T.C.
KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ORMAN MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

EZİNE ÇAYI HAVZASINDA FARKLI MEŞCERE TİPLERİ ALTINDAKİ ÖLÜ ÖRTÜNÜN HİDRO-FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

MURAD EMINZADA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

PROF. DR. MİRAÇ AYDIN

EYLÜL - 2026
KASTAMONU

TEZ ONAYI

Murad EMINZADA tarafından hazırlanan "**EZİNE ÇAYI HAVZASINDA FARKLI MEŞCERE TİPLERİ ALTINDAKİ ÖLÜ ÖRTÜNÜN HİDRO-FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ**" adlı tez çalışmasının savunma sınavı **03.09.2026** tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Orman Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Danışman	Prof. Dr. Miraç AYDIN Kastamonu Üniversitesi	.....
Jüri Üyesi	Doç. Dr. Senem GÜNEŞ ŞEN Kastamonu Üniversitesi	.....
Jüri Üyesi	Doç. Dr. Semih EDİŞ Çankırı Karatekin Üniversitesi	.....

Jüri üyeleri tarafından kabul edilmiş olan bu tez Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca onanmıştır.

Enstitü Müdürü Prof. Dr. Selahattin KAYMAKCI .....

TAAHHÜTNAME

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu; ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını, bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini bildirir ve taahhüt ederim.

Murad EMINZADA

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

EZİNE ÇAYI HAVZASINDA FARKLI MEŞCERE TİPLERİ ALTINDAKİ ÖLÜ ÖRTÜNÜN HİDRO-FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

MURAD EMINZADA

KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ORMAN MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI
DANIŞMAN:PROF. DR. MİRAÇ AYDIN

Bu çalışmada, Kastamonu ili Bozkurt ilçesi sınırları içerisinde yer alan Ezine Çayı Havzası'nda farklı meşcere tipleri (Göknar, Karaçam, Kayın, Meşe ve Sarıçam) altında gelişen ölü örtünün maksimum su tutma kapasitesi (MSTK), hacim ağırlığı, pH, elektriksel iletkenlik (EC) ve tuzluluk değerlerinin belirlenmesi ve havza içerisindeki mekânsal dağılımının ortaya konulması amaçlanmıştır. Arazi çalışmalarında 55 örnekleme noktasından toplam 165 ölü örtü örneği alınmış ve elde edilen veriler ArcMap 10.8 yazılımında farklı jeoistatistiksel enterpolasyon yöntemleri kullanılarak modellenmiştir. MSTK için EBK-Power, pH için LPI-Gaussian, EC ve tuzluluk için ise Ordinary Kriging yöntemi kullanılmıştır.

Ortalama MSTK değerleri Meşe'de %403,29, Kayın'da %387,89, Sarıçam'da %383,65, Göknar'da %306,25 ve Karaçam'da %236,86 olarak belirlenmiştir. Birim alandaki mutlak su tutma kapasitesi en yüksek 14,83 L/m² ile Yukarı Havza'da (Güney) tespit edilmiştir. pH değerlerinin tüm meşcere tiplerinde asidik karakterde olduğu ve 5,19–5,61 arasında değiştiği belirlenmiştir. En yüksek EC (71,91 µS/cm) ve tuzluluk (0,03 ‰) değerleri Göknar meşcerelerinde görülmüş, EC ile tuzluluk arasında çok güçlü ve pozitif yönlü ilişki (r = 0,96) bulunmuştur.

Mekânsal analizler, ölü örtü özelliklerinin havza genelinde homojen dağılmadığını göstermiştir. MSTK değerlerinin havzanın farklı kesimlerinde değişkenlik gösterdiği, pH değerlerinin genel olarak asidik karakterini koruduğu, EC ve tuzluluk değerlerinin ise özellikle kuzey ve kuzeydoğu kesimlerinde daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Sonuç olarak, ölü örtünün hidro-fiziksel özellikleri ile pH, EC ve tuzluluk değerlerinin belirlenmesi ve mekânsal olarak modellenmesi, Ezine Çayı Havzası'ndaki değişkenliğin ortaya konulmasına katkı sağlamıştır. Elde edilen sonuçların sürdürülebilir orman ve havza yönetimi çalışmalarına katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

ANAHTAR KELİMELER: Ezine Çayı Havzası, Ölü Örtü, Maksimum Su Tutma Kapasitesi, pH, Elektriksel İletkenlik, Tuzluluk, Havza Yönetimi

Eylül 2026, 78 Sayfa

ABSTRACT

MSC THESIS

DETERMINATION OF THE HYDROPHYSICAL PROPERTIES OF DEAD GRASS COVER UNDER DIFFERENT STAND TYPES IN THE EZINE RIVER BASIN

MURAD EMINZADA

KASTAMONU UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
DEPARTMENT OF FOREST ENGINEERING
SUPERVISOR:PROF. DR. MİRAÇ AYDIN

In This study aimed to determine the maximum water holding capacity (MWHC), bulk density, pH, electrical conductivity (EC), and salinity values of the forest floor developing under different stand types (Fir, Black Pine, Beech, Oak, and Scots Pine) in the Ezine Stream Basin—located within the Bozkurt district of Kastamonu province—and to map their spatial distribution across the basin. During fieldwork, a total of 165 forest floor samples were collected from 55 sampling points, and the obtained data were modeled using various geostatistical interpolation methods in ArcMap 10.8 software. The EBK-Power method was used for MWHC, the LPI-Gaussian method for pH, and the Ordinary Kriging method for EC and salinity.

Mean MWHC values were determined to be 403.29% for Oak, 387.89% for Beech, 383.65% for Scots Pine, 306.25% for Fir, and 236.86% for Black Pine. The highest absolute water holding capacity per unit area (14.83 L/m²) was detected in the Upper Basin (South). pH values were found to be acidic across all stand types, ranging from 5.19 to 5.61. The highest EC (71.91 µS/cm) and salinity (0.03‰) values were observed in Fir stands, and a very strong positive correlation (r = 0.96) was found between EC and salinity.

Spatial analyses indicated that forest floor properties were not homogeneously distributed across the basin. It was determined that MSTK values varied across different parts of the basin, pH values generally maintained an acidic character, and EC and salinity values were higher, particularly in the northern and northeastern sections.

In conclusion, the determination and spatial modeling of the hydro-physical properties of the forest floor, along with pH, EC, and salinity values, have contributed to revealing the variability within the Ezine Stream Basin. It is anticipated that the results obtained will contribute to sustainable forest and basin management efforts.

KEYWORDS: Ezine Stream Basin, Forest Floor, Maximum Water Holding Capacity, pH, Electrical Conductivity, Salinity, Watershed Management

September 2026, 78 Page

TEŞEKKÜR

"Ezine Çayı Havzasında Farklı Meşcere Tipleri Altındaki Ölü Örtünün Hidro-Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi" başlıklı bu çalışma, Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Mühendisliği Anabilim Dalı bünyesinde hazırlanmıştır.

Lisans ve yüksek lisans eğitimim ile tez çalışmam süresince, engin bilgi ve tecrübeleriyle akademik gelişimime rehberlik eden, bilimsel bakış açımın oluşmasına ve gelişmesine önemli katkılar sağlayan, çalışma sürecinin her aşamasında değerli desteklerini esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. Miraç AYDIN'a sonsuz teşekkür eder, kendilerine şükranlarımı sunarım.

Tez jürimde yer alarak kıymetli görüş ve önerileriyle çalışmamın akademik niteliğine katkı sağlayan Sayın Prof. Dr. Miraç AYDIN'a ve Sayın Doç. Dr. Semih EDİŞ'e ve Sayın Doç. Dr. Senem GÜNEŞ ŞEN'e teşekkür ederim.

Arazi çalışmalarındaki desteklerinden dolayı Bozkurt Orman İşletme Müdürlüğü'ne ve tüm personeline teşekkür ederim. Arazi çalışmalarının yürütülmesinde birlikte çalıştığım ve değerli katkılarıyla çalışmama destek olan Orman Mühendisi Berkin Harmanda, Orman Mühendisi Samet Can Çapar ve Orman Mühendisi Serdar Simsar'a teşekkür ederim. Ayrıca, laboratuvar çalışmalarının yürütülmesi sürecindeki değerli katkıları ve desteklerinden dolayı Orman Mühendisi Berkin Harmanda 'ya teşekkür ederim. Tez yazım sürecinde bilgi ve tecrübeleriyle desteklerini esirgemeyen Dr. Orhan GÜLSEVEN'e teşekkür ederim.

Bugünlere gelmemde en büyük emeğe sahip olan, hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini her zaman hissettiğim, sevgi ve fedakârlıklarıyla yanımda olan kıymetli annem Melahat EMİNOVA'ya ve babam Şerfali EMİNOV'a en derin minnet ve şükranlarımı sunarım. Onların katkıları olmaksızın bu başarıya ulaşmam mümkün değildir.

MURAD EMINZADA

Kastamonu, 2026

İÇİNDEKİLER

Sayfa

TEZ ONAYI ..... **ii**
TAAHHÜTNAME ..... **iii**
ÖZET ..... **iv**
ABSTRACT ..... **v**
TEŞEKKÜR ..... **vi**
İÇİNDEKİLER ..... **vii**
ŞEKİLLER DİZİNİ ..... **ix**
TABLOLAR DİZİNİ ..... **x**
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ ..... **xi**
1. GİRİŞ **1**
2. LİTERATÜR ÖZETİ **3**
3. YÖNTEM **16**
3.1 Araştırma Alanı 16
3.1.1 İklim Özellikleri 20
3.1.2 Jeolojik Yapı 21
3.1.3 Vejetasyon ve Meşcere Özellikleri 22
3.2 Arazi Çalışmaları ve Ölü Örtü Örneklenmesi 22
3.2.1 Arazi Çalışmaları 22
3.2.2 Ölü Örtü Örneklerinin Alınması 23
3.2.3 Laboratuvar Analizleri 24
3.2.4 Nem İçeriği ve Fırın Kurusu Ağırlığın Belirlenmesi 25
3.2.5 Maksimum Su Tutma Kapasitesinin Belirlenmesi 26
3.2.6 Hacim Ağırlığının Belirlenmesi 27
3.2.7 pH, EC ve Tuzluluk (TUZ) Analizleri 28
3.3 İstatistiksel Değerlendirme 29
3.4 CBS ve Mekânsal Analizler 30
4. BULGULAR **33**
4.1 Meşcere Tiplerine Göre Maksimum Su Tutma Kapasitesinin (MSTK) Değişimi 33
4.2 Maksimum Su Tutma Kapasitesinin Mekânsal Tahmininde Model Performansı 36
4.3 Toplam Su Miktarının Mekânsal Tahmininde Yöntem Karşılaştırması 39
4.4 Meşcere Tiplerine Göre pH Değişimi 42
4.5 Ölü Örtü pH Değerlerinin Mekânsal Tahminine Ilişkin Bulgular 44
4.6 Meşcere Tiplerine Göre Elektriksel İletkenlik (EC) ve Tuzluluk Değişimi 46
4.7 Elektriksel İletkenliğin (EC) Mekânsal Tahmininde Model Performansı 48
4.8 Tuzluluğun (TUZ) Mekânsal Tahmininde Model Performansı 53
4.9 Ölü Örtü Parametreleri Arası İlişkiler (Korelasyon ve Temel Bileşenler Analizi) 56
4.10 Hektar Başına Biyokütle ve Su Depolama Kapasiteleri 58

4.11 Ölü Örtü Özelliklerinin Mekansal Dağılımı (Enterpolasyon Haritalaması) 60
5. TARTIŞMA 62
5.1 Maksimum Su Tutma Kapasitesinin Mekânsal Tahminine İlişkin Tartışma 62
5.2 Ölü Örtü pH Değerlerinin Mekânsal Tahminine İlişkin Tartışma 63
5.3 Elektriksel İletkenliğin (EC) Mekânsal Dağılımına İlişkin Tartışma 65
5.4 Tuzluluğun (TUZ) Mekânsal Dağılımına İlişkin Tartışma 66
6. SONUÇ VE ÖNERİLER 69
6.1 Sonuç 69
6.2 Öneriler 70
KAYNAKLAR 72
ÖZGEÇMİŞ 78

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1 Araştırma alanının Google Earth görüntüsü 17
Şekil 3.2 Ezine Çayı Havzası'na ait sayısal yükseklik modeli (SYM)..... 17
Şekil 3.3 Ezine Çayı Havzası'na ait eğim haritası..... 18
Şekil 3.4 Ezine Çayı Havzası'na ait bakı haritası..... 19
Şekil 3.5 Ezine Çayı Havzası'nın arazi kullanım durumu 20
Şekil 3.6 Ölü örtü örnekleme alanında demir çerçevenin görünümü..... 23
Şekil 3.7 Demir çerçeve kullanılarak arazi koşullarında ölü örtü örneğinin alınması 24
Şekil 3.8 Ölü örtü örneklerinin analiz öncesi muhafazası..... 25
Şekil 3.9 Ölü örtü örneğinin laboratuvar ortamında tartım işlemi 25
Şekil 3.10 Ölü örtü örneklerinin suya doygun hale getirilmesi 27
Şekil 3.11 Drenaj işlemi sonrasında suya doygun ölü örtü örneğinin hassas terazide tartılması 27
Şekil 3.12 Ölü örtü örneklerinin pH değerlerinin belirlenmesi..... 29
Şekil 4.1 Meşcere tiplerine göre ortalama maksimum su tutma kapasitesi (MSTK) 34
Şekil 4.2 Meşcere tiplerine göre ölü örtü örneklerinin maksimum su tutma kapasitesi (MSTK) değerlerinin dağılımı..... 35
Şekil 4.3 Havza konumuna göre mutlak su tutma kapasitesi (a) ve enlem ile su tutma kapasitesi arasındaki ilişki (b)..... 36
Şekil 4.4 Maksimum su tutma kapasitesinin mekansal dağılımı 39
Şekil 4.5 Ölü örtüde tutulan toplam su miktarının mekânsal dağılımı 41
Şekil 4.6 Meşcere tiplerine göre ortalama pH değerleri 43
Şekil 4.7 Meşcere tiplerine göre ölü örtü örneklerinin pH değerlerinin dağılımı..... 43
Şekil 4.8 Ölü örtünün pH değerlerinin mekansal dağılımı 46
Şekil 4.9 Meşcere tiplerine göre ortalama EC değerleri 47
Şekil 4.10 Meşcere tiplerine göre ölü örtü örneklerinin elektriksel iletkenlik (EC) değerlerinin dağılımı 48
Şekil 4.11 Ölü örtü elektriksel iletkenlik değerlerinin dağılımı..... 51
Şekil 4.12 Meşcere tiplerine göre ortalama Tuzluluk değerleri..... 52
Şekil 4.13 Meşcere tiplerine göre ölü örtü örneklerinin Tuzluluk değerlerinin dağılımı..... 53
Şekil 4.14 Ölü örtü örneklerinin tuzluluk değerlerinin mekansal dağılımı..... 55
Şekil 4.15 EC ile tuzluluk arasındaki ilişki..... 56
Şekil 4.16 Temel Bileşenler Analizi (PCA) ile ölü örtü parametreleri ve meşcere tiplerinin dağılımı..... 57
Şekil 4.17 Ölü örtü parametreleri arasındaki Pearson korelasyon matrisi 59
Şekil 4.18 Meşcere tiplerine göre ölü örtü biyokütlesi ve su depolama kapasitesi 60
Şekil 4.19 Ezine Çayı Havzası'nda ölü örtü biyokütlesi ve tuzluluk değerlerinin mekânsal dağılımı 61

TABLOLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 3.1 Meteoroloji Genel Müdürlüğü verilerine göre Kastamonu iline ait uzun yıllar iklim verileri (1930–2025) 21
Tablo 4.1 Meşcere tiplerine göre maksimum su tutma kapasitesine (MSTK) ait tanımlayıcı istatistikler 33
Tablo 4.2 Havza konumuna göre mutlak su tutma kapasitesine (Litre/m²) ait tanımlayıcı istatistikler 36
Tablo 4.3 MSTK için mekânsal tahmin modellerinin çapraz doğrulama performansları ve genel sıralaması 37
Tablo 4.4 Ölü örtüde tutulan toplam su miktarı için enterpolasyon yöntemlerinin çapraz doğrulama sonuçları. 40
Tablo 4.5 Meşcere tiplerine göre pH değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler 42
Tablo 4.6 Ölü örtü pH değerlerinin mekânsal tahmininde karşılaştırılan modellerin performansları 44
Tablo 4.7 Meşcere tiplerine göre elektriksel iletkenlik (EC) değerlerine tanımlayıcı istatistikler 47
Tablo 4.8 Ölü örtü EC değerlerinin mekânsal tahmininde karşılaştırılan modellerin performansları 49
Tablo 4.9 Meşcere tiplerine göre tuzluluk değerlerine tanımlayıcı istatistikler 51
Tablo 4.10 Ölü örtü tuzluluk değerlerinin mekânsal tahmininde karşılaştırılan modellerin performansları 54

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltmalar

ANOVA	**:** Tek Yönlü Varyans Analizi
CBS	**:** Coğrafi Bilgi Sistemleri
EBK	**:** Empirical Bayesian Kriging
EC	**:** Elektriksel İletkenlik
g/cm³	**:** Hacim ağırlığı birimi
GPS	**:** Küresel Konumlama Sistemi
IDW	**:** Ters mesafe ağırlıklı enterpolasyon
LPI	**:** Local Polynomial Interpolation
MAE	**:** Ortalama mutlak hata
MBE	**:** Ortalama yanlılık hatası
MWHC	**:** Maksimum Su Tutma Kapasitesi
OK	**:** Ordinary Kriging
pH	**:** Hidrojen iyonu derişimi
RMSE	**:** Kök ortalama kare hata
UK	**:** Universal Kriging

1. GİRİŞ

Orman ekosistemlerinde ağaçlardan ayrılan yaprak, ibre, dal, kabuk ve diğer bitkisel artıkların orman tabanında birikmesiyle ölü örtü tabakası oluşmaktadır. Ölü örtü, orman ekosisteminin önemli bir bileşeni olup organik madde birikimi ve orman tabanındaki suyun tutulması açısından önemli bir işleve sahiptir. Bu nedenle ölü örtünün miktarı ve özelliklerinin belirlenmesi, orman ekosistemlerinin özelliklerinin değerlendirilmesinde önem taşımaktadır.

Ölü örtünün özellikleri; ağaç türü, meşcere yapısı, iklim, topoğrafya ve yetişme ortamı koşullarına bağlı olarak değişebilmektedir. Özellikle ölü örtünün yapısı ve birikim miktarı, su tutma kapasitesi ve hacim ağırlığı gibi özelliklerde farklılıkların ortaya çıkmasına neden olabilmektedir. Farklı orman ekosistemlerinde yapılan çalışmalar, ölü örtünün su tutma kapasitesinin önemli ölçüde değişebildiğini ortaya koymaktadır (Ilek vd., 2015; Zagyvai-Kiss vd., 2019; Zhu vd., 2022).

Ölü örtü ile su arasındaki etkileşimin değerlendirilmesinde pH, elektriksel iletkenlik (EC) ve Tuzluluk (TUZ) değerleri de kullanılabilmektedir. Bu özellikler, ölü örtüden hazırlanan su karışımının ölçülebilir özelliklerini ortaya koymakta ve farklı örnekleme alanlarının karşılaştırılmasına olanak sağlamaktadır. Yapılan araştırmalarda ölü örtü özelliklerinin ağaç türleri ve yetişme ortamı koşullarına göre farklılık gösterebildiği bildirilmektedir (Chen vd., 2025; Ediş, 2025; Ilek vd., 2015).

Ölü örtü özelliklerinin belirlenmesinde yalnızca farklı meşcere tiplerinin karşılaştırılması yeterli olmayıp, bu özelliklerin çalışma alanı içerisindeki mekânsal değişiminin ortaya konulması da önemlidir. Özellikle farklı topoğrafik özelliklere ve meşcere yapılarına sahip geniş alanlarda, örnekleme noktalarından elde edilen verilerin mekânsal olarak değerlendirilmesi, değişimin daha ayrıntılı biçimde ortaya konulmasına katkı sağlamaktadır. Bu amaçla CBS ve jeoistatistiksel yöntemlerden yararlanılabilmektedir. Qin vd. (2020), orman ölü örtüsü miktarındaki yerel ölçekli mekânsal değişimi Kriging ve Cokriging yöntemleriyle incelemiş; Staelens vd. (2004) ise yaprak döküntüsünün mekânsal dağılımını farklı enterpolasyon yöntemleri kullanarak değerlendirmiştir.

Kastamonu ili, farklı yükselti, eğim, bakı ve meşcere özelliklerine sahip orman alanları bakımından zengin bir yapıya sahiptir. Bozkurt ilçesi sınırları içerisinde yer alan Ezine Çayı Havzası da topoğrafik ve meşcere özellikleri bakımından önemli farklılıklar göstermektedir. 2021 yılında Bozkurt ilçesinde meydana gelen ve Ezine Çayı Havzası'nda büyük ölçüde etkili olan sel ve taşkın olayı, havzanın hidrolojik özelliklerinin ve suyun tutulması ile hareketinde rol oynayan doğal unsurların daha iyi anlaşılmasının önemini ortaya koymuştur. Bu kapsamda, farklı meşcere tipleri altında gelişen ölü örtünün hidro-fiziksel özelliklerinin ve havza içerisindeki mekânsal değişiminin belirlenmesi önem taşımaktadır. Bununla birlikte, Ezine Çayı Havzası'nda farklı meşcere tipleri altındaki ölü örtünün hidro-fiziksel özellikleri ile mekânsal dağılımının birlikte ele alındığı çalışmalar sınırlıdır.

Bu çalışmanın amacı, Kastamonu ili Bozkurt ilçesi sınırları içerisinde yer alan Ezine Çayı Havzası'nda farklı meşcere tipleri altında bulunan ölü örtünün maksimum su tutma kapasitesi, hacim ağırlığı, pH, elektriksel iletkenlik (EC) ve tuzluluk (TUZ) özelliklerini belirlemek; bu özelliklerin meşcere tiplerine göre değişimi ile havza içerisindeki mekânsal dağılımını ortaya koymaktır.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Ölü örtünün hidrolojik özelliklerine ilişkin ilk araştırmalar, bu tabakanın orman ekosistemlerindeki su hareketi açısından önemini ortaya koyan çalışmalarla başlamıştır. Alway ve Harmer (1927), Minnesota'da yapraklı ve iğne yapraklı ormanlarda ölü örtü miktarı ile ölü örtü tabakalarının hidrolojik özelliklerini incelemiştir. Araştırmada, yapraklı ormanlarda kuru ölü örtü miktarının 28.297–62.448 kg ha $^{-1}$ arasında değiştiği, nem eşdeğerinin ise %97–120 arasında olduğu ve ortalama %110 değerine ulaştığı belirlenmiştir. Ayrıca yapraklı türlerden oluşan karışık meşcerelerde L tabakasının nem içeriğinin %86,5–90,5; F tabakasının %79,5–86,8 ve H tabakasının %60,0–66,0 arasında değiştiği; iğne yapraklı karışık meşcerelerde ise bu değerlerin L tabakasında %92,6–97,1; F tabakasında %75,4–93,8 ve H tabakasında %36,9–66,8 arasında olduğu ortaya konulmuştur. Elde edilen bulgular, ölü örtünün miktarı ve su tutma özelliklerinin yalnızca birikim miktarına bağlı olmadığını, aynı zamanda meşcere tipi ve ölü örtü tabakalarının ayrışma özellikleriyle de ilişkili olduğunu göstermiştir.

Kittredge (1948), orman ekosistemlerinin hidrolojik işlevlerini geniş bir çerçevede ele alarak orman tabanında biriken organik materyalin yağışın tutulması ve suyun toprak içerisine geçişi üzerindeki rolüne dikkat çekmiştir. Ölü örtünün toprak yüzeyini koruması, yüzey akışının sınırlandırılması ve infiltrasyon koşullarının desteklenmesi bakımından önemli bir orman bileşeni olduğu belirtilmiştir. Bu yaklaşım, daha sonraki araştırmalarda ölü örtünün yalnızca miktar bakımından değil, hidrolojik işlevleri açısından da değerlendirilmesine temel oluşturmuştur.

Blow (1955), Tennessee'deki yüksek kesim meşe ormanlarında ölü örtünün miktarını ve hidrolojik özelliklerini incelemiştir. Çalışmada orman tabanında biriken organik materyalin önemli miktarda su depolayabildiği ve yağış sonrasında suyun mineral toprak yüzeyine ulaşma biçimini etkilediği ortaya konulmuştur. Ölü örtünün suyu geçici olarak bünyesinde tutması, yağışın doğrudan yüzey akışına dönüşmesini sınırlandıran mekanizmalardan biri olarak değerlendirilmiştir.

Trimble ve Lull (1956) ise New England bölgesindeki orman havzalarında humus ve ölü örtünün su depolama özelliklerini ele almıştır. Araştırmada orman tabanındaki organik tabakanın yağış sularının tutulmasına katkı sağladığı ve suyun toprak içerisine geçişini etkilediği belirtilmiştir. Bu bulgular, havza hidrolojisi açısından ölü örtünün korunmasının yalnızca erozyon kontrolü bakımından değil, suyun tutulması ve dağılımının düzenlenmesi açısından da önem taşıdığını göstermiştir.

Türkiye'de ölü örtünün miktarı ve özellikleri üzerine yapılan araştırmaların erken dönem örneklerinden biri Arol (1959) tarafından gerçekleştirilmiştir. Bolu ve çevresindeki göknar, kayın, saf çam ve karışık meşcerelerde yürütülen çalışmada ölü örtü miktarı ile besin maddesi içeriği arasındaki ilişkiler değerlendirilmiştir. Çalışma, farklı ağaç türleri ve meşcere yapılarının orman tabanında biriken organik materyalin miktarı ve özellikleri üzerinde farklı etkiler oluşturabileceğini ortaya koymuştur.

Balcı (1958), Elmalı Barajı'nın siltasyondan korunması ve vejetasyon-su ilişkileri üzerine gerçekleştirdiği araştırmada, bitki örtüsü ile su rejimi arasındaki ilişkiyi havza ölçeğinde değerlendirmiştir. Çalışmada orman ekosistemlerinin su düzenleme işlevleri ele alınmış ve bitki örtüsünün suyun yüzeysel hareketi üzerindeki etkisine dikkat çekilmiştir. Bu yaklaşım, ölü örtünün de içinde bulunduğu orman tabanı bileşenlerinin havza hidrolojisi açısından değerlendirilmesinin önemini ortaya koyan çalışmalar arasında yer almaktadır.

Özhan (1977), Belgrad Ormanı Orta dere Yağış Havzası'nda ölü örtünün hidrolojik bakımdan önemli özelliklerinin çeşitli yöresel etkenlere göre değişimini incelemiştir. Kayın, meşe ve meşe-kayın karışık meşcerelerinde L, F ve H tabakalarının miktarları ile maksimum su tutma kapasiteleri karşılaştırılmıştır. Kayın meşceresinde L, F ve H tabakalarının miktarları sırasıyla 6.832, 5.624 ve 15.630 kg ha; meşe meşceresinde 6.224, 6.096 ve 14.878 kg ha; meşe-kayın karışık meşceresinde ise 8.801, 5.750 ve 12.320 kg ha olarak verilmiştir. Maksimum su tutma kapasitesinin meşe meşceresinde L, F ve H tabakaları için sırasıyla %402, %352 ve %284; kayın meşceresinde ise %503, %392 ve %282 olduğu bildirilmiştir. Bulgular, meşcere tipinin ölü örtü miktarı ve su tutma özellikleri üzerinde belirgin bir etkisinin bulunduğunu göstermektedir.

Çepel ve Tekerek (1980), Antalya yöresindeki bazı saf kızılçam meşcerelerinde ölü örtü miktarını araştırmıştır. Çalışmada L tabakası miktarının 6.058–13.160 kg ha $^{-1}$, H tabakası miktarının 621–32.688 kg ha ve toplam ölü örtü miktarının 7.219–43.426 kg ha arasında değiştiği bildirilmiştir. En yüksek ölü örtü birikiminin yaklaşık 1150 m yükseltide gerçekleştiği ifade edilmiştir. Bu sonuç, ölü örtü birikiminin ağaç türü ve meşcere özelliklerinin yanı sıra yükseltiye bağlı çevresel koşullardan da etkilendiğini göstermektedir.

Kalay (1986), Doğu Karadeniz Bölgesi orman ekosistemlerinde humus morfolojisi ve orman toprakları bakımından ölü örtünün önemini değerlendirmiştir. Çalışmada orman ekosistemlerinde biriken organik maddenin ekolojik ve hidrolojik süreçlerdeki rolüne dikkat çekilmiş, orman alanlarında organik madde miktarının tarım alanlarına göre yaklaşık %12 daha yüksek olabildiği ifade edilmiştir. Organik maddece zengin ölü örtünün yağış suyunun geçici olarak depolanması ve suyun mineral toprağa daha kontrollü biçimde ulaşmasına katkı sağladığı belirtilmiştir. Bu özellik, ölü örtünün yüzey akışının sınırlandırılması ve toprak neminin korunması bakımından önem taşımaktadır. Dolayısıyla organik madde birikimi, ölü örtünün hidrolojik davranışını değerlendirmede dikkate alınması gereken temel özelliklerden biri olarak öne çıkmaktadır.

1980'li yılların sonlarından itibaren yapılan çalışmalar, ölü örtünün miktarının belirlenmesinin yanında fiziksel ve kimyasal özelliklerinin de ayrıntılı biçimde incelenmesine yönelmiştir. Bu dönemde hacim ağırlığı, pH, besin elementi içeriği, ayrışma derecesi ve organik materyalin yapısal özellikleri üzerinde durulmuş; farklı ağaç türlerinin oluşturduğu ölü örtülerin birbirinden farklı özellikler taşıdığı ortaya konulmuştur.

Karaöz (1991), İstanbul Atatürk Arboretumu'ndaki bazı iğne yapraklı plantasyonlarda ölü örtünün kimyasal özelliklerini incelemiştir. Araştırmada pH (H_2O) değerlerinin 4,23–5,83, pH (KCl) değerlerinin ise 3,40–5,23 arasında değiştiği bildirilmiştir. Toplam azot ve potasyum gibi besin elementleri bakımından da türler arasında farklılıklar belirlenmiştir. L tabakasında en yüksek azot içeriğinin Pseudotsuga menziesii ölü örtüsünde %1,79, en düşük değerin ise Pinus nigra var. Pallasiana ölü

örtüsünde %0,74 olduğu belirtilmiştir. Bu sonuçlar, ölü örtünün kimyasal bileşiminin ağaç türüne bağlı olarak değişebildiğini ve bu farklılıkların ayrışma sürecinin niteliği üzerinde etkili olabileceğini göstermektedir.

Karaöz (1993), bazı yerli ve yabancı iğne yapraklı ağaç türlerinin plantasyonlarında ölü örtü miktarı ile besin maddesi rezervlerini karşılaştırmıştır. Araştırmada türler arasında ölü örtü birikimi ve besin elementi rezervleri bakımından farklılıklar bulunduğu ortaya konulmuştur. Bu farklılıklar, ağaç türlerinin yaprak ve ibre özellikleri ile döküntülerin ayrışma süreçlerinin ölü örtü oluşumunda belirleyici olduğunu göstermektedir.

Ölü örtünün ayrışma süreci de hidro-fiziksel özelliklerin değişiminde önemli bir mekanizma olarak değerlendirilmektedir. Kantarcı (2000), orman toprakları ve organik madde arasındaki ilişkileri ele almış ve ayrışma sürecinin ölü örtünün fiziksel ve kimyasal özelliklerini sürekli olarak değiştirdiğini belirtmiştir. Özellikle organik materyalin ayrışması sırasında besin elementlerinin yeniden ekosistem döngüsüne katıldığı ve ayrışma derecesindeki ilerlemenin ölü örtünün yapısal özelliklerinde değişime yol açtığı ifade edilmiştir.

Pérez-Corona vd. (2006), kavak (Populus), kızılağaç (Alnus) ve dişbudak (Fraxinus) yaprak döküntülerinin ayrışma hızlarını karşılaştırmıştır. Araştırmada en hızlı ayrışmanın kavak yapraklarında gerçekleştiği ve bu farklılığın yaprakların kimyasal bileşimi ile başlangıçtaki besin elementi içerikleriyle ilişkili olduğu bildirilmiştir. Türler arasındaki ayrışma farklılıkları, ölü örtünün fiziksel yapısının ve ekosistem içerisindeki madde döngüsünün ağaç türüne bağlı olarak değişebileceğini ortaya koymaktadır.

Sayer (2006), deneysel yaklaşımlar kullanarak yaprak döküntülerinin orman ekosistemlerinin işleyişindeki rollerini değerlendirmiştir. Çalışmada ölü örtünün toprak neminin korunması, ayrıştırıcı organizmaların faaliyetlerinin sürdürülmesi ve besin döngüsünün devamlılığı açısından önemli olduğu vurgulanmıştır. Ölü örtünün fiziksel varlığının yanı sıra ayrışma sürecindeki işlevlerinin de ekosistem işleyişi açısından dikkate alınması gerektiği ortaya konulmuştur.

Wei vd. (2006) ile Wei vd. (2011), farklı orman tiplerinde ölü örtünün su tutma özelliklerini incelemiş ve meşcere tiplerine bağlı olarak su tutma davranışında farklılıklar bulunduğunu bildirmiştir. Bu çalışmalar, ölü örtünün hidrolojik özelliklerinin ağaç türü ve meşcere kompozisyonu ile yakından ilişkili olduğunu ortaya koyan araştırmalar arasında yer almaktadır.

Sevgi vd. (2011), Alaçam Dağları'ndaki karaçam ormanlarında liken kökenli ölü örtünün pH özelliklerini incelemiştir. Araştırmada ölü örtünün kimyasal özelliklerinin yetişme ortamı koşullarına bağlı olarak değişebildiği ve pH değerlerinin ayrışma süreciyle ilişkili olduğu ortaya konulmuştur. Böylece ölü örtünün hidrolojik özelliklerinin değerlendirilmesinde fiziksel değişkenlerin yanı sıra kimyasal özelliklerin de dikkate alınması gerektiği vurgulanmıştır.

Prescott ve Grayston (2013), ağaç türlerinin ölü örtü ve topraktaki mikrobiyal topluluklar üzerindeki etkilerini değerlendirmiştir. Araştırmada ağaç türü kompozisyonunun mikrobiyal toplulukların yapısını, organik maddenin ayrışmasını ve karbon döngüsünü etkileyebildiği belirtilmiştir. Ölü örtünün sıcaklık ve nem koşullarını düzenlemesi, ayrıştırıcı organizmalar için uygun bir mikrohabitat oluşmasına da katkı sağlamaktadır.

Kayrak (2016), farklı meşcere tipleri altında gelişen ölü örtünün hidrolojik, fiziksel ve kimyasal özelliklerini ayrıntılı biçimde değerlendirmiştir. Araştırmada L, F ve H tabakalarının hacim ağırlıkları karşılaştırılmış ve tabakalar arasında belirgin farklılıklar bulunmuştur. En yüksek hacim ağırlığı H tabakasında Kayın + Karaçam meşceresinde 1,23 g cm³, en düşük hacim ağırlığı ise L tabakasında Meşe + Kayın meşceresinde 0,01 g cm³ olarak verilmiştir. L tabakasında en yüksek hacim ağırlığı Sedir + Karaçam meşceresinde 0,15 g cm³, F tabakasında ise Karaçam meşceresinde 0,42 g cm³ olarak belirlenmiştir. Bulgular, ayrışma derecesinin ölü örtünün fiziksel özellikleri üzerinde belirgin değişimlere neden olduğunu ve bu değişimlerin su tutma davranışıyla birlikte değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir.

Ölü örtü miktarının geniş alanlarda belirlenmesine yönelik çalışmalarda, arazi ölçümlerinin yanı sıra uzaktan algılama verileri ve çevresel değişkenlerden

yararlanılan modelleme yaklaşımları da kullanılmaktadır. Yılmaz (2019), kızılçam meşcerelerinde ölü örtü kütlesinin modellenmesi amacıyla RapidEye, SPOT-5 ve Aster uydu verilerinden elde edilen NDVI değerleri ile sıcaklık, radyasyon ve bakı uygunluk indekslerini kullanmıştır. Çalışmada ölü örtü kütlesi ile RapidEye, SPOT-5 ve Aster NDVI değerleri arasında sırasıyla 0,75; 0,69 ve 0,73 düzeyinde pozitif ilişkiler belirlenirken, sıcaklık indeksi ile -0,41 düzeyinde negatif ilişki tespit edilmiştir. Ayrıca Genelleştirilmiş Eklemeli Model (GAM) kullanılarak oluşturulan modelin ölü örtü kütlesindeki değişimin yaklaşık %49'unu açıkladığı belirlenmiştir. Bu sonuçlar, ölü örtü miktarının meşcere özelliklerinin yanı sıra topoğrafik ve çevresel değişkenlerle de ilişkili olduğunu ve uzaktan algılama verileri kullanılarak geniş alanlarda modellenebileceğini göstermektedir.

Zagyvai-Kiss vd. (2019), orman ölü örtüsünün su tutma özelliklerine ilişkin kapsamlı bir değerlendirme gerçekleştirmiştir. Araştırmada ölü örtünün su tutma kapasitesinin farklı orman ekosistemlerinde önemli ölçüde değişebildiği ve kuru ağırlığının yaklaşık 1,4–2,1 katı kadar su depolayabildiği bildirilmiştir. Bu değer yaklaşık %140–210 düzeyinde maksimum su tutma kapasitesine karşılık gelmektedir. Araştırmacılar, su tutma kapasitesindeki farklılıkların yalnızca ölü örtü miktarından kaynaklanmadığını; ayrışma derecesi, gözeneklilik, organik materyalin yapısı ve çevresel koşulların da bu özellik üzerinde etkili olduğunu belirtmiştir.

Ölü örtünün yalnızca suyu bünyesinde tutma kapasitesi değil, yağışın orman tabanına ulaşması ve yüzeydeki su hareketinin düzenlenmesi üzerindeki etkisi de araştırılmıştır. Xia vd. (2019), Lös Platosu ‘nda ölü örtünün yağış tutulması, yüzey akışı, infiltrasyon ve erozyon üzerindeki etkilerini incelemiştir. Araştırmada ölü örtü miktarındaki artışın yağışın tutulmasını artırdığı, yüzey akışını ve toprak kaybını azaltabildiği belirlenmiştir. Ayrıca ölü örtü miktarı ile yağışın tutulması arasında pozitif bir ilişki olduğu ortaya konulmuştur. Bu sonuçlar, ölü örtünün özellikle eğimli alanlarda suyun yüzeydeki hareketini düzenleyen ve erozyonu sınırlandıran önemli bir ekosistem bileşeni olduğunu göstermektedir.

Ölü örtü miktarının hidrolojik işlevler üzerindeki etkisinin yanında, ölü örtünün ekosistem içerisindeki miktarının ve dağılımının topoğrafik ve meşcere koşullarıyla

da ilişkili olduğu görülmektedir. Görmüş (2019) tarafından gerçekleştirilen araştırmada, ölü örtü miktarının bakı, yükselti ve meşcere kapalılığı gibi çevresel koşullara göre değişimi incelenmiştir. Araştırmada güneşli bakılarda hektar başına dal, kozalak ve organik yaprak tabakası miktarlarının gölgeli bakılara göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Ayrıca ölü örtü miktarının yükselti basamaklarına göre farklılık gösterdiği ve meşcere kapalılığının ölü örtü birikimi ve ayrışması üzerinde etkili olduğu ortaya konulmuştur. Araştırma alanında ölü örtü kalınlığının ortalama 0,38 cm olduğu, farklı kapalılık derecelerinde ölü örtü miktarının 1,578–1,762 ton/ha arasında değiştiği belirlenmiştir. Çalışmada ayrıca bakım ve aralama kesimlerinin meşcere içerisindeki ışık, sıcaklık ve nem koşullarını değiştirerek ölü örtünün ayrışma hızını ve buna bağlı olarak besin döngüsünü etkileyebileceği vurgulanmıştır. Bu sonuçlar, ölü örtü miktarının değerlendirilmesinde topoğrafik koşullar ile meşcere yapısının birlikte ele alınması gerektiğini göstermektedir.

Ölü örtünün hidrolojik özelliklerinin zaman içerisinde değişmesinde en önemli süreçlerden biri ayrışmadır. Kheir vd. (2020), farklı ölü örtü tiplerinin mikrobiyal topluluklar ve ayrışma süreçleri üzerindeki etkilerini incelemiş ve ölü örtünün kimyasal bileşiminin ayrışma hızı ile karbon döngüsü üzerinde belirleyici olduğunu ortaya koymuştur. Araştırmada ayrıca iklim koşullarının ayrışma süreçlerini değiştiren önemli bir çevresel faktör olduğu vurgulanmıştır. Bu durum, ayrışma sürecinin ölü örtünün zaman içerisindeki yapısal ve hidro-fiziksel özelliklerini değiştirebileceğini göstermektedir.

Chen vd. (2018), Çin'in Qinling Dağları'ndaki farklı orman tiplerinde gelişen ölü örtü tabakalarının hidrolojik özelliklerini incelemiştir. Araştırmada L, F ve H tabakalarının maksimum su tutma kapasitesi, etkili su depolama kapasitesi ve su absorbsiyon hızları karşılaştırılmıştır. Bulgular, ayrışma derecesinin artmasıyla birlikte ölü örtünün su depolama özelliklerinde değişim meydana geldiğini ve özellikle F ile H tabakalarının suyu daha uzun süre bünyelerinde tutabildiğini göstermiştir. Bu sonuç, ölü örtünün yalnızca toplam miktar üzerinden değil, ayrışma durumuna ve yapısal özelliklerine göre de değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Ölü örtünün ayrışma özelliklerinin yanı sıra, farklı orman yapılarının ve ağaç türlerinin oluşturduğu döküntülerin de hidrolojik davranış üzerinde etkili olduğu bildirilmektedir. Zhu vd. (2021), doğal ormanlar ile plantasyon sistemlerini karşılaştırarak orman dönüşümünün ölü örtünün hidrolojik özellikleri üzerindeki etkisini araştırmıştır. Doğal ormanlarda ölü örtünün daha yoğun ve heterojen bir yapıya sahip olduğu ve buna bağlı olarak su tutma kapasitesinin plantasyonlara göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Buna karşılık, daha ince ve daha az çeşitli ölü örtü tabakalarına sahip plantasyonlarda su tutma kapasitesinin daha düşük, yüzeysel akış potansiyelinin ise daha yüksek olduğu bildirilmiştir. Bu bulgular, meşcere yapısının ölü örtünün hidrolojik işlevlerinin şekillenmesinde önemli bir kontrol unsuru olduğunu göstermektedir.

Liu vd. (2022), Çin'in güneybatısındaki dağlık bölgelerde farklı orman tiplerinin ölü örtü birikimi ve su tutma kapasitesini incelemiştir. Araştırmada farklı orman tipleri arasında ölü örtü miktarı ve su tutma özellikleri bakımından belirgin farklılıklar bulunduğu ortaya konulmuştur. Çalışma, ölü örtü birikiminin ve hidrolojik özelliklerinin orman tiplerine bağlı olarak değişebildiğini göstermesi açısından önem taşımaktadır.

Pereira vd. (2022), orman ölü örtüsünün hidrolojik etkilerini bir bütün olarak değerlendirmiş ve maksimum su tutma kapasitesinin ağaç türü, iklim koşulları ve ayrışma aşamasına bağlı olarak önemli ölçüde değiştiğini bildirmiştir. Araştırmacılar, ölü örtünün yalnızca pasif bir su depolama tabakası olarak değil, orman ekosistemindeki su hareketlerini düzenleyen aktif bir bileşen olarak ele alınması gerektiğini vurgulamıştır. Bu yaklaşım, ölü örtünün hidrolojik özelliklerinin meşcere yapısı ve yetişme ortamı koşullarıyla birlikte değerlendirilmesinin önemini desteklemektedir.

Jourgholami vd. (2022), sıkışmış orman toprakları üzerinde ayrışmamış ölü örtü malçının hidrolojik etkilerini incelemiş ve ölü örtü uygulamasının yüzey akışını ve sediment taşınımını azaltırken infiltrasyonu artırdığını ortaya koymuştur. Elde edilen sonuçlar, ölü örtünün özellikle toprak yapısının bozulduğu alanlarda suyun yüzeydeki

hareketini düzenleyebilen ve erozyonu sınırlandırabilen doğal bir örtü materyali olduğunu göstermektedir.

Su ve Liu (2022) Çin'in Lanzhou kentinin kuzey ve güney dağlık alanlarında bulunan beş farklı plantasyon tipinde ölü örtünün su depolama ve su koruma özelliklerini incelemiştir. Araştırmada ölü örtü kalınlığı, birikim miktarı, maksimum su tutma kapasitesi, maksimum su tutma oranı ve su emme hızı gibi özellikler değerlendirilmiştir. Çalışmada ölü örtü birikiminin 13,50–47,01 t ha arasında, maksimum su tutma kapasitesinin ise 35,29–123,59 t ha arasında değiştiği belirlenmiştir. Ayrıca maksimum su tutma oranının farklı meşcere tiplerinde %190,8–262,7 arasında değiştiği ve karışık plantasyonların saf plantasyonlara göre daha yüksek su tutma özelliklerine sahip olduğu ortaya konulmuştur. Araştırmacılar, ölü örtü birikimi ve su tutma kapasitesindeki farklılıkların meşcere yapısı ve ölü örtünün ayrışma özellikleriyle ilişkili olduğunu belirtmiştir. Bu sonuçlar, farklı meşcere tipleri altında gelişen ölü örtünün hidrolojik özelliklerinin karşılaştırılmasının ormanların su koruma işlevlerinin değerlendirilmesi açısından önemli olduğunu göstermektedir.

Liu vd. (2023), orman ölü örtüsü ve toprak katmanlarının su depolama kapasitesini etkileyen faktörleri küresel ölçekte değerlendirmiştir. Çalışmada su depolama kapasitesinin iklim, vejetasyon özellikleri, toprak ve ölü örtünün fiziksel özellikleri gibi birden fazla değişken tarafından kontrol edildiği ortaya konulmuştur. Bu yaklaşım, ölü örtünün hidrolojik davranışının tek bir değişken üzerinden değerlendirilmesi yerine, farklı çevresel ve yapısal özelliklerin birlikte ele alınması gerektiğini göstermektedir.

Castagnolli vd. (2023), farklı vejetasyon örtülerinin hidrolojik özelliklerini karşılaştırarak ölü örtünün su depolama ve infiltrasyon süreçlerindeki rolünü değerlendirmiştir. Araştırmada vejetasyon kompozisyonundaki farklılıkların suyun tutulması ve toprak içerisine geçişi üzerinde etkili olduğu ortaya konulmuştur. Bu bulgular, ölü örtünün hidrolojik işlevlerinin yalnızca organik materyalin miktarıyla değil, üzerinde bulunduğu vejetasyon örtüsünün özellikleriyle birlikte değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir.

Kiracıoğlu vd. (2023), Marmara Bölgesi doğu kayını ormanlarında farklı gelişim çağlarına bağlı olarak dökülme miktarı ve ölü örtüye aktarılan karbon stoklarını incelemiştir. Araştırmada meşcere gelişim özelliklerinin döküntü miktarı ve karbon birikimi üzerinde etkili olduğu, yükselti, eğim ve bakı gibi topoğrafik özelliklerin de bu değişkenlerin dağılımında rol oynadığı belirtilmiştir. Bu sonuçlar, ölü örtü miktarının zamansal ve mekânsal değişkenliğinin meşcere ve yetişme ortamı özellikleriyle birlikte ele alınması gerektiğini göstermektedir.

Ölü örtünün hidrolojik davranışında farklı ağaç türlerine ait döküntülerin özellikleri de önem taşımaktadır. Ilek vd. (2024), sarıçam (*Pinus sylvestris*) ve sapsız meşe (*Quercus petraea*) yaprak döküntülerinin farklı oranlarda karıştırılmasıyla oluşturulan ölü örtülerin su depolama dinamiklerini incelemiştir. Araştırmada ayrışma sürecinin ilerlemesiyle maksimum su tutma kapasitesinde artış meydana geldiği ve bazı karışım oranlarında saf ölü örtülere kıyasla daha yüksek su depolama değerlerine ulaşılabildiği ortaya konulmuştur. Bu sonuçlar, tür çeşitliliğinin ve farklı yaprak döküntülerinin bir arada bulunmasının ölü örtünün hidrolojik özelliklerini değiştirebildiğini göstermektedir.

Aydın ve Rages (2024), *Pinus nigra* meşcerelerinde gelişim aşamalarına bağlı olarak toprak solunumu ve organik karbon değişimlerini incelemiş ve meşcere yaşındaki artışla birlikte ölü örtü üretimi ile karbon birikiminin arttığını bildirmiştir. Çalışmada ayrıca pH ve elektriksel iletkenlik gibi bazı özelliklerde meşcere gelişim aşamalarına bağlı değişimler gözlenmiştir. Bu sonuçlar, meşcere gelişim özelliklerinin ölü örtü birikimi, ayrışma süreçleri ve fizikokimyasal özellikler üzerinde etkili olabileceğini göstermektedir.

Han vd. (2024), yaprak döküntülerinin yağış altında su tutma özelliklerini deneysel olarak incelemiştir. Simüle edilen yağış koşullarında yaprak döküntülerinin yağışın bir bölümünü yüzeylerinde ve bünyelerinde tutabildiği ve bu durumun yağış suyunun orman tabanındaki hareketini etkilediği ortaya konulmuştur. Çalışma, ölü örtünün yağışın orman zeminine ulaşmasından sonraki hidrolojik süreçlerdeki rolünün deneysel olarak değerlendirilmesi bakımından önem taşımaktadır.

Ölü örtü miktarı ve özelliklerinin mekânsal dağılımının belirlenmesinde arazi ölçümlerinin yanı sıra CBS ve jeoistatistiksel yöntemlerden de yararlanılmaktadır. Staelens vd. (2004), karışık yapraklı bir ormanda yaprak döküntüsünün mekânsal dağılımını farklı enterpolasyon yöntemleri kullanarak incelemiş ve Ordinary Kriging yöntemini de değerlendirmiştir. Aquino vd. (2016), bir galeri ormanında serapilje üretiminin mekânsal değişimini jeoistatistiksel yöntemlerle incelemiştir. Shen vd. (2019), orman serapiljesinin geniş ölçekli mekânsal dağılımını CBS tabanlı yöntemlerle değerlendirmiştir. Qin vd. (2020) ise orman ölü örtüsü miktarının yerel ölçekteki mekânsal değişkenliğini Ordinary Kriging ve Cokriging yöntemleriyle incelemiş ve ölü örtü miktarının mekânsal olarak heterojen bir dağılım gösterebildiğini ortaya koymuştur. Bu çalışmalar, CBS ve jeoistatistiksel yöntemlerin ölü örtü miktarı ve özelliklerinin mekânsal değişiminin belirlenmesinde kullanılabileceğini göstermektedir.

Bu kapsamda, ölü örtünün hidro-fiziksel özelliklerinin yalnızca meşcere tiplerine göre karşılaştırılması değil, aynı zamanda çalışma alanı içerisindeki mekânsal dağılımının ortaya konulması da önem taşımaktadır. Özellikle farklı topoğrafik ve meşcere özelliklerine sahip havzalarda, örnekleme noktalarından elde edilen verilerin mekânsal olarak değerlendirilmesi, ölü örtü özelliklerindeki değişimin daha bütüncül biçimde ortaya konulmasına katkı sağlayabilmektedir

Son yıllarda gerçekleştirilen küresel ölçekli çalışmalar, ölü örtünün hidrolojik özelliklerinin mekânsal olarak da önemli ölçüde değişebildiğini ortaya koymaktadır. Chen vd. (2025), Çin genelinde 1062 örnekleme noktasından elde edilen verileri kullanarak orman ölü örtüsünün su tutma kapasitesinin mekânsal dağılımını ve bunu kontrol eden çevresel faktörleri değerlendirmiştir. Araştırmada ortalama maksimum su tutma kapasitesinin %247,8 olduğu ve bu değerin iklim, topoğrafya, orman tipi ve ayrışma derecesine bağlı olarak önemli farklılıklar gösterdiği bildirilmiştir. Ayrıca yaprak döken geniş yapraklı ormanların bazı herdem yeşil iğne yapraklı ormanlara göre daha yüksek su depolama kapasitesine sahip olabildiği ortaya konulmuştur. Bu sonuçlar, ölü örtünün su tutma kapasitesinin hem ekosistem özellikleri hem de çevresel koşullar tarafından birlikte belirlendiğini göstermektedir.

Türkiye açısından yakın dönemde gerçekleştirilen çalışmalar, özellikle ölü örtünün fizikokimyasal özellikleri ile hidrolojik davranışı arasındaki ilişkiye odaklanmaktadır. Ediş (2025), Türkiye'deki Anadolu karaçamı (Pinus nigra subsp. Pallasiana) meşcerelerinde ölü örtünün maksimum su tutma kapasitesi ve bazı fizikokimyasal özelliklerini farklı ekolojik koşullar altında incelemiştir. Araştırmada ortalama maksimum su tutma kapasitesi Kütahya'da %467, Kastamonu'da %402 ve Muğla'da %376 olarak belirlenmiştir. Bunun yanı sıra, pH, elektriksel iletkenlik (EC) ve toplam çözünmüş madde (TDS) değerlerinin araştırma alanlarına göre farklılık gösterdiği bildirilmiştir. Kastamonu'da ortalama TDS değeri 0,094‰, Kütahya'da 0,056‰ ve Muğla'da 0,058‰ olarak belirlenirken, EC değerleri sırasıyla 158,3 µS/cm, 122,5 µS/cm ve 160,7 µS/cm olarak ölçülmüştür.

Ediş'in (2025) bulguları, aynı ağaç türü altında gelişen ölü örtünün hidro-fiziksel ve fizikokimyasal özelliklerinin dahi farklı ekolojik koşullara bağlı olarak önemli ölçüde değişebileceğini göstermesi açısından çalışma konusu bakımından önem taşımaktadır. Nitekim yağış rejimi, evapotranspirasyon, iklim koşulları, ayrışma süreçleri ve çevresel gradyanların ölü örtünün oluşumu ve maksimum su tutma kapasitesi üzerinde etkili olduğu ve farklı ekolojik koşullar arasında belirgin farklılıkların ortaya çıkabildiği bildirilmektedir. Ayrıca, humus tabakasının birçok örnekleme alanında L tabakasına kıyasla daha yüksek maksimum su tutma kapasitesine sahip olduğu ve bu farklılığın bazı örnekleme alanlarında yaklaşık %60 düzeyine ulaştığı belirlenmiştir.

Güncel literatür genel olarak değerlendirildiğinde, ölü örtü orman ekosistemlerinde yağışın tutulması, suyun geçici olarak depolanması, yüzey akışının sınırlandırılması ve infiltrasyonun desteklenmesi bakımından önemli bir hidrolojik bileşendir. Bunun yanında organik madde birikimi, ayrışma ve besin elementlerinin yeniden döngüye katılması gibi ekolojik süreçlerde de işlev görmektedir. Ölü örtünün bu özellikleri; ağaç türü, meşcere yapısı, materyalin fiziksel ve kimyasal özellikleri, ayrışma düzeyi, iklim ve topoğrafya ile birlikte şekillenmektedir. Dolayısıyla ölü örtünün hidrolojik özelliklerinin değerlendirilmesinde yalnızca miktar veya kalınlık gibi tek bir göstergenin kullanılması yeterli olmayıp, birden fazla fiziksel ve çevresel değişkenin birlikte ele alınması gerekmektedir.

Bu değerlendirmeler, Kastamonu ili Bozkurt ilçesinde yer alan Ezine Çayı Havzası gibi topoğrafik ve ekolojik açıdan değişken alanlarda ölü örtünün hidro-fiziksel özelliklerinin araştırılmasının gerekliliğini ortaya koymaktadır. Havza içerisinde farklı meşcere tiplerinin ve yetişme ortamı koşullarının bulunması, ölü örtü miktarı ve su tutma özelliklerinin mekânsal olarak değişmesine neden olabilir. Bu nedenle, farklı meşcere tipleri altında gelişen ölü örtünün hidro-fiziksel özelliklerinin belirlenmesi, bu özelliklerin topoğrafik ve meşcere özellikleriyle ilişkilendirilmesi ve CBS destekli olarak mekânsal dağılımının ortaya konulması önem taşımaktadır. Literatürde bu kapsamda Ezine Çayı Havzası'na yönelik kapsamlı bir çalışmaya rastlanmamış olması, önemli bir bilgi boşluğuna işaret etmektedir. Bu çalışma, söz konusu boşluğun giderilmesine katkı sağlamak amacıyla gerçekleştirilmiştir.

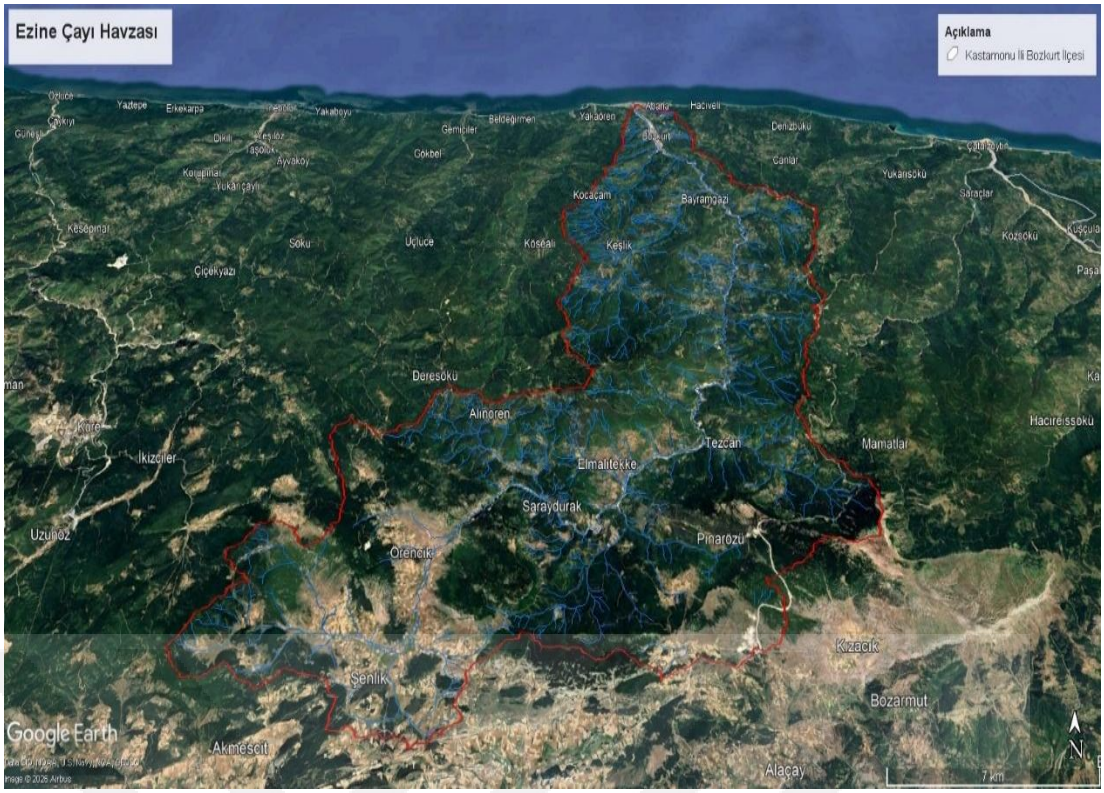
3. YÖNTEM

Çalışma; büro çalışmaları, arazi çalışmaları, laboratuvar analizleri ve elde edilen verilerin istatistiksel ve mekânsal olarak değerlendirilmesi olmak üzere dört temel aşamada yürütülmüştür. Büro çalışmaları kapsamında çalışma alanına ilişkin sayısal ve kartografik veriler temin edilmiş, örnekleme tasarımı oluşturulmuş ve arazi çalışmalarında kullanılacak altlık haritalar hazırlanmıştır. Arazi aşamasında ölü örtü örnekleri alınmış ve örnekleme noktalarının konumsal ve topoğrafik özellikleri kaydedilmiştir. Laboratuvar aşamasında ölü örtü örneklerinin nem içeriği, miktarı, maksimum su tutma kapasitesi, hacim ağırlığı, pH, elektriksel iletkenlik ve toplam çözünmüş madde değerleri belirlenmiştir. Son aşamada ise elde edilen veriler istatistiksel ve mekânsal analizlerle değerlendirilmiştir.

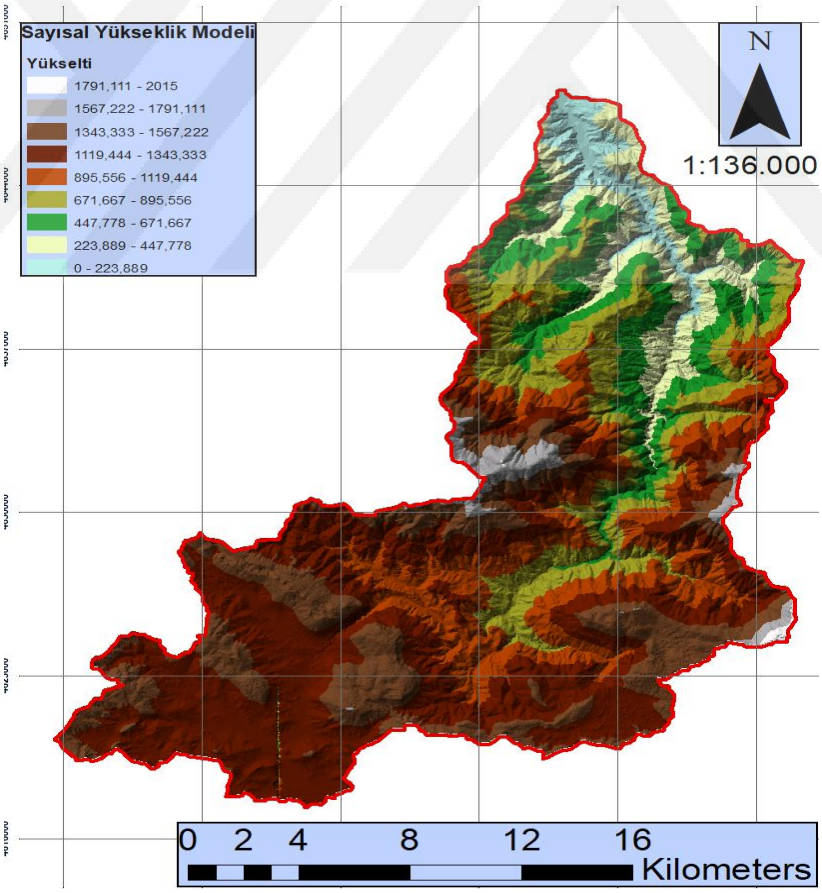
3.1 Araştırma Alanı

Bu çalışma, Kastamonu ili Bozkurt ilçesi sınırları içerisinde yer alan Ezine Çayı Havzası'nda gerçekleştirilmiştir. Araştırma alanı, Batı Karadeniz Bölgesi'nde yer almakta olup yaklaşık 375,6 km²'lik bir yüzölçümüne sahiptir. Havza, 33°46′30″–34°06′00″ doğu meridyenleri ile 41°42′00″–41°52′59″ kuzey paralelleri arasında uzanmaktadır. Ortalama yükseltisi 1033,2 m olan araştırma alanı, kısa mesafelerde değişkenlik gösteren topoğrafik özellikleri ve engebeli arazi yapısı ile karakterize edilmektedir. Çalışma alanının topoğrafik özelliklerinin mekânsal dağılımını ortaya koymak amacıyla CBS tekniklerinden yararlanılmıştır. Bu kapsamda sayısal yükseklik modeli, eğim ve bakı haritaları oluşturularak araştırma alanının topoğrafik özellikleri ortaya konulmuştur.

Arazi çalışmaları, 2026 yılı temmuz ayında Kastamonu ili Bozkurt ilçesi sınırları içerisindeki Ezine Çayı Havzası'nda gerçekleştirilmiştir. Örnekleme noktaları; farklı meşcere tipleri ile yükselti, eğim ve bakı koşullarını temsil edecek şekilde belirlenmiştir. Bu doğrultuda, saf ve karışık meşcerelerden ölü örtü örnekleri alınmıştır.

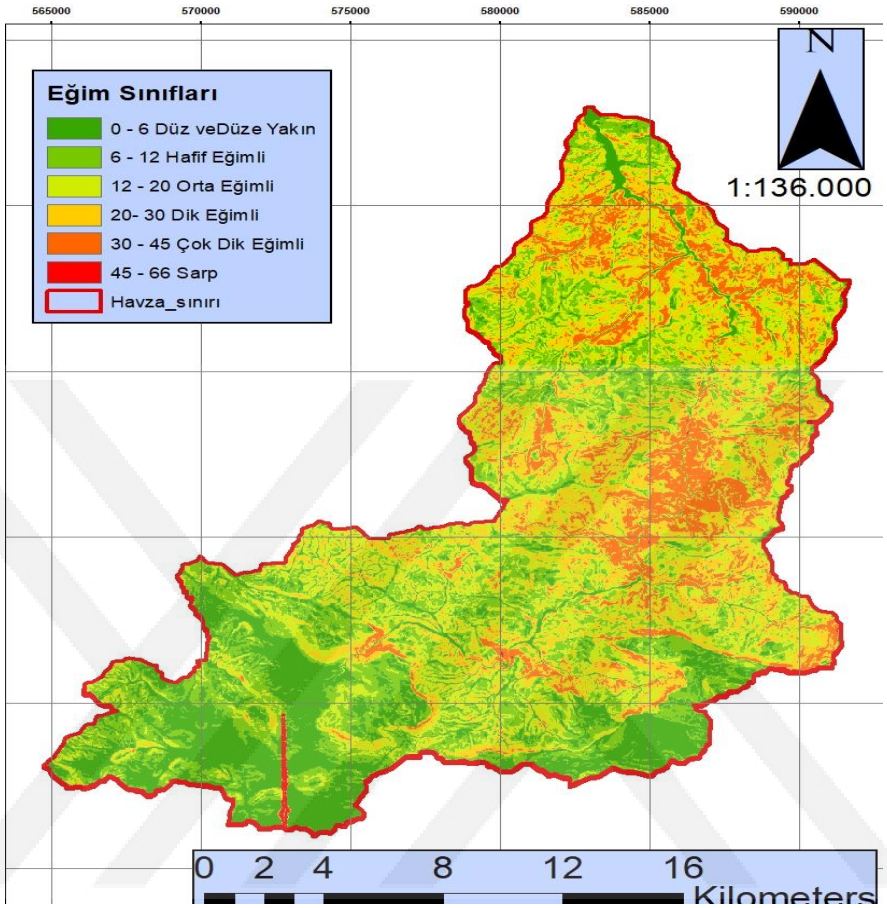


Şekil 3.1 Araştırma alanının Google Earth görüntüsü (URL-2, 2026)



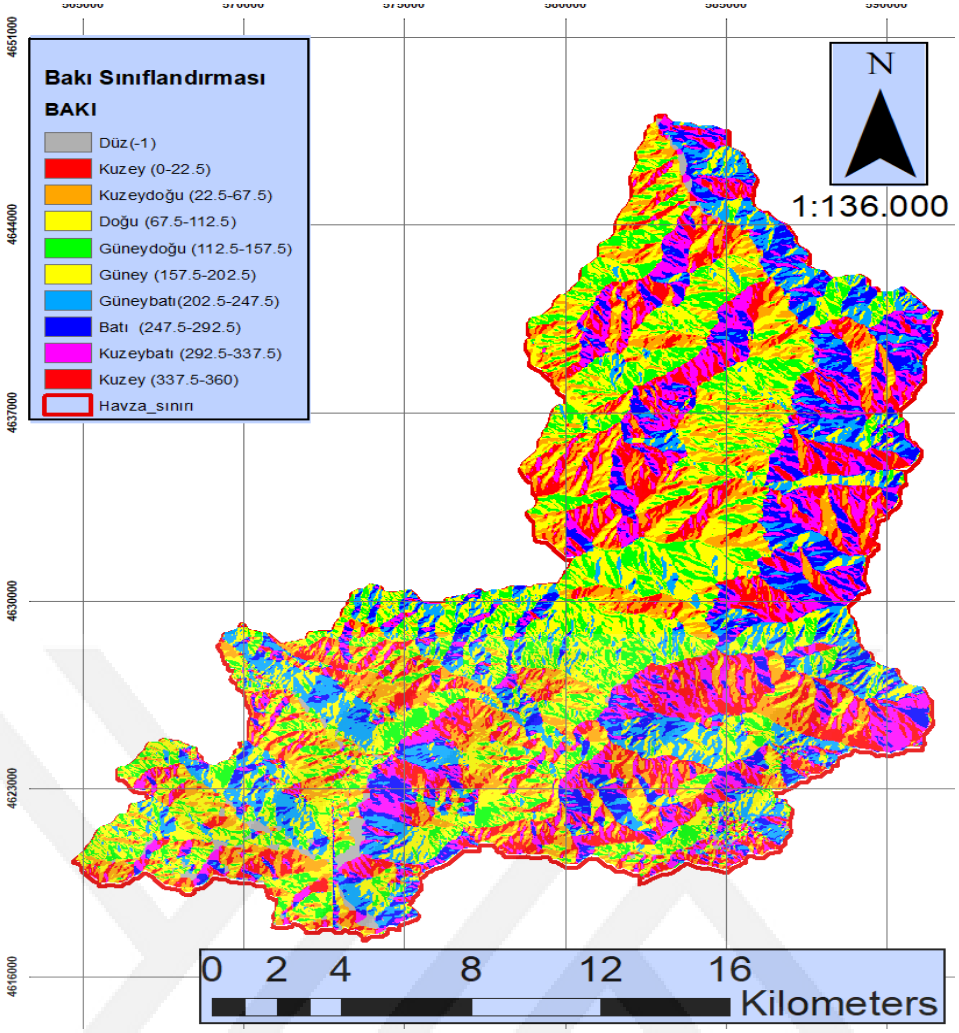
Şekil 3.2 Ezine Çayı Havzası'na ait sayısal yükseklik modeli (SYM)

Bu harita, çalışma alanının yükselti dağılımını göstermektedir. Havza içerisinde yükselti 1–2015 m arasında değişmekte olup, koyu tonlar düşük kotları, açık tonlar ise yüksek kotları temsil etmektedir. SYM, eğim ve bakı haritalarının türetilmesinde temel veri katmanı olarak kullanılmıştır.



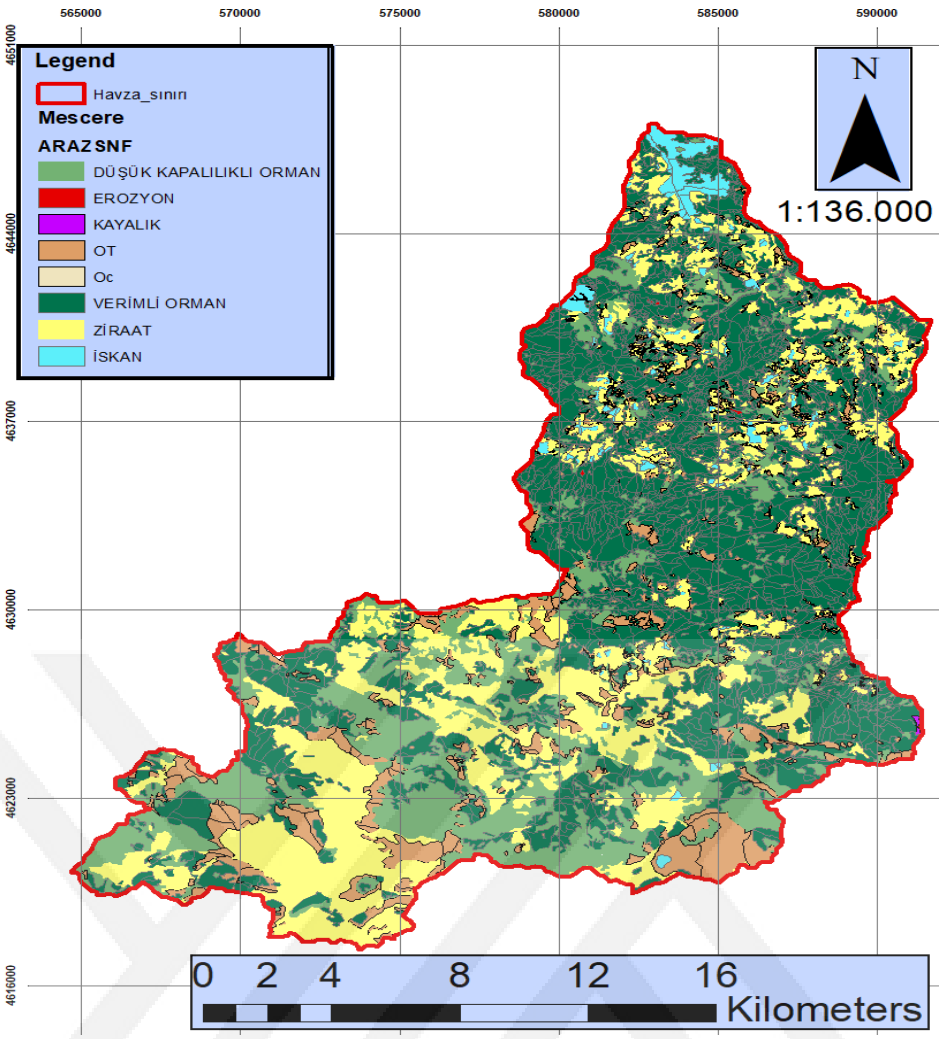
Şekil 3.3 Ezine Çayı Havzası'na ait eğim haritası

Bu harita, 0°–66° arasındaki eğim dağılımını göstermektedir. Dik ve çok dik eğimler özellikle havzanın kuzey ve kuzeydoğu kesimlerinde yoğunlaşırken, güney kesimlerde daha düşük eğimler görülmektedir. Havzanın büyük bölümünde eğim değerlerinin 20°'nin üzerinde olması, alanın engebeli bir topoğrafyaya sahip olduğunu göstermektedir.



Şekil 3.4 Ezine Çayı Havzası'na ait bakı haritası

Bu harita, arazinin yöneldiği yönü sekiz ana yön sınıfı ve düz alanlar (-1) olmak üzere dokuz kategoride göstermektedir. Havza genelinde bakı dağılımının oldukça heterojen olduğu ve farklı yönlerin alan içerisinde dağınık şekilde yayıldığı görülmektedir. Bakı, güneşlenme ve mikroklimatik koşullar açısından ölü örtünün özelliklerini etkileyebilen önemli topoğrafik faktörlerden biridir.



Şekil 3.5 Ezine Çayı Havzası'nın arazi kullanım durumu

Havza genelinde verimli orman alanlarının baskın olduğu görülmektedir. Ziraat alanları özellikle güney ve batı kesimlerde daha yoğun ve parçalı bir dağılım gösterirken; düşük kapalı orman, kayalık, ot, erozyon ve iskân alanları havza içerisinde daha sınırlı alanlarda bulunmaktadır.

3.1.1 İklim Özellikleri

Ezine Çayı Havzası, Karadeniz ikliminin etkisi altında bulunmaktadır. Bölgede sıcaklık ve yağış miktarları yıl içerisinde değişiklik göstermektedir. Uzun yıllar iklim verilerine göre yıllık ortalama sıcaklık 9,9°C, yıllık ortalama maksimum sıcaklık 16,5°C ve yıllık ortalama minimum sıcaklık 4,2°C'dir. Yıllık ortalama yağış miktarı ise 483,4 mm olarak belirlenmiştir. Aylık ortalama sıcaklık değerleri en yüksek Temmuz ve ağustos aylarında, en düşük ise ocak ayında görülmektedir. Yağış miktarı

da yıl içerisinde değişiklik göstermekte olup, en yüksek yağış değerleri ilkbahar aylarında görülmektedir. Bölgenin iklim özellikleri, ölü örtünün ayrışması, nem durumu ve su tutma kapasitesi gibi özellikler üzerinde etkili olabilecek önemli çevresel faktörlerdir.

Tablo 3.1 Meteoroloji Genel Müdürlüğü verilerine göre Kastamonu iline ait uzun yıllar iklim verileri (1930–2025)

Ay	Ort. Sıcaklık (°C)	Maks. Sıcaklık (°C)	Min. Sıcaklık (°C)	Güneşlenme (saat)	Yağışlı Gün Sayısı	Aylık Yağış (mm)
Ocak	-0,9	3,3	-4,5	2,3	12,33	29,6
Şubat	0,9	6,2	-3,4	3,5	11,33	27,0
Mart	4,4	11,0	-0,8	4,5	12,11	35,9
Nisan	9,6	16,7	3,4	5,6	12,94	51,3
Mayıs	14,1	21,3	7,6	7,0	14,52	75,0
Haziran	17,6	24,8	10,5	8,4	11,89	73,3
Temmuz	20,2	27,9	12,4	9,7	6,35	32,3
Ağustos	20,1	28,2	12,3	9,3	5,70	31,4
Eylül	15,9	24,0	9,0	7,3	6,69	31,2
Ekim	10,9	18,2	5,2	5,4	9,04	34,3
Kasım	5,3	11,1	0,9	3,8	9,57	28,6
Aralık	1,0	5,0	-2,3	2,1	12,10	33,5
Yıllık Ortalama	**9,9**	**16,5**	**4,2**	**5,7**	**124,6**	**483,4**
Ekstrem En Yüksek Sıcaklık		**42,2°C**				
Ekstrem En Düşük Sıcaklık		**-26,9°C**				
En Yüksek Günlük Yağış						**104,7 mm (03.05.1953)**
En Hızlı Rüzgar						**27,8 m/s (18.05.2025)**
En Yüksek Kar Örtüsü						**53 cm (25.01.1954)**

3.1.2 Jeolojik Yapı

Ezine Çayı Havzası'nın jeolojik yapısı, farklı jeolojik dönemlere ait çeşitli kayaç ve birimlerden oluşmaktadır. Havzada karbonat ve kıtasal klastlar, mermer, granit, kireçtaşı, bazik ve ultrabazik kayaçlar ile volkanik ve tortul kayaçlar bulunmaktadır (Avcı ve Ünsal, 2023).

3.1.3 Vejetasyon ve Meşcere Özellikleri

Çalışma alanında meşe, kayın, göknar, sarıçam ve karaçam gibi farklı ağaç türlerinin oluşturduğu saf ve karışık meşcereler bulunmaktadır. Farklı meşcere türlerinin, ölü örtü miktarı ve hidro-fiziksel özellikleri üzerinde etkili olabileceği düşünülmektedir. Bu nedenle çalışma kapsamında farklı meşcere tiplerinin bulunduğu alanlar belirlenmiş ve ölü örtü özelliklerinin meşcere tiplerine göre değişimi incelenmiştir.

3.2 Arazi Çalışmaları ve Ölü Örtü Örneklenmesi

3.2.1 Arazi Çalışmaları

Arazi çalışmaları, Kastamonu ili Bozkurt ilçesi sınırları içerisinde bulunan Ezine Çayı Havzası'nda gerçekleştirilmiştir. Örnekleme noktalarının belirlenmesinde, çalışma alanındaki farklı meşcere kuruluşlarının ve topoğrafik koşulların temsil edilmesine dikkat edilmiştir. Bu kapsamda meşe, kayın, göknar, sarıçam ve karaçam türlerinden oluşan saf ve karışık meşcereler ile farklı yükselti, eğim ve bakı koşullarındaki alanlar değerlendirilmiştir. Örnekleme noktaları [tabakalı rastgele/amaca yönelik/sistematik] örnekleme yaklaşımına göre belirlenmiştir.

Arazi çalışmaları kapsamında toplam 55 örnekleme noktası oluşturulmuştur. Her örnekleme noktasından üç alt örnek alınarak toplam 165 ölü örtü örneği elde edilmiştir. Aynı noktadan alınan üç alt örnek, o noktadaki kısa mesafeli değişkenliği temsil etmek amacıyla kullanılmıştır. İstatistiksel analizlerde, yalancı tekerrür oluşmasını önlemek amacıyla üç alt örneğe ait ölçümlerin ortalaması alınmış ve her örnekleme noktası bağımsız bir gözlem birimi olarak değerlendirilmiştir.

Örnekleme noktalarının coğrafi koordinatları el tipi GPS cihazıyla kaydedilmiş ve CBS ortamında kullanılmak üzere sayısal veri tabanına aktarılmıştır. Ayrıca her noktada meşcere tipi, yükselti, eğim, bakı ve ölü örtü kalınlığına ilişkin bilgiler kaydedilmiştir.

Çalışma alanının eğimli ve yer yer dik topoğrafik yapısı nedeniyle ölü örtü birikiminin örnekleme noktaları arasında farklılık gösterdiği gözlenmiştir. Örnekleme noktalarının

büyük bölümünde L, F ve H tabakalarının birbirinden güvenilir şekilde ayrılmasını sağlayacak belirgin bir horizonlaşmaya, özellikle de belirgin bir H tabakasına rastlanmamıştır. Bu nedenle ölü örtü materyali katmanlara ayrılmadan bir bütün olarak örneklenmiştir.

3.2.2 Ölü Örtü Örneklerinin Alınması

Ölü örtü örneklerinin alınmasında 10 × 10 cm boyutlarında, 100 cm² yüzey alanına sahip demir örnekleme çerçevesi kullanılmıştır. Çerçeve ölü örtü yüzeyine yerleştirilmiş ve çerçeve içerisinde bulunan ölü örtü materyalinin tamamı alınmıştır. Örnekleme sırasında mineral toprağın numuneye karışmamasına ve çerçeve sınırları dışındaki materyalin örneğe dâhil edilmemesine dikkat edilmiştir.

Ölü örtünün L, F ve H katmanları sahada birbirinden ayrılmamış; çerçeve içerisindeki ölü örtü materyali, örnekleme alanını temsil edecek şekilde bir bütün olarak alınmıştır. Her alt örneğin ölü örtü kalınlığı çerçevenin [dört köşesi ve merkezinde/uygulanan gerçek ölçüm düzenine göre] cetvel yardımıyla ölçülmüş ve ölçümlerin aritmetik ortalaması hesaplanmıştır. Alınan örnekler, örnekleme noktası ve alt örnek numarasını içeren kodlarla etiketlenmiştir. Numuneler materyal kaybını, dışarıdan madde karışmasını ve örneklerin birbirine karışmasını önleyecek şekilde ambalajlanarak laboratuvara taşınmıştır.



Şekil 3.6 Ölü örtü örnekleme alanında demir çerçevenin görünümü



Şekil 3.7 Demir çerçeve kullanılarak arazi koşullarında ölü örtü örneğinin alınması

3.2.3 Laboratuvar Analizleri

Laboratuvar analizleri, Çankırı Karatekin Üniversitesi Orman Fakültesi Havza Yönetimi Ana Bilim Dalı Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Arazi çalışmaları sonucunda laboratuvara getirilen ölü örtü örnekleri analizlere başlanıncaya kadar uygun koşullarda muhafaza edilmiş ve laboratuvar ortamında hava kurusu hâle gelinceye kadar bekletilmiştir. Analizlerde distile su kullanılmış ve örneklerin doğal yapısının mümkün olduğunca korunmasına dikkat edilmiştir.

Hava kurusu hâle gelen örnekler yapılacak analizlere göre hazırlanmış ve gerekli miktarlarda alt örneklere ayrılmıştır. Tartım işlemleri ±0,001 g hassasiyetli terazi kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.8 Ölü örtü örneklerinin analiz öncesi muhafazası



Şekil 3.9 Ölü örtü örneğinin laboratuvar ortamında tartım işlemi

3.2.4 Nem İçeriği ve Fırın Kurusu Ağırlığın Belirlenmesi

Nem içeriğinin belirlenmesi amacıyla her ölü örtü örneğinden yaklaşık 10-15 g alt örnek ayrılmıştır. Alt örneklerin hava kurusu ağırlıkları belirlendikten sonra örnekler 65 °C sıcaklıktaki etüvde 24 saat süreyle kurutulmuştur. Kurutulan örnekler, ortamdan nem almalarını önlemek amacıyla desikatörde oda sıcaklığına ulaşıncaya kadar bekletilmiş ve ardından yeniden tartılmıştır.

$$N\ (\%) = [(W_HK - W_FK) / W_FK] \times 100 \quad (3.1)$$

Burada;

- N: Nem içeriği (%),

- W_HK: Hava kurusu örnek ağırlığı (g),

- W_FK: Fırın kurusu örnek ağırlığıdır (g).

Alt örneklerden belirlenen nem içeriği kullanılarak her çerçeveden alınan toplam ölü örtü materyalinin fırın kurusu ağırlığı hesaplanmıştır. Birim alandaki ölü örtü miktarı aşağıdaki eşitlikle belirlenmiştir:

ÖÖM (kg/ha) = W_FK (g) × 1.000 (3.2)

Bu dönüşüm, örnekleme çerçevesinin 0,01 m² yüzey alanına sahip olması esas alınarak gerçekleştirilmiştir.

3.2.5 Maksimum Su Tutma Kapasitesinin Belirlenmesi

Maksimum su tutma kapasitesinin belirlenmesinde ölü örtü örneklerinin fiziksel yapısının mümkün olduğunca korunmasına dikkat edilmiştir. Örnekler süzme kaplarına yerleştirilerek distile su içerisinde 24 saat bekletilmiş ve tam doygunluğa ulaşmaları sağlanmıştır. Doygun hâle gelen örnekler sudan çıkarılmış ve yer çekimi etkisiyle uzaklaşabilecek serbest suyun süzülmesi amacıyla 20 dakika süreyle drenaja bırakılmıştır. Drenaj işleminin ardından örneklerin doygun ağırlıkları ±0,001 g hassasiyetli teraziyle belirlenmiştir.

Maksimum su tutma kapasitesi aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır (Denklem 3.1):

$$MWHC(\%) = \frac{WSW - ODW}{ODW} \times 100 \quad (3.3)$$

Burada:

MWHC (%): Maksimum su tutma kapasitesi (%)

WSW: Suya doygun ağırlık

ODW: Fırında kuru ağırlık



Şekil 3.10 Ölü örtü örneklerinin suya doygun hale getirilmesi



Şekil 3.11 Drenaj işlemi sonrasında suya doygun ölü örtü örneğinin hassas terazide tartılması

3.2.6 Hacim Ağırlığının Belirlenmesi

Ölü örtü hacim ağırlığı, örneğin fırın kurusu ağırlığının arazide kapladığı hacme bölünmesiyle hesaplanmıştır. Örnek hacmi, örnekleme çerçevesinin yüzey alanı ile ölü örtünün örnekleme noktasında ölçülen ortalama kalınlığının çarpılmasıyla belirlenmiştir:

$$V = A \times h \quad (3.4)$$

$$HA = W_FK / V \quad (3.5)$$

Burada;

- HA: Ölü örtü hacim ağırlığı (g/cm³),
- W_FK: Fırın kurusu ölü örtü ağırlığı (g),
- V: Ölü örtü hacmi (cm³),
- A: Örnekleme çerçevesinin alanı (100 cm²),
- h: Ortalama ölü örtü kalınlığıdır (cm).

Hacim ağırlığı sonuçları g/cm³ olarak ifade edilmiştir (Wooldridge, 1970).

3.2.7 pH, EC ve Tuzluluk (TUZ) Analizleri

Ölü örtü örneklerinin pH, elektriksel iletkenlik ve toplam çözünmüş madde değerlerinin belirlenmesi amacıyla 1:5 ağırlık/hacim oranında ölü örtü-distile su karışımı hazırlanmıştır. Bu amaçla [10 g fırın kurusu eşdeğeri] ölü örtü örneğine [50 mL] distile su eklenmiştir. Hazırlanan karışımlar 24 saat süreyle bekletilmiş ve ardından ölçümler gerçekleştirilmiştir.

pH, EC ve Tuzluluk değerleri HACH HQ40d çok parametreli ölçüm cihazıyla belirlenmiştir. pH ölçümlerinde cihazın cam elektrodu kullanılmış, EC değerleri µS/cm, Tuzluluk değerleri ise cihazın verdiği gerçek ölçüm birimine göre ‰ binde olarak ifade edilmiştir. Ölçümlerden önce elektrotların uygun standart çözeltilerle kalibrasyonu gerçekleştirilmiştir. pH tayininde Gülçur (1970) ve U.S. Salinity Laboratory (1954) tarafından belirtilen esaslardan yararlanılmıştır.



Şekil 3.12 Ölü örtü örneklerinin pH değerlerinin belirlenmesi

3.3 İstatistiksel Değerlendirme

Araştırmadan elde edilen verilerin değerlendirilmesinde tanımlayıcı, karşılaştırmalı ve çok değişkenli istatistiksel yöntemlerden yararlanılmıştır. Aynı örnekleme noktasından alınan üç alt örneğe ait ölçümlerin aritmetik ortalaması hesaplanmış ve istatistiksel analizlerde 55 örnekleme noktası bağımsız gözlem birimi olarak kullanılmıştır.

Ölü örtü miktarı, hacim ağırlığı, maksimum su tutma kapasitesi, pH, EC ve Tuzluluk değişkenleri için meşcere tiplerine göre aritmetik ortalama, standart sapma, minimum, maksimum ve varyasyon katsayısı değerleri hesaplanmıştır. Varyasyon katsayısı aşağıdaki eşitlikle belirlenmiştir:

$$CV\ (\%) = (SS / \bar{x}) \times 100 \qquad (3.6)$$

İstatistiksel analizlerden önce verilerin normal dağılıma uygunluğu Shapiro-Wilk testi ve Q-Q grafikleriyle, varyansların homojenliği ise Levene testiyle değerlendirilmiştir. Varsayımların sağlanması durumunda meşcere tipleri arasındaki farklılıklar tek yönlü

varyans analiziyle incelenmiştir. ANOVA sonucunun anlamlı bulunması hâlinde gruplar arasındaki farklılıkların belirlenmesinde Tukey HSD çoklu karşılaştırma testi kullanılmıştır.

Varyansların homojenliği varsayımının sağlanmaması durumunda Welch ANOVA ve Games-Howell testi; parametrik test varsayımlarının sağlanamaması durumunda ise Kruskal-Wallis testi ile uygun çoklu karşılaştırma yöntemi kullanılmıştır. Bütün analizlerde anlamlılık düzeyi $p < 0,05$ olarak kabul edilmiştir.

Ölü örtü özellikleri arasındaki doğrusal ilişkiler Pearson korelasyon analiziyle incelenmiştir. Pearson korelasyon analizinden önce değişkenlerin dağılımları, doğrusallıkları ve aykırı değerlerin varlığı kontrol edilmiştir. Parametrik varsayımların sağlanmaması durumunda Spearman sıra korelasyon katsayısı kullanılmıştır.

Ölü örtü özelliklerinin birlikte değerlendirilmesi amacıyla Temel Bileşenler Analizi uygulanmıştır. Değişkenler farklı birim ve ölçeklere sahip olduğundan analiz öncesinde z-skoru dönüşümüyle standartlaştırılmıştır. PCA sonucunda değişkenlerin temel bileşenlerdeki yükleri, bileşenlerin açıkladığı varyans oranları ve örnekleme noktalarının bileşen eksenlerindeki dağılımları değerlendirilmiştir. Böylece meşcere tipleri arasındaki benzerlik ve farklılıklar çok değişkenli olarak incelenmiştir.

İstatistiksel analizler [IBM SPSS Statistics sürüm 31.0 /R sürüm 4.3] yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

3.4 CBS ve Mekânsal Analizler

Çalışma alanının topoğrafik özelliklerinin ve ölü örtü değişkenlerinin mekânsal dağılımının belirlenmesinde ArcMap 10.8 yazılımı kullanılmıştır. Havzaya ait sayısal yükseklik modeli, Spatial Analyst araç seti kullanılarak işlenmiş; yükselti, eğim ve bakı haritaları oluşturulmuştur. Örnekleme noktalarına ait X ve Y koordinatları ile laboratuvar analizlerinden elde edilen nokta ortalamaları CBS ortamına aktarılmıştır. Bütün mekânsal veriler [ETRS_1989_UTM_Zone_36N] koordinat sisteminde değerlendirilmiştir.

MSTK, pH, EC ve tuzluluk değişkenleri için uygun mekânsal tahmin yönteminin belirlenmesi amacıyla ters mesafe ağırlıklı enterpolasyon (IDW), ordinary kriging (OK), empirical Bayesian kriging (EBK), universal kriging (UK) ve local polynomial interpolation (LPI) yöntemleri karşılaştırılmıştır. Bu yöntemlerin yanı sıra, veri odaklı esnek bir stokastik yaklaşım sunan Gaussian Process Regression (GPR) yöntemi de analizlere dahil edilmiştir.

Yöntemlerin karşılaştırılmasında, enterpolasyon başarısının verilerin mekânsal yapısına ve kullanılan model parametrelerine bağlı olarak değişebildiğini ortaya koyan çalışmalardan yararlanılmıştır (Li ve Heap, 2011; Robinson ve Metternicht, 2006). Model değerlendirmelerinde IDW için uzaklık ağırlıklandırma gücü, kriging yöntemleri için yarıvariogram modeli, UK için mekânsal trend ve LPI için yerel ağırlıklandırma fonksiyonu dikkate alınmıştır. Karşılaştırılan alt modeller arasında IDW'de 1 kuvveti, OK'de pentaspherical yarıvariogram modeli, EBK'de power modeli, UK'de doğrusal trend ile Gaussian yarıvariogram modeli ve LPI'de quartic çekirdek fonksiyonu yer almıştır.

Kriging ve yerel enterpolasyon yöntemlerinin uygulanmasında Johnston vd. (2001), EBK yaklaşımının değerlendirilmesinde ise Krivoruchko (2012) tarafından açıklanan esaslardan yararlanılmıştır. GPR modelinin kurulmasında ve alt modellerin değerlendirilmesinde ise kovaryans (çekirdek) fonksiyonu bileşenleri temel alınmıştır. Bu doğrultuda, örnekleme noktalarındaki ölçümler kullanılarak örnek alınmayan alanlar için sürekli bir yüzey tahmini gerçekleştirilmiştir.

Model tasarımında mekânsal yakınlığı ve pürüzsüzlüğü temsil etmek amacıyla Radyal Tabanlı Fonksiyon (RBF) çekirdeği; veri setindeki ölçüm hataları ile mikro ölçekli lokal değişkenlikleri modellemek amacıyla da beyaz gürültü (White Kernel) bileşeni yapıya entegre edilmiştir. Modellerin tahmin performansları, ölçülen ve tahmin edilen değerler arasındaki farklar esas alınarak değerlendirilmiştir. Bu amaçla kök ortalama kare hata (RMSE), ortalama mutlak hata (MAE), ortalama yanlılık hatası (MBE), Pearson korelasyon katsayısı (r) ve bu katsayının karesi ($R^2 = r^2$) kullanılmıştır. RMSE, tahmin hatalarının kareleri ortalamasının karekökü; MAE, tahmin hatalarının mutlak değerleri ortalaması; MBE ise tahmin edilen değerden ölçülen değerin çıkarılmasıyla

elde edilen hataların ortalaması olarak hesaplanmıştır. Yöntemlerin karşılaştırılmasında hata ölçütleri ile ölçülen ve tahmin edilen değerler arasındaki ilişkinin birlikte değerlendirilmesi yaklaşımından yararlanılmıştır (Li ve Heap, 2011). Doğrulama düzeni henüz belirtilmemiştir. Ölçütlerin çapraz doğrulama, bağımsız test verisi veya modelin kurulduğu veriye uyum üzerinden hesaplandığı analiz çıktısından doğrulanıp metne eklenmelidir.

Çapraz doğrulamada aynı konumdaki üç tekerrürün eğitim ve test kümelerine dağılması performansı iyimser gösterebilir; konum düzeyindeki ayırma düzeni açıklanmalıdır. Tablodaki R^2 değerleri r^2 ile uyumludur; $1-SSE/SST$ biçimindeki tahmin R^2 değeriyle karıştırılmamalıdır. Model seçiminde RMSE ve MAE değerlerinin düşük, MBE'nin mutlak değerinin sıfıra yakın, r ve R^2 değerlerinin ise yüksek olması olumlu performans göstergeleri olarak değerlendirilmiştir.

Öncelikle her enterpolasyon yönteminin kendi alt modelleri karşılaştırılmış, ardından yöntemleri temsil eden en uygun alt modeller birlikte değerlendirilmiştir. Performans ölçütlerinin birlikte ele alındığı sıralama skoru üzerinden genel model sıralaması oluşturulmuş ve düşük skor daha uygun model göstergesi olarak kabul edilmiştir. Böylece model seçimi tek bir ölçüte dayandırılmadan, tahmin hatası, yanlılık ve ölçülen–tahmin edilen değerler arasındaki ilişki birlikte dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir.

Karşılaştırmalar MSTK, pH, EC ve tuzluluk için ayrı ayrı gerçekleştirilmiş ve her değişkenin mekânsal dağılımının tahmininde kullanılacak model kendi performans sonuçlarına göre belirlenmiştir. Seçilen model ve alt model bilgileri ile ilgili hata ölçütleri bulgular bölümünde sunulmuştur.

4. BULGULAR

4.1 Meşcere Tiplerine Göre Maksimum Su Tutma Kapasitesinin (MSTK) Değişimi

Kastamonu ili Ezine Çayı Havzası'nda farklı meşcere tiplerinden alınan ölü örtü örneklerine ait maksimum su tutma kapasitesi (MSTK) değerleri Tablo 4.1'de verilmiştir. Meşcere tiplerine göre ortalama MSTK değerlerinin farklılık gösterdiği görülmektedir. En yüksek ortalama değer %403,29 ile Meşe meşcerelerinde belirlenirken, bunu Kayın (%387,89), Sarıçam (%383,65), Göknar (%306,25) ve Karaçam (%236,86) meşcereleri izlemiştir. Buna göre en yüksek MSTK değeri Meşe, en düşük değer ise Karaçam meşcerelerinde elde edilmiştir.

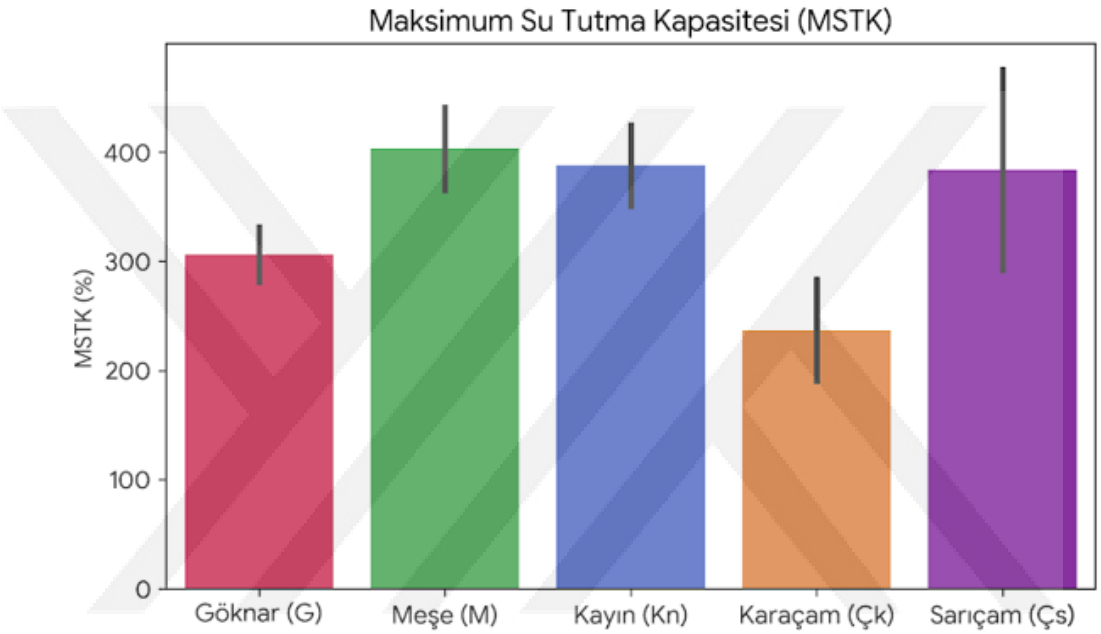
Yapılan varyans analizi sonucunda meşcere tipleri arasındaki farklılığın %5 önem düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı olmadığı belirlenmiştir (p=0,052). Bununla birlikte, elde edilen p değerinin 0,05 sınırına yakın olması, meşcere tiplerine göre MSTK değerlerinde bir farklılaşma eğiliminin bulunduğunu göstermektedir.

Varyasyon katsayıları incelendiğinde, en yüksek değerlerin Sarıçam (%71,90) ve Karaçam (%67,84) meşcerelerinde olduğu görülmektedir. Bu durum, söz konusu meşcerelerde MSTK değerlerinin örnekleme alanları arasında daha fazla değişkenlik gösterdiğini ortaya koymaktadır. Meşe ve Kayın meşcerelerinde ise ortalama MSTK değerlerinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Tablo 4.1 Meşcere tiplerine göre maksimum su tutma kapasitesine (MSTK) ait tanımlayıcı istatistikler

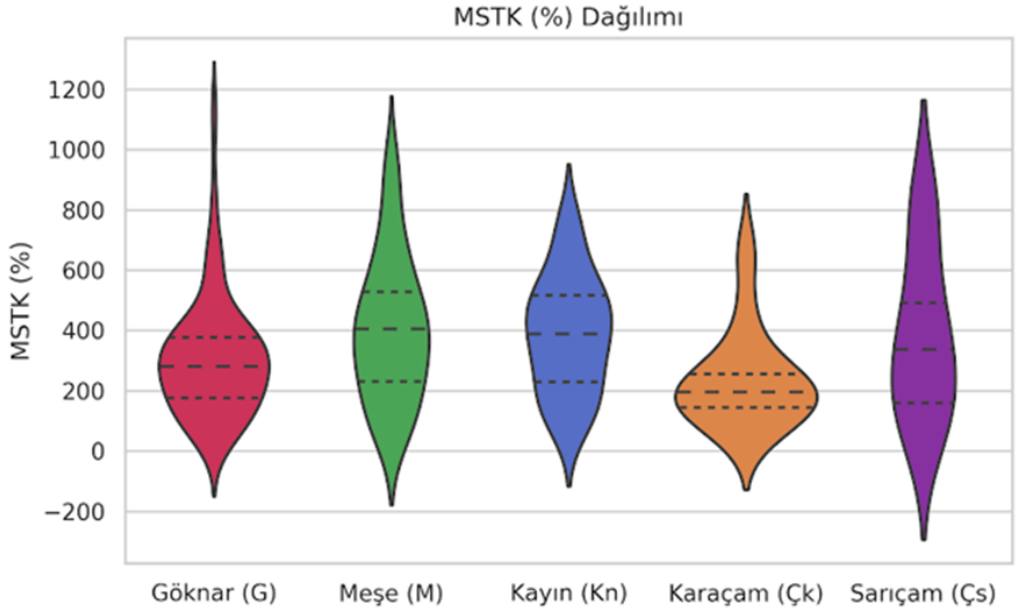
Meşcere Tipi	n	Ortalama (%)	Std. Sapma	CV (%)	Min	Maks
Göknar (G)	60	306,25	196,53	64,17	23,85	1118,79
Karaçam (Çk)	12	236,86	160,68	67,84	68,34	657,62
Kayın (Kn)	27	387,89	192,67	49,67	83,05	753,15
Meşe (M)	39	403,29	238,24	59,07	50,90	949,17
Sarıçam (Çs)	27	383,65	275,83	71,90	62,60	810,20

Tabloya ilişkin tanımlayıcı istatistikler incelendiğinde, çalışma alanındaki farklı meşcere tiplerine (ağaç türlerine) ait ölü örtülerin suyu tutma kapasitelerinin kendi kuru ağırlıklarına oranla yüzde (%) olarak dağılımı özetlenmektedir. Veriler ele alındığında, ortalama su tutma kapasitesi değerlerinin Meşe meşerelerinde %403,29 ve Kayın meşerelerinde %387,89 olduğu; Karaçam meşcerelerinde ise ortalama %236,86 olarak gerçekleştiği görülmektedir. Tablodaki Varyasyon Katsayısı (CV) değerlerine bakıldığında, Sarıçam (%71,90) ve Karaçam (%67,84) ölü örtülerinde su tutma kapasitesinin saha içinde homojen dağılmadığı ve yüksek düzeyde değişkenlik gösterdiği anlaşılmaktadır.



Şekil 4.1 Meşcere tiplerine göre ortalama maksimum su tutma kapasitesi (MSTK)

Bu grafik, çalışma alanındaki farklı meşcere tiplerine ait ölü örtü örneklerinin ortalama MSTK (%) değerlerini göstermektedir. Sütunların tepe noktalarındaki siyah hata çubukları (standart hata), verilerin ortalama etrafındaki sapma miktarını ifade eder. En yüksek ortalama su depolama kapasitesinin Meşe ve Kayın gibi geniş yapraklı türlerde ölçüldüğü, Karaçam meşcerelerinde ise bu kapasitenin belirgin şekilde düştüğü görülmektedir.



Şekil 4.2 Meşcere tiplerine göre ölü örtü örneklerinin maksimum su tutma kapasitesi (MSTK) değerlerinin dağılımı

MSTK değerlerinin frekans yoğunluğunu ve varyasyon genişliğini yansıtan grafiktir. Kemanın geniş (şişkin) olduğu noktalar, verilerin daha yoğun olduğu aralıkları temsil etmektedir. Sarıçam (Çs) ve Göknar (G) meşcerelerinde kemanın dikey yönde daha geniş bir dağılım göstermesi, bu meşcerelerde su tutma kapasitesi değerlerinin daha geniş bir aralıkta değiştiğine ve veri dağılımında düşük veya yüksek değerlerin bulunabileceğine işaret etmektedir.

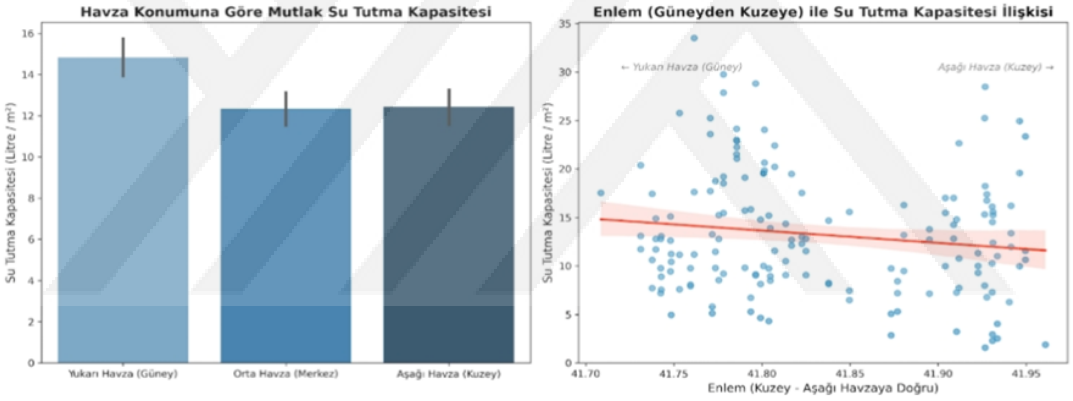
Ölü örtünün su tutma özelliklerinin havza içerisindeki konumsal değişimini ortaya koymak amacıyla örnekleme noktaları havzanın güney-kuzey doğrultusundaki konumları dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Bu kapsamda havza, Yukarı Havza (Güney), Orta Havza (Merkez) ve Aşağı Havza (Kuzey) olmak üzere üç bölüme ayrılmıştır. Söz konusu bölümlerde elde edilen ölü örtü örneklerinin birim alan başına su tutma miktarları (L/m²) karşılaştırılarak havza içerisindeki değişim incelenmiştir.

Tablo 4.2'de görüldüğü üzere, en yüksek ortalama su tutma kapasitesi 14,83 Litre/m² ile Yukarı Havza'da (Güney) belirlenmiş, bunu Aşağı Havza (12,41 Litre/m²) ve Orta Havza (12,33 Litre/m²) izlemiştir. Yukarı Havza'daki ortalama değerin diğer iki kesime kıyasla belirgin şekilde yüksek olması, havzanın güney kesimlerindeki ölü örtünün birim alanda daha fazla su depolama kapasitesine sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

Tablo 4.2 Havza konumuna göre mutlak su tutma kapasitesine (Litre/m²) ait tanımlayıcı istatistikler

Havza Konumu	n (Örnek)	Ort. Tutulan Su (Litre / m2)	Min - Maks Değerler
Yukarı Havza (Güney)	57	**14,83 Litre**	2,8 L - 33,3 L
Orta Havza (Merkez)	53	**12,33 Litre**	4,3 L - 28,8 L
Aşağı Havza (Kuzey)	55	**12,41 Litre**	1,5 L - 28,4 L

Şekil 4.3'ün sol panelinde, havzanın farklı kesimlerinde belirlenen ortalama mutlak su tutma kapasiteleri gösterilmektedir. Buna göre, Yukarı Havza (Güney) kesiminde ortalama su tutma kapasitesi diğer havza kesimlerine göre daha yüksek bulunurken, Orta ve Aşağı Havza kesimlerinde değerlerin birbirine yakın olduğu görülmektedir. Sağ panelde ise enlem değeri ile mutlak su tutma kapasitesi arasındaki doğrusal ilişki sunulmuştur. Regresyon doğrusunun negatif eğimli olması, güneyden kuzeye doğru gidildikçe ölü örtüsünün mutlak su tutma kapasitesinde azalma yönünde bir eğilim bulunduğunu göstermektedir.



Şekil 4.3 Havza konumuna göre mutlak su tutma kapasitesi (a) ve enlem ile su tutma kapasitesi arasındaki ilişki (b)

4.2 Maksimum Su Tutma Kapasitesinin Mekânsal Tahmininde Model Performansı

Maksimum su tutma kapasitesinin (MSTK) mekânsal dağılımının tahmin edilmesinde IDW, Ordinary Kriging (OK), Empirical Bayesian Kriging (EBK), Universal Kriging (UK) ve Local Polynomial Interpolation (LPI) yöntemleri karşılaştırılmıştır. Modellerin tahmin performansları RMSE, MAE, MBE, korelasyon katsayısı (r) ve

belirleme katsayısı (R^2) dikkate alınarak değerlendirilmiş ve bu ölçütlerin birlikte ele alındığı bütünleşik sıralama yaklaşımı kullanılmıştır.

Tablo 4.3 MSTK için mekânsal tahmin modellerinin çapraz doğrulama performansları ve genel sıralaması

Sıra	Model	RMSE	MAE	|MBE|	r	R^2	Sıralama skoru
1	**EBK- Power**	**193,27**	**149,29**	**1,30**	0,373	0,139	**7,15**
2	IDW- Power 1	193,39	148,79	12,35	0,375	0,141	10,52
3	Universal Kriging- Linear trend + Gaussian	196,99	153,82	3,21	0,352	0,124	12,54
4	Local Polynomial- Quartic	199,12	162,10	2,79	0,397	0,157	13,09
5	Ordinary Kriging- Pentaspherical	200,56	151,80	0,10	0,269	0,073	17,90

MSTK değerlerinin mekânsal tahmininde kullanılan enterpolasyon yöntemlerinin çapraz doğrulama performansları farklılık göstermiştir. Modeller RMSE, MAE, MBE, korelasyon katsayısı (r), belirleme katsayısı (R^2) ve bu ölçütlerden hesaplanan bütünleşik sıralama skoru dikkate alınarak karşılaştırılmıştır. EBK-Power modeli 193,27 RMSE, 149,29 MAE, 1,30 mutlak MBE, 0,373 r ve 0,139 R^2 değerleriyle 7,15'lik en düşük sıralama skorunu elde etmiş ve genel performans bakımından ilk sırada yer almıştır. IDW-Power 1 modeli RMSE (193,39) ve MAE (148,79) açısından EBK-Power'a oldukça yakın sonuç vermesine rağmen, daha yüksek mutlak MBE değeri (12,35) tahminlerde daha fazla sistematik sapmaya işaret etmiştir. LPI-Quartic modeli en yüksek r (0,397) ve R^2 (0,157) değerlerini üretmiş, ancak daha yüksek RMSE (199,12) ve MAE (162,10) değerleri nedeniyle bütünleşik değerlendirmede dördüncü sırada kalmıştır. Ordinary Kriging-Pentaspherical modeli ise MBE açısından sıfıra en yakın sonucu (0,10) vermesine karşın RMSE, r ve R^2 ölçütlerindeki daha düşük performansı nedeniyle genel sıralamada son sırada yer almıştır. Tüm performans ölçütleri birlikte değerlendirildiğinde, MSTK'nın mekânsal dağılımının modellenmesinde en uygun yöntem EBK-Power olarak belirlenmiştir.

Genel olarak modellerin R^2 değerlerinin düşük düzeyde kalması, MSTK değerlerindeki mekânsal değişkenliğin yalnızca konumsal bağımlılıkla tam olarak açıklanamadığını göstermektedir. Bununla birlikte, hata büyüklüğü, tahmin yanlılığı ve gözlenen-tahmin edilen değerler arasındaki uyum birlikte değerlendirildiğinde MSTK'nın çalışma alanındaki mekânsal dağılımının haritalanması için en uygun

yöntem EBK-Power olarak belirlenmiştir. Bu nedenle nihai MSTK mekânsal dağılım haritasının oluşturulmasında EBK-Power modelinin kullanılması uygun görülmüştür.

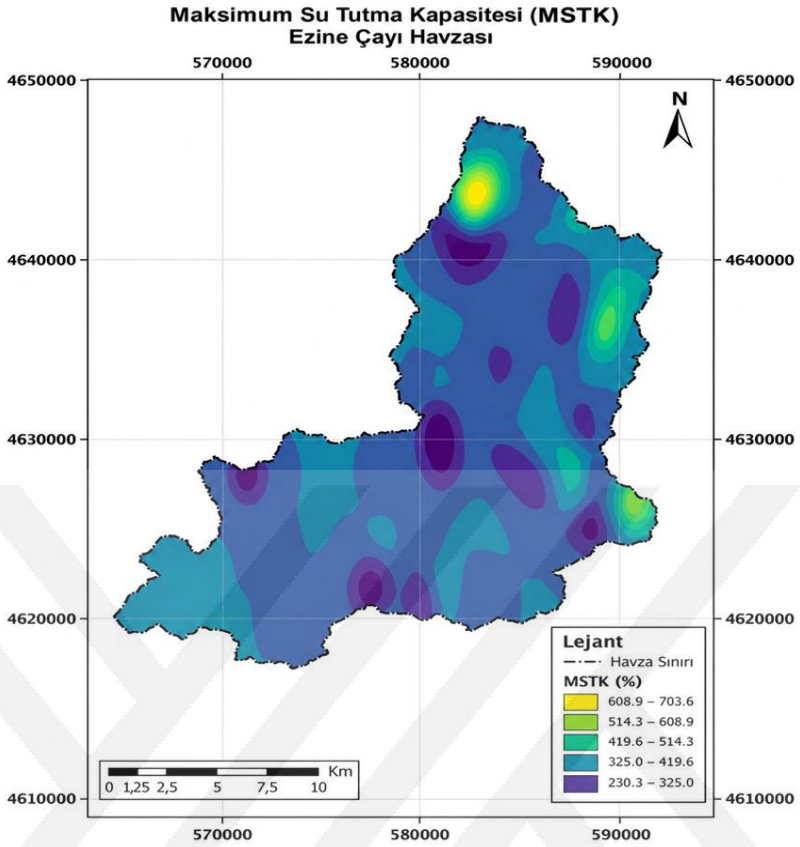
Maksimum su tutma kapasitesinin (MSTK) mekânsal dağılımının tahmin edilmesinde IDW, Ordinary Kriging (OK), Empirical Bayesian Kriging (EBK), Universal Kriging (UK) ve Local Polynomial Interpolation (LPI) yöntemleri karşılaştırılmıştır. Modellerin tahmin performansları RMSE, MAE, MBE, korelasyon katsayısı (r) ve belirleme katsayısı (R^2) dikkate alınarak değerlendirilmiş ve bu ölçütlerin birlikte ele alındığı bütünleşik sıralama yaklaşımı kullanılmıştır.

Karşılaştırma sonucunda Empirical Bayesian Kriging-Power (EBK-Power) modeli, RMSE = 193,27, MAE = 149,29, |MBE| = 1,30, r = 0,373 ve R^2 = 0,139 değerleri ile genel olarak en dengeli tahmin performansını göstermiş ve 7,15 sıralama skoru ile incelenen yöntemler arasında ilk sırada yer almıştır. EBK-Power modelini sırasıyla IDW-Power 1, Universal Kriging, Local Polynomial Interpolation ve Ordinary Kriging izlemiştir.

IDW-Power 1 modeli RMSE (193,39) ve MAE (148,79) bakımından EBK-Power modeline oldukça yakın sonuçlar vermesine rağmen, mutlak MBE değerinin daha yüksek olması (12,35), tahminlerde daha belirgin sistematik sapmaya işaret etmiştir. Buna karşılık EBK-Power modelinde MBE değerinin sıfıra daha yakın olması, modelin tahminlerinde yanlılığın daha düşük olduğunu göstermiştir. Local Polynomial Interpolation modeli ise karşılaştırılan yöntemler içerisinde nispeten daha yüksek r (0,397) ve R^2 (0,157) değerlerine sahip olmasına rağmen, RMSE ve MAE değerlerinin daha yüksek olması nedeniyle bütünleşik performans değerlendirmesinde EBK-Power modelinin gerisinde kalmıştır.

Genel olarak modellerin R^2 değerlerinin düşük düzeyde kalması, MSTK değerlerindeki mekânsal değişkenliğin yalnızca konumsal bağımlılıkla tam olarak açıklanamadığını göstermektedir. Bununla birlikte, hata büyüklüğü, tahmin yanlılığı ve gözlenen-tahmin edilen değerler arasındaki uyum birlikte değerlendirildiğinde MSTK'nın çalışma alanındaki mekânsal dağılımının haritalanması için en uygun

yöntem EBK-Power olarak belirlenmiştir. Bu nedenle nihai MSTK mekânsal dağılım haritasının oluşturulmasında EBK-Power modelinin kullanılması uygun görülmüştür.



Şekil 4.4 Maksimum su tutma kapasitesinin mekansal dağılımı

4.3 Toplam Su Miktarının Mekânsal Tahmininde Yöntem Karşılaştırması

Ölü örtüde tutulan toplam su miktarının mekânsal tahmininde kullanılacak en uygun enterpolasyon yaklaşımının belirlenmesi amacıyla farklı yöntemlerin tahmin performansları çapraz doğrulama ile karşılaştırılmıştır. Yöntemlerin başarısı ortalama yanlılık hatası (MBE), ortalama mutlak hata (MAE), kök ortalama kare hata (RMSE), korelasyon katsayısı (r) ve belirleme katsayısı (R^2) ölçütleri birlikte değerlendirilerek incelenmiştir.

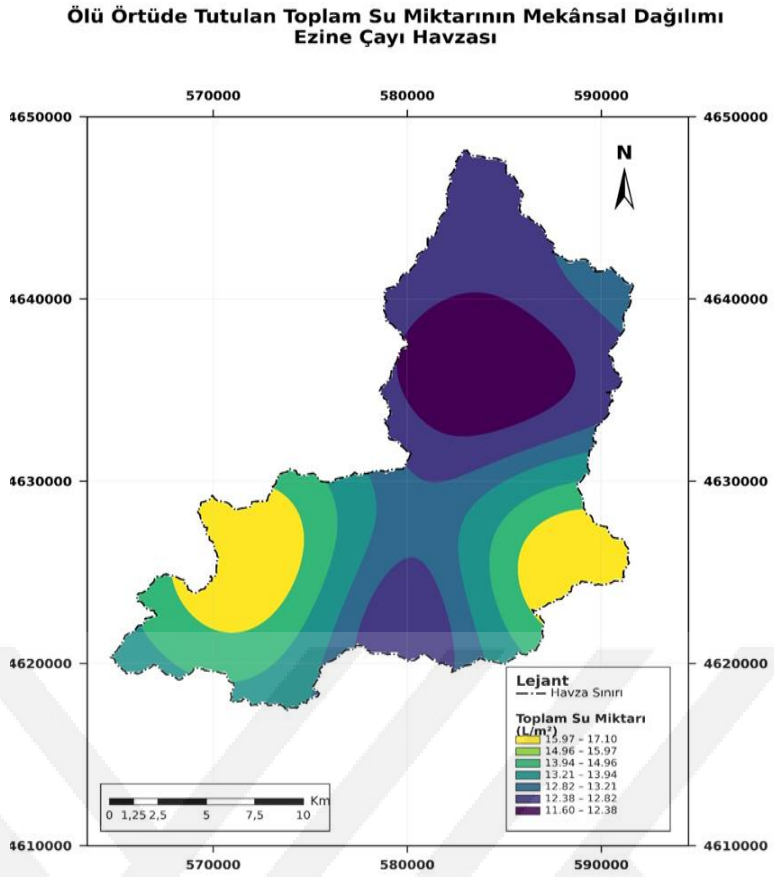
Tablo 4.4 Ölü örtüde tutulan toplam su miktarı için enterpolasyon yöntemlerinin çapraz doğrulama sonuçları.

Yöntem	MBE	MAE (L/m²)	RMSE (L/m²)	r	R²
LPI – Epanechnikov	0,160	3,666	4,514	0,305	0,093
LPI – Gaussian	0,138	3,654	4,528	0,295	0,087
Universal Kriging – Linear	-0,031	3,722	4,607	0,226	0,051
Ordinary Kriging – Linear	0,002	3,725	4,652	0,180	0,032
GPR – RBF	-0,131	3,754	4,667	0,169	0,028
IDW – Power 1	-0,148	3,794	4,696	0,098	0,010
RBF – Inverse Multiquadric	-0,036	3,817	4,756	0,072	0,005

Çapraz doğrulama sonuçlarına göre LPI–Epanechnikov yöntemi 4,514 L/m² ile en düşük RMSE değerini ve aynı zamanda en yüksek r (0,305) ile R² (0,093) değerlerini vermiştir. LPI–Gaussian yöntemi ise 3,654 L/m² ile tüm yöntemler içerisinde en düşük MAE değerini sağlamış; RMSE değeri 4,528 L/m² olarak hesaplanmıştır. LPI–Gaussian ile LPI–Epanechnikov arasındaki RMSE farkının yalnızca 0,014 L/m² olması, iki yöntemin tahmin doğruluğunun birbirine oldukça yakın olduğunu göstermektedir. Buna karşılık kriging, GPR, IDW ve RBF yaklaşımlarında hata değerleri görece daha yüksek ve korelasyon değerleri daha düşük kalmıştır.

Nihai mekânsal dağılım haritasının oluşturulmasında tek bir performans ölçütü yerine hata ölçütlerinin birlikte değerlendirilmesi esas alınmıştır. LPI–Gaussian yöntemi, en düşük MAE değerine sahip olması, en düşük RMSE değerini veren LPI–Epanechnikov yöntemiyle hemen hemen aynı tahmin hatasını göstermesi ve mekânsal geçişleri daha sürekli ve dengeli bir yüzeyle temsil etmesi nedeniyle tercih edilmiştir. Bu nedenle ölü örtüde tutulan toplam su miktarının mekânsal dağılımının haritalanmasında LPI–Gaussian yaklaşımının kullanılması uygun bulunmuştur.

Bununla birlikte, tüm yöntemlerde r ve R² değerlerinin görece düşük olması, toplam su miktarındaki mekânsal değişimin yalnızca örnekleme noktalarının konumlarıyla güçlü biçimde açıklanamadığını göstermektedir. Bu durum, ölü örtü miktarı, meşcere özellikleri, topoğrafik koşullar ve mikroklimatik farklılıklar gibi ek çevresel değişkenlerin toplam su miktarının mekânsal değişiminde etkili olabileceğine işaret etmektedir.



Şekil 4.5 Ölü örtüde tutulan toplam su miktarının mekânsal dağılımı

Ezine Çayı Havzası'nda ölü örtünün birim alanda tuttuğu toplam su miktarı, değerlendirilen örnekleme noktalarında ortalama 13,90 L/m² olarak belirlenmiş; değerlerin 2,68–26,41 L/m² arasında değiştiği görülmüştür. Mekânsal dağılım incelendiğinde, yüksek su tutma miktarlarının özellikle aşağı havzanın bazı kesimlerinde yoğunlaştığı, buna karşılık yukarı havzanın belirli bölümlerinde daha düşük değerlerin hakim olduğu anlaşılmaktadır.

Bu durum, ölü örtünün hidrolojik işlevinin havza genelinde homojen olmadığını; ölü örtü miktarı, meşcere özellikleri, ayrışma koşulları ve topoğrafik konuma bağlı olarak birim alanda depolanabilen su miktarının önemli ölçüde değişebildiğini göstermektedir. Orman ekosistemleri açısından değerlendirildiğinde, ölü örtünün bu su depolama işlevi yağış suyunun yüzeysel akışa geçmeden önce tutulması, infiltrasyonun desteklenmesi ve toprak neminin korunması bakımından önemli bir hidrolojik tampon mekanizması oluşturmaktadır.

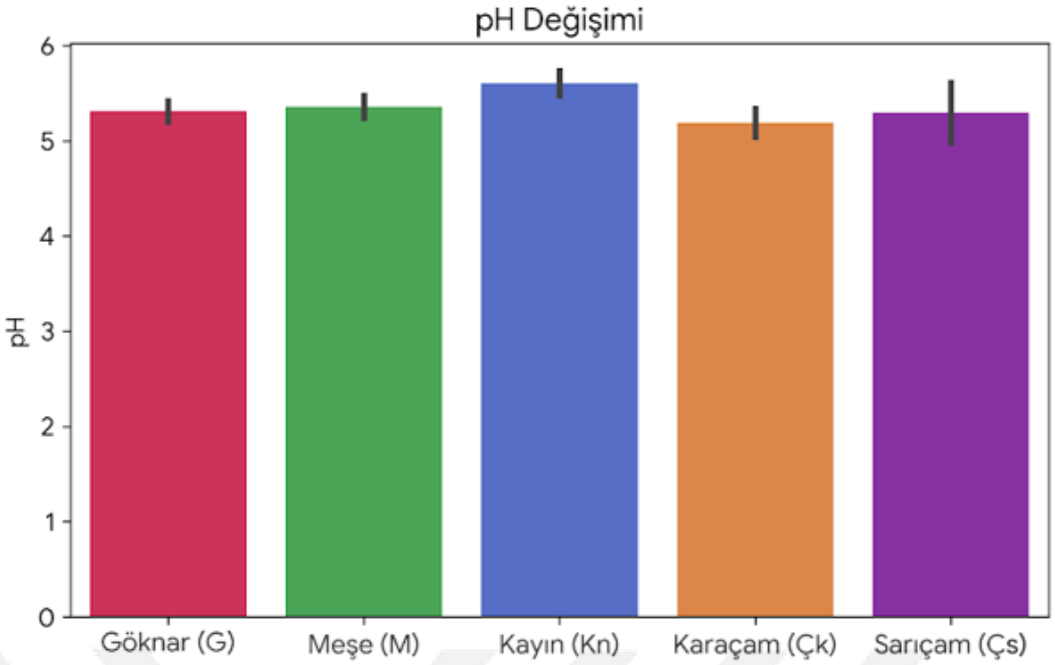
4.4 Meşcere Tiplerine Göre pH Değişimi

Ölü örtü çözeltilerinin reaksiyon (pH) özelliklerine ilişkin bulgular incelendiğinde, çalışma alanındaki tüm meşcere tiplerinin genel olarak asidik karaktere (pH <7) sahip olduğu tespit edilmiştir. İğne yapraklı bir tür olan Karaçam meşcereleri 5,19 ortalama ile asitliğin en yüksek düzeyde olduğu alanları temsil ederken, geniş yapraklı Kayın meşcereleri 5,61 ortalama ile asitliğin nispeten daha düşük olduğu alanlar olarak öne çıkmıştır. Standart sapma ve varyasyon katsayısı değerleri incelendiğinde (CV: %9,80- %17,83), pH parametresinin sahadaki diğer değişkenlere kıyasla tür bazında çok daha istikrarlı ve homojen bir dağılım gösterdiği belirlenmiştir.

Tablo 4.5 Meşcere tiplerine göre pH değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler

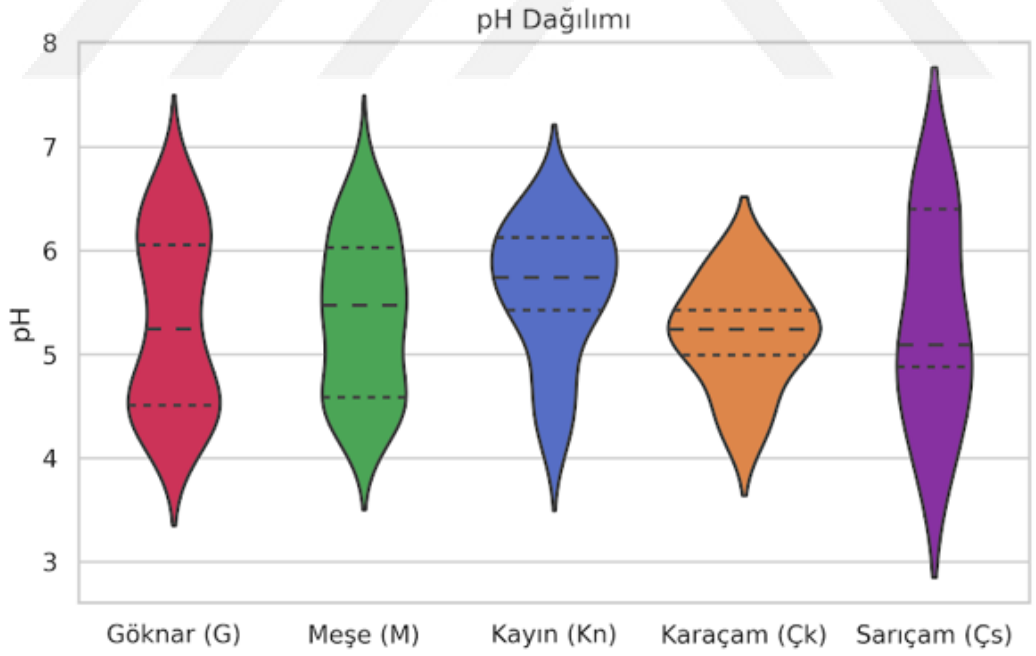
Meşcere Tipi	n	Ortalama	Std. Sapma	CV (%)	Min	Maks
Göknar (G)	60	5,31	0,85	16,01	4,10	6,75
Karaçam (Çk)	12	5,19	0,51	9,80	4,26	5,90
Kayın (Kn)	27	5,61	0,66	11,80	4,18	6,53
Meşe (M)	39	5,36	0,74	13,90	4,22	6,78
Sarıçam (Çs)	27	5,30	0,94	17,83	4,07	6,55

Ölü örtüden elde edilen su ekstraktının asitlik düzeyini yansıtan bu tabloda, sahadaki tüm meşcere tiplerinin asidik (pH < 7) karakter gösterdiği görülmektedir. Türler karşılaştırıldığında, iğne yapraklı Karaçam meşceresi 5,19 ortalama ile en düşük pH değerine sahipken, geniş yapraklı Kayın meşceresi 5,61 ortalama ile en yüksek değeri göstermiştir. Standart sapma ve varyasyon katsayılarının tüm türlerde %10–17 aralığında ve diğer parametrelere göre düşük olması, pH değerlerinin meşcere içerisinde görece homojen bir dağılım gösterdiğini ortaya koymaktadır.



Şekil 4.6 Meşcere tiplerine göre ortalama pH değerleri

Ölü örtülerin reaksiyon (pH) düzeyini meşcere bazında özetleyen bu grafikte, Kayın meşcerelerinin nispeten en yüksek (daha az asidik) pH ortalamasına sahip olduğu tespit edilmiştir. pH ortalamalarının meşcere tipleri arasında farklılık gösterdiği görülmektedir. Sütunlardaki hata paylarının dar olması, pH ölçümlerinin meşcere tipleri içerisinde belirli bir homojenlik eğilimi gösterdiğine işaret etmektedir.



Şekil 4.7 Meşcere tiplerine göre ölü örtü örneklerinin pH değerlerinin dağılımı

Farklı ağaç türleri altındaki pH ölçümlerinin homojenliğini gösterir. Karaçam (Çk) kemanının kısa ve tombul (basık) bir yapıya sahip olması, bu türdeki pH değerlerinin birbirinden çok sapmadığını, oldukça dar bir bantta (5,0 – 5,5 arası) yığıldığını gösterirken; Göknar (G) kemanının daha geniş bir asidite yelpazesine (4,0 ile 6,5 arasına) yayıldığını ifade eder.

4.5 Ölü Örtü pH Değerlerinin Mekânsal Tahminine İlişkin Bulgular

Ölü örtü pH değerlerinin mekânsal tahmininde kullanılan enterpolasyon modellerinin performansları RMSE, MAE, MBE, Pearson korelasyon katsayısı (r) ve bu katsayının karesi (R^2) kullanılarak karşılaştırılmıştır. Modellerin performans değerleri ve genel sıralama skorları tabloda sunulmuştur.

Tablo 4.6 Ölü örtü pH değerlerinin mekânsal tahmininde karşılaştırılan modellerin performansları

Sıra	Yöntem ve alt model	RMSE	MAE	MBE	r	R^2	Sıralama skoru
1	**LPI – Gaussian**	**0,6201**	**0,5240**	**−0,0026**	**0,419**	**0,176**	**5,00**
2	Universal Kriging – Quadratic trend + Spherical	0,6303	0,5309	0,0277	0,394	0,156	10,55
3	Ordinary Kriging – Circular	0,6488	0,5590	−0,0267	0,297	0,088	18,57
4	EBK-TPS – yaklaşık uygulama	0,6511	0,5642	−0,0162	0,273	0,075	18,95
5	IDW – Power 1	0,6627	0,5836	−0,0376	0,243	0,059	25,00

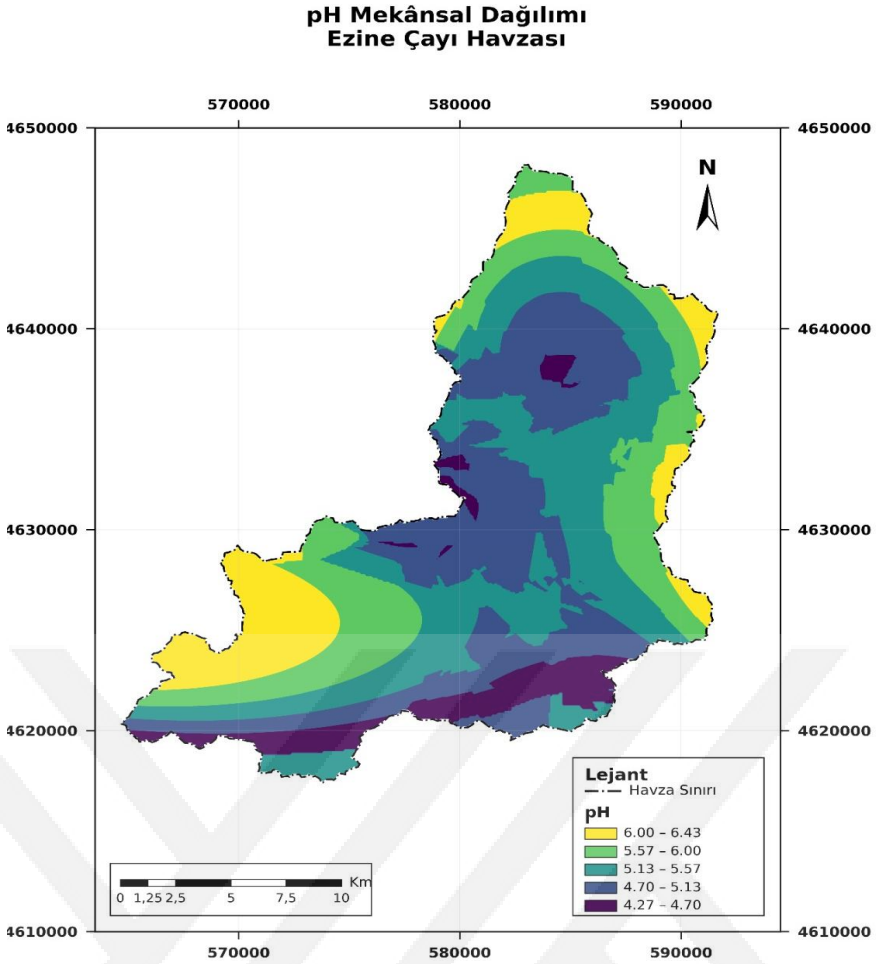
RMSE: Kök ortalama kare hata; MAE: ortalama mutlak hata; MBE: ortalama yanlılık hatası. R^2, Pearson korelasyon katsayısının karesidir. Düşük sıralama skoru daha uygun performansı göstermektedir. EBK-TPS, ArcGIS EBK motoruyla üretilmiş bir sonuç olmayıp yaklaşık uygulamayı temsil etmektedir. Tablodaki sıralama, paylaşılan ön değerlendirmeye aittir.

Karşılaştırılan modeller arasında en düşük RMSE ve MAE değerleri, Gaussian çekirdek fonksiyonunun kullanıldığı Local Polynomial Interpolation (LPI) yöntemiyle elde edilmiştir. Bu modelde RMSE 0,6201, MAE 0,5240 ve MBE −0,0026 olarak belirlenmiştir. Ölçülen ve tahmin edilen değerler arasındaki en yüksek korelasyon da

LPI–Gaussian modelinde elde edilmiş; r 0,419 ve R^2 0,176 olarak hesaplanmıştır. Model, 5,00 sıralama skoruyla ilk sırada yer almıştır.

İkinci dereceden trend ve Spherical yarıvariogram modelinin kullanıldığı Universal Kriging yöntemi, 10,55 sıralama skoruyla ikinci sırada yer almıştır. Bu modelde RMSE 0,6303 ve MAE 0,5309 olarak belirlenmiş, hata değerlerinin LPI–Gaussian modeline yakın olduğu görülmüştür. Circular yarıvariogram modelinin kullanıldığı Ordinary Kriging yönteminde ise RMSE 0,6488, MAE 0,5590 ve r 0,297 olarak hesaplanmıştır. IDW–Power 1 modeli, 0,6627 RMSE ve 0,5836 MAE değerleriyle en yüksek tahmin hatalarını vermiş; 0,243 korelasyon katsayısı ve 25,00 sıralama skoruyla son sırada yer almıştır. Yaklaşık EBK-TPS uygulamasında RMSE 0,6511, MAE 0,5642 ve r 0,273 olarak elde edilmiştir. Ancak bu uygulamanın gerçek EBK algoritmasını temsil etmemesi nedeniyle söz konusu değerler ön karşılaştırma kapsamında sunulmuş, EBK yönteminin nihai performansı olarak değerlendirilmemiştir.

Genel olarak LPI–Gaussian modeli, düşük tahmin hataları ve sıfıra yakın ortalama yanlılığıyla pH değerlerinin mekânsal tahmininde karşılaştırılan modeller arasında en uygun sonucu vermiştir. Bununla birlikte, en yüksek r değerinin 0,419 düzeyinde kalması, ölçülen ve tahmin edilen değerler arasındaki ilişkinin sınırlı olduğunu göstermiştir. Bu nedenle modelin diğer yöntemlere göre üstünlüğü, yüksek tahmin doğruluğunun göstergesi olarak yorumlanmamıştır.



Şekil 4.8 Ölü örtünün pH değerlerinin mekansal dağılımı

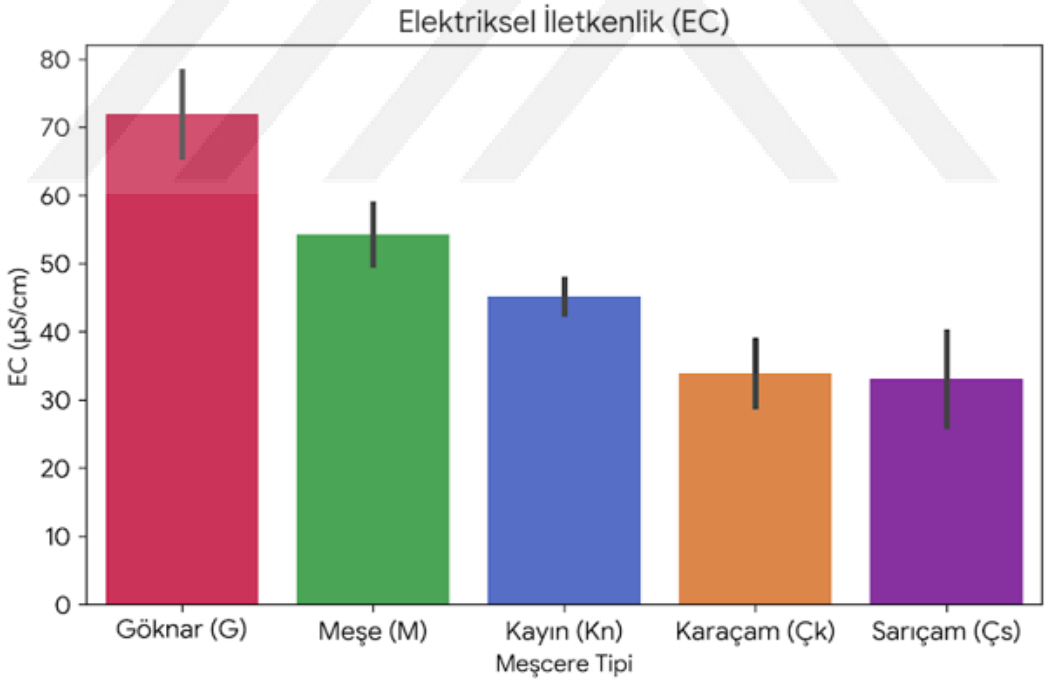
4.6 Meşcere Tiplerine Göre Elektriksel İletkenlik (EC) ve Tuzluluk Değişimi

Elektriksel iletkenlik (EC) ve tuzluluk değerleri, ölü örtüden elde edilen su ekstraktındaki çözünmüş maddelerin miktarı hakkında bilgi vermektedir. Elde edilen bulgulara göre, en yüksek EC (71,91 µS/cm) ve Tuzluluk (0,03 ‰) değerleri Göknar meşcerelerinde görülmüştür. Bunu Meşe meşcereleri (54,28 µS/cm) izlemektedir. Karaçam (33,92 µS/cm) ve Sarıçam (33,06 µS/cm) meşcerelerinde ise EC değerlerinin diğer meşcere tiplerine göre daha düşük olduğu görülmektedir.

Tablo 4.7 Meşcere tiplerine göre elektriksel iletkenlik (EC) değerlerine tanımlayıcı istatistikler

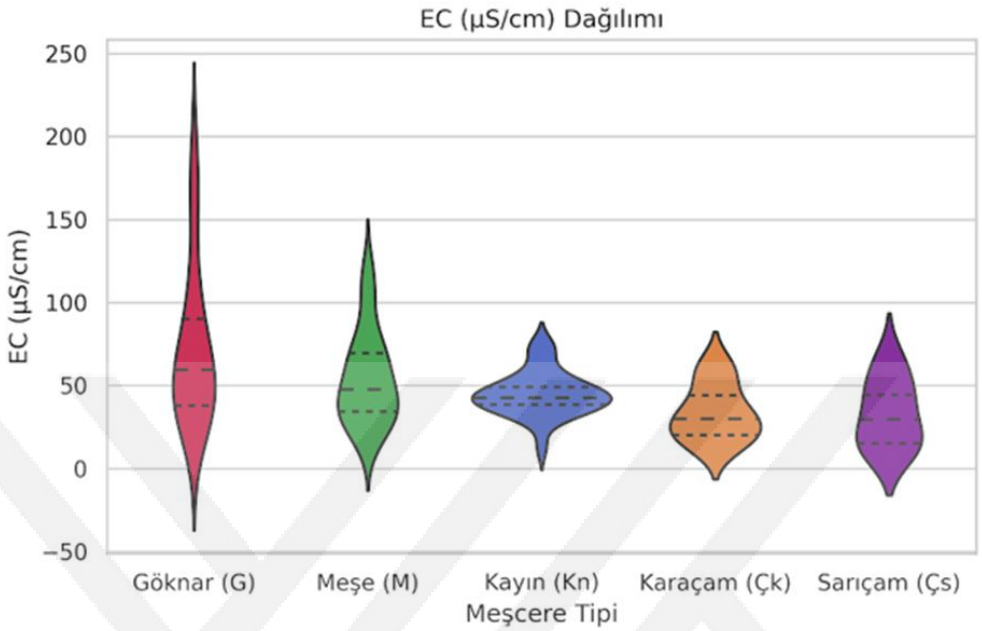
Meşcere Tipi	n	Ortalama (µS/cm)	Std. Sapma	CV (%)	Min	Maks
Göknar (G)	60	71,91	47,89	66,60	5,22	202,30
Karaçam (Çk)	12	33,92	16,74	49,36	14,10	62,10
Kayın (Kn)	27	45,17	13,26	29,37	13,26	74,40
Meşe (M)	39	54,28	27,92	51,44	13,83	123,40
Sarıçam (Çs)	27	33,06	20,70	62,60	10,82	66,90

Elektriksel iletkenlik (EC), ölü örtüden elde edilen su ekstraktındaki çözünmüş maddelerin miktarı hakkında bilgi veren bir parametredir. Tablo incelendiğinde, Göknar meşcerelerinin ortalama 71,91 µS/cm ile en yüksek EC değerine sahip olduğu görülmektedir. Göknar örneklerinde maksimum EC değerinin 202,30 µS/cm'ye kadar ulaşması, bu meşcerelerde ölçülen EC değerlerinin örnekleme noktaları arasında geniş bir değişkenlik gösterebildiğine işaret etmektedir. Öte yandan, Karaçam ve Sarıçam meşcerelerinde ortalama EC değerleri sırasıyla 33,92 µS/cm ve 33,06 µS/cm olarak belirlenmiş olup, bu değerler incelenen meşcere tipleri içerisindeki en düşük ortalama EC değerlerini oluşturmaktadır.



Şekil 4.9 Meşcere tiplerine göre ortalama EC değerleri

Göknar meşcerelerinde EC değerlerinin diğer meşcere tiplerine göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Göknar meşcerelerine ait sütunun belirgin yüksekliği, bu meşcerelerde ortalama EC değerinin daha yüksek olduğunu göstermektedir. Karaçam ve Sarıçam meşcerelerinde ise daha düşük ortalama EC değerleri görülmektedir.



Şekil 4.10 Meşcere tiplerine göre ölü örtü örneklerinin elektriksel iletkenlik (EC) değerlerinin dağılımı

EC Edeğerlerindeki dağılım ve değişkenliği göstermektedir. Göknar kemanında yüksek EC değerlerine doğru uzanan ince ve uzun kuyruk, bu meşcerede bazı örneklerin genel dağılımın üzerinde daha yüksek EC değerlerine sahip olduğunu göstermektedir.

4.7 Elektriksel İletkenliğin (EC) Mekânsal Tahmininde Model Performansı

Elektriksel iletkenlik (EC) değerlerinin mekânsal dağılımının tahmininde deterministik ve jeoistatistiksel enterpolasyon yöntemlerinin performansları çapraz doğrulama yaklaşımıyla karşılaştırılmıştır. Model başarısının değerlendirilmesinde ortalama yanlılık hatası (MBE), kök ortalama kare hata (RMSE), ortalama mutlak hata (MAE), korelasyon katsayısı (r), belirleme katsayısı (R^2) ve bu ölçütlerin birlikte değerlendirildiği göreli sıralama skoru kullanılmıştır.

Tablo 4.8 Ölü örtü EC değerlerinin mekânsal tahmininde karşılaştırılan modellerin performansları

Sıra	Yöntem – en başarılı alt model	MBE	RMSE	MAE	r	R^2	Göreli sıralama skoru
1	**Ordinary Kriging – Hole Effect**	0,024	**28,891**	**19,932**	0,365	0,133	**5,16**
2	RBF – Inverse Multiquadric	0,021	29,019	20,047	0,342	0,117	8,75
3	LPI – Quartic, 2. derece	-0,006	29,652	20,681	0,361	0,131	11,25
4	Universal Kriging – Linear trend + Hole Effect	0,161	29,677	20,580	0,331	0,110	15,86
5	IDW – Power 1	-0,454	29,694	21,412	0,292	0,085	25,00

Yapılan karşılaştırmada Ordinary Kriging-Hole Effect modeli, 0,024 MBE, 28,891 RMSE, 19,932 MAE, 0,365 r ve 0,133 R^2 değerleri ile genel olarak en başarılı tahmin performansını göstermiş ve 5,16 ile en düşük göreli sıralama skorunu elde etmiştir.

Ordinary Kriging-Hole Effect modelini RBF-Inverse Multiquadric ve Local Polynomial Interpolation-Quartic modelleri izlemiştir. RBF-Inverse Multiquadric modeli RMSE (29,019) ve MAE (20,047) bakımından Ordinary Kriging modeline oldukça yakın sonuçlar vermiştir. LPI-Quartic modeli ise MBE değerinin sıfıra en yakın olması (-0,006) ve nispeten yüksek r (0,361) ve R^2 (0,131) değerleriyle dikkat çekmiş, ancak RMSE ve MAE değerlerinin daha yüksek olması nedeniyle bütünleşik değerlendirmede üçüncü sırada kalmıştır.

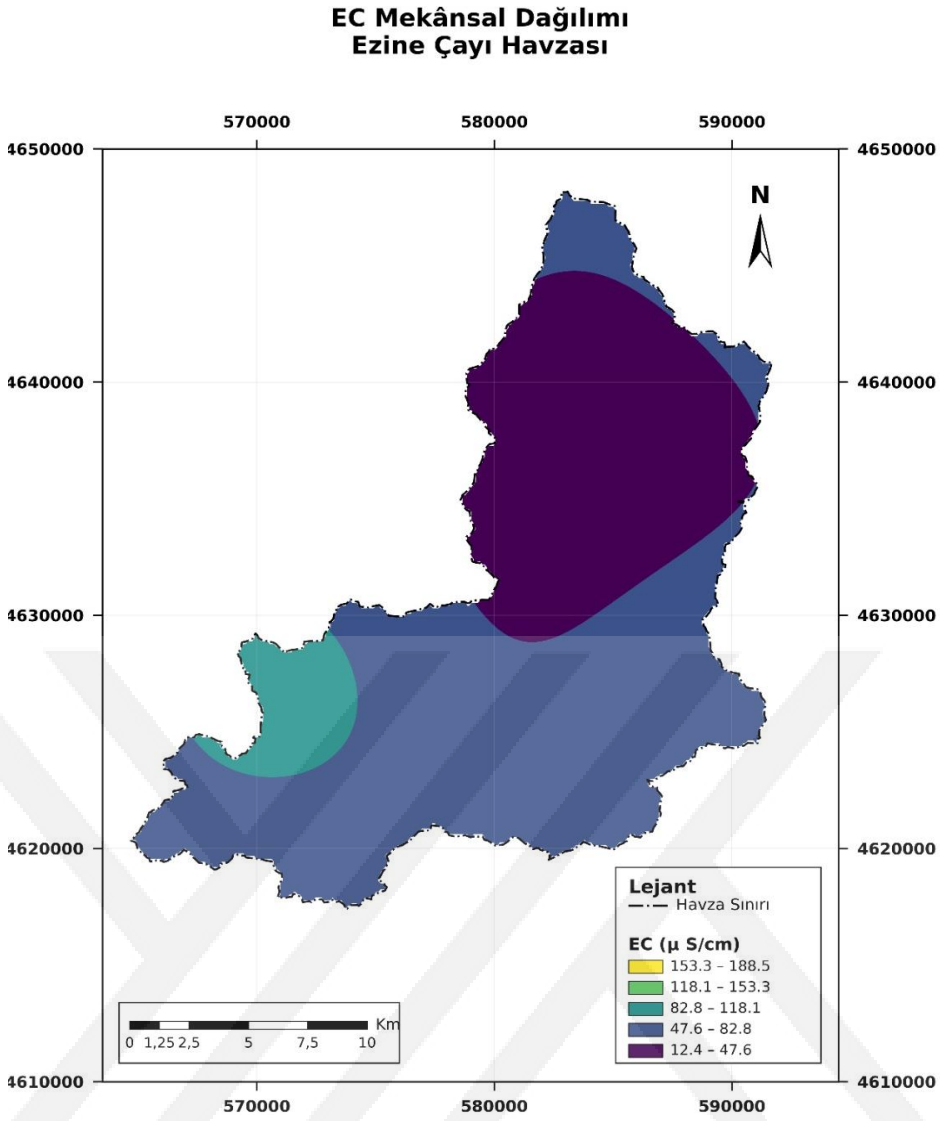
Universal Kriging'in Ordinary Kriging'e göre daha düşük performans göstermesi, EC değerlerinde koordinatlara bağlı sistematik mekânsal trendin tahmin başarısını artıracak düzeyde güçlü olmadığını düşündürmektedir. Benzer biçimde IDW yönteminde en başarılı seçenek Power 1 olmakla birlikte, daha yüksek RMSE ve MAE ile daha düşük r ve R^2 değerleri nedeniyle diğer yöntemlerin gerisinde kalmıştır.

Önceki EBK-style denemesinde ME = 0,027, RMSE = 29,508 ve MAE = 20,069 elde edilmiştir. Bu sonuç EBK yaklaşımının hata büyüklüğü bakımından rekabetçi olduğunu, ancak mevcut karşılaştırmada Ordinary Kriging-Hole Effect modelinin RMSE ve MAE açısından daha iyi sonuç verdiğini göstermektedir. EBK-style

çıktısında r ve R^2 değerleri bulunmadığından bu model beş ölçütlü göreli sıralama skoruna dahil edilmemiştir.

Tüm performans kriterleri birlikte değerlendirildiğinde, EC'nin çalışma alanındaki mekânsal dağılımının modellenmesi için en uygun yöntem Ordinary Kriging-Hole Effect olarak belirlenmiştir. Bununla birlikte modelin R^2 değerinin 0,133 düzeyinde kalması, EC'deki mekânsal değişkenliğin yalnızca konumsal bağımlılıkla sınırlı ölçüde açıklanabildiğini göstermektedir. Bu nedenle oluşturulacak EC haritası, noktasal ölçümlerin kesin bir temsili olmaktan ziyade havza içerisindeki göreli mekânsal değişim örüntüsünü gösteren bir tahmin yüzeyi olarak değerlendirilmelidir.

EC ile ilişkili olarak değerlendirilen tuzluluk değerleri, ölü örtüden elde edilen ekstrakt içerisindeki toplam çözünmüş madde miktarını ‰ binde cinsinden ifade etmektedir. Göknar meşcerelerinde ortalama tuzluluk değeri 0,03 ‰ binde ile en yüksek değerde bulunurken, diğer meşcere tiplerinde ortalama değerler 0,01–0,02 ‰ binde arasında değişmiştir. Maksimum değerler ve varyasyon katsayıları incelendiğinde, tuzluluk değerlerinin örnekleme alanları arasında farklılık gösterdiği ve tuzluluk miktarında mekânsal değişkenlik bulunduğu görülmektedir.



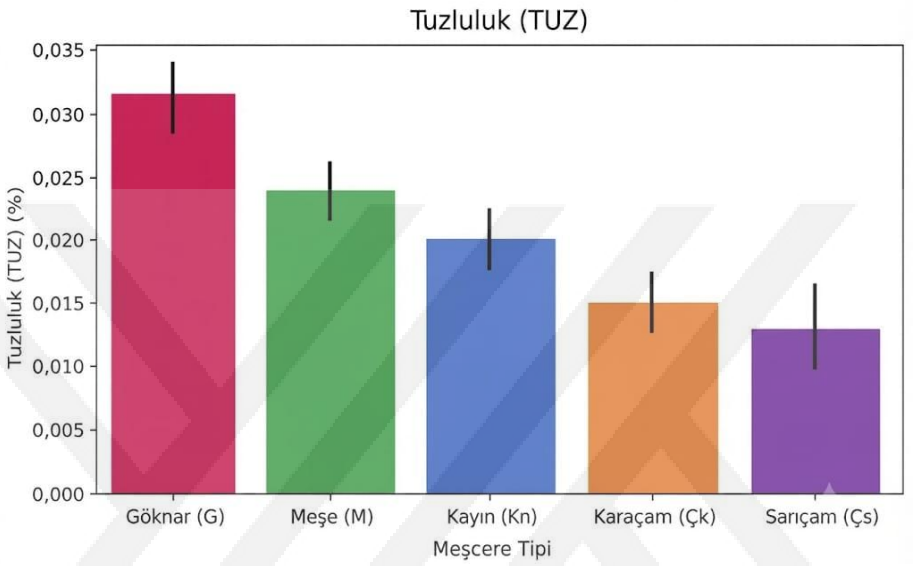
Şekil 4.11 Ölü örtü elektriksel iletkenlik değerlerinin dağılımı

Meşcere tiplerine göre tuzluluk değerlerine tanımlayıcı istatistikler veriler Tablo 4.5'te verilmiştir.

Tablo 4.9 Meşcere tiplerine göre tuzluluk değerlerine tanımlayıcı istatistikler

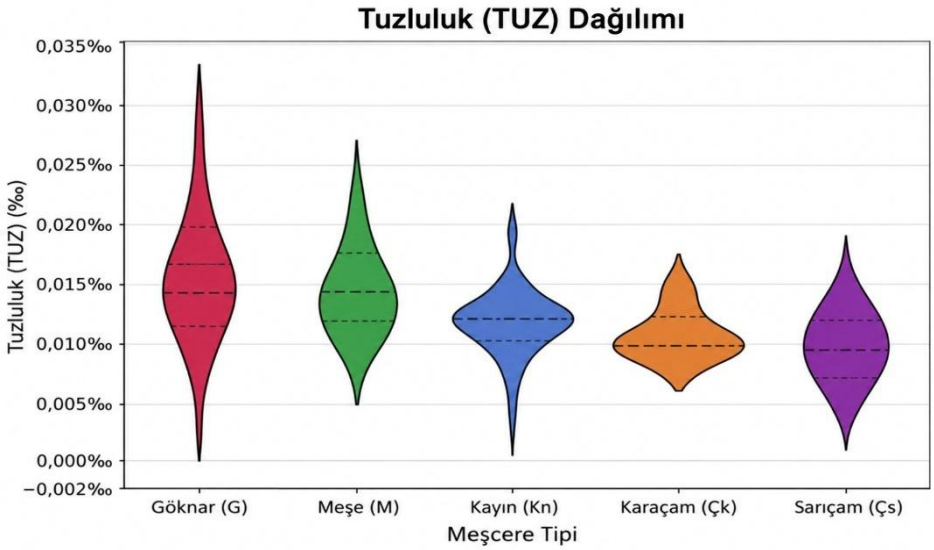
Meşcere Tipi	n	Ortalama (‰)	Std. Sapma	CV (%)	Min	Maks
Göknar (G)	60	0,03	0,02	70,67	0,00 ‰	0,09
Karaçam (Çk)	12	0,02	0,01	53,18	0,01 ‰	0,03
Kayın (Kn)	27	0,02	0,01	44,08	0,00 ‰	0,05
Meşe (M)	39	0,02	0,01	56,60	0,01 ‰	0,06
Sarıçam (Çs)	27	0,01	0,01	75,00	0,00 ‰	0,03

EC ile ilişkili olarak değerlendirilen tuzluluk değerleri, ölü örtüden elde edilen ekstrakt içerisindeki toplam çözünmüş madde miktarını ‰ binde cinsinden ifade etmektedir. Göknar meşcerelerinde ortalama tuzluluk değeri 0,03 ‰ binde ile en yüksek değerde bulunurken, diğer meşcere tiplerinde ortalama değerler 0,01–0,02 ‰ binde arasında değişmiştir. Maksimum değerler ve varyasyon katsayıları incelendiğinde, tuzluluk değerlerinin örnekleme alanları arasında farklılık gösterdiği ve tuzluluk miktarında mekânsal değişkenlik bulunduğu görülmektedir.



Şekil 4.12 Meşcere tiplerine göre ortalama Tuzluluk değerleri

Bu görselde, EC değerleriyle benzer bir dağılım gösteren Tuzluluk değerleri yer almaktadır. Göknar ve Meşe meşcerelerinde tuzluluk değerleri daha yüksek, Karaçam ve Sarıçam meşcerelerinde ise daha düşük bulunmuştur. Genel olarak, tuzluluk değerlerinin hem meşcere tiplerine hem de örnekleme alanlarına göre değişkenlik gösterdiği görülmektedir.



Şekil 4.13 Meşcere tiplerine göre ölü örtü örneklerinin Tuzluluk değerlerinin dağılımı

Tuzluluk ölçümlerinin dağılım desenini yansıtmaktadır. Göknar ve Meşe keman grafiklerinde ana yoğunluk alanlarının (şişkin bölgelerin) grafiğin daha üst kısımlarında konumlanması, bu meşcere tiplerinde tuzluluk değerlerinin diğer türlere kıyasla daha yüksek aralıklarda yoğunlaştığına işaret etmektedir. Sarıçam kemanındaki şişkinliğin ise sıfıra yakın alt bölgelerde toplanması, bu meşcerelerde Tuzluluk değerlerinin daha düşük düzeylerde yoğunlaştığını göstermektedir.

4.8 Tuzluluğun (TUZ) Mekânsal Tahmininde Model Performansı

Ölü örtü örneklerine ait tuzluluk (TUZ, ‰) değerlerinin mekânsal dağılımının tahmininde deterministik ve bjeoistatistiksel enterpolasyon yöntemleri karşılaştırılmıştır. Bu kapsamda IDW, Radial Basis Function (RBF), Local Polynomial Interpolation (LPI), Ordinary Kriging (OK), Universal Kriging (UK) ve EBK yaklaşımı değerlendirilmiştir. Model performansı MBE, RMSE, MAE, korelasyon katsayısı (r) ve belirleme katsayısı (R^2) kullanılarak çapraz doğrulama yoluyla belirlenmiş; kriterler birlikte değerlendirilerek göreli sıralama skoru hesaplanmıştır.

Tablo 4.10 Ölü örtü tuzluluk değerlerinin mekânsal tahmininde karşılaştırılan modellerin performansları

Sıra	Yöntem – en başarılı alt model	MBE	RMSE	MAE	r	R^2	Sıralama skoru
1	**Ordinary Kriging – Exponential**	**-0,00006**	**0,01422**	**0,00961**	0,351	0,124	**6,21**
2	Universal Kriging – Linear trend + Circular	0,00022	0,01443	0,00973	0,354	0,126	7,74
3	EBK-style	-0,00017	0,01410	0,00939	0,342	0,117	7,91
4	LPI – Epanechnikov, 2. derece	0,00010	0,01480	0,00974	0,328	0,107	11,76
5	IDW – Power 2	0,00014	0,01466	0,01027	0,289	0,084	18,78
6	RBF – Linear	0,00065	0,01651	0,01171	0,307	0,094	27,42

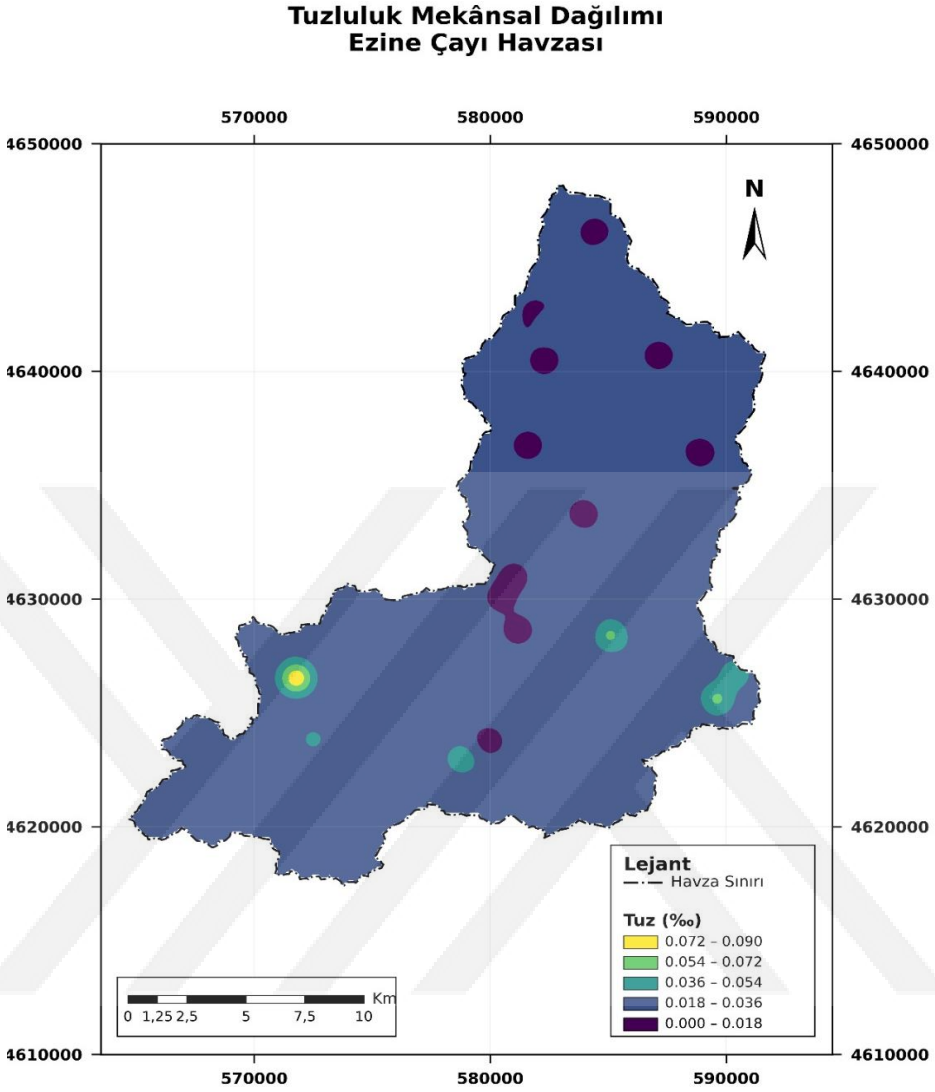
Yapılan karşılaştırmada Ordinary Kriging-Exponential modeli, -0,00006 MBE, 0,01422 RMSE, 0,00961 MAE, 0,351 r ve 0,124 R^2 değerleriyle en düşük bütünleşik sıralama skorunu (6,21) elde etmiş ve TUZ değerlerinin mekânsal tahmininde en başarılı yöntem olarak belirlenmiştir. Modelin MBE değerinin sıfıra oldukça yakın olması, tahminlerde sistematik yanlılığın çok düşük olduğunu göstermektedir.

Universal Kriging-Linear trend + Circular modeli, en yüksek r (0,354) ve R^2 (0,126) değerlerini üretmesine rağmen RMSE ve MAE bakımından Ordinary Kriging-Exponential modelinin gerisinde kalmış ve genel sıralamada ikinci sırada yer almıştır. EBK-style yaklaşımı ise en düşük RMSE (0,01410) ve MAE (0,00939) değerlerini vermiş olmakla birlikte, korelasyon ve R^2 değerlerinin daha düşük olması nedeniyle bütünleşik değerlendirmede üçüncü sırada kalmıştır.

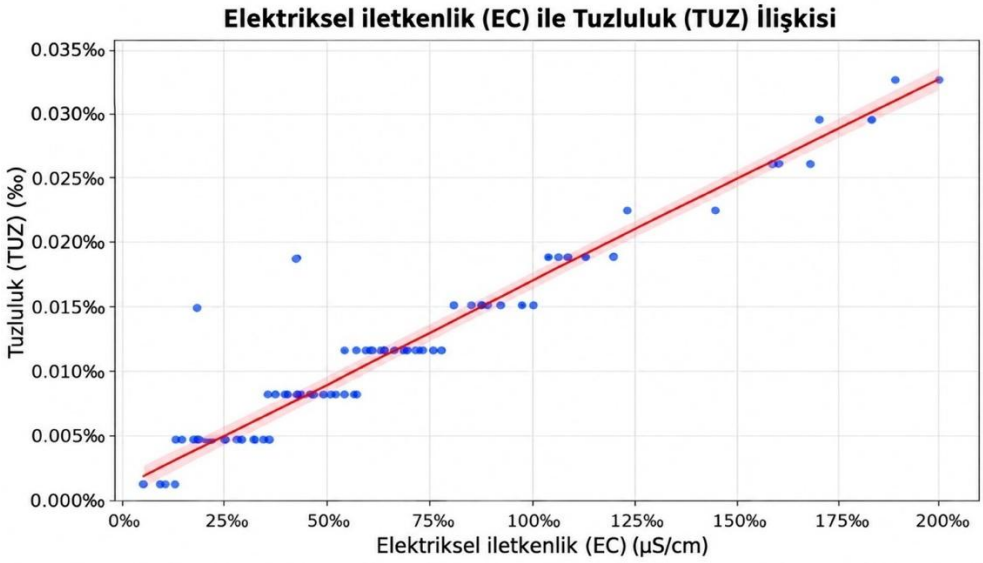
LPI-Epanechnikov, IDW-Power 2 ve RBF-Linear yöntemleri ise daha yüksek hata değerleri ve daha düşük ilişki katsayıları nedeniyle jeoistatistiksel yöntemlerin gerisinde kalmıştır. Özellikle IDW ve RBF yöntemlerinin daha düşük R^2 değerleri, TUZ değişkeninin mekânsal yapısının yalnızca noktalara olan uzaklığa dayalı deterministik yöntemlerle yeterince temsil edilemediğine işaret etmektedir.

Genel olarak tüm modellerde R^2 değerlerinin düşük düzeyde kalması, ölü örtü tuzluluğundaki değişkenliğin yalnızca mekânsal konum tarafından açıklanamadığını göstermektedir. Bununla birlikte hata büyüklüğü, tahmin yanlılığı ve gözlenen-tahmin edilen değerler arasındaki ilişki birlikte değerlendirildiğinde, TUZ değerlerinin

çalışma alanındaki mekânsal dağılımının haritalanması için Ordinary Kriging-Exponential modeli en uygun yöntem olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.14 Ölü örtü örneklerinin tuzluluk değerlerinin mekansal dağılımı



Şekil 4.15 EC ile tuzluluk arasındaki ilişki

Bu grafikte, korelasyon analizinde tespit edilen r=0,96'lık güçlü ilişkinin dağılım diyagramı (scatter plot) üzerinde modellenmiş halidir. Mavi noktalar her bir ölü örtü örneğine ait EC ve Tuzluluk ölçüm çiftlerini, kırmızı kalın çizgi (regresyon doğrusu) ise bu iki değişken arasındaki genel eğilimi temsil eder.

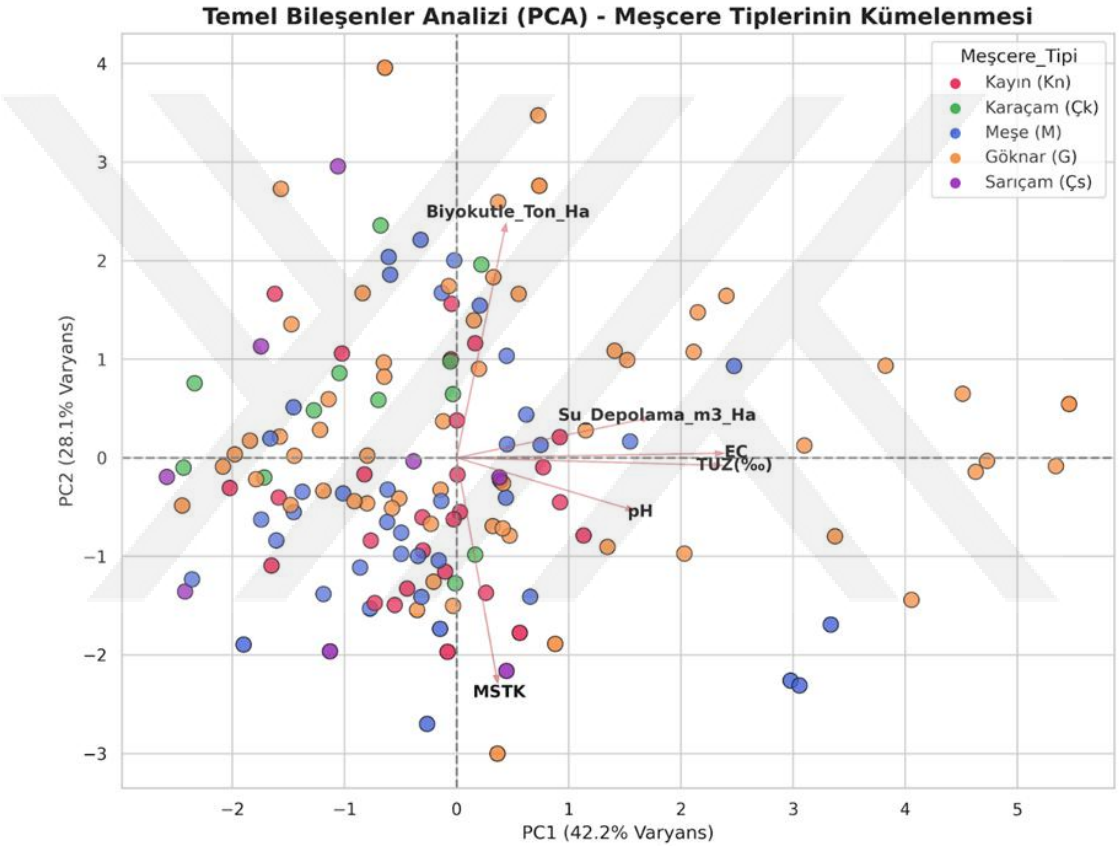
Grafikteki kırmızı çizgi, EC ile Tuzluluk arasındaki doğrusal regresyon ilişkisini göstermekte, çizginin etrafında yer alan şeffaf kırmızı bant ise regresyon doğrusuna ilişkin %95 güven aralığını temsil etmektedir. Noktaların regresyon doğrusu çevresinde dar bir dağılım göstermesi, ölü örtüde ölçülen EC ve Tuzluluk değerleri arasında güçlü ve doğrusal bir ilişkinin bulunduğuna işaret etmektedir. Nitekim korelasyon analizi sonucunda EC ile Tuzluluk arasında çok güçlü ve pozitif bir ilişki belirlenmiştir ($r = 0,96$; $p < 0,001$). Bu sonuç, ölü örtüde EC ve Tuzluluk değerlerinin birlikte değişim gösterdiğini ve bu iki ölçüm arasında güçlü bir doğrusal ilişkinin bulunduğunu göstermektedir.

4.9 Ölü Örtü Parametreleri Arası İlişkiler (Korelasyon ve Temel Bileşenler Analizi)

Ölçülen parametreler arasındaki ilişkilerin değerlendirilmesi amacıyla yapılan korelasyon analizi sonucunda, Elektriksel İletkenlik (EC) ile Tuzluluk arasında pozitif yönde ve çok güçlü bir ilişki olduğu görülmüştür ($r = 0,96$; $p < 0,001$). pH ile EC ($r =$

0,38) ve TDS (r = 0,39) arasında ise pozitif yönde, düşük düzeyde ilişkiler görülmektedir. MSTK ile pH, EC ve Tuzluluk arasındaki korelasyon katsayılarının 0,20'nin altında olduğu görülmektedir.

Temel Bileşenler Analizi (PCA) sonuçlarına göre, PC1 toplam varyansın %42,2'sini, PC2 ise %28,1'ini açıklamaktadır. PC1'de EC, Tuzluluk ve pH değişkenlerinin, PC2'de ise fiziksel özelliklerin daha belirgin olduğu görülmektedir. Göknar ve Meşe örneklerinin PC1 yönünde pozitif bölgede, Kayın ve Karaçam örneklerinin ise orijin çevresinde daha fazla yoğunlaştığı görülmektedir.



Şekil 4.16 Temel Bileşenler Analizi (PCA) ile ölü örtü parametreleri ve meşcere tiplerinin dağılımı

Temel Bileşenler Analizi (PCA), çalışmada ölçülen tüm fiziksel ve diğer özelliklerin (MSTK, EC, pH, biyokütle vb.) aynı anda değerlendirilerek türlerin ölçülen özellikler bakımından nasıl gruplaştığını ve değişkenler arasındaki çok değişkenli ilişkileri ortaya koyan bir istatistiksel analiz yöntemidir.

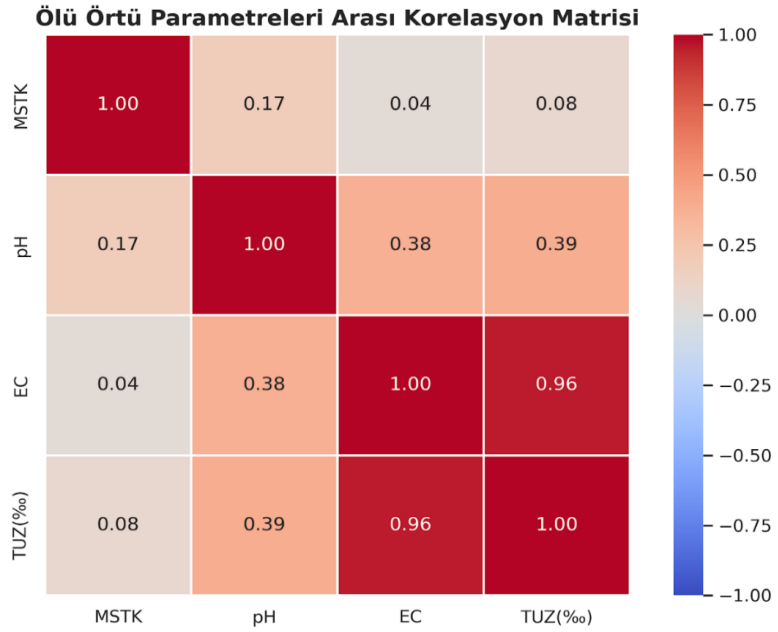
Varyans Eksenleri: Yatay eksen (PC1), toplam varyansın %42,2'sini açıklamakta olup EC, TDS ve pH değişkenlerinin daha belirgin olduğu ekseni oluşturmaktadır. Bu değişkenlere ait kırmızı okların PC1 yönünde uzanması, değişkenlerin bu bileşenle olan ilişkisini göstermektedir. Dikey eksen (PC2) ise toplam varyansın %28,1'ini açıklamakta ve biyokütle ile su depolama gibi fiziksel değişkenlerin daha belirgin olduğu ekseni oluşturmaktadır.

Kümelenme Eğilimleri: Turuncu renkli Göknar örneklerinin grafiğin sağ üst ve sağ orta kısımlarına doğru yayılması, bu örneklerin özellikle PC1 ekseninde yüksek değerler gösterdiğini ortaya koymaktadır. Mavi renkli Meşe örnekleri de PC1 ekseninin pozitif yönünde belirgin bir dağılım gösterirken, Kayın ve Karaçam örneklerinin orijin (sıfır noktası) çevresinde kümelenmesi, bu meşcere tiplerinin ölçülen değişkenler bakımından daha benzer ve dengeli bir dağılım sergilediğini göstermektedir.

4.10 Hektar Başına Biyokütle ve Su Depolama Kapasiteleri

Ölçülen parametreler arasındaki ilişkileri belirlemek amacıyla yapılan korelasyon analizi sonucunda, Elektriksel İletkenlik (EC) ile Tuzluluk arasında pozitif yönde, mükemmele yakın çok güçlü bir ilişki ($r=0,96$; $p<0,001$) tespit edilmiştir. pH değeri ile EC ($r=0,38$) ve TUZ ($r=0,39$) arasında ise orta-zayıf düzeyde pozitif ilişkiler belirlenmiştir. MSTK ile pH, EC ve TUZ değerleri arasında ise istatistiksel açıdan anlamlı bir ilişki bulunmamıştır ($r<0,20$)

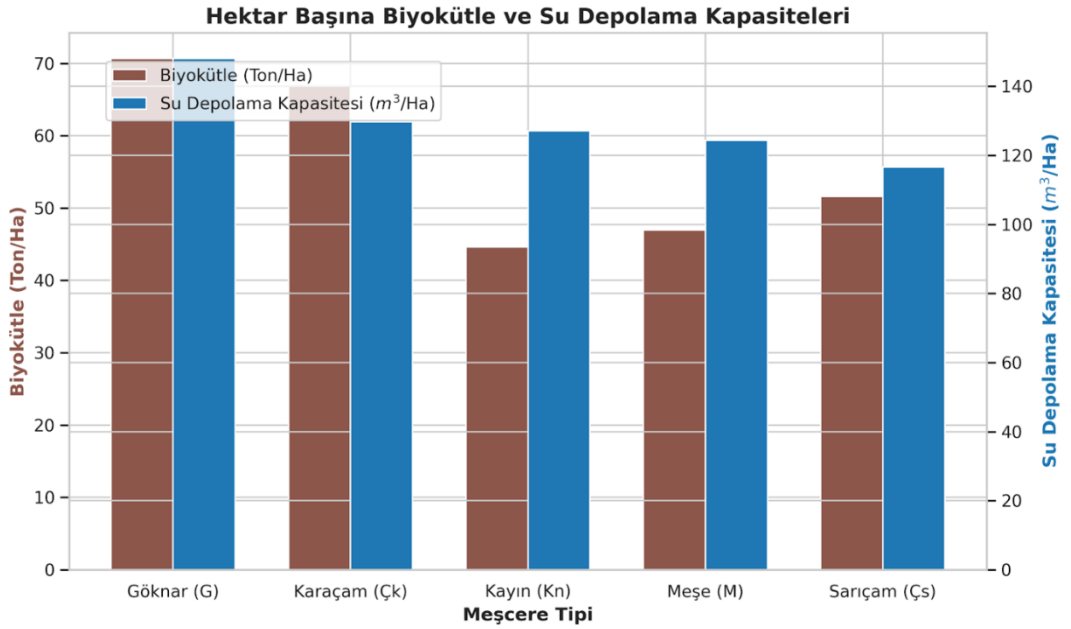
Temel Bileşenler Analizi (PCA) sonuçlarına göre, havzadaki toplam varyansın %42,2'sini açıklayan 1. Temel Bileşen (PC1) ağırlıklı olarak EC, Tuzluluk ve pH değişkenleriyle ilişkili görünürken, %28,1'ini açıklayan 2. Temel Bileşen (PC2) daha çok fiziksel özelliklerle ilişkili bir dağılım göstermektedir. PCA grafiğinde Göknar ve Meşe örneklerinin PC1'in pozitif yönünde daha belirgin bir dağılım gösterdiği, Kayın ve Karaçam örneklerinin ise orijin çevresinde daha yoğunlaştığı görülmektedir. Bu dağılım, meşcere tipleri arasında ölçülen özellikler bakımından belirli farklılaşma ve benzerlik eğilimlerinin bulunduğuna işaret etmektedir.



Şekil 4.17 Ölü örtü parametreleri arasındaki Pearson korelasyon matrisi

Bu görsel, incelenen dört değişken arasındaki doğrusal ilişkileri Pearson korelasyon katsayısı (r) üzerinden göstermektedir. Korelasyon katsayısının +1,00'a yaklaşması pozitif yönde güçlü bir ilişkiye, 0'a yaklaşması ise doğrusal ilişkinin zayıf veya bulunmadığına işaret etmektedir.

Grafik incelendiğinde; Elektriksel İletkenlik (EC) ile Tuzluluk arasında pozitif yönde, mükemmele yakın çok güçlü bir ilişki (r = 0,96) olduğu görülmektedir. pH ile EC (r = 0,38) ve Tuzluluk (r = 0,39) arasında ise pozitif yönlü, orta-zayıf düzeyde ilişkiler belirlenmiştir. Maksimum Su Tutma Kapasitesi (MSTK) ile pH, EC ve Tuzluluk arasındaki korelasyon katsayılarının düşük düzeyde olması (r <0,20), bu değişkenler arasında belirgin bir doğrusal ilişkinin bulunmadığını göstermektedir.



Şekil 4.18 Meşcere tiplerine göre ölü örtü biyokütlesi ve su depolama kapasitesi

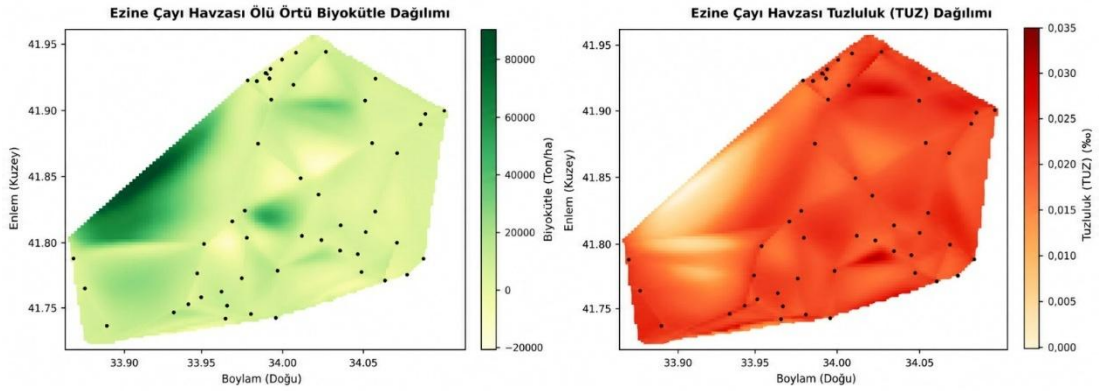
Bu grafik, her bir meşcere tipi için ölü örtünün fiziksel kütlesi (kahverengi sütunlar, sol eksen) ile bu kütlenin hapsedebildiği maksimum su hacmini (mavi sütunlar, sağ eksen) karşılaştırmalı olarak göstermektedir.

Grafik incelendiğinde, meşcere tipleri arasında birim kuru ağırlık başına maksimum su tutma kapasitesi (MSTK) ile hektar başına toplam potansiyel su depolama kapasitesinin farklılık gösterdiği görülmektedir. Meşe ve Kayın meşcerelerinde birim kuru ağırlık başına MSTK değerleri daha yüksek olurken, Göknar meşcerelerinde yüksek ölü örtü miktarına bağlı olarak hektar başına toplam potansiyel su depolama kapasitesi 148,12 m³/ha ile daha yüksek bulunmuştur. Bu sonuç, birim kütle başına su tutma kapasitesi ile alan başına toplam potansiyel su depolama kapasitesinin birbirinden ayrı değerlendirilmesi gerektiğine işaret etmektedir.

4.11 Ölü Örtü Özelliklerinin Mekansal Dağılımı (Enterpolasyon Haritalaması)

Havza genelinde alınan alt örneklem noktalarının mekânsal analizleri ArcMap 10.8 kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, ölü örtü biyokütle birikiminin özellikle havzanın batı ve kuzeybatı kesimlerinde, yukarı havza yamaçlarında daha yoğun bir dağılım gösterdiği görülmüştür. Buna karşılık, elektriksel iletkenlik (EC) ve Tuzluluk değerlerinin havzanın kuzey ve kuzeydoğu

kesimlerinde daha yüksek değerler gösterdiği belirlenmiştir. Bu mekânsal dağılımlar, ölü örtünün ölçülen özelliklerinin havza içerisinde farklı konumsal eğilimler sergilediğine işaret etmektedir.



Şekil 4.19 Ezine Çayı Havzası'nda ölü örtü biyokütlesi ve tuzluluk değerlerinin mekânsal dağılımı

Açıklama: Bu görsel, araziden alınan alt örneklem noktalarının X ve Y koordinatları ile elde edilen noktasal verilerin, Ordinary Kriging–Exponential mekânsal modelleme yöntemi kullanılarak havza geneline enterpole edilmesiyle oluşturulan haritaları göstermektedir. Bu yöntemle, örnekleme noktalarında ölçülen değerlerin havza genelindeki mekânsal dağılımı tahmin edilmiştir.

(A) Ölü Örtü/Biyokütle Dağılımı: Koyu yeşil alanlar, ölü örtü miktarının daha yüksek olduğu bölgeleri göstermektedir. Ölü örtü miktarının havza içerisinde mekânsal olarak değişkenlik gösterdiği görülmektedir.

(B) Tuzluluk: Kırmızı tonların koyulaştığı alanlar, ölü örtüden hazırlanan su örneğinde tuzluluk değerlerinin daha yüksek olduğu bölgeleri ifade etmektedir. Bu alanlarda elektriksel iletkenlik değerlerinin de daha yüksek olduğu görülmektedir. TDS değerlerinin havza içerisinde mekânsal olarak farklılık gösterdiği belirlenmiştir.

5. TARTIŞMA

5.1 Maksimum Su Tutma Kapasitesinin Mekânsal Tahminine İlişkin Tartışma

Bu çalışmada maksimum su tutma kapasitesinin (MSTK) mekânsal tahmininde karşılaştırılan yöntemler arasında Empirical Bayesian Kriging-Power (EBK-Power) modeli, RMSE, MAE, MBE, r ve R^2 ölçütlerinin birlikte değerlendirilmesi sonucunda en iyi genel performansı göstermiştir. Mekânsal enterpolasyon çalışmalarında tek bir başarı ölçütüne dayanmak yerine birden fazla performans kriterinin birlikte değerlendirilmesi önerilmektedir. Li ve Heap (2011), çevresel değişkenlerin mekânsal tahmininde yöntem performansının veri yapısı, değişkenlik ve örnekleme düzenine bağlı olduğunu ve her veri seti için tek bir üstün enterpolasyon yönteminin bulunmadığını vurgulamıştır. Bu yaklaşım, Ediş ve Özen'in çalışmasında kullanılan ve RMSE, MAE, MBE, r ve R^2 ölçütlerini birlikte dikkate alan göreli sıralama yöntemiyle de uyumludur.

EBK'nin üstün performansı, semivariogram parametrelerindeki belirsizliği klasik kriging yöntemlerine göre daha etkin biçimde hesaba katmasıyla ilişkili olabilir. Gribov ve Krivoruchko (2020) ile Krivoruchko ve Gribov (2019), EBK'nin özellikle karmaşık ve heterojen veri yapılarında klasik jeoistatistiksel yöntemlere göre avantaj sağlayabildiğini göstermiştir. Benzer şekilde Zaresefat vd. (2024), farklı yeraltı suyu kalite değişkenlerinin mekânsal tahmininde EBK'nin diğer enterpolasyon yöntemlerine göre daha başarılı sonuçlar verdiğini bildirmiştir.

IDW-Power 1 modeli EBK-Power'a yakın RMSE ve MAE değerleri üretmiş, ancak daha yüksek MBE değeri nedeniyle tahmin yanlılığı daha fazla olmuştur. Buna karşılık LPI modeli daha yüksek r ve R^2 değerleri vermesine rağmen hata büyüklükleri açısından EBK'nin gerisinde kalmıştır. Bu sonuç, model seçiminde yalnızca korelasyon veya R^2 değerlerinin değil, RMSE, MAE ve MBE gibi hata ölçütlerinin de birlikte değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir. Robinson ve Metternicht (2006) da mekânsal enterpolasyon parametrelerinin çapraz doğrulama sonuçlarına göre değerlendirilmesinin önemini vurgulamıştır.

Tüm modellerde R^2 değerlerinin görece düşük kalması, MSTK'daki mekânsal değişkenliğin yalnızca konuma bağlı olarak açıklanamadığını düşündürmektedir. Orman ölü örtüsünün su tutma kapasitesinin tür bileşimi, ayrışma derecesi, biyokütle miktarı ve fiziksel özelliklerden etkilendiği daha önce gösterilmiştir (Ilek vd., 2015). Benzer biçimde Ediş (2025), MSTK'nın ölü örtü tabakası ve bölgesel ekolojik koşullara göre önemli ölçüde değişebildiğini ortaya koymuştur. Bu nedenle Ezine Çayı Havzası'ndaki MSTK dağılımının meşcere tipi, ölü örtü özellikleri, topografya ve mikroklimatik koşulların ortak etkisi altında olduğu değerlendirilebilir.

Sonuç olarak, mevcut veri seti ve karşılaştırılan yöntemler içerisinde EBK-Power, MSTK'nın mekânsal dağılımının modellenmesi için en uygun yöntem olarak belirlenmiştir. Bununla birlikte düşük R^2 değerleri, gelecekteki çalışmalarda meşcere tipi, ölü örtü biyokütlesi, yükselti, eğim, bakı ve benzeri yardımcı değişkenlerin çok değişkenli mekânsal modelleme yaklaşımlarına dahil edilmesinin yararlı olabileceğini göstermektedir.

5.2 Ölü Örtü pH Değerlerinin Mekânsal Tahminine İlişkin Tartışma

Bu çalışmada LPI–Gaussian modeli, karşılaştırılan modeller arasında en düşük RMSE ve MAE değerlerini sağlamış ve pH değerlerinin mekânsal tahmininde en uygun seçenek olarak öne çıkmıştır. Ancak bu sonuç, LPI yönteminin farklı alanlarda ve veri setlerinde de üstün olacağı şeklinde genelleştirilmemelidir. Li ve Heap (2011), çevresel değişkenlerin mekânsal tahminine ilişkin karşılaştırmalı çalışmaları değerlendirmiş ve veri değişkenliğinin enterpolasyon performansını etkileyen önemli bir unsur olduğunu bildirmiştir. Dolayısıyla mevcut çalışmada elde edilen model sıralaması, kullanılan veri seti, örnekleme düzeni ve model parametreleri kapsamında değerlendirilmiştir.

Toprak pH'sının mekânsal tahminine ilişkin araştırmalar da yöntem başarısının örneklenen ortama göre değişebildiğini göstermiştir. Robinson ve Metternicht (2006), üst toprak pH'sında Ordinary Kriging yönteminin, alt toprak pH'sında ise IDW yönteminin daha başarılı olduğunu belirlemiştir. Aynı çalışmada yöntemlerin genel olarak birbirine yakın RMSE değerleri verdiği bildirilmiştir. Bu çalışmada ise LPI–

Gaussian modelinin RMSE değeri 0,6201, Universal Kriging modelinin RMSE değeri 0,6303 olarak elde edilmiştir. Aradaki farkın yalnızca 0,0102 pH birimi olması, ilk iki modelin hata düzeylerinin birbirine yakın olduğunu göstermiştir. Bu nedenle LPI'nin üstünlüğü sayısal performans farkı olarak değerlendirilmiş; farkın istatistiksel anlamlılığına ilişkin bir analiz bulunmadığından anlamlı üstünlük iddiasında bulunulmamıştır. Ayrıca Robinson ve Metternicht'in (2006) mineral toprak üzerinde çalışmış olması nedeniyle karşılaştırma, yöntem performansı düzeyinde ele alınmıştır.

LPI–Gaussian modelinde MBE'nin −0,0026 olması, tahminlerde ortalama yanlılığın düşük olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte, pozitif ve negatif hataların birbirini dengeleyebilmesi nedeniyle sıfıra yakın MBE değeri tek başına yüksek doğruluk göstergesi olarak değerlendirilmemiştir. MAE'nin 0,5240 olması, tahminlerin ölçülen değerlerden ortalama mutlak sapmasının yaklaşık 0,52 pH birimi olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca r'nin 0,419 ve R^2'nin 0,176 düzeyinde kalması, ölçülen ve tahmin edilen değerler arasındaki doğrusal ilişkinin sınırlı olduğunu göstermiştir. Burada R^2, korelasyon katsayısının karesi olarak hesaplandığından, doğrudan modelin pH değişkenliğinin %17,6'sını açıkladığı şeklinde yorumlanmamıştır.

Tahmin başarısının sınırlı kalması değerlendirilirken, orman örtüsü ve yetişme ortamı özelliklerinin olası etkileri de dikkate alınmalıdır. Augusto vd. (2002), ağaç türlerinin orman toprağının kimyasal özellikleri ve asitliği üzerinde farklı etkiler oluşturabildiğini, bu etkilerin anakaya, iklim ve orman yönetimine göre değişebildiğini bildirmiştir. Bu bilgi doğrultusunda, çalışma alanındaki farklı saf ve karışık meşcerelerin ölü örtü özelliklerinde oluşturabileceği farklılıklar, pH'nın yalnızca konumsal bilgilerle tahmin edilmesini güçleştirebilecek olası bir etken olarak değerlendirilmiştir. Bununla birlikte, mevcut model karşılaştırması bu mekanizmayı doğrudan sınamamıştır. Meşcere tipi ve yetişme ortamı özelliklerinin tahmin hataları üzerindeki etkilerinin belirlenmesi için bu değişkenleri içeren ek analizlere ihtiyaç bulunmaktadır.

Model performanslarının güvenilirliği açısından örnekleme ve doğrulama düzeni de önem taşımaktadır. Roberts vd. (2017), mekânsal veya hiyerarşik bağımlılık içeren verilerde bu yapıyı dikkate almayan çapraz doğrulamanın tahmin başarısını

olduğundan yüksek gösterebileceğini belirtmiştir. Bu çalışmada 55 örnekleme noktasından üçer numune alınmış olması nedeniyle, aynı noktaya ait numunelerin doğrulama sırasında nasıl ele alındığı açıklığa kavuşturulmalıdır. Eğer 165 numune ayrı kayıtlar olarak kullanılmış ve aynı noktadaki tekerrürler eğitim ve doğrulama kümelerine dağılmışsa, yeni konumlardaki tahmin başarısı iyimser değerlendirilmiş olabilir. Bu nedenle sonuçların güvenilirliği, konum düzeyindeki bağımlılığı ve tahmin amacını dikkate alan bir doğrulama düzeniyle değerlendirilmelidir.

Son olarak, karşılaştırmada kullanılan EBK-TPS çıktısının gerçek EBK algoritmasıyla üretilmemiş olması, yöntemler arası değerlendirmenin bir sınırlılığıdır. Bu çıktıya dayanılarak EBK yönteminin LPI, Ordinary Kriging veya Universal Kriging yöntemlerinden daha başarısız olduğu sonucuna varılamamaktadır. Mevcut sonuçlar LPI–Gaussian modelini ön plana çıkarmış olmakla birlikte, nihai model seçiminin gerçek EBK uygulamasının aynı doğrulama koşullarında değerlendirilmesiyle kesinleştirilmesi gerekmektedir.

5.3 Elektriksel İletkenliğin (EC) Mekânsal Dağılımına İlişkin Tartışma

Bu çalışmada ölü örtü örneklerine ait elektriksel iletkenlik (EC) değerlerinin mekânsal tahmininde karşılaştırılan yöntemler arasında Ordinary Kriging-Hole Effect modeli en başarılı genel performansı göstermiştir. Modelin düşük RMSE (28,891) ve MAE (19,932) değerleri ile sıfıra yakın MBE (0,024) değeri, tahmin hatasının görece sınırlı ve sistematik yanlılığın düşük olduğunu göstermektedir. RBF-Inverse Multiquadric ve LPI-Quartic modelleri de benzer sonuçlar üretmiş olmakla birlikte, performans ölçütleri birlikte değerlendirildiğinde Ordinary Kriging ilk sırada yer almıştır. Bu bulgu, çevresel özelliklerin mekânsal tahmininde yöntem başarısının veri yapısına bağlı olduğunu ve en uygun yöntemin çapraz doğrulama sonuçlarıyla belirlenmesi gerektiğini vurgulayan Robinson ve Metternicht (2006) ile uyumludur.

Ordinary Kriging'in EC için öne çıkması, bu değişkende örnekleme noktaları arasında kullanılabilir bir mekânsal bağımlılık bulunduğunu düşündürmektedir. Wilson vd. (2005), toprak elektriksel iletkenliğinin haritalanmasında Ordinary Kriging'in kabul edilebilir tahminler üretebildiğini; IDW ve RBF gibi yöntemlerin de bazı veri

setlerinde benzer performans gösterebildiğini bildirmiştir. Benzer şekilde Siqueira vd. (2014), elektriksel iletkenlik ve ilişkili toprak özelliklerinin mekânsal yapısının kriging yöntemleriyle modellenebildiğini göstermiştir. Bu nedenle mevcut çalışmada RBF ve LPI'nin Ordinary Kriging'e yakın sonuçlar vermesi beklenebilir bir durumdur.

Bununla birlikte en başarılı modelde R^2 değerinin 0,133 düzeyinde kalması, EC'deki toplam değişkenliğin yalnızca mekânsal konumla açıklanamadığını göstermektedir. Orman ölü örtüsünün EC değeri; ayrışma derecesi, organik materyalin kimyasal bileşimi, nem koşulları, ölü örtü tabakası ve bölgesel ekolojik özellikler gibi çok sayıda faktörden etkilenebilir. Ediş (2025), Anadolu karaçamı meşcerelerinde ölü örtünün EC ve TDS özelliklerinin tabaka ve bölgesel ekolojik koşullara göre değişebildiğini göstermiştir. Bu durum, Ezine Çayı Havzası'nda EC'nin yerel ölçekte heterojenlik göstermesini ve yalnızca koordinatlara dayalı enterpolasyon modellerinin açıklayıcılığının sınırlı kalmasını desteklemektedir.

Sonuç olarak, mevcut veri seti ve karşılaştırılan yöntemler içerisinde Ordinary Kriging-Hole Effect modeli EC'nin mekânsal dağılımının temsil edilmesi için en uygun yöntem olarak belirlenmiştir. Bununla birlikte düşük R^2 değeri nedeniyle oluşturulacak EC haritasının kesin noktasal değerlerden çok, havza içerisindeki göreli yüksek ve düşük EC alanlarını ve genel mekânsal örüntüyü gösteren bir tahmin yüzeyi olarak değerlendirilmesi daha uygun olacaktır. Gelecekte meşcere tipi, ölü örtü miktarı ve tabakası, yükselti, eğim, bakı ve nem gibi yardımcı değişkenlerin çok değişkenli jeoistatistiksel modellere dahil edilmesi tahmin başarısını artırabilir.

5.4 Tuzluluğun (TUZ) Mekânsal Dağılımına İlişkin Tartışma

Bu çalışmada ölü örtü örneklerine ait tuzluluk (TUZ) değerlerinin mekânsal tahmininde Ordinary Kriging-Exponential modeli genel performans bakımından en başarılı yöntem olarak belirlenmiştir. Modelin MBE değerinin sıfıra oldukça yakın olması (-0,00006), tahminlerde sistematik yanlılığın çok düşük olduğunu; RMSE (0,01422) ve MAE (0,00961) değerleri ise hata büyüklüğünün diğer modellerle karşılaştırıldığında düşük kaldığını göstermektedir. Universal Kriging'in daha yüksek r ve R^2, EBK-style yaklaşımının ise daha düşük RMSE ve MAE üretmesi, model

seçiminin tek bir başarı ölçütüne dayandırılmaması gerektiğini göstermektedir. Çevresel değişkenlerde enterpolasyon performansının veri yapısı, örnekleme düzeni ve değişkenliğe bağlı olduğu; bu nedenle en uygun yöntemin veri setine özgü olarak belirlenmesi gerektiği Li ve Heap (2011, 2014) tarafından da vurgulanmıştır.

Ordinary Kriging'in deterministik yöntemlerden daha başarılı olması, TUZ değerlerinde örnekleme noktaları arasında kullanılabilir bir mekânsal bağımlılık bulunduğunu düşündürmektedir. Robinson ve Metternicht (2006), pH ve elektriksel iletkenlik gibi toprak özelliklerinin haritalanmasında Ordinary Kriging, IDW ve spline yaklaşımlarını karşılaştırmış ve yöntem ile model parametrelerinin çapraz doğrulama sonuçlarına göre seçilmesinin önemini göstermiştir. Bu açıdan mevcut çalışmada Exponential semivariogram modelinin öne çıkması, TUZ değişkeninin çalışma alanındaki mekânsal yapısının bu model tarafından diğer aday modellere göre daha uygun temsil edildiğine işaret etmektedir.

Bununla birlikte en başarılı modelde R^2 değerinin 0,124 düzeyinde kalması, tuzluluk değişkenliğinin yalnızca mekânsal konumla açıklanamadığını göstermektedir. Orman ölü örtüsünün kimyasal özellikleri; ölü örtünün bileşimi ve ayrışma durumu, bölgesel ekolojik koşullar ve suyla taşınabilen çözünmüş iyonların miktarı gibi yerel faktörlerden etkilenebilir. Ediş (2025), Anadolu karaçamı meşcerelerinde orman ölü örtüsünün EC, TDS ve diğer fizikokimyasal özelliklerinin bölgesel koşullar ve ölü örtü özelliklerine bağlı olarak değişebildiğini göstermiştir. Khoroshi Eisalou vd. (2013) da farklı orman örtüsü ve ölü örtü koşullarının su kimyası, elektriksel iletkenlik ve çeşitli iyon konsantrasyonlarını değiştirebildiğini ortaya koymuştur. Bu bulgular, havza içerisindeki TUZ değişkenliğinin yalnızca koordinata dayalı bir mekânsal süreçle açıklanamamasını desteklemektedir.

Sonuç olarak, mevcut örnekleme düzeni ve karşılaştırılan yöntemler kapsamında TUZ değerlerinin mekânsal dağılımının haritalanması için Ordinary Kriging-Exponential modeli en uygun yöntem olarak değerlendirilmiştir. Ancak düşük R^2 değeri nedeniyle oluşturulacak haritanın mutlak noktasal değerlerin kesin tahmini olarak değil, havza içerisindeki göreli düşük ve yüksek tuzluluk alanlarını ve genel mekânsal örüntüyü gösteren bir tahmin yüzeyi olarak yorumlanması daha uygundur. Gelecekte meşcere

özellikleri, ölü örtü miktarı ve tabakası, topografik özellikler ve nem koşulları gibi yardımcı değişkenlerin çok değişkenli mekânsal modellere dahil edilmesi tahmin başarısını artırabilir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

6.1 Sonuç

Bu çalışmada, Kastamonu ili Ezine Çayı Havzası'nda farklı meşcere tipleri altında gelişen orman ölü örtüsünün maksimum su tutma kapasitesi (MSTK) ile reaksiyon (pH), elektriksel iletkenlik ve tuzluluk özellikleri belirlenmiş; bu özelliklerin havza içerisindeki mekânsal dağılımı Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) destekli enterpolasyon yöntemleriyle ortaya konulmuştur. Elde edilen bulgular, incelenen özelliklerin havza genelinde homojen bir dağılım göstermediğini ve bu değişkenliğin başlıca iki etkenle ilişkili olduğunu ortaya koymuştur: Meşcere tipi ve havza içerisindeki konum.

Meşcere tiplerine göre yapılan karşılaştırmada, geniş yapraklı türlerin (Meşe, Kayın) su tutma kapasitesi bakımından iğne yapraklı türlere (özellikle Karaçam) göre daha yüksek değerler verdiği belirlenmiştir. Bununla birlikte, meşcere tipleri arasındaki bu farkın varyans analizinde %5 önem düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı bulunmaması ($p=0,052$), söz konusu farkın kesin bir sonuç olarak değil, bir eğilim olarak değerlendirilmesini gerektirmektedir. Havza konumuna göre yapılan değerlendirmede ise, güney kesimlerde (Yukarı Havza) birim alan başına su tutma miktarının kuzeye doğru kademeli olarak azaldığı görülmüştür.

Ölü örtünün su tutma kapasitesi ile pH, elektriksel iletkenlik ve tuzluluk değerleri arasında güçlü bir ilişki tespit edilememiştir; bu durum, ölü örtünün hidrolojik davranışının, kimyasal özelliklerinden farklı süreçler tarafından yönlendirildiğini düşündürmektedir. Buna karşılık elektriksel iletkenlik ile tuzluluk arasında çok güçlü ve pozitif bir ilişki ($r=0,96$) belirlenmiş olup, bu iki parametrenin ölü örtüdeki çözünmüş madde miktarını benzer biçimde yansıttığı sonucuna varılmıştır.

Mekânsal tahmin çalışmaları kapsamında, incelenen her bir değişken için farklı bir enterpolasyon yönteminin (MSTK için EBK-Power, pH için LPI-Gaussian, elektriksel iletkenlik için Ordinary Kriging-Hole Effect, tuzluluk için Ordinary Kriging-Exponential) en uygun performansı gösterdiği belirlenmiştir. Ancak tüm modellerde belirleme katsayısı (R^2) değerlerinin görece düşük düzeyde kalması, incelenen

özelliklerin mekânsal değişkenliğinin yalnızca konumsal bilgiyle sınırlı ölçüde açıklanabildiğini; meşcere yapısı, topografya ve mikroklimatik koşullar gibi ek etkenlerin de bu değişkenlik üzerinde etkili olabileceğini göstermektedir. Bu nedenle üretilen mekânsal dağılım haritalarının, noktasal değerlerin kesin bir tahmini olarak değil, havza içerisindeki göreli yüksek ve düşük alanları yansıtan genel bir örüntü olarak yorumlanması daha uygun görülmektedir.

Genel olarak elde edilen bulgular, orman ölü örtüsünün hidrolojik ve fizikokimyasal özelliklerinin meşcere yapısı ile topografik ve mekânsal etkenlerin ortak etkisi altında şekillendiğini; bu değişkenliğin yalnızca konum bilgisiyle değil, çevresel değişkenlerle birlikte ele alınması gerektiğini ortaya koymaktadır.

6.2 Öneriler

1. Mekânsal tahmin modellerinin açıklama gücünün artırılabilmesi amacıyla, gelecek çalışmalarda yalnızca örnekleme noktalarının konumsal bilgilerine dayalı modeller yerine; meşcere tipi, ölü örtü biyokütlesi, yükselti, eğim ve bakı gibi çevresel değişkenlerin yardımcı değişken olarak dahil edildiği çok değişkenli mekânsal modelleme yaklaşımlarının (örneğin kokriging, regresyon kriging) kullanılması önerilmektedir.

2. Meşcere tipleri arasındaki su tutma kapasitesi farkının istatistiksel anlamlılık sınırına yakın bulunması, mevcut örneklem büyüklüğünün bu farkı kesin biçimde ortaya koymakta sınırlı kaldığını düşündürmektedir. Bu nedenle, her meşcere tipi için örnek sayısının artırılması suretiyle söz konusu ilişkinin yeniden test edilmesi önerilmektedir.

3. Örnekleme tasarımının, havzadaki farklı yükselti basamaklarını, eğim gruplarını ve bakı yönlerini daha dengeli biçimde temsil edecek şekilde genişletilmesi, oluşturulacak mekânsal tahmin yüzeylerinin güvenilirliğini artırabilecektir.

4. Su tutma kapasitesi ile pH, elektriksel iletkenlik ve tuzluluk arasında belirlenen zayıf ilişkinin altında yatan nedenlerin aydınlatılabilmesi için, ölü örtünün ayrışma derecesi ve tabaka (L, F, H) özelliklerinin ayrı ayrı örneklenerek incelenmesi önerilmektedir.

5. İncelenen özelliklerin zamansal değişiminin belirlenebilmesi amacıyla, farklı mevsimlerde ve birden fazla yıl boyunca tekrarlanacak ölçümlerin gerçekleştirilmesi, havzanın hidrolojik davranışının daha kapsamlı biçimde değerlendirilmesine katkı sağlayacaktır.

6. Model doğrulama süreçlerinin güvenilirliğinin artırılması amacıyla, aynı örnekleme noktasından alınan tekrarlı numunelerin çapraz doğrulama sırasında nasıl ele alındığının netleştirilmesi ve mekânsal bağımlılığı dikkate alan doğrulama yöntemlerinin (örneğin blok bazlı çapraz doğrulama) uygulanması önerilmektedir.

7. İleride gerçekleştirilecek çalışmalarda, bu çalışmada yaklaşık biçimde temsil edilen EBK-TPS uygulaması yerine gerçek Empirical Bayesian Kriging algoritmasının aynı doğrulama koşullarında test edilmesi, yöntemler arası karşılaştırmaların güvenilirliğini artıracaktır.

Sonuç olarak, bu çalışma Ezine Çayı Havzası'nda orman ölü örtüsünün hidrolojik özelliklerinin mekânsal olarak değişkenlik gösterdiğini ortaya koymuş; bu değişkenliğin CBS destekli yöntemlerle kısmen açıklanabildiğini, daha kapsamlı bir açıklama için meşcere ve çevresel değişkenlerin modellere dahil edilmesi gerektiğini göstermiştir. Elde edilen bulguların, orman ölü örtüsünün hidrolojik işlevinin değerlendirilmesine, havza yönetimi uygulamalarına ve gelecekte gerçekleştirilecek mekânsal-hidrolojik araştırmalara temel oluşturması beklenmektedir.

KAYNAKLAR

Alway, F. J., & Harmer, P. M. (1927). Minnesota glacial soil studies. II. The forest floor on the late Wisconsin drift. *Soil Science*, 23, 57–72.

Aquino, P. S. R., Nappo, M. E., Rodrigues, M. S., Pereira, I. M., Matricardi, E. A. T., & Pelá, G. de M. (2016). Análise espacial da produtividade de serapilheira em umamatadegaleria. *CiênciaFlorestal,26*(2),489–500.

Arol, M. N. (1959). *Bolu ve civarında bazı göknar, kayın, saf çam ve karışık meşcerelerinde ölü örtü miktarı ile besin maddesi muhtevası üzerine araştırmalar.* Yenilik Basımevi.

Augusto, L., Ranger, J., Binkley, D. & Rothe, A. (2002). Impact of several common tree species of European temperate forests on soil fertility. *Annals of Forest Science*, 59, 233–253. https://doi.org/10.1051/forest:2002020

Avci, V., & Ünsal, Ö. (2023). Bozkürt (Kastamonu-Türkiye) Seline Morfometrik Yaklaşım. *Doğal Afetler ve çevre Dergisi*, 9(2), 216-239. https://doi.org/10.21324/dacd.1210797

Aydın, M. (2000). Giresun-Yağlıdere yağış havzasında farklı ana materyaller üzerinde gelişen toprakların erozyon eğilim değerleri ve vejetasyon yapısı üzerine araştırmalar. Yüksek Lisans Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Trabzon.

Aydın, M., & Rages, A. A. (2024). Soil respiration and organic carbon changes along a chronosequence of Pinus nigra forest stands. *BioResources,* 19(3), 6095–6119. https://doi.org/10.15376/biores.19.3.6095-6119

Balcı, A. N. (1958). Elmalı Barajı'nın siltasyondan korunması imkânları ve vejetasyon-su düzeni münasebetleri üzerine araştırmalar. Doktora Tezi, *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi.* İstanbul.

Blow, F. E. (1955). Quantity and hydrologic characteristics of litter under upland oak forests in eastern Tennessee. *Journal of Forestry,* 53(3), 190–195. https://doi.org/10.1093/jof/53.3.190

Castagnolli, L., Boggiani, F. S., Lima, J. A. D., Lima, M. T., & Tonello, K. C. (2023). Hydrological properties of litter in different vegetation types: Implications for ecosystem functioning. *Hydrology*, 10(8), 165. https://doi.org/10.3390/hydrology10080165

Chen, J., Zhai, C., Bao, G., Liu, T., & Sha, Y. (2023). Litter accumulation and hydrological effects of common tree species in urban forest of Northeast China. *Chinese Journal of Ecology*, 42(6), 1339–1347. https://doi.org/10.13292/j.1000-4890.202306.012

Chen, S., Cao, T., Tanaka, N., Gao, T., Zhu, L., & Zou, C. B. (2018). Hydrological properties of litter layers in mixed forests in Mt. Qinling, China. *iForest – Biogeosciences and Forestry*, 11(2), 243–250. https://doi.org/10.3832/ifor2535-011

Chen, W., Wang, Y., Peng, X., Wu, Q., Peñuelas, J., Peng, Y., Li, Z., Heděnec, P., Yuan, C., Wu, F., & Yue, K. (2025). A synthesis on the spatial patterns and driving factors of water-holding capacity of forest litter layer across China. *Journal of Hydrology*, 659, 133272. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2025.133272

Çepel, N., & Tekerek, Ö. (1980). Antalya Orman Bölge Başmüdürlüğü yöresinde bazı saf kızılçam meşcerelerinin ölü örtü miktarı üzerine araştırmalar. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, Seri A,* 30(1), 111–128. https://doi.org/10.17099/jffiu.58407

Ediş, S. (2025). Regional variability in the maximum water holding capacity and physicochemical properties of forest floor litter in Anatolian black pine (Pinus nigra J.F. Arnold) stands in Türkiye. *Forests,* 16(8), 1337. https://doi.org/10.3390/f16081337

Ediş, S., & Özen, A. (2020). *Performance assessment of deterministic and geostatistical interpolation methods to map the bathymetry of Alpsari Pond, Turkey*. Manuscript.

Görmüş, M. (2019). Giresun ili Kümbet yaylası mevkisi saf doğu ladini (Picea orientalis (L.)) ormanlarının bazı ölü örtü özelliklerinin ekolojik faktörlere göre değişiminin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, *Artvin Çoruh Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.* Artvin.

Gribov, A., & Krivoruchko, K. (2020). Empirical Bayesian kriging implementation and usage. *Science of the Total Environment*, 722, 137290. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137290

Gülçur, F. (1974). *Toprağın fiziksel ve kimyasal analiz metotları*. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları.

Han, Z., Li, K., Fang, Q., Fan, C., & Zhao, L. (2024). Rainfall interception by leaf litter under simulated rainfall. *Journal of Hydrology*, 637, 131390.

Ilek, A., Błońska, E., Miszewski, K., Kasztelan, A., & Zborowska, M. (2024). Investigating water storage dynamics in the litter layer: The impact of mixing and decay of pine needles and oak leaves. *Forests,* 15(2), 350. https://doi.org/10.3390/f15020350

Ilek, A., Kucza, J., & Szostek, M. (2015). The effect of stand species composition on water storage capacity of the organic layers of forest soils. *European Journal of Forest Research*, 134, 187-197. https://doi.org/10.1007/s10342-014-0842-2

Johnston, K., Ver Hoef, J. M., Krivoruchko, K. & Lucas, N. (2001). *Using ArcGIS Geostatistical Analyst*. ESRI, Redlands.

Jourgholami, M., Sohrabi, H., Venanzi, R., Tavankar, F., & Picchio, R. (2022). Hydrological responses of undecomposed litter mulch on compacted soils. *Catena*, 210, 105875.

Kalay, H. Z. (1986). Doğu Karadeniz Bölgesi orman ekosistemlerinde humus morfolojisi, sınıflandırılması ve orman toprakları bakımından önemi. *KTÜ Orman Fakültesi Dergisi,* 1–2, 18–42.

Kantarcı, M. D. (2000). *Toprak İlmi*. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları.

Karaöz, M. Ö. (1991). Atatürk Arboretumu'ndaki bazı iğne yapraklı plantasyonlarda ölü örtünün kimyasal özellikleri üzerine araştırmalar. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi,* 41(2), 68–86. https://doi.org/10.17099/jffiu.56682

Karaöz, M. Ö. (1993). Bazı yerli ve yabancı iğne yapraklı ağaç türlerine ait plantasyonlarda ölü örtü miktarı ile bunlardaki besin maddesi rezervleri üzerine araştırmalar. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, Seri A,* 43(1), 93–116. https://doi.org/10.17099/jffiu.81337

Kayrak, Z. (2016). Farklı meşcere tipleri altında gelişen ölü örtünün hidrolojik, fiziksel ve kimyasal özelliklerinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Kahramanmaraş.

Kheir, M., Lerch, T. Z., Borsali, A. H., Roche, P., Ziarelli, F., Zouidi, M., & Farnet, A. (2020). Effect of monospecific and mixed litters on bacterial communities' structure and functions under contrasting Mediterranean climate conditions. *Applied Soil Ecology,* 155, 103681. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2020.103681

Khoroshi Eisalou, H., Şengönül, K., Gökbulak, F., Serengil, Y., & Uygur, B. (2013). Effects of forest canopy cover and floor on chemical quality of water in broad leaved and coniferous forests of Istanbul, Turkey. *Forest Ecology and Management,* 289, 371-377. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.10.031

Kiracıoğlu, Ö., Güner, Ş. T., & Karataş, R. (2023). Marmara Bölgesi'ndeki doğu kayını ormanlarında gelişim çağlarına göre dökülme miktarının ve bu yolla ölü örtüye giren karbon stokunun belirlenmesi. *Turkish Journal of Forestry*, 24(3), 213–222. https://doi.org/10.18182/tjf.1318425

Kittredge, J. (1948). *Forest influences: The effects of woody vegetation on climate, water, and soil, with applications to the conservation of water and the control of floods and erosion*. McGraw-Hill Book Company.

Krivoruchko, K. (2012). *Empirical Bayesian Kriging*. ArcUser.

Krivoruchko, K., & Gribov, A. (2019). Evaluation of empirical Bayesian kriging. *Spatial Statistics*, 32, 100368. https://doi.org/10.1016/j.spasta.2019.100368

Li, J., & Heap, A. D. (2011). A review of comparative studies of spatial interpolation methods in environmental sciences: Performance and impact factors. *Ecological Informatics,* 6(3-4), 228-241. https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2010.12.003

Li, J., & Heap, A. D. (2014). Spatial interpolation methods applied in the environmental sciences: A review. *Environmental Modelling & Software*, 53, 173-189. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2013.12.008

Liu, Y.-P., Wang, G., Hu, Z., & Guo, L. (2022). Litter storage and water-holding capacity of typical forests in mountainous area of Southwest China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 33(8), 2113–2120. DOI: 10.13287/j.1001-9332.202208.014.

Liu, Y., Shi, W., Tao, F., Shi, X., & Fu, B. (2023). A global synthesis of multi-factors affecting water storage capacity in forest canopy, litter and soil layers. *Geophysical Research Letters*, 50(3), e2022GL099888. https://doi.org/10.1029/2022GL099888.

Özhan, S. (1976). Belgrad Ormanı Ortadere Yağış Havzası'nda ölü örtünün hidrolojik bakımdan önemli özelliklerinin bazı yöresel etkenlere göre değişimi. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, Seri A, 26*(1), 102–155. https://doi.org/10.17099/jffiu.72257

Pereira, L. C., Balbinot, L., Lima, M. T., Bramorski, J., & Tonello, K. C. (2022). Aspects of forest restoration and hydrology: The hydrological function of litter. *Journal of Forestry Research,* 33(2), 543–552. https://doi.org/10.1007/s11676-021-01365-1

Pérez-Corona, M. E., Hernández, M. C. P., & Bermúdez de Castro, F. (2006). Decomposition of alder, ash and poplar litter in a Mediterranean riverine area. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 37, 1111–1125.

Perry, D. A. (1994). *Forest ecosystems*. Johns Hopkins University Press.

Prescott, C. E., & Grayston, S. J. (2013). Tree species influence on microbial communities in litter and soil: Current knowledge and research needs. *Forest Ecology and Management*, 309, 19–27.

Qin, Q., Wang, H., Lei, X., Li, X., Xie, Y., & Zheng, Y. (2020). Spatial variability in the amount of forest litter at the local scale in northeastern China: Kriging and cokriging approaches to interpolation. *Ecology and Evolution*, *10*(2), 778–790. https://doi.org/10.1002/ece3.5934

Roberts, D. R., Bahn, V., Ciuti, S., Boyce, M. S., Elith, J., Guillera-Arroita, G., Hauenstein, S., Lahoz-Monfort, J. J., Schröder, B., Thuiller, W., Warton, D. I., Wintle, B. A., Hartig, F. & Dormann, C. F. (2017). Cross-validation strategies for data with temporal, spatial, hierarchical, or phylogenetic structure. *Ecography*, 40, 913–929. https://doi.org/10.1111/ecog.02881

Robinson, T. P., & Metternicht, G. (2006). Testing the performance of spatial interpolation techniques for mapping soil properties. *Computers and Electronics in Agriculture*, 50(2), 97-108. https://doi.org/10.1016/j.compag.2005.07.003

Sayer, E. J. (2006). Using experimental manipulation to assess the roles of leaf litter in the functioning of forest ecosystems. *Biological Reviews,* 81(1), 1–31.

Sevgi, O., Tecimen, H. B., Çobanoğlu, G., Sevgi, E., & Yılmaz, O. Y. (2011). Alaçam Dağları karaçam ormanlarının liken ölü örtü pH'sının irdelenmesi. *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University*, 61(2), 45–52.

Shen, G., Chen, D., Wu, Y., Liu, L., & Liu, C. (2019). Spatial patterns and estimates of global forest litterfall. *Ecosphere*, *10*(2), e02587. https://doi.org/10.1002/ecs2.2587

Siqueira, G. M., Dafonte, J., & Valcárcel Armesto, M. (2014). Using multivariate geostatistics to assess patterns of spatial dependence of apparent soil electrical conductivity and selected soil properties. *The Scientific World Journal*, 2014, 712403. https://doi.org/10.1155/2014/712403

Staelens, J., Nachtergale, L., & Luyssaert, S. (2004). Predicting the spatial distribution of leaf litterfall in a mixed deciduous forest. *Forest Science*, 50(6), 836–847.

Su, S., & Liu, X. (2022). The water storage function of litters and soil in five typical plantations in the northern and southern mountains of Lanzhou, Northwest China. *Sustainability*, *14*(14), 8231. https://doi.org/10.3390/su14148231

Trimble, G. R., Jr., & Lull, H. W. (1956). *The role of forest humus in watershed management in New England* (Station Paper NE-85). U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station.

URL-1. *Meteoroloji Genel Müdürlüğü. (2026). Kastamonu iklim sınıflandırması*. https://www.mgm.gov.tr/iklim/iklim-siniflandirmalari.aspx?m=kastamonu, Erişim Tarihi: 12.06.2026.

URL-2. *Araştırma alanının Google Earth görüntüsü*. Erişim Tarihi: 02.09.2026

Utlu, M. (2023). Frekans oranı ve Shannon entropisi yöntemi kullanarak Ezine Çayı Havzası taşkın duyarlılık analizi (Kastamonu-Bozkurt). *Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi,* 11, 160–178. https://doi.org/10.46453/jader.1358845

Waring, R. H., & Running, S. W. (2010). *Forest ecosystems: Analysis at multiple scales* (3rd ed.). Academic Press.

Wei, G., Hu, T., Wang, J., & Ran, H. (2006). Water-holding characteristics of litter after natural evergreen broad-leaved forest regeneration. *Journal of Soil and Water Conservation*, 20, 51–55.

Wei, Q., Ling, L., Zhang, G., Yan, P. B., Tao, J. X., Chai, C. S., & Xue, R. (2011). Water-holding characteristics of litter under major forest types in Xinglong Mountain, Gansu. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 22, 2589–2598.

Wilson, R. C., Freeland, R. S., Wilkerson, J. B., & Hart, W. E. (2005). Interpolation and data collection error sources for electromagnetic induction-soil electrical conductivity mapping. *Applied Engineering in Agriculture*, 21(2), 277-283. https://doi.org/10.13031/2013.18142

Xia, L., Song, X., Fu, N., Cui, S., Li, L., Li, H., & Li, Y. (2019). Effects of forest litter cover on hydrological response of hillslopes in the Loess Plateau of China. *Catena*, 181, 104076. https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104076

Xing, X., Shen, H., Ma, W., Wang, H., & Jia, Z. (2016). Hydrological effects of Larix principis-rupprechtii and Betula platyphylla forest litter. *Bulletin of Soil and Water Conservation,* 36(5), 126–130.

Yılmaz, S. (2019). Uydu verileri ve çevresel değişkenler kullanılarak kızılçam meşcerelerinde ölü örtü kütlesinin modellenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*. Isparta.

Zagyvai-Kiss, K. A., Kalicz, P., Szilágyi, J., & Gribovszki, Z. (2019). On the specific water holding capacity of litter for three forest ecosystems in the eastern foothills of the Alps. *Agricultural and Forest Meteorology,* 278, 107656. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2019.107656

Zaresefat, M., Derakhshani, R., & Griffioen, J. (2024). Empirical Bayesian Kriging, a robust method for spatial data interpolation of a large groundwater quality dataset from the Western Netherlands. *Water,* 16(18), 2581. https://doi.org/10.3390/w16182581

Zhu, L., Chen, S., Gao, T., Tanaka, N., & Zou, C. B. (2022). Hydrological functions of forest litter layers: A review of water retention and infiltration processes. *Forests*, 13, 1184.

Zhu, X., Zhang, W., Jiang, X., Zakari, S., Lu, E., Singh, A. K., Yang, B., & Liu, W. (2021). Conversion of primary tropical rainforest into rubber plantation degrades the hydrological functions of forest litter: Insights from experimental study. *Catena, 200,* 105172. https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105172