

**HASSAS TARIM UYGULAMALARINDA
COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ KULLANIMI**

Engin TÜRKMEN
Yüksek Lisans Tezi

Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı
Ocak-2015

**Bu tez çalışması Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri
Komisyonu Başkanlığı tarafından desteklenmiştir. Proje No: 1205F085**

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Engin TÜRKMEN'in "**Hassas Tarım Uygulamalarında Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanımı**" başlıklı **Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri** Anabilim Dalındaki, Yüksek Lisans Tezi 30.01.2015 tarihinde, aşağıdaki jüri tarafından Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

	Adı-Soyadı	İmza
Üye (Tez Danışmanı):	Yrd.Doç.Dr. HAKAN UYGUÇGİL
Üye:	Prof.Dr. ALPER ÇABUK
Üye:	Prof.Dr. ŞÜKRAN ŞAHİN

Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
.....tarih ve.....sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

HASSAS TARIM UYGULAMALARINDA COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ KULLANIMI

Engin TÜRKMEN

**Anadolu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı**

**Danışman: Yrd. Doç. Dr. Hakan UYGUÇGİL
2015, 104 sayfa**

Hassas tarım uydu teknolojilerinden yararlanılarak kontrol, elektronik, bilgisayar ve veritabanı ile hesap bilgisini bir araya getiren gelişmiş bir sistemdir. Bu sistem sayesinde yetiştirici bilgi teknolojilerini kullanarak arazisinde nasıl bir değişkenlik olduğunu saptamakta ve bu değişkenliğe uygun girdi kullanmaktadır. Hassas tarım teknikleri, toprak işlemeden hasada kadar üretimin hemen her döneminde kullanılabilir.

Projede, Eskişehir İli, Tepebaşı İlçesi, Cumhuriyet Köyü'nde yapılacak toprak etüdü çalışmaları sonucunda jeoistatistik yöntemler kullanılarak toprak yapısının modellenmesi, toprak haritasının Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ortamında oluşturulması, toprak yapısına göre maksimum verimin alınacağı en uygun ürün deseninin belirlenmesi ve o ürüne ilişkin gübre tavsiyelerinin oluşturulup ürün miktarındaki artış sağlanması önerilmektedir. Yapılacak çalışma sonucunda toprak yapısına uygun ürün deseni seçimi ile tarımda verimliliğin artırılması amaçlanmıştır. Çalışmada, Cumhuriyet Köyü idari sınırları içerisindeki parseller model olarak alınacak ve o alanlara ait yapılacak toprak etüt çalışmaları sonucu elde edilecek verilerle bir veritabanı oluşturulacaktır.

Anahtar Kelimeler: Hassas Tarım, Coğrafi Bilgi Sistemleri, Jeoistatistik

ABSTRACT

Master of Science Thesis

USE OF GIS IN PRECISION AGRICULTURE PRACTICES

Engin TÜRKMEN

**Anadolu University
Graduate School of Sciences
Remote Sensing and Geographic Information Systems Program**

**Supervisor: Assist. Prof. Dr. Hakan UYGUÇGİL
2015, 104 pages**

Precise farming is an advanced system that combines satellite technologies, control systems, electronics, computers and databases. With this system growers determine variations in their grounds and find out appropriate inputs and methods according to the variations by using information technologies. Precision farming techniques can be used in almost every period of production from tillage to harvest.

In this project soil map will be prepared using geostatistical methods in a GIS (Geographic Information Systems) environment. Eskişehir Province, Tepebaşı District, Cumhuriyet Village was selected as study area. Soil samples will be taken by land surveying, and afterwards laboratory analysis will be performed. According to the analysis soil structure, soil type and contents will be detected. Consequently, most suitable plant will be chosen according to soil pattern, which can give maximum efficiency. Additionally, fertilizing methods and proportions will be proposed related to the chosen plant, to obtain maximum yield. As a result of this study, with the most suitable plant selection according to the soil parameters, increase of agricultural productivity is aimed. In this study, parcels in the administrative boundary of Cumhuriyet Village will be taken as model, and a geodatabase will be established with the data obtained from soil samples.

Keywords: Precise Farming, Geographic Information Systems, Geostatistics

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın her aşamasında ve yaşadığım her zorlukta emeğini ve mesaisini esirgemeyen tez danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Hakan UYGUÇGİL'e;

Çalışmada sağlamış olduğu kolaylıklar ve azmi ile bana örnek olan hocam Sayın Prof. Dr. Alper ÇABUK'a;

Tez çalışmamın bilimsel araştırma projesi olarak önerildiği ilk günden beri, gereksinim duyduğum desteği sağlayan Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu Başkanlığı ve çalışanlarına;

Yüksek lisans eğitimimin ilk gününden beri yanımda bulduğum sevgili arkadaşım Arş. Gör. Resul ÇÖMERT'e,;

Yaşantımda karşılaştığım her türlü zorluğun üstesinden geleceğim konusunda bana olan inancını yitirmeyen ve bugünlere gelmemi sağlayarak varlık sebebim olan başta anne ve babam olmak üzere aileme, desteği ve mutluluğu ile hayatıma renk katan eşime ve yaşam kaynağım kızıma teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI.....	i
ÖZET	ii
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
KISALTMALAR DİZİNİ.....	xiii
1. GİRİŞ	1
1.2. Çalışmanın Amacı ve Önemi.....	2
1.2. Çalışmanın Kapsamı.....	2
1.3. Literatür Özetleri	3
2. KURAMSAL TEMELLER	6
2.1. Hassas Tarım	6
2.1.1. Hassas tarımın tarihçesi	6
2.1.2. Hassas tarımın önemi ve yararları	8
2.1.3. Toprak örnekleme yöntemleri.....	9
2.1.3.1. Izgara tipi örnekleme yöntemi	9
2.1.3.2. Toprak tipine bağlı örnekleme yöntemi	10
2.1.4. Toprak örnekleme yöntemine etki eden faktörler	11
2.1.5. Toprak verimliliğini etkileyen analizler	13
2.1.5.1. Suya doyumluk.....	13
2.1.5.2. Toplam tuz	13
2.1.5.3. Toprak reaksiyonu (pH)	14
2.1.5.4. Organik madde	14
2.1.5.5. Kireç.....	15
2.1.5.6. Elektiriksel iletkenlik	16
2.2. Coğrafi Bilgi Sistemleri.....	16
2.2.1. Coğrafi bilgi sistemlerinin tarihsel gelişimi.....	17
2.2.2. Coğrafi bilgi sistemi bileşenleri	22

2.2.3. Coğrafi bilgi sistemirinde veri tipleri ve veri modelleri	24
2.2.3.1. Coğrafi bilgi sistemlerinde veri tipleri	24
2.2.3.2. Coğrafi bilgi sistemlerinde veri modelleri	25
	<u>Sayfa</u>
2.2.4. Coğrafi bilgi sistemlerinde katman yapısı	27
2.2.5. Coğrafi bilgi sistemlerinde kullanılan analiz yöntemleri.....	28
2.2.5.1. Konumsal kaynak envanteri.....	28
2.2.5.2. Ağ analizleri	28
2.2.5.3. Yer seçimi analizleri	29
2.2.5.4. Yüzey analizleri	29
2.2.5.5. Zamana bağlı konumsal değişiklik analizleri.....	29
2.3. Konumsal İnterpolasyon Yöntemleri.....	30
2.3.1. Doğal komşuluk	31
2.3.2. Uzaklığın tersi ile ağırlıklandırma	33
2.3.3. Kriging	35
3. MATERYAL ve YÖNTEM	40
3.1. Çalışma Alanı ve Konumu	40
3.2. Materyal.....	43
3.3. Yöntem	43
3.3.1. Büro ve Arazi çalışmaları	44
3.3.2. Toprak analizi ve laboratuvar çalışmaları.....	46
3.3.3. Tematik harita üretimi.....	47
3.3.3.1. Suya doygunluk.....	49
3.3.3.2. pH değeri.....	53
3.3.3.3. Toplam tuz	57
3.3.3.4. Elektriksel iletkenlik (EC).....	61
3.3.3.5. Kireç.....	65
3.3.3.6. Organik madde	69
3.3.4. Doğruluk analizi	73
3.3.5. Yetiştirilecek bitkiye göre uygun yer seçimi	86
4. SONUÇ VE ÖNERİLER	99
KAYNAKLAR.....	102

ŞEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
2.1. Geçmişte tarım	7
2.2. Coğrafi bilgi sistemi bileşenleri	22
2.3. Raster veri modeli	26
2.4. Vektör veri modeli	27
2.5. Delauney üçgenleri ve Thiessen poligonları	31
2.6. Yeni oluşturulan Thiessen poligonu	32
2.7. Etki mesafesi	34
2.8. Hariç tutma açısı	35
2.9. Semivariogram hesaplama parametreleri	37
2.10. Variogram elemanları	38
3.1. Eskişehir ili tarım alanları dağılım grafiği	41
3.2. Çalışma alanı ve konumu	42
3.3. Pafta konumlandırma (georeferencing) işlemi	44
3.4. Örnek noktalarının konumu ve ızgara yapısı	45
3.5. Toprak örneklerinin elde edilmesi çalışmaları	46
3.6. Toprak örneklerinin analiz laboratuvarına ulaştırılması	46
3.7. Örnek noktalarının öznitelik verileri (analiz sonuçları) ile eşleşmesi	47
3.8. Suyu doygunluk değerlerinin histogramı	49
3.9. Suyu doygunluk değerlerinin doğal logaritma ile dönüştürüldükten sonraki histogramı	50
3.10. Doğal komşuluk (natural neighbor) yöntemi ile suyu doygunluk haritası	51
3.11. Uzaklığın tersi ile ağırlıklandırma (IDW) yöntemi ile suyu doygunluk haritası	52
3.12. Suyu doygunluk için semivariogram fonksiyonu ve parametreleri	52
3.13. Ordinary kriging yöntemi ile suyu doygunluk haritası	53
3.14. pH değerlerinin histogramı	54
3.15. Veri eksiltme işleminden sonraki pH değerleri histogramı	55
3.16. Doğal komşuluk (natural neighbor) yöntemi ile pH haritası	55
3.17. Uzaklığın tersi ile ağırlıklandırma (IDW) yöntemi ile pH haritası	56
3.18. pH değerleri için semivariogram fonksiyonu ve parametreleri	56
3.19. Ordinary kriging yöntemi ile pH haritası	57
3.20. Toplam tuz değerlerinin histogramı	58
3.21. Dönüştürülmüş toplam tuz değerleri histogramı	59

3.22. Doğal komşuluk (natural neighbor) yöntemi ile toplam tuz haritası	59
3.23. Uzaklığın tersi ile ağırlıklandırma (IDW) yöntemi ile toplam tuz haritası.....	60
3.24. Toplam tuz değerleri için semivariogram fonksiyonu ve parametreleri.....	60
3.25. Ordinary kriging yöntemi ile toplam tuz haritası.....	61
3.26. Elektriksel iletkenlik değerlerinin histogramı.....	62
3.27. Dönüştürülmüş elektriksel iletkenlik değerleri histogramı.....	63
3.28. Doğal Komşuluk (natural neighbor) yöntemi ile EC haritası	63
3.29. Uzaklığın tersi ile ağırlıklandırma (IDW) yöntemi ile EC haritası	64
3.30. EC değerleri için semivariogram fonksiyonu ve parametreleri	64
3.31. Ordinary kriging yöntemi ile EC haritası	65
3.32. Kireç değerlerinin histogramı	66
3.33. Dönüştürülmüş kireç değerleri histogramı	67
3.34. Doğal komşuluk (natural neighbor) yöntemi ile kireç haritası	67
3.35. Uzaklığın tersi ile ağırlıklandırma (IDW) yöntemi ile kireç haritası.....	68
3.36. Kireç değerleri için semivariogram fonksiyonu ve parametreleri	68
3.37. Ordinary kriging yöntemi ile kireç haritası.....	69
3.38. Organik madde değerlerinin histogramı	70
3.39. Dönüştürülmüş organik madde değerlerinin histogramı.....	71
3.40. Doğal komşuluk (natural neighbor) yöntemi ile organik madde haritası	71
3.41. Uzaklığın tersi ile ağırlıklandırma (IDW) yöntemi ile organik madde haritası.....	72
3.42. Organik madde değerleri için semivariogram fonksiyonu ve parametreleri	72
3.43. Ordinary kriging yöntemi ile organik madde haritası.....	73
3.44. Suya doygunluk gözlem değerleri ile doğal komşuluk tahmin değerlerinin karşılıklı değer noktaları, regresyon doğrusu ve korelasyon katsayısı	75
3.45. Suya doygunluk gözlem değerleri ile IDW tahmin değerlerinin karşılıklı değer noktaları, regresyon doğrusu ve korelasyon katsayısı	75
3.46. Suya doygunluk gözlem değerleri ile ordinary kriging tahmin değerlerinin karşılıklı değer noktaları, regresyon doğrusu ve korelasyon katsayısı	76
3.47. pH gözlem değerleri ile doğal komşuluk tahmin değerlerinin karşılıklı değer noktaları, regresyon doğrusu ve korelasyon katsayısı	76
3.48. pH gözlem değerleri ile IDW tahmin değerlerinin karşılıklı değer noktaları, regresyon doğrusu ve korelasyon katsayısı	77

3.49. pH gözlem değerleri ile ordinary kriging tahmin değerlerinin karşılıklı değer noktaları, regresyon doğrusu ve korelasyon katsayısı	77
3.50. Toplam tuz gözlem değerleri ile doğal komşuluk tahmin değerlerinin karşılıklı değer noktaları, regresyon doğrusu ve korelasyon katsayısı	78
3.51. Toplam tuz gözlem değerleri ile IDW tahmin değerlerinin karşılıklı değer noktaları, regresyon doğrusu ve korelasyon katsayısı	78
3.52. Toplam tuz gözlem değerleri ile ordinary kriging tahmin değerlerinin karşılıklı değer noktaları, regresyon doğrusu ve korelasyon katsayısı	79
3.53. Elektriksel iletkenlik (EC) gözlem değerleri ile doğal komşuluk tahmin değerlerinin karşılıklı değer noktaları, regresyon doğrusu ve korelasyon katsayısı	79
3.54. Elektriksel iletkenlik (EC) gözlem değerleri ile IDW tahmin değerlerinin karşılıklı değer noktaları, regresyon doğrusu ve korelasyon katsayısı	80
3.55. Elektriksel iletkenlik (EC) gözlem değerleri ile ordinary kriging tahmin değerlerinin karşılıklı değer noktaları, regresyon doğrusu ve korelasyon katsayısı	80
3.56. Kireç gözlem değerleri ile doğal komşuluk tahmin değerlerinin karşılıklı değer noktaları, regresyon doğrusu ve korelasyon katsayısı	81
3.57. Kireç gözlem değerleri ile IDW tahmin değerlerinin karşılıklı değer noktaları, regresyon doğrusu ve korelasyon katsayısı	81
3.58. Kireç gözlem değerleri ile ordinary kriging tahmin değerlerinin karşılıklı değer noktaları, regresyon doğrusu ve korelasyon katsayısı	82
3.59. Organik madde gözlem değerleri ile doğal komşuluk tahmin değerlerinin karşılıklı değer noktaları, regresyon doğrusu ve korelasyon katsayısı	82
3.60. Organik madde gözlem değerleri ile IDW tahmin değerlerinin karşılıklı değer noktaları, regresyon doğrusu ve korelasyon katsayısı	83
3.61. Organik madde gözlem değerleri ile ordinary kriging tahmin değerlerinin karşılıklı değer noktaları, regresyon doğrusu ve korelasyon katsayısı	83
3.62. Teknik talimata göre bünye sınıflarını gösteren suya doygunluk haritası	89
3.63. Teknik talimata göre toprak reaksiyon sınıflarını gösteren pH değerleri haritası	89
3.64. Teknik talimata göre tuzluluk sınıflarını gösteren toplam tuz değerleri haritası	90
3.65. Teknik talimata göre tuzluluk sınıflarını gösteren EC değerleri haritası	90
3.66. Teknik talimata göre kireçlilik sınıflarını gösteren kireç değerleri haritası	91
3.67. Teknik talimata göre organik madde sınıflarını gösteren organik madde değerleri haritası	91
3.68. Puanlamaya göre yeniden sınıflanan suya doygunluk haritası	94
3.69. Puanlamaya göre yeniden sınıflanan pH değeri haritası	94

Sayfa

3.70. Puanlamaya göre yeniden sınıflanan toplam tuz değerleri haritası	95
3.71. Puanlamaya göre yeniden sınıflanan EC değerleri haritası	95
3.72. Puanlamaya göre yeniden sınıflanan kireç değerleri haritası	96
3.73. Puanlamaya göre yeniden sınıflanan organik madde haritası.....	96
3.74. Ağırlıklı akıştırma sonucunda elde edilen buğdaygiller verimlilik değerleri	97
3.75. Çalışma bölgesi için buğdaygiller verimlilik haritası	98

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

2.1. Bir çalışma alanındaki analizlere ait ortalama değerler	12
2.2. Çeşitli bitkiler için optimum pH değer aralıkları	14
3.1. 2013 yılı Eskişehir ili tarım alanları dağılımı	41
3.2. Eskişehir ilinde 2013 yılı tarımsal üretimin başlıca ürünleri ve ekili alan dağılımı	42
3.3. İstatistiksel dağılım parametreleri	49
3.4. Dönüştürülen suya doymunluk değerlerinin istatistiksel dağılım parametreleri.....	50
3.5. Veri eksiltme sonucu pH değerlerinin istatistiksel dağılım parametreleri	54
3.6. Dönüştürülen toplam tuz değerlerinin istatistiksel dağılım parametreleri	58
3.7. Dönüştürülen EC değerlerinin istatistiksel dağılım parametreleri	62
3.8. Dönüştürülen kireç değerlerinin istatistiksel dağılım parametreleri	66
3.9. Dönüştürülen organik madde değerlerinin istatistiksel dağılım parametreleri	70
3.10. Suya doymunluk tahmin değerlerinin korelasyon katsayısı, ortalama hata ve RMSE değerlerine göre konumsal interpolasyon yöntemlerinin doğruluk karşılaştırması	85
3.11. pH tahmin değerlerinin korelasyon katsayısı, ortalama hata ve RMSE değerlerine göre konumsal interpolasyon yöntemlerinin doğruluk karşılaştırması	85
3.12. Toplam tuz tahmin değerlerinin korelasyon katsayısı, ortalama hata ve RMSE değerlerine göre konumsal interpolasyon yöntemlerinin doğruluk karşılaştırması	86
3.13. Elektriksel iletkenlik tahmin değerlerinin korelasyon katsayısı, ortalama hata ve RMSE değerlerine göre konumsal interpolasyon yöntemlerinin doğruluk karşılaştırması	86
3.14. Kireç tahmin değerlerinin korelasyon katsayısı, ortalama hata ve RMSE değerlerine göre konumsal interpolasyon yöntemlerinin doğruluk karşılaştırması	86
3.15. Organik madde tahmin değerlerinin korelasyon katsayısı, ortalama hata ve RMSE değerlerine göre konumsal interpolasyon yöntemlerinin doğruluk karşılaştırması	86
3.16. Suya doymunluğa göre bünye sınıflaması	87
3.17. Kireç (%) değerine göre toprak sınıflaması	87
3.18. pH değerine göre toprak reaksiyonu sınıflaması	87
3.19. Toplam tuz (%) ve EC değerine göre toprak sınıflaması.....	88
3.20. Organik madde (%) değerine göre toprak sınıflaması	88

Sayfa

3.21. Buğdaygiller ekimi için asgari toprak verimlilik ölçütleri.....	92
3.22. Suyu doygunluğa göre bünye sınıflarının puanlaması	92
3.23. Kireç (%) değerine göre toprak sınıflarının puanlaması.....	92
3.24. pH değerine göre toprak reaksiyonu sınıflarının puanlaması	92
3.25. Toplam tuz (%) ve EC değerine göre toprak sınıflarının puanlaması	93
3.26. Organik madde (%) değerine göre toprak sınıflarının puanlaması.....	93

KISALTMALAR DİZİNİ

GPS	: Küresel Konum Belirleme Sistemi
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
TIFF	: Tagged Image File Format
PA	: Hassas Tarım
EC	: Elektriksel İletkenlik
VRAT	: Değişken Düzeyli Uygulama Teknolojisi
CEC	: Katyon Değişim Kapasitesi
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
IDW	: Uzaklığın Tersine ile Ağırlıklandırma

1. GİRİŞ

Türkiye yaklaşık 78 milyon hektar yüzölçümüne sahip olup bunun 28 milyon hektarı tarım arazisidir. Ülkemiz milli gelirinin %10,1 tarımdan elde edilmektedir. Ülkemizdeki sanayi sektörünün ham maddesi de tarımsal ürünlerden oluşmaktadır. Ayrıca; fındık, incir, üzüm, tütün, turunçgiller önemli ihraç ürünlerimizdir. Bu veriler dikkate alındığında ülkemizin bir tarım ülkesi olduğu görülmektedir. Tarımın ülkemizde uzun yıllardır klasik yöntemlerle yapılıyor olmasına karşın, son yıllarda ve özellikle gelişmiş ülkelerde bilgi teknolojilerinin gelişimiyle, girdi maliyetlerini azaltan, kalite ve verimlilik faktörlerini ön planda tutan, çevreye duyarlı bir evrim geçirmektedir. Tarımsal üretimin insan gücünden hayvan gücüne geçişi ve daha sonra da traktör gücüne geçiş sürecinin devamı olarak değerlendirilen ve teknoloji odaklı tarım olarak adlandırılan hassas tarım, bu evrim sürecinde ortaya çıkmıştır.

Hassas tarım, en az girdi maliyetiyle, en fazla ve kaliteli ürün sunan, çevreyi koruma ilkelerini göz önünde tutarak; bilişim çağının gelişen teknolojilerinin tarımsal üretimle bütünleştirilerek kullanılmasını amaçlamaktadır. Hassas tarımın hedefleri arasında; gübre ve ilaç gibi kimyasal giderlerin azaltılması, çevre kirliliğinin en aza indirilmesi, yüksek miktarda ve kaliteli ürün sağlanması, işletme ve yetiştiricilik kararları için daha etkin bir bilgi akışının sağlanması ve tarımda kayıt düzeninin oluşturulması gelmektedir. Ayrıca hassas tarım teknikleri, toprak işlemeden hasada kadar bitkisel üretimin hemen her döneminde kullanılmaktadır.

Hassas tarım uygulamaları ile verim artışı, gübre uygulama programları, uygun ilaçlamanın saptanması, ürün maliyetini düşürme vb. birçok uygulamada yadsınamaz fayda sağlandığı bilinmektedir. Türkiye için stratejik önemi olan tarımda verim artışının sağlanması, ülke ekonomisine büyük katkı sağlayacaktır. Toprak yapısına göre uygun ürün (bitki) ekimi verim artışının en temel kuralıdır. Hassas tarım uygulamalarında Coğrafi Bilgi Sistemleri kullanımı ile tarlaların uygun zamanda ve uygun şekilde ekime hazırlanması, tarımda verim artışı sağlayacaktır. Toprak özelliklerinin haritalanması ile girdinin (gübre, ilaç vb.) gerekli bölgelerde, gerekli miktarda kullanımıyla hem ürün verimini artıracak, hem

de kullanılan girdi miktarlarında tasarruf yapılarak, üretim maliyetlerinde düşüş sağlanmış olacaktır.

Toprak örnekleri alınarak elde edilen analiz sonuçlarına göre; Coğrafi Bilgi Sistemleri platformunda hazırlanan tematik haritalar yardımı ile değişken oranlı gübreleme programları uygulanabilir. Bu şekilde gübreden tasarruf sağlanır, yapılan değişken oranlı uygulamalar gübrenin çevreye ve ürüne yaptığı olumsuz etkilerin minimize edilmesini sağlar.

1.1. Çalışmanın Amacı ve Önemi

Çalışmanın amacı, ekim yapılan tarım alanlarından alınan toprak örneklerinin analizi sonucunda elde edilen veriler doğrultusunda Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanarak toprak yapısı ve özellikleri ile ilgili tematik haritalar üretmektir. Çalışmada noktasal veriler kullanılarak tematik harita üretiminde üç farklı konumsal interpolasyon yöntemi (doğal komşuluk, uzaklığın tersi ile ağırlıklandırma ve ordinary kriging) denenmiş ve yöntemlerin doğruluk analizleri yapılmıştır.

Tarımda teknoloji kullanımının sınırlı olduğu ülkemizde çalışma sonuçlarının sektörünün gelişimine ve literatüre önemli katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Çalışmada kullanılan yöntemin, gelecekte ülkemizde hassas tarım uygulamaları ile verim artışına, gübre uygulama programlarına, uygun ilaçlama ve üretim maliyetlerinin düşürülmesine yönelik programların hazırlanmasına ışık tutacağı öngörülmektedir.

1.2. Çalışmanın Kapsamı

Çalışmanın kapsamı saha çalışmaları ve sahada elde edilen verilerin bilgisayar tabanlı ortamda değerlendirilmesine yönelik büro çalışmalarını kapsamaktadır. Çalışmada, Eskişehir ili Tepebaşı ilçesi Cumhuriyet ve Yıldırım Çiftliği köylerinde belirlenen 370 noktada 0-30 cm derinlikte toprak örnekleri alınmış olup, bu örneklerin laboratuvar analizleri sonucunda suya doygunluk (%), pH, toplam tuz (%), EC, kireç (%), organik madde (%) değerleri elde edilmiştir. Elde edilen bu değerlerle doğal komşuluk (natural neighbor), uzaklığın tersi ile ağırlıklandırma (inverse distance weighting – IDW) ve ordinary kriging konumsal

interpolasyon teknikleri ile tahminleme yapılarak elde edilen sonuçlara göre hassas tarım uygulamalarına altlık oluşturulacak tematik haritalar üretilmiştir.

Çalışmada ayrıca elde edilen tahmin değerleri ile doğruluk analiz yapılmış ve bahsi geçen üç konumsal interpolasyon yöntemi karşılaştırılarak, her bir tematik harita için en doğru sonuç seçilmiştir. Daha sonra bu seçilen tematik haritalar kullanılarak, Eskişehir il genelinde en çok alanda ekilmiş buğdaygiller için verimlilik açısından yer seçimi yapılmıştır.

1.3. Literatür Özetleri

Çalışmada hassas tarım, toprak etüdü haritalama ve konumsal interpolasyon yöntemleri ana başlıkları oluşturmaktadır. Bu başlıklara göre literatür taraması yapılmış olup yararlanılan ve incelenen kaynaklar aşağıda sıralanmıştır.

Başayığit ve ark. (2008), “*Isparta ili meyve yetiştirme potansiyeli yüksek alanların bazı toprak özelliklerinin coğrafi bilgi sistemleri ile haritalanması*” başlıklı makalede, Isparta ilinde meyve potansiyeli yüksek alanların bazı toprak özelliklerinin Coğrafi Bilgi Sistemleri ile haritalanmasına yönelik bir yaklaşım yer almaktadır. Yapılan çalışmada, coğrafi bilgi sistemlerinin konumsal analiz ve interpolasyon araçları uzaklığın tersi ile ağırlıklandırma yöntemi kullanılarak, noktasal verilerden tematik haritalar üretilmiştir. Başayığit tarafından yapılan çalışmada, toprak özelliklerini gösteren tematik haritaların havza bazında genel fikir verebileceği, noktasal verileri ile tematik harita üretiminde tek bir yöntemin kısıtlı olduğu ve örnek nokta sayısının diğer yöntemler için daha fazla olması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Akbaş ve Yıldız (2004), “*Toprak özelliklerinin haritalanmasında jeostatistiksel tekniklerin kullanımı*” başlıklı makalesinde daha önce temel toprak haritası hazırlanmış bir arazide seçilen test alanında yüzey toprağının bazı özelliklerinin değişiminin kriging yöntemi ile haritalanması amaçlanmıştır. Yapılan çalışmada, alınan örnekler ve temel toprak haritası uydu görüntüleri yardımıyla rektifiye edilmiştir. Toprak özellikleri değişimi kriging tahmin metodu ile haritalanmış ve toprak sınırları ile karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda haritalanan özelliklerin temel toprak haritası ile benzerlikleri ve bu haritalama tekniğinin ve

toprak haritalarının CBS çalışmalarındaki kullanımının etkinliği tartışılmıştır. Akbaş tarafından yapılan çalışmada tek bir yöntemin kullanılmış olması hassasiyet konusunda eksiklere yol açtığı, fakat toprak haritası hazırlanmamış bölgelerde istenilen değişkenlere ait veriler kullanılarak konumsal interpolasyon yöntemleri ile temel toprak haritaları üretilebileceği sonucuna varılmıştır.

Chahouki ve ark. (2011), "*Comparing geostatistical approaches for mapping soil properties in Poshtkouh Rangelands of Yazd Province*" başlıklı makalesinde, araziden örnekleme yoluyla yapılan toprak haritalamada kriging yöntemi ile uzaklığın tersi ile ağırlıklandırma yöntemi karşılaştırılması amaçlanmaktadır. Yapılan çalışmada, çalışma alanı olarak seçilen Poshtkouh Dağı eteklerinde 112 noktadan toprak örnekleri alınmıştır. Toprak haritaları oluşturulurken kriging, nokta kriging, normal uzaklıkla ağırlıklandırma ve uzaklığın tersi ile ağırlıklandırma yöntemleri kullanılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda belli derinliklerde alınan toprak örneklerinde ve tüm toprak analizleri sonucunda kriging metodunun haritalama için en iyi olduğu fikrine varılmıştır.

Güler ve Kara (2005), "*Hassas uygulamalı tarım teknolojisine genel bir bakış*" başlıklı yazısında tarımsal üretimde kullanılan girdilerin çevreye duyarlı bir şekilde düzenlenmesine olanak tanıyan bir yaklaşımdır. Özellikle küresel konum belirleme sisteminin (GPS) gelişmesine paralel olarak çiftçiler, tarımsal üretimde konumsal farklılıkları göz önüne alarak uygulama yapmanın avantajlarını fark etmeye başlamışlardır. Hassas tarım (Precise Agriculture – PA) yaklaşımının uygulanması ile tarımsal faaliyetler dijital ve bilgi çağına uygun hale gelmektedir. Yapılan çalışmada özellikle son yıllarda yapılan çalışmalar göz önünde bulundurularak, Hassas tarımın dünyadaki mevcut durumu ve gelişme sürecine genel bir bakış getirilmeye çalışılmıştır.

Kravchenko ve Bullock (1999), "*A comparative study of interpolation methods for mapping soil properties*" başlıklı yazısında seçilen 30 deney alanından elde edilen toprak özelliklerinin (fosfor ve potasyum değerleri) inverse distance weighting (IDW), ordinary kriging ve lognormal ordinary kriging yöntemleriyle karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışmada; eğer ki örnek sayısı 200'den az ve örnekler

Çalışma alanına homojen olarak dağılmışsa, lognormal ordinary kriging genelde diğer iki yonteme göre daha başarılıdır. Aksi durumda ordinary kriging en başarılı olan yontemdir.

Robinson ve Metternicht (2006), “*Testing the performance of spatial interpolation techniques for mapping soil properties*” başlıklı yazısında mevsimsel değişiklik gösteren toprak yapısının üretimdeki verimi etkilediğini göstermek için toprağın bileşenlerini analiz ederek (pH, elektriksel iletkenlik, organik madde), bu analizleri ordinary kriging, lognormal ordinary kriging, inverse distance weighting ve splines interpolasyon yontemleriyle doğruluk karşılaştırmaları yapmıştır. Bu alışma sonunda IDW yontemi her üç toprak bileşeni içinde en yüksek doğruluğu vermiştir.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Hassas Tarım

“Hassas uygulamalı tarım; verimlilik potansiyelleri esas alınarak, tarla ve bu tarlalara ait alt bölümlerin işletilmesidir ve tarımsal işletmecilik teknolojisinin esasını oluşturur. Hassas uygulamalı tarımla tarladan elde edilen ham veriler kullanılabilir verilere dönüştürülerek girdilerin en iyilenmesi ve ürün veriminin artırılması için işletmecilik kararlarında değişikliklerin yapılması sağlanır” (Kirişçi ve ark. 1999).

Başka bir tanımlamaya göre Hassas Tarım (Precision Farming – PF); “Özellikle Değişken Düzeyli Uygulama Teknolojisi (Variable Rate Application Technology – VRAT), Küresel Konum Belirleme Sistemi (Global Positioning System – GPS), Coğrafi Bilgi Sistemi (Geographic Information System – GIS) gibi bilgi teknolojilerinin tarımsal işletmeciliğe uygulanmasıdır. Buna göre hassas uygulamalı tarımın hedefi, etkinliği geliştirmek ve tarımsal üretimi gerek nitelik ve gerekse nicelik yönünden arttırmaktır” (Kirişçi ve ark. 1999).

“Tarımsal uygulamalarda kullanılan, girdilerin üretim yapılan ekosistemin mevcut durumunu ve gereksinimlerini dikkate alıp, yoğun kullanımları nedeniyle önemli girdi grubunu oluşturan kimyasalların gereksiz kullanımlarını da önleyerek, çevrenin korunmasını hedefleyen, tarımsal etkinliği artırma yolu ile de üretimi daha kazançlı hale getirmeyi amaçlayan, yeni ve yüksek teknolojik bir tarımsal üretim yöntemidir” (Kirişçi ve ark. 1999).

2.1.1. Hassas tarımın tarihçesi

İnsanoğlu için her alanda olduğu gibi tarım alanında da teknolojiye dayalı tarımı kabul etmek uzun yıllar almıştır. Tarım teknolojisindeki bu büyük değişiklikler ilk zamanlar tartışma ve alay konusu olmuştur. Atlarla yapılan tarımdan traktöre geçişe, mandıralarda toplanan sütün kutularda saklanması ve taşınmasına geçişe alışmak uzun yıllar almıştır. Hatta bazı insanlar bitkilerin gelişmesini Tanrı'nın oyunu olarak görüyorlardı. İlk çapraz mısır tohum hibritleşmesi büyük tartışmalara neden olmuştur.



Şekil 2.1. Geçmişte tarım (Kaynak: Brase 2005)

Benzer şekilde hassas tarım uygulamalarında teknolojiye dayalı tarım yöntemini insanlara kabul ettirmek oldukça zordu. Hassas tarım kavramı, verilerin toplanması ve bu verilere dayalı karar verme fikrinin yerleşmesi uzun yıllar almıştır. Küçük yüzölçümlü tarım arazileri üzerinde teknoloji olmadan tarım yapabilmek mümkünken, tarım arazilerinin yüzölçümü arttıkça yeni tarım teknikleri ve tarım araçları zorunlu hale gelmiştir. Hassas tarım teknolojilerinin gelişimi CBS (Coğrafi Bilgi Sistemleri) ile birlikte olmuştur. Günümüzde hassas tarım uygulamaları için büyük önem taşıyan CBS, 1960 ve 1970'li yıllarda birkaç araştırma kurumu için eğitim çalışmalarında kullanılıyordu. CBS kavramı hassas tarım uygulamalarında mekânsal veriye dayalı tarımı, doğru ürün seçimi ve yüksek verim kapasitesine ulaşmaya olanak sağlamıştır. Yine 1980'li yıllarda hassas tarım uygulamaları için birçok farklı akıllı cihazlar ve uygulama bileşenleri ortaya çıkmıştır. 1990'li yıllara CBS ile birlikte hassas tarım uygulamaları için verim monitörlerine olanak sağlamıştır. Yine aynı yıllarda hassas tarım için en önemli gelişme Küresel Konum Belirleme Sistemi (GPS) olmuştur. GPS yardımıyla günün herhangi bir saatinde konum belirlemek mümkün hale gelmiştir. Tüm bu gelişmeler hassas tarım için, yenilikçi, mekânsal veriye dayalı, sürdürülebilir tarıma olanak sağlayan, çeşitli tarla koşullarında analiz yapılan bir yapıya olanak sağlamıştır (Brase 2005).

2.1.2. Hassas tarımın önemi ve yararları

Geleneksel tarım sisteminden hassas uygulamalı tarıma geçişle birlikte daha ekonomik üretim gündeme gelmektedir. Halen uygulanmakta olan tarım sistemi durumundaki geleneksel tarım sisteminde toprak, su ve enerji başta olmak üzere girdilerin etkin bir şekilde kullanımı ve çevrenin korunması genellikle ihmal edilmektedir. Yapılan üretim faaliyetlerinde tarlanın mikro ölçekte durumu dikkate alınmaksızın bütün alanlara tekdüze toprak işleme, gübreleme, ekim ve tarımsal savaş gibi uygulamalar yapılmaktadır. Bu işlemler sırasında, bilgiden uzak, aşırı ve gereksiz makine kullanılmakta ve uzun vadeli planlamalar kesinlikle yer almamaktadır. Ancak, üretimde her geçen gün artan girdi maliyetleri ve toplumlarda gerek ulusal ve gerekse uluslararası düzeyde yükselen çevre bilinci, ilgilileri yeni sistem arayışına yönlendirmiştir. Bu çalışmaların merkezinde ise hassas tarım yer almaktadır (Kirişçi ve ark. 1999).

Hassas uygulamalı tarıma geçişle, geleneksel uygulamalara göre elde edilecek kazanımlardan bazıları aşağıdaki şekilde özetlenebilir (Kirişçi ve ark. 1999):

- Tarımsal üretim alanıyla ilgili, üretimin nitelik ve niceliğini doğrudan etkileyen tüm ayrıntılar kayıt altına alınabilir,
- Noktasal bazda ürün verimleri saptanabilir ve yıllara göre bu verim değerleri karşılaştırılabilir,
- Üretimi arttırmaya yönelik olarak gübre ve ilaç gibi kimyasalların, gereksinim duyulan yere gereksinildiği kadar uygulanması sağlanabilir,
- Yerel uygulamalar nedeniyle azaltılan kimyasalların çevre kirlenmesine olan etkileri azaltılabilir,
- Yüksek teknoloji ve donanım kullanımı nedeniyle, tarla ve işletmecilik bilgileri ve doğruluk artırılabilir,
- Üretim girdilerinin, birim alanın gereksinimine göre düzenlenmesiyle etkin bir işletmecilik gerçekleştirilebilir.

2.1.3. Toprak örnekleme yöntemleri

“Toprak, arzın yüzeyini ince bir tabaka halinde kaplayan, kayaların ve organik maddelerin türlü ayrışma ürünlerinin karışımından meydana gelen, içerisinde ve üzerinde geniş bir canlılar âlemi barındıran, bitkilere durak yeri ve besin kaynağı olan, belli oranlarda su ve hava içeren üç boyutlu varlıktır” (Akalan 1988). Toprak verimliliği veya diğer toprak araştırmalarıyla ilgili uygulamalara yön verecek laboratuvar analizleri araziden alınan toprak örnekleri üzerinde yapılmaktadır. Ancak bir toprak örneğine ait laboratuvar analizleri ne kadar hassas ve doğru olursa olsun bu değerlerin geçerliliği, o örneğin alındığı araziye temsil etme yeteneğine bağlıdır. Verimlilik analizleri için bozulmuş toprak örneği, çeşitli bilimsel araştırmalar için yüzey ve alt katmanlardan bozulmamış toprak örnekleri alınır. Tesadüfi örnek almada esas, araziye oluşturan ünitelerden her birinin seçilme şansının eşit olmasını sağlamaktır. Bu da arazinin biçimine uygun şekilde zikzaklar çizerek elde edilir.

Üç tip toprak örnekleme yöntemi vardır:

- Izgara tipi örnekleme yöntemi,
 - Izgara merkezli yöntem
 - Izgara hücreli yöntem
- Toprak tipine bağlı örnekleme yöntemi
- Hareketli duyarga yöntemi

Bunlardan ilk iki tanesi oldukça yaygın olmasına rağmen sonuncu sırada yer alan hareketli duyarga yöntemi geliştirilme aşamasındadır.

2.1.3.1. Izgara tipi örnekleme yöntemi

Tarlayı kare veya dikdörtgen şekilli küçük parsellere bölme esasına dayanır. Her bir parselin boyutu, 0.4 – 1.0 ha arasında değişebilmektedir. Her parselden birkaç örnek alınır ve analiz edilir. Burada amaç, tüm tarla yerine daha küçük ölçekteki parsellerin toprak bitki besin elementlerine olan gereksinimi daha iyi tahmin etmektir. İki tip ızgara örnekleme yöntemi vardır:

Izgara merkezli yöntem: Örnekler, her bir hücrenin merkezinden alınır. Hücrenin merkezini belirlemek için bir GPS kullanılır. El tipi sondalar veya araçlarla

bindirilmiş örnekleyciler örneklemede kullanılabilir. Toprak örnekleri, hücre merkezinin çevresinde yaklaşık 2-3 m çapındaki bir çember içerisinde 7-10 noktadan alınır. Alınan örnekler, karıştırılır ve daha sonra bir toprak torbasına konular ve tarlanın adı, alındığı hücre yeri ve numarası gibi bilgilerin yer aldığı etiketlerle saklanır. Örnekleme yapılırken tarlanın ve hücrelerin şeklinin bir kâğıt üzerine çizilip işaretlenmesi önerilir(Kirişçi ve ark. 1999).

Izgara hücreli yöntem: Bu yöntemde, tarla küçük hücrelere bölünür, çiftçi her bir hücre için hücrenin içerisinde tesadüfi olarak değişik yerlerden örnekler alır ve hücrenin tamamını temsil eden ortalama örneği elde eder. Her bir hücreden alınan örnekler ortak birleştirilir. Tüm hücre aynı toprak özelliklerine sahipmiş gibi işleme tabi tutulur. Bu yöntem; sadece merkezden örneğin alındığı birinci yöntemle göre hücredeki farklı yerlerden örnek alınması nedeniyle daha uygundur fakat bu yöntemde daha fazla işgücüne gereksinim duyar(Kirişçi ve ark. 1999).

2.1.3.2. Toprak tipine bağlı örnekleme yöntemi

Kare şekilli ızgara örnekleme yöntemine bir alternatif olan bu yöntemde tarla, toprak tiplerine göre bölümlere ayrılır ve benzer toprak tiplerine sahip bölümleri örneklenir. Bu amaçla ilk olarak, tarlanın farklı yerlerindeki toprak tipleri belirlenir ve toprak haritası elde edilir. Tekdüze ızgara kullanma yerine örnekleme yerlerinin seçimi için bu haritalar kullanılır. Örnekler, her bir toprak tipi bölgesinden tesadüfi ve farklı aralıklardan alınır. Toprak örneği alınırken uygulanan işlem basamakları aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- Örneklemede kullanılacak örnekleme tüpü, sonda, burgu veya bel temiz bir plastik kova ve örnek torbaları hazırlanır.
- Örnekler farklı topraklardan veya geçmişte farklı işlemlere tabi tutulmuş olan alanlardan alınır. Her bir örnekleme alanından en az 15 yerden eşit boyutta silindirik veya dilimler halinde örnekler alınır. Örnek almada sonda, burgu veya bel kullanılır. Açık renkli toprakların, koyu renkli topraklarla karıştırılmamasına özen gösterilir.
- Kulaklı pulluk, çizel pulluğu veya disk gibi toprak işleme sistemlerinde fosfor (P), potasyum (K) ve kireç (CaCO_3) gereksinimi belirlemek için örnekler 0-20 cm'lik toprak katmanlarından alınır. İşlenmemiş veya anızlı tarlalarda ise fosfor

(P) ve potasyum (K) için örnekler 0-20 cm derinlikten alınırken, kireç için örnekler 0-10 cm'lik toprak katmanından alınır.

- Silindirik veya dilim şeklindeki örnekler temiz bir plastik kovaya yerleştirilir ve daha sonra parçalanarak iyice karıştırılır.
- Karışım, kuruması için temiz bir kâğıt üzerine serilir.
- Örnek torbası belirtilen miktarda doldurulur, kalanlar ise dökülür. Torba etiketlenir ve numaralandırılır.
- Analizin yapılacağı laboratuara ait form kullanılarak örnek tanımlanır. Gerekli ürün ve gübreleme ile ilgili bilgiler kaydedilir.
- Ayrı bir kâğıda tarlanın bir krokisi veya haritası çizilir. İşletmecilik kararlarına yardımcı olması için bu kayıt dosyada muhafaza edilir.

2.1.4. Toprak örnekleme yöntemine etki eden faktörler

Toprak analizi belli bir arazi toprağının fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri ile gübre ihtiyacını ortaya koyan bilimsel bir yöntemdir. Toprağı örneklerken faktörler konusunda dikkatli olmak doğru gübre tavsiyesi için gereklidir. Çalışma sahasından alınacak örnekler toprağın besin maddesi veya mineral durumu açısından genel veya ortalama bir doğruluk yansıtmalıdır. Alınacak toprak örneklerine etki eden faktörlerin iyi belirlenmesi ve analizlerin doğru değerlendirilmesi sonucu verimi artırmak, maliyetleri azaltmak ve olası çevre kirliliğini azaltmak ve daha verimli gübre kullanımı sağlamak mümkün olacaktır. Toprağın örnekleme işleminde dikkate alınması gereken bazı faktörler aşağıdaki şekilde sıralanmaktadır:

- Örnekleme sıklığı
- Örnekleme zamanı
- Örnekleme derinliği
- Örnekleme sonuçlarına etki eden diğer faktörler

Örnekleme sıklığı: Toprak tipi, toprak bitki besin elementlerinin önceki düzeyleri, kation değişim kapasitesi, hava koşulları gibi etkenler toprak örneklerinin alınma sıklığına etki ederler. Bu faktörler, bölgesel olarak değiştiğinden örnekleme için tek bir zaman aralığı önermek oldukça zordur. Fakat genelde bu aralık fosfor (P) ve

potasyum (K) için iki (2) ile dört (4) yılda bir olabilir. Toprak bitki besin elementlerinin önceki düzeyleri yüksek olduğunda bu aralık üç (3) ile dört (4) yılda bir gibi daha uzun olabilir. Fakat düzeyler düşük ise iki (2) yılda bir örnekleme yapılması uygun olabilir. pH için örnekleme ve analiz aralığı dört (4) yılda bir olabilir.

Çizelge 2.1. Bir çalışma alanındaki analizlere ait ortalama değerler.

	Araştırma amaçlı	Detaylı
Arazi pafta ölçeği	1/25.000	1/10.000-1/5.000
Tarama aralıkları azami (m)	1.500	100-200
Doğruluk derecesi (%)	75	97
Bir ekibin günlük iş verimi	500-1.000 hektar	80-100 hektar
Ayrılacak en küçük arazi miktarı	16 hektar	1 dekar
Bir sondaya isabet eden ortalama arazi	225 hektar	40 dönüm
Bir derin sondaya isabet eden ortalama arazi	900 hektar	100 hektar

Kaynak: Sırman ve Aytakin (1967)

Örnekleme zamanı: Toprak işleme ve hava koşulları bitki besin elementlerinin varlığını değiştirdiğinden toprak örnekleme her yılın yaklaşık aynı tarihinde yapılmalıdır. Bu yolla yıldan yıla oluşabilecek değişim en aza indirilebilir. Toprak koşulları yaz mevsiminde kısmen değişken olduğundan örnekleme için ilkbahar ve sonbahar mevsimleri tercih edilmelidir. Örneğin; toprak numuneleri gübreleme zamanından 1-2 ay önce ve toprak tavında iken alınmalıdır ki analiz süresi ve önerilen gübrelerin temini içinde zaman kalabilsin. Tarla toprağı homojen değilse, mesela bir tarafta açık renkli, bir tarafta koyu renkli toprak var ise, bir taraf düz, bir taraf eğimli ise bu farklı yerlerden ayrı ayrı numuneler alınmalıdır.

Örnekleme derinliği: Bitkilerin çoğunluğu besin maddelerini genellikle üst toprak tabakasından aldıklarından, toprağın verimlilik durumlarının tespiti amacıyla yapılan çalışmalarda 0-30 cm derinlikten toprak örneği almak yeterlidir. Bağ ve bahçelerden veya bağ-bahçe yapılacak tarlalardan ise 0-30 cm, 30-60cm, 60-90 cm ve hatta 90-120 cm'lik derinliklerden toprak örnekleri alınmalıdır. Çünkü meyve ağaçları için üst katmanlardan ziyade alt toprağın özellikleri daha önemlidir. Meyve ağaçları derin köklü olduklarından ve o toprakta çok uzun ömür geçireceklerinden drenaj problemi olan ıslak ve tuzlu alt toprak uygun değildir. Toprak örneği alınırken, örnek alınacak noktanın köşelerindeki her noktada V harfi şeklinde 30

cm derinliğinde çukur açılır, daha sonra bu çukurun bir tarafından 3-4 cm kalınlığında bir toprak dilimi alınır (Kirişçi ve ark. 1999).

Örnekleme sonuçlarına etki eden diğer faktörler: Yol kenarları, ağaç dipleri, harman yerleri, hayvan yatmış yerler, su birikmiş, ırmak veya sel basılmış yerler, önceden gübre yığılmış yerler ve sap, kök ve yabancı ot yakılmış kısımlardan uç değerler elde edileceğinden toprak örneği alınmamalıdır.

2.1.5. Toprak verimliliğini etkileyen analizler

Toprağın verimliliği; bitkiler için topraktaki bitki besin elementlerinin tamamının düzeyini ifade eder. Optimum bitki gelişimi için toprağın değişik düzeylerde bitki besin elementlerine sahip olması gerekmektedir. Ürün gelişimini etkileyen bu elementlerin düzeyinin belirlenmesi amacıyla toprak analizleri yapılmaktadır. Toprak testlerindeki temel ilke, değişik formlarda bulunan bitkiye elverişli besin elementlerinin tamamını veya bir bölümünü çözmek ve çözünmüş besin elementlerinin konsantrasyonlarını kimyasal olarak analiz etmek temeline dayanır. Toprak verimliliğini belirlemeye yönelik yapılan toprak testleri, çoğunlukla toplam element belirlemeyi amaçlamaz. Toprak testlerinin avantajları; çabuk, kolay ve ucuz olur. Toprak testleri önceden yapılabildiğinden; gübreleme planları yapılmasını mümkün kılar. Dezavantajları; bitki kök etkileri, besin elementlerinin topraktaki etkileşimler ve iklimsel etkiler analiz sonuçlarına yansımaz.

2.1.5.1. Suya doygunluk

Suya doygunluk, toprağa su ile doluncaya kadar saf su ilave edilerek tayin edilmekte ve sonuç % ile ifade edilmektedir. Suya doygunluk, 100 gr fırın kurusu toprağın tutabildiği maksimum su miktarını ifade eder. Suya doygunluk analizleri sonucunda toprak bünye sınıfları da yaklaşık olarak belirlenir (Richards 1954).

2.1.5.2. Toplam tuz

Topraklardaki toplam tuz, kondaktivite aleti ile suya doygun toprakta elektriksel geçirgenliğin ölçülmesi suretiyle tayin edilmekte ve sonuç % olarak ifade edilmektedir (Altan 2010).

2.1.5.3. Toprak reaksiyonu (pH)

Toprak için bilinmesi gereken en önemli kimyasal özelliklerden biridir. Toprağın fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik özelliklerine etki eder. Toprak reaksiyonu (pH), toprak verimliliğini etkileyen en önemli özelliktir. Toprakların kendilerine özgü yapılarını korumaları pH ile yakından ilgilidir. Kumlu topraklarda en uygun pH 6.0 civarında veya altındadır. Bir toprağın kendi tipine en uygun pH değeri belirli bir derecenin altına düştüğü zaman stabilitesi azalır, yoğunlaşma fazlalaşır, mikroorganizmalar istenen etkinliği gösteremez. Mikroorganizmaların faaliyetinin bozulması ile huminleşmede arzu edilmeyen humus çeşitleri oluşur ve permeabilite bozulur. Bu bozulma topraktaki besin maddelerinin yıkanmasına neden olur. pH, toprak için uygun olan pH değerinin üzerine çıktığı zaman da çeşitli nedenlerle verim azalır. Optimum pH değeri yetiştirilecek bitkinin cinsine bağlı olarak değişir (Çizelge 2.2).

Çizelge 2.2. Çeşitli bitkiler için optimum pH değer aralıkları.

Bitki Tipi	Toprak pH aralığı
Patates	4.3 – 5.8
Pamuk, tahıllar, soya, mısır, domates, tütün	4.8 – 6.0
İspanak, havuç, bezelye	5.3 – 6.8
Şeker pancarı, marul, kavun	5.3 – 7.0
Yonca	5.7 – 7.0

Kaynak: Brady ve Weil (1999)

2.1.5.4. Organik madde

Toprakta bulunan organik madde mineralizasyonu sonucu oluşan, karbonik asit, fosfor yarayışlılığını artırmaktadır. Karbonik asit özellikle kireçli topraklarda fosforun yarayışlı duruma geçmesini sağlamaktadır. Organik madde içeriğinin mümkün olduğu kadar yüksek olması istenir. Toprakta bulunan organik madde:

- Toprağın su tutma kapasitesini artırır.
- Toprağın hacimsel kütleini azaltır.
- Toprak parçacıklarının bir arada tutulmasını sağlayarak toprağın agragat yapısını oluşturur.
- Bitki gelişiminde kullanılabilir bitki besin elementleri miktarını artırır.

- Topraktaki azot, fosfor, sülfür ve mikro elementler özellikle yüksek organik madde ile birlikte artar.
- Toprağın katyon değişim kapasitesi (CEC) düzeyini artırır.

Yukarıda sayılan yararların yanında, organik madde içeriğinin yüksek olması tarlada yabancı ot oluşumuna neden olması bakımından önemli bir dezavantajı da ortaya çıkarır (Altan 2010).

2.1.5.5. Kireç

Toprağın verimliliği açısından, kirecin oranının belirlenmesinin önemi çok büyüktür. Çünkü toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerine önemli etki yapmaktadır. Bitki gelişmesine bu yoldan tesir ettiği gibi besin maddesi olarak da fazla miktarda alınmaktadır. Kirecin topraktaki etkileri; fiziksel, kimyasal ve biyolojik olarak tanımlanabilir.

Fiziksel etkisi: Ağır topraklar hava ve su hareketini aksattığı için toprağın granüler yapıya çevrilmesi gerekir ki bunun için kireç devreye sokulur. Kireç, organik maddenin parçalanması ve ümüsün teşekkülüne yardım ederek toprağın granüle bir strüktür kazanmasına hizmet eder. Asit reaksiyonlu toprağa kireç verildiğinde strüktürü iyileştirir. Kireç baklagillerde de müspet etki yapmaktadır.

Kimyasal etkisi: Toprağın düşük pH değerini yükseltmek için yapılan kireçlemenin toprakta yaptığı kimyasal değişimler şu şekilde olur:

- H-İyonu konsantrasyonu azalır.
- OH-İyonu konsantrasyonu çoğalır. Fe, Al, Mn' in münhal olma nispeti azalır.
- Toprakta mevcut veya gübrelerle verilen fosfatların münhal olma nispeti çoğalır.
- Kabili mübadele Ca ve Mg artar. Kirecin mikroorganizma faaliyetini artırması sonucu potasyum serbest hale geçer.

Biyolojik etkisi: Topraktaki bakterilerin faaliyetine müspet etki yapar. Organik maddenin parçalanması ve azot dolaşımı sonucu ümüsün teşekkülü yanında arada bitkilere zararlı olacak bazı organik maddelerin meydana gelmesi de önlenmiş olur. Çok büyük önemi olan nitrifikasyonda kirece bağlıdır. Kireç az bulunursa nitrat teşekkülü yavaş olur. Ca toprakta mineraller halinde bulunur. Bunların başlıcaları;

kalsit, dolomit, labrador; anortit, ojit, hornbland ve jibstir. Ca'nın çoğu inorganik şekilde olmakla beraber bir kısmı da organik bileşikler halindedir. Ca'nın bir kısmı kabili mübadele durumunda kolloidlere bağlı olarak bulunur. Kireç genel olarak üst toprak katlarında % 0.1'den daha azdan başlayarak % 5'den daha fazlaya kadar değişen miktarlarla bulunur.

2.1.5.6. Elektriksel iletkenlik (EC)

Doğal koşullarda, kurak ve yarı kurak iklim koşullarında, topraktan su kaybının yüzeysel buharlaşma ile oluştuğu ve çözünebilir tuz yıkanmasının olmadığı topoğrafik yüzeylerde zamanla toprağın kolay çözünebilir tuz içeriği artar. Diğer taraftan yoğun tarım yapılan seralarda, aşırı gübreleme ve yanlış su yönetiminde toprakların tuzlanmasına neden olur. Ca, Mg, Na ve K gibi katyonların klorür ve sülfatları şeklinde biriken tuzlar bazikritik değerlerin üzerine çıktığı zaman, bitkilerin kendi dirençlerine de bağlı olarak zararlı olmaya başlar. Eğer artan tuzlar içerisinde Na hâkim ise veya zaman içinde hâkim katyon haline gelirse tuzlulukla beraber veya ayrı olarak alkalilik problemi ortaya çıkar. Tuzluluk ve alkaliliğin teşhisi için pH, elektriksel iletkenlik (veya % tuz) ve değişebilir Na özellikleri belirlenir. Toprakta bulunan tuz miktarı arttıkça EC değeri de yükselir. Toprağın EC değeri ve toprak bünyesine bağlı olarak toplam tuz miktarı % olarak bulunur. Hemen her toprakta bir miktar çözünmüş tuz bulunur. Toprak verimliliği bakımından toprakların tuzluluğu, bitki gelişmesine zarar verecek durumda olup olmadığına göre değerlendirilir. Fazla miktarda çözünebilir tuzun anyon ve katyonları, bitki kökleri ile temas ettiğinde kök hücrelerinde çatlama oluşur ve bitki gerekli olan su ve besin maddelerini alamaz ve bitki gelişimi kısıtlanır. Bitkiler topraktaki besin maddelerini suda çözünmüş olarak, gövdelerindeki özsu ve topraktaki suyun yoğunluğu arasındaki farktan oluşan ozmotik basınçla alırlar. Tuzlu topraklarda suyun yoğunluğu arttığından bitkiler bu suyu alamaz. Ortamda su ve besin bulunmasına karşın bitkiler bunlardan yararlanamaz. Bu duruma *fizyolojik kuraklık* denir.

2.2. Coğrafi Bilgi Sistemleri

Özellikle son yıllarda Coğrafi Bilgi Sistemleri'nin kullanım alanlarının artması ve kullanıcıların Coğrafi Bilgi Sistemleri'ni farklı meslek dallarında kullanıyor olması

nedeniyle, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) meslek disiplinlere göre değişik şekillerde tanımlanmaktadır. CBS dünyada konumsal bilgi ile ilgilenen kişi, kurum ve kuruluşlar arasında geniş bir merak uyandırmıştır. Teknolojideki hızlı gelişim, ticari beklentiler, farklı uygulama alanları ve değişik fikirler nedeni ile CBS'nin standart bir tanımı yapılamamıştır. CBS, bazı araştırmacılara göre konumsal bilgi sistemlerin tümünü içeren ve coğrafi bilgiyi irdeleyen bilimsel bir kavram, bazılarına göre konumsal bilgileri sayısal yapıya kavuşturan bilgisayar tabanlı bir araç, bazılarına göre de organizasyona yardımcı olan bir veritabanı yönetim sistemi olarak nitelendirilmektedir. Bu bağlamda, çeşitli alanlarda çalışan araştırmacılara göre Coğrafi Bilgi Sistemleri ile ilgili yapılan tanımlanmalar aşağıda verilmiştir.

Burrough ve McDonnell (1998), Coğrafi Bilgi Sistemleri, belli bir amaç doğrultusunda yeryüzüne ait verilerin toplanması, depolanması, sorgulanması, işlenmesi ve görüntülenmesi işlevlerini yerine getiren araçların tümüdür.

Coğrafi Bilgi Sistemleri, konuma dayalı gözlemlerle elde edilen grafik ve grafik olmayan bilgilerin toplanması, saklanması, işlenmesi ve kullanıcıya sunulması işlevlerini bir bütünlük içerisinde gerçekleştiren bilgi sistemidir (Yomralıoğlu 2000).

Coğrafi Bilgi Sistemleri, yeryüzünün fiziki ve beşeri özelliklerine ait her türlü verinin gerçek koordinatları ile birlikte bir veritabanında toplanması, bunlar üzerinde amaca göre çeşitli analizlerin yapılması ve sonuçların harita, tablo ve grafikler şeklinde gösterilmesi için tasarlanmış olan bir bilgisayar sistemidir (Fitzpatrick ve Maguire 2000).

2.2.1. Coğrafi bilgi sistemlerinin tarihsel gelişimi

- 1959- MIMO (Map In Map Out) sistemi geliştirildi.

Waldo Tobler, haritacılığı bilgisayara uygulamak için MIMO olarak adlandırılan temel bir model tasarladı. MIMO sisteminin asıl ilkesi, koordinat kullanarak konumlandırma, veri saklama, veri analizi ve görüntüleme işlemlerinin temelini oluşturuyor ve CBS yazılımlarında bulunan tüm standart öğeleri kapsıyordu. (Anonim 2010).

- 1963- CGIS – Kanada Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemleri Kuruldu.

Kanada Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Gelişimi, Roger Tomlinson önderliğinde başlatıldı. Sisteme Kanada'nın ulusal tapu kayıtlarının analizi için ihtiyaç duyuldu ve CBS'nin pek çok bakış açısına öncülük etti. Bu proje CBS'nin kavramsal anlamda ilk olarak ortaya çıkışını sağlamıştır ve ilk teorik CBS çalışması olarak bilinir. Bu proje ile çizgi tabanlı eğitim haritalarının bilgisayar aracılığıyla üretilebileceği anlaşılmıştır. Proje 1970'de tamamlanarak hayata geçirilmesine rağmen, veri güncellemeleri ve sistem gelişimi günümüzde de devam etmektedir.

- 1964- Harvard Laboratuvarı kuruldu.

Harvard Laboratuvarı, bilgisayar üstünde grafik çalışmaları sürdüren bir grup araştırmacıya başkanlık eden Howard Fisher tarafından kuruldu. Laboratuvar, konumsal veriler için öncü yazılımlar yaratan önemli bir araştırma merkeziydi. David Sinton (Intergraph), Jack Dangermond (ESRI), Lawrie Jordan ve Bruce Rado (ERDAS), Hans Koeppel ve Nicos Polydorides gibi, CBS endüstrisinde kilit isimlerin çoğu burada çalışmaktaydı(Anonim 2010).

- 1969 - ESRI (Enviromental Systems Research Institute) şirketi kuruldu.

ESRI - Çevresel Sistemler Araştırma Enstitüsü, Jack ve Laura Dangermond tarafından California'da kurulmuştur. 1970'li yıllarda sadece yazılım geliştirme ile ilgilenmeyen, aynı zamanda yazılım yüklenmesi, desteği, veritabanı tasarımı, programlama ve veritabanı otomasyonu ile ilgilenen uluslararası bir firma olarak kuruldu.

- 1969 - Intergraph firması kuruldu.

INTERGRAPH- Huntsville'de M&S Computing Inc. olarak kurulmuştur. Intergraph'ın eski IBM mühendisleri NASA ve ABD ordusuna gerçek zamanlı füze yönlendirilmesi için sayısal hesaplama sistemleri geliştirmesinde yardımcı olmuşlardır. Kuruluştaki bu işten sonra M&S Computing interaktif bilgisayar grafiklerinde öncü olmuştur. Şirket 1980 yılında uzmanlığını göstermek amaçlı olarak ismini Intergraph olarak değiştirmiştir. Intergraph firması Jim Meadlock tarafından kurulmuştur. Intergraph, bilgisayar grafik sistemleri (CAD/CAM/CAE, GIS/AM-AE) alanında çalışma yapan, yazılım geliştirici ve donanım üretici bir firmadır. Intergraph'ın ürünleri CBS sektörüne yönelik olarak veri üretimi ve girişi, veri yönlendirme ve yönetimi, veri sorgulama ve analizi ve

verinin sunumu konularında dört temel çalışma grubunda sınıflandırılmıştır. Intergraph günümüzde, CBS yöneticileri için MGE ve FRAMME, kullanıcılara GeoMedia, izleyicilerine VistaMap ve internet üzerinden izleyenler için de GeoMedia Web Map yazılımları sunmaktadır.

- 1969- Design With Nature kitabı yayımlandı.

Günümüzde CBS yazılımlarında kullanılan çakıştırma analizlerine öncülük eden, harita katmanlarının üst üste bindirilmesine yönelik tekniklerin gelişmesini sağlayan “Design With Nature” (Doğa ile Tasarım) adlı kitap, lan McHarg tarafından yayımlandı.

- 1978- Küresel Konumlandırma Sistemi (Global Positioning System – GPS) projesi başlatıldı.

GPS projesi, dört adet Navstar uydusunun ilkinin fırlatılması ile ikinci safhasına geçti. GPS, uzayda konumları belli olan GPS uydularından gönderilen radyo sinyalleri yardımıyla karada, denizde, havada ve uzaydaki, konumları belli olmayan noktalara ait hassas, üç boyutlu konum, yön ve zaman belirlemek amacıyla ABD askeri birimleri tarafından ortaya atılmış bir sistemdir. GPS klasik yersel ölçme sistemlerinden farklı olarak, her türlü hava şartlarında 24 saat boyunca çalışmaktadır.

- 1981- ARC/Info yazılımı geliştirildi.

ARC/Info yazılımı ESRI firması tarafından piyasaya sürüldü. Bu yazılım, veritabanı temelli, güçlü ve esnek yapıya sahip bir CBS yazılımıdır ve halen CBS pazarının en önde gelen yazılımlarından biridir. ARC/Info; harita otomasyonu, veri dönüşümü, veritabanı yönetimi, harita çakıştırma, konumsal analiz, etkileşimli görüntüleme ve kodlama, ağ analizi, özniteliklerin harita üzerine yazımı ve topoğrafik analiz işlemlerinde etkin çözümler sunmaktadır. ARC/Info’yu benzerlerinden ayıran en önemli özelliği, sayısal harita sistemlerinin geleneksel kartografik yapılarını, ilişkisel veritabanı yönetim sistemleri etrafında kurulmuş olan güçlü analiz sistemleri ile entegre edilebilmesidir.

- 1982 – SPOT kuruldu.

SPOT görüntü şirketi kuruldu. Dünya gözlem uydularından üretilen coğrafi bilgiyi dağıtmak amacıyla kurulan ilk ticari şirkettir.

- 1984 - First Spatial Data Handling Symposium düzenlendi.

İlk Uluslararası Konumsal Veri Saklama (International Spatial Data Handling) sempozyumu düzenlendi. Konumsal verilerin dijital ortamda saklanması konusunda değişik bakış açıları ele alındı.

- 1985 - GRASS 1.0 geliştirildi.

İlk raster tabanlı CBS yazılımı olan GRASS (Geographic Resource Analysis Support System)'ın gelişimine ABD'de askeri yapı mühendisliğinde başlandı. GRASS raster tabanlı ilk UNIX CBS yazılı olarak bilinir. Herkese açık özelliği ile internet üzerinden serbestçe kullanılabilir. Hidrolojik modelleme gibi kullanıcı katkılarının eklenmesiyle oldukça geliştirilmiştir.

- 1986 - SPOT uydusu fırlatıldı.

İlk SPOT uydusu yörüngeye yerleştirildi.SPOT, yeryüzünü gözlemleyen uydular serisi olarak tasarlandı ve Belçika, İsveç ve Fransız desteği ile CNES tarafından fırlatıldı. Bu uydular tüm dünyada kullanıcılara yüksek kalitede veri sağlamak için üretilen ilk ticari uzaktan algılama uydularıdır.

- 1995 - RADARSAT-SAR uydusu fırlatıldı.

RADARSAT-SAR uydusu yörüngeye yerleştirildi. 7 farklı ışın tipini kullanarak 1,175 km genişliğindeki bir alandan veri toplayabilir. Bu kullanıcılara geniş bir çözünürlük seçeneği ile istedikleri görüntüleri elde etmede mükemmel esneklik sağlar. RADARSAT SAR cihazı radar göndericisi (radar transmitter), bir radar algılayıcısı (radar receiver) ve bir veri göndericisi (data down link transmitter) bölümlerinde oluşmuştur.

- 1999 - IKONOS uydusu fırlatıldı.

IKONOS uydusu 24 Eylül 1999'da Vadenberg Hava Üssü'nden fırlatılarak yörüngesine yerleştirilmiştir. IKONOS, 720 kg ağırlığında ve yüksek çözünürlükte görüntüler veren ilk ticari amaçlı uydudur. Güneş senkronize, yakın kutupsal ve dairesel alçak yer yörüngelidir. 1m çözünürlükte pankromatik ve çok bantta görüntüler sunmaktadır. Ve bu görüntüleri dünyadan 680 km uzaklıkta çekebilmektedir. Dünya yüzeyini 1 metrekareden daha küçük olarak tarayabilir.

Saniyede yaklaşık 7 km hızda hareket edebilmektedir. Ve dünyanın çevresini günde 14 kez dönmektedir.

- 1999 - İlk CBS günü kutlandı.

19 Kasım 1999'da ESRI, National Geographic Society ve Association of American Geographers sponsorluğunda dünyada ilk kez coğrafi bilgi sistemleri günü kutlandı. Bu günün kutlanmasındaki amaç, dünya çapında bir milyon insana, CBS'yi tanıtmak ve CBS hakkında bilgi vermektir. Böylece okullardaki öğrencilere, halka, kamu ve özel sektör çalışanlarına coğrafi bilgi sistemlerinin ne olduğu hakkında bilgilendirme çalışmaları haline geldi. CBS günü her yıl Kasım ayındaki coğrafya haftası içerisinde bir gün olarak kutlanmaya devam etmektedir.

- 2000 - İlk Mobil CBS yazılımı ArcPad 'in piyasaya sürülmesi ile Mobil CBS uygulamalarına başlandı.

ESRI firması tarafından ArcPad yazılımı 2000 yılında piyasaya sürüldü. Dünyadaki mobil CBS uygulamalarına da böylece başlanmış oldu. ArcPad yazılımının en önemli özelliği GPS desteği sağlanması ve raster görüntü şeklindeki haritaları da desteklemesidir. Arazideyken internete bağlanıp herhangi bir harita sunucusundan istenilen harita alınabilmektedir. ArcPad yazılımı hem raster hem de vektör verileri kullanmaktadır. GPS navigasyon sistemi ile yön bulma ve otomatik CBS alan çalışmalarına olanak sağlamaktadır.

- 2001 - ESRI 1. Uluslararası Sağlık Coğrafi Bilgi Sistemleri Konferansı düzenlendi.

ESRI firması tarafından her yıl düzenlenen "ESRI Uluslararası Sağlık Coğrafi Bilgi Sistemleri Konferansı" serilerinin ilki Washington'da 12-14 Kasım 2001 tarihleri arasında düzenlendi. Konferansa 225 'in üzerinde katılımcı iştirak etti ve 24 sunu gerçekleştirildi. Ayrıca konferansa sağlık organizasyonlarının ilgisi ve katılımı oldukça fazla oldu. Bu konferansların amacı, sağlık ile ilgili coğrafi bilgi sistemleri uygulamalarını tanıtmak ve yeni çözümlerine yönelmektir.

- 2002 - Bentley Uluslararası Kullanıcı Konferansı düzenlendi.

Bentley Uluslararası Kullanıcı Konferansı (Bentley International User Conference) 19-23 Mayıs 2002 tarihlerinde Atlantic City, Amerika'da düzenlendi. Konferansa

tüm dünyada 40 ülkeden 3000 katılımcı iştirak etti. Konferansta Bentley sistemlerinin gelişimi, bilgi teknolojileri, coğrafi bilgi sistemlerindeki kullanım uygulamaları gibi pek çok konuda bildiriler sunuldu. Coğrafi bilgi sistemleri uygulamalarındaki en son gelişmeler ve Bentley sistemlerinin bu gelişmelere sunduğu çözümler üzerinde duruldu (Anonim 2010).

2.2.2. Coğrafi bilgi sistemi bileşenleri

Coğrafi bilgi sistemleri temel fonksiyonlarını yerine getirebilmesi için en az beş ana unsurun bir arada olması gerekir. Bunlar CBS'nin bileşenleri olarak isimlendirilen, donanım, yazılım, veri, insanlar ve yöntemlerdir.



Şekil2.3. Coğrafi bilgi sistemi bileşenleri (Yomralıoğlu 2000)

Donanım: CBS'nin işlemlerini mümkün kılan bilgisayar ve buna bağlı yan ürünlerin bütünü, donanım olarak adlandırılır. Bütün sistem içerisinde en önemli araç olarak görülen bilgisayar ile birlikte, CBS uygulama aşamasında yan donanımlara da gereksinim vardır. Örneğin, yazıcı (printer), çizici (plotter), tarayıcı (scanner), sayısallaştırıcı tablet (digitizer), veri kayıt üniteleri (data collector) vb. donanımlar, bilgi teknolojisi araçları olarak CBS için önemli sayılabilecek donanımlardır.

Bugün birçok CBS yazılımı farklı donanımlar üzerinde çalışmaktadır. Merkezileştirilmiş bilgisayar sistemlerinden masaüstü bilgisayarlara, kişisel bilgisayarlardan ağ (network) donanımlı bilgisayar sistemlerine kadar çok çeşitli donanımlar bulunmaktadır.

Yazılım: Coğrafi verileri depolamak, analiz etmek ve görüntülemek gibi gereksinimleri kullanıcıya sağlamak üzere, yüksek düzeyli programlama dilleriyle gerçekleştirilen algoritmalarıdır. Yazılımların pek çoğunun ticari amaçlı firmalarca geliştirilip üretilmesi yanında, üniversite ve benzeri araştırma kurumlarınca da eğitim ve araştırmaya yönelik geliştirilmiş yazılımlar bulunmaktadır. Dünyadaki CBS pazarının önemli bir kısmı yazılım geliştiren firmaların elindedir. Bu bakımdan günümüzde CBS, bu yazılımlarla neredeyse özdeşleşmiş durumdadır. Günümüzde en popüler CBS yazılımları; ARC/Info, Intergraph, MapInfo, Small World, Genesis, Idrisi, GRASS olarak sayılabilir.

CBS yazılımlarında olması gereken temel unsurlardan bazıları;

- Coğrafi veri girişi ve işlenmesi için gerekli araçlar,
- Bir veritabanı yönetim sistemi,
- Konumsal sorgulama, analiz ve görüntüleme desteği
- Ek donanımlar bağlantıları için arayüz desteği

olarak sıralanabilir.

Veri: Veri, CBS'nin en önemli bileşenlerinden biridir. Grafik yapıdaki coğrafi veriler ile tanımlayıcı nitelikteki öznitelik veya tablo verileri, gerekli kaynaklardan toplanabileceği gibi, piyasada bulunan, amaca uygun hazır veriler de kullanılabilir. CBS konumsal veriyi diğer veri kaynaklarıyla birleştirebilir. Böylece birçok kurum ve kuruluşa ait veriler organize edilerek, konumsal veriler ile bütünleştirilmektedir. Veri, uzmanlarca CBS için temel öge olarak kabul edilirken, elde edilmesi en zor ve en pahalı bileşen olarak tanımlanmaktadır. Veri kaynaklarının dağınıklığı, çokluğu ve farklı yapılarda olmaları, bu verilerin toplanması ve CBS platformuna aktarılması için büyük zaman ve maliyet gerektirmektedir. Kurulması tasarlanan CBS projesi için harcanacak zaman ve maliyetin %50'den fazlası veri toplamak için gerekmektedir.

Personel: CBS teknolojisinin personel olmadan kurulması ve işletilmesi mümkün değildir. Çünkü insanlar gerçek dünyadaki problemleri uygulamak üzere gerekli sistemleri yönetir ve gelişme planları hazırlar. CBS kullanıcıları, sistemleri tasarlayan ve koruyan uzman teknisyenlerden günlük işlerindeki performanslarını artırmak için bu sistemleri kullanan kişilerden oluşan geniş bir kitledir. Dolayısıyla

CBS’de insanların istekleri ve yine insanların bu istekleri karşılama gibi bir süreç yaşanır. CBS’nin gelişmesi mutlak suretle insanların yani kullanıcıların ona sahip çıkmalarına ve konuma bağlı her türlü analiz için CBS’yi kullanabilme yeteneklerini artırmaya ve değişik disiplinlere yine CBS’nin avantajlarını tanıtmakla mümkün olabilecektir.

Yöntem: Başarılı bir CBS projesi çok iyi tasarlanmış plan ve iş kurallarına göre işler. Bu tür işlevler her kuruma özgü model ve uygulamalar şeklindedir. CBS’nin kurumlar içerisindeki birimler veya kurumlar arasındaki konumsal bilgi akışının verimli bir şekilde sağlanabilmesi için gerekli kuralların, diğer bir deyişle yöntemlerin geliştirilerek uygulanıyor olması gerekir. Konuma dayalı verilerin elde edilerek, kullanıcı gereksinimlerine göre üretilmesi ve sunulması belirli standartlar çerçevesinde gerçekleşir. Genellikle standartların belirlenmesi şeklinde olan bu uygulamalar bir bakıma kurumun yapısal organizasyonu ile doğrudan ilgilidir. Ulusal çapta tam entegrasyon amacı ile yasal düzenlemeler ile gerekli yönetmelikler hazırlanarak temel ilkeler tespit edilir (Uyguçgil 2011a).

2.2.3. Coğrafi bilgi sistemlerinde veri tipleri ve veri modelleri

2.2.3.1. Coğrafi bilgi sistemlerinde veri tipleri

CBS verileri, yeryüzünden çeşitli yöntemlerle toplanmakta, uzun uğraşlar ve titizlikle yürütülen çalışmalar sonucunda iki farklı tipte üretilmektedir.

- Öznitelik verisi
- Konumsal veri

Öznitelik verisi: En basit tanımı ile konumsal bir nesne ile ilişkili, konumsal olmayan verilere öznitelik verisi denir. Öznitelik verileri konum bilgisi içermezler. Genellikle tablo veriler şeklinde sunulan öznitelik verisi, doğadaki konumsal nesnelerin, nicelik ve nitelik gibi karakteristik özelliklerini tanımlamak için kullanılmaktadır.

Konumsal veri: Yeryüzünde herhangi bir nesnenin coğrafi konumunu ve şeklini belirtmek için kullanılır. Konum bilgisi koordinat sistemleri ile ifade edilebilmektedir. Küçük alanlar için genellikle kartezyen koordinatlar, daha geniş alanlar için ise kartografik projeksiyon sistemleri kullanılmaktadır. Konumsal veri

tipleri nokta, çizgi ve poligon olarak üç tanedir. Nokta, çizgi ve poligon gibi geometrik ifadeler, CBS’de konumsal verinin şeklini tanımlamaya yarayan temel harita elemanlarıdır (Uyguçgil 2011b).

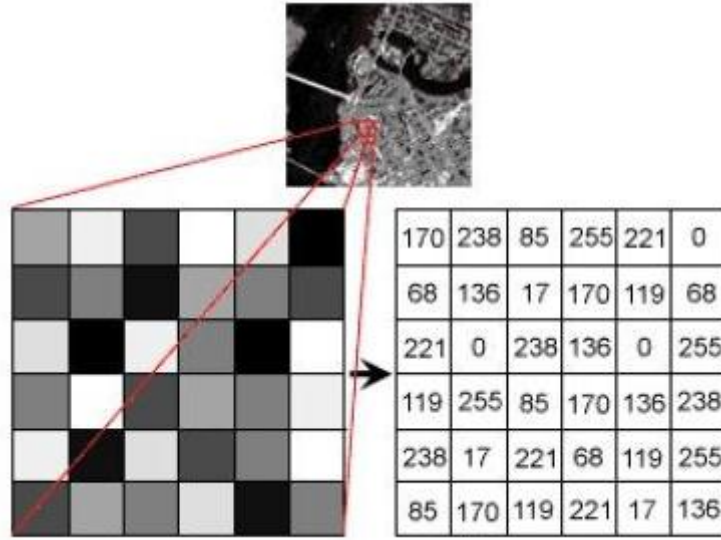
2.2.3.2. Coğrafi bilgi sistemlerinde veri modelleri

Veriyi tanımlama ve kullanma şeklini belirleyen, kayıtların aranması için gerekli erişim yollarını gösteren, veri tabloları arasındaki ilişkileri açıklayan kurallar dizinine veri modeli denir. CBS veri modeli, konumsal veri tipinin gösterimini sağlayan matematiksel yapıdır. Coğrafi tabanlı sayısal konumsal veriyi CBS platformunda saklamak ve işlemek için iki konumsal veri modeli kullanılmaktadır.

- Raster veri modeli
- Vektör veri modeli

CBS’de kullanılacak konumsal veri modeli seçiminde veri kaynağı, tipi ve verinin kullanım amacı göz önünde bulundurulur. Örneğin raster veri modeli analitik ve cebirsel modelleme için daha uygun olacağı gibi, çözünürlük ve veri saklama boyutu açısından vektör veri modeli daha kullanışlıdır.

Raster veri modeli: Hücresel veri modeli olarak da adlandırılan raster veri modeli daha çok süreklilik özelliğine sahip coğrafi varlıkların ifadesinde kullanılır. Raster görüntü, birbirine komşu grid yapıdaki aynı boyutlu hücrelerin bir araya gelmesiyle oluşur. Raster veri iki boyutlu ortamda düzenli grid yapısında satır ve kolonlara bölünmüş hücrelerden oluşur. Bu hücrelerin her birine piksel denir. Piksel sayısal ortamda bir resmin bölünemeyen en küçük parçasıdır.



Şekil 2.3. Raster veri modeli

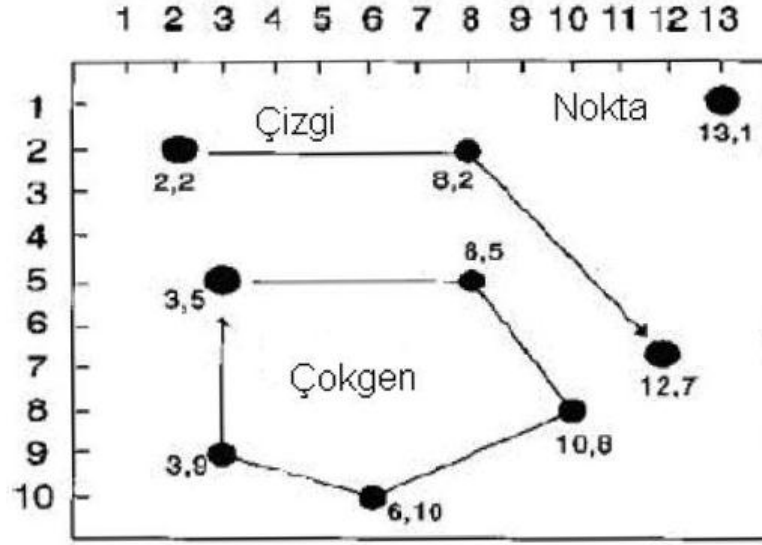
Vektör veri modeli: Vektör veri modelinde, nokta, çizgi ve poligonlar koordinat değerleriyle kodlanarak depolanırlar. Vektör veri modelinde temel veri elemanı noktadır. Diğer veri elemanları noktaların birleşmesi sonucunda oluşur. CBS uygulamaları için iki temel vektör veri modeli kullanılır.

- Spagettiveri modeli
- Topolojikveri modeli

Spagetti veri modeli genellikle CAD yazılımları ile üretilen, objelerin sadece x ve y koordinatlarından oluşan, objelerin birbirleri ile konumsal ilişkilerinin saklanmadığı veri modelidir. Veri elemanları nokta, çizgi ve poligon olarak tanımlanır ve elemanları oluşturan nokta koordinatları ve veri tipleri “spagetti” veri modelinin temelini oluşturur. Spagetti veri modelinde topoloji kullanılmaz. Diğer bir deyişle veri elemanlarının birbirleri ile olan bağlanırlık, bitişiklik ve yakınlık gibi konumsal ilişkileri, spagetti veri modelinde kullanılmaz. Örneğin yan yana iki parselin ortak sınırı spagetti veri modelinde poligon tanımı ile iki kere çizilerek her poligon için ayrı saklanır. Bu nedenle spagetti veri modelinde konumsal sorgulamalar kısıtlıdır.

Topolojik veri modelinden bahsetmeden önce topoloji kavramının tanımını yinelersek; topoloji, nokta, çizgi ve alansal objelerin birbirleri ile olan konumsal ilişkilerini inceleyen matematik bilim dalıdır. Topolojik veri modeli, veri elemanlarını (nokta, çizgi, poligon) birbirleri ile olan konumsal ilişkileri ile birlikte

tanımlamaktadır. Topolojik yapı bağlantı (connectivity), bitişiklik (adjacency) ve yakınlık (proximity) olmak üzere üç temel ilkeye dayanmaktadır. Topolojik yapının bu temel ilkeleri CBS’de konumsal sorgulama ve analiz olanağı sunmaktadır. Örnek verecek olursak komşu iki parsel örneğindeki sınır çizgisi, topolojik veride bir defa çizilir ve sınır çizgisinin iki yanındaki parseller belirtilir (Uyguçgil 2011b).



Şekil 2.4. Vektör veri modeli

2.2.4. Coğrafi bilgi sistemlerinde katman yapısı

CBS konumsal verileri farklı temalarda gruplama özelliğine sahiptir. Bu gruplar ortak koordinat sistemi içerisinde veri tipi, modeli ve veri elemanın özelliklerine göre katmanlara ayrılmalıdır. Katman yapısının temel ilkesi, farklı gruplardaki yeryüzü elemanlarını haritadaki gösterim karmaşasından kurtarmaktır. Katman yapısı CBS'nin en önemli özelliklerinden biridir. Projelendirme aşamasında, önce amaç belirlenmeli ve uygun katmanlar saptanmalıdır. Amaca uygun saptanan katmanlar, aynı zamanda veritabanı modelini de kaba hatları ile şekillendirmektedir. Farklı temalardaki yeryüzü elemanları, veritabanı modelini oluşturan tabloların tanımlarını belirlemektedir. Temaların yanı sıra konumsal veri tipleri (nokta, çizgi, poligon) katman tanımlamasında belirleyici bir parametredir (Uyguçgil 2011b).

2.2.5. Coğrafi bilgi sistemlerinde kullanılan analiz yöntemleri

CBS diğer bilgi sistemlerinden farklı olarak, konumsal bilgiyi görsel platformda işleyebilen, saklayan, analiz edebilen bir karar destek sistemidir. Coğrafi Bilgi Sistemlerini farklı yapan temel görsel analiz yöntemleri;

- Konumsal kaynak envanteri,
- Ağ (şebeke) analizleri,
- Yer seçimi analizleri,
- Yüzey analizleri,
- Zamana bağlı konumsal değişiklik analizleri

olarak sıralanabilir (Uyguçgil 2011a).

2.2.5.1. Konumsal kaynak envanteri

CBS veritabanı ortamında veri toplama ve depolama yeteneği sayesinde doğal kaynakların envanter çalışmaları için ideal bir araç olarak kendini kanıtlamıştır. Kaynak envanteri oluşturulurken sadece nitel ve nicel öznel bilgilerini değil, aynı zamanda kaynakların konumsal bilgilerini de veritabanı ortamında depolayabilmektedir. Böylece CBS, nerede, ne kadar, ne var sorularına en kısa sürede yanıt verebildiği gibi, konumsal analizler yardımı ile de hangi kaynağın hangi amaçla kullanılması gerektiği sorularını da yanıtlamaktadır (Uyguçgil 2011a).

2.2.5.2. Ağ analizleri

CBS, ağ analizleri ile hizmet yönetimi ve otomatik haritalama alanlarında abone hizmeti sunan kurum ve kuruluşlara, görsel analiz desteği sağlamaktadır. Ağ analizleri elektrik, su ve gaz dağıtım kuruluşlarının şebeke yönetiminde kullanılabilmesinin yanı sıra o kuruluşların abone yönetim bilgi sistemleri ile entegre edilebilir. Böylece acil durumlarda elektrik, su ve gaz şebekelerinde hangi vanayı veya şalteri kapatırsam istenilen bölgedeki elektrik, su ve gazı kesebilirim sorularına yanıt bulunabilmektedir.

Ayrıca CBS bu yeteneği sayesinde, taşımacılık ve ulaşım alanlarında yol ağları bilgisini kullanarak en kısa yol ve zaman analizleri yapabilmektedir.

Özellikle araç filosu olan şirket veya kuruluşlarda araç takip sistemleri, küresel konumlandırma sistemleri (GPS) yardımı ile hizmet vermektedir. Buna ek olarak, bu analizler acil durumlarda, itfaiye, ambulans ve polis araçlarına yol gösterici olarak kullanılmaktadır (Uyguçgil 2011a).

2.2.5.3. Yer seçimi analizleri

CBS öznitelik bilgilerini ve coğrafi objelerin birbirleri ile olan konumsal ilişkilerini birlikte kullanarak, konumsal sorgulama yeteneği ile herhangi bir amaç için en uygun yer seçimi yapabilmektedir. Basit bir örnek vermek gerekirse CBS konumsal analiz yeteneği ile yeterli tüm parametreler verildiğinde bir kentte yeni açılması düşünülen alış-veriş merkezinin en uygun konumu için yer seçenekleri sunabilir (Uyguçgil 2011a).

2.2.5.4. Yüzey analizleri

CBS sayısal arazi modeli kullanarak doğal afetler için tehlikeli zonları, görülebilirlik, eğim, bakı, kapsama alanları vb. analizleri gerçekleştirebilir. Deprem, sel gibi doğal afetlerin, yükseklik verileri ile ilgili olan risk haritaları, yüzey analizleri kullanılarak yapılmaktadır. Doğal afet risk bölgeleri CBS ile önceden belirlenerek, gerekli önlemlerin alınması sağlanmaktadır.

Yüzey analizleri ile ayrıca, yeni yapılması hedeflenen baraj ve göletler için yer seçimi, kaç metre küp su birikeceği, nerelerin su altında kalacağı, baraj kret kotunun ne olması gerektiği, biriken suyun uygulayacağı basınç vb. sorgulamalar yapılabilmektedir (Uyguçgil 2011a).

2.2.5.5. Zamana bağlı konumsal değişiklik analizleri

CBS uydu ve hava fotoğraflarını kullanarak, belirli bir lokasyonda veya bölgede zaman içerisinde nelerin değiştiğini veya farklı tarihler için var olan sayısal haritaları karşılaştırarak, toprak yapısı, arazi kullanım, nüfus yoğunluğu, bitki örtüsü vb. değişiklikleri ve değişim nedenlerini zamana bağlı konumsal değişiklik analizleri ile inceleyebilmektedir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda yapılacak modelleme çalışmaları ile gelecekte oluşabilecek değişimlerin nerelerde ve neden olacağı konusunda öngörüler sunabilmektedir (Uyguçgil 2011a).

2.3. Konumsal İnterpolasyon Yöntemleri

İnterpolasyon, sözlük anlamı olarak, var olan (bilinen) değerlerden yola çıkarak, bilinmeyen değerleri tahmin etmeye yarayan yöntemlerin tümüne verilen genel isimdir. Konumsal interpolasyon (tahminleme) ise, değeri ölçülmüş (örneklenmiş) belirli konumların (noktaların) değerlerinden yararlanarak, ölçülmemiş konumların değerlerinin kestirimidir.

Çalışmada karşılaştırması yapılan konumsal interpolasyon yöntemlerinin temel ortak noktası, her yöntemin örnek noktalarının konumsal bilgisini kullanıyor olmasıdır. Konumsal interpolasyon yöntemlerinin tümü, değeri bilinmeyen konumlarda değer tahmini yapabilmek için çevresindeki örnek nokta değerlerinin ağırlıklandırılmış doğrusal bileşenine gereksinim duymaktadırlar.

$$Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot Z(x_i) \quad (2.1)$$

Denklem (2.1)'de;

$Z^*(x_0)$: x_0 konumundaki örneklenmemiş interpolate değeri,

$Z(x_i)$: x_i konumundaki örnek noktası değerini,

λ_i : i . örnek değerlerine atanmış ağırlık değerini,

n : örnek nokta sayısını

ifade etmektedir (Uyguçgil 2007).

λ_i , ağırlık değeri her yonteme göre farklılık göstermektedir. Örneğin, doğal komşuluk yönteminde belirlenen alan etki alanı olarak tanımlanıp, alan içindeki tüm noktalara aynı değer atanırken, uzaklığın tersi ile ağırlıklandırma yönteminde örnek noktasına, değeri hesaplanacak konuma olan uzaklığına göre etki değerleri atanmaktadır (Uyguçgil 2007).

Coğrafi Bilgi Sistemlerinde konumsal interpolasyon yöntemleri yükseklik, yağış, sıcaklık, toprağın herhangi bir kimyasal değeri vb. mekânsal bazlı olguları tahmin etmek için kullanılır. CBS'de konumsal interpolasyon yöntemlerinin kullanılmasındaki temel amaç, noktasal (süreksiz - discrete) veriden, yüzeysel

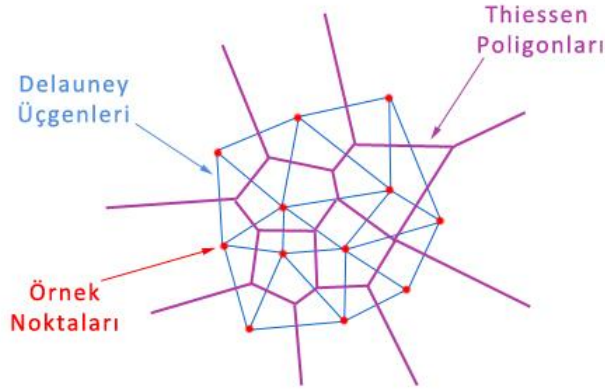
(sürekli – continuous) veri üretmek konumsal analiz yapabilmektir. CBS yazılımlarında kullanılan başlıca konumsal interpolasyon yöntemleri;

- Doğal komşuluk - Natural neighbor,
- Uzaklığın Tersine ile Ağırlıklandırma - Inverse Distance Weighting - IDW,
- İki Aşamalı Değer Bulma - Kriging,

olarak sıralanabilir.

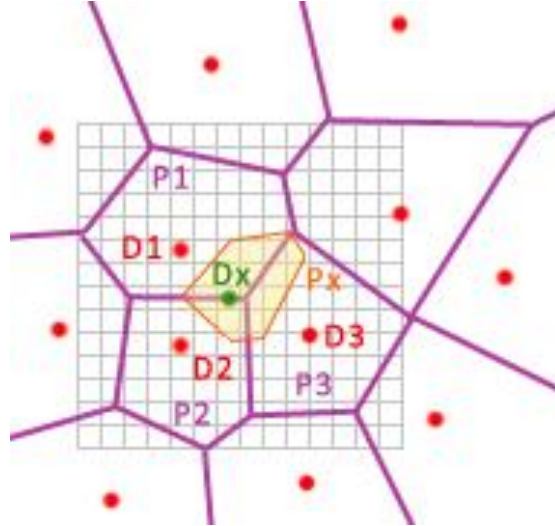
2.3.1. Doğal komşuluk

Doğal komşuluk (natural neighbor) yöntemi konumsal interpolasyon yöntemleri arasında çözümlenmesi en basit olanıdır. Bu yöntem ilk defa Robin Sibson tarafından 1981 yılında ortaya konmuştur. Veri setindeki her bir noktanın çevresinde üretilen doğal komşuluk bölgelerini kullanan geometrik bir interpolasyon tekniğidir. Örnek veri noktalarının düzensiz yoğunlukta dağıtıldığında kullanılacak en uygun yöntemdir. İlk adım Delauney üçgenleme yöntemi ile noktalar arasında düzensiz üçgenlenmiş ağ (Triangulated Irregular Network – TIN) oluşturulur. İkinci adımda ise noktalar arası uzaklığın ortasından geçecek Thiessen – voronoi poligonları oluşturulur (Şekil 2.5).



Şekil 2.5. Delauney üçgenleri ve thiessen poligonları

Yöntemde üçüncü adım, değeri hesaplanması hedeflenen konumda bir nokta (D_x) olduğu varsayılarak, üçgenleme yenilenir ve o nokta için yeni bir thiessen poligon (P_x) oluşturulur (Şekil 2.6). İşlemin temel hedefi, tüm konumsal interpolasyon yöntemlerinde olduğu gibi, sürekli (continuous) raster veri üretmektir. Bilindiği üzere sürekli raster veriler, piksellere değer atanan grid yapısında verilerdir. Yöntemde, oluşturulan yeni thiessen poligonun diğer poligonlarla kesiştiğinde elde edilen alan ($A(P_1 \cap P_x)$), yeni poligonun alanına ($A(P_x)$) oranlanarak, bilinen nokta değeri (D_1) ile çarpılır ve işlem gören tüm poligonların oranları toplanarak piksel değeri elde edilir. Elde edilecek raster verideki her piksel için bir nokta olduğu varsayılır ve tüm piksel değerleri (2.2)'de verilen işlemlerle hesaplanır.



Şekil 2.6. Yeni oluşturulan thiessen poligonu

Şekil 2.6'da görülen D_x noktasının üstünde bulunduğu piksel değerini hesaplamak için;

$$D_x = \frac{A(P_1 \cap P_x)}{A(P_x)} \cdot D_1 + \frac{A(P_2 \cap P_x)}{A(P_x)} \cdot D_2 + \frac{A(P_3 \cap P_x)}{A(P_x)} \cdot D_3 \quad (2.2)$$

Denklem (2.2)'de;

D_x : x konumundaki örneklenmemiş interpolate edilecek piksel değerini,

$A(P_1 \cap P_x)$: P_1 ve P_x poligonlarının kesişimi ile elde edilen alansal büyüklük değerini, ayrıca P_2 ve P_3 işleme giren diğer poligonları,

$A(P_x)$: P_x poligonunun alansal büyüklük değerini,

D_1, D_2 ve D_3 : örnek noktalarının ölçüm değerini

ifade etmektedir (Anonim 2013). Her piksel (Şekil 2.6’da verilen gri karelaj) için değer hesaplandıktan sonra, doğal komşuluk yöntemi ile sürekli raster veri elde edilir.

2.3.2. Uzaklığın tersi ile ağırlıklandırma

Uzaklığın tersi ile ağırlıklandırma (inverse distance weighting - idw), yakın noktalara uzak noktalardan daha yüksek ağırlık değeri atayan interpolasyon yöntemidir. Her örnek noktası, değeri tahmin edilecek noktaya olan uzaklığına ters oranda ağırlık değeri alır (Isaaks ve Srivastava 1989). x_0 noktasındaki tahmini değer aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$Z_{IDW}^*(x_0) = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^p} \cdot Z(x_i)}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^p}} \quad (2.3)$$

Denklem (2.3)’de;

$Z_{IDW}^*(x_0)$: x_0 konumundaki örneklenmemiş, interpolate edilecek değeri,

$Z(x_i)$: x_i konumundaki örnek noktası değerini,

d : örnek noktası ile interpolate edilecek nokta arasındaki uzaklığı,

p : üssel değeri,

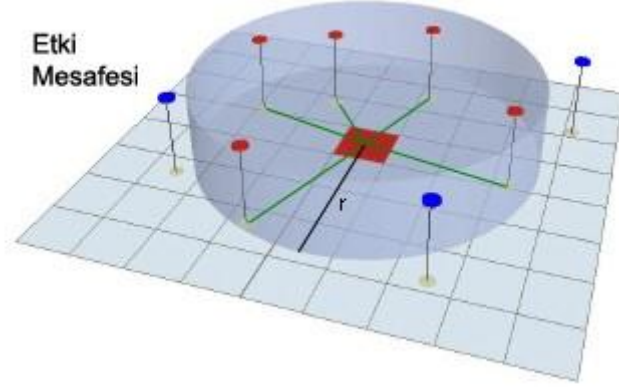
n : örnek nokta sayısını

ifade etmektedir.

Denklem (2.3)’de p değeri azaldıkça, örnek noktalarına atanan ağırlık değerleri birbirine yaklaşır, arttıkça değerler farklılaşır. En yüksek ağırlık değeri en yakın örnek noktası için atanır. Genellikle p değeri iki (2) olarak kullanılır (Isaaks ve Srivastava 1989).

Uzaklığın tersi ile ağırlıklandırma yönteminde tahmin değerlerini önemli ölçüde etkileyen, eşitlikte tanımlanmayan parametreler bulunmaktadır. Bu parametrelerin en önemlilerinden biri “etki mesafesi” dir. Etki mesafesi, belirli

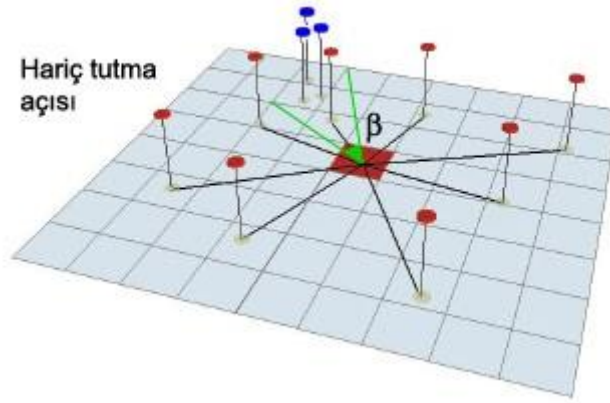
uzaklıktaki gözlem değerlerinin hesaplamada kullanılabileceğini ifade eder. Etki mesafesinden daha uzakta olan noktalar hesaplamalara dahil edilmez. Şekil 2.7’de gösterildiği üzere r yarıçapı etki mesafesi olarak belirlenmiş olup, mavi renkle gösterilen gözlem değerleri etki mesafesinden daha uzakta olduğu için hesaplamaya dâhil edilmemektedir (Uyguçgil 2007).



Şekil 2.7.Etki mesafesi (Uyguçgil 2007)

Bu parametrelerin bir diğeri “*hariç tutma açısı*”dır. Bu parametre sayesinde hariç tutma açısının süpürdüğü alanda bulunan gözlem değerlerinin sadece en yakında olanı hesaplamaya dâhil edilmektedir. Böylece tek yönde ortaya çıkacak fazla ağırlık değerinin meydana getireceği yanıltıcı sonuçlardan kaçınılmış olacaktır. Şekil 2.8’de gösterildiği gibi β açısının süpürdüğü alanda kalan gözlem noktalarında mavi renkli olanlar hesaplamaya dahi edilmemekte, bu alanda sadece tahmin değeri hesaplanacak noktaya en yakın gözlem değeri hesaplamada kullanılmaktadır (Uyguçgil 2007).

Yöntemde, ağırlık fonksiyonunun uzaklıkla ters orantılı alınması uzakta olan noktaların interpolasyon sonucuna etkilerinin azaltılması amacını taşımaktadır. Yerel ortalama yöntemine benzer fakat örneklenmemiş yere yakın örnekler, daha uzaktaki örneklere göre hesaplamadaha fazla etkiye sahiptir. Yöntemde bilinmeyen noktanın değerinin, uzaktakilere kıyasla, yakındakilere benzer değerlere sahip olduğu varsayılır. Bu nedenle bilinmeyen noktalara yakın olan noktalar, yapılan hesaplamalarda daha fazla etkiye sahip olmaktadır.



Şekil 2.8. Hariç tutma açısı (Uyguçgil 2007)

Uzaklığın tersi ile ağırlıklandırma yöntemi, toprak analiz haritalarının hazırlanmasının dışında yağış, sıcaklık, sayısal yükseklik modellerinin oluşturulması vb. birçok alanda kullanılmaktadır (Uyguçgil 2007).

2.2.3. Kriging

Doğrusal, sistematik sapması olmayan en iyi tahminleyici olarak tanımlanmaktadır (*Best Linear Unbiased Estimator – BLUE*). Kriging yönteminde hesaplanan kestirimler örnek noktalarının doğrusal birleşimleri olduğu için doğrusaldır. Sıfıra eşit ortalama hata elde etmeye çalışan bir yöntem olduğu için sistematik sapması (*unbiased*) yoktur. Tercan ve Saraç (1998), sistematik sapma olmaması durumunu (*unbiasedness*) “yansızlık” olarak Türkçe’ye çevirmişlerdir. Ayrıca hataların varyansını en küçüklemeyi amaçladığı için en iyi tahminleyicidir (Isaaks ve Srivastava 1989).

Uzaklığın tersi ile ağırlıklandırma yöntemine benzer şekilde, kriging katsayıları gözlem yapılmamış noktaların çevresindeki değeri bilinen gözlem noktalarından tahmin edilmektedir. Her iki yöntemde de interpolate edilecek konuma yakın gözlem değerleri, uzak gözlem değerlerinden daha etkilidir. Kriging katsayılarının hesaplama yöntemi uzaklığın tersi ile ağırlıklandırma yöntemine kıyasla daha karmaşıktır. Uzaklığın tersi ile ağırlıklandırma yönteminde uzaklığa bağlı basit yordamlar (algoritma) kullanılırken, kriging yönteminde verinin konumsal yapısını ele alan semivariogram modelleri kullanılmaktadır (Uyguçgil 2007).

Variogram, bölgeselleşmiş değişkenlerin değerleri arasındaki fark ile bu değerler arasındaki uzaklığın bir fonksiyonudur. Semivariogramın konumsal modellenmesi, deneysel semivariogram grafiğinin oluşturulması ile başlar. Birbirinden lag adı verilen h uzaklığı ile ayrılan tüm örnek çiftlerinin değişken değeri farklarının karesinin yarısı semivaryans $[\gamma(h)]$ olarak adlandırılır. Deneysel semivariogram değerleri, örnek noktaları kullanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (2.4)$$

Denklem (2.4)'de;

$\gamma(h)$: h uzaklığı için hesaplanacak deneysel semivariogram değerini,

$Z(x_i)$: x_i konumundaki örnek noktası değerini,

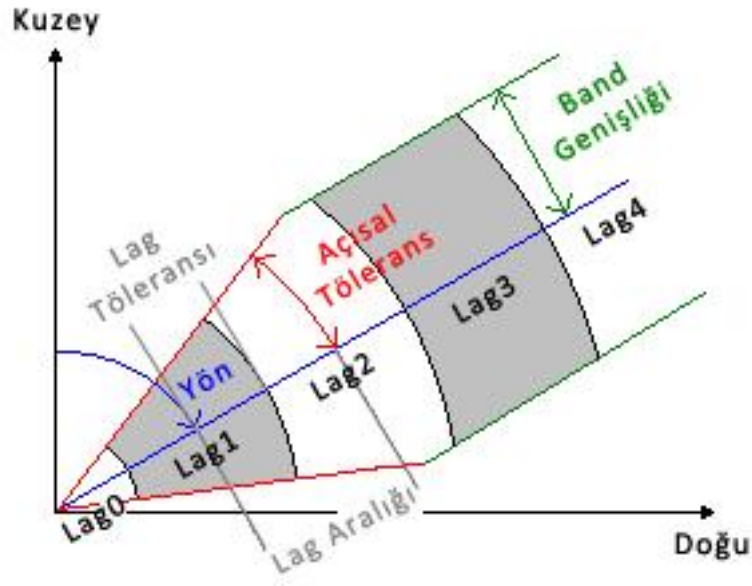
$Z(x_i + h)$: $x_i + h$ konumundaki örnek noktası değerini,

$N(h)$: birbirinden h uzaklığı ile ayrılmış örnek çifti adedini

ifade etmektedir (Uyguçgil 2007).

$\gamma(h)$ değerlerinin h uzaklığına göre grafiği deneysel semivariogram olarak adlandırılır. Semivariogram birbirinden h uzaklığı ile ayrılmış örnek noktaları arasındaki farklılığın ortalamasını ölçmektedir. Genellikle bu farklılık lag uzaklığı arttıkça artış göstermektedir.

Deneysel semivariogram değerleri hesaplanırken, ilk olarak; lag aralığı veya lag artışı olarak adlandırılan iki lag arası farkın ve ikinci olarak; lag toleransı olarak tanımlanan uzaklık toleransının belirlenmesi gerekmektedir. Çoğunlukla örnek noktaları doğada düzenli bir dağılım göstermezler. Bu sorunun giderilmesi için örnek çiftleri belirlenen lag toleransı içinde gruplandırılırlar. Semivariogram fonksiyonuna en yumuşak kavisi veren lag toleransı seçilmelidir. Bu değer genellikle lag aralığının yarısına eşittir (Şekil 2.9).

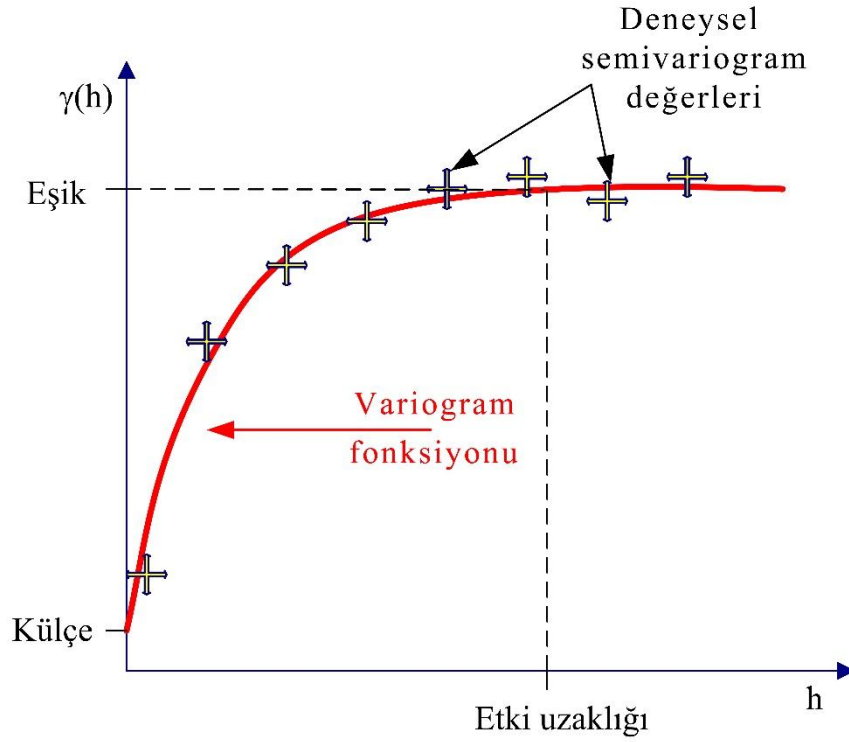


Şekil 2.9. Semivariogram hesaplama parametreleri

Deneysel semivariogram değerleri hesaplandıktan sonra değerlere uygun variogram fonksiyonu için bir variogram modeli seçilir. Variogram fonksiyonunun aldığı en üst değer eşik (sill), etki uzaklığı ve külçe (nugget) etkisi olmak üzere üç özellik göze çarpar. Örnek noktaları arasındaki uzaklık arttıkça variogram değeri de artar. Sonuçta variogram fonksiyonu en üst değere ulaşır. Bu değere eşik (sill) denir. Variogram fonksiyonunun eşik değerine ulaştığı uzaklık ise etki uzaklığı olarak tanımlanır. Bu uzaklıktan sonra noktalar arasında konumsal bir ilişki söz konusu değildir. Teorik olarak "0" uzaklığı için variogram değeri kesinlikle "0" dır. Ancak örnek alma hataları, ölçekleme değişkenliği gibi birçok etken çok küçük uzaklıklarla ayrılan benzer olmayan örnek verilerinin oluşmasına neden olmaktadır. Bu durum variogramın orijinde süreksizliğine neden olur ve külçe (nugget) etkisi olarak tanımlanmaktadır (Şekil 2.10).

Deneysel semivariogram hesaplamalarının hassas bir şekilde yapılabilmesi, yeterli sayıda örnek noktası ile orantılıdır. Doğru bir semivariogram tahmini yapılabilmesi için üç kural bulunmaktadır.

- Hesaplanan her deneysel semivariogram değeri için en az 30 örnek çifti gereklidir.



Şekil 2.10. Variogram elemanları (Uyguçgil 2007)

- Semivariogramın tanımlayacağı bölgeden seçilen örnekler, bölgeyi en az $\frac{3}{4}$ oranında temsil etmelidir.
- Lag aralığı örnekleme alanındaki en uzak mesafenin yarısı ile sınırlandırılmalıdır (Uyguçgil 2007).

Yöntem, yeterli veri çifti toplandığı ve doğru bir şekilde kullanıldığında diğer konumsal interpolasyon yöntemlerine göre karmaşık olmasına rağmen, gerçeğe en yakın sonuç alınmasına olanak sağlamaktadır. Kriging iki aşamalıdır. İlk aşamada, ham veriler üzerinde değişkenliğin tahmini yapılır ve uygun variogram fonksiyonu elde edilir. Variogram fonksiyon, etki mesafesini ve verideki değişimindeki yönselliği (anizotropi) saptamak için kullanılır. Daha sonra kriging yöntemi uygulanır. Kriging yönteminde öncelikle, değeri bilinen örnek noktalarının, ne kadar etkili olduğunu belirleyen ağırlık katsayıları (λ) elde edilir.

Ordinary, simple, indicator, universal vb. çeşitli kriging yöntemleri bulunmaktadır. Çalışmada ordinary kriging yöntemi kullanılmıştır. Ordinary kriging sıkça kullanılan, oldukça güvenilir sonuçlar verdiği için birçok veri seti için önerilen bir kriging yöntemidir. Ordinary kriging sistematik sapması olmayan

(yansız) ve tahmin hata ortalamasının sıfıra eşit olduğu bir interpolasyon yöntemidir. Ordinary Kriging yöntemi ile değeri bilinmeyen \mathbf{x}_0 konumundaki tahmini değer aşağıdaki şekilde hesaplanır;

$$Z_{OK}^*(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot Z(x_i) \quad (2.5)$$

Denklem (2.5)'de;

$Z_{OK}^*(\mathbf{x}_0)$: \mathbf{x}_0 konumundaki örneklenmemiş, interpolate edilecek değeri,

$Z(\mathbf{x}_i)$: \mathbf{x}_i konumundaki örnek noktası değerini,

λ_i : i inci örnek değerlerine atanmış ağırlık değerini,

n : örnek nokta sayısını

ifade etmektedir (Uyguçgil 2007).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Çalışma Alanı ve Konumu

Eskişehir ili İç Anadolu Bölgesi'nin kuzeybatısında, güneyde Afyon, güneydoğuda Konya, doğu ve kuzeydoğuda Ankara, kuzeyde Bolu, batı ve kuzeybatıda Bilecik, batı ve güneybatıda Kütahya illeri ile çevrilmiştir. Eskişehir ili 29° 58' ve 32° 04' doğu boylamları, 39° 06' ve 40° 09' kuzey enlemleri arasındadır. İl merkezinin deniz seviyesinden yüksekliği 792 metredir.

İl merkezinin bulunduğu Odunpazarı ve Tepebaşı ilçeleri dâhil toplam 14 ilçe ve 430 köyü vardır. İl merkezi dışında Alpu, Beylikova, Çifteler, Günyüzü, Han, İnönü, Mahmudiye, Mihalgazi, Mihalıççık, Sarıcakaya, Seyitgazi ve Sivrihisar olmak üzere 12 ilçe bulunmaktadır. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi verilerine göre 2013 yılı Eskişehir il nüfusu 799.724 olarak belirtilmiştir.

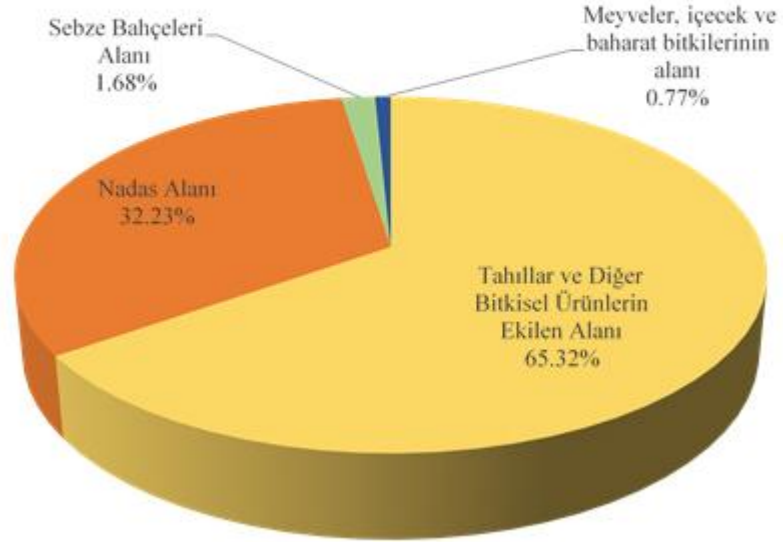
Coğrafi konumunun sağladığı avantaj ile Eskişehir, Anadolu'nun batıya açılan kapısı durumundadır. Demiryolu ile karayollarının kavşağında olması, tarımda ve sanayideki gelişmeler Eskişehir'i ekonomik bakımdan önemli bir merkez haline getirmiştir. Arazi olarak düz bir yapıya sahip olması, topraklarının verimli oluşu tarımsal alanda da Eskişehir'i ülke genelinde söz sahibi yapmaktadır. Eskişehir ilinin toplam yüzölçümü 1.365.248 hektar olup, bunun %42'si tarım arazisi, %25'i çayır-mera, %26'sı orman, funda ve çalılık ve %7'si diğer araziler olarak dağılım göstermektedir. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) 2013 yılı verilerine göre; Eskişehir ili genelinde toplam 5.736.395 dekar tarım alanı bulunmakta olup, tahıllar ve diğer bitkisel ürünlerin ekili olduğu tarım alanları 3.747.097 dekar, nadasa bırakılan tarım alanları 1.848.555 dekar, sebze bahçeleri 96.339 dekar, meyve, içecek ve baharat bitkilerinin ekili olduğu tarım alanları 44.363 dekar ve son olarak süs bitkileri ekili tarım alanları 41 dekar olarak bildirilmiştir (Çizelge 3.1).

Çizelge 3.1. 2013 yılı Eskişehir ili tarım alanları dağılımı.

<i>Eskişehir İli Tarım Alanı Dağılımı (2013)</i>	<i>Alan (dekar)</i>
Tahıllar ve Diğer Bitkisel Ürünlerin Ekilen Alanı	3.747.097
Nadas Alanı	1.848.555
Sebze Bahçeleri Alanı	96.339
Meyveler, içecek ve baharat bitkilerinin alanı	44.363
Süs Bitkileri Alanı	41
Toplam Tarım Alanı	5.736.395

Kaynak: TÜİK

Eskişehir İli Tarım Alanları Dağılımı (2013)



Şekil 3.1. Eskişehir ili tarım alanları dağılım grafiği

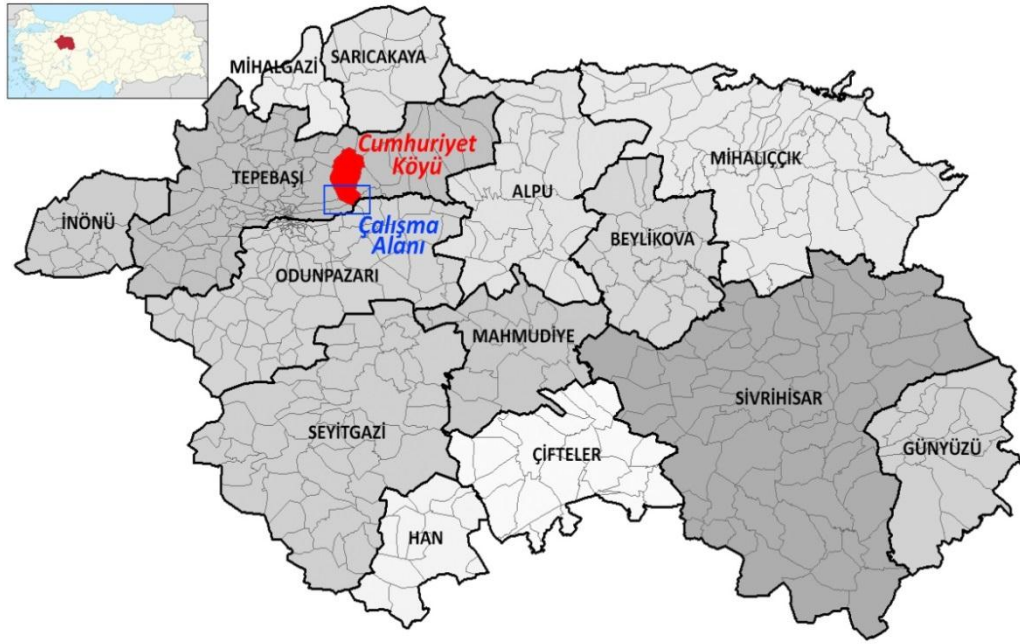
Tarımsal üretimin başlıca çeşitleri tahıllar, baklagiller, şekerpancarı, ayçiçeği, meyve sebzelerdir (Çizelge 3.2). Tarımsal alandaki geniş ürün yelpazesi ile Eskişehir, tarıma dayalı sanayinin gelişmesine öncülük etmiştir. Kentte bulunan şeker fabrikası, bisküvi ve unlu mamuller üreten çok sayıdaki tesis buna örnektir.

Çizelge 3.2. Eskişehir ilinde 2013 yılı tarımsal üretimin başlıca ürünleri ve ekili alan dağılımı.

Ürün Adı	Ekili Alan (dekar)	Üretim (ton)
Buğday	1.862.934	548.828
Arpa	1.118.424	322.054
Soğan (kuru)	175.717	40.958
Şeker Pancarı	174.957	966.640
Ayçiçeği	132.071	43.097
Nohut	105.542	10.987
Çavdar	89.307	25.392
Fiğ	54.618	84.783
Domates	8.907	45.425

Kaynak: TÜİK

Çalışma alanı olarak Eskişehir İli, Tepebaşı İlçesi, Cumhuriyet Köyü sınırları içerisindeki ekim yapılan tarım alanları seçilmiştir. Bu alan köyün güneyinde olup, köyün kuzey kısmı, dağlık ve kısmen ormanlık alandan oluşmaktadır (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Çalışma alanı ve konumu.

3.2. Materyal

Çalışma alanı olarak belirlenen Cumhuriyet Köyü sınırları içerisindeki ekim yapılan tarım alanlarının parsel sınırlarını ile Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) platformunda altlık veri oluşturmak adına 1:5.000 ölçekli 6 adet kadastral pafta;

- ESKİŞEHİR-I25-A-18-A
- ESKİŞEHİR-I25-A-18-B
- ESKİŞEHİR-I25-A-18-C
- ESKİŞEHİR-I25-A-18-D
- ESKİŞEHİR-I25-A-19-A
- ESKİŞEHİR-I25-A-19-D

Tepebaşı İlçe Kadastro Müdürlüğünden temin edilmiştir. Çalışmada belirlenen noktalardan toprak örneklerini almak ve nokta konumlarını doğru belirlemek ve depolamak için küresel konumlandırma sistemi (GPS) tabanlı, altlık harita ve uydu görüntüsü sağlayan mobil donanım (Apple iPad) kullanılmıştır. Çalışmada tematik harita üretimi ve konumsal veri işleme için CBS yazılımı olarak ArcGIS ve NetCAD yazılımları kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan konumsal interpolasyon yöntemleri doğal komşuluk (natural neighbor), uzaklığın tersi ile ağırlıklandırma (inverse distance weighting) ve Kriging için ArcGIS Geostatistical Analyst modülü ve WinGSLib yazılımları kullanılmıştır.

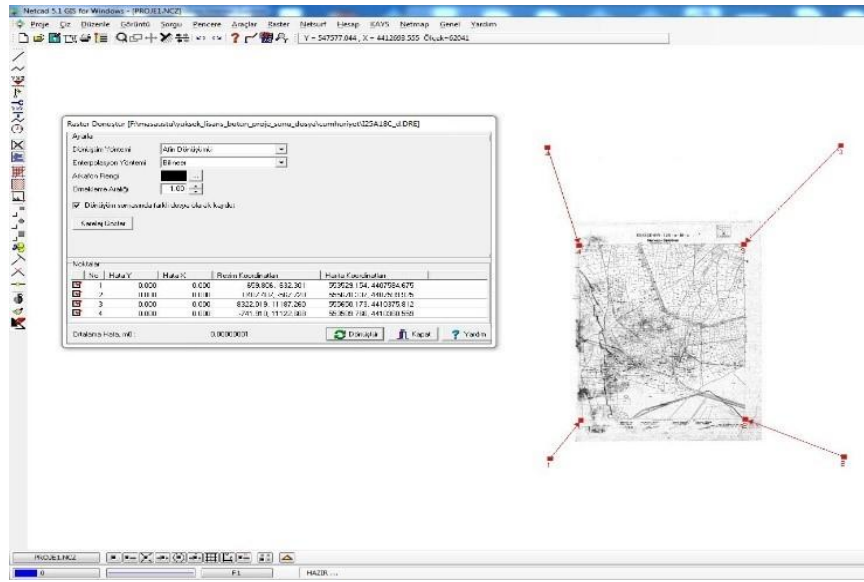
Arazide yapılan toprak örnek toplama çalışmasından sonra SERDA Su ve Tarımsal Analiz Laboratuvarından hizmet alma yöntemi ile örnekler üzerinde işba (bünye-saturation), pH, EC (elektriksel geçirgenlik - electrical conductivity), kireç, organik madde ve tuz analizleri yaptırılarak, analizlere temel oluşturulacak veri kaynağı oluşturulmuştur.

3.3. Yöntem

Çalışmanın yöntem bölümünde; çalışma alanına ait altlık verisinin nasıl oluşturulduğu ve oluşturulan altlık verisi üzerinden toprak örneği alınacak noktaların nasıl belirlendiği, toprak örneklerinin nasıl alındığı ve alınan toprak örneklerinden elde edilen analiz sonuçları ve bu analiz sonuçlarına dayalı olarak hazırlanan tematik haritalar ve tematik haritaların karşılaştırılmasında izlenen yol açıklanacaktır.

3.3.1. Büro ve Arazi Çalışmaları

Çalışma alanı sınırlarının belirlenmesi amacı ile öncelikle Tepebaşı İlçe Kadastro Müdürlüğü'nden temin edilen 6 adet 1:5.000 ölçekli kadastral paftaların konumlandırma (georeferencing) işlemi yapılmıştır. Bu amaçla A0 tarayıcı ile taranan paftalar, NetCAD yazılımı kullanılarak, pafta üzerinde bulunan karelej koordinat değerleri ile köşelere yakın en az 4 kontrol noktası üzerinden konumlandırılmıştır (Şekil 3.3). Konumlandırmada afin dönüşüm kullanılmış olup, dönüşüm işlemi sonundaki toplam hatanın, [göz yanılma X ölçek faktörü] değerini aşmamasına dikkat edilmiştir.

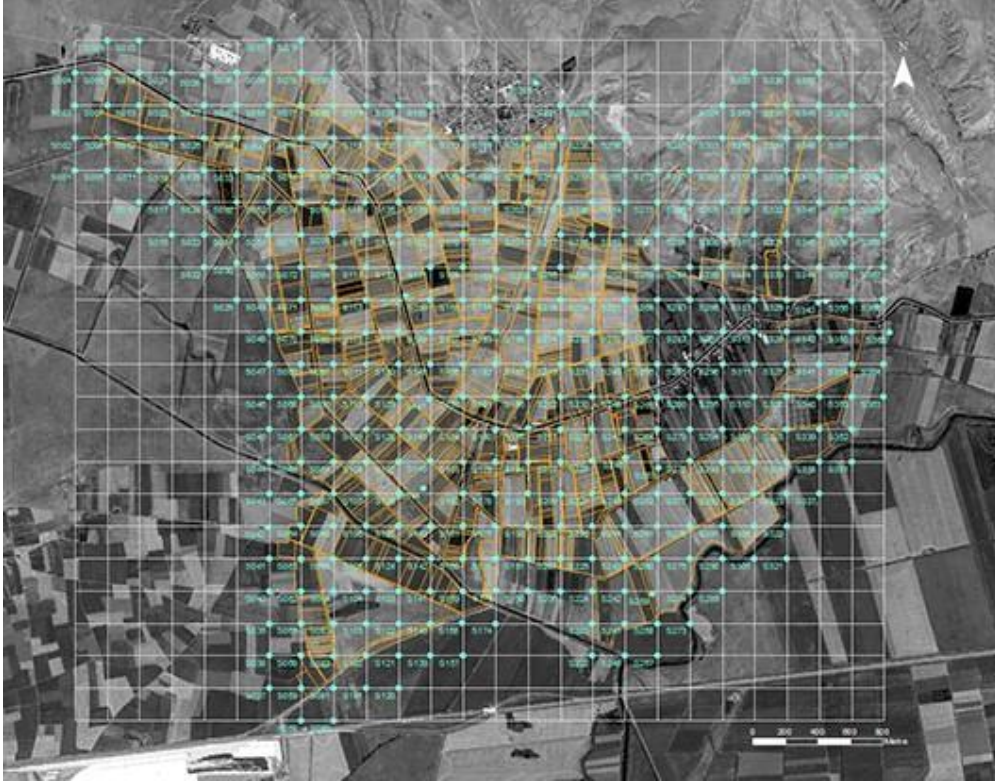


Şekil 3.3. Pafta konumlandırma (georeferencing) işlemi.

Konumlandırma işleminden sonra, toprak örnekleri alınacak bölgenin büyüklüğünü belirlemek için, konumlandırılmış paftalar üzerinden parseller ekrandan sayısallaştırılma yöntemi ile altlık parsel verisi oluşturulmuştur.

Örnek alma işleminde ızgara tipi örnekleme yöntemi kullanılmıştır. 1:5.000 ölçekli bir çalışmada detaylı bir çalışma yapmak amacı ile örnekler arası uzaklık 200 m. seçilmiştir. Cumhuriyet köyünün tarım parsellerin tümünü kapsayacak şekilde ızgara oluşturulmuş, daha sonra örnek alımı için ızgara kesim noktalarının koordinatları saptanmıştır. Örnek alma yöntem klasik ızgara merkezli yöntem benzer olup, çalışmada konumsal interpolasyon kullanıldığı için, ızgara merkezli yöntemde olduğu gibi, hücre merkezinin 2-3 m. çevresinden 7-10 örnek

alınıp karıştırılmamıştır. Konumsal interpolasyon yöntemlerinde konum ve o konumdan alınan değerler doğrudan kullanılmaktadır. Bu nedenle GPS destekli ve altlık harita görüntülemeye yarayan mobil donanım (Apple iPad) kullanılarak ızgara kesim noktalarından örnekleme yapılmıştır. Örnek alırken arazi koşullarına göre bazı konum değişiklikleri söz konusu olurken, bu durum bazı noktalarda örnekler arası mesafenin azalmasına ve artmasına neden olmuştur (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Örnek noktalarının konumu ve ızgara yapısı.

Örnek alma işleminde haritada hesaplanan ve konumu belirlenen ızgara kesişim noktaları esas alınmıştır. Altlık harita ve uydu verisi gösteren, bulunduğunuz konumu GPS destekli olarak haritada belirleyen mobil donanım yardımı ile örnek alınacak konumlara ulaşılmıştır. Örnek noktaları kodlandırılmış ve alınan toprak örnek çuvalları etiketlenmiştir.



Şekil 3.5. Toprak örneklerinin elde edilmesi çalışmaları (Orjinal,2014).

Belirli bir düzen ve sistematik içinde tamamlanan arazi çalışması sonunda 200 m. aralıklarla, ızgara yapısında toplam 370 toprak örneği elde edilmiştir.

3.3.2. Toprak analizi ve laboratuvar çalışmaları

Arazi çalışması sonunda 200 m. aralıklarla elde edilen 370 toprak örneği, etiketlenmiş çuvallar ile toprak analiz laboratuvarına gönderildi.

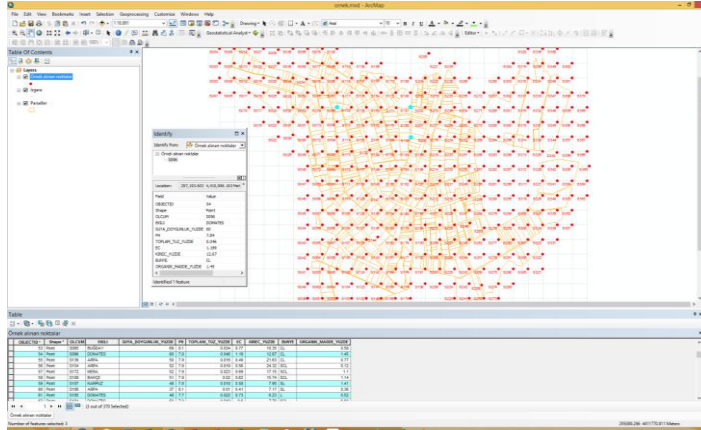


Şekil 3.6. Toprak örneklerinin analiz laboratuvarına ulaştırılması (Orjinal, 2014)

Bütün örnekler üzerinde, Anadolu Üniversitesi 1205F085 nolu Bilimsel Araştırma Projesi kapsamında sağlanan destek ile Serda Su ve Tarımsal Analiz Laboratuvarında suya doygunluk (%), pH, tuz (%), EC (elektriksel geçirgenlik – electrical conductivity), kireç (%) ve organik madde (%) analizleri yaptırıldı.

3.3.3. Tematik harita üretimi

Alınan toprak örnekleri numaralandırılarak kodlanmış ve örnek çuvalları bu kodlara göre etiketlenmiş olduğu için laboratuvardan gelen analiz sonuçları toprak örnek kodlarına göre tablo halinde teslim edilmiştir. Böylece analizler sonucunda elde edilen değerler, konumu bilinen nokta konumsal nesnelere (point feature), öznelik verileri olarak atanabilmektedir. Bu amaçla laboratuvar tarafından teslim edilen excel dosyası ArcGIS ortamındaki nokta konumsal nesne tablosu ile kodlar yardımı ile eşleştirilmiştir (Şekil 3.7). Eşleştirme aşamasında excel tablosu ArcGIS personal geodatabase platformuna aktarıldıktan sonra, MS Access yazılımı içinde SQL (Structured Query Language – Yapılandırılmış Sorgulama Dili) kullanılmıştır.



Şekil 3.7. Örnek noktalarının öznelik verileri (analiz sonuçları) ile eşleşmesi.

Tematik harita üretimindeki temel hedef örnek noktası alınan konumlardaki değerleri kullanarak, örnek alınmamış yerlerdeki değerleri tahmin etmektir. Noktasal veriden, diğer bir deyişle süresiz veriden sürekli veri elde etmek için çeşitli konumsal interpolasyon yöntemleri bulunmaktadır. Çalışmada, noktasal veriden sürekli veri elde etme amacı ile 3 farklı konumsal interpolasyon yöntemi kullanılmıştır. Üç farklı yöntemin kullanılma nedeni, yöntemler arasında

karşılaştırma yaparak, araziden toplanan değerler için, gerçeğe en yakın tahminlemenin hangi yöntem tarafından yapıldığını belirleyebilmektir.

Farklı yöntemlerle yapılan tahminlerin doğruluk oranını belirlemenin en özenli yöntemi, elde edilen tahmin değerlerinin yer gerçekleri ile karşılaştırılmasıdır. Bağımsız bir karşılaştırma yapabilmek için tekrar araziye giderek karşılaştırma verisi toplamak her zaman mümkün olmamaktadır. Bu nedenle çalışmada, araziden toplanan 370 veri örneğinin 300 tanesi konumsal interpolasyon sürecine dâhil edilmiştir. Rassal veri seçme yöntemi (jack-knife) ile belirlenen 70 nokta ise, tahmin sonuçlarının doğruluk analizi için ayrılıp yapılan interpolasyon sürecinde kullanılmamıştır.

300 nokta için doğal komşuluk (natural neighbor), uzaklığın tersi ile ağırlıklandırma (inverse distance weighting – idw) ve ordinary kriging tahminleme yöntemleri kullanılarak, her bir analiz sonucu (parametre) için farklı bir tematik harita üretilmiştir.

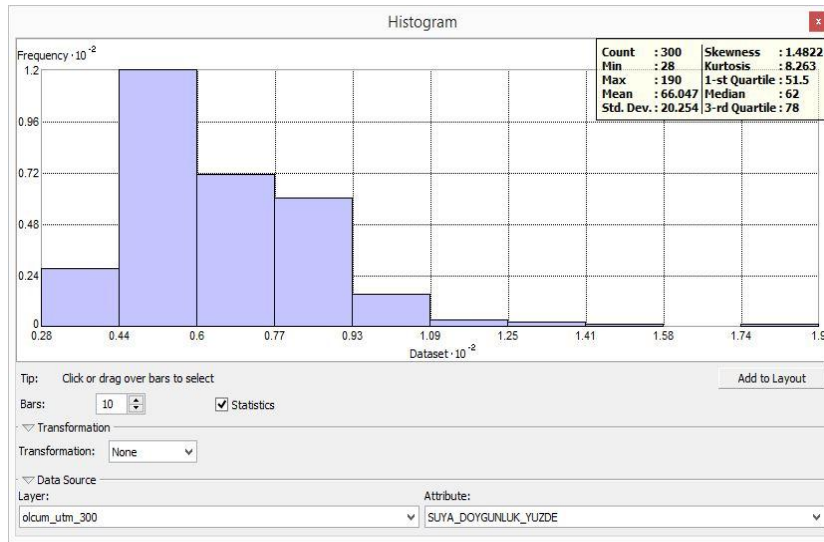
Bir veri setini kullanarak ara değerler tahmini yapabilmek için, veri seti değerlerinin normal dağılım göstermesi gerekir. Normal dağılım göstermeyen bir veri setinde ara değer tahmini sağlıklı sonuç vermez. Bu amaçla rassal seçilen 300 noktada konumsal interpolasyon işlemleri uygulanacak 6 analiz sonucu için istatistiksel dağılım parametreleri hesaplanmıştır (Çizelge 3.3). Normal dağılım göstergesi için en kolay ve pratik yöntem histogramın, çarpıklık ve basıklık katsayılarının incelenmesidir. Histogramın çarpıklık katsayısının sıfıra (0) yakın ve basıklık katsayısının ise üçe (3) yakın olması dağılımın normal olduğu kanısını kaba hatları ile belirlenmek için kullanılmaktadır. Dağılımın normal olmadığı durumlarda veri setini normalleştirmek gerekir. Bu gibi durumlarda değerler doğal logaritma, karekök, sin vb. işlemler kullanılarak normalleştirilir ve ara değer tahmin etme işlemi (konumsal interpolasyon) bu değerler üzerinden yapılır. Daha sonra elde edilen ara değerler, tersine çevrilir (e^x , karesi ve arcsin vb.).

Çizelge 3.3. İstatistiksel dağılım parametreleri.

	Suya Doygunluk	pH	Toplam Tuz	EC	Kireç	Organik Madde
Ortalama	66.0470	8.0277	0.0481	0.9758	10.1800	1.1598
Varyans	410.2245	0.0756	0.0088	1.0290	27.585	0.5064
Standart Sapma	20.2540	0.2750	0.0939	1.0144	5.2522	0.7116
Min	28	4.97	0.005	0.27	1.23	0.02
Max	190	8.89	1.426	11.73	43.47	6.63
Medyan	62	8.02	0.029	0.75	8.535	1.105
Çarpıklık Katsayısı	1.4822	-4.4128	11.1440	5.8920	2.6278	2.0416
Basıklık Katsayısı	8.2630	52.674	157.110	50.621	12.787	14.3530
Değişkenlik Katsayısı	0.3067	0.0343	1.9533	1.0396	0.5159	0.6135
Örnek Sayısı	300	300	300	300	300	300

3.3.3.1. Suya doyumluk

Suya doyumluk (%) değerlerinin dağılım parametreleri incelendiğinde, histogramın çarpıklık katsayısının 1.4822, basıklık katsayısının da 8.2630 olduğu gözlenmiş (Çizelge 3.3) ve veri seti histogramının normal dağılım göstermediği kanısına varılmıştır (Şekil 3.8).



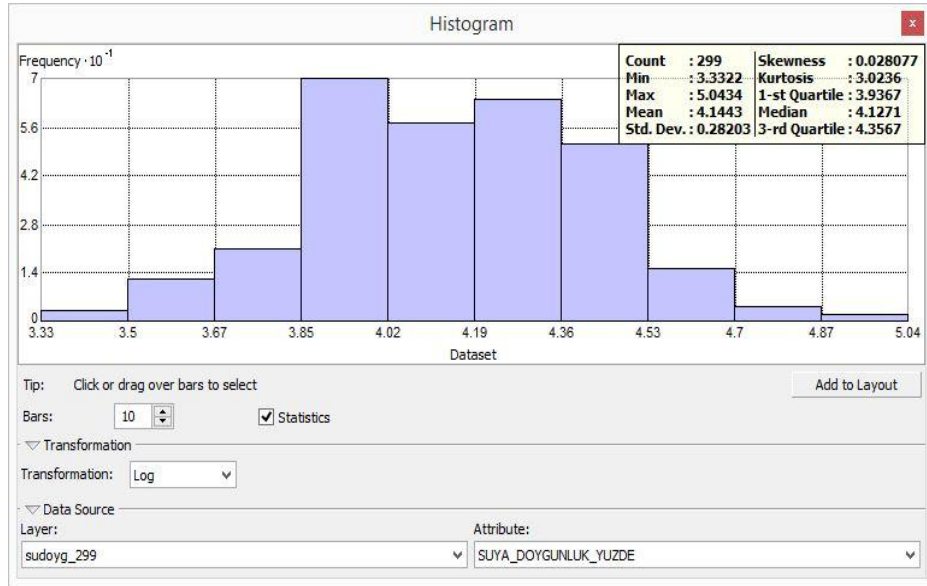
Şekil 3.8. Suya doyumluk değerlerinin histogramı.

Normalleştirmek için değerlerin doğal logaritması ($\ln(x)$) alınmış, normal dağılımı bozduğu düşünülen uç değerlerden bir tanesi, okuma hatası olarak nitelendirilip veri seti içinden çıkarılmıştır. Dönüştürülen veri seti istatistiksel dağılım parametreleri Çizelge 3.4’de detaylı olarak verilmiştir.

Çizelge 3.4. Dönüştürülen suya doygunluk değerlerinin istatistiksel dağılım parametreleri.

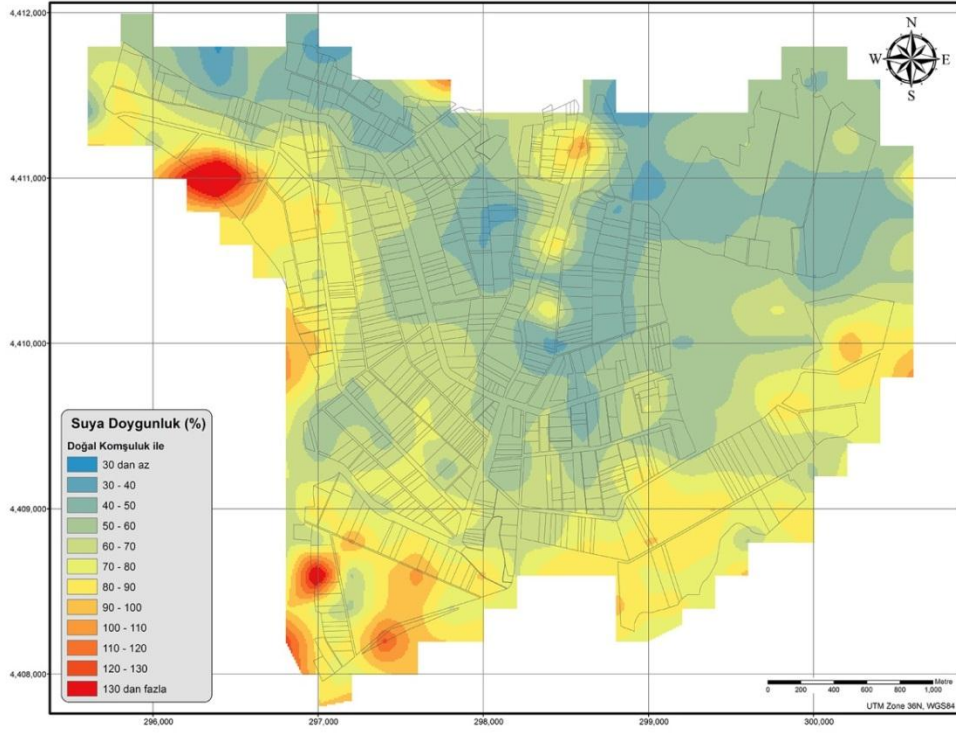
	ln(Suya Doygunluk)
Ortalama	4.1443
Varyans	0.0795
Standart Sapma	0.2820
Min	3.3322
Max	5.0434
Medyan	4.1271
Çarpıklık Katsayısı	0.0281
Basıklık Katsayısı	3.0236
Değişkenlik Katsayısı	0.0681
Örnek Sayısı	299

Suya doygunluk değerlerin doğal logaritma (ln) ile dönüştürüldükten sonra histogramın çarpıklık katsayısının 0.0281, sıfıra (0) oldukça yakın, basıklık katsayısının da 3.0236, üçe (3) yakın olduğu gözlenmiş ve dönüşmüş veri setinin normalleştiği kanısına varılmıştır (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Suya doygunluk değerlerinin doğal logaritma ile dönüştürüldükten sonraki histogramı.

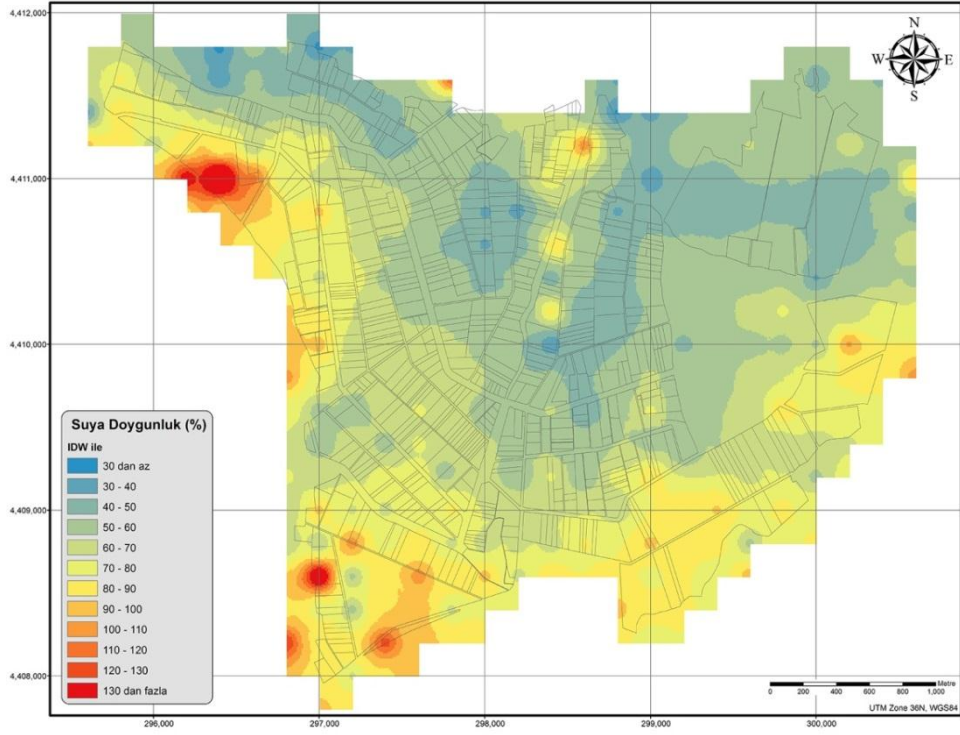
Normalleştirme işleminden sonra ilk olarak doğal komşuluk yöntemi ile konumsal interpolasyon işlemi uygulanmış ve elde edilen değerler $e^{\ln(x)} = x$ fonksiyonu ile tersine çevrilerek tahmin edilen değerler elde edilmiştir (Şekil 3.10).



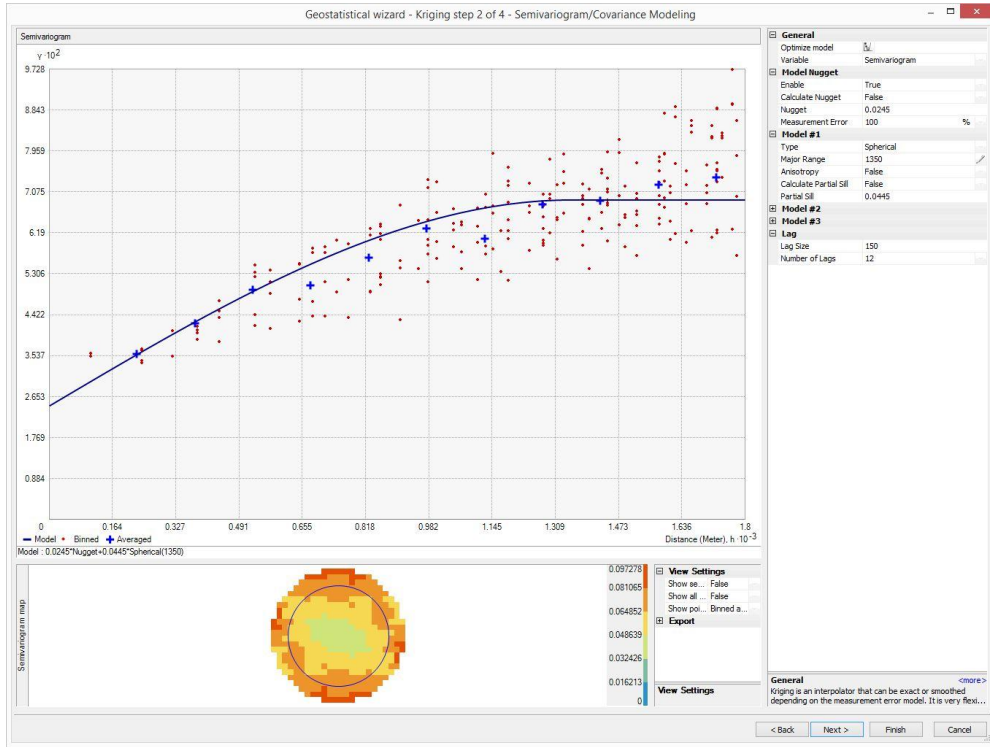
Şekil 3.10. Doğal komşuluk (natural neighbor) yöntemi ile suya doğunluk haritası.

Daha sonra benzer şekilde uzaklığın tersi ile ağırlıklandırma (idw) yöntemi kullanılarak konumsal interpolasyon sonucu suya doğunluk haritası üretilmiştir (Şekil 3.11).

Son olarak en iyi doğrusal tahminleyici (BLUE – Best Linear Unbiased Estimator) olarak tanımlanan Ordinary Kriging konumsal interpolasyon yöntemi kullanılmıştır. Yöntemde öncelikle semivariogram fonksiyonu hesaplanmış daha sonra elde edilen katsayı değerleri ile ordinary kriging uygulanmıştır (Şekil 3.12).

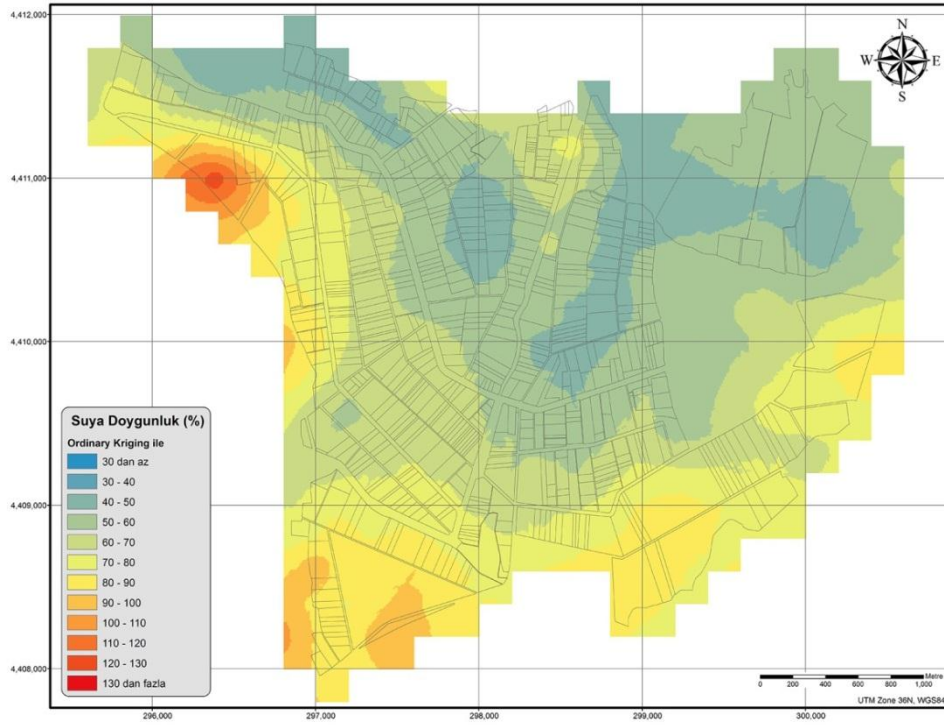


Şekil 3.11. Uzaklığın tersi ile ağırlıklandırma (IDW) yöntemi ile suya doğunluk haritası.



Şekil 3.12. Suya doğunluk için semivariogram fonksiyonu ve parametreleri.

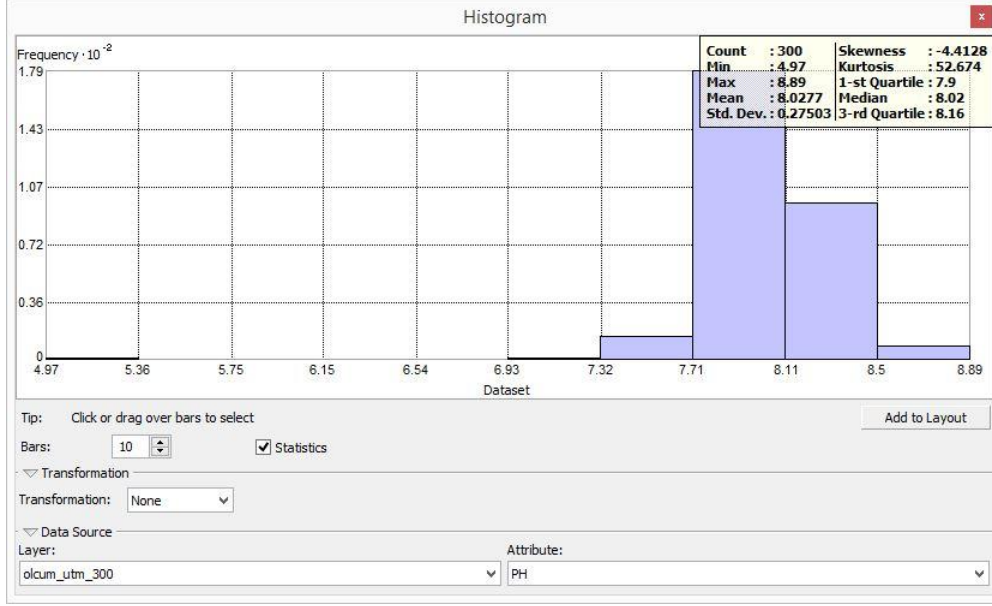
Semivariogram fonksiyonunu ve parametrelerini belirlerken dikkat edilmesi gereken husus, lag mesafelerine göre elde edilen örnek çifti semivariogram değerlerinin ilk iki noktasının seçilen fonksiyonun tam üzerinden geçmesi gerekir. Buna göre elde edilen fonksiyona göre ordinary kriging konumsal interpolasyon sonucu elde edilen suya doymuluk haritası Şekil 3.13’de verilmiştir.



Şekil 3.13. Ordinary kriging yöntemi ile suya doymuluk haritası.

3.3.3.2. pH değeri

pH değerlerinin dağılım parametreleri incelendiğinde, histogramın çarpıklık katsayısının -4.4128, basıklık katsayısının da 52.6740 olduğu gözlenmiş (Çizelge 3.3) ve veri seti histogramının normal dağılım göstermediği kanısına varılmıştır (Şekil 3.14).



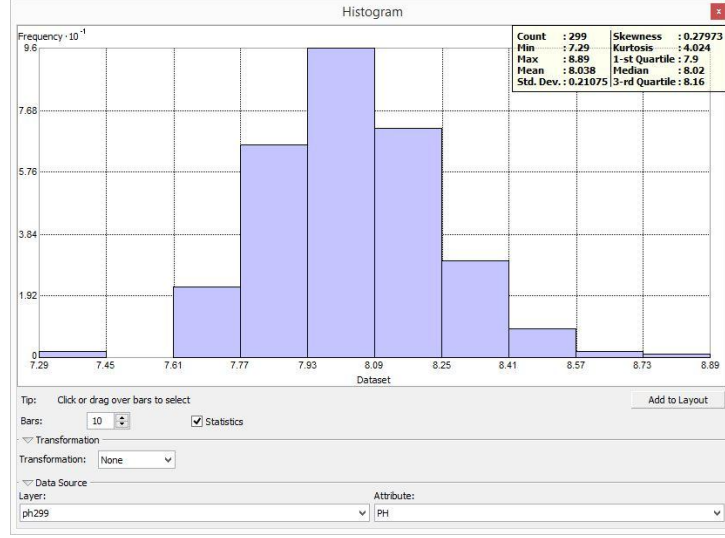
Şekil 3.14. pH değerlerinin histogramı.

Normal dağılımı bozduğu düşünülen uç değerlerden bir tanesi, okuma hatası olarak nitelendirilip veri seti içinden çıkarıldığında istatistiksel dağılım parametreleri Çizelge 3.5’de detaylı olarak verilmiştir.

Çizelge 3.5. Veri eksiltme sonucu pH değerlerinin istatistiksel dağılım parametreleri.

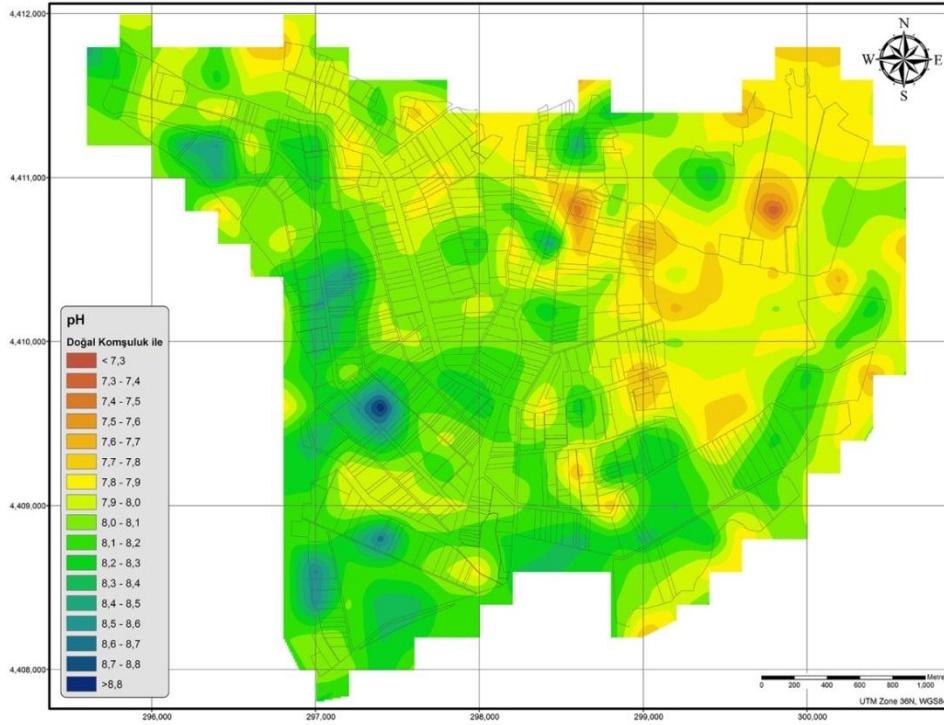
	pH
Ortalama	8.0380
Varyans	0.0444
Standart Sapma	0.2108
Min	7.29
Max	8.89
Medyan	8.02
Çarpıklık Katsayısı	0.2797
Basıklık Katsayısı	4.0240
Değişkenlik Katsayısı	0.0262
Örnek Sayısı	299

Son durumda histogramın çarpıklık katsayısının 0.2797, basıklık katsayısının 4.0240 olduğu gözlenmiş ve veri setinin nispeten normalleştiği kanısına varılmıştır (Şekil 3.15).

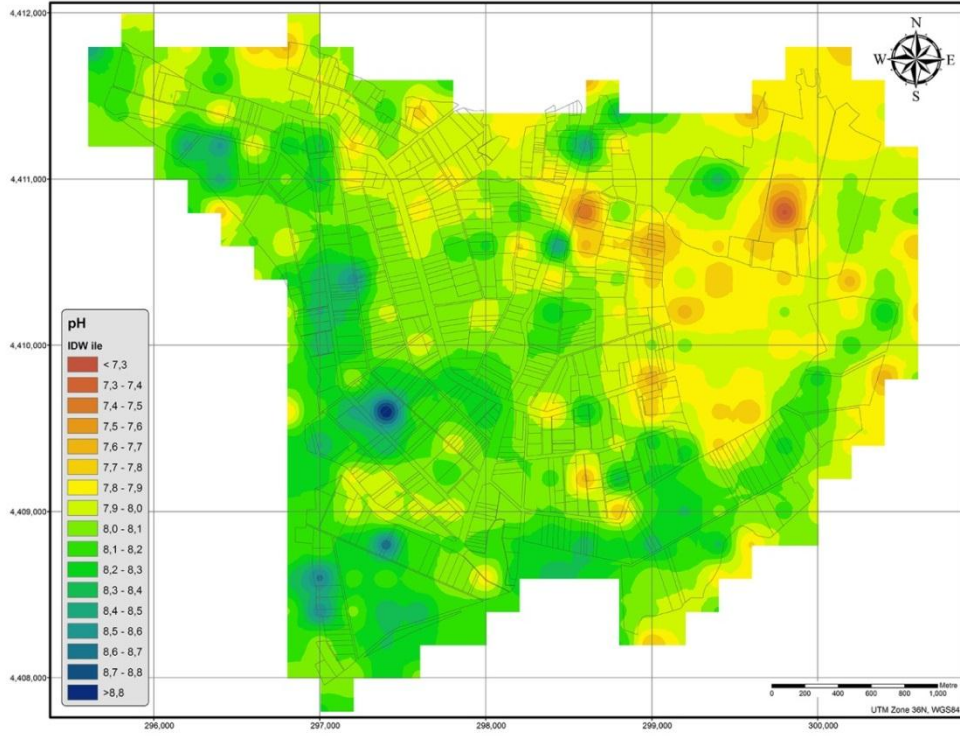


Şekil 3.15. Veri eksiltme işleminden sonraki pH değerleri histogramı.

Benzer şekilde pH değerleri için doğal komşuluk yöntemi ile (Şekil 3.16) ve IDW ile (Şekil 3.17) pH haritaları elde edilmiştir.

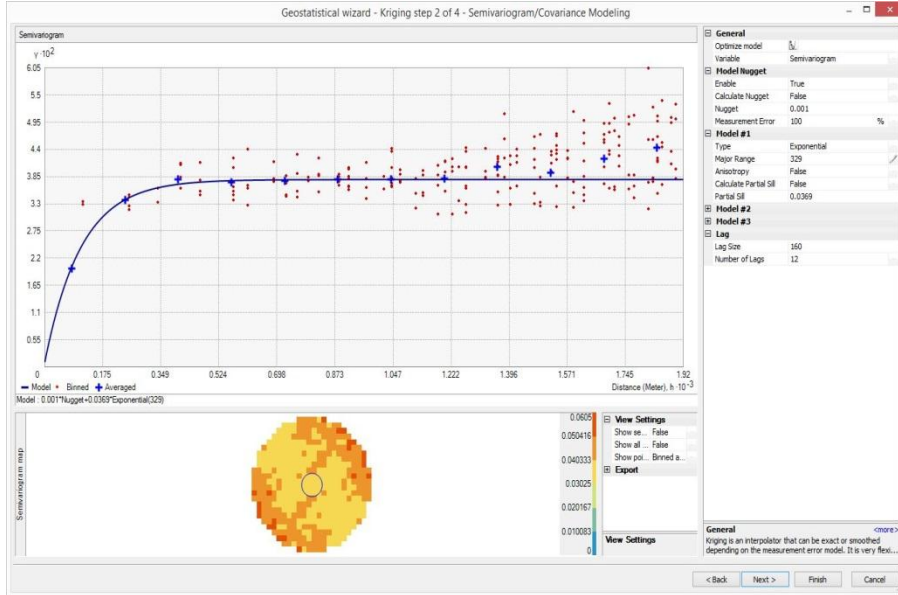


Şekil 3.16. Doğal komşuluk (natural neighbor) yöntemi ile pH haritası.

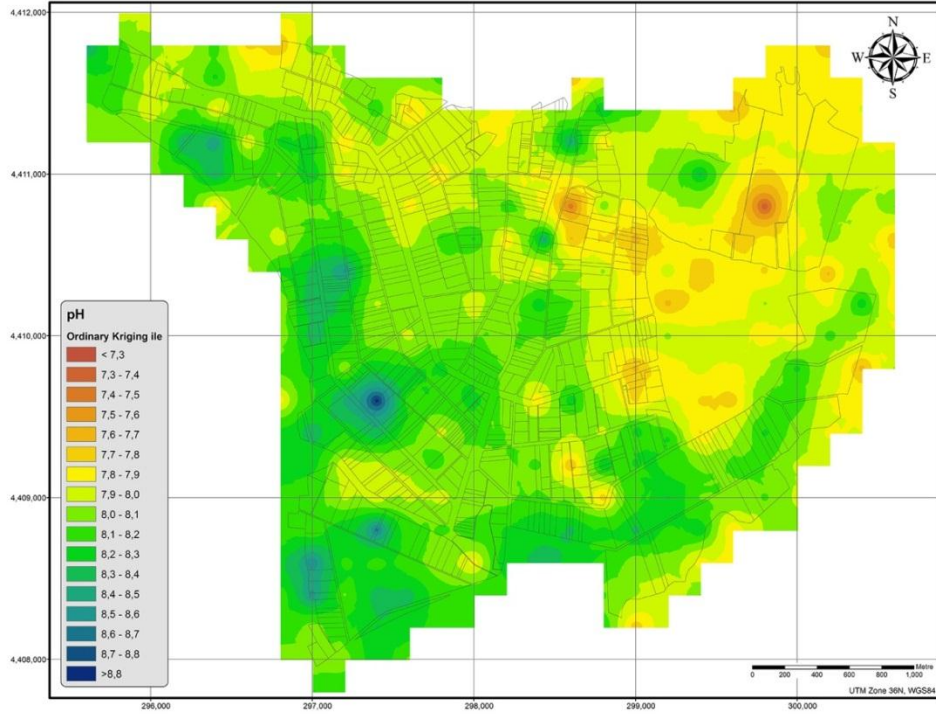


Şekil 3.17. Uzaklığın tersi ile ağırlıklandırma (IDW) yöntemi ile pH haritası.

Suya doygunluk değerlerinde olduğu gibi pH değerleri için de ordinary kriging yönteminde önce semivariogram fonksiyonu ve parametreleri bulunmuş, (Şekil 3.18) daha sonra ordinary kriging ile pH haritası elde edilmiştir (Şekil 3.19).



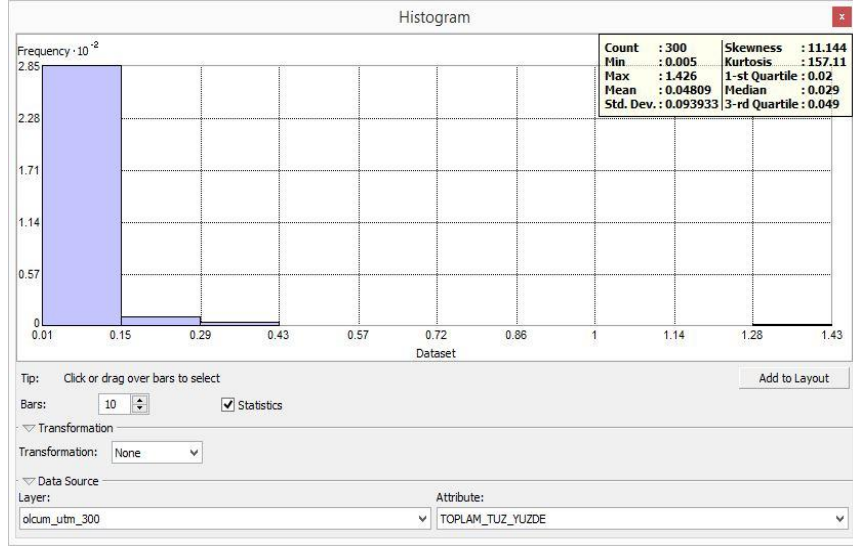
Şekil 3.18. pH değerleri için semivariogram fonksiyonu ve parametreleri.



Şekil 3.19. Ordinary kriging yöntemi ile pH haritası.

3.3.3.3. Toplam tuz

Toplam tuz (%) değerlerinin dağılım parametreleri incelendiğinde, histogramın çarpıklık katsayısının 11.144, basıklık katsayısının 157.11 olduğu gözlenmiş (Çizelge 3.3) ve veri seti histogramının normal dağılım göstermediği kanısına varılmıştır (Şekil 3.20). Benzer şekilde normalleştirmek için dönüşüm uygulanmış ve normal dağılımı bozduğu düşünülen uç değerlerden bir tanesi, okuma hatası olarak nitelendirilip veri seti içinden çıkarılmıştır. Dönüştürülen veri seti istatistiksel dağılım parametreleri Çizelge 3.6'de detaylı olarak verilmiştir. Dönüşüm sonucunda toplam tuz değerlerinin çarpıklık katsayısının 0.6664, basıklık katsayısının 4.1716 olduğu gözlenmiş ve dönüşmüş veri setinin eskiye oranla biraz daha normal dağılıma yaklaştığı kanısına varılmıştır (Şekil 3.21).

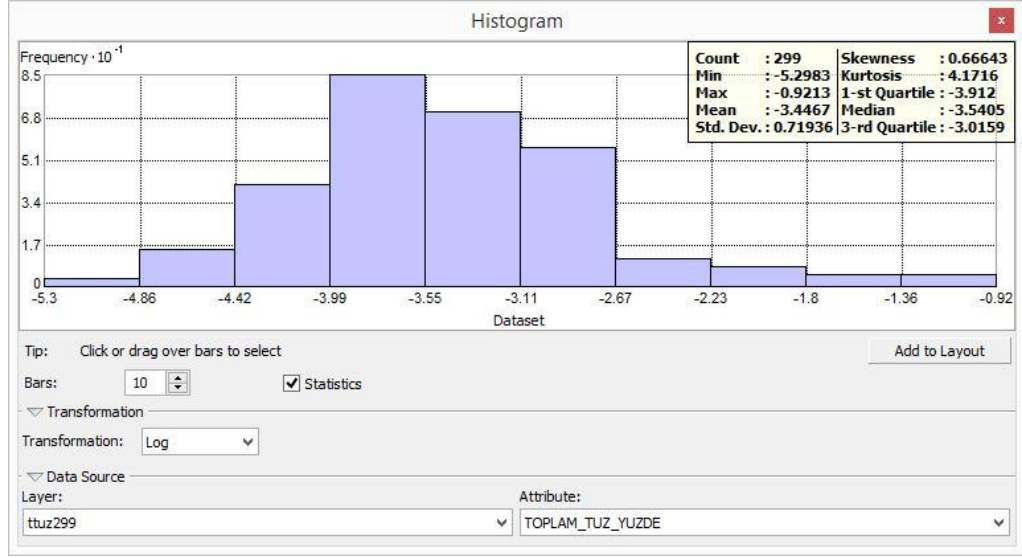


Şekil 3.20. Toplam tuz değerlerinin histogramı.

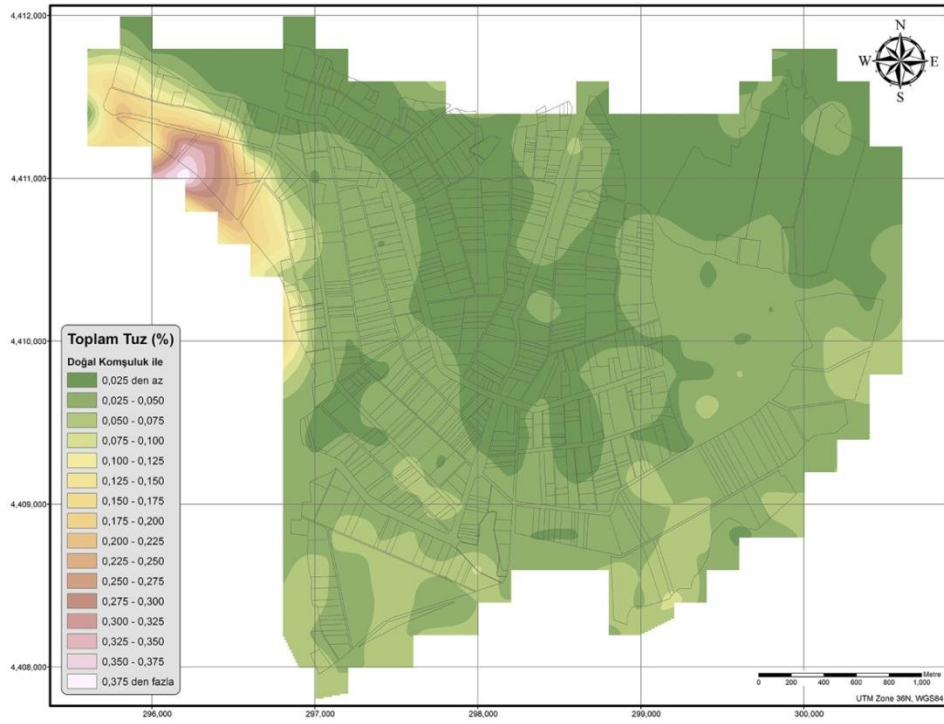
Çizelge 3.6. Dönüştürülen toplam tuz değerlerinin istatistiksel dağılım parametreleri.

	ln(Toplam Tuz)
Ortalama	-3.4467
Varyans	0.5175
Standart Sapma	0.7194
Min	-5.2983
Max	-0.9213
Medyan	-3.5405
Çarpıklık Katsayısı	0.6664
Basıklık Katsayısı	4.1716
Değişkenlik Katsayısı	-0.2087
Örnek Sayısı	299

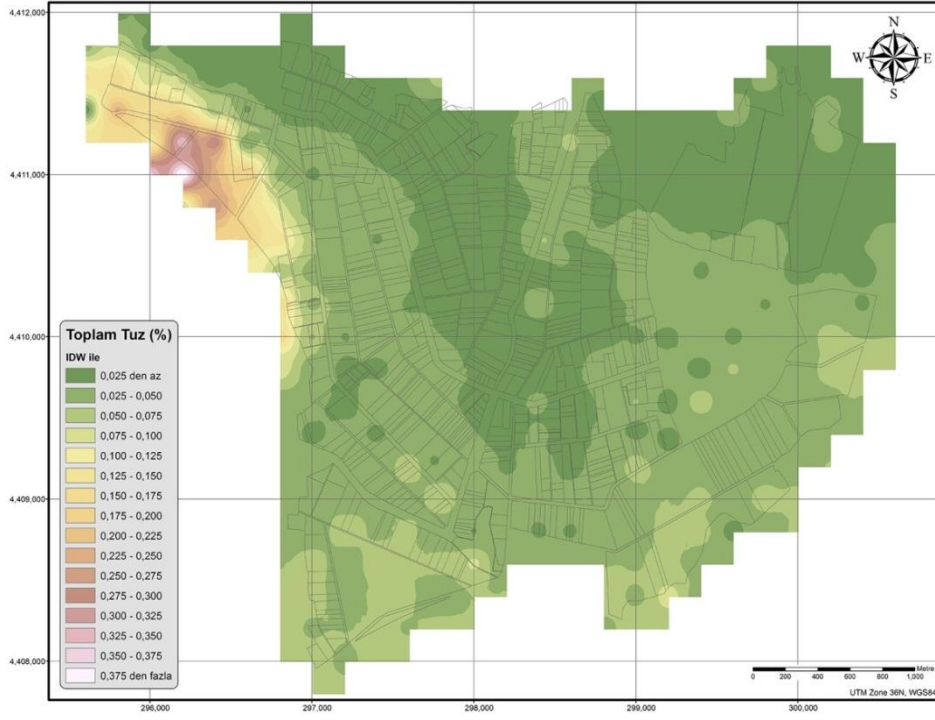
Diğer analizlerde olduğu gibi normalleştirme işleminden sonra ilk olarak doğal komşuluk yöntemi ile (Şekil 3.22) daha sonra uzaklığın tersi ile ağırlıklandırma (IDW) yöntemi ile (Şekil 3.23) ve son olarak semivariogram fonksiyonu elde edilerek (Şekil 3.24) ordinary kriging yöntemi ile (Şekil 3.25) toplam tuz haritası üretilmiştir. Tüm haritalar elde edilirken interpolasyon işleminden sonra geri dönüşüm işlemi uygulanmıştır.



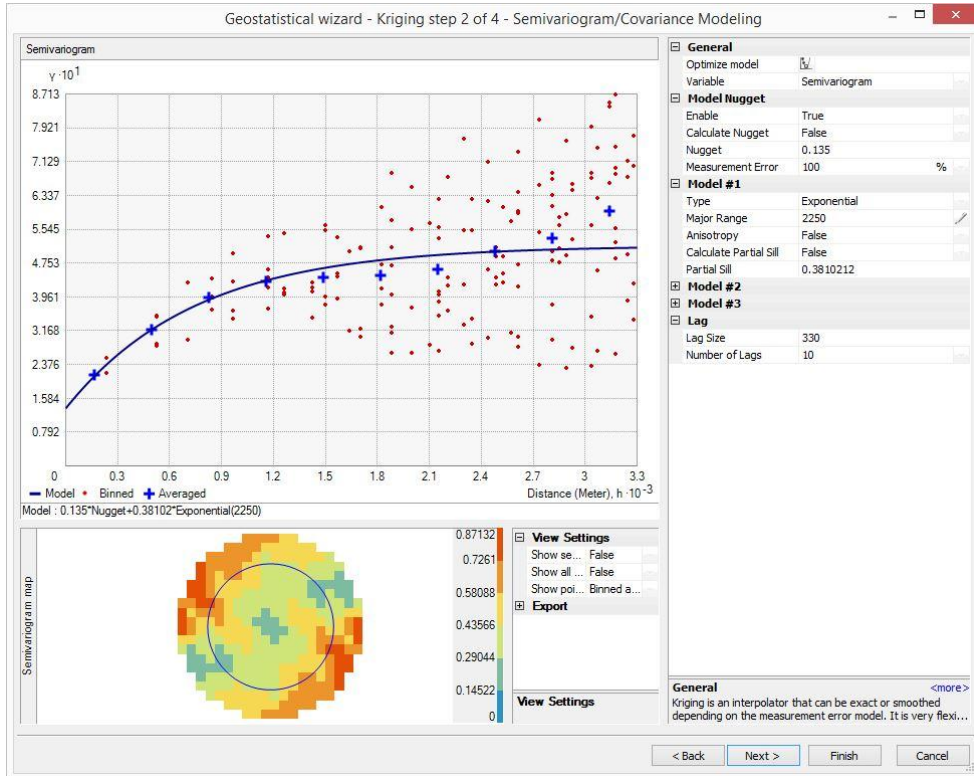
Şekil 3.21. Dönüştürülmüş toplam tuz değerleri histogramı.



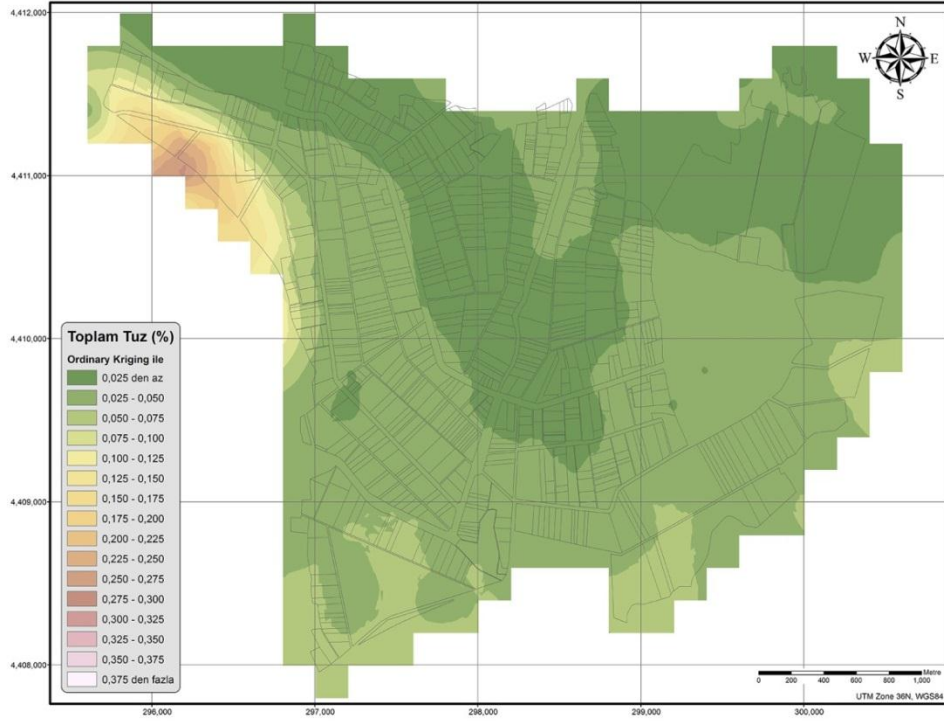
Şekil 3.22. Doğal komşuluk (natural neighbor) yöntemi ile toplam tuz haritası.



Şekil 3.23. Uzaklığın tersi ile ağırlıklandırma (IDW) yöntemi ile toplam tuz haritası.



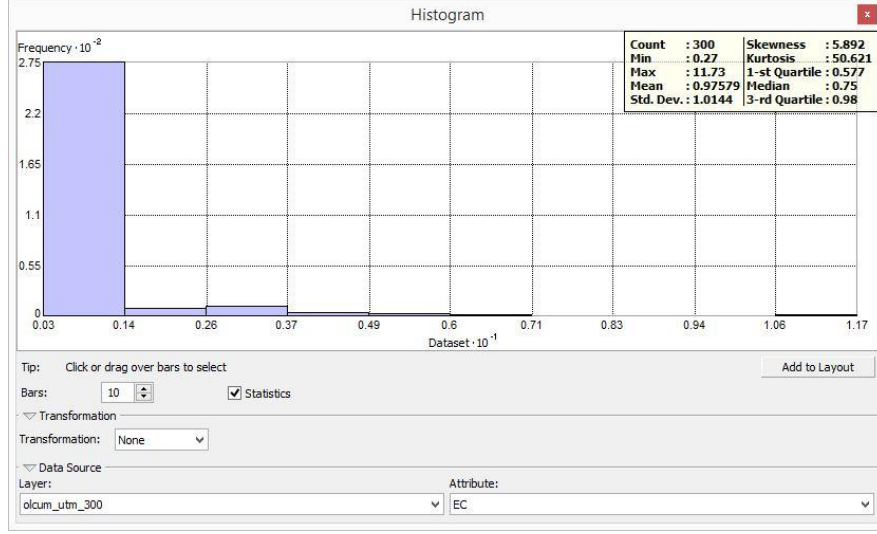
Şekil 3.24. Toplam tuz değerleri için semivariogram fonksiyonu ve parametreleri.



Şekil 3.25. Ordinary kriging yöntemi ile toplam tuz haritası.

3.3.3.4. Elektriksel iletkenlik (EC)

Elektriksel iletkenlik (EC) değerlerinin dağılım parametreleri incelendiğinde, histogramın çarpıklık katsayısının 5.892, basıklık katsayısının 50.621 olduğu gözlenmiş (Çizelge 3.3) ve veri seti histogramının normal dağılım göstermediği kanısına varılmıştır (Şekil 3.26). Benzer şekilde normalleştirmek için dönüşüm uygulanmış ve normal dağılımı bozduğu düşünülen uç değerlerden bir tanesi, okuma hatası olarak nitelendirilip veri seti içinden çıkarılmıştır. Dönüştürülen veri seti istatistiksel dağılım parametreleri Çizelge 3.7'de detaylı olarak verilmiştir. Dönüşüm sonucunda toplam tuz değerlerinin çarpıklık katsayısının 1.308, basıklık katsayısının 5.9457 olduğu gözlenmiş ve dönüşmüş veri setinin eskiye oranla biraz daha normal dağılıma yaklaştığı kanısına varılmıştır (Şekil 3.27).

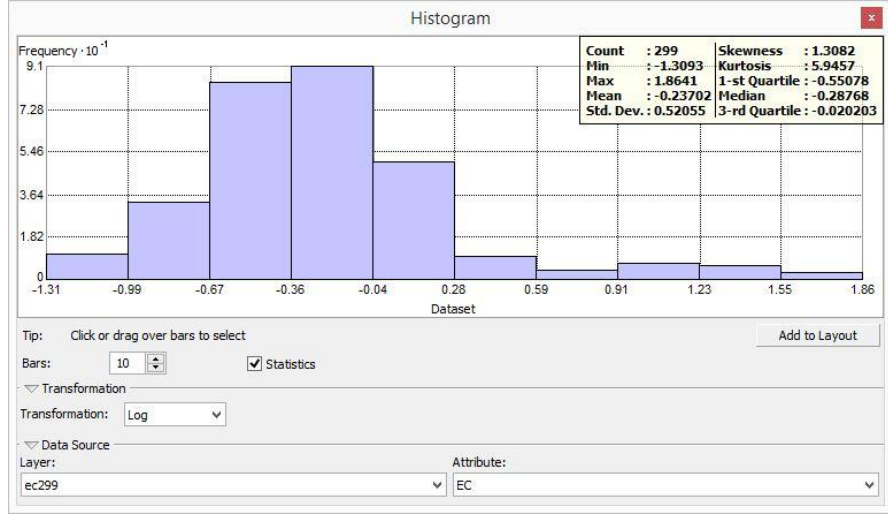


Şekil 3.26. Elektriksel iletkenlik değerlerinin histogramı.

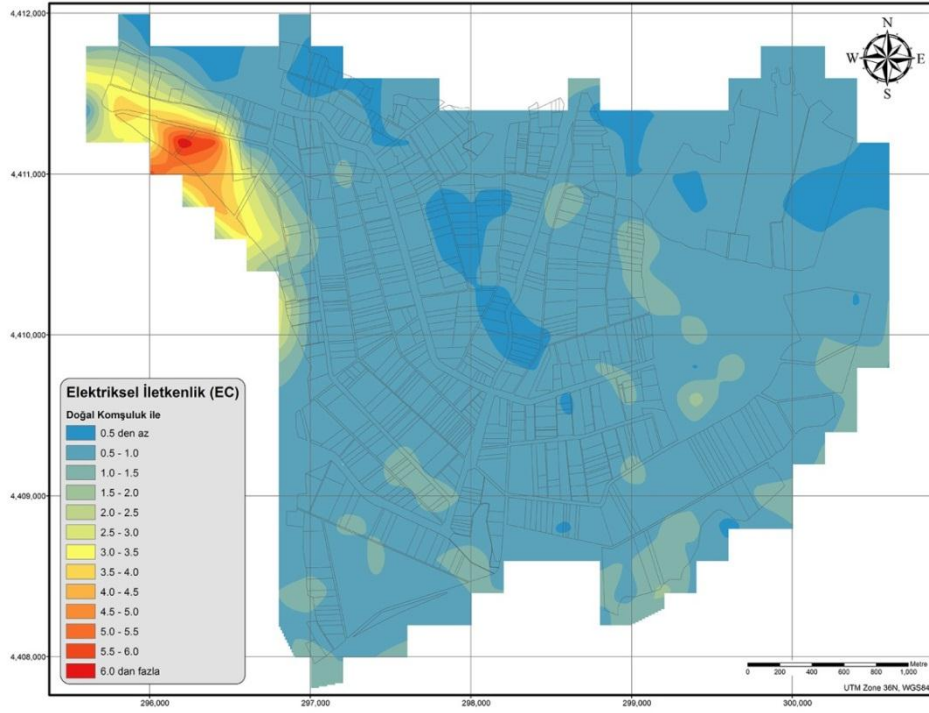
Çizelge 3.7. Dönüştürülen EC değerlerinin istatistiksel dağılım parametreleri.

	ln(EC)
Ortalama	-0.2370
Varyans	0.2710
Standart Sapma	0.5206
Min	-1.3093
Max	1.8641
Medyan	-0.28768
Çarpıklık Katsayısı	1.3082
Basıklık Katsayısı	5.9457
Değişkenlik Katsayısı	-2.1962
Örnek Sayısı	299

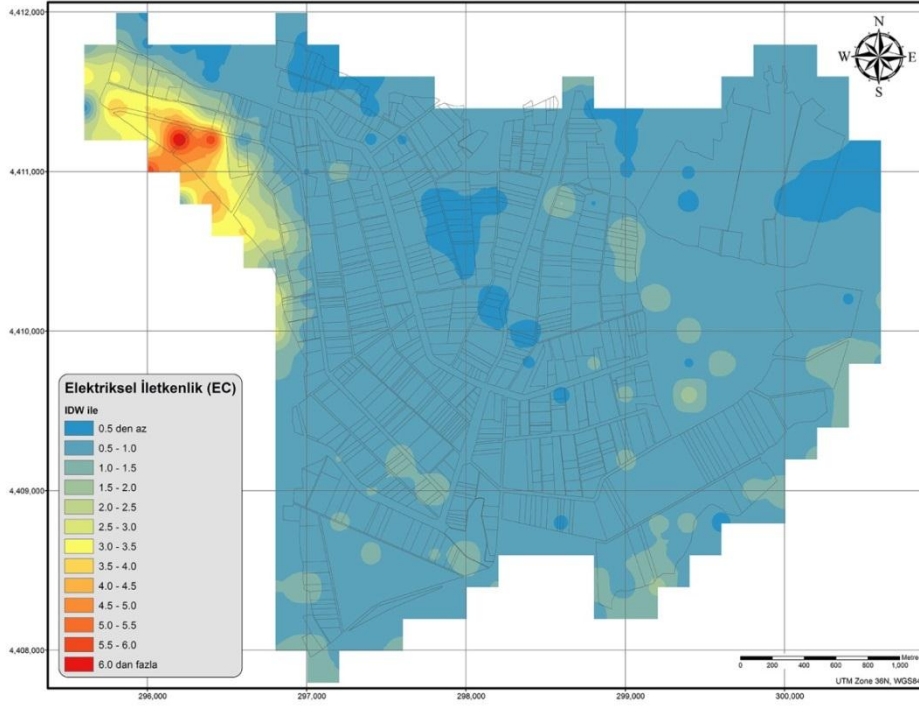
Diğer analizlerde olduğu gibi normalleştirme işleminden sonra ilk olarak doğal komşuluk yöntemi ile (Şekil 3.28) daha sonra uzaklığın tersi ile ağırlıklandırma (idw) yöntemi ile (Şekil 3.29) ve son olarak semivariogram fonksiyonu elde edilerek (Şekil 3.30) ordinary kriging yöntemi ile (Şekil 3.31) elektriksel iletkenlik (EC) haritası üretilmiştir. Tüm haritalar elde edilirken interpolasyon işleminden sonra geri dönüşüm işlemi uygulanmıştır.



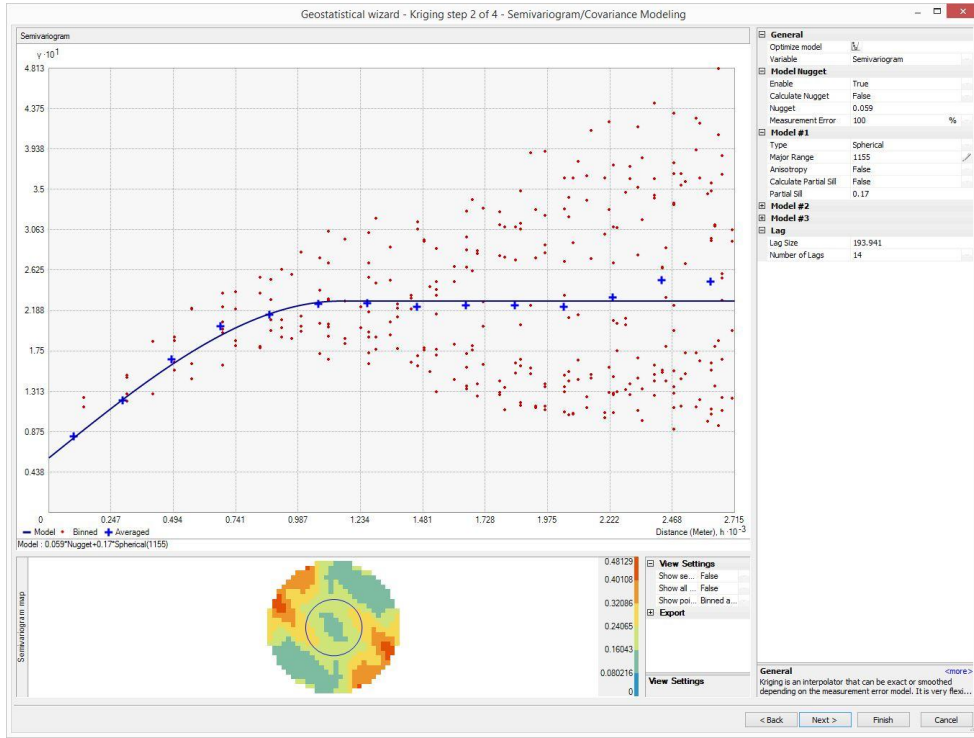
Şekil 3.27. Dönüştürülmüş elektriksel iletkenlik değerleri histogramı.



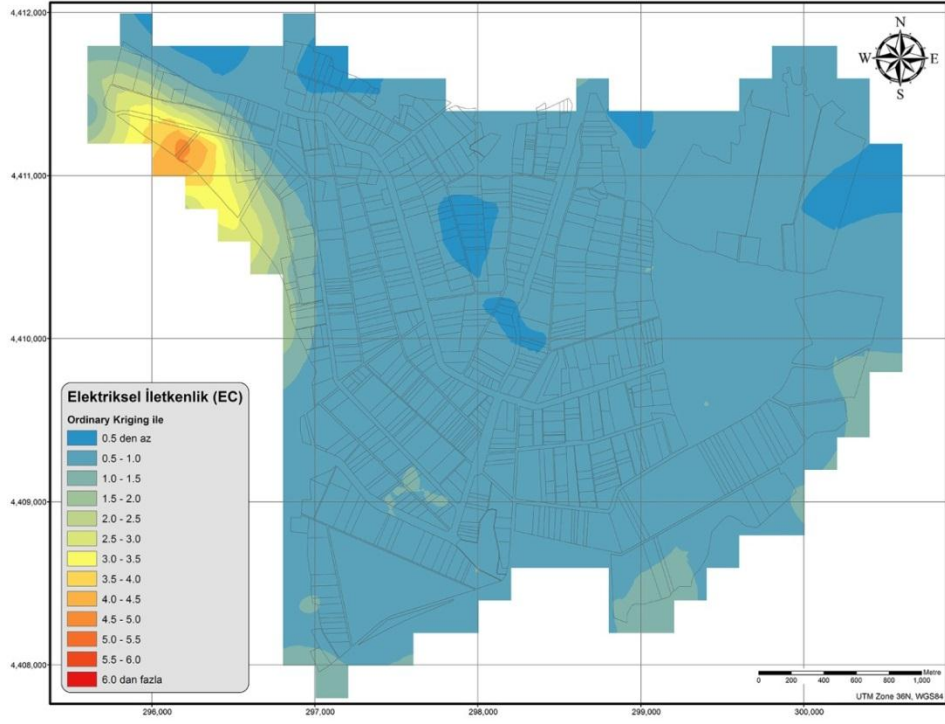
Şekil 3.28. Doğal komşuluk (natural neighbor) yöntemi ile EC haritası.



Şekil 3.29. Uzaklığın tersi ile ağırlıklandırma (IDW) yöntemi ile EC haritası.



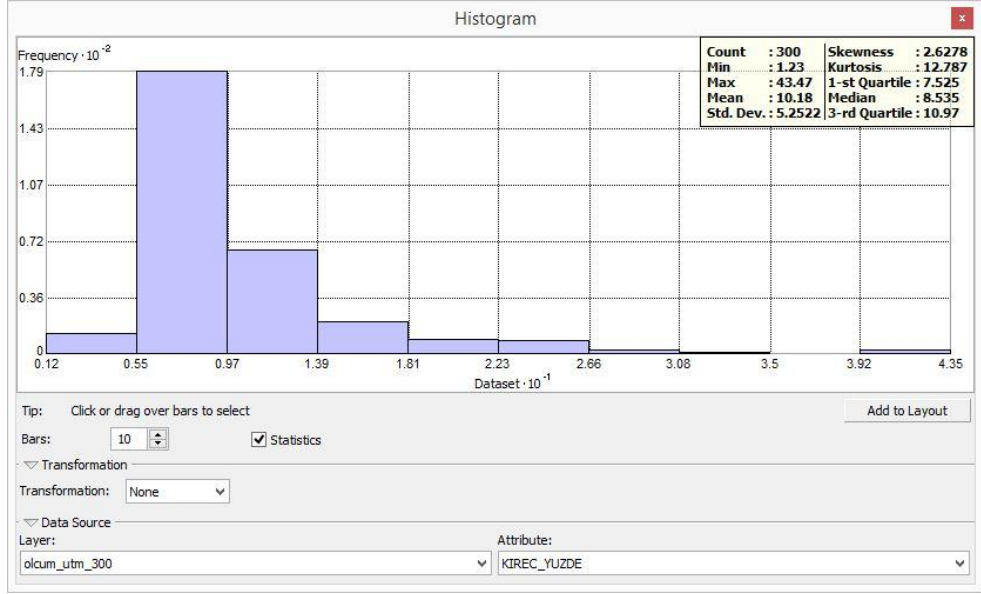
Şekil 3.30. EC değerleri için semivariogram fonksiyonu ve parametreleri.



Şekil 3.31. Ordinary kriging yöntemi ile EC haritası.

3.3.3.5. Kireç

Kireç değerlerinin dağılım parametreleri incelendiğinde, histogramın çarpıklık katsayısının 2,6278, basıklık katsayısının 12.878 olduğu gözlenmiş (Çizelge 3.3) ve veri seti histogramının normal dağılım göstermediği kanısına varılmıştır (Şekil 3.32). Benzer şekilde normalleştirmek için dönüşüm uygulanmış ve normal dağılımı bozduğu düşünülen uç değerlerden bir tanesi, okuma hatası olarak nitelendirilip veri seti içinden çıkarılmıştır. Dönüştürülen veri seti istatistiksel dağılım parametreleri Çizelge 3.8'de detaylı olarak verilmiştir. Dönüşüm sonucunda kireç değerlerinin çarpıklık katsayısının 0.66983, basıklık katsayısının 4.7642 olduğu gözlenmiş ve dönüşmüş veri setinin eskiye oranla biraz daha normal dağılıma yaklaştığı kanısına varılmıştır (Şekil 3.33).

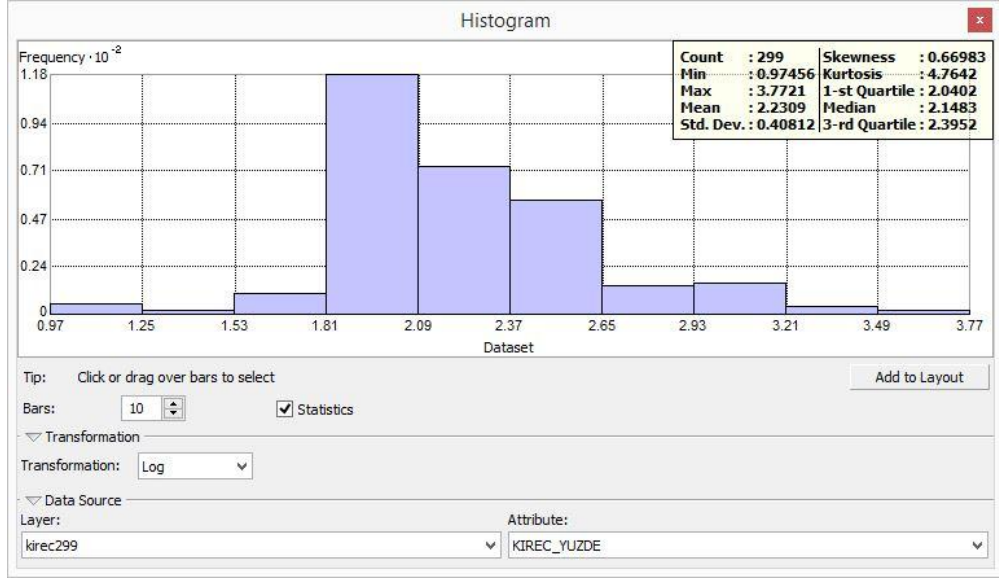


Şekil 3.32. Kireç değerlerinin histogramı.

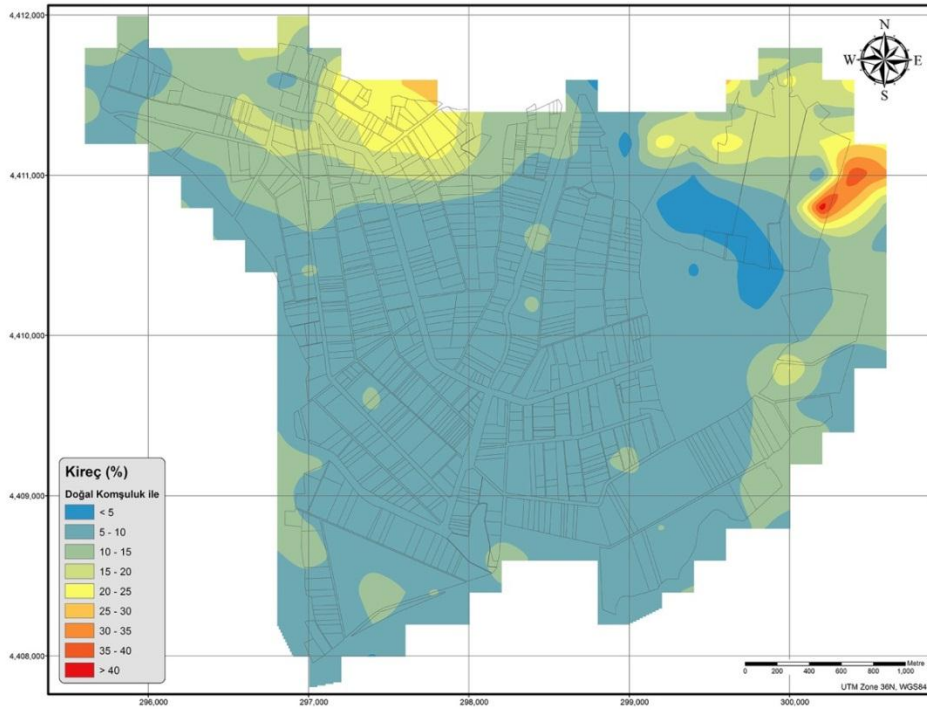
Çizelge 3.8. Dönüştürülen kireç değerlerinin istatistiksel dağılım parametreleri.

	ln(Kireç)
Ortalama	2.2309
Varyans	0.1666
Standart Sapma	0.4081
Min	0.97456
Max	3.7721
Medyan	2.1483
Çarpıklık Katsayısı	0.6698
Basıklık Katsayısı	4.7642
Değişkenlik Katsayısı	0.1829
Örnek Sayısı	299

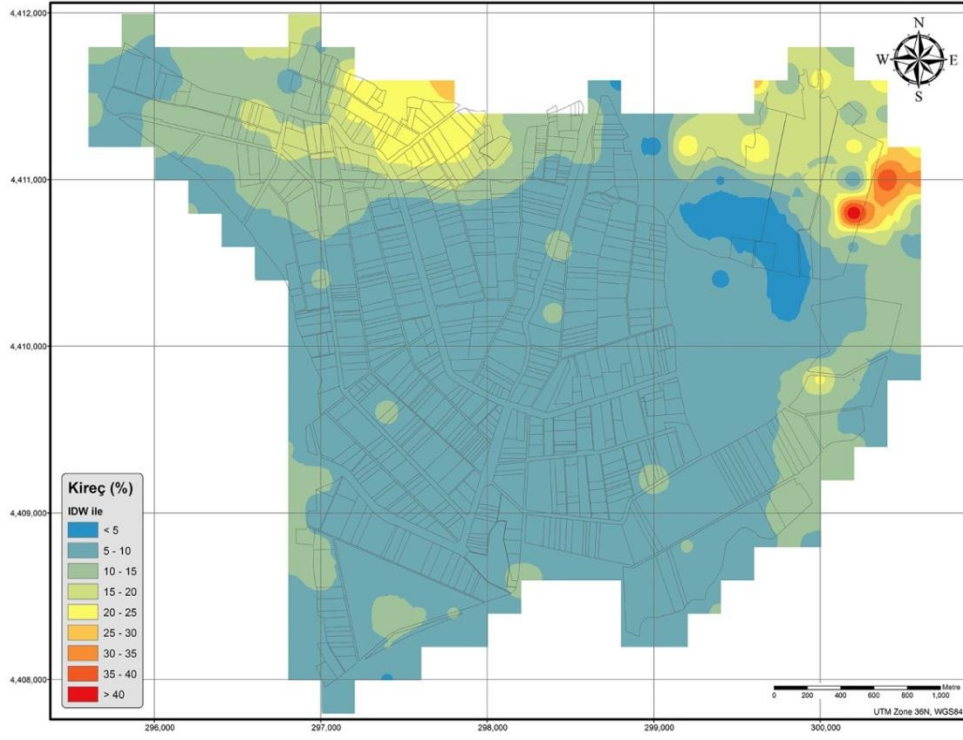
Diğer analizlerde olduğu gibi normalleştirme işleminden sonra ilk olarak doğal komşuluk yöntemi ile (Şekil 3.34) daha sonra uzaklığın tersi ile ağırlıklandırma (IDW) yöntemi ile (Şekil 3.35) ve son olarak semivariogram fonksiyonu elde edilerek (Şekil 3.36) ordinary kriging yöntemi ile (Şekil 3.37) kireç haritası üretilmiştir. Tüm haritalar elde edilirken interpolasyon işleminden sonra geri dönüşüm işlemi uygulanmıştır.



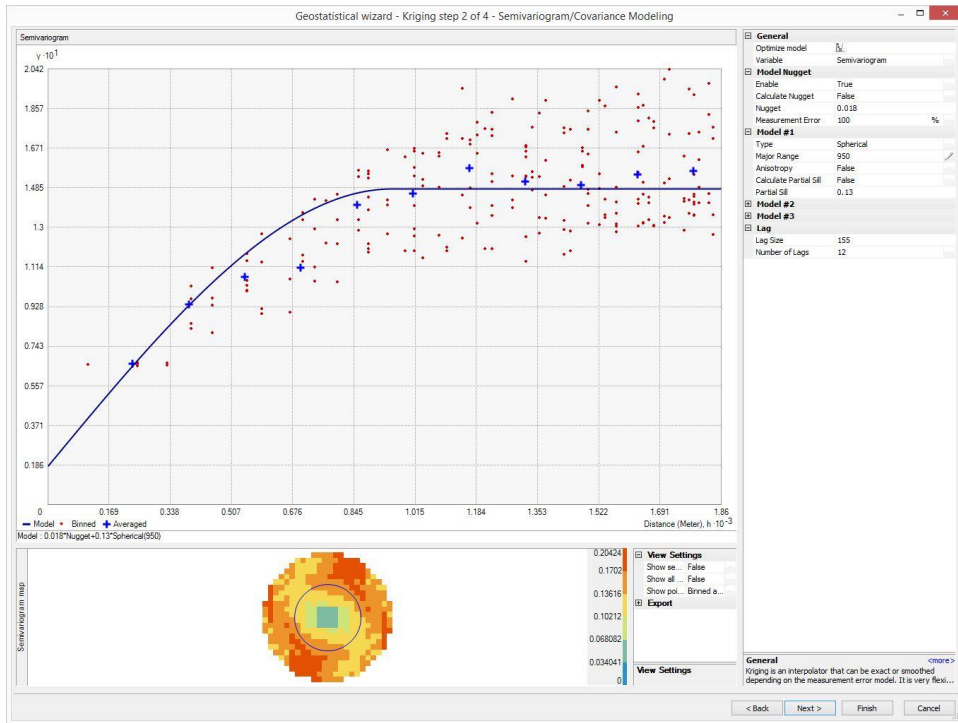
Şekil 3.33. Dönüştürülmüş kireç değerleri histogramı.



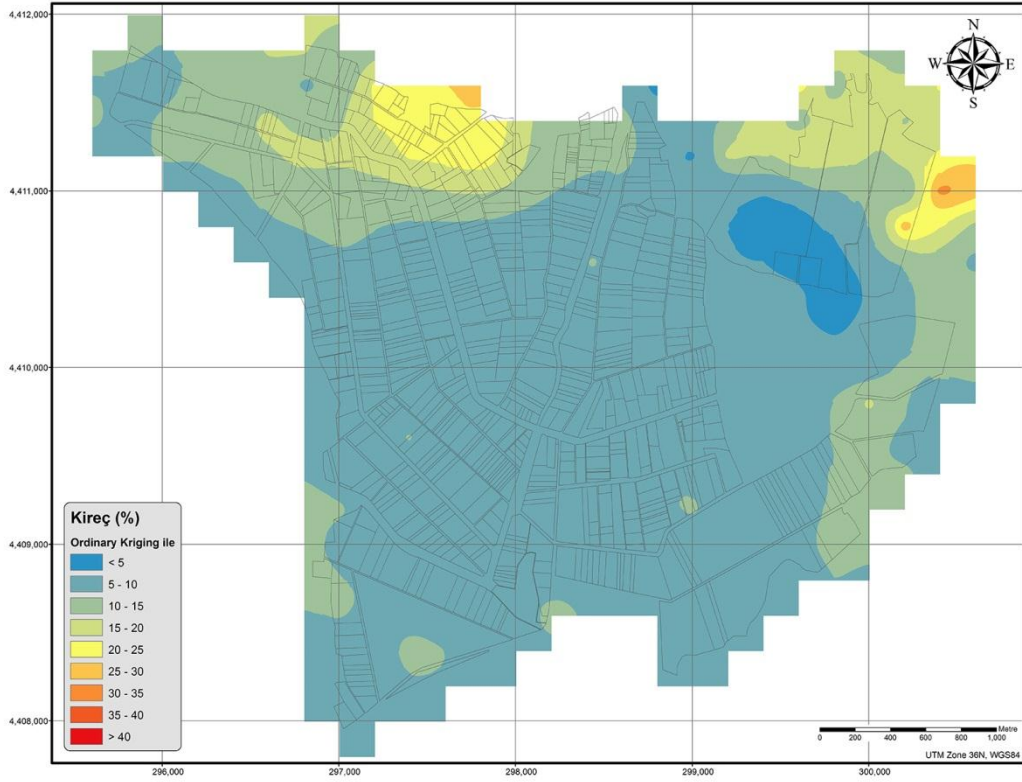
Şekil 3.34. Doğal komşuluk (natural neighbor) yöntemi ile kireç haritası.



Şekil 3.35. Uzaklığın tersi ile ağırlıklandırma (IDW) yöntemi ile kireç haritası.



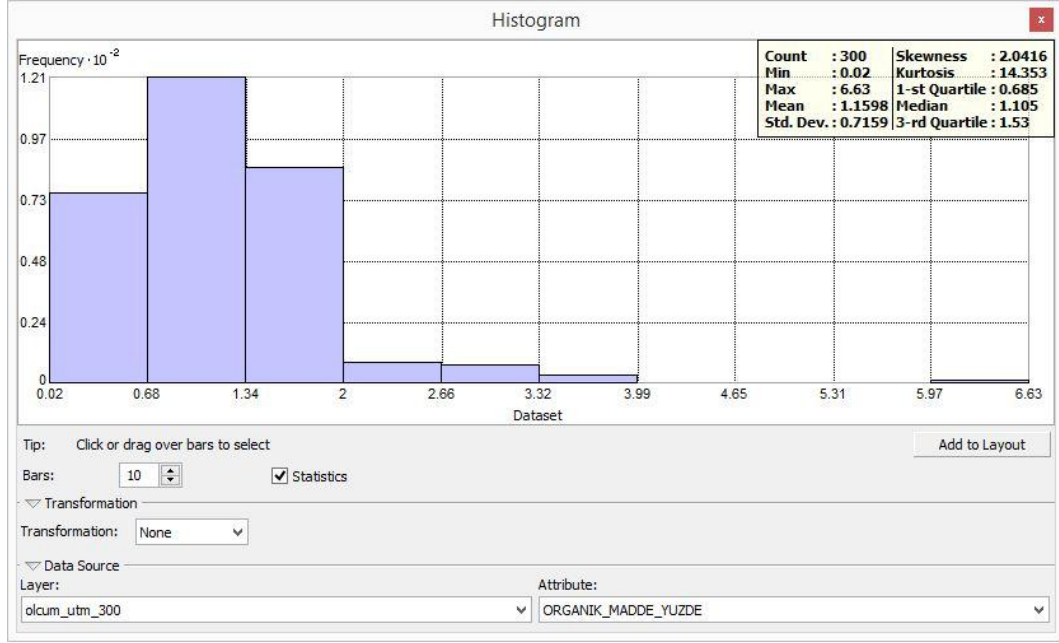
Şekil 3.36. Kireç değerleri için semivariogram fonksiyonu ve parametreleri.



Şekil 3.37. Ordinary kriging yöntemi ile kireç haritası.

3.3.3.6. Organik madde

Organik madde değerlerinin dağılım parametreleri incelendiğinde, histogramın çarpıklık katsayısının 2,0416, basıklık katsayısının 14.535 olduğu gözlenmiş (Çizelge 3.3) ve veri seti histogramının normal dağılım göstermediği kanısına varılmıştır (Şekil 3.38). Benzer şekilde normalleştirmek için dönüşüm uygulanmış ve normal dağılımı bozduğu düşünülen uç değerlerden bir tanesi, okuma hatası olarak nitelendirilip veri seti içinden çıkarılmıştır. Dönüştürülen veri seti istatistiksel dağılım parametreleri Çizelge 3.9’de detaylı olarak verilmiştir. Dönüşüm sonucunda kireç değerlerinin çarpıklık katsayısının 0.08562, basıklık katsayısının 3.3449 olduğu gözlenmiş ve dönüşmüş veri setinin normal dağılıma yaklaştığı kanısına varılmıştır (Şekil 3.39).

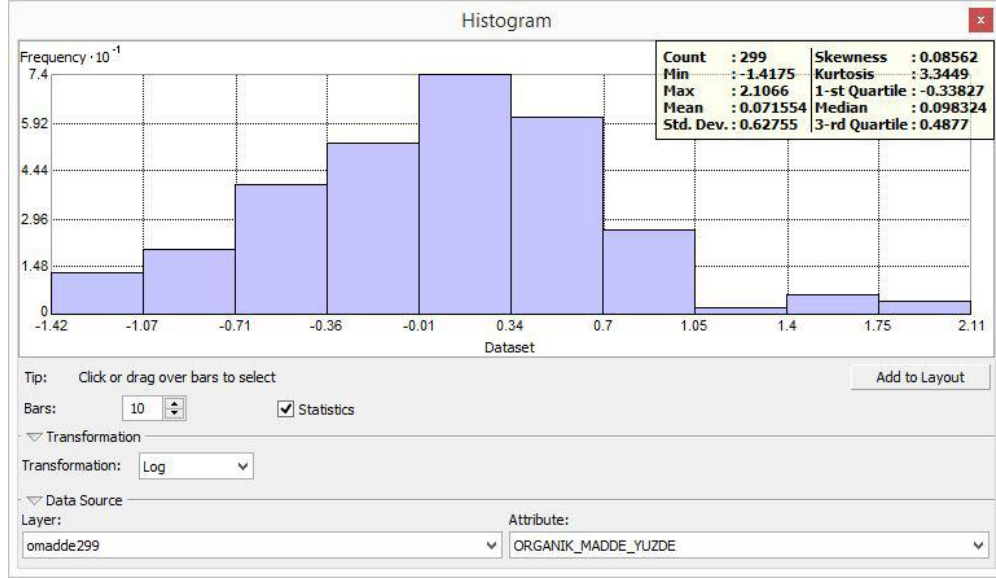


Şekil 3.38. Organik madde değerlerinin histogramı.

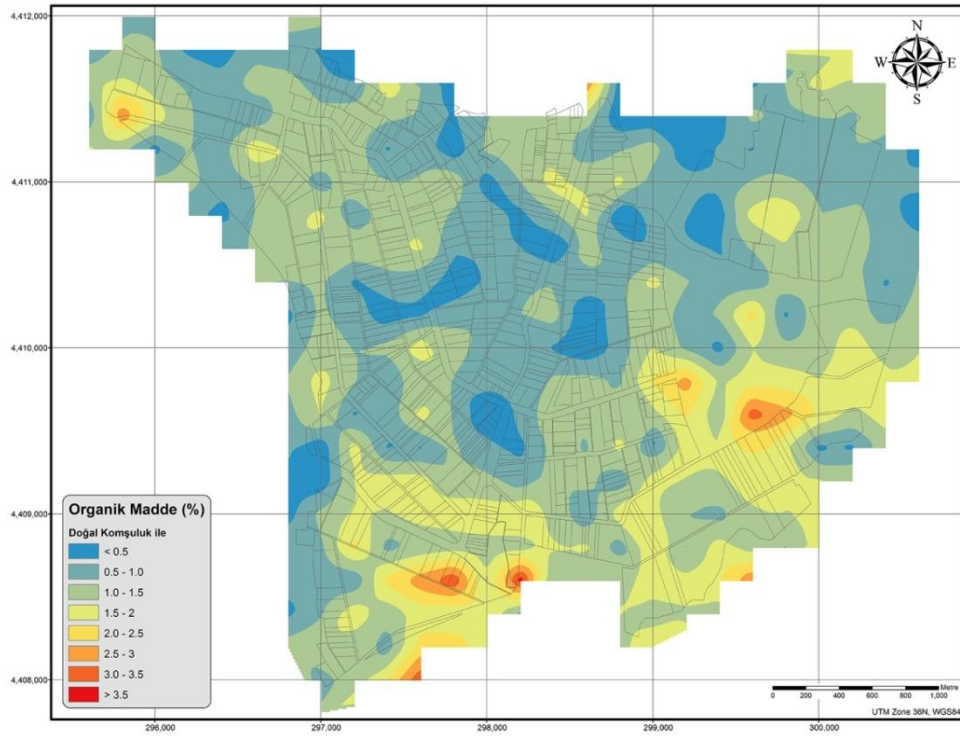
Çizelge 3.9. Dönüştürülen organik madde değerlerinin istatistiksel dağılım parametreleri.

	ln(Organik Madde)
Ortalama	0.0716
Varyans	0.3938
Standart Sapma	0.6276
Min	-1.4175
Max	2.1066
Medyan	0.098324
Çarpıklık Katsayısı	0.0856
Basıklık Katsayısı	3.3449
Değişkenlik Katsayısı	8.7703
Örnek Sayısı	299

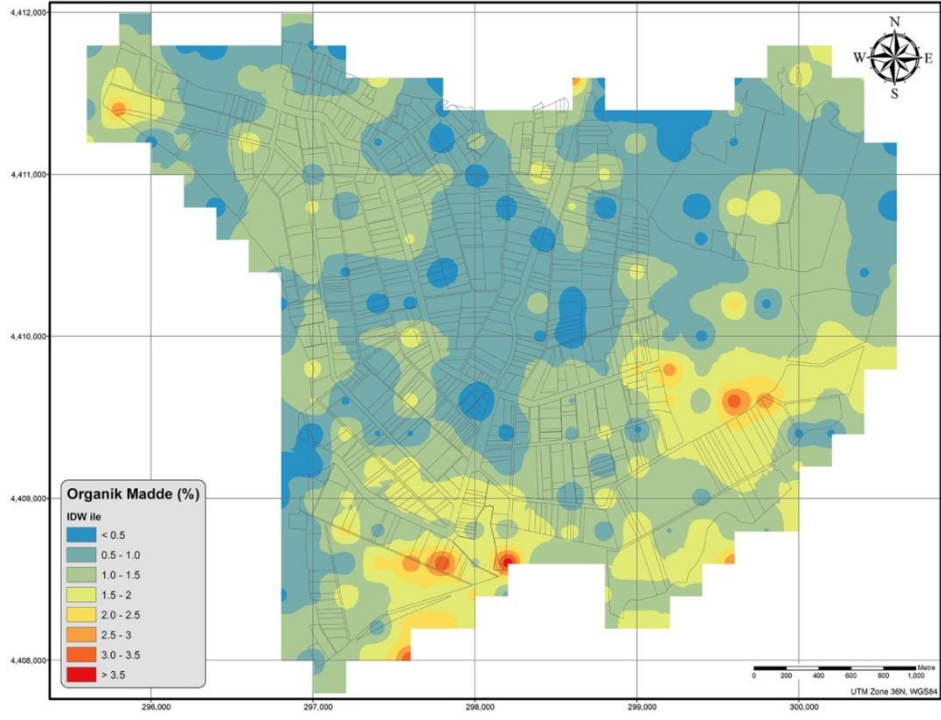
Benzer şekilde normalleştirme işleminden sonra doğal komşuluk yöntemi ile (Şekil 3.40) uzaklığın tersi ile ağırlıklandırma (idw) yöntemi ile (Şekil 3.41) ve semivariogram fonksiyonu elde edilerek (Şekil 3.42) ordinary kriging yöntemi ile (Şekil 3.43) organik madde haritası üretilmiştir. Tüm haritalar elde edilirken interpolasyon işleminden sonra geri dönüşüm işlemi uygulanmıştır.



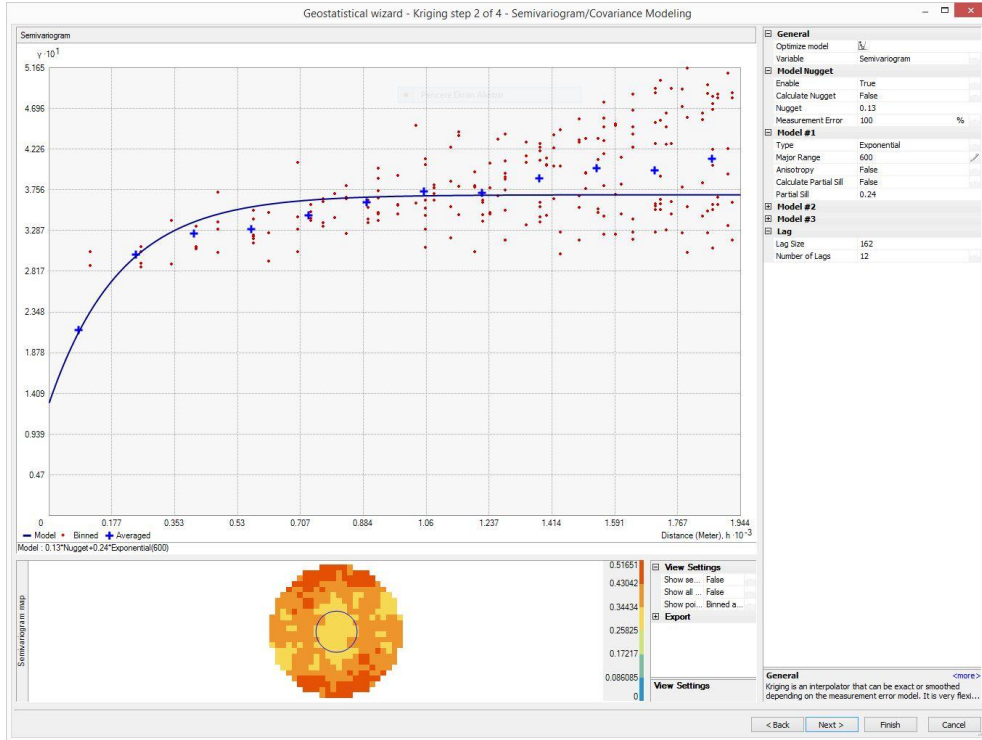
Şekil 3.39. Dönüştürülmüş organik madde değerleri histogramı.



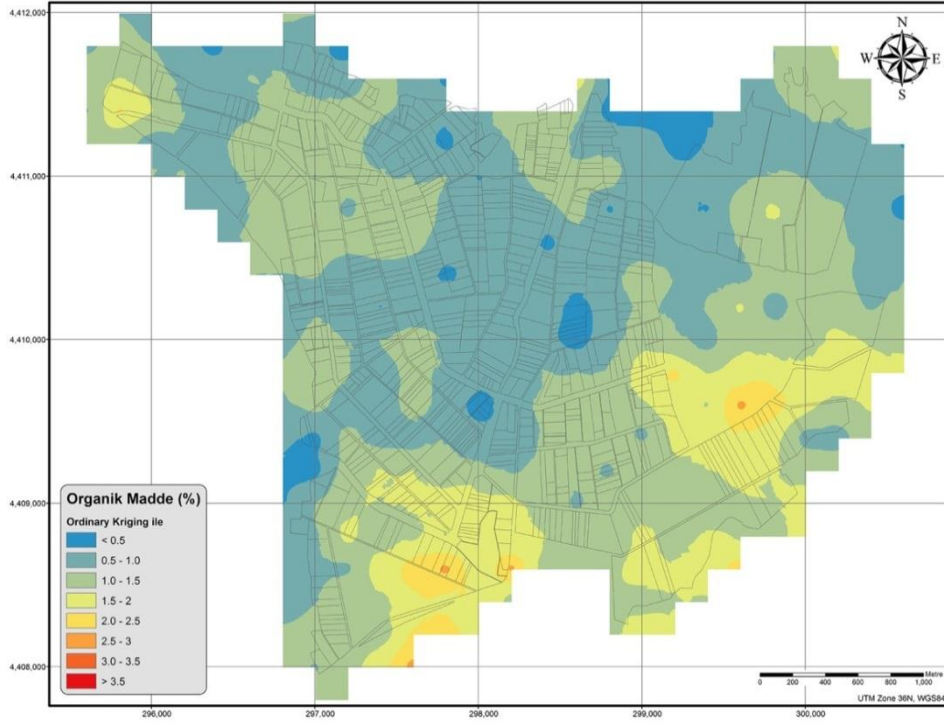
Şekil 3.40. Doğal komşuluk (natural neighbor) yöntemi ile organik madde haritası.



Şekil 3.41. Uzaklığın tersi ile ağırlıklandırma (IDW) yöntemi ile organik madde haritası.



Şekil 3.42. Organik madde değerleri için semivariogram fonksiyonu ve parametreleri.



Şekil 3.43. Ordinary kriging yöntemi ile organik madde haritası.

3.3.4. Doğruluk analizi

Çalışmada 300 noktadan alınan toprak örneklerinin analiz değerleri, (suya doygunluk, pH, toplam tuz, elektriksel iletkenlik, kireç ve organik madde) doğal komşuluk (natural neighbor), uzaklığın tersi ile ağırlıklandırma (inverse distance weighting – IDW) ve ordinary kriging gibi 3 farklı konumsal interpolasyon yöntemi ile tematik olarak haritalanmıştır. Bu yöntemler sonucunda tahmin edilen ara değerler karşılaştırılarak, doğrulukları sınanmıştır. Doğruluk analizi ve karşılaştırma için toplam 370 toprak örneği içerisinde, 70 nokta jack-knife adı verilen rassal örnekleme yöntemi ile seçilmiş ve konumsal interpolasyon sürecine dâhil edilmemiştir. Geriye kalan 300 nokta ise interpolasyon sürecinde ara değer tahmini ile harita üretimleri için kullanılmıştır. Doğruluk analizinin konumsal interpolasyona dâhil edilen noktalarla yapılması, gözlem değerinin bulunduğu noktadaki tahmin değerini yüksek oranda etkilemesine neden olacaktır. Bu durum elde edilen tahmin değerinin doğruluk oranının yüksek çıkma olasılığını artırmaktadır. Bu nedenle seçilen 70 noktanın interpolasyon sürecine dâhil edilmemesi, doğruluk analizinin daha gerçekçi yapılmasını sağlamaktadır.

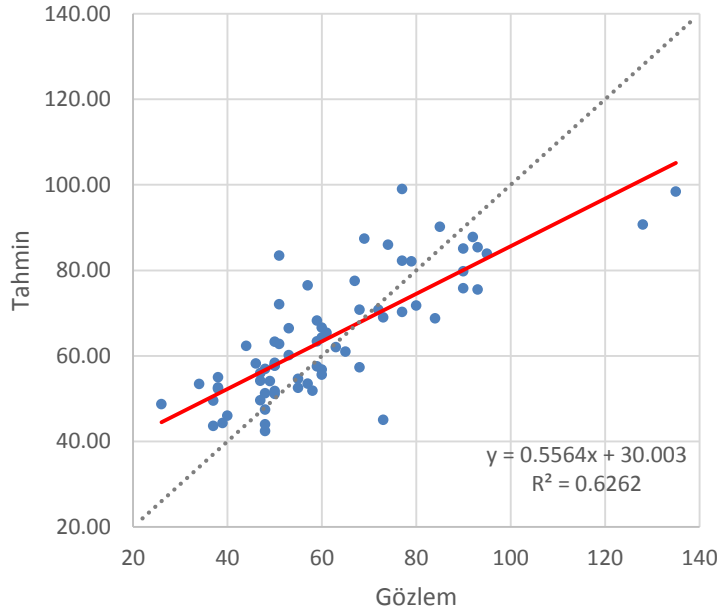
Doğruluk analizinde konumu bilinen 70 örnek noktasının analiz değerleri gözlem değeri olarak, noktanın üstünde bulunduğu pikselin aldığı değer ise tahmin değeri olarak kabul edilmiştir. Gözlem noktaları (70 nokta), modellenmiş raster haritalarla karşılaştırılarak üstünde buldukları piksel değerleri ile eşleştirilmiştir. Böylece her gözlem değeri için, temasına uygun harita üzerinde karşılık gelen, tahmin değerleri belirlenmiştir.

Bilindiği üzere korelasyon katsayısının bir (1) değerine yakın olması gözlem ve tahmin değerleri arasında güçlü bir ilişki olduğunu göstermektedir. Çalışmada elde edilen suya doygunluk tahmin değerlerinin gözlem değerleri ile korelasyonu Şekil 3.44, Şekil 3.45 ve Şekil 3.46'de, pH tahmin değerlerinin gözlem değerleri ile korelasyonu Şekil 3.47, Şekil 3.48 ve Şekil 3.49'de, toplam tuz tahmin değerlerinin gözlem değerleri ile korelasyonu Şekil 3.50, Şekil 3.51 ve Şekil 3.52'de, elektriksel iletkenlik (EC) tahmin değerlerinin gözlem değerleri ile korelasyonu Şekil 3.53, Şekil 3.54 ve Şekil 3.55'de, kireç tahmin değerlerinin gözlem değerleri ile korelasyonu Şekil 3.56, Şekil 3.57 ve Şekil 3.58'de, son olarak organik madde tahmin değerlerinin gözlem değerleri ile korelasyonu Şekil 3.59, Şekil 3.60 ve Şekil 3.61'de gösterilmektedir.

Yapılan incelemeler sonucunda korelasyon katsayılarına göre suya doygunluk, toplam tuz, pH ve organik madde değerleri için ordinary kriging, elektriksel iletkenlik (EC) ve kireç değerleri için uzaklığın tersi ile ağırlıklandırma (IDW) en iyi tahmin yöntemi olarak belirlenmiştir.

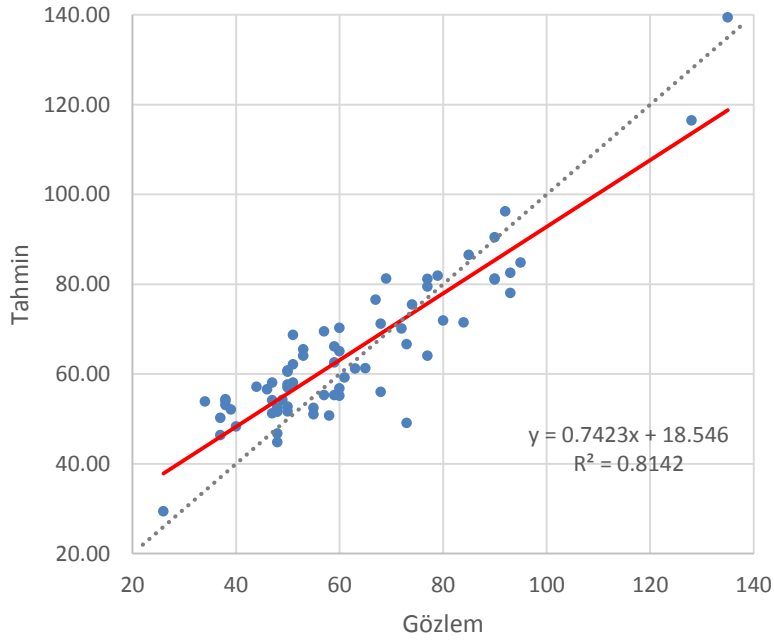
Çalışmada ayrıca tahmin hatalarının ortalama değerleri (Mean Error - ME) ve tahmin hatalarının karesinin ortalama karekök değerleri (Root Mean Square Error - RMSE) karşılaştırılmıştır. Buna göre değerler Çizelge 3.10, Çizelge 3.11, Çizelge 3.12, Çizelge 3.13, Çizelge 3.14, Çizelge 3.15'de detaylı olarak verilmiştir.

Suya Doygunluk - Doğal Komşuluk



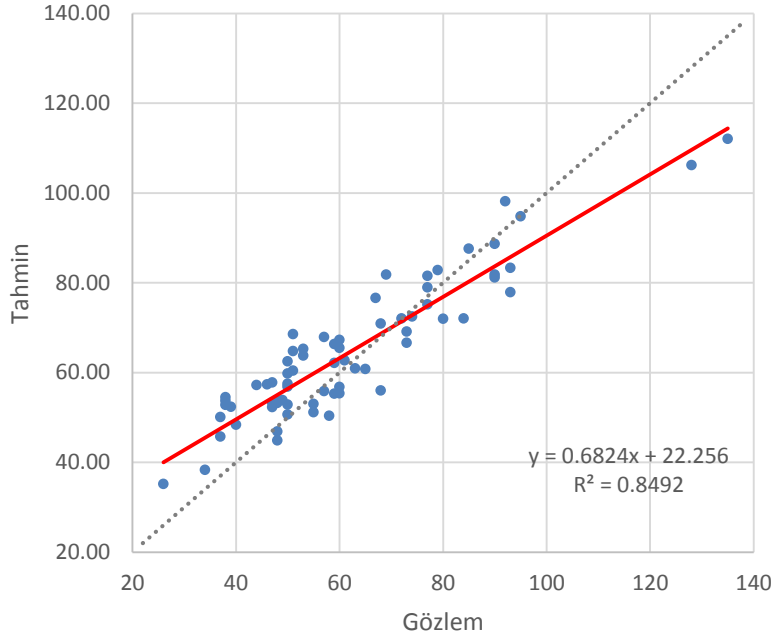
Şekil 3.44. Suya doygunluk gözlem değerleri ile doğal komşuluk tahmin değerlerinin karşılıklı değer noktaları, regresyon doğrusu ve korelasyon katsayısı.

Suya Doygunluk - IDW



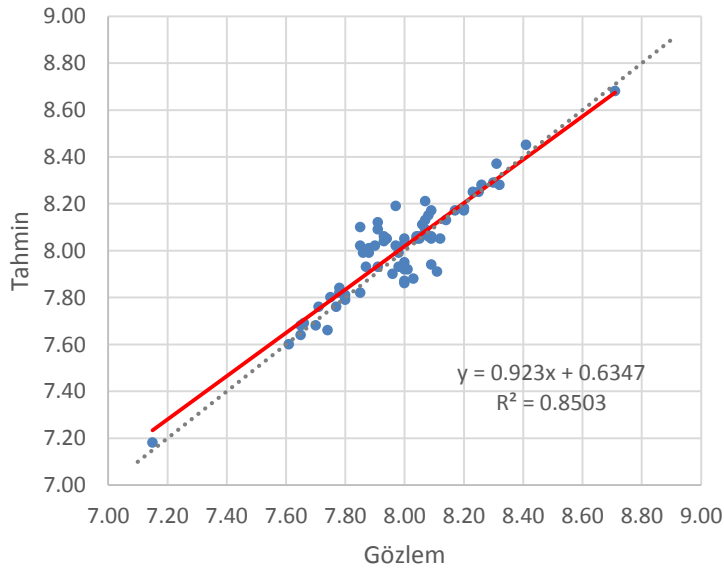
Şekil 3.45. Suya doygunluk gözlem değerleri ile IDW tahmin değerlerinin karşılıklı değer noktaları, regresyon doğrusu ve korelasyon katsayısı.

Suya Doygunluk - Ordinary Kriging

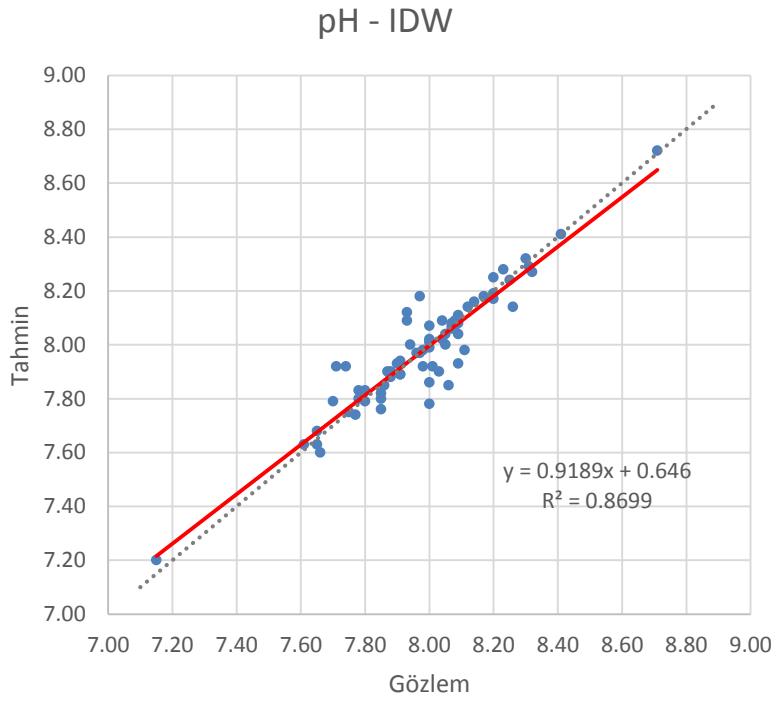


Şekil 3.46. Suya doygunluk gözlem değerleri ile ordinary kriging tahmin değerlerinin karşılıklı değer noktaları, regresyon doğrusu ve korelasyon katsayısı.

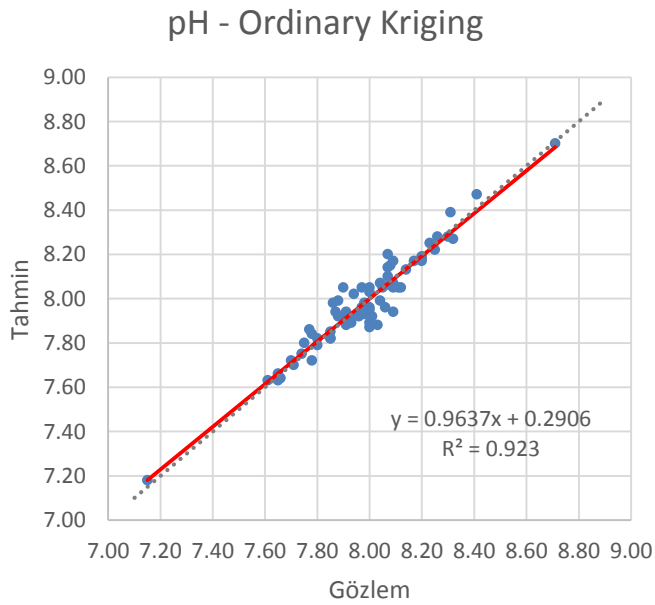
pH - Doğal Komşuluk



Şekil 3.47. pH gözlem değerleri ile doğal komşuluk tahmin değerlerinin karşılıklı değer noktaları, regresyon doğrusu ve korelasyon katsayısı.

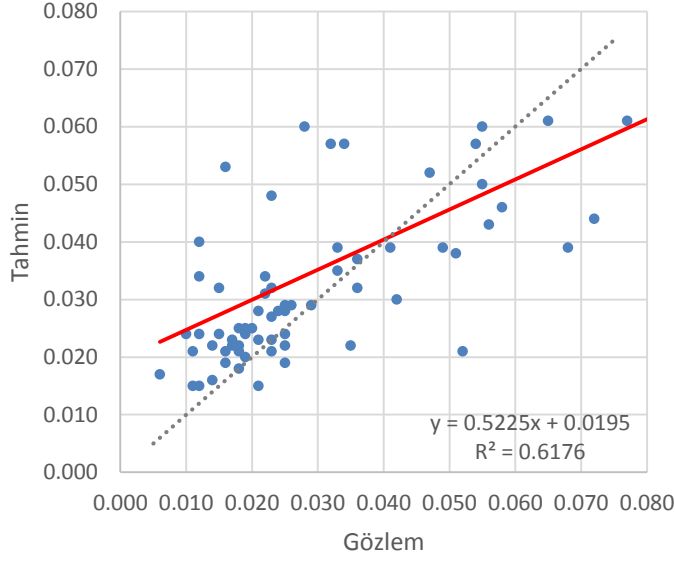


Şekil 3.48. pH gözlem değerleri ile IDW tahmin değerlerinin karşılıklı değer noktaları, regresyon doğrusu ve korelasyon katsayısı.



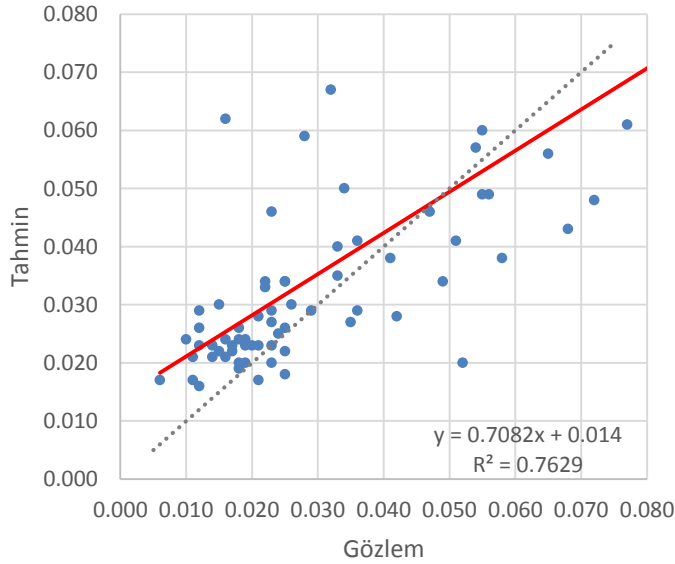
Şekil 3.49. pH gözlem değerleri ile ordinary kriging tahmin değerlerinin karşılıklı değer noktaları, regresyon doğrusu ve korelasyon katsayısı.

Toplam Tuz - Doğal Komşuluk



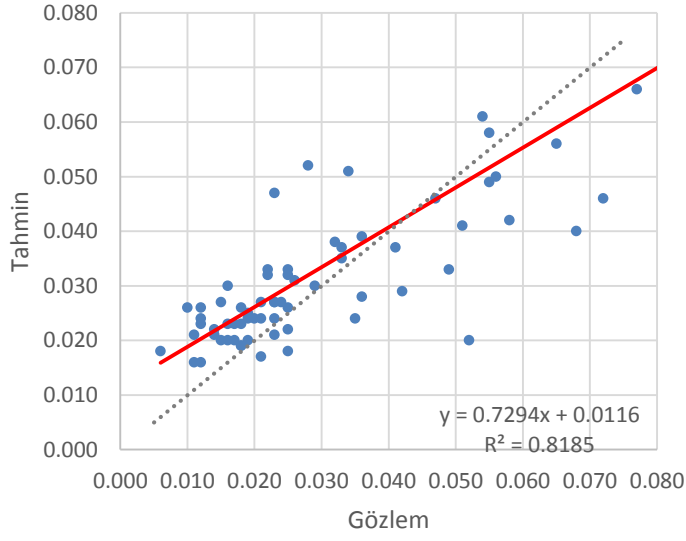
Şekil 3.50. Toplam tuz gözlem değerleri ile doğal komşuluk tahmin değerlerinin karşılıklı değer noktaları, regresyon doğrusu ve korelasyon katsayısı.

Toplam Tuz - IDW



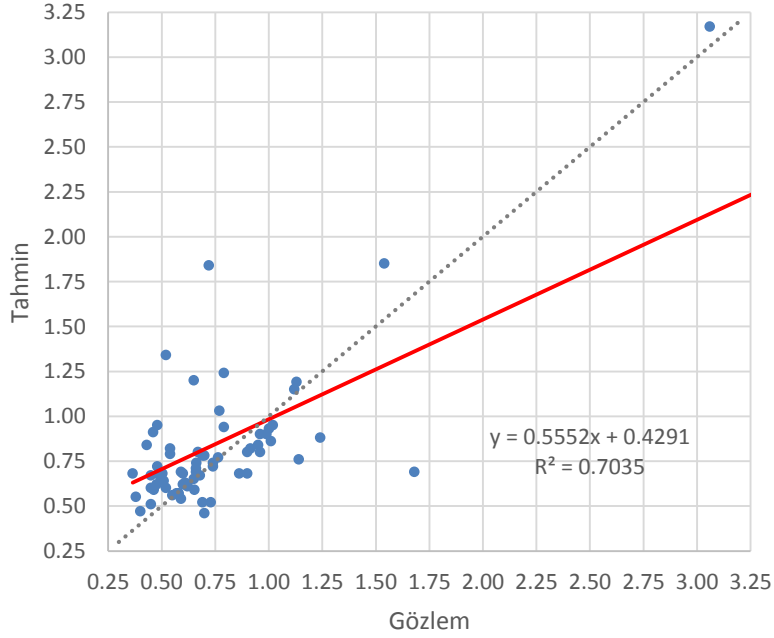
Şekil 3.51. Toplam tuz gözlem değerleri ile IDW tahmin değerlerinin karşılıklı değer noktaları, regresyon doğrusu ve korelasyon katsayısı.

Toplam Tuz - Ordinary Kriging

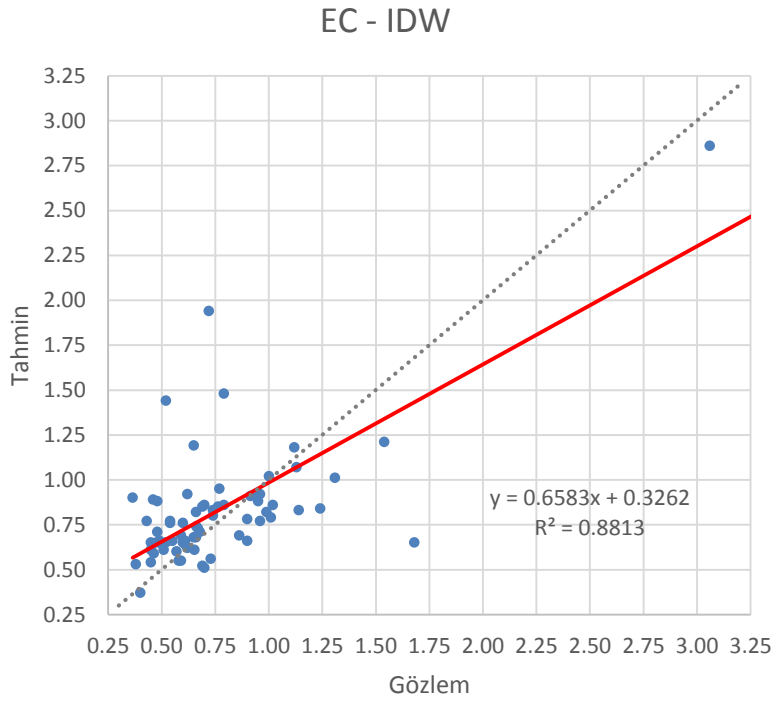


Şekil 3.52. Toplam tuz gözlem değerleri ile ordinary kriging tahmin değerlerinin karşılıklı değer noktaları, regresyon doğrusu ve korelasyon katsayısı.

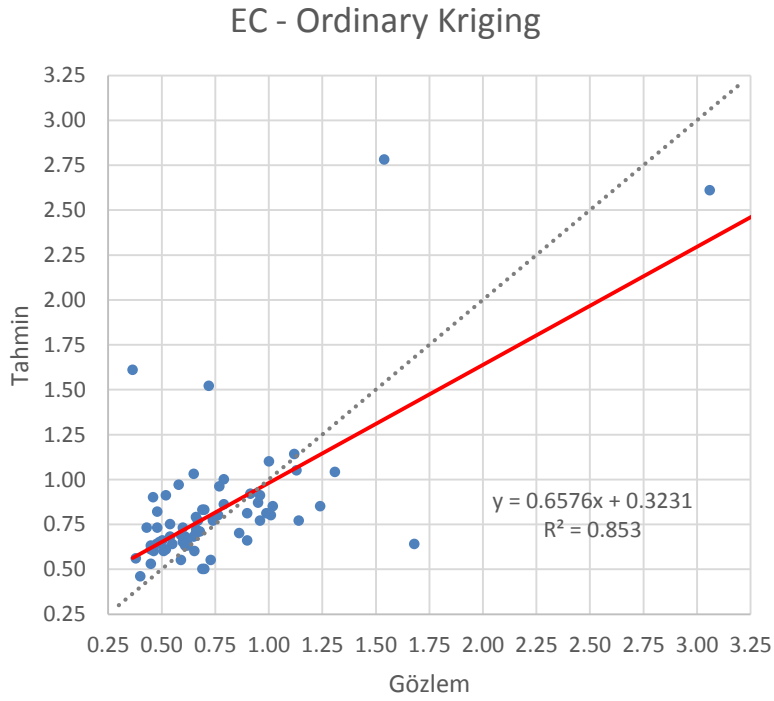
EC - Doğal Komşuluk



Şekil 3.53. Elektriksel iletkenlik (EC) gözlem değerleri ile doğal komşuluk tahmin değerlerinin karşılıklı değer noktaları, regresyon doğrusu ve korelasyon katsayısı.

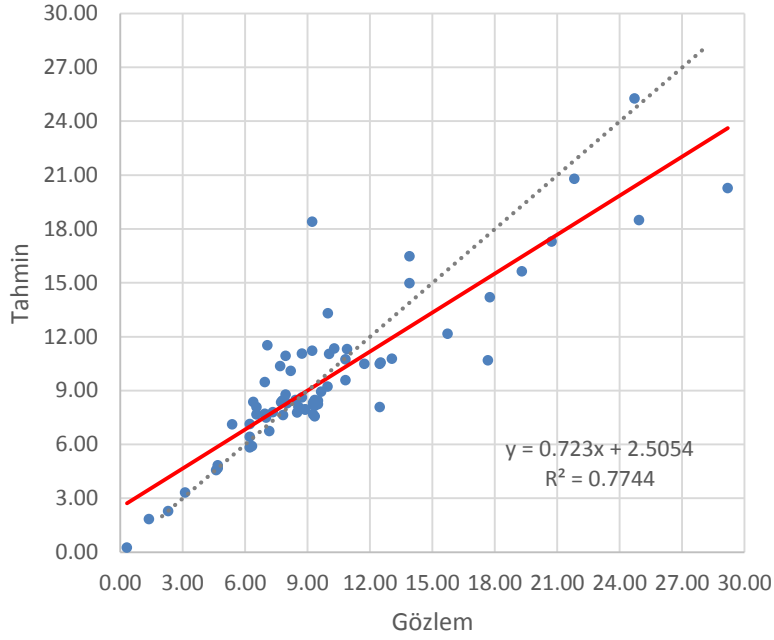


Şekil 3.54. Elektriksel iletkenlik (EC) gözlem değerleri ile IDW tahmin değerlerinin karşılıklı değer noktaları, regresyon doğrusu ve korelasyon katsayısı.



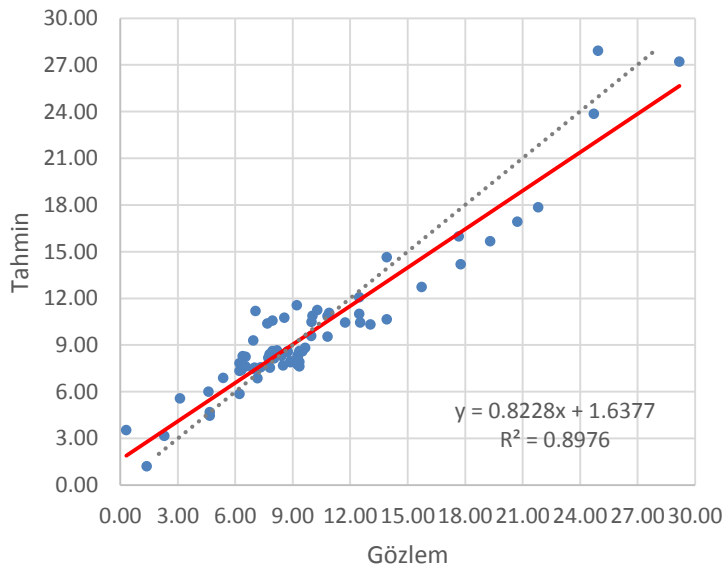
Şekil 3.55. Elektriksel iletkenlik (EC) gözlem değerleri ile ordinary kriging tahmin değerlerinin karşılıklı değer noktaları, regresyon doğrusu ve korelasyon katsayısı.

Kireç - Doğal Komşuluk

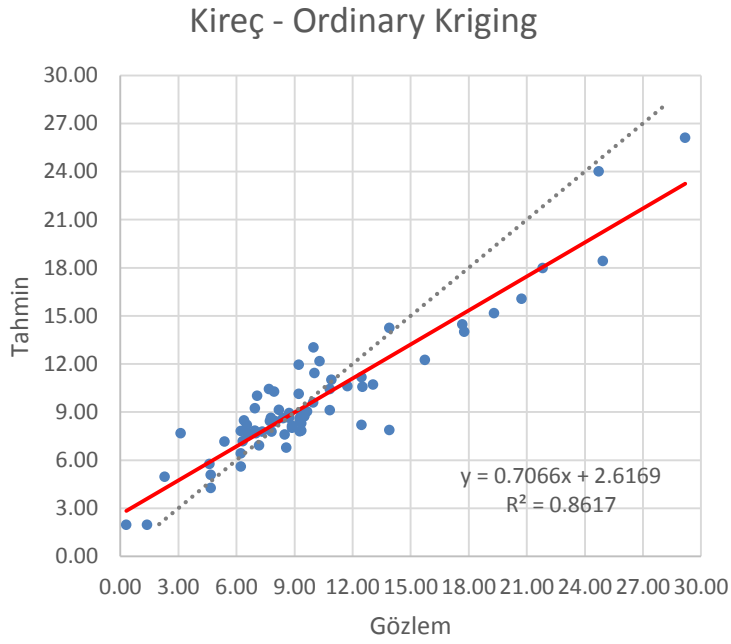


Şekil 3.56. Kireç gözlem değerleri ile doğal komşuluk tahmin değerlerinin karşılıklı değer noktaları, regresyon doğrusu ve korelasyon katsayısı.

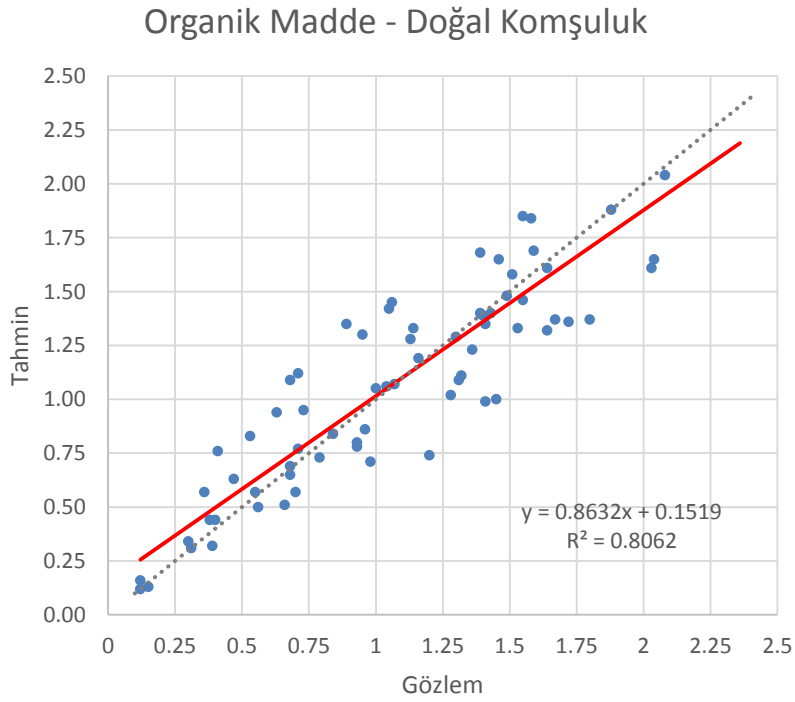
Kireç - IDW



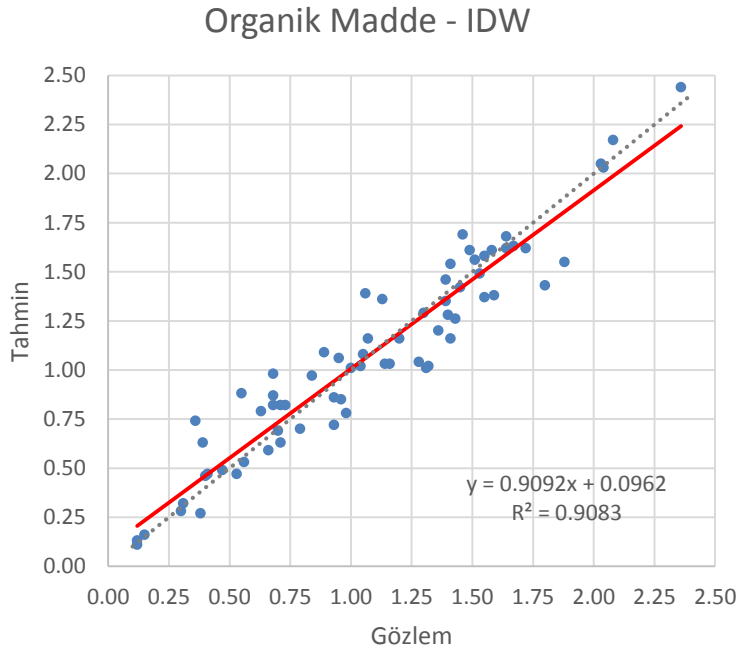
Şekil 3.57. Kireç gözlem değerleri ile IDW tahmin değerlerinin karşılıklı değer noktaları, regresyon doğrusu ve korelasyon katsayısı.



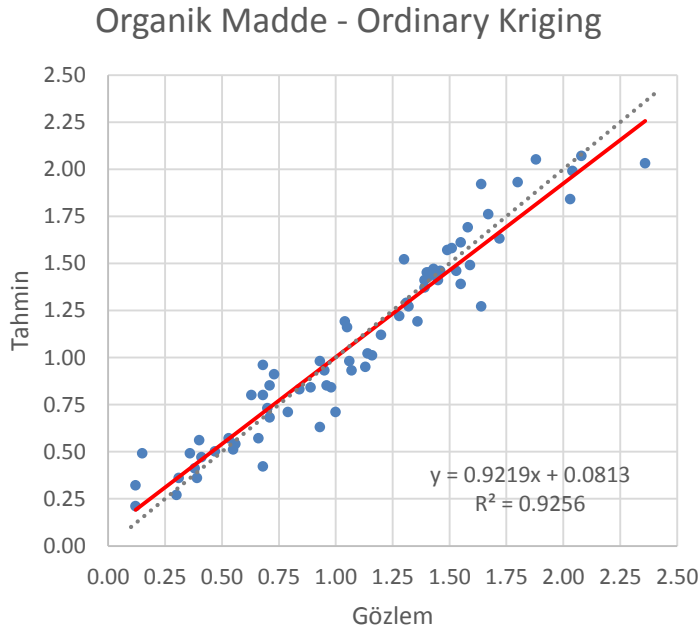
Şekil 3.58. Kireç gözlem değerleri ile ordinary kriging tahmin değerlerinin karşılıklı değer noktaları, regresyon doğrusu ve korelasyon katsayısı.



Şekil 3.59. Organik madde gözlem değerleri ile doğal komşuluk tahmin değerlerinin karşılıklı değer noktaları, regresyon doğrusu ve korelasyon katsayısı.



Şekil 3.60. Organik madde gözlem değerleri ile IDW tahmin değerlerinin karşılıklı değer noktaları, regresyon doğrusu ve korelasyon katsayısı.



Şekil 3.61. Organik madde gözlem değerleri ile ordinary kriging tahmin değerlerinin karşılıklı değer noktaları, regresyon doğrusu ve korelasyon katsayısı.

Ortalama hata değeri (ME) hesaplanırken tahmin değerlerinden gözlem değerleri çıkartılarak hata elde edilir. Daha sonra hata değerlerinin aritmetik ortalaması ortama hata (ME) değerini verir (Denklem 3.1).

$$ME = \frac{\sum_{i=1}^n (Z^*(x_i) - Z(x_i))}{n} \quad (3.1)$$

Denklem (3.1)'de;

$Z^*(x_i)$: x_0 konumundaki tahmin değeri,

$Z(x_i)$: x_i konumundaki gözlem değerini,

n : nokta sayısını

ifade etmektedir (ESRI 2003).

ME değerine göre doğruluk karşılaştırılması yaparken ME değerinin sıfıra (0) yakın olması beklenir. Bu nedenle çalışmada, sıfıra en yakın değere sahip konumsal interpolasyon yöntemi, ME değeri karşılaştırmasında en doğru yöntem olarak kabul edilmiştir.

Tahmin hatalarının karesinin ortalama karekök değeri (RMSE) hesaplanırken, hata değerlerinin karelerinin aritmetik ortalaması alınır ve elde edilen ortalama değerinin karekökü alınarak RMSE değeri elde edilir (Denklem 3.2).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Z^*(x_i) - Z(x_i))^2}{n}} \quad (3.2)$$

Denklem (3.2)'de;

$Z^*(x_i)$: x_0 konumundaki tahmin değeri,

$Z(x_i)$: x_i konumundaki gözlem değerini,

n : nokta sayısını

ifade etmektedir (ESRI 2003).

Benzer şekilde RMSE değeri göre doğruluk karşılaştırması yaparken RMSE değerinin en küçük olması beklenir. Bu nedenle çalışmada en küçük RMSE değerine sahip konumsal interpolasyon yöntemi, RMSE değeri karşılaştırmasında en doğru yöntem olarak kabul edilmiştir (ESRI 2003).

Çalışmada altı farklı analiz değerinden üç farklı yöntemle tahmin edilen tematik haritalar korelasyon katsayısı, ME, ve RMSE değerlerine göre doğrulukları karşılaştırılmıştır (Çizelge 3.10, Çizelge 3.11, Çizelge 3.12, Çizelge 3.13, Çizelge 3.14, Çizelge 3.15). Korelasyon katsayısının bire (1) yakın olması, ME değerinin sıfıra (0) yakın olması ve RMSE değerinin en küçük olması en doğru tematik haritanın belirlenmesinde gösterge olarak kullanılmıştır. Buna göre çalışmada suya doygunluk, pH, toplam tuz ve organik madde değerlerinin tahmininde ordinary kriging yöntemi, elektriksel iletkenlik ve kireç değerlerinin tahmininde uzaklığın tersi ile ağırlıklandırma (IDW) yöntemi ile üretilen tematik haritalar en doğru tahmin edilmiş haritalar olarak kabul edilmiştir.

Çizelge 3.10. Suya doygunluk tahmin değerlerinin korelasyon katsayısı, ortalama hata ve RMSE değerlerine göre konumsal interpolasyon yöntemlerinin doğruluk karşılaştırması.

<i>Suya doygunluk</i>	Korelasyon katsayısı (R^2)	Ortalama hata (ME)	RMSE
Doğal Komşuluk	0.6262	2.6083	12.8317
IDW	0.8142	2.8124	9.3120
Ordinary Kriging	0.8492	2.6450	9.1069

Çizelge 3.11. pH tahmin değerlerinin korelasyon katsayısı, ortalama hata ve RMSE değerlerine göre konumsal interpolasyon yöntemlerinin doğruluk karşılaştırması.

<i>pH</i>	Korelasyon katsayısı (R^2)	Ortalama hata (ME)	RMSE
Doğal Komşuluk	0.8503	0.0200	0.0886
IDW	0.8699	-0.0014	0.0797
Ordinary Kriging	0.9230	0.0004	0.0614

Çizelge 3.12.Toplam tuz tahmin değerlerinin korelasyon katsayısı, ortalama hata ve RMSE değerlerine göre konumsal interpolasyon yöntemlerinin doğruluk karşılaştırması.

<i>Toplam tuz</i>	Korelasyon katsayısı (R²)	Ortalama hata (ME)	RMSE
Doğal Komşuluk	0.6176	0.0016	0.0308
IDW	0.7629	0.0031	0.0242
Ordinary Kriging	0.8185	0.0014	0.0214

Çizelge 3.13.Elektriksel iletkenlik (EC) tahmin değerlerinin korelasyon katsayısı, ortalama hata ve RMSE değerlerine göre konumsal interpolasyon yöntemlerinin doğruluk karşılaştırması.

<i>Elektriksel iletkenlik</i>	Korelasyon katsayısı (R²)	Ortalama hata (ME)	RMSE
Doğal Komşuluk	0.7035	0.0394	0.6080
IDW	0.8813	0.0268	0.4443
Ordinary Kriging	0.8530	0.0231	0.4647

Çizelge 3.14.Kireç tahmin değerlerinin korelasyon katsayısı, ortalama hata ve RMSE değerlerine göre konumsal interpolasyon yöntemlerinin doğruluk karşılaştırması.

<i>Kireç</i>	Korelasyon katsayısı (R²)	Ortalama hata (ME)	RMSE
Doğal Komşuluk	0.7744	-0.2447	2.5341
IDW	0.8976	-0.1219	1.7415
Ordinary Kriging	0.8617	-0.2964	2.1691

Çizelge 3.15.Organik madde tahmin değerlerinin korelasyon katsayısı, ortalama hata ve RMSE değerlerine göre konumsal interpolasyon yöntemlerinin doğruluk karşılaştırması.

<i>Organik madde</i>	Korelasyon katsayısı (R²)	Ortalama hata (ME)	RMSE
Doğal Komşuluk	0.8062	0.0036	0.2314
IDW	0.9083	-0.0023	0.1575
Ordinary Kriging	0.9256	-0.0034	0.1419

3.3.5. Yetiştirilecek bitkiye göre uygun yer seçimi

Çalışmanın son aşamasında toprak verimliliğini etkileyen analizlerden elde edilen tematik haritaları kullanarak, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) platformunda çakıştırma analizi ile yetiştirilecek bitki için en uygun verimin alınacağı yer seçimi yapılmıştır.

2013 yılında yapılan TÜİK araştırmasına göre Eskişehir ilinde ekili alanların büyük bir çoğunluğu buğday ve arpa olarak tespit edilmiş (Çizelge 3.2) ve bu nedenle çalışma alanında buğdaygiller için uygun yer seçimi yapılmasına karar verilmiştir.

Çalışmada sınıflama ve değer aralıkları için 5403 sayılı Toprak Kullanımı ve Arazi Kullanımı Kanunu 7 inci ve 8 inci maddeleri ile Uygulama Yönetmeliğinin 8 inci ve 14 üncü maddeleri uyarınca Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı tarafından çıkarılan “Toprak ve Arazi Sınıflaması Standartları Teknik Talimatı” kullanılmıştır. Teknik talimatta verilen değer aralık ve sınıflamaları Çizelge 3.16, Çizelge 3.17, Çizelge 3.18, Çizelge 3.19, Çizelge 3.20’de sunulmuştur.

Çizelge 3.16.Suya doygunluğa göre bünye sınıflaması.

Saturasyon Oranı (%)	Bünye
0-30	Kumlu
30-50	Tınlı
50-70	Killi tınlı
70-110	Killi
110+	Ağır Killi

Kaynak: Toprak ve Arazi Sınıflaması Standartları Teknik Talimatı

Çizelge 3.17.Kireç (%) değerine göre toprak sınıflaması.

Kireç	Sınıf
% 0-1	Az kireçli
% 1-5	Kireçli
% 5-15	Orta kireçli
% 15-25	Fazla kireçli
% 25+	Çok fazla kireçli

Kaynak: Toprak ve Arazi Sınıflaması Standartları Teknik Talimatı

Çizelge 3.18.pH değerine göre toprak reaksiyonu sınıflaması.

pH	Reaksiyon
<4.5	Aşırı asit
4.5 - 5.0	Çok kuvvetli asit
5.1 - 5.5	Kuvvetli asit
5.6 - 6.0	Orta asit
6.1 - 6.5	Hafif asit
6.6 - 6.9	Çok hafif asit
7.0	Nötr
7.1 - 7.3	Çok hafif alkali
7.4 - 7.8	Hafif alkali
7.9 - 8.4	Orta alkali
8.5 - 9.0	Kuvvetli alkali
>9.1	Çok kuvvetli alkali

Kaynak: Toprak ve Arazi Sınıflaması Standartları Teknik Talimatı

Çizelge 3.19.Toplam tuz (%) ve EC değerine göre toprak sınıflaması.

Tuz (%)	EC	Sınıf
0.00 -0.15	0 - 4	Tuzsuz
0.15 - 0.35	4 - 8	Hafif Tuzlu
0.35 - 0.65	8 - 16	Orta Tuzlu
0.65 +	16 +	Şiddetli Tuzlu

Kaynak: Toprak ve Arazi Sınıflaması Standartları Teknik Talimatı

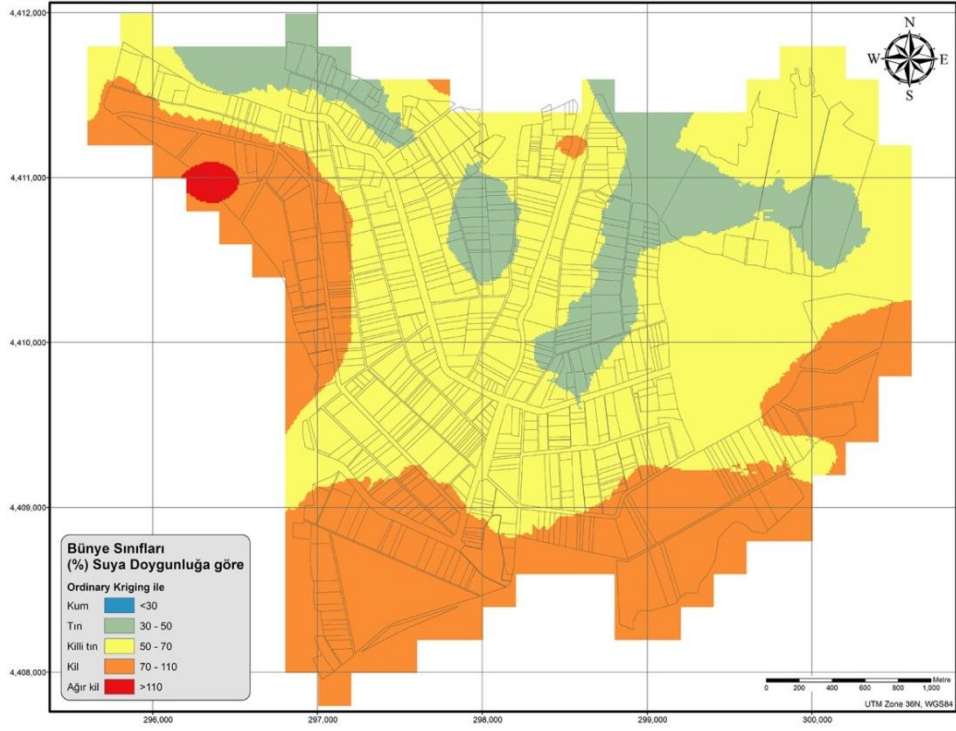
Çizelge 3.20.Organik madde (%) değerine göre toprak sınıflaması.

Organik Madde	Sınıf
% 0-1	Çok az
% 1-2	Az
% 2-3	Orta
% 3-4	İyi
% 4+	Yüksek

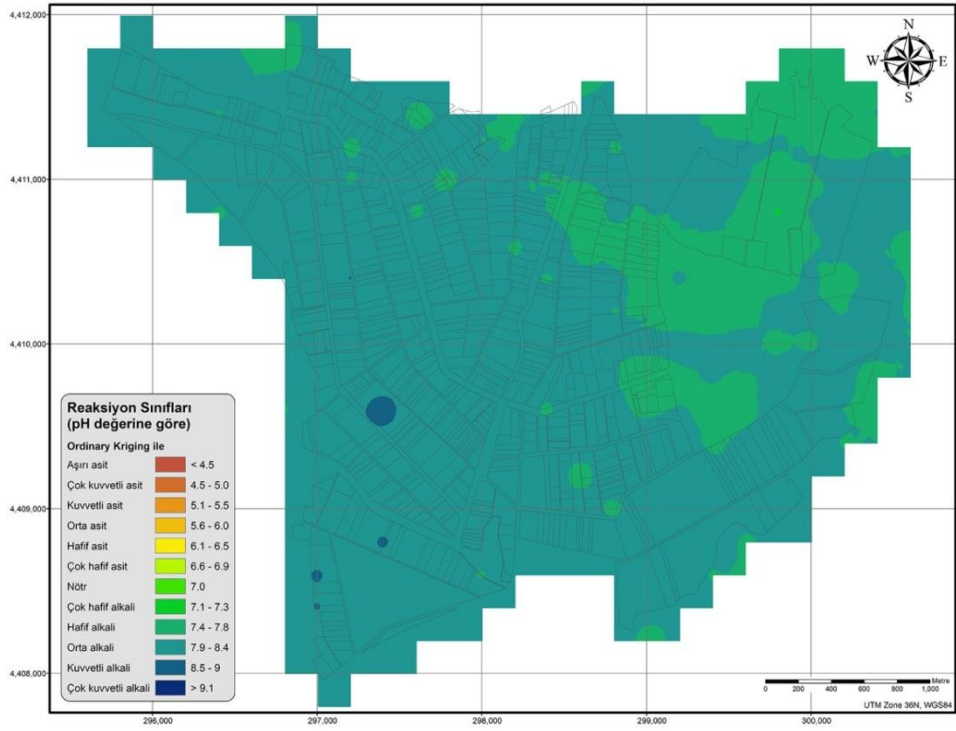
Kaynak: Toprak ve Arazi Sınıflaması Standartları Teknik Talimatı

Doğruluk analizleri sonucu en doğru kabul edilen suya doygunluk, pH, toplam tuz ve organik madde değerlerinin tahmininde ordinary kriging yöntemi, elektriksel iletkenlik ve kireç değerlerinin tahmininde uzaklığın tersi ile ağırlıklandırma (IDW) yöntemi ile üretilen tematik haritalar, Toprak ve Arazi Sınıflaması Standartları Teknik Talimatında verilen değer aralıklarına göre sınıflandırılmış olup Şekil 3.62, Şekil 3.63, Şekil 3.64, Şekil 3.65, Şekil 3.66 ve Şekil 3.67’de verilmiştir.

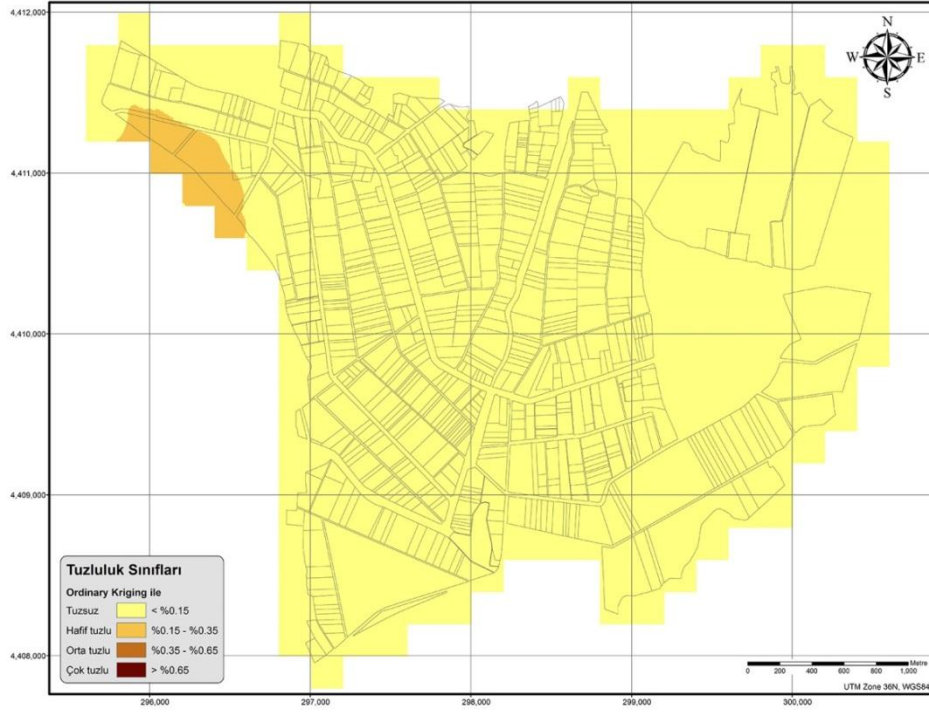
Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) platformunda buğdaygiller ekimi için en uygun yer seçimi, öncelikle farklı birimlerde ve değerlerde elde edilen toprak verimliliğini etkileyen ölçüt değerlerinin, ortak bir değerlendirme sisteminde puanlamasını gerektirmektedir. Bu amaçla Toprak ve Arazi Sınıflaması Standartları Teknik Talimatında verilen sınıflar verimlilik açısından puanlamıştır. Çalışmada verimlilik puanlaması 100 üzerinden yapılmış olup, tarımda verimlilik ve ziraat konusunda deneyimli uzman görüşleri ile detaylandırılabilir. Yapılan puanlama buğdaygiller ekimi için asgari toprak verimlilik ölçütleri göz önünde bulundurularak yapılmıştır (Çizelge 3.21).



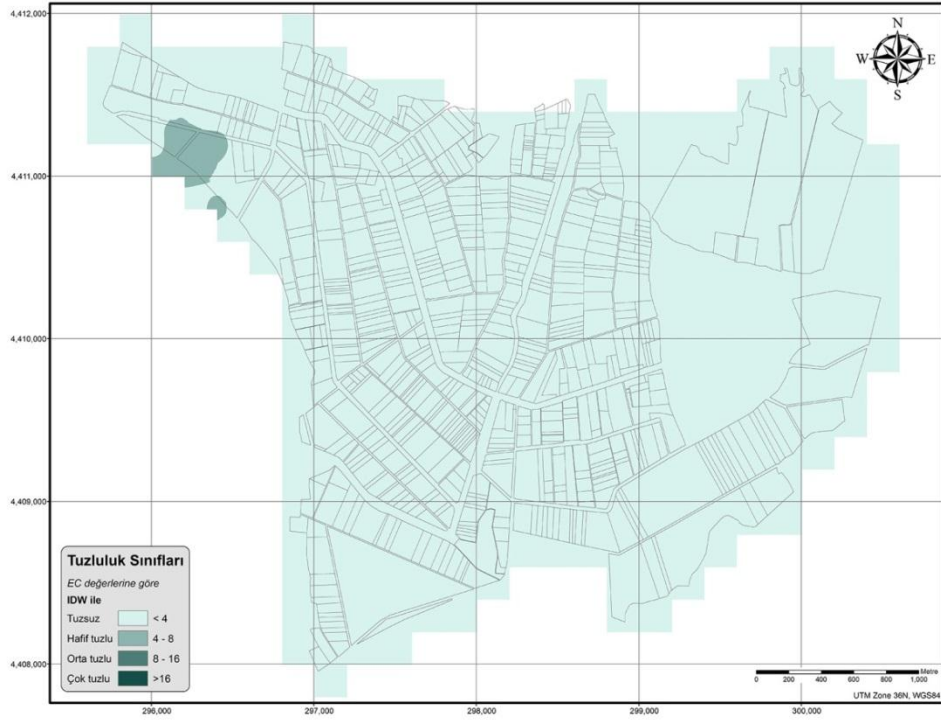
Şekil 3.62. Teknik talimata göre bünye sınıflarını gösteren suya doğunluk haritası.



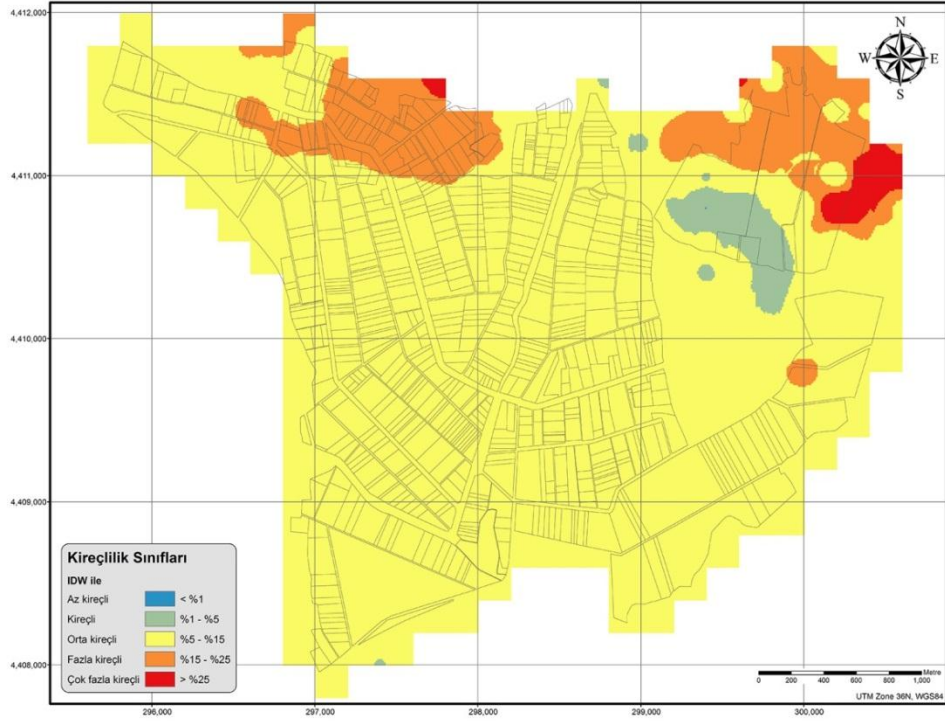
Şekil 3.63. Teknik talimata göre toprak reaksiyon sınıflarını gösteren pH değerleri haritası.



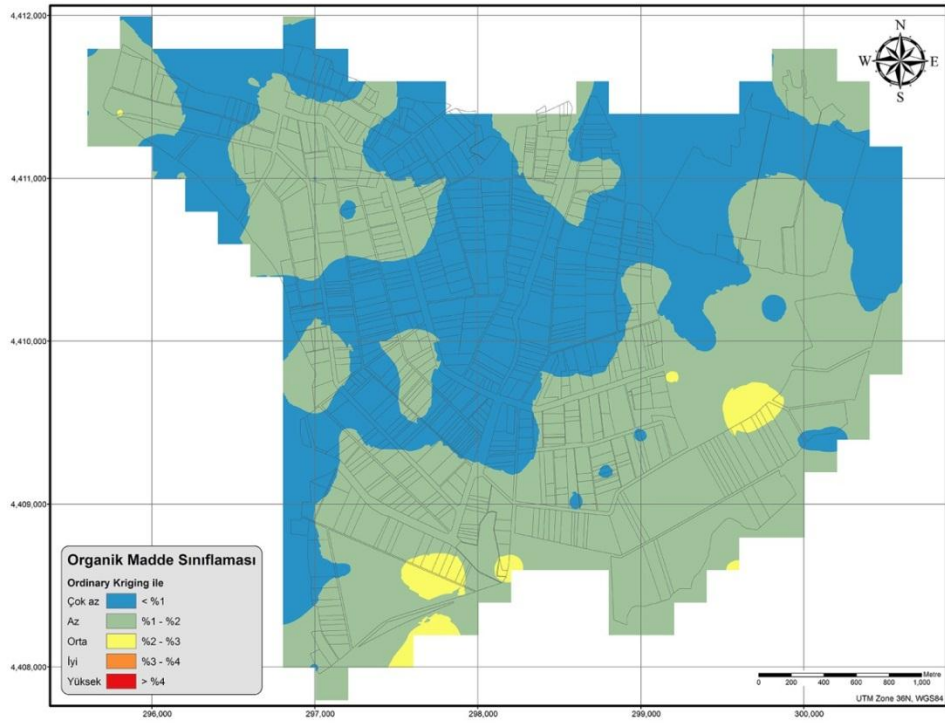
Şekil 3.64. Teknik talimata göre tuzluluk sınıflarını gösteren toplam tuz değerleri haritası.



Şekil 3.65. Teknik talimata göre tuzluluk sınıflarını gösteren EC değerleri haritası.



Şekil 3.66. Teknik talimata göre kireçlilik sınıflarını gösteren kireç değerleri haritası.



Şekil 3.67. Teknik talimata göre organik madde sınıflarını gösteren organik madde değerleri haritası.

Çizelge 3.21.Buğdaygiller ekimi için asgari toprak verimlilik ölçütleri.

Ölçüt	Aralık	Sınıflama	Kaynakça
Suya Doygunluk (%)	31 - 50	Tınlı	<i>Kurucu ve ark, 1990</i>
pH	7.4 - 7.8	Hafif Alkali	<i>Jackson, 1958</i>
Toplam Tuz (%)	0 - 0.15	Tuzsuz	<i>Rhoades, 1982</i>
Elektriksel iletkenlik	4 - 8	Hafif Tuzlu	<i>Fipps, 2003 ve Rhoades, 1982</i>
Kireç (%)	1 - 5	Kireçli	<i>Çağlar, 1949 ve Evliya, 1964</i>
Organik madde (%)	2 - 3	Orta	<i>Thun ve ark., 1955 ve Jackson, 1960</i>

Çizelge 3.21’de verilen buğdaygiller ekimi için asgari değer aralıkları ve sınıflamalar göz önünde bulundurularak yapılan verimlilik puanlaması Çizelge 3.22, Çizelge 3.23, Çizelge 3.24, Çizelge 3.25, Çizelge 3.26’da verilmiştir.

Çizelge 3.22.Suya doyumluğa göre bünye sınıflarının puanlaması.

Saturasyon Oranı (%)	Bünye	Puan
0-30	Kumlu	20
30-50	Tınlı	100
50-70	Killi tınlı	80
70-110	Killi	60
110+	Ağır Killi	40

Çizelge 3.23.Kireç (%) değerine göre toprak sınıflarının puanlaması.

Kireç	Sınıf	Puan
% 0-1	Az kireçli	80
% 1-5	Kireçli	100
% 5-15	Orta kireçli	60
% 15-25	Fazla kireçli	40
% 25+	Çok fazla kireçli	20

Çizelge 3.24.pH değerine göre toprak reaksiyonu sınıflarının puanlaması.

pH	Reaksiyon	Puan
<4.5	Aşırı asit	5
4.5 - 5.0	Çok kuvvetli asit	10
5.1 - 5.5	Kuvvetli asit	20
5.6 - 6.0	Orta asit	40
6.1 - 6.5	Hafif asit	50
6.6 - 6.9	Çok hafif asit	60
7.0	Nötr	80
7.1 - 7.3	Çok hafif alkali	90
7.4 - 7.8	Hafif alkali	100
7.9 - 8.4	Orta alkali	70
8.5 - 9.0	Kuvvetli alkali	30
>9.1	Çok kuvvetli alkali	5

Çizelge 3.25.Toplam tuz (%) ve EC değerine göre toprak sınıflarının puanlaması.

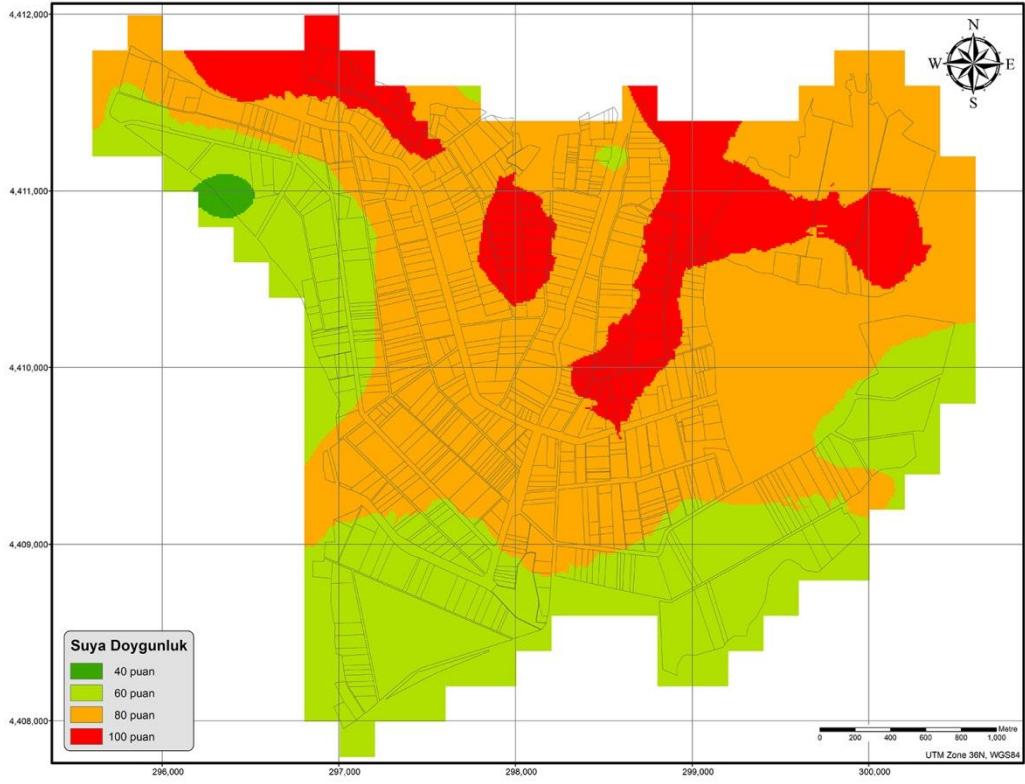
Tuz (%)	EC	Sınıf	Puan
0.00 -0.15	0 - 4	Tuzsuz	100
0.15 - 0.35	4 - 8	Hafif Tuzlu	80
0.35 - 0.65	8 - 16	Orta Tuzlu	50
0.65 +	16 +	Şiddetli Tuzlu	10

Çizelge 3.26.Organik madde (%) değerine göre toprak sınıflarının puanlaması.

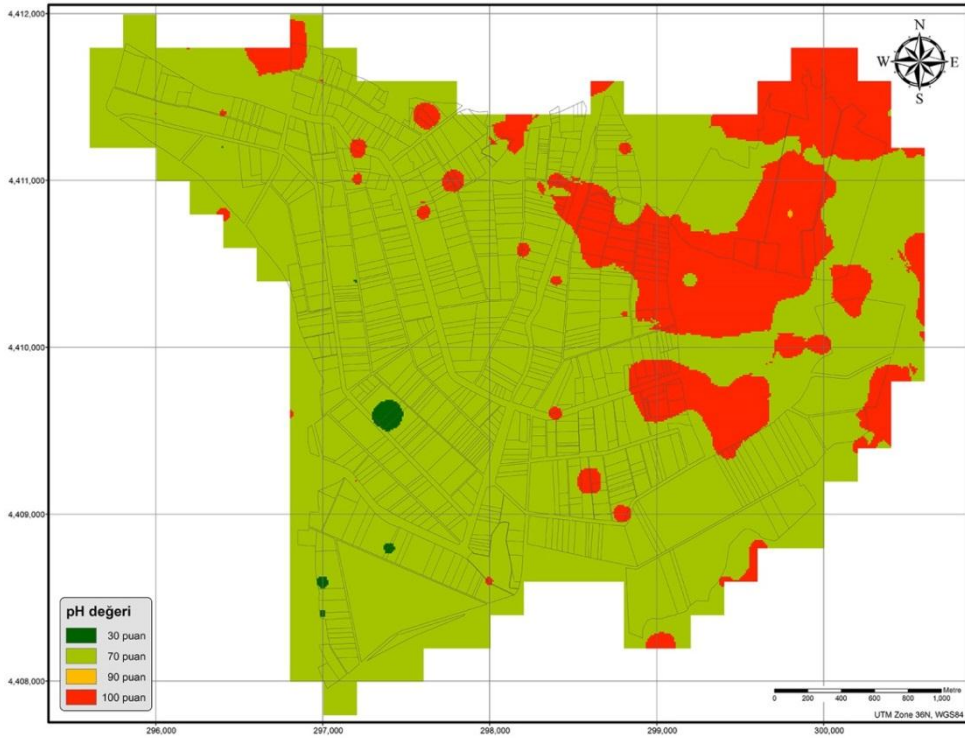
Organik Madde	Sınıf	Puan
% 0-1	Çok az	50
% 1-2	Az	70
% 2-3	Orta	80
% 3-4	İyi	90
% 4+	Yüksek	100

Verimlilik puanlaması tarım verimliliği ve ziraat konusunda deneyim ve bilgi birikimi gerektirmektedir. Çalışmada yapılan puanlama, konusunda uzman görüşü alınmadan değerlerin karşılaştırılıp, mantık yürüterek hipotetik olarak yapılmıştır. Çalışmada amaç tarım verimliliği konusunda bilgi sunmak değil, CBS kullanarak, benzer haritaların hazırlanabileceğini göstermektir.

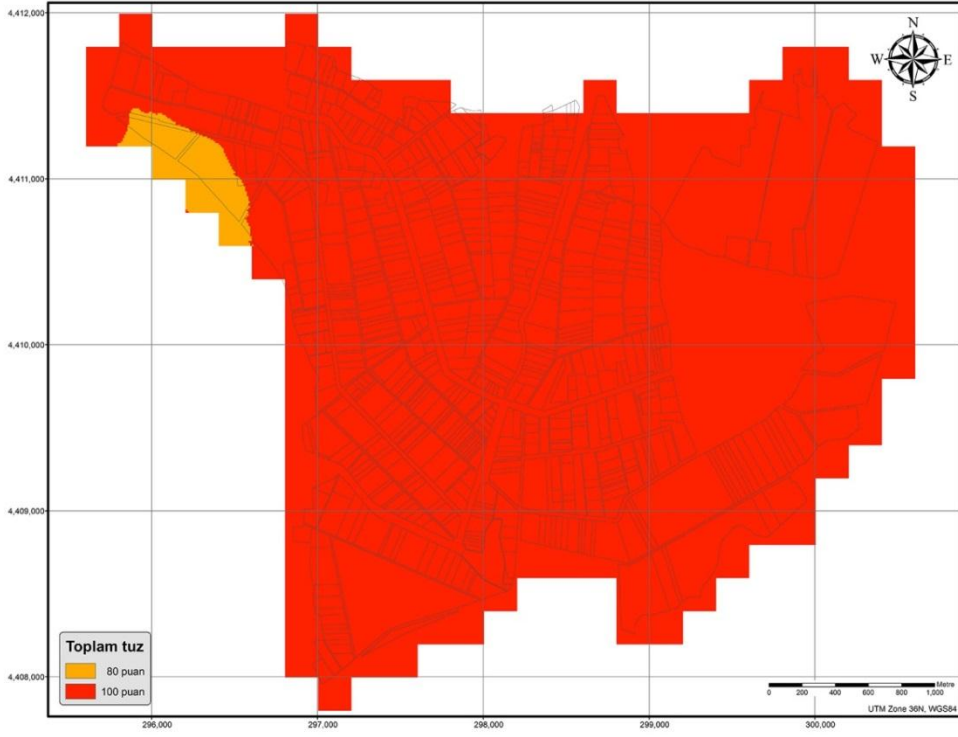
Çalışmada elde edilen verimlilik ölçütlerine göre sınıflanmış haritalar yukarıda yapılan puanlamalara göre yeniden sınıflanmıştır. Yeniden sınıflama (reclassification) çakıştırma analizi (overlay analysis) için haritaların ortak değerlendirme sistemine dönüştürme işlemi olarak tanımlanabilir. Verilen puanlara göre hazırlanan haritalar Şekil 3.68, Şekil 3.69, Şekil 3.70, Şekil 3.71, Şekil 3.72 ve Şekil 3.73'de gösterilmiştir.



Şekil 3.68. Puanlamaya göre yeniden sınıflanan suya doyunluk haritası.



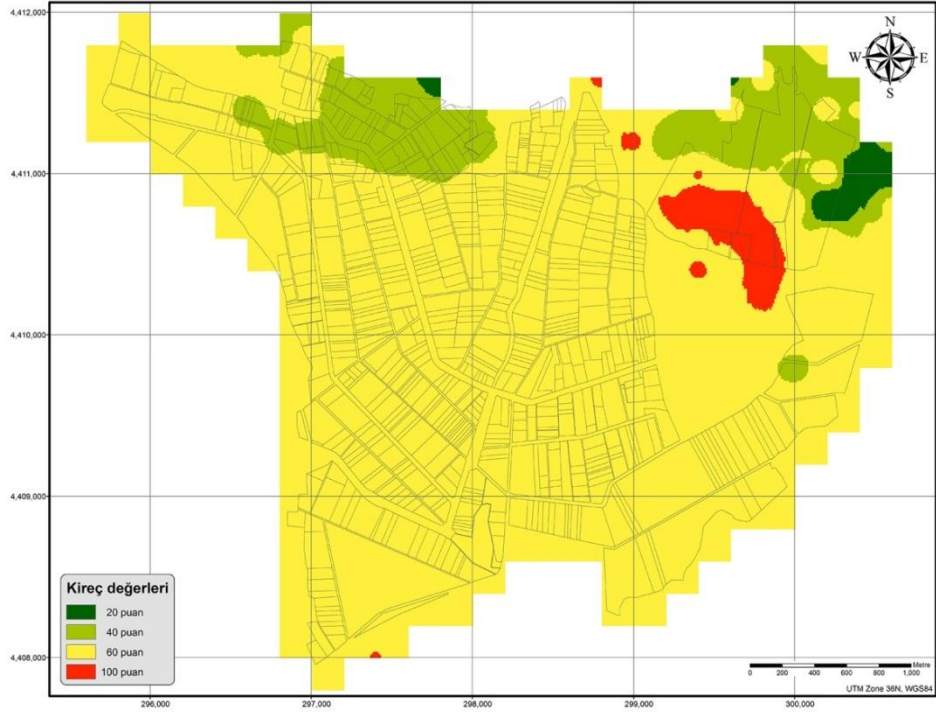
Şekil 3.69. Puanlamaya göre yeniden sınıflanan pH değeri haritası.



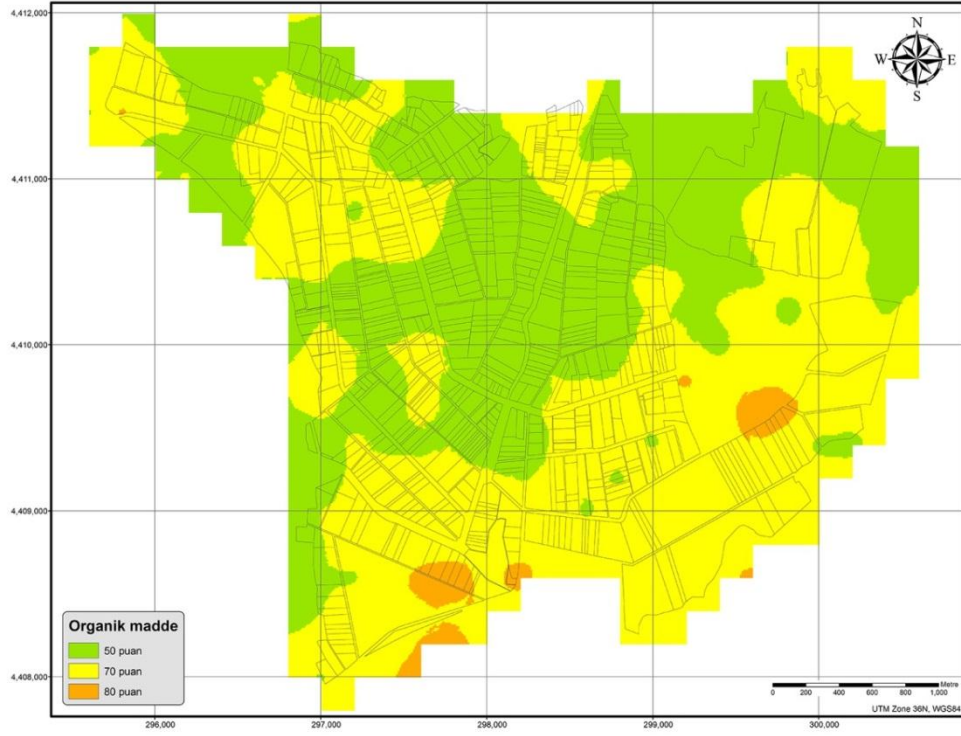
Şekil 3.70. Puanlamaya göre yeniden sınıflanan toplam tuz değerleri haritası.



Şekil 3.71. Puanlamaya göre yeniden sınıflanan EC değerleri haritası.

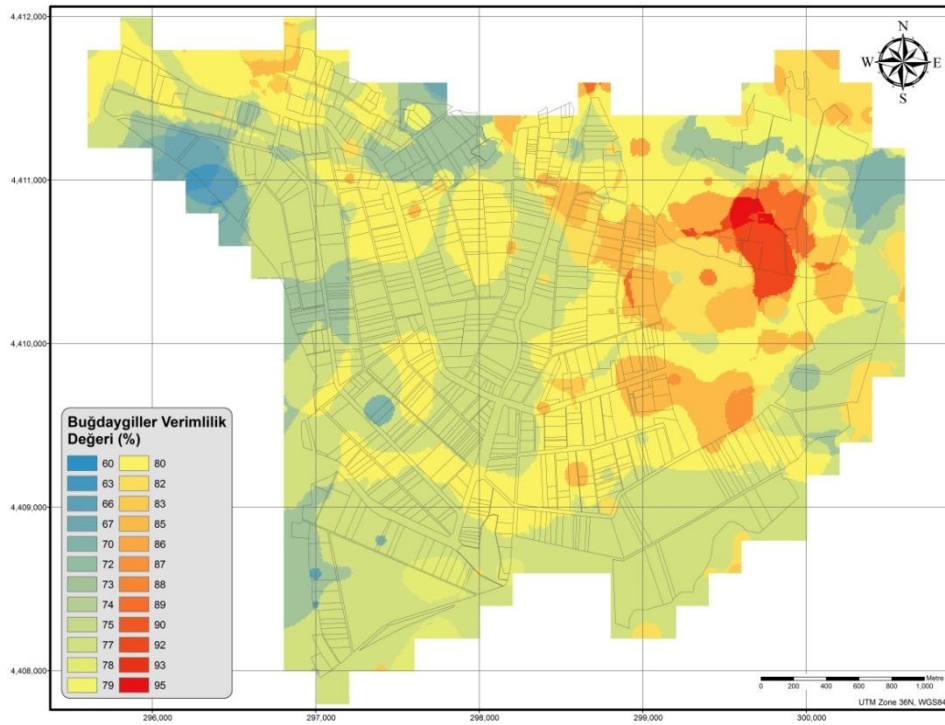


Şekil 3.72. Puanlamaya göre yeniden sınıflanan kireç değerleri haritası.



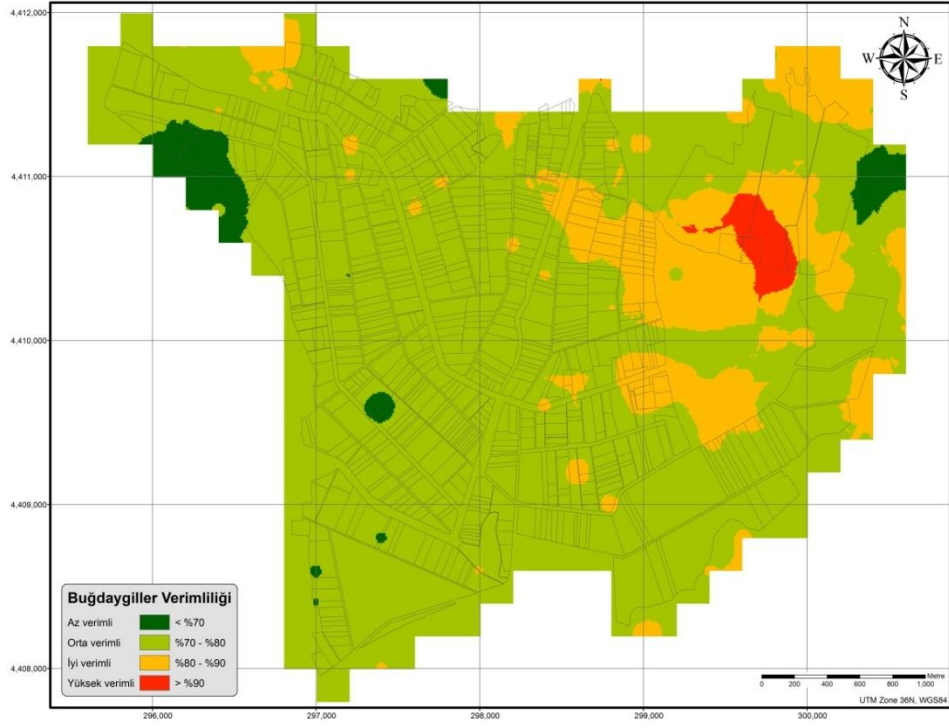
Şekil 3.73. Puanlamaya göre yeniden sınıflanan organik madde haritası.

300 noktadan elde edilen analiz sonuçlarından üretilen tahmin haritalarının, buğdaygiller ekimi için gerekli ölçütlere göre yeniden sınıflanmasından sonra, çakıştırma analizi yapılarak buğdaygiller ekimi için uygun verimli yerler belirlenmiştir. Toprak verimliliğini etkileyen ölçütlerin ağırlıklı çakıştırma (weighted overlay) analizi için literatürde bir çalışma bulunamadığından tüm ölçütler eşit ağırlıklı kabul edilerek, puanlama 100 üzerinden yapılmıştır. Ağırlıklı çakıştırma analizinden elde edilen sonuç haritası Şekil 3.74’de gösterilmektedir.



Şekil 3.74. Ağırlıklı çakıştırma sonucunda elde edilen buğdaygiller verimlilik değerleri.

Elde edilen değerlerin daha anlamlı olması için %70 altında olan değerler az verimli, %70 - %80 arası orta verimli, %80 - %90 arası iyi verimli ve son olarak %90 üzeri değerler yüksek verimli olarak sınıflandırılmış ve çalışma bölgesi için buğdaygiller verimlilik haritası elde edilmiştir (Şekil 3.75).



Şekil 3.75. Çalışma bölgesi için buğdaygiller verimlilik haritası.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışmada Coğrafi Bilgi Sistemlerinin konumsal interpolasyon ve konumsal analiz yapabilme ve yorumlama yeteneklerini kullanarak yapılan hassas tarım uygulamalarının konumsal istatistik (jeostatistik) kavramlarla bütünleştirilerek, ekilecek ürün (bitki) için uygun tarım arazisini yeri belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, Eskişehir İli, Tepebaşı İlçesi, Cumhuriyet ve Yıldırım Çiftliği köylerinde tarım alanlarından alınan 370 toprak örneği toprak analizi yaptırılmış, toprak verimliliğini etkileyen ölçütler ile ilgili tematik haritalar ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Araziden alınan toprak örneklerinin analiz sonuçları kullanılarak, nokta veriden sürekli veri üretilmiştir. 370 noktanın analiz sonuçları içinden rassal olarak seçilen 70 nokta, test verisi olarak kullanılmış, 300 noktanın normal dağılım parametreleri hesaplanmıştır. Dağılım parametrelerine göre pH değerleri hariç, suya doygunluk, toplam tuz, EC, kireç ve organik madde değerlerinin lognormal dağılım gösterdikleri gözlenmiştir.

Veri setleri normalleştirildikten sonra doğal komşuluk (natural neighbor), uzaklığın tersi ile ağırlıklandırma (inverse distance weighting) ve ordinary kriging konumsal interpolasyon yöntemleri ile tahminleme yapılarak her bir toprak verimlilik ölçütü için tematik harita üretilmiştir.

Üretilen tematik haritalara test verileri kullanılarak doğruluk analizi yapılmıştır. Doğruluk analizlerinde korelasyon katsayısı (R^2), ortalama hata (ME) ve tahmin hatalarının karesinin ortalama karekökü (RMSE) değerleri karşılaştırılmıştır.

Üç farklı değerle yapılan doğruluk analizleri sonucunda suya doygunluk tahminleri için bire (1) en yakın R^2 değeri 0.8492 ile ordinary kriging yönteminde hesaplanmıştır. Sıfıra (0) en yakın ME değeri 2.6083 ile doğal komşulukta, en küçük RMSE değeri ise 9.1069 ile yine ordinary kriging yönteminde hesaplanmış ve suya doygunluk için en doğru tahmin, ordinary kriging yöntemi ile yapılan tematik harita seçilmiştir.

pH tahminleri için bire (1) en yakın R^2 değeri 0.9230 ile ordinary kriging, sifira (0) en yakın ME değeri 0.0004 ile ordinary kriging ve en küçük RMSE değeri 0.0614 ile ordinary kriging yönteminde hesaplanmış ve pH değeri için en doğru tahmin, ordinary kriging yöntemi ile yapılan tematik harita seçilmiştir.

Toplam tuz tahminleri için bire (1) en yakın R^2 değeri 0.8185 ile ordinary kriging, sifira (0) en yakın ME değeri 0.0014 ile ordinary kriging ve en küçük RMSE değeri 0.0214 ile ordinary kriging yönteminde hesaplanmış ve pH değeri için en doğru tahmin, ordinary kriging yöntemi ile yapılan tematik harita seçilmiştir.

Elektriksel iletkenlik tahminleri için bire (1) en yakın R^2 değeri 0.8813 ile uzaklığın tersi ile ağırlıklandırma, sifira (0) en yakın ME değeri 0.0231 ile ordinary kriging ve en küçük RMSE değeri 0.4443 ile uzaklığın tersi ile ağırlıklandırma yönteminde hesaplanmış ve elektriksel iletkenlik değeri için en doğru tahmin, uzaklığın tersi ile ağırlıklandırma yöntemi ile yapılan tematik harita seçilmiştir.

Kireç tahminleri için bire (1) en yakın R^2 değeri 0.8976 ile uzaklığın tersi ile ağırlıklandırma, sifira (0) en yakın ME değeri -0.1219 ile uzaklığın tersi ile ağırlıklandırma ve en küçük RMSE değeri 1.7415 ile uzaklığın tersi ile ağırlıklandırma yönteminde hesaplanmış ve kireç değeri için en doğru tahmin, uzaklığın tersi ile ağırlıklandırma yöntemi ile yapılan tematik harita seçilmiştir.

Organik madde tahminleri için bire (1) en yakın R^2 değeri 0.9256 ile ordinary kriging, sifira (0) en yakın ME değeri -0.0023 ile uzaklığın tersi ile ağırlıklandırma ve en küçük RMSE değeri 0.1419 ile ordinary kriging yönteminde hesaplanmış ve organik madde değeri için en doğru tahmin, ordinary kriging yöntemi ile yapılan tematik harita seçilmiştir.

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) tarımsal ürün istatistiklerine göre, 2013 yılında Eskişehir ilinde 1.862.934 dekar alana buğday, 1.118.424 dekar alana arpa ekilmiş olup, toplam 2.981.358 dekar alana buğdaygiller sınıfı ürün ekilmiştir. Bu değer Eskişehir ili toplam tarım alanlarının % 52'sini oluşturmaktadır. Bu nedenle çalışma alanında ağırlıklı çakıştırma yöntemi kullanılarak Coğrafi Bilgi Sistemleri platformunda buğdaygiller sınıfı ürün için en uygun verimin alınacağı yerlerin analizi yapılmıştır. Ağırlıklı çakıştırma analizinde, doğruluk analizi ile seçilen tematik haritalar kullanılmıştır. Eşit ağırlık verilen ölçütler çakıştırılarak elde edilen

haritada, çalışma alanı için buğdaygiller ürün sınıfında %60 ile %95 arasında toprak verimi bulunmuştur. Bu değerler %70'den küçük az verimli, %70 - %80 arası orta verimli, %80 - %90 arası iyi verimli ve %90'dan fazla yüksek verimli olarak sınıflandırılmıştır. Bu sınıflamaya göre elde edilen sonuç haritada toplam 1268 hektar çalışma alanının % 3.15'i (39.80 hektar) az verimli, %80.08'i (1015.47 hektar) orta verimli, %15.45'i (195.93 hektar) iyi verimli ve %1.32'i (16.80 hektar) yüksek verimli olarak hesaplanmıştır.

Çalışmada amaç hassas tarım uygulamalarında tematik harita üretimi ile ekilecek bitki konusunda verimlilik haritaları elde edilebilirliğini göstermektir. Bu nedenle hassas tarım uygulamaları, tarımda verimlilik gibi konularda sadece kaynaklardan elde edilen kuramsal bilgi aktarılmış, bu konularda herhangi bir yorum yapılmamıştır. Çalışmada sadece CBS'de ağırlıklı çakıştırma yöntemine altlık oluşturmak amacı ile Toprak ve Arazi Sınıflaması Standartları Teknik Talimatı'nda yapılan tarımda verimlilik ölçütlerinin sınıflandırmalarına, mantıksal çerçevede puanlama yapılmıştır. Burada amaç hassas tarım, tarımda verimlilik ve ziraat konusunda çalışan uzmanlara CBS yönünden farklı bir bakış açısı sunmaktır.

Ülkemizde tarım topraklarımızın çok da verimli kullanılmadığı düşünüldüğünde, benzer bir uygulamanın konunun uzmanları tarafından kullanıldığında tarımsal üretime büyük katkı sağlayacağı söylenebilir. Gerek konusu, gerekse uygulaması açısından bakıldığında, çalışmanın Türkiye'de tarım sektörünün gelişimi ve verim artışına önemli katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Çalışmada kullanılan yöntemin gelecekte ülkemizde hassas tarım uygulamaları ile verim artışına olduğu kadar, benzer yöntemler kullanılarak gübre uygulama programlarına, uygun ilaçlama ve üretim maliyetlerinin düşürülmesine yönelik programların hazırlanmasına ışık tutacağı öngörülmektedir.

KAYNAKLAR

- Akalan, İ. (1988), *Toprak bilgisi*, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Ankara, No:1058.
- Akbaş, F. ve Yıldız, H. (2004), “Toprak özelliklerinin haritalanmasında jeostatistiksel tekniklerin kullanımı”, 3. *Coğrafi Bilgi Sistemleri Bilişim Günleri*, İstanbul.
- Altan, İ. (2010), *Tarım ziraat hayvancılık*, <http://ibrahimaltan.wordpress.com/page/12/>, Erişim Tarihi: Kasım 2014.
- Anonim (2010), *CBS'nin dünyadaki tarihsel kronolojisi*, http://m.facebook.com/note.php?note_id=112317632130783&_ft_/, Erişim Tarihi: Aralık 2014.
- Anonim (2013), *Voronoi – Interpolation*, <http://de.wikipedia.org/wiki/Voronoi-Interpolation>, Erişim Tarihi: Mayıs 2014)
- Başayığıt, L., Şenol, H. ve Müjdecı, M. (2008), “Isparta ili meyve yetiştirme potansiyeli yüksek alanların bazı toprak özelliklerinin coğrafi bilgi sistemleri ile haritalanması”, *Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 3, 2, 1-10.
- Brady, N.C. ve Weil, R.R. (1999), *The nature and properties of soils*, Prentice-Hall Inc., New Jersey, A.B.D.
- Brase, T. (2005), *Precision agriculture*, Delmar Cengage Learning, New York, A.B.D.
- Burrough, P.A. ve McDonnell, R.A. (1998), *Principles of geographical information systems*, Oxford University Press, New York, A.B.D.
- Chahouki, M.A., Chahouki, A. ve Ahvazi L.K. (2011), “Comparing geostatistical approaches for mapping soil properties in Poshtkouh Rangelands of Yazd Province”, *Vegetos - An international journal of plant research*, 24, 1, 77-88.
- Çağlar, K.Ö. (1949), *Toprak bilgisi*, Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Yayınları, 10, 230.
- ESRI (2003), *Using ArcGIS geostatistical analyst*, ESRI Press, California, A.B.D.
- Fitzpatrick, C. ve Maguire, D. J. (2000), “GIS in schools: Infrastructure, methodology and role in GIS”, *A sourcebook for schools* (Ed: Green, D.R.), 61-62. Taylor & Francis.
- Güler, M. ve Kara, T. (2005), “Hassas uygulamalı tarım teknolojisine genel bir bakış”, *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 20, 3, 110-117.
- Işık, N. ve Acar, M. (2003), “Kayıt dışı ekonomi: Ölçme Yöntemleri, Boyutları, Yarar ve Zararları”, *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 117-136.

- Isaaks, E.H. ve Srivastava, R.M. (1989), *An introduction to applied geostatics*, Oxford University Press, New York, A.B.D.
- Kirişçi, V., Keskin, M., Say, S.M. ve Görücü, S. (1999), *Hassas uygulamalı tarım teknolojisi*, Nobel Yayınevi, Adana.
- Kravchenko, A. ve Bullock, D.G. (1999), “A comparative study of interpolation methods for mapping soil properties”, *Agronomy journal*, 91, 393–400.
- Kurucu, N., Gedikoğlu, İ. ve Eyüpoğlu, F. (1990), “Toprakların verimlilik yönünden kimyasal analiz yöntemleri”, *Toprak ve su analiz laboratuvarları el kitabı*, (Ed: Tüzüner A.), Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara.
- Laslett, G.M., McBratney, A.B., Pahl, P.J. ve Hutchinson, M.F. (1987), “Comparison of several spatial prediction methods for soil pH”, *J. Soil Sci.*, 38, 325–341.
- Rhoades, R.E. ve Booth, R.H. (1982), “Farmer-back-to-farmer: A model for generating acceptable agricultural technology”, *Agricultural Administration*, 11, 2, 127-137.
- Richards, L.A. (1954), “Diagnosis and improvement of saline and alkali soils”, *USDA Handbook*, No:60.
- Robinson, T.P. ve Metternicht, G. (2006), “Testing the performance of spatial interpolation techniques for mapping soil properties”, *Computers and electronics in agriculture*, 50, 2, 97–108
- Self, J.R. ve Soltanpour, P.N. (2010), *Soil sampling*,
<http://www.ext.colostate.edu/pubs/crops/00500.html/> Erişim Tarihi: Kasım 2014.
- Tercan, A.E. ve Saraç, C. (1998), *Maden yataklarının değerlendirilmesinde jeostatistiksel yöntemler*, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, Ankara.
- Thun, R., Hermann, R. ve Knickman, E. (1955), *Die untersuchung von boden*, Neuman Verlag, Radelbeul ve Berlin, 48-48.
- Uyguçgil, H. (2007), *Çok değişkenli maden yataklarında rezerv tenör tahmininde jeostatistik ve coğrafi bilgi sistemleri tekniklerinin kullanımı*, Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Uyguçgil, H. (2011a), “Coğrafi bilgi sistemlerine ilişkin temel kavramlar”, *Coğrafi bilgi sistemlerine giriş* (Ed: Çabuk, A.), Anadolu Üniversitesi Yayınları, Eskişehir, No:2206, 132-145.
- Uyguçgil, H. (2011b), “CBS veri tipleri ve modelleri”, *Coğrafi bilgi sistemlerine giriş* (Ed: Çabuk, A.), Anadolu Üniversitesi Yayınları, Eskişehir, No:2206, 146-161.

Yomralıoğlu, T. (2000), *Coğrafi bilgi sistemleri: Temel kavramlar ve uygulamalar*, Akademi Kitabevi, İstanbul.

Yüzbaşıoğlu, A. ve Dağlıoğlu, M. (2011), “Yaprak, toprak ve su analizi”, *Bahçivanlık el kitabı*, İstanbul Büyükşehir Belediyesi Yayınları, İstanbul.