşturulmasında, çalışılan alanın genişliği ve bu alanın temsiliyet derecesinin yüksek olması dikkate alınmıştır. Jeolojik yapı ve toprak tipi gibi kendi aralarında derecelendirilemeyen kümeler için bulanıklaştırma yapılmamış ve bu gibi faktörler bu çalışmada hesaplama katılmamıştır.

2.2.5.4.2. Bulanık Kural Tabanı ve Sonuç Çıkarımı

Doğal ve yapay radyonüklidlerin deneysel bulgularına göre belirlenen bulanık kural-
ların bir kısmı aşağıda verilmiştir.



Şekil 2.83. Doğal ve yapay radyonüklidler için oluşturulan bulanık kümeler

²²⁶Ra aktivite konsantrasyonu için belirlenen bazı kurallar;

Kural-1:	EĞER	X;	X4	ve	Y;	Y12	ve	H;	H3	İSE	Ra;	R10	'dir
Kural-2:	EĞER	X;	X3	ve	Y;	Y12	ve	H;	H3	İSE	Ra;	R8	'dir
Kural-3:	EĞER	X;	X5	ve	Y;	Y5	ve	H;	H3	İSE	Ra;	R8	'dir
Kural-4:	EĞER	X;	X4	ve	Y;	Y13	ve	H;	H1	İSE	Ra;	R1	'dir
Kural-5:	EĞER	X;	X11	ve	Y;	Y8	ve	H;	H5	İSE	Ra;	R6	'dir
Kural-6:	EĞER	X;	X14	ve	Y;	Y11	ve	H;	H5	İSE	Ra;	R11	'dir
Kural-7:	EĞER	X;	X6	ve	Y;	Y12	ve	H;	H2	İSE	Ra;	R2	'dir
Kural-8:	EĞER	X;	X6	ve	Y;	Y4	ve	H;	H2	İSE	Ra;	R13	'dir
Kural-9:	EĞER	X;	X5	ve	Y;	Y9	ve	H;	H9	İSE	Ra;	R8	'dir
Kural-10:	EĞER	X;	X6	ve	Y;	Y6	ve	H;	H2	İSE	Ra;	R7	'dir
Kural-11:	EĞER	X;	X5	ve	Y;	Y9	ve	H;	H9	İSE	Ra;	R8	'dir
Kural-12:	EĞER	X;	X9	ve	Y;	Y10	ve	H;	H3	İSE	Ra;	R9	'dir
Kural-13:	EĞER	X;	X8	ve	Y;	Y12	ve	H;	H2	İSE	Ra;	R2	'dir

²³²Th aktivite konsantrasyonu için belirlenen bazı kurallar;

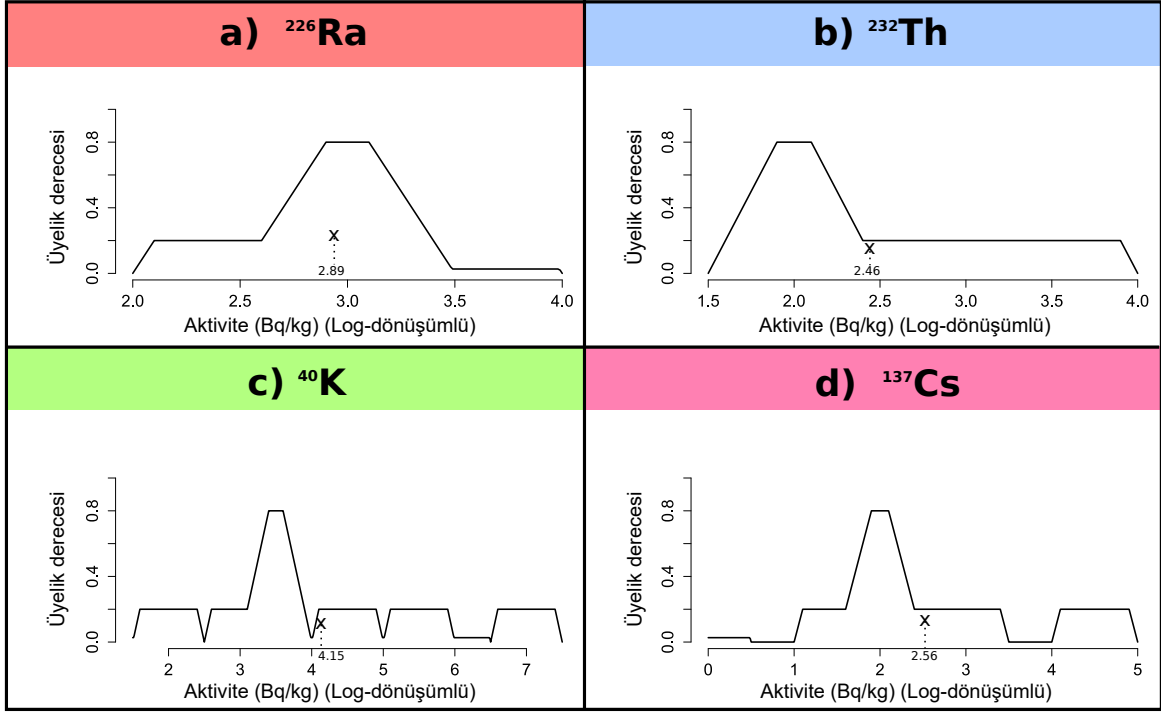
Kural-1:	EĞER	X;	X3	ve	Y;	Y12	ve	H;	H3	İSE	Th;	T6	'dir
Kural-2:	EĞER	X;	X3	ve	Y;	Y11	ve	H;	H3	İSE	Th;	T3	'dir
Kural-3:	EĞER	X;	X5	ve	Y;	Y5	ve	H;	H5	İSE	Th;	T7	'dir
Kural-4:	EĞER	X;	X13	ve	Y;	Y8	ve	H;	H7	İSE	Th;	T6	'dir
Kural-5:	EĞER	X;	X13	ve	Y;	Y10	ve	H;	H6	İSE	Th;	T10	'dir
Kural-6:	EĞER	X;	X5	ve	Y;	Y11	ve	H;	H3	İSE	Th;	T5	'dir
Kural-7:	EĞER	X;	X9	ve	Y;	Y9	ve	H;	H3	İSE	Th;	T12	'dir
Kural-8:	EĞER	X;	X5	ve	Y;	Y14	ve	H;	H2	İSE	Th;	T2	'dir
Kural-9:	EĞER	X;	X7	ve	Y;	Y13	ve	H;	H1	İSE	Th;	T1	'dir
Kural-10:	EĞER	X;	X6	ve	Y;	Y4	ve	H;	H2	İSE	Th;	T12	'dir
Kural-11:	EĞER	X;	X4	ve	Y;	Y6	ve	H;	H4	İSE	Th;	T8	'dir
Kural-12:	EĞER	X;	X8	ve	Y;	Y10	ve	H;	H2	İSE	Th;	T13	'dir
Kural-13:	EĞER	X;	X5	ve	Y;	Y14	ve	H;	H3	İSE	Th;	T9	'dir

⁴⁰K aktivite konsantrasyonu için belirlenen bazı kurallar;

Kural-1:	EĞER	X;	X4	ve	Y;	Y12	ve	H;	H3	İSE	K;	K13	'dir
Kural-2:	EĞER	X;	X3	ve	Y;	Y13	ve	H;	H1	İSE	K;	K2	'dir
Kural-3:	EĞER	X;	X3	ve	Y;	Y11	ve	H;	H3	İSE	K;	K8	'dir
Kural-4:	EĞER	X;	X10	ve	Y;	Y11	ve	H;	H4	İSE	K;	K9	'dir
Kural-5:	EĞER	X;	X13	ve	Y;	Y11	ve	H;	H3	İSE	K;	K7	'dir
Kural-6:	EĞER	X;	X2	ve	Y;	Y12	ve	H;	H2	İSE	K;	K1	'dir
Kural-7:	EĞER	X;	X5	ve	Y;	Y11	ve	H;	H4	İSE	K;	K10	'dir
Kural-8:	EĞER	X;	X5	ve	Y;	Y14	ve	H;	H2	İSE	K;	K6	'dir
Kural-9:	EĞER	X;	X7	ve	Y;	Y7	ve	H;	H7	İSE	K;	K11	'dir
Kural-10:	EĞER	X;	X13	ve	Y;	Y14	ve	H;	H7	İSE	K;	K7	'dir
Kural-11:	EĞER	X;	X9	ve	Y;	Y10	ve	H;	H3	İSE	K;	K9	'dir
Kural-12:	EĞER	X;	X11	ve	Y;	Y11	ve	H;	H6	İSE	K;	K13	'dir
Kural-13:	EĞER	X;	X2	ve	Y;	Y13	ve	H;	H2	İSE	K;	K8	'dir

¹³⁷Cs aktivite konsantrasyonu için belirlenen bazı kurallar;

Kural-1:	EĞER	X;	X4	ve	Y;	Y12	ve	H;	H2	İSE	Cs;	C10	'dir
Kural-2:	EĞER	X;	X3	ve	Y;	Y11	ve	H;	H3	İSE	Cs;	C7	'dir
Kural-3:	EĞER	X;	X4	ve	Y;	Y13	ve	H;	H1	İSE	Cs;	C2	'dir
Kural-4:	EĞER	X;	X5	ve	Y;	Y14	ve	H;	H2	İSE	Cs;	C10	'dir
Kural-5:	EĞER	X;	X7	ve	Y;	Y5	ve	H;	H3	İSE	Cs;	C11	'dir
Kural-6:	EĞER	X;	X13	ve	Y;	Y8	ve	H;	H7	İSE	Cs;	C1	'dir
Kural-7:	EĞER	X;	X11	ve	Y;	Y10	ve	H;	H4	İSE	Cs;	C5	'dir
Kural-8:	EĞER	X;	X14	ve	Y;	Y10	ve	H;	H6	İSE	Cs;	C3	'dir
Kural-9:	EĞER	X;	X6	ve	Y;	Y12	ve	H;	H2	İSE	Cs;	C10	'dir
Kural-10:	EĞER	X;	X7	ve	Y;	Y13	ve	H;	H1	İSE	Cs;	C1	'dir
Kural-11:	EĞER	X;	X4	ve	Y;	Y11	ve	H;	H2	İSE	Cs;	C3	'dir
Kural-12:	EĞER	X;	X6	ve	Y;	Y13	ve	H;	H3	İSE	Cs;	C9	'dir
Kural-13:	EĞER	X;	X7	ve	Y;	Y14	ve	H;	H4	İSE	Cs;	C6	'dir

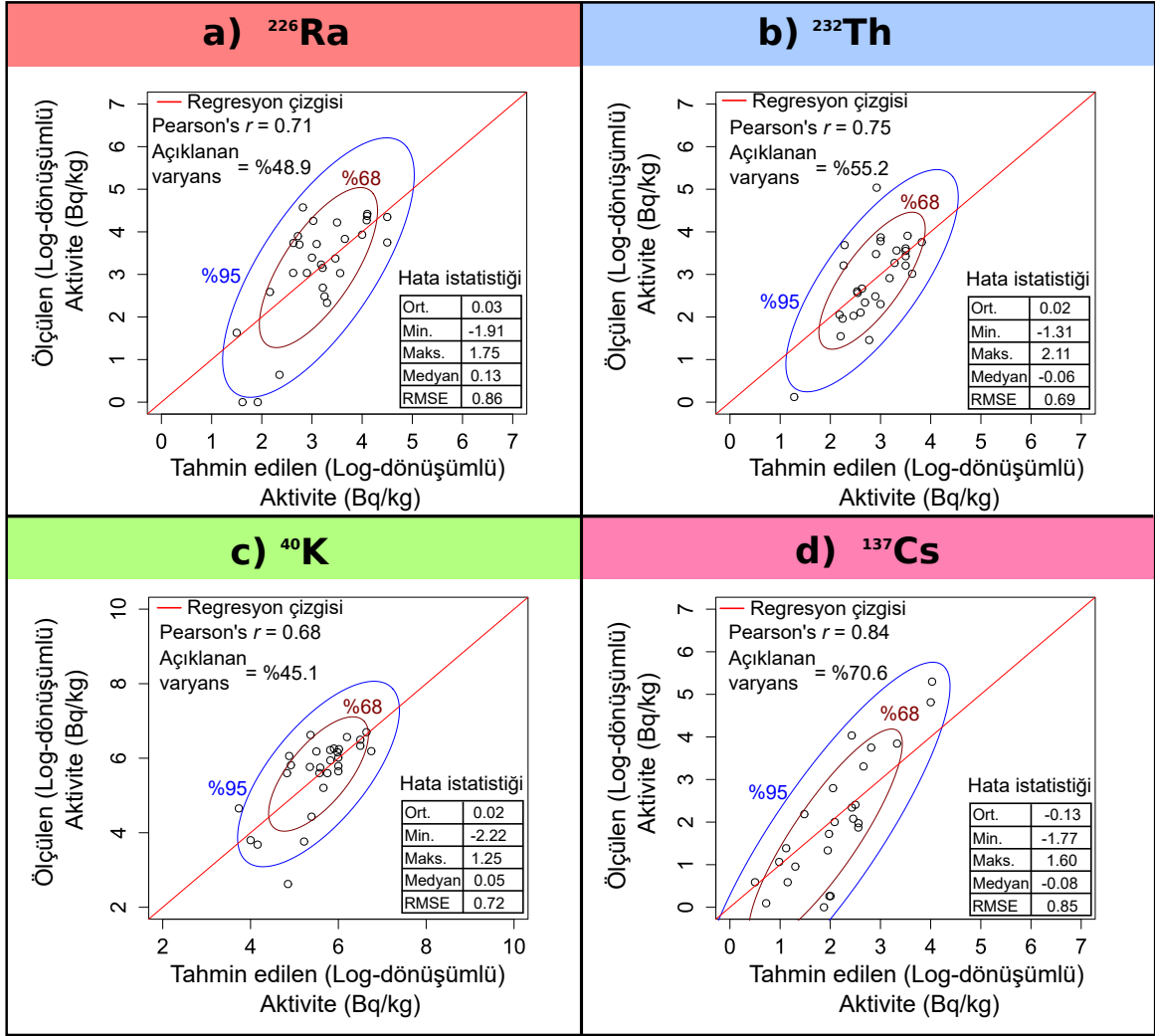


Şekil 2.84. Birinci test verisi için bulanık çıkarım kümesi ve durulaştırma işlemi

Tüm kural tabanı Mamdani bulanık çıkarım sisteminde değerlendirilmiştir. Şekil 2.84’de doğal ve yapay radyonüklidlere ait birinci test verisi için çıkarım kümesi sonuçları gösterilmektedir. Bu oluşan bulanık kümeler ağırlık merkezi yöntemi ile durulaştırılmış ve tahmin sonucu olarak yazılmıştır.

2.2.5.4.3. Test Verilerinin Çapraz Doğrulaması

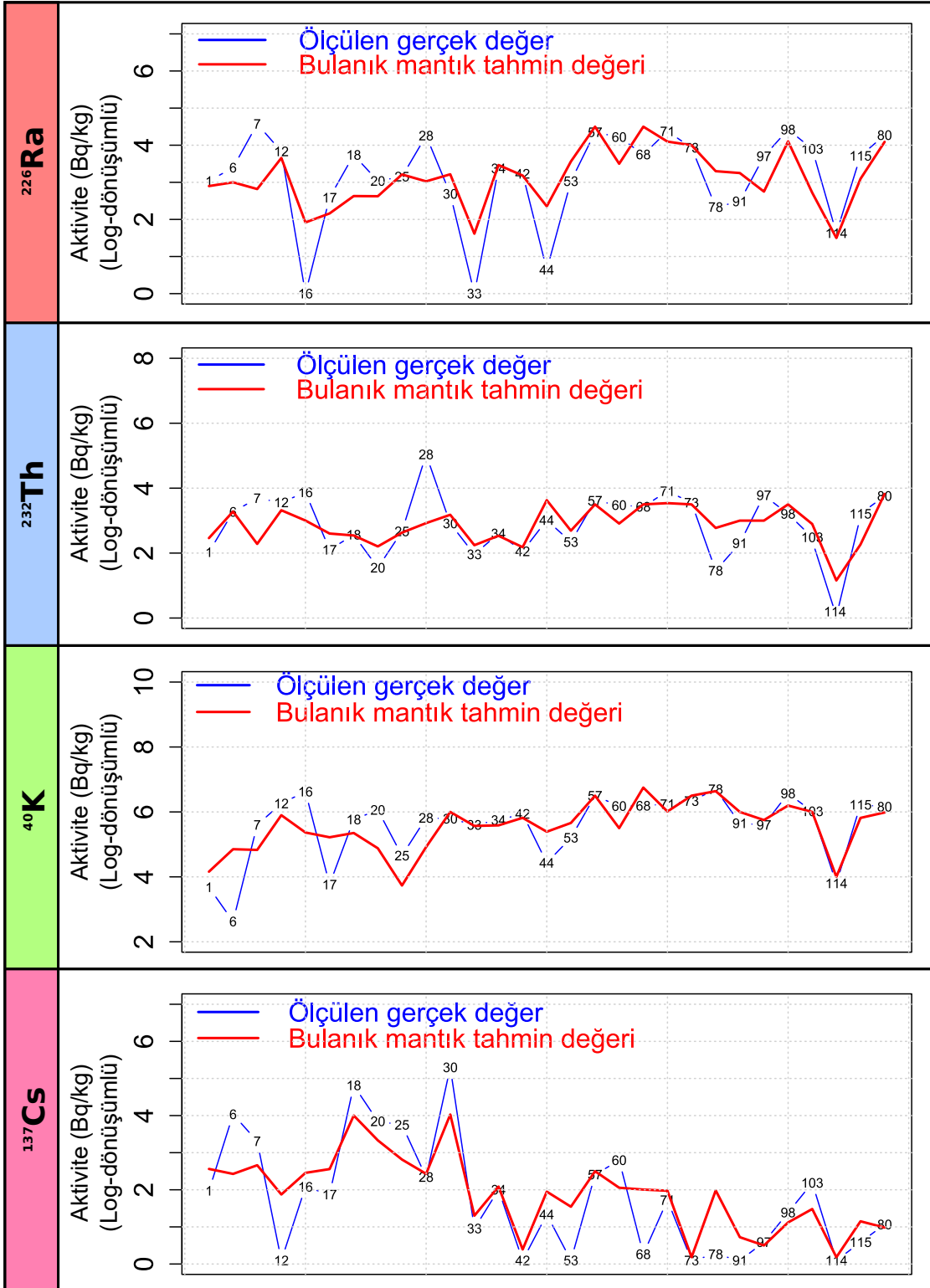
Bulanık kümeler ve oluşturulan kurallar yardımı ile sisteme tanıtılmayan deneysel test verileri bulanık mantık modellemesi ile tahmin edilmiştir. Doğal ve yapay radyonüklidlerin aktivite tahmin sonucunu gösteren çapraz doğrulama diyagramları Şekil 2.85’de gösterilmiştir. Buna göre; ^{226}Ra radyonüklid aktivitesi için tahmin ve gerçek değerler arasındaki Pearson’s r korelasyon katsayısı ve RMSE değerleri sırasıyla, 0.71 ($p < 0.001$) ve 0.86 olarak hesaplanmıştır. Bulanık mantık yaklaşımları ile oluşturulan modelin ^{226}Ra aktivite değişiminin %48.9’unu açıkladığı tespit edilmiştir. ^{232}Th aktivitesi için tahmin ve gerçek değerler arasındaki Pearson’s r korelasyon katsayısı ve RMSE değerleri ise, sırasıyla, 0.75 ($p < 0.001$) ve 0.69 olarak hesaplanmış. Bulanık mantık yaklaşımları ile oluşturulan modelin ^{232}Th aktivite değişiminin %55.2’sini açıkladığı belirlenmiştir. ^{40}K aktivitesi için tahmin ve gerçek değerler arasındaki Pearson’s r korelasyon katsayısı ve RMSE değerleri ise sırasıyla,



Şekil 2.85. Bulanık mantık yaklaşımı ile tahmin edilen değerlere karşı gerçek değerinin saçılma diyagramı ve hata istatistikleri

0.68 ($p < 0.001$) ve 0.72 olarak hesaplanmıştır. Bulanık mantık yaklaşımları ile oluşturulan modelin ^{40}K aktivite değişiminin %45.1'ini açıkladığı belirlenmiştir. ^{137}Cs aktivitesi için tahmin ve gerçek değerler arasındaki Pearson's r korelasyon katsayısı ve RMSE değerleri ise sırasıyla, 0.84 ($p < 0.001$) ve 0.85 olarak hesaplanmıştır. Bulanık mantık yaklaşımları ile oluşturulan modelin ^{137}Cs aktivite değişiminin %70.6'sini açıkladığı belirlenmiştir. Ayrıca tüm radyonüklidler için tahmin değerlerinin çok büyük kısmının %95'lik güven elipsi içinde kaldığı tespit edilmiştir.

Bu sonuçlara göre bulanık mantık modelinin doğal ve yapay radyonüklidler için aktivite konsantrasyonlarının aradeğer tahmininde iyi derecede bir performansa sahip olduğu belirlenmiştir. Şekil 2.86'da önerilen bulanık mantık modellemesinin ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs için test verilerini tahmin etme performansları gösterilmiştir.



Şekil 2.86. Bulanık mantık yaklaşımı ile test istasyonlarını tahmin etme performansı (numaralar test istasyonlarını göstermektedir)

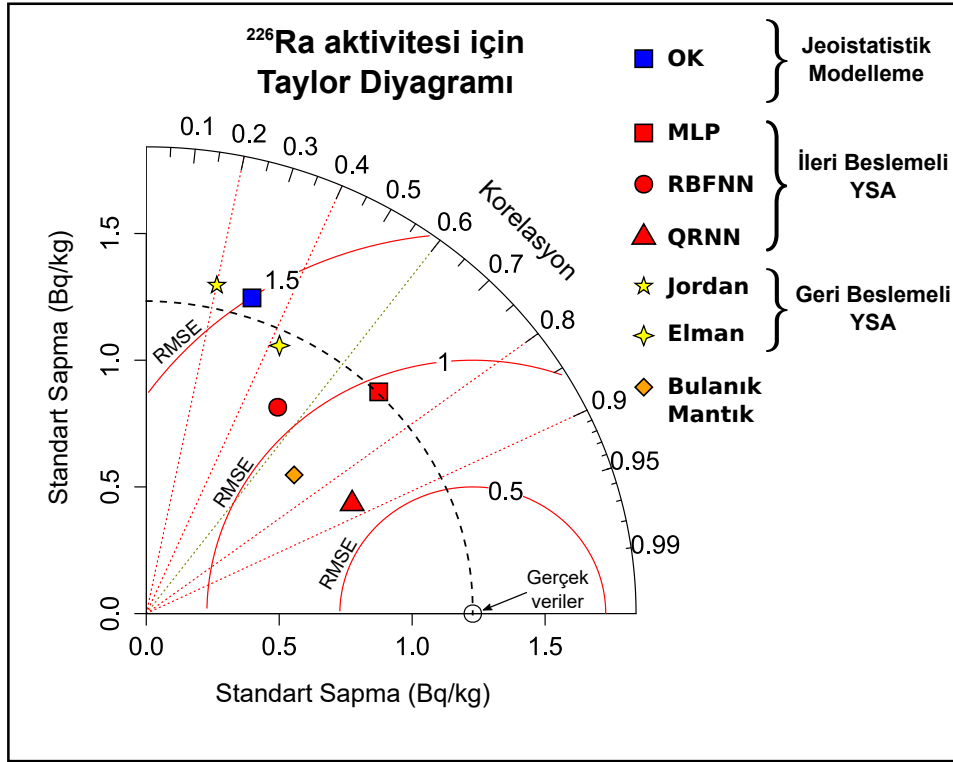
2.2.5.5. Modellerin Performans Değerlendirmesi

Bu çalışmada doğal ve yapay radyonüklidlerin aktivite konsantrasyonunu tahmin etmek için önerilen tüm modellerin performansları, Taylor diyagramında görselleştirilerek değerlendirilmiştir.

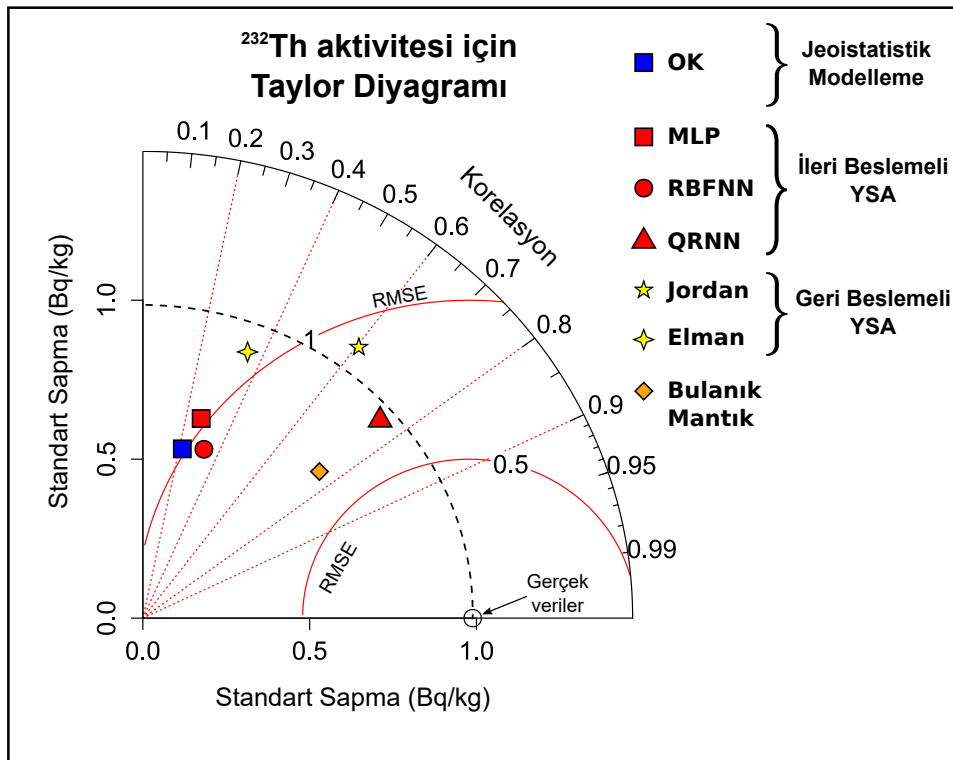
Şekil 2.87'de ^{226}Ra aktivitesi için jeostatistik analiz, yapay sinir ağları ve bulanık mantık yaklaşımları ile önerilen modellerin gerçek test verilerini tahmin etme performans sonuçları Taylor diyagramında gösterilmiştir. Burada geri beslemeli YSA ve OK yöntemi ile belirlenen modellerinin hem düşük korelasyon katsayısı hem de yüksek RMSE değerlerinden dolayı ^{226}Ra aktivitesini tanımlamakta oldukça yetersiz olduğu tespit edilmiştir. Buna karşın QRNN, MLP ve Bulanık mantık yöntemlerinin dağılımı belirlemede ve gerçek verileri tahmin etmede oldukça başarılı olduğu belirlenmiştir. ^{226}Ra aktivitesinin aradeğer tahmininde QRNN yöntemi (Pearson's $r = 0.87$, RMSE= 0.75) en yüksek performanslı yaklaşım olarak belirlenmiştir.

Şekil 2.88'de ^{232}Th aktivitesi için jeostatistik analiz, yapay sinir ağları ve bulanık mantık yaklaşımları ile önerilen modellerin gerçek test verilerini tahmin etme performans sonuçları Taylor diyagramında gösterilmiştir. Burada Elman ağı, RBFNN-MLP yaklaşımları ve OK yöntemi ile belirlenen modellerinin hem düşük korelasyon katsayısı hem de yüksek RMSE değerlerinden dolayı ^{232}Th aktivitesini tanımlamakta oldukça yetersiz olduğu tespit edilmiştir. Buna karşın QRNN ve Bulanık mantık yöntemlerinin dağılımı belirlemede ve gerçek verileri tahmin etmede birbirlerine çok yakın (QRNN için Pearson's $r = 0.75$, RMSE = 0.70; Bulanık mantık yaklaşımı için Pearson's $r = 0.75$, RMSE = 0.69) performans değerleri göstermişlerdir.

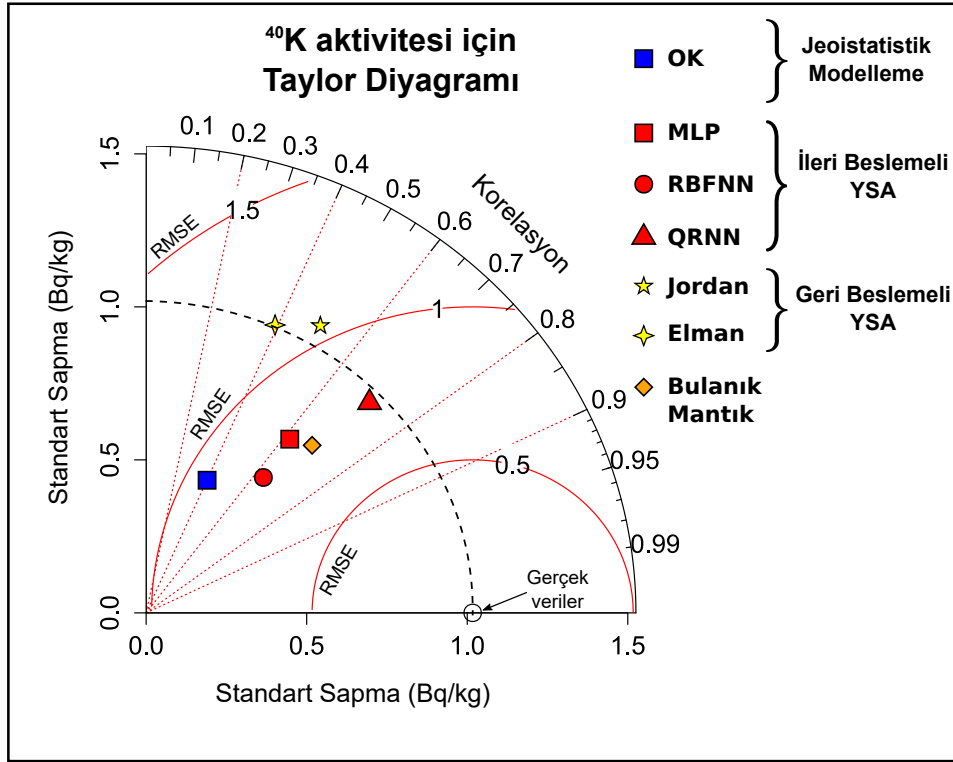
Şekil 2.89'da ^{40}K aktivitesi için jeostatistik analiz, yapay sinir ağları ve bulanık mantık yaklaşımları ile önerilen modellerin gerçek test verilerini tahmin etme performans sonuçları Taylor diyagramında gösterilmiştir. Burada Elman ağı, OK yöntemi ve geri beslemeli YSA ile belirlenen modellerinin hem düşük korelasyon katsayısı hem de yüksek RMSE değerlerinden dolayı ^{40}K aktivitesini tanımlamakta oldukça yetersiz olduğu tespit edilmiştir. Önerilen diğer yaklaşımlar da ^{40}K aktivite dağılımını yakın performans değerlerinde tanımlamışlardır. Gerçekleştirilen bu çalışmada, QRNN yaklaşımı Pearson's $r = 0.71$, ve RMSE = 0.76 değerleri ile ^{40}K aktivite dağılımı için en iyi performans değerlerini göstermiştir.



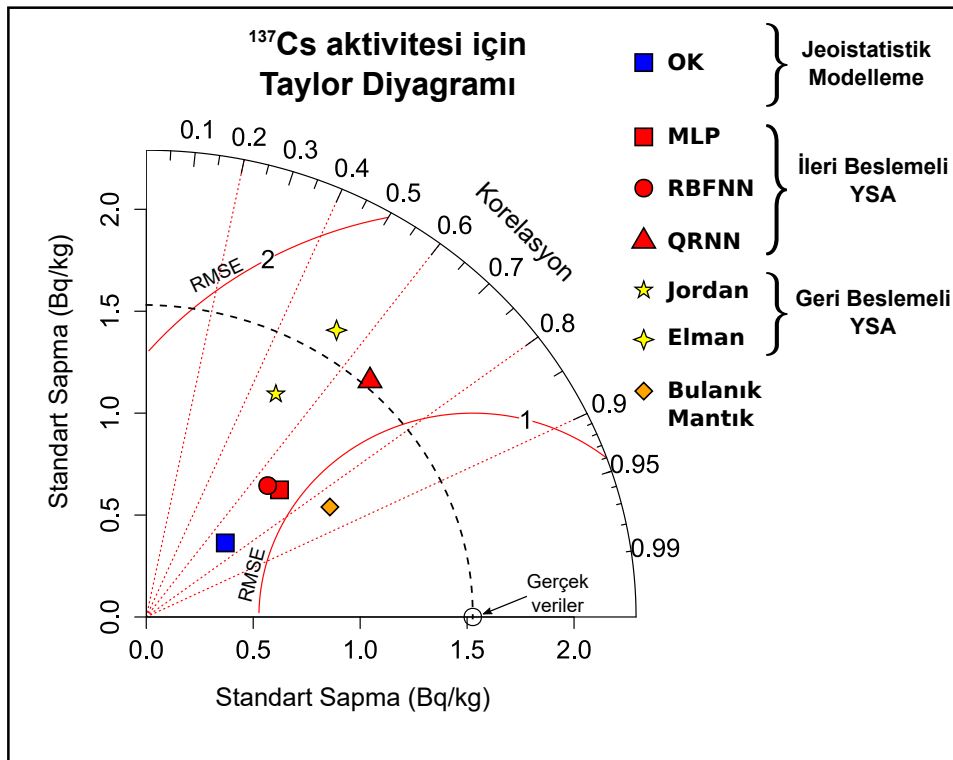
Şekil 2.87. ²²⁶Ra aktivitesi için Taylor diyagramı ve model performanslarının karşılaştırılması



Şekil 2.88. ²³²Th aktivitesi için Taylor diyagramı ve model performanslarının karşılaştırılması



Şekil 2.89. ⁴⁰K aktivitesi için Taylor diyagramı ve model performanslarının karşılaştırılması



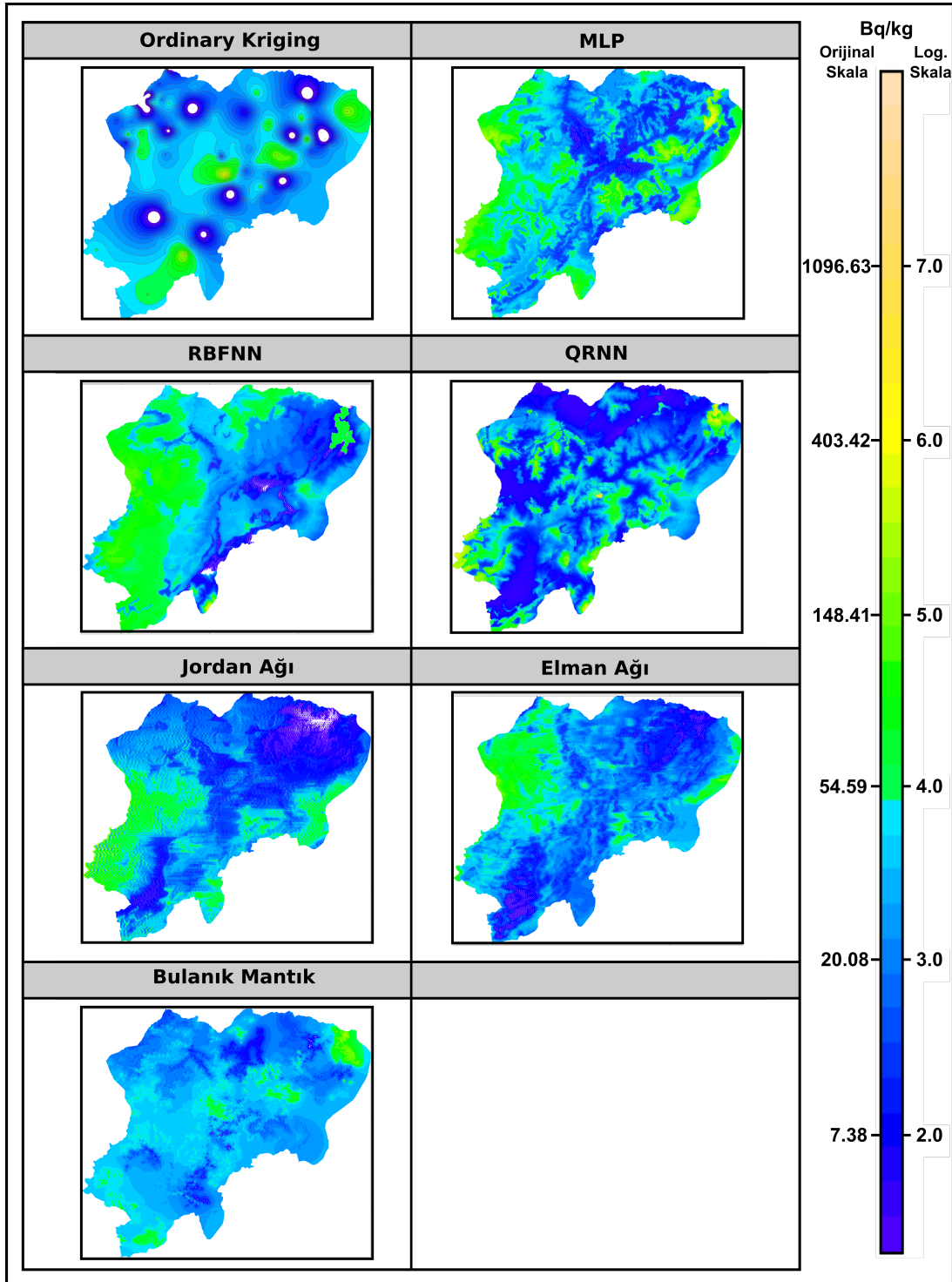
Şekil 2.90. ¹³⁷Cs aktivitesi için Taylor diyagramı ve model performanslarının karşılaştırılması

Şekil 2.90'da ^{137}Cs aktivitesi için jeostatistik analiz, yapay sinir ağları ve bulanık mantık yaklaşımları ile önerilen modellerin test verilerini tahmin etme performans sonuçları Taylor diyagramında gösterilmiştir. Burada geri beslemeli YSA ile belirlenen modellerinin ^{137}Cs aktivitesini tanımlamakta oldukça yetersiz olduğu tespit edilmiştir. Önerilen diğer modeller korelasyon katsayısı bakımından birbirlerine yakın performans göstermiş olsalar da dağılımı en iyi tanımlayan yaklaşım bulanık mantık modellemesi olduğu tespit edilmiştir (Pearson's $r = 0.84$, ve $RMSE = 0.85$).

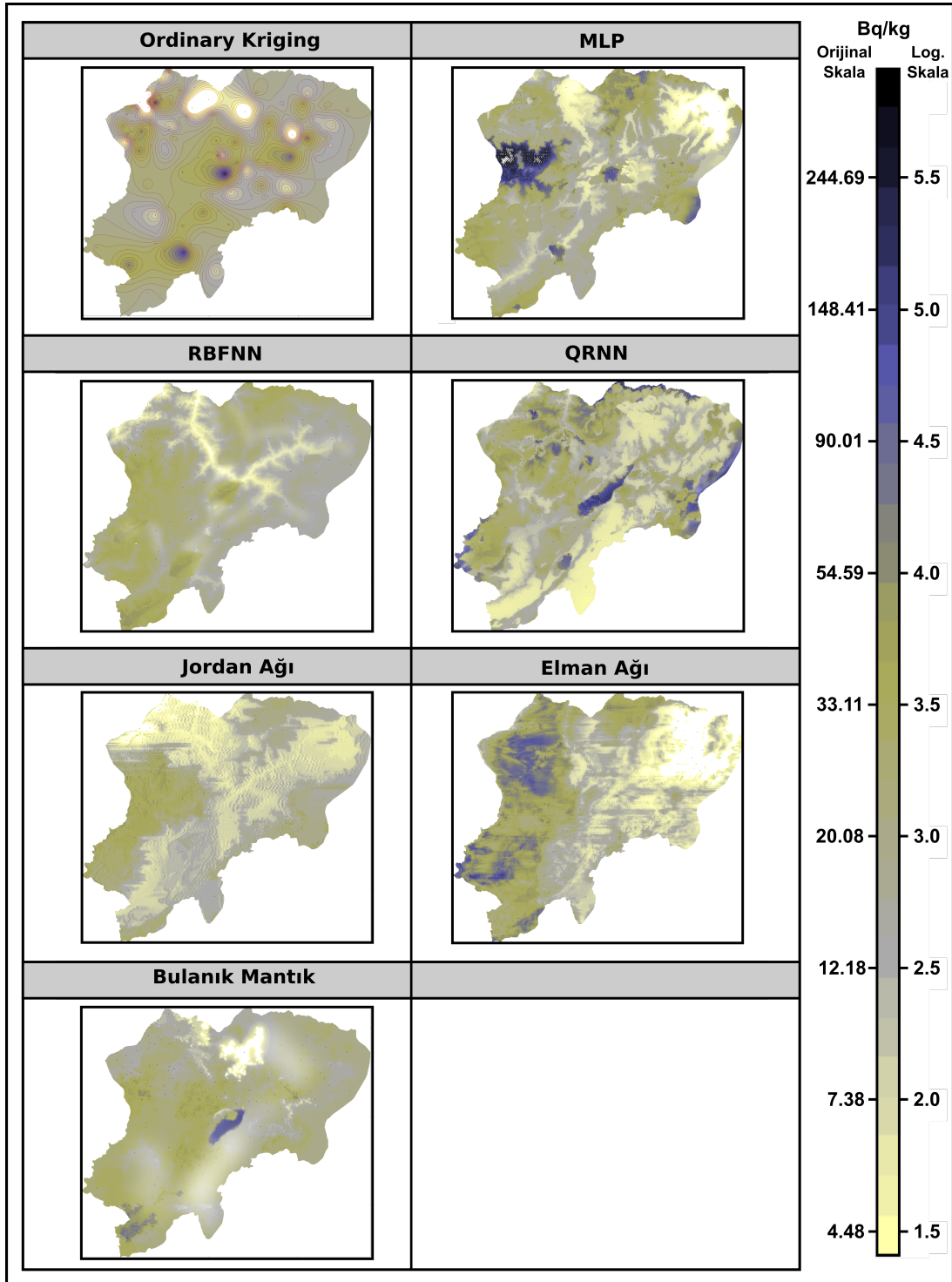
2.2.5.6. Doğal ve Yapay Radyonüklidlerin Dağılımının Haritalandırılması

Örnek alınmamış noktaların tahmini ve haritalandırılması için çalışma alanı $100 m \times 100 m$ (1 ha'lık mekansal çözünürlük) hücrelere ayrılmış, grid sistemi ile temsil edilmiştir. Bölgenin tamamı için 1634 sütun (doğu-batı yönü $163400m$) ve 1409 satırlık (güney-kuzey $140900 m$) grid noktası oluşturulmuştur. Her bir grid noktası için, belirlenen tüm modellerde doğal ve yapay radyonüklidlerin aktivite konsantrasyonları için aradeğer tahminleri hesaplanmış ve sonuçlar bir renk skalası ile renklendirilmiştir. Modeller ile belirlenen ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs dağılımları için belirlenen aradeğer tahmin haritaları sırasıyla Şekil 2.91, Şekil 2.92, Şekil 2.93 ve Şekil 2.94'de gösterilmiştir. Bu haritalarda jeostatistiksel yaklaşımların, diğer yöntemlere göre yumuşatma etkisinin oldukça fazla olduğu dikkati çekmektedir. Bu sebepten lokal değişimler belirgin bir şekilde değerlendirilememiş olmasına karşın tüm haritalarda dağılım kabaca belirlenmiştir. Ancak açıkladıkları değişim miktarlarının çok küçük olması sebebi ile doğal ve yapay radyonüklidler için bu haritalar gerçekçi sonuçlar sunamamıştır. Çapraz doğrulama verilerine göre dağılımı en iyi yansıtan QRNN ve bulanık yaklaşım modellerinde ise radyolojik dağılım değerleri lokal bölgeler için ayırt edici özellik olarak gösterilmiştir. Doğal ve yapay radyonüklidlerin aktivite dağılımlarını en iyi tanımlayan aradeğer tahmin haritaları büyük ölçekli olarak Ek-5'te sunulmuştur.

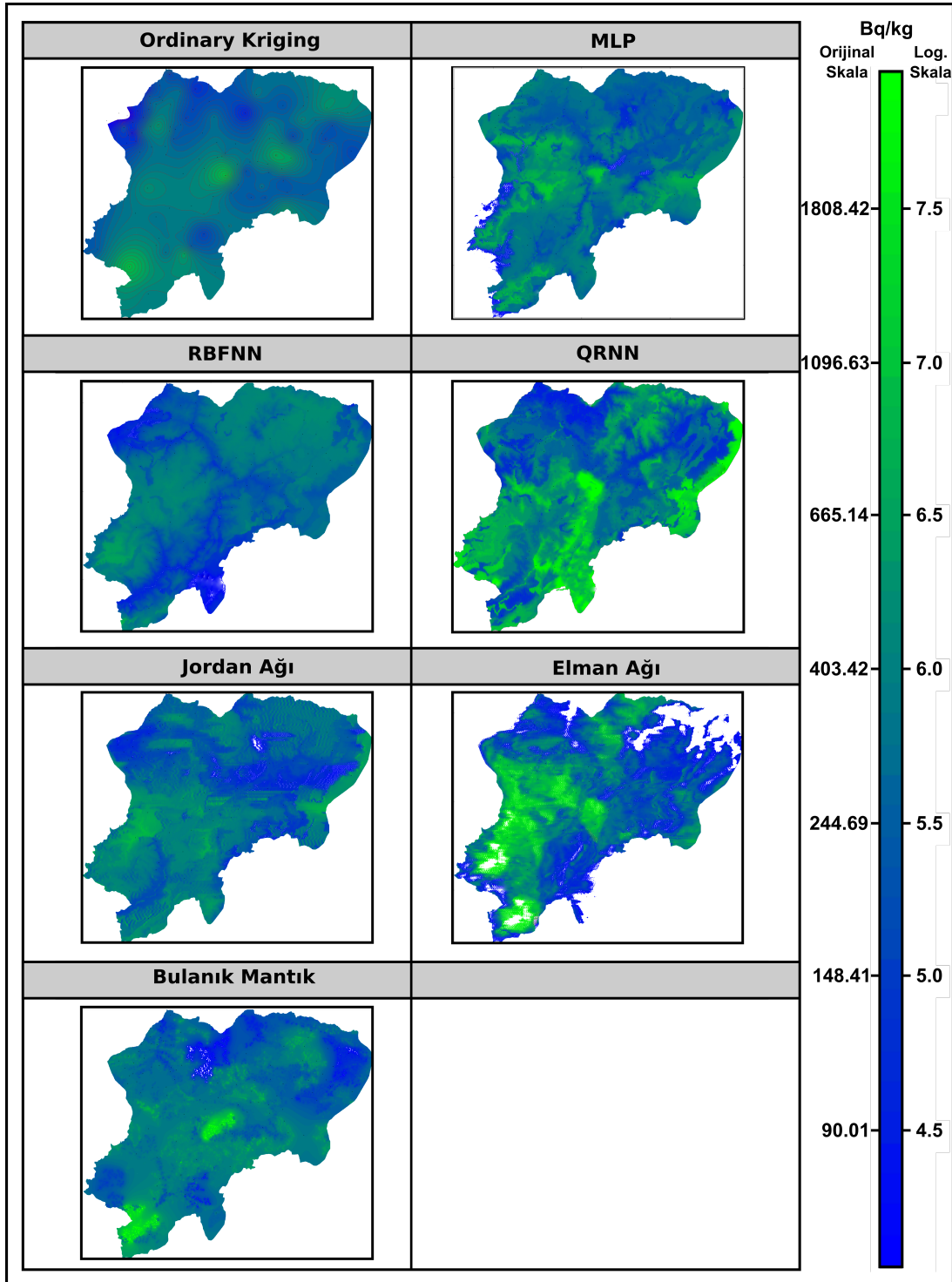
Değişik modeller ile önerilen tüm haritalar çalışma alanının jeolojik (Şekil 2.3) ve toprak yapısı (Şekil 2.4) ile beraber değerlendirildiğinde, doğal radyonüklid (^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K) seviyelerinin özellikle volkanik ve granit yapıları ile yüksek dağ çayır kahverengi orman toprakları grubunun bulunduğu bölgelerde artış gösterdiği belirlenmiştir. Yapay radyonüklid (^{137}Cs) aktivitesinin özellikle kuzey kıyı kesimlerde yüksek konsantrasyonda dağıldığı tespit edilmiştir.



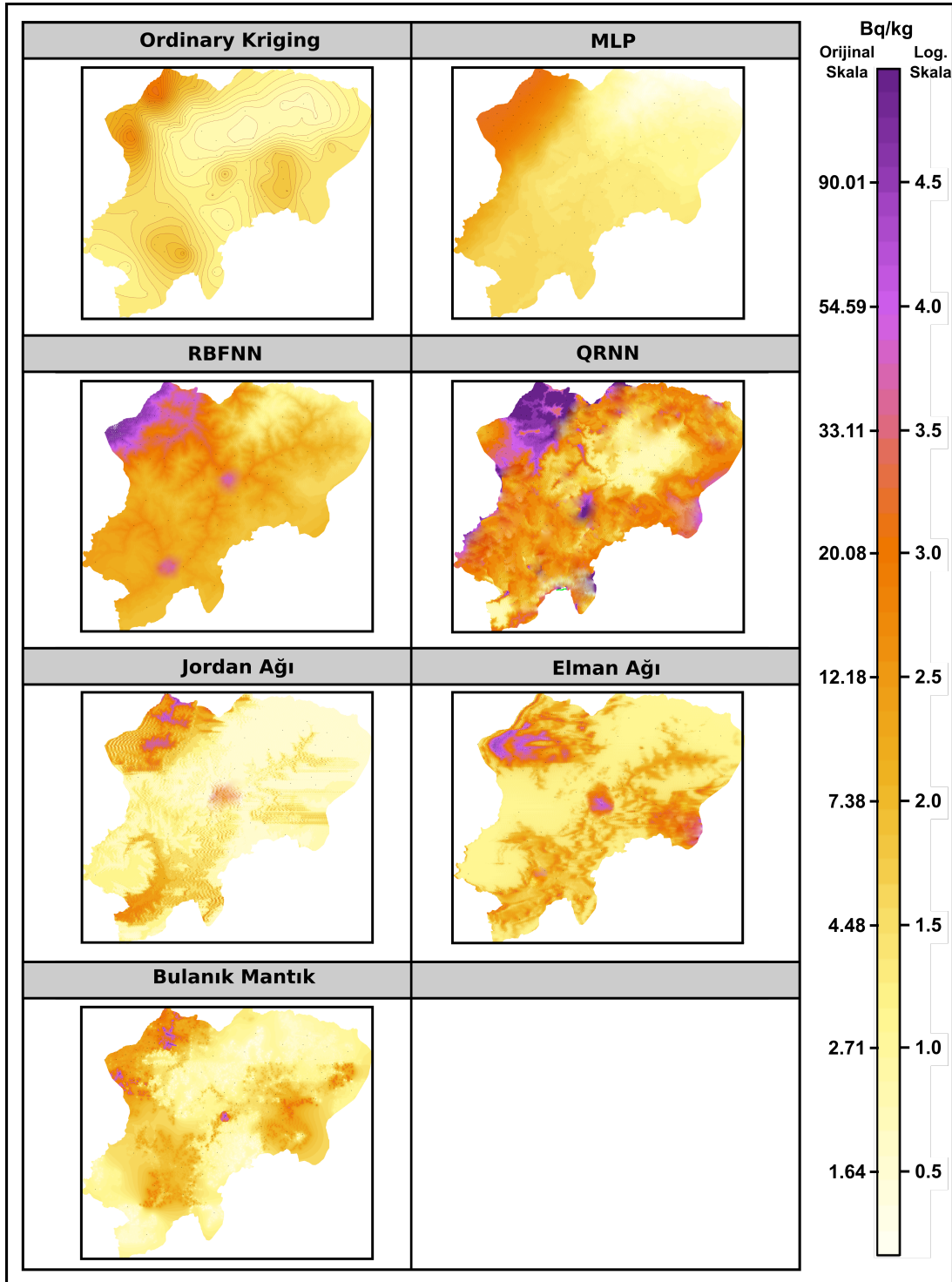
Şekil 2.91. Artvindeki ^{226}Ra aktivite konsantrasyon dağılımının tüm modeller ile oluşturulan aradeğerleme tahmin haritaları



Şekil 2.92. Artvindeki ^{232}Th aktivite konsantrasyon dağılımının tüm modeller ile oluşturulan aradeğerleme tahmin haritaları



Şekil 2.93. Artvindeki ^{40}K aktivite konsantrasyon dağılımının tüm modeller ile oluşturulan aradeğerleme tahmin haritaları



Şekil 2.94. Artvindeki ^{137}Cs aktivite konsantrasyon dağılımının tüm modeller ile oluşturulan aradeğerleme tahmin haritaları

3. SONUÇLAR

Bu çalışmada, çevresel radyoaktivitenin dağılımını araştırmak ve görüntülenmesini sağlamak için, ölçüm alınmamış noktaların aradeğerlemesi, jeoistatistik analiz yöntemleri (Kriging teknikleri), yapay sinir ağları ve bulanık mantık yaklaşımları ile hesaplanmış ve karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda kısaca belirtilmiştir.

1. Çevresel gama doz hızı bulguları ve dağılımının belirlenmesinde kullanılan yöntemlerin performanslarına ait sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

a) Gama doz hızının belirlenmesi için, taşınabilir gama sınıtasyon dedektörü ile çalışma alanını temsili edecek şekilde rastgele belirlenmiş 204 noktadan ölçüm alınmıştır. Ölçüm sonucunda Artvin il geneli ortalaması 172.85 nGy/h olarak belirlenmiştir. Bu değer, Dünya ortalaması (65.71 nGy/h) ve Türkiye ortalamasının (131.42 nGy/h) üstünde olduğu hesaplanmıştır. Ayrıca dış gama doz hızının, yükseklik değişimine bağlı olarak kozmik ışınlardan etkilenmesi ile ani değişimler gösterdiği tespit edilmiştir.

b) Gama doz hızının jeoistatistik analiz ile aradeğerleme modellemesi sonucuna göre, dağılımın belirlenmesinde UK yönteminin (Pearson's $r = 0.92$ ve $RMSE = 40.12$), OK tekniğinden (Pearson's $r = 0.72$ ve $RMSE = 78.76$) daha iyi sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Ancak açıkladığı varyans düzeyi (OK için %52.4) dikkate alındığında, OK yönteminin de dış gama doz hızı dağılımını genel olarak ortaya çıkardığı tespit edilmiştir. Her iki yöntemle belirlenen çevresel gama doz hızı dağılım haritalarında, UK yönteminin kullanılan regresyon parametrelerinin yardımı ile bölgesel değişimleri yansıtmada, OK yönteminden daha başarılı olduğu belirlenmiştir.

c) Gama doz hızının yapay sinir ağları ile aradeğerleme modellemesi sonucuna göre, dağılımın belirlenmesinde kullanılan tüm ağ yapılarının (MLP, RBFNN, QRNN, Jordan ağı ve Elman Ağı) birbirlerine yakın sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Çevresel gama doz hızı dağılımının açıklanmasında çapraz doğrulama test sonuçlarına göre, MLP, RBFNN, QRNN, Jordan ağı ve Elman ağı için Pearson's r katsayıları sırasıyla, 0.94, 0.91, 0.89, 0.91 ve 0.91, RMSE değerleri 34.78, 43.28, 63.92, 44.86 ve 46.77 olarak hesaplanmıştır.

d) Gama doz hızının bulanık mantık yaklaşımı ile aradeğerleme modellemesi so-

nucuna göre, dağılımın belirlenmesinde uygun bir yöntem olarak kullanılabilceği tespit edilmiştir. Çapraz doğrulama test sonuçlarına göre, Pearson's r ve RMSE değerleri sırasıyla 0.92 ve 37.92 olarak hesaplanmıştır. Bulanık mantık yaklaşımı ile belirlenenen bu model, Artvin'deki çevresel gama doz hızı dağılımına ait değişkenliğin %87.0'sini açıkladığı belirlenmiştir.

e) Üç model (jeostatistik, yapay sinir ağları ve bulanık mantık) bir arada değerlendirildiğinde, çevresel gama doz hızı dağılımının belirlenmesinde birbirlerine oldukça yakın dağılımlar vermiş olsalar da yapay zeka uygulamalarının performans olarak daha iyi sonuç verdiği belirlenmiştir.

2. Toplam alfa ve toplam beta aktivite konsantrasyon bulguları ve dağılımının belirlenmesinde kullanılan yöntemlerin performanslarına ait sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

a) Doğal kaynak sularındaki toplam alfa ve toplam beta radyoaktiflik seviyelerinin belirlenmesi için çalışma alanından belirlenen 117 istasyondan doğal kaynak suları toplanmış ve uygun yöntemlerle deneye hazır hale getirilmiştir. Ölçümler Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi (ÇNAEM)'de, 10 kanallı düşük seviyeli alfa ve beta sayım cihazın ile gerçekleştirilmiştir. Ölçüm sonuçlarında Artvin il geneli ortalaması toplam alfa konsantrasyonu için 45 mBq/L ve toplam beta konsantrasyonu için 91 mBq/L olarak bulunmuştur. Artvin il geneli için hem toplam alfa hem de toplam beta aktivite konsantrasyonları dünya sağlık örgütü (WHO) tarafından sunulan raporda verilen sınır değerlerinin altında olduğu tespit edilmiştir.

b) Toplam alfa ve toplam beta aktivite konsantrasyon dağılımının jeostatistik analiz ile aradeğerleme modellemesi, Ordinary kriging (OK) ve Co-Kriging (CK) yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Buna göre; toplam alfa radyoaktiflik seviyeleri dağılımının belirlenmesinde OK (Pearson's $r = 0.60$ ve $RMSE = 0.63$) ve CK (Pearson's $r = 0.65$ ve $RMSE = 0.61$) yöntemlerinin birbirlerine yakın sonuçlar verdiği belirlenmiştir. OK yöntemi ile önerilen model kullanılarak toplam alfa aktivitesindeki değişkenliğin %33.7'si açıklanırken CK yöntemi kullanılarak önerilen model ile toplam değişkenliğin %40.2'si açıklanmıştır. Her iki yöntemle belirlenen toplam alfa radyolojik dağılım haritalarında, bölgesel değişimlerin yumuşatıldığı ve bu yöntemlerin lokal değişimleri belirlemede yetersiz kaldığı gösterilmiştir. Toplam beta radyoaktiflik seviyeleri dağılımının belirlenmesinde OK (Pearson's $r = 0.61$ ve $RMSE = 0.60$) ve CK (Pearson's $r = 0.66$ ve $RMSE = 0.66$)

yöntemlerinin birbirlerine yakın sonuçlar verdiği belirlenmiştir. OK yöntemi ile önerilen model kullanılarak toplam beta aktivitesindeki değişkenliğin %35.1'i açıklanırken CK yöntemi kullanılarak önerilen model ile toplam değişkenliğin %41.3'ü açıklanmıştır. Her iki yöntemle belirlenen toplam beta radyolojik dağılım haritalarında, tıpkı toplam alfa aktivite dağılım haritasında olduğu gibi, bölgesel değişimlerin yumuşatıldığı ve bu yöntemlerin lokal değişimleri belirlemede yetersiz kaldığı gösterilmiştir.

c) Toplam alfa ve toplam beta aktivite konsantrasyonunun yapay sinir ağları ile aradeğerleme modellemesi, ileri beslemeli ağlar (MLP, RBFNN, QRNN) ve geri beslemeli ağlar (Jordan ve Elman ağları) ile gerçekleştirilmiştir. Burada; toplam alfa radyoaktiflik seviyeleri dağılımının belirlenmesinde en iyi modelin MLP (Pearson's $r=0.85$, RMSE=0.48) yaklaşımı olduğu belirlenmiştir. Çalışmada önerilen MLP modelinin toplam alfa aktivitesindeki değişkenliği %65.8 oranında açıkladığı tespit edilmiştir. Ayrıca bu YSA modeli ile oluşturulan toplam alfa radyolojik dağılım haritasının lokal değişimleri belirlemede oldukça uygun olduğu gösterilmiştir. Toplam beta radyoaktiflik seviyeleri dağılımının belirlenmesinde en iyi modelin MLP (Pearson's $r=0.78$, RMSE=0.50) yaklaşımı olduğu belirlenmiştir. Çalışmada önerilen MLP modelinin toplam alfa aktivitesindeki değişkenliği %60.8 oranında açıkladığı tespit edilmiştir. Ayrıca bu YSA modeli ile oluşturulan toplam beta radyolojik dağılım haritasının lokal değişimleri belirlemede oldukça uygun olduğu gösterilmiştir.

d) Toplam alfa ve toplam beta aktivite konsantrasyonunun bulanık mantık yaklaşımı ile aradeğer modellemesi sonucuna göre, bu yaklaşımın radyolojik dağılımın belirlenmesinde uygun bir yöntem olarak kullanılabilceği tespit edilmiştir. Çapraz doğrulama test sonuçlarına göre, toplam alfa ve toplam beta aktivitesi sonuçları için Pearson's r korelasyon katsayıları sırasıyla 0.70 ve 0.76 ve RMSE değerleri sırasıyla 0.57 ve 0.48 olarak hesaplanmıştır. Bulanık mantık yaklaşımı ile belirlenenen bu model, Artvin'deki toplam alfa ve toplam beta radyolojik dağılımına ait değişkenliğin sırasıyla %47.7 ve %56.6'sını açıkladığı belirlenmiştir.

e) Üç model (jeostatistik, yapay sinir ağları ve bulanık mantık) bir arada değerlendirildiğinde, hem toplam alfa hem de toplam beta aktivite dağılımının belirlenmesinde MLP yapay sinir ağı modelinin performans olarak iyi sonuç verdiği ve Artvin'deki radyolojik dağılımların hartalandırılmasında uygun olduğu belirlenmiştir.

3. Doğal (^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K) ve yapay (^{137}Cs) radyonüklidlerin aktivite konsantrasyon bulguları ve dağılımının belirlenmesinde kullanılan yöntemlerin performanslarına ait sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

a) Artvin yöresindeki topraklarda radyoaktiflik seviyelerinin belirlenmesi için su örneklerinin alındığı noktaların yakınlarındaki 117 adet istasyondan toprak örnekleri toplanmış ve uygun yöntemler ile deneye hazır hale getirilmiştir. Ölçümler Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi (ÇNAEM) 'inde gama spektrometrik analiz cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Ölçüm sonuçlarında ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyonüklitlerinin Artvin il geneli ortalaması sırasıyla, $42.26 Bq/kg$, $27.57 Bq/kg$, $390.42 Bq/kg$ ve $14.87 Bq/kg$ olarak bulunmuştur. ^{232}Th radyoizotopunun ortalama aktivite konsantrasyonu UNSCEAR tarafından verilen limit değerlerinin altında kalırken, ^{226}Ra radyoizotopunun ortalaması ise sınır değerinin üzerinde olduğu tespit edilmiştir. K-40 radyoizotopunun ortalama aktivitesi ise sınır değerine çok yakın olarak bulunmuştur. Ayrıca fisyon ürünü olan ^{137}Cs yapay radyonüklit aktivitesinin kıyı kesimlerde yüksek düzeylerde olduğu tespit edilmiştir.

b) Doğal ve yapay radyonüklidlerin aktivite konsantrasyon dağılımının jeostatistik analiz ile aradeğerleme modellemesi, Ordinary kriging (OK) tekniği kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Buna göre; Çapraz doğrulama diyagramlarında, ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs 'nin Pearson's r katsayıları sırasıyla 0.31, 0.21, 0.40 ve 0.65 ($p < 0.001$) ve RMSE değerleri 1.50, 1.07, 0.91 ve 1.20 olarak belirlenmiştir. OK yöntemi kullanılarak önerilen model ile en az ^{232}Th radyonüklidinin aktivite değişkenliği açıklanırken (%3.4), en fazla ^{137}Cs radyonüklidinin aktivitesinin değişkenliği açıklanmıştır (%40.2). OK yöntemi ile belirlenen doğal ve yapay radyonüklidlerin radyolojik dağılım haritalarında, bölgesel değişimlerin yumuşatıldığı ve bu yöntemin lokal değişimleri belirlemede yetersiz kaldığı gösterilmiştir.

c) Doğal ve yapay radyonüklidlerin aktivite konsantrasyon dağılımının yapay sinir ağları ile aradeğerleme modellemesi, ileri beslemeli ağlar (MLP, RBFNN, QRNN) ve geri beslemeli ağlar (Jordan ve Elman ağları) ile gerçekleştirilmiştir. Burada; Doğal radyonüklidler olan ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K radyoizotoplarının konsantrasyon dağılımının belirlenmesinde en iyi modelin QRNN (^{226}Ra için Pearson's $r=0.70$, RMSE=0.94; ^{232}Th için Pearson's $r=0.75$, RMSE=0.70; ^{40}K için Pearson's $r=0.71$, RMSE=0.96) yaklaşımı olduğu belirlenmiştir. Çalışmada önerilen QRNN modelin ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivitelerindeki değişkenliği sırasıyla %75.2, %54.9 ve %48.7 oranlarında açıkladığı tespit edilmiştir. Ayrıca

bu YSA modeli ile doğal radyonüklidler için oluşturulan radyolojik dağılım haritasının yerel değişimleri belirlemede oldukça uygun olduğu gösterilmiştir. Yapay radyonüklid olan ^{137}Cs radyoizotopunun konsantrasyon dağılımının belirlenmesinde en iyi modelin MLP (Pearson's $r=0.70$, $\text{RMSE}=1.08$) yaklaşımı olduğu belirlenmiştir. Çalışmada önerilen MLP modelinin ^{137}Cs aktivitesindeki değişkenliği %48.2 oranlarında açıkladığı tespit edilmiştir. Ayrıca bu YSA modeli ile bu yapay radyonüklid için oluşturulan radyolojik dağılım haritasının yerel değişimleri belirlemede oldukça uygun olduğu gösterilmiştir.

d) Doğal ve yapay radyonüklidlerin aktivite konsantrasyon dağılımının bulanık mantık yaklaşımı ile aradeğer modellesi sonucuna göre, bu yaklaşımın radyolojik dağılımın belirlenmesinde uygun bir yöntem olarak kullanılabilceği tespit edilmiştir. Buna göre; Çapraz doğrulama diyagramlarında, ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs 'nin Pearson's r katsayıları sırasıyla 0.71, 0.75, 0.68 ve 0.84 ($p < 0.001$) ve RMSE değerleri 0.86, 0.69, 0.72 ve 0.85 olarak belirlenmiştir. Bulanık mantık modellemesi kullanılarak önerilen yöntem ile en az ^{40}K radyonüklidinin aktivite değişkenliği açıklanırken (%45.1), en fazla ^{137}Cs radyonüklidinin aktivitesinin değişkenliği açıklanmıştır (%70.6). Bulanık mantık yöntemi ile belirlenen, doğal ve yapay radyonüklidlerin radyolojik dağılım haritalarında, bölgesel değişimlerin bazı geçişlerde yumuşatıldığı ancak yerel değişimleri belirlemede uygun olduğu gösterilmiştir.

e) Üç model (jeoistatistik, yapay sinir ağları ve bulanık mantık) bir arada değerlendirildiğinde, doğal ve yapay radyonüklidlerin aktivite dağılımlarının belirlenmesinde sırasıyla QRNN yapay sinir ağı ve bulanık mantık modelinin performans olarak iyi sonuç verdiği belirlenmiş ve Artvin'deki radyolojik dağılımların hartalandırılmasında uygun olduğu gösterilmiştir.

4. ÖNERİLER

Gerçekleştirilen bu çalışmanın, nükleer enerjiye geçiş sürecinde olan ülkemizde herhangi rutin veya acil bir vakada bölgedeki radyolojik dağılımın en az süre ve en az maliyetle tespit edilmesi için temel bir çalışma niteliği taşıması hedeflenmiş ve elde edilen sonuçlar ile bu hedefe ulaşılmıştır. Bu çalışmada kullanılan modellerin tümünün birbirlerine göre performanslarının belirlenmesiyle birlikte;

1) Farklı çalışma alanlarında radyolojik dağılımların haritalandırılması ve hatta bu radyolojik dağılım tespitinin tüm ülke kapsamında geliştirilmesi sağlanabilir.

2) Bu çalışmanın patentlenerek paket program haline dönüştürülmesi ve herhangi bir rutin veya acil durumda belirli bir bölge için dağılımın farklı modeller ile tespit edilmesi uygulanabilir.

3) Otomatik bir haritalama ve radyolojik dağılım için aradeğerleme tahmin sisteminin oluşturulması buna bağlı olarak herhangi radyolojik bir kaza sonrası ülkemiz için yerel ve merkezi bir erken uyarı sisteminin oluşturulması sağlanabilir.

4) Günümüzde kanser vakalarının gittikçe arttığı düşünüldüğünde, bina inşaatlarından önce yapılan etüd çalışmalarında, radyoaktivite dağılım haritalarının da bir seçim parametresi olarak kullanılabilir olması sağlanabilir. Ayrıca bu aktivite dağılım haritalaması sayesinde, radyolojik olarak risk içeren bölgelerde yerleşimin önüne geçilerek, çevresel radyoaktivite kaynaklı kanser oranlarının azaltılmasının sağlanabilir.

5. KAYNAKLAR

1. L'Annunziata, F.M., Handbook of Radioactivity Analysis, 3. Edition. Elsevier press, Oxford. 2012.
2. Beiser, A., Concepts of Modern Physics, 6. Edition. McGraw-Hill press, Newyork. 1997.
3. Lorenz, E., Radioactivity and Lung Cancer; A Critical Review of Lung Cancer in the Miners of Schneeberg and Joachimsthal, J. Natl. Cancer Inst., 5 (1944) 1–15.
4. Marinelli, L.D., Radioactivity and the human skeleton, Am. J. Roentgenol. Radium Ther. Nucl. Med., 80 (1958) 729–739.
5. Blobel, G. ve Potter, V.R., Distribution of radioactivity between the acid-soluble pool and the pools of RNA in the nuclear, nonsedimentable and ribosome fractions of rat liver after a single injection of labeled orotic acid, Biochim. Biophys. Acta - Nucleic Acids Protein Synth. 166(1968) 48–57. doi:10.1016/0005-2787(68)90489-9
6. Mays, C.W., Cancer Induction in Man from Internal Radioactivity, Health Phys., 25 (1973) 585–592.
7. Bean, J.A., Isacson, P., Hahne, R.M. ve Kohler, J., Drinking water and cancer incidence in Iowa. II. Radioactivity in drinking water, Am. J. Epidemiol., 116 (1982) 924–932.
8. Kilhau, G.F., Cancer risk in relation to radioactivity in tobacco, Radiol. Technol., 67(1996) 217–222.
9. Reiners, C., Radioactivity and thyroid cancer, Hormones (Athens), 8(2009) 185–191.
10. Karagueuzian, H.S., White, C., Sayre, J. ve Norman, A., Cigarette smoke radioactivity and lung cancer risk, Nicotine Tob. Res., 14 (2012) 79–90. doi:10.1093/ntr/ntr145.
11. Beamish, D., Environmental radioactivity in the UK: the airborne geophysical view of dose rate estimates, J. Environ. Radioact., 138 (2014) 249–263. doi:10.1016/j.jenvrad.2014.08.025.
12. Dueñas, C., Fernández, M.C., Liger, E. ve Carretero, J., Natural radioactivity levels in bottled water in Spain, Water Res., 31 (1997) 1919–1924. doi:10.1016/S0043-1354(97)00038-9.
13. Ortega, L., Manzano, M., Custodio, E., Hornero, J. ve Rodríguez-Arévalo, J., Using ²²²Rn to identify and quantify groundwater inflows to the Mundo River (SE Spain), Chem. Geol., 395 (2015) 67–79. doi:10.1016/j.chemgeo.2014.12.002.
14. Forte, M., Rusconi, R., Cazzaniga, M.T. ve Sgorbati, G., The measurement of radioactivity in Italian drinking waters, Microchem. J., 85 (2007) 98–102. doi:10.1016/j.microc.2006.03.004.

15. Vassas, C., Pourcelot, L., Vella, C., Carpena, J., Pupin, J.P., Bouisset, P. ve Guillot, L., Mechanisms of enrichment of natural radioactivity along the beaches of the Camargue, France, J. Environ. Radioact., 91 (2006) 146–159. doi:10.1016/j.jenvrad.2006.09.002.
16. Psichoudaki, M. ve Papaefthymiou, H., Natural radioactivity measurements in the city of Ptolemais (Northern Greece), J. Environ. Radioact., 99 (2008) 1011–7. doi:10.1016/j.jenvrad.2007.12.001.
17. Ebaid, Y.Y., El-Tahawy, M.S., El-Lakany, A.A., Garcia, S.R. ve Brooks, G.H., Environmental radioactivity measurements of Egyptian soils, J. Radioanal. Nucl. Chem., 243 (2000) 543–550. doi:10.1016/j.ejmp.2014.07.232.
18. Tripathi, R.M., Sahoo, S.K., Jha, V.N., Khan, A. H. ve Puranik, V.D., Assessment of environmental radioactivity at uranium mining, processing and tailings management facility at Jaduguda, India, Appl. Radiat. Isot., 66 (2008) 1666–1670. doi:10.1016/j.apradiso.2007.12.019.
19. Mohanty, A. K., Sengupta, D., Das, S.K., Saha, S.K. ve Van, K. V., Natural radioactivity and radiation exposure in the high background area at Chhatrapur beach placer deposit of Orissa, India, J. Environ. Radioact., 75 (2004) 15–33. doi:10.1016/j.jenvrad.2003.09.004.
20. Kannan, V., Rajan, M.P., Iyengar, M. A. R. ve Ramesh, R., Distribution of natural and anthropogenic radionuclides in soil and beach sand samples of Kalpakkam (India) using hyper pure germanium (HPGe) gamma ray spectrometry, Appl. Radiat. Isot., 57 (2002) 109–119. doi:10.1016/S0969-8043(01)00262-7.
21. Ahmad, N., Jaafar, M.S., Bakhsh, M. ve Rahim, M., An overview on measurements of natural radioactivity in Malaysia, J. Radiat. Res. Appl. Sci., 8 (2015) 136–141. doi:10.1016/j.jrras.2014.12.008.
22. Bai, J., Cui, B., Chen, B., Zhang, K., Deng, W., Gao, H. ve Xiao, R., Spatial distribution and ecological risk assessment of heavy metals in surface sediments from a typical plateau lake wetland, China, Ecol. Modell., 222 (2011) 301–306. doi:10.1016/j.ecolmodel.2009.12.002.
23. Huang, Y., Lu, X., Ding, X. ve Feng, T., Natural radioactivity level in beach sand along the coast of Xiamen Island, China, Mar. Pollut. Bull., 91 (2015) 357–361. doi:10.1016/j.marpolbul.2014.11.046.
24. Karahan, G. ve Bayulken, A, Assessment of gamma dose rates around Istanbul (Turkey), J. Environ. Radioact., 47 (2000) 213–221. doi:10.1016/S0265-931X(99)00034-X.
25. Degerlier, M., Karahan, G. ve Ozger, G., Radioactivity concentrations and dose assessment for soil samples around Adana, Turkey, J. Environ. Radioact., 99 (2008) 1018–25. doi:10.1016/j.jenvrad.2007.12.015.
26. Kurnaz, A, Kucukomeroglu, B., Damla, N. ve Cevik, U., Radiological maps for Trabzon, Turkey, J. Environ. Radioact., 102 (2011) 393–399. doi:10.1016/j.jenvrad.2011.02.009.
27. Kobya, Y., Damla, N., Cevik, U. ve Kobya, A.I., Radiochemical characterization of mineral waters in the Eastern Black Sea Region, Turkey, Environ. Monit. Assess., 182 (2011) 415–422. doi:10.1007/s10661-011-1885-1.

28. Örgün, Y., Altinsoy, N., Şahin, S.Y., Güngör, Y., Gültekin, A. H., Karahan, G. ve Karacik, Z., Natural and anthropogenic radionuclides in rocks and beach sands from Ezine region (Çanakkale), Western Anatolia, Turkey., Appl. Radiat. Isot., 65 (2007) 739–747. doi:10.1016/j.apradiso.2006.06.011.
29. Ereeş, F.S., Aközcan, S., Parlak, Y. ve Çam, S., Assessment of dose rates around Manisa (Turkey), Radiat. Meas., 41 (2006) 598–601. doi:10.1016/j.radmeas.2005.11.004.
30. Bozkurt, A., Yorulmaz, N., Kam, E., Karahan, G. ve Osmanlioglu, A.E., Assessment of environmental radioactivity for Sanliurfa region of southeastern Turkey, Radiat. Meas., 42 (2007) 1387–1391. doi:10.1016/j.radmeas.2007.05.052.
31. Damla, N., Cevik, U., Karahan, G., Kobya, A.I., Kocak, M. ve Isık, U., Determination of gross α and β activities in waters from Batman, Turkey, Desalination, 244 (2009) 208–214. doi:10.1016/j.desal.2008.05.024.
32. Kurnaz, A., Küçükömeroğlu, B., Keser, R., Okumusoglu, N.T., Korkmaz, F., Karahan, G. ve Çevik, U., Determination of radioactivity levels and hazards of soil and sediment samples in Fırtına Valley (Rize, Turkey), Appl. Radiat. Isot. 65 (2007) 1281–1289. doi:10.1016/j.apradiso.2007.06.001.
33. Gorur, F.K. ve Camgoz, H., Natural radioactivity in various water samples and radiation dose estimations in Bolu province, Turkey, Chemosphere, 112 (2014) 134–140. doi:10.1016/j.chemosphere.2014.02.074.
34. Görür, F.K., Keser, R., Dizman, S. ve Okumuşoğlu, N.T., Annual effective dose and concentration levels of gross α and β in various waters from Samsun, Turkey, Desalination, 279 (2011) 135–139. doi:10.1016/j.desal.2011.05.071.
35. Yarar, Y. ve Kam, E., Environmental radioactivity concentrations of Tekirdağ, Int. Congr. Ser., 1276 (2005) 387–389. doi:10.1016/j.ics.2004.11.047.
36. Kam, E. ve Bozkurt, A., Environmental radioactivity measurements in Kastamonu region of northern Turkey, Appl. Radiat. Isot., 65 (2007) 440–444. doi:10.1016/j.apradiso.2006.11.005.
37. Korkulu, Z. ve Özkan, N., Determination of natural radioactivity levels of beach sand samples in the black sea coast of Kocaeli (Turkey), Radiat. Phys. Chem., 88 (2013) 27–31. doi:10.1016/j.radphyschem.2013.03.022.
38. Örgün, Y., Altinsoy, N., Gültekin, A. H., Karahan, G. ve Çelebi, N., Natural radioactivity levels in granitic plutons and groundwaters in Southeast part of Eskisehir, Turkey, Appl. Radiat. Isot., 63 (2005) 267–275. doi:10.1016/j.apradiso.2005.03.008.
39. Taskin, H., Karavus, M., Ay, P., Topuzoglu, A., Hidiroglu, S. ve Karahan, G., Radionuclide concentrations in soil and lifetime cancer risk due to gamma radioactivity in Kirklareli, Turkey, J. Environ. Radioact., 100 (2009) 49–53. doi:10.1016/j.jenvrad.2008.10.012.
40. Dubois G., Automatic mapping algorithms for routine and emergency monitoring data. Report on the Spatial Interpolation Comparison 2004 (SIC2004), European Commission, Scientific and Technical Research Series, Official Publication of the European Communities, Luxembourg, 2005. ISBN: 92-894-9400-X.

41. Tavares, M.T., Sousa, A. J. ve Abreu, M.M., Ordinary kriging and indicator kriging in the cartography of trace elements contamination in Sao Domingos mining site (Alentejo, Portugal), J. Geochemical Explor., 98 (2008) 43–56. doi:10.1016/j.gexplo.2007.10.002.
42. Philippopoulos, K. ve Deligiorgi, D., Application of artificial neural networks for the spatial estimation of wind speed in a coastal region with complex topography, Renew. Energy, 38 (2012) 75–82. doi:10.1016/j.renene.2011.07.007.
43. Dragović, S.D., Janković-Mandić, L.J., Dragović, R.M., Dordević, M.M. ve Dokić, M.M., Spatial distribution of the ²²⁶Ra activity concentrations in well and spring waters in Serbia and their relation to geological formations, J. Geochemical Explor., 112 (2012) 206–211. doi:10.1016/j.gexplo.2011.08.013.
44. Diem, S., Renard, P. ve Schirmer, M., Assessing the effect of different river water level interpolation schemes on modeled groundwater residence times, J. Hydrol., 510(2014) 393–402. doi:10.1016/j.jhydrol.2013.12.049.
45. Sun, Y., Kang, S., Li, F. ve Zhang, L., Comparison of interpolation methods for depth to groundwater and its temporal and spatial variations in the Minqin oasis of northwest China, Environ. Model. Softw., 24 (2009) 1163–1170. doi:10.1016/j.envsoft.2009.03.009.
46. Zhang, T., Xu, X. ve Xu, S., Method of establishing an underwater digital elevation terrain based on kriging interpolation, Measurement, 63 (2015) 287–298. doi:10.1016/j.measurement.2014.12.025.
47. Pérez-Rodríguez, R., Marques, M.J. ve Bienes, R., Spatial variability of the soil erodibility parameters and their relation with the soil map at subgroup level, Sci. Total Environ., 378 (2007) 166–173. doi:10.1016/j.scitotenv.2007.01.044.
48. Camarinha, P.I.M., Trannin, I.C.B., Simões, S.J.C. ve Bernardes, G.P., Fuzzy logic and geostatistical techniques for spatialization of soil texture in region with rough terrains, Procedia Environ. Sci., 7 (2011) 347–352. doi:10.1016/j.proenv.2011.07.060.
49. Robinson, T.P. ve Metternicht, G., Testing the performance of spatial interpolation techniques for mapping soil properties, Comput. Electron. Agric., 50 (2006) 97–108. doi:10.1016/j.compag.2005.07.003.
50. Dai, F., Zhou, Q., Lv, Z., Wang, X. ve Liu, G., Spatial prediction of soil organic matter content integrating artificial neural network and ordinary kriging in Tibetan Plateau, Ecol. Indic., 45 (2014) 184–194. doi:10.1016/j.ecolind.2014.04.003.
51. Xie, Y., Chen, T., Lei, M., Yang, J., Guo, Q., Song, B. ve Zhou, X., Spatial distribution of soil heavy metal pollution estimated by different interpolation methods: accuracy and uncertainty analysis, Chemosphere, 82 (2011) 468–476. doi:10.1016/j.chemosphere.2010.09.053.
52. Modis, K. ve Komnitsas, K., Dimensionality of heavy metal distribution in waste disposal sites using nonlinear dynamics, J. Hazard. Mater., 156 (2008) 285–291. doi:10.1016/j.jhazmat.2007.12.063.
53. McGrath, D., Zhang, C. ve Carton, O.T., Geostatistical analyses and hazard assessment on soil lead in Silvermines area, Ireland, Environ. Pollut., 127 (2004) 239–248. doi:10.1016/j.envpol.2003.07.002.

54. Bojanowski, J.S., Donatelli, M., Skidmore, A.K. ve Vrieling, A., An auto-calibration procedure for empirical solar radiation models, Environ. Model. Softw., 49 (2013) 118–128. doi:10.1016/j.envsoft.2013.08.002.
55. Bojanowski, J.S., Vrieling, A. ve Skidmore, A.K., Calibration of solar radiation models for Europe using Meteosat Second Generation and weather station data, Agric. For. Meteorol., 176 (2013) 1–9. doi:10.1016/j.agrformet.2013.03.005.
56. Bechini, L., Ducco, G., Donatelli, M. ve Stein, A., Modelling, interpolation and stochastic simulation in space and time of global solar radiation, Agric. Ecosyst. Environ., 81 (2000) 29–42. doi:10.1016/S0167-8809(00)00170-5.
57. Zhang, Y., Vaze, J., Chiew, F.H.S., Teng, J. ve Li, M., Predicting hydrological signatures in ungauged catchments using spatial interpolation, index model, and rainfall-runoff modelling, J. Hydrol., 517 (2014) 936–948. doi:10.1016/j.jhydrol.2014.06.032.
58. Matos, J.P., Cohen Liechti, T., Portela, M.M. ve Schleiss, A. J., Pattern-oriented memory interpolation of sparse historical rainfall records, J. Hydrol., 510 (2014) 493–503. doi:10.1016/j.jhydrol.2014.01.003.
59. Plouffe, C.C.F., Robertson, C. ve Chandrapala, L., Comparing interpolation techniques for monthly rainfall mapping using multiple evaluation criteria and auxiliary data sources: A case study of Sri Lanka, Environ. Model. Softw., 67 (2015) 57–71. doi:10.1016/j.envsoft.2015.01.011.
60. Wu, T. ve Li, Y., Spatial interpolation of temperature in the United States using residual kriging, Appl. Geogr., 44 (2013) 112–120. doi:10.1016/j.apgeog.2013.07.012.
61. Cobb, L., Krishnamurthy, A., Mandel, J. ve Beezley, J.D., Bayesian tracking of emerging epidemics using ensemble optimal statistical interpolation, Spat. Spatiotemporal. Epidemiol., 10 (2014) 39–48. doi:10.1016/j.sste.2014.06.004.
62. Warnery, E., Ielsch, G., Lajaunie, C., Cale, E., Wackernagel, H., Debayle, C. ve Guillevic, J., Indoor terrestrial gamma dose rate mapping in France: a case study using two different geostatistical models, J. Environ. Radioact., 139 (2015) 140–148. doi:10.1016/j.jenvrad.2014.10.002.
63. Cafaro, C., Bossew, P., Giovani, C. ve Garavaglia, M., Definition of radon prone areas in Friuli Venezia Giulia region, Italy, using geostatistical tools, J. Environ. Radioact., 138 (2014) 208–219. doi:10.1016/j.jenvrad.2014.09.003.
64. Charro, E., Pardo, R. ve Peña, V., Statistical analysis of the spatial distribution of radionuclides in soils around a coal-fired power plant in Spain, J. Environ. Radioact., 124C (2013) 84–92. doi:10.1016/j.jenvrad.2013.04.011.
65. Szegvary, T., Conen, F., Stöhlker, U., Dubois, G., Bossew, P. ve de Vries, G., Mapping terrestrial -dose rate in Europe based on routine monitoring data, Radiat. Meas., 42 (2007) 1561–1572. doi:10.1016/j.radmeas.2007.09.002.
66. Saleh, M.A., Ramli, A.T., Alajerami, Y., Aliyu, A.S. ve Bt Basri, N.A., Radiological study of Mersing District, Johor, Malaysia, Radiat. Phys. Chem., 85 (2013) 107–117. doi:10.1016/j.radphyschem.2012.12.045.

67. Caro, A, Legarda, F., Romero, L., Herranz, M., Barrera, M., Valiño, F., Idoeta, R. ve Olondo, C., Map on predicted deposition of Cs-137 in Spanish soils from geostatistical analyses, *J. Environ. Radioact.*, 115 (2013) 53–9. doi:10.1016/j.jenvrad.2012.06.007.
68. Bossew, P., Kirchner, G., Cort, M. De, Vries, G. De, Nishev, A. ve Felice, L. De, Radioactivity from Fukushima Dai-ichi in air over Europe ; part 1 : spatio-temporal analysis, *J. Environ. Radioact.*, 114 (2012) 22–34. doi:10.1016/j.jenvrad.2011.11.019.
69. Dubois, G., Bossew, P., Tollefsen, T. ve De Cort, M., First steps towards a European atlas of natural radiation: status of the European indoor radon map, *J. Environ. Radioact.*, 101 (2010) 786–98. doi:10.1016/j.jenvrad.2010.03.007.
70. Lee, S.K., Wagiran, H., Termizi Ramli, A., Heru Apriantoro, N. ve Khalik Wood, A., Radiological monitoring: terrestrial natural radionuclides in Kinta District, Perak, Malaysia, *J. Environ. Radioact.*, 100 (2009) 368–374. doi:10.1016/j.jenvrad.2009.01.001.
71. Pebesma, E.J., Mapping Radioactivity from Monitoring Data: Automating the Classical Geostatistical Approach, *Appl. GIS*, 1 (2005) 11–1–11–17.
72. Hiemstra, P.H., Pebesma, E.J., Twenhöfel, C.J.W. ve Heuvelink, G.B.M., Real-time automatic interpolation of ambient gamma dose rates from the Dutch radioactivity monitoring network, *Comput. Geosci.*, 35 (2009) 1711–1721. doi:10.1016/j.cageo.2008.10.011.
73. Manohar, S.N., Meijer, H.A.J. ve Herber, M. A., Radon flux maps for the Netherlands and Europe using terrestrial gamma radiation derived from soil radionuclides, *Atmos. Environ.*, 81 (2013) 399–412. doi:10.1016/j.atmosenv.2013.09.005.
74. Diggle, P. ve Riberio, P. j., *Model-Based Geostatistics*, Springer, London, U.K., 2007. ISBN: 03-873-2907-2.
75. Clark, I., *Practical Geostatistics*, Elsevier, London, U.K., 1979. ISBN: 08-533-4843-X.
76. Deutsch, C.V. ve Journel, A.G., *GSLIB: Geostatistical Software and User's Guide*, second edition. Oxford University Press, New York, 1998. ISBN: 978-019-51-0015-0.
77. Elmas, Ç., *Yapay Zeka Uygulamaları*, Seçkin Yayıncılık, Ankara, Türkiye, 2010. ISBN: 978-975-02-1696-1.
78. Valkovic, V., *Radioactivity in The Environment*, Elsevier, First edition, Amsterdam, Netherlands, 2000. ISBN: 0-444-82954-7.
79. <http://www.taek.gov.tr/ogrenci/index.html>. 04.05.2015.
80. Kobya, Y., *Doğu Karadeniz Bölgesindeki Kaynak ve Maden Sularında Radyoaktiflik Tayini*, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2009.
81. Değerlier, M., *Adana İli ve Çevresinin Çevresel Doğal Radyoaktivitesinin Saptanması ve Doğal Radyasyonların Yıllık Etkin Doz Eşdeğerinin Bulunması*, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 2007.

82. Eisenbud, M. ve Gesell, T.F., *Environmental Radioactivity from Natural, Industrial and Military Sources: From Natural, Industrial and Military Sources*, Academic Press, Fourth edition, San Diego, California, USA, 1991.
83. Martin, J.E., *Physics for Radiation Protection. A Handbook*, Wiley-VCH Verlag, Second Edition, Weinheim, Germany, 2006.
84. <http://www.taek.gov.tr/bilgi-kosesi/184-radyasyon-%20insan-ve-cevre/radyasyonla-birlikte-yasiyoruz/500-radyasyon-ve-yasam.html>. 18.04.2015
85. IAEA, *Radiation Safety*, IAEA Division of Public Information, Rapor no: 96-00725IAEA/PI/A47E, 1996.
86. Bazilevskaya, G. A., Krainev, M. B., Stozhkov, Y. I., Svirzhevskaya, A. K. ve Svirzhevsky, N. S., *Stratospheric measurements of cosmic rays in the 19th–22nd solar activity cycles*, *Adv. Sp. Res.* 14 (1994) 779–782. doi : 10.1016/0273-1177(94)90541-X.
87. Chiozzi, P., Pasquale, V. ve Verdoya, M., *Heat from radioactive elements in young volcanics by γ -ray spectrometry*, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 119 (2003) 205–214.
88. Baykara, O. *Kuzey Anadolu ve Doğu Anadolu Fay Hatlarının Kesişim Bölgesindeki Doğal Radyoaktivite Tayini*, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 2005.
89. Lindahl, P., Maquet, A., Hult, M., Gasparro, J., Marissens, G. ve González de Orduña, R., *Natural radioactivity in winter wheat from organic and conventional agricultural systems*, *J. Environ. Radioact.*, 102 (2011) 163–169.
90. Karahan, G. *İstanbul'un Çevresel Doğal Radyoaktivitesinin Tayini ve Doğal Radyasyonların Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri*, Doktora Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1997.
91. Desideri, D., Meli, M. A. ve Roselli, C., *Natural and artificial radioactivity determination of some medicinal plants*, *J. Environ. Radioact.*, 101(2010) 751–756.
92. TAEK, *Türkiye'de Çernobil Sonrası Radyasyon ve Radyoaktivite Ölçümleri (Çernobil serisi No: 6)*, TAEK, Ankara, Nisan 2006
93. Cohen, B., *Çok Geç Olmadan*, Tübitak Yayınları, Ankara, 1996
94. ICRP, *1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*, in: ICRP Publication 60. Ann. ICRP. Oxford: Pergamon Press, 21 (1–3), 1991.
95. Çetin, M., *Jeoistatistiksel Yöntem ile Nokta ve Alansal Yağışların Saptanması ve Stokastik Olarak Modellenmesi Örnek Havza Uygulamaları*, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 1996.
96. Matheron, G., *Random Structures and Mathematical Geology*, *Review of The International Statistical Institute*, 38,1 (1970) 1-11. doi: 10.2307/1402318
97. Topal, B., *Jeoistatistiksel Variogram ve Modelleme Yazılımı: Sayaca (Ulubey, Ordu) Altın Cevherleşmesinde Uygulanması*, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2007.
98. Saraç, C., ve Tercan, A. E., *Grade and Reserve Estimation of the Tulovasi Borate Deposit by Block Kriging*, *International Geology Review*, 38,9(1997) 832–837.

99. Armstrong, M., Basic Linear Geostatistics, First edition, Springer, New York, U.S. 1998.
100. Sarma, D.D., Geostatistics with Applications in Earth Science, Second edition, Springer, New York, U.S., 2008.
101. Journel, A. G., ve Huijbregts, C. J., Mining Geostatistics, Academic P., London, U.K. 1987.
102. Krige, D.G., Two-dimensional weighted moving average trend surfaces for ore-evaluation, J. South Afr. Inst. Min. Metall., 66 (1966) 13–38.
103. Isaaks, E. H., ve Srivastava, R. M., An Introduction to Applied Geostatistics, Oxford University Press., London, U.K., 1989
104. Webster, R., Oliver, M.A., Geostatistics for Environmental Scientists, second ed., John Wiley & Sons. Hoboken, NJ, 2007.
105. Krige, D.G., A statistical approach to some basic mine valuation problems on the Witwatersrand. J. of the Chem., Metal. and Mining Soc. of South Africa, 52,6 (1951) 119–139.
106. <http://www-hsc.usc.edu/mereditf/KrigingEquations.pdf>. 29.11.2015
107. İnal C. ve Yiğit, C.Ö., Jeodezik Uygulamalarda Kriging Enterpolasyon Yönteminin Kullanılabilirliği, TUJK 2003 Yılı Bilimsel Toplantısı Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Jeodezik Ağlar Çalıştayı, Eylül 2003 Konya, Bildiriler kitabı; 177-185.
108. Chiles, J.P. ve Delfiner, P., Geostatistics: Modeling Spatial Uncertainty, Wiley, New York, USA, 1999
109. Hengl, T., A Practical Guide to Geostatistical Mapping, Second Edition, University of Amsterdam, 2011
110. Hamzaçebi, Ç., Yapay Sinir Ağları; Tahmin Amaçlı Kullanımı, Matlab ve Neurosolutions Uygulamalı, Birinci basım, Ekin yayın evi, Bursa, 2011
111. Fine, T.L., Feedforward Neural Network Methodology, Springer-Verlag New York, 1999. doi:10.1007/b97705
112. Hegan, M.T., Demuth, H.B. ve Beale, M., Neural network desing. PWS Publishing Co. Boston, MA, USA, 1996. ISBN: 0-534-94332-2.
113. Rumelhart, D.E., Hinton, G.E. ve Williams, R.J., Learning internal representations by error propagation. Parallel Distrib. Process. Explor. Microstruct. Cogn. 1986.
114. Gupta, M., Jin, L. ve Homma, N., Static and dynamic neural networks: from fundamentals to advanced theory. John Wiley & Sons, NJ. 2003.
115. Bishop, C.M., Neural Networks for Pattern Recognition. Oxford University Press, NY, USA, 1995. ISBN: 0198538642.
116. Gurney, K., An Introduction to Neural Networks. University College London (UCL) Press, London, 1997. ISBN : 9781857285031.
117. Suzuki, K., Artificial Neural Networks - Architectures and Applications. InTech, Rijeka, Croatia, 2013. doi:10.5772/3409

118. Begg, R., Kamruzzaman, J. ve Sarker, R., *Neural Networks in Healthcare: Potential and Challenges*. Idea Group Publishing, London, UK, 2006
119. Broomhead, D.S. ve Lowe, D., Radial basis functions, multi-variable functional interpolation and adaptive networks, Complex Syst, 2 (1988) 321–355.
120. Hsieh, W.W., *Machine Learning Methods in the Environmental Sciences*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2009. doi:10.1017/CBO9780511627217
121. Abraham, R., Kneale, P.E. ve See, L.M., *Neural Networks for Hydrological Modeling*. A.A.Balkema Publishers, Leiden, The Netherlands, 2004. ISBN:0203024117.
122. Ha, Q.P., Wahid, H., Duc, H. ve Azzi, M., Enhanced radial basis function neural networks for ozone level estimation, Neurocomputing, 155(2015) 62–70. doi:10.1016/j.neucom.2014.12.048.
123. Leondes, C.T., *Algorithms and Architectures: Neural Network Systems Techniques and Applications Series Volume 1*. Academic Press, San Diego, California, USA, 1998 ISBN:0080498981.
124. Karayiannis, N.B. ve Randolph-Gips, M.M., On the construction and training of reformulated radial basis function neural networks, IEEE Trans. Neural Networks, 14 (2003) 835–846. doi:10.1109/TNN.2003.813841.
125. Mateo, J. ve Joaquín Rieta, J., Radial basis function neural networks applied to efficient QRST cancellation in atrial fibrillation, Comput. Biol. Med., 43 (2013) 154–163. doi:10.1016/j.combiomed.2012.11.007.
126. Field, A., Miles, J. ve Field, Z., *Discovering Statistics Using R*. SAGE Publications Ltd. California, USA. 2012. ISBN: 9781446200469.
127. Koenker, R. ve Bassett, G., Regression Quantiles, Econometrica, 46(1978) 33–50.
128. Koenker, R., *Quantile Regression*. Cambridge University Press, London, UK, 2005. www.cambridge.org/978052184573.
129. Cannon, A.J., Quantile regression neural networks: Implementation in R and application to precipitation downscaling, Comput. Geosci, 37(2011) 1277–1284. doi:10.1016/j.cageo.2010.07.005
130. Taylor, J.W., A quantile regression neural network approach to estimating the conditional density of multiperiod returns. J. Forecast, 19(2000) 299–311.
131. Pearlmutter, B.A., Gradient calculations for dynamic recurrent neural networks: a survey. IEEE Trans. Neural Networks, 6(1995) 1212–1228. doi:10.1109/72.410363
132. Öztemel, E., *Yapay Sinir Ağları*. Papatya yayıncılık, İstanbul 2003.
133. Kröse, B. ve Smagt, P., . *An Introduction to Neural Networks*, 8th ed. Univ. of Amsterdam, [Online], 1996. Available: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.18.493>.
134. Jordan, M.I. *Serial Order: A Parallel Distributed Processing Approach* (Tech. Rep. No: 8604). Institute for Cognitive Science, University of California, San Diego, La Jolla, CA., 1986

135. Elman, J.L., Finding structure in time. Cogn. Sci., 14(1990) 179–211. doi:10.1207/s15516709cog1402_1.
136. Şen, Z., Bulanık Mantık İlkeleri ve Modelleme, Su vakfı yayınları, İstanbul, 2009.
137. Zadeh, L.A., Fuzzy Sets, Information and Control, 8(1965), 338-353
138. Ross, T.J., Fuzzy Logic With Engineering Applications, Third Edition, Wiley, Sussex, UK, 2010.
139. Klir, G.J. ve Yuan, B., Fuzzy Sets and Fuzzy Logic Theory and Applications, Prentice Hall PTR, New Jersey, USA, 1995
140. Shepard, R.B., Quantifying Environmental Impact Assessments Using Fuzzy Logic, Springer, New York, USA, 2005
141. Mamdani, E.H., Application of fuzzy algorithms for simple dynamic plant, Proc. IEE, 121 (1974) 1585-1588
142. Türkiye İstatistik Kurumu, 2015. <http://www.tuik.gov.tr/UstMenu.do?metod=kategorist>.
143. Mishev, A.L. ve Hristova, E., Recent gamma background measurements at high mountain altitude, Journal of Environmental Radioactivity, 113 (2012) 77–82. doi:10.1016/j.jenvrad.2012.04.017
144. O'Brien, K., Friedberg, W., Sauer, H.H., Smart, D.F., Atmospheric cosmic rays and solar energetic particles at aircraft altitudes, Environment international, 22 (1996) 9–44.
145. USGS, Digital elevation maps (DEM) data sets, 2014. [WWW Document]. URL <http://earthexplorer.usgs.gov/> (accessed 9.22.14).
146. Ustaomer, T., Robertson, a. H.F., Ustaomer, P. A., Gerdes, A. ve Peytcheva, I., Constraints on Variscan and Cimmerian magmatism and metamorphism in the Pontides (Yusufeli-Artvin area), NE Turkey from U-Pb dating and granite geochemistry. Geological Society, London, Special Publications, 372(2012) 49–74. doi:10.1144/SP372.13
147. Sanusi, M.S.M., Ramli, A.T., Gabdo, H.T., Garba, N.N., Heryanshah, A., Wagiran, H., Said, M.N., Isodose mapping of terrestrial gamma radiation dose rate of Selangor state, Kuala Lumpur and Putrajaya, Malaysia, Journal of Environmental Radioactivity 135(2014) 67–74. doi:10.1016/j.jenvrad.2014.04.004
148. Otansev, P., Karahan, G., Kam, E., Barut, I., Taskin, H., Assessment of natural radioactivity concentrations and gamma dose rate levels in Kayseri, Turkey, Radiation Protection Dosimetry 148(2012) 227–236.
149. Norbani, N.E., Abdullah Salim, N.A., Saat, A., Hamzah, Z., Ramli, A.T., Wan Idris, W.M.R., Jaafar, M.Z., Bradley, D. a. ve Abdul Rahman, A.T., Terrestrial gamma radiation dose rates (TGRD) from surface soil in Negeri Sembilan, Malaysia, Radiation Physics and Chemistry In Press, 1–6 (2014). doi:10.1016/j.radphyschem.2014.04.008
150. MTA, 1:500 000 ölçekli Türkiye jeoloji haritası. Maden Tetkik Arama Enstitüsü (MTA), Ankara, Turkey, 2002

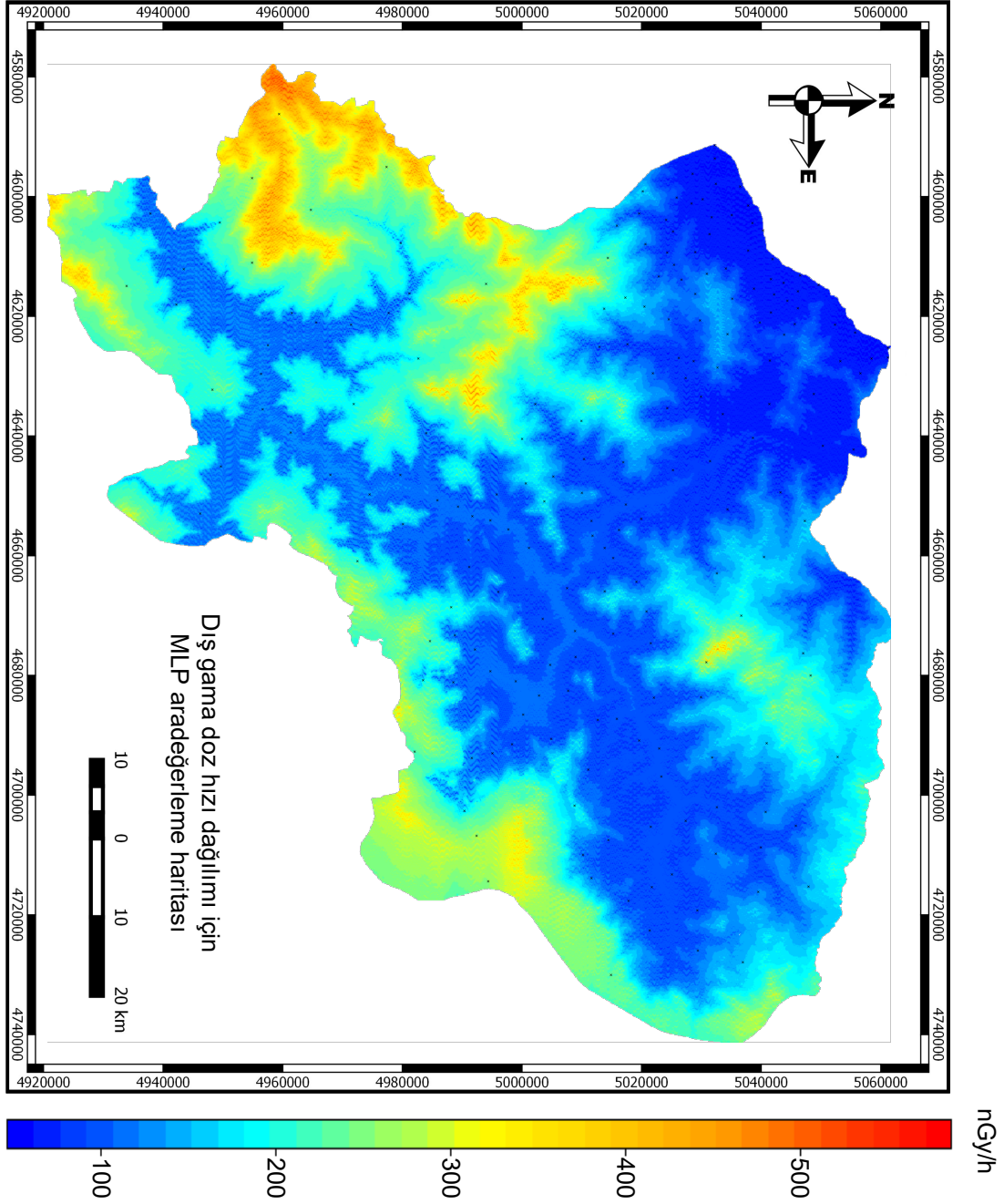
151. Yuksek, T. ve Ölmez, Z., A general assessment of climate, soil structure, forest areas, growing stock and some forestry applications of Artvin region, Journal of Artvin Forestry Faculty Kafkas University, 3(2002) 50–62.
152. Ramasamy, V., Paramasivam, K., Suresh, G. ve Jose, M.T., Role of sediment characteristics on natural radiation level of the Vaigai river sediment, Tamilnadu, India, Journal of environmental radioactivity, 127(2014) 64–74. doi:10.1016/j.jenvrad.2013.09.010
153. Yavuz Özalp, A., Akıncı, H. ve Temuçin, S., Determining Topographic and Some Physical Characteristics of the Land in Artvin City and Investigating Relationship between These Characteristics with Land Cover, Journal of Forestry Faculty Artvin Coruh University, 14 (2013) 292–309.
154. Albayrak, N., Kırıkkale’de (Türkiye) Doğal radyasyon kaynaklarının belirlenmesi ve Gama Doz Oranlarının Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen bilimleri Enstitüsü İstanbul Üniversitesi, İstanbul, 2011.
155. Standarts methods - SM 7110 C. Coprecipitation Method for Gross Alpha Radioactivity in Drinking Water, Standart Methods for Examination of Water and Wastewater, 21th Edition, Available from American Public Health Association, 1015 Fifteenth Street N.W., Washington, D.C., 2005.
156. Damla, N. Do ğu Karadeniz Bölgesindeki İçme Sularında Toplam Alfa, Toplam Beta ve Gama Radyoaktifli ği, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2006.
157. http://www.taek.gov.tr/uygulama/resa_doiz/tum_illler.php/TAEK Radyasyon Erken Uyarı Sistemi Ağından Alınan En Yüksek Çevresel Gama Doz Hızları. 21 Temmuz 2015
158. UNSCEAR, Sources and Effects of Ionizing Radiation. Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation to the General Assembly. United Nations, New York, 2000.
159. World Health Organization (WHO), Guidelines for drinking-water quality. third edit. Geneva, Switzerland, 2006.
160. <http://www.r-project.org/R/> /Development Core Team,. R: a Language and Environment for Statistical Computing, Reference Index Version 2.2.1 [WWW Document]. R Found. Stat. Comput. 2005, available date: 6 Aralık 2015
161. Ihaka, R. ve Gentleman, R., R: A Language for Data Analysis and Graphics, Journal of Computational and Graphical Statistics, 5(1996) 299–314. doi:10.1080/10618600.1996.10474713
162. <http://www.unt.edu/rss/Teaching-with-R.pdf>/ R Programlama Dilinin Tanıtımı. 06 Aralık 2015
163. Pebesma, E.J. ve Wesseling, C.G., Gstat: a program for geostatistical modelling, prediction and simulation, Computers & Geosciences, 24(1998) 17–31. doi:10.1016/S0098-3004(97)00082-4
164. Pebesma, E.J. ve Bivand, R.S., Classes and methods for spatial data in R, R. News, 4 (2005) 9-13

165. Günther, F., ve Fritsch, S.. Neuralnet: training of neural networks, The R Journal, 2(2010)30–38
166. Bergmeir, C. ve Jose, B. Neural Networks in R Using the Stuttgart Neural Network Simulator: RSNNS, J. Stat. Softw.46,7(2012) 1-26.
167. <https://cran.r-project.org/web/packages/FuzzyToolkitUoN/FuzzyToolkitUoN.pdf> / 06 Aralık 2015
168. <https://www.rstudio.com/> 06 Aralık 2015
169. Quantum GIS Development Team, Quantum GIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://www.qgis.org/tr/site/> 01 Ekim 2015
170. <http://www.saga-gis.org/en/index.html> / 06 Aralık 2015
171. <https://inkscape.org/en/> / 06 Aralık 2015
172. Taylor, K. E. Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram, J. Geophys. Res., 106 (2001) 7183.
173. Houghton, J.T., Ding,Y., Griggs,D.J. ,Noguer,M.,Van der Linden, P.J. , Dai,X., Maskell, K., ve Johnson, C.A., IPCC, Climate Change 2001: The Scientific Basis, Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 881 pp. 2001 (http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg1/317.htm#fig84)

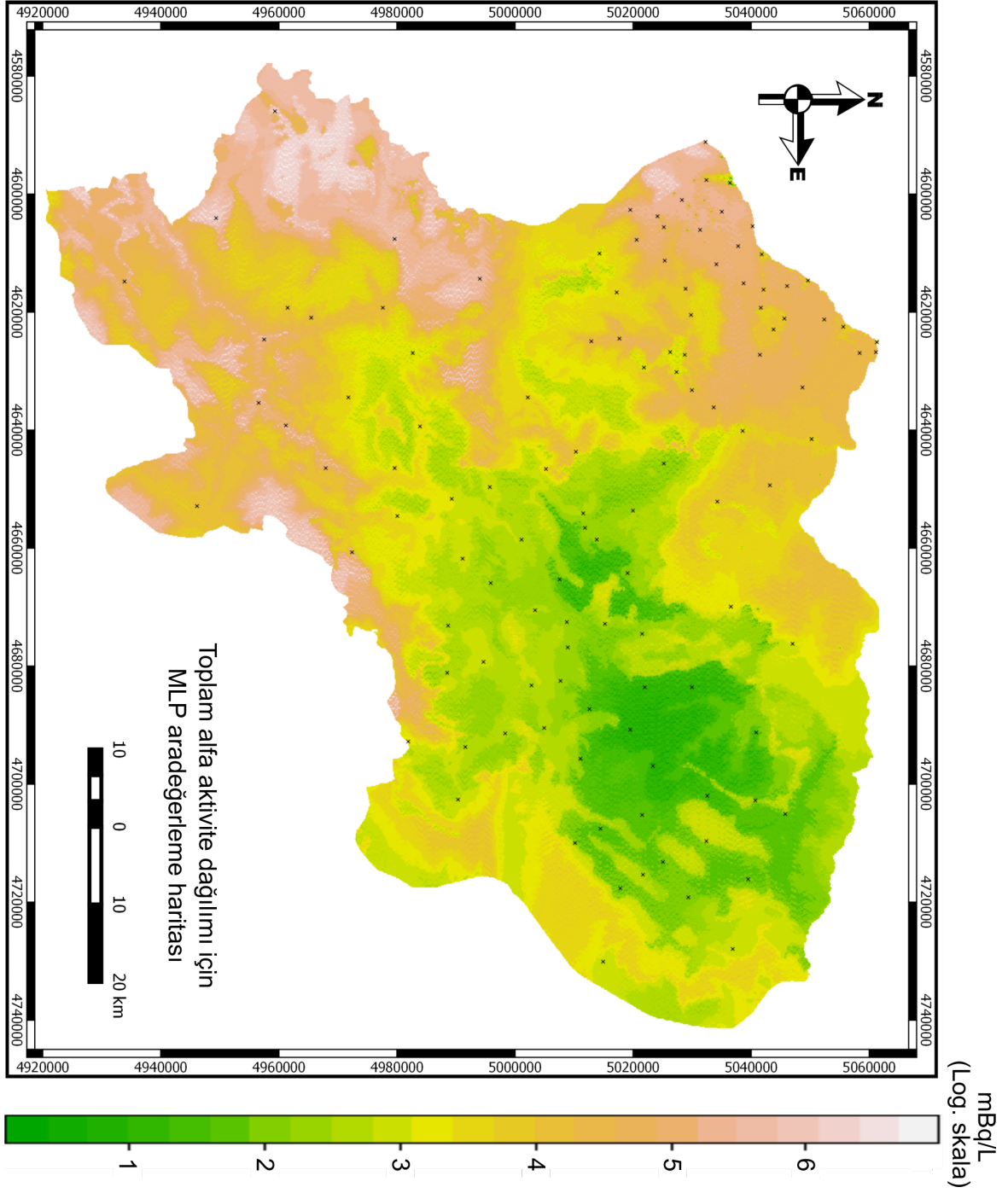
6. EKLER

- 1. Her bir radyoaktiflik seviyesi için en yüksek performans derecelerine sahip modeller ile oluşturulan haritalar**
- 2. Her bir istasyon için dış gama doz hızı bulguları**
- 3. Her bir istasyon için sulardaki radyoaktiflik seviyeleri**
- 4. Her bir istasyon için topraklardaki radyoaktiflik seviyeleri**
- 5. Doktora tez çalışmasından yayınlanan SCI indeksli makaleler**
- 6. Artvin Çoruh Üniversitesi ve TAEK arasında imzalanan işbirliği protokol metni**

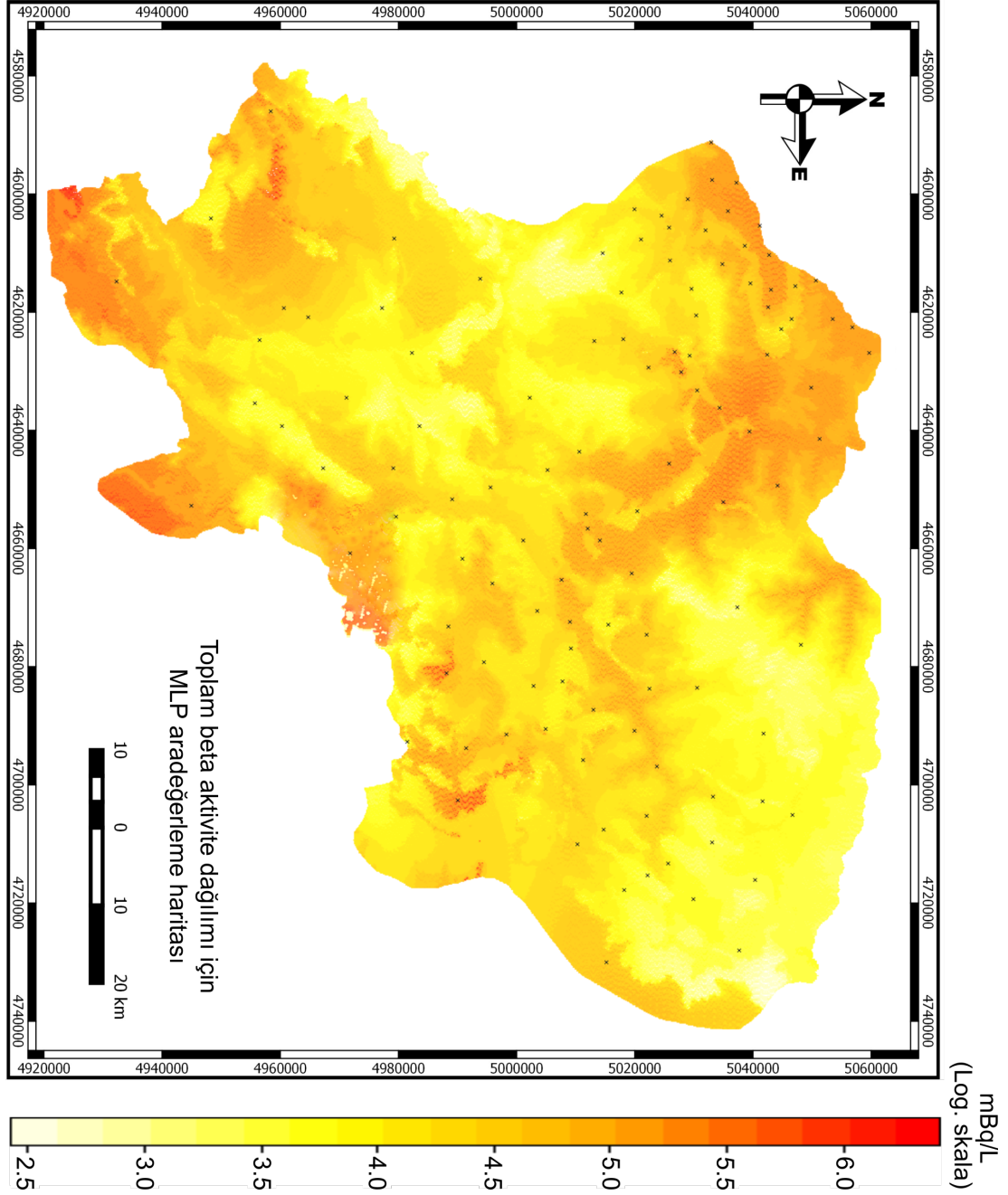
Ek-1. Her bir radyoaktiflik seviyesi için en yüksek performans derecelerine sahip modeller ile olu turulan haritalar



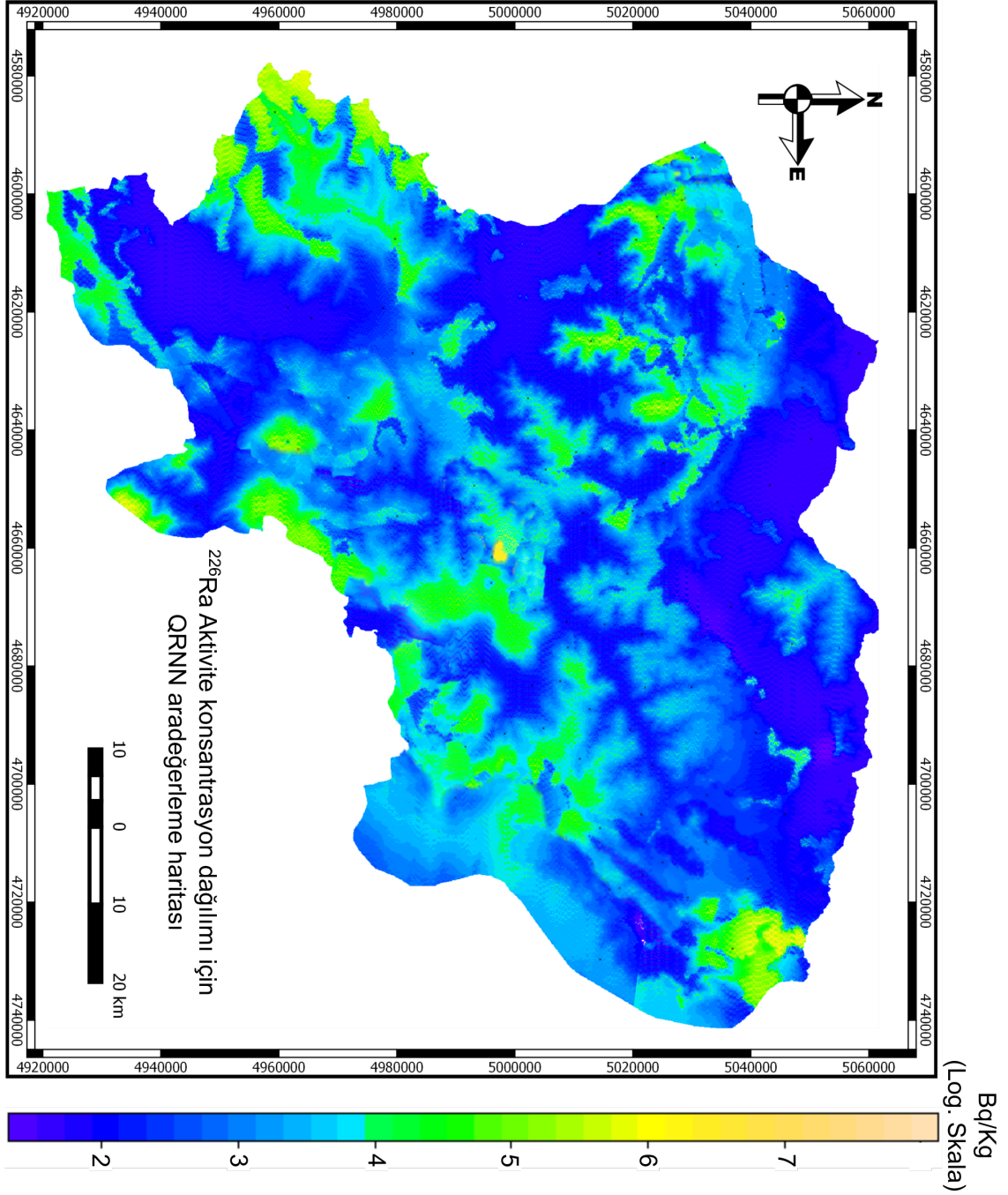
Ek Şekil 1. Gama doz hızı dağılımı için MLP aradeğerleme haritası



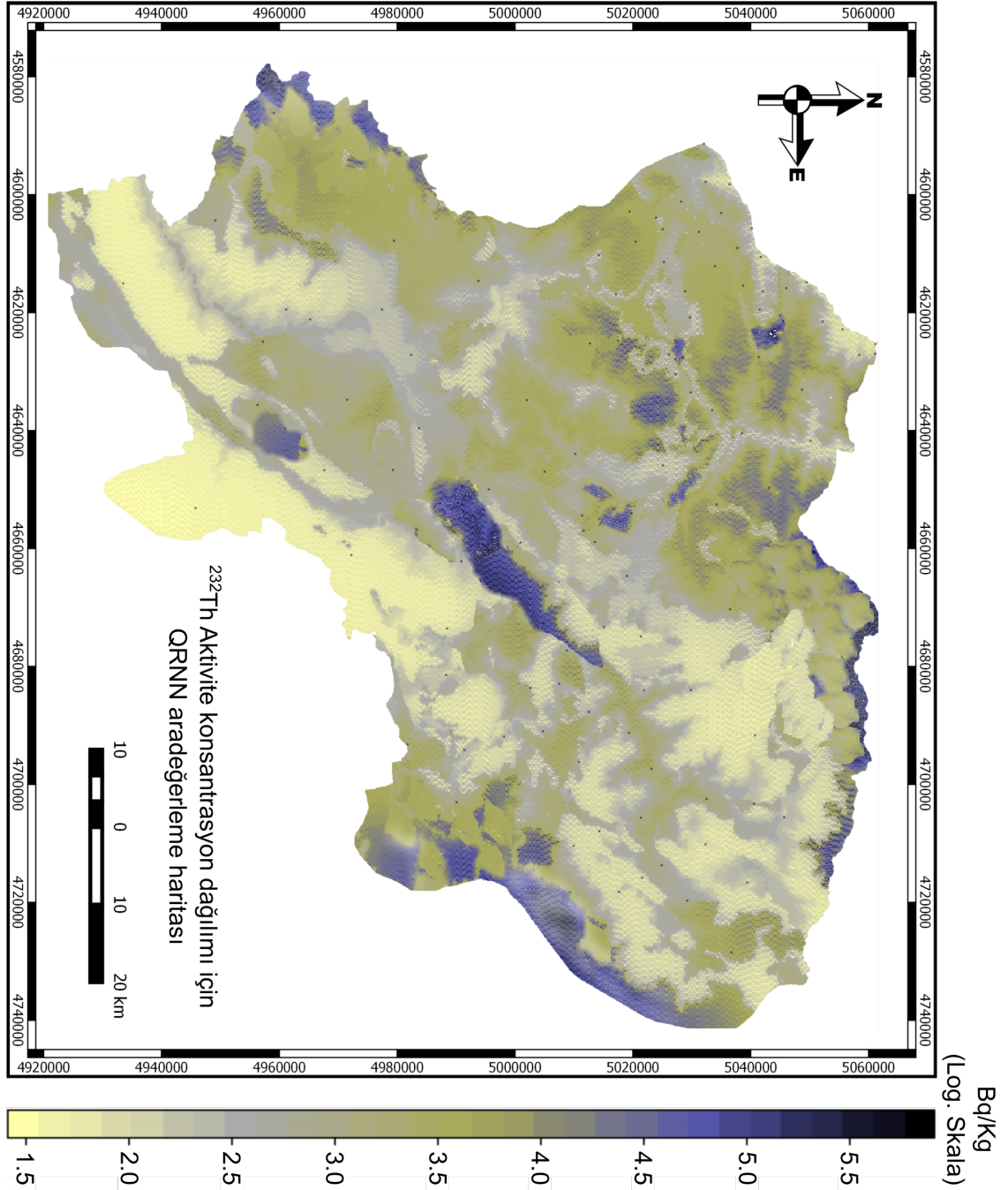
Ek Şekil 2. Toplam alfa aktivite konsantrasyon dağılımı için MLP aradeğerleme haritası



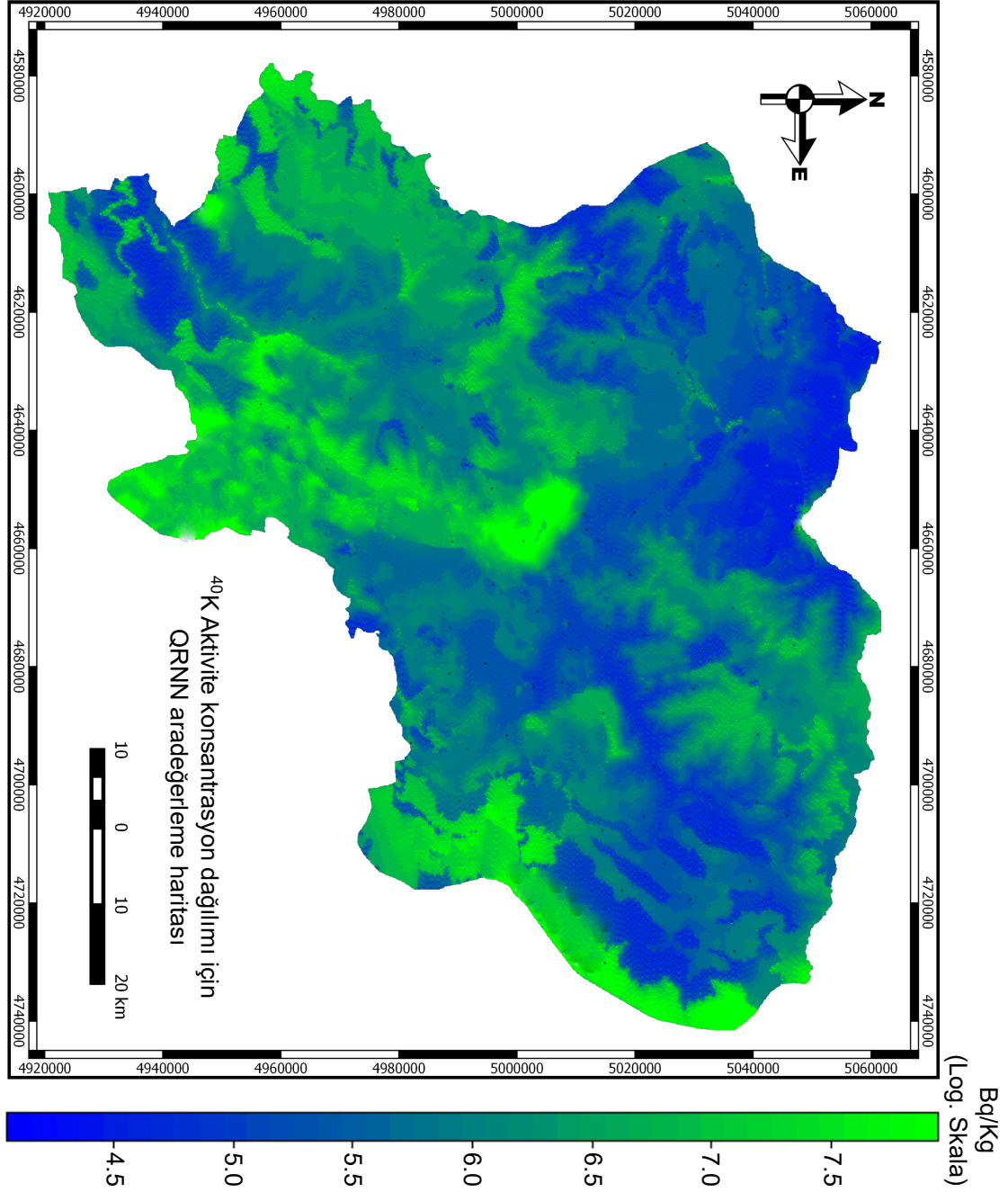
Ek Şekil 3. Toplam beta aktivite konsantrasyon dağılımı için MLP aradeğerleme haritası



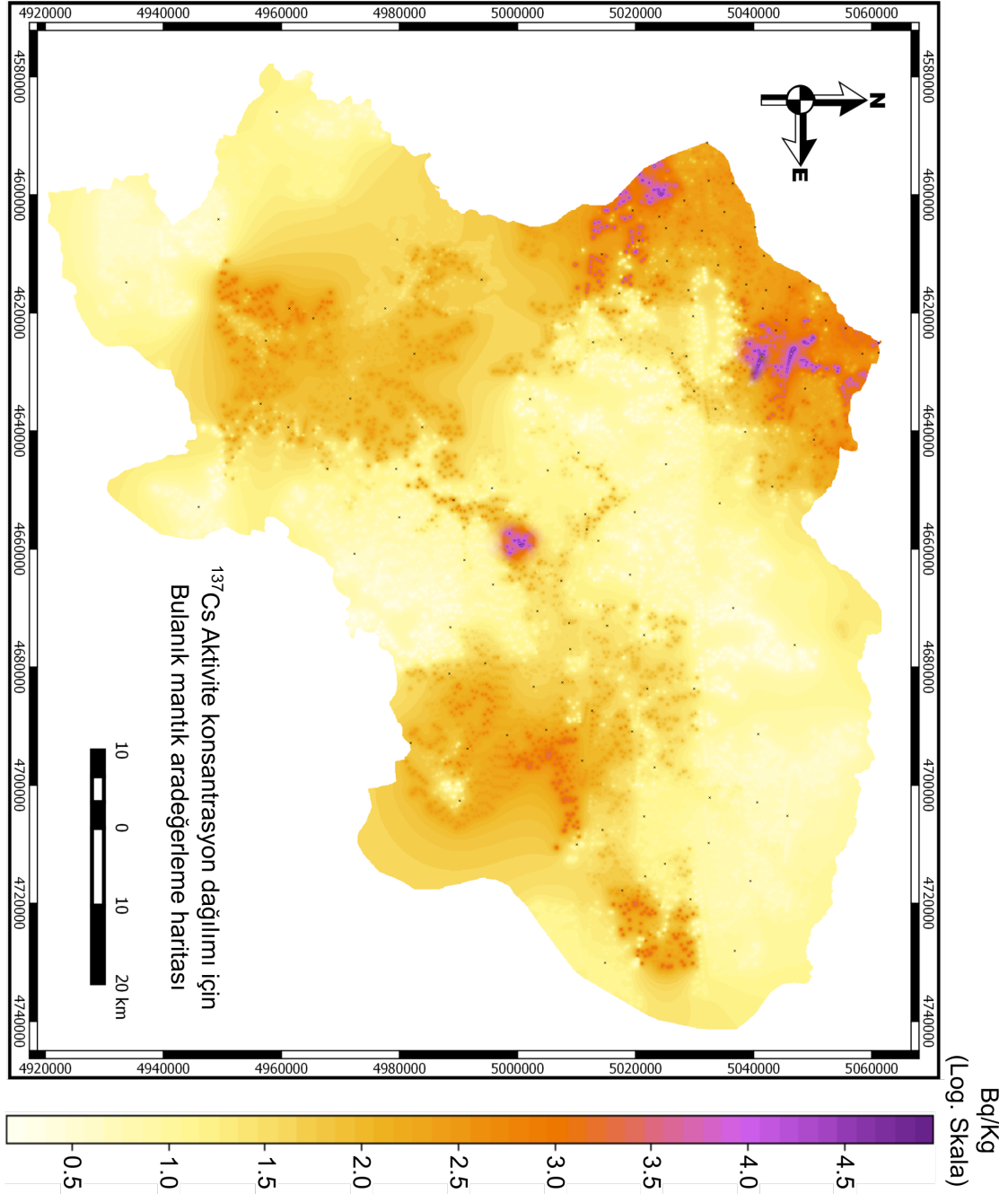
Ek Şekil 4. ^{226}Ra aktivite konsantrasyon dağılımı için QRNN aradeğerleme haritası



Ek Şekil 5. ²³²Th aktivite konsantrasyon dağılımı için QRNN aradeğerleme haritası



Ek Şekil 6. ^{40}K aktivite konsantrasyon dağılımı için QRNN aradeğerleme haritası



Ek Şekil 7. ^{137}Cs aktivite konsantrasyon dağılımı için bulanık mantık aradeğerleme haritası

Ek Tablo 1 : Arvın ill ve ilçelerine ait dış ortam hava örnekleri gama doz oranı ölçüm sonuçları

N	Enlem (derece)	Boylam (derece)	EPSC=3395		EPSC=3395		Yükseklik (metre)	Gama doz hızı (m Sv/h)	(Havada emilen Gama Doz Oranı) (Gama Absorbed Dose Rate in Air) (nG/h)	Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri (Annual Effective Dose Equivalent) (mSv/year)	Yaşam Riski (Lifetime Risk)
			#X#	#Y#	World Mercator	World Mercator					
1 Arhavi	41,32326425	41,24679246	4591571,934	5031919,597	8	0,0310000000	44,29	54,35	0,00019		
2 Arhavi	41,35203428	41,30814179	4598401,31	5036168,95	12	0,0420000000	60,00	73,63	0,00026		
3 Arhavi	41,32461602	41,30416228	4597958,312	5032119,212	37	0,0510000000	72,86	89,41	0,00031		
4 Arhavi	41,34256481	41,35135043	4603211,273	5034770,095	473	0,1050000000	150,00	184,09	0,00064		
5 Arhavi	41,29697998	41,33380523	4601258,151	5028039,044	133	0,0750000000	107,14	131,49	0,00046		
6 Arhavi	41,27627038	41,37591961	4605946,302	5024982,632	270	0,0830000000	118,57	145,52	0,00051		
7 Arhavi	41,26831132	41,35859874	4604018,152	5023808,261	638	0,0980000000	140,00	171,81	0,00060		
8 Arhavi	41,18635808	41,35205038	4603289,192	5011724,308	2142	0,2670000000	381,43	468,10	0,00164		
9 Arhavi	41,23787506	41,34895456	4602944,566	5019318,673	590	0,1210000000	172,86	212,14	0,00074		
10 Arhavi	41,24495626	41,3944017	4608003,718	5020363,017	1055	0,1620000000	231,43	284,02	0,00099		
11 Arhavi	41,27718445	41,42570602	4611488,5	5025117,514	805	0,1010000000	144,29	177,07	0,00062		
12 Arhavi	41,30136928	41,46938378	4616350,686	5028686,961	1052	0,1480000000	211,43	259,47	0,00091		
13 Arhavi	41,31714482	41,37997254	4606397,472	5031015,997	188	0,0740000000	105,71	129,74	0,00045		
14 Arhavi	41,22265531	41,47446406	4616916,22	5017074,443	1826	0,1720000000	245,71	301,55	0,00106		
15 Arhavi	41,33570132	41,43148508	4612131,822	5033756,329	530	0,0730000000	104,29	127,98	0,00045		
16 Arhavi	41,21262428	41,3672173	4604977,566	5015595,582	1193	0,1580000000	225,71	277,01	0,00097		
17 Arhavi	41,19821664	41,49111274	4618769,543	5013471,902	1665	0,1740000000	248,57	305,06	0,00107		
18 Arhavi	41,24404812	41,48821121	4618446,546	5020229,077	1548	0,1650000000	235,71	289,28	0,00101		
19 Arhavi	41,25975437	41,44294473	4613407,791	5022545,831	910	0,1220000000	174,29	213,89	0,00075		
20 Arhavi	41,26956886	41,40725845	4609434,926	5023993,804	631	0,0920000000	131,43	161,29	0,00056		
21 Arhavi	41,30096532	41,40667815	4609370,327	5028627,33	560	0,1050000000	150,00	184,09	0,00064		
22 Arhavi	41,28548701	41,44787991	4613956,886	5026342,742	858	0,1150000000	164,29	201,62	0,00071		
23 Arhavi	41,31447859	41,43888516	4612955,595	5030622,325	1165	0,1070000000	152,86	187,59	0,00066		
24 Arhavi	41,24208457	41,31557003	4599228,217	5019939,483	1646	0,1570000000	224,29	275,25	0,00096		
25 Arhavi	41,29813154	41,28974639	4596553,543	5028209,025	171	0,0520000000	74,29	91,17	0,00032		
26 Arhavi	41,28003603	41,32514508	4600294,107	5025538,311	733	0,0830000000	118,57	145,52	0,00051		
27 Arhavi	41,30968388	41,32717616	4600520,205	5029914,423	112	0,0620000000	88,57	108,70	0,00038		
28 Arhavi	41,31970878	41,35445056	4603556,378	5031394,583	151	0,0710000000	101,43	124,48	0,00044		
29 Arhavi	41,32341324	41,26653413	4593769,566	5031941,598	269	0,0740000000	105,71	129,74	0,00045		
30 Arhavi	41,36109964	41,33675121	4601586,096	5037508,302	244	0,0720000000	102,86	126,23	0,00044		
31 Hopa	41,51838094	41,56428727	4626915,294	5060775,662	349	0,0960000000	137,14	168,31	0,00059		
32 Hopa	41,49972634	41,56565653	4627067,583	5058013,025	284	0,0740000000	105,71	129,74	0,00045		
33 Hopa	41,51852961	41,54952608	4625272,086	5060797,68	63	0,0910000000	130,00	159,54	0,00056		
34 Hopa	41,45868059	41,51516042	46221446,518	5051937,216	183	0,0850000000	121,43	149,02	0,00052		
35 Hopa	41,48121518	41,52692086	4622755,684	5055272,425	32	0,0810000000	115,71	142,01	0,00050		
36 Hopa	41,41707933	41,46510685	4615874,581	5045783,13	291	0,0760000000	108,57	133,24	0,00047		
37 Hopa	41,44017422	41,45587281	4614846,652	5049199,072	13	0,0440000000	62,86	77,14	0,00027		

EK-2. Her bir istasyon için dış gama doz hızı bulguları

Doz dönüşüm Faktörü: 0.7Sv/Gy,
Outdoor Occupancy Factor: 0.2

Ek Tablo 1 devamı : Arvin ili ilçelerine ait dış ortam hava örnekleri gamma doz oranı ölçüm sonuçları

	EPSG=3395					EPSG=3395					(Havada emilen Gamma Doz Oranı)			Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri		Yaşam Riski		
	Enlem (derece)	Boylam (derece)	#X# (metre)	#Y# (metre)	Yükseklik (metre)	Gama doz hızı (m Sv/h)	ADE (ng/h)	AEDE (mSv/year)	ELCR (Lifetime Risk)	World Mercator	World Mercator	World Mercator	World Mercator	World Mercator	World Mercator	World Mercator	World Mercator	World Mercator
38 Hopa	Hopa merkez	41,38809984	41,41717149	4610538,44	5041498,533	18	0,0420000000	60,00	73,63	0,00026	0,00026							
39 Hopa	Ermekaya mevki	41,38995386	41,46964113	4616379,334	5041772,59	110	0,0940000000	134,29	164,80	0,00058	0,00058							
40 Hopa	Yeşilköy	41,3610782	41,40441814	4609118,744	5037505,135	328	0,1120000000	160,00	196,36	0,00069	0,00069							
41 Hopa	Garniköy sahil	41,37750446	41,37379246	4605709,509	5039932,469	11	0,0360000000	51,43	63,12	0,00022	0,00022							
42 Hopa	Balklıköy	41,36737101	41,46090354	4615406,67	5038434,969	305	0,1020000000	145,71	178,83	0,00063	0,00063							
43 Hopa	Çavuşlu	41,38684173	41,49695712	4619420,136	5041312,565	170	0,0820000000	117,14	143,76	0,00050	0,00050							
44 Hopa	Koyuncular	41,41322387	41,51465293	4621390,025	5045212,991	333	0,1120000000	160,00	196,36	0,00069	0,00069							
45 Hopa	Çankurtaran geçidi	41,40127544	41,53040706	4623143,767	5043446,297	696	0,1320000000	188,57	231,42	0,00081	0,00081							
46 Hopa	Yoldere yayla yolu	41,414080961	41,47913425	4617436,103	5043968,825	239	0,0710000000	101,43	124,48	0,00044	0,00044							
47 Hopa	Başoba	41,41699582	41,49045024	4618695,793	5045770,78	242	0,0750000000	107,14	131,49	0,00046	0,00046							
48 Hopa	Çamurlu mevki	41,48723951	41,58794184	4629548,508	5056164,249	346	0,1160000000	165,71	203,37	0,00071	0,00071							
49 Hopa	Köprücü	41,46463065	41,56995231	4627545,924	5052817,736	393	0,1090000000	155,71	191,10	0,00067	0,00067							
50 Hopa	Çamburnu hopa sınır	41,36584193	41,36278266	4604483,904	5038209,022	165	0,0780000000	111,43	136,75	0,00048	0,00048							
51 Hopa	Güneşli yaylası	41,34319077	41,47652286	4617145,405	5034862,556	1415	0,1760000000	251,43	308,56	0,00108	0,00108							
52 Hopa	Yükarı kuladibi	41,40110977	41,45273027	4614496,826	5043421,803	219	0,0680000000	97,14	119,22	0,00042	0,00042							
53 Hopa	Subaşı	41,37411635	41,5119216	4621085,974	5039431,771	365	0,0960000000	137,14	168,31	0,00059	0,00059							
54 Hopa	Hopa çıkış (Arvin yolu)	41,3867437	41,4469272	4613850,831	5041298,075	175	0,0800000000	114,29	140,26	0,00049	0,00049							
55 Hopa	Hopa çıkış (Baturn yolu)	41,41938927	41,44170444	46133269,435	5046124,736	12	0,0410000000	58,57	71,88	0,00025	0,00025							
56 Hopa	Yüksek oba	41,06518703	41,4537025	4614605,054	4993885,601	1987	0,2540000000	362,86	445,31	0,00156	0,00156							
57 Hopa	Yüksek köyü	40,96824414	41,39287666	4607833,952	4979637,581	1166	0,1540000000	220,00	269,99	0,00094	0,00094							
58 Hopa	Taşkıran köyü	40,95469583	41,49745767	4619475,857	4977648,021	848	0,1170000000	167,14	205,12	0,00072	0,00072							
59 Hopa	Dereci köyü	40,87197432	41,512287	4621126,651	4965509,344	912	0,1270000000	181,43	222,66	0,00078	0,00078							
60 Hopa	Öğdem Bucacı	40,91462727	41,63388752	4634663,159	4971766,39	1550	0,1670000000	238,57	292,78	0,00102	0,00102							
61 Hopa	Bahçeli köyü	40,84480091	41,49727516	4619455,54	4961525,211	1111	0,1510000000	215,71	264,73	0,00093	0,00093							
62 Hopa	Yaylalar su kavşumu	40,65662886	41,45757818	4615036,492	4933980,699	1903	0,2250000000	321,43	394,47	0,00138	0,00138							
63 Hopa	Yaylalar su kavşumu	40,83004015	41,19999464	4586362,424	4959361,698	2530	0,3370000000	481,43	590,83	0,00207	0,00207							
64 Hopa	Yusufeli Yusufeli Merkez	40,76291489	41,36207441	4604405,061	4949529,129	1246	0,1520000000	217,14	266,49	0,00093	0,00093							
65 Hopa	Yusufeli Su kavşumu	40,81728365	41,54613561	4624894,661	4957492,342	593	0,0760000000	108,57	133,24	0,00047	0,00047							
66 Hopa	Darca	40,81166136	41,64141391	4635500,992	4956668,559	435	0,0640000000	91,43	112,20	0,00039	0,00039							
67 Hopa	Sebzeciler	40,74019519	41,79761259	4652888,95	4946203,394	730	0,0950000000	135,71	166,55	0,00058	0,00058							
68 Hopa	Demirkent	40,84310402	41,67661944	4639420,054	4961276,47	590	0,0720000000	102,86	126,23	0,00044	0,00044							
69 Hopa	Demirkent	40,88837887	41,74023037	4646501,191	4967915,356	733	0,0780000000	111,43	136,75	0,00048	0,00048							
70 Hopa	Yarbaşı	40,96745986	41,74014466	4646491,649	4979522,399	875	0,1610000000	230,00	282,27	0,00099	0,00099							
71 Hopa	Boyalı köyü	40,98835121	41,56595986	4627101,486	4982591,049	1540	0,1960000000	280,00	343,63	0,00126	0,00126							
72 Hopa	Demirköy	40,99706388	41,67704803	4639467,764	4983871,107	1000	0,1570000000	224,29	275,25	0,00096	0,00096							
73 Hopa	Günayvayla	40,91904208	41,86873321	4660806,061	4972414,26	1907	0,2330000000	335,71	412,00	0,00144	0,00144							
74 Hopa	Çayıran yoluüstü	40,93313692	41,76925352	4649732,033	4974482,96	554	0,0660000000	94,29	115,71	0,00040	0,00040							
75 Hopa	Aşağı İshan	40,76369169	41,72747059	4645080,778	4949642,858	846	0,1550000000	221,43	271,75	0,00095	0,00095							
76 Hopa	Kılçıkaya	40,71356542	41,48489745	4618077,659	4942306,756	1470	0,1820000000	260,00	319,08	0,00112	0,00112							
77 Hopa	Morkaya yaylası	40,75402114	41,61256752	4632289,827	4948227,116	1800	0,2250000000	321,43	394,47	0,00138	0,00138							
78 Hopa	Köprüören	40,68364756	41,34910291	4602961,081	4937930,856	942	0,1250000000	178,57	219,15	0,00077	0,00077							
79 Hopa	Güngörmöz dağı yolu	40,79972407	41,42222304	4611100,777	4954919,73	2421	0,3180000000	454,29	557,52	0,00195	0,00195							
80 Hopa	Çaberkent mevki	40,86646409	41,34329973	4602315,073	4964701,307	2006	0,2520000000	360,00	441,81	0,00155	0,00155							
81 Hopa	Yusufeli Binalar yayla yolu	40,79972407	41,29571361	4597017,811	4954919,73	2016	0,2620000000	374,29	459,34	0,00161	0,00161							
82 Hopa	Yusufeli Barın çayırını Altıpar	40,97784021	41,46864853	4616268,838	4981047,006	1251	0,1610000000	230,00	282,27	0,00099	0,00099							
83 Hopa	Yusufeli Çiğat mevki	40,91208961	41,51507401	4621436,899	4971394,009	908	0,1260000000	180,00	220,90	0,00077	0,00077							

Ek Tablo 1 devamı : Arvın illi ve ilçelerine ait dış ortam hava örneklere gama doz oranı ölçüm sonuçları

	Enlem (derece)	Boylam (derece)	EP5G-3395		EP6G-3395		Yükseklik (metre)	Gama doz hızı (m Sv/h)	(Havadan emilen Gama Doz Oranı) (Gama Absorbed Dose Rate in Air)		Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri (Annual Effective Dose Equivalent)		Yaşam Riski (Lifetime Risk)
			#X#	#Y#	ADE (ng/h)	AEDE (mSv/Year)			ELCR				
130 Merkez Kafkasör	41,14102657	41,74252387	4646756,501	5005046,752	1421	0,1470000000	210,00	257,72	0,00090				
131 Merkez Hatlı vadisi	41,1207252	41,63405264	4634681,539	5002057,767	1211	0,0980000000	140,00	171,81	0,00060				
132 Merkez Taşlica	41,17578649	41,71585293	4643787,506	5010166,644	605	0,0400000000	57,14	70,13	0,00025				
133 Merkez Bırtırcıköy	41,24037003	41,80562627	4653781,029	5019686,62	818	0,0740000000	105,71	129,74	0,00045				
134 Merkez Tutuncüler	41,27601404	41,73304557	4645701,382	5024944,808	614	0,0410000000	58,57	71,88	0,00025				
135 Merkez Dikmenli	41,04524754	41,83732469	4657309,68	4990953,301	682	0,0680000000	97,14	119,22	0,00042				
136 Merkez Geçit tepesi	41,02554071	41,93776403	4668490,537	4988056,095	2260	0,3180000000	454,29	557,52	0,00195				
137 Merkez Dikmenli Tünel altı	41,0491882	41,80190966	4653367,297	4991532,743	317	0,1020000000	145,71	178,83	0,00063				
138 Merkez Kırnızıkaya tepesi Yolu	41,06976336	41,80829598	46554078,219	4994558,722	305	0,0950000000	135,71	166,55	0,00058				
139 Merkez Oruçlu mevkii	41,09033208	41,82164918	4655664,691	4997584,708	317	0,0860000000	122,86	150,78	0,00053				
140 Merkez Ballıüzüm yaylası	41,11001951	41,75256085	4647873,813	5000481,935	1339	0,1710000000	244,29	299,80	0,00105				
141 Merkez Oruçlu yayla yolu	41,13057563	41,77984784	4650911,387	5003507,936	1121	0,1420000000	202,86	248,95	0,00087				
142 Merkez Hatlı vadisi doğu sınır	41,10564503	41,68579481	4640441,451	4999838,107	1622	0,1810000000	258,57	317,33	0,00111				
143 Merkez Hatlı vadisi kuzey sınır	41,17255244	41,65908165	4637467,756	5009690,175	1025	0,1280000000	182,86	224,41	0,00095				
144 Merkez Mersivan mevkii	41,17341662	41,7670752	4649489,543	5009817,491	1302	0,1550000000	221,43	271,75	0,00095				
145 Merkez Ormanlı yayla yolu	41,22016687	41,72119953	4644382,687	5016707,543	557	0,0470000000	67,14	82,40	0,00029				
146 Merkez Fıstıklı	41,22278014	41,78449243	4651428,42	5017092,834	347	0,0520000000	74,29	91,17	0,00032				
147 Merkez Ahlat	41,20858648	41,86417625	4660298,782	5015000,364	717	0,0780000000	111,43	136,75	0,00048				
148 Merkez Ortaköy yaylası	41,24624752	41,94458578	4669249,931	5020553,466	1305	0,1510000000	215,71	264,73	0,00093				
149 Merkez Uğrak dağı etekleri	41,19887803	41,91387188	4665830,875	5013569,379	1874	0,2050000000	292,86	359,41	0,00126				
150 Merkez Avcılısesi tepesi	41,21524669	41,82266519	4655677,792	5015982,215	1098	0,1370000000	195,71	240,19	0,00084				
151 Merkez Berta Çayı Şağsat sınırı	41,260433	42,14952849	4692064,049	5022645,945	621	0,0920000000	131,43	161,29	0,00056				
152 Şağsat Karaköy Mevkii	41,20620177	42,488046	4729747,645	50146648,848	2425	0,2050000000	292,86	359,41	0,00126				
153 Şağsat Yavuzköy	41,22606983	42,37785786	4717481,558	5017577,874	1388	0,1080000000	154,29	189,35	0,00066				
154 Şağsat Şağsat Merkez	41,25233309	42,3568786	4715146,158	5021451,084	1123	0,0970000000	138,57	170,06	0,00060				
155 Şağsat Cevizli Köyü	41,30383856	42,3915226	4719002,71	5029051,478	1233	0,1040000000	148,57	182,33	0,00064				
156 Şağsat Kurudere	41,27492697	42,33820424	4713067,337	5024784,401	1085	0,0920000000	131,43	161,29	0,00056				
157 Şağsat Dalırmaz	41,25083009	42,2663056	4705063,617	5021229,385	1079	0,0870000000	124,29	152,53	0,00053				
158 Şağsat Kayabaşı	41,32480734	42,30664128	4709553,764	5032147,464	1709	0,1620000000	231,43	284,02	0,00099				
159 Şağsat Meydanck	41,41433005	42,26494148	4704911,764	5045376,568	902	0,0780000000	111,43	136,75	0,00048				
160 Şağsat Şenköy	41,37240809	42,36365217	4727650,498	5039179,321	1524	0,1110000000	158,57	194,61	0,00068				
161 Şağsat Pınarlı	41,35470312	42,469207	4727650,498	5036563,236	1832	0,1780000000	254,29	312,07	0,00109				
162 Şağsat Maden Köyü	41,38154995	42,14153546	4691174,269	5040530,401	1642	0,1150000000	164,29	201,62	0,00071				
163 Şağsat Eşikale mevkii	41,26325091	42,19173751	4696762,735	5023061,665	617	0,0420000000	60,00	73,63	0,00026				
164 Şağsat Obaköy	41,38032346	42,24450316	4702636,581	5040349,127	1547	0,1420000000	202,86	248,95	0,00087				
165 Şağsat Dereççi	41,32591124	42,23735328	4701840,66	5032310,48	752	0,0480000000	68,57	84,15	0,00029				
166 Şağsat Ziyaret	41,20316707	42,28656752	4707319,163	5014201,54	1470	0,1050000000	150,00	184,09	0,00064				
167 Şağsat Hanlı	41,17442335	42,30888738	4709803,799	5009965,812	1415	0,0920000000	131,43	161,29	0,00056				
168 Şağsat Gemilca	41,18397796	42,34367822	4713676,697	5011373,588	1646	0,1610000000	230,00	282,27	0,00099				
169 Şağsat Kocabeş	41,24993453	42,42206992	4722403,222	5021097,287	1442	0,1030000000	147,14	180,58	0,00063				
170 Şağsat Karagözü yolu	41,30448401	42,45168456	4725699,909	5029146,762	1722	0,1680000000	240,00	294,54	0,00103				
171 Şağsat Kiplüce	41,29052368	42,25773768	4704109,841	5027086,092	1478	0,1120000000	160,00	196,36	0,00069				
172 Şağsat Çağlınar yayla yolu	41,42912171	42,35587248	4715034,157	5047564,154	2078	0,1980000000	282,86	347,13	0,00121				
173 Şağsat Duttlu mevkii	41,37511231	42,29722387	4708505,424	5039578,958	1785	0,1780000000	231,43	312,07	0,00109				
174 Şağsat Misirli Borçka sınırı	41,4617669	42,1619256	4693444,089	5052393,934	2575	0,2320000000	354,29	406,74	0,00142				
175 Şağsat Çukurköy mezarası	41,32018581	42,16250628	4693508,73	5031465,021	1034	0,1180000000	168,57	206,88	0,00072				

Ek Tablo 1 devamı: Arvın illi ve ilçelerine ait dış ortam hava örnekleri gama doz oranı ölçüm sonuçları

	Enlem (derece)	Boylam (derece)	EPSG=3395		Yükseklik (metre)	Gamma doz hızı (m Sv/h)	(Havada emilen Gama Doz Oranı) (Gama Absorbed Dose Rate in Air)		Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri AEDE (mSv/year)	Yaşam Riski ELCR (Lifetime Risk)
			World Mercator	World Mercator			#X# (metre)	#Y# (metre)		
176 Murgul	Damar	41,25359736	41,58799588	4629554,524	5021637,572	1085	0,1330000000	190,00	233,18	0,00082
177 Murgul	Su kavuşumu	41,19298255	41,54830698	4625136,376	5012700,515	832	0,0870000000	124,29	152,53	0,00053
178 Murgul	Kabaca	41,22501731	41,5445968	4624723,361	5017422,685	674	0,0880000000	125,71	154,28	0,00054
179 Murgul	Çimenli	41,29038283	41,59531627	4630369,427	5027065,303	516	0,0610000000	87,14	106,95	0,00037
180 Murgul	Başköy yaylası	41,30673608	41,50874156	4620731,974	5029479,229	926	0,0910000000	130,00	159,54	0,00056
181 Murgul	Murgul merkez	41,28300042	41,56462353	4626952,726	5025976,364	423	0,0670000000	95,71	117,46	0,00041
182 Murgul	Fenköy	41,308809645	41,62248112	4633393,404	5029680,064	235	0,0540000000	77,14	94,67	0,00033
183 Murgul	Küre	41,29949203	41,56949203	4627494,685	5028409,85	435	0,0670000000	95,71	117,46	0,00041
184 Murgul	Petek Arhavi sınırı	41,27177315	41,50716665	4620556,655	5024230,513	1234	0,1180000000	168,57	206,88	0,00072
185 Murgul	Başköy Hopa sınırı	41,33748194	41,52952421	4623045,488	5034019,324	1432	0,1080000000	154,29	189,35	0,00066
186 Murgul	Akantaş yaylası	41,26964551	41,64015059	4635360,361	5024005,113	1024	0,0980000000	140,00	171,81	0,00060
187 Murgul	Küre Boçka sınırı	41,32658053	41,57888506	4628540,313	5032409,317	1276	0,1050000000	150,00	184,09	0,00064
188 Boçka	Civan köyü	41,3325254	41,64917558	4636365,017	5033287,269	191	0,0520000000	74,29	91,17	0,00032
189 Boçka	Boçka Merkez	41,36620396	41,68432524	4640277,86	5038262,517	117	0,0540000000	77,14	94,67	0,00033
190 Boçka	Çavuşlu köyü	41,44471361	41,69627307	4641607,886	5049870,634	80	0,0480000000	68,57	84,15	0,00029
191 Boçka	Aranöglü	41,39747453	41,76650184	4649425,717	5042884,363	620	0,0720000000	102,86	126,23	0,00044
192 Boçka	Efeiler	41,43906296	41,92713898	4667307,761	5049034,679	654	0,0740000000	105,71	129,74	0,00045
193 Boçka	Bayazsu	41,31391501	42,02040509	4677690,098	5030539,115	2300	0,2230000000	318,57	390,96	0,00137
194 Boçka	Kaynarca	41,33744365	41,79178514	4652240,241	5034013,667	610	0,0680000000	97,14	119,22	0,00042
195 Boçka	Çayilköy	41,4345844	41,61857691	4632958,789	5048372,175	343	0,0610000000	87,14	106,95	0,00037
196 Boçka	Çifteliköprü	41,38558219	41,56892757	4627431,85	5041126,39	429	0,0640000000	91,43	112,20	0,00039
197 Boçka	Amanlı Çoruh nehri ya	41,31779472	41,7196725	4644212,699	5031111,957	822	0,0750000000	107,14	131,49	0,00046
198 Boçka	Balcı Yayla yolu	41,32564574	41,88693498	4662832,272	5032271,273	1151	0,1140000000	162,86	199,86	0,00070
199 Boçka	Boçka Karagöl mevki	41,37883333	41,86254253	4660116,918	5040128,891	1542	0,1370000000	195,71	240,19	0,00084
200 Boçka	Denirli Şavşat sınırı	41,43110659	42,04025891	4679900,215	5047857,743	2543	0,3120000000	445,71	547,00	0,00191
201 Boçka	Muratlı	41,47985702	41,70224933	4642273,16	5055071,38	97	0,0410000000	58,57	71,88	0,00025
202 Boçka	Aranöglü Gürcistan sınırı	41,42501021	41,80911146	4654168,999	5046956,041	670	0,0850000000	121,43	149,02	0,00052
203 Boçka	Demirciler mevki	41,38493405	41,63371818	4634644,307	5041030,588	728	0,0850000000	121,43	149,02	0,00052
204 Boçka	Karçal Dağları etekleri	41,34385463	41,98999809	4674305,206	5034960,618	1908	0,2210000000	315,71	387,46	0,00136

EK-3. Her bir istasyon için sulardaki radyoaktiflik seviyeleri

Ek Tablo 2 : Arvın ili ve ilçelerine ait doğal kaynak suları için radyoaktiflik ölçüm sonuçları

Kod	İstasyonlar	İlçe	Enlem (Der.)	Boylam (Der.)	Rakım(m)	Toplam Alfa (Bq/L)	Toplam Beta(Bq/L)
S.1	Arhavi Sınır	Arhavi	41,32326504	41,24679304	8	0.016±0.004	0.077±0.009
S.2	Arhavi Merkez	Arhavi	41,35203428	41,30814222	12	0.007±0.003	0.036±0.007
S.3	Arhavi Mİrkz. Yanı	Arhavi	41,32461602	41,30416228	37	0.009±0.003	0.090±0.007
S.4	Arhavi Tünel Üst.	Arhavi	41,34256481	41,35135043	473	0.005±0.003	0.024±0.008
S.5	Çiftte köp. Arh. Arası	Arhavi	41,29697998	41,33380523	133	0.018±0.006	0.025±0.007
S.6	Çiftte Köprü	Arhavi	41,27627038	41,37591962	270	0.016±0.005	0.044±0.015
S.7	Arılı Köy mevki	Arhavi	41,26831132	41,35859874	638	0.011±0.005	0.032±0.015
S.8	Arılı Köyü Yayla Yolu	Arhavi	41,18635808	41,35205038	2142	0.013±0.005	0.031±0.016
S.9	Mencura Şelale Yolu	Arhavi	41,23787506	41,34895456	590	0.010±0.004	0.094±0.010
S.10	Küçük K. Yayla mevk.	Arhavi	41,24495626	41,3944017	1055	0.007±0.003	0.032±0.007
S.11	Düğerli Köyü	Arhavi	41,27718445	41,42570602	673	0.011±0.007	0.017±0.008
S.12	Boyuncuk Köyü	Arhavi	41,30136928	41,46938378	1052	0.025±0.010	0.020±0.013
S.13	Derecik Köyü	Arhavi	41,31714482	41,37997254	188	0.039±0.018	0.033±0.008
S.14	Dikyamaç yaylası	Arhavi	41,22265531	41,47446406	1826	0.014±0.006	0.023±0.007
S.15	Balıklı yayla yolu	Arhavi	41,33570132	41,43148508	530	0.025±0.008	0.052±0.009
S.16	Kazımiye Gürc. sınır	Hopa	41,51838095	41,56428727	349	0.013±0.006	0.085±0.014
S.17	Kaya köy	Hopa	41,49972637	41,56565528	284	0.007±0.005	0.023±0.007
S.18	Sahil Sarp sınır kapısı	Hopa	41,51852964	41,54952605	63	0.006±0.004	0.043±0.009
S.19	Akdere	Hopa	41,45868059	41,51516042	183	0.009±0.003	0.028±0.006
S.20	Kemalpaşa Merkez	Hopa	41,48121518	41,52692086	32	0.061±0.012	0.059±0.008
S.21	Başköy	Hopa	41,41707933	41,46510685	291	0.035±0.006	0.212±0.040
S.22	Esenkırı	Hopa	41,44017421	41,45587281	13	0.035±0.006	0.085±0.009
S.23	Hopa merkez	Hopa	41,38809984	41,41717149	18	0.040±0.007	0.091±0.009
S.24	Eşmekaya mevki	Hopa	41,38995386	41,46964113	110	0.054±0.007	0.159±0.012
S.25	Yeşilköy	Hopa	41,3610782	41,40441814	328	0.055±0.008	0.122±0.016
S.26	Çarımlıköy sahil	Hopa	41,37750446	41,37379246	11	0.052±0.008	0.088±0.013

Ek Tablo 2 devamı: Arvın ili ve ilçelerine ait doğal kaynak suları için radyoaktiflik ölçüm sonuçları

Kod	İstasyonlar	İlçe	Enlem (Der.)	Boylam (Der.)	Rakım(m)	Toplam Alfa (Bq/L)	Toplam Beta(Bq/L)
S.27	BalkkÖy	Hopa	41,36737101	41,46090354	305	0.066±0.009	0.100±0.014
S.28	Çavuşlu	Hopa	41,38684173	41,49695712	170	0.086±0.023	0.048±0.017
S.29	Koyuncular	Hopa	41,41322387	41,51465293	333	0.058±0.014	0.102±0.018
S.30	Çankurtaran geçidi	Hopa	41,40127544	41,53040706	696	0.028±0.007	0.032±0.009
S.31	Yüksek oba	Yusufoeli	41,06518703	41,4537025	1987	0.048±0.011	0.110±0.018
S.32	Altıparmak köyü	Yusufoeli	40,96824414	41,39287666	1166	0.033±0.008	0.082±0.037
S.33	Taşkıran köyü	Yusufoeli	40,95469583	41,49745767	848	0.043±0.009	0.177±0.030
S.34	Dereçi köyü	Yusufoeli	40,87197432	41,512287	912	0.049±0.010	0.086±0.019
S.35	Öğdem Buceğı	Yusufoeli	40,91462727	41,63388752	1550	0.027±0.007	0.242±0.024
S.36	Bahçeli Köyü	Yusufoeli	40,84480091	41,49727516	1111	0.078±0.012	0.063±0.010
S.37	Bakırtepe köyü	Yusufoeli	40,65662886	41,45757818	1903	0.071±0.014	0.170±0.018
S.38	Yaylalar su kavuşumu	Yusufoeli	40,83004015	41,19999464	2530	0.036±0.008	0.120±0.015
S.39	Yüncüler ırmak yanı	Yusufoeli	40,76291489	41,36207441	1246	0.052±0.011	0.167±0.014
S.40	Yusufoeli Merkez	Yusufoeli	40,81728365	41,54613561	593	0.066±0.015	0.068±0.014
S.41	Su kavuşumu	Yusufoeli	40,81166136	41,64141391	535	0.069±0.011	0.083±0.020
S.42	Darıca	Yusufoeli	40,74019519	41,79761259	730	0.028±0.007	0.205±0.031
S.43	Sebzeciler	Yusufoeli	40,84310402	41,67661944	590	0.043±0.009	0.189±0.023
S.44	Demirkent	Yusufoeli	40,88837887	41,74023037	733	0.034±0.010	0.076±0.011
S.45	Yarbaşı	Yusufoeli	40,96745986	41,74014466	875	0.044±0.009	0.063±0.009
S.46	Boyalı Köyü	Yusufoeli	40,98835121	41,56595986	1540	0.178±0.019	0.216±0.023
S.47	Demirköy	Yusufoeli	40,99706388	41,67704803	1000	0.069±0.018	0.161±0.023
S.48	Günyayla	Yusufoeli	40,91904208	41,86873321	1907	0.771±0.058	0.808±0.046
S.49	Geçitli Köyü	Ardanuç	41,04019309	42,2425687	1733	0.016±0.005	0.023±0.006
S.50	Tosunlu	Ardanuç	41,04892032	42,16363777	1535	0.032±0.008	0.046±0.016
S.51	Zekeriya köy	Ardanuç	40,98365095	42,15451226	1923	0.037±0.009	0.049±0.015
S.52	Müezzimler	Ardanuç	41,09409892	42,14298778	1171	0.040±0.012	0.044±0.011
S.53	Ardanuç Merkez	Ardanuç	41,12475586	42,07010133	517	0.061±0.014	0.059±0.023
S.54	Aşağı ırmaklar	Ardanuç	41,18029171	42,18144192	1407	0.127±0.018	0.084±0.017
S.55	İncili	Ardanuç	41,19154013	42,10628584	1239	0.028±0.010	0.063±0.011
S.56	Yolüstü	Ardanuç	41,15754116	42,06321016	985	0.114±0.016	0.094±0.023

Ek Tablo 2 devamı : Arvın ili ve ilçelerine ait doğal kaynak suları için radyoaktiflik ölçüm sonuçları

Kod	İstasyonlar	İlçe	Enlem (Der.)	Boylam (Der.)	Rakım(m)	Toplam Alfa (Bq/L)	Toplam Beta(Bq/L)
S.57	Hamurlu	Ardanuç	41,1388125	42,13495593	612	0.030±0.008	0.055±0.007
S.58	Soğanlı	Ardanuç	41,1663856	42,01253773	800	0.113±0.014	0.149±0.023
S.59	Bağlıca	Ardanuç	41,2376641	42,13759009	1027	0.141±0.016	0.101±0.016
S.60	Torbalı	Ardanuç	41,06943007	42,03405793	728	0.027±0.008	0.383±0.022
S.61	Peynirli	Ardanuç	41,02781866	42,05028628	1204	0.010±0.005	0.076±0.016
S.62	Meşe köy	Ardanuç	41,02938001	41,97998695	1450	0.054±0.013	0.128±0.012
S.63	Avcılar Mevkii	Ardanuç	41,1288217	41,95552683	640	0.063±0.013	0.129±0.013
S.64	Cehennem deresi	Ardanuç	41,16550032	41,97342505	404	0.056±0.010	0.248±0.026
S.65	Varlık yaylası	Merkez	41,23476352	41,90004469	1050	0.045±0.010	0.042±0.008
S.66	Seytler Kampüs	Merkez	41,19890233	41,84920174	562	0.044±0.007	0.104±0.010
S.67	Ortaköy	Merkez	41,2511749	41,99202886	773	0.045±0.009	0.111±0.019
S.68	Pınarlı	Merkez	41,25458753	42,0731706	1496	0.045±0.008	0.089±0.017
S.69	Alabalık Mevkii	Merkez	41,30792862	42,07251206	1075	0.043±0.008	0.046±0.014
S.70	Sakalar	Merkez	41,20863474	41,97725871	1242	0.041±0.010	0.041±0.017
S.71	Hamranlı Mevkii	Merkez	41,15644769	41,90938775	805	0.286±0.033	0.307±0.043
S.72	Zeytinlik	Merkez	41,11349597	41,84955453	505	0.057±0.010	0.068±0.016
S.73	Sarıbudak	Merkez	41,07699215	41,76925948	700	0.021±0.008	0.107±0.044
S.74	Dokuzoğul mekii	Merkez	41,03318564	41,78720475	418	0.009±0.005	0.407±0.033
S.75	Hızanlı Köyü	Merkez	41,04563888	41,87791887	937	0.017±0.006	0.144±0.026
S.76	Yukarımaden köyü	Merkez	40,99258095	41,86420709	894	0.023±0.006	0.057±0.016
S.77	Ağıllar	Merkez	41,0784105	41,9147972	1245	0.140±0.017	0.034±0.009
S.78	AÇÜ Misafirhane	Merkez	41,18542498	41,83136232	207	0.094±0.013	0.067±0.014
S.79	Arvin Merkez	Merkez	41,20620177	42,488046	602	0.020±0.006	0.017±0.008
S.80	Kafkasör	Merkez	41,22606983	42,37785786	1421	0.016±0.007	0.029±0.018
S.81	Hatila vadisi	Merkez	41,25233309	42,3568786	1211	0.027±0.007	0.037±0.007
S.82	Taşlıca	Merkez	41,30383856	42,3915226	605	0.013±0.006	0.023±0.007
S.83	Bakırköy	Merkez	41,27492697	42,33820424	818	0.007±0.003	0.027±0.010
S.84	Tütüncüler	Merkez	41,25083009	42,2663056	614	0.010±0.005	0.136±0.012
S.85	Karaköy Mevkii	Şavşat	41,32480734	42,30664128	2425	0.018±0.006	0.013±0.008
S.86	Yavuzköy	Şavşat	41,41433005	42,26494148	1388	0.016±0.005	0.110±0.010

Ek Tablo 2 devamı: Arvin ili ve ilçelerine ait doğal kaynak suları için radyoaktiflik ölçüm sonuçları

Kod	İstasyonlar	İlçe	Enlem (Der.)	Boylam (Der.)	Rakım(m)	Toplam Alfa (Bq/L)	Toplam Beta(Bq/L)
S.87	Şavşat Merkez	Şavşat	41,37240809	42,36365217	1123	0.009±0.006	0.066±0.014
S.88	Cevizli Köyü	Şavşat	41,35470312	42,469207	1233	0.046±0.009	0.093±0.029
S.89	Kurudere	Şavşat	41,38154995	42,14153546	1085	0.074±0.011	0.157±0.022
S.90	Dalkırmaz	Şavşat	41,26325091	42,19173751	1079	0.017±0.005	0.167±0.012
S.91	Kayabaşı	Şavşat	41,38032346	42,24450316	1709	0.030±0.008	0.043±0.017
S.92	Meydancık	Şavşat	41,32591124	42,23735328	902	0.017±0.009	0.032±0.012
S.93	Şenköy	Şavşat	41,20316707	42,28656752	1524	0.032±0.012	0.060±0.017
S.94	Pınarlı	Şavşat	41,17442335	42,30888738	1832	0.011±0.003	0.025±0.006
S.95	Maden Köyü	Şavşat	41,25359736	41,58799588	1642	0.006±0.003	0.024±0.006
S.96	Eskikale mevki	Şavşat	41,19298255	41,54830698	617	0.017±0.006	0.050±0.009
S.97	Obaköy	Şavşat	41,22501731	41,5445968	1547	0.011±0.006	0.022±0.012
S.98	Dereci	Şavşat	41,29038283	41,59531627	752	0.019±0.006	0.029±0.008
S.99	Ziyaret	Şavşat	41,30673608	41,50874156	1470	0.020±0.010	0,019±0.010
S.100	Hanlı	Şavşat	41,28300442	41,56462353	1415	0.015±0.007	0.070±0.030
S.101	Damar	Murgul	41,30809645	41,62248112	1085	0.014±0.006	0.026±0.013
S.102	Su kavuşumu	Murgul	41,29949203	41,56949203	832	0.028±0.007	0.045±0.016
S.103	Kabaca	Murgul	41,3325254	41,64917558	674	0.024±0.009	0.035±0.014
S.104	Çimenli	Murgul	41,36620396	41,68432524	516	0.042±0.008	0.087±0.010
S.105	Başköy yaylası	Murgul	41,44471361	41,69627307	929	0.032±0.008	0.049±0.009
S.106	Murgul merkez	Murgul	41,39747453	41,76650184	423	0.017±0.007	0.034±0.021
S.107	Erenköy	Murgul	41,43906296	41,92713898	235	0.026±0.012	0.043±0.008
S.108	Küre	Murgul	41,35303476	41,95084648	435	0.039±0.010	0.066±0.008
S.109	Civan köyü	Borçka	41,33744365	41,79178514	191	0.029±0.015	0.198±0.015
S.110	Borçka Merkez	Borçka	41,4345844	41,61857691	117	0.027±0.005	0.065±0.008
S.111	Çavuşlu köyü	Borçka	41,38558219	41,56892757	80	0.030±0.006	0.065±0.008
S.112	Atanoğlu	Borçka	41,27601404	41,73304557	620	0.050±0.007	0.112±0.010
S.113	Eteiler	Borçka	41,24037003	41,80562627	654	0.036±0.006	0.086±0.008
S.114	Beyazsu	Borçka	41,18382309	41,80877787	2300	0.033±0.009	0.032±0.008
S.115	Kaynarca	Borçka	41,17578649	41,71585293	610	0.025±0.007	0.072±0.022
S.116	Çaylıköy	Borçka	41,1207252	41,63405264	343	0.023±0.006	0.039±0.014
S.117	Çifteliköprü	Borçka	41,14102657	41,74252387	429	0.021±0.006	0.022±0.008

EK-4. Her bir istasyon için topraklardaki radyoaktiflik seviyeleri

Ek Tablo 3 : Arvın ili ve ilçelerine ait toprak numularının istasyonlara ait radyoaktiflik ölçüm sonuçları

Kod	İstasyonlar	İlçe	Enlem (Der.)	Boylam (Der.)	Rakım(m)	K-40 (Bq/kg)	Cs-137 (Bq/kg)	U-238 (Bq/kg)	Ra-226 (Bq/kg)	Th-232 (Bq/kg)
S.1	Arhavi Sınır	Arhavi	41,32326504	41,24679304	8	39.7±13.9	7.2±0.9	7.4±1.8	20.8±3.8	7.6±4.3
S.2	Arhavi Merkez	Arhavi	41,35203428	41,30814222	12	7.0±1.2	11.0±1.4	4.3±1.6	25.6±11.8	13.1±1.3
S.3	Arhavi Mırkz. Yanı	Arhavi	41,32461602	41,30416228	37	96.6±18.2	9.3±1.3	8.7±2.3	12.3±5.2	17.4±4.9
S.4	Arhavi Tünel Üst.	Arhavi	41,34256481	41,35135043	473	10.8±1.3	17.3±2.0	3.6±1.2	39.7±7.9	12.3±4.2
S.5	Çiftte köp. Arh. Arası	Arhavi	41,29697998	41,33380523	133	892.7±372.0	3.5±0.6	34.4±4.2	17.2±2.0	38.9±9.5
S.6	Çiftte Köprü	Arhavi	41,27627038	41,37591962	270	13.8±1.4	56.5±7.3	5.4±1.0	29.8±8.7	26.3±4.3
S.7	Arılı Köy mevki	Arhavi	41,26831132	41,35859874	638	270.2±20.0	27.3±4.1	29.5±3.0	96.8±21.6	40.0±9.9
S.8	Arılı Köyü Yayla Yolu	Arhavi	41,18635808	41,35205038	2142	297.9±22.9	38.4±5.4	25.2±1.9	72.6±11.2	58.6±13.8
S.9	Mencura Şelale Yolu	Arhavi	41,23787506	41,34895456	590	119.5±14.6	19.6±2.6	2.8±0.3	7.3±4.3	3.3±0.7
S.10	Küçük K. Yayla mevki.	Arhavi	41,24495626	41,3944017	1055	74.1±15.6	112.0±15.7	12.8±1.2	36.5±11.4	43.5±5.8
S.11	Dülgerli Köyü	Arhavi	41,27718445	41,42570602	673	584.8±249.1	8.0±1.0	27.8±3.4	77.2±19.6	57.8±12.8
S.12	Boyuncuk Köyü	Arhavi	41,30136928	41,46938378	1052	523.3±207.6	1.0±0.4	22.5±1.8	46.2±12.0	35.2±9.5
S.13	Derecik Köyü	Arhavi	41,31714482	41,37997254	188	184.4±118.7	32.9±4.5	10.9±1.6	19.1±11.8	13.8±4.5
S.14	Dikyamaç yaylası	Arhavi	41,22265531	41,47446406	1826	294.8±263.5	<(1.4)	13.6±1.8	48.7±24.8	22.3±7.3
S.15	Balkılı yayla yolu	Arhavi	41,33570132	41,43148508	530	119.1±99.4	<(0.9)	5.8±1.0	7.8±7.5	7.8±3.0
S.16	Kazımlıye Gürc. sınır	Hopa	41,51838095	41,56428727	349	753.0±318.0	8.0±0.9	<(1.6)	<(1.3)	48.0±10.3
S.17	Kaya köy	Hopa	41,49972637	41,56565528	284	43.1±15.7	6.5±0.9	<(1.6)	13.3±8.5	8.2±4.2
S.18	Sahil Sarp sınır kapısı	Hopa	41,51852964	41,54952605	63	319.2±216.1	123.2±14.4	7.2±0.9	42.0±20.1	13.0±4.9
S.19	Akdere	Hopa	41,45868059	41,51516042	183	240.9±130.8	35.7±5.2	5.6±0.9	11.4±9.6	12.6±3.8
S.20	Kemalpaşa Merkez	Hopa	41,48121518	41,52692086	32	428.1±137.4	46.7±18.5	4.9±3.8	20.8±11.2	4.7±3.9
S.21	Başköy	Hopa	41,41707933	41,46510685	291	392.9±56.1	57.0±10.4	<(1.8)	<(1.3)	<(0.9)
S.22	Esenkırı	Hopa	41,44017421	41,45567281	13	55.8±15.4	35.1±12.6	4.6±1.8	41.9±12.0	10.0±4.9
S.23	Hopa merkez	Hopa	41,38809984	41,41717149	18	82.5±9.6	2.4±0.5	<(1.9)	<(1.4)	<(1.0)
S.24	Eşmekaya mevki	Hopa	41,38995386	41,46964113	110	427.5±266.7	74.7±12.3	15.4±2.2	42.5±18.2	22.8±7.6
S.25	Yeşilköy	Hopa	41,3610782	41,40441814	328	104.9±19.5	42.5±5.2	5.4±1.4	23.4±11.9	14.4±4.1
S.26	Çarnıkköy sahil	Hopa	41,37750446	41,37379246	11	302.9±152.4	1.4±0.5	20.8±1.9	50.0±16.9	46.4±12.8

Ek Tablo 3 devamı : Arvın ili ilçelerine ait toprak numunelerinin istasyonlara ait radyoaktiflik ölçüm sonuçları

Kod	İstasyonlar	İlçe	Enlem (Der.)	Boylam (Der.)	Rakım(m)	K-40 (Bq/kg)	Cs-137 (Bq/kg)	U-238 (Bq/kg)	Ra-226 (Bq/kg)	Th-232 (Bq/kg)
S.27	BalkkÖy	Hopa	41,36737101	41,46090354	305	180.7±111.5	3.1±0.5	<(1.0)	<(0.6)	<(0.5)
S.28	Çavuşlu	Hopa	41,38684173	41,49695712	170	335.0±266.6	10.4±1.5	34.6±6.6	70.6±14.0	154.0±31.0
S.29	Koyuncular	Hopa	41,41322387	41,51465293	333	159.4±41.7	85.3±9.7	13.9±3.8	57.8±35.0	35.6±14.3
S.30	Çankurtaran geçidi	Hopa	41,40127544	41,53040706	696	327.0±132.2	200.0±31.9	4.5±1.4	14.7±2.0	18.4±6.8
S.31	Yüksek oba	Yusufoeli	41,06518703	41,4537025	1987	688.7±236.4	4.9±0.6	18.7±2.3	51.0±8.4	27.7±6.4
S.32	Altıparmak köyü	Yusufoeli	40,96824414	41,39287666	1166	349.6±173.7	3.5±0.7	7.7±1.5	11.8±10.6	12.6±5.0
S.33	Taşkıran köyü	Yusufoeli	40,95469583	41,49745767	848	270.4±139.8	2.6±0.6	7.0±1.4	<(1.3)	7.1±3.7
S.34	Dereçi köyü	Yusufoeli	40,87197432	41,512287	912	313.4±144.4	7.4±0.9	10.9±1.4	29.2±8.8	13.5±3.7
S.35	Öğdem Buceağı	Yusufoeli	40,91462727	41,63388752	1550	459.6±255.2	9.4±1.3	27.8±2.9	37.7±20.2	35.3±10.0
S.36	Bahçeli Köyü	Yusufoeli	40,84480091	41,49727516	1111	554.3±214.8	16.5±2.5	18.5±3.3	27.6±11.4	25.6±6.2
S.37	Bakırtepe köyü	Yusufoeli	40,65662886	41,45757818	1903	321.8±134.9	2.3±0.4	23.8±1.9	64.6±7.0	16.6±4.5
S.38	Yaylalar su kavuşumu	Yusufoeli	40,83004015	41,19999464	2530	187.2±114.9	2.4±0.4	18.5±1.8	53.4±29.5	26.6±5.7
S.39	Yüncüler ırmak yanı	Yusufoeli	40,76291489	41,36207441	1246	1863.0±1471.0	<(1.4)	181.9±31.4	46.6±12.1	64.4±50.0
S.40	Yusufoeli Merkez	Yusufoeli	40,81728365	41,54613561	593	179.4±108.7	4.9±0.9	48.7±14.0	38.2±7.4	49.1±11.2
S.41	Su kavuşumu	Yusufoeli	40,81166136	41,64141391	535	1604.0±1362.0	136.3±17.3	138.8±20.3	254.3±134.9	173.5±60.6
S.42	Darıca	Yusufoeli	40,74019519	41,79761259	730	380.6±178.9	<(0.8)	<(2.0)	25.3±7.0	7.8±3.5
S.43	Sebzeciler	Yusufoeli	40,84310402	41,67661944	590	139.2±102.6	1.4±0.3	10.3±1.1	27.8±6.7	20.0±5.6
S.44	Demirkent	Yusufoeli	40,88837887	41,74023037	733	84.0±15.1	3.8±0.5	12.9±3.6	<(1.9)	20.4±6.0
S.45	Yarbaşı	Yusufoeli	40,96745986	41,74014466	875	523.1±197.7	<(1.6)	37.4±3.3	47.0±12.1	53.3±10.5
S.46	Boyalı Köyü	Yusufoeli	40,98835121	41,56595986	1540	374.6±153.0	6.2±0.8	14.9±1.5	33.2±10.6	26.7±6.1
S.47	Demirköy	Yusufoeli	40,99706388	41,67704803	1000	390.7±167.1	2.9±0.4	13.7±1.6	38.6±10.5	25.3±6.0
S.48	Günyayla	Yusufoeli	40,91904208	41,86873321	1907	430.5±208.7	1.5±0.4	14.4±1.9	46.7±12.2	29.9±9.2
S.49	Geçitli Köyü	Ardanuç	41,04019309	42,2425687	1733	212.8±24.5	<(0.9)	6.9±2.9	33.6±11.9	14.3±6.4
S.50	Tosunlu	Ardanuç	41,04892032	42,16363777	1535	181.5±18.4	21.7±2.8	3.4±0.8	25.5±8.9	6.1±3.6
S.51	Zekeriya köy	Ardanuç	40,98365095	42,15451226	1923	1031.0±390.1	7.2±0.8	28.0±3.2	27.4±18.3	53.6±12.3
S.52	Müezzinler	Ardanuç	41,09409892	42,14298778	1171	128.1±95.6	8.0±1.2	7.0±1.2	<(1.2)	9.6±3.3
S.53	Ardanuç Merkez	Ardanuç	41,12475586	42,07010133	517	182.1±126.3	<(0.8)	5.6±1.0	20.7±10.1	10.4±4.3
S.54	Aşağı ırmaklar	Ardanuç	41,18029171	42,18144192	1407	1015.0±396.1	13.9±1.4	44.8±3.6	142.4±24.1	88.4±17.9
S.55	İncili	Ardanuç	41,19154013	42,10628584	1239	1169.0±414.0	21.6±2.2	31.3±23.2	166.6±17.3	50.5±12.3
S.56	Yolüstü	Ardanuç	41,15754116	42,06321016	985	468.3±278.0	7.4±1.0	15.4±1.8	48.0±14.0	35.6±9.7

Ek Tablo 3 devamı : Arvin ili ve ilçelerine ait toprak numulerinin istasyonlara ait radyoaktiflik ölçüm sonuçları

Kod	İstasyonlar	İlçe	Enlem (Der.)	Boylam (Der.)	Rakım(m)	K-40 (Bq/kg)	Cs-137 (Bq/kg)	U-238 (Bq/kg)	Ra-226 (Bq/kg)	Th-232 (Bq/kg)
S.57	Hamurlu	Ardanuç	41,1388125	42,13495593	612	662.5±310.7	11.1±1.5	22.1±2.9	77.3±19.4	37.0±10.0
S.58	Soğanlı	Ardanuç	41,1663856	42,01253773	800	635.5±317.9	10.0±1.7	22.1±2.5	65.8±20.0	34.8±9.2
S.59	Bağlıca	Ardanuç	41,2376641	42,13759009	1027	401.9±167.0	3.0±0.5	16.7±1.5	39.9±11.5	26.6±6.0
S.60	Torbali	Ardanuç	41,06943007	42,03405793	728	483.4±281.3	16.4±1.7	16.3±2.2	68.0±24.4	32.4±9.2
S.61	Peynirli	Ardanuç	41,02781866	42,05028628	1204	156.2±99.9	6.2±0.9	10.0±1.3	14.1±9.2	12.0±3.2
S.62	Meşe köy	Ardanuç	41,02938001	41,97998695	1450	203.4±117.2	2.0±0.4	8.6±1.1	43.3±7.5	13.1±4.3
S.63	Avcılar Mevkii	Ardanuç	41,1288217	41,95552683	640	102.9±10.9	1.5±0.3	3.7±1.0	12.9±10.2	5.3±3.8
S.64	Cehennem deresi	Ardanuç	41,16550032	41,97342505	404	263.1±146.0	6.5±1.1	11.9±1.7	30.4±24.9	16.3±5.7
S.65	Varlık yaylası	Merkez	41,23476352	41,90004469	1050	351.8±162.7	<(1.0)	21.0±3.4	43.5±12.6	51.0±11.5
S.66	Seyitler Kampüsü	Merkez	41,19890233	41,84920174	562	154.3±112.5	4.2±0.6	11.2±1.4	40.9±8.1	17.7±5.0
S.67	Ortaköy	Merkez	41,25117749	41,99202886	773	252.7±144.4	<((0.9)	6.6±5.3	33.3±8.1	11.9±4.6
S.68	Pınarlı	Merkez	41,25458753	42,0731706	1496	487.6±192.5	1.3±0.3	18.5±1.9	42.5±11.4	30.8±7.7
S.69	Alabalık Mevkii	Merkez	41,30792862	42,07251206	1075	525.3±307.9	2.1±0.7	22.3±3.0	88.2±16.8	46.0±13.5
S.70	Sakalar	Merkez	41,20863474	41,97725871	1242	268.1±145.9	<(1.5)	9.2±1.1	20.6±2.4	23.0±6.0
S.71	Hamranlı Mevkii	Merkez	41,15644769	41,90938775	805	514.6±283.3	5.6±0.9	23.2±4.4	79.4±19.7	49.8±15.0
S.72	Zeytinlik	Merkez	41,11349597	41,84955453	505	3319.0±1857.0	101.7±15.7	128.9±21.6	444.1±90.5	246.0±75.9
S.73	Sarıbudak	Merkez	41,07699215	41,76925948	700	563.2±287.2	<(0.7)	17.6±4.2	51.0±14.0	34.9±9.1
S.74	Dokuzoğul mekii	Merkez	41,03318564	41,78720475	418	330.7±155.7	16.6±2.3	4.7±1.7	17.6±9.6	14.2±4.0
S.75	Hızanlı Köyü	Merkez	41,04563888	41,87791887	937	178.8±11.8	2.0±0.4	8.7±3.8	<(1.3)	6.7±4.8
S.76	Yukarımaden köyü	Merkez	40,99258095	41,86420709	894	382.8±165.6	1.3±0.3	13.0±1.8	28.7±9.7	27.2±7.0
S.77	Ağllar	Merkez	41,0784105	41,9147972	1245	233.9±119.0	<(1.3)	9.4±1.6	33.2±9.9	15.0±4.2
S.78	AÇÜ Misafirhane	Merkez	41,18542498	41,83136232	207	811.4±92.9	1.3±0.3	4.1±1.6	10.3±9.5	4.3±3.3
S.79	Arvin Merkez	Merkez	41,20620177	42,488046	602	386.6±239.6	1.4±0.5	17.9±2.1	55.8±18.2	37.6±11.6
S.80	Kafkasör	Merkez	41,22606983	42,37785786	1421	473.3±292.4	2.9±0.5	18.4±2.4	71.6±46.3	42.9±12.3
S.81	Hatla vadisi	Merkez	41,25233309	42,3566786	1211	334.2±297.2	1.5±0.3	19.7±2.6	43.2±13.8	34.3±10.9
S.82	Taşlıca	Merkez	41,30383856	42,3915226	605	345.2±273.7	2.5±0.6	9.8±2.3	44.2±19.9	29.9±11.9
S.83	Bakırköy	Merkez	41,27492697	42,33820424	818	399.8±289.1	1.9±0.4	19.0±2.6	41.8±12.1	41.1±10.9
S.84	Tütüncüler	Merkez	41,25083009	42,2663056	614	251.7±219.3	<(1.5)	8.9±1.8	47.6±14.1	21.4±7.7
S.85	Karaköy Mevkii	Şavşat	41,32480734	42,30664128	2425	136.1±108.4	3.4±0.4	5.1±1.1	38.5±8.4	16.4±5.0
S.86	Yavuzköy	Şavşat	41,41433005	42,26494148	1388	534.5±163.7	38.6±5.6	17.1±1.0	24.1±18.4	10.7±4.3

Ek Tablo 3 devamı : Arvin ili ilçelerine ait toprak numunelerinin istasyonlara ait radyoaktiflik ölçüm sonuçları

Kod	İstasyonlar	İlçe	Enlem (Der.)	Boylam (Der.)	Rakım(m)	K-40 (Bq/kg)	Cs-137 (Bq/kg)	U-238 (Bq/kg)	Ra-226 (Bq/kg)	Th-232 (Bq/kg)
S.87	Şavşat Merkez	Şavşat	41,37240809	42,36365217	1123	95.2±84.8	<(0.7)	8.5±6.5	<(1.4)	21.6±6.8
S.88	Cevizli Köyü	Şavşat	41,35470312	42,469207	1233	132.8±100.0	<(1.2)	7.1±1.2	23.2±6.5	7.7±3.0
S.89	Kurudere	Şavşat	41,38154995	42,14153546	1085	254.7±129.1	4.4±0.6	8.1±1.5	<(1.6)	12.3±4.1
S.90	Dalkırmaz	Şavşat	41,26325091	42,19173751	1079	442.2±236.9	<(2.3)	44.2±3.7	148.9±50.7	77.5±15.7
S.91	Kayabaşı	Şavşat	41,38032346	42,24450316	1709	284.0±142.2	1.1±0.3	7.0±1.0	12.0±8.8	10.0±3.8
S.92	Meydancık	Şavşat	41,32591124	42,23735328	902	314.9±155.6	<(1.2)	3.4±0.9	<(1.4)	7.8±3.6
S.93	Şenköy	Şavşat	41,20316707	42,28656752	1524	877.2±392.7	2.0±0.6	4.8±2.9	36.0±17.5	24.5±9.3
S.94	Pınarlı	Şavşat	41,17442335	42,30888738	1832	548.8±193.2	2.4±0.4	62.4±6.4	194.4±16.0	22.1±5.3
S.95	Maden Köyü	Şavşat	41,25359736	41,58799588	1642	147.4±103.6	<(1.2)	6.6±0.9	17.3±8.6	12.4±3.7
S.96	Eskikale mevki	Şavşat	41,19298255	41,54830698	617	76.7±57.8	<(1.3)	<(2.0)	<(1.4)	<(1.1)
S.97	Obaköy	Şavşat	41,22501731	41,5445968	1547	270.0±210.8	1.8±0.5	14.3±2.8	40.5±37.6	43.8±9.5
S.98	Dereci	Şavşat	41,29038283	41,59531627	752	712.2±320.9	4.0±0.8	22.3±2.2	83.2±14.4	24.7±7.5
S.99	Ziyaret	Şavşat	41,30673608	41,50874156	1470	190.8±121.3	1.6±0.4	12.4±3.5	11.0±6.1	18.1±7.8
S.100	Hanlı	Şavşat	41,28300442	41,56462353	1415	281.5±124.5	3.0±0.4	5.6±0.9	24.9±5.8	12.6±3.7
S.101	Damar	Murgul	41,30809645	41,62248112	1085	146.0±19.4	<(1.5)	9.0±3.0	27.5±18.4	25.2±8.5
S.102	Su kavuşumu	Murgul	41,29949203	41,56949203	832	284.0±30.1	<(1.7)	8.1±2.0	19.5±15.6	11.9±6.8
S.103	Kabaca	Murgul	41,3325254	41,64917558	674	410.5±282.0	8.9±1.0	9.4±0.7	49.4±13.5	12.0±5.5
S.104	Çimenli	Murgul	41,36620396	41,68432524	516	164.7±119.4	<(0.7)	5.3±1.2	17.1±12.2	8.4±3.8
S.105	Başköy yaylası	Murgul	41,44471361	41,69627307	929	961.1±611.7	1.6±0.3	5.9±2.4	11.5±5.8	10.2±3.8
S.106	Murgul merkez	Murgul	41,39747453	41,76650184	423	555.3±340.0	1.4±0.3	5.3±2.0	<(1.8)	13.0±7.2
S.107	Erenköy	Murgul	41,43906296	41,92713898	235	376.7±300.3	29.7±3.5	10.9±2.3	41.8±12.9	17.8±7.5
S.108	Küre	Murgul	41,35303476	41,95084648	435	251.7±129.0	10.4±1.4	6.5±1.3	17.9±2.3	7.4±3.1
S.109	Civan köyü	Borçka	41,33744365	41,79178514	191	100.2±18.6	1.1±0.2	9.0±1.5	11.0±9.6	16.8±5.6
S.110	Borçka Merkez	Borçka	41,4345844	41,61857691	117	142.0±100.0	<(0.6)	<(1.6)	<(1.1)	<(0.8)
S.111	Çavuşlu köyü	Borçka	41,38558219	41,56892757	80	71.7±21.0	18.4±2.3	3.7±1.6	33.1±10.6	7.4±6.3(1.3)
S.112	Atanoğlu	Borçka	41,27601404	41,73304557	620	194.7±68.1	8.4±1.3	<(2.2)	13.5±7.4	<(1.1)
S.113	Efele	Borçka	41,24037003	41,80562627	654	550.7±274.2	4.2±0.9	16.1±1.9	67.0±14.3	23.0±6.7
S.114	Beyazsu	Borçka	41,18382309	41,80877787	2300	44.7±5.1	<(1.0)	<(1.7)	5.1±4.9	<(0.9)
S.115	Kaynarca	Borçka	41,17578649	41,71585293	610	502.7±190.0	1.8±0.4	12.2±1.1	41.0±7.3	24.8±6.3
S.116	Çaylıköy	Borçka	41,1207252	41,63405264	343	512.7±192.5	2.1±3.3	12.5±1.1	25.1±19.4	26.6±5.4
S.117	Çifte köprü	Borçka	41,14102657	41,74252387	429	453.5±282.9	3.6±0.5	20.9±2.5	62.6±11.7	40.9±10.5

Radioactivity Survey and Risk Assessment Study for Drinking Water in the Artvin Province, Turkey

Yaşar Kobya · Halim Taşkın · Cafer Mert Yeşilkanat ·
Uğur Çevik · Gürsel Karahan · Bakiye Çakır

Received: 13 November 2014 / Accepted: 2 February 2015

© Springer International Publishing Switzerland 2015

Abstract In this study, 117 spring water samples, collected across the Artvin province, were analyzed for gross α and gross β radioactivity. The values of the activity concentrations of the gross α and gross β measured in the natural spring water samples ranged from 5 to 771 mBqL⁻¹ with the mean of 46 mBqL⁻¹ and from 13 to 808 mBqL⁻¹ with the mean of 91 mBqL⁻¹. All values of measured water samples except one were within the limits, as recommended by the World Health Organization (WHO). Gross alpha- and beta-interpolated values of the region were determined and mapped by using the Kriging method. In addition to the measured gross alpha and beta activity result of natural spring water samples, for each sample, annual effective dose equivalent was calculated and lifetime cancer risks were estimated. Our study showed that two values of water samples exceeded WHO limits and lifetime

cancer risk due to the water radioactivity ranges between 1.3×10^{-5} and 20.6×10^{-4} with the mean of 10.1×10^{-5} .

Keywords Gross α –gross β · Natural spring water · Geostatistical analysis · Effective dose equivalent · Lifetime risk · Artvin

1 Introduction

We live in an environment which contains radiation originating from man-made and natural resources that may pose a threat for human health in case they exceed certain values. In our environment, air, water, soil, and foodstuff contain some radioactive isotopes such as uranium, radium, thorium, and radon that emit alpha, beta, and gamma radiation to the environment. Water quality has an importance in environmental studies because of its daily human consumption and its ability to transport pollutants in nature (Amrani, 2002). Radionuclides in drinking water cause internal exposure in humans, which occurs when the decayed radionuclides are taken into the body through ingestion and indirect inhalation when they are incorporated as part of the human food chain (Değerlier and Karahan, 2010). Since radionuclides (²²⁶Ra, ²²⁸Ra, ²¹⁰Po, ⁴⁰K) present similarities in structural characteristics to Ca and its precipitates, their accumulation in the body occurs especially in bones and teeth (Dewit et al. 2001; Wrenn et al., 1985; Whicker and Schultz, 1982).

There are several standards limiting the amount of radionuclide concentration in drinking water. The

Y. Kobya (✉)

Faculty of Engineering, Energy Systems Engineering, Artvin
Çoruh University, 08000 Artvin, Turkey
e-mail: ykobya@gmail.com

H. Taşkın · G. Karahan

Cekmece Nuclear Research and Training Centre, TAEK,
Halkali, 34303 Istanbul, Turkey

C. M. Yeşilkanat · B. Çakır

Department of Physics, Faculty of Art and Science, Artvin
Çoruh University, 08000 Artvin, Turkey

U. Çevik

Department of Physics, Faculty of Science, Karadeniz
Technical University, 61000 Trabzon, Turkey

practical approach is to use a screening procedure with no regard to the identity of specific radionuclides (WHO, 2011). Measurement of the activity concentrations of the gross α and gross β is suitable for a preliminary screening procedure to determine whether further analysis related to a specific radionuclide is necessary (Turhan, 2013). Also, the gross α and gross β activity can be used for detecting changes in the radiological characteristics of the drinking water sources (WHO, 2011). Generally, limit values of gross α and gross β have been recommended as 500 and 1000 mBqL⁻¹, respectively. Below these limit values of gross α and gross β , drinking water is acceptable for human consumption and no action to reduce radioactivity is required.

There are some studies about varied water (tap, surface, ground, natural spring, thermal, and mineral) radioactivity concentration in Turkey and several other countries (Karahan et al., 2000; Bozkurt et al., 2007; Forte et al., 2007; Bonotto et al., 2009; Değerlier and Karahan, 2010; Kobya et al., 2010; Görür et al., 2011; Jobbagy et al., 2011; Taskin et al., 2012; Turhan et al., 2013; Görür and Camgöz, 2014). However, particular systematic data on the radioactivity of natural spring water sources in the Artvin province is not available in the literature.

The province of Artvin is situated in the most northeast of Turkey between the latitudes of 40° 36' and 41° 31' N and the longitudes of 41° 09' and 42° 35' E. The Artvin province has an area of 7436 km² and nearly 1 % of Turkey's total geographical area. It has a high hydroelectric energy potential and rich spring water sources. The spring water of this region is not only consumed by the 200,000 people living in the Artvin province but also bottled and distributed for consumption across the country. Due to this fact, it is important to measure the radioactivity level for the spring water of the region in order to determine the lifetime cancer risk for consumers. Some countries have established their own water quality standards to meet their national priorities, taking into account their economic, technical, social, cultural, and political requirements (Fatima, 2007). Turkey did not have guidelines for gross α and gross β activity concentrations in drinking water until the first guidelines were put into effect by the Institute of Turkish Standards in 1997 (Görür and Camgöz, 2014).

The aim of this study is to determine the gross α and gross β concentrations in natural spring water, to evaluate the effective dose equivalent due to water

radioactivity concentration and excess lifetime cancer risk assessment, and to determine the distribution of lifetime risk in terms of water radioactivity by calculating the lifetime cancer risk for the Artvin province.

2 Material and Methods

2.1 Sample Collection

In order to measure the gross α and gross β activities in water, natural spring water samples were collected from 117 different sampling stations in the Artvin Province. Sampling sites are listed in Table 1 and shown in Fig. 1. The natural spring water samples were collected in 5000 mL capacity polystyrene bottles. Then, water samples were acidified with HNO₃ to pH 2 to prevent any loss by sorption of the radionuclides around the container walls and to reduce the growth of microorganisms.

2.2 Experimental Procedure

The activity concentrations of gross α and gross β in the natural spring water samples were measured using a gas proportional alpha/beta counter of low background multiple detector type (Berthold LB 770). LB 770 10-channel α - β low-level counter is capable of measuring α - β of 10 planchets simultaneously. For each sample, there are two separate measuring channels for alpha and beta activities. Slider and counter tubes are surrounded by a 100-mm-thick shielding made of machined lead bricks to reduce ambient radiation. The background of each detector was determined by counting an empty planchet for 100 min. The calibration of the system was performed by using one planchet containing a certified solution of ²⁴¹Am and another planchet containing certified solution of ⁹⁰Sr/⁹⁰Y (Turhan et al., 2013).

The minimum detectable activity (MDA) was calculated using (Görür et al., 2011):

$$\text{MDA} \left(\text{Bq/L} \right) = \frac{2.71 + 4.65 \sqrt{\text{CR}_B T}}{V T \varepsilon 60} \quad (1)$$

where CR_B is the background count rate (counts per minute), *V* is the volume sample (L), *T* is the measurement time (min), and ε is efficiency. The MDA for gross α and gross β was calculated as 5 and 7 mBqL⁻¹, respectively.

Table 1 Activity concentrations of gross alpha and gross beta in natural spring water samples

Places	Sample number	Gross α (mBqL ⁻¹)				Gross β (mBqL ⁻¹)			
		Min.	Max.	Mean	SD	Min.	Max.	Mean	SD
Artvin Centrum	20	7±3	286±33	50±9	62.71	41±17	407±33	141±17	77.89
Arhavi	15	5±3	39±18	15±6	8.91	17±8	94±10	42±9	25.15
Hopa	15	6±4	86±23	40±8	24.27	23±7	212±40	85±13	51.5
Yusufeli	18	27±7	771±58	96±13	171.70	63±10	808±46	171±21	89.87
Ardanuç	16	10±5	141±16	59±11	41.61	23±6	383±22	108±16	61.45
Şavşat	16	6±3	74±11	22±7	17.47	13±8	167±12	61±14	47.85
Murgul	8	14±6	42±8	27±8	9.77	26±13	87±10	48±12	19.74
Borçka	9	21±6	50±7	30±7	8.71	22±8	198±15	76±11	43.17
Provincial wide	117	5±3	771±58	46±9	77.56	13±8	808±46	91±15	97.03

SD standard deviation

2.3 Measurement of the Gross α in the Natural Spring Water Samples

The activity concentrations of gross α of the ground water samples were measured using method SM 7110 precipitation. Two hundred fifty-milliliter aliquot of each sample was transferred to a beaker. Drops of 2–3 dilute detergent was added to the prepared aliquot. The

beaker placed on hot-plate magnetic stirrer was mixed by adding 20 mL of 2 N H₂SO₄. The stirring process was continued for 10 min after boiling to ensure more mixing of the solution. Then, 0.5 mL of barium carrier was added to the solution, and the stirring process was continued for 30 min. Bromocresol purple indicator (0.5 mL), 1 mL of iron carrier, and 5 mL of paper pulp/water mixture were added. Drops of 6 NH₄OH

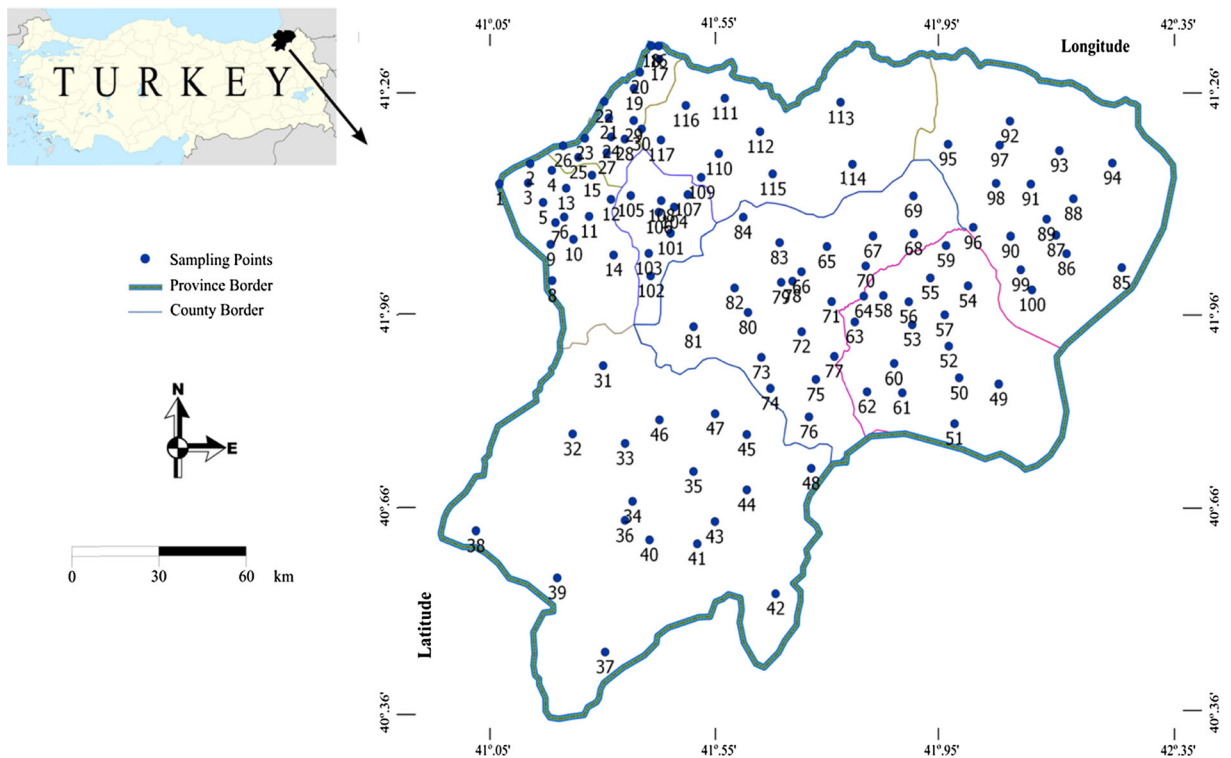


Fig. 1 Study area and samples collection points in Artvin Province, Turkey

M were added until the color of the solution turned from yellow to purple, and the stirring process was continued for 30 min more. Then, the solution was allowed to stand for precipitation. The precipitate was then filtered through a filter paper with a vacuum pump. Finally, the precipitate was dried under an infrared lamp. The residue was counted twice for a period of 100 min. The gross α activity concentration was determined by taking the average result of the two counts. The abovementioned procedures were repeated for each water sample (Turhan et al., 2013).

2.4 Measurement of Gross β in the Natural Spring Water Samples

Measurements of the activity concentrations of gross β in the natural spring water samples were performed using the EPA 900 evaporation method (Krieger and Whittaker, 1980). Two hundred fifty-milliliter aliquot of each sample prepared in a beaker was first acidified with HNO_3 of 2–3 mL, and then the solution was evaporated to a volume of 15–20 mL on a hot plate. The solution was transferred on a tared 6-cm diameter steel planchet and dried in an oven at 105 °C for at least 2 h. The sample residue was cooled in a desiccator for about 30 min, and then it was weighed. The residue was counted twice for a period of 500 min. The gross β activity concentration was determined by taking the average result of two counts. The abovementioned procedures were repeated for each water sample (Turhan et al., 2013).

2.5 Determination of the Effective Dose Equivalent

To calculate the doses, we used (Sajo-Bohus et al., 1996; USA-EPA, 1998):

$$DR_W = A_W \times IR_W \times ID_F \times 2 \quad (\text{for both } \alpha \text{ and } \beta) \quad (2)$$

where DR_W is the dose equivalent effective (Sv/year), A_W is activity (Bq/L), IR_W is the intake of water for one person in 1 year (730 L), and ID_F is the ingestion effective dose equivalent factor for 3.58×10^{-7} Sv/Bq for alpha. In the calculation following the procedures of Fernandez et al. (1992), it is considered that more than 50 % of the annual dose corresponds to radium (gross alpha radium).

2.6 Lifetime Risk Assessment

Lifetime cancer risk assessment was calculated using:

$$\text{Lifetime Risk} = DR_W \times DL \times RF \quad (3)$$

where DR_W is the annual effective dose equivalent (Sv/year), DL is duration of life (70 years), and RF is risk factor (Sv^{-1}). For risk assessment, the nominal probability coefficient of $7.3 \times 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$ recommended by ICRP (1991) was adopted (Görür and Camgöz, 2014).

2.7 Geostatistical Analyses

Geostatistics is a calculation method which is different from other conventional statistics methods based on stationary random function, which is the correlation between sample values with their sampling coordinates (Clark, 1979; Pebesma and Wesseling, 1998). In this method, spatial variable depends on distance value and function of variogram or semivariogram. This function is expressed as variance of two variables which are at a distance of h to each other (Diggle and Riberio, 2007). The semivariance containing all spatial variables is expressed through:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} (Z(x_i) - Z(x_i + h))^2 \quad (4)$$

where $\gamma(h)$ is the value of semivariance, h is the distance between measured samples of pairs, $N(h)$ is the number of pairs of sample points separated by the lag distance h , $Z(x_i)$ is the measured value of the variable in i point, and $Z(x_i + h)$ is the measured value of the variable in $x_i + h$ point. This experimental semivariogram function is calculated for each distance, and then it is fitted with a suitable parametric function (spherical, exponential, Gaussian, linear, periodic, etc.). The fitted model provides necessary input parameters for the Kriging interpolation (the weight coefficients). In the Kriging method, which is known to be mathematically the "best linear unbiased estimator" (BLUE) in literature, there should be a normal distribution for the accurate calculations of weighted values (Boogaart and Schaeben 2002). Otherwise, the shape of variograms can be shifted causing miscalculations of Kriging weights. For this reason, data conversion is applied in order to achieve normal distribution out of a data that

Table 2 Comparison of gross α and gross β concentrations in waters with literature

Place	Water type	Average gross α (mBqL ⁻¹)	Average gross β (mBqL ⁻¹)	References
Adana	Ground	9.6	86	Değerlier and Karahan, 2010
Nevşehir	Ground	192	579	Turhan et al., 2013
Bursa	Drinking	68.5	67.1	Taşkın et al., 2012
Bolu	Drinking	87.6	127.6	Görür and Camgöz, 2014
İstanbul	Drinking	23	70	Karahan et al., 2000
Tekirdağ	Drinking	44	100	Kam et al., 2010
Ş.Urfa	Drinking	38	132.4	Bozkurt et al., 2007
Italy	Drinking	8–349	25–273	Forte et al., 2007
Brazil (Sao Paulo)	Drinking	1–400	120–860	Bonotto et al., 2009
Spain	Drinking	30–880	40–2280	Palomo et al., 2007
Hungary	Natural spring	35–1749	33–2015	Jobbyagy et al., 2011
Trabzon	Natural spring	8	25	Kobyas et al., 2010
Rize	Natural spring	21	25	Kobyas et al., 2010
Artvin	Natural spring	45.9	91.2	This study

shows lognormal distribution (Krige, 1966; McGrath et al., 2004).

All analyses are carried out in the R environment for statistical computing and visualization (Ihaka and Gentleman, 1996) and the gstat (Pebesma and Wesseling, 1998) and sp R packages (R Development Core Team, 2005).

3 Results and Discussion

3.1 The Activity Concentrations of the Gross α and Gross β

According to the catchment area, results of gross alpha and beta radioactivity for spring water samples, collected from 117 sampling stations, are shown in Table 1. Gross alpha activity for water samples ranged from 5 to 771 mBqL⁻¹ with a mean of 46 mBqL⁻¹. The highest gross alpha radioactivity concentration was 771 mBqL⁻¹ for the samples which were collected from Yusufeli, and this exceeded the limited value of gross alpha (500 mBqL⁻¹) for drinking water, as recommended by WHO. Also, the highest gross beta radioactivity concentration was 808 mBqL⁻¹ for the sample which was collected from Yusufeli and was within the limited value of gross beta (1000 mBqL⁻¹) for drinking water recommended by WHO. In addition, our study showed

that gross beta mean values are two times higher than gross alpha values for the Artvin Province. The results for the gross alpha and beta radioactivity concentrations of spring water samples which were collected from 117 sampling stations showed that all values of measured water samples except one were within the limits which were recommended by WHO (2011). For this reason, further analysis related to specific radionuclide is not necessary.

Comparison of the activity concentrations of gross α and gross β measured in the natural spring water samples in the present study with doses reported for different regions is shown in Table 2. It is shown that the gross alpha and beta activity concentration results of Artvin are essentially lower than those of the Rize and Trabzon Provinces which are in same geographic region.

In addition to the study results of the Nevşehir and Bolu Provinces in Turkey, study results in Italy, Brazil, Spain, and Hungary were relatively higher than our study results, and other study (such as Adana, İstanbul, Trabzon, Rize, etc.) results were similar to ours.

3.2 Geostatistic Analyses and Interpolated Estimated Maps

Estimation of ordinary Kriging is created by using an isotopic experimental semivariogram which is fitted by a suitable model. We have determined that the most

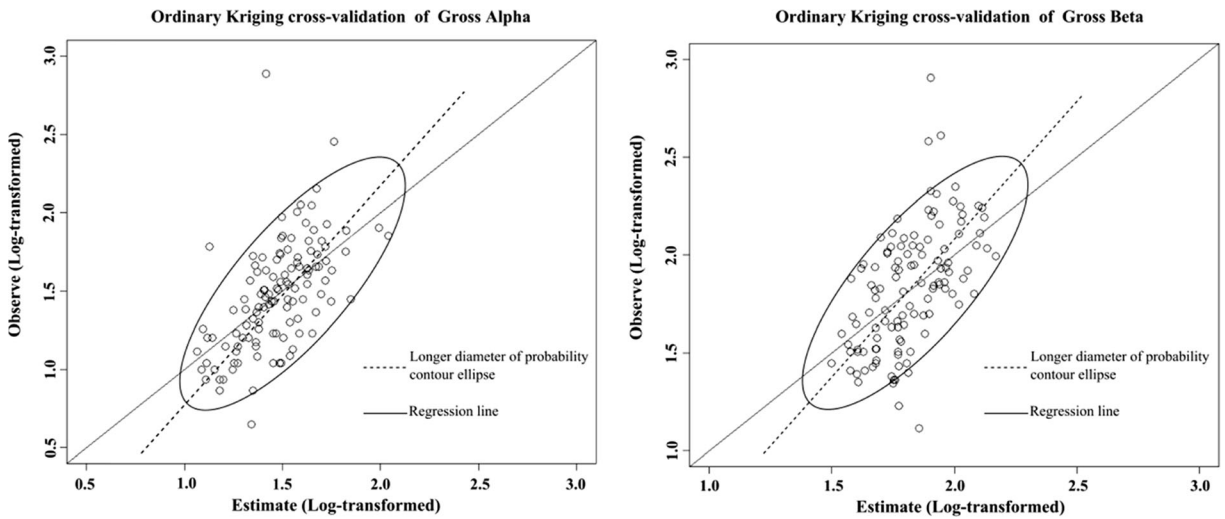


Fig. 2 The graph of scatter plot and cross-validation for gross alpha and beta activity (this figure plot using Log by the R code)

suitable model for the estimation of interpolated map for gross alpha activity concentrations was the spherical model while for gross beta activity concentrations, it was the exponential model.

According to the determined models for gross alpha and beta activity concentrations of estimated ordinary Kriging, cross-validity graphs for each measurement points is shown in Fig. 2. We have found out that there

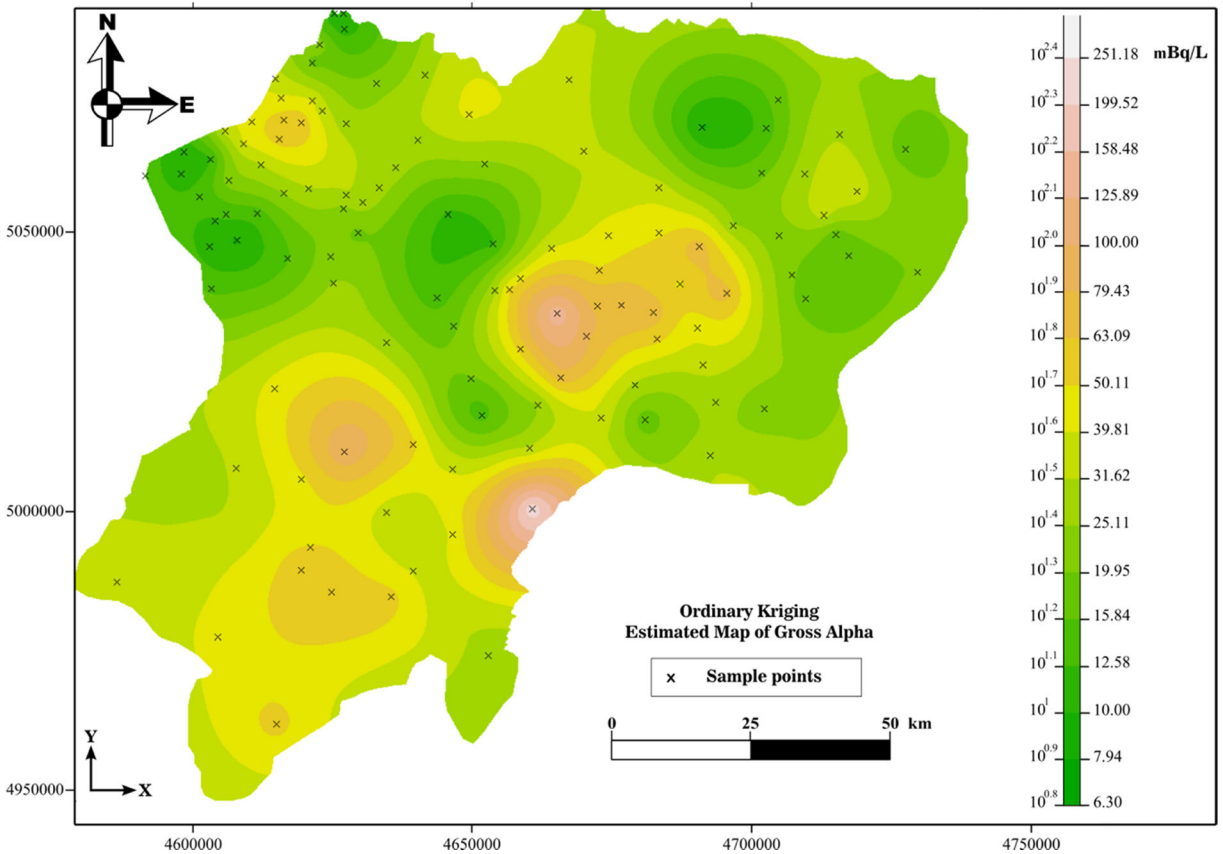


Fig. 3 Ordinary Kriging interpolated maps for gross alpha activity concentration (this figure plot using by the R code)

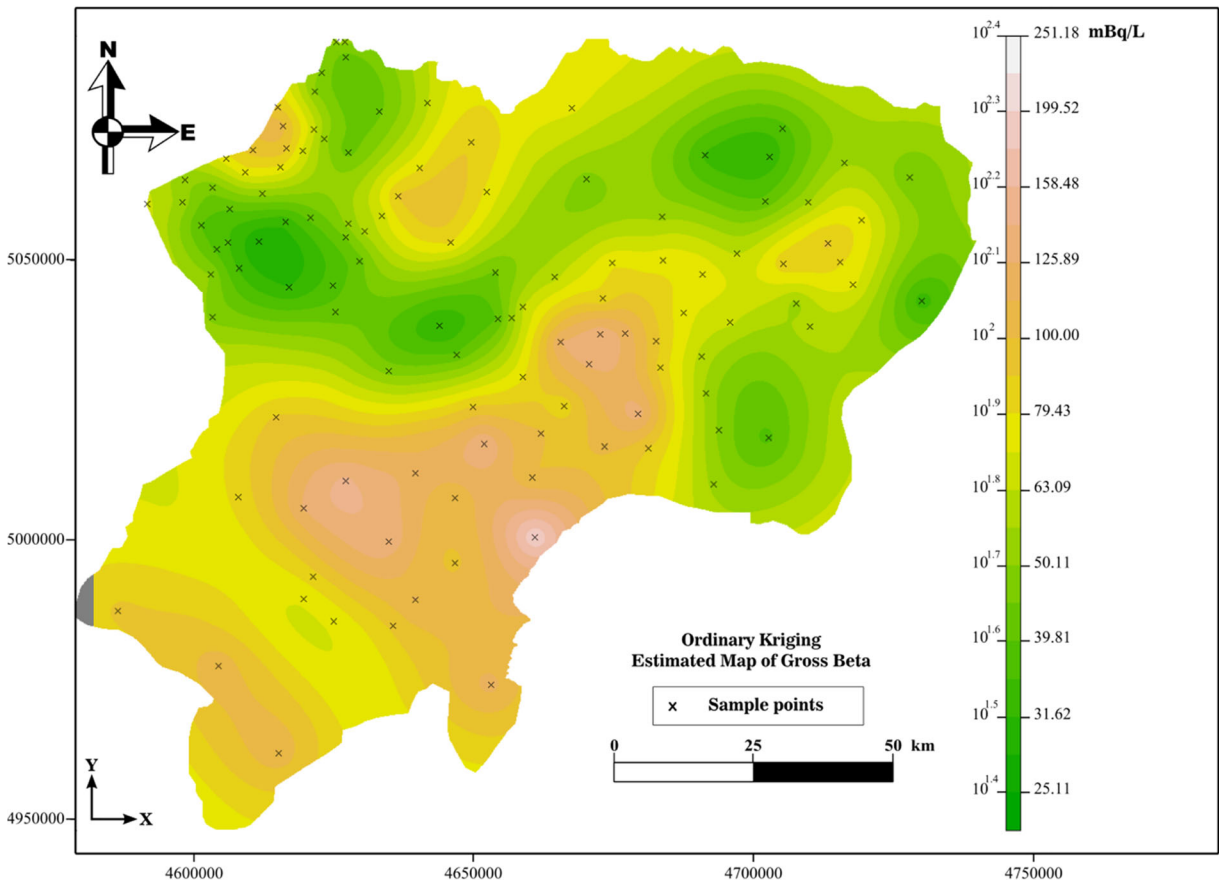


Fig. 4 Ordinary Kriging interpolated maps for gross beta activity concentration (this figure plot using by the R code)

was a strong linear correlation between certain values and estimated values for both graphs. A number of estimated points which are in the study area were in the probability contour ellipse. In addition, the fact that there is only a small angle deviation from the long part

of the regression line of the probability counter ellipse shows that both estimated values of standard error were at a very low level.

According to the determined models, ordinary Kriging-interpolated estimated maps of study areas for

Table 3 Annual effective dose equivalent and excess lifetime cancer risk for the spring water samples

Places	Annual effective doses mean ($\mu\text{Sv year}^{-1}$)			Estimated lifetime risk		
	Min.	Max.	Mean	Min.	Max.	Mean
Artvin Centrum	4.70	149.49	27.00	2.40×10^{-5}	7.63×10^{-4}	12.25×10^{-5}
Arhavi	2.61	20.38	7.87	1.34×10^{-5}	1.04×10^{-4}	3.99×10^{-5}
Hopa	3.14	44.95	21.08	1.60×10^{-5}	2.30×10^{-4}	8.60×10^{-5}
Yusufeli	14.11	402.99	50.50	7.21×10^{-5}	20.59×10^{-4}	22.68×10^{-5}
Ardanuç	5.23	73.70	31.00	2.67×10^{-5}	3.77×10^{-4}	13.84×10^{-5}
Şavşat	3.14	21.95	10.62	1.60×10^{-5}	1.12×10^{-4}	5.95×10^{-5}
Murgul	8.89	26.13	17.60	4.54×10^{-5}	1.33×10^{-4}	8.58×10^{-5}
Borçka	3.66	14.11	9.40	1.87×10^{-5}	7.21×10^{-5}	5.2×10^{-5}
Provincial wide	2.61	402.99	21.08	1.34×10^{-5}	20.59×10^{-4}	10.12×10^{-5}

both gross alpha and beta were shown in Figs. 3 and 4. Especially in the north part of the study region, gross alpha and beta activity concentration levels were low, whereas in south and central parts of the study region, activity concentration levels were relatively high.

3.3 The Annual Effective Dose Equivalent and Lifetime Risk Assessment

Annual effective dose equivalents and excess lifetime cancer risk derived from gross alpha and beta radioactivity concentrations of spring waters in the Artvin province are shown in Table 3. Annual effective dose equivalent values were between 2.61 and 402.99 μSv with the mean of 21.08 μSv in Artvin. These results were lower than the WHO limit value which is 0.1 mSv. However, two values of water samples exceeded the WHO limits, one of them was 0.4 mSv, collected from Yusufeli, and the other was 0.15 mSv, collected from centre of Artvin.

When lifetime cancer risk due to the water radioactivity concentration was investigated, risk values ranged between 1.34×10^{-5} and 20.59×10^{-4} with the mean of 10.12×10^{-5} . The results show that there is no risk for consumption of spring water in the study area and it can be consumed safely.

In our study, we found that the spring water of the Artvin Province contains low-level radioactive isotopes in general and it is acceptable as high-quality drinking water in terms of radioactivity.

4 Conclusions

Gross alpha and beta activity analysis was performed for 117 natural spring water samples which were collected from the Artvin Province. This is the first detailed study of radioactivity concentrations in natural spring water samples in the Artvin Province. When the gross alpha and beta radioactivity levels of the water samples were investigated, all water samples' radioactivity levels were found out to be within limit values. However, the gross alpha activity concentration value of one sample which was collected in Yusufeli exceeded the limit value recommended by the WHO. Moreover, results of this study were compared with similar studies in literature. In addition, radiological estimated interpolation maps were drawn using the ordinary Kriging method for the Artvin Province. In this way, the findings obtained with the

results of gross alpha and beta activity values, which were collected from the study area, were used for the estimation of radiological interpolated values for other parts of the region, where water samples were not collected. Gross alpha and beta measurement results were used to calculate the annual effective dose equivalent for each water sample. Just two of all samples exceeded the limit values. One of them was collected from Yusufeli which were 4 times higher than the limit value of 500 mBqL^{-1} . The other sample was collected from central Artvin, which was 1.5 times higher than the limit values.

Finally, excess lifetime cancer risks were calculated by using values of the annual effective dose equivalent for each water sample, and estimation of lifetime cancer risk tables was done for the general population of the Artvin Province. The data obtained in this study is a baseline which can be used to evaluate possible future changes. It should provide a good baseline for setting standards for water quality in Turkey.

Acknowledgments This work was supported by the Cekmece Nuclear Research and Training Centre (CNEAM) and the Artvin Çoruh University research grant (BAP-2013.F42.02.05). Also, the authors would like to thank Dr. Sabit Korcak for his assistance during water sample collection and for his cooperation to perform this study.

References

- Amrani, D. (2002). Natural radioactivity in Algerian bottled mineral waters. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, *252*(3), 597–600.
- Bonotto, D. M., Bueno, T. O., Tessari, B. W., & Silva, A. (2009). The natural radioactivity in water by gross alpha and beta measurements. *Radiation Measurements*, *44*(1), 92–101.
- Boogaart, K. G., & Schaeben, H. (2002). Kriging of regionalized directions, axes, and orientations. I. Directions and axes. *Mathematical Geology*, *34*(5), 479–503.
- Bozkurt, A., Yorulmaz, N., & Kam, E. (2007). Environmental radioactivity measurements in Harran plain of Sanliurfa, Turkey. *Radiation Measurement*, *42*, 1387–1391.
- Clark, I. (1979). *Practical geostatistics* (1st ed.). London: Elsevier.
- Değerlier, M., & Karahan, G. (2010). Natural radioactivity in various surface waters in Adana, Turkey. *Desalination*, *261*(1-2), 126–130. doi:10.1016/j.desal.2010.05.020.
- Dewit, T., Clulow, V., Jackson, J. S., & Mitchel, R. E. (2001). Uranium and uranium decay series radionuclide dynamics in bone of rats following chronic uranium ore dust inhalation. *Health Physics*, *81*, 502–13.
- Diggie, P., & Riberio, P. J. (2007). *Model-based geostatistics* (1st ed.). London: Springer.

- Fatima, I., Zaidi, J. H., Arif, M., & Tahir, S. N. A. (2007). Measurement of natural radioactivity in bottled drinking water in Pakistan and consequent dose estimates. *Radiation Protection Dosimetry*, 123(2), 234–240. doi:10.1093/rpd/ncl093.
- Fernandez, J. F., Lozano, J. C., & Gomez, J. M. G. (1992). Natural radionuclides in ground water in western Spain. *Radiation Protection Dosimetry*, 45, 227–279.
- Forte, M., Rusconi, R., Cazzaniga, M. T., & Sgorbati, G. (2007). The measurement of radioactivity in Italian drinking waters. *Microchemical Journal*, 85(1), 98–102. doi:10.1016/j.microc.2006.03.004.
- Görür, F. K., & Camgöz, H. (2014). Chemosphere natural radioactivity in various water samples and radiation dose estimations in Bolu province, Turkey. *Chemosphere*, 112, 134–140. doi:10.1016/j.chemosphere.2014.02.074.
- Görür, F. K., Keser, R., Dizman, S., & Okumuşoğlu, N. T. (2011). Annual effective dose and concentration levels of gross α and β in various waters from Samsun, Turkey. *Desalination*, 279(1-3), 135–139. doi:10.1016/j.desal.2011.05.071.
- ICRP, 1991. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. *Annals of the ICRP* 21 (1-3).
- Ihaka, R., & Gentleman, R. (1996). R: a language for data analysis and graphics. *Journal of Computational and Graphical Statistics*, 5(3), 299–314.
- Jobby, V., Kávási, N., Somlai, J., Dombovári, P., Gyöngyösi, C., & Kovács, T. (2011). Gross alpha and beta activity concentrations in spring waters in Balaton Upland, Hungary. *Radiation Measurements*, 46(1), 159–163.
- Kam, E., Yazar, Y., & Bozkurt, A. (2010). A study of background radioactivity level for Tekirdağ. *Turkey Radiation Protection Dosimetry*, 138(1), 40–44. doi: 10.1093/rpd/ncp178.
- Karahan, G., Öztürk, N., & Bayülken, A. (2000). Natural radioactivity in various surface waters in İstanbul, Turkey. *Water Research*, 34(18), 4367–4370.
- Koby, Y., Damla, N., Cevik, U., Koby, A. I., Taskin, H., & Kemer, B. (2010). Radiological characterization of natural spring waters in the Eastern Black Sea Region, Turkey. *Environmental Forensics*, 11, 187–192.
- Krieger, H. L., & Whittaker, E. L. (1980). *Prescribed procedures for measurement of radioactivity in drinking water*, EPA-600/4-80-032. Cincinnati: US Environmental Protection Agency.
- Krige, D. G. (1966). Two-dimensional weighted moving average trend surfaces for ore-evaluation. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 66, 13–38.
- McGrath, D., Zhang, C., & Carton, O. T. (2004). Geostatistical analyses and hazard assessment on soil lead in Silvermines area, Ireland. *Environmental Pollution*, 127(2), 239–248. doi: 10.1016/j.envpol.2003.07.002.
- Palomo, M., Penalver, A., Borrull, F., & Aguilar, C. (2007). Measurement of radioactivity in bottled drinking water in Spain. *Applied Radiation and Isotopes*, 65, 1165–1172. doi: 10.1016/j.apradiso.2007.04.022.
- Pebesma, E.J., Wesseling, C.G., 1998. Gstat: a program for geostatistical modelling, prediction and simulation. *Computers & Geosciences* 24(1) 17-31. <http://www.gstat.org/>
- R Development Core Team, 2005. R: A language and environment for statistical computing, reference index version 2.2.1. *R Foundation for Statistical Computing*. Retrieved from <http://www.r-project.org/>
- Sajo-Bohus, L., Gomez, J., Capote, T., Greaves, E. D., Herrera, O., Salazar, V., & Smith, A. (1996). Gross alpha radioactivity of drinking water in Venezuela. *Journal of Environmental Radioactivity*, 35, 305–312.
- Taşkın, H., Kam, E., & Bozkurt, A. (2012). Determination of gross alpha and beta activity concentrations in drinking waters in Bursa region of north-western Turkey. *Desalination and Water Treatment*, 45(1-3), 21–25. doi:10.1080/19443994.2012.691956.
- Turhan, S., Özçitak, E., Taşkın, H., & Varinlioğlu, A. (2013). Determination of natural radioactivity by gross alpha and beta measurements in ground water samples. *Water Research*, 47(9), 3103–3108. doi:10.1016/j.watres.2013.03.030.
- USA-EPA, 1998. Federal Guideline report No. 11. Limiting values of radionuclide intake and air concentration and dose conversion factors for inhalation, submersion and ingestion. EPA 520/1-88-020. Washington, DC, USA.
- Whicker, F. W., & Schultz, V. (1982). *Radioecology: nuclear energy and the environment*. Florida: CRC Press.
- WHO. (2011). *Guidelines for drinking-water quality* (4th ed.). Geneva: WHO Library Cataloguing-in Publication Data NLM classification. WA 675.
- Wrenn, M. E., Durbin, P. W., Howard, B., Lipzstein, J., Rundo, J., Still, E. T., & Willis, D. L. (1985). Metabolism of ingested U and Ra. *Health Physics*, 48, 601–33.



Evaluation of Outdoor Gamma Dose Rate and Cancer Risk in Artvin Province, Turkey

Yaşar Kobya, Halim Taşkın, Cafer Mert Yeşilkanat & Uğur Çevik

To cite this article: Yaşar Kobya, Halim Taşkın, Cafer Mert Yeşilkanat & Uğur Çevik (2015) Evaluation of Outdoor Gamma Dose Rate and Cancer Risk in Artvin Province, Turkey, Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal, 21:8, 2077-2085, DOI: 10.1080/10807039.2015.1017876

To link to this article: <http://dx.doi.org/10.1080/10807039.2015.1017876>



Accepted online: 02 Mar 2015. Published online: 02 Mar 2015.



Submit your article to this journal [↗](#)



Article views: 46



View related articles [↗](#)



View Crossmark data [↗](#)



Citing articles: 1 View citing articles [↗](#)

Evaluation of Outdoor Gamma Dose Rate and Cancer Risk in Artvin Province, Turkey

Yaşar Kobya,¹ Halim Taşkın,² Cafer Mert Yeşilkanat,³ and Uğur Çevik⁴

¹Faculty of Engineering, Energy Systems Engineering, Artvin Çoruh University, Artvin, Turkey; ²TAEK, Cekmece Nuclear Research and Training Centre, Istanbul, Turkey; ³Faculty of Art and Science, Department of Physics, Artvin Çoruh University, Artvin, Turkey; ⁴Faculty of Science, Department of Physics, Karadeniz Technical University, Trabzon, Turkey

ABSTRACT

In this study, we measured environmental outdoor gamma dose rates (terrestrial and cosmic) in 204 stations across the province of Artvin. The average outdoor gamma dose rate for the province of Artvin was found to be 174.81 nGy/h. The radiological map of Artvin was drawn with the help of measured outdoor gamma dose rates. Annual effective dose equivalent and lifetime cancer risk values were figured up for the adults in Artvin province by using measured outdoor gamma dose rates. The average annual dose equivalent and excess lifetime cancer risk were 214.5 μ Sv/y and 7.5×10^{-4} , respectively. The values acquired were compared with the similar studies done around the world. The average annual effective dose equivalent and excess lifetime cancer risk were found to be approximately three times higher than the world average.

Key Words: outdoor gamma dose rate, radiological map, annual effective dose equivalent, lifetime cancer risk, Artvin.

INTRODUCTION

Since the existence of humanity, human beings have been exposed to radiation consistently. This radiation can be studied in two different categories—natural radiation and artificial radiation. Ionizing radiation from natural sources such as cosmic rays and terrestrial radiation mostly contributes to the exposure for public population (UNSCEAR 2000). The first source comes from cosmic radiation from the outer space. The radiation dose from cosmic rays increases with latitude and altitude so that polar and mountain dwellers as well as aircrew and frequent air

Received 20 October 2014; revised manuscript accepted 31 December 2014.

Address correspondence to Yaşar Kobya, Faculty of Engineering, Energy Systems Engineering, Artvin Çoruh University, Artvin, Turkey. E-mail: ykoby@gmail.com
Color versions of one or more of the figures in the article can be found online at www.tandfonline.com/bher.

travelers receive higher doses of cosmic radiation (Appleton 2004). The other main contributor is the terrestrial radioactive materials that originate from the formation of the earth and are present everywhere in the earth's crust, and in the human body itself. Apart from the exposure from direct cosmic rays and cosmogenic radionuclide, natural exposures arise mainly from the primordial radionuclides (^{234}U , ^{232}Th , and ^{40}K), which are spread widely and are present in almost all geological materials in the earth's environment (Wilson 1994). People are exposed to a certain extent of radiation from ^{137}Cs radionuclides risen from nuclear weapon testing and nuclear reactor accidents in addition to these natural sources (Kobya *et al.* 2014).

It is possible that human beings encounter a set of health problems as a result of continuous exposure to natural and artificial radiation. Especially, a certain level of imposed radiation interacts with human cell and destroys the structure of the cell. This can lead to a set of health problems or cancer in the human body (Taskin *et al.* 2009). In addition to this, outdoor gamma dose rate has a positive relationship with malignant tumor in humans (Tondel *et al.* 2011). Outdoor gamma dose rate assigns radioactivity level of the area and is a significant determinant which stems from natural and artificial sources stated above. For this reason, it is critically important to specify the radiation levels people are exposed to and keep them under observation continuously.

In Turkey and in the world, there are a few studies about the measurement of lifetime cancer risk and yearly active dose equivalent by measuring outdoor gamma dose rates. In the last decade, several studies were carried out to assess the average outdoor terrestrial gamma dose rate in air at 1 m from the ground. These studies determined that the effective gamma radiation levels were generally in the range of 10–500 nGy h⁻¹ with a mean of 75 nGy h⁻¹ (Baykara and Doğru 2009; Karahan and Bayulken 2000; Norbani *et al.* 2014; Quarto *et al.* 2013; Taskin *et al.* 2009; Rafique *et al.* 2014; UNSCEAR 2000).

The aim of this study is to specify the outdoor gamma dose rates in Artvin province, measure the cancer risks and yearly active dose equivalents stemming from these rates, compare the results with the similar studies, and study the possible effects of these results on people. In addition, it is planned that this study will bridge over the studies that will be done in the years ahead and will make contributions to create a database.

MATERIALS AND METHODS

Study Area

The province of Artvin is situated in the most north-east of Turkey between the latitudes of 40° 36' and 41° 31' N and the longitudes of 41° 09' and 42° 35' E (Figure 1).

With a surface area of 7436 km², Artvin covers approximately 1% of Turkey and according to 2013 data, the population of the area is 170,000 (Statistic Department of Turkey 2014). The topographic structure of the region is very rough and the altitude from the sea level reaches up to 3500 meters high. This area is rather important for

Evaluation of Outdoor Gamma Dose Rate and Cancer Risk

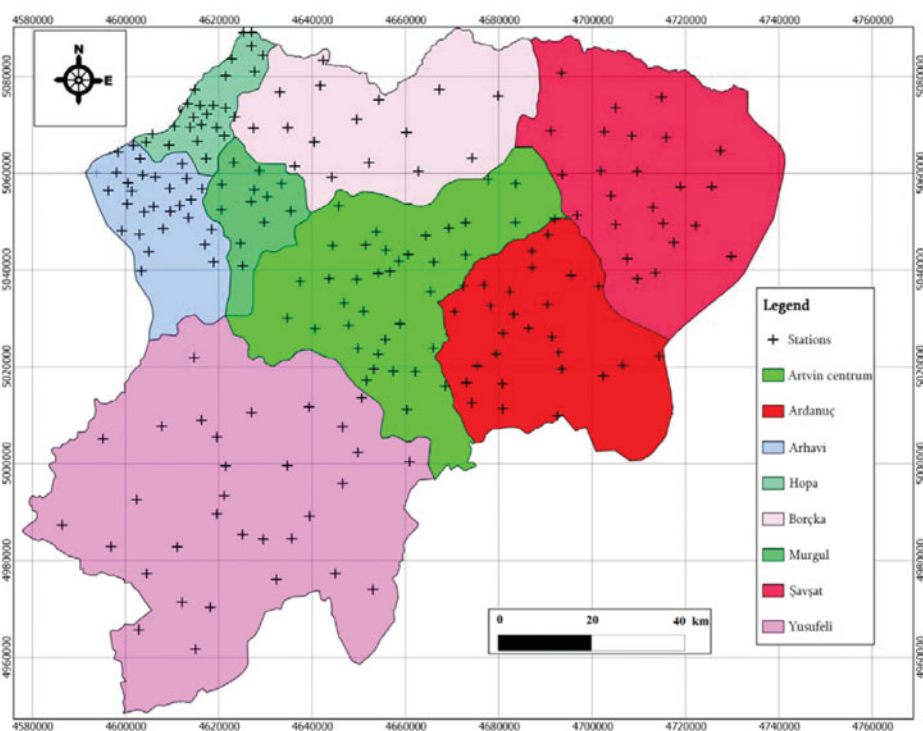


Figure 1. Study area and stations.

radioactivity measurements both for its geological structure and Turkey's adjacency to Chernobyl and Fukushima.

Outdoor Gamma Dose Rate Determination

In order to measure outdoor gamma dose rates, 204 stations were specified in Artvin province regarding that they are scattered with an approximate homogeneity. In each station, measurements were taken from three different locations and average of these three measurements gave outdoor gamma dose rates for sampling stations (Figure 1). A Ludlum brand 2242-2 model portable digital device that was connected to a 44-10 model NaI (T1) gamma scintillation detector was used to specify outdoor gamma dose rates. Gamma dose rates were saved as $\mu\text{Sv/h}$ by taking 1-minute measurements in the level of gonad (reproductive organ) and 1 meter above soil surface and the rates were converted to nGy/h^{a} afterward.

Determination of Annual Effective Dose Equivalent and Lifetime Risk

The annual effective dose equivalent (AEDE) was calculated by using the following equation:

$$\text{AEDE} = \text{ADRA} \times \text{DCF} \times \text{OF} \times \text{T} \quad (1)$$

Table 1. Measurement results of outdoor gamma dose rates for Artvin province.

Districts (Number of stations)	Gamma dose rate (nGy/h)		
	Minimum	Maximum	Mean
Arhavi (30)	44.29	381.43	152.95
Hopa (25)	51.43	251.43	123.94
Borçka (17)	58.57	445.71	150.08
Murgul (12)	74.14	190.00	128.21
Yusufeli (32)	78.56	502.86	238.44
Ardanuç (27)	74.29	431.43	201.48
Şavşat (24)	60.00	331.43	180.71
Artvin Centrum (37)	54.29	454.29	175.06
Artvin provincial-wide (204)	44.29	502.86	174.81

where ADRA, DCF, OF are absorbed dose rate in air (nGy h^{-1}), dose conversion factor (0.7 Sv Gy^{-1}), outdoor occupancy factor (0.2), respectively, and T is the time (8760 h y^{-1}).

Excess lifetime cancer risk (ELCR) was calculated by using Eq. (2).

$$\text{ELCR} = \text{AEDE} \times \text{DL} \times \text{RF} \quad (2)$$

where DL is duration of life (70 year) and RF is risk factor (Sv^{-1}), fatal cancer risk per Sievert. For stochastic effects, ICRP 60 uses values of 0.05 for the public (ICRP 1990).

Based on the obtained measurement, interpolated estimations were made for the region by using ordinary kriging method and the radiological mapping of the region was formed by using outdoor gamma dose rates together with the QGIS vs 1.8 program (Quantum GIS Development Team 2014) and R programming language (gstat packet) (Pebesma and Wesseling 1998).

RESULTS AND DISCUSSION

Outdoor gamma dose rates were determined in 204 sampling stations. Table 1 shows the distribution of the stations according to the districts and minimum, maximum, and average values of gamma dose rates.

Analyzing Table 1, it can be observed that minimum value of gamma dose rates is in Arhavi (44.29 nGy/h); whereas, the maximum value is in Yusufeli (502.86 nGy/h). Considering the average gamma dose rates for each district, minimum average seems to belong Hopa with 123.94 nGy/h and the maximum average belongs to Yusufeli with 238.44 nGy/h . Since outdoor gamma dose rates are examined in two parts; cosmic and terrestrial, it can show alterations depending on the soil structure and the altitude of the region. Examining Table 1, it is clearly seen that gamma dose rates in high parts as Artvin city center, Yusufeli, Ardanuç, and Şavşat districts are apparently higher compared to Arhavi, Hopa, and Borçka, which are relatively lower zones.

Figure 2 shows radiological map of Artvin generated from outdoor gamma dose rates. In Figure 2, the places with respectively high gamma dose rates are shown with

Evaluation of Outdoor Gamma Dose Rate and Cancer Risk

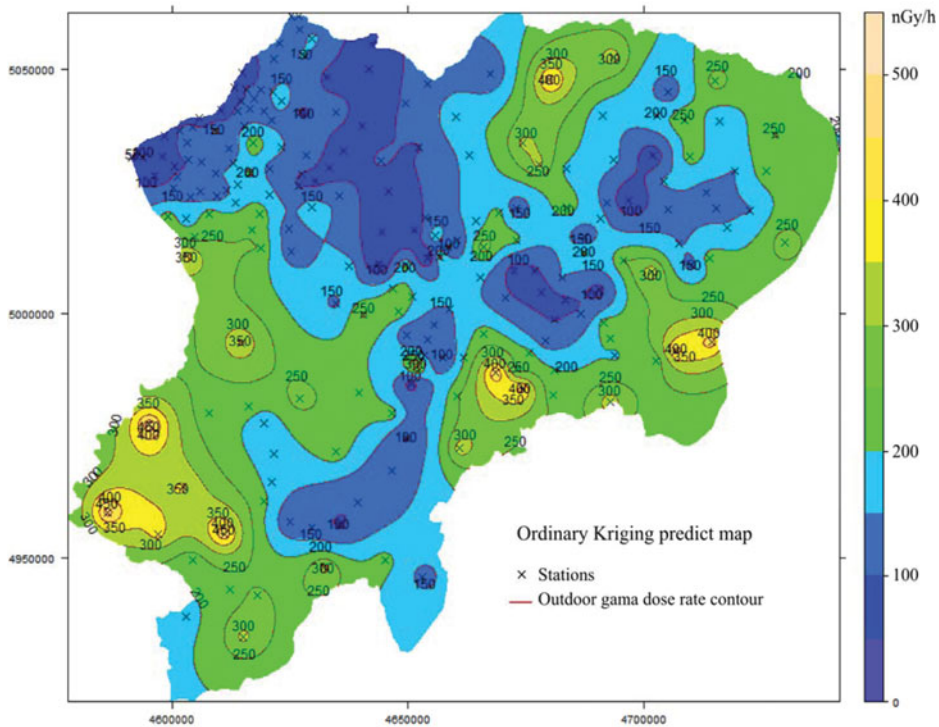


Figure 2. Radiological map of Artvin generated from outdoor gamma dose rates.

the color, yellow. The reasons why outdoor gamma rate is high in some places are the altitude and soil structure of these lands. Cosmic radiation increases with the altitude and soil that contains granite rocks in its structure increase the terrestrial radioactivity. Because outdoor gamma dose rate is the sum of cosmic and terrestrial radiation, its amount also increases. The regions where outdoor gamma dose rate is relatively low are shown with the color, blue. It is an expected result that the outskirts of Çoruh River, which flows among Artvin province and coastal areas with low altitudes, are blue.

On the basis of measured gamma dose rates, also calculated annual effective dose equivalent that people in Artvin are exposed to and the cancer risk they face as a result of this exposition.

Table 2 shows the maximum, minimum, and average values of cancer risk rates and active dose equivalents that adults are exposed to due to radiation stemming from outdoor gamma dose rate for Artvin and its districts.

Annual effective dose equivalent that an adult is exposed to as a result of outdoor gamma dose rate is calculated in its minimum level $152.1 \mu\text{Sv}/\text{y}$ in Hopa and in its maximum level $292.6 \mu\text{Sv}/\text{y}$ in Yusufeli. Maximum annual effective dose equivalent in Artvin province is in Yusufeli with a value of $617.1 \mu\text{Sv}/\text{y}$. The average annual active dose equivalent stemming from outdoor gamma dose rate for Artvin province is $214.5 \mu\text{Sv}/\text{y}$.

Table 2. Annual active dose equivalent and calculations of cancer risk for people living in Artvin.

Districts	AEDE (Annual effective dose equivalent) ($\mu\text{Sv}/\text{y}$)		ELCR(Excess lifetime cancer risk) ($\times 10^{-4}$)	
Arhavi	Minimum	54.3	Minimum	1.9
	Maximum	468.1	Maximum	16.4
	Mean	187.7	Mean	6.6
Hopa	Minimum	63.1	Minimum	2.2
	Maximum	308.5	Maximum	19.8
	Mean	152.1	Mean	5.3
Borçka	Minimum	71.8	Minimum	2.5
	Maximum	547.0	Maximum	19.1
	Mean	184.1	Mean	6.4
Murgul	Minimum	94.6	Minimum	3.3
	Maximum	233.1	Maximum	8.2
	Mean	157.3	Mean	5.5
Yusufeli	Minimum	96.4	Minimum	3.4
	Maximum	617.1	Maximum	21.6
	Mean	292.6	Mean	10.2
Ardanuç	Minimum	91.1	Minimum	3.2
	Maximum	529.4	Maximum	18.5
	Mean	247.2	Mean	8.7
Şavşat	Minimum	73.6	Minimum	2.6
	Maximum	406.7	Maximum	14.2
	Mean	221.7	Mean	7.8
Artvin Centrum	Minimum	70.1	Minimum	2.5
	Maximum	557.5	Maximum	19.5
	Mean	214.8	Mean	7.5
Artvin provincial-wide	Minimum	63.1	Minimum	2.2
	Maximum	617.1	Maximum	21.6
	Mean	214.5	Mean	7.5

The minimum average of cancer risk that adults in Artvin are exposed to as a result of outdoor gamma dose rate is measured in Hopa as 5.3×10^{-4} , whereas, the maximum average is measured in Yusufeli as 10.2×10^{-4} . It is also significant to see that measured maximum cancer risk in Yusufeli is 21.6×10^{-4} . The average cancer risk stemming from gamma dose rate for Artvin province is measured as 7.5×10^{-4} .

In Table 3, shows the comparison of the cancer risk in the similar studies done in Turkey and in the world with the average effective dose equivalents in Turkey. Analyzing Table 3, the average annual effective dose equivalent, $214.5 \mu\text{Sv}/\text{y}$ for Artvin is approximately three times bigger than the world average, $73.6 \mu\text{Sv}/\text{y}$ (UNSCEAR 2000). Furthermore, this annual effective dose equivalent or Artvin is pretty more than the values measured in Şanlıurfa, Adana, Kastamonu, Istanbul, Kırklareli, India, Brazil, Nigeria, and Pakistani but less than the value measured in Çanakkale. The average cancer risk value for Artvin province, 7.5×10^{-4} value is approximately

Evaluation of Outdoor Gamma Dose Rate and Cancer Risk

Table 3. Comparison of annual effective dose equivalent and excess lifetime cancer risk with other studies.

References	Area	Annual effective dose equivalent ($\mu\text{Sv}/\text{y}$)	Excess lifetime cancer risk ($\times 10^{-4}$)
Bozkurt <i>et al.</i> 2007	Şanlıurfa (Turkey)	74.7	—
Degerlier <i>et al.</i> 2008	Adana (Turkey)	82	—
Orgün <i>et al.</i> 2007	Çanakkale (Turkey)	260	—
Kam and Bozkurt 2007	Kastamonu (Turkey)	67	—
Karahan and Bayulke 2000	İstanbul (Turkey)	80	—
Karunakara <i>et al.</i> 2014	India	160	—
Farai and Jibiri 2000	Nigeria	98.3	—
Licínio <i>et al.</i> 2013	Brazil	90	—
Taskin <i>et al.</i> 2009	Kırklareli (Turkey)	144	5.1
Rafique <i>et al.</i> 2014	Pakistan	164	5.4
World(UNSCEAR 2000)	World	73.6	2.9
This study	Artvin (Turkey)	214.5	7.5

three times higher than the world average, 2.9×10^{-4} (UNSCEAR 2000). Also, this value is higher than the results found in the studies done in Kırklareli and Pakistan.

CONCLUSION

It is important to determine background radiation level in order to evaluate the health hazards. For this reason, we have measured outdoor gamma dose rates in the study. On the basis of this measured values, annual effective dose equivalents and excess lifetime cancer risk stemming from gamma dose rate were calculated for adults. The obtained results were compared with the similar studies done in the world. Annual effective dose equivalents and excess lifetime cancer risk for Artvin province were found to be approximately three times higher than the world average. The reason why annual effective dose equivalents that are calculated from outdoor gamma dose rates and cancer risk values are so high is thought to depend on two reasons. The first reason is the increase in cosmic radiation as a result of the altitude and the increase in terrestrial radiation as a result of granite and acid intrusive geology that can contain high levels of radiation. Both terrestrial and cosmic radiation should be monitored and the changes should be recorded for this region where the annual effective dose equivalents and excess lifetime cancer risk are much higher than the world average. In addition, the people living in these regions where the cancer risk is high should be made aware of this subject and the related entities should take the necessary protective measures.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors thank Dr. Sabit Korcak for his assistance during measurements and for his cooperation to perform this study.

FUNDING

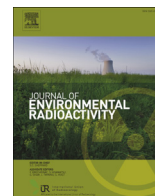
This work was supported by Cekmece Nuclear Research and Training Centre (CNEAM) and Artvin Çoruh University research grant (BAP-2013.F42.02.05).

REFERENCES

- Appleton D. 2004. Natural radioactivity and health, the risks posed by exposure to ionising radiation. *Earthwise*, British Geological Survey NERC 16–17
- Baykara O, and Doğru M. 2009. Determination of terrestrial gamma, U-238, Th-232 and K-40 in soil along fracture zones. *Radiat Measure* 44:116–21. doi: 10.1016/j.radmeas.2008.10.001
- Bozkurt A, Yorulmaz N, Kam E, et al. 2007. Assessment of environmental radioactivity for Sanliurfa region of southeastern Turkey. *Radiat Measure* 42:1387–91. doi: 10.1016/j.radmeas.2007.05.052
- Degerlier M, Karahan G, and Ozger G. 2008. Radioactivity concentrations and dose assessment for soil samples around Adana, Turkey. *J Environ Radioact* 99:1018–25. doi: 10.1016/j.jenvrad.2007.12.015
- Farai IP, and Jibiri NN. 2000. Baseline studies of terrestrial outdoor gamma dose rate levels in Nigeria. *Radiat Protect Dosim* 88, 247–54. doi: 10.1093/oxfordjournals.rpd.a033042
- ICRP (International Commission on Radiological Protection). 1990. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. In: ICRP Publication 60, vol. 21 (No. 1–3). Pergamon Press, Oxford, UK
- Kam E, and Bozkurt A. 2007. Environmental radioactivity measurements in Kastamonu region of northern Turkey. *Appl Radiat Isotopes* 65:440–4. doi:10.1016/j.apradiso.2006.11.005
- Karahan G, and Bayulken A. 2000. Assessment of gamma dose rates around Istanbul (Turkey). *J Environ Radioact* 47:213–21. doi: 10.1016/S0265-931X(99)00034-X
- Karunakara N, Yashodhara I, Sudeep Kumara K, et al. 2014. Assessment of ambient gamma dose rate around a prospective uranium mining area of South India—A comparative study of dose by direct methods and soil radioactivity measurements. *Results Phys* 4, 20–7. doi: 10.1016/j.rinp.2014.02.001
- Kobyas Y, Taşkın H, Yeşilkanat CM, et al. 2014. Natural and artificial radioactivity assessment of dam lakes sediments in Çoruh River, Turkey. *J Radioanalytical and Nucl Chem*. doi: 10.1007/s10967-014-3420-7
- Licínio MV, FreitasC, Evangelista H, et al. 2013. A high spatial resolution outdoor dose rate map of the Rio de Janeiro city, Brasil, risk assessment and urbanization effects. *J Environ Radioact* 126:32–9. doi: 10.1016/j.jenvrad.2013.07.012
- Norbani NE, Abdullah Salim NA, Saat, A, et al. 2014. Terrestrial gamma radiation dose rates (TGRD) from surface soil in Negeri Sembilan, Malaysia. *Radiat Phys Chem* 1–6. doi: 10.1016/j.radphyschem.2014.04.008
- Orgün Y, Altinsoy N, Sahin SY, et al. 2007. Natural and anthropogenic radionuclides in rocks and beach sands from Ezine region (Canakkale), Western Anatolia, Turkey. *Appl Radiat Isotopes* 239;65:739–47. doi: 10.1016/j.apradiso.2006.06.011
- Pebesma EJ, and Wesseling CG. 1998. Gstat: A program for geostatistical modelling, prediction and simulation. *Comp Geosci* 24:17–31. doi: 10.1016/S0098-3004(97)00082-4
- Quantum GIS Development Team. 2014. Quantum GIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project
- Quarto M, Pugliese M, and Roca V. 2013. Gamma dose rate measurements in dwellings of Campania region, South Italy. *J Environ Radioact* 115:114–7. doi: 10.1016/j.jenvrad.2012.07.016

Evaluation of Outdoor Gamma Dose Rate and Cancer Risk

- Rafique M, Rahman SU, Basharat M, *et al.* 2014. Evaluation of excess life time cancer risk from gamma dose rates in Jhelum valley. *J Radiat Res Appl Sci* 7:29–35. doi: 10.1016/j.jrras.2013.11.005
- Statistic Department of Turkey. 2014. Available at <http://www.webcitation.org/6NPUa8fse>. (accessed August 9, 2014)
- Taskin H, Karavus M, Ay, P, *et al.* 2009. Radionuclide concentrations in soil and lifetime cancer risk due to gamma radioactivity in Kirklareli, Turkey. *J Environ Radioact* 100:49–53. doi: 10.1016/j.jenvrad.2008.10.012
- Tondel M, Lindgren P, Hellström L, *et al.* 2011. Risk of malignancies in relation to terrestrial gamma radiation in a Swedish population cohort. *Sci Total Environ* 409:471–7. doi: 10.1016/j.scitotenv.2010.10.052
- UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation). 2000. Sources and effects of ionizing radiation. 2000 report to the General Assembly, with Scientific Annexes, Vol. 1: Sources. United Nations Publication E.00.IX.3. United Nations, New York, USA
- Wilson WF. 1994. N.O.R.M: A guide to naturally occurring radioactive material. PennWell Books, Tulsa, OK, USA



Dose rate estimates and spatial interpolation maps of outdoor gamma dose rate with geostatistical methods; A case study from Artvin, Turkey



Cafer Mert Yeşilkanat ^{a, *}, Yaşar Kobya ^b, Halim Taşkin ^c, Uğur Çevik ^d

^a Artvin Çoruh University, Faculty of Art and Science, Department of Physics, 08100 Artvin, Turkey

^b Artvin Çoruh University, Faculty of Engineering, Energy Systems Engineering, 08100 Artvin, Turkey

^c TAEK, Cekmece Nuclear Research and Training Centre, Altınşehir Yolu 5 Km, Halkalı, 34303 Istanbul, Turkey

^d Karadeniz Technical University, Faculty of Science, Department of Physics, 61000 Trabzon, Turkey

ARTICLE INFO

Article history:

Received 27 March 2015

Received in revised form

18 August 2015

Accepted 18 August 2015

Available online 29 August 2015

Keywords:

Dose estimation

Outdoor gamma dose rate

Interpolated map

Geostatistic

Artvin

ABSTRACT

In this study, compliance of geostatistical estimation methods is compared to ensure investigation and imaging natural Fon radiation using the minimum number of data. Artvin province, which has a quite hilly terrain and wide variety of soil and located in the north–east of Turkey, is selected as the study area. Outdoor gamma dose rate (OGDR), which is an important determinant of environmental radioactivity level, is measured in 204 stations. Spatial structure of OGDR is determined by anisotropic, isotropic and residual variograms. Ordinary kriging (OK) and universal kriging (UK) interpolation estimations were calculated with the help of model parameters obtained from these variograms. In OK, although calculations are made based on positions of points where samples are taken, in the UK technique, general soil groups and altitude values directly affecting OGDR are included in the calculations. When two methods are evaluated based on their performances, it has been determined that UK model ($r = 0.88$, $p < 0.001$) gives quite better results than OK model ($r = 0.64$, $p < 0.001$). In addition, as a result of the maps created at the end of the study, it was illustrated that local changes are better reflected by UK method compared to OK method and its error variance is found to be lower.

© 2015 Elsevier Ltd. All rights reserved.

1. Introduction

We can talk about two types of radiation in the nature as natural and artificial radiation. The largest contribution to natural radiation is made by cosmic and terrestrial sources, which are ionizing radiation types, after radon (Rafique et al., 2014). Cosmic gamma radiation is caused from outside of the earth's atmosphere and causes 50% of the annual dose (Hiemstra et al., 2009). In addition, the degree of cosmic gamma radiation varies depending on solar activity, altitude (Quarto et al., 2013), atmospheric pressure (Hiemstra et al., 2009). Terrestrial gamma radiation sources are caused by radioactive nuclei that exist in the soil and varies depending on geological structure and soil type (Norbani et al., 2014; Taskin et al., 2009). The artificial radiations in the nature are caused by nuclear weapons tests, nuclear reactor fall-outs and

medical works. Outdoor gamma dose rate is an important determinant comes from above-mentioned natural and artificial sources and determines the level of radioactivity in a media.

Identifying and monitoring artificial and natural radioactivity levels of habitats is very important in terms of public health (UNSCEAR, 2000). It is known that outdoor gamma dose rates have a positive relationship with malignant tumors (Tondel et al., 2011). Therefore, since certain levels of outdoor gamma dose rates pose a potential threat to human health, it is necessary to determine and monitor the level of outdoor gamma dose rate especially in densely populated areas. In the last decade, several studies were carried out to assess the average outdoor terrestrial gamma dose rate in air (Baykara and Doğru, 2009; Karahan and Bayulken, 2000; Norbani et al., 2014; Quarto et al., 2013; Taskin et al., 2009; UNSCEAR, 2000).

Determination of environmental radioactivity is a time consuming and costly process. For this reason, the area to be studied should be well-chosen while creating radiological Fon

* Corresponding author.

E-mail address: cmertyesilkanat@gmail.com (C.M. Yeşilkanat).

maps. These maps should represent the area with minimum amount of data to save time and minimize the costs (EUR 21595 EN, 2005). In addition, estimation values for interpolation regions, where no measurement are made, should also be calculated with the help of the regions, where measurements are made, and results should be compared with cross-validation. Geostatistics is a quite useful method to be used to characterize and map this spatial variability (Dai et al., 2007). In recent years, geostatistics is used to explain spatial correlation by many authors (Charro et al., 2013; Hiemstra et al., 2009; McGrath et al., 2004; Norbani et al., 2014; Pebesma, 2005; Sanusi et al., 2014; Savelieva, 2005).

The aim of this study is determining the most appropriate method in order to estimate and map the radioactivity levels of (Outdoor gamma dose) a region within the shortest time with minimum cost by representing the study area with minimum amount of sample. In addition, the necessary procedure to map the radioactivity Fon map is explained geostatistically in this study.

2. Materials and methods

2.1. Study area

The province of Artvin is situated in the most north–east of Turkey between the latitudes of 40° 36' and 41° 31' N and the longitudes of 41° 09' and 42° 35' E (Fig. 1). It covers approximately 1% of the country with an areameter of 7436 km² and according to the 2014 data, the population of the region is 169,334 among which the populations of the rural parts and the cities are 94,316 and 75,018, respectively (Statistic Department of Turkey, 2014). Topographic structure of the region is rough, altitudes ranging from 0 m to 3000 m are present. Fig. 2 shows the digital elevation map of the region. The increase in the quantity of cosmic rays causes the gamma dose rates to be higher (Mishev and Hristova, 2012; O'Brien et al., 1996).

2.2. Geological properties and soil types of study area

Considering the geological properties of the region, Middle–Upper Eocene, Upper Cretaceous and Lower middle Jurassic volcanites and sediments, Upper Cretaceous dacite rhyolite rhyodacite, Pleocene–Eocene and upper Pleozoic Granitoid rocks are dominating the area (Ustaomer et al., 2012). Fig. 3 shows the geological structure and rock structure of the study area. Terrestrial gamma dose rate that forms 50% of the outer gamma dose rates depends on 0–30 cm deep rock structure and geological elements. High radiation levels are especially seen in volcanoclastic rocks as; granite, cyanite, gabbro and pyrites. Such rock structures are substantial ²³⁸U, ²³²Th, ⁴⁰K resources and are the structures that were crystallized under high pressure, and high temperature (Chiozzi et al., 2002). The relationship between geological structure and dose rates has been studied by many researchers (Norbani et al., 2014; Otansev et al., 2012; Sanusi et al., 2014).

The soil spreading over Artvin area can be studied under six groups; red – yellow podzolic soils (P) (17%), high mountain meadow soils (Y) (17%), non-calcic brown forest soils (N) (12%), alluvial (A) (4%), Collivial (C) (2%), brown forest soils (M) (%48) (Yukse and Ölmez, 2002). These are shown in Fig. 4. Among these soil types, especially brown forest soils and non-calcic brown forest soils cause high levels of radiation because of U-238 and Th-232 they include (Degerlier et al., 2008). Moreover, soils in Artvin are rich in organic materials since there is not enough weathering and decomposition of organic materials in the region. There is a positive relationship between organic materials in soil and radioactivity level (Ramasamy et al., 2014).

2.3. Outdoor gamma dose rate determination

In order to determine the outdoor gamma dose rates, the study area was separated to 204 sampling stations with approximately

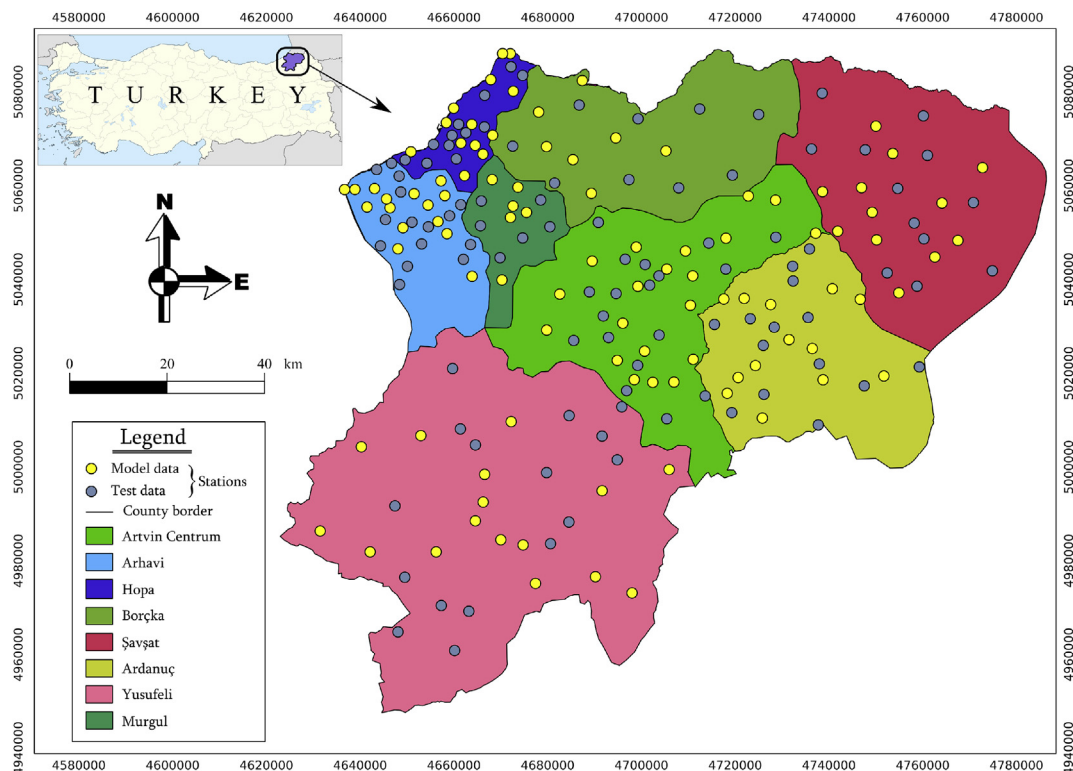


Fig. 1. Study area and the places where samples were taken.

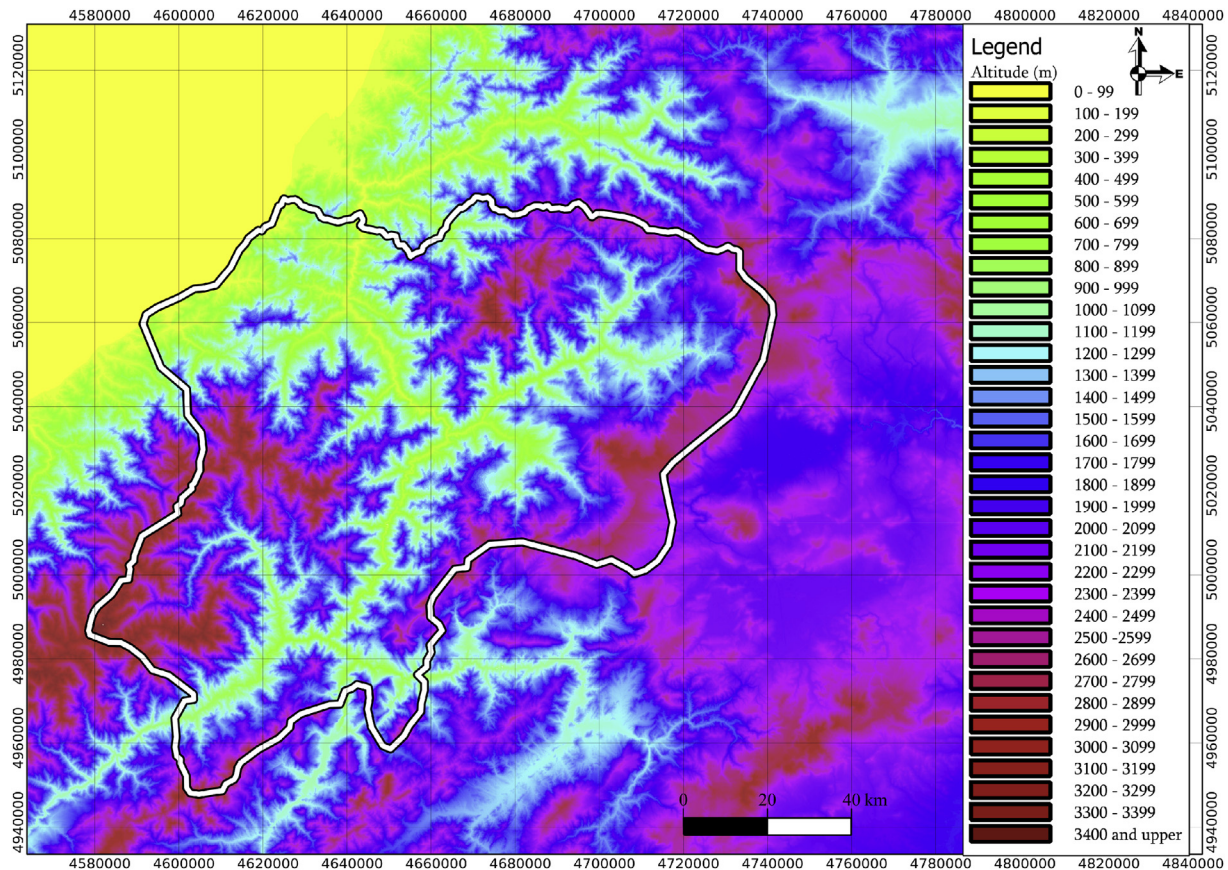


Fig. 2. Altitude map for Artvin that was specified by digital elevation model (USGS, 2013).

3 km distance. Measurements were done in 3 different locations for each sampling station (Kobyas et al., 2015). The average of these 3 measurements was taken and was specified as outdoor gamma dose rate for sampling stations (Fig. 1). 50% (102) of the stations were randomly reserved for modelling and 50% (102) were reserved for validation test. The outdoor gamma dose rates were measured by Eberline smart portable device (ESP-2) connected with an SPA-6 model plastic scintillation detector. Measurements were taken in air for two minutes at 1 m above the ground and the gamma dose rates were recorded as $\mu\text{Sv h}^{-1}$ and then converted to nGy h^{-1} (Taskin et al., 2009). ($1 \mu\text{Sv/h} = 1000 \text{ nGy/h} = 100 \mu\text{R/h}$).

Fig. 5a and b shows histograms and summary statistics for model and test data, respectively. In this way, Kolmogorov–Smirnov test ($D = 0.2$, $p\text{-value} = 0.99$) shows that both histograms are not so different from each other. So, both model data and the test data have the same statistical structure. Furthermore; with Shapiro–Wilk normality test ($p < 0.05$), the two data set were seen not to have normal distribution. In order to get rid of this situation which breaks the structure of variogram and causes kriging weightings to be calculated wrong, the distribution should be converted to normal distribution.

2.4. Geostatistical analysis

Geostatistics is a statistical calculation method whose basis depends on the theory of stable coincidence in theory of functions and which deals with the relationships of samples by considering the coordinates the samples were taken unlike conventional statistical methods. This calculation method has significant

advantages as; determining the amount of errors in certain confidence level (Clark, 1979). In geostatistics, the change in the spatial variables depending on the distance is specified with variogram or semivariogram function and this function is defined as the variance of the variables which are as distant from each other as h . The increase in variance can be interpreted as decrease in the relationship. In other words, the size of variance between two points depends on the size of distance between them (Diggle and Riberioj, 2007). Semivariance for the whole space measured can be defined with the equation below;

$$V(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} (Z(x_i) - Z(x_i + h))^2 \quad (1)$$

Here, $V(h)$ is semivariance value, h is the distance between two points, $N(h)$ is the number of point couples in h distance (or the number of h vector in the study area), $Z(x_i)$ is the measured value of the variable in i point, $Z(x_i + h)$ is the measured value of the variable in $x_i + h$ point. This experimental semivariogram function is calculated for each measurement pair and for each direction and then an appropriate parametric function is fitted. The most used models in the literature are; spherical (Eq. (2)), exponential (Eq. (3)), gauss (Eq. (4)), pentaspherical (Eq. (5)), linear (Eq. (6)) ve circular (Eq. (7)) (Webster and Oliver, 2007).

$$V(h) = \begin{cases} c_0 + c \left(\frac{3h}{2a} - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right) & \text{for } h \leq a, \\ c_0 + c & \text{for } h > a. \end{cases} \quad (2)$$

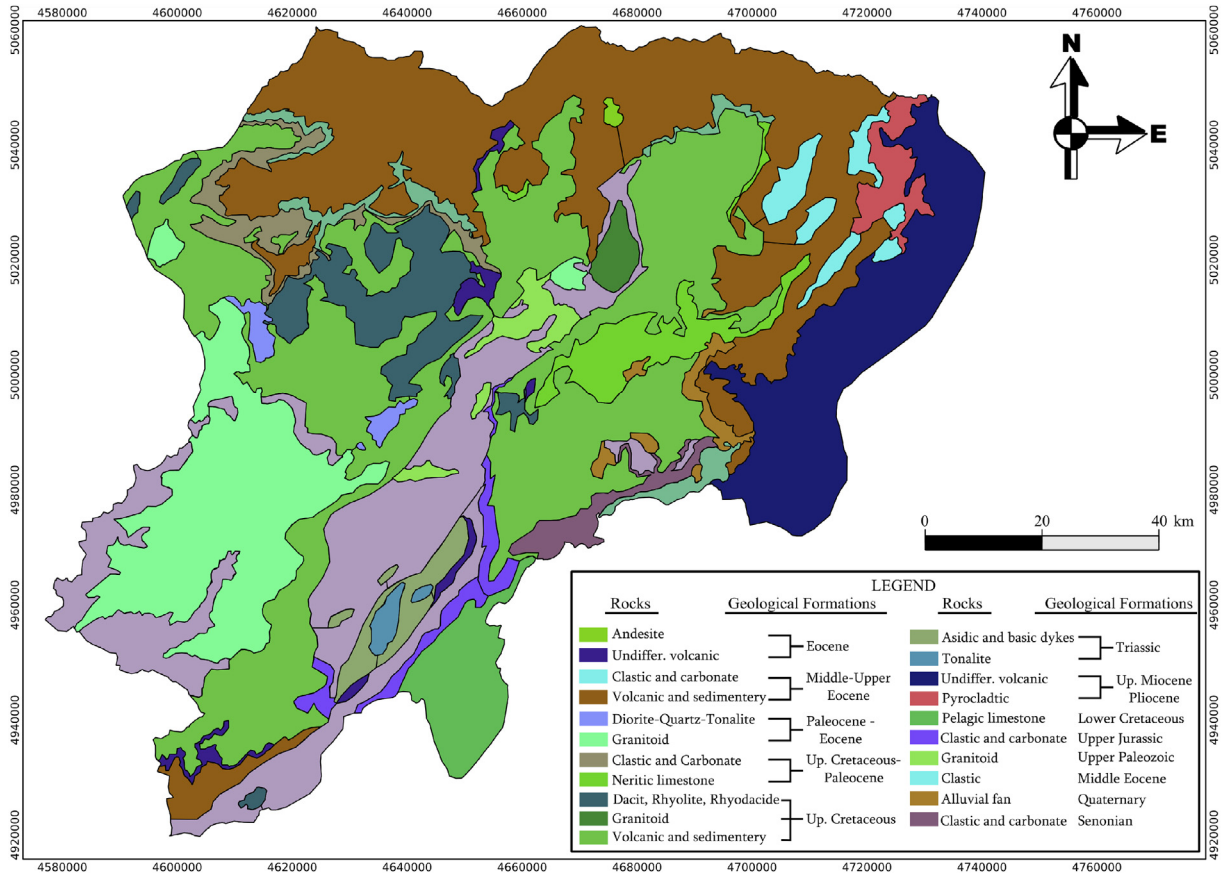


Fig. 3. Geological map of Artvin (MTA, 2002).

$$V(h) = c_0 + c \left(1 - \exp\left(-\frac{h}{r}\right) \right), \quad \text{for } h \geq 0 \quad (3)$$

$$V(h) = c_0 + c \left(1 - \exp\left(-\frac{h^2}{r^2}\right) \right), \quad \text{for } h \geq 0 \quad (4)$$

$$V(h) = \begin{cases} c_0 + c \left(\frac{15h}{8a} - \frac{5}{4} \left(\frac{h}{a}\right)^3 + \frac{3}{8} \left(\frac{h}{a}\right)^5 \right) & \text{for } h \leq a, \\ c_0 + c & \text{for } h > a. \end{cases} \quad (5)$$

$$V(h) = \begin{cases} c_0 + c \left(\frac{h}{a}\right) & \text{for } h \leq a, \\ c_0 + c & \text{for } h > a. \end{cases} \quad (6)$$

$$V(h) = \begin{cases} c_0 + c \left(1 - \frac{2}{\pi} \cos^{-1}\left(\frac{h}{a}\right) + \frac{2h}{\pi a} \sqrt{1 - \frac{h^2}{a^2}} \right) & \text{for } h \leq a, \\ c_0 + c & \text{for } h > a. \end{cases} \quad (7)$$

where a is the range; i.e. separation at which there is no more spatial dependence, c is the sill: i.e. maximum semivariance, c_0 is Nugget effect: that is to say; the part representing the homogeneity of the study area and h is lag distance. The fitted model provides the necessary input parameters for kriging interpolation. In addition, it gives information about the spatial structure of the region. Cross-

validation process was done for finding the right model. In cross-validation, an observation point is excluded from data set and this point is estimated by applying kriging model that is formed by using the other points. Standard errors of the estimations for excluded points are calculated and three supplementary statistics are applied. These are; mean error, ME (Eq. (8)), root mean squared error, RMSE (Eq. (9)) and mean squared deviation ratio, MSDR (Eq. (10)). Since kriging is an unbiased method, ME should be “0” ideally. Since kriging is callous towards the errors in semivariogram, the calculated ME is a weak supplement. RMSE is entailed to be small (approximately “0”). If the semivariogram model is true, RMSE should be equal to the square of kriging variation. For this reason, MSDR should be “1” (Webster and Oliver, 2007).

$$ME = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left\{ Z(x_i) - \widehat{Z}(x_i) \right\} \quad (8)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left[Z(x_i) - \widehat{Z}(x_i) \right]^2} \quad (9)$$

$$MSDR = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{\left[Z(x_i) - \widehat{Z}(x_i) \right]^2}{\widehat{\sigma}^2(x_i)} \quad (10)$$

Here, $\widehat{\sigma}^2(x_i)$ is kriging variance in x_i point, $Z(x_i)$ is the known value, $\widehat{Z}(x_i)$ is the estimated value and N is the data number. The basic method of geostatistics, kriging method is used in the study.

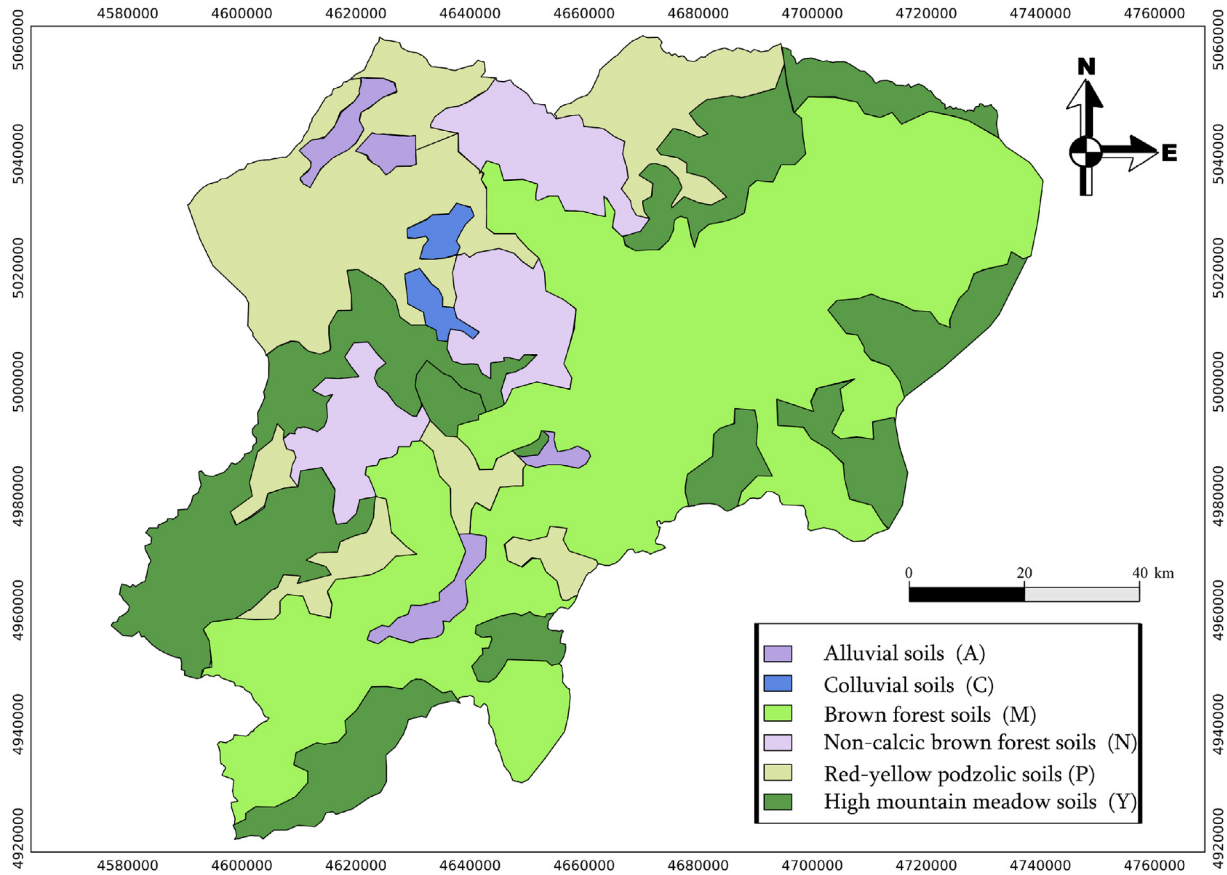


Fig. 4. Great soil group map of Artvin (Yavuz Özalp et al., 2013).

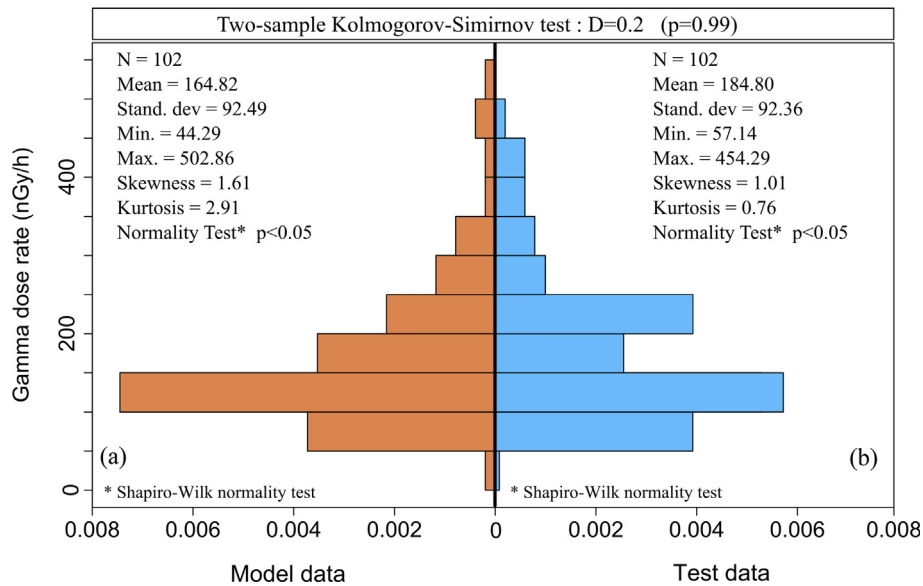


Fig. 5. The histogram and descriptive statistics of (a) model data and (b) test data.

This method is defined as the BLUE (best linear unbiased estimator) mathematically (Boogaart and Schaeben, 2002). That means the identification of weight according to the condition that estimated errors are minimum. Kriging method uses a weight model that ensures more response to nearby points as in the method of weighted mean in conventional statistics theorem (McGrath et al.,

2004). In the recent years, researchers have studies many kriging methods as; Simple kriging (Li et al., 2009), Ordinary kriging (Alvarez-Gallego et al., 2015; Elbasiouny et al., 2014; Sanusi et al., 2014), universal kriging (Cafaro et al., 2014; Hiemstra et al., 2009), cokriging (Lark et al., 2014; Warnery et al., 2015) and indicator kriging (Chica-Olmo et al., 2014). The most common two

methods; ordinary and universal kriging were used for this study. The general equation of kriging method;

$$Z(x_0) = \sum_{i=1}^N W_i Z(x_i) \tag{11}$$

Here $Z(x_0)$ is unknown but estimated Z value in x_0 point, W_i is weight value for each $Z(x_i)$ which are used for the calculation of $Z(x_0)$, experimental data that are used to estimate $Z(x_i)$ and $Z(x_0)$, N is the point number used for calculating $Z(x_0)$. As in conventional statistics, a normal distribution for the variable under study is desirable in linear geostatistics (Clark and Harper, 2000). In geo-statistical analysis, abnormality in the distribution breaks the structure of the variogram and causes wrong calculations. So, data conversions were applied in order to enable usually log-normal experimental data to fit for normal distribution (Krige, 1966; McGrath et al., 2004). In Fig. 6, the histograms of log-transformed data both for data set and the model set are given. The two histograms are not seen to be significantly different from each other with Kolmogorov–Smirnov test ($D = 0.1$, p -value = 0.99). Moreover, the two data set was determined to be possessing normal distribution ($p > 0.05$) with Shapiro–Wilk normality test.

2.4.1. Ordinary kriging (OK)

In OK method, the average of spatial random field $[Z(x)]$ is assumed to be stationary (Armstrong, 1998) and this is named as unbiasedness. OK estimation is given in Eq. (11). In order to make and unbiased equation, the mean of estimated errors should meet the requirements of $E[Z(x_i) - Z(x_0)] = 0$ and the mean of estimation errors should meet the requirements of $Var[Z(x_i) - Z(x_0)] = Min$. Here, in order to make an unbiased interpolation, it is necessary for the total weight to be equal to 1 ($\sum_{i=1}^N W_i = 1$) (Armstrong, 1998).

2.4.2. Universal kriging (UK)

In cases where regional variables are not stationary, trends may occur in certain areas. In this case, components of this trend should

be used in UK calculations as an additional data. In this situation, as given in Eq. (12) spatial random field $[Z(x_0)]$ is written as the trend component and the total of error terms (Hiemstra et al., 2009).

$$Z(x_0) = W_0 + \sum_{i=1}^N W_i f_i(x) + e(x) \tag{12}$$

Here, W_0 and W_i are unknown regression parameters, $f_i(x)$ is the i -th known predictor at location, x is a function that changes according to the structure of the area and defines trend and $e(x)$ is error term. The average of this error term is 0, covariance between $e(x)$ and $e(x+h)$ is identified with only h distance vector (Chilès and Delfiner, 1999; Deutsch and Journel, 1998). In this study, the two factors; altitude and soil type that directly affect gamma dose rates as estimators are used in universal kriging method.

2.5. Software resources and mapping

All the analyses are carried out in the R environment for statistical computing and visualisation (Ihaka and Gentleman, 1996; R Development Core Team, 2005) and the gstat (Pebesma and Wesseling, 1998), sp (Pebesma and Bivand, 2005) R packages which is an open-source dialect of the S statistical computing language. It is free, runs on most computing platforms, and contains contributions from top computational statisticians. Maps are formed by Quantum geographic information system (QGIS) vs 1.8.0 (Quantum GIS Development Team, 2014). All interpolation and simulation maps are in the size of $100 \times 100 \text{ m}^2$ pixels (1 ha spatial resolution).

3. Results and discussion

3.1. The factors affecting gamma dose

In order for gamma dose rates to be estimated best, the relationship between two factors that directly affect these dose

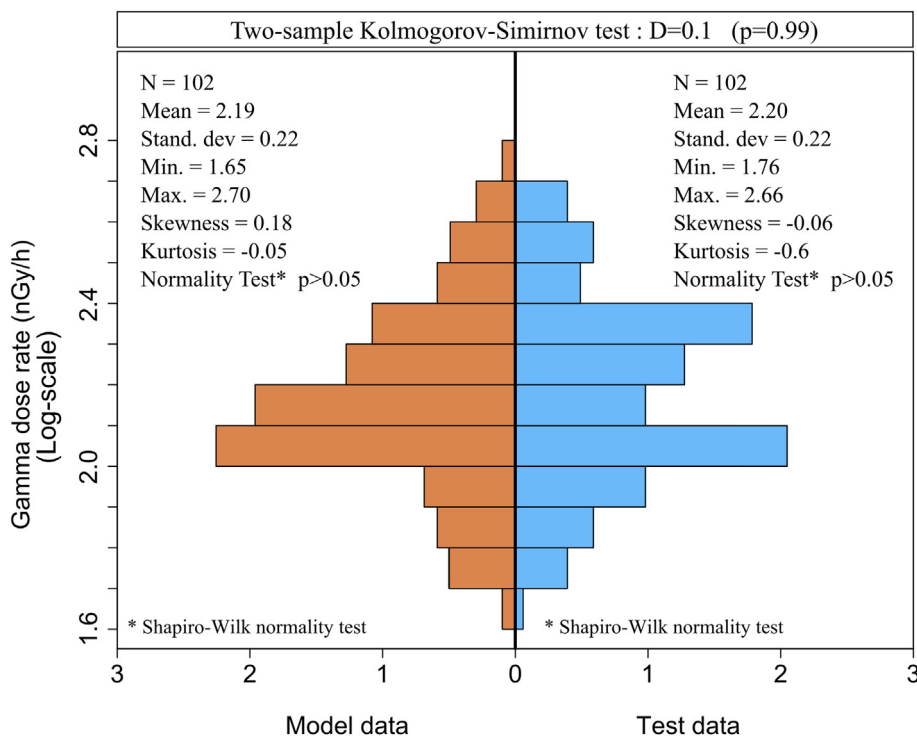


Fig. 6. The histogram and descriptive of model and log-transformed data.

rates; elevation and soil type is studied. There is a significant positive correlation ($r = 0.880$, $p < 0.001$, $n = 102$; for model data) found between the first factor, elevation and log transformed gamma dose rates. The elevation explains 77.3% of the variation in gamma dose rate. The reason behind this is thought to be the fact that high areas are affected more from cosmic rays. The study area, Artvin has the roughest land in Artvin and changes in altitude are very fast. Correspondingly, sudden changes in gamma dose rates were identified in the study. Fig. 7a and b shows the relationship between gamma dose rates and elevation for both model data and test data, respectively. Great soil groups (GSG) explains 22.1% of the variation in gamma dose rate. The maximum of mean gamma dose rates were identified in high mountain meadow soils (Y) and the minimum was found in colluvial soils (C). Fig. 7c and d shows the box-and-whisker diagrams of gamma dose rates and great soil groups for both model data and test data, respectively.

From stepwise multiple linear regression (MLR) analysis, elevation, brown forest soils (M), non-calcic brown soils (N) and red–yellow podzolic soils (P) were significant ($p < 0.001$) variables in the MLR model [Eq. (13)] that explained 75.6% of the variability in Outdoor gamma dose rate (OGDR):

$$GDR = 2.071 + 0.0001(Elevation) - 0.262(M) - 0.499(N) - 0.178(P)$$

$$R^2 = 0.756 \quad (p < 0.001)$$

(13)

3.2. Geostatistical analysis

3.2.1. Spatial structure of gamma dose rate

Fig. 8a shows semivariogram surface that describes the spatial structure for gamma dose rate. Since this pattern is scattered homogenously to the whole area, spatial correlation was found to be nonanisotropic. Furthermore, as seen in the anisotropic experimental variogram, it can be concluded that the study area does not contain anisotropy since the average variogram values are relatively close to each other in particular directions [0° (E–W), 45°(NE–SW), 90 (N–S) and 135 (diagonal)]. As a result of this, the area should be characterised with isotropic semivariogram.

3.2.2. Variograms

OK interpolation can be specified with the formation of isotropic experimental semivariogram and fitting of appropriate model to this variogram. UK interpolation is obtained with the forming of semi-variogram of residuals in order to reidentify spatial structure with the help of proposed function according to MLR model given with equilibrium 13. In both of the experimental variograms, cross validation process is implemented in order to find the appropriate model and UK interpolated prediction can be made by using the obtained model parameters with fitted parametric function. Table 1 gives the summary of illustrative statistics that help us to choose the parametric model that best represents residual variogram.

For a model that ensures safe estimations, the mean error and the root mean square error should be close to 0 and the mean squared deviation ration should be close to 1. According to this, exponential model is specified as the best model both for outdoor

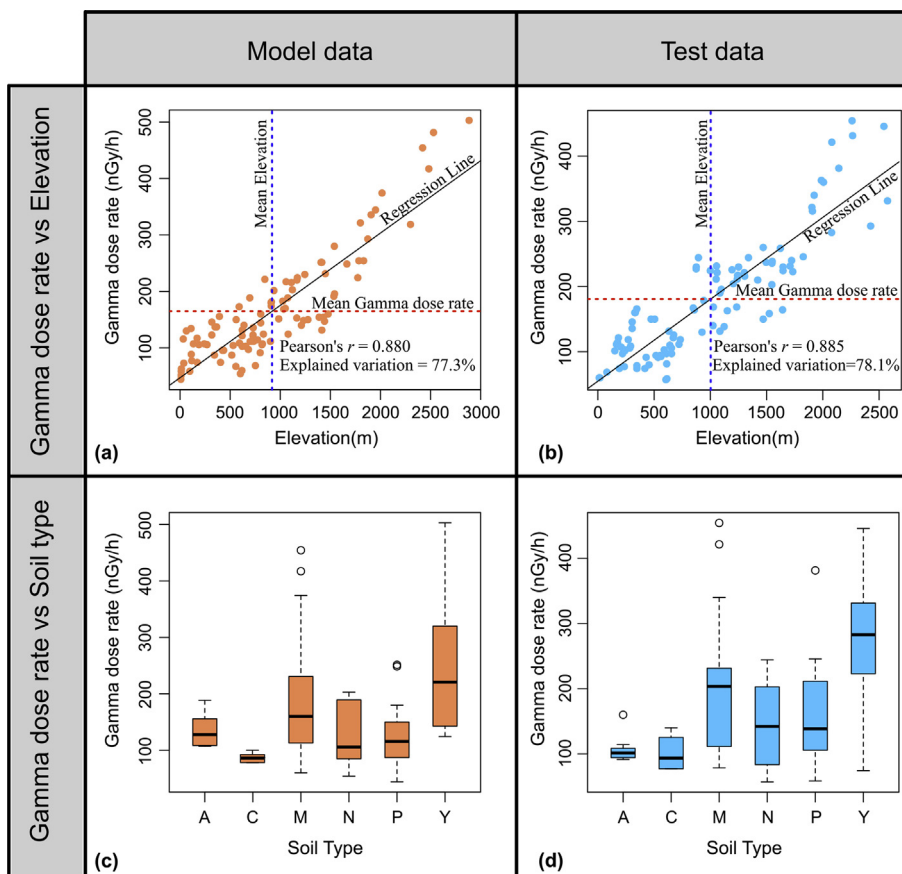


Fig. 7. Scatterplots showing the relation between gamma dose rate and elevation for (a) model data and (b) test data. Box-plots of gamma dose rate in nGy/h by great soil group for (c) model data and (d) test data.

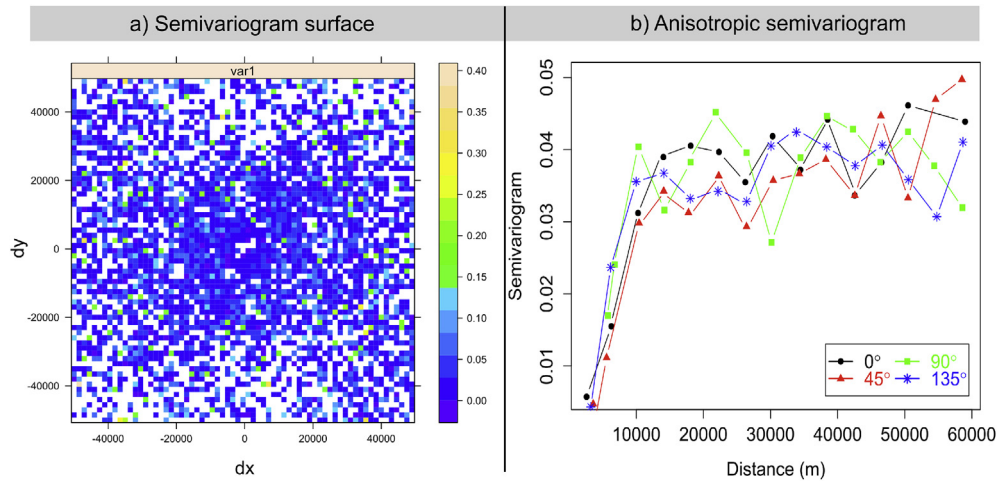


Fig. 8. Spatial structure of the study area (a) Semivariogram surface Gama dose rate, (b) Anisotropic variogram of gamma dose rates specified for particular directions.

gamma dose rates isotrophic experimental variogram and the regression residuals variogram. Fig. 9 shows these variograms and fitted model parameters. The nugget effect (C_0) is 0.001 and 0 for original variable (Fig. 9a) and MLR residuals variogram (Fig. 9b), respectively. These values are very small and show that the sampling density is adequate to reveal the spatial structures.

Furthermore, an indicator of spatial correlation, range (a) was specified as 7639.52 m and 4219.64 m, respectively. These values were quite bigger than sampling intervals (nearly 3000 m). Also, the nugget/sill ratio both in the variogram was less than 5% suggesting that the variable has strong spatial dependence. As a result of these reasons, spatial structure that put forward the interpolation predicted maps was presented to represent gamma dose distribution best both in OK and UK.

3.2.3. Validation

Test data were predicted and by using ordinary kriging (OK) and universal kriging (UK) methods and making use of model parameters of fitted variograms with exponential models and these estimated test data were compared with the real values. Fig. 10 shows the scatter plot between the observed data and predicted data both for ordinary kriging and universal kriging. In estimation of OK and UK, 86.28% and 97.05% of the estimated points, respectively were inside the probability contour and there was a good linear relationship obtained between the real and estimated values. The cross validation has shown the average error of 4.7% for OK and 2.2% for UK. These results are quite small and can be used for estimation. In addition, the overall precision (RMSE) was calculated as 0.175 for OK and 0.093 for UK. Total variation in gamma dose

rates suggested by using OK method was explained as 40.2% and Pearson r coefficient was found as 0.64 ($p < 0.001$). The total variation in gamma dose rates suggested by UK method was explained as 78.5% and Pearson r coefficient was found as 0.88 ($p < 0.001$).

Fig. 11 shows the diagnostic plots for observation and estimation regression with models formed by OK. Here, there was not any relationship found between the estimation values and residuals; that is to say, error values are statistically independent (Fig. 11a), error values show normal distribution (Fig. 11b) and probable distribution of error has constant variance (Fig. 11c). These results specify that estimation model done with OK fulfils the regression assumptions.

Fig. 12 shows the diagnostic plots for the observation regression and the estimation of the model formed with UK. Here, error values are statistically independent (Fig. 12a), error values show normal distribution (Fig. 12b) and error probability distribution has constant variance (Fig. 12c). According to these results, estimation model done with UK fulfils the regression assumptions.

With regard to these results, evaluating the two models in terms of performance, UK model was identified to be quite better than OK model in specifying the gamma dose rates spatially. Although OK model defines a specific amount of spatial correlation for gamma dose rates, because of the smoothing in the structure of kriging method, estimation values were below the average level and could not form a sufficient correlation with the real values (Fig. 10a). On the other hand, in the UK model generated by considering the trend components that directly affect gamma dose rates, smoothing had been partially reduced and there was a high correlation specified between estimation values and real values (Fig. 10b).

Table 1

The values of model parameters used to find the best fit function of semivariogram specified for original variable and regression residuals.

	Model	ME	RMSE	MSDR	Nugget	Sill	Range(m)	Nugget/Sill
Isotropic variogram for Gamma dose rate (log-scale)	Spherical	0.011	0.202	1.531	0.001	0.036	14,360.91	0.027
	Exponential	0.008	0.186	1.253	0.001	0.040	7639.52	0.025
	Gauss	0.012	0.213	3.078	0.001	0.036	6046.52	0.027
	Pentaspheical	0.010	0.201	1.497	0.002	0.036	17,784.57	0.055
	Linear	0.011	0.208	1.771	0.002	0.036	10,077.16	0.055
	Circular	0.011	0.205	1.586	0.002	0.036	12,215.91	0.055
Regression residuals variogram	Spherical	-0.003	0.112	1.470	0.0005	0.010	10,195.66	0.05
	Exponential	-0.002	0.106	1.243	0.0000	0.010	4219.64	0.00
	Gauss	-0.003	0.111	1.447	0.0020	0.008	5160.23	0.25
	Pentaspheical	-0.003	0.112	1.446	0.0001	0.010	11,929.92	0.01
	Linear	-0.003	0.112	1.451	0.0020	0.008	8991.44	0.25
	Circular	-0.003	0.111	1.402	0.0010	0.009	10,062.62	0.11

Fitted model are indicated with bold

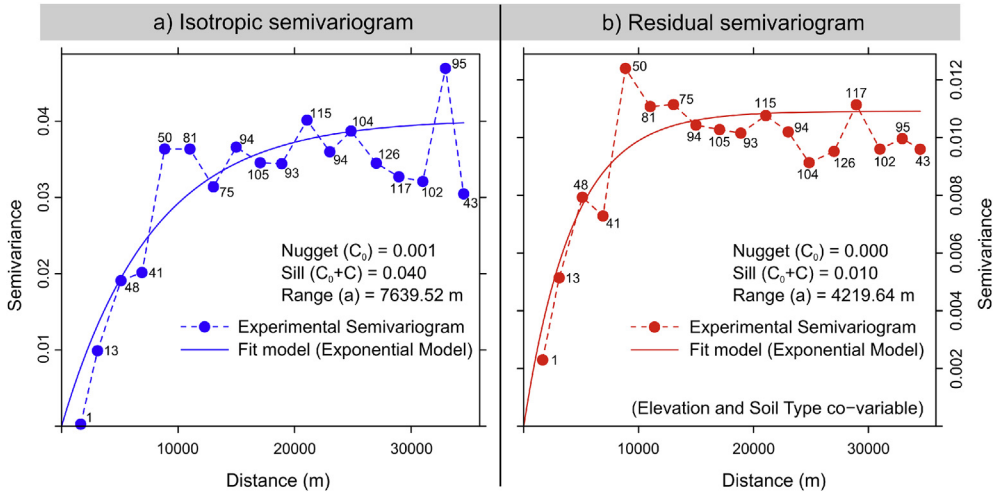


Fig. 9. a) Isotropic semivariogram for original variable (Log-scale), b) Residual semivariogram for MLR residuals. Numbers indicate total number of point pairs associated with each bin in the experimental semivariogram.

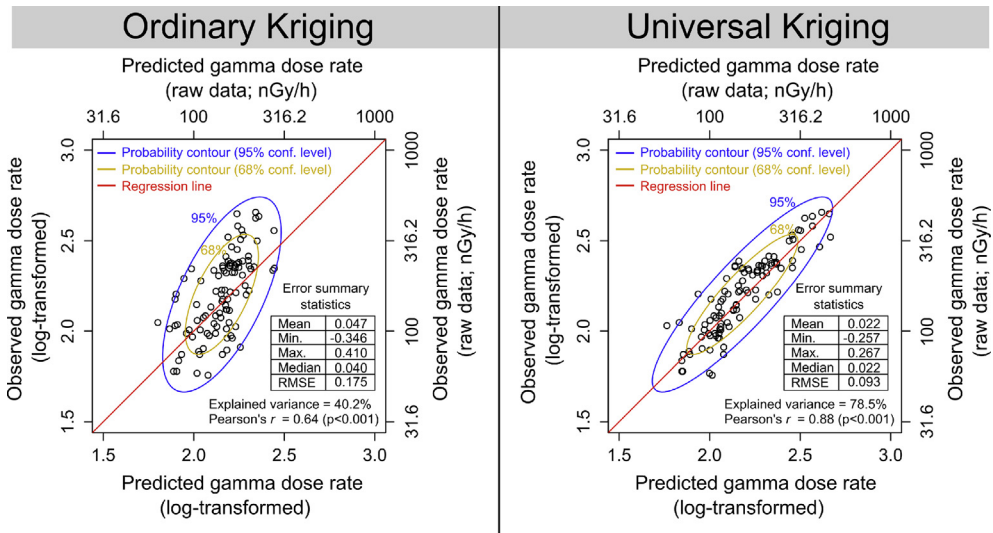


Fig. 10. The scatter diagram and error summary statistics of actual values of gamma dose rates versus obtained estimations by using OK and UK.

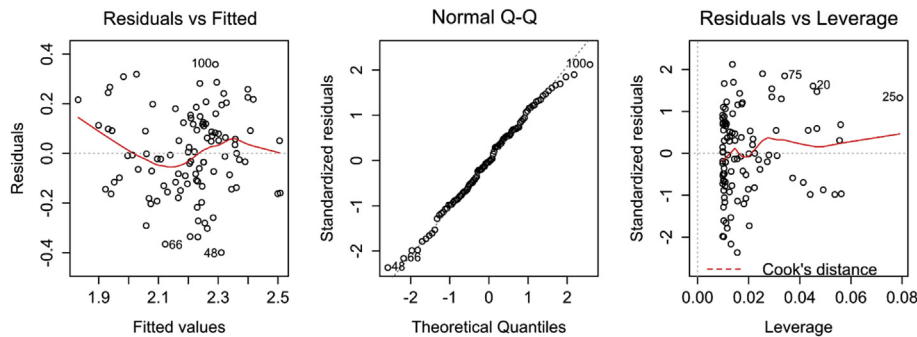


Fig. 11. Diagnostic plots for OK model.

3.2.4. Mapping

The study area was represented with grid system with separated cells of 100 m × 100 m (1 ha Spatial Resolution) in order to do the mapping and estimation of unsampling points. For the whole region, 1634 columns (E–W direction 163,400 m long) and 1409 lines

(N–S direction 140,900 m long) were generated as grid points. Estimations were specified for both OK and UK methods in each grid point and maps were generated for each estimation method. Figs. 13 and 14 show OK interpolated prediction map and prediction variance of gamma dose rates, respectively. Although the local

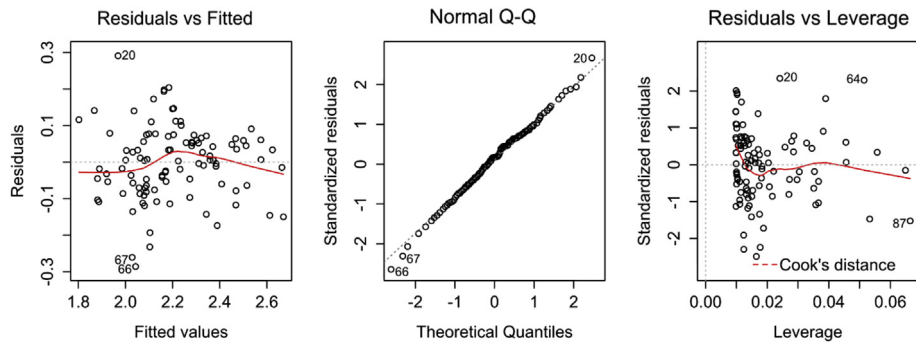


Fig. 12. Diagnostic plots for UK model.

changes are not seen clearly in the OK estimation map (Fig. 13) because of that smoothing effect of kriging method, gamma dose distribution in the study area can be defined. Gamma dose rates were found to be as low especially in the areas where the altitude is low (Black Sea coasts). Considering the study area together with geological (Fig. 3) and soil structure (Fig. 4), there was a significant increase in gamma dose rates especially in the places that have high mountain meadow soils group and granite structured rocks. OK estimation variance shown in Fig. 14 is associated with variogram structure and distribution of samples and provides the validity of kriging results (McGrath et al., 2004). This map shows the distribution of OK model maps. Here, estimation variance is very low in sampling sites that are close; however, this value is observed to be a little higher in far areas.

Figs. 15 and 16 show UK interpolated prediction map and estimation variance of gamma dose rates, respectively. In UK estimation map, smoothing effect of kriging method has been reduced. In the map generated using this model, local changes in gamma dose rates are more apparent. Rough study area and the sudden changes in altitude cause sudden changes in gamma dose rates and this situation is apparently shown in the map. In addition, in Fig. 15, it is identified that gamma dose rates are low along the basin of Çoruh

River. UK estimation variance in Fig. 16 is relatively low. This is an indicator of low distribution in UK model errors and high validity levels of assigned results.

4. Conclusion

In this study, the distributions of gamma dose rates in Artvin, which possesses one of the roughest lands in Turkey, were studied, estimation values were calculated for non-sampling points by using the geostatistical model that best characterizes the region and the results were mapped. By doing so, with a specific measurement data, the general radiological structure of the study area was defined with minimum error. Ordinary kriging and universal kriging techniques were used in the study. In Universal kriging technique, both general soil groups and altitude values have been included as the estimators in the calculations. The data were normalized by log transformation because of the fact that the gamma dose rates in the study area did not show normal distribution. In order to reveal the spatial structure, anisotropic variograms were analysed and as a result, it was defined that these variograms did not change according to the directions. A good variogram structure was specified both for isotropic and residual

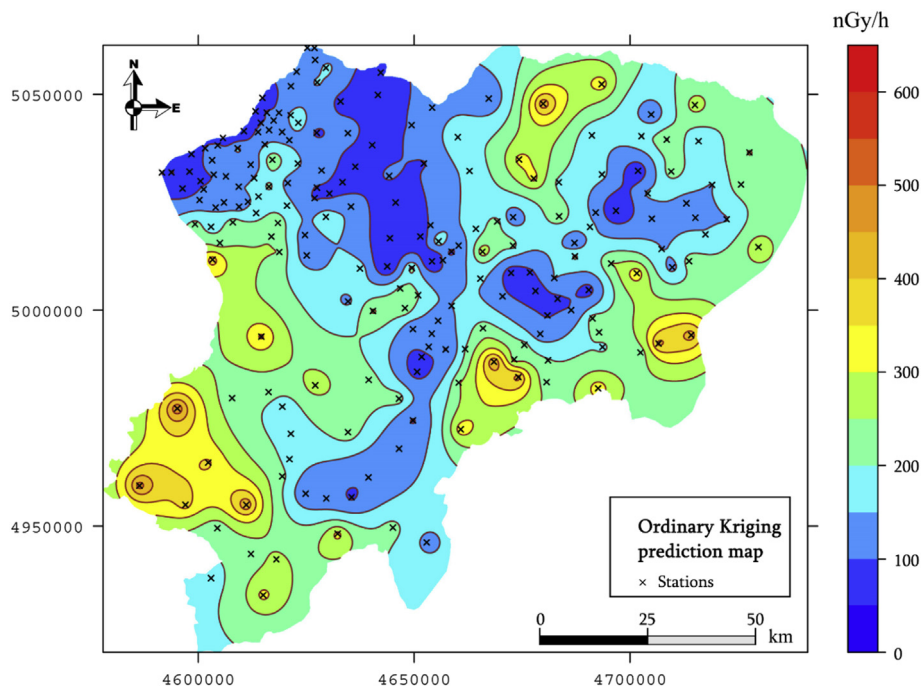


Fig. 13. OK interpolated estimation map for outdoor gamma dose rates.

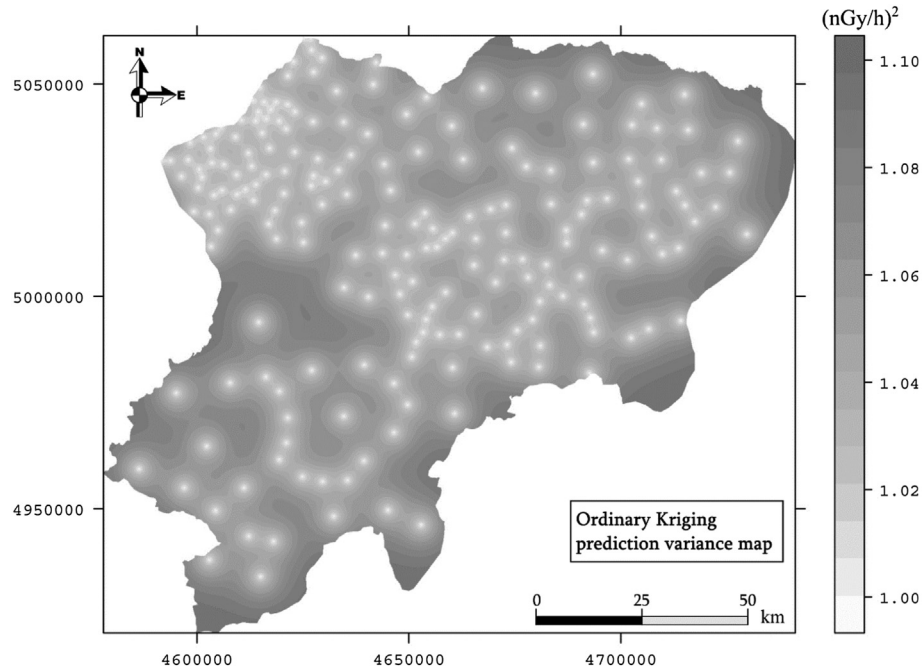


Fig. 14. OK estimation variance map for outdoor gamma dose rates.

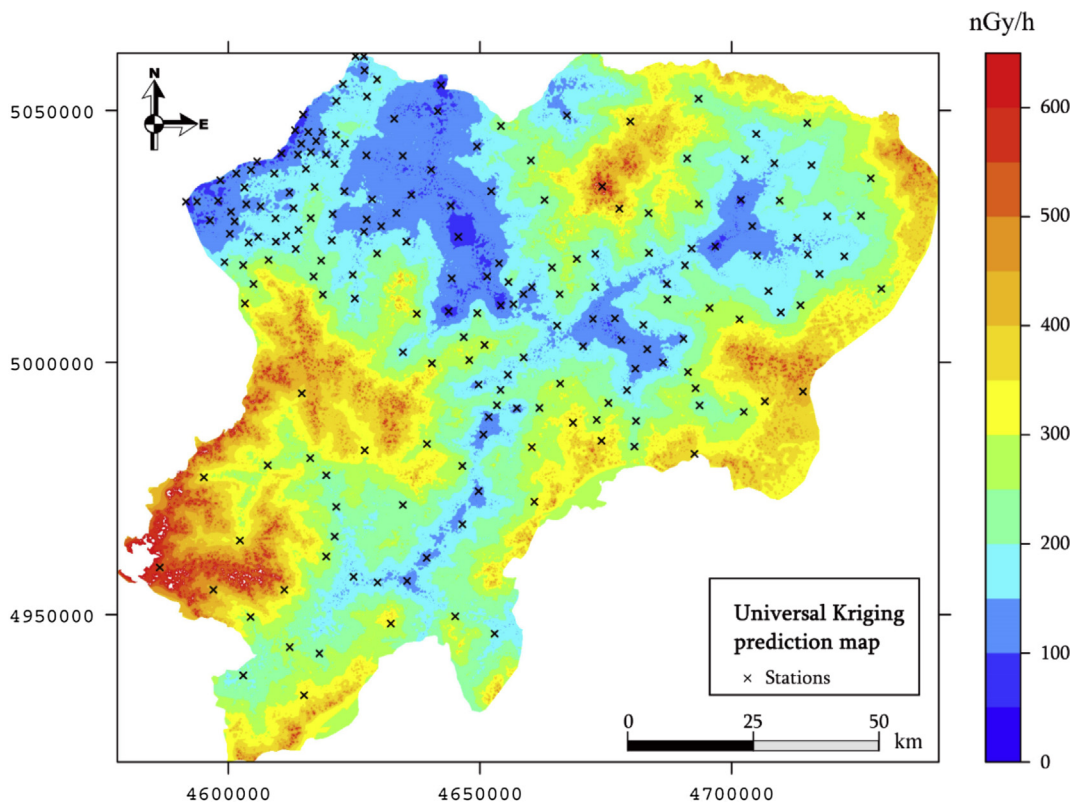


Fig. 15. UK interpolated estimation map for outdoor gamma dose rates.

variograms and both variograms were fitted the optimum parametric function, the exponential model. Thus, the necessary parameters for the weight calculations of Ordinary kriging and Universal kriging were identified with the help of fitted model. Validation was performed with the test data given to compare and contrast OK and UK methods. As a result, the variance defined with

OK was found as 40.1% and Pearson's $r = 0.64$ ($p < 0.001$); however, the variance defined with UK was found to be 78.5% and Pearson's $r = 0.88$ ($p < 0.001$). The study area was divided into $100\text{ m} \times 100\text{ m}$ (1 ha Spatial Resolution) cells for interpolated estimation maps and was represented with grid system. Estimation values were calculated for non-sampling parts by using both OK and UK methods and

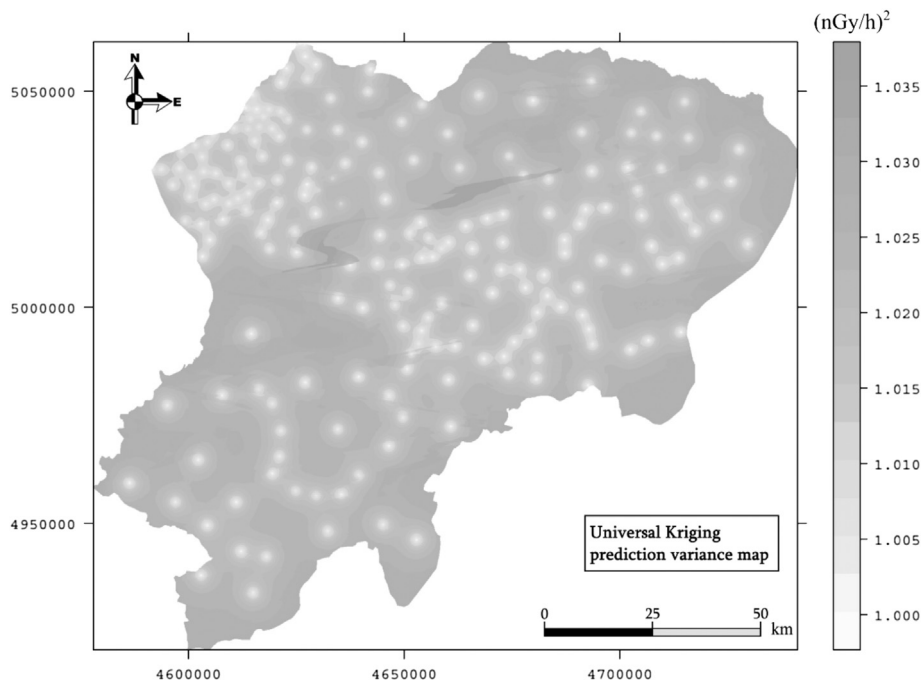


Fig. 16. UK estimation variance map for outdoor gamma dose rates.

maps were generated by colouring the grids according to this.

Although the map generated with OK model explained some parts of spatial correlation for outdoor gamma dose rates, the local changes in the study area could not be observed because of the smoothing done in the structure of the kriging method. However, in the UK model constructed by adding the factors like altitude and soil structure that directly affect gamma dose rates as estimators, smoothing effect was partially lowered and sudden changes in the study area were identified in the map. Thereby, in any routine or emergency case, Universal kriging method was established to perform better than Ordinary kriging in defining the radiological characterization of the land geostatistically with the least data in the shortest time.

Acknowledgements

This work was supported by Cekmece Nuclear Research and Training Centre (CNEAM) and Artvin Çoruh University research grant (BAP-2013.F42.02.05).

References

- Alvarez-Gallego, M., Garcia-Anton, E., Fernandez-Cortes, A., Cuezva, S., Sanchez-Moral, S., 2015. High radon levels in subterranean environments: monitoring and technical criteria to ensure human safety (case of Castañar cave, Spain). *J. Environ. Radioact.* 145, 19–29. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvrad.2015.03.024>.
- Armstrong, M., 1998. In: Springer (Ed.), *Basic Linear Geostatistics*. Springer Science & Business Media, Berlin.
- Baykara, O., Doğru, M., 2009. Determination of terrestrial gamma, U-238, Th-232 and K-40 in soil along fracture zones. *Radiat. Meas* 44, 116–121. <http://dx.doi.org/10.1016/j.radmeas.2008.10.001>.
- Boogaart Van Den, K.G., Schaablen, H., 2002. Kriging of regionalized directions, axes, and orientations I. *Directions and axes*. *Math. Geol.* 34, 479–503.
- Cafaro, C., Bossew, P., Giovani, C., Garavaglia, M., 2014. Definition of radon prone areas in Friuli Venezia Giulia region, Italy, using geostatistical tools. *J. Environ. Radioact.* 138, 208–219. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvrad.2014.09.003>.
- Charro, E., Pardo, R., Peña, V., 2013. Statistical analysis of the spatial distribution of radionuclides in soils around a coal-fired power plant in Spain. *J. Environ. Radioact.* 124C, 84–92. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvrad.2013.04.011>.
- Chica-Olmo, M., Luque-Espinar, J.A., Rodríguez-Galiano, V., Pardo-Igúzquiza, E., Chica-Rivas, L., 2014. Categorical indicator Kriging for assessing the risk of groundwater nitrate pollution: the case of Vega de Granada aquifer (SE Spain). *Sci. Total Environ.* 470–471, 229–239. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.09.077>.
- Chilès, J.-P., Delfiner, P., 1999. In: Wiley (Ed.), *Geostatistics: Modeling Spatial Uncertainty*. Wiley, New York.
- Clark, I., Harper, W.V., 2000. *Practical Geostatistics 2000*. Ecosse North America, ISBN 0-9703317-0-3. Columbus, Ohio, USA.
- Chiozzi, P., Pasquale, V., Verdoya, M., 2002. Heat from radioactive elements in Youngs volcanics by Gamma-Ray spectrometry. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 119, 205–214.
- Clark, I., 1979. In: Elsevier (Ed.), *Practical Geostatistics*. Elsevier, London, U.K.
- Dai, L., Wei, H., Wang, L., 2007. Spatial distribution and risk assessment of radionuclides in soils around a coal-fired power plant: a case study from the city of Baoji, China. *Environ. Res.* 104, 201–208. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvres.2006.11.005>.
- Degerlier, M., Karahan, G., Ozger, G., 2008. Radioactivity concentrations and dose assessment for soil samples around Adana, Turkey. *J. Environ. Radioact.* 99, 1018–1025. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvrad.2007.12.015>.
- Deutsch, C.V., Journel, A.G., 1998. In: Oxford Uni (Ed.), *GSLIB: Geostatistical Software Library and User's Guide*. Oxford University Press, New York.
- Diggle, P., Riberioj, P., 2007. In: Springer (Ed.), *Model-based Geostatistics*. Springer, London, U.K.
- Elbasiouny, H., Abowaly, M., Abu-Alkheir, A., Gad, A., 2014. Spatial variation of soil carbon and nitrogen pools by using ordinary Kriging method in an area of north Nile Delta, Egypt. *CATENA* 113, 70–78. <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2013.09.008>.
- Hiemstra, P.H., Pebesma, E.J., Twenhöfel, C.J.W., G.B.M., H., 2009. Real-time automatic interpolation of ambient gamma dose rates from the Dutch radioactivity monitoring network. *Comput. Geosci.* 35, 1711–1721. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cageo.2008.10.011>.
- Ihaka, R., Gentleman, R., 1996. R: a language for data analysis and graphics. *J. Comput. Graph. Stat.* 5, 299–314. <http://dx.doi.org/10.1080/10618600.1996.10474713>.
- Karahan, G., Bayulken, a., 2000. Assessment of gamma dose rates around Istanbul (Turkey). *J. Environ. Radioact.* 47, 213–221. [http://dx.doi.org/10.1016/S0265-931X\(99\)00034-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0265-931X(99)00034-X).
- Kobyay Y., Taşkın H., Yeşilkanat, C.M. and Çevik U., Evaluation of outdoor gamma dose rate and cancer risk in artvin province, Turkey. *Hum. Ecol. Risk Assess.* Published online: 02 Mar 2015, <http://dx.doi.org/10.1080/10807039.2015.1017876>.
- Krige, D.G., 1966. Two-dimensional weighted moving average trend surfaces for ore-evaluation. *J. South Afr. Inst. Min. Met.* 66, 13–38.
- Lark, R.M., Ander, E.L., Cave, M.R., Knights, K.V., Glennon, M.M., Scanlon, R.P., 2014. Mapping trace element deficiency by cokriging from regional geochemical soil data: a case study on cobalt for grazing sheep in Ireland. *Geoderma* 226–227, 64–78. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.03.002>.
- Li, C., Lu, Z., Ma, T., Zhu, X., 2009. A simple kriging method incorporating multiscale measurements in geochemical survey. *J. Geochem. Explor.* 101, 147–154. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gexplo.2008.06.003>.
- McGrath, D., Zhang, C., Carton, O.T., 2004. Geostatistical analyses and hazard

- assessment on soil lead in Silvermines area. *Irel. Environ. Pollut.* 127, 239–248. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2003.07.002>.
- Mishev, A.L., Hristova, E., 2012. Recent gamma background measurements at high mountain altitude. *J. Environ. Radioact.* 113, 77–82. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvrad.2012.04.017>.
- MTA, 2002. 1:500 000–scale Map of Turkey. General Directorate of Mineral Research and Exploration (MTA), Ankara, Turkey.
- Norbani, N.E., Abdullah Salim, N.A., Saat, A., Hamzah, Z., Ramli, A.T., Wan Idris, W.M.R., Jaafar, M.Z., Bradley, D. a., Abdul Rahman, A.T., 2014. Terrestrial gamma radiation dose rates (TGRD) from surface soil in Negeri Sembilan, Malaysia. *Radiat. Phys. Chem.* 104, 112–117. <http://dx.doi.org/10.1016/j.radphyschem.2014.04.008>.
- O'Brien, K., Friedberg, W., Sauer, H.H., Smart, D.F., 1996. Atmospheric cosmic rays and solar energetic particles at aircraft altitudes. *Environ. Int.* 22, 9–44.
- Otansev, P., Karahan, G., Kam, E., Barut, I., Taskin, H., 2012. Assessment of natural radioactivity concentrations and gamma dose rate levels in Kayseri. *Turk. Radiat. Prot. Dosim.* 148, 227–236.
- Pebesma, E.J., 2005. Mapping radioactivity from monitoring data: Automating the classical geostatistical approach. *Appl. GIS* 1, 1–17. <http://dx.doi.org/10.2104/ag050011>.
- Pebesma, E.J., Bivand, R.S., 2005. Classes and methods for spatial data in R. *R. News* 4, 9–13.
- Pebesma, E.J., Wesseling, C.G., 1998. Gstat: a program for geostatistical modelling, prediction and simulation. *Comput. Geosci.* 24, 17–31. [http://dx.doi.org/10.1016/S0098-3004\(97\)00082-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0098-3004(97)00082-4).
- Quantum GIS Development Team, 2014. Quantum GIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project.
- Quarto, M., Pugliese, M., Roca, V., 2013. Gamma dose rate measurements in dwellings of Campania region, South Italy. *J. Environ. Radioact.* 115, 114–117. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvrad.2012.07.016>.
- Rafique, M., Rahman, S.U., Basharat, M., Aziz, W., Ahmad, I., Lone, K.A., Ahmad, K., 2014. Evaluation of excess life time cancer risk from gamma dose rates in Jhelum valley. *J. Radiat. Res. Appl. Sci.* 7, 29–35. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jrras.2013.11.005>.
- R Development Core Team, 2005. R: a Language and Environment for Statistical Computing, Reference Index Version 2.2.1 [WWW Document]. R Found. Stat. Comput. URL <http://www.r-project.org/>.
- Ramasamy, V., Paramasivam, K., Suresh, G., Jose, M.T., 2014. Role of sediment characteristics on natural radiation level of the Vaigai river sediment, Tamilnadu, India. *J. Environ. Radioact.* 127, 64–74. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvrad.2013.09.010>.
- Sanusi, M.S.M., Ramli, A.T., Gabdo, H.T., Garba, N.N., Heryanshah, A., Wagiran, H., Said, M.N., 2014. Isodose mapping of terrestrial gamma radiation dose rate of Selangor state, Kuala Lumpur and Putrajaya, Malaysia. *J. Environ. Radioact.* 135, 67–74. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvrad.2014.04.004>.
- Savelieva, E., 2005. Using ordinary Kriging to model radioactive contamination data. *Appl. GIS* 1, 10–1–10–10.
- Statistic Department of Turkey, 2014. <http://www.webcitation.org/6NPUa8fse>. Available date: 08.09.2014.
- Taskin, H., Karavus, M., Ay, P., Topuzoglu, a., Hidiroglu, S., Karahan, G., 2009. Radionuclide concentrations in soil and lifetime cancer risk due to gamma radioactivity in Kırklareli, Turkey. *J. Environ. Radioact.* 100, 49–53. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvrad.2008.10.012>.
- Tondel, M., Lindgren, P., Hellström, L., Löfman, O., Fredrikson, M., 2011. Risk of malignancies in relation to terrestrial gamma radiation in a Swedish population cohort. *Sci. Total Environ.* 409, 471–477. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.10.052>.
- UNSCEAR, 2000. Source and effects of ionizing radiation, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. United Nations, New York.
- USGS, 2013. Digital Elevation Maps (DEM) Data Sets (Available date: 11.01.2015) [WWW Document]. URL <http://earthexplorer.usgs.gov/>. <http://earthexplorer.usgs.gov/>.
- Ustaomer, T., Robertson, a. H.F., Ustaomer, P. a., Gerdes, a., Peytcheva, I., 2012. Constraints on Variscan and Cimmerian magmatism and metamorphism in the Pontides (Yusufeli-Artvin area), NE Turkey from U-Pb dating and granite geochemistry. *Geol. Soc. Lond. Spec. Publ.* 372, 49–74. <http://dx.doi.org/10.1144/SP372.13>.
- Warnery, E., Ielsch, G., Lajaunie, C., Cale, E., Wackernagel, H., Debayle, C., Guillevic, J., 2015. Indoor terrestrial gamma dose rate mapping in France: a case study using two different geostatistical models. *J. Environ. Radioact.* 139, 140–148. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvrad.2014.10.002>.
- Webster, R., Oliver, M.A., 2007. *Geostatistics for Environmental Scientists*. Wiley, John Wiley & Sons.
- Yavuz Özalp, A., Akıncı, H., Temuçin, S., 2013. Determining topographic and some physical characteristics of the land in artvin City and investigating relationship between these characteristics with land cover. *J. For. Fac. Artvin Coruh Univ.* 14, 292–309.
- Yuksekk, T., Ölmez, Z., 2002. A general assessment of climate, soil structure, forest areas, growing stock and some forestry applications of Artvin region. *J. Artvin For. Fac. Kafkas Univ.* 3, 50–62.



T.C.
TÜRKİYE ATOM ENERJİSİ KURUMU
Araştırma Geliştirme Koordinasyon Dairesi Başkanlığı

SAYI : 25806840-030.03- **28608**
KONU : İşbirliği Protokolü

10/06/2013

ARTVİN ÇORUH ÜNİVERSİTESİ REKTÖRLÜĞÜNE

İlgi: 28.05.2013 tarihli ve 34958711-030.03/1285 sayılı yazınız

Kurumumuz İle Üniversiteniz arasında iki konuda yapılan İşbirliği Protokolü tarafımızca da imzalanarak birer nüshası yazımız ekinde gönderilmektedir.

Bilgilerine ve gereğini arz ederim.


Zafer ALPER
Başkan

EK: Protokol (2 adet)

h
Müh. Fak. Dekanına
Dış İlişkiler Birimine
22/06/13

ARTVİN ÇORUH ÜNİVERSİTESİ	
REKTÖRLÜĞÜ	
GELEN EVRAK	
TARİH	12.06.2013
SAYI	3328

TÜRKİYE ATOM ENERJİSİ KURUMU
İLE
ARTVİN ÇORUH ÜNİVERSİTESİ
ARASINDA
İŞBİRLİĞİ PROTOKOLÜ

1. PROTOKOLÜN TARAFLARI

İşbu protokol, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu ile Artvin Çoruh Üniversitesi arasında aşağıdaki şartlarda imzalanmıştır.

2. TANIMLAR ve KISALTMALAR

Kurum : Türkiye Atom Enerjisi Kurumu'nu,
Üniversite: Artvin Çoruh Üniversitesi'ni,

ifade eder.

3. PROTOKOLÜN AMACI

Bu Protokolün amacı, nükleer teknoloji geliştirme çalışmaları kapsamında yapılacak işbirliğinin çerçevesini belirlemektir. Kurum ve Üniversite bundan böyle bu protokol çerçevesinde ve detayları akdedilecek proje sözleşmelerinde tanımlanacak işbirliği çalışmalarında bulunabilecektir.

4. HUKUKİ DAYANAK

Barışçıl amaçlarla Türkiye'de atom enerjisinin kalkınma planlarına uygun olarak ülke yararına kullanılmasını sağlamak, temel ilke ve politikaları belirleyip önermek, bilimsel, teknik ve idari çalışmaları yapmak, düzenlemek, desteklemek, koordine etmek ve denetlemek üzere kurulan Türkiye Atom Enerjisi Kurumunun kuruluş Kanununun 4'üncü maddesi (g) ve (h) bendi hükümlerinde yer alan ulusal kurum ve kuruluşlarla ve yüksek öğretim kurumları ile işbirliği yapmak hükümlerine istinaden akdedilmiştir.

5. PROTOKOLÜN KAPSAMI

Taraflar protokolün amacı çerçevesinde:

- a) Laboratuvar, atölye, bilgisayar ve yazılım gibi hesaplama olanakları ile diğer imkânlarının çalışanlarınca ortak kullanımını sağlamayı,
- b) Nükleer teknoloji ürün ve yöntemlerinin tasarım, araştırma, geliştirme ve üretim çalışmalarını ortaklaşa yapmayı ve bu bağlamda ortak projeler yürütmeyi,
- c) Nükleer teknoloji geliştirmek için yapılan çalışmalarla ilgili olarak bilgi-görgü artırılması, ortak çalışmalar yürütülmesi, yerli-yabancı uzman davet edilmesi ve ayrıca ortak bildiri ve makale sunulması ve yayımlanması için yol, harcırah, kayıt, basım vb. giderleri konusunda mali mevzuatın izin verdiği ölçüde karşılıklı maddi destek sağlamayı,
- d) Nükleer teknolojiyle ilgili kongre, konferans vb. bilimsel toplantıların düzenlenmesini ve desteklenmesini,

teşvik etmek amacıyla işbirliği yapmayı kararlaştırmışlardır.

6. UYUŞMAZLIKLARIN HALLİ

Uyuşmazlık halinde ihtilaf konusu karşılıklı görüşmelerle çözülür. Çözülemediği takdirde protokol karşılıklı olarak feshedilir. Bu şekilde halledilemeyen konularda protokolden doğan uyuşmazlıklar 3533 sayılı “Umumi Mülhak ve Hususi Bütçelerle İdare Edilen Daireler ve Belediyelerle Sermayesinin Tamamı Devlete veya Belediyeye veya Hususi İdarelere Ait Daire ve Müesseseler Arasındaki İhtilafların Tahkim Yoluyla Halli Hakkında Kanun” hükümlerine göre hallolunur.

7. FESİH

Taraflardan birinin protokolü feshetmek istediğini karşı tarafa resmi yazı ile bildirip tebliğ ettiği an protokol fesholunur. Bu durumda protokol kapsamında yürümekte olan projeler gözden geçirilir, tamamlanabileceği düşünülenler sürdürülür, diğerleri ilgili sözleşme hükümlerine göre sonlandırılır.

8. PROTOKOLÜN YÜRÜRLÜK TARİHİ ve SÜRESİ :

Bu protokol bu madde ile birlikte 8 (sekiz) madde ve 2 (iki) sayfa olup 04/082013 tarihinde taraflarca imzalanmıştır.

Bu protokolün süresi imza tarihinden itibaren 3 (üç) yıl olup süre bitiminden bir ay önce taraflardan birisi yazılı olarak karşı tarafa protokolün iptal edilmesini bildirmedeği takdirde Protokol aynı şartlarda 3'er (üçer) yıllık sürelerde uzatılacaktır.

Artvin Çoruh Üniversitesi
adına

Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
adına


Prof. Dr. M. Mehmet DUMAN
Rektör


Zafer ALPER
Başkan

**TÜRKİYE ATOM ENERJİSİ KURUMU ÇEKMECE NÜKLEER ARAŞTIRMA VE
EĞİTİM MERKEZİ
İLE
ARTVİN ÇORUH ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ ENERJİ
SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ ARASINDA
“ARTVİN İLİNİN ÇEVRESEL RADYOAKTİVİTESİNİN BELİRLENMESİ VE
DOĞAL FON HARİTASININ ÇIKARTILMASINA”
İLİŞKİN İŞBİRLİĞİ PROTOKOLÜ**

PROTOKOLÜN TARAFLARI

MADDE 1: Bu protokol, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu Başkanlığı Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi ile Artvin Çoruh Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü arasında aşağıda belirlenen şartlarda akdedilmiştir.

KISALTMALAR

MADDE 2 : Bu Protokolde;

AÇÜ : Artvin Çoruh Üniversitesi’ni,

ÇNAEM : Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi’ni,

TAEK : Türkiye Atom Enerjisi Kurumu’nu,
ifade eder.

PROTOKOLÜN AMACI

MADDE 3: Bu protokolün amacı, TAEK’in 2012 Yılı Çalışma Programında yer alan ve “A2.H4.P1.09” kodu ile verilen “Çevresel Radyolojik İzleme ve Dozimetrik Değerlendirme Faaliyetleri” nin hedeflenen sonuçları kısmındaki her ilin doğal fon haritasının hazırlanması ve o ile ait ölçüm ve analiz verilerinin toplanması kapsamında “Artvin İlinin Çevresel Radyoaktivitesinin Belirlenmesi ve Doğal Fon Haritasının Çıkartılması” olup bu çalışma, TAEK ÇNAEM ile AÇÜ Mühendislik Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü arasında yürütülecek işbirliğine ilişkin usul ve esasları belirlemektir.

PROTOKOLÜN KAPSAMI

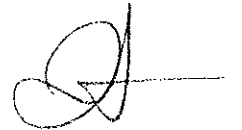
MADDE 4: Bu protokol, 3. maddede belirtilen amacın yerine getirilmesinin sağlanması için,

- İlin doğal fon haritasının hazırlanması,
- Toprak yapısının radyolojik yönden değerlendirilmesi,
- İçme ve kullanma sularındaki doğal radyoaktivite değerlerinin tespit edilmesi,
- İlin ölçüm ve analiz sonuçlarına ait veri bankası oluşturulması,
- Yıllık efektif doz ve toplum dozlarının tespit edilmesi,
- Fon radyasyon dozlarının, kanser riski hesaplarının yapılması,
- Bilimsel yayın yapılması

konularını kapsamaktadır.

HUKUKİ DAYANAK

MADDE 5 : Bu protokol, 09.07.1982 tarih ve 2690 sayılı TAEK Kanununun Kurumun görev ve yetkilerini düzenleyen 4’üncü maddesi (g) ve (h) bendi hükümlerine ve Türkiye Atom Enerjisi Kurumu ile Artvin Çoruh Üniversitesi arasında 04.10.2013 tarihinde imzalanan İşbirliği Protokolüne istinaden hazırlanmıştır.



TARAFLARIN YÜKÜMLÜLÜKLERİ

MADDE 6 :

6.1- TAEK'in Yükümlülükleri

- Radyasyon ölçümlerinde kullanılacak olan portatif gama doz hızı ölçer cihazı çalışır durumda bir teslim tutanağı ile ÇNAEM tarafından elden teslim edilecektir.
- CR-39 pasif nükleer radon dedektörleri ÇNAEM'den temin edilecektir.
- Radon ölçümleri ÇNAEM laboratuvarlarında yapılacaktır.
- ÇNAEM'e getirilecek olan toprak, su, vb. çevresel örneklerin radyoaktivite, radyonüklit ve eser element analizleri ile radon gazı ölçümleri ÇNAEM laboratuvarlarında yapılacaktır.
- Bu protokol kapsamında, örnek alma, analiz yapma, ölçüm alma teknikleri vb. konularında yerinde öğrenme veya bilgi alma talebi olması durumunda ÇNAEM, bu imkanı kendi Merkez laboratuvarlarında verecektir.

6.2- AÇÜ'nün Yükümlülükleri

- Çalışma sahasından toprak, su, bitki, vb. çevresel örneklerin toplanması, gama radyasyonu ölçümlerinin alınması ve örneklerin kargoyla ÇNAEM'e gönderilmesi ve bunlara dair masraflar AÇÜ Mühendislik Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü tarafından karşılanacaktır.
- Saha çalışmaları iki tarafın belirleyeceği tarihlerde yapıldıktan sonra ölçüm cihazı/cihazları ÇNAEM'e tutanak düzenlenerek iade edilecektir.
- Ortam gama dozu ölçümlerinde kullanılacak cihaz veya cihazların zarar görmesi durumunda bütün yükümlülükler teslim alan taraf olan AÇÜ Mühendislik Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümüne ait olacaktır.
- CR-39 pasif nükleer radon dedektörlerin il içinde evlere dağıtılması, toplanması ve bedeli ödenerek ÇNAEM'e gönderilmesi AÇÜ Mühendislik Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü tarafından yapılacaktır.
- AÇÜ Mühendislik Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, çevresel örneklerin ve radon dedektörlerinin örnek hazırlama safhalarında gerekli katkıda bulunacaktır.

6.3- Ortak Yükümlülükler

- Toprak, su, vb. örneklerin hazırlanma ve değerlendirme işlemleri birlikte yapılacaktır.
- Çalışma tez olarak kullanılacaksa çalışmada TAEK katkısı ve desteği belirtilecektir.
- Yapılan çalışma, Uluslararası Bilimsel Dergilerde yayın haline getirilecektir. Yayınlarda, çalışmada emeği geçen ÇNAEM personelinin isimleri bulunacak ve çalışmanın, TAEK tarafından desteklenerek yapıldığı açıkça belirtilecektir.

FİKRİ HAKLAR

MADDE 7: Çalışmaların yürütülmesi sırasında ortaya çıkan buluş, endüstriyel tasarım ve teknik bilgi gibi her türlü fikri ürün üzerindeki haklar TAEK'e aittir.

Çalışmalarla ilgili bütün sonuçlar ve buluşlar TAEK'ten izin alınarak tamamı veya kısaltılmış olarak AÇÜ Mühendislik Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü tarafından yayınlanabilir. Çalışmalarla ilgili her yayında TAEK'in işbirliği belirtilir ve yayının bir örneği TAEK'e gönderilir.

Güvenlik ve ticari çıkar gibi gizlilik gerektiren durumlarda gizlilik gereklerine uyulması, yayın yapanların veya bu sonuçları uygulamaya aktaranların sorumluluğundadır.

EK PROTOKOL

MADDE 8: Bu protokolün konusu çerçevesinde, bu protokolda yer almayan ve sonradan ortaya çıkabilecek hususlarda tarafların mutabakatı ile ileride ek protokol(ler) yapılabilecektir.

ANLAŞMAZLIKLARIN HALLİ

MADDE 9: Bu protokolün yürütülmesinde karşılıklı güven, iyi niyet ve anlayış ortamının oluşturulması esastır. Bu protokol hükümlerinin ifasında anlaşmazlık çıktığı takdirde TAEK Başkanı ve AÇÜ Rektörü müşterek hareket edecekler ve karşılıklı görüşmelerle anlaşmazlıkları çözeceklerdir. Uyuşmazlığın çözüme kavuşturulamaması halinde, bu protokolün yürütülmesinden doğacak anlaşmazlıklarla ilgili ihtilaflarda Ankara Mahkeme ve İcra Daireleri yetkilidir.

FESİH

MADDE 10: Taraflardan birinin protokolü feshetme isteğini, en az 1 (bir) ay öncesinden karşı tarafa bildirip tebliğ ettiği an protokol fesih olunabilecektir. Bu durumda bu protokolün kapsamında yürümekte olan çalışmalar gözden geçirilir, tamamlanabileceği düşünülenler sürdürülür, diğerleri bu protokolün ilgili hükümlerine göre sonlandırılır.

Bu protokolün 6.3'üncü maddesi (b) ve (c) bendi hükümleri fesih sonrasında da geçerliliğini koruyacaktır.

PROTOKOLÜN SÜRESİ

MADDE 11: Bu Protokolün süresi, imza tarihinden itibaren 1(bir) yıl olup, süre bitimine 1(bir) ay kala taraflardan birisi yazılı olarak karşı tarafa fesih ihbarında bulunmadığı takdirde bu süre aynı şartlarla birer yıllık sürelerle uzayacaktır.

YÜRÜRLÜK TARİHİ

MADDE 12: Bu protokol, bu madde ile birlikte 12 (oniki) madde ve 3 (üç) sayfa olup 04.06/2013 tarihinde 2 (iki) nüsha olarak taraflarca imzalanmıştır.

Bu protokol imzalandığı tarihte yürürlüğe girer.

Artvin Çoruh Üniversitesi
Adına

Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
Adına


Prof. Dr. M. Mehmet DUMAN
Rektör


Zafer ALPER
Başkan

ÖZGEÇMİŞ

1983 yılında Merzifon'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Merzifon tamamladı. 2001 yılında Merzifon sağlık meslek lisesini okul üçüncüsü olarak tamamladı. 2002 yılında Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünü kazandı. 2006 yılında mezun oldu. 2007 yılında Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Bölümü'nde yüksek lisans öğrenimine başladı. 2009 yılında Artvin Çoruh Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Nükleer Fizik anabilim dalında Araştırma Görevlisi olarak göreve başladı. Halen Artvin Çoruh Üniversitesinde Araştırma Görevlisi olarak görev yapan evli ve bir kız babası olan Cafer Mert YEŞİLKANAT İngilizce bilmektedir.

ÖZGEÇMİŞ

1983 yılında Merzifon da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Merzifon tamamladı. 2001 yılında Merzifon sağlık meslek lisesini okul üçüncüsü olarak tamamladı. 2002 yılında Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünü kazandı. 2006 yılında mezun oldu. 2007 yılında Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Bölümünde yüksek lisans öğrenimine başladı. 2009 yılında Artvin Çoruh Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Nükleer Fizik Anabilim Dalında Araştırma Görevlisi olarak göreve başladı. Halen Artvin Çoruh Üniversitesinde Araştırma Görevlisi olarak görev yapan evli ve bir kız babası olan Cafer Mert YEŞİLKANAT İngilizce bilmektedir.