

T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**LİNYİT KALİTE DEĞİŞKENLERİNİN COĞRAFİ AĞIRLIKLANDIRMA
İLE ANALİZİ**

CEM YAYLAGÜL

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

HAZİRAN 2019

Tezin Başlığı : Linyit Kalite Değişkenlerinin Coğrafi Ağırlıklandırma ile
Analizi

Tezi Hazırlayan : Cem YAYLAGÜL

Sınav Tarihi : 11.06.2019

Yukarıda adı geçen tez jürimizce değerlendirilerek Maden Mühendisliği Anabilim
Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Sınav Jürisi Üyeleri

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Bülent TÜTMEZ

İnönü Üniversitesi

Prof. Dr. Mahmut FIRAT

İnönü Üniversitesi

Prof. Dr. Ahmet DAĞ

Çukurova Üniversitesi

Prof. Dr. Halil İbrahim ADIGÜZEL

Enstitü Müdürü

ONUR SÖZÜ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum ‘Linyit Kalite Değişkenlerinin Coğrafi Ağırlıklandırma ile Analizi’ başlıklı çalışmanın bilimsel ahlâk ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığını ve yararlandığım bütün kaynakların, hem metin içinde hem de kaynaklar bölümünde yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

Cem YAYLAGÜL



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

LİNYİT KALİTE DEĞİŞKENLERİNİN COĞRAFİ AĞIRLIKLANDIRMA İLE ANALİZİ

Cem YAYLAGÜL

İnönü Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

x + 63 sayfa

2019

Danışman: Prof. Dr. Bülent TÜTMEZ

Bu çalışmada, coğrafi ağırlıklandırmanın heterojen maden yataklarındaki etkinliği araştırılmıştır. Linyit kalite değişkenleri olan nem, kül, uçucu madde, kükürt içeriği ve ısı değer arasındaki ilişkiler konum bilgisi kullanılarak değerlendirilmektedir. Bu yolla jeolojik belirsizliklerin model süreçlerine dâhil edilmesi amaçlanmaktadır. Tezin birinci bölümünde bölgesel ve tümsel ölçekte mevcut olan ilişkileri belirlemek üzere belirlenimci yöntemlere (ISDW) ek olarak jeoistatistiksel yaklaşım (Kriging) ve regresyona dayalı ağırlıklı modeller (GWR, Bölgesel Regresyon) kullanılmıştır. İkinci aşamada, geleneksel doğrusal model çözümüne alternatif, genelleştirilmiş eklemeli model (GAM) yaklaşımı kullanılmış ve linyit sahasında uzaklığa bağlı ilişkinin etkinliği değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, linyit yatağında parametrelerin etkinliği yanında modeller arasında karşılaştırma ve değerlendirme yapma olanağı vermiştir. Coğrafi olarak ağırlıklandırma, değişken kombinasyonlarına bağlı olarak linyit etki bölgelerini belirlemede ve doğrusal modellerin performansını arttırmada etkili bir araçtır.

ANAHTAR KELİMELER: Linyit, Jeoistatistik, Regresyon, Coğrafi Ağırlıklandırma, Kalite Değişkeni, Isıl Değer.

ABSTRACT

Master Thesis

ANALYSIS OF LIGNITE QUALITY VARIABLES VIA GEOGRAPHICAL WEIGHTING

Cem YAYLAGÜL

İnönü University

Graduate School of Natural and Applied Science

Department of Mining Engineering

x + 63 pages

2019

Supervisor: Prof. Dr. Bülent TÛTMEZ

In this study, forcefulness of geographically weighting in heterogeneous mine deposits has been investigated. The relationships among the lignite quality variables such as moisture, ash, volatile matter, sulphur content and calorific values are appraised by spatial information. By this way, it is aimed to incorporate geological uncertainties in model processes. In the first part of the thesis, to identify the relationships at local and global scale, in addition to the deterministic methods (ISDW), geostatistical approach (Kriging) and regression-based weighting models (GWR, Local Regression) have been employed. In the second stage, an alternative to conventional linear model solution, the generalized additive model approach (GAM) has been used and the effectiveness of spatial relationships in the lignite site has been investigated. The findings acquired have also enabled a possibility to compare the models along with the evaluation of parameter efficiency in the lignite site. Geographically weighting is an effective tool for determining the lignite zone of influences in accordance with the variable combinations and improving the linear model performances.

KEYWORDS: Lignite, Geostatistics, Regression, Geographically Weighting, Quality Variable, Calorific Value.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmasına bilgi birikimi ve yakın ilgisiyle büyük katkısı olan danışmanım Prof. Dr. Bülent TTMEZ'e,

Uygulama verilerinin sağlanmasıda büyük katkıları bulunan Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu Dodurga Kontrol Müdür Vekili Oğuz SEMİZ'e ve Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu'na,

Çalışmalarım boyunca her türlü desteği sunan eşim Gönül ÇOBAN YAYLAGÜL'e ve AİLEME teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

Eğitim hayatım boyunca her türlü fedakârlığı yapan, dürüstlüğü ve çalışkanlığı ile yolumu aydınlatacak olan, vakitsizce kaybettiğim babam Halil YAYLAGÜL'e özlemle saygılarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
2. KÖMÜR MADENCİLİĞİ	2
2.1. Kömür ve Oluşumu	2
2.2. Kömürlerin Sınıflandırılması	3
2.2.1. Turba	4
2.2.2. Linyit	5
2.2.3. Alt bitümlü kömür	6
2.2.4. Taşkömürü (Bitümlü Kömür)	6
2.2.5. Antrasit	8
2.3. Dünyada ve Türkiye’de Linyit Madenciliği	8
2.3.1. Dünyadaki durum	8
2.3.2. Ülkemizde linyit madenciliği	9
2.4. Linyit Rezerv Değerlendirmesi	10
3. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	11
4. YÖNTEM	13
4.1. Problemin Tanımlaması	13
4.1.1. Uzaklığa bağlı ilişki	13
4.1.2. Linyit yataklanmasının karakteristiği	14
4.2. Ölçeğe Dayalı Yapısal Değerlendirme	14
4.2.1. Tümsel (Global) ve bölgesel (lokal) analiz	14
4.2.2. Analiz performanslarının istatistiksel ölçümü	15
4.3. Linyit Saha Analizleri İçin İstatistiksel Araçlar	16
4.3.1. Mesafenin tersi ile ağırlıklandırma	16
4.3.2. Kriging kestirimi	16
4.3.2.1. Variogram analizi	16
4.3.2.2. Kriging modeli	18
4.3.3. Bölgesel (Lokal) regresyon çözümlemesi	18
4.3.3.1. Bölgesel modellemenin yapısı	18
4.3.3.2. Çok değişkenli bölgesel regresyon	20
4.3.4. Coğrafi olarak ağırlıklandırılmış regresyon (GWR)	21
4.3.5. Genelleştirilmiş eklemeli modeller (GAM)	23
5. LİNYİT YATAKLARINDA UYGULAMALAR	24
5.1. Tekirdağ – Saray Linyit Saha Uygulamaları	24
5.1.1. Sahanın jeolojisi	25
5.1.2. Verilerin hazırlanması	25
5.1.3. Mesafenin tersi ağırlıklandırılmasıyla (ISDW) genel yapının belirlenmesi	30
5.1.4. Kriging ile tümsel (global) kestirim	32
5.1.5. Bölgesel regresyon analizi	36
5.1.6. Coğrafi olarak ağırlıklandırılmış regresyon (GWR) analizi	40

5.2.	Çanakkale – Çan Linyit Saha Uygulamaları.....	47
5.2.1.	Sahanın jeolojisi	47
5.2.2.	Verilerin hazırlanması.....	49
5.2.3.	Genelleştirilmiş eklemeli model (GAM) analizi.....	51
6.	SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME.....	57
6.1.	Değişkenler Arasındaki İlişkiler ve Değerlendirme.....	57
6.2.	Model Performanslarına Bağlı Değerlendirme	58
7.	KAYNAKLAR	59
	ÖZGEÇMİŞ	63



SİMGELER VE KISALTMALAR

AIC	Akaike Information Criterion (Akaike Bilgi Kriteri)
ASTM	American Society for Testing and Materials (Amerikan Test ve Malzeme Birliği)
BGR	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (Federal Yerbilimleri ve Doğal Kaynaklar Enstitüsü)
BP	British Petroleum
daf	Dry, ash free (Kuru, külsüz)
dmmf	Dry, mineral matter free (Kuru, mineral maddesiz)
GAM	Generalized Additive Model (Genelleştirilmiş Eklemeli Model)
GWR	Geographically Weighted Regression (Coğrafi Olarak Ağırlıklandırılmış Regresyon)
IEA	International Energy Agency (Uluslararası Enerji Ajansı)
ISDW	Inverse Squared Distance Weighting (Uzaklığın Tersini ile Ağırlıklandırma)
kcal/kg	kilokalori/kilogram
mmmf	Moist, mineral matter free (Nemli, mineral maddesiz)
MTA	Maden Tetkik ve Arama
pdf	Probability Density Function (Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu)
TKİ	Türkiye Kömür İşletmeleri
TTK	Türkiye Taşkömürü Kurumu
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
WEC	World Energy Council (Dünya Enerji Konseyi)

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1.	Zaman ve sıcaklığa bağlı olarak kömürleşme.....	2
Şekil 2.1.	IEA kömür sınıflandırması.....	3
Şekil 2.3.	Dünya linyit potansiyelinin dağılımı (milyar ton) (Anonim, 2016).....	8
Şekil 2.4.	Yıllara göre elektrik üretim kaynaklarının toplam üretim içerisindeki payları (Anonim, 2018f).....	9
Şekil 4.1.	Uzaklığa bağlı ilişki.....	13
Şekil 4.2.	Küresel variogram modeli ve parametreleri.....	17
Şekil 4.3.	GWR modellemesinde kullanılan Gauss tip kernel.....	22
Şekil 5.1.	Çalışma alanı (Tekirdağ Bölgesi).....	24
Şekil 5.2.	Genelleştirilmiş örnek stratigrafik sütun kesit (Öztekin vd. 1989, düzenlenerek alınmıştır).....	26
Şekil 5.3.	Ölçüm lokasyonlarının konumu.....	27
Şekil 5.4.	Kaloriye bağlı değişkenlik.....	28
Şekil 5.5.	Kalori ve koordinatların değişimi.....	29
Şekil 5.6.	Kalite değişkenleri arasındaki ilişki.....	30
Şekil 5.7.	Kalori için ISDW ile oluşturulan grid yapısı.....	31
Şekil 5.8.	ISDW enterpolasyonu ile 3 boyutlu yatak modeli.....	32
Şekil 5.9.	Variogram modeli.....	34
Şekil 5.10.	Kalori için kriging grid modeli.....	34
Şekil 5.11.	Kriging kestiminin 3 boyutlu gösterimi.....	35
Şekil 5.12.	Bölgesel regresyon kestirimleri.....	37
Şekil 5.13.	Kalite değişkenlerine bağlı etki mesafeleri.....	42
Şekil 5.14.	Etki mesafelerinin iç içe zonlar halinde görünümü.....	44
Şekil 5.15.	Kestirim mutlak hatalarının değişimleri.....	45
Şekil 5.16.	Çalışma alanı (Çanakkale Bölgesi).....	47
Şekil 5.17.	Genelleştirilmiş stratigrafik sütun kesit (Özen ve Aydın, 2003'den değiştirilerek alınmıştır).....	48
Şekil 5.18.	Uygulama sahasındaki sondajlar.....	49
Şekil 5.19.	Isıl değerin koordinatla değişimi.....	51
Şekil 5.20.	Koordinatlar arasında ilişki.....	52
Şekil 5.21.	Kömür kalite değişkenleri arasındaki ilişki.....	53
Şekil 5.22.	Koordinatlı ve koordinatsız model performansları.....	56

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1.	ASTM kömür sınıflaması parametreleri (ASTM, 2012).....	5
Çizelge 2.2.	Türkiye'deki taşkömürü rezervleri (bin ton) (Anonim, 2018b).....	7
Çizelge 2.3.	Türkiye'deki taşkömürlerinin karakteristik özellikleri (Anonim, 2018b).....	7
Çizelge 2.4.	MTA rezerv sınıflandırması.....	10
Çizelge 5.1.	Değişkenlere ait temel istatistiksel özellikler.....	28
Çizelge 5.2.	Ölçüm ve ISDW kestirim istatistiği.....	32
Çizelge 5.3.	a)Kovaryans, b)Korelasyon c)Rank-Korelasyonu matrisleri.....	33
Çizelge 5.4.	Ölçüm ve kriging kestirim istatistikleri.....	35
Çizelge 5.5.	Bölgesel regresyon ağırlık fonksiyonları.....	36
Çizelge 5.6.	Değişkenlere ait istatistiksel özellikler.....	50
Çizelge 5.7.	Değişkenler arasındaki korelasyonlar.....	54
Çizelge 5.8.	GAM denklemleri.....	54
Çizelge 5.9.	GAM performansları.....	55

1. GİRİŞ

Enerji ihtiyacı, nüfus artışı ve üretim miktar ve kullanımına bağlı olarak artış göstermektedir. Dünya Enerji Konseyi (WEC) verileri alternatif enerji kaynaklarının kullanımında bir artış öngörse de, fosil yakıtların enerji üretiminde önemli bir yer tutmaya devam edeceği belirtilmektedir (Anonim, 2019). Doğal enerji kaynakları içinde özel bir yere sahip olan kömür, fosil yakıtlar içerisinde gerek ulaşılabilirlik ve gerekse de rezerv açısından vazgeçilmez konumda bulunmaktadır. Fosil yakıtların mevcut rezerv/üretim oralarına bakıldığında petrol ve doğalgazın yaklaşık olarak 50 yıl ve kömür rezervlerinin (görünür) ise 130 yıllık ömrü bulunduğu rapor edilmektedir (Anonim, 2018a ; Anonim, 2018b).

Türkiye’ deki linyit kaynaklarının çok az bir kısmının etüd ve fizibilite çalışmaları tamamlanmış olup önemli miktarda bulunan rezervin matematiksel-istatistiksel araçlarla hesaplanması zorunluluğu bulunmaktadır (Anonim, 2018d; Anonim, 2018e). Bu aşamada yeni tekniklerin ve bakış açılarının kullanımı önem kazanmaktadır.

Linyit kaynaklarının değerlendirilmesi konvansiyonel denilen geleneksel hesaplama yaklaşımları (poligon ve kesit gibi) yanında son yıllarda jeo-istatistiksel araçlar kullanılarak yapılmaktadır. Öte yandan, hacim ve yoğunluk hesaplama aşamalarının ötesinde, yeni teknikler kullanılarak tenör (cevher) ve alt ısı değer (kömür) dağılımlarının belirlenmesi ve bu dağılımın coğrafi konumla ilişkisinin ortaya konulması gerekmektedir.

Bu tez çalışmasında, linyit yataklanmalarında karakteristik özelliğe sahip uzaklığa bağlı ilişkinin ağırlıklandırmalar yardımıyla model denklemlerine dâhil edilmesi amaçlanmıştır. Böylece, doğal yapıyı ve jeolojik belirsizliği temsil edebilecek model yaklaşımlarıyla rezerv kalite değerlendirmesi yapılması hedeflenmektedir. Linyit kalite bileşenleri olan kül, nem, uçucu madde, kükürt ve kalori değişkenleri arasındaki ilişkilerin tümsel ve bölgesel düzeyde araştırılması tezin birinci boyutunu oluşturmaktadır. Doğrusal olmayan fonksiyonlar dâhil edilerek doğrusal çözüm üretilmesi yoluyla, ölçümlerin coğrafi konumlarının etkinliklerini belirlemeye dönük sonuçlara ulaşılması ise tez çalışmasının ikinci boyutuna karşılık düşmektedir.

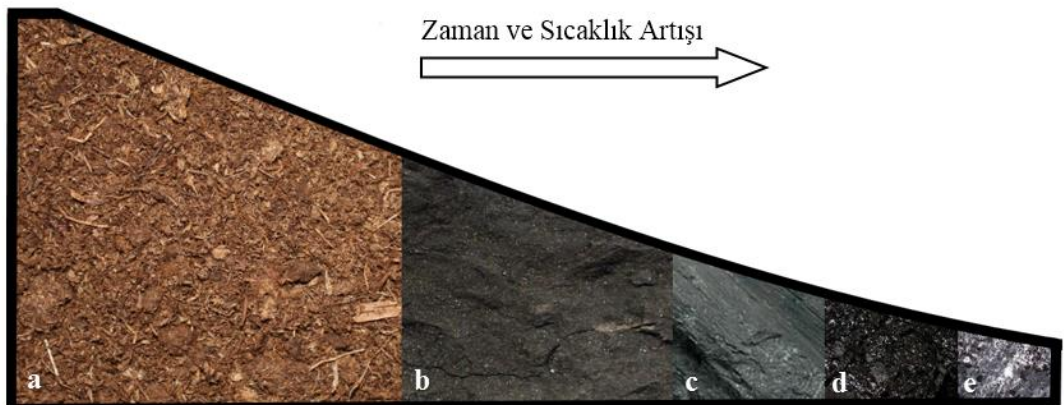
2. KÖMÜR MADENCİLİĞİ

2.1. Kömür ve Oluşumu

Bir fosil kaynak olarak kömür, değişen miktarlarda Karbon, Oksijen, Hidrojen, Azot, Kükürt ve eser miktarda diğer elementleri ve mineral maddeleri içeren bir çökel (sedimanter) kayadır. Organik ve inorganik maddelerden oluşan kömür, %50'den fazla yanabilen madde içerir (Önal vd. 2014). Kömür siyah, koyu gri veya kahverengimsi siyah renkli bir kayadır (Thomas, 2012).

Karbonifer dönemden (birinci kömür çağı) itibaren kömür oluşumu 360 – 290 milyon yıl öncesinden günümüze ulaşmaktadır. Karbonifer dönem 360 - 310 milyon yıllar arasını kapsayan alt Karbonifer dönem ve 310 - 290 milyon yılları arasını kapsayan üst Karbonifer dönem olarak iki seviyede ele alınır. Kömür oluşumu Permiyen, Triyas, Jura ve Tersiyer dönemlerde (ikinci kömür çağı) devam ederek 290-1,6 milyon yıldan günümüze kadar yayılmıştır (Speight, 2013).

Bataklık ortamlarda bozunuma uğrayan bitkilerin turbalara, turbaların da sırasıyla linyit, alt bitümlü kömür, taşkömürü (bitümlü kömür) ve antrasite dönüşmesine “kömürleşme” denilmektedir. Kömürleşme derecesi (rank), kömür yatağının gelecekteki potansiyelini ve değerini belirler (Thomas, 2013). Şekil 2.1’de kömürleşme olayı şematik olarak gösterilmiştir. Zaman ve sıcaklık arttıkça kömürleşme derecesi de artmaktadır. Yüksek kömürleşme basınç ve sıkışmanın en fazla olduğu aşamada meydana gelmektedir.



Şekil 2.1. Zaman ve sıcaklığa bağlı olarak kömürleşme.

a) Turba b) Linyit c) Alt bitümlü kömür d) Taşkömürü (Bitümlü kömür) e) Antrasit

2.2. Kömürlerin Sınıflandırılması

Kömür; linyit/turba, alt bitümlü, bitümlü ve antrasit olarak dört ana kategoriye ayrılmaktadır. Temel olarak kömürleşme derecesinin esas alındığı bu sınıflamadaki linyit ve alt bitümlü kömürler için düşük ranklı kömürler, bitümlü ve antrasit kömürleri için de yüksek ranklı kömür tanımları kullanılır (Kural vd. 1998). Kömürleşme derecesi dışında yoğunlaşılacak özelliğe bağlı olarak kömür farklı sınıflamalara tabi tutulmaktadır (Ediger vd. 2014):

- İçerdikleri organik madde türüne göre: hümik ve sapropelik kömürler,
- Çökelme ortamının denize uzaklığına göre: paralik ve limnik kömürler,
- Fiziksel özelliklerine göre: bantlı-bantsız, parlak-mat kömürler,
- Taşınıp taşınmamasına göre: otojenik ve allojenik kömürler,
- Kullanım alanlarına göre: koklaşabilir kömür ve buhar kömürü vb.

Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) tarafından (Anonim, 2018d) fiziksel özellikleri ve kullanım alanları dikkate alınarak şekil 2.2'deki gibi sınıflandırılmıştır.



Şekil 2.2. IEA kömür sınıflandırması.

IEA, 2014 yılı öncesinde yaptığı çalışmalarda; Avustralya, ABD, Belçika, Finlandiya, Fransa, İzlanda, Japonya, Güney Kore, Meksika, Portekiz, Şili ve Yeni Zelanda olmak üzere 11 ülkede sert kömürler içerisinde alt bitümlü kömürleri dahil ederken 2014 yılından sonra yayımlanan çalışmalarda bu ülkeler için de sadece taşkömürü ve antrasiti sert kömürler kategorisinde değerlendirmiştir. Yine 2014

yılına kadar olan çalışmalarda linyitin dmmf¹ bazda üst ısı değeri 4.165 kcal/kg olarak ele alınırken linyit ve alt bitümlü kömür arasında çok az ürün olmasından dolayı 2014 yılı ve sonrası çalışmalarda linyitin üst ısı değeri 4.777 kcal/kg olarak değerlendirilmiştir (Anonim, 2018d).

2012 sonrası çalışmalarda tüm ülkeler için koklaşabilir taş kömürü hariç sert kömürler ve alt bitümlü kömürler buhar kömürü olarak değerlendirilmiştir (Anonim, 2018d). Kömür türlerinin rezerv miktarları ve kullanım alanlarındaki farklılıklar, dönemsel sınıflama farklılıkları oluşmasına neden olmaktadır. Uluslararası Enerji Ajansı dışında Kuzey Amerika ve diğer birçok ülkede hümik kömürler için ASTM (American Society for Testing and Materials) sınıflaması kullanılmaktadır. Bu sınıflamada sabit karbon ve uçucu madde ile üst ısı değeri ve kekleşme özelliği esas alınmaktadır (Ünalı vd. 2010). Çizelge 2.1’de ASTM kömür sınıflaması parametreleri verilmektedir.

2.2.1.Turba

Turba, kömürleşmenin tamamlanmadığı bir aşamayı temsil etmesine karşın kömürleşme olayının hareket noktasında bulunması bakımından önemlidir. Bataklıklarda, havasız ortamda bitkilerin biyokimyasal süreçlerle bozunması sonucu turba oluşumu gerçekleşmektedir. Turbalar jeokimyasal süreçlerle kömüre dönüşürler. Turbalar başlıca termik santral yakıtı ve tarımda fide toprağı olarak kullanılmaktadır.

Ülkemizde önemli miktarda turba rezervleri bulunduğu belirtilmektedir. Önceki yıllarda sondajlar dahil olmak üzere jeolojik incelemeleri yapılan turba sahaları şunlardır (Ünalı, 2010):

- Hakkari – Yüksekova sahası,
- Kayseri – Ambar sahası,
- Bolu – Yeniçağı sahası.

¹ dmmf: Kuru ve mineral maddesiz (dry, mineral matter free) örnek.

Çizelge 2.1. ASTM kömür sınıflaması parametreleri (ASTM, 2012).

Sınıf		Sabit karbon % dmmf ¹	Uçucu madde %	Üst kalorifik değer Btu/lb kcal/kg		Kekleşme özelliği
Antrasit	Meta-antrasit	≥98	<2	--	--	Kekleşmez
	Antrasit	92-98	2-8	--	--	
	Yarı-antrasit	86-92	8-14	--	--	
Taşkömürü	Düşük uçuculu	78-86	14-22	--	--	Çoğunlukla kekleşir
	Orta uçuculu	69-78	22-31	--	--	
	Yüksek uçuculu A	<69	>31	≥14.000	≥7.783	
	Yüksek uçuculu B	<69	>31	13.000-14.000	7.227-7.783	
	Yüksek uçuculu C	<69	>31	11.500-13.000	6.393-7.227	
	Yüksek uçuculu C	--	>31	10.500-11.500	5.837-6.393	Kekleşir
	Alt bitümlü A	--	--	10.500-11.000	5.837-6.393	Kekleşmez
	Alt bitümlü B	--	--	9.500-10.500	5.281-5.837	
	Alt bitümlü C	--	--	8.300-9.500	4.614-5.281	
	Linyit A	--	--	6.300-8.300	3.502-4.614	
	Linyit B	--	--	<6.300	<3.502	

2.2.2. Linyit

Turbalaşmayı takiben kömürleşme olayının ilk aşamasını temsil eden linyit; siyah, koyu kahve ve kahve renkli yumuşak bir kömürdür (Jones, 2001). Yakıt olarak değerlendirilen kömür türleri arasında ısı değeri en düşük olan kömür linyittir. Uluslararası Enerji Ajansının (IEA) yapmış olduğu genel sınıflandırmaya göre üst ısı değeri dmmf bazda 4.777 kcal/kg'ın altındadır. Orijinal bazda nem içerikleri %30-70, daf³ bazda uçucu madde oranları %45'ten fazla ve karbon oranı ise %60-70 seviyesindedir. Linyit, koklaşmayan bir kömürdür. Linyitlerin genel kullanım alanları şunlardır:

¹ dmmf: Kuru, mineral maddesiz (dry, mineral matter free) örnek.

² mmmf: Nemli, mineral maddesiz (moist, mineral matter free) örnek.

³ daf : Kuru, külünden arındırılmış (dry, ash free) örnek.

- Termik santral yakıtı olarak
- Isınma
- Çimento üretimi
- Toprak sanayi (tuğla, kiremit vd.)
- Tekstil sanayi
- Kimya sanayi
- Metal ve demir çelik üretimi

Linyit, ülkemiz kömür rezervlerinin büyük bölümünü oluşturmaktadır. Linyit rezervleri açık ve yeraltı üretim yöntemleriyle üretilmektedir.

2.2.3. Alt bitümlü kömür

Isıl değeri değeri 4.777 *kcal/kg* ile 5.732 *kcal/kg* arasında olan, kömürleşme derecesi bakımından linyit ile taşkömürü arasında bulunan kömür türüdür. Siyah linyit olarak da adlandırılır. Bazı ülkelerde ayrı bir sınıf olarak ele alınmayan bu kömürler kahverengi kömür (linyit) grubuna dahil edilirler. Alt bitümlü kömürler de linyitler gibi koklaşmazlar. Genellikle termik santrallerde yakıt olarak kullanılırlar. Ayrıca sıvılaştırma yoluyla petrol üretiminde kullanımları söz konusudur.

Alt bitümlü kömürlerin dünya genelinde rezervi 2011 yılı sonu itibariyle 287.333 milyon tondur (Anonim, 2013b). Fakat son yıllarda yayınlanan çalışmalarda alt bitümlü kömür rezervleri linyit rezervleri ile birlikte verilmektedir. 2017 yılı sonu itibariyle linyit ve alt bitümlü kömürlerin toplam rezervi 316.702 milyon tondur (Anonim, 2013c). Ülkemizde ise son yıllarda yapılan çalışmalar sonucunda, linyit olarak değerlendirilen yatakların bir bölümünün alt bitümlü kömür olduğu belirlenmiştir (Ünalın, 2010).

2.2.4. Taşkömürü (Bitümlü Kömür)

Yüksek ısı değeri sahip olan taşkömürlerinin kalorifik değerleri, Uluslararası Enerji Ajansı tarafından yapılan sınıflandırmaya göre 5.730 *kcal/kg*'nin üzerindedir (Anonim, 2018d). Kömürleşme derecesi bakımından alt bitümlü kömür ile antrasit arasında yer alır. Taşkömürü, uçucu madde içeriğine göre yüksek, orta ve düşük uçuculu olmak üzere üç grupta ele alınabilmektedir.

Dünya genelinde antrasit ve taşkömürü toplam rezervi 2017 yılı sonu itibariyle 718.310 milyon tondur (Anonim, 2013b). Ülkemizde ekonomik önem taşıyan tek taşkömürü sahası Zonguldak bölgesinde yer almaktadır. Bunun dışında Diyarbakır – Hazro ve Antalya – Kemer’de iki küçük saha bulunmaktadır. Çizelge 2.2’de ülkemizin taşkömürü rezervleri verilmiştir.

Çizelge 2.2. Türkiye’deki taşkömürü rezervleri (bin ton) (Anonim, 2018b).

REZERV	Armutçuk	Kozlu	Üzülmüş	Karadön	Amasra		TTK
					A	B	
Hazır	1.909	3.321	382	1.849	440	-	7.901
Görünür	6.175	63.053	133.756	130.855	4.160	395.955	733.954
Muhtemel	15.860	40.539	94.342	159.162	3.694	151.162	464.758
Mümkün	7.883	47.975	74.020	117.034	7.758	58.813	313.483
TOPLAM	31.827	154.888	302.501	408.900	16.051	605.929	1.520.096

Taşkömürlerinin koklaşma özelliği olan kısmına koklaşabilir kömür, koklaşma özelliği bulunmayanlara ise buhar kömürü adı verilmektedir. Ülkemiz taşkömürü rezervlerinin yaklaşık %57’si koklaşabilir özelliktedir. Çizelge 2.3’te Zonguldak bölgesinde bulunan lavvarlardan alınan taşkömürü örneklerinin karakteristik özellikleri verilmiştir.

Çizelge 2.3. Türkiye’deki taşkömürlerinin karakteristik özellikleri (Anonim, 2018b).

Lavvar	Rutubet	Kül	Uçucu Madde	Sabit Karbon	Alt Isıl Değer
	%	%	%	%	kcal/kg
Armutçuk	2-14	9	29-34	47-54	6.050-7.050
Kozlu – Üzülmüş	2-14	11-13	25-27	52-57	6.400-6.950
Çatalağzı	2-14	12-13	25-27	51-56	6.200-6.950
Amasra	3-14	14-15	32-35	41-47	5.450-6.050

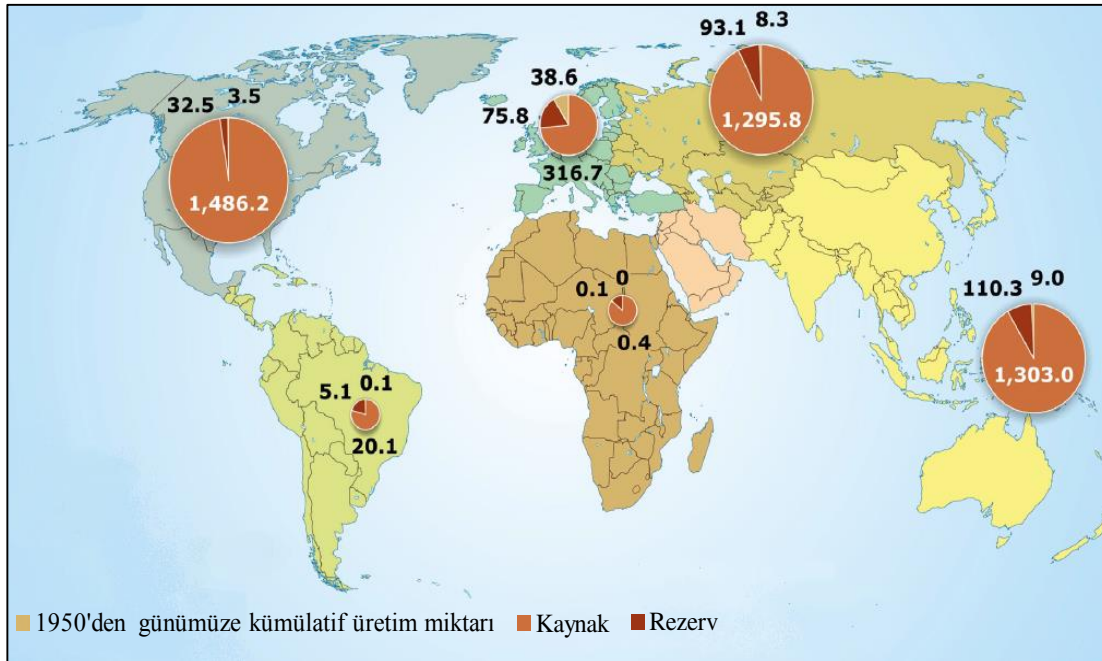
2.2.5. Antrasit

Kömürleşmedeki son ve en üst aşamaya karşılık düşmektedir. Isıl değeri ve karbon içeriği yüksek, uçucu madde, nem ve kül içeriği düşüktür. Başkalaşıma uğraması sonucu meta-antrasit ya da grafit dönüşür. Yüksek ısıl değeri dolayısıyla, bir enerji kaynağı olarak maden ergitme, kimya ve metalürji endüstrisinde kullanılmaktadır. 2006 yılı sonu itibarıyla dünya antrasit rezervleri (yalnızca üretici ülkeler) 23.993 milyon ton 'dur. Ülkemizde görünür ve muhtemel antrasit rezervi ortaya çıkarılmamıştır.

2.3. Dünyada ve Türkiye’de Linyit Madenciliği

2.3.1. Dünyadaki durum

Dünyadaki linyit potansiyeli 2015 yılı itibarıyla 4740 milyar ton olarak ifade edilmektedir. Bu miktarın yaklaşık 317 milyar tonluk kısmı rezerv olarak değerlendirilmektedir (Anonim, 2016). Şekil 2.3’de dünya linyit potansiyelinin bölgelere göre dağılımı verilmiştir.

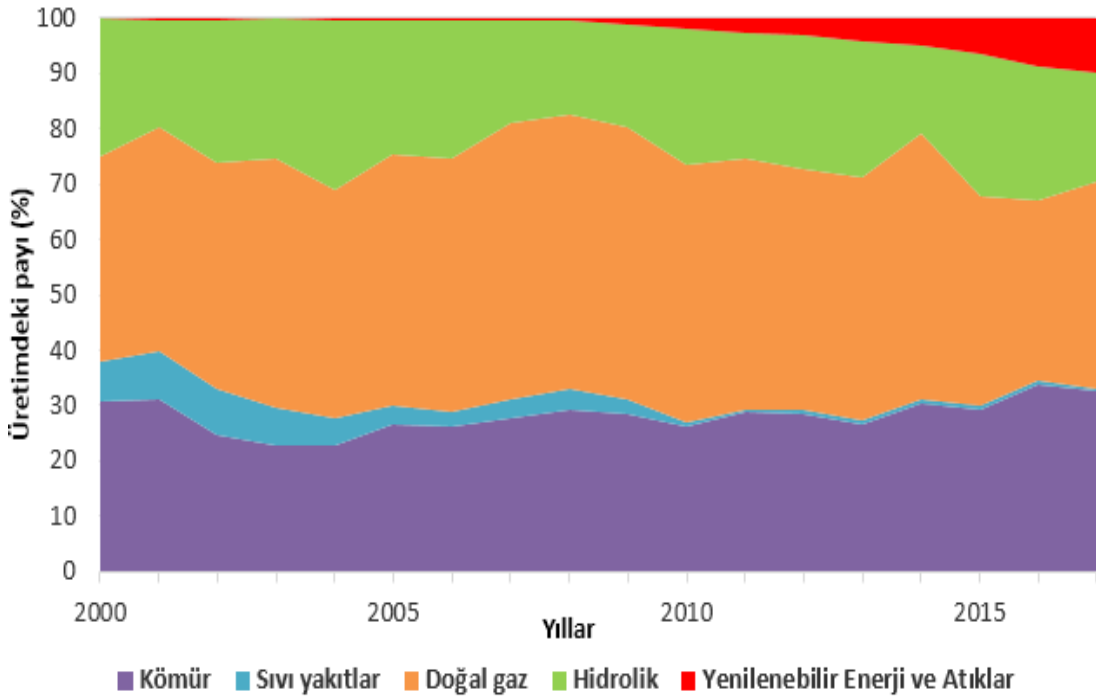


Şekil 2.3. Dünya linyit potansiyelinin dağılımı (milyar ton) (Anonim, 2016).

Kuzey Amerika 1,5 milyar ton ile en yüksek linyit potansiyeline sahiptir. Kuzey Amerika'yı sırasıyla 1,4 milyar ton potansiyel ile Avustralya-Asya ve 1,3 milyar ton linyit potansiyeli (alt bitümlü kömürler dahil) ile de eski Sovyet ülkeleri izlemektedir. 2015 yılı itibarıyla dünya genelinde bilinen 317 milyar tonluk linyit rezervinin sırasıyla % 28,6'sı (alt bitümlü kömürler dahil) Rusya' da, %24,2' si Avustralya' da, 11,4' ü Almanya' da, % 9,5' i Amerika Birleşik Devletleri'nde, %3,5 oranında ise Türkiye'de bulunmaktadır.

2.3.2. Ülkemizde linyit madenciliği

Ülkemizde linyit madenciliği, taşkömürü madenciliğine eşlik eden ve sanayileşmeye paralel olarak artış gösteren bir sektördür. Özellikle elektrik üretimi ihtiyacı ve termik santrallerin kurulması, linyit rezervlerinin işletilmesini gerekli hale getirmiştir. Elektriğe bağlı enerji kaynaklarının kullanımı şekil 2.4'de verilmektedir. Elektrik üretiminde kömürün payı ortalama olarak %25-35 düzeyinde gerçekleşmektedir.



Şekil 2.4. Yıllara göre elektrik üretim kaynaklarının toplam üretim içerisindeki payları (Anonim, 2018f).

Linyit, Orta ve Doğu Karadeniz kıyıları, Doğu Akdeniz kıyıları ile Güneydoğu Anadolu bölgesinin güney kesimi dışında hemen Türkiye'nin tüm bölgelerinde bulunan bir fosil kaynaktır. Trakya, Ege, İç Anadolu ve Doğu Anadolu bölgelerinin linyit kaynakları bakımından daha zengin oldukları dikkat çekmektedir (Ünalın, 2010).

2.4. Linyit Rezerv Değerlendirmesi

Diğer cevherleşme ve kömürleşmelerde olduğu gibi linyit rezerv sınıflandırmasının yapılmasında da ekonomiklik ve güvenilirlik başlıca iki parametre olarak belirlenmektedir. MTA tarafından belirlenen ve çizelge 2.4'de verilen genel rezerv sınıflamasını linyit rezerv analizlerinde ve kestirim çalışmalarında dayanak olarak kullanmak uygun olacaktır (Bumin ve Kutluay, 2013).

Ekonomiklik, görünür ve muhtemel linyit kaynakları için yapılabilir. Fizibilite çalışmalarında hukuk, metalürji ve piyasa koşulları teknik analizlere eşlik etmektedir. Ekonomikliğin belirlenebilmesi için hacim ve tonaj dışında teknoloji ve diğer parametreler de göz önünde tutulur.

Maden yatağının durumunu tanımlayan jeolojik bilgiler ve ölçümler (sondaj, yüzey örnekleme gibi) kullanılarak yapılan istatistiksel analizler güvenilirliği şekillendirmektedir. Risk ve belirsizlik bu aşamada ele alınan iki önemli değerlendirme ölçütüdür.

Özellikle görünür rezerv geliştirme çalışmaları rezerv sınıflamasının önemini artırmaktadır. Rezerv türleri arasındaki sınırların geçişken olması etkili matematiksel ve istatistiksel analizleri gerekli kılmaktadır.

Çizelge 2.4. MTA rezerv sınıflandırması.

↑ Ekonomiklik ↓	Bilinen Kaynaklar		Bilinmeyen Kaynaklar
	Belirlenen Kaynaklar		Hipotetik Kaynaklar
	Görünür	Muhtemel	
	Görünür Rezerv	Muhtemel Rezerv	
	Görünür Kaynak	Muhtemel Kaynak	
	Mümkün Kaynaklar		
	← Güvenilirlik (Jeolojik Belirlilik) →		

3. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Kömür sahasından besleme yapılacak enerji santralinin kapasitesi ve özellikleri nedeniyle linyit üretim planlamasında rezerv ve kalite değişkenlerinin belirlenmesi önem taşımaktadır. Linyit rezerv analizini merkezine alan bilimsel hesaplamalar, özellikle istatistiksel ve matematiksel araçların bilgisayar teknolojisiyle bütünleştirilmesi birlikte, son 40 yılda artış göstermiştir. Avrupa ölçeğinde yapılan kapsamlı ilk değerlendirmeler, özellikle yer altı derin rezervlerin ekonomik ve teknolojik üretimini merkeze almıştır (Hagelueken, 1985). Aynı dönemde ABD merkezli çalışmalarda da bölgesel linyit rezerv projeksiyonlarının önem kazandığı görünmektedir (Hoskins ve Russell, 1983).

Kömür ve özel olarak da linyit madenciliğinde istatistiksel araçların kullanımı ve sahadaki ilişkilerin hesaplamalara katılarak rezerv-tenör kestirimleri yapılması jeostatistik teorisinin gelişimiyle olanaklı olmuştur (Mert ve Dag, 2015). Güney Afrika' lı bir maden mühendisi olan Daniel Kriging tarafından ilk uygulamaları yapılan jeostatistik terimini rastgele (random) değişken analizinde kullanılan bir yapı olarak Fransız matematikçi Matheron 1962 yılında tanımlamıştır. Maden sahalarının modellenmesi ve analizinde en etkili araç durumunda olan jeostatistik, 1978 yılında (Journel ve Huijbregts, 1978) kapsamlı bir kitapla literatürdeki yerini almıştır.

Son 20 yılda jeostatistiksel rezerv ve tenör analizinin kömür madenciliğindeki uygulamaları örnekleme ve belirsizlik analizi başlıklarında yoğunlaşmıştır. Jeolojik yapıya dayalı ilk (Hohn ve McDowell, 2001; Khan ve Tewari, 2012; Morga, 2007; Watson vd. 2001) çalışmalarda kömür bileşenlerinin tahmini öncelikli olarak ele alınmıştır. Jeostatistiksel rezerv kestirimine dayalı çalışmalarda ise tümsel rezerv değerlendirmesi ile ilgili çalışmalar öne çıkmıştır (Tercan ve Karayigit, 2001; Tercan, 2004). Yatırım ve karar verme süreçlerindeki parametre farklılaşması yanında zamana bağlı değişkenlikler tüm madencilik çalışmalarıyla birlikte kömür madenciliğini de etkilemiştir. Dolayısıyla son 10 yılda uzaklığa-zamana bağlı veri analizi ve risk değerlendirmesi öncelikli konuma gelmiştir. Bu değerlendirmelerde kullanılacak araçların vurgulanmasına yönelik değerlendirme (review) niteliğinde çalışmalar literatürde mevcuttur (Srivastava, 2013; Oliver ve Webster, 2014).

Jeoistatistiğe dayalı çalışmalara paralel olarak çeşitli regresyon modellerinin geliştirilmesiyle birlikte kömür rezerv-kalite (tenör-ısıl değer) değerlendirmelerinin gerek tümsel ve gerekse de bölgesel ölçeklerde yapılmaya başlanması (Sinclair ve Blackwell, 2002; Tutmez vd. 2008; Khan ve Tewari, 2012; Deutsch vd. 2013) önemli bir aşamaya karşılık düşmektedir. Bu aşamada, kümeleme algoritmaları ve bağımlılık (dependence) fonksiyonlarından yararlanılarak küçük ölçekte değişen ilişkiler değerlendirilmiştir.

Linyit madenciliğinde belirleyici parametre olan alt ısıl değer koordinatlarla ilişkisini konu edinen çalışmaların (Tutmez vd. 2010) yanı sıra bu değer oluşmasına etki eden kalite değişkenleriyle ilişkilerini araştıran çalışmalar da son on yılda önem kazanmıştır. Belirsizliğin değerlendirilmesine dayalı çalışmaların artışında yapay zekâ, makine öğrenmesi ve esnek hesaplama tekniklerindeki yaygınlaşma önemli ölçüde etkili olmuşlardır (Wong vd. 2002). Linyit kalite değişkenlerinin bulanık modelleme ile analizi (Tutmez, 2007) bulanık mantık ile linyit rezerv hesabı (Tutmez vd. 2010), bulanık sinir ağları ile mineral rezerv değerlendirmesi (Tutmez, 2009), bulanık mantık ile rezerv sınıflama (Ozkan vd. 2019) bu konudaki çalışmalara örnek olarak verilebilir.

Linyit sahalarındaki fonksiyonel ilişkileri ve bağımlılıkları değerlendirmeye dönük yakın dönem çalışmalarında kriging (Ertunc vd. 2013; Atalay ve Ertunc, 2017) ve jeoistatistiksel benzetim (Pavlidis vd. 2015) yöntemlerinin başarıyla uygulandığı görülmektedir. Yakın dönemde yapılan çalışmalarda makine öğrenme algoritmaları kullanılarak rezerv özelliklerinin belirlenmesine çalışılmıştır (Sarp ve Duzgun, 2015). Öte yandan, farklı tümsel ve bölgesel modellerin linyit yatağı üzerindeki etkinliklerini test ederek mevcut ilişkileri karşılaştırmalı perspektiften ortaya çıkaran bir çalışma literatürde yer almamaktadır. Sahaya bağlı ağırlıklandırma kullanan bir metodolojiyle bu tez çalışmasının gerçekleştirilmesi, bu yöndeki mevcut eksikliği gidermeyi hedeflemektedir.

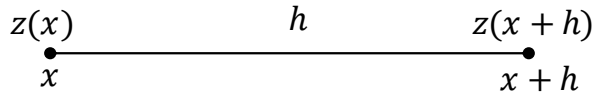
4. YÖNTEM

4.1. Problemin Tanımlanması

4.1.1. Uzaklığa bağlı ilişki

En az bir koordinatla ifade edilen kalınlık, ısı değer ve tenör gibi değişkenler sahada belirli bölgelere özgü nitelik göstermekte olup maden yataklarının değerlendirilmesinde yaygın biçimde kullanılırlar. Bölgesel (regionalized variable) değişken olarak ifade edilen bu değişkenler genellikle uzaklığa bağlı ilişki gösterirler. Linyit madenciliğinde uzaklığa bağlı ilişki, incelenen kalite değişken değerlerinin uzaklığa bağlı olarak farklılaşması biçiminde açıklanabilir. Sahada, uzaklık arttıkça bölgesel değişken ölçüm değerleri arasındaki farkın artması uzaklık azaldıkça farkın azalması beklenir.

Bir linyit sahasında tanımlanan x noktasındaki kalori değeri $z(x)$ ve referans noktasından h kadar uzaklıktaki bir başka noktadaki kalori değeri $z(x+h)$ olsun. Şekil 4.1. bu yapıyı ortaya koyar.



Şekil 4.1. Uzaklığa bağlı ilişki

Birbirinde h mesafedeki iki ölçüm noktasının ısı değerleri arasındaki fark $f(h)=z(x)-z(x+h)$ biçiminde gösterebilir. Kalori değerleri arasındaki farklılık fonksiyonel olarak uzaklığa bağlı olup; uzaklık arttıkça ısı değerleri arasındaki farkın artması, uzaklık azaldıkça azalması beklenir. Maden yataklarının değerlendirilmesinde, kalite değişkenlerinin bu değişimi uzaklığa bağlı ilişki (spatial relationship) olarak ifade edilir (Chun ve Griffith, 2013). Uzaklığa bağlı ilişkinin ortaya konulabilmesi için uygun örnekleme ve istatistiksel analize gereksinim duyulur.

4.1.2. Linyit yataklanmasının karakteristiği

Jeolojik biçimlenmeler ve maden yatakları oluşum süreçleri genellikle farklılaşmayı ve heterojenliği işaret eder. Madencilikte heterojenlik terimiyle; aynı bölgede (kendi içinde) benzer değerlerin görölmesi, öte yandan bir başka bölgeyle karşılaştırıldığında benzemezlik taşıyan yapıların bulunması anlaşılır (Cressie, 1993).

Yerbilimleri açısından heterojenliğin en karakteristik biçimde görüldüğü yapı kömür yataklanmasıdır. Nitekim farklı sektörlerde ele alınabilen bir linyit yatağında ısı değerler her bir sektör içinde birbirine çok yakın değerlerde iken uzak sektörlerde değışkenlik gösterebilir. Linyit kalite değışkenleri jeolojik oluşum koşulları ve kompozisyonların değışimine bağı olarak heterojenlik gösterebilen değışkenlerdir. Jeolojik yerleşim yerinden bağımsız olarak düşünölemeyecek bu farklılaşma coğrafi konumun bir fonksiyonudur. Dolayısıyla linyit madenciliğinde gerçekleştirilecek veriye bağımlı saha değlendirmeleri, mekânsal analiz kapsamında değlendirilmek durumundadır.

4.2. Ölçeğe Dayalı Yapısal Değlendirme

4.2.1. Tümsel (Global) ve bölgesel (lokal) analiz

İncelenen maden sahasının bütününe ilişkin bilgi tümsel değlendirmeyi zorunlu kılar. Öte yandan sahanın farklı bölgelerinde o bölgelere özgü davranışlar kaydedilebileceğinden bölgesel analizlere de başvurulmak durumundadır. Bölgesel değışkenler global ölçekte yapısal özellik gösterirken, lokal ölçekte çoğunlukla düzensizdir. Birbirinden farklı bu iki davranışı bünyesinde taşıyan sahaya ait bilginin olasılığa dayalı istatistiksel yaklaşımlarla ele alınması gerekir (Sen, 2009). Bu nedenle, rastgele değışken olarak düşünölebilecek linyit kalite değışkenlerinin olasılığa dayalı araçlar kullanılarak analizi olanaklı olacaktır.

Bir maden yatağında tanımlanan rastlantı değışkenlerinin bütünü rastlantı fonksiyonunu oluşturur ve bu değışkene ait değer sonuçta rastlantı fonksiyonunun örnek değeridir. Böylece sahayı en iyi biçimde temsil edecek fonksiyonun belirlenmesi, gerçeğe en yakın değışken değerlerinin tahminini de olanaklı kılar.

Tümsel ve bölgesel ayrımı, incelenecek alanın büyüklüğüne ve ölçeğe bağlıdır. Tümsel kestirimde tüm alana ilişkin kalite değişkenleri ve genel ilişki yapısı tahmin edilir. Öte yandan bölgesel analiz, belirli bir etki sahasında sınırlı sayıda ölçümle lokal ilişkilerin kaydedilmesine olanak tanır. Yapısal olarak; detayları izleme açısından bölgesel analiz, yatağın genel karakterinin ortaya konulması için de tümsel analiz kullanmak daha anlamlıdır.

4.2.2. Analiz performanslarının istatistiksel ölçümü

Gerek sahada ve gerekse de laboratuvar ortamında deneysel olarak elde edilen ölçümlerin düzgün bir yapı ile tanımlanacak biçimde modellenmesi önem taşır. Bu model oluşturma sürecinde elde edilen model çıktılarının (kestirim) ve bu çıktıların değişkenliklerinin de ölçülmesi gerekmektedir. Hata-Değişkenlik dengesi (Bias-Variance Trade-off) olarak ifade edilebilecek bu ilişki; ölçülen ve kestirilen değişkenler arasındaki farkı minimize ederken aynı zamanda ölçülen ve kestirilen değişken değerlerinin varyanslarının birbirine yakın olmasını amaçlar. Bu dengenin sağlanmasında düzgünleştirme (smoothing) kriteri önem taşır. Genel anlamıyla, kestirilen değerlerin varyansının küçük olması düzgünleştirme düzeyinin yüksek olduğunu gösterir. Ancak bu değer çok yüksek olması, normal olmayan bir kestirimi (overfitting) de işaret ediyor olabilir.

Model çalışmalarının istatistiksel ölçümünde yapılması gereken bir diğer değerlendirme, kestirimin kesinliği (accuracy) ile modelin açıklanabilirliği (interpretability) dengesinin kurulmasıdır. Bu dengenin kurulmasında esneklik düzeyi önem kazanır. Geleneksel doğrusal regresyon esnek olmayan bir katı yöntem iken son dönemde yaygın olarak kullanılan makine öğrenme algoritmaları bu açıdan bir esneklik sağlar. Kesinliğin yüksek olmasına paralel biçimde, modelin bilgi veren nitelikte olması ve şeffaflığı (transparency) aranan özelliklerdir. Tümsel ya da bölgesel olarak gerçekleştirilen istatistiksel hesaplamaların sonucunda sağlanan verinin; jeoloji, madencilik ve çevre bilim açısından ortaya koyacağı bilimsel bilginin niteliği ve kullanılabilirliği -nihai olarak- bir modelleme/kestirim çalışmasından beklenen ana sonuçtur.

4.3. Linyit Saha Analizleri İçin İstatistiksel Araçlar

4.3.1. Mesafenin tersi ile ağırlıklandırma

Uzaklığa bağlı ilişkiyi fonksiyon ve modele dayalı olmadan kullanan mesafenin tersi ile ağırlıklandırma, bir noktanın etki uzaklığındaki komşu noktalara mesafeyle ters büyüklükte ağırlık verilmesiyle gerçekleştirilen bir enterpolasyon işlemidir. Bir z değişkenin yakınında bulunan lokasyonların kestirim üzerindeki etkinlikleri uzak olanlara göre daha fazla olacaktır. z_i değerlerine ilişkin ağırlıklar w_i gösterildiğinde, kestirim aşağıdaki eşitlikle gerçekleştirilir:

$$\hat{z}(x) = \frac{\sum_i w_i z_i}{\sum_i w_i}. \quad (4.1)$$

(4.1) eşitliğinde $w_i = |x - x_i|^{-\alpha}$ olup yaygın olarak kullanılan $\alpha = 1$ (tersi) ve $\alpha = 2$ (tersin karesi) değerleri mesafeye bağlı ilişkileri ağırlıklı olarak ortaya koyar.

4.3.2. Kriging kestirimi

4.3.2.1. Variogram analizi

İncelenen bir jeolojik sahada, değişkenlerin farklı noktalardaki değerleri arasındaki ilişkinin belirlenmesi fonksiyona dayalı olarak yapılabilir. Tenör, ısıl değer ve kalınlık gibi rastlantı değişkenlerinin değerleri ile ölçüm noktalarının birbirine uzaklıkları arasında ilişki olduğu kabul edilir. Bu ilişki ve değişim kovaryans ya da variogram fonksiyonu kullanılarak ifade edilebilir. Variogram fonksiyonu, h uzaklığı ile birbirinden ayrılmış iki rastlantı değişkeninin değerleri arasındaki farkın varyansıdır (Goovaerts, 1997).

İki rastlantı değişkeninin farklarının varyansı;

$$2\gamma(h) = Var[Z(x) - Z(x+h)] \quad (4.2)$$

yapısında ifade edilebilir. Variogramın beklenen değeri ise şöyle tanımlanır:

$$2\gamma(h) = E[Z(x) - Z(x + h)]^2 \quad (4.3)$$

Belirlenmiş adım (lag) uzaklıklarında, N veri için variogram fonksiyonun genel ifadesi aşağıdaki eşitlikteki gibidir:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (4.4)$$

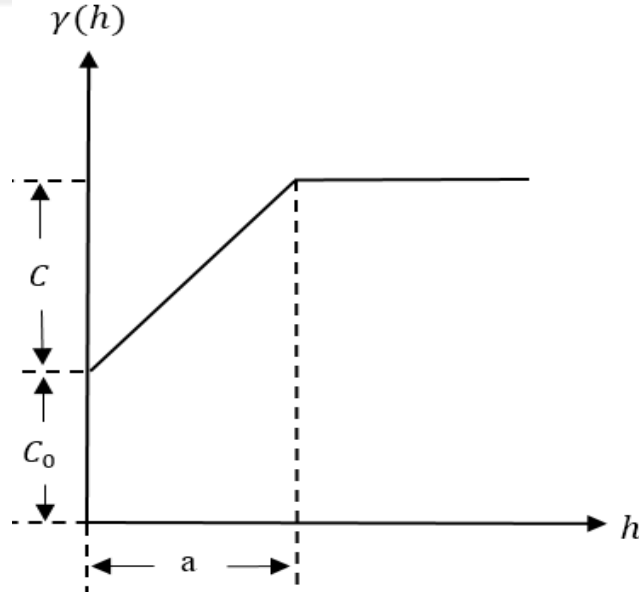
(4.4) eşitliğinde;

$\gamma(h)$: (semi) variogram değerini

$Z(x)$: x noktasındaki rastlantı değişkeninin değerini

$Z(x+h)$: x noktasından h uzaklıktaki rastlantı değişkeninin değerini gösterir.

Deneyssel olarak belirlenen variogram değerlerine uygun bir variogram fonksiyonu uyarlanması gereklidir. Küresel, Gauss ve Üssel modeller yaygın olarak kullanılan fonksiyonlardır. Tipik bir model; külçe (nugget) etkisi (C_0), sill (C_0+C) ve yapısal uzaklık (a) bileşenlerinden oluşur (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. Küresel variogram modeli ve parametreleri

4.3.2.2. Kriging modeli

Kriging, örneklenmiş nokta verilerden hareketle örneklenmemiş bilinmeyen değerlerin kestirilmesinde kullanılır. Bilinen değerlerin variogram fonksiyonu ile elde edilen uzaklığa bağlı ağırlıklarından, bilinmeyen noktaların tahmini amacıyla yararlanılmaktadır. Kriging, nokta tahmini yanında blok tahmini amacıyla da kullanılmaktadır. Değeri bilinmeyen x_0 noktasına etki uzaklığı içinde komşu bulunan noktalar x_α ve ağırlıkları w_α olsun. Bilinmeyen noktanın değeri bir ağırlıklı kestirim işlemidir:

$$Z_k^*(x_0) = \sum_{\alpha=1}^n w_\alpha Z(X_\alpha). \quad (4.5)$$

(4.5) eşitliğindeki tek sınırlayıcı, ağırlıklar toplamının 1'e eşit olmasıdır. Ağırlıklar, kestirim hatalarının ortalaması sıfır ve varyansı en küçük olacak şekilde belirlenir. Ağırlıklara konulan bu sınırlama ve kestirim varyansının en küçük duruma getirilmesi, aşağıdaki kriging sistemi aracılığıyla yapılır:

$$\begin{pmatrix} \gamma(x_1 - x_1) & \dots & \gamma(x_1 - x_n) & 1 \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \gamma(x_n - x_1) & \dots & \gamma(x_n - x_n) & 1 \\ 1 & \dots & 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} w_1^K \\ \vdots \\ w_n^K \\ \mu_K \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \gamma(x_1 - x_0) \\ \vdots \\ \gamma(x_n - x_0) \\ 1 \end{pmatrix}. \quad (4.6)$$

(4.6) eşitliğinde w_α^k atanan ağırlıklar, μ_k ise Lagrange parametresidir. Eşitliğin sol tarafı bilinen veriler arasındaki farklılaşmayı ve benzemezliği tanımlarken, sağ taraf mevcut verilerle kestirilecek nokta arasındaki farklılığı göstermektedir.

4.3.3. Bölgesel (Lokal) regresyon çözümlemesi

4.3.3.1. Bölgesel modellemenin yapısı

Modern bölgesel regresyon analizi parametrik regresyon analizi ve kernel yöntemlerinin bileşimi olarak ortaya çıkmıştır (Hastie ve Loader, 1993). Yöntemin linyit madenciliğinde kullanımı korelasyonların tespiti amacıyla gerçekleştirilmiştir (Akhtar vd. 2017). Bölgesel regresyon, bağımsız değişken x ile hedef değişken y

arasındaki ilişkinin bölgesel ağırlıklar kullanılarak belirlenmesi amacıyla kullanılır. Modelin genel yapısı aşağıdaki biçimde gösterilebilir:

$$Y_i = \mu(x_i) + \varepsilon_i. \quad (4.7)$$

(4.7) nolu eşitlikte $\mu(x)$ bilinmeyen fonksiyon, ε_i hata terimidir. Hataların bağımsız ve rastgele olduğu kabul edilir. Model yapısında yer alan μ birçok parametrik fonksiyon kullanılarak yaklaşık olarak ifade edilebilmektedir.

Kestirimi amaçlanan bir yerbilimi değişkeni (tenör, kalınlık, geçirgenlik, kirlilik, kimyasal içerik gibi) saha ölçeğinde bir etki uzaklığı $h(x)$ (bandwidth) kapsamında işleme alınmak durumundadır. $\mu(x)$ kestirimi için bir düzgünleştirme penceresi (smoothing window) $(x-h(x), x+h(x))$ oluşturularak etki uzaklığı içinde yer alan lokasyonlar hesaba katılır. Uzaklığa bağlı olarak ölçüm noktalarının kestirimde belirli ağırlıkları oluşacaktır. Bu ağırlıklar aşağıdaki formülle ifade edilebilir:

$$w_i(x) = W\left(\frac{x_i - x}{h(x)}\right). \quad (4.8)$$

(4.8) eşitliğinde $W(u)$ ağırlık fonksiyonu x' e en yakın noktanın ağırlığını en büyük olarak atar ve diğer noktaları da uzaklığa bağlı olarak ağırlıklandırır. Örnek ağırlık fonksiyonlarından biri olan Bisquare fonksiyonu aşağıdaki eşitlikle tanımlanmıştır:

$$W(u) = (1 - u^2)^2. \quad (4.9)$$

Etki uzaklığı ile oluşturulmuş pencere kapsamında $\mu(x)$ bir polinom yardımıyla yaklaşık biçimde ifade edilir. Örneğin lokal ikinci dereceden (quadratic) kestirim aşağıdaki yapıdadır:

$$\mu(u) \approx a_0 + a_1(u - x) + \frac{1}{2}a_2(u - x)^2. \quad (4.10)$$

(4.10) eşitliğinde her durumda $|u - x| < h(x)$ olup a katsayılar vektörüdür. Genel formda polinomlar için vektör notasyonu aşağıda belirtilmiştir:

$$a_0 + a_1(u - x) + \frac{1}{2}a_2(u - x)^2 = \langle a, A(u - x) \rangle. \quad (4.11)$$

(4.11) nolu eşitlikte $A(\cdot)$ kestirim fonksiyonlarının vektörü olup aşağıdaki formdadır:

$$a = \begin{pmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \end{pmatrix} \quad A(v) = \begin{pmatrix} 1 \\ v \\ \frac{v^2}{2} \end{pmatrix}. \quad (4.12)$$

Katsayılar vektörü a bölgesel olarak ağırlıklandırılmış en küçük kareler yöntemiyle kestirilir:

$$\sum_{i=1}^n w_i(x)(Y_i - \langle a, A(x_i - x) \rangle)^2. \quad (4.13)$$

4.3.3.2. Çok değişkenli bölgesel regresyon

Yerbilimleri başta olmak üzere mühendislik disiplinleri ve temel bilimlerde çoğunlukla çok değişkene sahip sistemlerle ilgilenilmektedir. Dolayısıyla çok değişkenli bölgesel model kurma çalışmalarında çok değişkenli ağırlık fonksiyonu ve çok değişkenli bölgesel polinomlara ihtiyaç duyulur (Cleveland ve Devlin, 1988). İki girdi değişkenine sahip bir sistemde bölgesel regresyon modeli aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$Y_i = \mu(x_{i,1}, x_{i,2}) + \varepsilon_i, \quad (4.14)$$

(4.14) eşitliğinde $\mu(\cdot, \cdot)$ bilinmez. μ fonksiyonu bir polinom aracılığıyla yaklaşık olarak ifade edilir. Çok değişkenli analizde simetrik ağırlık fonksiyonu x_i ile tanımlanan gözlemlerin ağırlıklandırılması aşağıdaki eşitlik yardımıyla gerçekleştirilir:

$$w_i(x) = W\left(\frac{\|x_i - x\|}{h}\right). \quad (4.15)$$

Çok değişkenli durumda, bölgesel denklemin katsayıları ağırlıklı en küçük kareler yardımı ile belirlenir.

4.3.4. Coğrafi olarak ağırlıklandırılmış regresyon (GWR)

Regresyon analizinin genel ifadesi aşağıdaki yapıya sahiptir:

$$y_i = a_0 + \sum_k a_k x_{ik} + \varepsilon_i. \quad (4.16)$$

(4.16) eşitliğinde bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkinin tüm sahada aynı olduğu (global model) kabul edilir. En küçük kareler yaklaşımıyla bu genel modelin katsayıları matris operasyonları ile aşağıdaki formül yardımıyla elde edilir:

$$a = (X^T X)^{-1} X^T y. \quad (4.17)$$

(4.17) eşitliğinde a vektörü tahmin edilen katsayılar vektörüdür.

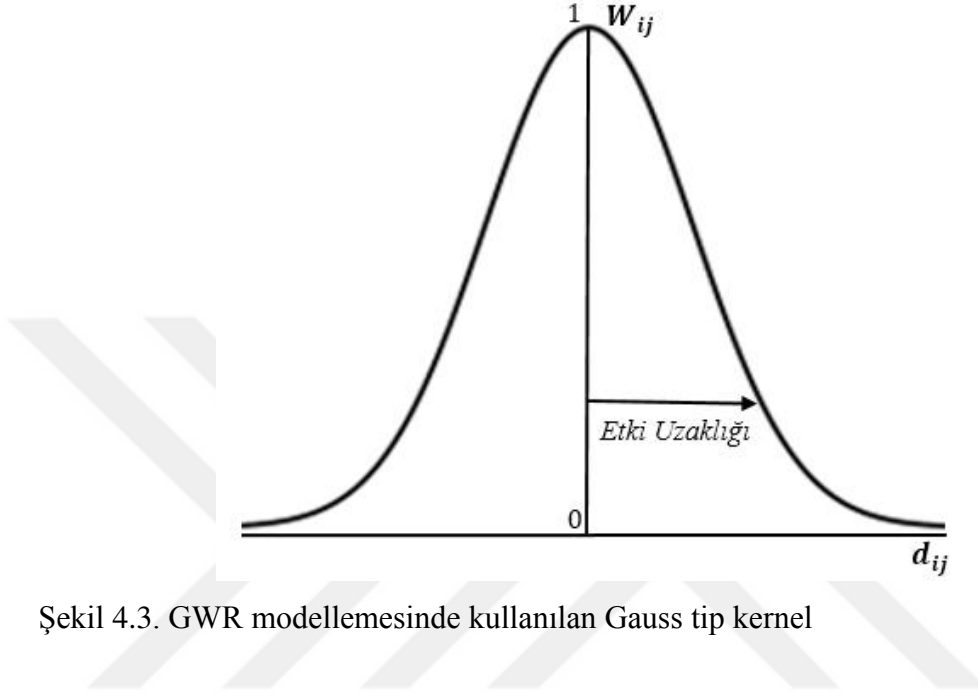
Öte yandan çevre, jeoloji ve maden başta olmak üzere çeşitli bilim dallarına ait problemlerde konvansiyonel en küçük kareler yöntemi incelenen sahayı tanımlamada yetersizdir. Bunun nedeni, ölçüm noktalarının koordinatlarından kaynaklanan uzaklığa bağlı bir ağırlıklandırmanın hesaplamalara dâhil edilmemesidir. Bu ağırlıklandırmanın yapılabilmesi için X , bağımsız değişkenler matrisi olmak üzere Coğrafi Olarak Ağırlıklandırılmış Regresyon modeli önerilmiştir.

$$y_i = a_0(u_i, v_i) + \sum_k a_k(u_i, v_i) x_{ik} + \varepsilon_i. \quad (4.18)$$

(4.18) nolu eşitlikte (u_i, v_i) ikilisi bir i noktasının koordinatlarını temsil eder. Global model ile GWR ile temsil edilen lokal model arasındaki fark, global modeldeki parametrelerin sabit, lokal modeldekilerin değişken olmasıdır (Fotheringham vd. 1998).

Ağırlıklı bölgesel model, gözlemlenen verinin i lokasyonuna yakın olması durumunda kestirim üzerindeki etkisinin uzak noktalardan daha büyük olacağını kabul eder. Aslında bölgesel model, incelenen lokasyon etrafındaki ilişkiyi bir

komşuluk yakınlığı düzeyinde uzaklığa bağlı olarak inceler. Bu ilişkinin düzeyi ağırlıklandırma ile ortaya konulur. Ağırlıklandırma için kernel (çekirdek) fonksiyonlarından yararlanılır. Şekil 4.3. uzaklığa bağlı ilişkiyi gösteren bir kernel yapısını ortaya koymaktadır.



Şekil 4.3. GWR modellemesinde kullanılan Gauss tip kernel

GWR kestiricisinin cebirsel ifadesi aşağıda verilmiştir:

$$a(u_i, v_i) = (X^T W(u_i, v_i) X)^{-1} X^T W(u_i, v_i) y. \quad (4.19)$$

(4.19) eşitliğinde, $W(u_i, v_i)$ ağırlık matrisi olup köşegen elemanları dışındaki elemanları 0' dır. $n \times n$ boyutlarındaki bu matrisin köşegen elemanları, etki uzaklığı içinde yer alan lokasyonların ağırlıklarını içerir. Matrisin genel yapısı aşağıdaki gibidir:

$$\begin{bmatrix} w_{i1} & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & w_{in} \end{bmatrix} \quad (4.20)$$

(4.20) eşitliğinde w_{in} incelenen i lokasyonunun etrafındaki n . lokasyonun ağırlığını tanımlar. Ağırlıklar değişkenlik göstereceğinden, global modelde yer alan sabit ağırlık matrisi yerine değişken ağırlık matrisi kullanılmış olmaktadır (Lloyd, 2010).

4.3.5. Genelleştirilmiş eklemeli modeller (GAM)

Doğrusal modeller tanımlanma ve uygulanma kolaylığı yanında, sonuçların bilgi vermesi yönüyle de öne çıkmaktadır. Öte yandan geleneksel doğrusal modellerin kestirim kapasiteleri sınırlıdır. Bunun temel nedeni, değişkenlerin de doğrusal ilişkilere sahip olduğu kabulünden hareket edilmesidir.

Bir hedef değişkeni Y 'nin $X_1, X_2, \dots, X_p$ gibi birçok bağımsız değişken kullanılarak kestirilmesi çoklu regresyon analizinin temel amacıdır. Genelleştirilmiş Eklemeli Modeller (GAM), değişkenleri doğrusal olarak ele alma zorunluluğunu ortadan kaldırarak doğrusal olmayan (non-linear) fonksiyonların eklenerek kullanımına olanak sağlamaktadır.

Çoklu regresyon modelinin genel yapısı aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \dots + \beta_p x_{ip} + \varepsilon_i. \quad (4.21)$$

(4.21) eşitliğinde $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_p$ denklemde yer alan katsayıları, $\beta_j x_{ij}$ ise doğrusal bileşenleri tanımlar. GAM yapısında doğrusal bileşenler yerine doğrusal olmayan fonksiyonlar $f_j(x_{ij})$ kullanılabilmektedir. Böylece model aşağıdaki yapıya ulaşır:

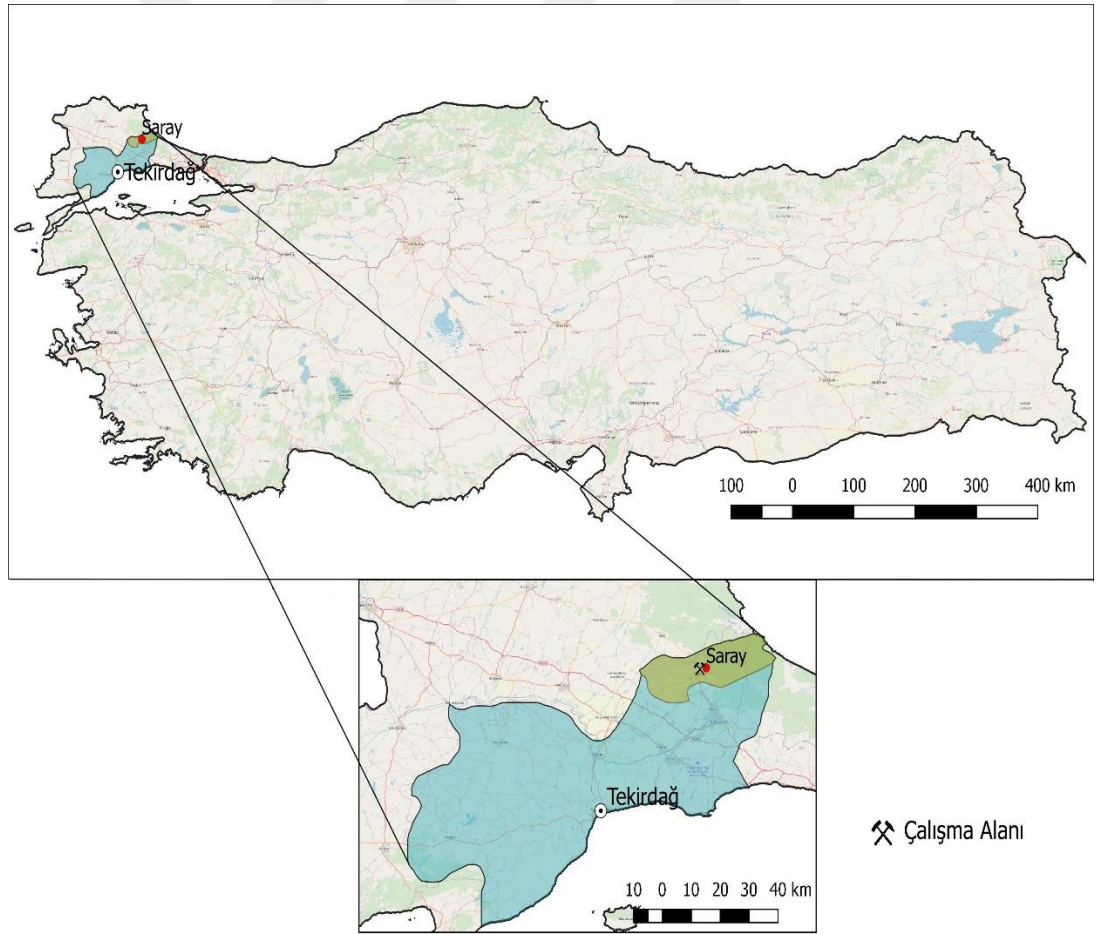
$$\begin{aligned} y_i &= \beta_0 + \sum_{j=1}^p f_j(x_{ij}) + \varepsilon_i \\ &= \beta_0 + f_1(x_{i1}) + f_2(x_{i2}) + \dots + f_p(x_{ip}) + \varepsilon_i. \end{aligned} \quad (4.22)$$

(4.22) eşitliği bir eklemeli model yapısıdır. Her bir ayrı f_j fonksiyonu X_j 'lere göre hesaplanır ve modele katkıları ölçüsünde eklenir. Böylece, doğrusal regresyon yöntemi yerine doğrusal olmayan ilişkiler herhangi bir dönüşüm kullanılmadan kullanılabilir. Bu yöntemde bazı değişkenler sabit tutularak diğer değişkenlerin model üzerindeki etkinliği analiz edilebilir. GAM modelinde, değişkenlerde kullanılan fonksiyonların yapısı serbestlik derecesi ile kontrol edilmektedir.

5. LİNYİT YATAKLARINDA UYGULAMALAR

5.1. Tekirdağ – Saray Linyit Saha Uygulamaları

Tekirdağ'ın Kuzeydoğu bölümünde yer alan Saray Linyit Havzasında üç kömür sahası yer almaktadır. Görünür ve muhtemel rezerv toplamı 64.381.000 ton olarak hesaplanmıştır (Gürsoytrak vd. 1979). Kömürün ortalama yoğunluğu $1,39 \text{ ton/m}^3$ olup sahalardaki linyitin alt ısı değerleri 1677 – 1947 *kcal/kg* arasında değişmektedir (Sezer, 1977). Üretilen kömür, termik santral yanında ısınma amacıyla da kullanılmaktadır. Havza içerisindeki sahalarda açık işletmenin yanı sıra yer altı işletme yöntemlerinden de yararlanılmaktadır. Şekil 5.1'de havzanın genel konum haritası yer almaktadır.



Şekil 5.1. Çalışma alanı (Tekirdağ Bölgesi)

5.1.1. Sahanın jeolojisi

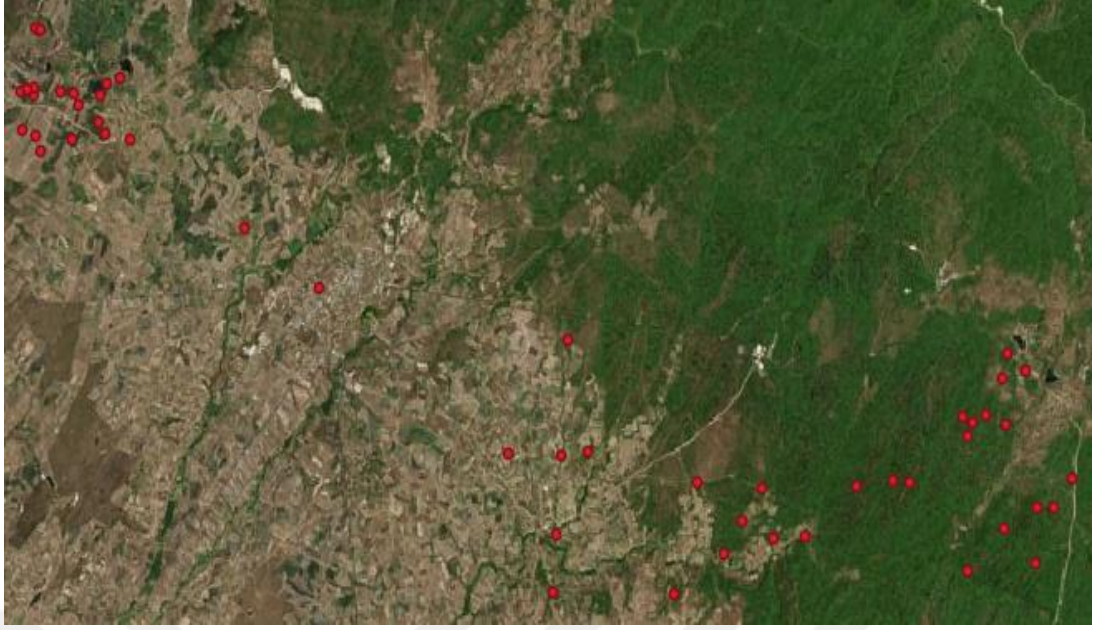
Tekirdağ ilinin Kuzeydoğusunda yer alan sahalarda; başlıca Oligosen, Pliyosen ve Kuaterner dönemlerine ait çökellerden oluşmaktadır. Havzanın temelini Paleozoik yaşlı kuvarsit, gnays, şist ve granit kayaçları oluşturur. Oligosenin tabanında kumtaşları ve kireçtaşları vardır. Linyit çoğunlukla ince kumlu tuf, marn veya kumtaşları arasında yer almaktadır. Bazı sahalarda iki damar halinde ekonomik kalınlık gösteren yataklanma izlenmektedir. Kömürlü tabakanın kalınlığı, damar sayısına bağlı olarak havzanın güneyine gidildikçe artmaktadır. Tabakaların eğimleri genellikle 5 ile 10 derece arasında olup önemli yapısal anomali içermemektedir (Öztekin vd. 1989).

Şekil 5.2’de, MTA Raporlarında da yer verilen stratigrafik sütun kesiti yer almaktadır (Öztekin vd, 1989). Düzenlenen kesit incelendiğinde, tabandan yüzeye doğru sırasıyla metamorfik şist, granit ve marn-kireçtaşı seviyeleri yer almaktadır. Daha üstte kum-kil-silt seviyeleri ve bunlara eşlik eden linyit izlenmektedir. Linyit Oligosen yaşlı olup üzerinde kum, kil ve çakıllı seviyeler yer almaktadır. Bölgede ayrıca KD-GB doğrultulu faylar yer aldığı rapor edilmektedir (Anonim, 2010).

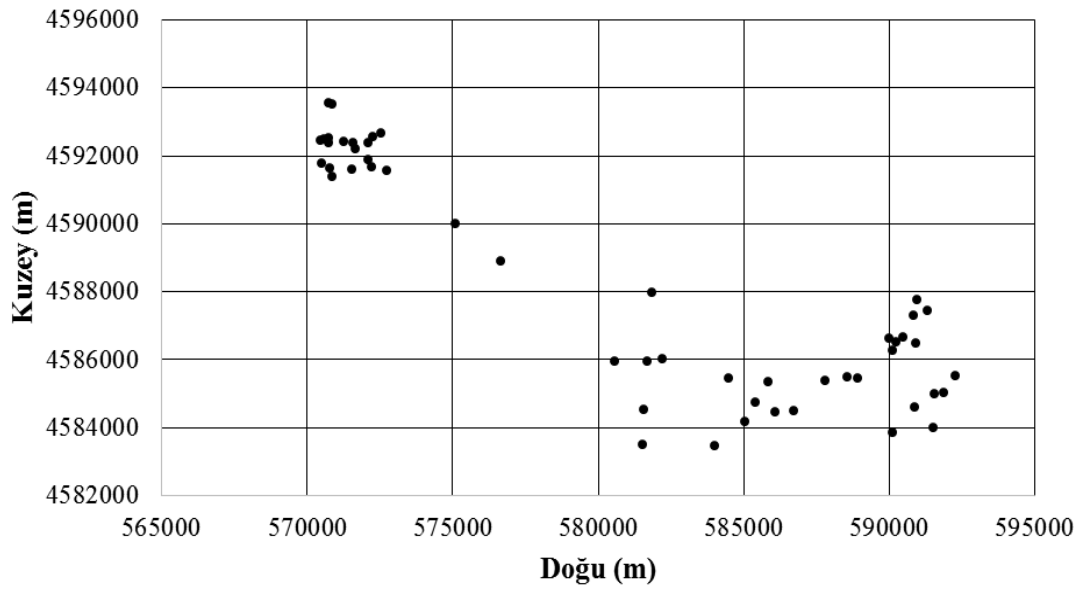
5.1.2. Verilerin hazırlanması

Sahalarda 1955, 1976 ve 1984 yıllarında detay jeolojik etütler ve sondajlar yapılarak genel yapı ortaya çıkarılmıştır (Anonim, 2010). Bu çalışmalar sonucu oluşturulan sondaj kayıtları ayrıntılı şekilde incelenerek kalınlığa bağlı kalite değişkenlerinin ağırlıklı ortalamalarının alınması yoluyla ham veri setleri oluşturulmuştur. Veri seti 51 sondaj lokasyonuna ait koordinatlar (x,y), Nem (N), Kül (K), Uçucu Madde (UM), Kükürt (S) ve Kalori (KAL) değerlerinden oluşmaktadır. Sabit karbon ölçümleri veri setinde temsil edildiği için hesaplamalarda kullanılmamıştır. Verilerin konumları şekil 5.3’ de verilmektedir.

Verilerin temel istatistik özellikleri çizelge 5.1’de yer almaktadır. Koordinatların göreceli belirsizliğine (standart sapma/ortalama) bakıldığında oldukça düşük değerler elde edildiği görülmektedir. Bunun nedeni, düzenli topografyanın mevcudiyeti ve sondaj planının düzenli oluşudur. Öte yandan göreceli belirsizlik ölçümleri sonucunda kül ve kükürt değerlerindeki değişimin çok yüksek değerlerde olduğu belirlenmiştir.



a)



b)

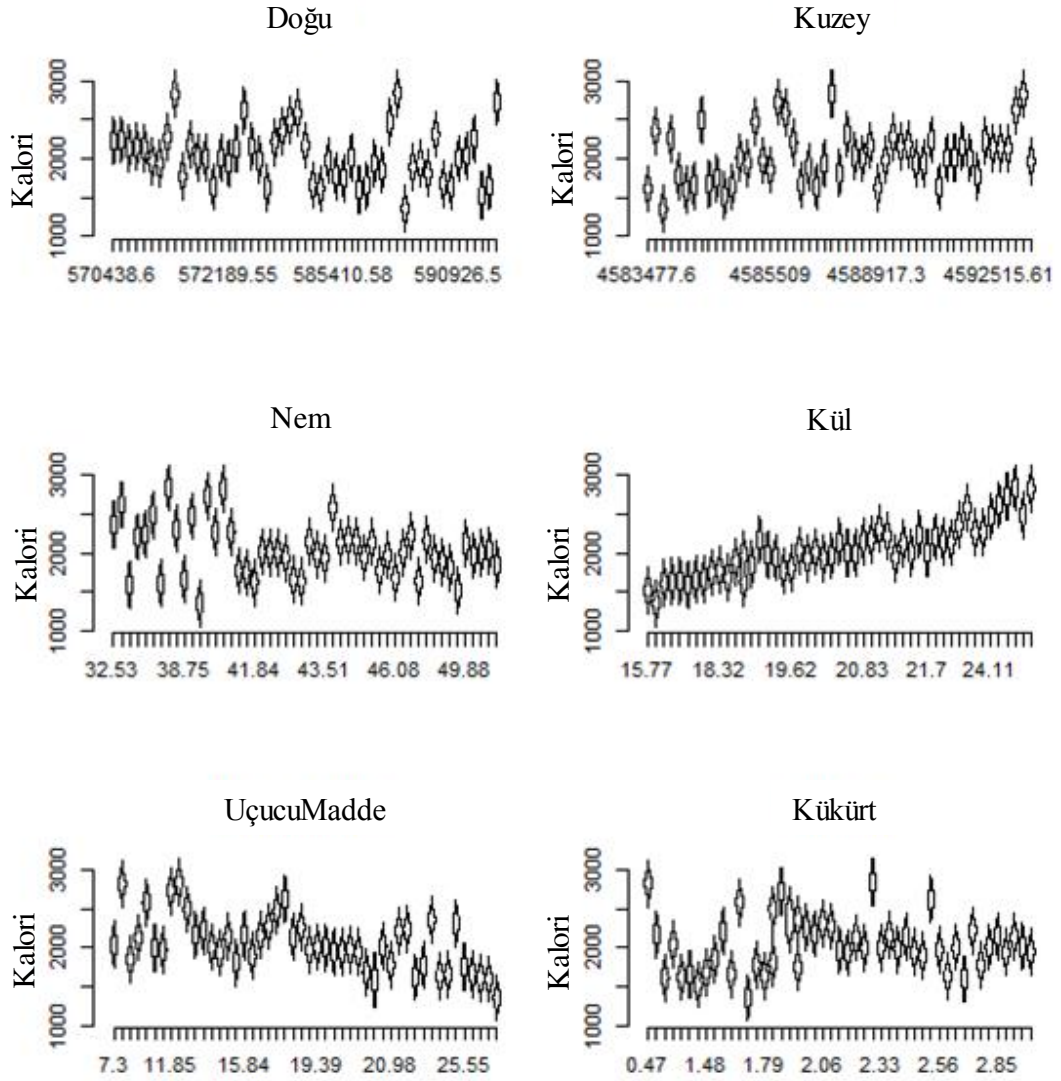
Şekil 5.3. Ölçüm lokasyonlarının konumu a) Uydu görüntüsü, b) Kartezyen koordinatlar

Şekil 5.4’ te ise değişkenlerin kaloriye bağlı değişimleri gösterilmektedir. Doğu, Kuzey ve uçucu madde parametrelerinin yanı sıra kükürt değişkeninin kaloriyle ilişkisi de belirgin bir yapı göstermemektedir. Öte yandan nem değişkenine bakıldığında, düşük nem seviyesinde kalori her değeri alabiliyorken yüksek nem seviyesinde ortalama değer (2036 *kcal*) ve altında, çok fazla değişkenlik göstermeyen

kalori ölçümleri yer almaktadır. Kül değişkeni ise net biçimde bir eğilime sahiptir. Kül seviyeleriyle kalori değerleri arasında pozitif ilişki kaydedilmektedir.

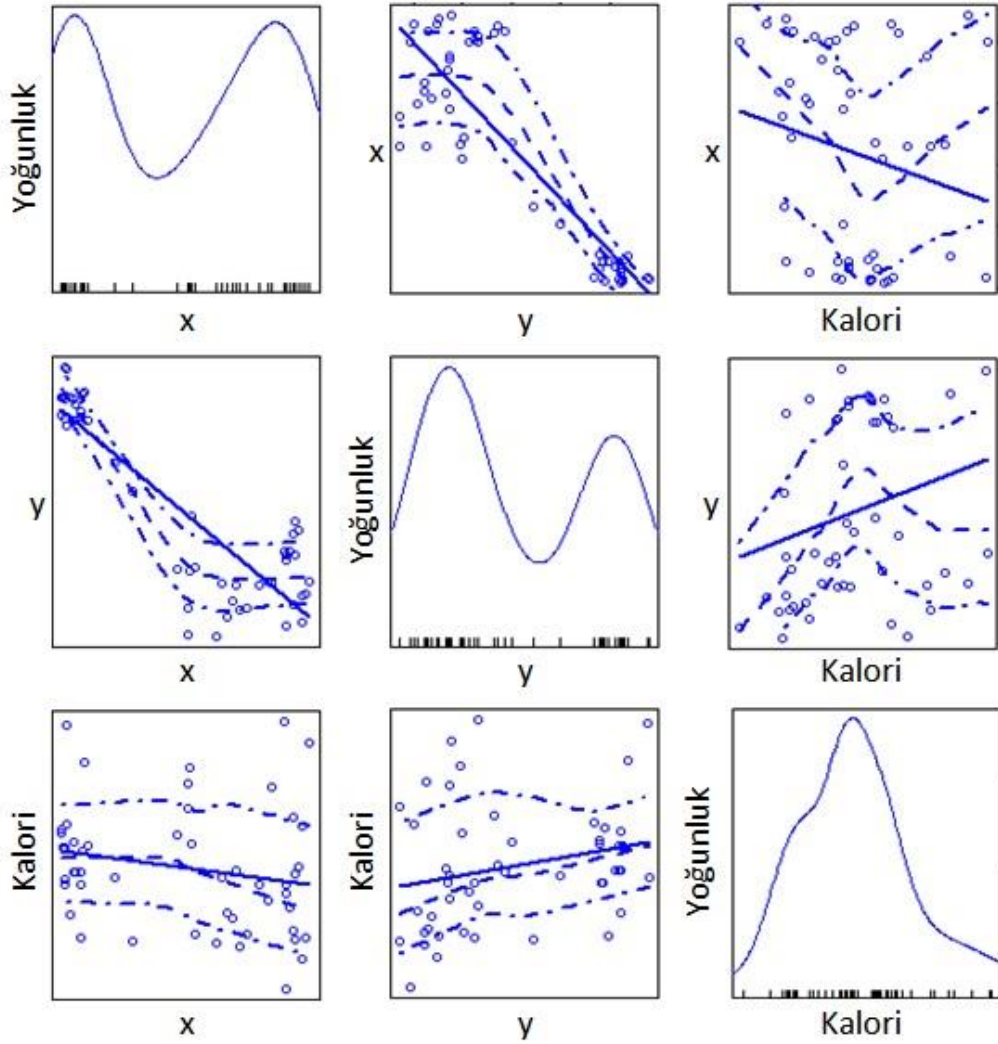
Çizelge 5.1. Değişkenlere ait temel istatistiksel özellikler.

Değişken	Ortalama	Standart Sapma	Göreceli Belirsizlik(%)
Doğu	581032.55	8390.87	1.44
Kuzey	4588192.92	3418.16	0.07
Nem	43.30	4.53	10.45
Kül	18.46	5.78	31.29
Uçucu Madde	20.58	2.70	13.11
Kükürt	2.10	0.62	29.66
Kalori	2035.89	341.49	16.77

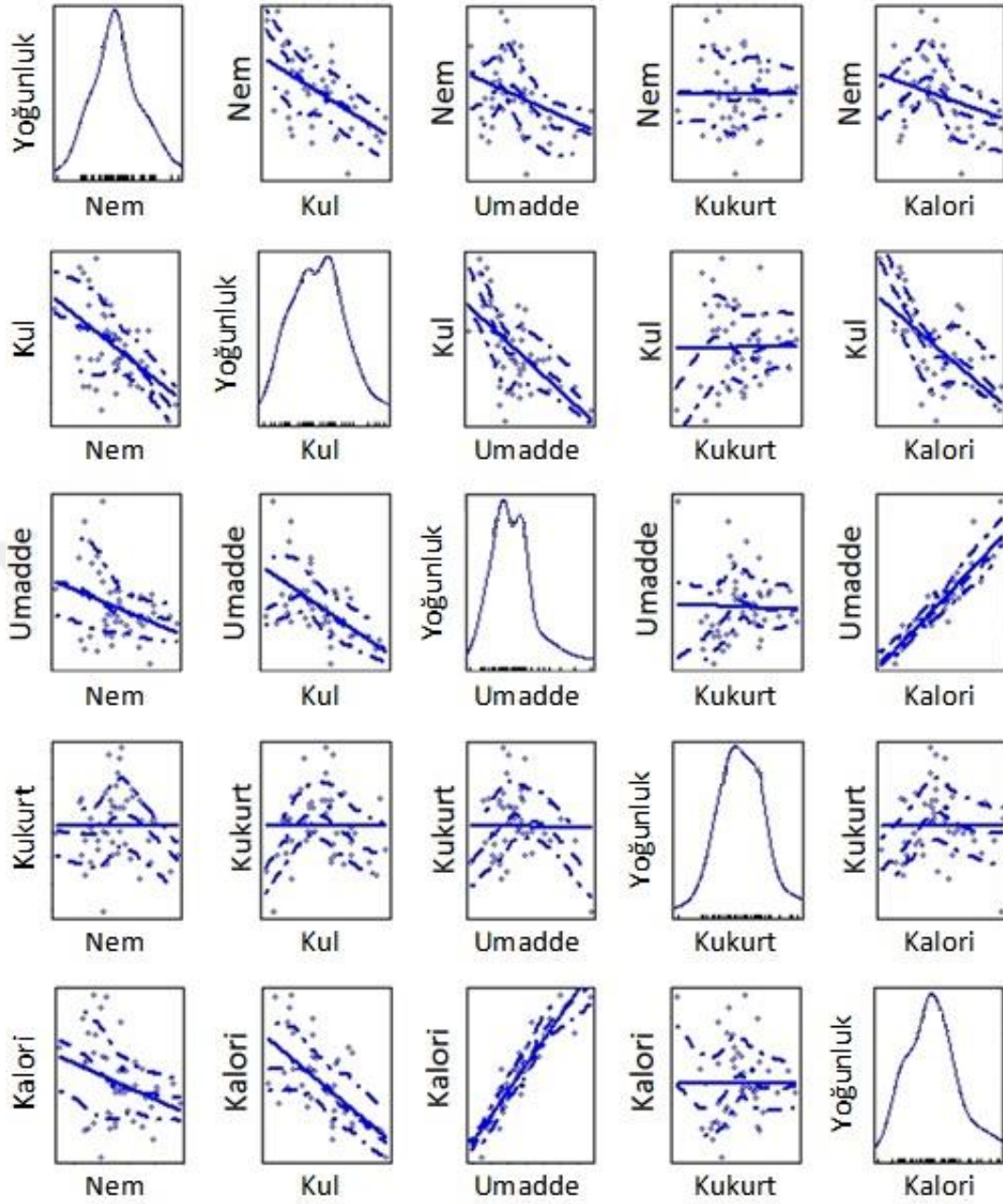


Şekil 5.4. Kaloriye bağlı değişkenlik.

Şekil 5.5’de koordinat değişkenlerinin her biri 2 mod değerine sahip olup 2 farklı bölgeselleşmeyi ortaya koyarken, kalori değişkenine tek başına bakıldığında normale yakın bir dağılım kaydedilmektedir. Her iki koordinatın kaloriyle değişimi gözlemlendiğinde, geniş bir aralıkta kuvvetli olmayan bir eğilim izlenmektedir. Şekil 5.6 incelendiğinde, tüm kalite değişkenlerinin normale yakın dağılıma sahip oldukları görülmektedir. Değişkenlerin olasılık yoğunluk fonksiyonları (pdf) çarpıklık düzeyi düşük olan homojene yakın dağılımlar sunmaktadır. Kükürt değişkeni kalori de dahil olmak üzere hiçbir değişkenle yapısal ilişki göstermediği halde diğer değişkenler birbirleri ile pozitif ya da negatif belirli ölçüde korelasyonlara sahiptir.



Şekil 5.5. Kalori ve koordinatların değişimi

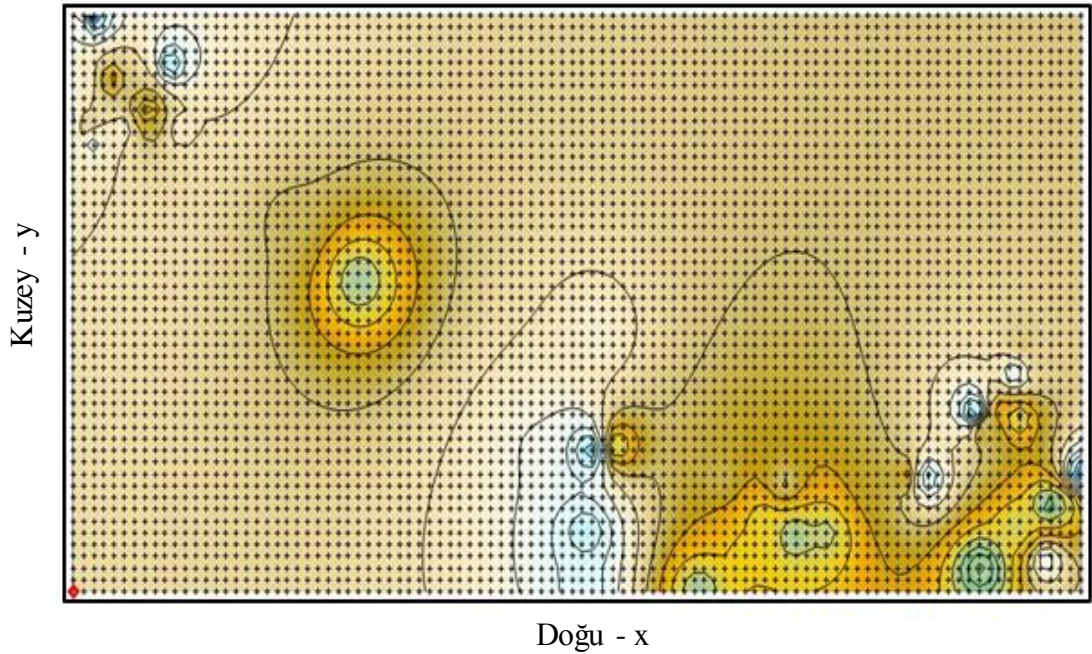


Şekil 5.6. Kalite değişkenleri arasındaki ilişki.

5.1.3. Mesafenin tersi ağırlıklandırmasıyla (ISDW) genel yapının belirlenmesi

Mesafeye bağlı ağırlıklandırma yönteminde her blok birbirinden bağımsız olarak değerlendirilmiştir. Jeolojik etki alanlarının kaydedilmesi ve bütünsel olarak genel yapının ortaya çıkarılması (structure identification) için belirlemci (deterministik) bir teknik olan uzaklığın tersiyle ağırlıklandırma kullanılmıştır.

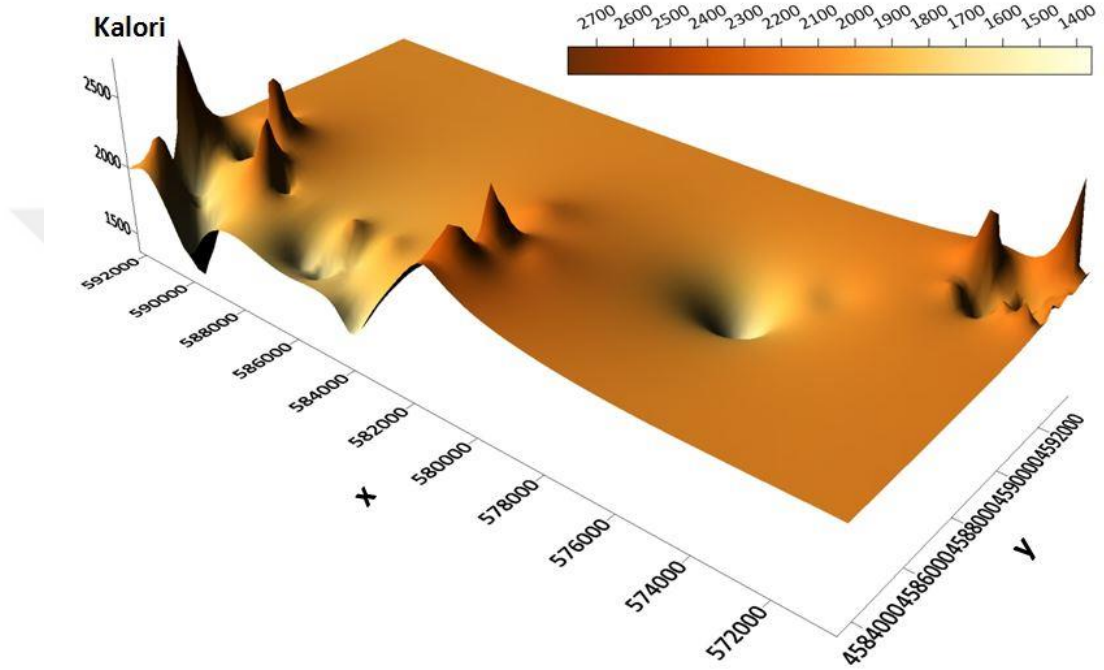
Şekil 5.7’ de, karesel ağırlıklar kullanılarak yapılan hesaplamaların sonuçları grid sistemi üzerinde gösterilmektedir. Uzaklığa bağlı fonksiyonel ilişkiler kullanılmadan, doğrudan (Öklid) uzaklıklardan yararlanılan hesaplamaların bulguları ve ortaya çıkan grid yapısı; düzgünleştirmenin sınırlı olduğu, detay bilgi vermeyen bir yapıyı ortaya koymaktadır. Öte yandan, 3-4 farklı bölgeselleşme genel olarak kaydedilmiştir. Benzer biçimde şekil 5.8’ de sahanın genel yapısı 3 boyutlu olarak gösterilmektedir. 4 yüksek ve 2 düşük kalorili bölgenin ortaya çıktığı bir yapı söz konusudur. Düşük kalori değerlerini temsil eden çukur biçimindeki yapılaşma dikkat çekse de, diğer lokasyonlardan ayırık ve düşük kaloriye sahip iki sondajın bu yapıyı meydana getirdiği görülmüştür. Öte yandan düzgünleştirmenin sınırlı olduğu, kalori seviyelerinin ani değişimler (peak) gösterdiği bir yapılaşma söz konusudur. Ölçüm ve doğrusal enterpolasyon sonuçlarının karşılaştırıldığı çizelge 5.2’ de ortalama değerlerin yakınlaştığı görülürken ISDW yönteminin ve dağılım aralığı ve veri değişkenliğini yakalayamadığı kaydedilmiştir. Gözlem değerlerinin çarpıklığı sağa doğru iken kestirim değerlerinin çarpıklığı sola doğru ele edilmiş olup yöntem için dezavantaj olarak kabul edilebilecek bir sonuç elde edilmiştir.



Şekil 5.7. Kalori için ISDW ile oluşturulan grid yapısı.

Çizelge 5.2. Ölçüm ve ISDW kestirim istatistiği

Model	Ortalama	Standart Sapma	Dağılım Aralığı (Range)	Çarpıklık
Ölçülen	2035.89	341.49	1487.50	0.46
ISDW	2030.54	105.99	1418.27	-0.43



Şekil 5.8. ISDW enterpolasyonu ile 3 boyutlu yatak modeli.

5.1.4. Kriging ile tümsel (global) kestirim

Kriging modeli öncesinde koordinatlar ve kalori arasındaki iç bağlantılar kovaryans, korelasyon ve düzey(rank)-korelasyon matrisleri ile ortaya konulmuştur. Çizelge 5.3’ de yer alan matrisler, eksenler arasında negatif güçlü bir ilişkiye işaret ederken x yönündeki değerler ile ısı değerleri arasında zayıf negatif bir ilişki olduğunu ortaya koymaktadır. Öte yandan y yönündeki değerler ile ısı değerleri arasında ise pozitif ve zayıf bir ilişki kaydedilmektedir.

Çizelge 5.3. a)Kovaryans, b)Korelasyon c)Rank-Korelasyonu matrisleri.

a)

	X	Y	Kalori
X:	70406624	-25098352	-578429,75
Y:	-25098352	11683823	290281,83
Kalori	-578429,75	290281,83	116614,91

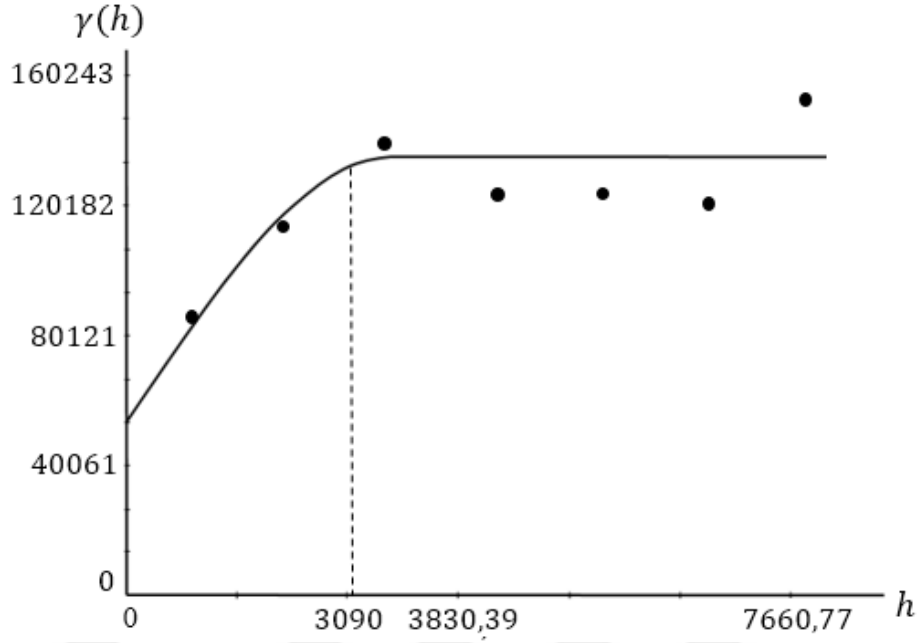
b)

	X	Y	Kalori
X	1,000	-0,875	-0,202
Y	-0,875	1,000	0,249
Kalori	-0,202	0,249	1,000

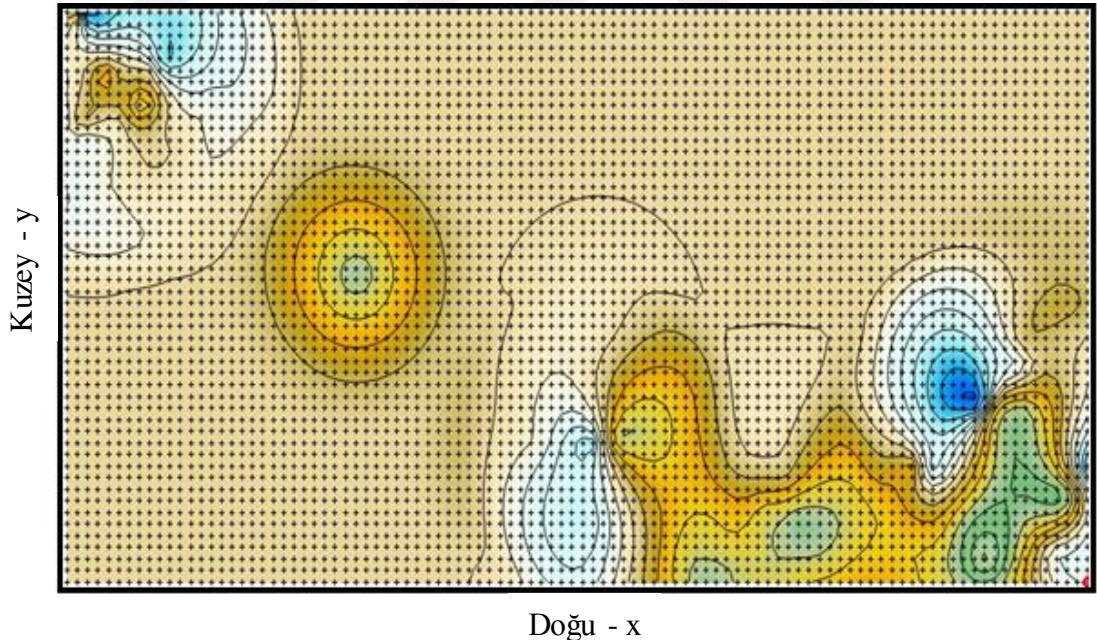
c)

	X	Y	Kalori
X	1,000	-0,708	-0,261
Y	-0,708	1,000	0,307
Kalori	-0,261	0,307	1,000

Uzaklığa bağlı ilişkiyi kullanarak değerlendiren kriging enterpolasyonu için, ilk aşamada variogram fonksiyonu yardımıyla ağırlıklar ve temel parametreler elde edilmiştir. Etkin uzaklığın (bandwidth) 3090 m. olarak kaydedildiği küresel variogram modeli şekil 5.9’ da gösterilmektedir. Variogram modeli, sill değerinin büyük olması dolayısıyla ($C_0+C=135$ km) heterojen yapıya sahip bir model ortaya çıkarmıştır. Genel linyit yataklanmalarında beklenen heterojen karakter bu model yapısıyla uyumludur.



Şekil 5.9. Variogram modeli.

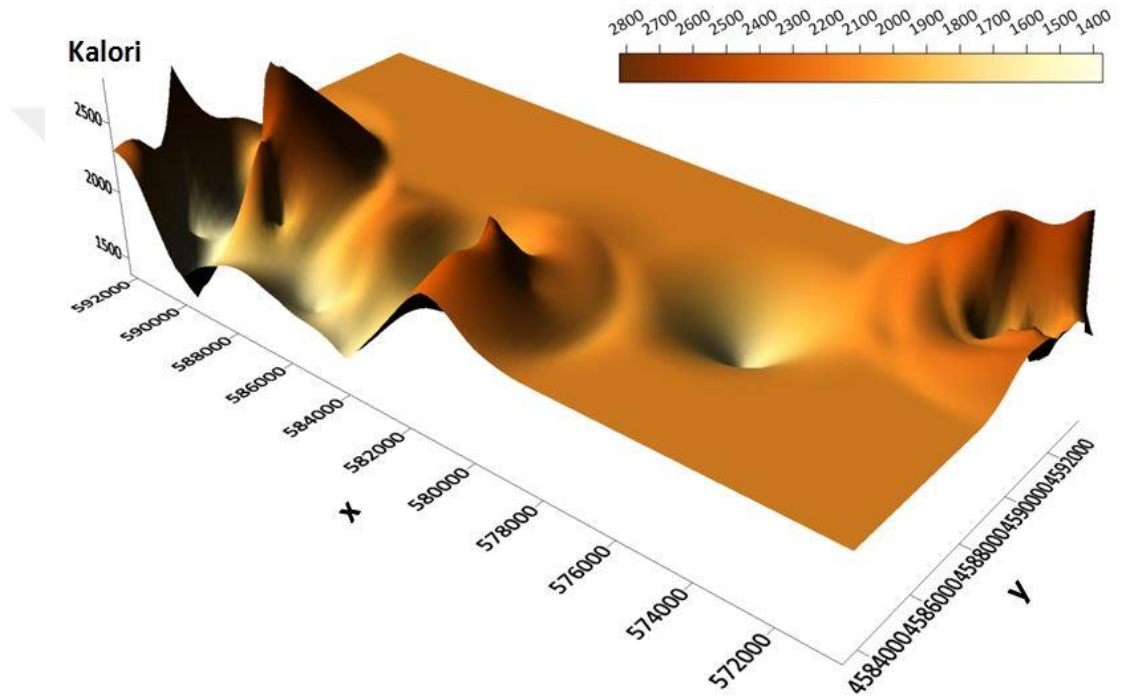


Şekil 5.10. Kalori için kriging grid modeli.

Şekil 5.10 ve şekil 5.11 incelendiğinde kriging modelinin önemli ölçüde düzgünleştirme (smoothing) yaparak sahadaki bölgeselleşmeyi net olarak ortaya koyduğu görülmektedir. Alt ısı değerlerinin belirli bir yükseklik seviyesine ulaştığı

3 bölgenin yanı sıra az sayıda sondajdan kaynaklı düşük ısı değerlerine sahip bir bölge ayrılmış olarak kaydedilmektedir. ISDW yönteminin aksine ani değişimler yumuşatılmakta ve doğrudan uzaklıklar yerine fonksiyonel bir geçiş sağlanmaktadır.

Çizelge 5.4’ de verilen istatistik incelendiğinde ortalama değerden belirli bir miktar uzaklaşılırken yakın dağılım aralıklarının elde edildiği görülmektedir. ISDW ile karşılaştırıldığında ölçülen değerlerin değişimiyle daha fazla yakınlaşan standart sapma değeri elde edilmiştir. Ayrıca, elde edilen değişim yapısı normal dağılıma çok yakın olup simetrik özelliktedir.



Şekil 5.11. Kriging kestiminin 3 boyutlu gösterimi.

Çizelge 5.4. Ölçüm ve kriging kestirim istatistikleri.

Model	Ortalama	Standart Sapma	Dağılım Aralığı (Range)	Çarpıklık
Ölçülen	2035,89	341,49	1487,50	0,46
Kriging	2076,14	159,85	1449,0	0,02

5.1.5. Bölgesel regresyon analizi

Tümsel analizden farklı olarak, lokasyona bağlı ve sahanın belirli bölgelerindeki değişimi araştırmak üzere lokal regresyon uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Uygulamalarda, x ve y koordinatları ağırlıklandırma işlemine dahil olduğu için kalori ile kalite değişkenleri iki boyutlu incelemeye tabi tutulmuştur. Linyit yatağına ait 51 verinin kullanıldığı uygulamalarda ağırlıklandırma için Gauss tipi (Çizelge 5.5) Kernel fonksiyonundan yararlanılmıştır.

Çizelge 5.5. Bölgesel regresyon ağırlık fonksiyonları.

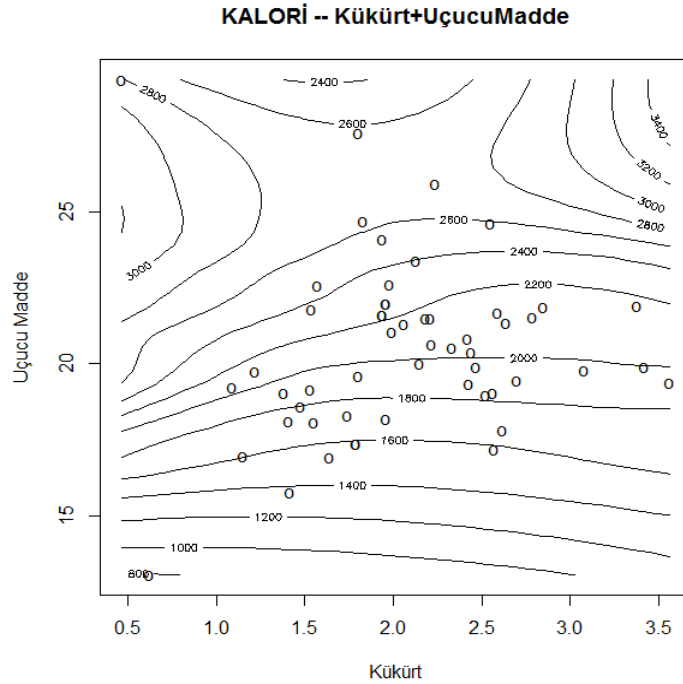
Fonksiyon Tipi	Eşitlik
Rectangular	$W(x) = 1, x < 1$
Triangular	$W(x) = 1 - x , x < 1$
Epanechnikov	$W(x) = 1 - x^2, x < 1$
Bisquare	$W(x) = (1 - x^2)^2, x < 1$
Tricube	$W(x) = (1 - x ^3)^3, x < 1$
Triweight	$W(x) = (1 - x^2)^3, x < 1$
Gaussian	$W(x) = \exp(-(2.5x^2)/2)$
Exponential	$W(x) = \exp(-3 x)$
MacLain	$W(x) = 1/(x + \epsilon)^2$

R dilinde *locfit* kütüphanesi yardımıyla geliştirilen bir kod kullanılarak gerçekleştirilen uygulamalarda düzgünleştirme parametresi $\alpha=0.6$ seçilmiştir. Şekil 5.12 elde edilen kestirim sonuçlarının değişimini göstermektedir.

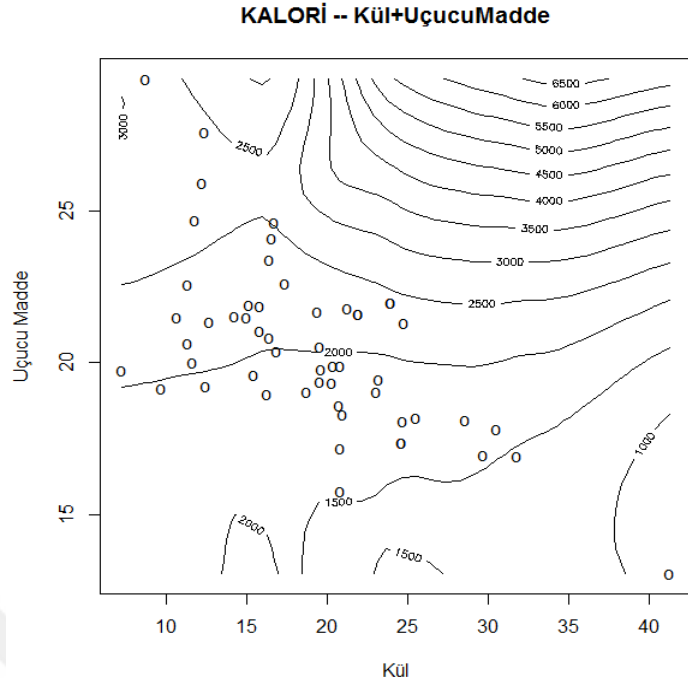
- Kükürt İçeriği ve Uçucu Madde Oranını gösteren ilk şekilde görüldüğü gibi her iki değişkendeki artış, kalorige de artışa neden olmaktadır (a). Bu artışın uçucu madde ekseninde daha belirgin olduğu kaydedilebilir.
- Kül ve Uçucu Madde oranına bağlı olarak kalorige değişimi gösteren ikinci şekilde (b), kül oranındaki artış düşük kalori seviyeleri üretmiştir. Öte yandan, belirli bir seviyenin (%20) üzerindeki uçucu madde oranı yüksek seviyelerdeki kalori değerlerine karşılık gelmiştir.
- Kül ve Kükürt ikilisinin kullanıldığı yapıda (c), her iki değişkendeki artış kalorige belirgin bir azalmaya neden olmaktadır. Öte yandan, kestirimler

2000 Kalori değeri etrafında yığılma göstermektedir. Kül veri setinde yer alan uç değer, eğrilerin düzenli genişlikte dağılımını engellemektedir.

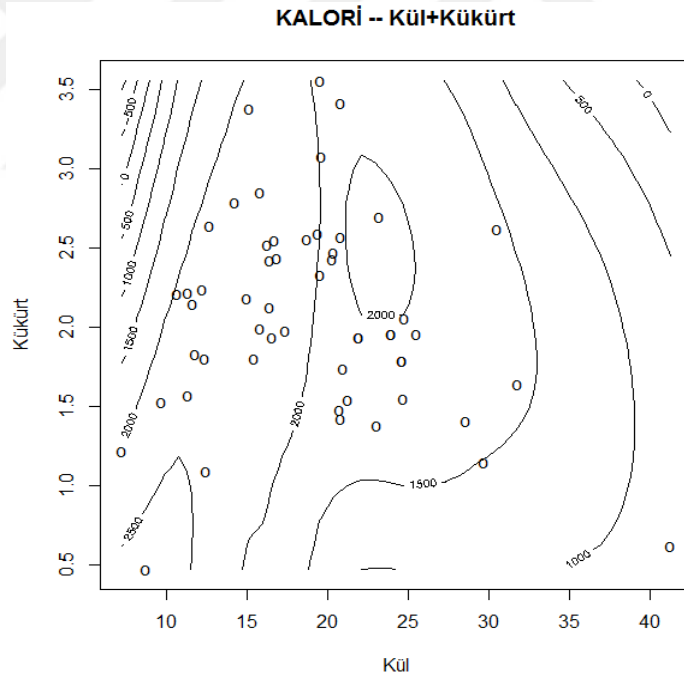
- Nem ve Kükürt değişkenleri ile kalori ilişkisine bakıldığında, farklı veri seviyelerinde değişik ilişkiler kaydedilebilir (d). Düşük Nem-Düşük Kükürt durumunda kalori seviyeleri de düşük değerlerdedir. Yüksek Nem-Yüksek Kükürt durumunda ise kalori seviyelerinde artış gözlemlenmektedir. Öte yandan çok düşük nem seviyelerinde kükürt artışının kaloride bir artışa neden olacağı beklenebilir.
- Nem ve Kül ikilisinin kalori üzerindeki etkinliğine bakıldığında (e), çok düşük olmayan nem (%35-45) ve kül (%12-28) seviyelerinde yüksek kalori seviyeleri kaydedilmiştir.
- Nem ve Uçucu madde değişkenlerinin kaloride oluşturduğu değişimi gösteren şekilde (f), uçucu madde içeriğindeki artışın kalori için yüksek seviyeler oluşturduğu anlaşılmaktadır. En yüksek nem değerine (%54) karşılık Uçucu Madde oranı %19 ve Kül Oranı (%9) olarak ölçülmüştür. Buradan hareketle sabit karbon $(100-(54+19+9)=\%18)$ olarak elde edileceğinden çok yüksek nem değerinde beklenmedik biçimde yüksek kalori kestirim seviyeleri görülmektedir.



Şekil 5.12. Bölgesel regresyon kestirimleri.

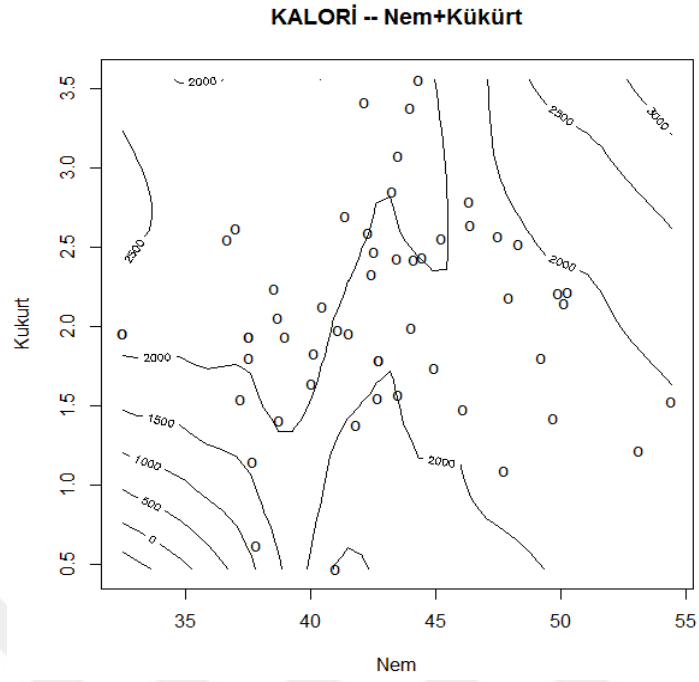


b)

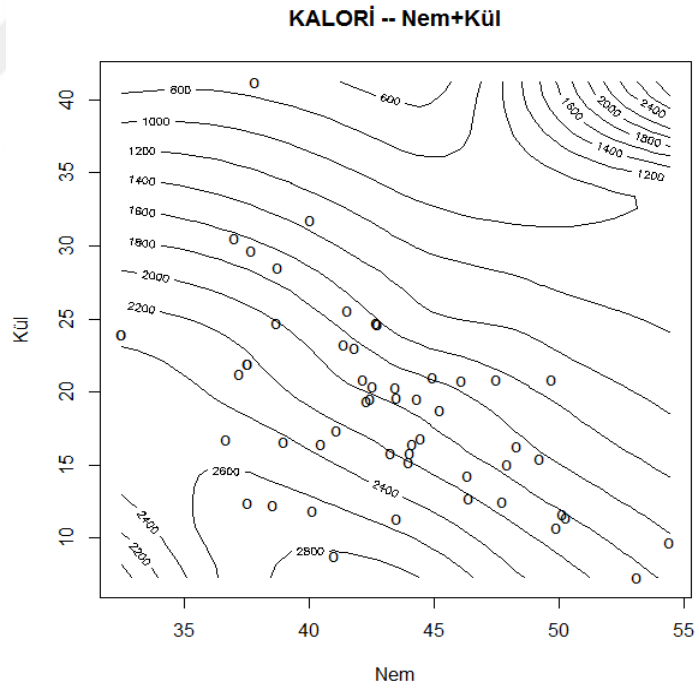


c)

Şekil 5.12. Bölgesel regresyon kestirimleri (devam).

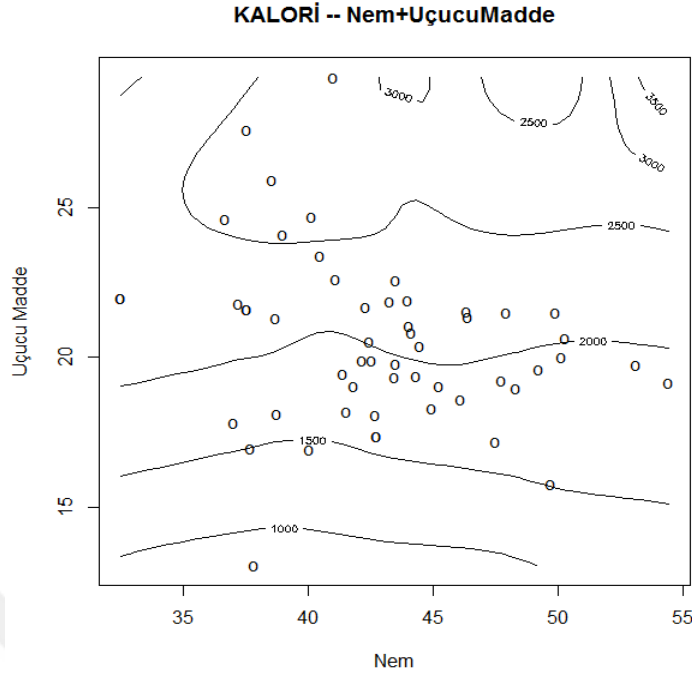


d)



e)

Şekil 5.12. Bölgesel regresyon kestirimleri (devam).



f)

Şekil 5.12. Bölgesel regresyon kestirimleri (devam).

5.1.6. Coğrafi olarak ağırlıklandırılmış regresyon (GWR) analizi

İncelenen linyit sahasının jeolojik ve topoğrafik yapısı ile kalori değerlerinin dağılımı arasında belirli düzeyde ilişki olması beklenir. Bu ilişkinin düzeyini belirlemek için girdi kalite değişkenleri (Kul, Kükürt, Uçucu Madde, Nem) çiftler biçiminde ele alınmış ve sahadaki etkili zonların yarıçapları (bandwidth) belirlenmiştir. En iyilemeye dayalı uygulamalarda başarı ölçütü olarak (5.1) eşitliğinde verilen Akaike Information Criterion (AIC) ölçütünden yararlanılmıştır (Fotheringham vd. 2002):

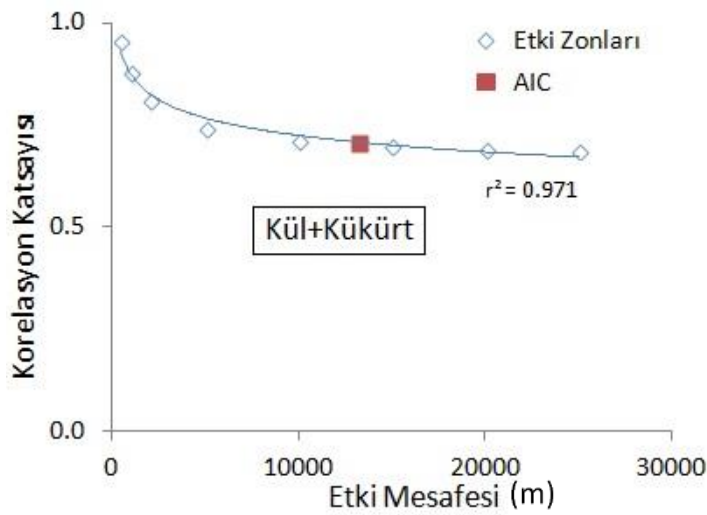
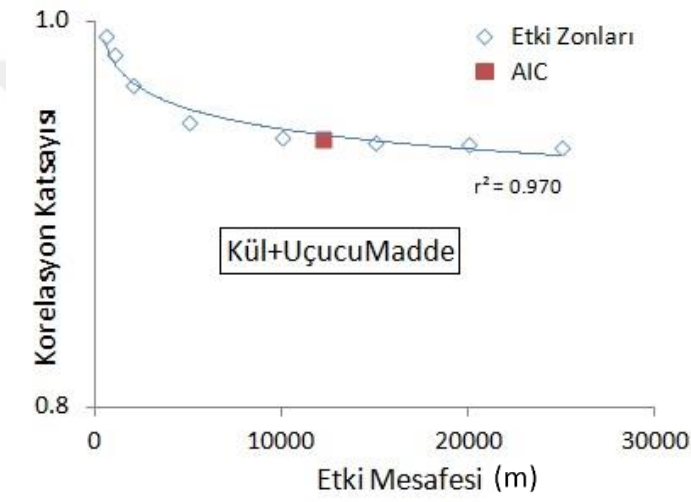
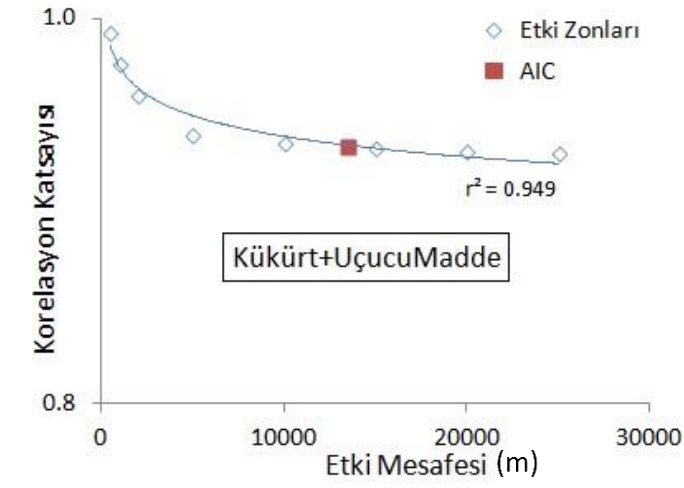
$$AIC_c = 2n \log_e \left(\hat{\sigma} \right) + n \log_e (2\Pi) + n \left\{ \frac{n + tr(\mathbf{S})}{n - 2 - tr(\mathbf{S})} \right\} \quad (5.1)$$

(5.1) eşitliğinde n örnek büyüklüğünü, $\hat{\sigma}$ hata teriminin tahmin edilen standart sapmasını, $tr(\mathbf{S})$ şapka matrisi $\mathbf{S}$ ' nin "iz"ini (trace) temsil etmektedir ($\hat{y} = \mathbf{S}y$)).

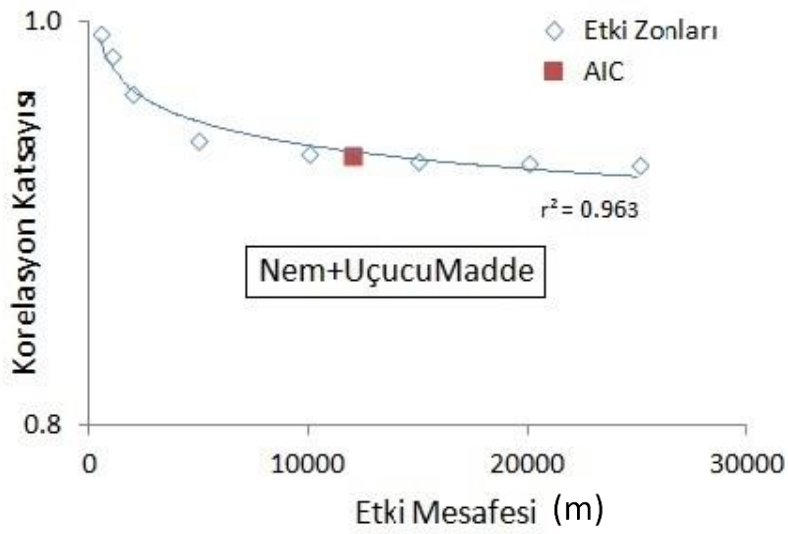
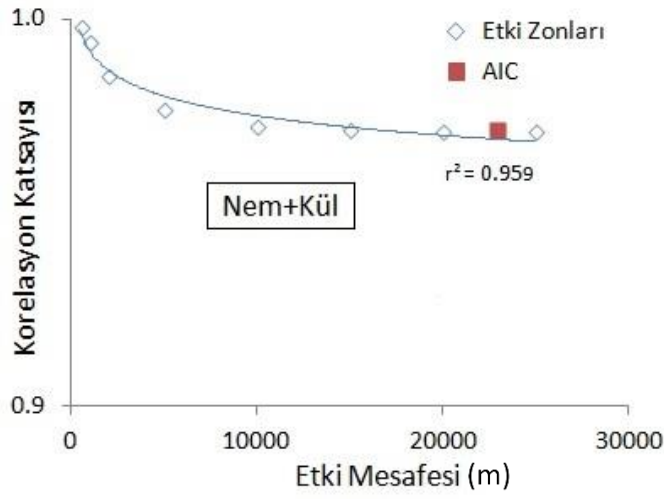
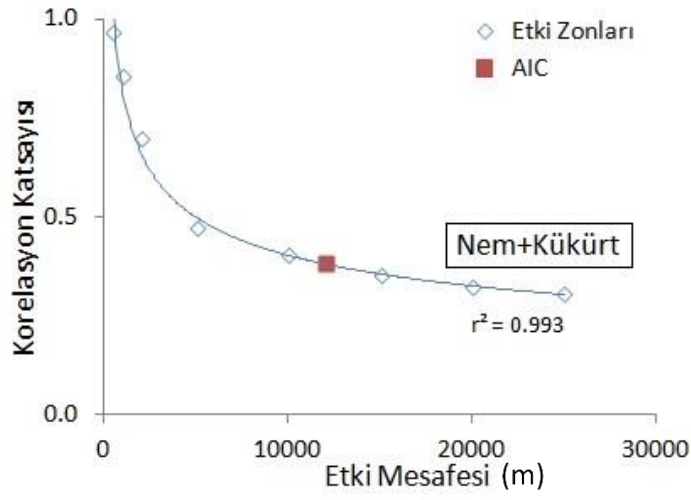
Şekil 5.13 etki mesafelerindeki değişimi göstermektedir. Etki bölgesi yarıçapı ile coğrafi olarak ağırlıklandırılmış modelin başarısını (korelasyon katsayısı) ortaya

koyan Şekil 5.13 yardımıyla izlenebildiği gibi, bir en iyileme ölçütü olan Akaike Bilgi Kriteri (AIC) değeri, r^2 ile başarı düzeyleri ortaya konulan üssel fonksiyonlardaki değişim alanında yer almaktadır. Buradan hareketle iki temel bulguya dikkat çekmek gerekmektedir:

- Küçük etki mesafelerinde çok yüksek model başarısı elde edilmekte, bu başarı doğrusal olmayan biçimde azalmakta ve sabit kalmaktadır. Bu değişim linyit yatağının heterojen karakterine uygun bir hesaplama yapıldığını göstermektedir. Nitekim bir linyit yatağında kısa mesafelerde ani kalori değişimleri beklenmeyeceğinden yapılan kestirimlerin başarısı yüksek olacaktır. Öte yandan burada dikkat edilmesi gereken esas nokta, komşuluk ilişkisinin hangi kritik uzaklığa kadar devam ettiğidir. Bu uzaklık yaklaşık olarak, korelasyon değerinin uzaklıktan bağımsızlaşmaya başlayarak sabitlendiği kritik noktaya karşılık gelmektedir. Nitekim AIC değerleri ile kritik etki uzaklıkları tespit edilerek uzaklık-model başarısı (distance-achievement) dengesi kurulmuştur.
- Kalite değişkenlerinden biri kullanılarak belirlenen etki uzaklıkları ile birden fazla değişken kullanılarak belirlenen etki mesafeleri arasında farklılık tespit edilmektedir. Bu bulgu, kalite değişkenlerinin linyit sahasında etkili değerlendirme mesafesinin belirlenmesinde kritik öneme sahip olduğunu göstermiştir. Genel olarak bakıldığında ikili girdi parametrelerin kaloriyle ilişkisi 5-10 km aralığında düşmeye başlamakta, bir süre sonra ilişki sabitlenmektedir. Örneğin şekil 5.13’de yer alan (Nem+Kükürt) ve (Nem+Kül) uygulama sonuçları incelendiğinde, nemin sabit değişken olduğu durumda

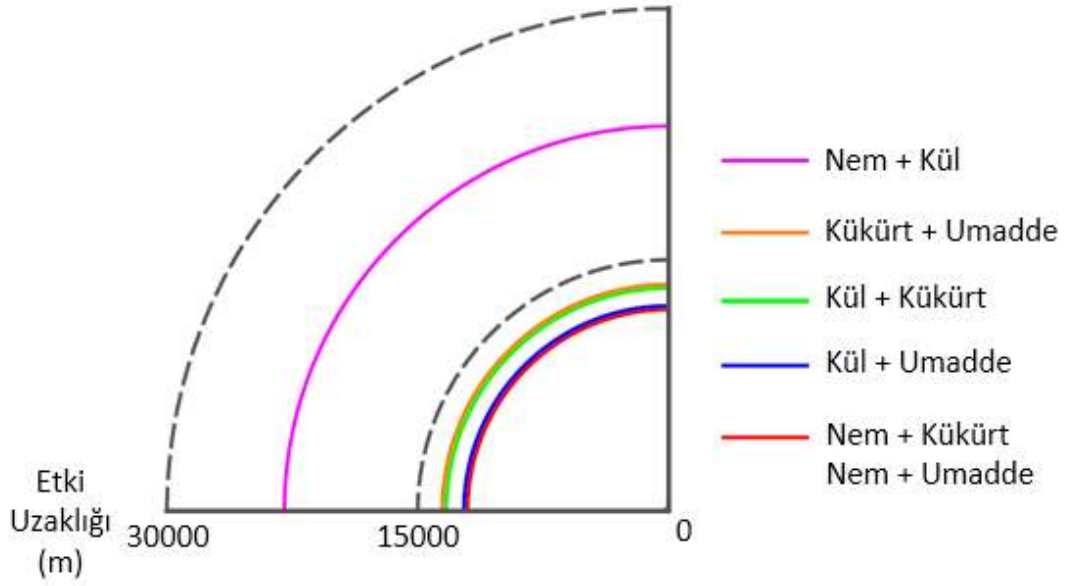


Şekil 5.13. Kalite değişkenlerine bağlı etki mesafeleri.



Şekil. 5.13. Kalite değişkenlerine bağlı etki mesafeleri (devam).

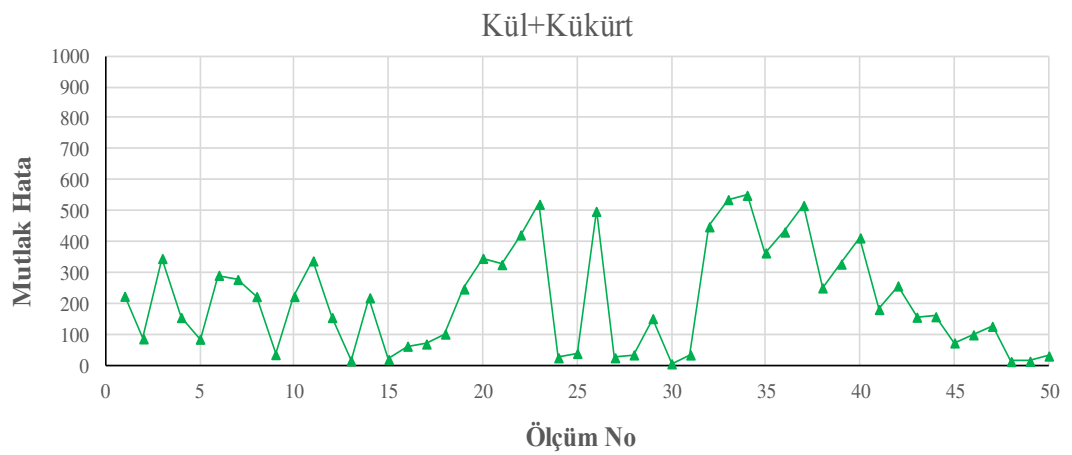
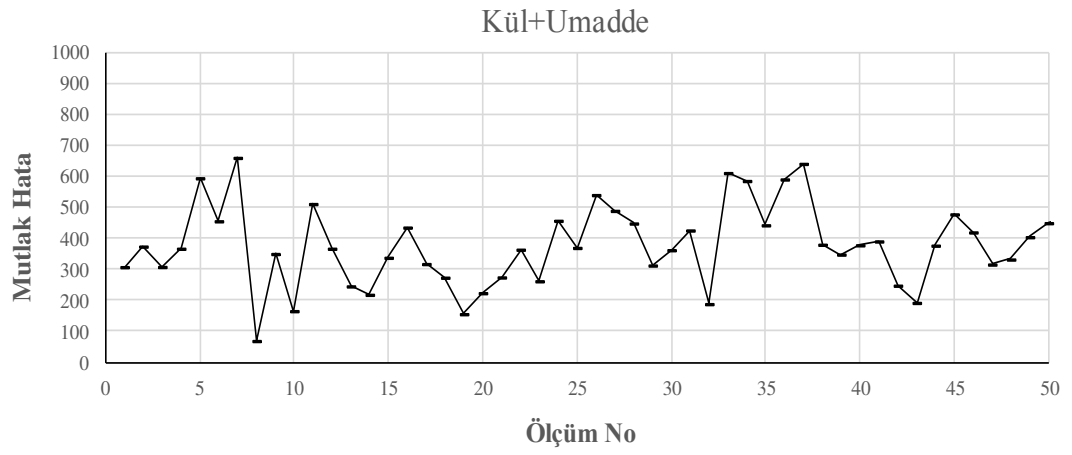
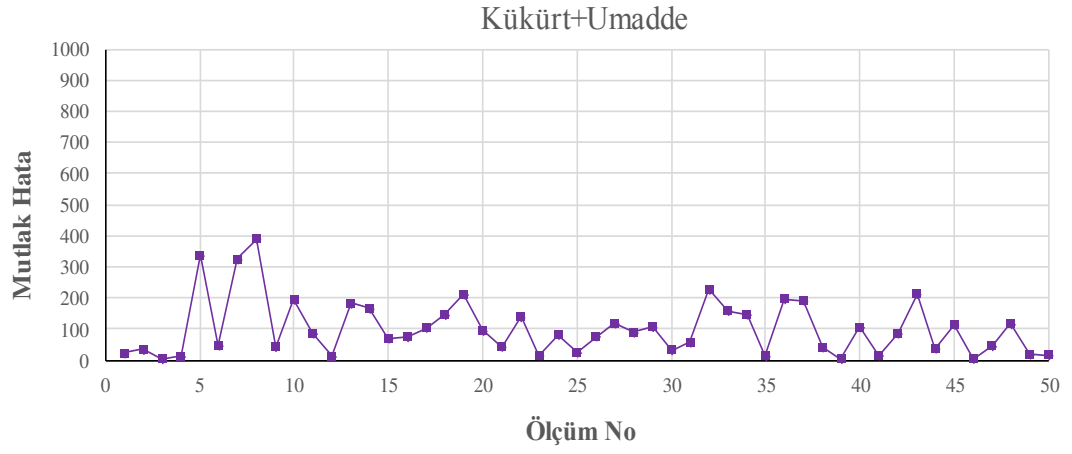
Kükürt ile ısı değer arasında küçük etki mesafelerinde ilişki gözlemlenmektedir (maksimum 12-13 km). Öte yandan, Kül ile Isıl Değer arasındaki ilişki daha geniş bir bantta değerlendirme yapmayı (23-24 km) zorunlu kılmaktadır. Böylece kalite değişkeni niteliğine ve sayısına bağlı olarak zonlar oluşturarak göstermek olanaklı olmuştur (Şekil 5.14).



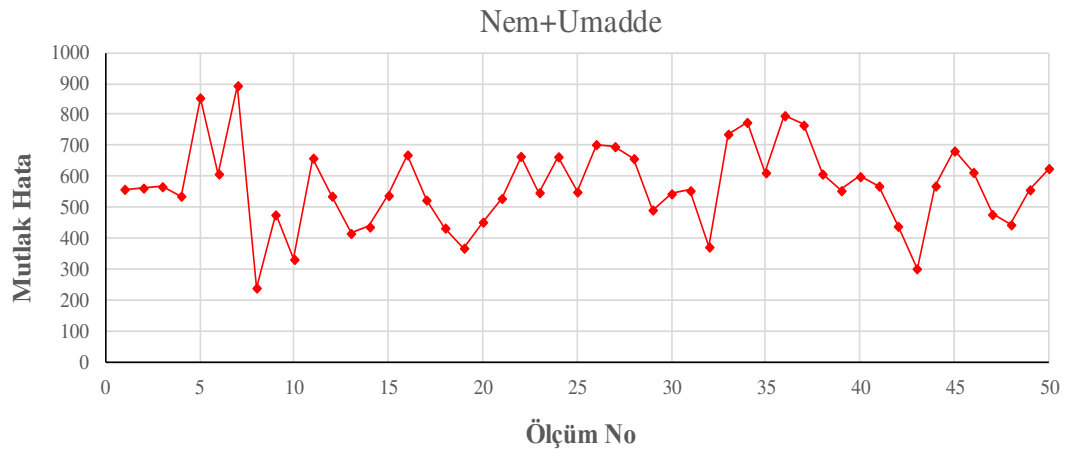
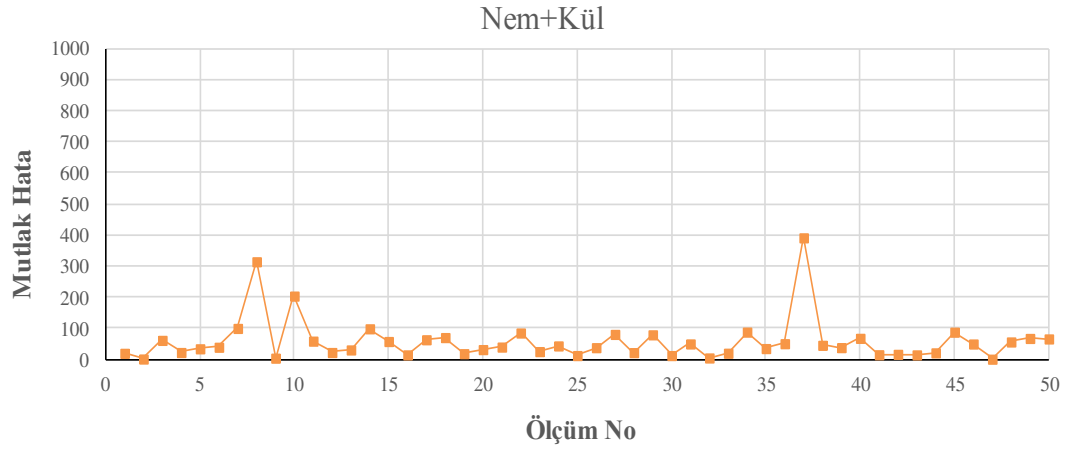
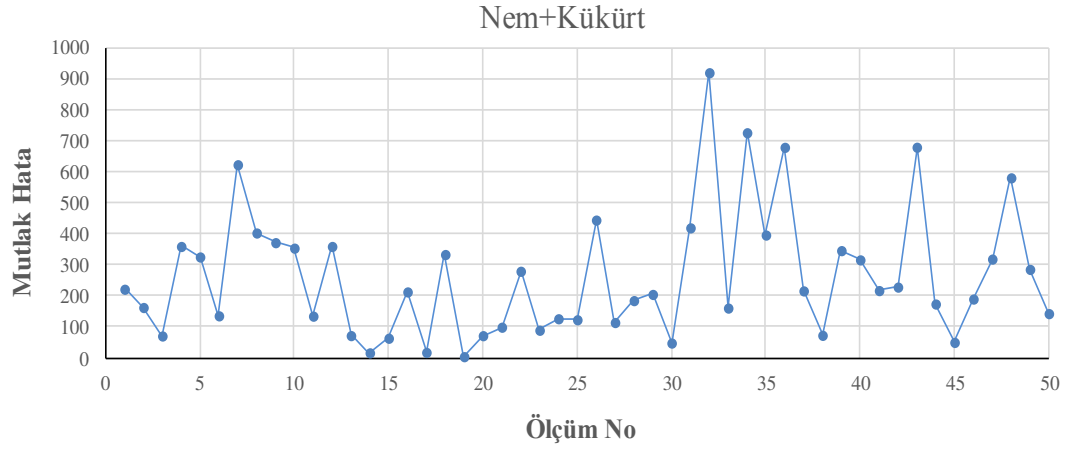
Şekil 5.14. Etki mesafelerinin iç içe zonlar halinde görünümü.

Coğrafi olarak ağırlıklandırma yapılarak gerçekleştirilen kestirimlerde AIC değerleri kritik etki uzaklığı değerleri olarak kullanılmıştır. Uygulamalarda Gauss tipi kernel yapısından yararlanılmıştır. Uygulamalarla elden edilen kestirimlerin hatalarının değişimleri şekil 5.15’de gösterilmektedir.

Şekil 5.15 incelendiğinde, en küçük hata değişiminin (Nem + Kül) model yapısıyla elde edildiği görülmektedir. Diğer model yapılarıyla elde edilen hatalar büyük değişim göstermektedir. Hata değişkenliğinin fazla olması, rastgele hata üretimiyle modelin uyarlanabilir olduğuna dikkat çekerken, çok küçük hata seviyesi çok başarılı kestirim yanında bir başarısızlığa (overfitting) da işaret etme potansiyeli taşımaktadır.



Şekil 5.15. Kestirim mutlak hatalarının değişimi.



Şekil 5.15. Kestirim mutlak hatalarının değişimi (devam).

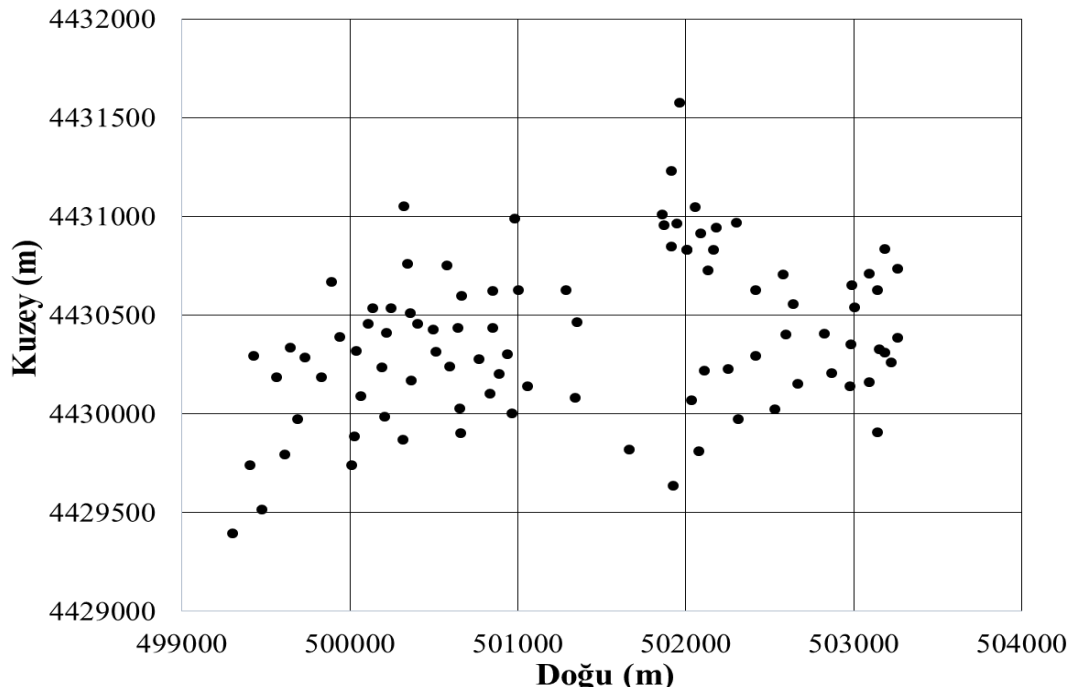
SENOZOYİK										KAYA TÜRÜ	AÇIKLAMALAR
ÜST SİSTEM	SİSTEM	SERİ	FORMASYON	KALINLIK (m)							
SENOZOYİK	KUVATERNER	HOLOS EN	KULFA	0-20		ALÜVYON: Kum, silt, kil yy. çakıl					
		PLEYİSTOSEN		20		ÜST DETRİTİKLER: Kil, kum, silt: gevşek-az tutturulmuş volkanik bloklar ve çakıllar içerir					
	TERSİYER	PLİYÖSEN	YUNTDAĞI VOLKANİTLERİ	64			① PİROKLASTİKLER: Tüf-aglomera: bazalt ve andezit dev blokları içerir ② GÖL ÇÖKELLERİ: Kil-kıtaşı: kumlu ve siltli, yy marnlı, ince linyit seviyesi ① PİROKLASTİKLER: Tüf-aglomera: dev riolit blokları içerir ③ GÖL ÇÖKELLERİ: Kıtaşı-marn: bitümlü LİNYİT ZONU: Kömür ve ara kesmeler Konglomera TEMEL VOLKANİTLERİ: Kaolenize tüf ④ Aglomera ⑤ Bazalt, riolit, andezit ⑥				
		ÜST MİYOSEN		20							
		ORTA-ÜST MİYOSEN		25							
				32							
		ALT MİYOSEN		17							
	OLİGOSEN EOSEN PALEOSEN	1	7			④ ⑤ ⑥					
		7	1								
		1	17								
	MESOZOYİK	PALEOZOYİK	TEMEL KAYAÇ					⑦ Granit, granodiyorit ⑧ Kireçtaşı, kumtaşı, şeyl ⑨ Kireçtaşı ofiyolidi melanj; kireçtaşı bloklu ultramafik kayalar, gnays, amfibolit, şist, metakonglomera, metagrovak mermer yarı kristalize kireçtaşı			

Şekil 5.17. Genelleştirilmiş stratigrafik sütun kesit (Özen ve Aydın, 2003'den değiştirilerek alınmıştır).

5.2.2. Verilerin hazırlanması



a)



b)

Şekil 5.18. Uygulama sahasındaki sondajlar a) Uydu görüntüsü, b) Kartezyen koordinatlar

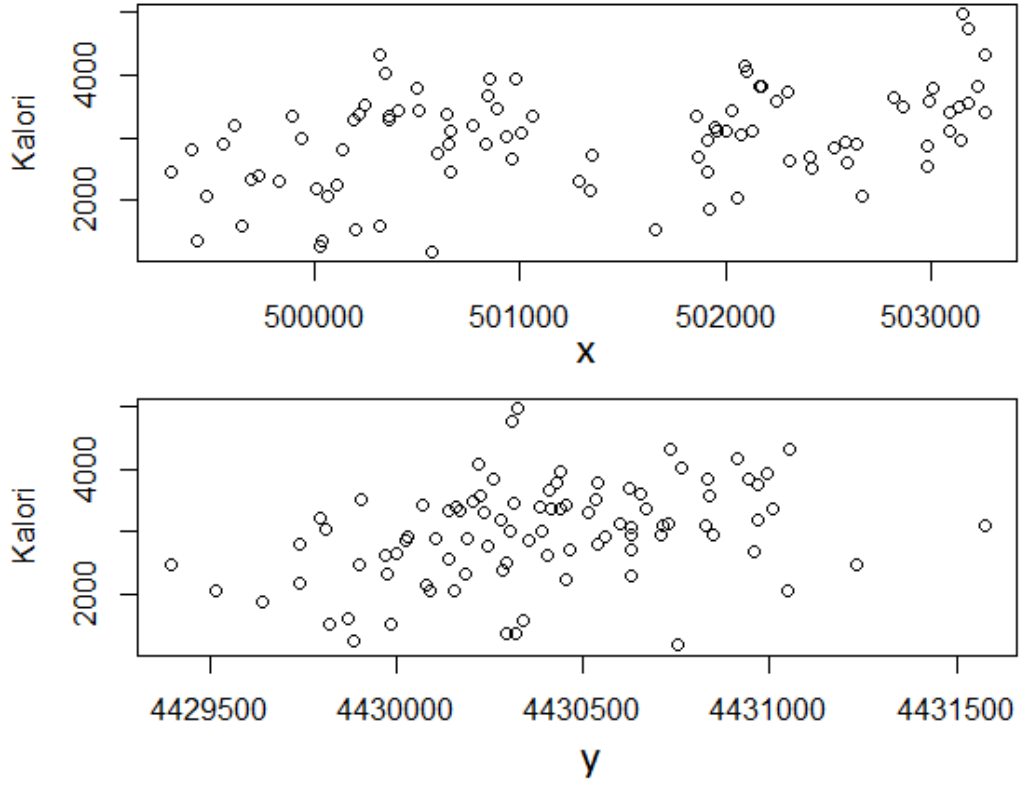
Bölgede 2001-2002 yıllarında MTA ve 2008-2009 yıllarında Enerji İşleri Etüd İdaresi tarafından kapsamlı sondaj çalışmaları yapılmıştır (Şekil 5.18). Bu

alışmalar sonucu ilgili kurumlarca oluşturulan ölçekli sondaj kesitleri (stamp) incelenerek, kalınlığa bağlı olarak kalite değişkenlerine ait veri setleri oluşturulmuştur. Bu veriler kalınlığa bağlı ağırlıklı ortalamalar alınarak düzenlenmiş ve modelleme çalışmaları için uygun duruma getirilmiştir. Harita kesitleri ve paftalar oluşturulurken kuzey yönü – x ve doğu yönü -y olarak seçilir. Dolayısıyla Kartezyen koordinatla çalışıldığından, bu yönler ters çevrilerek Doğu-x ve Kuzey-y olarak alınarak hesaplamalar gerçekleştirilmiştir.

Verilerin temel istatistik özellikleri çizelge 5.6’ da verilmiştir. Sondaj konumlarını tanımlayan x ve y koordinatlarındaki göreceli belirsizliğin düşük olması, ölçümlerin sınırlı bir alanda yapılmasından kaynaklanmaktadır. Kalite değişkenlerine ait istatistiksel belirsizliklere bakıldığında, en yüksek değişkenliğin sırası ile Kükürt ve Kül değerlerinde kaydedildiği görülmektedir. Sahadaki sondajların alt ısı değerlerle değişimini gösteren şekil 5.19 incelendiğinde, x yönündeki değişimin göreceli olarak y yönündeki değişimden daha büyük olduğu kaydedilmektedir.

Çizelge 5.6. Değişkenlere ait istatistiksel özellikler.

Değişken	Ortalama	Standart Sapma	Göreceli Belirsizlik(%)
Doğu	501362.80	1201.03	0.24
Kuzey	4430388.52	399.39	0.01
Nem	23.61	3.98	16.85
Kül	26.67	10.23	38.38
Uçucu Madde	25.84	3.43	13.29
Kükürt	3.66	1.69	46.23
Kalori	2989.09	773.52	25.88

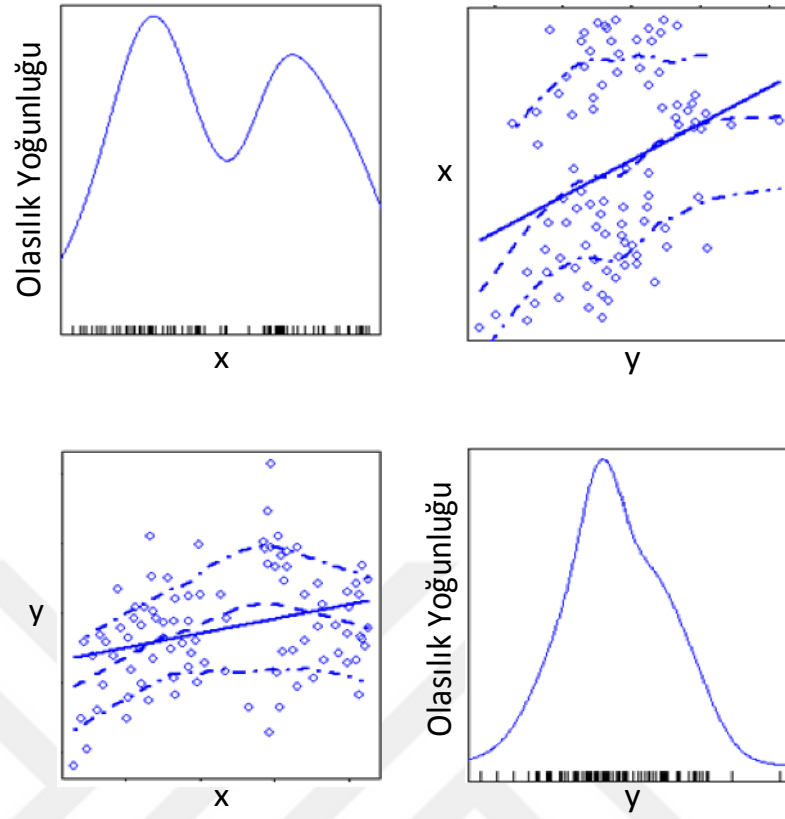


Şekil 5.19. Isıl değerin koordinatla değişimi.

5.2.3. Genelleştirilmiş eklemeli model (GAM) analizi

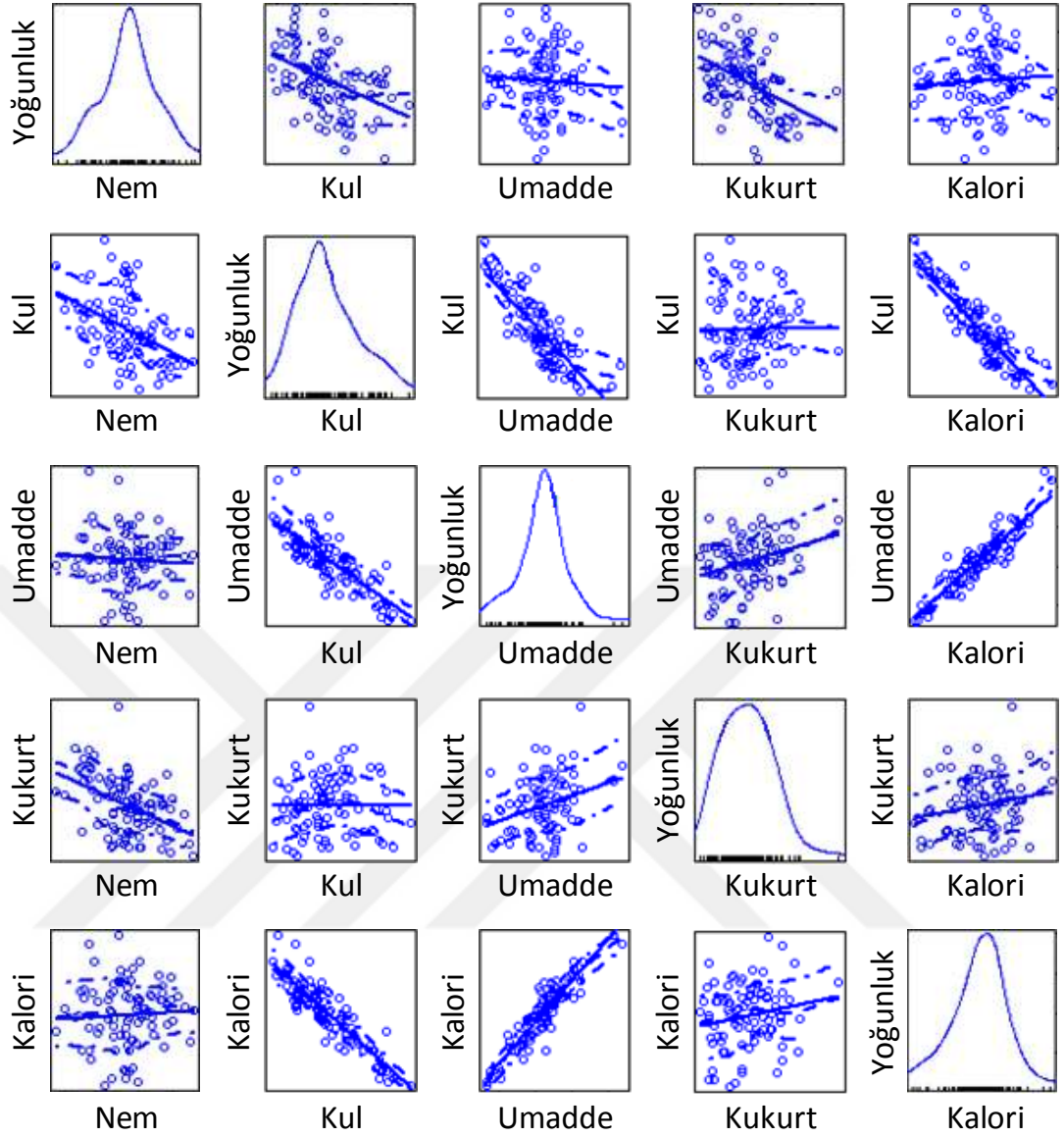
GAM analizi kullanılarak incelenen kömür sahasında her bir değişkenin doğrusal olmayan (non-linear) fonksiyon yardımıyla ve ekleme (additivity) koşuluyla etkinliklerinin araştırılması olanaklı hale gelmektedir. Kartezyen sistemde yatay yönde 2 farklı bölgeselleşme izlenmektedir (Şekil 5.20). Bu, sondaj ölçüm lokasyonlarının seçimi ile ilişkilidir. Yatay yönde 2 mod değeri kaydedilmekte olup, değişkenlik düşey eksene göre daha büyük olarak izlenmektedir.

Şekil 5.20 ve 5.21 bir arada ele alındığında, iki boyut arasındaki korelasyonun düşük olduğu ve konuma bağlı bir heterojenliğin var olduğu izlenmektedir. Y yönünde kaloriye bağlı olmayan (aykırı ısı değer olmayan) aykırı ölçümlerin varlığı da kaydedilmektedir.



Şekil 5.20. Koordinatlar arasında ilişki.

Kömür kalite değişkenlerinin ısı değer ile ilişkisini gösteren şekil 5.21.’de Kükürt ve Kül değişkenlerinin varyansının büyük olmasından kaynaklı olarak yayılı normal dağılım fonksiyonları elde edilmektedir. Bu bulgu, çizelge 5.7’de verilen tanımlayıcı istatistikle uyumludur. Girdi kalite değişkenlerinin kalori ile bağlantısına bakıldığında, en büyük değişkenliğin (düşük korelasyon) Nem-Kalori ve Kükürt-Kalori ilişkilerinde olduğu görülmektedir. Uçucu Madde – Kalori değişimi kuvvetli pozitif bir ilişkiyi gösterken, Kül-Kalori ilişkisinin kuvvetli negatif yönü öne çıkmaktadır. Çizelge 5.7 korelasyonların sayısal büyüklüklerini özetlemektedir.



Şekil 5.21. Kömür kalite değişkenleri arasındaki ilişki.

GAM yapısının Çan kömür yatağında kömür kalite değişkenleri ve verilerin alındığı lokasyonların ısı değerleriyle ilişkisini ortaya koymak üzere 10 model oluşturulmuştur. Bu modeller çizelge 5.8’ de verilmektedir.

Çizelge 5.7. Değişkenler arasındaki korelasyonlar.

	x	y	Nem	Kül	U.Madde	Kükürt	Kalori
x	1,000	0,310	-0,517	-0,120	0,390	0,534	0,395
y	0,310	1,000	0,040	-0,324	0,204	-0,228	0,357
Nem	-0,517	0,040	1,000	-0,446	-0,067	-0,452	0,059
Kül	-0,120	-0,324	-0,446	1,000	-0,794	0,020	-0,893
U.Madde	0,390	0,204	-0,067	-0,794	1,000	0,294	0,919
Kükürt	0,534	-0,228	-0,452	0,020	0,294	1,000	0,185
Kalori	0,395	0,357	0,059	-0,893	0,919	0,185	1,000

Çizelge 5.8. GAM denklemleri

No	Genelleştirilmiş Ekllemeli Model Yapısı
1	Kalori = $-3,32 \times 10^5 + 0,04x + 0,07 - 46,41\text{Nem} - 58,57\text{Kül} + 57,49 \text{UMadde} - 6,49 \text{Kükürt}$
2	Kalori = $-3,79 \times 10^5 + 0,04x + 0,08y - 46,12\text{Nem} - 58,68\text{Kül} + 56,70 \text{UMadde}$
3	Kalori = $-1,04 \times 10^5 + 0,05x + 0,02y - 71,44\text{Nem} - 78,90\text{Kül} - 0,94\text{Kükürt}$
4	Kalori = $-1,17 \times 10^6 + 0,07x + 0,20y + 30,51\text{Nem} + 195,40 \text{UMadde} - 13,48\text{Kükürt}$
5	Kalori = $-5,77 \times 10^5 + 0,08x + 0,01y - 36,22\text{Kül} + 106,80 \text{UMadde} - 1,15\text{Kükürt}$
6	Kalori = $4,86 \times 10^3 - 60,12\text{Nem} - 64,72\text{Kül} + 49,33\text{UMadde} - 0,90\text{Kükürt}$
7	Kalori = $4,86 \times 10^3 - 60,02\text{Nem} - 64,76\text{Kül} + 49,09 \text{UMadde}$
8	Kalori = $7,02 \times 10^3 - 80,14\text{Nem} - 81,36\text{Kül} + 9,29\text{Kükürt}$
9	Kalori = $-2,87 \times 10^3 + 19,75\text{Nem} + 211,58 \text{UMadde} - 20,78\text{Kükürt}$
10	Kalori = $7,17 \times 10^2 - 35,04\text{Kül} + 121,76\text{UMadde} + 16,06 \text{Kükürt}$

Çizelge 5.8’de yer alan birinci modelde tüm değişkenler hesaplamalara dâhil edilmiştir. 2, 3, 4, 5 nolu uygulamalarda sırasıyla Kükürt, Uçucu Madde, Kül ve Nem değişkenlerinin çıkarılmasıyla oluşan modellerin performansları ele alınmıştır. 6. uygulamada, koordinatların yer almadığı, kalite değişkenlerinin tamamının kullanıldığı durum söz konusudur. 7, 8, 9 ve 10 nolu uygulamalarda ise koordinatlarla birlikte sırasıyla Kükürt, Uçucu Madde, Kül ve Nem çıkarılarak oluşan değişim gözlemlenmiştir. GAM analizinde kullanılan doğrusal olmayan fonksiyonlar *Spline* (bağlayıcı) fonksiyon yapısında olup en başarılı sonuçlar serbestlik derecesi 3 olarak seçildiğinde alınmıştır. Spline fonksiyonu parçaların bir araya gelmesi ile oluşturulan, sürekli bir fonksiyondur.

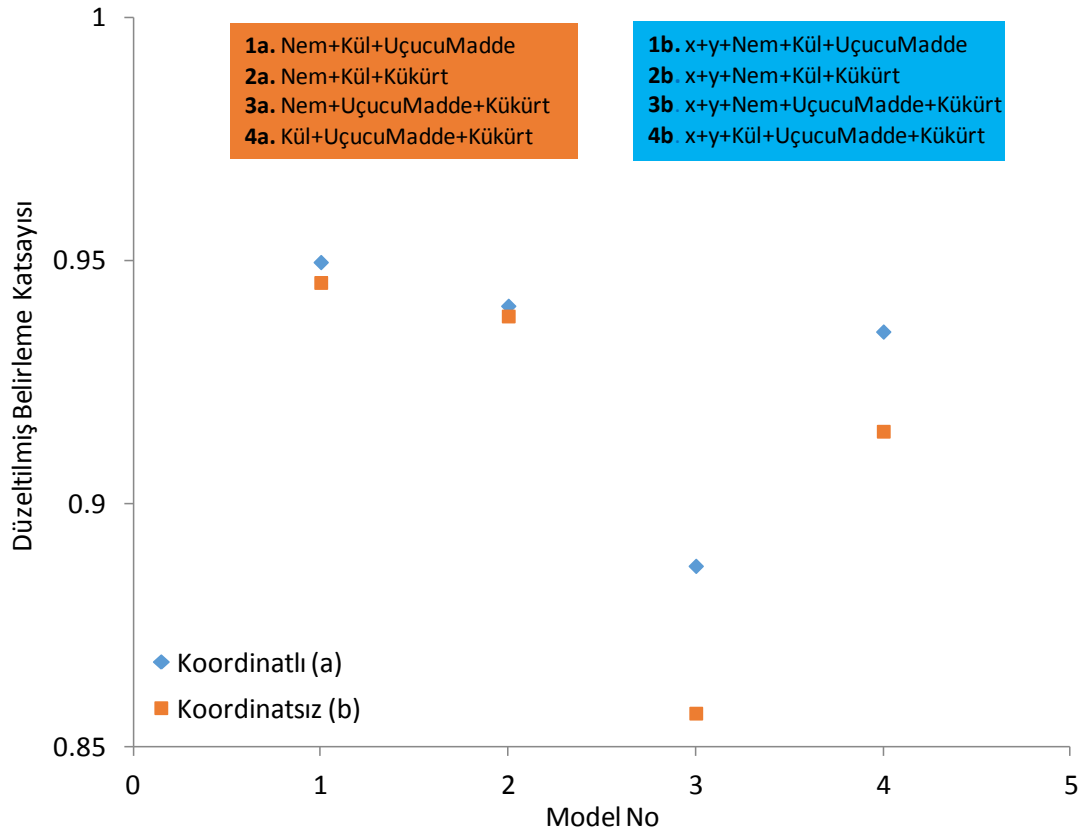
Geliştirilen modellerin başarı düzeyleri *Düzeltilmiş Belirleme Katsayısı* değerleriyle (r_d^2) belirlenmiş olup çizelge 4.9’ da özetlenmektedir. r_d^2 veriye bağlı olarak değer kazanan, ölçülen ve kestirilen değerler arasındaki ilişkiyi (model başarısı) veren bir ölçüt olup aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$r_d^2 = 1 - \left[\frac{(1-r^2)(n-1)}{n-k-1} \right] \quad (5.2)$$

(5.2) eşitliğinde r^2 belirleme katsayısını gösterirken; n ve k ise sırasıyla veri sayısını ve değişken sayısını (sabit terim hariç) tanımlamaktadır.

Çizelge 5.9. GAM performansları.

No	(r_d^2)
1	0.9492
2	0.9497
3	0.9407
4	0.8872
5	0.9354
6	0.9449
7	0.9455
8	0.9386
9	0.8569
10	0.9149



Şekil 5.22. Koordinatlı ve koordinatsız model performansları.

Ölçüm lokasyonlarına bağlı etkinliğin modeldeki önemini göstermek üzere, koordinatlı ve koordinatsız olarak yapılandırılan modellerin ürettiği performanslar çizelge 5.9 ve şekil 5.22 yardımıyla izlenebilmektedir. Yapılan çalışmalar, koordinata bağlı ağırlıklandırmanın GAM performanslarını değiştirdiğini ortaya çıkarmıştır. Böylece, koordinat kullanıldığında model performanslarının arttığı net bir şekilde 4 farklı uygulamada da kaydedilmiştir. En büyük performans değişimi, sırasıyla Kül ve Nemin yer almadığı 3. ve 4. model yapılarına aittir.

6. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Maden yataklarının değerlendirilmesinde önemli bir belirteç olan konum bilgisi, değişkenler arasındaki ilişkilerin belirlenmesi açısından önem taşımaktadır. Homojen tip yataklardan farklı olarak heterojen özellikte değişim gösteren linyit yataklarında mevcut uzaklığa bağlı ilişkiler; değişken seçimi, ölçek ve model düzeyinde ele alınmış ve iki farklı sahaya ait gerçek veriler kullanılarak çeşitli sonuçlara ulaşılmıştır.

6.1. Değişkenler Arasındaki İlişkiler ve Değerlendirme

- Kükürt değişkeni genellikle diğer değişkenlerle yapısal ilişki göstermemekle birlikte kükürt dışındaki kalite değişkenleri arasında belirli düzeyde pozitif ve negatif korelasyonlar kaydedilmiştir. Uygulamalarda kullanılan 2 linyit sahasındaki kalite değişkenleri de normale yakın olasılık yoğunluk fonksiyonları üretmiştir. İki linyit sahasındaki ölçüm verilerinde en yüksek “göreceli belirsizlik” değerleri Kül ve Kükürt değişkenleri için kaydedilmiştir.
- Tümsel ve bölgesel ölçekteki analizler linyit sahalarındaki yüksek ve düşük ısı değerli seviyeleri ortaya koymuştur. Tümsel düzeyde gerçekleştirilen ISDW ve Kriging uygulamalarında farklı düzgünleştirme düzeylerinde ve benzer kalori haritaları elde edilmiştir. Bölgesel düzeyde regresyon analizlerinde genellikle kül oranlarındaki artışın düşük ısı değer, uçucu maddedeki artışın ise yüksek ısı değer ürettiği gözlemlenmiştir. Yüksek nem oranlarında yüksek ısı değer eldesi ise -beklenmedik bir bulgu olarak- polinoma dayalı bir ağırlıklandırmanın sonucu olarak kaydedilmiştir.
- Uzaklığa bağlı ilişkinin, etki uzaklığı parametresini merkeze alarak Coğrafi Olarak Ağırlıklandırılmış regresyon aracılığıyla araştırıldığı uygulamalarda küçük etki mesafelerinde başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Bir heterojen yatak olarak kısa mesafelerde ısı değerinde büyük değişim beklenmeyeceğinden, model başarısının yüksek olması beklenebilir bir durumdur. Bu aşamada en uygun etki uzaklıkları Akaike Bilgi Kriteri kullanılarak optimize edilmiştir.

Çok değişkenli analizlerde farklı etki uzaklıklarının oluşması dolayısıyla bu seviyeler tespit edilmiş ve grafiksel olarak tanımlanmıştır.

- Konuma bağlı ağırlıklandırmanın genelleştirilmiş doğrusal model yapısında – doğrusal olmayan değişken formlarıyla - gerçekleştirildiği analizler (GAM modelleri) girdi kalite değişkenleri ile ısı değer arasındaki ilişkilerin belirlenmesinde koordinat bilgisinin önemini açıkça ortaya koymuştur.
- Eklemeli model performansları (girdi değişkenleri ile ısı değer arasındaki lineer denklemler) 10 farklı uygulama ile araştırılmış olup kül değişkeninin başarıdaki katkısı özel bir sonuç olarak ortaya çıkmıştır.

6.2. Model Performanslarına Bağlı Değerlendirme

- ISDW modeli oldukça düzgün (smooth) sonuçlar üretmiştir. Kestirimlerin değişkenliği kriging modeli ile karşılaştırıldığında daha düşüktür ve ölçülen değerlerin değişkenliğine ulaşamamıştır.
- Tümsel kriging modelleri, çarpık olmayan dağılım sunarak farklı değişken çiftleriyle ısı değerleri haritalamada elverişli bir araç olarak öne çıkmıştır.
- Bölgesel analizlere olanak sağlayan lokal regresyonun ağırlıklandırmada doğrusal olmayan fonksiyonları kullanması yatak için ek bilgiler elde edilmesini sağlamıştır.
- Coğrafi Olarak Ağırlıklandırılmış regresyon (GWR), linyit yataklarındaki etkin uzaklıkları farklı değişken gruplarına göre belirlemede elverişli ve başarılı bir yöntemdir.
- Koordinatlı ve koordinatsız model yapılarının ürettiği farklılaşmayı ve elde edilen başarı düzeyini ortaya koymada Genelleştirilmiş Eklemeli Model (GAM) yapısı başarıyla kullanılabilecek bir araçtır.

7. KAYNAKLAR

- Akhtar, J., Sheikh, N., Munir, S. (2017). Linear regression-based correlations for estimation of high heating values of Pakistani lignite coals. *Energy Sources Part-A Recovery Utilization and Environmental Effects*. **39**, 1063-1070.
- Anonim, (2010). *Türkiye Linyit Envanteri*. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Envanter Serisi, Ankara, Türkiye, 371 p.
- Anonim, (2013a). *Coal information 2013 (with data 2013)*. IEA, Paris.
- Anonim, (2013b). *World Energy Resources: Coal*. WEC, London.
- Anonim, (2016). *Reserves, resources and availability of energy resources*, BGR, Hannover.
- Anonim, (2018a). *2017 yılı ham petrol ve doğalgaz sektör raporu*. TPAO, Ankara.
- Anonim, (2018b). *2017 yılı taşkömürü sektör raporu*. TTK, Zonguldak.
- Anonim, (2018c). *BP statistical review of world energy – 67. Edition*. BP, London.
- Anonim, (2018d). *Coal information 2018 (with data 2017)*. IEA, Paris.
- Anonim, (2018e). *Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu kömür (Linyit) sektör raporu – 2017*. TKİ, Ankara.
- Anonim, (2018f). http://www.tuik.gov.tr/PreIstatistikTablo.do?istab_id=1578 (Erişim Tarihi: 15.04.2019)
- Anonim, (2019). <https://www.worldenergy.org> (Erişim Tarihi: 23.03.2019)
- ASTM (2012). *Classification of Coals by Rank*. ASTM Standard D388, Pennsylvania, USA: American Society for Testing and Materials
- Atalay, F., Ertunc, G. (2017). Metaheuristic kriging: A new spatial estimation method. *Hacettepe Journal of Mathematics and Statistics*. **46**, 483-492.
- Chun, Y., Griffith, D.A. (2013). *Spatial Statistics and Geostatistics*, Sage, London, United Kingdom, 205 p.
- Cleveland, W.S., Devlin, S.J. (1988). Locally weighted regression: An approach to regression analysis by local fitting. *Journal of the American Statistical Association*. **83**, 596-610.
- Cressie, N. (1993). *Statistics for Spatial Data*. Wiley and Sons Inc, New York, USA, 900 p.
- Deutsch, C.V., Wilde, B.J. (2013). Modeling multiple coal seams using signed distance functions and global kriging. *International Journal of Coal Geology*. **112**, 87-93.
- Ediger, V.Ş. vd. (2014). *TKİ ve Kömürün Tarihçesi ile Türkiye Kömür Stratejileri*. Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu Yayınları, Ankara, Türkiye, 497 p.

- Ertunc, G., Tercan, E.A. vd. (2013). Geostatistical estimation of coal quality variables by using covariance matching constrained kriging. *International Journal of Coal Geology*. **112**, 14-25.
- Fotheringham, A.S., Charlton, M.E., Brunson, C. (1998). Geographically weighted regression: a natural evolution of the expansion method for spatial data analysis. *Environment and Planning A*. **30**, 1905-1927.
- Fotheringham, A.S., Charlton, M.E., Brunson, C. (2002). *Geographically Weighted Regression: The Analysis of Spatially Varying Relationships*. Wiley and Sons Ltd, West Sussex, England, 269 p.
- Goovaerts P. (1997). *Geostatistics for Natural Resources Evaluation*. Oxford University Press, New York, USA, 483 p.
- Gürsoytrak. E., Has, F., Güçük, Ö. (1979). *Tekirdağ Saray Edirköy sektörü kapalı işletme linyit sahası ön fizibilite raporu*. Proje no: 6551, MTA, Ankara.
- Hagelueken, M. (1983). Brown coal mining In Europe. *Coal and Energy Quarterly Issue*. **39**, 13-25.
- Hastie T.J., Loader, C.R. (1993). Local regression, automatic kernel carpentry. *Statistical Science*. **8**, 12-143.
- Hohn, M.E., McDowell, R.R. (2001). Uncertainty in coal property valuation in West Virginia: A case study. *Mathematical Geology*. **33**, 191-216.
- Hoskins, E.R., Russel, J.E. (1983). Alternative strategies for the development of Texas lignite. *Society of Mining Engineers of AIME Annual Meeting Preprint*. **83**, 82-84.
- Jones, C. (2016). *Lignites: Their Occurrence, Production and Utilisation*. Whittles Publishing, Scotland, UK, 203 p.
- Journel, A.G., Huijbregts Ch.J. (1978). *Mining Geostatistics*. Academic Press Limited, London, 600p.
- Khan, Z.A, Tewari, R.C. (2012). Geostatistical cross-association method used for the lithostratigraphic correlation of coal-measure profiles. *Journal of Asian Earth Sciences*. **45**, 162-166.
- Kural, O. vd. (1998). *Kömür Özellikleri, Teknolojisi ve Çevre İlişkileri*. Özgün Ofset Matbaacılık A.Ş., İstanbul, Türkiye, 785 p.
- Lloyd, C.D. (2010). *Local Models for Spatial Analysis*, CRC Press, Florida, USA, 352 p.
- Marston, R., Ewart, D. (2007). Upcoming trends in World anthracite trade. *Coaltrans World Anthracite Conference*, September 17-18, Kiev.
- Mert, B.A., Dag, A. (2015). Development of a GIS-based information system for mining activities: Afsin-Elbistan lignite surface mine case study. *International Journal of Gas and Coal Technology*. **9**, 192-214.

- Morga, R. (2007). Structure of variability of phosphorous content in exploited seams of bituminous coal in the pniowek mine. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi-Mineral Resources Management*. **23**, 29-48.
- Oliver, M., Webster, R. (2014). A tutorial guide to geostatistics: Computing and modelling variograms and kriging. *CATENA*. **113**, 56-69.
- Ozkan, E., Iphar, M., Konuk, A. (2019). Fuzzy logic approach in resource cassification. *International Journal of Mining Reclamation and Environment*. **33**, 183-205.
- Önal, G., Ateşok, G., Perek, K.T. (2014). *Cevher Hazırlama El Kitabı*. Yurt Madenciligini Geliştirme Vakfı Yayınları, İstanbul, Türkiye, 632 p.
- Özen, A.G., Aydın, H. (2003). *Çanakkale-Çan linyit sahasına ait jeoloji-rezerv-jeofizik raporu TKİ adına yapılan ücretli etüd*. Proje no: 10601, MTA, Ankara.
- Öztekin, H.A., Tuncalı, E., Sun, A. (1989). *TKİ adına olarak yapılan Tekirdağ-Saray (Edirköy-Safaalan) kömür sahası jeoloji raporu*. Proje no: 8920, MTA, Ankara.
- Pavlidis, A., Hristopulos, D. vd. (2015). Spatial modeling of lignite enrgy reserves for exploitation planning and quality control. *Energy*. **93**, 1906-1917.
- Sarp, G., Duzgun, S. (2015). Morphometric evaluation of the Afsin-Elbistan lignite basin using kernel density estimation and Getis-Ord's statistics of DEM derived indices, SE Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences*. **111**, 819-826.
- Sezer, C. (1977). *Tekirdağ ili Saray ilçesi Safaalan köyü maden kömürü ruhsat sahasına ait işletme projesi*. Proje no: 5890, MTA, Ankara.
- Sinclair A. J., Blackwell G. H. (2002). *Applied Mineral Inventory Estimation*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, 381 p.
- Speight, J.G. (2013). *The Chemistry and Technology of Coal*. CRC Press, Florida, USA, 808 p.
- Srivastava, R.M. (2013). Gesostatistics: A toolkit for data analysis, spatial prediction and risk management in the coal industry. *International Journal of Coal Geology*. **112**, 2-13.
- Sen, Z. (2009). *Spatial Modeling Principles in Earth Sciences*. Springer, New York, USA, 351 p.
- Tercan A.E. (2004). Global recoverable reserve estimation by covariance matching constrained kriging. *Energy Sources*. **26**, 1177-1185.
- Tercan, A.E., Karayigit, A.I. (2001). Estimation of lignite reserve in the Kalburcayiri field, Kangal basin, Sivas, Turkey. *International Journal of Coal Geology*. **47**, 91-100.
- Thomas, L. (2013). *Coal Geology*. Wiley-Blackwell, Oxford, UK, 444 p.
- Tutmez, B. (2007). Appraising lignite quality parameters by linguistic fuzzy identification. *Energy Sources Part A-Recovery Utilization and Environmental Effects*. **29**, 389-399.

- Tutmez, B. (2009). Use of hybrid intelligent computing in mineral resources evaluation. *Applied Soft Computing*. **9**, 1023-1028.
- Tutmez, B., Dağ, A. (2007). Use of fuzzy logic in lignite inventory estimation. *Energy Sources Part-B Economics Planning and Policy*. **2**, 93-103.
- Tutmez, B., Dağ, A., Cengiz, A.K. (2010). Measuring dependence between calorific values of lignite and spatial positions by rank correlation method: A case study. *Energy Sources Part A-Recovery Utilization and Environmental Effects*. **32**, 45-53.
- Tutmez, B., Tercan A.E, Kaymak, U. (2008). An algorithm for quantifying regionalized ore grades. *Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy*. **108**, 83-90.
- Ünalın, G. (2010). *Kömür Jeolojisi*, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Eğitim Serisi, Ankara, Türkiye, 556 p.
- Watson, W.D., Ruppert, L.F., Bragg, L.J. (2001). A geostatistical approach to predicting sulfur content in the Pittsburgh coal bed. *International Journal of Coal Geology*. **48**, 1-22.
- Wong, P., Aminzadeh, F., Nikraves, M., (2002). *Soft Computing for Reservoir Characterization and Modeling*. Physica-Verlag, Heidelberg, Germany, 586 p.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Cem YAYLAGÜL

Doğum Yeri ve Tarihi: Akçadağ/MALATYA, 23.03.1988

Adres: Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu Dodurga Kontrol Müdürlüğü
Esentepe Mah. Madenciler Cad. No: 4/A Dodurga/ÇORUM

E-Posta: cemyaylagul@gmail.com

Lisans: İnönü Üniversitesi – 2010

Mesleki Deneyim ve Ödüller:

Eylül 2010 – Aralık 2012, **Mühendis**, Güngör Tarım İnşaat San. ve Tic. A.Ş.,
Şehitkamil/GAZİANTEP

Haziran 2013 – Ağustos 2013, **İş Güvenliği Uzmanı**, Güneş OSGB,
Merkez/BURDUR

Ağustos 2014 – Kasım 2014, **Şantiye Şefi**, Mertan İnş. San. Tic. Ltd. Şti.,
Toprakkale/OSMANİYE

Kasım 2014 – Ağustos 2015, **Vardiya Mühendisi**, Çiftay İnşaat A.Ş.,
İliç/ERZİNCAN

Ağustos 2015 – Devam ediyor, **Kontrol Mühendisi**, Türkiye Kömür İşletmeleri
Kurumu Dodurga Kontrol Müdürlüğü, Dodurga/ÇORUM