

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**





KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde

Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : / /

Tezin Savunma Tarihi : / /

Tez Danışmanı :

Trabzon

ÖNSÖZ

Doktora Tezi kapsamında “Doğu Karadeniz Bölgesindeki Saf Ladin ve Göknar Ekosistemlerinde Toplam İntersepsiyonun Ekolojik, Hidrolojik ve Meteorolojik Yönden Araştırılması” adlı bu çalışma, TOVAG 2170359 numaralı TÜBİTAK projesi kapsamında desteklenmiştir. Kullandığı yöntemlerle orman ekosistemlerinin Ekolojik, Hidrolojik ve Meteorolojik fonksiyonlarının daha iyi anlaşılmasına ve değerlendirilmesine yardımcı olacağını düşündüğüm bu çalışma, Tarım ve Orman Bakanlığının ilgili Genel Müdürlükleri başta olmak üzere doğal kaynakların yönetiminden sorumlu kurumlara önemli katkılar sağlayacağı kanaatindeyim.

Bu çalışmanın gerçekleşmesi aşamasında danışmanlığımı üstlenen sayın hocam Prof. Dr. Sezgin HACISALİHOĞLU’na, Tez İzleme Komitesinde ve Jüride yer alan hocalarım sayın Prof. Dr. Selçuk GÜMÜŞ’e, sayın Dr. Öğretim Üyesi Tuğçe ANILAN’a ve Tez Jürisindeki diğer hocalarım sayın Prof. Dr. Halil Barış ÖZEL ile sayın Doç. Dr. Miraç AYDIN’a ilgi ve desteklerinden ötürü teşekkür ederim. Ayrıca bu çalışmanın hazırlanmasında TOVAG 2170359 numaralı proje ile destek sağlayan TÜBİTAK’a teşekkür ederim. Çalışma alanının tahsisi konusunda yardımcı olan DOKA Müdürlüğü’ne, bu çalışmada önemli katkıları bulunan ve ismini sayamadığım meslektaşlarıma, Orman Genel Müdürlüğü, Meteoroloji Genel Müdürlüğü ve çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım.

Su, toprak ve ibre analizlerinde yardımcı olan KSÜ Orman Fakültesinden Doç. Dr. Mahmut REİS hocama, arazi çalışmalarına destek veren Prof. Dr. Mehmet KOCABAŞ’a, lisansüstü öğrencilerimizden Reyhan DEMİR’e, Hakan KARADAĞ’a, Johana Isabel PEREZ PEREZ’e, Azerbaycan Merkezi Botanik Bahçesi çalışanlarından ziyaretçi araştırmacı olarak arazi çalışmalarına destek veren değerli Doktorant Yusuf ABİYEYEV’e çok teşekkür ederim. Yaprak alan indeksinin belirlenmesinde önemli katkısı olan Sayın Arş. Gör. Mehmet Batın YER’e ayrıca teşekkür ederim.

Beni bu günlere getiren ve öğrenim hayatım süresince maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen biricik aileme şükranlarımı sunar, bu çalışmanın bilim dünyasına faydalı olmasını temenni ederim.

Bu tezi rahmetle andığım “MERT ANADOLU İNSANI” babama ithaf ediyorum...

Uğur KEZİK

Trabzon 2021

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Doktora Tezi olarak “Doğu Karadeniz Bölgesindeki Saf Ladin ve Gökmar Ekosistemlerinde Toplam İntersepsiyonun Ekolojik, Hidrolojik ve Meteorolojik Yönden Araştırılması” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Sezgin HACISALİHOĞLU’nun sorumluluğunda tamamladığımı, verileri kendim topladığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 30/04/2021

Uğur KEZİK

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VIII
SUMMARY	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ	X
TABLolar DİZİNİ.....	XVII
KISALTMALAR DİZİNİ	XVIII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Literatür Özeti	6
1.2.1. Ormanların Temel Ekolojik Fonksiyonları	6
1.2.2. İklim Değişikliği ve Orman Ekosistemi İlişkileri	8
1.2.3. Toprak-Bitki-Atmosfer İlişkileri	9
1.2.3.1. Orman Ekosistemlerinde Organik Madde Döngüsü	11
1.2.3.2. Madde Döngüsünün Hidrojeokimyasal ve Ekofizyolojik Önemi	17
1.2.4. Orman ekosistemlerinde Eko-Meteorolojik Parametreler.....	21
1.2.4.1. Yağış.....	21
1.2.4.2. Hava Sıcaklığı	25
1.2.4.3. Toprak Sıcaklığı	27
1.2.4.4. Toprak Nemi.....	33
1.2.4.5. Solar Radyasyon.....	35
1.2.4.6. Rüzgâr	38
1.2.5. Orman Ekosistemlerinde Hidrolojik Döngü.....	39
1.2.5.1. Orman Ekosistemlerinde İntersepsiyon Bileşenleri	42
1.2.5.2. Meşçere Altı Yağış.....	46
1.2.5.3. Gövdeden Akış	49
1.2.5.4. Yüzeysel Akış.....	53
1.2.5.5. Yaprak Alan İndeksi.....	54
1.2.5.6. Meşçere Çatısı İntersepsiyonu.....	56
1.2.5.7. Orman Örtüsü İntersepsiyonu	61
1.2.5.8. Toplam Orman İntersepsiyonu	63

1.2.6.	Orman İntersepsiyonu ve Su Kalitesi İlişkileri	66
1.2.6.1.	Meşçere Altı Yağış ve Gövdeden Akışın Su Kalitesine Etkisi	67
1.2.6.2.	Orman Örtüsü ve Yüzeysel Akışın Su Kalitesine Etkisi.....	72
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR	74
2.1.	Kavramsal Çerçeve.....	74
2.2.	Çalışma Alanı	77
2.3.	Çalışma Düzenegi ile Kullanılan Cihaz ve Ekipmanlar	82
2.4.	İklim Parametrelerinin Belirlenmesi	85
2.5.	İntersepsiyon Bileşenleri	87
2.5.1.	Brüt Yağış (Yt0) ve Meşçerealtı Yağış (Yma).....	87
2.5.2.	Gövdeden Akış (Yga).....	88
2.5.3.	Meşçere Çatısı İntersepsiyonu (İm)	89
2.5.4.	Yüzeysel Akış (Yya)	89
2.5.5.	Orman Örtüsü İntersepsiyonu (İö)	90
2.5.6.	Toplam Orman İntersepsiyonu (İto).....	94
2.5.7.	Yaprak Alan İndeksi (YAI).....	95
2.6.	Meşçerelerde Çap-Boy ölçümü.....	99
2.7.	Mikro Havzanın Hidro-Morfolojik Karakteristiklerinin Belirlenmesi.....	100
2.8.	Organik Madde Döküntüsü Toplama Düzenekleri	100
2.9.	Orman Örtüsü Kalınlığının Tespiti.....	102
2.10.	Toprak Özellikleri	103
2.11.	Su Analizinde Kullanılan Yöntem ve Cihazlar	104
2.12.	Ölçülen Parametrelerinin İstatistiksel Değerlendirmesi.....	106
2.13.	Ekolojik ve Hidrolojik Parametrelerin Amenajman Planlarında Kullanımı	107
3.	BULGULAR	112
3.1.	Meşçere Parametlerinin Tespiti.....	112
3.1.1.	Meşçerelerde Çap-Boy Ölçümü	112
3.1.2.	Yaprak Alan İndeksi (YAI).....	115
3.1.3.	Ladin ve Gökmar Deneme Alanlarında Organik Madde Döküntüsü	120
3.1.4.	Ladin ve Gökmar Deneme Alanlarında Orman Örtüsü Kalınlığı (Kib).....	123
3.1.5.	Çalışma Alanı Toprak Özellikleri	123
3.1.6.	Mikro Havzanın Jeomorfolojik karakteristiği	126
3.2.	İntersepsiyon Bileşenlerinin Tespiti.....	127
3.2.1.	Brüt Yağış (Yt0) ve Meşçere Altı Yağışlar (Yma)	127

3.2.2.	Gövdeden Akışlar (Yga)	130
3.2.3.	Meşçere Çatısı İntersepsiyonu (İm)	132
3.2.4.	Yüzeysel Akış (Yya)	134
3.2.5.	Toprakdan Filtrasyon (Yfiltre)	136
3.2.6.	Orman Örtüsü İntersepsiyonu (İö)	138
3.2.7.	Toplam Orman İntersepsiyonu (İto).....	142
3.2.8.	Brüt Yağış ve İntersepsiyon Bileşenlerinin Zamana Bağlı Trend Analizi.....	144
3.3.	İklim Parametreleri.....	149
3.3.1.	Yağış (mm).....	149
3.3.2.	Yağış Yoğunluğu (mm/sa)	151
3.3.3.	Yağış Şiddeti (mm/gün)	152
3.3.4.	Ortalama Nispi Nem (%).....	153
3.3.5.	Ortalama Hava Sıcaklığı (°C)	154
3.3.6.	Ortalama Toprak Sıcaklığı (°C)	155
3.3.7.	Ortalama Toprak Nemi (%).....	156
3.3.8.	Ortalama Solar Radyasyon (w/m ²).....	157
3.3.9.	Ortalama Rüzgâr Hızı (m/s)	158
3.4.	İntersepsiyon Bileşenlerinde Su Kalite Parametreleri.....	159
4.	TARTIŞMA VE SONUÇ.....	164
5.	ÖNERİLER	191
6.	KAYNAKLAR.....	196
7.	EKLER (1 adet cd içerisinde teslim edilmiştir)	
	ÖZGEÇMİŞ	

Doktora Tezi

ÖZET

DOĞU KARADENİZ BÖLGESİNDEKİ SAF LADİN VE GÖKNAR EKOSİSTEMLERİNDE TOPLAM İNTERSEPSİYONUN EKOLOJİK, HİDROLOJİK VE METEOROLOJİK YÖNDEN ARAŞTIRILMASI

Uğur KEZİK

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Orman Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Sezgin HACISALİHOĞLU
2021, 221 Sayfa, 21 Ek Sayfa

Orman ekosistemlerinde hidrolojik döngünün önemli bir kısmını, meşçere çatısı ve orman örtüsünden gerçekleşen toplam intersepsiyon oluşturmaktadır. İntersepsiyona etki eden gövdeden akış, meşçere altı yağış, yüzeysel akış, orman örtüsü yapısı ve topraktaki filtrasyon olayları hidrolojik döngüde yer alan suyu kantitatif olarak etkilemektedir. Bu parametrelerin bünyesinde farklı oranlarda yaygın olarak değişebilir katyonlar (Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^+ , Na^+ , NH_4^+ , Fe^+) ve anyonlar (SO_4^{-2} , NO_3^- , Cl^- ve PO_4^{-3}) bulunmasından dolayı da çevrime giren suyun kalitatif yönden etkilenmesine neden olmaktadır. Bu nedenle, intersepsiyon sürecini araştırmak, ekosistem seviyesinde Toprak-Bitki-Atmosfer ilişkilerinin karmaşık doğasını anlamak için önemli ve gereklidir.

Bu çalışma kapsamında, ülkemizin önemli 2 asli türü olan ve Doğu Karadeniz Bölgesinde doğal olarak yayılış gösteren aynı ekolojik koşullara sahip Ladin (*Picea orientalis*) ve Gökmar (*Abies nordmanniana subsp. nordmanniana*) ormanlarında araştırmalar yapılmıştır. Bunun için ilgili hidrolojik, ekolojik ve meteorolojik düzenekler kurulmuş ve 21 aylık süre ile parametreler ölçülüp analiz edilmiştir. Bununla birlikte Ladin ve Gökmar meşçereleri için orman amenajman planlarında kullanılmak üzere, orta çapa göre toplam orman intersepsiyonunu $>95\%$ doğrulukla tahmin eden modeller geliştirilmiştir.

Sonuç olarak, ortalama 5,33 yaprak alan indeksine ve 6,6 mm ölü örtü kalınlığına sahip Ladin meşçeresinden yıllık yağışın $39,04\%$ ü toplam intersepsiyonla atmosfere geri dönerken, bu değer 6,13 yaprak alan indeksi ve 13,9 mm ölü örtü kalınlığına sahip Gökmar meşçeresinde $43,54\%$ olmuştur. Her iki meşçere çatısına gelen yağışın toprağın içine sızmasına kadar geçen süreçte, kimyasal içeriğinde önemli değişimler meydana gelmiştir.

Anahtar Kelimeler: Orman intersepsiyonu, Toprak- Bitki-Atmosfer ilişkisi, Su kalitesi

PhD. Thesis

SUMMARY

INVESTIGATION OF TOTAL INTERCEPTION FOR PURE SPRUCE AND FIR ECOSYSTEMS ON ECOLOGICAL, HYDROLOGICAL AND METEOROLOGICAL ASPECTS IN EASTERN BLACK SEA REGION, TURKEY

Ugur KEZIK

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Forest Engineering Graduate Program
Supervisor: Prof. Dr. Sezgin HACISALIHOGU
2021, 221 pages, 21 Pages Appendix

In forest ecosystems, an important part of the hydrological cycle is the total interception from the stand canopy and forest floor. Stemflow, throughfall, surface runoff, forest stand structure and soil filtration events that affect interception quantitatively affect the water in the hydrological cycle. Due to the presence of common exchangeable cations (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , NH_4^+ , Fe^+) and anions (SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^- and PO_4^{3-}) in these parameters, throughout the water flow pathway from stand canopy to soil, water in cycle is affected qualitatively. Therefore, researching the interception process is important and necessary to understand the complex nature of Soil-Plant-Atmosphere relationships at the ecosystem level. This study was carried out in Spruce (*Picea orientalis*) and Fir (*Abies nordmanniana subsp. Nordmanniana*) forests, which are the two major species of our country, Turkey, and have the same ecological conditions, which are distributed in the Eastern Black Sea Region naturally. On the other hand, related hydrological, ecological and meteorological mechanisms were established and parameters were measured and analyzed for a period of 21 months, and mathematical and statistical models were developed. In addition, models have been developed for Spruce and Fir stands that estimate total forest interception with an accuracy of > 95% based on stand mean diameter to being used for forest management plans.

As a result, 39.04% of the annual precipitation from Spruce stand with an average LAI of 5.33 and a litter thickness of 6.6 mm returned to the atmosphere via total interception, while this value was 43.54% in Fir stand with 6.13 LAI and 13.9 mm litter layer. Significant changes also occurred in the physico-chemical content of the water from canopy to filtered soil.

Keywords: Forest interception, Soil- Plant-Atmosphere continuum, Water quality

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Ekosistemi oluşturan temel bileşenlerin karşılıklı etkileşimi (Altun vd., 2017'den değiştirilerek)	2
Şekil 2. Orman Amenajman Yönetmeliği kapsamında 299 nolu tebliğe göre ormanların ana ve alt fonksiyonları	3
Şekil 3. Orman ekosistemlerindeki toprağın ana fonksiyonları	10
Şekil 4. Toprak partikülünün yüzeyinde gerçekleşen katyon değişim prensibi	19
Şekil 5. A:Ekosistemlerde yıllık yağışa bağlı olarak net toprak üstü biyokütle üretimi (Whittaker, 1970'e atfen, Taiz ve Zeiger, 2002'den değiştirilerek), B: Ortalama yıllık yağış ile Afrika'daki maksimum odunsu bitki örtüsü (% kapalılık) arasındaki ilişki. Maksimum potansiyel odunsu örtü, yıllık yağışlardaki artışlarla ~ 650 mm'ye kadar doğrusal olarak artar ve ardından ~% 80'de seviyede stabil hale gelir. Steven vd. (2017) ve Sankaran vd.'den (2005) alınmıştır.....	23
Şekil 6. Farklı ekosistem ve büyüme koşullarındaki bitkilerde su potansiyeline bağlı fizyolojik değişim eğilimleri (Hsiao, 1979'a atfen, Taiz ve Zeiger, 2002'den değiştirmiştir)	23
Şekil 7. Yıllık yağış ile net birincil üretime ve toprak organik maddesi ile ilişkisi (Barger vd., 2011'den değiştirilerek)	24
Şekil 8. Farklı biyomlardaki yıllık ortalama sıcaklığın aldığı değerler (Pregitzer ve King, 2005'den ortalama değerler yeniden hesaplanmıştır)	32
Şekil 9. Yıllık toplam yağışın 4351mm olduğu Toprak nemi ve yağış trendi (Iménez-Rodríguez vd. 2021).....	34
Şekil 10. A: Brüt yağış miktarı (mavi çizgi) ve buna karşılık gelen üst toprak (15cm) toprak nem içeriğinin (siyah çizgi) zamansal değişimi, B: Yağış süresince, brüt yağış ve toprak nem içeriği değişim ilişkisi ile y katsayısının (Yt0d, toplam intersepsiyon depolaması doygunluğu için gerekli yağış miktarı) çıkarımı için model denklemi.....	34
Şekil 11. 6 farklı deneme alanı için gruplandırılmış yağış derinliğine karşılık toprak nem içeriğinin değişimi (Acharya, 2020'den değiştirilerek).....	35
Şekil 12. Bulutsuz havada farklı yükseltilerde (mt) aylara göre solar radyasyon değerinin değişimi (Değerler, birim ve şekil olarak Franz, 1979'den değiştirilmiştir)	37
Şekil 13. Solar radyasyon değerinin 1000 metredeki istasyonun 500 metre yükseltideki istasyona göre tahmin modeli.....	37
Şekil 14. Hidrolojik Döngü (Chang, 2003'den değiştirilerek)	40
Şekil 15. Gövdeden akış profilinin toprak yüzeyinden taban suyuna geçiş profili. Doğal ortamda profil izdüşümü düzenli bir halkasal yapı göstermeyebilir (Dunkerley, 2020'den değiştirilerek)	51

Şekil 16. Yaprak alanına göre intersepsiyon oranı regresyon modelleri ($p<0.001$).....	55
Şekil 17. Şekil a'da çalışma alanı ve deneme noktalarındaki yaprak alan indeksine göre intersepsiyon depolama kapasitesi ilişkisi gösterilmektedir. Şekil b'de ise orman örtüsünü de içine alan meşçere çatısı yaprak alan indeks ilişkisi modelini göstermektedir.	55
Şekil 18. Orman Bölge Müdürlüğü bazında orman alanlarındaki intersepsiyon değerleri .	61
Şekil 19. Toplam intersepsiyona etki eden orman örtüsü ve meşçere çatısı depolaması	65
Şekil 20. Meşçere çatısına gelen yağışın bazı önemli anyon ve kation içeriğindeki değişimler (harfler istatistiği farkı gösterir, Ort. \pm Sh, $P<0.05$, $n=5$) Yt0:Brüt yağış, Yma: Meşçere altı yağış, Yga: Gövdeden akış	67
Şekil 21. İskandinavya bölgesindeki göl ve nehirlerde humus içeriğine bağlı suyun renginin değişimi (Löfgren, vd., 2003'den alınmıştır)	68
Şekil 22. Yarı tropikal ormanlardaki brüt yağış (a), meşçere altı yağış (b), gövdeden akış (c) düzenekleri ve toplanan suyun rengi (Macede vd., 2019'dan alınmıştır).....	69
Şekil 23. Brüt yağış ve meşçere altı yağış sularında Çözünmüş organik madde miktarı (ÇOM) moleküler olarak 7 kategoride toplanmıştır. Aş/Ka: Aminoşeker /Karbonhidrat, YAY: Yoğunlaşmış aromatik yapılar, hata çubukları standart hatayı, yıldız (*) işareti de istatistiki olarak önemli farkın olduğunu (U-test, $p<0.05$) göstermektedir (Ide vd., 2019'dan alınmıştır).....	70
Şekil 24. Meşçerede tür bileşenine göre gövdeden akışın hidrokimyasal özelliği.....	72
Şekil 25. Orman ekosisteminde toplam intersepsiyon sürecinde etkili olan* ve intersepsiyon bileşenlerinin etkilediği** parametreler	76
Şekil 26. Çalışma aşamalarını gösteren iş-akış diyagramı	76
Şekil 27. Çalışma alanının genel konumu	77
Şekil 28. Çalışma alanındaki ladin meşçeresi	78
Şekil 29. Çalışma alanındaki Göknar meşçeresi	79
Şekil 30. Çalışma alanının Walter'e (1975) göre iklim diyagramı.....	80
Şekil 31. Çalışma alanının jeolojik konumu (MTA, 2015)	81
Şekil 32. Hazır hale getirilmiş deneme alanları.....	82
Şekil 33. Ladin deneme alanındaki düzeneklerin yerleşim planı	83
Şekil 34. Göknar deneme alanındaki düzeneklerin yerleşim planı	83
Şekil 35. Ladin deneme alanı genel görünüm	84
Şekil 36. Göknar deneme alanı genel görünüm.....	84
Şekil 37. Çalışmada kullanılan dijital iklim ve toprak istasyonları.....	85
Şekil 38. Meteoroloji Bölge Müdürlüğüne ait iklim istasyonu	86
Şekil 39. Meteoroloji Bölge Müdürlüğüne ait iklim istasyonu	86
Şekil 40. Çalışma alanına kurulan meteoroloji istasyonlarının konumu	86

Şekil 41. Çalışmada kullanılan manüel yağış ölçerler.....	87
Şekil 42. Geliştirilen gövdeden akış düzeneği	88
Şekil 43. Gövdeden akışı tespit etmek için kullanılan düzenekler	89
Şekil 44. Çalışmada kullanılan yüzeysel akış düzeneği	90
Şekil 45. Hoover ve Lunt'a (1952) göre orman örtüsü tabakası	92
Şekil 46. Orman örtüsü intersepsiyonunu tespit etmek için kullanılan düzenek planı.....	93
Şekil 47. Hazır hale gelmiş orman örtüsü intersepsiyonunu düzeneği.....	93
Şekil 48. Orman intersepsiyonunun hesap değişkenleri; meşçere çatısı intersepsiyonu (İm), Orman örtüsü intersepsiyonu (İö), meşçere altı yağış (Yma), gövdeden akış (Yga), brüt yağış (Yt0) ve Toplam orman intersepsiyonu (İto).....	95
Şekil 49. YAİ Cihazının (LICOR 2200C) genel yapısı ve çalışma prensibi.....	96
Şekil 50. Ladin ve Gök nar deneme alanlarında homojen dağıtılmış 9 noktadan YAİ ölçümü.....	97
Şekil 51. Düzeneklerin merkezinden YAİ ölçümleri	97
Şekil 52. Meşçere altı yağış ölçerlerde efektif alan hesabı.....	98
Şekil 53. Meşçerelerdeki yağış toplayıcılarda YAİ belirlenmesi	99
Şekil 54. Meşçerelerde çap-boy parametrelerinin tespiti	99
Şekil 55. Havza'nın jeomorfolojik karakteristiklerinin tespitinde kullanılan formüller ...	100
Şekil 56. Meşçerede dökülen organik maddeleri toplamak için geliştirilen tuzaklar.....	101
Şekil 57. Organik madde döküntüsünün sınıflandırılması	101
Şekil 58. İbre örneklerinden elde edilen ve elemental analize hazırlanan numuneler	102
Şekil 59. Ladin ve Gök nar eneme alanlarında orman örtüsü örneklemesi	102
Şekil 60. Araziden alınan silindir örneklerinde ölü örtü kalınlığının tespiti	103
Şekil 61. Çalışma alanında açılan toprak kesitleri (a: Açık alan, b: Ladin, c: Gök nar) ...	104
Şekil 62. Çalışma alanından toplanan sularda pH, EC ve TDS tayini	105
Şekil 63. Numunelerde Spektrofotometre cihazı ile Fe ⁺³ tayini	106
Şekil 64. 1 kapalı ladinde meşçere orta çapına bağlı YAİ değeri.....	108
Şekil 65. 2 kapalı ladinde meşçere orta çapına bağlı YAİ değeri.....	109
Şekil 66. 3 kapalı ladinde meşçere orta çapına bağlı YAİ değeri.....	109
Şekil 67. 1 kapalı Gök nardameşçere orta çapına bağlı YAİ değeri	110
Şekil 68. 2 kapalı Gök narda meşçere orta çapına bağlı YAİ değeri	111
Şekil 69. 3 kapalı Gök narda meşçere orta çapına bağlı YAİ değeri	111
Şekil 70. Gök nar (a) ve Ladin (b) deneme alanlarından görünüm	112
Şekil 71. Ladin deneme alanına ait çap*boy ilişki grafiği ve denklemi (r=0,89).....	113
Şekil 72. Gövdeden akış örnek ağaçlarının çap*boy ilişkisi (r=0.84).....	113

Şekil 73. Gök nar meşçeresine ait ç ap*boy iliş ki grafiğ i ve denklemi ($r=0.78$)	114
Şekil 74. Gök nar meşçeresi gövdeden akış ö rnek ağ aç larının ç ap*boy iliş kisi ($r=0.67$) 114	
Şekil 75. FV2200 programında Ladin ve Gök nar meşçerelerine ait YAİ hesabı.....	115
Şekil 76. Ladin ve Gök nar deneme alanlarında meşçereyi temsilen YAİ ölçüm noktaları	115
Şekil 77. Ladin (a) ve Gök nar (b) deneme alanlarındaki yağ ış ölçerlerin bireysel YAİ .	116
Şekil 78. Ladin meşçere-altı yağ ış ölçerlerin merkezinden yarı küresel efektif alan.....	116
Şekil 79. Gök nar meşçere-altı yağ ış ölçerlerin merkezinden yarı küresel efektif alan ...	117
Şekil 80. Ladin (a) ve Gök nar (b) gövdeden akış düzeneklerinde bireysel YAİ.....	117
Şekil 81. Ladin (a) ve Gök nar (b) yüzeysel akış düzeneklerinde bireysel YAİ	118
Şekil 82. Ladin (a) ve Gök nar (b) orman örtüsü intersepsiyon düzeneklerinde bireysel YAİ	118
Şekil 83. Ladin (a) ve Gök nar (b) istasyonlarında bireysel YAİ.....	119
Şekil 84. Ladin (a) ve Gök nar (b) alanlarında organik döküntü tuzaklarında bireysel YAİ	119
Şekil 85. Ladin ve Gök nar toplam organik döküntü miktarlarının yıl içindeki değ işimi	120
Şekil 86. Ladin ve Gök nar toplam organik döküntü miktarlarının yıl içindeki değ işimi	120
Şekil 87. Ladin ve Gök narda toplam organik döküntünün mevsimsel değ işimi.....	121
Şekil 88. Ladin ve Gök narda ibre döküntüsünün mevsimsel değ işimi	121
Şekil 89. Ladin ve Gök narda ince dal ve kozalak döküntüsünün mevsimsel değ işimi...	122
Şekil 90. Ladin ve Gök nar döküntü ibrelerinde mineral madde dağılımı	122
Şekil 91. Ladin ve Gök nar ibrelerinde hacim ağı rlığ ı tespiti	123
Şekil 92. Ç alış ma alanının derinlik kademesine göre toprak tekstürü	124
Şekil 93. Ç alış ma alanının derinlik kademesine göre toprak tekstürü	124
Şekil 94. Ç alış ma alanının derinlik kademesine göre toprağ ın hidro-fiziksel özellikleri	125
Şekil 95. Ç alış ma alanının derinlik kademesine göre toprağ ın hidro-fiziksel özellikleri	125
Şekil 96. Mikro havzanın genel karakteristiğ i.....	126
Şekil 97. Ölçüm periyodunda açık alana düş en ve meşçere altına düş en yağ ış ların değ işimi	127
Şekil 98. Açık alana ve meşçere altına düş en yağ ış ların yıl içindeki değ işimi	128
Şekil 99. Açık alana ve meşçere altına düş en yağ ış ların mevsimsel değ işimi.....	128
Şekil 100. Açık alana ve meşçere altına düş en ölçülen toplam yağ ış ların değ işimi	129
Şekil 101. Açık alana düş en brüt yağ ış ın meşçere altı yağ ış oranı.....	129
Şekil 102. Meşçerelerde gövdeden akış ların ölçüm periyodundaki değ işimi	130
Şekil 103. Meşçerelerde gövdeden akış ların yıl içindeki değ işimi	130
Şekil 104. Meşçerelerde gövdeden akış ların mevsimsel değ işimi	131

Şekil 105. Meşçerelerde gövdeden akışların brüt yağışa göre oranı	131
Şekil 106. Brüt yağış ve meşçere çatısı intersepsiyonunun ölçüm periyodundaki değişimi.....	132
Şekil 107. Meşçere çatısı intersepsiyonunun yıl içindeki aylara bağlı değişimi.....	133
Şekil 108. Meşçerelerde meşçere çatısı intersepsiyonunun mevsimsel değişimi.....	133
Şekil 109. Brüt yağışın meşçere çatısından intersepsiyon oranı	134
Şekil 110. Meşçerelerde meşçere çatısı intersepsiyonunun yıl içindeki aylara bağlı değişimi.....	135
Şekil 111. Meşçerelerde yüzeysel akışın mevsimsel değişimi	135
Şekil 112. Brüt yağışın meşçerelerde yüzeysel akışa geçiş oranı.....	136
Şekil 113. Brüt yağışın meşçerelerde topraktan filtrasyonun yıl içindeki dağılımı	137
Şekil 114. Brüt yağışın meşçerelerde topraktan filtrasyonun mevsimsel dağılımı	137
Şekil 115. Brüt yağışın meşçerelerde topraktan filtrasyon oranı.....	138
Şekil 116. Meşçerelerde orman örtüsünün ölçüm periyodundaki değişimi	140
Şekil 117. Meşçerelerde orman örtüsü intersepsiyonunun yıl içindeki aylık değişimi	140
Şekil 118. Meşçerelerde orman örtüsü intersepsiyonunun mevsimsel değişimi.....	141
Şekil 119. Brüt yağışın orman örtüsünden intersepsiyon oranı.....	141
Şekil 120. Meşçerelerde orman örtüsünün ölçüm periyodundaki değişimi	142
Şekil 121. Meşçerelerde orman örtüsü intersepsiyonunun yıl içindeki aylık değişimi	142
Şekil 122. Meşçerelerde orman örtüsü intersepsiyonunun mevsimsel değişimi.....	143
Şekil 123. Brüt yağışın intersepsiyon oranı.....	143
Şekil 124. Yıllık brüt yağışın aylara bağlı değişimi	144
Şekil 125. Yıllık brüt yağışın mevsime bağlı değişimi	145
Şekil 126. İntersepsiyon bileşenlerinin kümülatif mevsimlik değişimi	145
Şekil 127. İntersepsiyon bileşenlerinin kümülatif mevsimlik değişimi	146
Şekil 128. Ölçüm periyodunda intersepsiyon bileşenlerinin kümülatif mevsimlik değişimi.....	146
Şekil 129. Ladin (iç değerler), ve Gökvarda (dış değerler) yüzeysel akışın yıl içindeki oransal değişimi (Herbir grafik için Kümülatif toplam 100 birimdir).....	147
Şekil 130. İntersepsiyon bileşenlerinin kümülatif mevsimlik değişimi	148
Şekil 131. Açık alanı le Ladin ve Gökvar meşçeresi istasyonlarında yağış değerlerinin yıl içindeki değişimi (A:Açık alan, L:ladin, G: Gökvar).....	150
Şekil 132. Açık alanı le Ladin ve Gökvar meşçeresi istasyonlarında yağış değerlerinin yıl içindeki değişimi (A:Açık alan, L:ladin, G: Gökvar).....	150
Şekil 133. Açık alan ve meşçerelerde yağış yoğunluğunun yıl içindeki değişimi	151
Şekil 134. Açık alan ve meşçerelerde yağış yoğunluğunun yıl içindeki değişimi	151

Şekil 135. Açık alan ve meşçerelerde yağış şiddetinin yıl içindeki değişimi	152
Şekil 136. Açık alan ve meşçerelerde yağış şiddetinin mevsimsel değişimi	152
Şekil 137. Açık alan ve meşçerelerde nispi nemin yıl içindeki değişimi	153
Şekil 138. Açık alan ve meşçerelerde nispi nemin mevsimsel değişimi	153
Şekil 139. Açık alan ve meşçerelerde hava sıcaklığının mevsimsel değişimi.....	154
Şekil 140. Açık alan ve meşçerelerde hava sıcaklığının mevsimsel değişimi.....	154
Şekil 141. Açık alan ve meşçerelerde toprak sıcaklığının yıl içindeki değişimi.....	155
Şekil 142. Açık alan ve meşçerelerde toprak sıcaklığının mevsimsel değişimi.....	155
Şekil 143. Meşçerelerde toprak neminin yıl içindeki değişimi	156
Şekil 144. Meşçerelerde toprak sıcaklığının mevsimsel değişimi.....	156
Şekil 145. Solar radyasyonun yıl içindeki değişimi	157
Şekil 146. Solar radyasyonun yıl içindeki değişimi	157
Şekil 147. Ortalama rüzgâr hızının yıl içindeki değişimi.....	158
Şekil 148. Ortalama rüzgâr hızının yıl içindeki değişimi.....	158
Şekil 149. Ladinde EC, TDS, pH, Sertlik, K, ve Na değerlerinin noktalara göre değişimi.....	159
Şekil 150. Kontrol ve Ladinde Ca, Mg, Fe, Cl, NH ₄ , NO ₃ , PO ₄ , SO ₄ ve tuzluluk değişimi.....	160
Şekil 151. EC, TDS, pH, Sertlik, K, ve Na parametrelerinin su toplama noktalarına göre değişimi (p<0.05, n=20). Kontrol: Brüt yağış, Gma: Gök nar meşçere altı yağış, Gga: Gök nar gövdeden akış, Gya: Gök nar yüzeysel akış, Gfiltre: Gök narda orman örtüsü intersepsiyon düzeneğinden toplanan su. Harfler (a,b,c) noktasal bazda istatistiksel farkı belirtmektedir.....	161
Şekil 152. Kontrol ve Gök narda Ca, Mg, Fe, Cl, NH ₄ , NO ₃ , PO ₄ , SO ₄ ve tuzluluk değişimi.....	162
Şekil 153. Çalışma alanından eş zamanlı elde edilen sularda renk değişimi. Açık alan (kontrol); Gök nar gövdeden akış: Ga, Gd, Gf; Gök nar meşçerealtı yağış: G2, G8, G10; Gök nar yüzeysel akış, Gök nar topraktan filtre olan. Ladin gövdeden akış: La, Le, Ld; Ladin meşçere altı yağış: L6, L9, L12; Ladin yüzeysel akış; Ladin topraktan filtre olan su.	163
Şekil 154. Saf su ve toplanan su numunelerinde aynı ortamdaki ışık geçirgenliği	163
Şekil 155. Açık alandaki rüzgâr hızının meşçerelerde azaltılma ve engellenme oranları .	165
Şekil 156. Açık alandaki yağış şiddetinin meşçerelerde azaltılma ve engellenme oranları	165
Şekil 157. Açık alandaki solar radyasyonun meşçerelerde azaltılma ve engellenme oranları	166
Şekil 158. Ladin ve Gök nar meşçerelerinde açık alana göre nispi nem tahmin modelleri	166
Şekil 159. Ladin ve Gök nar meşçerelerinde açık alana göre rüzgâr tahmin modelleri.....	167

Şekil 160. Ladin ve Gökmar meşçerelerinde açık alana göre solar radyasyon tahmin modelleri	167
Şekil 161. Ladin ve Gökmar meşçerelerinde açık alana göre hava sıcaklığı tahmin modelleri	167
Şekil 162. Ladin ve Gökmar meşçerelerinde açık alana göre toprak sıcaklığı tahmin modelleri	168
Şekil 163. Ladin ve Gökmar meşçere-altı yağışın brüt yağışa göre tahmin modeli.....	169
Şekil 164. Ladin ve Gökmar gövdeden akışın brüt yağışa göre tahmin modeli.....	170
Şekil 165. Ladin ve Gökmar yüzeysel akışın brüt yağışa göre tahmin modeli	171
Şekil 166. Ladin ve Gökmar meşçerelerinde filtrasyonun brüt yağışa göre tahmin modeli	172
Şekil 167. Ladin ve Gökmar meşçere çatısı intersepsiyonunun tahmin modeli	174
Şekil 168. Ladin ve Gökmar orman örtüsü intersepsiyonunun meşçere altı yağışa göre tahmin modeli	175
Şekil 169. Ladin ve Gökmar orman örtüsü intersepsiyonun yüzeysel akışa göre tahmin modeli	176
Şekil 170. Ladin ve Gökmar toplam orman intersepsiyonun brüt yağışa göre tahmin modeli	177
Şekil 171. Toplam çözünmüş maddeye göre diğer su kalite parametrelerinin tahmin modelleri-1	181
Şekil 172. Toplam çözünmüş maddeye göre diğer su kalite parametrelerinin tahmin modelleri-2.....	182
Şekil 173. İntersepsiyon bileşenlerinde TDS oranlarının mevsime bağlı değişimi.....	184
Şekil 174. 1 kapalı Ladin türü için meşçere orta çapına göre intersepsiyon denklemleri .	187
Şekil 175. 2 kapalı Ladin türü için meşçere orta çapına göre intersepsiyon denklemleri .	187
Şekil 176. 3 kapalı Ladin türü için meşçere orta çapına göre intersepsiyon denklemleri .	188
Şekil 177. 1 kapalı Gökmar türü için meşçere orta çapına göre intersepsiyon denklemleri	188
Şekil 178. 2 kapalı Gökmar türü için meşçere orta çapına göre intersepsiyon denklemleri	188
Şekil 179. 3 kapalı Gökmar türü için meşçere orta çapına göre intersepsiyon denklemleri	189

TABLULAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Farklı topraklarda, toprak solüsyonlarındaki pH aralıkları ve iyon bulundurma sıklığı (Osman,2013)	21
Tablo 2. 50-cm derinlikte yıllık ortalama sıcaklığa dayanan toprak termal rejimleri	31
Tablo 3. Farklı Arazi kullanımına göre Hidrolojik döngüdeki toplam buharlaşmanın oranları (Chang, 2003)	41
Tablo 4. Meşçere altı yağış ve gövdeden akış değerlerinin brüt yağışa göre hesaplanmış denklem değerleri ile tahmin edilmesi (Helvey, 1971).	46
Tablo 5. Orman yapısına bağlı olarak intersepsiyon bileşenlerinde su kalitesi içeriğindeki (ppm) değişimi (Pathak ve Singh, 1984'ten alınmıştır)	69
Tablo 6. Arap emirliklerinde 2 farklı yapılan bir çalışmadaki taban suyu kalite parametreleri ile Dünya sağlık örgütü (WHO) standartlarına göre karşılaştırılması (Khan vd., 2019)	73
Tablo 7. Orman örtüsü intersepsiyon hesap tablosu.....	139
Tablo 8. Ladinde toplam orman intersepsiyonunun (Lito) iklim parametreleri ile tahmini.....	178
Tablo 9. Göknarda toplam orman intersepsiyonunun (Gito) iklim parametreleri ile tahmini.....	179

KISALTMALAR DİZİNİ

AET	:Aktüel Evapotranspirasyon
ET	: Evapotranspirasyon
Gfiltre	: Göknaş Topraktan Filtre Olan Su
Gİm	: Göknaş Meşçere Çatısı İntersepsiyonu
Gİö	: Göknaş Orman Örtüsü İntersepsiyonu
Gito	: Göknaş Toplam Orman İntersepsiyonu
Gma	: Göknaş Meşçere Altı Yağış
Gya	: Göknaş Yüzeysel Akış
İm	: Meşçere Çatısı İntersepsiyonu
İö	: Orman Örtüsü İntersepsiyonu
İto	: Toplam Orman İntersepsiyonu
Lfiltre	:Ladin Topraktan Filtre Olan Su
Lİm	:Ladin Meşçere Çatısı İntersepsiyonu
Lİö	:Ladin Orman Örtüsü İntersepsiyonu
Lİto	:Ladin Toplam Orman İntersepsiyonu
Lma	:Ladin Meşçere Altı Yağış
Lya	:Ladin Yüzeysel Akış
PET	:Potansiyel Evapotranspirasyon
ppm	:Per Part Milion
YAI	:Yaprak Alan İndeksi
Yfiltre	:Topraktan Filtre Olan Su
Yga	:Gövdeden Akış
Yma	:Meşçere Altı Yağış
Ymat	:Meşçere Altı Toplam Yağış
Ynet	:Net Verimli Yağış
Yt0	:Brüt Yağış
Yya	:Yüzeysel Akış

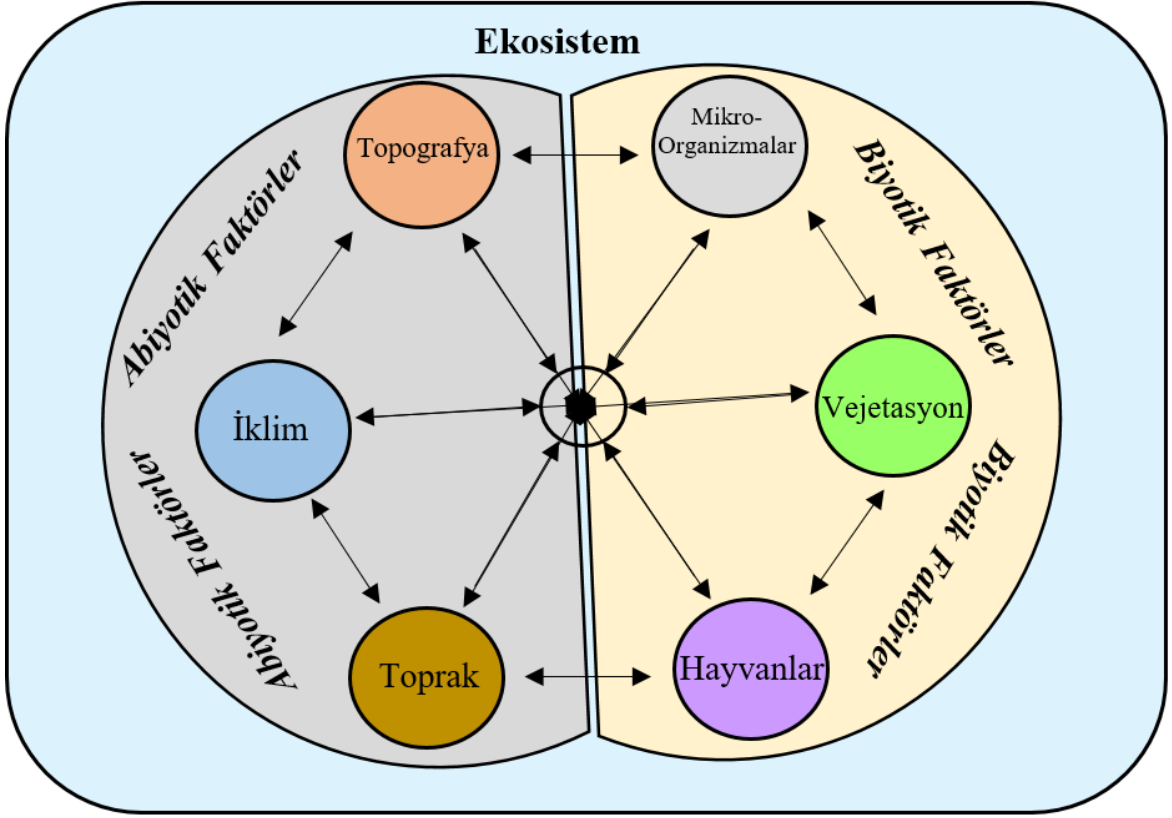
1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

İçinde bulunduğumuz yüzyılın en önemli çevre sorunlarının başında “küresel ısınma ve iklim değişikliği” ile “erozyonla toprak kaybı” ve “su kıtlığı” gelmektedir (Costanza ve Jorgense, 2002). Bu sorunlar üzerinde, karasal ekosistemlerin önemli bir kısmını teşkil eden orman ekosistemleri önemli roller üstlenmiştir. Ülkemizde, ormanlar ülke yüzölçümünün yaklaşık %27,6’sını oluşturmaktadır (OGM, 2014). Bu oran dünya ortalamasına yakın gibi görünse de ormanlarımızın yaklaşık %50 si bozuk ve verimsiz olarak nitelendirilmektedir. Bu nedenle var olan ormanlarımızı sürdürülebilir bir şekilde yönetirken diğer yandan da bozuk olan orman alanlarımızı rehabilite etmek gerekmektedir. Bu hususta orman alanlarımızın yapı ve fonksiyonu ile yetişme ortamının analiz edilmesi büyük önem arz etmektedir.

Bitkisel biyokütlenin büyük bir kısmını teşkil eden (Houghton, 2005) orman ekosistemleri, belirli bir bölgede canlı (biyotik) ve cansız çevrenin (abiyotik) etkileşimi sonucu oluşmuş birçok ekolojik ilişkiyi bünyesinde barındıran (Şekil 1) eşsiz yapılardır (Odum, 1971). Daha da önemlisi orman ekosistemleri, toprak ve bitki örtüsü ile birlikte ekolojik, ekonomik ve sosyal fonksiyonlara sahip sistemler olarak karşımıza çıkmaktadır (Blanco ve Lo, 2012). Bir su toplama havzası bazında değerlendirildiğinde ise; havza hidrolojisini, ortamdaki besin döngüsü ile su kalitesini düzenleme ve yaşam için bir ortam oluşturma fonksiyonları ön plana çıkmaktadır (Pater ve McReynolds, 2005).

Ormanlar, geçtiğimiz yüzyıla kadar ülkemizde odun hammaddesi ihtiyacını karşılamak için ekonomik amaçlı işletilip yönetilmekteydi (Asan, 1989). Ancak 1990’lı yıllardan sonra orman ekosistemlerinin toprak ve bitki örtüsü ile birlikte ekolojik, ekonomik ve sosyal fonksiyonlara sahip bir sistemler bütünü olduğu anlaşılmış (Asan, 1990-1992-1995) ve 2008 yılında orman amenajman yönetmeliği geliştirilerek planların “Ekosistem Tabanlı Fonksiyonel Planlama” yaklaşımı ile yapılması uygun görülmüştür (OGM, 2014). Bu kapsamda, küresel bazda ve yerel ölçekte, ekosistem tabanlı amenajman planları yapılmaya başlanmıştır (Burger vd., 2010; Zengin vd., 2013).



Şekil 1. Ekosistemi oluşturan temel bileşenlerin karşılıklı etkileşimi (Altun vd., 2017'den değiştirilerek)

Ormanlarımızı fonksiyonlara ayırarak ekosistem tabanlı çok yönlü işletilmesine yarayacak olan “Ekosistem Tabanlı Orman Amenajman Planlarının Düzenlenmesine ait Usul ve Esaslar” şeklindeki tebliğ 03.02.2015 tarihi itibariyle yürürlüğe girmiştir. Bu tebliğde ormanlar üç ana fonksiyona (ekonomik, ekolojik ve sosyal) ayrılmış ve bu ana fonksiyonlar da Eraslan’a (1982) göre aşağıdaki gibi alt fonksiyonlara ayrılmıştır. Bu fonksiyonları belirleyen ölçüt ve göstergeler ilgili tebliğde tanımlanmıştır (Şekil 2). Buna göre, hidrolojik fonksiyon her ne kadar sosyal fonksiyonun altında tanımlanmış olsa da orman ekosistemlerinin sahip olduğu hidrolojik özellikler, ekolojik ve ekonomik fonksiyonları önemli derecede etkilemektedir (Chang vd., 1982; Cotrone, 2016; Chang, 2003; Pater ve McReynolds, 2005).

Daha da önemlisi, ekolojik süreçlerin karmaşıklığı ve canlı-cansız birçok ilişkiyi bünyesinde barındırması nedeniyle, orman ekosistemlerinin ekolojik fonksiyonunu belirlemek, sosyal ve ekonomik fonksiyonunu belirlemekten daha zor ve zaman alıcı bir olgudur. Orman ekosisteminde bu fonksiyonların birbirini etkileme potansiyeline sahip

olduğu olgusu ekosistem araştırmalarında ön plana çıkmaktadır. Bu yüzden fonksiyon parametrelerinin bütüncül bir yaklaşımla değerlendirilmesi gerekmektedir.

Ekonomik	Ekolojik	Sosyokültürel
<ul style="list-style-type: none"> Orman ürünleri üretim fonksiyonu 	<ul style="list-style-type: none"> Doğayı koruma fonksiyonu Erozyonu önleme fonksiyonu İklim koruma fonksiyonu 	<ul style="list-style-type: none"> Hidrolojik fonksiyon Toplum sağlığı fonksiyonu Ekoturizm ve rekreasyon fonksiyonu Ulusal savunma fonksiyonu Estetik fonksiyon Bilimsel fonksiyon

Şekil 2. Orman Amenajman Yönetmeliği kapsamında 299 nolu tebliğe göre ormanların ana ve alt fonksiyonları

Orman ekosistemlerinde hidrolojik parametreler, birçok ekosistem fonksiyonunu özellikle de toprak kaybını etkileyen faktörlerin başında gelmektedir. Örneğin bir yağış havzasında toprak kaybını tahmin eden birçok model ve denklem geliştirilmiştir (Wilson, 2003). Su erozyonu ile toprak kayıplarının belirlenmesinde USLE (Universal Soil Loss Equation) ve RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) yaygın olarak kullanılmaktadır. USLE, Wischmeier ve Smith (1978) tarafından geliştirilmiş ve dünya genelinde yaygın olarak kullanılmıştır. Daha sonra bu model revize edilerek RUSLE adını almıştır (Renard vd., 1997) (1). RUSLE, yıllık ortalama toprak kaybını hesaplamaktadır. Formül ise şu şekildedir;

$$A = R * K * L * S * C * P \quad (1)$$

A = Hesaplanan yıllık ortalama toprak kaybı (ton/hektar/yıl), R = Yağış-Yüzeysel akış erozovite faktörü, K = Toprak erodobilite faktörü, L = Eğim uzunluğu faktörü, S = Eğim dikliği faktörü, C = Bitki örtüsü faktörü, P = Koruma uygulama faktörü

Üretilen bu model ve denklemlerde toprak, iklim faktörleri ve vejetasyon özellikleri ile hidrolojik özelliklere dâhil olan yağış-yüzeysel akış ilişkisinin önemli bir yeri vardır. Yağış-akış ilişkisi de bir orman ekosisteminde, intersepsiyondan önemli derecede

etkilenmektedir (Zinke, 1967). Ancak, hidrolojik döngünün önemli bir kısmını oluşturan intersepsiyon gibi ekolojik ve hidrolojik süreçlerin etkisi yeterince modellere yansıtılmamıştır. Bununla birlikte orman ekosistemlerinin sunmuş olduğu ürün ve hizmetler ile sahip olduğu fonksiyonlar, yetişme ortamının hidrolojik özelliklerinden doğrudan ve dolaylı olarak etkilenmektedir.

Günümüzde bir yandan orman ekosistemlerinin ekosistem tabanlı fonksiyonel planlarla işletilmesi amaçlanırken; diğer yandan da daha mikro-ekolojik yaklaşım olan entegre havza yönetimi literatüre girmiş (German vd., 2007), bir su toplama havzasının kendine özgü arazi yapısı, fonksiyonu, hidrolojik, ekolojik ve sosyal özellikleri ve bunların birbirinden etkilenen bir bütünü teşkil etmesi nedeniyle “Entegre Havza Yönetimi” anlayışı benimsenmiştir (Anonim, 2005; anonim, 2011; USDA, 2008, Wang vd. 2016). Ülkemizde ise 2014-2023 yıllarını kapsayan Başbakanlık ve birçok bakanlığın dâhil olduğu “Ulusal Havza Yönetimi Stratejisi” belirlenmiştir. Hatta orman amenajman planlarının havza bazında entegre havza yönetimi anlayışı ile yapılması gerekmektedir ki birçok ülkede bu yönde planlar yapılmaya başlanmıştır (Clark, 2013).

Yetişme ortamının ekolojik özellikleri, özellikle de ormanların sahip olduğu hidrolojik özellikler, ortamda bulunan orman ekosistemlerinin sahip olduğu fonksiyonları doğrudan etkileyen parametrelerin başında gelmektedir (Burger, vd.,1999-2010). Bu nedenle hem entegre havza yönetim planları için hem de orman amenajman planları için mevcut ekosistemin hidrolojik özelliklerinin ekonomik olarak pratik bir şekilde belirlenmesi hayati bir önem taşımaktadır. Daha da önemlisi, orman kaynaklarının sürdürülebilirliği ve ekosistem fonksiyonlarının belirlenmesi açısından da ormanların sahip olduğu ekolojik ve hidrolojik özellikler ön plana çıkmakla birlikte orman ekosistemleri ile su çevrimi arasında karşılıklı süregelen bir ilişkinin de varlığı söz konusu olmaktadır.

Ormanlarla birlikte, suyun oluşumu, dağılımı ve dolaşımı modifiye edilir; su kalitesi artar ve yağış-akış ilişkisi düzenlenirken su erozyonunun neden olduğu toprak kaybı azaltılarak dere akımı rejimi düzenlenir (Chang, 2003). Nitekim, su ve ormanlar birbirlerini büyük ölçüde etkileyerek sıcaklık ile birlikte canlıların yeryüzünde konumsal dağılımında önemli roller üstlenir.

Suyun bilimsel incelenmesi olarak adlandırılan Hidroloji, yer bilimlerinin bir koludur ve yeryüzünde suyun çevrimi ve sorunları ile ilgilenir. Hidroloji bilimi su kaynakları, arazi kullanımı koşulları ve disiplinler arası çalışma şeklinde gruplandırılarak bunlar alt başlıkta incelenir. Arazi kullanımı kapsamında incelenen “Orman Hidrolojisi”, ormanlık

bölgelerdeki hidrolojinin bir çalışmasıdır. Suyun her safhasındaki orman ve ormancılık aktiviteleri ile ilgilenen disiplinler arası bir bilimdir. Bu nedenle, orman örtüsünün tüm etkileri ile birlikte orman amenajmanı ve aktivitelerinin yağış, dere akışı, intersepsiyon, toprak suyu, seller, kuraklık, toprak erozyonu, sediment verimi, bitki besin kayıpları ve su kalitesi üzerine etkileri, orman hidrolojisinin kapsamı içindedir.

Orman hidrolojisi, ormanlık havzalarda su kaynaklarını yönetmek için bilimsel ve ekolojik altyapı ve veri sağlar. Orman hidrolojisinde yer alan konular Penman (1963), Monke (1971), Lee (1980) ve Black (1996) tarafından detaylı olarak tartışılmıştır. Orman-su ilişkilerindeki bitki-su ilişkilerine dair konular "ekohidroloji" (Baird ve Wilby, 1999) ya da "çevresel hidroloji" (Ward ve Trimble, 2004) olarak adlandırılabilir.

Bir havzada, orman ekosistemlerinin sunmuş olduğu ürün ve hizmetler ile sahip olduğu fonksiyonlar, üzerinde bulunduğu meşçere yapısından ve yetiştirme ortamı özelliklerinden önemli derecede etkilenmektedir. Bu nedenle meşçerenin sahip olduğu ekolojik ve hidrolojik özelliklerin belirlenmesi bir yandan meşçere dinamiği hakkında bilgi verirken diğer yandan mevcut orman alanlarının işlev ve fonksiyonlarını bilimsel olarak belirlemede yol gösterici olabilir.

Orman ekosistemlerini konu alan hidrolojik tabanlı bir çalışmaya girildiğinde meteorolojik parametrelerin göz ardı edilmemesi gerekmektedir ki en uygun fonksiyonel modellerin de bu yolla elde edilebileceği bu alan üzerinde araştırmalar yapan bilim insanları tarafından tavsiye edilmektedir (Sheil, 2018). Daha da önemlisi meteorolojik parametrelerin hidrolojik döngü elemanlarını etkilemesinin yanı sıra orman örtüsü ve kapalılık gibi ekolojik faktörlerin de hidrolojik döngü elemanlarını etkilediği bir gerçektir. Örneğin bir kent ekosistemindeki endüstriyel faaliyetlerle birlikte açığa çıkan kirletici partiküllerin hava olayları ile orman ekosistemlerine taşınımı sonucu istenmeyen birtakım ekolojik etkiler meydana gelebilir. Bu yüzden ekolojik ve hidrolojik tabanlı çalışmalarda niceliksel ölçümlerin yanı sıra su kalitesi gibi niteliksel parametreleri de belirlemek gerekmektedir. Kısaca, orman ekosistemi gibi açık sistemlerde, hidrolojik araştırmaları konu alan çalışmalarda, meteorolojik parametrelerin entegre olarak kullanılmasının yanında, ekolojik parametreleri de model girdilerinin bir parçası olarak eklenmesi gerekir. Öyle ki; intersepsiyon orman ekosisteminde hidrolojik bir parametre olarak değerlendirilirken evaporasyon ürünü olduğu için aslında meteorolojik bir parametre olarak da değerlendirilebilir; ölü örtü ayrışmasına etki ettiği için de aynı zamanda ekolojik bir parametre olarak da değerlendirilebilir. Brüt yağış ve sıcaklık meteorolojik bir parametre

olarak değerlendirilirken aynı zamanda bu parametreler orman intersepsiyonuna etki ettiği için hidrolojik parametrenin bir parçası olarak da düşünülebilir. Orman ekosistemlerinde yaprak alanı meşçere yapısının önemli bir morfolojik bileşeni olarak değerlendirilmekte birlikte, YAI'yi doğrudan etkileyerek intersepsiyon üzerinde önemli bir rol oynar ve hidrolojik etkiye sahip bir parametre olarak da değerlendirilebilir. Bunun yanı sıra organik madde döküntü (litterfall) oranını ve ayrışma sürecini önemli derecede etkileyerek ekolojik etkiye sahip bir parametre olarak da ön plana çıkar. Özetle görüldüğü üzere özellikle orman ekosistemi gibi açık ekosistemlerde bir değişkenin ekolojik, meteorolojik ve hidrolojik fonksiyona aynı anda sahip olabileceği ya da hidrolojik bir parametre olarak ekolojik ve meteorolojik özelliklere etki edebileceği değerlendirilmektedir.

Bu araştırmada, ülkemiz için önemli türlerden olan ve Doğu Karadeniz Bölgesi'nde yayılış gösteren doğu ladini (*Picea orientalis* L.) ve Doğu Karadeniz Gökmarından (*Abies nordmanniana* subsp. *nordmanniana*) oluşan saf meşçelerde hidrolojik döngünün önemli parametrelerinden biri olan intersepsiyon bileşenleri ve ekolojik etkileri ile meteorolojik özelliklerinin 21 aylık bir sürede modern yöntemler ile izlenerek yüksek doğrulukta, ekonomik ve pratik bir şekilde tespit edilmesi amaçlanmıştır. Bunun yanı sıra çalışma alanı topraklarının hidro-fiziksel özellikleri detaylı olarak belirlenmiştir. Bu şekilde ekosistem tabanlı orman amenajman planları ile entegre havza yönetimi planlarına veri sağlamak ve literatürdeki boşluğu doldurmak amaçlanmıştır.

1.2. Literatür Özeti

1.2.1. Ormanların Temel Ekolojik Fonksiyonları

Ormanlar, biyosferdeki en büyük sistemlerden biridir. Tüm ağaçların gövdesi, tepe yapısı, kök sistemleri ve orman ölü örtüsünün çevreye etki eden bütünleşik oluşumu, orman ekosistemlerinin ekonomik fonksiyonunun dışında ekolojik fonksiyonlarını oluşturmaktadır. Suyun çevriminde, orman ekosistemleri, sahip olduğu kendine has vejetasyon özelliği sayesinde hidrolojik döngüde önemli bir rol üstlenirken, ağaçların tepe çatısı, kök ve gövdeleri de aynı zamanda birçok ekolojik ve biyolojik işlevi yerine getirebilmektedir. Ekolojik ve hidrolojik fonksiyon açısından, ormanlar su miktarını ve kalitesini etkiler. İlk olarak, mineral toprağa ulaşan yağış miktarını ve şiddetini meşçere çatısı intersepsiyonu ile azaltır. Daha sonra kök-gövde-yaprak sistemi yoluyla havaya transpirasyonla büyük

miktarda toprak nemi aktarılır. Sonuç olarak, kök sistemleri, organik madde ve ölü örtü, infiltrasyon hızını ve toprakta nem tutma kapasitesini artırır. Tüm bu işlemlerin sonunda, bir havzada ormanlık alanda yüzeysel akış miktarı ve süresi ile su verimi ormansız alana göre daha düşük olur. Yüzeysel akış miktarının azalması ile derelere taşınan sediment miktarı da azalmakta ve su kalitesi de daha fazla olumsuz etkilenmemektedir (Chang, 2003).

Klimatolojik fonksiyon açısından ormanların belki de en büyük ölçekli iklimsel işlevi karbon bağlamasıdır. Karbondioksit en önemli sera gazını oluşturmaktadır (Houghton, 1997) ki son yıllarda atmosferdeki CO₂ konsantrasyonlarındaki istikrarlı artış, küresel ısınmanın ana nedeni olarak kabul edilmektedir. Fotosentez yoluyla bitkiler tarafından alınan CO₂'nin yaklaşık yarısı solunumla atmosfere geri döndürülmekte ve diğer yarısı bitkilerde karbon olarak depolanmaktadır (Pidwirny, 2010). Ormanlarda karbon depolaması yaklaşık 315 Mt CO₂/ha iken mera ve tarım alanlarında bu değer yalnızca 56 Mt CO₂/ha'dır (Gorte ve Sheikh, 2010).

Biyolojik fonksiyon kapsamında, ormanlar, belli bir çevrede yaşayan ve düzgün gelişen bir dizi fauna ve flora için yaşam alanı sağlar. Sadece dünyadaki yaşam için genetik havuzlar değil, aynı zamanda biyosferin istikrarı ve yaşanabilirliği açısından da önemli bir rol oynamaktadır. Dünyada yaklaşık 1.360.000 adet tespit edilmiş hayvan türü olduğu, insan olmayan primatların yaklaşık %90'nın, yırtıcı kuşların %40'nın ve böceklerin % 90'nın tropikal yağmur ormanlarında yaşadığı bildirilmektedir (Mader, 1998).

Sosyo-ekolojik fonksiyon olarak da geniş alanlarıyla, yaban hayatıyla ve temiz hava ile serin ve gölgeli ormanlar, insanların gerginlik, stres ve telaşlı faaliyetlerden uzaklaşp rahatlamak için ideal bir ortam sağlar. Özellikle doğada mevsimsel değişime bağlı olarak ortaya çıkan güzellikleri en güzel şekilde sergileyen ormanlar, insana mutluluk verici ve huzurlu hissettirici bir özelliğe sahiptir. Ayrıca yürüyüş ve bisiklet gibi aktif ulaşım araçları, fiziksel aktivite katmakta ve obeziteyi azaltmaktadır. Bununla birlikte hava kirliliğine neden olacak ve gürültü kirliliği oluşturacak araçların kullanılmaması da toplum sağlığı için önemli olduğu bildirilmektedir (Pikora vd., 2003, Wolch vd., 2014).

Mekanik fonksiyon olarak ormanların bahsedilen ekolojik, hidrolojik ve klimatolojik işlevleri, kökler, meşçere çatısı ve ölü örtüden kaynaklanmaktadır. Bununla birlikte, daha kabul gören mekanik bir işlev, ormanın su ve rüzgâr erozyonu üzerindeki etkisidir. Ormanlar, topraktaki su erozyonunu kontrol altına almak için en etkin araçtır (Chang vd., 1982; Cotrone, 2016). Meşçere çatısı intersepsiyonu ve transpirasyonu ile yüzeysel akışı azaltmaktadır. Organik horizon ve kök sistemi sayesinde toprak gözenekliliğini

arttırmaktadır. Orman, ölü örtüsü sayesinde infiltre olan suyun hızını yavaşlatmakta ve meşçere çatısı intersepsiyonu ile yağmur damlalarının hızını kesmektedir. Toprak agregalarını arttırarak köklerin bağlanması ile destek görevi görür. Tüm bu özellikleri sayesinde ormanlık alandan toprak kaybı açık alan göre çok daha az olmaktadır (Chang, 2003).

1.2.2. İklim Değişikliği ve Orman Ekosistemi İlişkileri

İçinde bulunduğumuz yüzyılın en önemli çevresel sorunlarından biri olan iklim değişikliği ve küresel ısınmanın önümüzdeki zaman sürecinde birçok yıkıcı etkisinin olabileceği yapılan çalışmalarda bildirilmektedir. 21. yüzyılın sonunda, ülkelerin pek çok bölgesinde bitki örtüsünün dağılımında değişiklikler yaşanabilir. Ülkemizde bununla ilgili bazı iklim senaryoları oluşturulmuştur (ÇŞB, 2012; Nacar, 2020). Nemli alanların daha fazla nemli olacağı, iç ve güneydoğu Anadolu bölgesi gibi kurak ve yarı-kurak bölgelerin ise daha da kuraklaşarak orman ekosistemlerinin çekilebileceği ve yerine otsu türlerin gelebileceği öngörülmektedir. Ancak bu konuda kesin bir hükme varmak doğru olmayabilir. Çünkü bitki toplumlarının adaptasyonunu ve evrimsel gelişimini modellemek gerçekten de güç bir iştir. Ama en azından yakın bir gelecekte, biyojeokimyasal değişimlerin ekolojik davranışlar üzerinde etkili olabileceğini söylemek mümkündür. Burada değişimlerin yoğunluğu, hidrolojik döngü ve karbon döngüsüne dayanan değişiklikleri içermektedir. Bu değişimler sıcaklık, yağış, solar radyasyon, toprak tekstürü ve atmosferik CO₂ gibi ekolojik parametrelerden etkilenmektedir. Bu doğal döngüler, bitkiler tarafından fotosentez ile karbon bağlanmasını, topraktaki azot sürecini ve transpirasyon ve evaporasyon gibi su iletim süreçleri üzerine etki ederek bitki verimliliğini etkiler (Casper, 2010). Bu kapsamda ekosistem tabanlı yağış akış- ilişkilerini de içine alan eko-hidroloji ve meteoroloji çalışmaları önemli roller üstlenecektir.

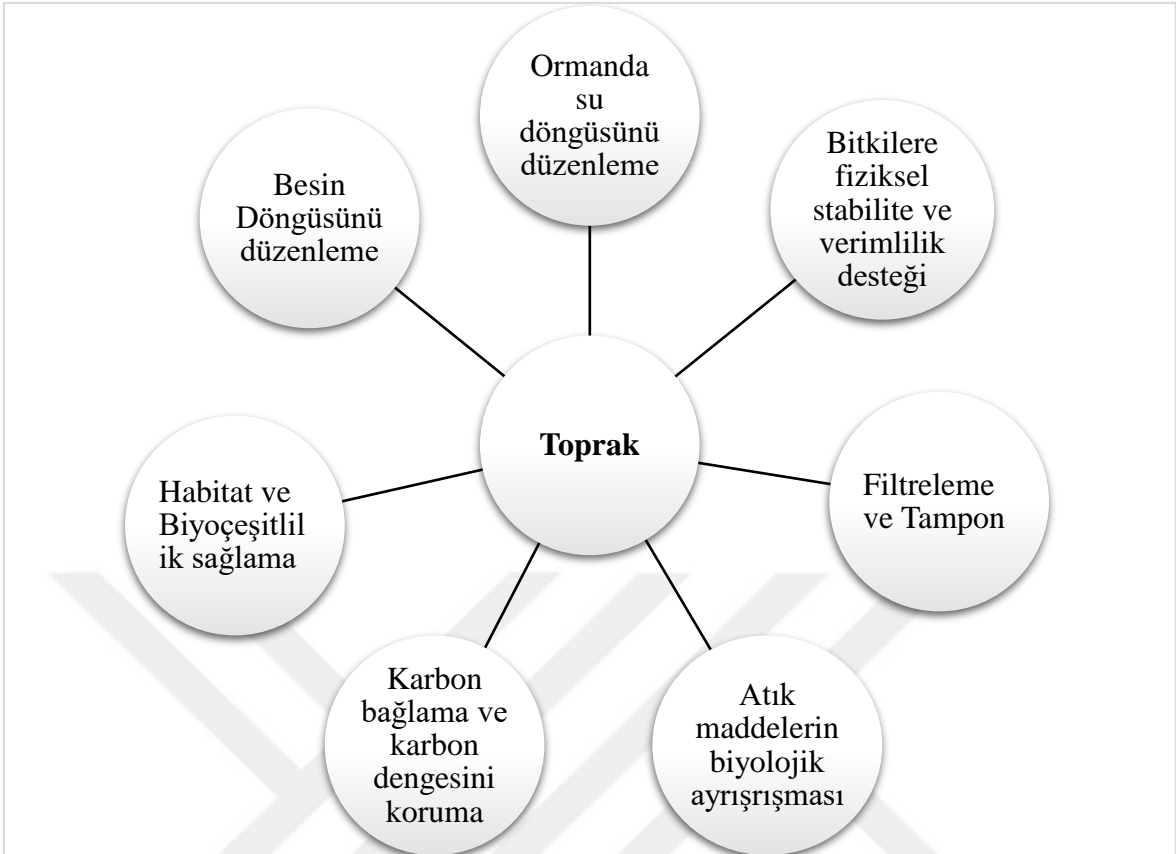
Kanada hükümetinin araştırmalarına göre önümüzdeki 100 yıl içinde ekosistemde olabilecek etkiler belirtilmiştir (Casper, 2010) ve bu etkilerin büyük bir kısmı ekolojik, hidrolojik ve meteorolojik etmenler üzerinde yoğunlaşmaktadır. Buna göre iklim değişikliğinin olası olumsuz sonuçları arasında kentsel yapıyı etkileyecek olan sel ve erozyon riski ile deniz seviyesinde bir artış olacağıdır. Bununla birlikte içebilir suyun kalitatif ve kantitatif özellikleri kuraklığın artması ile birlikte olumsuz etkilenebilecektir. İklimsel olarak kış fırtınaları, seller, kuraklık, sıcaklık dalgalanmaları ve kasırgaların daha

sık ve şiddetli yaşanacağı bildirilmektedir. Daha da önemlisi daha sıcaklık koşulları su kaynaklarını azaltacak bu da bitki ve hayvan toplumları üzerinde olumsuz sonuçlar doğuracaktır. Nehir ve göllerdeki su seviyesi kuraklıkla birlikte azalacak ve içilebilir su olumsuz etkilenecektir. Bunun yanı sıra, nehir ve akarsuların taşımacılık, dinlenme ve su ürünlerinden faydalanma fonksiyonu azalacak, hidroelektrik santraller vasıtasıyla elektrik enerjisi üretebilme kapasitesi sekteye uğrayacaktır. Ancak bununla birlikte diğer bölgelerdeki su seviyeleri yağışların artmasından dolayı artarak yıkıcı taşkın ve sellere neden olabilecektir. Bu yıkıcı etkilerden balıkçılık ve sucul ekosistemler de su sıcaklığının değişmesinden dolayı olumsuz etkilenebilecektir. Orman ekosistemlerinde kuraklık ve doğal yangın oranlarında bir artış meydana gelebilecek ve böcek ve mantarlar gibi hastalık yapıcı etmenler görülmeye başlayacaktır. Bazı bölgelerde daha sıcak iklim koşulları ticari tarıma faydalı olacak bir büyüme mevsiminde dunsuz zaman periyodunun 3 ila 5 hafta uzamasına izin verebilecek iken, diğer bölgelerde daha kurak topraklar ve su noksanlığı tarımsal ürün verimi üzerinde olumsuz etkiler oluşturabilecektir.

1.2.3. Toprak-Bitki-Atmosfer İlişkileri

Orman ekosistemleri, toprak ve bitki örtüsü ile birlikte ekolojik, ekonomik ve sosyal fonksiyonlara sahip sistemler olarak karşımıza çıkmaktadır (Blanco ve Lo, 2012). Kendine özgü yapı ve fonksiyona sahip, ormanlara yaşam alanı sağlayan ve aynı zamanda orman ekosistemini oluşturan faktörlerin başında toprak parametresi gelmektedir. Orman ekosistemlerinde toprağın birçok fonksiyonu vardır ve aynı anda birçok işlevi yerine getirebilir (Burger ve Keltling, 1999; Nortcliff, 2002; Garrigues vd., 2012) (Şekil 3). Bir su toplama havzası bazında değerlendirildiğinde ise; havza hidrolojisini düzenleme, ortamdaki besin döngüsünü düzenleme, su kalitesini düzenleme ve yaşam için bir ortam oluşturma fonksiyonları ön plana çıkmaktadır (Pater ve McReynolds, 2005).

Atmosferik aerosoller yaygın atmosferik koşullar altında su buharı, atmosferik parçacıklar veya damlacıklar (aerosoller) olmadan ne donar ne de yoğunlaşır, bu nedenle bunlar bulutlar ve yağış üzerinde büyük bir etki yapabilir (Després vd., 2012). Bu aerosollerin bolluğundaki, karakterindeki veya dinamiklerindeki herhangi bir değişiklik su döngüsünü etkileyebilmektedir (Rosenfeld ve diğerleri 2008). Örneğin, artan aerosol yoğunlukları hem bulut örtüsünü hem de çökmeyi artırabilir veya azaltabilir (Rosenfeld vd., 2008) ve ilişkili atmosferik davranışları etkileyebilir (Koren vd., 2014)



Şekil 3. Orman ekosistemlerindeki toprağın ana fonksiyonları

Aerosollere duyarlılık, konvektif yaz fırtınalarının yoğunluğunun ve Amerika Birleşik Devletleri'nin doğusunda kasırga ve dolu fırtınalarının oluşumunun hafta içi kirlilik tarafından belirlenen yedi günlük bir döngüyü izlediğini gösteren gözlemlerle gösterilmektedir (Bell vd., 2009). Atmosferik aerosol partikülleri arasında mineral tozu, duman ve deniz tuzları bulunurken, bakteriler, arke bakteriler, virüsler, polenler, sporlar ve organik kalıntılar gibi birçok biyolojik materyal de söz konusudur (Després vd., 2012; Fröhlich-Nowoisky vd., 2016). Araştırmacılar, atmosferdeki biyolojik parçacıkların bolluğunun “atmosfer bilimcileri tarafından hafife alındığını” belirttiler ve bir çalışmada, her yıl yaklaşık bir petagram (Pg) veya 1012 kilogram (kg) bu tür biyolojik parçacıkların atmosfere girebildiğini rapor ettiler. Bununla birlikte mineral tozu (~ 2.0 Pg) ve deniz tuzu (3.29 Pg) ile karşılaştırılabilir bir değer olduğunu bildirmişlerdir (Jaenicke vd., 2007).

Orman ekosistemi üzerindeki parçacıklar genel olarak zayıf bir şekilde karakterize edilmeye devam etmektedir; ancak değerlendirmeler, bunların çeşitli olduklarını ve çoğunun (oran belirsizdir) Amazon üzerinde biyolojik potasyum (K^+) açısından zengin tozlar olduğunu göstermiştir (Poehlker vd., 2012). Özellikle genetik materyalin çok küçük izlerini

tespit edip ayırt edebilen yöntemler kullanan güncel araştırmalarda, bulutlarda organizmaların ve organizma parçalarının bolluğunu ve çeşitliliğini ortaya çıkarmıştır (Xu vd., 2017). Örnek olarak, bir çalışmada Fransa'daki (Dôme Dağı Meteoroloji İstasyonu) bir bölgeden alınan üç bulut su numunesi toplanmış ve 28.000'den fazla farklı bakteri türünden (30 filum ve 286 cins) 2600 ökaryotla (12 filumdan) genetik materyal tespit edilmiştir (öncelikle mantarlar). Çoğu tür, bitki epifitleri, patojenler veya endosimbionlar olarak görünmektedir. Tespit edilen tüm bu organizmaların önemli bir kısmı aktif ve metabolize olabildiği (tespit edilebilir RNA üretiyor) (prokaryotların% 26,4'ü ve ökaryotların% 82'si) bildirilmiştir (Amato vd., 2017).

1.2.3.1. Orman Ekosistemlerinde Organik Madde Döngüsü

Orman ekosistemlerinde, dökülen yapraklar, dallar, kabuklar, sürgünler, çiçekler, meyveler vb. maddelerden oluşan ve toprak üstünde adeta bir halı gibi serili olan devamlı bir ölü örtü tabakası mevcuttur. Organik madde döküntüsü, bitki örtüsünden toprağa element transferi için önemli bir biyolojik yolu temsil eder (Yang vd., 2005).

Karasal net birincil üretimin önemli bir kısmı, ağaçlardan organik madde olarak orman tabanına ve ardından besin havuzuna verilerek geri dönüştürülür. Orman ekosistemlerinde, toprağa gelen döküntüler, toprakta aşırı yıkanma nedeniyle tükenen besin havuzunun yenilenmesini sağlar (Gosz vd.,1976; Parker 1983) Bu nedenle organik döküntüler, doğal ekosistemlerdeki doğal gübreler olarak orman örtüsünün gelişiminde önemli roller üstlenmiştir. Ayrıca Orman ekosistemlerinde ölü örtünün yüzeysel akış ve erozyon miktarı üzerinde önemli bir etkisi olduğu bildirilmiştir (Livesley vd., 2014).

Yıllık organik madde döküntüsünün miktarı, yeryüzünde yayılış gösteren orman ekosistemlerinde ekolojik faktörlere göre ve orman kompozisyonuna bağlı olarak önemli farklılıklar gösterir. Danimarka'da Douglas göknarı, Sitka ladini, Avrupa ladini, Avrupa kayını ve Saplı meşe türlerinden oluşan karışık bir meşçerede ve 3 yıl süren bir araştırmada (Hansen vd. 2009) yıllık organik döküntü miktarının 3,20-3,70 ton/ha olduğu tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra toplam organik madde döküntüsü, Batı Afrika tropiklerindeki yağmur ormanlarında yıllık 7,0-14,1 ton/ha olarak ölçülmüş iken Akdeniz iklim kuşağında ise bu değer yaklaşık 2,0-9,2 ton/ha olduğu Osman (2013) tarafından yapılan detaylı literatür araştırmasında bildirilmiştir.

Orman ekosistemlerinde yıllık organik madde döküntüsü makro ve mikro ölçekte, vejetasyon tipi, yükselti, iklim, topoğrafya, toprak tipi ve mevsimlerden önemli derecede etkilenmektedir. Yıllık organik madde döküntüsü, tropikal ormanlarda ortalama 10 ton/ha/yıl iken ılıman kuşakta yayılış gösteren ormanlarda bu değer 5 ton/ha/yıl ve kuzey boreal ormanlarında ise <3 ton/ha/yıl olarak rapor edilmiştir (Osman, 2013). Buna göre yıllık döküntü miktarı genel olarak kutuplardan ekvatora doğru artma eğilimi göstermektedir. Mikro ölçekte toprak özellikleri değerlendirildiğinde, kumlu topraklarda yıllık döküntü miktarı 5,6 ton/ha' a kadar düşer iken, nispeten verimli topraklara sahip yetişme ortamındaki ormanlarda bu oran 12,6 ton/ha' kadar çıkabilmektedir. İklim faktörünün bir sonucu olarak da organik madde döküntüsünün miktarı, mevsimlere bağlı değişimler göstermektedir. Kadeba ve Aduayi (1985) tarafından çam ormanlarında (*Pinus caribaea*) yapılan çalışmada, en yüksek döküntü miktarı ilkbaharda gerçekleşir iken Dimock (1958) tarafından Douglas ormanlarında maksimum döküntünün sonbaharda gerçekleştiği rapor edilmiştir. Bununla birlikte yaz başında da maksimuma ulaştığını bildiren (Caritat vd., 2006) çalışmalar da mevcuttur. Bu sonuçlarla döküntü miktarına etki eden mevsimsel faktörün vejetasyon periyodu ve türlerin fizyolojik özellikleri ile ilişkisinin olduğunu değerlendirmek mümkündür.

Organik madde döküntüsünün bileşeni ya da içeriği değerlendirildiğinde, organik döküntülerin ayrışması karmaşıktır ve fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçleri içerir. Bozunma sürecine bağlı olarak organik maddeyi oluşturan bileşikler de farklı zaman diliminde ayrışmaya başlar. Toprak yüzeyine düşen bitki parçaları, bünyesinde çözünebilen şekerler, fenolikler, hidrokarbonlar ve gliseridler gibi organik maddeleri barındırır ve bunlar su tarafından kolayca yıkanılır. Bu süreçler iklim koşulları tarafından önemli derecede etkilenir (Shi, 2013).

Ayrışma, bir materyalin fiziksel olarak parçalanması anlamına gelir (genellikle kütle kaybı olarak ölçülür), mineralizasyon ise bitki alımı için mevcut olan inorganik besinlerin salınmasını ifade eder. Ayrışma, öncelikle toprak mikroorganizmalarının enzimatik faaliyetlerinden kaynaklanan ve toprak faunasının faaliyetlerinden çeşitli şekillerde etkilenen biyolojik bir süreç olarak tanımlanmaktadır (Visser, 1985). Aynı zamanda, toprakta bulunan mikroorganizma ve dış koşulların (rüzgâr, yağış, nem, sıcaklık vs.) etkisi altındaki büyük parçalı organik döküntüler, fiziksel olarak küçük parçalara ayrılır. Bu da mikrobiyal komünite için geniş bir yüzey alanı oluşturur ve bunların aktivitesini hızlandırır. Hızla artan mikroorganizmaların etkisi altında, bazı şekerler, düşük moleküler ağırlıklı

fenolikler ve bazı besinler, organik döküntüden kolayca ayrışmaya hazır hale gelir. Buna müteakip selüloz, hemiselüloz ve ligninden oluşan bitki atıkları, hem bakteriler hem de mantarları içine alan bir mikroorganizma ağı tarafından kimyasal değişime uğratılır (Fioretto vd., 2005).

Melillo vd. (1989), organik döküntüden ayrışma sürecini, genel bir model ile ilk ve geç olmak üzere iki evrede ifade etmektedir. İlk evrede suda çözünebilir bileşenlerin kaybedilmesi ve ardından hızlı bir şekilde selüloz kaybı yaşanır. Lignin olarak adlandırılan çözünmeyen bozunma ürünlerinde çok az kayıp vardır. Bu evrede “karbon” nispeten alınabilir, besin maddeleri sınırlıdır ve bunların (genellikle N) hareketsizliği söz konusudur. Organik döküntüler, çürümenin ikinci evresine geldiğinde, “humus” olarak adlandırılan organik toprak kolloidini oluşturur ve bu maddelerin tüm bileşenleri yavaş ayrışır ve stabilize bir içerik sergiler. İkinci evrede çürüme ya da bozunma aşaması net lignin kaybı ve azotun net mineralizasyonu ile karakterize edilir. Mineralizasyon, organik azotu alınabilir formlara dönüştüren mikrobiyolojik bir süreçtir. Mineralleşmenin modeli ve zamanlaması, ölü örtü kalitesine, özellikle C:N oranına, çözünür karbon'a, lignin, polifenol içeriğine, toprak tipine, sıcaklığa, toprak nem içeriğine ve zamana bağlı değişebilmektedir. Bitki materyalinin C:N oranı 25'ten büyükse, mikrobiyal popülasyon bunu ayrıştırmak için mevcut toprak azotunu kullanır (Swift vd., 1979). Orman ekosistemlerinde, ibre, dal, kozalak vb gibi organik döküntüleri içeren ölü örtü, N, P, K, Ca, Mg, Na, S, Fe, Mn, Zn, Cu, B gibi birçok makro ve mikro mineral maddeleri bünyesinde barındırır. Bununla birlikte yapılan çalışmalarda daha çok N, P, K, Ca, Mg, Na gibi makro minerallerin tespiti üzerinde durulmaktadır. Bu mineral maddelerin yoğunlukları yetişme ortamına, vejetasyon tipine ve mevsimlere bağlı olarak değişkenlik gösterebilir. Yapılan çalışmalarda yaprak döküntüsündeki besin miktarının diğer organik döküntülere göre daha fazla olduğu bildirilmektedir (Osman, 2013). Bu nedenle çalışmamızda imkânlar dâhilinde dökülen ibrelerde bitki besin maddesi analizleri yapılmıştır. Organik döküntüdeki mineral madde oranları da daha önce belirtildiği gibi yetişme ortamına göre farklılık gösterebilmektedir. Yağmur ormanlarında yoğunluk sıralaması $N > Ca > K > Mg > P > Na$ iken farklı bir ekosistemde sıralama $Ca > N > K > Mg > P > Na$ bu şekilde olabilmektedir (Osman, 2013).

İklimin Etkisi değerlendirildiğinde, Karasal ekosistemlerde net birincil üretimin değişim oranlarını iklim değişkenleri ile açıklamak mümkündür. Enlem derecelerine bağlı olarak toprak üstü biyokütle ve mineral madde depolanması, kutuplardan ekvatora doğru artar. Orman ekosistemleri açısından sıralama şu şekilde teşekkül olur; Tropikal ormanlar>

ılıman kuşak ormanları> boreal-kuzey ormanları. Buna karşılık, enlem derecesinin artmasına bağlı olarak sıcaklığın düşmesi ile birlikte ayrışma hızının azalacağı ve meşçere altındaki ölü örtü miktarı ve kalma süresinin ekvatordan kutuplara gidildikçe artabileceği bildirilmiştir (Foster ve Bhatti, 2006).

Subarktik orman toprakları ve Alaska bölgesindeki tayga ormanlarında, ekstrem çevre koşulları nedeniyle besin döngüsü oranları düşüktür (Van Cleve ve Chapin, 1991). Arktik ve subarktik orman ekosistemleri, düşük toprak sıcaklığına, kısa bir vejetasyon periyoduna, düşük net evapotranspirasyona ve toprağın donmuş olması nedeniyle daha düşük ayrışma oranı ve besin döngüsüne ile düşük birincil üretim oranlarına sahiptir. Bu bölgede düşük sıcaklık parametresi, mikrobiyal aktiviteyi, ormanda ölü örtüsü ayrışma hızını ve besin alımını azaltır iken toprakta karbon birikimini artırıcı bir etki gösterir. Yüksek enlem derecesinin aksine, tropikal bir ormandaki çevre koşulları, yıl boyunca mikrobiyal topluluğun aktivitesini kolaylaştırır, bu da periyodik taşkın, toprak kurumması ve düşük altlık kalitesi durumları dışında genellikle daha hızlı ayrışmaya neden olur (Vitousek, 1986). Bitki materyali çürüme oranları, tropikal topraklarda, subarktik ormanlık topraklarda olduğundan daha yüksektir. Yüksek verimli tropikal ormanlarda düşük karbon depolanması ve yüksek miktarda organik döküntü, kuzey-boreal ormanlarındaki yüksek karbon depolama ve düşük organik döküntü oranı ile çelişir.

Biyotik faktörlerin etkisi kapsamında, besin döngüleri, kaynak kullanım verimliliği üzerindeki ağaç türüne özgü kontrollerle büyük ölçüde değiştirilir (birim net birincil üretim başına besin kullanımı). Türler, doğal besin gereksinimleri ve kullanımları açısından büyük farklılıklar gösterir (Cole ve Rapp, 1981). Bu etkileri Foster ve Bhatti, (2006) iki kategoride incelemiştir: canlı biyoküttele birikim ve çeşitli besin içeren ölü-biyoküttele çeşitlerinin üretimi. Hızlı biyoküttele birikimi, besin maddelerinin topraktan bitki örtüsüne net bir şekilde hareket etmesiyle ilişkilidir. Bir orman tarafından alınan yıllık besin alımının yarısından fazlası tipik olarak orman zeminine (döküntü) ve toprağa (ince kök devri) geri verilir. Bu besin maddelerinin geri dönüşümünü takiben, orman bitki örtüsü için mevcut besin maddelerinin önemli bir kaynağıdır. Verimlilik gradyanını takiben toprak üstü bitki örtüsünden gelen ortalama yıllık döküntü miktarı, kuzey bölgelerinden tropiklere doğru artmaktadır.

Ormanda üretilen organik döküntünün miktarı ve kalitesinden bitki besin varlığı büyük ölçüde etkilenir. Organik madde döküntü kalitesi ve orman ölü örtüsü besin içeriği üzerinde büyük etkiye sahip olan yapraklardaki azot konsantrasyonlarındaki değişimin

büyük bir kısmı, kıta ölçeğinde, orman türleri arasındaki farklarla açıklanmıştır. Birçok ılıman ve kuzey orman ekosistemlerinde, azot için mikrobiyal gereksinim, değişken toprak karbon tedariki ile artar veya azalır. Azot için artan mikrobiyal gereksinim, geniş bir C:N oranına sahip orman kalıntılarının ilk ayrışması sırasında ağaçların azot alabilirliğini geçici olarak azaltabilir. Mikroorganizmalar toprağı saran azotu serbest bırakır, bu durum kolayca ayrışabilen organik madde için nispeten hızlı (ibre kalıntısı) ve zor ayrışan materyaller (dallar vs.) için daha yavaş vuku bulur.

Tropikal ve ılıman orman topraklarındaki azot mineralizasyonu, boreal ormanlarından daha yüksek, yaprakta kalan azot miktarı açısından daha düşüktür. Bu nedenle, üretkenliğin azot tarafından sınırlanması, tropikal ormanlarda zayıftır ve ılıman iklimden boreal ve tundra orman ekosistemlerine doğru artar. Ağaçlar, topraktan mikorizalar yoluyla veya kesilmeden önce yaşlı yapraklardan yeniden alınarak organik azot ve fosfor elde edebilir ve böylelikle inorganik besin kaynağı olarak toprağı bağımlılıklarını kısmen azaltabilir.

Toprak özellikleri ile bitki besinleri gereksinimleri arasındaki temel ilişkilerin daha fazla anlaşılması, toprak hacminden ziyade kök yüzeylerindeki (rizosfer) bitki-fauna-mikroorganizma etkileşimlerinin incelenmesi ile gerçekleşecektir.

Abiyotik faktörlerin etkisi kapsamında, ormanlar, iklimsel olarak homojen bir bölge içinde arazi boyunca tahmin edilebilir şekilde değişen ayırt edici fizyografik, floristik ve edafik özelliklere sahiptir. Ana metaryalin içeriğindeki elemental farklılıklar, meşçereler arasındaki ve içindeki ağaç türü kompozisyonunu etkiler. Örneğin, kolivyal (rüzgârın etkisinde olan) toprakta yetişen iğne yapraklı ve karışık ormanların altında ince tekstürlü topraklar gelişerek yüksek bitki besin maddesi kaynağını oluşturacaktır. Bunun aksine yıkanmış kum toprağında gelişen çam ormanlarının altında, toprak kaba tekstürlü ve verimsizdir (Foster ve Bhatti, 2006).

Arazi yapısındaki heterojenlik, mikroklimatik koşullar ile fiziksel ve kimyasal özellikler bakımından farklı alanlara neden olur ki bu alanlarda jeokimyasal reaksiyon hızları ve topraktaki bitki besin alım oranları farklılık gösterir. Toprak tipi ve topografya-mikro iklim etkileşimleri, topraktaki azot mineralizasyon oranı gibi biyolojik süreçleri etkileyen önemli geri bildirimlerdir. Düşük fosfor varlığı, jeomorfolojik olarak eski, yüksek oranda yıkanmış tropikal, subtropikal ve sıcak ılıman bölge topraklarının bir özelliği olduğu bildirilmektedir (Vitousek, 1986). Toprağı oluşturan ana materyalin türü ve yaşı, topraktaki temel durumu ve besin seviyelerini etkileyebilir. Soğuk ve donmuş bölgelerdeki topraklar

nispeten gençtir ve ayrışabilir mineraller açısından zengindir. Minerallerin ayrışması, azot hariç, bitki alımı için çoğu besinin önemli bir kaynağıdır. Besin mevcudiyeti, toprak minerallerinin ayrışması ile topraktaki çökeltme, adsorpsiyon ve fiksasyon reaksiyonları arasındaki dengeler tarafından düzenlenir.

Bununla birlikte, edafik koşullar, orman verimliliği üzerinde güçlü bir etki yapabilir ve besin döngüsü süreçlerinde önemli farklılıklar ortaya çıkartır. Düşük azot, fosfor veya pH değerine sahip topraklar, yavaşça ayrışan düşük organik madde kalitesine sahip ağaçları destekler. Büyüme üzerindeki edafik sınırlamalar, köklenme yoğunluğu ve derinliğindeki artışla telafi edilebilir. Bazı klimaks veya toleranslı türler, toleranssız öncü türlere göre daha sığ bir kök dağılımına sahiptir ve toprak yüzeyinde besinlerin ve nemin yoğunlaştığı alanlara yerleşmiştir. Buna karşın, alt toprak horizonlarından besin alımı, yüksek yıkanma ile birlikte besin maddesinin daha derinlere gittiği ılıman topraklarda daha önemlidir.

Çevresel faktörlerin rolü kapsamında, besin döngüsü, yangın, üretim faaliyetleri, fırtınalar ve böcek zararları gibi çevresel afetlerden uzun süreçte etkilenir. Yangının hâkim olduğu ekosistemlerde, yoğun orman yangını, ekosistemde besin maddelerinin yatay ve dikey olarak yeniden dağıtılmasına neden olur. Yeniden dağıtım, bazı ekolojik süreçlerin kümülatif etkilerinden kaynaklanır. Bunlar: 1) canlı ve ayrışan bitki materyalinin oksidasyonu ve buharlaşması, 2) yangından kaynaklanan lavlarda kül parçacıklarının taşınımı; 3) yüzey topraklarının su erozyonu; ve 4) besin maddelerinin yıkanarak topraktan uzaklaşması.

Bu işlemlerin kısmen önemi, her bir besin maddesine göre değişir ve yangın yoğunluğu, toprak özellikleri, topografya ve iklimsel farklılıklar tarafından etkilenir. Yangın öncesi toprak üstü bitki örtüsü ve ölü örtüde bulunan miktarın yüzdesi olarak ifade edilen değişiklikler genellikle şu sırayı takip eder: $N > K > Mg > Ca > P$.

Tıraşlama kesimlerini de içeren üretim faaliyetleri ile birlikte bitki besin maddelerinin yetişme ortamından taşınacağı ve geçici olarak besin döngüsünü kesintiye uğratacağı havza bazında yapılan birçok çalışmada bildirilmiştir (Foster ve Bhatti, 2006). Üretim faaliyetlerinden kaynaklanan bu olumsuz etkilerin düzelebilmesi, tropiklerde aylar alır iken, ılıman bölgelerde 2-5 yıllık gibi bir zaman gerektirir. Bu süre boreal ve tundra gibi soğuk bölgelerde daha uzun olabilmektedir (Keenan ve Kimmins, 1993).

Aslında genel olarak değerlendirildiğinde, topraktaki N, P, K'nın mevcudiyeti, orman ekosisteminin büyük oranda yaprak alanını, fotosentez oranını ve net birincil üretimini tanımladığı bildirilmekte ve toprak ve ağaçlar arasındaki besin döngüsünü içeren

ve toprakta fiziksel ve kimyasal değişiklikleri dikkate alan orman amenajman uygulamalarının, orman verimliliğini artırabileceği belirtilmektedir (Foster ve Bhatti, 2006).

1.2.3.2. Madde Döngüsünün Hidrojeokimyasal ve Ekofizyolojik Önemi

Ekosistemlerdeki hidrolojik döngünün önemli bir kısmını oluşturan toplam orman intersepsiyonuna etki eden gövdeden akış, meşçere altı yağış, yüzeysel akış ve toprakta filtrasyon olayları hidrolojik döngüde yer alan suyu kantitatif olarak etkiler. Bununla birlikte, bu parametrelerin bünyesinde farklı oranlarda yaygın olan değiştirilebilir katyonlar (Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^+ , Na^+ , NH_4^+ , Fe^+) ve anyonlar (SO_4^{-2} , NO_3^- , Cl^- ve PO_4^{-3}) bulunmasından dolayı da çevrime giren suyu kalitatif yönden etkileme eğilimindedir.

Ormanda madde döngüsünü yönlendiren ölü örtü tabakası da yine içerdiği mineral maddelerden dolayı ekosistemde jeokimyasal bir etkiye sahiptir. Mineral maddeler ya da bitki besin elementleri genellikle yetiştirme ortamını oluşturan topraktan iyon yapısında alınan elementlerdir. Bitki besin elementleri canlı organizmalar arasında daima bir döngü içindedir. Ancak, bu maddeler yaşam ekosistemimizi oluşturan biyosfere bitkiler aracılığı ile katılırlar. Bitkiler, toprak çözeltisinden kökleri aracılığı ile iyon formunda alınan elementleri bünyesinde bağlarlar.

Toprak-Bitki-Atmosfer ilişkilerinin karmaşık doğası nedeniyle, bitki beslenmesi alanındaki çalışmalar, bitki fizyologlarının yanı sıra atmosfer kimyagerlerini, toprak bilimcilerini, hidrologları, mikrobiyologları ve ekologları da içermesi gerektiği bildirilmektedir (Taiz ve Zeiger, 2002).

Bitkilere yaşam ortamı sağlayan toprak maddesini fiziksel, kimyasal ve biyolojik açıdan birçok aktivitenin teşekkül olduğu bir katı madde olarak tanımlamak mümkündür. Toprakta 100'den fazla kimyasal element vardır, ancak bunun büyük bir bölümünü O (% 49,0), Si, (% 33,0), Al (% 7,1), Fe (% 4,0), Ca (% 5,0), Mg (% 0,5) ve K (% 1,4) oluşturur. Bununla birlikte toprak çözeltisinde iyon halinde Ca, Mg, K, Na, P ve S gibi bitki besin elementleri de bulunur (Osman, 2013).

Toprak hacimsel olarak katı, sıvı ve fazlarından teşekkül olur. Toprağın katı kısmının inorganik kolloidal maddesini oluşturan kil mineralleri K, Ca, Mg ve Fe için bir kaynak görevi görür. Bunun yanı sıra katı faz, N, P ve S içeren organik bileşiklerle de bir etkileşim gösterir. Toprağın sıvı kısmını ise çözülmüş mineral maddeleri içeren ve bitkilere kökleri vasıtasıyla mineral madde sağlayan toprak çözeltisi oluşturur. Gaz kısmı ise N ve O gibi

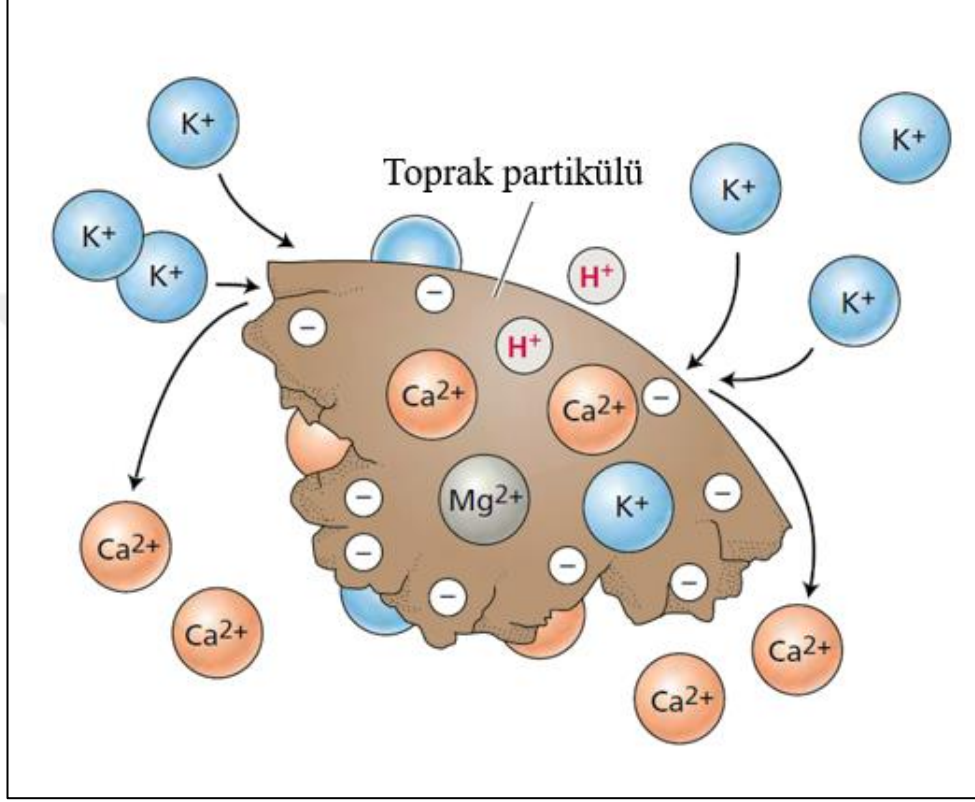
elementlerin çözüldüğü ve köklerin solunumunu sağlayan kök havası oluşturur (Taiz ve Zieger, 2002).

Geniş yüzey alanına sahip çok ince toprak patikülleri (veya kolloidler) elektriksel olarak yüklenir ve toprak çözeltisindeki iyonları çekip yüzeylerinde bağlayabilirler. Bağlı belirtilmemiş ve zıt yüklü iyonlar, negatif yüklere karşı katyonlar ve pozitif yüklere karşı anyonlar, bağda yer alabilir. Bu adsorbe edilmiş iyonlar, bunların yüklerine, yoğunluğuna ve aktivitesine bağlı olarak değiştirilebilir ve birbirlerinin yerini alabilirler (Şekil 4). Bir toprağın partükül yüzeylerinde katyon bağlama kapasitesi, kilogram toprak başına yüklerin santimol sayısı (meq/kg) olarak tanımlanan KDK ile gösterilir, anyonlar ADK ile ifade edilir. Çoğu toprak, pozitif yüklerden (daha düşük ADK) daha fazla negatif yüke (daha yüksek KDK) sahiptir. En yaygın değiştirilebilir katyonlar Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^{+} , NH_4^{+} , H^{+} ve Al^{+3} 'dir. Yaygın anyonlar ise SO_4^{-2} , NO_3^{-} , Cl^{-} ve PO_4^{-3} 'tür. Katyon Değişimi, topraktaki kil mineralleri ve humusun bir özelliği olarak değerlendirilmektedir. İyon değişim sürecinde, toprak çözeltisindeki denge korunur. Eğer toprak çözeltisinin içeriği değiştirilirse, eşzamanlı olarak bağlanan katyonların bileşiminde değişiklik meydana gelir. Katyonlar, yıkanma, organik madde ayrışması, atmosferik çökme gibi olaylarla ve gübrelere toprağa verilebilir (Osman, 2013).

Toprağın katı kısmı hem organik (humus) hem de alümino-silikatlardan oluşan inorganik (kil) kolloidleri de bünyesinde barındırdığından dolayı aşırı derecede negatif (-) yüke sahiptir. Düşük değerlik alan Ca^{+2} ve Mg^{+2} gibi katyonlar, Al^{+3} ve Si^{+4} ile yer değiştirdiğinde inorganik toprak parçacıkları negatif yüke sahip olurlar. Silikat ihtiva eden kil mineralleri yapısal özellik olarak farklı oranlarda katyon değişim kapasitesine (KDK) sahip yaygın olarak kaolin (KDK: 3-15), illit (KDK: 15-40) ve montmorilloniti (KDK:80-100) bünyesinde barındırır (Taiz ve Zieger, 2002). Bununla birlikte vermikülit 120-150 arasında değişen bir KDK'ya sahip iken toprağın organik kolloidini oluşturan humusta bu değer 100-300 arasındadır (Osman, 2013).

Yıllık yağış miktarının fazla olduğu ekosistemlerde, toprakta teşekkül olan şiddetli yıkanmadan dolayı kaolin türü baskın iken yıllık yağışın fazla olmadığı ve buna bağlı olarak aşırı yıkanmamış topraklarda illit ve montmorillonit türü görece daha yoğundur. Bununla birlikte, toprakta ölü örtünün ayrışması sonucu kolloidal boyuta sahip humus maddesi teşekkül olur ve toprakta bulunan karboksilik asit ($C_nH_{2n+1}COOH$) ve fenolik bileşiklerden gelen hidrojen (H) iyonları bunun yüzeyinin negatif yüke sahip olmasına neden olur. Toprakta organik ve inorganik forma sahip toprak kolloidlerinin negatif yükleri sayesinde

amonyum (NH_4^+) ve potasyum (K^+) gibi mineral katyonları bağlar (Şekil 4). Bunun yanı sıra nitrat (NO_3^-) ve Klor (Cl^-) gibi mineral anyonlar, toprak partiküllerinin yüzeyindeki negatif yükler tarafından itilir ve toprak solüsyonunda çözülmüş olarak kalır (Taiz ve Zieger, 2002).



Şekil 4. Toprak partikülünün yüzeyinde gerçekleşen katyon değişim prensibi

Şekil 4’de katyon yoğunluğuna bağlı olarak potasyum elementi, kalsiyumun yerini alabilir. Bununla birlikte, bitkilerde azot elementinin NH_4^+ ve NO_3^- formlarında alınması ve bunların absorpsiyonu ile asimilasyonu süreçleri sayesinde bitki içindeki katyon-anyon dengesinin korunduğu ve desteklendiği bildirilmektedir (Raven ve Smith 1976; Bloom, 1994).

Ekosistemlerde toprağın asitlik derecesi (pH), bitkiler tarafından besin maddelerinin alınımını belirleyen en önemli parametreden biri olarak değerlendirilmektedir. Toprağın pH’sı; toprakta yıkanma süreci, strüktür, hümifikasyon ve mineral transformasyonu, mikrobiyal popülasyon ile aktivitesini, bitki besin elementi taşınımını ve iyon değişimi gibi birçok toprak karakteristiklerini etkilemektedir.

Toprakta asitliği artıran en önemli faktör yağmur suyu ve organik maddenin ayrışması süreçleridir. Organik maddenin ayrışması ile birlikte açığa çıkan karbondioksit su ile birlikte tepkimeye girer ($\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$) ve bunun sonucunda Hidrojen iyonu (H^+) açığa çıkarak toprağın pH'sını düşürür. Buna ek olarak hidrojen iyonları KDK sürecine bağılı olarak K^+ , Mg^{+2} , Ca^{+2} ve Mn^{+2} ile yer değiştirebilir. Üst topraktan aşağıya doğru bu minerallerin yıkanmasına bağılı olarak toprağın asitlik derecesi artar. Ekosistemlerde tam tersi durumun varlığı da söz konusu olabilir. Yağışın az olduğu kurak ve yarı-kurak bölgelerde ana materyalin ayrışmasına bağılı olarak çoğunlukla K^+ , Mg^{+2} , Ca^{+2} ve Mn^{+2} açığa çıkar ve toprağın üst katmanlarından yıkanmaz. Bu durumda da toprağın pH derecesi yükselerek alkali hale gelebilir. İnorganik maddelerin yanı sıra, toprakta organik maddenin parçalanması sürecinde amonyak (NH_3) ve hidrojen sülfür (H_2S) oluşur ve bu bileşikler oksitlenerek nitrik asit (HNO_3) ve sülfürik asit (H_2SO_4) gibi güçlü asitleri meydana getirebilir. Bunun sonucunda da toprağın pH derecesi oldukça düşer kalır (Taiz ve Zieger, 2002).

Çoğu orman toprağının pH değeri 3.0-7.0 arasında olup asidik reaksiyona sahiptir. Ancak bazı orman topraklarının pH değeri ise 7.0'den daha büyüktür ki kurak bölgede yayılış gösteren ormanlar 7.0-8.0 arasında iken nemli ve ılıman ormanlarda bu değer 3.0-5.0 arasında olabilir. Tropikal ormanlarda pH değeri 4.0-6.0, kıyı kesimlerinde asidik sülfat orman toprakları <3.0 bile olabilir. Mangrove orman topraklarında pH 7.5 civarındadır (Tablo 1). Genel olarak değerlendirildiğine $\text{pH} < 4.0$ ve $\text{pH} > 8.5$ olduğu ekstrem durumlarda, bazı bitki besin elementleri bitkiler için toksik etki oluşturabilir ve diğer minerallerin alınmasını engelleyebilir (Osman, 2013)

Genel olarak bitkiler için bitki besin elementi alımı, ürün verimi ve mikroorganizma aktivitesi için optimum Toprak pH seviyesi 7 'ye yakındır. Çoğu topraklarda katyon değişim kapasitesinden dolayı, her bir toprak aktif olarak, yağışların neden olduğu pH değişimine karşı tamponluk görevi görür. Toprakta depo edilen katyonlar, hidrojen iyonlarının yerini alarak toprak solüsyonuna serbest halde geçerler; böylece asitliğin artmasına karşı konulmuş olunur. Ortamdaki pH mevcudiyetine bağılı olarak, değişim kapasitesini sağlayan mineral türüne göre, birçok tamponlama aşamasını, aşağıdaki tablodan yola çıkarak tahmin edebiliriz (Lukac ve Godbold, 2011).

Tablo 1. Farklı topraklarda, toprak solüsyonlarındaki pH aralıkları ve iyon bulundurma sıklığı (Osman,2013)

Ekosistemler ve Toprak Tipleri	pH	Toprak Solüsyonunda İyon Bulunma Durumları
Sodik orman toprakları	8.5-10.0	Na^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Cl^- , HCO_3^-
Kalker orman toprakları	7.5-8.0	Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^+ , Na^+ , CO_3^{-2} , NO_3^-
Tropikal orman toprakları	4.0-6.0	Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^+ , $\text{Al}(\text{OH})_3^{+}$, H^+ , CO_3^{-2} , NO_3^- , SO_4^{-2}
Mangrove orman toprakları	7.0-8.0	Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^+ , Na^+ , Cl^- , HCO_3^- , CO_3^{-2} , NO_3^- , SO_4^{-2}
Ilıman orman toprakları	3.0-5.0	Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^+ , $\text{Al}(\text{OH})_3$, H^+ , CO_3^{-2} , NO_3^- , SO_4^{-2}
Turba toprakları	3.5-4.5	H^+ , Fe^{+2} , Al^{+3} , CO_3^{-2}
Kıyasal asidik ve sülfat orman toprakları	2.0-4.0	H^+ , Fe^{+2} , Al^{+3} , SO_4^{-2}

İşte yukarıda bahsedilen tüm bu süreçler nedeniyle, intersepsiyon ve organik madde döküntüsü (litterfall) bir orman ekosisteminde hidrojeokimyasal madde döngüsüne yön veren 2 önemli parametre olarak değerlendirilmektedir.

1.2.4. Orman Ekosistemlerinde Eko-Meteorolojik Parametreler

Ekosistemi genel tanımı itibariyle bir bölgedeki canlı toplumunun fiziksel çevre ortamındaki biyolojik bir yaşam birliği ve bu birlikteki ekolojik ilişkiler ağı olarak tanımlamak mümkündür. Orman ekosisteminde “yetiştirme ortamı” kavramı denilince ise biyotik ve abiyotik faktörlerin de içinde yer aldığı bir sistem akla gelmektedir. Yetiştirme ortamına bağlı olarak da orman ekosistemlerinde, farklı ekolojik karakteristikler sayesinde iklim koşullarının da değişebileceği araştırmalarda kullanılan meteoroloji istasyonlarından elde edilen verileri içeren birçok yabancı kaynaklı çalışmaların transkripsiyonu sayesinde anlaşılmıştır (Çolak ve Pitterle, 1999). Bu nedenle özellikle orman ekosistemlerinde gerçekleştirilen ekolojik tabanlı araştırmalarda iklim parametrelerinin de değerlendirilmesi bütüncül ekosistem anlayışının detaylı olarak irdelenmesinde hayati bir önem taşır. Bu nedenle aşağıda orman ekosistemleri ile ekolojik, hidrolojik ve meteorolojik parametreler arasındaki ilişkiler detaylı olarak verilmiştir.

1.2.4.1. Yağış

Yıllık yağış miktarı (Brüt yağış), yağış süresi, solar radyasyon ve meşçere depolama kapasitesi orman ekosistemlerinde toplam intersepsiyon açısından değerlendirildiğinde,

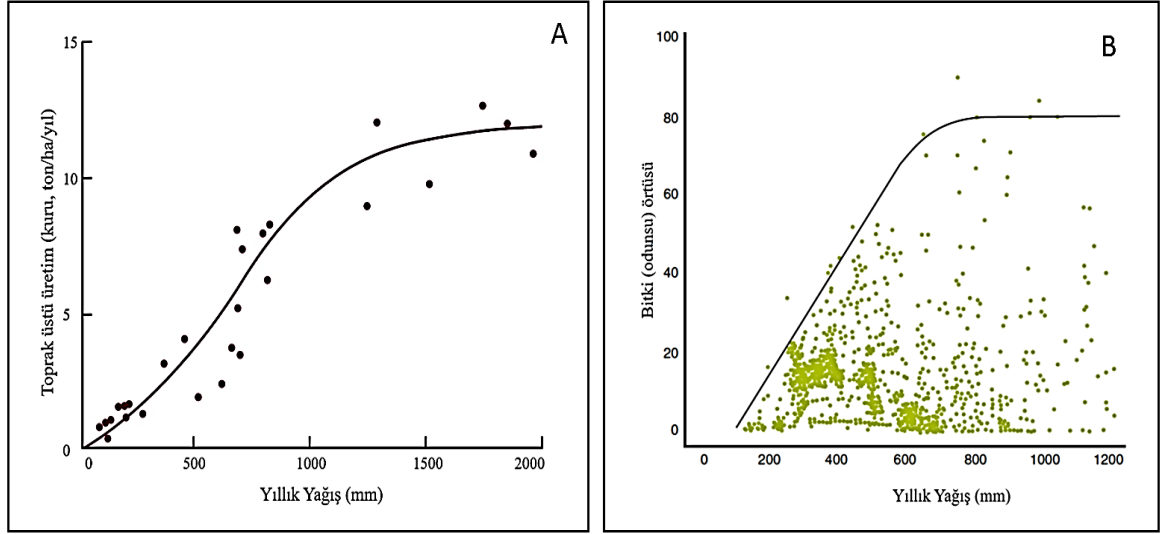
intersepsiyona doğrudan etki eden iklim değişkenlerinin, başında gelmektedir (Linhoss ve Siegert, 2016). Bunun yanı sıra, yıllık yağış miktarı bitki ekosistemlerinde eko-fizyolojik mekanizmaları kontrol ederek toprak üstü bitkisel biyokütle miktarı ile kapalılığı ve ölü örtü oranını belirleyerek toplam intersepsiyona dolaylı olarak etki eder. Bu nedenle intersepsiyona etki eden yağış değişkeninin dolaylı olarak ne gibi etkisinin olduğunun anlaşılabilmesi için öncelikle eko-fizyolojik açıdan değerlendirilmesi gerekmektedir.

Ekosistemlerdeki su döngüsü, bitkilerin hayati ihtiyaçları çerçevesinde değerlendirildiğinde birçok karmaşık fizyolojik süreçlerin varlığı karşımıza çıkar. Taiz ve Zeiger (Bölüm 3, 2002), Bitki hücrelerinin büyük bir kısmının sudan teşekkül olduğu ve fizyolojik olarak aktif olan bitki dokularının %80-95 oranında sudan oluştuğu ve yine odunsu bitkilerde sekonder ksilem olan odunlaşmış bölgede suyun içeriği daha düşük olmasına rağmen ksilemlerinde işlev gören canlı hücrelerin su ihtivası %35-75 arasında olduğu rapor edilmiştir. Bitkiler tarafından üretilen 1 kg'lık organik madde üretebilmek için kökleri aracılığı ile 0,5 ton su aldığı da bildirilmiştir.

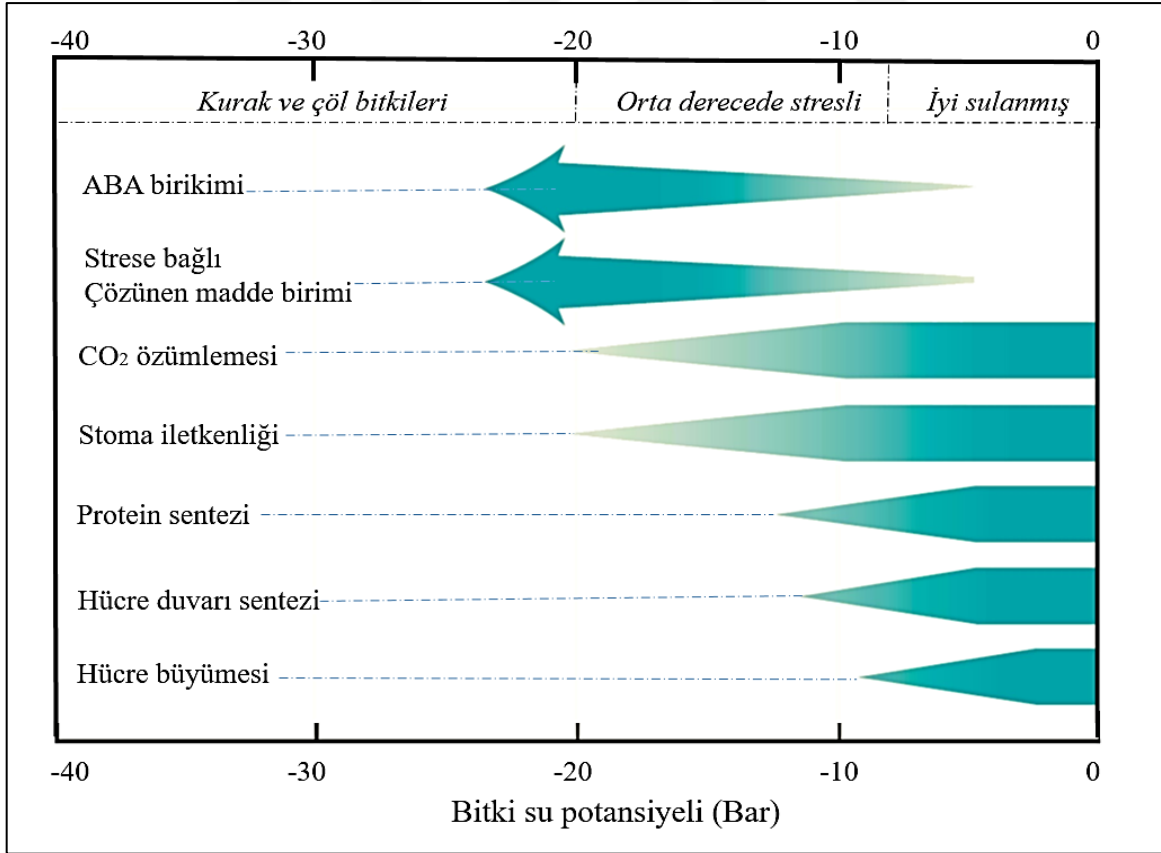
Bitkilerin büyüme ve gelişmesinde son derece hayati ekolojik öneme sahip olan su açık ekosistemlerde aynı zamanda kısıtlayıcı bir rol oynar. Yıllık yağışın yeterli olduğu bölgelerde yıllık toprak üstü biyokütle verimi de buna göre değişir ve yıllık yağış miktarı, odunsu bitkiler için potansiyel "taşıma kapasitesini" ve odunsu bitki örtüsü için üst sınırını belirleyebilir (Sankaran vd., 2005). Yağış arttıkça, arazilerin odunsu örtüyü destekleme potansiyeli doğrusal olarak artar ve yaklaşık olarak 650 mm'de asimptotik hale gelir (Şekil 5).

Bununla birlikte su azlığı olan kurak ve yarı-kurak ekosistemlerdeki bitkilerde su stresine bağlı olarak bitki su potansiyelinde (bitkide su stres göstergesi) bir azalma meydana gelir ki bu da fizyolojik süreçleri kısıtlayarak fotosentezin ve dolayısıyla da büyümenin kısıtlanmasına neden olur (Şekil 6).

Bitki ekosistemleri üzerinde özellikle ormanlar üzerinde yıllık yağış ve su kıtlığı gibi hidrolojik ve ekolojik parametrelerin yanı sıra hava ve toprak sıcaklığı ile solar radyasyon gibi meteorolojik parametrelerin fotosentetik aktiviteler ve diğer fizyolojik süreçle üzerinde önemli bir rolü vardır. Orman örtüsü gibi açık ekosistemlerde yağış, arazi yüzü şekline de bağlı olarak bitki örtüsünün dağılımında önemli bir rol oynar. Yağışın yükseltiye bağlı olarak değişmesi, sıcaklığın değişiminde olduğu gibi doğrusal bir fonksiyon oluşturmayabilir ve bu konuda birçok karmaşık ilişkilerin varlığı söz konusudur (Çolak ve Pitterle, 1999).



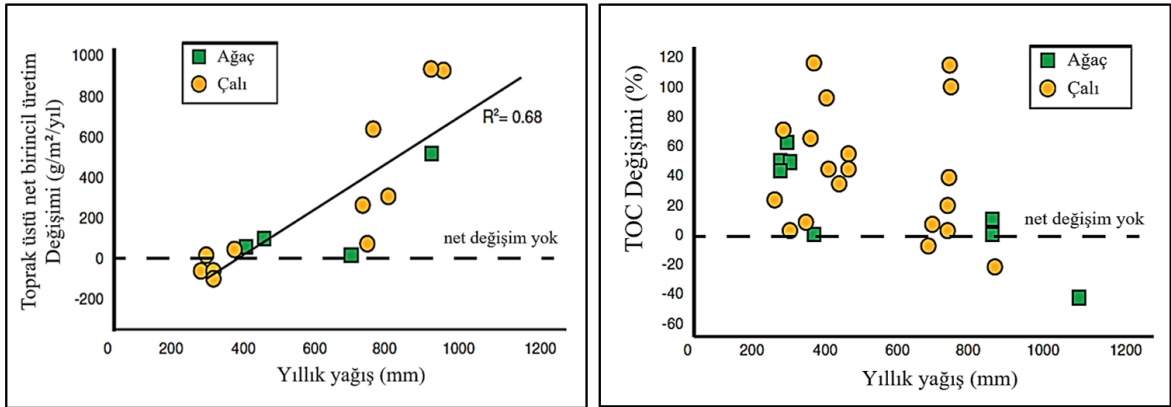
Şekil 5. A:Ekosistemlerde yıllık yağışa bağlı olarak net toprak üstü biyokütle üretimi (Whittaker, 1970'e atfen, Taiz ve Zeiger, 2002'den değiştirilerek), B: Ortalama yıllık yağış ile Afrika'daki maksimum odunsu bitki örtüsü (% kapalılık) arasındaki ilişki. Maksimum potansiyel odunsu örtü, yıllık yağışlardaki artışlarla ~ 650 mm'ye kadar doğrusal olarak artar ve ardından ~% 80'de seviyede stabil hale gelir. Steven vd. (2017) ve Sankaran vd.'den (2005) alınmıştır.



Şekil 6. Farklı ekosistem ve büyüme koşullarındaki bitkilerde su potansiyeline bağlı fizyolojik değişim eğilimleri (Hsiao, 1979'a atfen, Taiz ve Zeiger, 2002'den değiştirmiştir)

Bitki ekosistemleri üzerinde özellikle ormanlar üzerinde yıllık yağış ve su kıtlığı gibi hidrolojik ve ekolojik parametrelerin yanı sıra hava ve toprak sıcaklığı ile solar radyasyon gibi meteorolojik parametrelerin fotosentetik aktiviteler ve diğer fizyolojik süreçle üzerinde önemli bir rolü vardır.

Orman örtüsü gibi açık ekosistemlerde yağış, arazi yüzü şekline de bağlı olarak bitki örtüsünün dağılımında önemli bir rol oynar. Yağışın yükseltiye bağlı olarak değişmesi, sıcaklığın değişiminde olduğu gibi doğrusal bir fonksiyon oluşturmayabilir ve bu konuda birçok karmaşık ilişkilerin varlığı söz konusudur (Çolak ve Pitterle, 1999). Alplerde yükseltiye bağlı kullanılan iklim istasyonlarından elde edilen verilerle bu durum açıkça rapor edilmiştir (Ozenda, 1988). Ancak yükseltinin artmasına bağlı olarak sis yağışlarının da artabileceği belirtilmiş (Prutzer, 1966) ve bu durumun yeterli yağış alan orman ekosistemleri için toprak yüzeyinde bir soğuma oluşturduğundan dolayı olumsuz bir ekolojik olay olduğu bildirilmiştir (Tranquillini, 1992). Orman ekosistemlerinde iklim parametresinin en önemli bileşenlerinden biri olan yağış faktörünün bitki gelişimi üzerinde tartışılmaz etkisinin olduğu bilinmektedir. Ancak bu etki rüzgâr ve solar radyasyon etkisiyle azalabilir. Bakı faktörünün buharlaşma oranı üzerinde etkili olması ve bu etkinin buharlaşma oranını %30'a kadar değiştirebildiği Prutzer (1961) tarafından rapor edilmiştir. Bununla birlikte ağaç gelişimi açısından değerlendirildiğinde, boy büyümesinin yükselti ve rüzgâr hızı ile birlikte negatif bir ilişki gösterdiği, solar radyasyon ile de pozitif bir ilişki gösterdiği Senn vd. (1994) tarafından rapor edilmiştir. Yapılan bir çalışmada (Barger vd., 2011), Toprak üstü biyoküttele ve toprağın karbon içeriğindeki net değişimin yıllık yağış miktarından önemli oranda etkilediği bildirilmiştir (Şekil .



Şekil 7. Yıllık yağış ile net birincil üretime ve toprak organik maddesi ile ilişkisi (Barger vd., 2011'den değiştirilerek)

Şekil 7'ye göre yıllık yağış etkisi önemli ölçüde 200-1000 mm yağış arasında gerçekleşmiştir. Bu yüzden bu yağış değerlerine sahip ekosistemler, diğer ekolojik şartlar da uygun olmak koşulu ile bitki örtüsü açısından önem arz etmektedir.

Zaman içindeki yağış miktarındaki değişimler bitki örtüsündeki artış, büyüme ve ölüm oranı üzerindeki etkileriyle otsu ve odunsu türlerin gelişim dinamiğini etkiler. Özellikle yarı kurak bölgede teşekkül olan yağışlardaki zamansal ve mekânsal değişkenlik yüksektir. Odunsu bitkilerin potansiyel uzun ömürlülüğü göz önüne alındığında, istisnai derecede popülasyon artış yılları, tohum üretimi için zemin hazırlayabilir ve gelecekte on yıllarca bitki yoğunluğunda artış olanağı oluşturabilirken, yalnızca olağanüstü güçlü kuraklık yılları, meşçere örtüsünü önemli ölçüde azaltabilir (Fensham ve Holman 1999; Twidwell vd., 2014). Bu dinamikleri içeren modeller, ortalama ağaç yoğunluğundan on yıllık veya daha uzun sapmaların sonuçlanabileceğini öngörmektedir.

Orman ekosistemlerinde yıllık yağışa (brüt yağış) bağlı olarak birçok intersepsiyon modelleri geliştirilmiştir. Açık alana düşen brüt yağış miktarı ile meşçere altı yağış, gövdeden akış ve net yağış arasında yüksek bir ilişki vardır. Japonya'da 60 yaşındaki *Quercus serrata* Thunb. meşçeresinde Ağustos-Kasım 1993 ve Mayıs-Kasım 1994 tarihleri arasında intersepsiyon ölçümleri gerçekleştirilmiştir (Silva ve Okumura, 1996). Buna göre brüt yağış ile meşçere altı yağış, gövdeden akış ve net yağış arasında doğrusal olarak yüksek bir korelasyonun varlığı tespit edilmiştir. Ancak bu ekosistemde kullanılan tür geniş yapraklı bir türdür. Bu ilişki katsayısının yüksek çıkması yaprak yüzey alanı ile doğrudan ilişkili olduğu değerlendirilmektedir. İbrelilerde türlerde ise yaprak morfolojisi farklı olduğundan türden türe göre değişmekle birlikte farklı intersepsiyon özelliklerine haiz olabilirler.

1.2.4.2. Hava Sıcaklığı

Atmosferik sıcaklık tüm canlılar için yaşamsal faaliyetlerin gerçekleştirilmesinde biyolojik açıdan önem arz etmektedir. Bitki örtüsü açısından değerlendirildiğinde vejetasyon periyodunun başlaması için ortalama sıcaklığın genel olarak 8°C ve üzerinde olması baz alınmaktadır (Sar vd., 2019). Aynı zamanda vejetasyon aktif periyodundaki anormal sıcaklık değişimleri de bitkilerde don zararlarının görülmesine neden olabilir. Bununla birlikte vejetasyon periyodu sıcaklık tarafından kontrol edilir. Yazlarda sıcak günlerin sınırlı olduğu bölgelerde bitkiler yıl boyu biyokütle üretimini bu kısa dönemde gerçekleştirmek zorundadır. İklim koşulları eğer odunsu türlerin hayatiyetini sağlayamayacak seviyede olur

ise yükseltiyle birlikte odunsu türler yerini çalılara ya da mera bitkilerine bırakırlar. Özetle iklim koşulları belirli bir bölgede bitki örtüsü zonlarının olmasına neden olur. Mayr'ın (Saatçioğlu, 1976) orman zonları buna en iyi örnektir. Bu zonların en güzel örneklerine ülkemizde Uludağda, Toroslarda ve Kaçkarlarda rastlanır.

Sıcaklığın yükseltiyle birlikte nasıl değiştiğini Franz (1979) 3 farklı yükseltideki (0m, 370m, 1030m) iklim istasyonları sayesinde ortaya koyabilmiştir. Buna göre her **100 metre** yükseltide sıcaklık **0,5 °C** azalmaktadır. Bu durumun vejetasyon süresine etki ettiğini ve her 100 metrede vejetasyon periyodunun 1 hafta kısaldığı bildirilmektedir (Çolak ve Pitterle, 1999). Bu durumun bitkilerin organik madde üretebilme kapasitesini olumsuz etkilemekte dolayısıyla da çap ve boy artımını kısıtlamaktadır. Aynı yetiştirme ortamından elde edilen Melez fidanları (*Larix decidua*) 3 farklı yükseltideki (700, 1400, 2000 mt) fidanlıklara transfer edilmiştir. Boy artımlarının sırasıyla 18 cm, 11 cm ve 2,5 cm olarak ölçülmüş ve benzer bir durumun da Avrupa ladini (*Picea abies*) türünde de gerçekleştiği bildirilmiştir (Çolak ve Pitterle, 1999).

Genel olarak değerlendirildiğinde, sıcaklığın yükseltiyle birlikte azalması çoğu zaman doğrusal ve aynı oranda olmayabilir. Yapılan başka bir çalışmada, sıcaklık azalmasının 1700 metreye kadar oransal olarak değiştiği, bundan sonra değişimin daha şiddetli olabileceği rapor edilmiştir (Franz, 1979). Bu değişimler üzerinde yerel ekolojik koşullar önemli rol oynar. Diğer bir araştırma sonuçları göstermiştir ki vadilerde ortalama sıcaklık 8-8,5 °C değerini almış iken daha alçak alanlarda bu değer 9,5 °C'nin üzerine çıkmış, 900 metrede 6-6,5°C olan sıcaklık 1400 metrede 4-4,5°C'ye kadar ulaşmıştır. Ağaç sınırında ise ölçülen değer 1-2,5°C arasında olmuştur (Nather, 1972).

Normal koşullar altında iklim olaylarının gerçekleştiği troposfer tabakasında, yağış ve solar radyasyonun aksine sıcaklık değerleri atmosferik yükseltiye bağlı olarak azalmaktadır. Bununla birlikte ekolojik faktörlerden olan bakı parametresi de sıcaklığın yerel alanda değişmesine neden olabilmektedir. Bu da bitki örtüsünün mikro ölçekte çeşitlilik göstermesine neden olur. Öyle ki doğu karadeniz bölgesi zigana mevkiinde güneye bakan yamaçlarda sıcaklık ortalaması, solar radyasyondan dolayı fazla olduğundan, toprak yüzeyinden gerçekleşen evaporasyon miktarı daha fazladır. Bu nedenle güney bakılarda kuraklığa adapte olan sarıçam ve meşe gibi türler yaşam alanı bulur iken kuzey bakılarda ise kayın ve ladin gibi nemli yetiştirme ortamını seven türler hayat bulmuştur. Yine Franz (1979), Alpler'de yaptığı çalışmada güney yamaçların kuzey yamaçlara göre %16 daha fazla ısındığını rapor etmiştir. Bununla birlikte göz önünde bulundurulması gereken diğer bir

etmen vardır. Burada yükseltiye bağlı sıcaklık azalması söz konusu olsa da, yüksek rakımlarda solar radyasyonun alt rakımlara göre daha yoğun olmasından dolayı bu bölgede yayılış gösteren orman ekosistemlerinde iğne yapraklarda kurumalar meydana gelebilmektedir (Schönenberger, 1978; Barandun, 1983). Bununla birlikte yükseltiye bağlı olarak sıcaklığın düşmesi don tehlikesinin de ortaya çıkmasına neden olur. Sonbaharda oluşan erken ve ilkbaharda gerçekleşen geç donların orman ekosisteminde tomurcuklar ve sürgünler ile yapraklarda -3°C 'de donmalar meydana geldiği bildirilmektedir (Frey ve Lösch, 1998). Bu nedenle vejetasyon aktif periyodunda çalışılan ekosistemde eksi dereceye sahip günlerin bilinmesi, don olayının zamansal değerlendirmesinde önem arz eder. Özellikle göknar ve kayın gibi donlara hassas olan türlerin bu ortamda gençlik geliştirmesi açısından da son derece önemlidir.

1.2.4.3. Toprak Sıcaklığı

Orman ekosistemi gibi açık ekosistemlerde, toprak sıcaklığı biyolojik, fiziksel ve kimyasal reaksiyonlarda hayati öneme sahip önemli bir parametre olarak değerlendirilmektedir. Toprak sıcaklığı yalnızca kimyasal reaksiyonların hızını, su içeriğini ve topraktaki besin maddesi taşınmasını etkilemekle kalmaz, aynı zamanda iyon alımı, kök büyümesi ve toprak mikrobiyal topluluklarının bileşimi ve işlevi ile bitkilerin fizyolojik aktivitesini de etkiler. Toprak sıcaklığının yıllar önce bitki verimliliği için temel bir öneme sahip olmasının anlaşılmış olmasına rağmen, bu parametre ülkemizde özellikle orman ekosistemi çalışmalarında yeterli ilgiyi görememiştir. Aslında, toprakta meydana gelen hemen hemen tüm süreçler, birincil minerallerin ayrışmasından bitki beslenmesine ve organik karbonun depolanmasına kadar, toprak sıcaklığından güçlü bir şekilde etkilenir. Bu nedenle toprak sıcaklığının, dünya genelindeki karasal ekosistemlerde birincil üretim üzerinde büyük bir etkiye sahip olduğu yapılan birçok çalışmada rapor edilmiştir. Toprak sıcaklığının aşırı derecede düşmesi, özellikle orman ekosistemlerinde bitkilerde fizyolojik kuraklık meydana gelebilmektedir. Çünkü toprakta mevcut olan su donmuş durumdadır ve bitki kökleri bu sudan ve içerisindeki mineral maddelerden yararlanamazlar. Ağaç köklerinin mevcut mineral maddeleri toprak çözeltisinden aldıkları için düşük sıcaklığa bağlı toprak çözeltisinin donması nedeni ile mineral maddelerin bitki bünyesine alımı gerçekleşemez ve sonuç olarak bitkiler besin maddesi açlığı çekerek strese maruz kalırlar. Bu durum aynı kuru ve yarı-kuru bölgede yayılış gösteren bitkilerdeki duruma benzer. Burada toprakta

su noksandır ve bitkiler buna bağılı stres yaşamaktadırlar. Diğer taraftan yetişme ortamının yeterli suyu bünyesinde barınması yetmez aynı zamanda sıvı fazda olması gerekir ki bitkiler bundan yararlanabilsinler.

Pregitzer ve King (2005), yapmış olduğu çalışmada, toprak sıcaklığının ekolojik önemini detaylı olarak araştırmıştır. Bu çalışmada toprağın enerji bütçesinin bir tanımı olarak toprak sıcaklığı seviyelerini farklı enlem derecelerinde beklenen değişimleri kısaca araştırmıştır. Bununla birlikte toprak sıcaklığının fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerine yani kimyasal reaksiyonların hızına, toprak nemine, kütle akışına difüzyon üzerine önemli etkiler oluşturduğunu belirtmiştir. Yine toprak sıcaklığının bitkilerin köklerinin büyüme ve morfolojisini de içeren kök biyolojisine birçok yönden etki ettiği ve toprakta kök dağılımı ve kök fizyolojisi üzerinde önemli roller üstlendiği bildirilmiştir. Bununla birlikte toprak sıcaklığının toprak faunasına ve mikrobiyal komüniteyi etkilediği, organik maddenin ayrışmasında ve azot dönüşümünde, azot bağlanmasında ve mikorizalar üzerinde önemli görevler üstlendiği bildirilmiştir. Yine toprak sıcaklık değişimlerinin ekosistemde kısa ve uzun vadede birçok ekofizyolojik etkisinin olduğu bildirmiştir. Kısa vadede toprak suyunu, kimyasal reaksiyonların hızını ve element taşınımını etkilemek suretiyle bitki besin maddesini alımını etkiler. Uzun vadede ise termik veya hipertermik bir sıcaklık rejimine sahip topraklar, mineral yıkanmasını ve ayrışma oranlarını hızlandırarak, düşük aktiviteli killerin yoğunluğunu arttırır ve organik maddeleri azaltır (Sanchez, 1976). Bunun yetişme ortamında muhtemel iki etkisi ortaya çıkar. Birincisi, yüksek derecede yıpranmış killer (örneğin, kaolinit) esas olarak demir ve alüminyum hidroksitlerden oluşur ve Ca^{+2} ve Mg^{+2} gibi bitki beslenmesi için önemli olan elementlerin çoğunu çoktan kaybetmiştir. Bu nedenle, toprak besin stokları ciddi şekilde tükenmiştir. İkincisi de bu killerin katyon değişim kapasitesi düşüktür ve bu nedenle organik maddenin mineralizasyonundan veya atmosferik çökeltmeden elde edilebilecek besinleri tutma kapasiteleri düşüktür.

Açık ekosistemlerde toprak sıcaklığı, bitkilerde fizyolojik olarak aktif periyodu gösteren vejetasyon periyodu, mikroorganizma ve bitki köklerinin faaliyetleri üzerinde önemli bir rol oynar. Atmosferik olayların gerçekleştiği katmanda yükseltiyle birlikte hava ve toprak sıcaklığında da değişimler olduğu rapor edilmiştir (olak ve Pitterle, 1999). Her 100 metrede toprak sıcaklığının 0,45 °C değişim eğilimi gösterebildiği ancak toprak derinliğine bağılı doğrusal bir artma ya da azalma göstermediği bildirilmiştir (Ozenda, 1988). Burada hava sıcaklığının yaklaşık 17,9 °C olduğu bir ortamda toprağın ilk derinlik kademesinde (5cm) sıcaklık 5,12 °C olarak ölçülmüş ve 60 cm derinliğe doğru azalma

eğilimi göstermiştir (30cm: 4,53 °C, 60 cm: 4,52 °C). Ancak bu derinlikten sonra sıcaklık davranışı ters yönde değişim göstermiş ve 120 cm toprak derinliğinde 4,92 °C olarak ölçülmüştür. Toprak sıcaklığının toprağın derinliğine bağlı değişim göstermesinde en önemli etmenlerden birisi gerek otsu gerekse de odunsu bitki türlerine ait köklerin toprağın ilk 0-50 cm toprak derinliğinde yayılış göstermesi gösterilebilir (Goebes vd., 2019). Bunun yanı sıra, orman ve mera ekosistemlerinde üst toprağın organik madde içeriğinin fazla olması (Hacısalıhoğlu vd., 2017), mikro ve makro toprak canlılarına bağlı biyolojik aktivitelerin bu bölgedeki yoğunluğu da toprak sıcaklığının rizosfer tabakası ya da fizyolojik toprak derinliği (solum) olarak da adlandırılan bölgede özel durum oluşturmaya neden olmaktadır.

Yaz aylarında ise hava sıcaklığının yüksek düzeylerde seyretmesi, üst toprak sıcaklığının önemli derecede düşük olmasına neden olabilecektir. Vejetasyon periyodu da toprak sıcaklığına etki eden diğer bir parametre olarak değerlendirilmektedir. Daha da önemlisi hava ve toprak sıcaklığının fotosentetik aktif radyasyon (PAR) ve buhar basıncı değişim parametreleri ile birlikte fotosentez oranına önemli derecede etki ettiği, İsviçre’de 1980 metre yükseltide yayılış gösteren *Pinus cembra* meşçerelerinde yapılan çalışmalar ile rapor edilmiştir. Yine Day vd. (1989) tarafından Kuzey Amerika kıtasında subalpine zonunda yayılış gösteren *Picea engelmannii* ve *Pinus concorta* meşçerelerinde yapmış olduğu çalışmada toprak sıcaklığının -1°C ‘den +10 °C’ye kadar yükselmesi ile CO₂ özümleme oranının %25-40 oranında arttığını bildirmiştir.

Schönenberger ve Frey (1988) yapmış olduğu çalışmada, vejetasyon periyodundaki toprak üstü sıcaklık değerlerinin yıllık ortama sıcaklığa göre 2-3 kat daha fazla olduğunu bildirmektedir. Bununla birlikte toprak üstü sıcaklık ve arazi yüzü sıcaklığı arasında sıkı bir ilişkinin varlığı bildirilmekte ve uzun yıllara dayanan verilere göre (Jones vd., 2012) toprak üstü hava sıcaklığındaki değişimin arazi yüzü sıcaklığından daha fazla olabileceği bildirilmektedir. Orman ekosistemlerinde toprak üstü sıcaklıkların meşçere kapalılığı ile koyu renkli humus ve organik madde miktarından da etkilenebileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Aslında yapılan bir çalışmada (Stathers ve Spittlehouse, 1990), toprak sıcaklığının hangi ekolojik parametrelerden etkilendiği şu şekilde sıralanmaktadır. İklim: Solar radyasyon, hava sıcaklığı ve yağış. Yetiştirme ortamı: Enlem, yükselti, eğim, bakı. Yüzey durumu: kapalılık, orman örtüsü, kar örtüsü, yüzeysel pürüzlülük. Toprak: nem, renk, organik madde, tekstür, sıkışma şeklinde özetlenmiştir. Ancak tüm bu faktörler, üst toprak sıcaklığı üzerinde önemli bir rol oynar iken toprağın derinliğine bağlı bu etkenlerin tesirinin de azalacağı dikkate alınmalıdır.

Turner (1958) Melez ormanlarında (*Larix decidua*) yapmış olduğu bir çalışmada toprak üstü sıcaklığın bakı ve yamaca bağlı olarak değişebildiği, yeterli hava akımının olmadığı meşçerelerde ve koyu renkli humusa sahip alanlarda ekstrem sıcaklık değerlerine ulaşabildiğini rapor etmiştir. Güneşli yamaçlara bakan alanlarda toprak üstü ısınmanın hızlı ve şiddetli olabileceği olması ağaçlandırma çalışmalarında bireylerin yaz kuraklığını atlatabilmesi açısından göz önünde bulundurulması gereken hususların başında yer almaktadır.

Abiyotik faktörlerden olan yükselti, toprak sıcaklığını önemli ölçüde etkiler ve düşük rakımlı topraklar, bahar döneminde yukarılara göre daha fazla ve daha erken ısınır (Woodward, 1998). Bununla birlikte, bitki örtüsü sahip olduğu ölü örtü sayesinde üst toprak sıcaklığının günlük ve mevsimsel değişimin trendini etkileyebilmektedir. Breshears vd. (1998), yarı kurak bir bölgede yayılış gösteren çam ve ardıç (*Pinus edulis* ve *Juniperus monosperma*) türlerinden oluşan ormanlık alandaki üst toprak sıcaklığının kış mevsiminde açık alana göre daha sıcak olduğunu bildirmiştir. Bununla birlikte toprak tekstürünün de toprak sıcaklığının değişim eğilimi üzerinde önemli bir rolü olduğu bilinmektedir. Öyle ki ıslak kumun, ıslak organik maddeye göre ısı iletkenliğinin yaklaşık 5 kat daha fazla olduğu ve katı haldeki inorganik toprak maddesinin benzer özelliği gösterdiği ancak aralarındaki farkın hacim ağırlığı ve su içeriğinden kaynaklanabileceği bildirilmektedir (Jury vd., 1991). Hidrolojik döngünün toprak sıcaklığını önemli derecede manipüle eden bir parametre olduğu ve toprak yüzeyinden gerçekleşen evaporasyonun toprak yüzeyinin soğumasına neden olduğu bildirilmektedir (Sumrall vd.,1991). Bununla birlikte, toprağın bitki örtüsünden yoksun olduğu durumlarda toprağın rengi ve nem içeriği albedoyu belirleyen ana faktörler olarak ön plana çıkmaktadır (Hanks ve Ashcroft 1980). Arazi kullanımının, bitki örtüsünün ve toprak nem içeriğinin toprak sıcaklığı üzerinde önemli bir etkisi olmasının yanında orman ekosistemlerindeki silvikültürel faaliyetler de toprak sıcaklığını önemli derecede etkileyebilmektedir. Kanada’da yayılış gösteren *Abies grandis* orman ekosisteminde yapılan bir çalışmada, tıraşlama kesiminin üst topraktaki maksimum sıcaklığın (1cm derinlik) 16°C’den 50°C’yi bile aşabildiği rapor edilmiştir (Spittlehouse ve Stathers 1990).

Toprak sıcaklığı, gün içinde ve mevsimlere bağlı olarak değişim gösterebilmektedir. Toprak sıcaklığının da hava sıcaklığı gibi kış aylarında en düşük iken ve yaz aylarında maksimuma ulaştığı, vejetasyon aktif ise periyotta üst toprak sıcaklığının toprak üstü sıcaklığa yakın olduğu ve gün içindeki sıcaklık değişiminin en az olduğu bildirilmektedir.

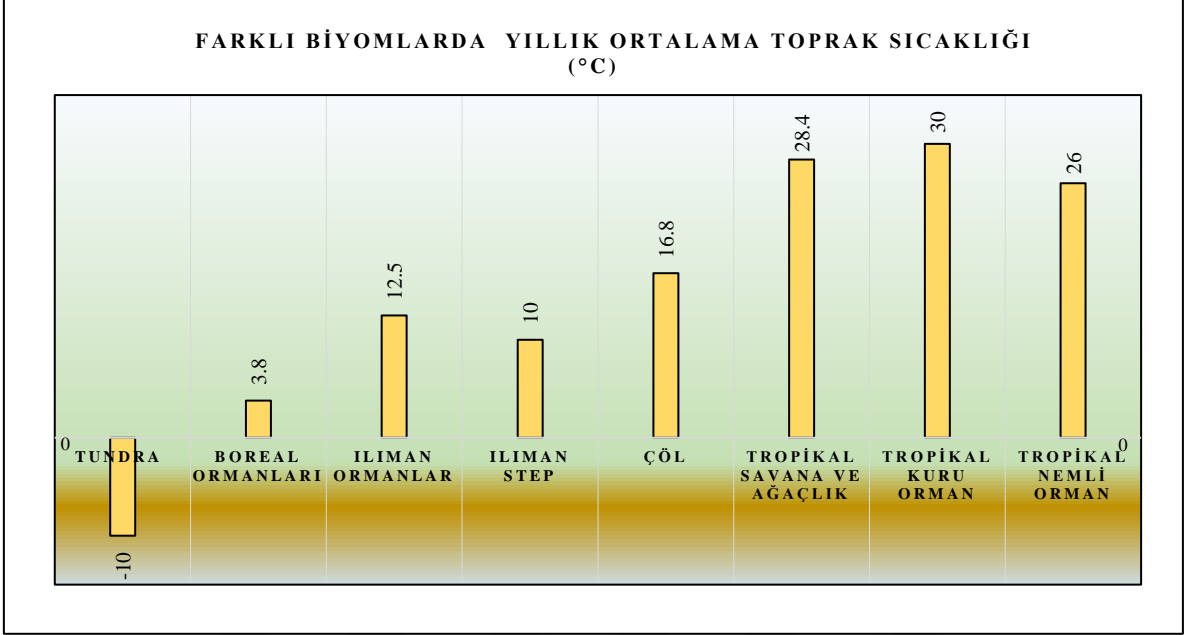
Toprak sıcaklığının yıl içinde değişimi hava sıcaklığına göre değerlendirildiğinde, yazın hava sıcaklığından daha düşük, kışın ise hava sıcaklığından daha yüksek olma eğilimi göstermektedir. Bu konuyla ilgili birçok çalışma yapılmıştır (Pregitzer ve King, 2005). Karasal ekosistemlerde birçok farklı enlem ve boylam derecesinde, toprağın ilk 50 cm derinliğini baz alan çalışmalarla birlikte (SSF, 1975) toprağın yıllık sıcaklığına bağlı olarak toprak sıcaklık sınıfları yapılmıştır (Tablo 2). Buna göre yıllık ortalama toprak sıcaklığı 8 °C'den daha düşük olan topraklar soğuk topraklar olarak adlandırılır iken 22°C'den daha büyük dereceye sahip topraklar da ekstrem sıcak topraklar olarak adlandırılır.

Tablo 2. 50-cm derinlikte yıllık ortalama sıcaklığa dayanan toprak termal rejimleri

Toprak sıcaklık sınıfları	Yıllık ortalama sıcaklık (°C)
Soğuk (Frigid)	<8
Ilıman (Mesic)	8–15
Iso-ılıman ^a (Isomesic)	8–15
Termik (Thermic)	15–22
Hipotermik (Hypothermic)	>22

Toprak sıcaklığı ekofizyolojik açıdan değerlendirildiğinde, toprak sıcaklığı, karasal ekosistemlerde besin maddesi bulunabilirliğini ve alımını düzenleyen temel faktörlerden biridir. Toprak sıcaklığındaki değişiklikler, ekosistem seviyesindeki toprak nemindeki değişikliklerle ayrılmaz bir şekilde bağlantılıdır. Bitki ve mikrobiyal işlevdeki değişiklikler, gelecekte toprak sıcaklığı ve nemindeki değişikliklere çok sıkı bir şekilde bağlanacak ve bu ekolojik etkileşimler, besin maddesi bulunabilirliği ve net ekosistem üretkenliğinde kritik roller oynayacaktır (Pregitzer ve King, 2005) . Birçok iğne yapraklı türde kök gelişiminin toprak sıcaklığının 5 °C'nin üstünde olduğu dönemde başladığı, 10 °C'nin üstünde kök gelişiminin hızlandığı ve 20 °C'de maksimuma ulaştığı ve bundan sonra da azaldığı bildirilmektedir (Lopushinsky ve Max 1990). Bununla birlikte bu durumun ağaç türü, orijini ve genetiği ile de alakalı olabileceği bildirilmektedir (Lahti vd., 2005). Öyle ki, Avrupa ladini (*Picea abies*) fidanlarında yapılan çalışmalarda kök gelişiminin 5 °C'ye doğru arttığı, 5–8 °C aralığında sınırlı gelişim gösterdiği (Vapaavuori vd., 1992) ve 26 °C dolaylarında ise maksimuma ulaştığı bildirilmektedir (Lyr ve Hoffman, 1967).

Kutuplara yakın Tundra ekosistemlerinde yıllık sıcaklığın $\leq 0^{\circ}\text{C}$ ile en düşük değer aldığı, bununla birlikte tropikal kuru ormanlarda ise 30°C 'ye ulaşarak en yüksek değer aldığı rapor edilmiştir (Şekil 8).



Şekil 8. Farklı biyomlardaki yıllık ortalama sıcaklığın aldığı değerler (Pregitzer ve King, 2005'den ortalama değerler yeniden hesaplanmıştır)

Osman (2013), yapmış olduğu detaylı literatür çalışmasında, toprak sıcaklığının birçok fizyolojik süreci doğrudan etkilediğini rapor etmiştir. Buna göre stomatal iletkenlik, transpirasyon, karbondioksit asimilasyonu, biyokütle üretimi, ısıya karşı yaprak direnci, besin maddelerinin taşınımı ve yer değiştirmesi gibi birçok aktivitenin toprak sıcaklığı tarafından etkilendiği bildirmiştir. Bununla birlikte, düşük toprak sıcaklığı ile birlikte metabolik aktivitenin düşmesine bağlı olarak su ve besin maddesi alımı azalmaktadır. Ladinde (*Picea mariana*) yapılan bir çalışmada (Van Cleve vd.,1990), yetişme ortamındaki toprağın ısıtılması ile birlikte ibrelerin N, P, K içeriğinin daha fazla olduğu ve fotosentez oranının %20 arttığı bildirilmektedir.

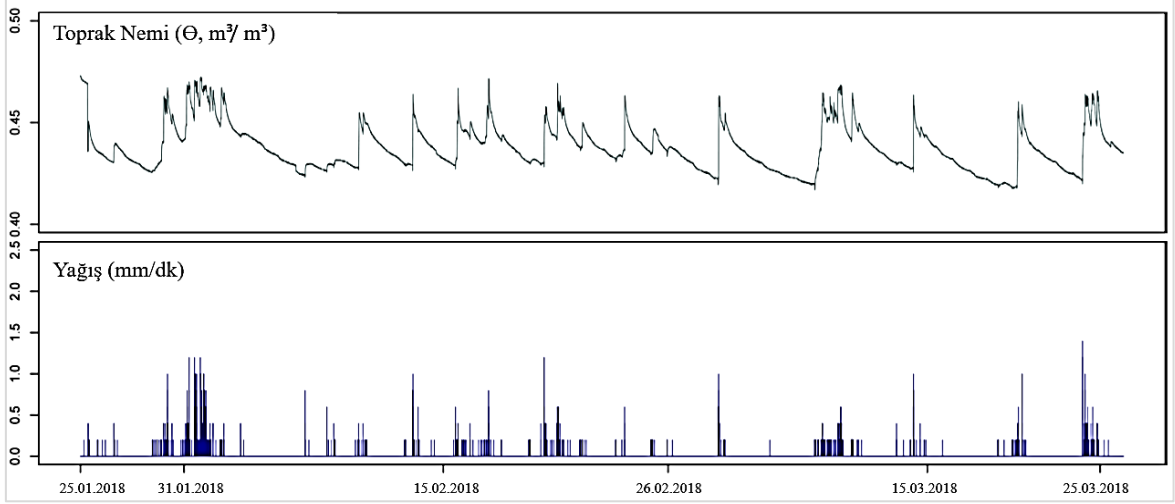
Toprak çözeltisindeki besin konsantrasyonlarını kontrol eden, hem biyotik hem de abiyotik sayısız toprak süreci, daha sıcak topraklarda hızlandırılmış oranlarda meydana gelir. Bununla birlikte, difüzyon yoluyla besin taşınması sıcaklıkla birlikte artabilir. Joslin ve Wolfe (1993), yüksek rakıma sahip ladin ekosisteminde (*Picea rubens*) yapmış olduğu çalışmada güneşli bakıdaki meşçerenin gölgeli bakıdaki meşçereye kıyasla toprak

çözeltisinde mevsimlere bağlı olarak daha fazla NO_3^- , Mg^{+2} ve Al^{+3} içerdiğini rapor etmiştir. Bu şekilde kısa vadede besin alınabilirliği artmış olsa da, uzun vadede mevsimsel olarak alandan NO_3^- ve Mg^{+2} 'nın yıkanması toprak sıcaklığının artmasına bağlı olarak %30-33 oranda artmıştır. Bu da toprağın kümülatif besin maddesi içeriği açısından mevcut bitki örtüsü için zamanla olumsuz bir durum oluşturabilir. Kelly (1993), ladin ormanında yapmış olduğu çalışmada toprak sıcaklığının 4°C 'den 24°C 'ye çıkmasıyla birlikte toprak profilinde Oa ve A horizonlarından sızarak gelen toprak çözeltisindeki N, NH_4^+-N , $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$ mineral maddelerin yüksek konsantrasyonda olduğunu tespit etmiştir. Bununla birlikte toprak sıcaklığının artmasına bağlı olarak Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ ve NO_3^--N konsantrasyonlarının azaldığını bildirmiştir. Bu da toprakta bulunan tüm iyonların, sıcaklık değişimlerine bağlı olarak aynı reaksiyonu göstermeyeceğini ortaya çıkarmıştır.

Zou vd. (2018), sitka ladini ekosistemlerinde yapmış olduğu çalışmada toprak sıcaklığına bağlı bitkisel ve hayvansal kökenli toprak solunumunu araştırmıştır. Bu çalışmada toplam toprak solunumunun toprak sıcaklığından pozitif yönde önemli derecede etkilendiği tespit edilmiştir.

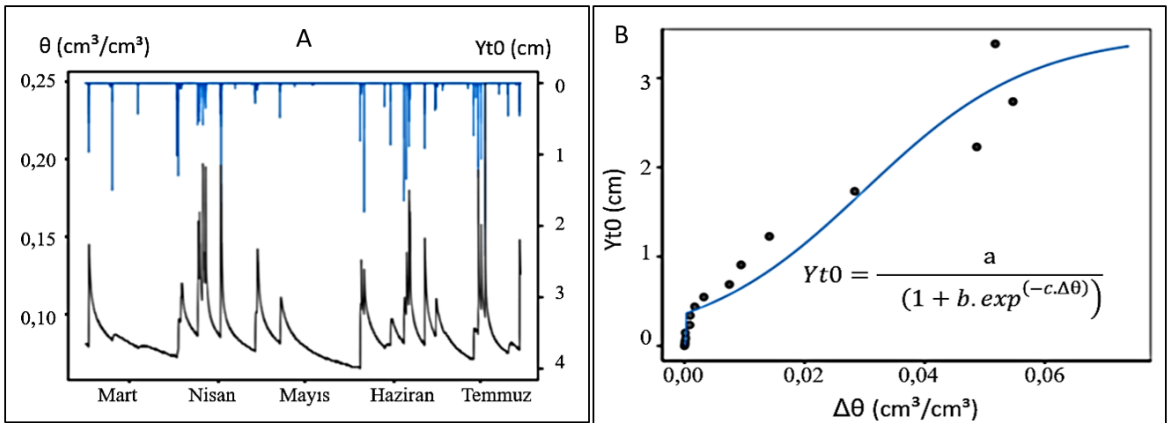
1.2.4.4. Toprak Nemi

Toprak nemi, toprak sıcaklığı ile birlikte ekosistemlerin ana ekolojik bileşenidir. Toprakta suyun akışı arazide toprağın doygun hidrolik iletkenliği (permeabilite), matrik potansiyeli ve geçirim gücü ile karakterize edilmektedir. Toprak su akışında, topraktaki fazla bitki besin elementleri, bakteriler, virüslerin yanı sıra endüstriyel kirleticiler de taşınabilir (Elrick ve Reynolds, 2002). Toprak nemi, toprak içindeki mikrobiyal biyoması etkileyerek dolaylı olarak topraktaki besin çevirimi üzerinde de önemli roller üstlenir (Murphy vd., 1998). Avustralya'da yapılan bir çalışmada toprak nem içeriği ve mikrobiyal biyomasın zamana bağlı olarak, özellikle vejetasyon aktif periyodunda, benzer eğilim gösterdiği bildirilmiştir. Yine, Zou vd. (2018), sitka ladini ekosistemlerinde yapmış olduğu çalışmada toprak nemine bağlı bitkisel ve hayvansal kökenli toprak solunumunu araştırmıştır. Bu çalışmada toplam toprak solunumunun toprağın hacimsel nem içeriğinden önemli derecede negatif yönde etkilendiği tespit edilmiştir. Ayrıca yıllık yağış oranı ile birlikte toprak nemi de önemli derecede etkilenmektedir (Şekil 9).



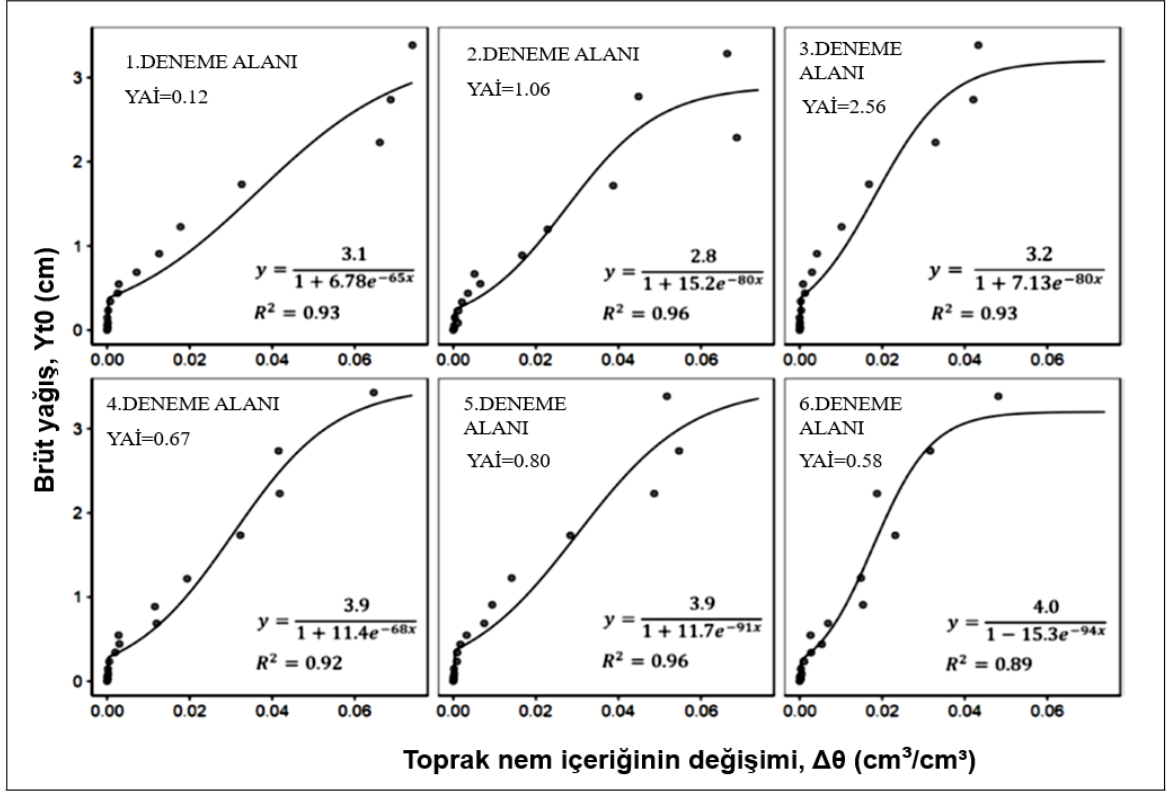
Şekil 9. Yıllık toplam yağışın 4351mm olduğu Toprak nemi ve yağış trendi (Iménez-Rodríguez vd. 2021)

Acharya vd. (2020), üst toprak nem içeriği parametresini kullanarak toplam orman intersepsiyonu ve onun bileşenlerini tahmin etmek istemişlerdir. Burada yüzeysel akıştan önce, İnfiltrasyon miktarı yağıştan toplam İntersepsiyonun farkına eşit olduğunu varsaymaktadırlar ve doğrudan yağış olaylarını takiben kullanılan üst toprak nemi intersepsiyon parametreleri hakkında bilgi edinmek için kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Bunun da kanıtı olarak da 34 adet farklı meşçere yapısı ve hidrojeolojik özelliğe sahip deneme alanında ölçümler gerçekleştirmişlerdir (ABD, Florida). Yağış süresinde toprakta nem değişimi ve brüt yağış ile toprak nemi içeriği modellenmiştir (Şekil 10).



Şekil 10. A: Brüt yağış miktarı (mavi çizgi) ve buna karşılık gelen üst toprak (15cm) toprak nem içeriğinin (siyah çizgi) zamansal değişimi, B: Yağış süresince, brüt yağış ve toprak nem içeriği değişim ilişkisi ile y katsayısının (Yt0d, toplam intersepsiyon depolaması doygunluğu için gerekli yağış miktarı) çıkarımı için model denklemi.

Ekosistemlerde çoğu zaman brüt yağış miktarı meşçere yaprak alanı ile birlikte toprak nem değişimi üzerinde son derecede belirleyici bir etki oluşturur ki bu da doğrudan orman örtüsü intersepsiyonunu, dolaylı olarak da toplam intersepsiyonu manipüle eder. Yapılan bir araştırmada (Acharya vd., 2020) 6 farklı deneme alanı için gruplandırılmış yağış derinliğine karşılık toprak nem içeriğinin değişimi elde edilmiştir (Şekil 11).



Şekil 11. 6 farklı deneme alanı için gruplandırılmış yağış derinliğine karşılık toprak nem içeriğinin değişimi (Acharya, 2020'den değiştirilerek)

1.2.4.5. Solar Radyasyon

Güneş radyasyonu/ışınımı ya da solar radyasyon olarak ifade edilen iklim parametresi, yerkürede bulunan tüm canlılar için yaşam kaynağını oluşturur. Özellikle besin piramidinin en alt katmanında yer alan üreticiler için ışık, canlılığın ve net birincil üretimin gerçekleşmesi için elzemdir. Aynı zamanda solar radyasyonun şiddeti de yaşamsal faaliyetleri olumlu ya da olumsuz yönde etkileyebilir. Bitkilerde fotosentetik aktivitelerde yer alan CO₂ asimilasyonunda, bitki karakteristiğine göre (C₃ ya da C₄) değişmekle birlikte optimum solar radyasyon aralığının 1000-2000 μmol m⁻² s⁻¹ olması optimum özlümlenme oranını verdiği bildilmektedir (Taiz ve Zeiger, 2008; Koçaçınar vd., 2010). Bitkilerin

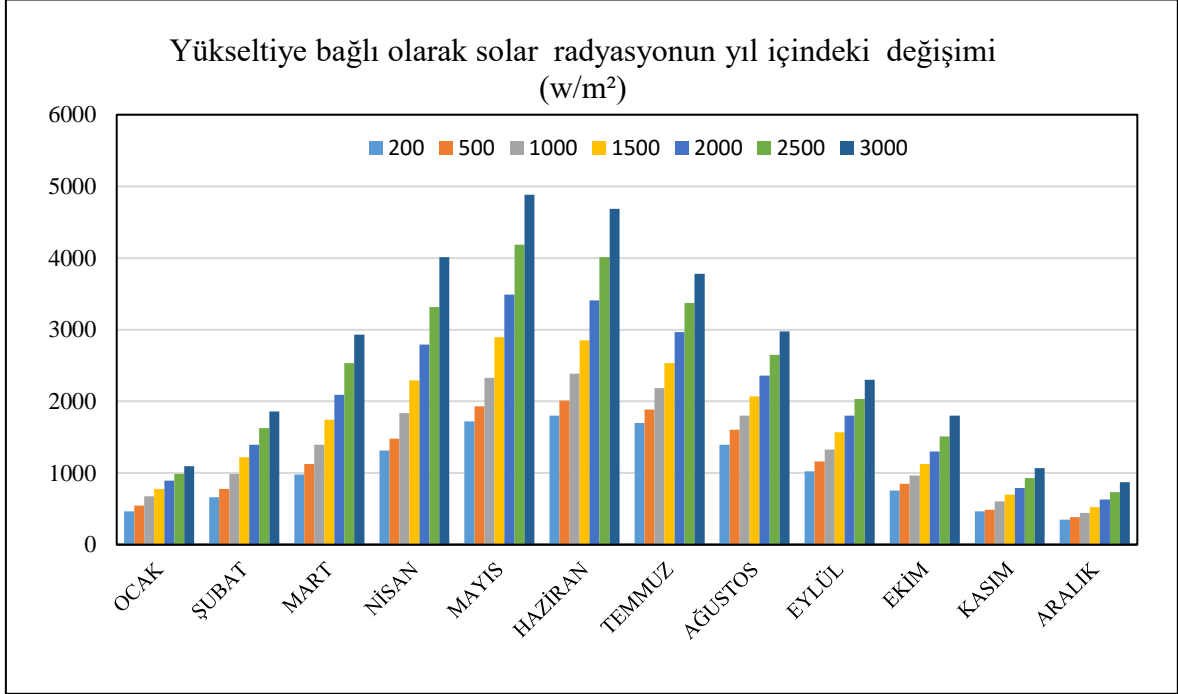
fizyolojik aktivitelerinde kullandığı ışık ve ısı enerjisinin güneşten doğrudan gelen solar radyasyona bağlı olmadığı toprağın ısınması ve soğumasına etki eden radyasyona, difüz ve reflektif radyasyona bağlı olduğu bildirilmiştir (Ozenda, 1988).

Mevsimplere ve gün içindeki güneşin konumuna bağlı olarak net, global ve fotosentetik aktif radyasyon (400-700nm) değişebilmektedir. Öyle ki yapılan bir çalışmada solar radyasyon 900 w/m^2 iken net radyasyon 600 w/m^2 olarak ölçülmüş ve bu koşullar altında Fotosentetik Aktif Radyasyon (PAR) değerinin $1800 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ olduğu bildirilmiştir (Frey ve Lösch, 1998). Yükseltiye bağlı olarak solar radyasyonun arttığı ancak bitkiler açısından son derece önemli olan PAR değerinin değişmediği rapor edilmiştir (Frey ve Lösch, 1998). Ancak bir orman ekosisteminde (*Picea sitchensis*) yapılan bir çalışmada (Jarvis ve Leverenz 1983), meşçerede düşey olarak PAR önemli derecede değiştiği bildirilmiştir (şekil III). Buna göre meşçere çatısından Meşçere altına doğru inildiğinde PAR değeri azalmaktadır. İç içe girmiş sürgünler çoğu zaman birbirini gölgeleyen ibre grubundan teşekkül olmaktadır. Yine bunlar Meşçere çatısındaki birbirini gölgeleyen dallar gibidir. Gölgelemenin neden olduğu durum nedeni ile fotosentez oranının optimuma ulaşması için daha fazla ışık miktarına ihtiyaç duyulur.

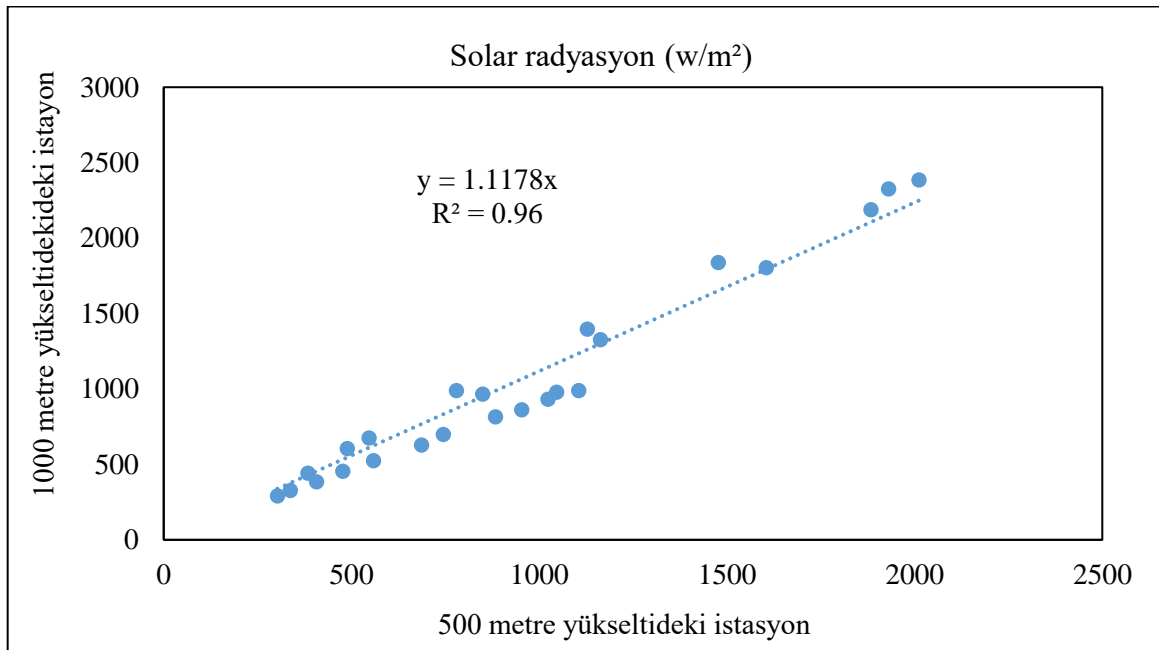
Meşçere içinde bile değişime uğrayan PAR değeri, mevsimlere bağlı olarak da zamansal bir değişim trendi gösterir. İsviçre fıstık çamı (*Pinus cembra*) ekosistemlerinde yapılan bir çalışmada (Hasler, 1994) vejetasyon aktif periyodu içinde PAR değerinin önemli değişimler gösterdiği bildirilmiştir. Tüm bunlar göstermiştir ki bitki gelişiminin önemli bir göstergesi olan fotosentez sürecine etki eden PAR değerinin zamana bağlı olarak önemli değişimler gösterdiği gibi mekâna bağlı olarak Meşçere içinde mikro düzeyde önemli değişimler gösterebilmektedir.

Solar radyasyonun, yükseltiye bağlı olarak oransal olarak arttığı birçok çalışmada yapılan modellerle bildirilmiştir (Çolak ve Pitterle, 1999). Bununla birlikte Kuzey yarım küredeki ılıman kuşakta yapılan çalışmalarda yükselti solar radyasyon değerlerinin genelde ilkbaharda maksimuma ulaşabileceği ancak kümülatif olarak değerlendirildiğinde yaz mevsiminin maksimum değerler aldığı bildirilmektedir (Şekil 12). Buna göre yükseltiyle birlikte solar radyasyon değerlerinin güçlü pozitif korelasyon gösterdiğini tespit etmiştir ($r=0.98$). Bu çalışmadaki 2 farklı yükseltideki değerler birimsel olarak değiştirilip kullanılıp regresyon denklemi oluşturulmuştur ($y = 1.1178x$, $R^2 = 0.96$, $y=1000$ metre yükseltideki solar radyasyon değeri, w/m^2 , $x=500$ metredeki solar radyasyon değeri, w/m^2) (Şekil 13). İmkânlar dâhilinde yer alan farklı yükseltideki istasyon değerleri kullanılarak ilgili denklem

kullanılıp, regresyon modelleri geliştirilebilir ve bu modeller kuzey yarım kürede kullanılabilir.



Şekil 12. Bulutsuz havada farklı yükseltilerde (mt) aylara göre solar radyasyon değerinin değişimi (Değerler, birim ve şekil olarak Franz, 1979'den değiştirilmiştir)



Şekil 13. Solar radyasyon değerinin 1000 metredeki istasyonun 500 metre yükseltideki istasyona göre tahmin modeli

1.2.4.6. Rüzgâr

Yüksek bölgelerdeki orman ekosistemi açısından rüzgâr parametresi yerel hava akımları ile birlikte mikro düzeyde iklimik koşulların oluşmasında önemli bir rol oynar. Hava kütlesi yüksek kesimlerde havzanın sınırları boyunca yukarı doğru hareket eder ve arazi yüzü şekline bağlı olarak kar ve yağışın dağılımını, buharlaşma ve yüzeysel toprak nemini yerel düzeyde ekolojik bir etki oluşturur (Çolak ve Pitterle, 1999). Bu nedenle mikro ölçekte bitki örtüsünün dağılımını da dolaylı olarak etkiler.

Mayer ve OTT (1991) yapmış olduğu çalışmada, açık ekosistemlerde rüzgâr hızının bitki örtüsüne bağlı değişim göstermesinin (0,35-0,75 m/s) yanı sıra kütleli hava taşınımının bir sonucu olarak rüzgâr hızı ile kar örtüsü kalınlığı ile karın kalış süresi arasında önemli korelasyonlar olduğunu bildirmektedir. Yine bu çalışmada yeterli kapalılığa ulaşılmış bir meşçerenin rüzgâr hızını 3-5 kat kadar düşürdüğü bildirilmiştir.

Rüzgâr hızı arazi yüzü şeklinden önemli derecede etkilenir. Dağlık bir alanda sırtlardaki rüzgâr hızı havzanın içi derinliklerdekini 2 katına kadar çıkabilmektedir (Prutzer, 1961). Bu da doğal olarak evapo-transpirasyon hızına etki eder. Hızının bitki örtüsündeki en önemli ekolojik etkilerinden birisi de buhar basıncı açığına etki ederek bitki türlerinde transpirasyonu etkiler (Tranquillini, 1992).

Orman ekosistemlerinin rüzgâr, solar radyasyon ve sıcaklık gibi özellikle dinamik iklim parametreleri üzerinde önemli bir etkisi vardır. Bu etkiler ormanların tür bileşenlerine ve meşçere karakteristiklerine bağlı olarak değişmektedir.

Daha önce yapılan çalışmalarda bildirildiğine göre açık alanda 1,2 m/s olan hızı ormanda yaklaşık bu değer 0,01 m/s gibi bir değer olarak yaklaşık 12 kat oranında düşürülmüştür. Bunun yanı sıra açık alanda 7 m/s olan hızı ormanlar tarafından yaklaşık yarı yarıya düşürülerek 3,2 m/s değerini almıştır (Çepel, 1995).

Ormanların rüzgâr üzerindeki fonksiyonu Çepel (1995) tarafından yaklaşık %54 oranında rüzgâr hızını düşürdüğü rapor edilmiştir. Bunun da ülkemiz yüzölçümünün rüzgâr erozyonuna 6/1000'sinin maruz kaldığı alanlar açısından önemli olduğu değerlendirilmiştir.

1.2.5. Orman Ekosistemlerinde Hidrolojik Döngü

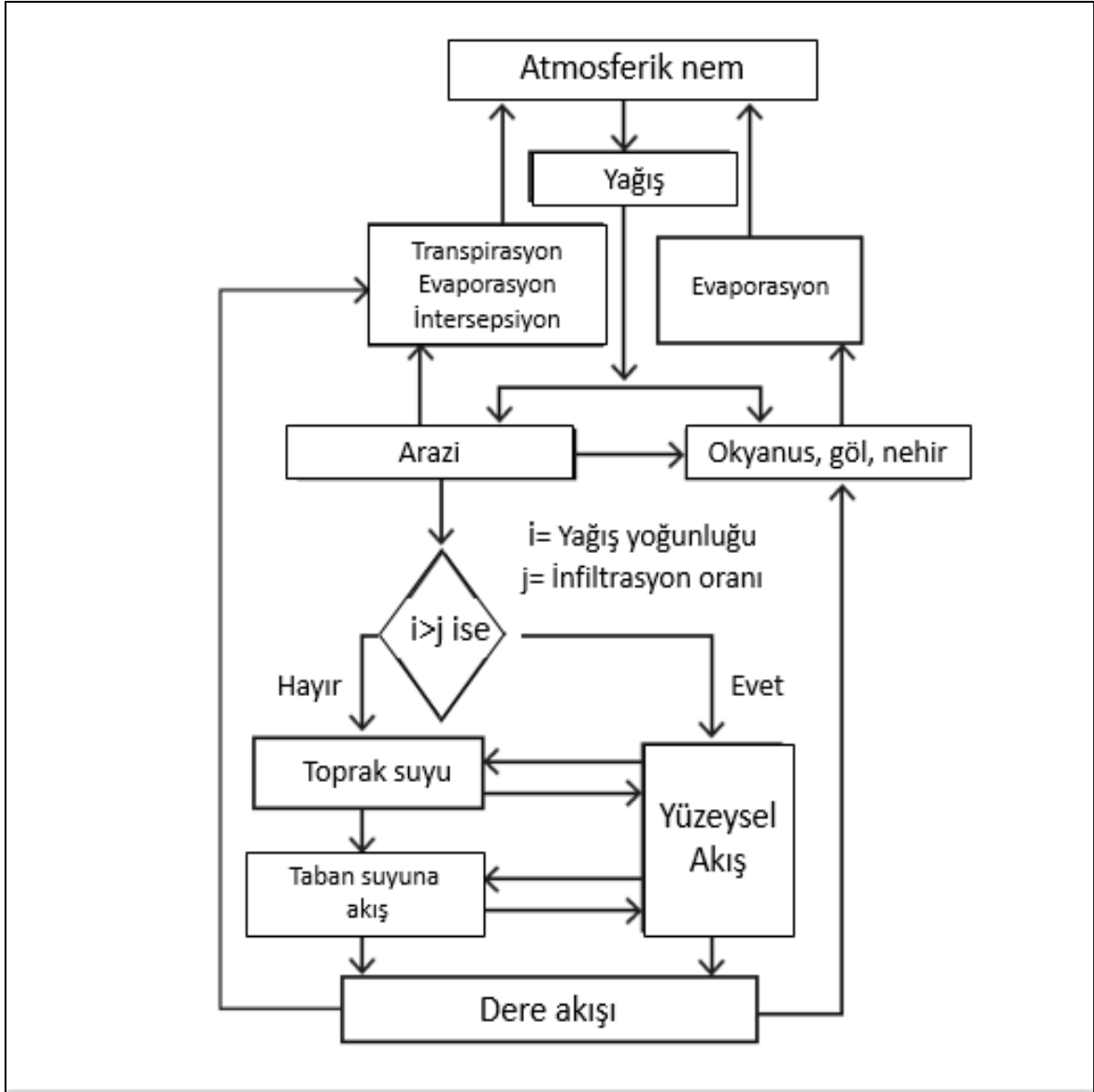
Hidroloji bilimi, yağışın çeşitli bileşenlerinin incelenmesiyle ve son olarak suyun atmosfere geri gönderildiği fiziksel süreçleri anlamakla ilgilidir. Yağışın yeryüzü ve atmosferdeki bulunduğu döneme ‘hidrolojik döngü’ adı verilir. Bu karmaşık döngü insan faaliyetleri tarafından önemli derecede etkilenebilir.

Hidrolojik döngünün karasal kısmına odaklanan hidrologlara göre, yağış genellikle su döngüsünün başlangıç noktası olarak görülür. Yağıştan başlayarak, görünen ilk süreç intersepsiyon işlemidir (Savenije, 2004). Yerkürenin % 70'inden fazlası suyla ve kara yüzeyinin yaklaşık üçte biri ormanlarla kaplıdır.

Hidrolojik döngü kapsamında, su, sıcaklık ve atmosfer basıncındaki değişimlere tepki olarak ya da yerçekimi etkisi nedeniyle yeni bir yere akmaya devam eder. Bu tür hareketler ve değişimler, atmosferde (yağış süreci), zeminde (akıntı süreci) ve zeminden atmosfere (evapotranspirasyon süreci) doğru bir ara katmanda meydana gelebilir. Bu nedenle yağış, yüzeysel akış ve evapotranspirasyon hidrolojik döngünün ana bileşenini oluşturur.

Atmosferi, toprakları ve okyanusu kullanarak dünyadaki suyun dolaşımı hidrolojik döngüyü oluşturur. Bu olay, başlangıç ve bitişi olmayan kesintisiz bir süreçtir (Chang, 2003) (Şekil 14). Hidrolojik bir sistemde korunum yasası geçerlidir; su girişi, su çıkışı artı depolama değerine eşit olmalıdır. Hidrolojik bütçe, bir havza sisteminin girdi ve çıktı bileşenleri arasında niceliksel bir su dengesi arar.

Ormanlık bir havzada su kaybı, genel olarak değerlendirildiğinde evaporasyon, intersepsiyon ve transpirasyon süreçleri önemli roller üstlenmiştir. Bir havzada toplam buharlaşmayı tanımlamak için kümülatif terim olan evapotranspiration (ET) kullanılır. Evapotranspirasyon sadece kontrol koşulları altında ölçülebilir; ki dolaylı gözlem veya deneysel ve teorik modeller sıkça tahmin yapmak için kullanılır. Potansiyel evapotranspirasyon (PET) terimi, havzadaki evapotranspirasyon kayıplarını tespit etmek için kullanılabilir. Thornthwaite (1948) ve Penman (1963) tarafından tanımlanmış ve formüleleştirilmiş eşitlikler de sıklıkla kullanılmaktadır. PET belirli iklim koşulları altında ET'nin üst sınırını oluşturmakta olup serbest su buharlaşmasını aşamaz. Uygulamada; PET değeri aylık yağıştan düşük olduğu durumlarda ya da bitkiler için su kaynağında bir sıkıntısı yoksa $PET=ET$ 'dir.



Şekil 14. Hidrolojik Döngü (Chang, 2003'den değiştirilerek)

Bir ormanlık havzada transpirasyon ve evaporasyon olayları farklı oranlarda gerçekleşir, meşçere çatısından suyun buharlaşması çoğunlukla açık alan su yüzeylerindeki potansiyel evapotranspirasyonu aşmaktadır (Shuttleworth, 1993). Aktüel evapotranspirasyon (AET) ise bir havzada aşağıdaki formülle hesaplanabilir;

$$AET = (1-a)E + a(Or + Ito) \quad (2)$$

E: Evaporasyon (toprak ve su yüzeylerinden buharlaşmayı içerir), Or: Orman transpirasyonu, Ito: Orman intersepsiyonu, a: havzanın kapladığı orman oranı (%).

Orman ekosistemini barındıran bir havzada zemin, ölü ve diri örtü ile kaplanmıştır ve E yalnızca %1 ve %2 oranında havzanın su yüzeyinden gelir. Bu da Toplam ET'yi yalnızca %5 - %10 oranında yapar (Szilagyi ve Parlange, 1999). Orman ekosistemlerinde, ağaç türü, bitki ve meşçere karatersikleri ile yağış durumuna bağlı olarak, gelen yağışın %10 ila %40'ı intersepsiyonla kaybedilmektedir. Nemli bölgelerde, orman meşçerelerinden meydana gelen PE'nin yaklaşık %60-%65'ini Transpirasyon oluşturmakta iken yalnızca %10-%15'i evaporasyondan kaynaklanmaktadır (Tablo 3).

Amerika'da orman ekosistemleriyle kaplı 39 havza kullanılarak ortalama aktüel evapotranspirasyon (AET) miktarları belirlenmiş ve bu da doğrusal regresyon modeli ile ($R^2 = 0.82$; Lu vd., 2003): gösterilmiştir;

$$AET = 1098.786 + 0.309 (Yt0) - 0.289(h) - 21.80(En) + 1.96(Oo) \quad (3)$$

AET=Aktüel evapotranspirasyon (mm/yıl) Yt0=Havzaya düşen yıllık ortalama yağış (mm/yıl), h=Havzanın ortalama yüksekliği (m), En=Enlem (Derece), Oo=Havzanın orman oranı (%). Bu modele göre, havzada arazi kullanımını olarak orman alanının %10 artması, evapotranspirasyonu yaklaşık her yıl 20 mm arttıracaktır.

Tablo 3. Farklı Arazi kullanımına göre Hidrolojik döngüdeki toplam buharlaşmanın oranları (Chang, 2003)

Bölge	Arazi Kullanımı	E % (Toprak Evaporasyonu)	Ito % (Orman İntersepsiyonu)	Tr % (Transpirasyon)	Kaynak
Münih, Almanya	Orman	10	30	60	Baumgartner (1967)
	Mera	25	25	50	
	Tarım	40	15	40	
	Çıplak toprak	100			
Tennessee, ABD	Karışık yapraklı	16	30	54	Oishi vd. (2008)
Nopex, İsveç	Karışık İbrelili	15	20	65	Iritz vd. (1999)
Flanders, Belçika	Orman	10	26	64	Verstraeten vd. (2005)
	Tarım	33		67	

Bir havzada, suyun hidrolojik çevriminde orman ekosistemleri sahip olduğu intersepsiyon mekanizmaları sayesinde önemli roller üstlenmiştir. Bu konu ile ilgili çalışmalar eskilere dayanmaktadır. İlk olarak bir alman bilim adamı olan Krutsch, 1863 yılında çam ormanlarında 16 ay süreyle bir araştırma yapmış çok hafif yağışlarda (<0.5 mm) gelen yağışın neredeyse %90'ı meşçere çatısında tutularak intersepsiyonla atmosfere verildiğini tespit ederken, çok şiddetli yağışlarda ise bu değer %10'a kadar düştüğünü gözlemlemiştir (Molchanov, 1963; Friedrich, 1967). Bu da orman ekosistemlerinin suyun hidrolojik çevriminde önemini göstermektedir. Suyun çevriminde, orman ekosistemleri, sahip olduğu kendine has vejetasyon özelliği sayesinde hidrolojik döngüde önemli bir rol üstlenirken, meşçere tepe çatısı, kök ve gövdeleri de aynı zamanda birçok ekolojik ve biyolojik işlevi yerine getirebilmektedir (Chang, 2003).

Bir orman ekosisteminde, orman hidrolojisi kapsamında yağış-akış ilişkilerini değerlendirmede yağmur intersepsiyonu önemlidir (Marin vd., 2000; Iida vd., 2005). Bu yüzden ekosistem bazında intersepsiyon değerleri hesaplanırken yağmur intersepsiyonu öncelikle değerlendirilmektedir. Bunun yanı sıra ekosistemi farklı açılardan etkileyen ve farklı ölçüm prensiplerine dayanan kar intersepsiyonu da ekosistem bazında birçok araştırmaya konu olmuştur. Storck ve Lettenmaier (2002), Gümüşi göknar (*Abies concolor*), Batı sarıçamı (*Pinus ponderosa*), Konkorta çamı (*Pinus contorta*) ve Douglas göknarından (*Pseudotsuga menziesii*) meşçerelerinde kar intersepsiyonunun %60'a kadar çıkabildiğini rapor etmiştir.

Loustau vd. (1992), sahil çamı meşçeresinde (*Pinus maritime*) intersepsiyon kaybı, meşçere altı yağış ve gövdeden akışı tespit etmeye çalışmışlardır. Burada 50x50m şeklinde deneme alanı almışlar, 52 adet yağmur ölçer (rain gauges) ve 12 adet de gövde akış ölçer cihazı kullanmışlardır. Burada 48 m²'ye bir yağmur toplayıcı ve 208 m²'ye de bir gövdeden akış aparatı düşmektedir

1.2.5.1. Orman Ekosistemlerinde İntersepsiyon Bileşenleri

Ormanların meşçere çatısı, göğe doğru yükselerek gelen yağışa karşı bir bariyer görevi görür. Gelen yağışın bir kısmı kaçınılmaz olarak meşçere çatısında tutularak atmosfere doğru buharlaşır (tepe çatısı intersepsiyonu), bir kısmı gövde boyunca zemine akar (gövdeden akış), bir kısmı da meşçere boşluklarından geçerek zemine ulaşır (meşçere altı yağış) ve daha sonra bunun da bir kısmı zeminden buharlaşır (orman örtüsü intersepsiyonu).

Meşçerede Toplam yaprak alanı ve yaprak alan indeksi de bu süreçleri etkileyen en önemli parametre olarak ortaya çıkmaktadır. Bundan dolayı bir orman ekosisteminde tepe çatısı intersepsiyonu, gövdeden akış, meşçere altı yağış, orman örtüsü intersepsiyonu ve yaprak alan indeksi intersepsiyonun ana bileşenlerini oluşturmaktadır (Chang, 2003). Bununla birlikte orman örtüsü intersepsiyonuna önemli derecede etki eden yüzeysel akış da toplam orman intersepsiyonun içinde değerlendirilebilir.

İntersepsiyon ve bileşenleri ile birlikte yağış miktarında bir azalma ve yağışın toprağa yeniden dağıtımını gerçekleştirir. Bununla birlikte intersepsiyon, karasal ekosistemlerdeki su bütçesi (Zinke, 1967) ve besin döngüsünün (Loescher vd., 2002) önemli bir bileşenidir.

İntersepsiyon kaybı: Kantitatif olarak, toplam orman intersepsiyonu (İto) olarak tanımlanabilir; meşçere çatısı intersepsiyonu (İm) ve orman örtüsü (İö) intersepsiyonunun toplamıdır.

$$\text{İto} = \text{İm} + \text{İö} \quad (4)$$

Net verimli yağış (Ynet): Toplam yağışın mineral toprağa ulaşan kısmını oluşturur. Bu da boş alana düşen toplam yağış ya da brüt yağış (Yt0) ve orman intersepsiyonu (İo) arasındaki fark olarak hesaplanır.

$$\text{Ynet} = \text{Yt0} - \text{İto} \quad (5)$$

Orman örtüsüne ulaşan toplam yağış miktarı ya da Meşçere altı Toplam yağış (Ymat): Gövdeden akış (Yga) ve meşçere altı yağışın toplamı (Yma) olarak hesaplanmaktadır.

$$\text{Ymat} = \text{Yga} + \text{Yma} \quad (6)$$

Meşçere çatısı intersepsiyonu brüt yağış (Yt0) ve net yağış (Ynet) arasındaki fark ile tahmin edilebildiği durumda;

$$\text{İm} = \text{Yt0} - \text{Ynet} = \text{Yt0} - (\text{Yma} + \text{Yga}) \quad (7)$$

Orman intersepsiyonu hidrolojik döngüde önemli bir olaydır. Çünkü bu yağış depolamasını, toprak nem durumunu, kar toplanması ve erimesini, taşınımını, ısı dağılımını

ve toprak erozyonunda etkili yağmur damlası enerjisini etkilemektedir. Ekosistemlerinde toplam intersepsiyon oranı arazide kurulan aparat ve sistemler yardımıyla gravimetrik olarak doğrudan ölçülebildiği gibi dolaylı olarak birçok arazi çalışmalarından elde edilmiş ampirik formüller yardımı ile de tahmin edilebilmektedir.

Orman ekosistemlerinde, özellikle de kuzey ormanları gibi kapalı ve ölü-diri örtü yoğunluğunun olduğu bölgelerde mineral toprak genellikle ölü ya da diri örtü ile kaplı olduğundan, evaporasyon olayı intersepsiyonun içerisinde yer almaktadır. Bununla birlikte meşçere altı yağışla birlikte orman örtüsüne gelen suyun üstte tutularak tedrici olarak aşağı sızması ile birlikte de su kalitesinde birçok değişimler meydana gelebilir. Ağaçlar ve ormanlar hidrolojik döngüde önemli bir rol oynar ve bu ekosistemde suyun akışını düzenleyerek araziye selin olumsuz etkisinden korumada önemli görev görür (Cotrone 2016).

Bitkisel örtü bulunan alanlarda, bitki yüzeyleri, hidrolojik döngü sırasında karşılaşılan ilk engellerden biridir. Bu yüzden intersepsiyon süreci, bitki yüzeyi üzerindeki yağış miktarını, depolanmasını ve dağılımını etkileyen tüm işlemleri içerir (Swank, 1968). İntersepsiyon kaybı, orman ekosistemlerindeki hidrolojik süreçlerde önemli bir rol oynamaktadır. Orman evapotranspirasyonunu doğru olarak değerlendirmek için, intersepsiyon kaybının davranışlarını iyi anlamak gerekmektedir (Toba ve Ohta, 2008).

Havzaya düşen yağışlar çıplak toprakları doğrudan etkileyebilir fakat üzerinde vejetasyon örtüsü bulunan topraklara yağış doğrudan etki edemez. Ağaçlar, çalılar ve çayırlar, yüzeyine çarpan yağışı buharlaşacak kadar uzun süre taşıyabilir. Düşen yağış bunları aşır toprak yüzeyini kaplayan organik tabakaya ulaştığında yağışın intersepsiyon sürecinin tamamlandığı bildirilse de (Kenneth, 1996) bu aşamadan sonra orman örtüsü intersepsiyonu devreye girmektedir.

Yağış intersepsiyonu, vejetatif yüzeylere düşen brüt yağışın daha sonra yeniden buharlaştığı süreçtir. Bitki yüzeylerine çarpan yağmur geçici olarak tutulur ve nihayetinde buharlaşarak atmosfere geri döner (intersepsiyon kaybı) ya da damla damla düşerek ya da dallar ve gövdelerden akarak (gövde akışı) yeryüzüne doğru yol alır. Bazen yağışla beraber gelen su damlaları bir bitkinin yüzeyine çarpmadan doğrudan toprağa geçer (David vd., 2005). Bitki yüzeyine çarpmadan direk toprak yüzeyine temas eden yağış ve gövde akışı net yağış olarak adlandırılır.

Yağış intersepsiyonu, su kaynakları yönetiminde önemli bir hidrolojik süreç olarak değil, aynı zamanda iklim değişikliği bağlamında da kabul edilmektedir (Arnell, 2002). Bu,

yıllık intersepsiyon kayıplarının genellikle toplam yağış miktarının çeyreği veya daha fazla olduğu orman alanları için geçerli olduğu bildirilmektedir (Dingman, 2002). Tutulan suyun buharlaşma oranları, kısa bitki örtüsünden çok orman için daha yüksektir, çünkü ormanın gözle görülür derecede daha yüksek aerodinamik iletkenliği vardır (Muzylo, 2009)

Yeryüzünün büyük bir bölümünde yağış suları ile dikili haldeki bitki örtüsü, mineral toprak ve organik katman etkileşim içerisinde. Bu etkileşimler zamana bağlı olarak değişmekle birlikte bitki örtüsü açısından faydalı olur iken bir ekosistemde mineral toprağa ulaşan yağış suyu, toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinde birtakım değişimler meydana getirebilir. Bu değişimlerin başında bitki besin içeriğindeki konsantrasyon değişimleri gelmektedir. Yağış esnasında herhangi bir açık ekosisteme gelen yağmur damlaları yerçekimin etkisi ile mineral toprağa girme eğilimindedir.

Yağış sırasında yağmur damlaları bitki örtüsü gibi herhangi bir doğal ya da yapay engel ile karşılaşmazsa direkt olarak zemine temas eder. Arazi ve zemin özelliklerine göre de yağış suları toprakta yüzeysel akış ve sızma davranışları gösterir. Bir bölgede yağış esnasında doğal ya da yapay bir orman ekosistemine gelen yağmur damlaları, meşçere çatısından geçerek orman örtüsüne ulaşır. Bu esnada yağmur damlaları bitki örtüsü ile fiziksel bir etkileşim geçirir ve ormanın yapı ve kompozisyonuna bağlı olarak içeriğinde birtakım değişimler meydana gelebilir. Bununla birlikte orman örtüsüne direkt olarak çarpan yağmur damlaları, orman örtüsüne bağlı olarak toprak özelliklerini de etkileyebilir.

Ekolojik ve topografik koşullara göre değişmekle birlikte, meşçere altı yağış ile yeterli organik maddeye sahip toprağa gelen yağmur damlaları mineral toprak ile doğrudan temas etmeyerek mineral toprağın aşınma derecesi üzerinde minimum düzeyde etkili olur iken ölü örtü miktarı mineral toprak üzerinde yeterli değil ise yağmur damlalarının eroziv etkisi daha da şiddetli olabilmektedir.

Alternatif olarak intersepsiyon tahminlerinde, birçok ampirik model (Merriam, 1960), süreç tabanlı model (Rutter vd., 1971;1975, Gash, 1979, Gash vd., 1995, Liu, 1998) ve stokastik model (Calder, 1986) geliştirilmiştir. Doğrudan ölçüm olarak çoğu model uygulamaları, orman ekosisteminin meşçere üstü ve meşçere altı tabakasını baz almak yerine sadece meşçere üstü olan meşçere çatısı depolama kapasitesini göz önünde tutmaktadır ki bazı durumlarda orman örtüsü intersepsiyonu meşçere çatısı intersipsiyonunu aşabildiği rapor edilmiştir (Gerrits ve Savenije, 2011; Putuhena ve Codery, 1996).

Bu şekilde, geleneksel biçimde yapılan model uygulamaları mevcut toplam İntersepsiyonun tahmininde zayıf kaldığı çalışmamızda da belirtildiği gibi Acharya vd., (2020) tarafından da desteklenmektedir.

1.2.5.2. Meşçere Altı Yağış

Orman ekosistemlerinde, meşçere altı yağış, ormanlara su girişini sağlayan hidrolojik döngünün en önemli parametrelerinden biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Bununla birlikte meşçere altı yağışın karakteristiği, yoğunluğu, damla büyüklüğü ve dağılımı orman-su bütçesi ile toprak erozyonu ve biyo-jeokimyasal döngüdeki yeri nedeniyle ekolojik bir öneme sahip olarak değerlendirilmektedir (Levia vd., 2017). Yağış, orman örtüsüne geldiği andan itibaren meşçere altına mekânsal ve zamansal olarak doğal ve yapay engellere göre yeniden dağıtılır. Bununla birlikte, bu yeniden dağıtım her zaman rastgele değildir ve suyun belirli yerlere yönlendirilmesi kapalılık, yaprak alanı ve gövde gibi meşçere yapısından önemli derecede etkilenmektedir (Tanaka vd., 1996; Metzger vd., 2019). Toplam net yağış olarak da adlandırılan meşçere altı yağış ve gövdeden akışın toplamı mineral toprağa ulaşmadan önce orman örtüsü intersepsiyonuna maruz kalmaktadır. Meşçere altı yağış miktarı ormanda ve ormanlar arasında önemli değişimler gösterebilmektedir. Ortalama meşçere altı yağış, ağaç türü, yaşı, yoğunluğu, mevsim ve yağış karakteristikleri gibi faktörlerle belirlenir. Bununla ilgili birçok ampirik formül geliştirilmiştir. Kuzey Amerika'da yayılış gösteren bazı önemli ağaç türlerinin gövdeden akış ve meşçere altı yağış değerleri tablo 4'de verilmiştir. ABD'de 25 yaşındaki Duglas göknarı meşçeresinde ortalama meşçere altı yağış gelen yağışın %12'si kadar düşük olarak ölçülmüştür (Pypker vd., 2005).

Tablo 4. Meşçere altı yağış ve gövdeden akış değerlerinin brüt yağışa göre hesaplanmış denklem değerleri ile tahmin edilmesi (Helvey, 1971).

Tür	Meşçere altı yağış (Y_{ma})	Gövdeden akış (Y_{ga})
<i>Pinus taeda</i>	$Y_{ma}=0.80Yt^{0-0.25}$	$Y_{ga}=0.008Yt^{0-0.51}$
<i>Pinus ponderosa</i>	$Y_{ma}=0.89Yt^{0-1.27}$	$Y_{ga}=0.004Yt^{0-0.25}$
<i>Pinus strobus</i>	$Y_{ma}=0.85Yt^{0-1.02}$	$Y_{ga}=0.006Yt^{0-0.25}$
<i>Picea-Abies-Tsuga</i>	$Y_{ma}=0.77Yt^{0-1.27}$	$Y_{ga}=0.02Yt^0$

Meşçere altı yağışın miktarı ve karakteristiği birçok değişken tarafından etkilenmektedir. Bu faktörleri, bitki örtüsü ve meteorolojik faktörler olarak iki kategoride sınıflandırmak mümkündür. Orman ekosistemi açısından düşünüldüğünde, meşçere özelliği olarak kapalılığın bir fonksiyonu olan yaprak alan indeksi ve bunu da doğrudan etkileyen meşçere yaşı, çapı ve boyu ile meşçere çatısı depolama kapasitesi olarak değerlendirilebilir (Fleischbein vd., 2015; Deguchi vd., 2006; Zabret vd. 2017). Bununla birlikte ağaç tür kompozisyonu da meşçere altı yağış dinamiği üzerinde etkili olan bir diğer önemli parametre olarak değerlendirilmektedir. Zabret vd. (2017) yapmış olduğu bir çalışmada çam gibi iğne yapraklı türlerde yağmur damlalarının boyutu, meşçere altı yağış dinamiği ile meşçere intersepsiyonunu yağış düzeyinde etkilediği bildirilmektedir. Aynı çalışmada, huş ve çam meşçerelerinde, yağış mikro-yapısının meşçere altı yağışa etkisi incelenmiştir. Çam meşçeresinde, yağmur damla boyutu ile düşme hızının artması sonucu meşçere altı yağışın anında %25 ila %47 arasında arttığı tespit edilmiş ve geniş yapraklı bir tür olan huş meşçeresinde ise bir değişim tespit edilememiştir. Bunun da muhtemel sebeplerinden biri, ibreli-yapraklı tür ayrımı olarak gösterilmekle birlikte, çam meşçeresinde meşçere çatısının doygun hale gelmesi ile birlikte meşçere altı yağışın brüt yağışı temsil eden açık alandaki yağış miktarını geçtiği de diğer bir önemli neden arasındadır.

Meteorolojik faktörler arasında, yağış miktarı, yağış süresi ve yoğunluğu, hızı ve yönü, hava sıcaklığı ve nemi ile yağmur damlalarının karakteristik özellikleri gelmektedir (Crockford vd., 2000; Xiao vd. Andre vd., 2008; Sraj vd. 2008; Siegert vd. 2014).

Açık alana düşen yağmur damlasının büyüklüğü ve yağış yoğunluğu arasında parabolik bir ilişkinin varlığı bilinmektedir. Yağış yoğunluğuna bağlı olarak yağmur damlalarının çapı ve miktarı da artma eğilimi göstermektedir (Kelkar 1945, 1961) ve çisenti şeklindeki hafif yağışlarda ise yağmur damlaları nispeten küçük çaplara sahip olur (Westbrook vd., 2010). Yapılan bir çalışmada (Yakubi vd., 2016) yağış şiddetinin >100 mm/saat olduğu durumda yağmur damlası çapını şu şekilde modellemiştir; medyan yağmur damlası çapı d_{50} (mm), Y (yağış yoğunluğu, mm/saat)

$$d_{50}=3.27-1.63 \exp\left\{\frac{Y}{100}\right\}(-0.04Y) \quad (8)$$

Meşçere çatısına çarpan yağmur damlalarının çapında olduğu kadar son hızında da meşçere yapısına (yaş, boy, çap vs) bağlı olarak değişimler meydana gelir (Dunkerley, 2020) ve bu durum da orman örtüsünde suyun tutulması ile mineral toprağın erozivite değeri

açısından önemli olabilmektedir. Daha büyük çapa sahip yağmur damlarının düşme mesafesine bağlı olarak küçük çaplılara göre daha fazla son hıza ulaştığı değerlendirilmektedir. Burada yağmur damlarının son hıza ulaşması için 10-12 metre düşme yüksekliğinin yeterli olabildiği görülmektedir. Ancak ilk metrelerde damlaların düşüş hızı damla çapından önemli derecede etkilenmektedir. Genel olarak değerlendirildiğinde ise yağmur damlarının hızı atmosferik hareketler ile rüzgârdan etkilenebildiği gibi yükseltiden de etkilendiği bildirilmektedir (Dunkerley, 2020).

Konvektif (yükselim) yağışlar genellikle bir olayın seyrinin başlarında en yüksek yoğunlukları ve ardından azalan bir yoğunluğu gösterirken, tabakalı veya cephesel yağışlar daha az zaman değişimi gösterebilir. Yağış sırasında, bitki örtüsü meşçere çatısı giderek daha ıslak hale gelir (önce en üstteki yapraklar ve daha sonra meşçere çatısının altındaki yapraklar) ve sağanaklar arasında giderek kururlar. Çoğu çalışmada, tam kuruma süresinin 6 saat olduğu tahmin edilmektedir. Bir bitki çatısının statik ve rüzgârsız koşullar altında 100 g/m²'ye kadar veya birkaç mm yağmura eşdeğer bir yağış derinliğini tutabildiği bildirilmektedir (Dunkerley, 2020). Bunun yanında, yağmur meşçere çatısına düşmeye devam ederse meşçere altı yağışına damlamalar ve gövdeden akış olayları eşlik eder. Rüzgârın bir sonucu olarak titreme, meşçere çatısını daha hızlı boşaltır ve sıçrama (meşçere çatısı ıslandığında), damla başına binler halinde sayılabilen ve geniş yüzey alanı-hacim oranları nedeniyle hızla buharlaşabilen darbe damlacıkları meydana gelir. Birikmiş suyun ağırlığı altında sarkan yapraklar damlaların salınmasını teşvik edebilir ve yağışın yoğunluğu, mevcut depolama kapasitesini artırır, çünkü yapraklar, damlama veya damlama akışıyla boşalabileceğinden daha hızlı ıslanır.

Orman ekosistemlerinde meşçere altı yağış, ağaç tür kompozisyonundan önemli derecede etkilenmektedir. Öyle ki bazı durumlarda meşçere altı yağış brüt yağıştan bile fazla olabilmektedir. Yapılan bir çalışmada (Zabret vd., 2017) karaçam meşçeresinde yağışlarla birlikte meşçere çatısının doymuş hale geldiği durumlarda, nadiren meşçere altı yağış brüt yağış miktarını geçmiştir.

Wei vd. (2017) Kuzey Çin ormanlarında yayılış gösteren Çin çamında (*Pinus tabulaeformis*) brüt yağış, meşçere altı yağış ve gövdeden akış gibi intersepsiyon bileşenleri doğrudan ölçüm yöntemleri kullanılarak incelenmiştir. Meşçere özelliklerinden göğüs çapı, ortalama boy, ortalama sürgün yüksekliği, meşçere yoğunluğu, meşçere sıklığı, kapalılık parametrelerinin meşçere altı yağış ile ilişkisi incelenmiş ve en önemli etkiyi yapan kapalılık parametresi olduğu tespit edilmiş ve tüm bu analizler sonucunda R²'si yüksek bir kuadratik

bir model geliştirilmiştir. Çalışma alanında altı standart *P. tabulaeformis* örnek parselleri oluşturulmuş ve bu kalıcı örnek parsellerin hidrolojik özellikleri 2010-2011 yılları arasında incelenmiştir. 6 farklı kapalılıkta meşçere incelenmiştir (2438 ağaç/ha, , ağaç/ha, 1500 ağaç/ha, 1080 ağaç/ha, 928 ağaç/ha and 650 ağaç/ha). Bu çalışmadan brüt yağış ve meşçere altı yağış oldukça pozitif bir korelasyona sahip olduğunu göstermektedir ($R^2 = 0,98$). Açık alana düşen brüt yağış orman örtüsü üzerine gelir ise meşçere altı yağış olarak adlandırılan bir yapıya dönüşür ve iklim özellikleri ile ormanın diri ve ölü örtü karakteristiğine göre özellikle de yüzeysel akış ve İnfiltrasyon gibi yağış-akış bileşenlerini etkiler. Bu durum su açığı olan bir bölgede ön plana çıkar ki kurak alanda anakayanın yüzeye yakın olduğu bölgede yosun ve likenlerle kaplı bir örtü kendi kuru ağırlığının hemen hemen 6-10 katı kadar suyu tutabilir (Link vd., 2004).

Bununla birlikte silvikültürel ve üretim faaliyetlerini de içeren ormancılık aktiviteleri meşçere altı yağış-akış ilişkilerini önemli derecede etkileyebildiği ve aynı şekilde birçok bitki taksonu için bitki su ilişkileri, fotosentez mekanizmasına olumlu katkı sağladığı için fonksiyonel olarak önemli olduğu bildirilmektedir (Dunkerley, 2020).

1.2.5.3. Gövdeden Akış

Orman ekosistemlerinde intersepsiyonun önemli bileşenlerinden biri olan gövdeden akış parametresi, ağaç türü, yaprak alanı gibi meşçere karakteristiklerinden etkilendiği gibi yağış yoğunluğu ve miktarı ile yağmur damlalarının davranışı gibi meteorolojik koşullardan da önemli derecede etkilenmektedir (Yuan vd., 2019). Yağış miktarı ve yoğunluğu ile gövdeden akış miktarı arasında doğrusal ilişkinin varlığı birçok çalışma tarafından rapor edilmiştir. Gövdeden akışın oluşumu, orman ekosistemleri ve yağış karakteristikleri arasında oldukça değişkendir, ancak bir ormana yapılan yağış girdilerinin%2'sini nadiren aştığı bildirilmektedir (Carlyle-Moses vd., 2018; Van Stan ve Gordon, 2018). Bununla birlikte meşçere çatısından yaprak ve dallar yardımıyla gövde yüzeyinden toprağa doğru akışa geçen suyun içeriğinde önemli değişimler meydana getirmektedir (Levia ve Germer, 2015). Bitki besin elementleri (Dawoe vd.,2018), patojenler (Garbelotto vd., 2003) ve bakteri (Bittar vd., 2018) gibi organizmaların toprağa ulaşmasını sağlamaktadır.

Bir orman ekosisteminde gelen yağışın çok az bir kısmı gövdeden akışa geçmekte olup bu da çoğu zaman göz ardı edilmektedir. Ancak, gövdeden akışa geçen su miktarı, orman örtüsü ve toprak özellikleri üzerinde önemli roller üstlenmiştir (Murakami, 2009). Bir yandan

taban suyuna önemli katkı sağlar iken (Tanaka vd., 1996), diğer yandan toprak nem içeriğini (Durocher, 1990), toprağın kimyasal özelliklerini (Matschonat ve Falkengren-Grerup, 2000; Chang ve Matzner, 2000) ve toprak erozyonu (Herwitz, 1986) ile diri örtü dağılımını etkilemektedir (Andersson, 1991). Gövdeden akış miktarı göğüs yüzeyine bağlı değişmekle birlikte (Crockford ve Richardson, 2000) genel olarak ağaç yaşına ve meşçere çatısının genişliğine bağlı olarak artmakta, (Murakami, 2009) bazen de ağaç yaşına bağlı olarak azalma eğilimi göstermektedir (Johnson, 1990).

Bunun yanı sıra, bir asırdan fazla bir süredir araştırmacılar, meşçere çatısından suyu tercihen gövde tabanının çevresine sızacak şekilde akıttığında (Şekil 15), bu küçük miktarlardaki gövdeden akışının bile dikkate değer ölçüde önemli ekolojik etkilere sahip olabileceğini tartışmışlardır (Riegler, 1881; Pressland, 1973; Carlyle-Moses vd., 2018).

Gövdeden akış olayı toprakta erozyona neden olmasının dışında toprak özelliklerini de etkileyebilmektedir. Gövdeden akışın ekosistemdeki etkisi ile ilgili yapılan ilk çalışmalarda (Pressland, 1976) gövdeden akışın toprak nemine önemli katkılarından bahsedilmektedir.

Bu süreç genellikle "hunileşme oranına" (F) göre hesaplanabilmektedir (Herwitz, 1986). $F > 1$ için gövde kesit alanları, ağaç tepesinin katkıları nedeniyle eşdeğer açık zemin alanlarına göre daha fazla yağış alır.

$$F = \frac{ST}{P.IT} \quad (9)$$

ST; Gövdeden akış (Litre/ağaç), P; Bütüt yağış (mm) ve IT; ağacın infiltrasyon alanıdır ($m^2/ağaç$) ki bunun genellikle göğüs yüzeyine (m^2) eşit olduğu varsayılır (Herwitz, 1986). Ancak, suyun gerçekte içine sızdığı toprak alanının, kök taban alanına eşit olması pek olası değildir. Bunun nedeni, gövdeden akışın muhtemelen gövdenin çevresine hem dikey hem de yanal olarak sızmasıdır (Gómez vd., 2002).

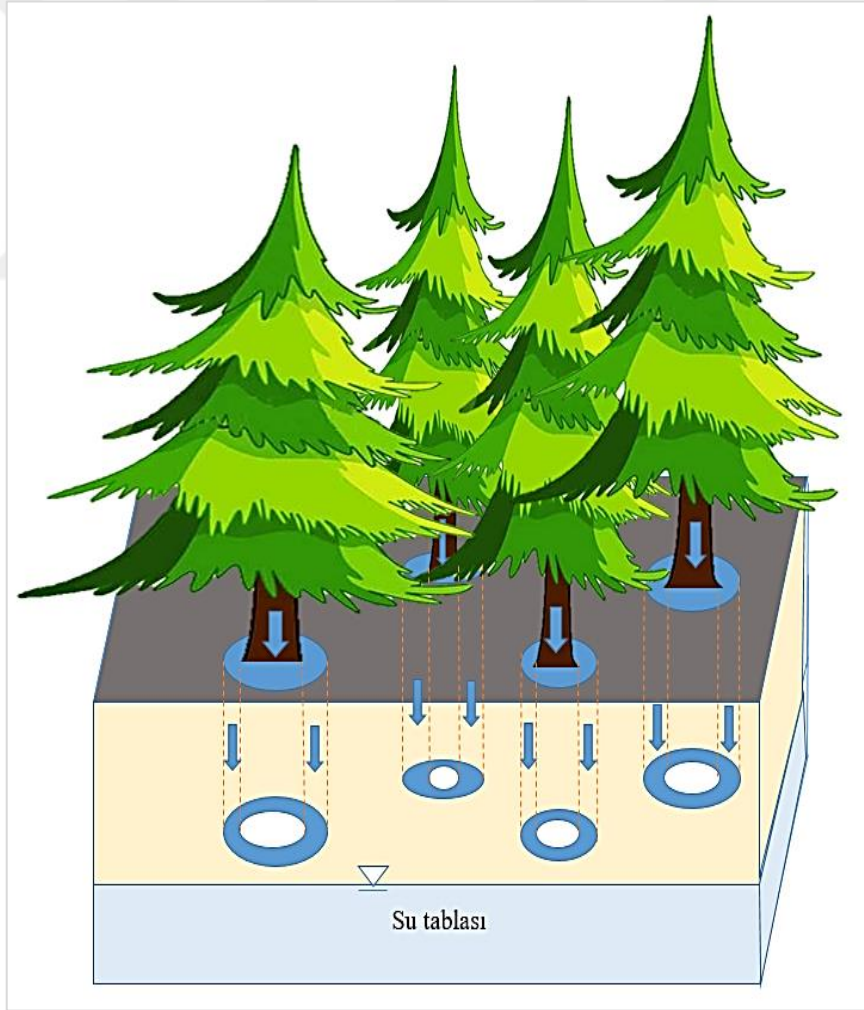
Sonraki çalışmalarda ise gelen yağışın meşçerede göğüs yüzeyi ile olan ilişkisine vurgu yapılarak "Hunisel oran (funelling ratio)" modellenmesi yapılmıştır (Zhang vd., 2017) Meşçere kapalılığının oluşmadığı durumlarda bireysel olarak Hunisel oran (H_o) ya da Gövdeden akış projeksiyon alanı, gövdeden akışın oranı (ya da derinliği) olarak tanımlanabilir. Bu şekilde;

$$H_o = V / G_y Y_{t0} \quad (10)$$

V ; Gövdeden akış (ml), G_y ; Göğüs yüzeyi (cm^2) ve Y_{t0} ; Brüt yağış (cm). Bu şekilde gövdeden akan suyun etkili olarak toplandığı alan ise şu şekilde teşekkül olur;

$$E_a = V / Y_{t0} \quad (11)$$

Özellikle yağmur ormanlarındaki çalışmalarda H_o değerinin >150 kadar olabileceği bildirilmiştir (Herwitz, 1986). Tanaka vd (1996), gövdeden akışın kök bölgesine olan etkisini bitki gövde çapı ile ilişkilendirerek “silindirik sızma modeli” geliştirmiştir (şekil 15) ki bu da yüzeyaltı akışı etkilemektedir (Le Maitre vd., 1999).



Şekil 15. Gövdeden akış profilinin toprak yüzeyinden taban suyuna geçiş profili. Doğal ortamda profil izdüşümü düzenli bir halkasal yapı göstermeyebilir (Dunkerley, 2020'den değiştirilerek)

Gövdeden akış mekanizması, kurak bölge bitki ekosistemleri açısından son derece önemli bir avantaj haline gelmiştir. Su kıtlığı olan bir ekosistemde meşçere çatısına gelen suyun büyük bir bölümü intersepsiyonla atmosfere verilirken gövdeden akış olayı ile birlikte bitki kök bölgesinin neminin korunması da sağlanmış olur. Bununla ilgili birçok bilimsel çalışma yapılmıştır. Bialkowski ve Buttle (2015), meşçere altı yağışla birlikte gövdeden akışın, gövdeye yakın bölgeye brüt yağışın 3-4 katı kadar su sağladığı ve bunun da kök bölgesindeki toprak nemini önemli derecede arttırdığını bildirmektedir. Amerikan Kızılcımanı ile ilgili (*Pinus resinosa* Ait.) yine diğer bir çalışmada da benzer sonuçlar elde edilmiştir (Buttle vd., 2014). Genel olarak gövdeden akış değerlendirildiğinde brüt yağışın bazen çok az bir kısmını oluştursa bile (%0.17) gövdeye yakın üst toprak neminde artışlar meydana getirebilmektedir (Terra vd., 2018). Bu da gövdeden akışın ekosistemde önemli bir fonksiyona sahip olduğunu göstermektedir. Kurak bölge bitki ekosistemlerinde gövdeden akışla gelen su miktarı, alınabilir toprak nem kapasitesini artırdığı için nemli bölge ekosisteminden daha kritik bir öneme sahiptir. Bununla ilgili ilk çalışma Slatyer (1959) ve Pressland (1976) tarafından yapılmıştır. Birçok kurak bölge bitkisinde hunileşme oranının çok yüksek olduğu ve bunun da ekohidrolojik olarak önemli olduğu rapor edilmiştir (Dunkerley, 2020). Güney Avustralya'nın kurak bir bölgesinde yapılan bir çalışmada (Swaffer vd., 2014), Okaliptus türü (*Eucalyptus diversifolia*) için hunileşme oranının 74, demir ağacı türü için (*Allocasuarina verticillata*) 147 olarak bulunmuştur.

Gövdeden akış konusunda yapılan birçok çalışmada çoğunlukla brüt yağışın %1-4'ünü oluşturduğu bildirilmekte (Crockford ve Richardson, 2000) ancak bazı durumlarda bunun %9'a kadar çıkabileceği *Radiata* çamlarında yapılan çalışmalarda tespit edilmiştir (Crockford ve Richardson 1990). Çin'de yapılan bir çalışmada gövdeden akış miktarının ortalama 1.2 ± 0.7 arasında değiştiği ve hatta % 2'nin üzerine çıkabildiği bildirilmiştir (Sun vd., 2018). Bazen Brezilya'daki yağmur ormanlarında ise bu oranın %1'den az olabildiği bildirilirken, bazen de çam ormanlarında yaklaşık %9'a kadar çıkabileceği bildirilmiştir (Bruijnzeel vd., 2011). Bununla birlikte yağış miktarının 25 mm de fazla olduğu durumlarda ise %13'ün üzerine çıkabileceği de çalışmalarda rapor edilmiştir (Crockford ve Richardson, 1990). Hatta bazı durumlarda orman ekosisteminin ekolojik özelliklerine gövdeden akış miktarını neredeyse çok önemsiz bir oranda teşekkül ettirmekte ve bu da hidrolojik döngüdeki su bütçesine kayda değer bir katkı oluşturmamaktadır (Liu, 1997; Marin vd., 2000). Ancak, gövdeden akış parametresi özellikle kurak bölgelerde önemli bir parametre olarak değerlendirilmekte (Bhark ve small, 2003) ve mevcut toprağın

su bütçesine yaklaşık %10 oranında katkı sağladığı bildirilmektedir (Chang ve Matzner, 2000). Tüm bunlar gösteriyor ki orman ekosistemlerindeki gövdeden akış miktarları meşçerenin karakteristik özelliklerinden etkilendiği gibi yağış karakteristiğinden de önemli derecede etkilenmektedir. Bununla birlikte literatürdeki en yüksek gövdeden akış değeri, ABD’de Pinus teade’de gelen yağışın %12’si olarak ölçülmüştür (Swank vd., 1972).

Bu, dallar ve gövdeler arasındaki keskin açılardan kaynaklanıyor olabilir. Geniş yapraklı ormanlarda ise gövdeden akış değeri gelen yağışın %0,54’ü gibi küçük bir değer olduğu bildirilmiştir (Bryant vd., 2005). Çoğu türlerde gövdeden akış miktarı gelen yağışın %2 ila %5 ‘ini oluşturmaktadır. Bu miktar küçük olma bile, ekolojik olarak önem taşıyabilir, çünkü yağmur suyu doğrudan ağacın köklenme bölgesinde doğru akar.

1.2.5.4. Yüzeysel Akış

Global düzeyde, bitki örtüsü, toprak, jeoloji ve topoğrafik özelliklere göre değişmekle birlikte her yıl gelen yağışın önemli bir kısmı yüzeysel akışa geçmektedir. Dünya üzerinde arazi kullanımı ve iklim değişikliğiyle meydana gelen hidrolojik rejim üzerindeki doğrudan ya da dolaylı etkiler, su sıkıntısı, ya da sel felaketi gibi farklı su sorunlarına sebep olmuştur (Janeau vd., 2008). İklim rejimi, su dengesindeki etkisiyle herhangi bir bölgedeki toplam akış miktarını kontrol eder (Beven ve Kirkby, 1979). Genel olarak yüzeysel akış, akarsu kanallarına, göllere veya okyanuslara doğru yüzey akışı yönünde ilerleyen yağışın bir kısmıdır. Bir sahanın su bilançosu üç temel faktöre bağlıdır. Bunlar: yağış, yüzeysel akış ve evapotranspirasyondur.

Leningrad hidroloji enstitüsü tarafından da ormanların yüzeysel akışa olan etkisi de ortaya koymaya çalışılmıştır. Çalışmada aynı toprak özelliklerine sahip ormanla ve çayır kaplı 400 m²’lik iki tane deneme alanı alınmıştır. Buraya düşen 660 mm’lik yağışın ormanla kaplı alanda 58 mm’ si yüzeysel akışa geçerken, çayırlarla kaplı alanda 191 mm’lik kısmı yüzeysel akışa geçmiştir. Yani, ormanlık alandan yüzeysel akış miktarı yaklaşık %9 iken, çayırılık alanda ise bu değer %28’e çıkmıştır çayırılık alandaki yüzeysel akışa geçen miktar neredeyse ormanlık alanın üç katı kadardır (Uslu, 1969). Yapraklı türlerde (gürgen, kayın ve kızılğaç), eğim ile birlikte toprak organik maddesi, ormanda ölü örtünün kalınlığı ve kapalılığın önemli derecede değişmediği bildirilmektedir. Bununla birlikte yapraksız sezonda orman örtüsünün direk meşçere altı yağışa maruz kaldığı dönemde bile yüzeysel akış eğimle birlikte önemli derecede değişmemiştir (Jourgholami ve Jouriz, 2009).

1.2.5.5. Yaprak Alan İndeksi

Yaprak Alanı İndeksi (LAI), bir ekosistemdeki yaprak materyali miktarını ölçer ve fotosentez, solunum, intersepsiyon ve bitki örtüsünü iklime bağlayan diğer süreçler üzerinde önemli roller üstlenir. Sonuç olarak, YAI, özellikle karbon ve su döngüleri ile ilgili olarak bitki örtüsü-atmosfer etkileşimlerini tanımlayan birçok modelde anahtar değişken olarak görülmektedir (GCOS, 2004). YAI, meşçere çatısı intersepsiyonunu önemli derecede etkilemektedir. Bitki örtüsünün toplam yaprak yüzey alanı oranı m^2/m^2 olarak kaplamaktadır. YAI meşçere kapalılığı ve yoğunluğu ile orman yapısının bir ölçümü, bitki örtüsü ve atmosfer arasındaki enerji, gaz ve su etkileşimlerinde önemli bir rol oynamaktadır. Bitki topluluklarının yapısı, genellikle CO₂ ve iklimden (Williams vd., 2008), ya da arazi yüzü şekli ile (Spadavecchia vd., 2008) yaprak üretimi ve türlerin rekabetinden etkilenir.

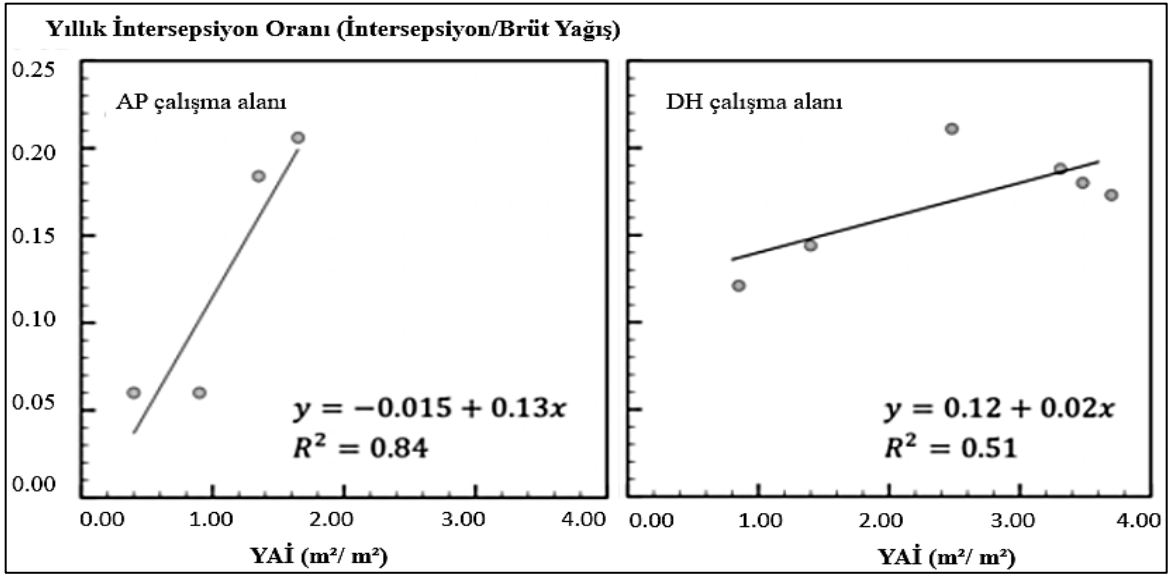
Genellikle, uzun boylu, idari olgunlaşmış ve herdem yeşil ibreli türler en yüksek YAI değerine sahiptir, bundan sonra sırasıyla geniş yapraklı türler, ağaççıklar ve çayırıklar gelmektedir. Orman türleri genellikle 5-10 civarında YAI'ine sahiptir; ancak bu değer değişmekle birlikte ladin-gökmar karışık meşçeresinde 40-50 kat daha yüksektir (Chang, 2003). Vose vd. (1994), dünya genelinde farklı yaşa ve meşçere yoğunluğuna sahip 9 çam türü ile çalışmışlar; en düşük YAI değerinin 2,8-8,5 arasında sarıçamda olduğunu tespit etmişler, en yüksek değerlerin 10,2-32,0 ile ise Radiata çamında olduğunu belirlemişlerdir.

Dünya genelinde 1932-2000 yıllarının kapsayan bine yakın çalışmada ve 400 çalışma alanında 15 farklı biyomda YAI incelenmiştir (Scurlock vd., 2001). Sonuçlar YAI'nin çöl biyomunda $1,31 \pm 0,85$, ağaçlandırma sahalarında $8,72 \pm 4,32$ ve ormanlık alanlarda $47,0$ olduğunu göstermiştir. Genel anlamda, yapraklarda birim alanda (m^2) depo edilen su miktarı 0,1–0,4 mm olup, bu değer 1.0 mm'ye kadar çıkabilmektedir (Link vd., 2004).

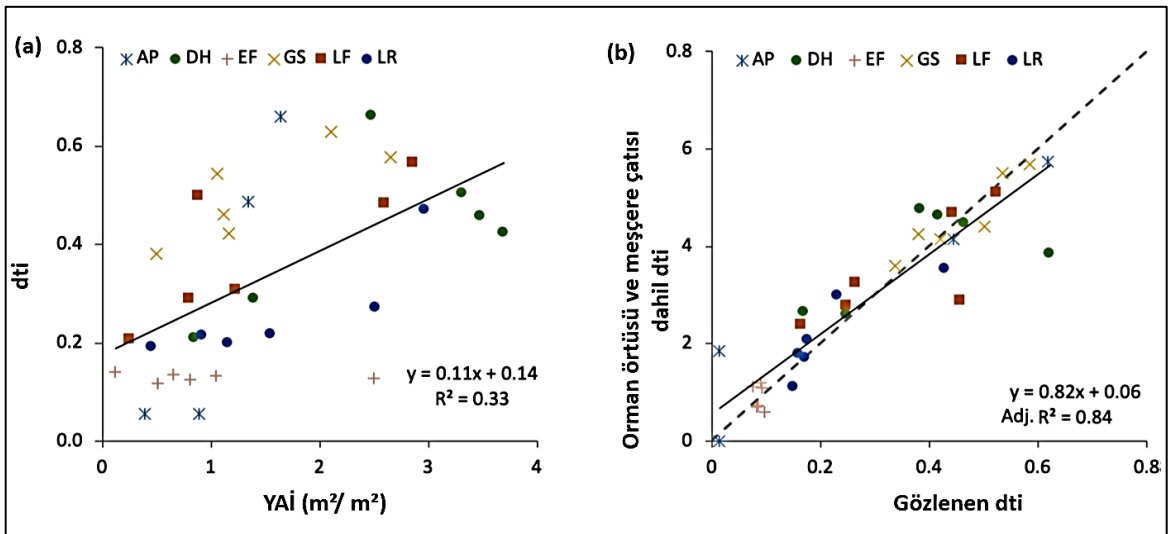
Yukarıda bahsedilen özelliklerden dolayı, orman ekosistemlerinde yaprak alanı meşçere yapısını ekolojik yönden etkilemesinin yanında, hidrolojik döngüyü de etkileyerek meşçere intersepsiyonu su bütçesi üzerinde önemli roller üstlenmiştir.

Ekosistemlerdeki intersepsiyon olgusu normalde yağış karakteristiklerine (yağış miktarı, şiddeti, süresi, damla boyutu, ve sayısı vb.) bağlı olarak değişmekle birlikte mikro meteorolojik ve yakın zamandaki hava koşulları ile yaprak alanı, kapalılık, gövde yüzey alanı, meşçere yapısı gibi meşçere özelliklerine bağlı olarak değişebilmektedir (Livesley vd.,2014). Orman ekosistemlerinde YAI oranı arttıkça yaprak alanı ve gövdedeki depolama

kapasitesi de önemli derecede artmaktadır (Wallace vd., 2013, $r=0,99$). Acharya vd. (2020), yapmış olduğu normal meşçere alanlarındaki (yıllık yağış 1310mm-1540 mm) çalışmalarda yaprak alanı ve yıllık intersepsiyon oranları arasında güçlü bir ilişkisinin varlığı ortaya çıkarılmış ($R^2 \leq 0.81$, $p < 0.001$) ve yaprak alanına bağlı regresyon denklemleri geliştirilmiştir (Şekil 16). Yine aynı çalışmada, Orman örtüsü ve meşçere çatısını da içine alan modelde, yaprak alanı ile meşçere çatısı depolama kapasitesi (dti) arasında güçlü bir ilişkinin varlığı tespit edilmiştir (Şekil 17).



Şekil 16. Yaprak alanına göre intersepsiyon oranı regresyon modelleri ($p < 0.001$)



Şekil 17. Şekil a'da çalışma alanı ve deneme noktalarındaki yaprak alan indeksine göre intersepsiyon depolama kapasitesi ilişkisi gösterilmektedir. Şekil b'de ise orman örtüsünü de içine alan meşçere çatısı yaprak alan indeks ilişkisi modelini göstermektedir.

Yapılan bir çalışmada, ekosistemlerde intersepsiyon depolama kapasitesinin büyük ölçüde YAI tarafından belirlendiği bildirilmiştir (Gomez vd., 2001). Bu çalışmada ilişki katsayısı yüksek bir denklem de geliştirilmiştir.

$$S = 1.184 + 0.490YAI, R^2 = 0.76 \quad (12)$$

S:intersepsiyon depolama kapasitesi (mm), YAI: Yaprak alan indeksi (m^2/m^2)

Kent ekosisteminde tek ağaç bazında 2 farklı türdeki okalıptüste yapılan bir çalışmada (Livesley vd., 2014) yoğun yaprak alanına sahip bireyde intersepsiyon oranı %44 oranında ölçülmüş iken daha az yoğun yaprak alanına sahip bireyde %29 olarak ölçülmüştür. Gövdeden akış oranı ise daha kabuklu gövdeye sahip bireyde daha az bulunmuştur. Gövdeden akış miktarı en yüksek düz gövde kabuğuna sahip türde bile gövdeden akışın brüt yağışın yalnızca %5'i kadar olabileceği rapor edilmiştir.

Orman ekosistemlerinde özellikle yaprak alan indeksini düşürecek aralama gibi silvikültürel faaliyetler intersepsiyon oranını önemli oranda düşürmektedir. Halep çamı meşçerelerinde yapılan bir çalışmada (Molina ve del Campo, 2012), meşçere altı yağış oranı yaklaşık %56 iken, şiddetli aralamalarla birlikte (YAI 2,6'dan 0,5'e düşürülmüştür) bu oran %84'e kadar çıkmıştır ki bu da meşçere çatısı intersepsiyon oranını önemli ölçüde düşürecektir.

Yine Halep çamında yapılan bir çalışmada YAI ile meşçere altı yağış arasında yüksek derecede korelasyonun olduğu ($r=0,84$) bildirilmiş (Molina ve del Campo, 2012) ve $Y=-12,19x+87,48$ şeklinde yaprak alan indeksine göre meşçere altı yağış hesaplanmıştır.

1.2.5.6. Meşçere Çatısı İntersepsiyonu

Bir orman ekosisteminde meşçere çatısı intersepsiyonu, çoğunlukla orman kompozisyonuna (Siegert and Levia, 2014), yağış karakteristiğine (Van Stan Ii vd., 2011) ve meteorolojik duruma (Herwitz ve Slye, 1995) bağlı olarak değişmektedir. Bununla birlikte, intersepsiyon kayıpları, meşçeredeki ağaçların yaşı, yaprak alan indeksi ve meşçere göğüs yüzeyi ile ilişkili olabilmektedir. İğne yapraklı türlerde (koniferlerde) meşçere göğüs yüzeyinin artmasına paralel olarak intersepsiyon oranlarının arttığı tespit edilmiştir. Meşçere göğüs yüzeyi $30 m^2/ha$ 'den az olduğunda intersepsiyon oranı %20 iken meşçere göğüs yüzeyinin $70 m^2/ha$ 'ı aşması durumunda ise intersepsiyon miktarı %50'ye kadar

çıkabilmektedir (Grelle vd., 1997; Crockford ve Richardson, 2000; Barbier vd., 2009). Göğüs yüzeyi yaklaşık 56 m²/ha ve Yaprak alan indeksi ortalama 5.8 m²/m² olan Avrupa ladini ormanlarında, büyüme sezonunda (Haziran-Ekim) 2 yıllık intersepsiyon ortalamasının %34.5 olduğu tespit edilmiştir (Dohnal vd., 2014). Bu çalışmada, yağış karakteristiklerinin de intersepsiyon miktarını önemli derecede etkilediği bildirilmiştir. Bunun yanı sıra ağaç türü, yaşı ve meşçere kapallığı intersepsiyon oranını önemli derecede etkilemektedir (Yurtseven ve Zengin, 2013). Bunun yanı sıra silvikültürel faaliyetler intersepsiyonu etkilemektedir. Meşçerede budama ve aralama gibi silvikültürel faaliyetler intersepsiyon oranını önemli derecede etkilemektedir. Ortalama yaklaşık %26.8 intersepsiyon değerine sahip İspanya’da yayılış gösteren Pırnal meşçesinde (*Quercus ilex*) budamalarla birlikte intersepsiyon değeri %6 oranında azalmıştır (Mateos ve Schnabel, 2001).

Havanın buharlaşma gücüne, yağış karakteristiğine ve bitki örtüsüne bağlı olarak değişmekle birlikte, yıllık toplam yağışın yaklaşık %10-25’i meşçere çatısından atmosfere geri dönebilmektedir (Chang, 2003). Arazi gözlemlerinde, meşçere intersepsiyonu sıklıkla aşağıdaki ampirik formül ile ifade edilmektedir.

$$\dot{I}m = a + bYt_0 \quad (13)$$

a ve b regresyon katsayılarıdır. Ancak, a değeri meşçere çatısı depolaması olabilir ki bu da brüt yağış ve meşçere altı yağıştan sonra tutulan su miktarıdır; b ise yağış esnasında, yağış fraksiyonlarındaki ortalama buharlaşma oranı eşdeğeridir.

Yağışın başlaması esnasında, yağış süresinin uzamasına veya yoğunluğunun artmasına bağlı olarak, meşçere çatısındaki su depolaması, meşçere çatısı maksimum depolama kapasitesinin aşamalı olarak azalmasıyla birlikte artabilmektedir; bunu ise Linsley vd. (1975) formülleştirmişlerdir.

$$\dot{I}m = (Dm + Et) [1 - \exp(-kYt_0)] \quad (14)$$

Dm=Meşçere çatısı depolama kapasitesi, E=Evaporasyon oranı, t=Yağış süresi, Yt₀=Brüt yağış, k ise sabit bir katsayı olarak 1/(Dm+Et)’ ye eşit olmaktadır.

Çok küçük yağışlarda, meşçere çatısı ($\dot{I}m$) intersepsiyonu brüt yağışa (Yt₀) yaklaşmaktadır ya da brüt yağış sifıra yakın olduğunda $\dot{I}m/Yt_0$ oranı bir olmaktadır. Meşçere çatısından intersiyon olan suyun buharlaşması uygun enerji, buhar basıncı gradiyenti,

yaprakların aerodinamik direnci ve hava karakteristiği tarafından etkilenmektedir (Stewart, 1977; Xiao vd., 2000). Meşçere çatısının tamamı ıslak olduğunda, Monteith–Penman (Monteith ve Unsworth, 1990) denklemi intersepsiyonla giden suyun potansiyel evapotranspirasyonunu tahmin etmek için kullanılabilir. Bununla birlikte meşçere çatısı nemi doymuş olmadığında ise potansiyel evapotranspirasyon sadece meşçere neminin yüzdesi ile orantılıdır (Rutter ve Morton, 1977).

Ardıç meşçeresinde yapılan bir çalışmada yağış şiddetinin <6.4 mm olduğu durumda gelen yağışın hepsi meşçere çatısından buharlaşarak atmosfere verilmiştir. Yine yağış şiddetinin büyük kısmının (yaklaşık %90) <12.7 mm olduğu durumda ise gelen yağışın %48,2'si intersepsiyonla kaybedilmiştir (Owens ve Lyons, 2002).

Meşçere çatısı intersepsiyonu dünyanın birçok bölgesinde araştırılmaktadır; ancak bu infiltrasyon ve yüzeysel akışı etkilemesine rağmen çok az araştırmalara konu olmuştur (Kiss vd., 2005; Gerrits vd., 2007). Bunun ana nedeni ise arazide veri almanın zorluklarından kaynaklanmaktadır. Gerrits vd. (2007), Kayın ormanlarında orman örtüsü intersepsiyonunun gelen yağışın %34'ünü oluşturduğunu tespit etmişlerdir.

Farklı ekosistemlerde intersepsiyon miktarları önemli derecede değişebilmektedir. Byrant vd. (2005), sulak alanda makiliğinde (Amerikan sığla ağacı, kızılçık, defne ve kara meşe) yaklaşık %18, doğal çam meşçeresinde %23, çam ağaçlandırma alanında %18, meşede %17, meşe ve çam karışık meşçeresinde ise yaklaşık %19 olarak belirlemiştir.

Meşçere çatısı intersepsiyonunu kontrol eden depolama kapasitesi, yaprak miktarı, yönü ve düzeni; yaprak ve kabuk yüzey özelliklerinden ve hareketleri gibi birçok faktörden etkilenir. Sıcaklık da suyun akışkanlığını ve yüzey gerilimini modifiye ederek meşçere depolama kapasitesi üzerinde etki oluşturur (Satterlund ve Adams, 1992). Bu etki önemli olmayacak kadar küçük olabilir veya ölçüm hatalarından daha az bir büyüklükte olabilir. Genelde meşçere çatısı depolama kapasitesi 0,2–2 mm düzeyindedir (Gash vd.,1995; Xiao vd., 2000). Ancak, bu iklim koşullarına göre değişebilmektedir. Ilıman yağmur ormanlarında bu değer 4.0 mm'nin üstüne çıkabilir (Link vd., 2004). İken tropiklerde ise 8,0 mm'nin üzerine çıkabilir (Herwitz, 1985). Vejetasyon tipine göre değerlendirildiğinde, ibrelilerde meşçere çatısı depolaması 0,3-6,6 mm arasında değişirken, geniş yapraklılarda ve ağaççıklarda bu değer 0,03-2,0 mm arasında ve çayırlıklarda ise 1,0-1,5 mm arasında değişmektedir (Zinke, 1967).

Evaporasyon Oranı, yalnızca meteorolojik koşullara bağlı değil, aktüel meşçere çatısı depolamasına da bağlı olarak intersepte olan suyun buharlaşma hızı saatte 0,1-0,5 mm

arasında değişebilir (Calder ve Wright, 1986; Gash vd.,1995). Meşçere çatısı tamamen doygun olduğunda, gerçek Evaporasyon potansiyel hıza eşit olur ve net radyasyon yerine advectif enerji tarafından yönlendirilir (Teklehaimanot ve Jarvis, 1991). Endonezya yağmur ormanlarında 0,50 mm/sa buharlaşmada advectif enerji 0,38 mm/sa olur iken radyasyon enerjisi sadece 0,13 mm/sa olmuştur (Asdak, 2003)

Çok küçük yağışlarda, meşçere çatısı ($\dot{I}m$) intersepsiyonu brüt yağışa (Yt_0) yaklaşmaktadır ya da brüt yağış sıfıra yakın olduğunda $\dot{I}m/Yt_0$ oranı bir olmaktadır. Meşçere çatısından intersiyon olan suyun buharlaşması uygun enerji, buhar basıncı gradiyenti, yaprakların aerodinamik direnci ve hava karaktersitiği tarafından etkilenmektedir (Stewart, 1977; Xiao vd., 2000). Meşçere çatısının tamamı ıslak olduğunda, Monteith–Penman (Monteith ve Unsworth, 1990) denklemi intersepsiyonla giden suyun potansiyel evapotranspirasyonunu tahmin etmek için kullanılabilir. Bununla birlikte meşçere çatısı nemi doygun olmadığında ise potansiyel evapotranspirasyon sadece meşçere neminin yüzdesi ile orantılıdır (Rutter ve Morton, 1977).

Küresel çapta orman ekosistemlerinde, ekolojik ve hidrolojik fonksiyonların en önemli bileşenini oluşturan intersepsiyonun hidrolojik döngüdeki önemini ortaya koyan çok sayıda Çalışma yapılmıştır. Genel olarak değerlendirildiğinde ibreli türler (%18-25) geniş yapraklı türlere (%10-15) göre daha fazla meşçere çatısı intersepsiyonuna sahip olduğu bildirilmektedir (Williams, 2016). Ancak bu durum yetiştirme ortamı koşullarından önemli derecede etkilenmektedir. Tropikal ve yarı-tropikal ormanlarda iklim faktörünün farklılaşması ile intersepsiyon oranlarında geniş değişimler vuku bulmaktadır. Lyod ve Marques (1988), yaptığı çalışmada en düşük intersepsiyon oranını Amazon ormanlarında %9 olarak tespit etmişken, en yüksek intersepsiyon oranını da düşük yağış yoğunluğunun olduğu Porto Riko dağlık alanlarında %39 olarak tespit etmiştir. Bu da intersepsiyonunun yağış karakteristiğinden önemli derecede etkilendiğinin göstergesi olmuştur. İran'da yayılış gösteren Doğu kayını meşçeresinde manuel ölçüm yöntemleri kullanılmış ve intersepsiyon değerleri yağış şiddetine bağlı olarak %29 ile %36 arasında değişmiştir (Ahmadi vd., 2009).

Ülkemizde orman ekosistemlerinde intersepsiyon çalışmaları oldukça sınırlıdır. Yapılan çalışmalarda ise Toplam yağış miktarı, meşçere altı yağış ve gövdeden akış değerlerinden yararlanarak orman intersepsiyonunu tahmin edilmeye çalışılmıştır. Hesaplamalar ise Özhan (1982) tarafından geliştirilen formüle göre yapılmıştır. Buna göre;

$$\text{İntersepsiyon (mm)} = \text{Yağış} - \text{Toprağa ulaşan toplam yağış (mm)} \quad (15)$$

İntersepsiyon (%) = İntersepsiyon (mm) / Yağış (mm) x 100 şeklinde hesaplanmaktadır.

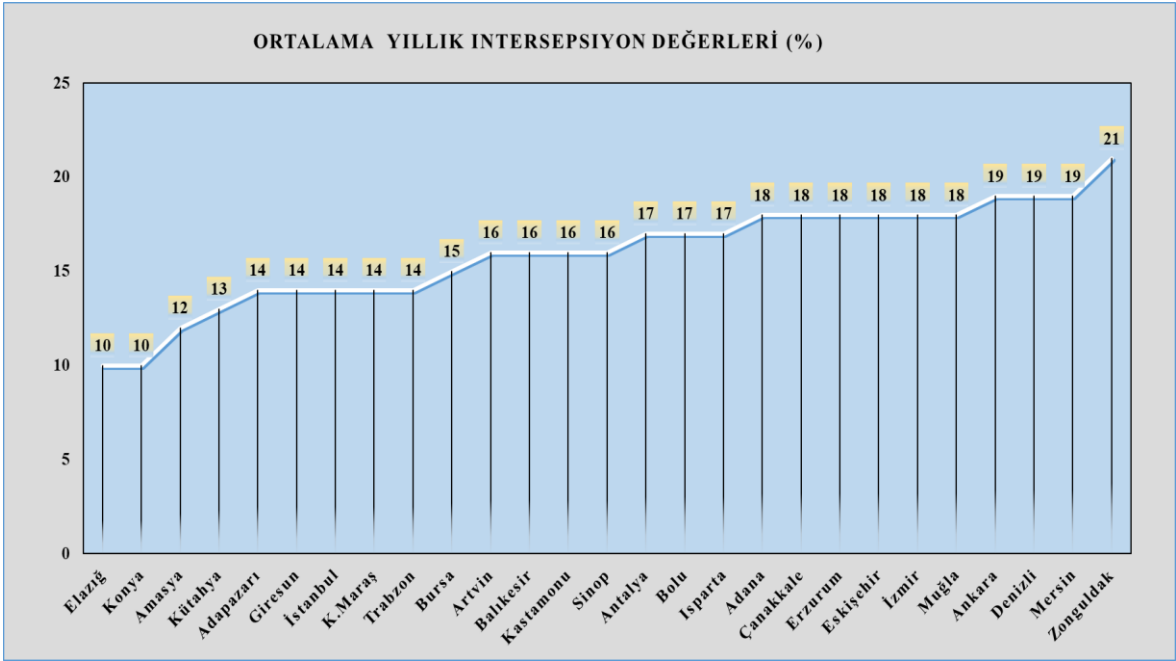
Orman ekosistemlerimizin hidrolojik fonksiyonlarının ve intersepsiyon değerlerinin tespitinde sınırlı sayıda araştırma mevcuttur ve bununla ilgili akademik olarak iki adet doktora ve bir adet de yüksek lisans çalışması yapılmıştır. Tüm bu çalışmaların tümü de Batı Karadeniz Bölgesinde gerçekleştirilmiştir.

Zengin (1997) Kocaeli bölgesi orman ekosistemlerinde bir çalışma gerçekleştirmiştir. Radiata çamı (*Pinus radiata*), Sahil çamı (*Pinus pinaster*), karaçama (*Pinus nigra*) saf meşçerelerinde ve kestane+kayın+meşe (*Castanea sativa+Fagus orientalis+Quercus frainnetto+Quercus petrea*) karışık meşçerelerinde 400 m² (20x20) lik deneme parselleri olarak Toplam brüt yağış, meşçere altı yağış ve gövdeden akış değerlerini ölçerek intersepsiyon denklemleri oluşturmuş, bunun yanı sıra meşçere altı yağış ve gövdeden akış sularında pH, EC ve Na, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu, Pb gibi su kalite parametrelerinin konsantrasyonunu ve değişimini iki yıllık bir süreyle incelemiştir. Sonuç olarak, karaçam meşçeresinde gelen brüt yağışın yaklaşık %39'ü intersepsiyonla atmosfere verilir iken, sahil çamında bu değer yaklaşık %26, radiata çamında %28 ve karışık yapraklı meşçerede ise bu değer yaklaşık %22 olmuştur. Ölçülen su kalite parametrelerinde de türler arasında önemli farklılıklar tespit edilmiştir.

Yılmaz (2014), Düzce yöresi kayın ekosistemlerinde, silvikültürel aralamaların (Kontrol, %23 ve %47), bazı hidrolojik parametreler ile su kalitesi üzerine etkisini incelemiştir. Kontrol parselinde intersepsiyon değeri yaklaşık %25 olur iken, mutedil aralamada %15, kuvvetli aralamada ise bu değer %10 olarak ölçülmüştür. Aralamalarla intersepsiyon değeri azalırken yüzeysel akış değerlerinde de aralama şiddetine bağlı olarak önemli artışlar olmuştur. Bunun yanı sıra bazı su kalite parametreleri de aralamalarla birlikte önemli derecede etkilenmiştir.

Şen (2014), iki farklı havzada Karaçam, Kayın, Uludağ Göknarı ve Sarıçamda meşçerelerinde 2 yıl süreyle bazı hidrolojik gözlemler yapmıştır. Buna göre Taşçılar havzasında, yıllık ortalama intersepsiyon değeri Karaçamda yaklaşık %28, Kayında %17, Uludağ göknarında ise %21 olarak ölçülmüştür. Bezirgân havzasında, Sarıçamda intersepsiyon değeri ise yaklaşık %20 olarak tespit edilmiştir. Çepel (1986) yapmış olduğu çalışmada Genel olarak intersepsiyonun üst sınırı, iğne yapraklılarda %36, geniş yapraklı türlerde %20, baltalıklarda %14, çayırıklarda ise %17 olarak bildirilmiştir. Yine aynı çalışmada intersepsiyon miktarları, kayında %17,4, meşede %20, karaçamda %31, Ladinde ise %36 olarak rapor edilmiştir.

Yapılan diğ er bir ç alışmada (Yurdaer ve Kip, 2007) orman ekosistemlerimizin bölge müdürlüğü bazında intersepsiyon değerleri aşağıda verilmiştir (şekil 18); ancak bu değerler gerek uluslararası literatürle gerekse de yerel ç alışmalarla uyuşmamaktadır (ibrelili-yapraklı tür ayırımından dolayı). Orman ekosistemlerimizin hidrolojik fonksiyonunun belirlenmesinde en önemli parametre olan intersepsiyon değerlerinin açık ve net olarak tespit edilmesine ihtiyaç vardır. Bu da ekosistem tabanlı orman amenajman planları ile entegre havza planlanlarının hazırlanmasında önem arz etmektedir.



şekil 18. Orman Bölge Müdürlüğü bazında orman alanlarındaki intersepsiyon değerleri

1.2.5.7. Orman Örtüsü İntersepsiyonu

Orman örtüsü intersepsiyonu aslında, meşçere çatısı intersepsiyonunun ana bileşenlerinden biridir. Çünkü meşçere çatısına gelen suyun bir kısmı meşçere çatısı intersepsiyonuna uğradıktan sonra meşçere altı-yağış olarak orman örtüsü üzerine gelmektedir.

Orman ekosistemlerinde, özellikle de kuzey ormanları gibi kapalı ve ölü-diri örtü yoğunluğunun olduğu bölgelerde mineral toprak genellikle ölü ya da diri örtü ile kaplı olduğundan, evaporasyon olayı intersepsiyonun içerisinde yer almaktadır. Bununla birlikte meşçere altı yağışla birlikte orman örtüsüne gelen suyun üstte tutularak tedrici olarak aşağı doğru sızması ile birlikte de su kalitesinde birçok değişimler meydana gelebilir. Bu nedenle

özellikle doğu Karadeniz bölgesi gibi nemli bölgelere sahip yetişme ortamlarında orman örtüsü intersepsiyonunu tespit etmek, önem arz etmektedir.

Orman örtüsü intersepsiyonu, meşçere çatısı intersepsiyonundan daha küçük bir değere sahiptir. Bunun miktarı, daha çok orman örtüsü kalınlığına, su tutma kapasitesine, ıslanma frekansına ve Evaporasyon oranına bağlı değişmektedir. Yapılan çalışmalarda, yalnızca birkaç milimetre kalınlığa sahip bir orman örtüsü bile sağanak yağışlarda 11 mm'ye kadar intersepsiyon yapabilmektedir. Orman örtüsü intersepsiyonu ormanda su bütçesinin en önemli parametresi olmasının yanında ormanlık alanlardaki yüzeysel akış modellerinin de önemli bir değişkeni olabilir. Orman örtüsü intersepsiyonu, geçtiğimiz yüzyılın ortalarında ilgi çekmiş olmasına rağmen, ancak son zamanlardaki yapılan çalışmalarda araştırmalara konu olmaktadır (Kiss vd., 2014).

Genel olarak, gelen yıllık yağışın %1-%5'i (Helvey ve Patric, 1965) ve yıllık 50 mm'den daha az bir kısım orman örtüsü intersepsiyonu ile atmosfere verilmektedir. Ancak, bu değer Kuzey Amerika'da yayılış gösteren ponderosa çamında %17'ye kadar çıkmakta (Alden, 1968) ve *Pinus echinata*' da yılda 94 mm olmaktadır (Rusk, 1969). Orman örtüsü intersepsiyonu Lükseburg'da yayılış gösteren Avrupa Kayını ormanlarında ise %34 olarak ölçülmüştür (Gerrits vd., 2006). Helvey (1964), yapraklı ağaç meşçerelerinde orman örtüsü intersepsiyonunu çalışmış; aylık olarak, yağıştan sonra orman örtüsü su içeriğini ölçmüştür. Buna göre orman örtüsü intersepsiyonu, yıllık orman örtüsü miktarından önemli derecede etkilenmiştir. Führer (1994), büyüme sezonunda ve büyüme sezonu dışında küçük lizimetre ile meşçerede tutulan su içeriğini ölçerek orman örtüsü intersepsiyon değerlerini hesaplamıştır. Gerrits vd. (2006), Avrupa kayını ekosistemlerinde orman örtüsü intersepsiyonunu yüzeysel akışın bir parametresi olarak yeni bir yöntemle (sürekli ölçüm olarak) belirlemiştir. Orman ekosistemlerinde, yağış, buharlaşma, ağaç türü, meşçere karakteristiği, ölü örtü miktarı ve ölçüm yöntemine bağlı olarak orman örtüsü intersepsiyonu genel olarak gelen brüt yağışın %2 ile %12'sini oluşturmaktadır (Kiss vd., 2014). Orman örtüsü, mineral toprağa ulaşan yağışın miktarını intersepsiyonla azaltsa da daha da önemlisi yüzeysel akış hızını etkileyerek toprağın suyu depolama süresini arttırmaktadır.

Bunun yanı sıra mineral toprağı yağmur damlalarının ve rüzgârın enerjisinin direkt etkisinden muhafaza eder ve toprağı gölgeleyerek evaporasyonu azaltabilir. Böylece, bir süre boyunca toprakta evaporasyonu azaltarak toprak nemini muhafaza ederek orman örtüsünden yavaş yavaş intersepsiyon da gerçekleşmiş olur. Toprağın organik madde içeriği orman örtüsüne bağlı olarak artmaktadır. Bu da yüzeysel akışın ve erozyonla toprak kaybının

orman örtüsü ile kaplı alanda, çıplak alana göre önemli derecede düşük olmasını sağlar (Hacisalihoğlu vd., 2017). Unger ve Parker (1976), 10mm kalınlığa sahip bir örtünün potansiyel evaporasyonu %46 oranında azaltmakta birlikte orman örtüsü kalınlığının artmasına paralel olarak bu değer artmaktadır. Orman ekosistemlerinde orman örtüsü kalınlığı genellikle 3 cm civarında olup bu kalınlık 5 gün kadar 20 mm'lik suyu tutarak toprak neminin muhafaza edilmesinde önemli bir rol oynar (Chang, 2003).

Coğrafi bölge, ağaç türü ve kompozisyonuna bağlı olarak bazı durumlarda orman örtüsü intersepsiyonu meşçere çatısından bile daha fazla olabilmektedir. Gerrits vd. (2007), kayında yapmış olduğu çalışmada orman örtüsü intersepsiyonunu %34 olarak tespit etmişlerdir ve birçok çalışmada bu oran %8 ila %18 oranında değiştiği rapor edilmiştir (Gerrits , 2010; Tsiko vd., 2012; Miller vd., 1990; Pathak vd., 1985; Kelliher vd., 1992). Yaprak ıslaklık yöntemini kullanan bir çalışmada ise brüt yağışın %8'inin orman örtüsü tarafından intersepsiyona uğradığı bildirilmektedir (Acharya vd., 2005).

1.2.5.8. Toplam Orman İntersepsiyonu

Toplam İntersepsiyon, bir orman ekosisteminde, gelen toplam yağışın bir kısmı orman örtüsü ve meşçere çatısından intersepsiyonla atmosfere tekrar verilir; bu da toplam orman intersepsiyonu olarak adlandırılır (İto). Ormanda transpirasyon en fazla su kaybının gerçekleştiği mekanizmadır; bunu da orman intersepsiyonu ve toprak evaporasyon olayları takip etmektedir (Licata vd., 2011). Orman ekosistemlerinde, ağaç türü, bitki ve meşçere karakteristikleri ile yağış durumuna bağlı olarak, gelen yağışın %15 ila % 40'ı intersepsiyonla kaybedilmektedir. Rusya'da yayılış gösteren Gökknar ve ladinde gelen brüt yağışın %40-%60 'ı intersepsiyonla atmosfere verildiği rapor edilmiştir (Shiklomanov ve Krestovsky, 1988). İran'da adi servide bu değer %45 olarak ölçülmüştür (Hashemi, 2011). Orman intersepsiyonu yağış şiddetinin düşük olduğu zamanlarda %100 'e kadar ulaşabilir. Meşçere olgunluğu ve yaşı da orman intersepsiyonunu etkileyen diğer bir parameter olarak önem kazanmaktadır. ABD'de 10, 35 ve 60 yaşındaki Veymut çamı (*Pinus strobus*) meşçerelerinde yapılan bir çalışmada intersepsiyon kaybının meşçere olgunluğuna bağlı arttığı tespit edilmiş bununla ilgili denklemler oluşturulmuştur (Helvey, 1967).

$$Ito = 1.27 N + 0.08 Yt0 \text{ (10 yaş meşçere için)}$$

(16)

$$I_{to} = 1.27 N + 0.12 Y_{t0} \text{ (35 yaş meşçere için)} \quad (17)$$

$$I_{to} = 1.52 N + 0.18 Y_{t0} \text{ (60 yaş meşçere için)} \quad (18)$$

I_{to} =Toplam orman intersepsiyonu, N =Yağış sayısı, Y_{t0} =Toplam brüt yağış

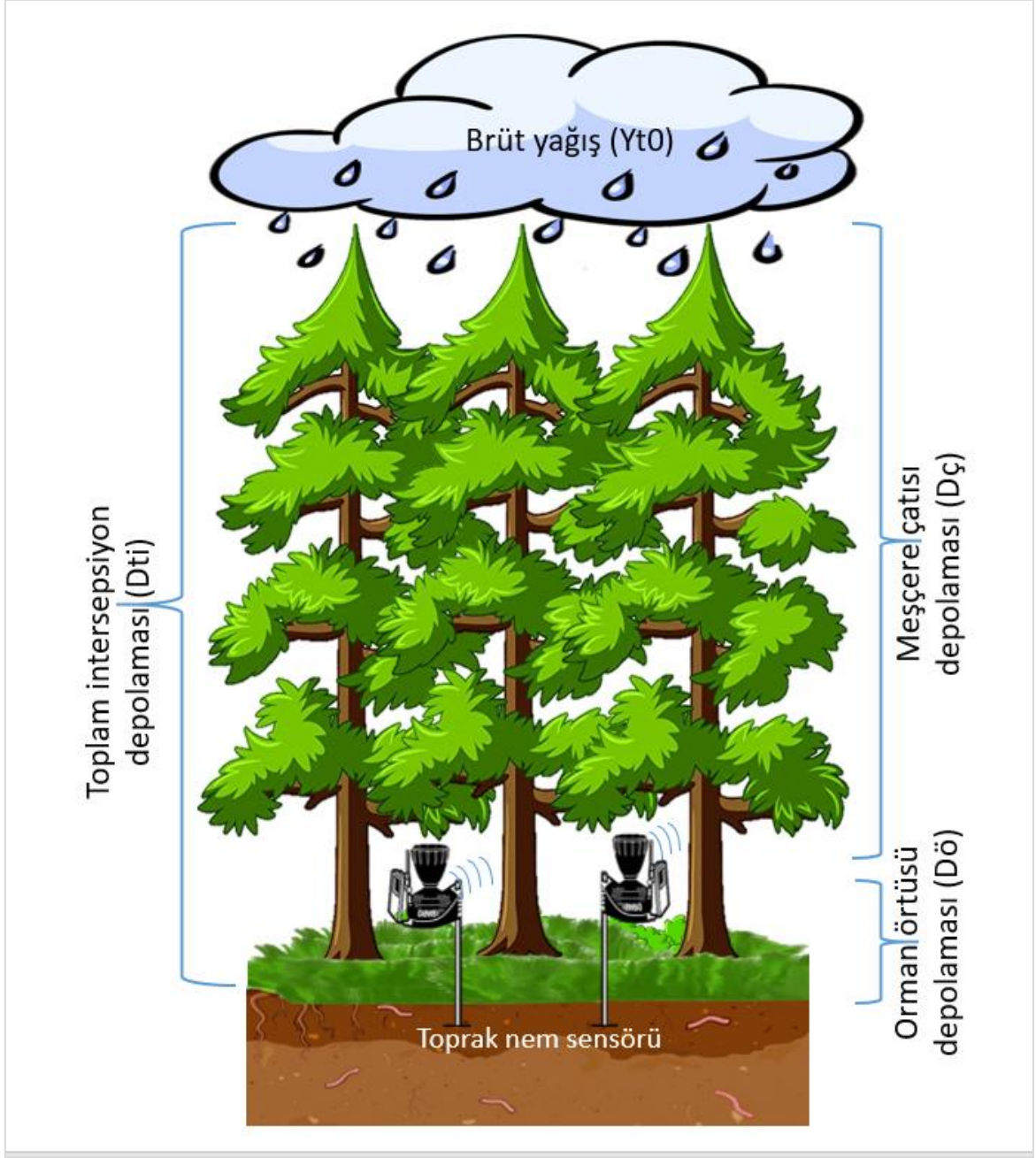
Toplam Orman örtüsü intersepsiyonu, meşçere altı yağış ve gövdeden akış bileşeni sayesinde tekstür, infiltrasyon ve bitki besin maddesini de içeren toprak özelliklerini etkileyebilir.

Toprak özelliğindeki bu değişimler bitki gelişimini de etkileyebilir ve bu şekilde meşçere çatısında da bazı modifikasyonlar meydana gelebilir. Bu şekilde yağış ve bitki örtüsünün çift yönlü birbirini etkileme potansiyeli ortaya çıkar. Öyle ki bu etkiler bazı ekosistemlerde gözle görülür sonuçlar ortaya çıkarabilir. İtalya'da yayılış gösteren Türk meşesinde yapılan çalışmada aynı iklim ve anakaya özelliğine sahip ve aralarında 50 metre mesafe olan iki araştırma alanında toprak özelliği asidik ve alkali karakter gösterdiği rapor edilmiştir (Corti vd., 2019). Bu şekilde meşçere altı yağış ve gövdeden akış parametrelerinin pH gibi önemli bir toprak sağlığı parametresini dramatik bir şekilde etkilediği sonucu teşekkül olmuştur.

Acharya vd. (2020), çam ekosistemlerinde yapmış olduğu güncel çalışmada kümülatif intersepsiyon oranının %6 ila %21 arasında değiştiğini belirtirken, çam ormanlarında yapılan diğer çalışmalarda bu oranın %12 ila %49 arasında (meşçere çatısı ya da orman örtüsü) olabileceği de literatürde bildirilmektedir (Bryant vd., 2005; Llorens ve Poch, 1997; Kelliher vd., 1992; Crockford ve Richardson, 2000).

Çalışmalarda elde farklı oranlar, öncelikle iklim parametlerinden ve orman yapısından önemli derecede etkilenmektedir ve özellikle kurak bölgelerde bu iki değişken bileşenleri ön plana çıkmaktadır (Llorens ve Poch, 1997).

Toplam dinamik intersepsiyonun hesaplanması için toplam depolama kapasitesinin (D_{ti}) belirlenmesi gerekmektedir (Acharya vd., 2020). Bu sistem çalışmamızdaki sisteme benzer özelliktedir. Meşçere çatısı depolaması ($D_{ç}$), brüt yağış (Y_{t0}) ile meşçere altı yağış farkı olarak tahmin edebilir. Orman örtüsü depolaması ise meşçere altı yağıştan filtre edilen su miktarı çıkarılarak tahmine edilebilir. Ancak bu çalışmada ise orman örtüsü depolaması toprak nem içeriğine göre tahmine edilmiştir (Şekil 19).



Şekil 19. Toplam intersepsiyona etki eden orman örtüsü ve meşçere çatısı depolaması

Gerçekleşen yağmur olaylarında, intersepsiyon depolaması ve müteakip buharlaşma (bazen intersepsiyon kaybına işaret eder) olayları, hem öncül yağmur (depolamayı dolduran) hem de evaporasyon (bunu azaltan) tarafından manipüle edilir. Anlık uygun depolama sıfırdan (doygun) maksimum kapasiteye kadar (D_{ti} , depolama bittiği zaman) değişebilir. Anlık yağış tabanlı intersepsiyon modelleri (Gash, 1979; Gash vd., 1995; Liu, 1997) farklı iken, devamlı modeller, intersepsiyon depolanması ve kaybındaki zaman değişken dinamiğinde daha doğru bir yaklaşım sunar. Bu çalışmada Liu (1988, 1997, 2001) tarafından

geliştirilen fiziksel tabanlı intersepsiyon modeli dinamik olarak modifiye edilmiştir. Buna göre;

$$I = dti (D0 - D) + \int_0^t (1 - D)Edt. \quad (19)$$

I: intersepsiyon, D0; t zaman aşamasının başlangıcındaki orman kuruluk indeksi, D: t zamanının sonundaki ormanın kuruluk indeksi, E: nemli yüzeyden buharlaşma oranını göstermektedir. Kuruluk indeksi, herbir zaman basamağında şekilde hesaplanır;

$$D = 1 - \frac{C}{dti}, \quad (20)$$

Burada C, yapraklardaki bağlı (yere damlamayan) depolamayı ifade etmektedir ve aşağıdaki gibi hesaplanabilir. t: değeri sıfır alınabilir.

$$C = dti[1 - D0 \exp(-\frac{1-t}{dti})] \quad (21)$$

1.2.6. Orman İntersepsiyonu ve Su Kalitesi İlişkileri

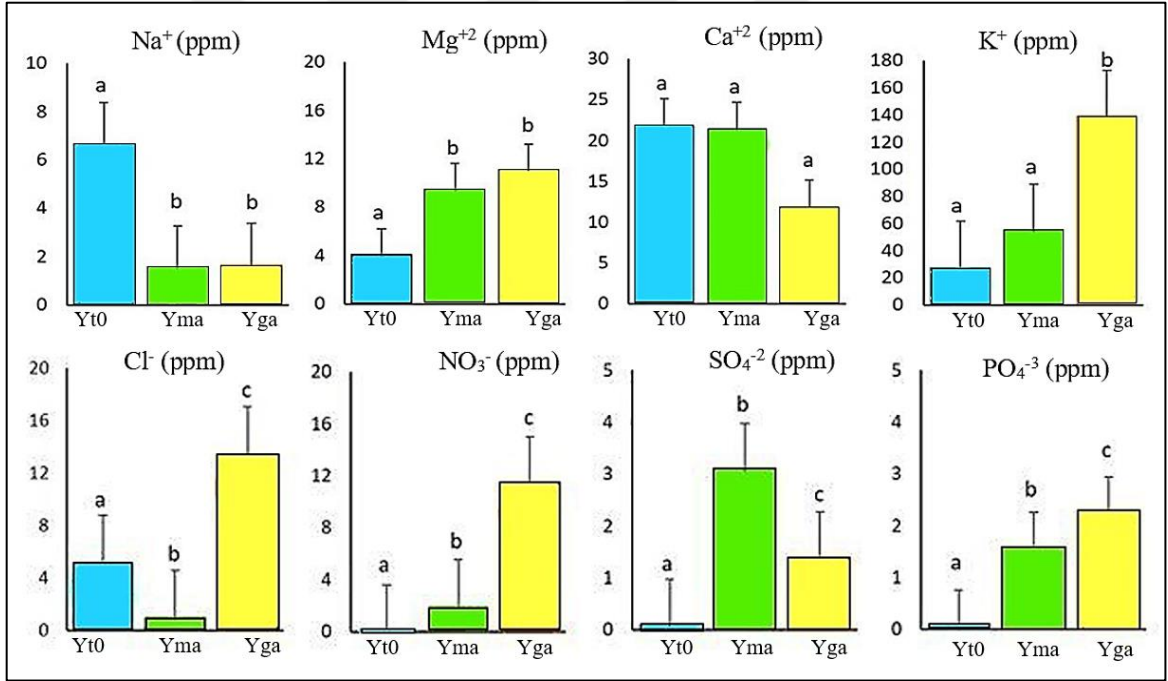
Orman ekosistemlerindeki intersepsiyon bileşenlerinin ekolojik etkileri kapsamında su kalitesi içeriğinde birçok önemli fiziko-kimyasal ve biyolojik değişimler meydana getirebilmektedir.

Orman ekosistemlerinde toplam intersepsiyona etki eden brüt yağış, meşçere altı yağış, gövdeden akış ve yüzeysel akış parametreleri, su miktarını ve besin maddesi dengesini önemli derecede etkileyebilmektedir. Meşçere çatısına gelen yağışın, meşçere altı yağış ve gövdeden akış ile birlikte toprak üzerine geldiği ve suyun içeriğini mineral maddesi açısından zenginleştiren bir süreç olduğu birçok çalışmada rapor edilmiştir (Zimmerman vd.,2008; Aubrey vd., 2020; Tonello vd., 2021). Bu sürecin orman ekosistemlerindeki besin maddesi döngüsüne önemli katkılar sağladığı sonucu ortaya çıkmaktadır (Levia vd., 2011). Bu da ekosistem çalışmalarında, atmosfer-vegetasyon etkileşiminin daha iyi anlaşılmasında önemli bilgiler sunar. Ancak bu durum orman ekosistemlerine gelen yağışın besin maddesi konsantrasyonu açısından toprak-vegetasyon-atmosfer ilişkilerini anlamada yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle meşçere çatısına çarparak toprak üstüne gelen yağışın toprağa

girdikten sonra besin maddesi içeriğinde ne gibi değişimler meydana getirebileceğinin araştırılması gerekmektedir ki bu konu ile ilgili çalışmalar yok denecek kadar azdır. Yapılan bu tez çalışması ile Ladin ve Gökmar meşçeresinde topraktan filtre olan suyun besin maddesi içeriğinde ne gibi değişimler geçirdiği de belirlemiştir.

1.2.6.1. Meşçere Altı Yağış ve Gövdeden Akışın Su Kalitesine Etkisi

Tonello vd. (2021), Brazilya’da yayılış gösteren Tropikal yağmur ormanlarında 12 aylık periyotta (Mart 2018- Nisan 2019) yaptığı çalışmada, 5 aylık sürede 10 adet yağış örneklerinde (2018 Ağustos-Aralık) kimyasal analiz yapmıştır. İntersepsiyonun önemli iki bileşenini oluşturan meşçere altı yağış ve gövdeden akışın, brüt yağışın hidrokimyasal özelliklerini önemli derecede değiştirebileceğini tespit edilmiştir (Şekil 20).



Şekil 20. Meşçere çatısına gelen yağışın bazı önemli anyon ve katyon içeriğindeki değişimler (harfler istatistiği farkı gösterir, Ort.±Sh, P<0.05, n=5) Yt0:Brüt yağış, Yma: Meşçere altı yağış, Yga: Gövdeden akış

Meşçere çatısına gelen yağmur suları bitki örtüsüne çarparak meşçere altı yağış, damlama ve gövdeden akış şeklinde elemental olarak içeriğinde önemli değişimler meydana gelmektedir (Osman, 2013). Yapılan bir çalışmada (Eaton vd., 1973), meşçerealtı yağış ve gövdeden akışın, meşçere çatısına gelen yağış sularının Ca, Mg, K, Na, NO₃, SO₄, NH₄, Cl,

PO₄, organik N, ve organik madde içeriğine önemli katkılar sağladığı bildirilmektedir. Öyle ki; toprağa yıllık olarak verilen potasyum (K) ve kükürt (S) elementlerinin büyük bir kısmının meşçere altı yağış ve gövdeden akış aracılığı ile az bir kısmının da organik döküntü vasıtasıyla gerçekleştiği bildirilmiştir (Osman, 2013). Bununla birlikte, gövdeden akışın toprak çözeltisi içeriğine %5-20 oranında katkı sağladığı Parker (1983) tarafından rapor edilmiştir. Reiners (1972) de ABD minnesota’da yapmış olduğu çalışmada orman ekosistemlerinde (Meşe ve sulak alan ormanları) meşçere altı yağışla birlikte hektarda yıllık 5,5-6,0 ton “N”, 0,5-0,6 ton “P”, 7,6-10,7 ton “Ca”, 3,1-3,7 ton “Mg” elementinin toprağa geldiğini tespit etmiştir.

Yine geniş yapraklı bir tür olan Avrupa kayını meşçeresinde yapılan bir çalışmada (Dev-laeminck vd. 2005), meşçerealtı yağışların Cl⁻, NH₄⁺, ve Na⁺ içeriğinde önemli değişimler meydana getirdiğini bildirmiştir. Borong vd., (1993) çam-ladin-göknar karışık meşçerelerinde yapmış olduğu çalışmada meşçere altı yağışın suyun kimyasal içeriğini önemli derecede değiştirdiğini bildirmiş ve vejetasyon örtüsündeki mineral yıkanma oranının K > Mg > Ca > N şeklinde gerçekleştiğini bildirmiştir. Zhang (1999), birçok ağaç türünde brüt yağış, meşçerealtı yağış, gövdeden akış ve organik döküntüde N, P, K, Ca, ve Mg içeriğini ölçmüştür. Burada hektarda yıllık olarak toplam N: 7,49 kg, NO₃-N: 1,04 kg, NH₄-N: 1,11 kg, P: 2,44 kg, K:8,53 kg, Ca: 19,09 ve Mg:4,76 kg besin maddesi girdisi meydana geldiğini rapor etmiştir. Azotun (N) büyük ana kaynağının (%90,5) organik madde döküntüsü olduğu, potasyumun (K) büyük bir kısmının (%62,7) meşçerealtı yağıştan kaynaklandığının, fosforun (P) da büyük bir kısmının kaynağını (%50,3) da gövdeden akışın oluşturduğunu bildirmiştir. Bu durum her ne kadar toprak üstüne gelen mineral madde oranının bu şekilde değişebileceği rapor edilmiş olsa da toprak üstüne gelip aşağı doğru sızan yağış suları, toprağın elemental içeriği ve katyon ve anyon değişim kapasitesine de bağlı olarak elemental yoğunluğunda önemli değişimler meydana gelebileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Açık ekosistemlerde organik madde içeriğine bağlı olarak suyun renginde önemli değişimler meydana gelir. İskandinavya bölgesinde yapılan çalışmalarda bunu destekleyici sonuçlar elde edilmiştir (Löfgren, vd., 2003) (Şekil 21).



Şekil 21. İskandinavya bölgesindeki göl ve nehirlerde humus içeriğine bağlı suyun renginin değişimi (Löfgren, vd., 2003’den alınmıştır)

Macedo Sa vd.,(2016) yarı tropikal Atlantik ormanlarında yapmış olduğu çalışmada, brüt yağış, meşçere altı yağış ve gövdeden akışta önemli su kalitesini analiz etmiştir. Gövdeden akış suyu rengi (Şekil 22) ile ölçülen parametrelerin (NO_3^- , Cl^- , PO_4^{3-} , SO_4^{2-} , Ca^{+2}) brüt yağış ve meşçere altı yağışa göre önemli derecede değiştiğini tespit etmiştir. Yine yapılan bir çalışmada, meşçere altı yağış ve gövdeden akışın etkisi verilmiştir (Tablo 5).

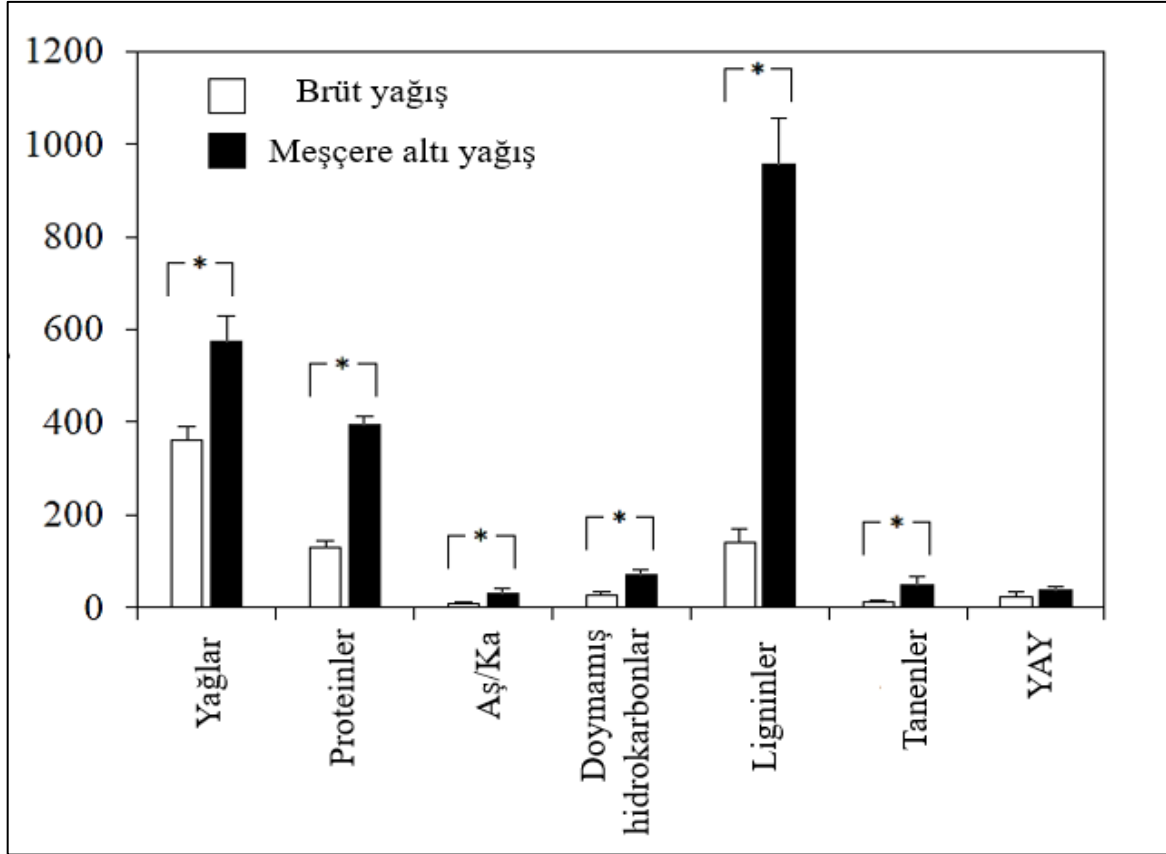


Şekil 22. Yarı tropikal ormanlardaki brüt yağış (a), meşçere altı yağış (b), gövdeden akış (c) düzenekleri ve toplanan suyun rengi (Macedo vd., 2019'dan alınmıştır)

Orman ekosistemleri çözülmüş organik madde (ÇOM) üzerinde de önemli roller üstlenmiştir. Japonya'da küt yapraklı yalancı servi ormanlarında (*Chamaecyparis obtusa*) yapılan bir çalışmada (Ide vd., 2019) açık alana düşen yağış ve meşçere altı yağış sularında ÇOM analizleri yapılmıştır. Bu ÇOM içerikleri, lignin ve tanenleri de içine alan 7 kategoride sınıflandırılmıştır. Buna göre meşçere çatısı yağış sularının organik madde içeriğini önemli derecede etkilemiştir (Şekil 23).

Tablo 5. Orman yapısına bağlı olarak intersepsiyon bileşenlerinde su kalitesi içeriğindeki (ppm) değişimi (Pathak ve Singh, 1984'ten alınmıştır)

Orman Tipi	İntersepsiyon bileşeni	N	Ca	Mg	K	P	Organik karbon
Çam	Brüt yağış	0,60	1,46	0,98	1,04	0,13	0,50
	Meşçerealtı yağış	1,07	2,39	1,54	2,18	0,18	1,09
	Gövdeden akış	1,49	4,97	2,10	6,16	0,67	1,45
Meşe	Brüt yağış	0,60	1,62	1,00	1,00	0,12	1,07
	Meşçerealtı yağış	1,10	2,43	1,31	2,39	0,16	1,45
	Gövdeden akış	1,70	5,61	2,29	6,08	0,82	1,89



Şekil 23. Brüt yağış ve meşçere altı yağış sularında Çözülmüş organik madde miktarı (ÇOM) moleküler olarak 7 kategoride toplanmıştır. Aş/Ka: Aminoşeker /Karbonhidrat, YAY: Yoğunlaşmış aromatik yapılar, hata çubukları standart hatayı, yıldız (*) işareti de istatistiki olarak önemli farkın olduğunu (U-test, $p < 0.05$) göstermektedir (Ide vd., 2019'dan alınmıştır).

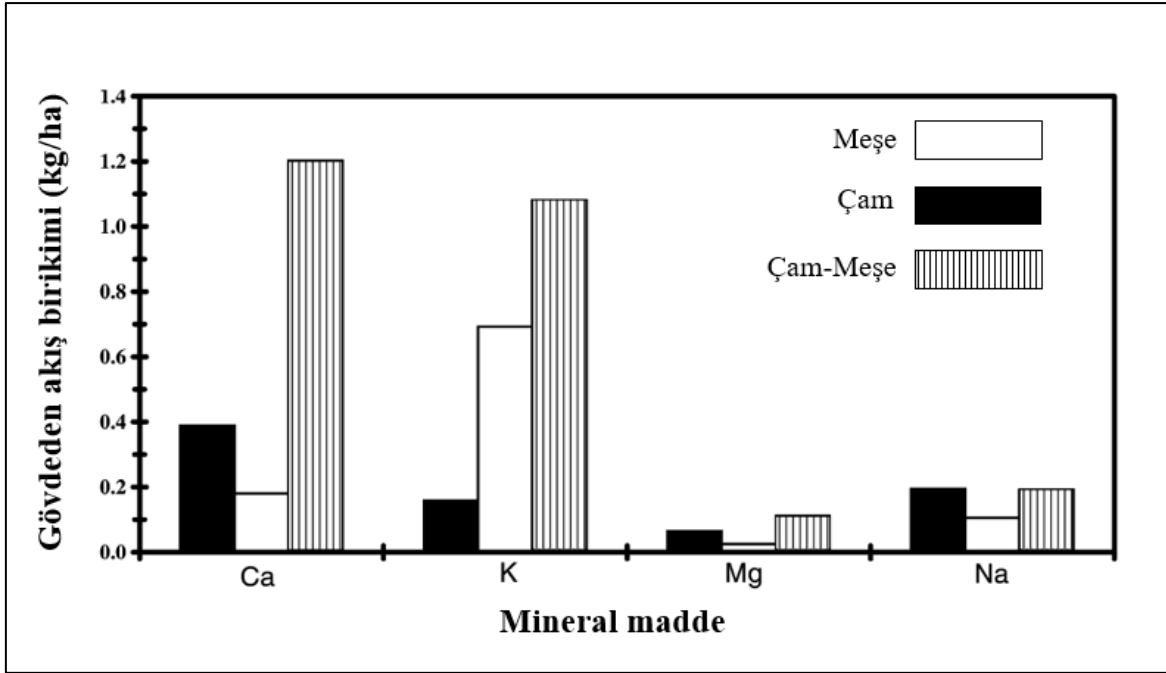
Türkiye, İstanbul'da yapılan bir çalışmada (Eisalou vd., 2013) meşe (*Quercus petraea* (Mattuschka), Kayın (*Fagus orientalis* L.) ve Karaçam (*Pinus nigra* Arnold. *subsp. pallasiana* (Lamb) meşçerelerinin su kalitesi üzerine etkisi araştırılmıştır. Tüm meşçere türlerinde orman örtüsünün meşçere altı yağış sularını EC, N, P, Cl⁻, Na⁺, Ca⁺², Mg⁺², K⁺, Fe, NO₃⁻ yönünden zenginleştirdiği, SO₄⁻² açısından da fakirleştirdiği rapor edilmiştir.

Gövdeden akış parametresi toprağın nem derecesini ve buna bağlı olarak hidrolojik özelliklerini etkilediği belirtilmişti. Gövdeden akış parametresinin toprağın kimyası ve besin elementleri üzerinde de önemli etkileri vardır. Açık alana düşen yağış suları bitki ekosisteminde dal ve yapraklardan gövdeye sızarak kimyasal içeriğinde birtakım değişimlerle birlikte gövdeden akışa geçer (Koichiro vd. 2001). Gövdeden akış suları azot (N) elementini de içeren birçok element tarafından girişime uğrar (Langkamp vd., 1982). Ancak topraktaki bitki besin elementi döngüsü bitkilerin alımında karmaşık bir yapıya

sahiptir (Dunkerley, 2020). Bununla birlikte gövdeden akışta bulunan bazı kimyasallar, gövde çevresinde ve meşçere altında yetişen bitkiler için allelopatik özellik göstererek bunların gelişimini engelleyebilir (May ve Ash, 1990). Dahası, gövdeden akışın etki alanında birçok fiziksel etkiler de oluşabilir (Dunkerley, 2020). Çin'in kuzeyinde büyüyen kurak alan ağaççıkları *Salix psammophila* ve *Hedysarum scoparium* türlerinde yapılan bir çalışmada (Li vd., 2009), gövdeden akışın toprağın makro gözeneklerini etkileyerek toprak neminin alt toprağa doğru heterojen bir yapı göstermesine neden olmuştur. Bu da toprakta su tutma kapasitesi, hacim ağırlığı ve permeabilite gibi birçok önemli toprak özelliklerini değiştirebilir.

Bollen vd. (1968) ABD, Oregon'da yaptıkları çalışmada, gövdeden akıştaki bitki besin maddesinin brüt yağış ve meşçere altı yağıştan gelen toplam girdilerle orantılı olarak az olduğu ancak tek Kızılaçağaç (*Alnus rubra*) gövdesi etrafındaki dar bir bölgeyi zenginleştirdiğini rapor etmişlerdir. Bu sonuçlar, Ohio'daki karışık Meşçerelerde yapılan çalışmalarda (Crozier ve Boerner, 1986) ve Almanya'da Avrupa kayınında (*Fagus sylvatica* L.) yapılan bir çalışma (Chang ve Matzner, 2000) ile desteklenmiştir. Bununla birlikte bazen de üst ve alt toprak horizonlarında bazı fiziksel değişimler ve bunlara bağlı da kimyasal özelliklerde değişimler gözlenebilmektedir. Gersper ve Holowaychuk (1970), Ohio'da yayılış gösteren Kayın-Akçağaç (*Fagus grandiflora*-*Acer saccharu*) karışık meşçeresinde yaptıkları çalışmada gövdeye yakın toprağın A₁ horizonunun daha az yoğun ve A₂ horizonunun daha kalın olduğunu, üst topraktan aşağı doğru toz miktarının azaldığı ve alt toprakta arttığını tespit etmişlerdir. Bununla birlikte yine aynı bölgedeki geniş yapraklı karışık meşçerelerde (*Fagus grandiflora*, *Quercus rubra*, *Acer saccharu*) yapılan çalışmada (Gersper ve Holowaychuk, 1971), C, K, Ca, Na, Mg ve P gibi elementlerin toprağın altına doğru iletildiği rapor edilmiştir. Bazı bitkilerde de gövdeden uzaklaştıkça merkezden çevreye doğru toprağın kimyasal özelliklerinde simetrik olarak değişim meydana gelebilmektedir (Dunkerley, 2020). Bu değişim gövde mesafesi ile birlikte pH 'daki artışı ve inorganik karbondaki ve değişebilir potasyum (K) miktarının azalmasını da içermektedir. Tüm bu gövdeden akış etkileri göz önünde bulundurulduğunda, gövdeden akış belki çözeltiliye çok az katkı sağlasa da (Van Stan ve Gordon, 2018) toprak besin maddeleri özellikleri üzerinde göz ardı edilemeyecek kümülatif etkiye sahiptir.

Orman ekosistemlerinde ağaç türlerine bağlı olarak gövdeden akışın mineral madde içeriği de önemli derecede etkilenmektedir (Silva ve Rodriguez, 2001; Pathak ve Singh, 1984). Öyle ki karışık meşçereler bu konuda daha avantajlı bir yapı sergiler (Şekil 24).



Şekil 24. Meşçerde tür bileşenine göre gövdeden akışın hidrokimyasal özelliği (Silva ve Rodriguez, 2001'den alınmıştır)

1.2.6.2. Orman Örtüsü ve Yüzeysel Akışın Su Kalitesine Etkisi

Toprağın en önemli ekolojik fonksiyonlarından biri olan filtrasyon, depolama ve maddelerin dönüştürülmesi özelliğidir (şekil 2). Bu özellikler toprağın tekstür yapısı ile birlikte katyon değişim kapasitesi, organik madde içeriği, tarla kapasitesi ve toprak hava içerinden önemli derecede etkilenmektedir (Lin, 2012). Bu konuda toprağın heterojenliği ve toprak solüsyonunun filtrasyon süresi önem arz etmektedir. Toprakta süzülme hızı azaldıkça kimyasal tepkimelerin potansiyel artmakla birlikte biyolojik temizleme kapasitesi de artma eğilimi göstermektedir (Bouma, 1979). Lin (2012)'in bildirdiğine göre, toprak derinliğine doğru hareket eden toprak çözeltisindeki kalan virüs miktarı filtrasyon hızından önemli derecede etkilenmektedir. Topraktaki akış hızının günlük 5cm'ye kadar düşmesi topraktaki virüs varlığını bitirebilmektedir. Bununla birlikte topraktaki mevcut mineral maddelerin değişim kapasitesi de artacak ve aşağıya doğru süzülen suda toprağın bitki besin içeriğine bağlı olarak değişimler meydana gelecek ve su kalitesini etkileyecektir (Tablo 6).

Orman ekosistemleri su kalitesi üzerinde önemli derecede iyileştirici etki yapmaktadır ve orman ekosistemi bozuldukça su kalitesi de kötüleşmeye başlamaktadır (Singh ve Mishra, 2014). Kent ekosistemindeki mevcut bitki örtüsü su kalitesine olumlu yönde etki ederek

arıtım maliyetlerini önemli oranda düşürmektedir (Altun vd., 2017; Chen vd., 2019). Bununla birlikte toprağın en önemli fonksiyonlarından biri olan arıtım özelliğinden de günümüzde ileri düzeyde yararlanılmaktadır. Brazilya’da tropikal yağmur ormanlarında brüt yağış ve meşçere altı yağışta pH, NH_4^+ , Na^+ , K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Cl^- , NO_3^- , SO_4^{-2} ve çözünmüş organik karbon ölçümleri yapılmış, orman örtüsünün suyun kimyasını bu parametreler açısından önemli derecede değiştirdiği rapor edilmiştir (Zimmerman vd., 2008). Bu durum da bir havzada yağışın vejetasyona çarpıp toprak yüzeyine geldikten sonra aşağı doğru süzülen toprak çözeltisinin toprağın katyon ve anyon değişim kapasitesine bağlı olarak değişip, dere akımına o şekilde ulaştığı sonucunu ortaya çıkmıştır.

Tablo 6. Arap emirliklerinde 2 farklı yapılan bir çalışmadaki taban suyu kalite parametreleri ile Dünya sağlık örgütü (WHO) standartlarına göre karşılaştırılması (Khan vd., 2019)

Kalite Parametreleri	Remah Bölgesi	Al khatim Bölgesi	WHO standardı (2004)
Elektriksel iletkenlik ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	6200	19800	780-31200
Tuzluluk (ppm)	3350	11770	-
TDS (ppm)	4148	10893	500-1500
pH	5,9	6	6,5-8,5
Na^+ (ppm)	695	2453	200
Cl^- (ppm)	1163	4730	200-600
Ca^{+2} (ppm)	137	684	75-200
Mg^{+2} (ppm)	29	125	30-150
K^+ (ppm)	15	27	10
SO_4^{-2} (ppm)	1513	3632	200-400
NO_3^- (ppm)	96	316	45

Afrika kıtasında tropikal yağmur ormanlarının yoğun olduğu Nijerja bölgesinde taban suyunun önemli kalite özellikleri araştırılmıştır (Akoteyon, 2013). Ölçülen kalite parametreleri arasında önemli korelasyon ilişkileri tespit edilmiştir. Buna göre TDS ile EC, Na^+ , K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Cl^- ve SO_4^{-2} arasında çok güçlü ilişkiler tespit edilmiştir. İlişki katsayıları kullanılarak ölçülen TDS’ye göre diğer parametreler de yüksek doğrulukla tahmin edilebilir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1.Kavramsal Çerçeve

Günümüzde, orman ekosistemlerini sürdürülebilir bir şekilde yönetip, ekolojik, ekonomik ve sosyal olarak çok yönlü faydalanmayı sağlayacak ekosistem tabanlı orman amenajman planları yapılmaya başlanmıştır. Plan yapım sürecinde, yetiştirme ortamı özellikleri ile meşçere dinamiğinin belirlenmesi, özellikle ekolojik fonksiyonların tespiti açısından önem arz etmektedir. Bunun için ilgili planlamalara veri tabanı oluşturacak ekolojik araştırmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Bununla birlikte yapılacak çalışmalarda modern tekniklerin entegre olarak kullanılması elde edilen verilerin güvenilirliğini artıracaktır. Bu çalışma ile ülkemiz orman ekosistemlerinin su çevrimindeki rolü, modern cihazlar da kullanılarak, tür bazında detaylı olarak anlaşılmış olacaktır. Bu bağlamda önerilen projenin mevcut bilim ve teknolojiye katkısı üç ana başlık altında özetlenebilir.

1. Orman ekosistemlerinde modern yöntemler kullanmak, veri güvenilirliğini artırmak ve yeni yöntemler geliştirmek; Doğada ekolojik süreçlerin karmaşıklığı ve canlı-cansız birçok ilişkiyi bünyesinde barındırması nedeniyle, orman ekosistemlerinin ekolojik fonksiyonunu belirlemek, sosyal ve ekonomik fonksiyonunu belirlemekten daha zor ve zaman alıcı bir olgudur. Buna ek olarak ekolojik fonksiyonların açık ve net olarak belirlenmesi sürecinde yersel çalışmalar yetersiz kalmaktadır. Yapılan çalışmada modern otomatik ve manuel cihazlar kullanarak intersepsiyon bileşenleri maksimum 2 haftada bir olacak şekilde 21 ay boyunca 42 dönem olarak ölçülmüştür. Bu ölçüm değerlerinin içinde orman örtüsü intersepsiyonu (Otsu diri örtü+ölü örtü+Ah horizonu) yer almaktadır. Çalışma bu açıdan ülkemizde ilk olma özelliğini taşımaktadır.

2. Bu kapsamda, asli ağaç türlerimizin ekolojik-hidrolojik-meteorolojik özellikleri ile ilgili denklemler geliştirmek; Ülkemiz orman ekosistemlerinin hidrolojik özelliklerini ortaya çıkaracak olan bitki-toprak- atmosfer ilişkilerini inceleyen çalışmalar oldukça sınırlıdır. Tür ve orman yoğunluğu bakımından önemli bir konumda olan Doğu Karadeniz Bölgesinde ise bu çalışma bir ilk olacaktır. Bu çalışma ile birlikte, bir yandan literatürdeki ilgili boşluk doldurulur iken diğer yandan da iki asli ağaç türümüzün ekolojik, hidrolojik ve meteorolojik özellikleri de belirlenmiş olacaktır.

3. Ekosistem tabanlı orman amenajman planlarında kullanılabilir modeller geliştirmek; Türkiye ormancılık literatürüne yeni bir açılım getirecektir. Henüz ulusal ormancılık literatüründe kendine özgü bir yer bulamayan bu yaklaşımın uygulanması, ülke ormancılığının ilerlemesine önemli katkılar sağlayacak olan ekosistem tabanlı modern planlama tekniklerinin kullanılmasına ve geliştirilmesine yeni bir örnek teşkil edecektir. Ayrıca, tez sonuçları, ulusal ve uluslararası bilimsel platformlarda ilgi çekeceği ve böylece ülke ormancılığımızın temsili açısından yararlı olacağı düşünülmektedir.

Ormancılık çalışmalarında hemen hemen tüm planlama ve karar verme işlemlerinde orman fonksiyonları ile meşçere dinamiklerinin güncellenmesine gerek duyulmaktadır. Bu bağlamda özellikle meşçerelerin ekolojik, hidrolojik parametrelerinin bilinmesi önemlidir. Bu bilgiler, orman kaynaklarına yönelik tüm çalışmaların daha hızlı, daha az masrafla ve doğru şekilde sürdürülebilmesi açısından oldukça yararlıdır. Çalışmanın sonunda geliştirilecek denklemlerin, çalışılan bu iki türün yayılış gösterdiği Doğu Karadeniz bölgesindeki tüm alanlarda kullanım imkânı oluşacaktır.

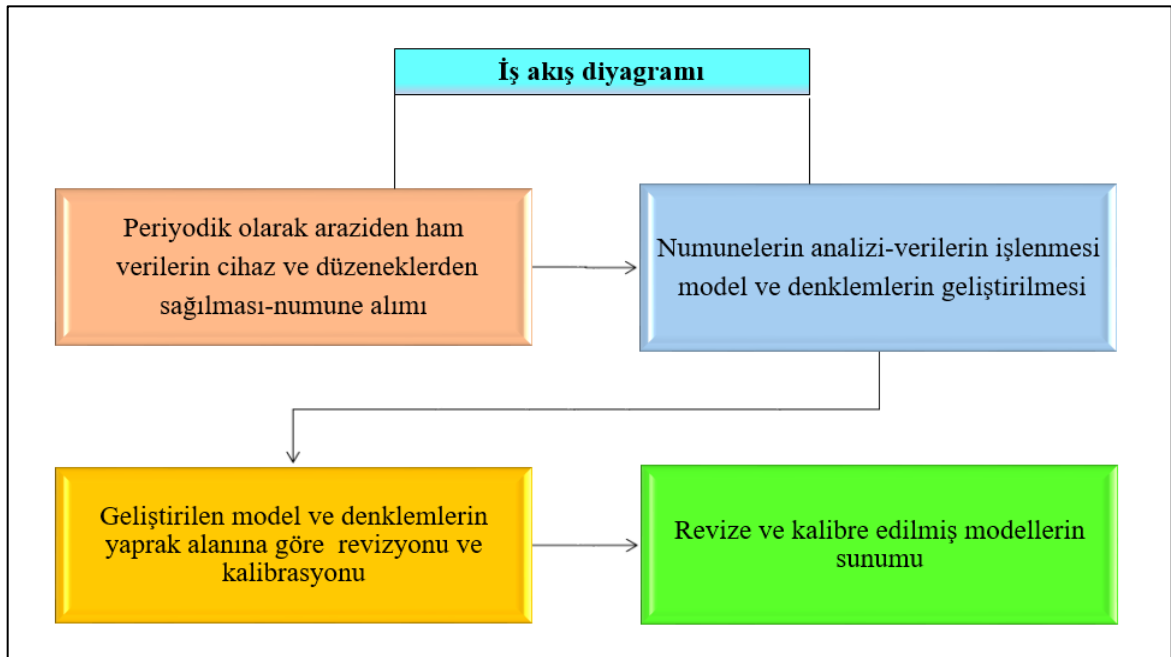
Orman ekosistemlerinde intersepsiyon olayı, Toprak-Bitki Örtüsü-Atmosfer süreçleri tarafından kontrol edilmektedir. Bu kapsamda çalışmamızda *ölçülen* toplam intersepsiyona etki eden ve intersepsiyon bileşenlerinin karşılıklı etkileşimde olduğu hidrolojik, ekolojik ve meteorolojik parametreler şekil 25’de ayrıntılı olarak verilmiştir.

Bu çalışmada, aynı yamaçta, aynı eğim, bakı ve yükselti derecesine sahip 3 kapalı (%70-%100) saf Göknaar (*Abies nordmanniana subsp. nordmanniana*) ve Ladin (*Picea orientalis L.*) meşçerelerinden 1’er adet 400 m² (20m x 20m) deneme alanları alınmıştır. Bu alanlarda uygun standartlara sahip cihazlar ile gerekli düzenekler kurularak gövdeden akış, meşçere altı yağış ve orman örtüsünden intersepsiyon bileşenleri ve açık alana düşen brüt yağışlar 21 ay süre ile takip edilmiştir. Bununla birlikte her bir deneme alanında yaprak alan indeksi belirlenmiştir. Çalışma alanlarında modern otomatik meteoroloji istasyonları kullanılarak, nem, rüzgâr, sıcaklık gibi önemli iklim parametrelerinin yanı sıra toprak sıcaklığı ve toprak nemi değerleri de belirlenmiştir. Ölçülen parametreler kullanılarak korelasyon, regresyon ve varyans gibi istatistiksel analizler yapılmış ve modeller geliştirilmiştir.



Şekil 25. Orman ekosisteminde toplam intersepsiyon sürecinde etkili olan* ve intersepsiyon bileşenlerinin etkilediği** parametreler

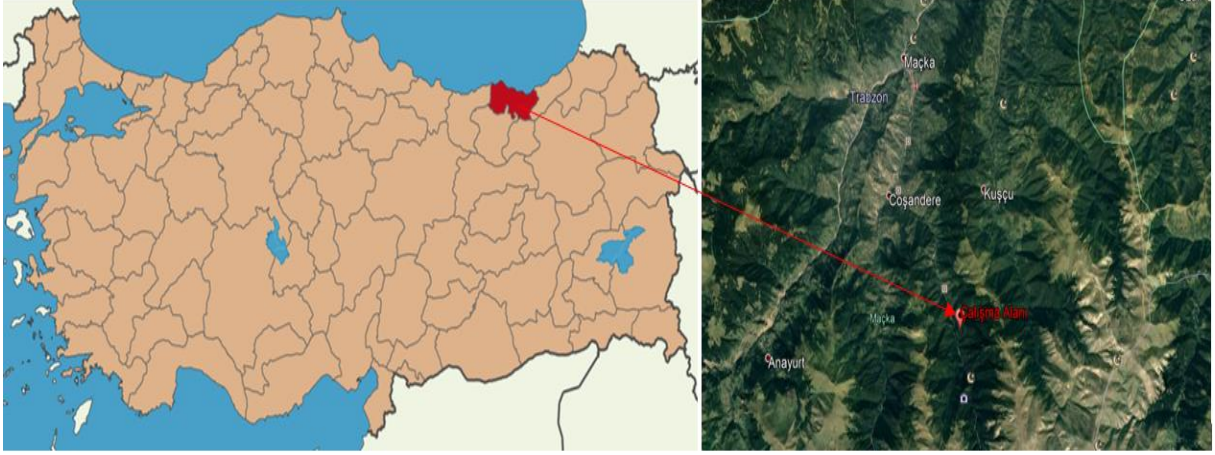
Çalışma sürecinde, arazide dinamik olarak intersepsiyon düzeneklerinden ölçümler alınmış ve kurulan iklim istasyonlarından veriler sağlanmıştır. Bununla birlikte intersepsiyon düzeneklerinden toplanan su numuneleri, analiz edilmek üzere laboratuvara taşınmıştır. Şekil 26'da iş akış diyagramı detaylı olarak sunulmuştur.



Şekil 26. Çalışma aşamalarını gösteren iş-akış diyagramı

2.2. Çalışma Alanı

Çalışma yapılan alan Ladin (*Picea orientalis L.*) ve Gökmar (*Abies nordmanniana subsp. nordmanniana*) türlerinin yayılış gösterdiği, Trabzon ili, Maçka ilçesi, Meryemana Araştırma Ormanı, çalışma alanı olarak belirlenmiştir (Şekil 27). Araştırma alanı 555.000K, 4.507.001D koordinatlarında (ED50, UTM) yer almaktadır.



Şekil 27. Çalışma alanının genel konumu

Ekolojik faktörler açısından, çalışma alanının yükseltisi 1050-1100 metre arasında değişmekte ve ortalama yükselti 1075 metredir. Ortalama arazi eğimi yaklaşık %60-65 civarında olup bakışı kuzeybatıdır. Bu çalışmada, aynı yamaçta, aynı eğim, bakı ve yükselti derecesine sahip 3 kapalı (%71 - %100) saf Gökmar (*Abies nordmanniana subsp. nordmanniana*) ve Ladin (*Picea orientalis L.*) meşçerelerinde 1'er adet 400 m² (20m x 20m) deneme alanı alınmıştır. Çalışmalar, orijin denemelerinin yer aldığı Trabzon ili Maçka ilçesi, Meryemana mevkiisindeki saf Ladin ve Gökmar Meşçerelerinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 28). Çalışma alanı, Trabzon ili Maçka ilçesinde Doğu Karadeniz Ormanlık Araştırma Müdürlüğü sorumluluğunda içerisinde bulunmakta ve Meryemana Orman Amenajman planı içinde 2 no'lu bölmede yer almaktadır ve Ladin ve Gökmar deneme alanları bitişik durumda olup aralarında 15 metre mesafe bulunmaktadır.

Çalışmada kullanılan türlerin genel özellikleri: Orman ekosistemlerimizde meşçere kuran türlerden olan Doğu ladini, ormanlık alanımızın yaklaşık %1,6'sını oluşturmaktadır. Nemli ve yağışlı bölgede yetişme eğiliminde olan Doğu ladini, Anadolu ve Kafkasya'da, 40° 23'- 43° 50' kuzey enlemleri ile 37° 40'- 44° 13' doğu boylamlarında yayılış göstermektedir (Kayacık, 1960). Genelde 1000-2400 metre yükseltide (münferit olarak daha

da aşağılara inebilir), ülkemizde ise Kuzeydoğu Anadolu bölgesinin en uç noktası olan Artvin ilinden başlayıp Rize, Trabzon ve Giresun illerinden geçerek Ordu ilinde bulunan Melet ırmağına kadar yaşam alanı bulmaktadır. Bununla birlikte Ladin ekosisteminin bulunduğu bölgede genelde granit, biyotit-granit, dioporfirit, diabaz-porfirit ve andezit kayaları bulunmaktadır (Besçeli ve Ekici, 1969).



Şekil 28. Çalışma alanındaki ladin meşçeresi

Aynı şekilde ülkemiz ormanlarının asli türlerinden olan Göknarlar 4 tür ile temsil edilerek (*A.nordmanniana*, *A.bornmülleriana*, *A.equi-trojani*, *A. cilicica*) ormanlık alanımızın yaklaşık %3,1'ini oluşturmaktadır. Bu çalışma, *Abies nordmanniana subsp. nordmanniana* (Doğu Karadeniz Göknaarı) meşçeresinde gerçekleştirilmiştir. Bu tür Kafkasya ile Kuzeydoğu Anadolu'nun dağlık kesimlerinde yayılışını sürdürür. Karadeniz bölgesinde Yeşilirmak vadisi ile Türkiye-Gürcistan sınırına kadar uzanan orman alanlarında; Artvin'in batısında, Ardaneç'un doğusunda, Şavşat-Meydancık yörelerinde, Yusufeli'nin kuzeyindeki Sarıgöl Kasabasının kuzeydoğusunda, Yusufeli'nin doğusunda ise Kaçkar eteklerinde Gümüşhanenin kuzey ve güneyinde ve Şebinkarahisar'ın kuzeydoğusunda 800-1950 metre yükseltiler arasında nemli yerlerde yaşam alanı bulur (Karaşahin vd., 2002).

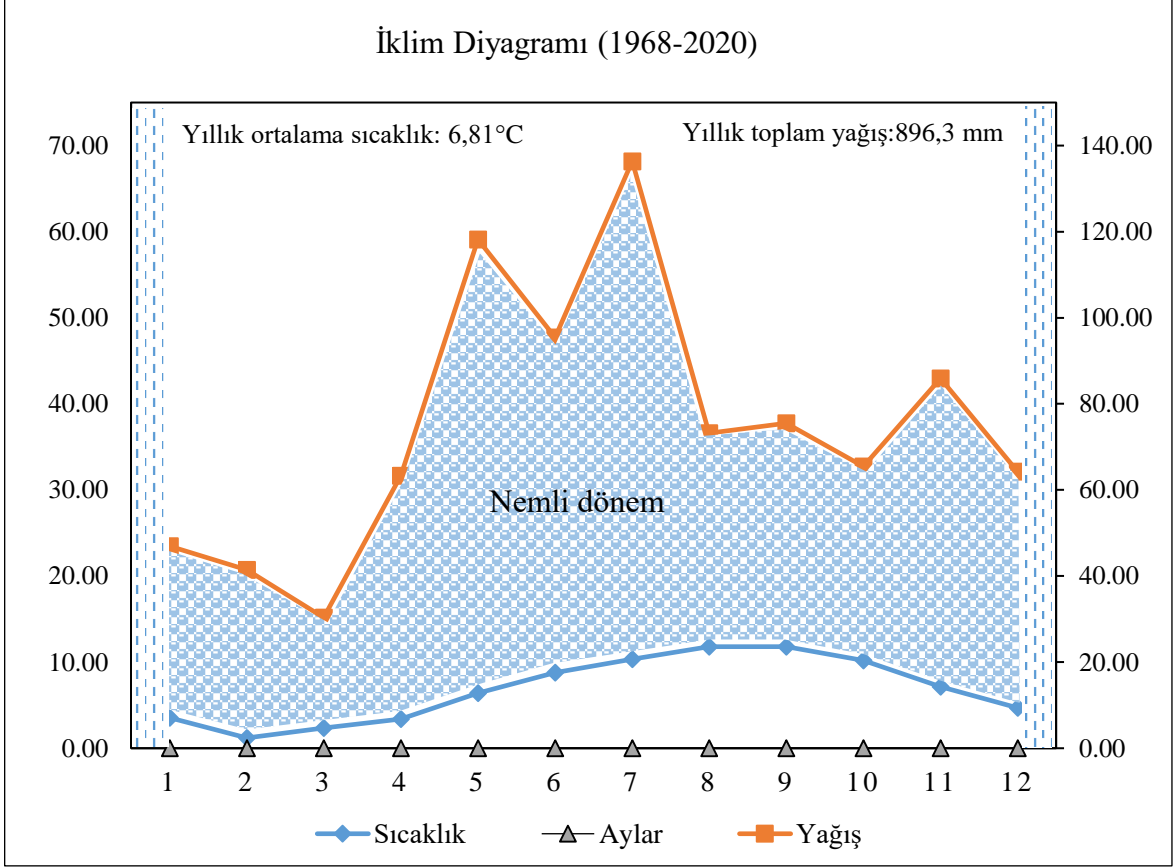


Şekil 29. Çalışma alanındaki Gökknar meşçeresi

Çalışma alanı DOKA (Doğu Karadeniz Ormancılık Araştırma Müdürlüğü) bünyesindeki araştırma ormanında bulunmaktadır. Araştırma ormanında 1970’li yıllarda birçok türden oluşan orijin denemesi çalışmaları yapılmıştır. Araştırmamıza konu olan Doğu Karadeniz Gökknarı bu alana Gümüşhane ilçesi Sarıçdağı mevkiinden getirilmiştir. Bununla birlikte bu türe ait farklı orijinler de bu bölgede kullanılmıştır. Aynı zamanda Amerika Birleşik Devletleri’nden getirtilen morfolojik olarak doğu Karadeniz Gökknarına benzeyen göknar cinsine ait *grandis* türü de kullanılmıştır. Yapılan çalışmalarda bu iki tür arasında ilk yıllarda gelişim farklılığı olmasına rağmen, ilerleyen yıllarda çap-boy gelişim süreçleri açısından istatistiki olarak bir fark olmadığı çalışmalarda rapor edilmiştir (Gerçek, 2011). Bunun yanı sıra, gerek bu iki türün morfolojisinin birbirine yakın olması gerekse de aynı ekolojik koşullarda istatistiki açıdan aynı çap-boy gelişimi sergilemeleri nedeniyle orman ekosistemlerinde önemli bir yeri olan doğu Karadeniz göknarından elde edilen orman intersepsiyonu değerlerinin çap ve yaprak yüzeyi arasındaki yüksek bir ilişkiden dolayı (Katsuno ve Hozumi, 1987; Turner vd., 2000; Kigomo vd., 2013, Kezik ve Kocaçınar, 2014) aynı ekolojik koşullarla haiz alanlarda bu tür ve diğer Gökknar türleri için de kullanılabilme olasılığı vardır.

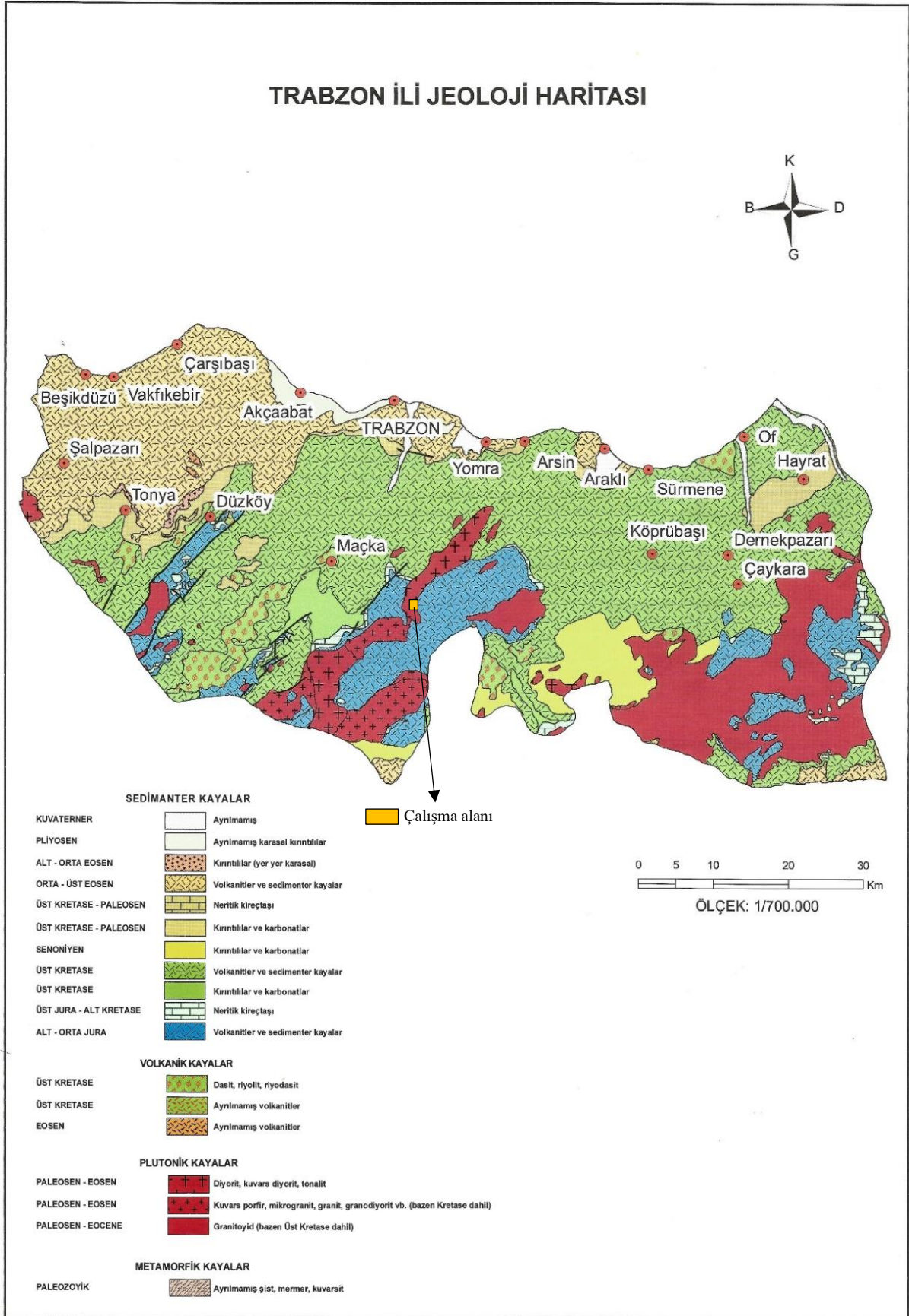
İklim özellikleri açısından, Trabzon ili, Maçka ilçesi, Altındere Vadisi Milli parkı sınırlarında yer alan çalışma alanı iklim olarak yarı-tropik, De Martonne’a (1926) göre çok

nemli iklim sınıfında yer alırken Thornthwaite'a (1948) göre de nemli iklim sınıfında yer almaktadır. Walter'a (1975) göre, yıl boyunca nemli olup su açığı yoktur (Şekil 30).



Şekil 30. Çalışma alanının Walter'e (1975) göre iklim diyagramı

Jeolojik özellikler açısından, çalışma alanı 1:25.000 ölçekli memleket haritasının G43d₂ paftasında yer almaktadır. Türkiye Jeoloji Haritasında Kaçkar Granitoidinde (KK₁) içinde yer almakta ve çalışma alanının hemen 300 metre üstünde de andezit, bazalt ve dazit yoğunluklu Hamurkesen formasyonu (Jh) bulunmaktadır (Şekil 31). Çalışma alanının mineral kompozisyonunun; Granit, granodiyorit, mikrogranit, kuvars porfir, kuvarslı diyorit ve diyorit gibi silikat mineralleri olduğu bildirilmektedir (Güven, 1998). Bu minerallerin yoğunluğunu Na, K, Ca, Mg, Fe, Al, ve Li elementleri oluşturmaktadır. Bu kayalar ve minerallerden oluşan topraklar da bunu oluşturan elementler açısından zengindir.



Şekil 31. Çalışma alanının jeolojik konumu (MTA, 2015)

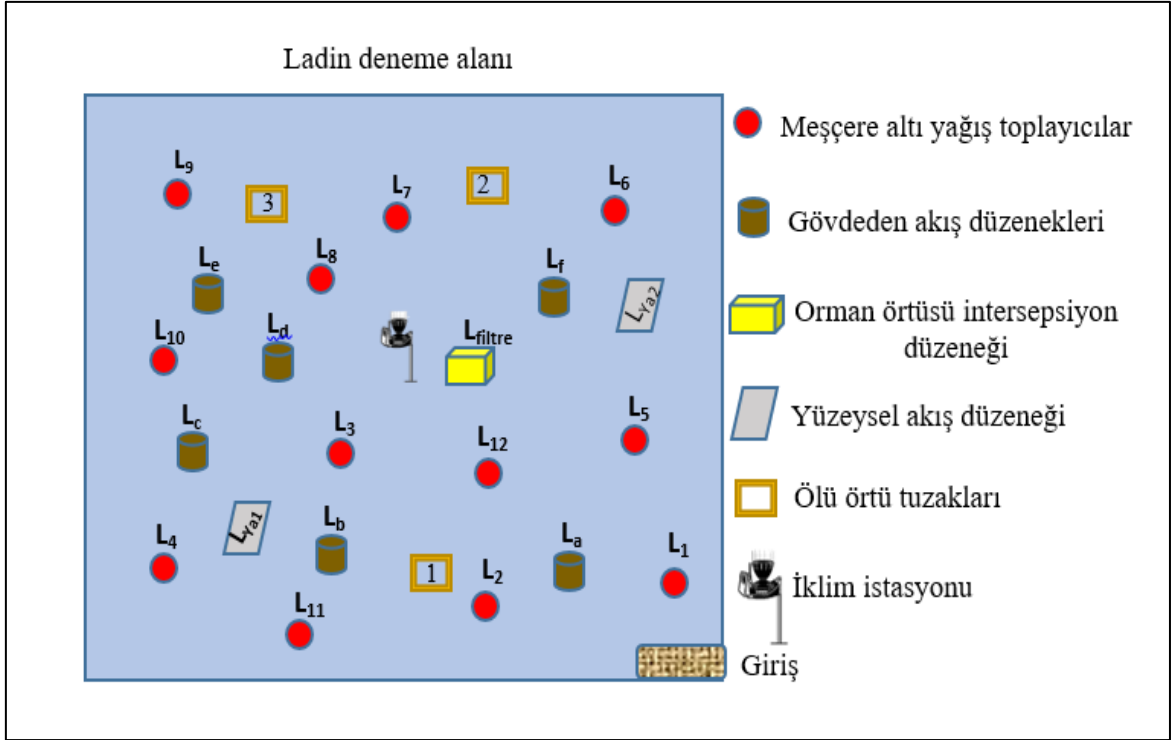
2.3. Çalışma Düzenegi ile Kullanılan Cihaz ve Ekipmanlar

Ladin ve Gökmar meşçeresinde deneme alanları belirlendikten sonra (Şekil 32) intersepsiyon bileşenlerini ve bazı diğerk ekolojik parametreleri tespit etmek için modern dijital cihazların yanı sıra manuel cihazlar da kullanılmıştır. Tüm ölçümler minimum 2 haftada 1 olacak şekilde ve aylık olarak planlanmıştır (42 ölçüm periyodu). Yapılan 21 aylık ölçüm değerleri (Temmuz 2018-Mart 2020) analiz edilip değerlendirilmiştir.

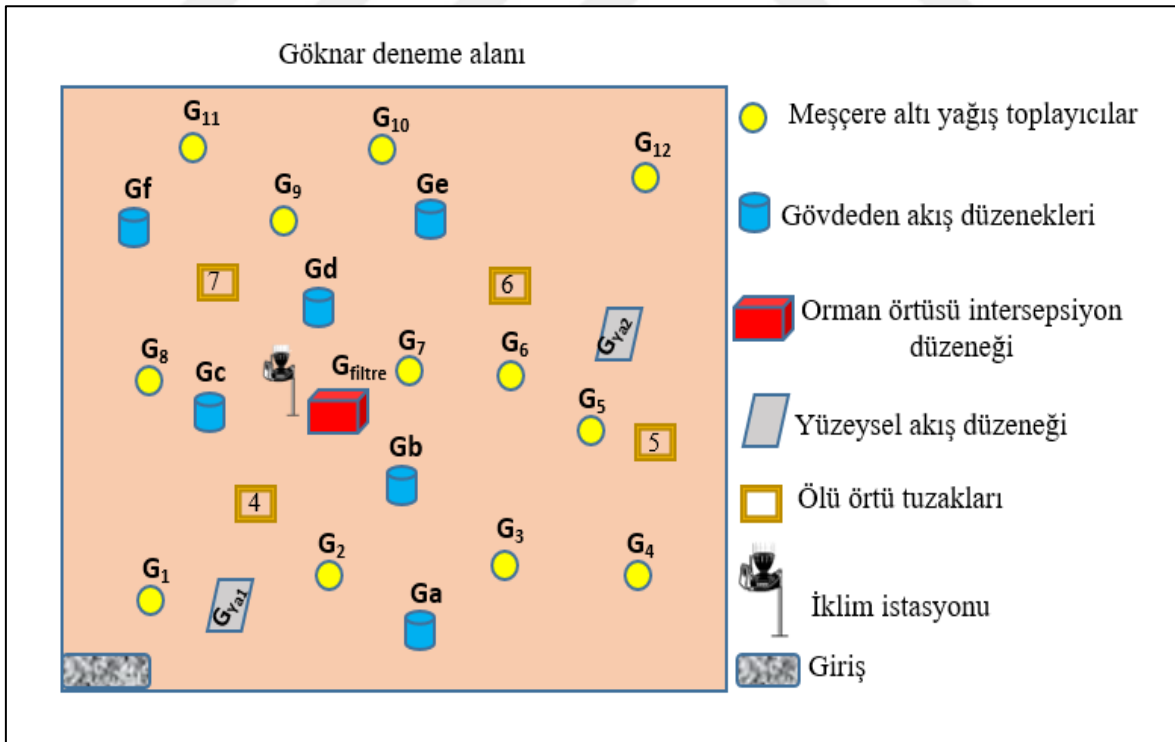


Şekil 32. Hazır hale getirilmiş deneme alanları

Bu çalışmanın önemli bir parçasını oluşturan ve TOVAG 2170359 numaralı TÜBİTAK projesi kapsamında belirlenen intersepsiyon bileşenlerinin hesaplanmasında, düzeneklerdeki yaprak alan indeksi değerlerinin de hesaba katılarak sonuçların kalibre ve revize edilmesi gerektiğinden bahsedilmiştir (Hacısalıhoğlu, 2020). Bu yüzden bu çalışmada ölçülen ekolojik ve hidrolojik parametrelerdeki düzeneklerin bireysel yaprak alan indeksleri LICOR 2200C cihazı ve bu cihazın bileşeni olan fv2200 yazılımı yardımı ile hesaplanmıştır. Ölçülen kantitatif değerler de tür bazında yaprak alan indeksine göre tekrar revize edilerek sunulmuştur. Yapılan ölçümler: Meşçere-altı yağış, gövdeden akış, yüzeysel akış, filtre edilen suyun miktarı, meşçere çatısı intersepsiyonu, orman örtüsü intersepsiyonu ve toplam orman intersepsiyonu değerleri revize edilen yaprak alan indeksi değerlerine göre hesaplanmıştır. Ladin ve Gökmar Meşçerelerinde oluşturulan deneme alanlarındaki düzenekler şekil 33, 34, 35, 36'da verilmiştir.



Şekil 33. Ladin deneme alanındaki düzeneklerin yerleşim planı



Şekil 34. Göknar deneme alanındaki düzeneklerin yerleşim planı



Şekil 35. Ladin deneme alanı genel görünüm



Şekil 36. Göknar deneme alanı genel görünüm

2.4. İklim Parametrelerinin Belirlenmesi

Açık alan, Ladin ve göknar deneme alanlarında önemli iklim parametrelerini belirlemek için kablosuz dijital iklim istasyonları kullanılmıştır (Şekil 37,40). Buna ek olarak, açık alana yerleştirilen iklim istasyonunun yakınlarında Meteoroloji Bölge Müdürlüğü'ne ait bir iklim istasyonu da mevcuttur (Şekil 38). Çalışmamızda, açık alana kurulan iklim istasyonundan veri sağlanmadığı durumlarda, bu istasyondaki verilerden faydalanılmıştır. Bununla birlikte toprak sıcaklığı ve nemini tespit eden kablosuz toprak istasyonu da dijital iklim istasyonları ile birlikte kullanılmıştır. Arazide ölçülen verileri belleğine kaydedebilen dijital alıcı cihazlar (Şekil 39) da çalışmamızda kullanılmıştır. Bu dijital iklim ve toprak istasyonlarında yer alan ilgili sensörlerin gerekli kalibrasyonlarının tamamlanması ile birlikte göknar ve ladin meşçeresinde meşçereyi temsil eden, orman örtüsü intersepsiyonunun tespit edildiği yere kurulmuştur. Veri alıcı istasyon da her iki cihazı görebilecek konuma tespit edilmiş ve ölçümlere hazır hale getirilmiştir. Veriler iklim istasyonlarından 5 dakikalık ara ile alınmıştır. Bu verilerin 42 ölçüm periyodundaki ortalamaları alınmıştır. Aylık ve mevsimlik trend verilirken bu verilerin ortalamaları (n=42) kullanılmıştır. Ancak regresyon denklemlerinde açık alan ve meşçerelerdeki istasyonların daha yoğun olan saatlik ortalamaları kullanılarak regresyon denklemleri oluşturulmuştur. Meşçere altına yerleştirilen iklim istasyonlardan, kalibrasyon ve teknik sorunlardan dolayı açık alana göre ilk 2 ay veri alınamamıştır.



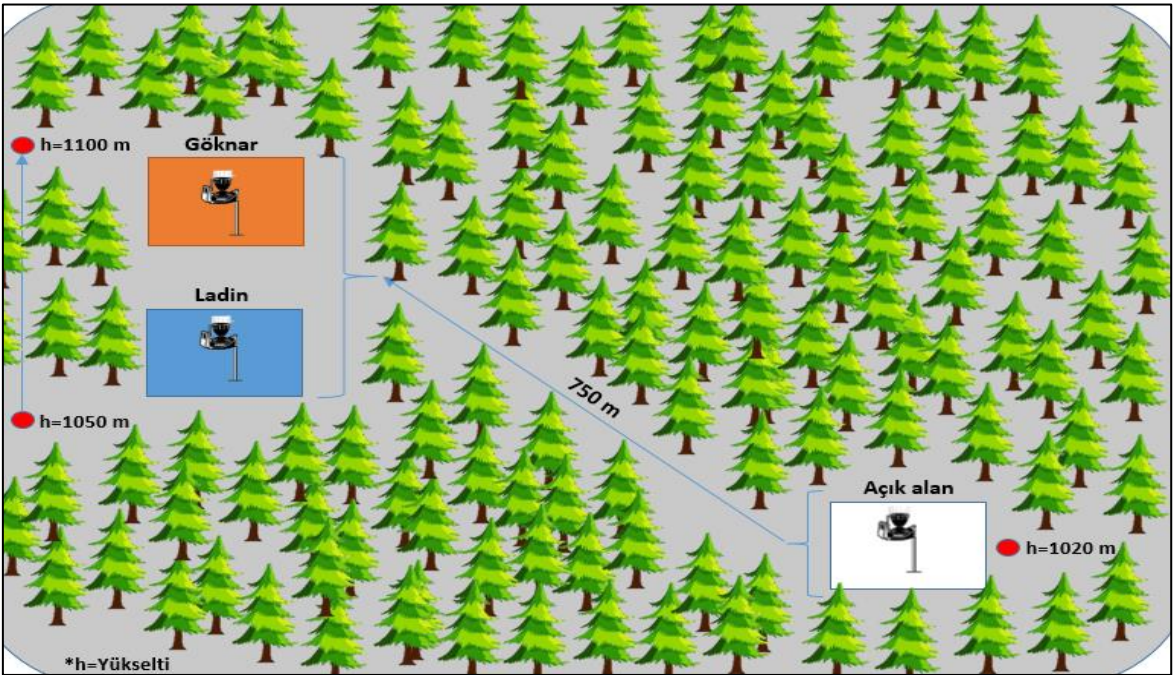
Şekil 37. Çalışmada kullanılan dijital iklim ve toprak istasyonları



Şekil 38. Meteoroloji Bölge Müdürlüğüne ait iklim istasyonu



Şekil 39. Meteoroloji Bölge Müdürlüğüne ait iklim istasyonu



Şekil 40. Çalışma alanına kurulan meteoroloji istasyonlarının konumu

2.5. İntersepsiyon Bileşenleri

2.5.1. Brüt Yağış (Yt0) ve Meşçerealtı Yağış (Yma)

Ladin ve göknar meşçereleri ile açık alana manuel yağmur toplayıcılar yerleştirilmiştir. Dış ortama gelen brüt yağış miktarını ölçmek için ladin ve göknar deneme alanlarının bitişiğinde yer alan açık alana 2 adet yağışölçer yerleştirilmiştir. Ladin ve göknar meşçerelerine ise 400 m²'lik alana meşçereyi temsil edecek bir biçimde homojen olarak dağıtılmış 12'şer adet manuel yağmur toplayıcı eklenmiştir (Şekil 41).

Deneme alanlarına yerleştirilen yağışölçerler 1'den 12'ye kadar numaralandırılmış ve rutin olarak alınacak ölçümler buna göre planlanmıştır. Bununla birlikte açık alana düşen brüt yağış, otomatik istasyonlar ile kontrol edilerek veriler işlenmiştir.

Meşçere altı-yağış değerleri ladin ve göknar deneme alanında 12 adet yağış ölçerden elde edilen verilerin ortalaması kullanılarak hesaplanmıştır. Ancak bu yağış ölçerlerin her birinin kendine ait bireysel yaprak alan indeksi vardır. Bu yaprak alan indeksi değerleri LICOR 2200C aleti kullanılarak fv2200 programı tarafından hesaplanmıştır. Bu yağış ölçerlerin etkili projeksiyon alanı belirlenmiş ve Ladin meşçeresi için fv2200 programında 7° ve 23° görüş açıları meşçere maskesi, Göknar meşçeresi için de 7° görüş açısı kullanılmıştır. Buna göre yağış ölçerlere ait etkili yaprak alan indeksi hesaplanarak bunların ortalaması alınmış ve meşçerelerin yaprak alan indeksi ortalamasına göre ölçülen intersepsiyon değerleri ve ekolojik, hidrolojik parametreler kalibre edilmiştir.

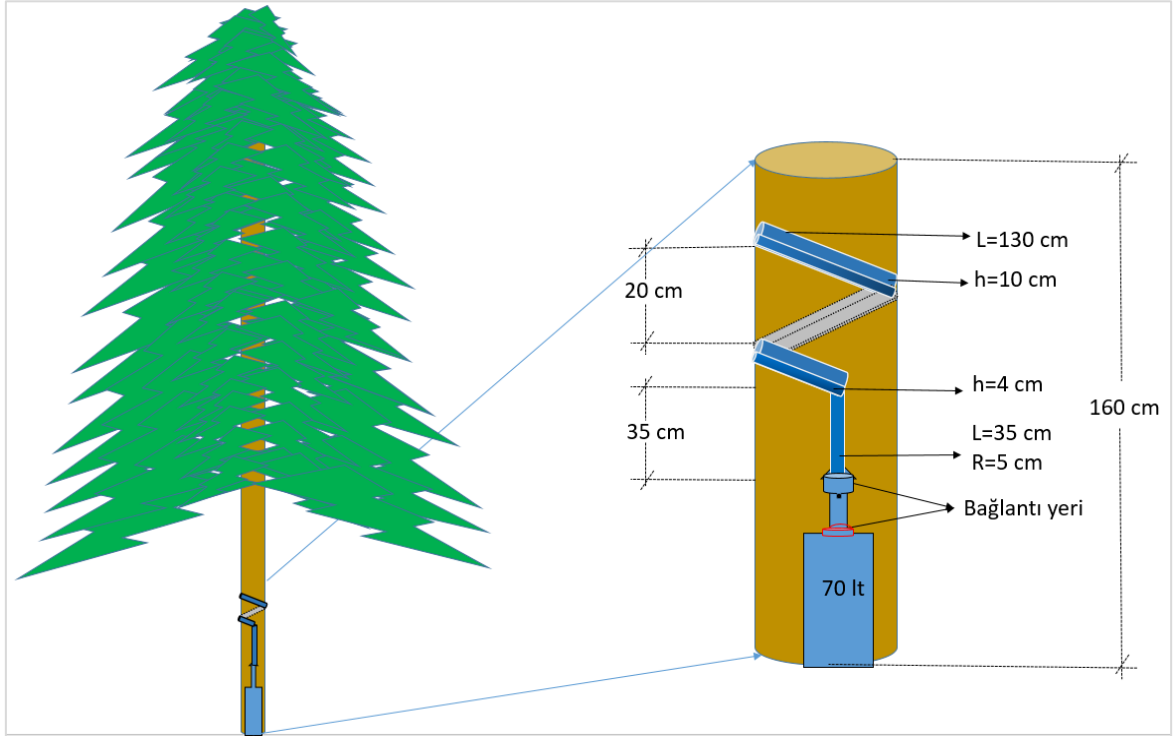


Şekil 41. Çalışmada kullanılan manüel yağış ölçerler

2.5.2. Gövdeden Akış (Yga)

Meşçerelerde gövdeden akışı tespit edebilmek için alüminyum folyo, jelatin ve soğuk silikon kullanılarak orijinal bir düzenek geliştirilmiştir. Çalışmamızda üzeri ince polietilen kaplı 90 cm uzunluğunda alüminyum folyo helozon şeklinde (15 cm eninde) Ladin ve Göknaar türlerinin gövdesine yaklaşık 35°- 40°'lik açılarla silikon yardımı ile monte edilmiştir. Bu aparatın ucu körüklü bir hortum vasıtasıyla dikey dikdörtgen şeklindeki polietilen kaba monte edilmiş ve su toplamak için hazır hale getirilmiştir (Şekil 42,43). Bu düzenekler Ladin ve Göknaar deneme alanlarında, farklı çap sınıflarında yer alan ve meşçereyi temsil eden 6 adet bireye monte edilmiştir. Bunlar her bir meşçerede a,b,c,d,e,f şeklinde numaralandırılmıştır. Rutin olarak alınacak ölçümler de buna göre planlanmıştır.

Gövdeden akış değerlerinin hesaplanması için kavramsal çerçeve: 1m²'deki gövdeden akış değeri şu şekilde hesaplanmıştır. Deneme alanındaki ağaç sayısı deneme alan büyüklüğüne bölünür ve m²'ye düşen ağaç sayısı bulunur. Bu değer Ladinde (32 adet birey) 0.08 ve Göknaarda (58 adet birey) 0,145 olarak belirlenmiştir. Bu katsayı, Ladin ve Göknaarda 6 ağacın gövdeden akış değerinin ortalaması ile çarpılarak m²'deki gövdeden akış değerine ulaşılmış olur.



Şekil 42. Geliştirilen gövdeden akış düzeneği



Şekil 43. Gövdeden akışı tespit etmek için kullanılan düzenekler

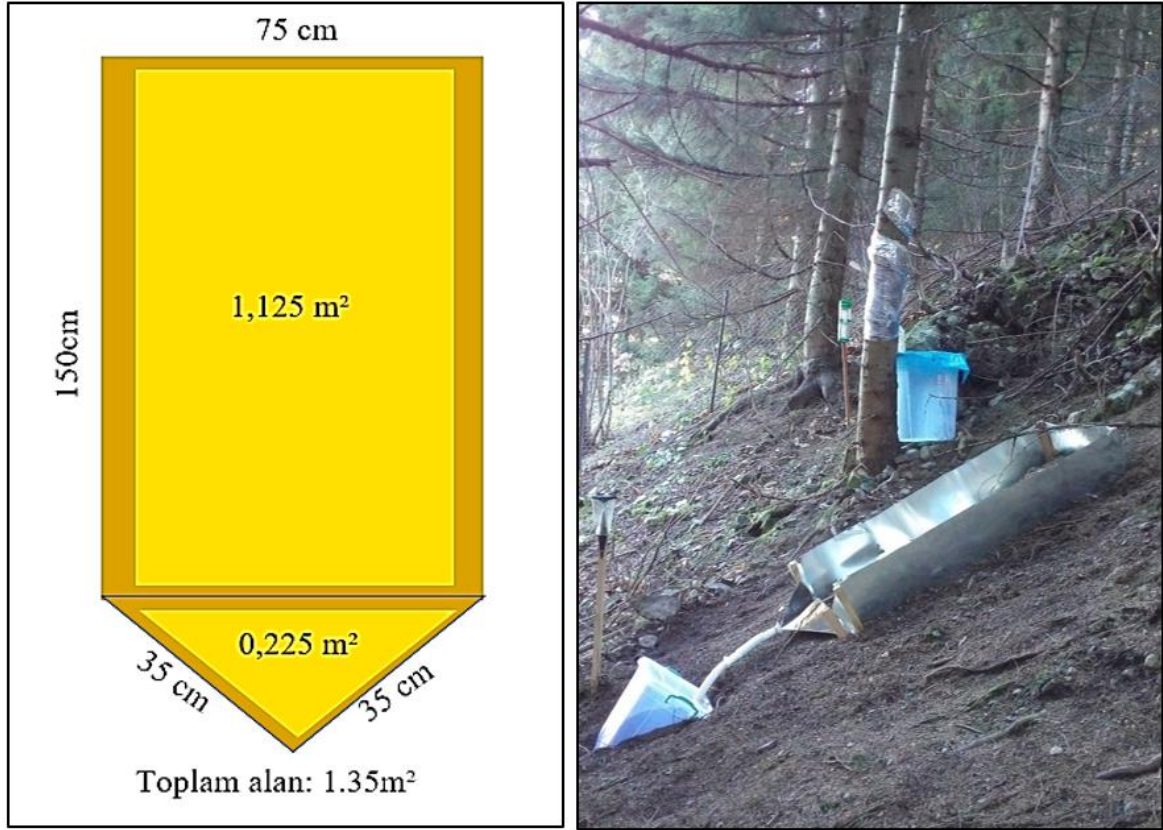
2.5.3. Meşçere Çatısı İntersepsiyonu (İm)

Meşçere çatısı intersepsiyonu, $\text{İm} = \text{Yt}_0 - (\text{Yma} + \text{Yga})$ denklemi kullanılarak tahmin edilmiştir; Burada Yt_0 açık Alana düşen yağış miktarını, Yma meşçere altı yağışı, Yga ise gövdeden akışı göstermektedir (Helvey ve Patric, 1965). Yt_0 , Yma ve Yga 'nin direkt olarak ölçülmesi, İm 'yi tahmin etmede makul veriler sunar; ancak meşçere karakteristiği, mevsimsel değişim ile meteorolojik koşullarla ortaya çıkan değişkenlikleri hesaba katmazlar ve bu etkilerin dinamik veya senaryo temelli modellerle değerlendirilmesi geniş bilgi ağı sunar.

2.5.4. Yüzeysel Akış (Yya)

Ekosistemlerde yüzeysel akış ve erozyon miktarını tespit etmek için birçok yöntem geliştirilmiştir. Çalışmamızda da 30 cm yüksekliğinde 0,2 mm kalınlığında krom malzeme kullanılmıştır. Bu materyal 75 cm eninde ve 150 cm uzunluğunda kesilerek eğim yönünde yüzeysel akış düzeneği haline getirilmiş ve ucuna 5 cm çapında bir hortum yardımı ile 40 lt lik bir kaba sabit olarak bağlanmıştır (Şekil 44). Kapak düzeneğine hortum silikon yardımı ile su sızdırmayacak şekilde monte edilmiştir. Burada amaç sadece su hasat etmek olduğu

için, düzeneğin boğaz kısmı dar bırakılmış ve sediment verimi minimuma inmiştir. Bu düzenekten her bir deneme alanına aynı şekilde 2'şer adet yerleştirilmiştir.



Şekil 44. Çalışmada kullanılan yüzeysel akış düzeneği

2.5.5. Orman Örtüsü İntersepsiyonu (İö)

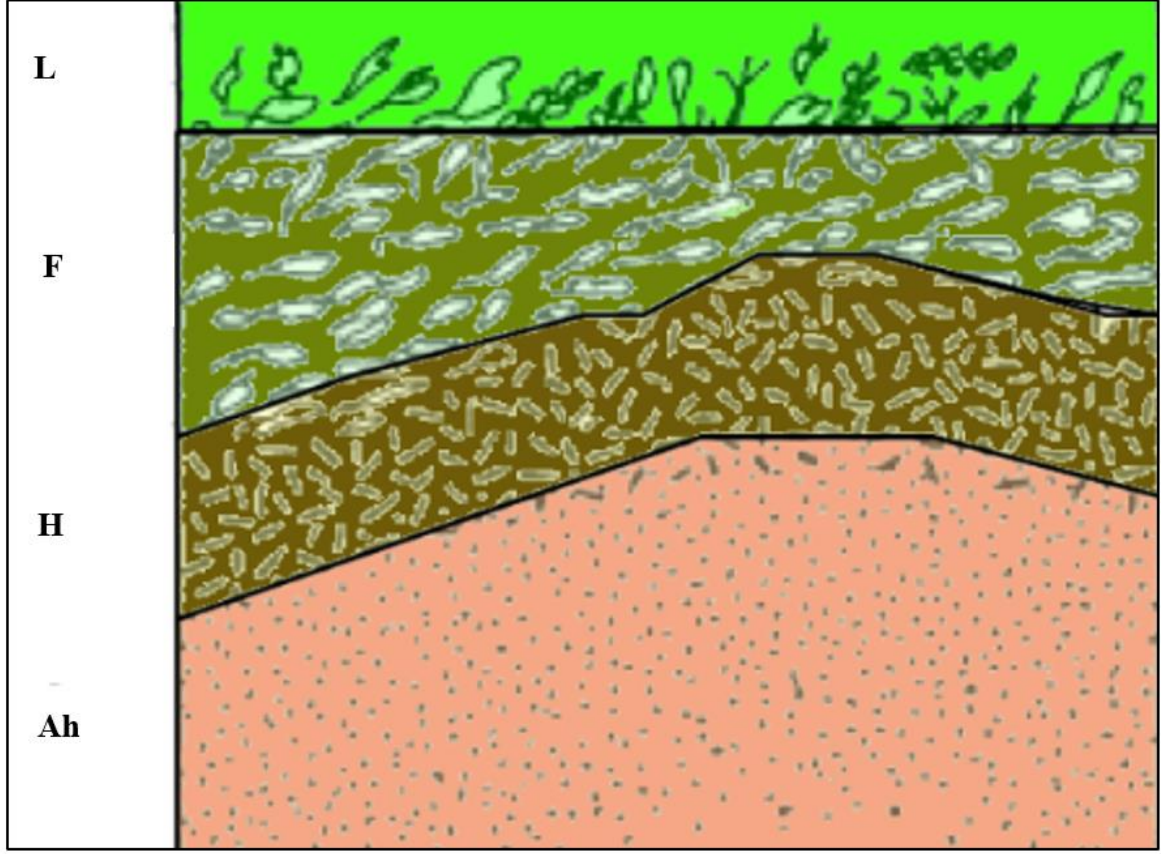
Meşçere altı yağış ve gövdeden akış, direkt olarak orman örtüsüne gelmektedir. Orman örtüsünde bunun bir kısmı tutulur, bir kısmı da süzülerek toprağın içine geçer. Eğer meşçere altı yağış, gövdeden akış biliniyorsa ve filtre edilen su toplanıp, meşçere altı yağıştan çıkarılırsa orman örtüsünden olan buharlaşma bulunabilir. Bunun miktarı yağış, buharlaşma, ağaç türü, meşçere karakteristiği, ölü örtü miktarı ve ölçüm yöntemine bağlı olarak değişmektedir. Orman örtüsü intersepsiyonu genel olarak gelen brüt yağışın %2 ile %12'sini oluşturmaktadır (Kiss vd.,2014). Bir orman ekosisteminde orman örtüsü intersepsiyonu ölçümü ile ilgili birçok yöntem ve metot geliştirilmiştir (Gerrits vd., 2007; Putuhena ve Cordery, 1996; Zhang ve Li 2016).

Orman Ölü örtüsünün nem içeriğine bağlı olarak ölçümlerde (Hua Jiang vd., 2019) sadece ölü örtünün nem tutuma derecesi ölçülmektedir. Oysaki mineral toprak ile ölü örtüsü arasında yer alan humus formunda ve orman örtüsündeki canlı bitki örtüsünden de meşçere-altı yağışla gelen suyun bir kısmı intersepsiyona uğramaktadır. Bu nedenle çalışmamızda orman örtüsü (Otsu diri örtü+ölü örtü+Ah horizonu) intersepsiyonunun kümülatif değerini veren filtrasyon metodu kullanılmıştır. Burada kavramsal çerçeve basit olarak orman yüzey örtüsüne gelen suyun bir kısmının toprak yüzeyinden yüzeysel akışa geçeceği, bir kısmının da toprak içinde doygunluk seviyesinde tutulacağı, bir kısmının aşağı doğru süzüleceği ve kalan kısmının da orman örtüsünde (diri+ölü) tutularak İntersepsiyona uğrayacağıdır.

Çoğu literatürde “ölü örtü tabakası” olarak Türkçeye çevrilen “litter layer”, bu çalışmada “orman yüzey örtüsü” olarak anılmıştır. Çünkü bu tabaka sadece organik maddelerden teşekkül olmamakta, aynı zamanda meşçere altında tek yıllık bitki türleri ile Ah horizonunda yer alan inorganik toprak partiküllerini de içermektedir. İntersepsiyon hesaplamalarında ise bu terim “orman örtüsü intersepsiyonu” toplam orman intersepsiyonunun bir bileşeni olarak kullanılmıştır. Bununla birlikte yapılan lisansüstü bir çalışmada (Bulcock, 2011), orman örtüsü intersepsiyonunun (forest floor interception) ölü örtü intersepsiyonundan daha fonksiyonel bir etkiye sahip olabileceği ifade edilmiştir.

Bir havzada, infiltrasyon ve yüzeysel akış parametreleri orman örtüsü özelliklerinden önemli derecede etkilenmektedir. Orman örtüsü, çoğu orman ekosisteminde yaprak, dal, kabuk ve gövde parçacıkları gibi organik atıkların birikmesinden meydana gelmiştir (Park vd., 1998). Hoover ve Lunt (1952) bu orman örtüsünü, 4 tabakaya ayırmıştır (Şekil 45). L tabakası genelde son yıla ait yaprak, ibre, dal, gövde, kabuk ve tohum kalıntılarını içermektedir.

Sıcaklığın yüksek olduğu bölgelerde organik atıklar kısa sürede ayrışmaya başlar. Bu tabaka büyüme sezonunda minimumda iken vejetasyon periyodu dışında döküntüler maksimuma ulaşır. F tabakası çürüntü tabakasını oluşturmakta ve organik döküntülerin orijini ayırt edilebilmektedir. H tabakası ise tüm organik atıklar ayrışarak kolloidal boyuttaki maddeyi oluşturur. Ah tabakası ise organik kolloidlerin mineral üst toprağa geçtiği ve buradan aşağı doğru nüfuz ettiği tabakadır. Orman örtüsü tabakası kümülatif olarak maksimum su tutuma kapasitesinin teşekkül olduğu bölgedir.

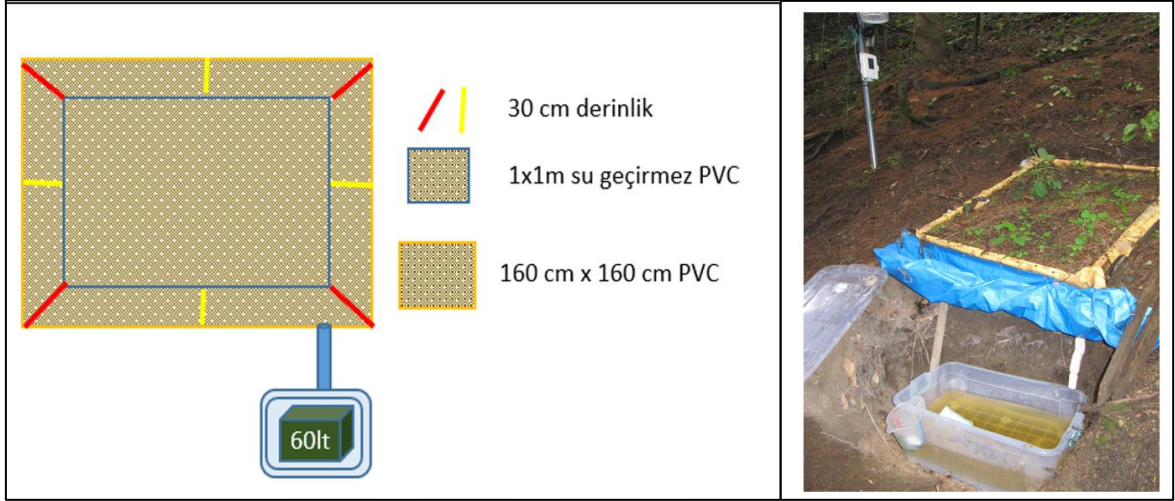


Şekil 45. Hoover ve Lunt'a (1952) göre orman örtüsü tabakası

Bu çalışmada, orman örtüsü intersepsiyonunun belirlenmesinde, Gerrits vd.'nin (2007) arazide kullanmış olduğu sisteme kısmen benzer bir düzenek kurulmuştur. Fakat kuramsal çerçeve olarak orman örtüsünün gelen yağışın bir kısmını bünyesinde tutup, bir kısmını da drene ettiği (Naeth vd., 1991) kuramına göre hesaplamalar yapılmış ve böylelikle kısmen yeni bir metot geliştirilmiştir. Bunun için her iki meşçere altında meşçereyi temsil eden noktada 1x1 metrelik 30 cm derinliğinde toprak 4 eşit parçaya ayrılarak ortamdaki topraktan çıkarıldı ve buraya su geçirmez 60 mikron kalınlığında PVC materyal serildi. Çıkarılan toprak materyalleri bozulmadan tekrar yerleştirildi ve eğim yönünde buradan sızan suyun toplanması amaçlandı. Sistemin ucuna körüklü bir hortum bağlanmış ve 60lt' lik bir yatay dikdörtgen bir kaba suyun toplanması amaçlanmıştır. Bununla birlikte, düzeneğin kap yerleştirilen su toplama kısmı bir branda yardımıyla örtülmüştür. Bu şekilde dışarıdan gelen yağmur suyunun çukurda birikmesinin önüne geçilmiştir (Şekil 46). Düzenekte 30 cm toprak derinliğindeki tutulan su da iklim istasyonundaki toprak nem ölçerden alınan verilerle hesaplanarak formülde kullanılmıştır. Deneme alanlarında eğimin yüksek olması kurulacak düzeneğin verimli çalışmasında avantaj sağlamıştır.

$$\ddot{o} = Y_{ma} - (Y_{ya} + Y_{filitre} + Y_{tn}) \quad (22)$$

\ddot{o} (mm): Orman örtüsü intersepsiyonu, Y_{ma} : Meşçere altı yağış (mm), Y_{ya} : % Yüzeysel akış etkisi, $Y_{filitre}$: Orman örtüsünden sızan su (düzenekten toplanan su miktarı mm-Şekil 47) Y_{tn} : Toprak nemi (1 m² alanda, 30 cm toprak derinliğinde tutulan su miktarı, mm).



Şekil 46. Orman örtüsü intersepsiyonunu tespit etmek için kullanılan düzenek planı



Şekil 47. Hazır hale gelmiş orman örtüsü intersepsiyonunu düzeneği

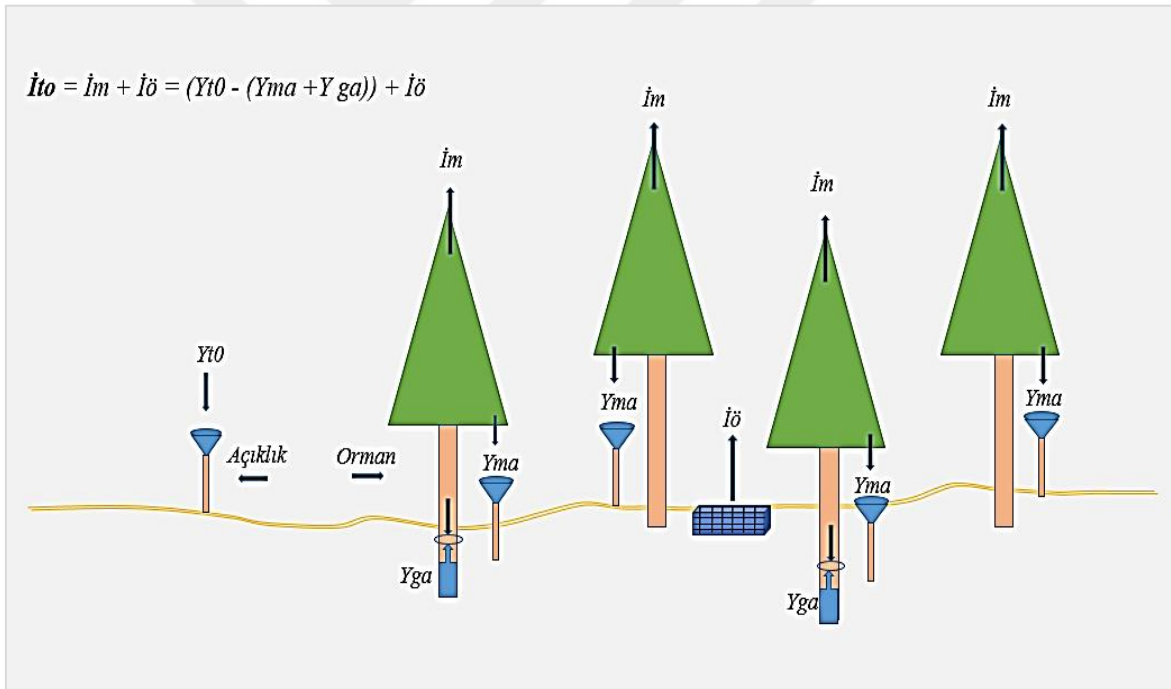
2.5.6. Toplam Orman Intersepsiyonu (İto)

Orman ekosistemlerinde toplam intersepsiyon oranı arazide kurulan aparat ve sistemler yardımıyla gravimetrik olarak direkt olarak ölçülebildiği gibi dolaylı olarak birçok arazi çalışmalarından elde edilmiş ampirik formüller yardımı ile de tahmin edilebilmektedir. Orman ekosistemlerinde; intersepsiyon bileşenleri otomatik veri kaydedici yağış toplayıcılar vasıtasıyla ölçülebilir iken (Gerrits vd., 2006) alana yerleştirilen kaplardan da manüel olarak ölçülebilmektedir (Nadkarni ve Sumera, 2004). Bununla birlikte uzaktan algılama yöntemlerini de kullanan çalışmalar da yapılmıştır (Cui ve Cia, 2014). İntersepsiyonun su bütçesindeki önemi nedeniyle, herhangi bir durumda en uygun modelleri anlamak önemlidir. Basit ampirik modeller (Ponce ve Hawkins, 1996), olasılık modelleri (Calder, 1977), fiziksel ya da mekanistik modelleri (Gash, 1979; Rutter vd., 1972) de içeren birçok orman intersepsiyon modelleri mevcuttur. Fiziksel modeller, sistemin süreçleri ve iç işleyişleri hakkında sorgulama yapılmasına izin verdiği için sıklıkla kullanılmaktadır (Linhoss ve Siegert, 2016).

Enlem ve sıcaklık, yağış, evaporasyon gibi iklim özellikleri ile uzaktan algılama yöntemleri kullanılarak intersepsiyon tahmin modelleri de geliştirilmiştir (Wallace vd., 2013). Bunun yanı sıra laboratuvar ortamında, çeşitli çevre koşulları altında da intersepsiyon modelleri geliştirilmiştir (Calder, 1996; Keim vd., 2005; Toba ve Ohta, 2008). Ülkemizde Kocaeli bölgesinde yayılış gösteren, Karaçam, Doğu kayını, Anadolu kestanesi, Monteri çamı ve Sahil çamı meşçerelerinde gövdeden akış, meşçere altı yağış ve brüt yağış gibi intersepsiyon bileşenleri kullanılarak yapay sinir ağları ile intersepsiyon modelleri geliştirilmiştir (Yurtseven ve Zengin, 2013). Çin'de çalışma yapan Wang vd. (2013), Gash'ın (1979) Analitik Modelini kullanarak yalancı akasya meşçeresinde intersepsiyon belirlemişler, ölçülen değerler ile tahmin edilen değerler arasında iyi bir ilişkinin olduğunu rapor etmişlerdir. Mekanistik intersepsiyon modelleri, çoğunlukla meşçere depolama kapasitesine, yağış karakteristiklerine, meşçere geçirgenliği ile buharlaşma olaylarını da içine alan meşçere bileşenlerinin dolaylı ölçümlerine dayandığı belirtilmektedir (Deguchi vd., 2006; Gash, 1979; Rutter vd., 1972; Zeng vd., 2000). Dünya genelinde farklı iklim bölgelerinde intersepsiyon modellemelerinde genel olarak Rutter, Gash ve Gash sparse modelleri kullanılmakta, evaporasyon tahmininde ise sıklıkla Penman-Monteith ve regresyonu ile ampirik regresyon modellerinden yararlanılmaktadır (Muzylo vd., 2009). Linhoss ve Siegert, (2016), 5 farklı mekanistik intersepsiyon modelini kullanarak en önemli

intersepsiyon değişkenlerini tespit etmek için belirsizlik analizi yapmıştır. İntersepsiyon parametreleri olarak; Toplam brüt yağış, yağış süresi, maksimum meşçere çatısı depolama kapasitesi, net radyasyon, aktüel meşçere çatısı depolaması, maksimum sıcaklık, gövde depolama kapasitesi, meşçere altı yağış ve meşçere altı (2m yüksekte) rüzgâr hızı değerlerini kullanmıştır. Analizler sonucunda intersepsiyonu etkileyen en önemli parametrelerin, toplam brüt yağış miktarı, yağış süresi, meşçere çatısı depolaması ile solar radyasyon olduğunu rapor etmişlerdir. Kantitatif olarak, toplam orman intersepsiyonu ($\dot{I}to$), meşçere çatısı intersepsiyonu ($\dot{I}m$) ve orman örtüsü ($\dot{I}ö$) intersepsiyonunun toplamıdır. Temel olarak, toplam brüt yağış ($Yt0$), meşçere altı yağış (Yma), gövdeden akış (Yga) ve orman örtüsü intersepsiyonu parametreleri kullanılarak doğrudan hesaplanmıştır (Chang, 2003) (Şekil 48).

$$\dot{I}to = \dot{I}m + \dot{I}ö = (Yt0 - (Yma + Yga)) + \dot{I}ö \quad (23)$$

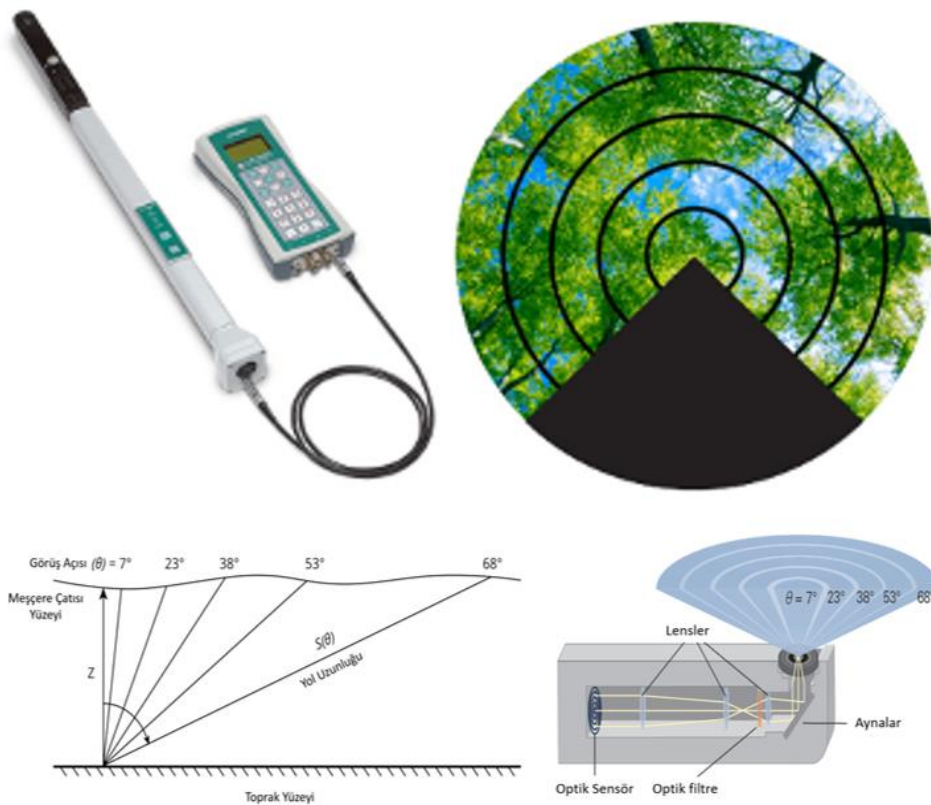


Şekil 48. Orman intersepsiyonun hesap değişkenleri; meşçere çatısı intersepsiyonu ($\dot{I}m$), Orman örtüsü intersepsiyonu ($\dot{I}ö$), meşçere altı yağış (Yma), gövdeden akış (Yga), brüt yağış ($Yt0$) ve Toplam orman intersepsiyonu ($\dot{I}to$).

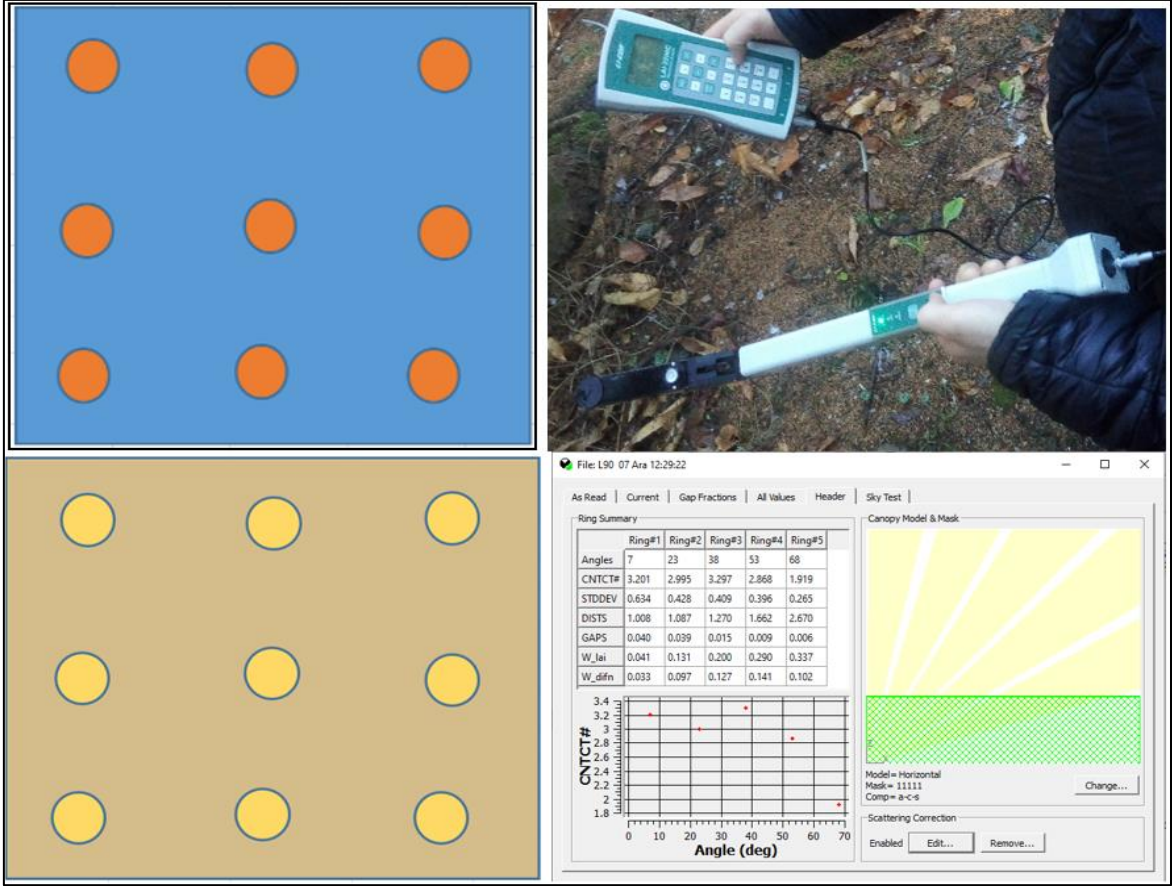
2.5.7. Yaprak Alan İndeksi (YAI)

YAI, toplam orman intersepsiyonunu önemli derecede etkilemektedir. Bitki örtüsünün yaprak alanının o meşçere zeminine oranı (m^2/m^2) olarak gösterilmektedir. İbrelili türlerde ise

birim alandaki toplam ibre alanı oranını (m^2/m^2) ifade etmektedir ve bitkisel ekosistemlerde, YAI ölçümlerinde direkt ve dolaylı birçok yöntem kullanılmaktadır (Eschenbach ve Kappen, 1996). Ancak yaygın olarak yaprak alanına ve bitkiye zarar vermeyen dolaylı yöntemler kullanılmaktadır. En yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biri görüntü işleme programıyla entegre çalışılan balık gözü kamerası yöntemidir (Kara vd., 2011; Walter ve Torquebiau, 2000; Macfarlane vd., 2007). Bunun yanı sıra, bununla ilgili profesyonel cihazlar da geliştirilmiştir (Şekil 49). Bu cihazlar, orman ekosistemlerinde sıklıkla kullanılmaktadır (Dohnal, 2014; Gower vd., 1999; Kobayashi vd., 2013). Çalışmamızda Licor 2200C *Plant Canopy Analyser* cihazı kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan ladin ve Gökmar orman ağacı türleri, herdem yeşil türlerdendir. Ölçüm zamanı vejetasyon periyodunun bitiş zamanından hemen sonra Aralık ayının ilk haftasında ölçülmüştür (Şekil 50). Ladin ve Gökmar deneme alanlarında meşçere kapalılığını tespit etmek için 9'ar adet ölçüm alınmıştır. Bu 9 ölçümün ortalaması FV2200 licor programı ile LAI index olarak hesaplanmıştır. YAI ölçer cihaz ile 90 derecelik başlık kullanılmış ve indeks değeri hesaplanırken 7, 23,38,53,68 dereceyi de içine alan meşçere modeli filtre edilmiştir (Şekil 51) Ayrıca herbir düzenekten, Yağmur toplayıcılar, gövdeden akış düzenekleri, orman örtüsü intersepsiyon düzenekleri, yüzeysel akış düzenekleri ve ölü örtü tuzaklarının YAI değerleri de ölçülmüştür.



Şekil 49. YAI Cihazının (LICOR 2200C) genel yapısı ve çalışma prensibi

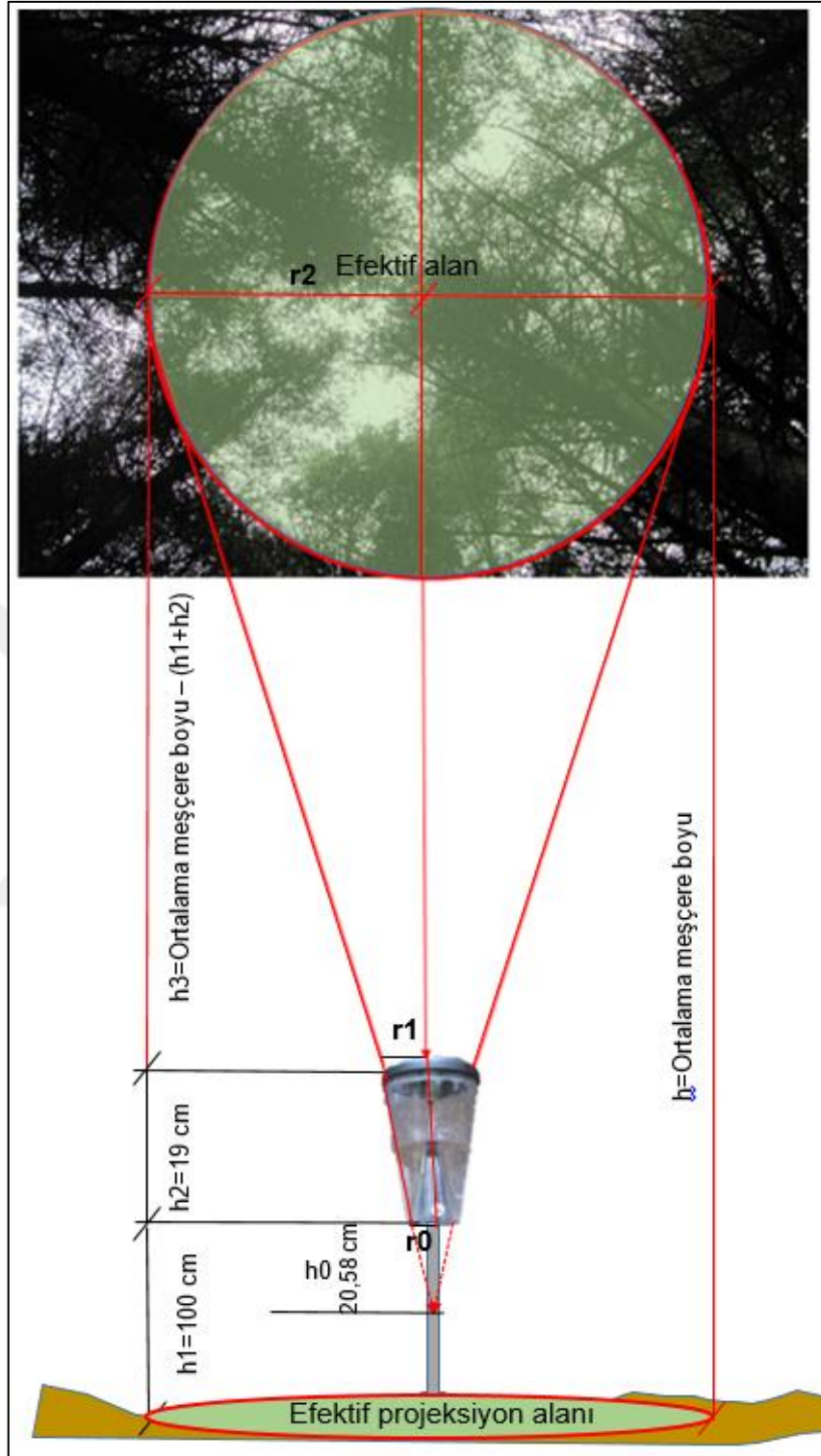


Şekil 50. Ladin ve Göknar deneme alanlarında homojen dağıtılmış 9 noktadan YAİ ölçümü

Tüm bunların yanı sıra meşçere altındaki yağış ölçerlerden, gövdeden akış aparatları, yüzeyel akış ve orman örtüsü intersepsiyon düzeneklerinden YAİ ölçülmüştür. Ölçülen intersepsiyon bileşenleri meşçerede ölçülen ortalama YAİ' ye göre kalibre edilip yeniden hesaplanmıştır (Şekil 52).



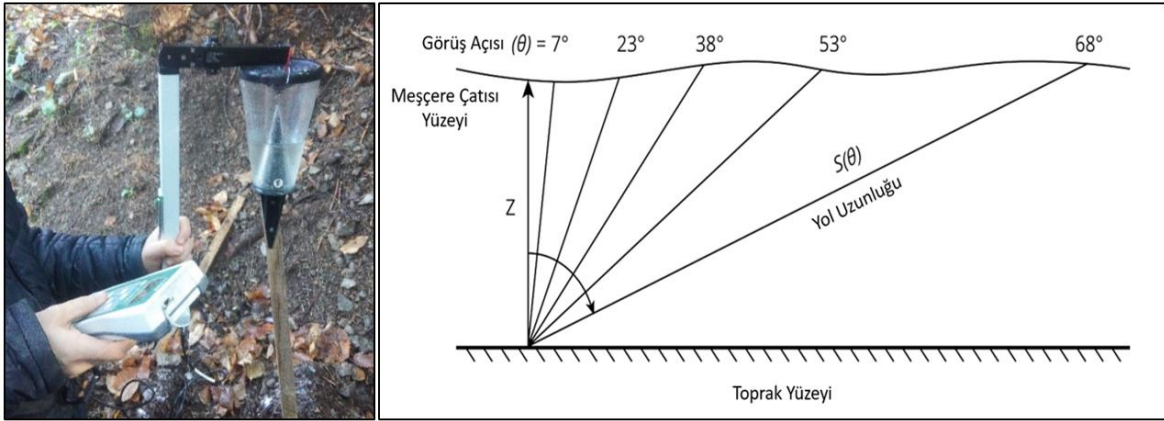
Şekil 51. Düzeneklerin merkezinden YAİ ölçümleri



Şekil 52. Meşçere altı yağış ölçerlerde efektif alan hesabı

Şekil 52'ye göre yağışölçerler 1 metre yüksekliğinde çıtalara monte edilmiştir ve yağış ölçerin boyu 19 cm, kapak yarı çapı $r=3,25\text{cm}$ 'dir. Buna göre ladin meşçeresinin ortalama boyu 17,39 metre olarak ölçülmüştür. Bu değerler kullanılarak efektif alan yarıçapı $=2,59$

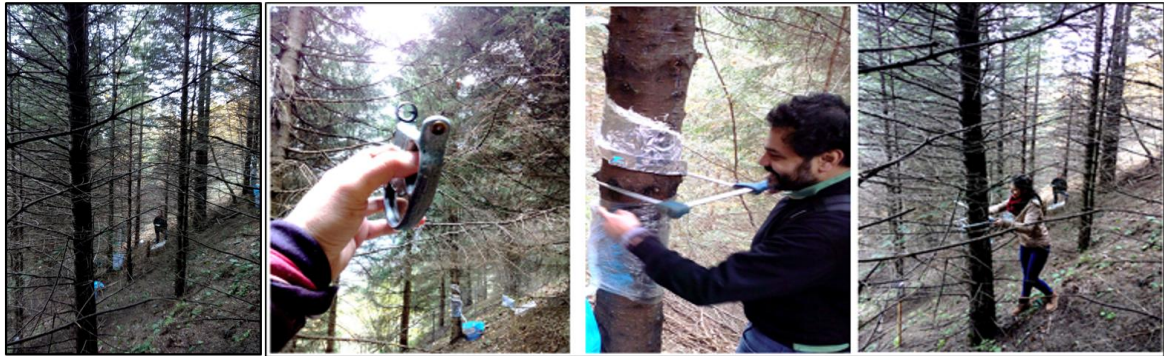
metre olarak ölçülmüştür. Göknar meşçeresinde ortalama meşçere boyu 12,21 metredir. Göknar meşçeresinde ise efektif alanın yarıçapı 1,80 metre olarak hesaplanmıştır. r_0 : Yağış ölçerin alt yarıçapı, r_1 : yağış ölçerin kapak yarıçapı, r_2 : efektif alanın yarı çapı, h : ortalama meşçere boyu, h_0 = yağış ölçerin taban izdüşüm yüksekliği, h_1 : yağış ölçerin monte edildiği çitanın yerden yüksekliği, h_2 : yağış ölçerin yüksekliği Bu hesaplamalara göre; Z =ortalama meşçere boyu – (Çita yük. - yağış ölçerin taban izdüşüm yüksekliği). Bu şekilde ladinde meşçere altı yağış ölçerler için YAİ hesaplamasında 7° açılı, Göknar'da ise 7° açısı kullanılmıştır. Gövdeden akış aparatlarında 7° 23° 38° açılı, yüzeysel akış, orman örtüsü intersepsiyon düzeneği ve istasyonlar için 7° 23° açılı kullanılmıştır (Şekil 53).



Şekil 53. Meşçerelerdeki yağış toplayıcılarda YAİ belirlenmesi

2.6. Meşçerelerde Çap-Boy ölçümü

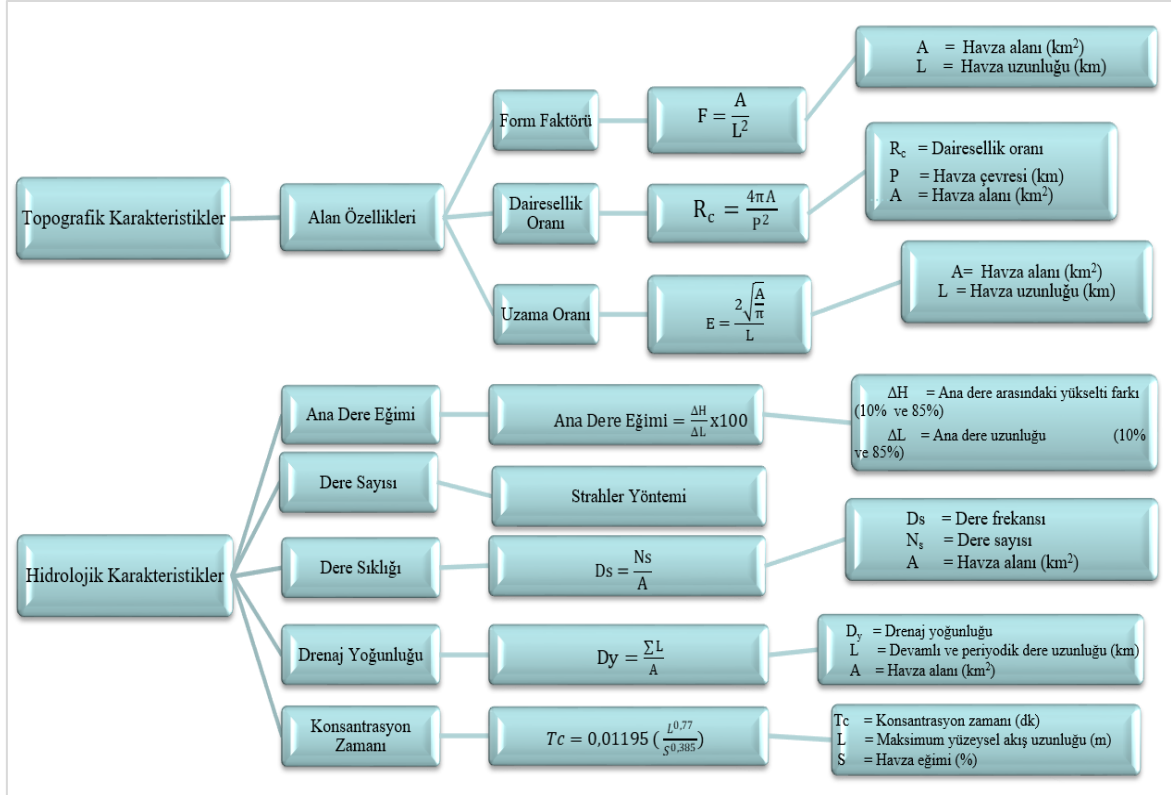
Çalışma alanlarına ait çap ve boy verileri, manuel çap ölçer ile Blume leiss boy ölçer aletleri yardımıyla elde edilmiştir (Şekil 54).



Şekil 54. Meşçerelerde çap-boy parametrelerinin tespiti

2.7. Mikro Havzanın Hidro-Morfolojik Karakteristiklerinin Belirlenmesi

Çalışma alanının içinde olduğu mikro-havzanın jeomorfolojik karakteristikleri Özhan (2004)'a göre belirlenmiştir. Bu özelliklere ait detaylı formüller şekil 55'te verilmiştir.



Şekil 55. Havza'nın jeomorfolojik karakteristiklerinin tespitinde kullanılan formüller

2.8. Organik Madde Döküntüsü Toplama Düzenekleri

Ladin deneme alanına 3 adet (1, 2, 3 nolu), göknar deneme alanına da 4 adet (4, 5, 6, 7 nolu) tuzaklar yerleştirilmiştir (Şekil 56). Ölçümler aylık olarak 19 ay boyunca (2018 Eylül-2020 Mart) yapılmıştır. Organik madde döküntüsünün ibrelerin haricinde dal, kozalak ve çiçek içerdiği tespit edilmiştir. Buna göre ladinde ibre harici organik madde 7,6 mm-51 mm arasında olup Göknarda ise 6-80 mm arasındadır. Ölçümler, dal+kozalak ve ibre şeklinde sınıflandırılmış (Şekil 57) bunların toplamı da toplam organik döküntüyü oluşturmuştur. Bu şekilde değerler aylara ve mevsimlere göre sınıflandırılmıştır.



Şekil 56. Meşçerede dökülen organik maddeleri toplamak için geliştirilen tuzaklar



Şekil 57. Organik madde döküntüsünün sınıflandırılması

Ölçüm sonuçları, arazideki tuzak düzeneklerinin yaprak alanına göre tekrar kalibre edilerek sunulmuştur. Çalışma alanlarında tuzaklar yardımıyla toplanan organik döküntüler gravimetrik yöntemle tespit edilmiştir (Şekil 57).

Orman örtüsünü temsilen ibre örnekleri (tüm ayların karışımından elde edilen numune (Şekil 58)) öğütülerek biyojeokimyasal döngüsü açısından önemli olan N, P, K, Ca, Mg ve Na gibi bazı element analizleri yapılmıştır (ICP-OES EPA 200.7).



Şekil 58. İbre örneklerinden elde edilen ve elemental analize hazırlanan numuneler

2.9. Orman Örtüsü Kalınlığının Tespiti

Ladin ve Göknaar meşçerelerinde meşçere altındaki ölü örtü kalınlığını tespit etmek için 400 m²'lik deneme alanlarında 24 adet 98.125 cc' lik silindir (yükseklik: 5cm, çap:5cm) örnekleri ile numuneler alınmıştır (Şekil 59). Ölü örtü kalınlığının tespit edilmesi oluşturulacak farklı kapalıdaki intersepsiyon senaryo modelleri için önem arz etmektedir.



Şekil 59. Ladin ve Göknaar eneme alanlarında orman örtüsü örnekleme

Ölçülen değerler kullanılarak ölü örtü kalınlığını tespit etmek için öncelikle ölü örtünün (ibre) birim hacimde ne kadar kütleye sahip olduğunun hesaplanması gerekir ki bu da hacim ağırlığı terimi ile açıklanmaktadır. Bunun için Ladin ve göknar meşçeresinde ölü örtü tuzakları (Şekil 60) ile aylık olarak toplanan örneklerin fırın kurusu ağırlıkları üzerinden $98,125 \text{ cm}^3$ 'lük hacme sahip silindirler kullanılarak 10 tekrarlı ölçümler ile hacim ağırlıkları tespit edilmiştir.



Şekil 60. Araziden alınan silindir örneklerinde ölü örtü kalınlığının tespiti

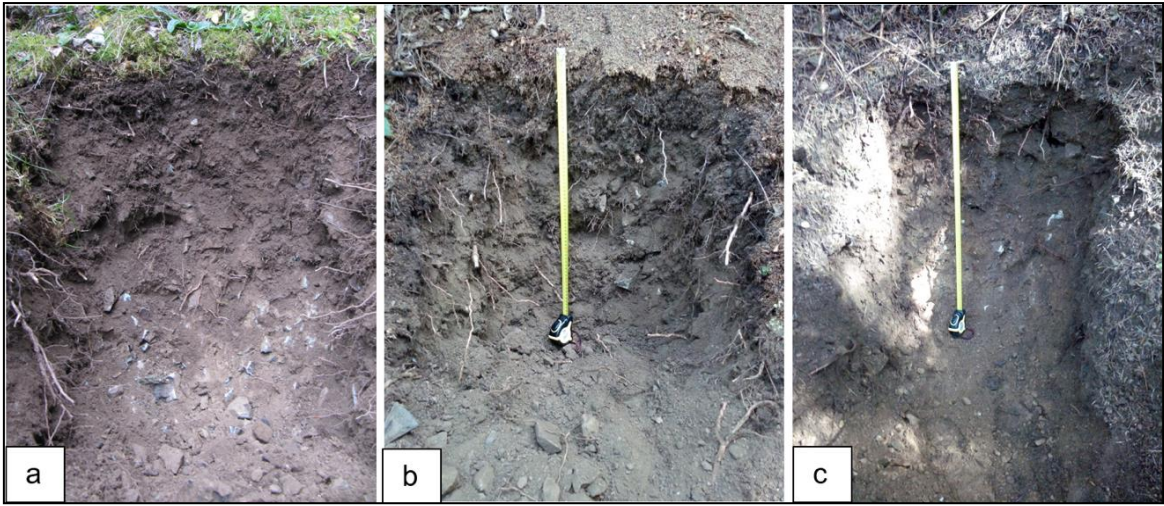
Ladin ve Göknar deneme alanlarında orman örtüsü (ibre) kalınlığı (Kib) şu şekilde hesaplanmıştır: Örnekleme silindirinin hacmi (cm^3) x İbre hacim ağırlığı (gr/cm^3) = Hc
24 adet silindir örneklemedeki ibre ağırlığı (gr/cm^3): Hi

$$\text{Kib} = \text{Hi}/\text{Hc} \quad (24)$$

2.10. Toprak Özellikleri

Açık alan ile Göknar ve Ladin meşçerelerinde farklı derinlik kademelerinden (0-10, 10-30, 30-60, 60-90) bozulmuş ve bozulmamış örnekler alınmış (Şekil 61) ve toprağın bazı önemli özellikleri belirlenmiştir. Alınan toprak örnekleri hava kurusu hale getirilmiş ve 2 mm'lik elekten geçirilmiş ve analiz edilmiştir. Toprağın %kum, kil ve toz içeriğini oluşturan

tekstürü Bouyoucos hidrometre yöntemine göre (Bouyoucos, 1962), toprak pH'si dijital pH metre kullanılarak (Hach Company, USA), organik madde içeriği de ıslak yakma yöntemine göre (Allison, 1965) belirlenmiştir. Toprağın permeabilitesi (cm/hr), tarla kapasitesi (%), solma noktası (%), faydalanabilir su tutma kapasitesi (%), maksimum su tutma kapasitesi (%) gibi diğer hidro-fiziksel özellikler de Saxton'un hidrolik özellik hesaplayıcısına göre, bu çalışma kapsamında desteklenen TÜBİTAK projesindeki veriler yüzeysel taşlılığa göre (Ladin için %57, göknar için %58) yeniden revize edilerek (Saxton vd., 1986) belirlenmiştir. Bununla birlikte üst toprağın (0-30cm) makro element içeriği olarak N, P, K, Ca, Mg Na olarak (ICP-EOS, EPA 200.7) belirlenmiştir.



Şekil 61. Çalışma alanında açılan toprak kesitleri (a: Açık alan, b: Ladin, c: Gökmar)

2.11. Su Analizinde Kullanılan Yöntem ve Cihazlar

Orman ekosistemindeki intersepsiyon bileşenlerinin ekolojik etkisini belirlemek için dış alana düşen brüt yağış ile ladin ve göknar meşçerelerindeki meşçere altı yağış, gövdeden akış, yüzeysel akış ve orman örtüsü intersepsiyon düzeneğinden rutin olarak aylık 500 ml'lik saf su ile temizlenmiş polietilen kaplar kullanılarak su numuneleri alınmıştır. Laboratuvara getirilen örnekler filtreden geçirilerek analizleri yapıldıktan sonra +4°C'de muhafaza edilmiştir.

Açık alandan 1 adet, ladin ve göknar meşçerelerinde, meşçere altından 3'er adet (L₆, L₉, L₁₂ / G₂, G₈, G₁₀), gövdeden akıştan 3'er adet (L_a, L_e, L_d, G_a, G_d, G_f), Yüzeysel akıştan 1'er adet (L_{ya1}/G_{ya1}), orman örtüsü düzeneğinden 1'er adet (L_{li}, G_{li}) su örnekleri alınmıştır.

Aylık olarak toplanan tüm örneklerde pH, EC, TDS, Tuzluluk ölçümleri yapılmış, bunların ortalaması alınmıştır. Kimyasal analiz kapsamında, Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+ , Cl^- , Fe^{+3} , NH_4^+ , NO_3^- , PO_4^{-3} , SO_4^{-2} , iyon içerikleri ile sertlik parametrelerini belirlemek için de her bir düzeneği temsil eden 1'er adet örnekte aylık olarak analizler yapılmıştır (Açık alan, L₆, L_e, L_{ya1}, L_{li}, G₈, G_d, G_{ya1}, G_{li}). Ölçülen parametreler toplam çözünmüş madde parametresini oluşturan TDS'ye göre modellenmiştir. Bu şekilde çalışılan ekosisteme benzer alanlarda sadece TDS değeri ölçülerek, orman ekosistemlerindeki suyun elemental içeriği kolayca tahmin edilebilir. Sularda pH değeri Hach marka pH metre cihazı kullanılarak belirlenmiş, EC ve TDS değerleri ise adwa-AD31 marka elektronik cihaz kullanılarak tespit edilmiştir (Şekil 62). Tuzluluk değerleri YSI Professional Plus cihazı ile ölçülmüştür. Işık geçirgenliği Benetech GM1010 ışık ölçer aleti ile ölçülmüştür.

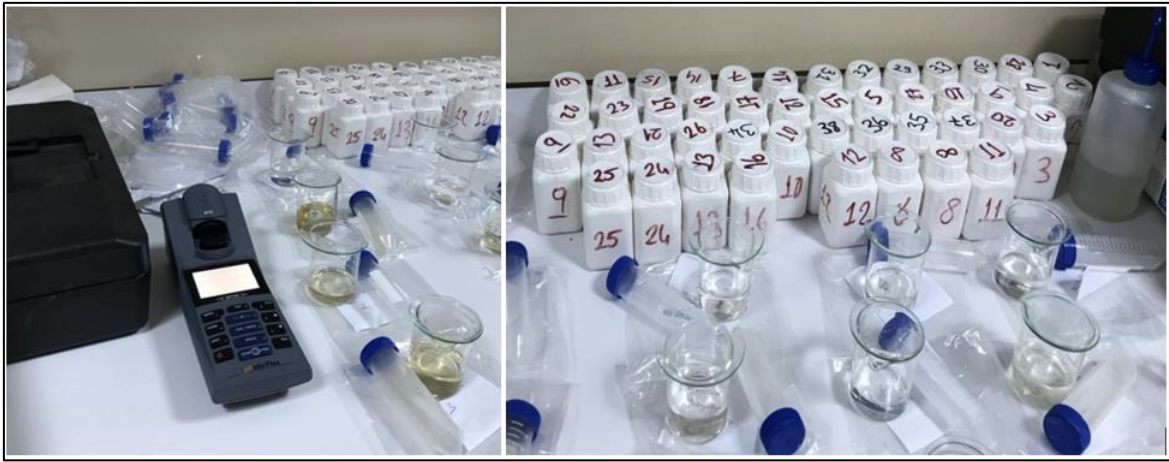


Şekil 62. Çalışma alanından toplanan sularda pH, EC ve TDS tayini

Toplam sertlik (CaCO_3) EDTA ile Titrimetrik (SM 2340C/ SM, 2011; 2340 C) yönteme göre belirlenmiştir. NO_3^- , Otomatik Kadmiyum İndirgeme CFA (Sürekli Akış Analizörü/SM, 4500- NO_3^- F./Modifiye) yöntemine göre, PO_4^{-3} Otomatik Molibdat CFA

(Sürekli Akış Analizörü /SM, 4500 P F./Modifiye) yöntemi ile, NH_4^+ , Otomatik Salisilat Yöntemi CFA (Sürekli Akış Analizörü/ SM, 4500- NH_3 G./Modifiye) yöntemine göre *SEAL* AA3 HR Kimyasal Otoanalizör cihazında belirlenmiştir. SO_4^{2-} türbidimetrik (metot 8051) yönteme göre, Cl^- , spektrometrik metot (TS 6229 EN ISO) ile DR2000 Spektrofotometre cihazı ile belirlenmiştir. Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ besin elementleri de plazma-kütle spektrometresi (ICP-MS) ile tayin edilmiştir

Elemental analiz kapsamında numunelerdeki Fe^{+3} içeriği spektrofotometre yöntemine göre portablecolorimeterpHotoFlex®STD cihazı ile tespit edilmiştir (Şekil 63).



Şekil 63. Numunelerde Spektrofotometre cihazı ile Fe^{+3} tayini

2.12. Ölçülen Parametrelerinin İstatistiksel Değerlendirmesi

Bu çalışmada, farklı meşcere koşullarında, zamana bağlı olarak ölçülen parametrelerin nasıl değişkenlik gösterdiği, ölçülen değişkenler arasında ilişki olup olmadığını tespit etmek ve uygun regresyon modelleri geliştirmek amaçlanmıştır. Geliştirilen modellerin standart hatası ve R^2 'leri hesaplanmıştır. Bahsedilen işlemler KTÜ Orman Fakültesi envanterinde bulunan Microsoft Excel ve IBM SPSS Statistics 20.0 programları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Oluşturulan modeller, Doğu Karadeniz Bölgesinde, ilgili türler bazında kullanılabilir.

İstatistik analizler değerlendirilmeden önce elde edilen verilerin parametrik ve non-parametrik yöntemlerin uygulanmasını anlamak için verilerin normal dağılım gösterip göstermediği Normalite kontrolü testi ile yapılmıştır. Veri setlerinin 50'den büyük olduğu durumlarda "kolmogorov- smirnov" testi, 50'den küçük olduğu durumlarda ise "Shapiro –

Wilks” testi ve varyansların homejenliği de “Levene’s testi” ile gerçekleştirilmiştir. İntersepsiyon bileşenleri arasında su kalite parametreleri ve İntersepsiyon değerleri karşılaştırılmıştır. Ölçülen parametreler arasında regresyon denklemleri oluşturulmuş, parametrelerin dinamiğine uygun olan R^2 'si yüksek modeller seçilmiştir. ilişki ararken %95 ve %99 güven düzeyinde verilerin normal dağılım süreçlerine bağlı olarak Pearson ve Sperman’s korelasyon analizi kullanılmıştır. Ortalamalar karşılaştırılırken ANOVA ve T test, kullanılmıştır.

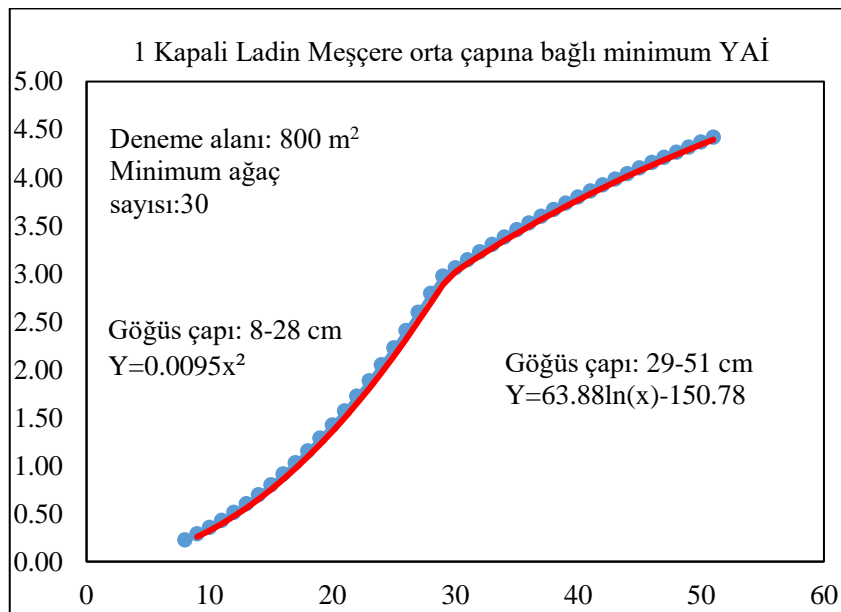
2.13. Ekolojik ve Hidrolojik Parametrelerin Amenajman Planlarında Kullanımı

Orman ekosistemleri yönetim planlarında meşçere kapalılığı genel olarak 3 farklı kategoride değerlendirilmektedir. Bunlar; 1 kapalı: %11-40, 2 kapalı: %41-70, 3 kapalı: >%71 şeklinde teşekkül olmaktadır. Her ne kadar genel çalışmalarda kapalılık sınıflandırılması bu şekilde olsa da çalışmamızda olduğu gibi mikro ölçekli araştırmalarda her bir düzeneğin (yağış ölçer, gövdeden akış vb) gerçek yaprak yüzey indeksi tespit edilerek elde edilen kantitatif veriler buna göre tekrar hesaplanarak kalibre edilmesi, sonuçların yorumlanmasını daha sağlıklı kılacaktır. Bu yüzden çalışmamızda yer alan düzeneklerin yaprak alan indeksleri tespit edilerek intersepsiyon bileşenleri buna göre yeniden hesaplanmıştır. Bu şekilde “Ekosistem Tabanlı Orman Amenajman Planlarına” ormanların hidrolojik fonksiyonlarını içeren intersepsiyon oranlarının meşçere tipi (Ld_3 gibi) düzeyinde sağlıklı bir şekilde entegre edilebilir.

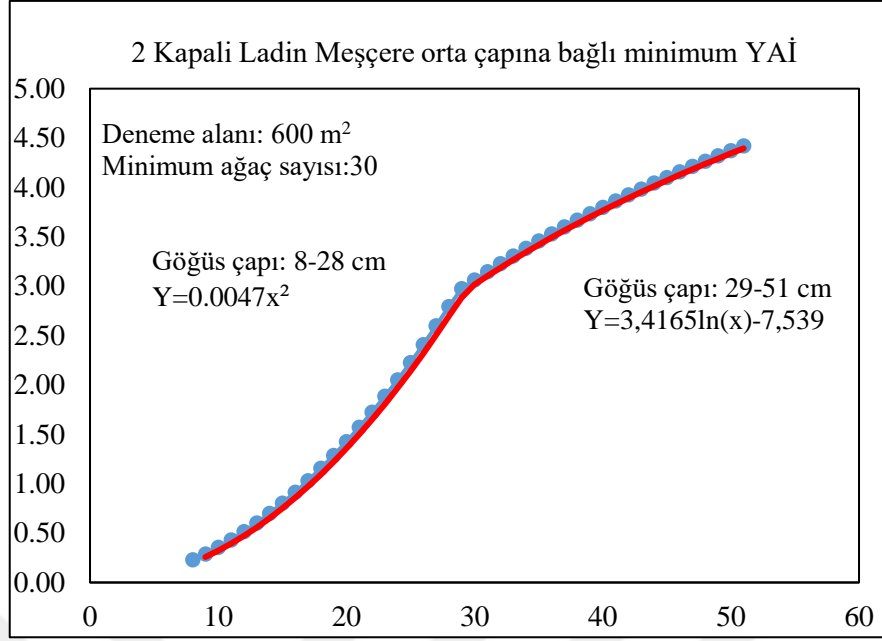
Bu çalışmada elde edilen veriler kullanılarak Ekosistem Tabanlı Orman Amenajman Planlarına entegrasyonu aşamasında kapalılığa ve gelişim çağlarına göre senaryolarla birlikte Microsoft Office Excel tabanlı model geliştirilmiştir. Bu senaryolarla birlikte kapalılığa göre deneme alanları belirlenerek gelişim çağlarını da kullanarak kümülatif intersepsiyon değerlerini hesaplamak mümkün olacaktır. Bu model saf meşçerelerde ya da birim alanda en az 30 adet asli türün olduğu karışık meşçerelerde kullanılabilir. Senaryo aşamaları aşağıda sırasıyla verilmiştir. Birinci Aşama Kavramsal çerçeve varsayımları (çalışma sonuçlarına göre); YAI ile meşçere altı yağış arasında ters orantı vardır. YAI ile gövdeden akış arasında doğru orantı vardır. YAI ile yüzeysel akış arasında ters orantı vardır. YAI ile orman örtüsü kalınlığı arasında doğru orantı vardır. YAI ile orman örtüsü intersepsiyonu arasında doğru orantı vardır.

Öncelikle orta çapa göre bireyin sahip olduğu yaprak alanı, Ladinde 8-28 cm çapa sahip bireyler için $y=0.095 x^2$ denklemi kullanılarak hesaplanır. Yine ladinde 29-51 cm çapa sahip bireyler için yaprak alanı, $Y=63.88\ln(x)-150,78$ denklemi yardımıyla hesaplanır. Daha sonra alınan deneme alanında, ağaç başına düşen minimum alana bölünerek ($800m^2$ deneme alanında 30 adet birey var ise, birey başına düşen minimum alan $800/30: 26.67m^2$ olur), minimum YAI hesaplanmış olur. YAI'nın maksimum değeri de bir sonraki çap sınıfındaki YAI'nın minimum değerini oluşturur. Bu minimum ve maksimum değerlerin ortalama değeri de ortalama YAI'yi vermektedir. İntersepsiyon hesapları, ilgili orta çap sınıfındaki ortalama YAI değerleri kullanılarak hesaplanır. Buna göre 1 kapalı ladinde YAI şekil 64'teki modele göre hesaplanmıştır. Yine 2 kapalı ladinde şekil 65'teki model yardımı ile hesaplanmış, 3 kapalı ladin meşçeresinde şekil 66'daki model yardımı ile hesaplanmıştır.

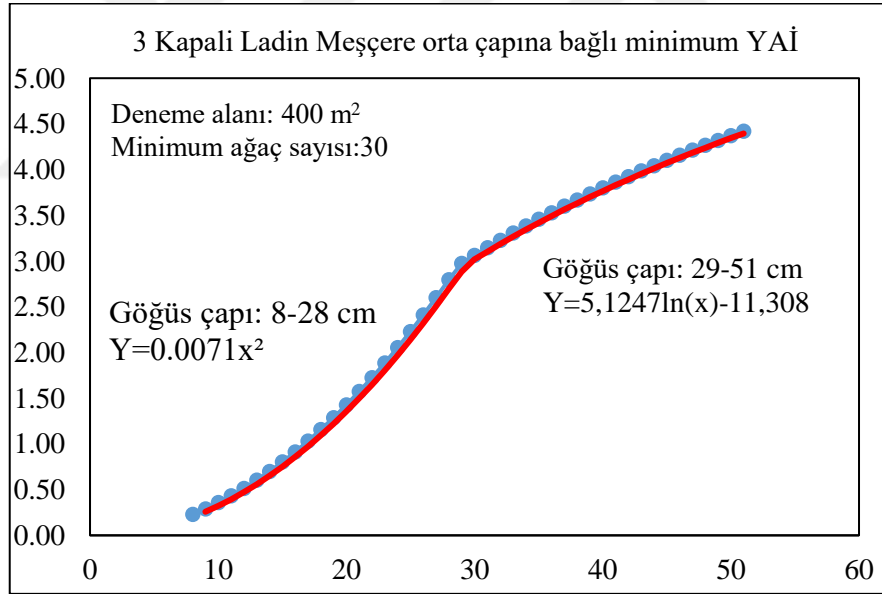
İkinci Aşamada ise, çalışmamızdaki 5,33 YAI'ye sahip ladin meşçeresinde, 1 birim YAI'de ne kadar meşçere altı akış, gövdeden akış, yüzeysel akış, topraktan filtrasyon gerçekleştiği ilgili değerlerin YAI'ye oranlanması ile elde edilir. Yine aynı şekilde orman örtüsü kalınlığı da 1 birim YAI'de hesaplanır. Daha sonra yukarıdaki modellerde hesaplanan orta çapın sahip olduğu YAI değeri ile çarpılarak b, c, d çağları için ilgili intersepsiyon değerleri elde edilir. Bu kapsamda; meşçere altı yağış, gövdeden akış, yüzeysel akış, topraktan filtrasyon ve orman örtüsü kalınlığı tahmin edilmiştir. Bu değerler kullanılarak, orman örtüsü intersepsiyonu, meşçere çatısı intersepsiyonu ve toplam orman intersepsiyon değerleri elde edilmiştir.



Şekil 64. 1 kapalı ladinde meşçere orta çapına bağlı YAI değeri



Şekil 65. 2 kapalı ladinde meşçere orta çapına bağlı YAİ değeri



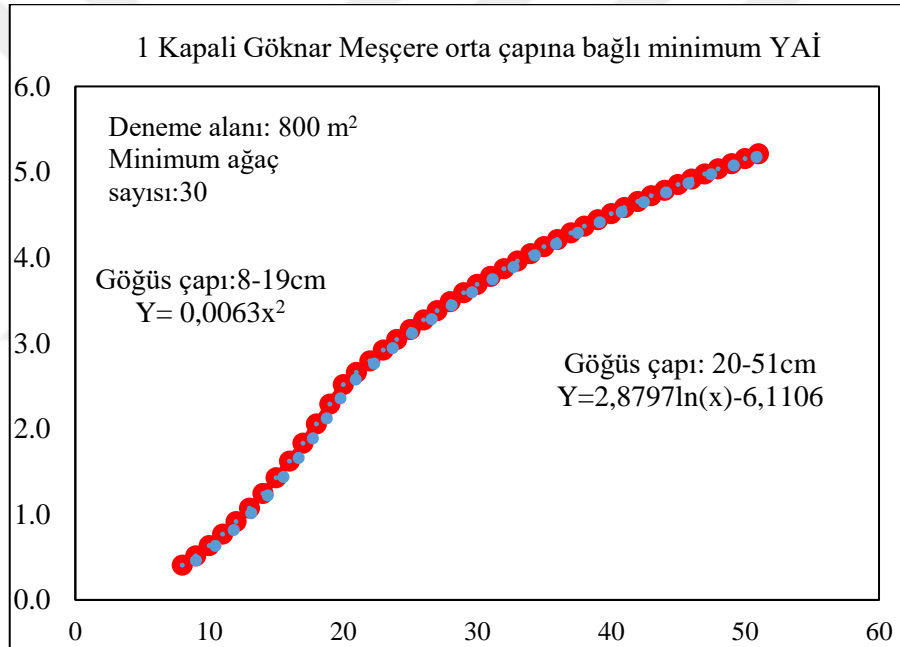
Şekil 66. 3 kapalı ladinde meşçere orta çapına bağlı YAİ değeri

Göknar meşçeresi Aynı şekilde için hesaplamalar yapılmıştır. Göknarda 8-19 cm çapa sahip bireyler için $y=0.169 x^2$ denklemi kullanılarak hesaplanır. Yine ladinde 29-51 cm çapa sahip bireyler için yaprak alanı, $Y=76,739\ln(x)-162,95$ denklemi yardımıyla hesaplanır.

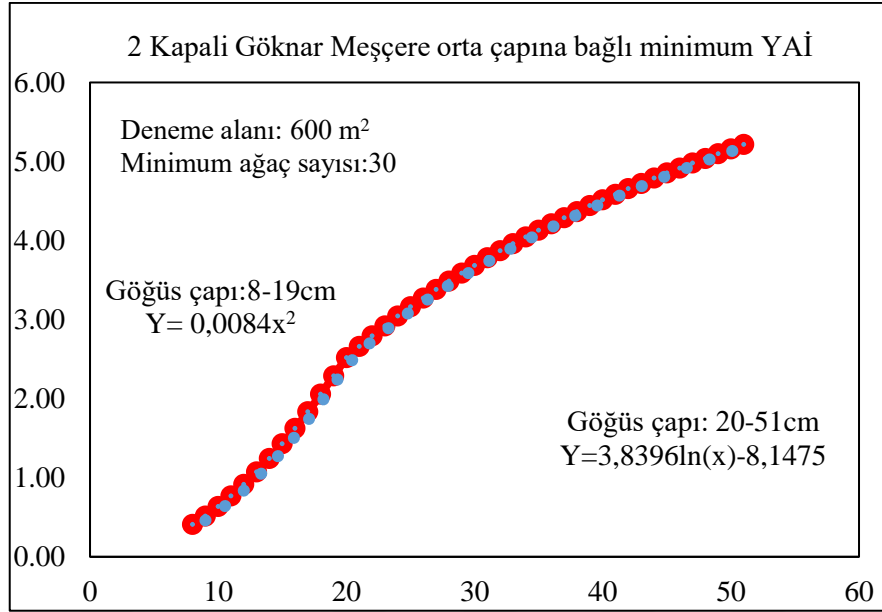
İntersepsiyon hesapları, ilgili orta çap sınıfındaki ortalama YAİ değerleri kullanılarak hesaplanır. Buna göre 1 kapalı Göknarda YAİ şekil 67'deki modele göre hesaplanmıştır.

Yine 2 kapalı Gökvarda şekil 68'deki model yardımı ile hesaplanmış, 3 kapalı Gökvarda şekil 69'daki model yardımı ile hesaplanmıştır.

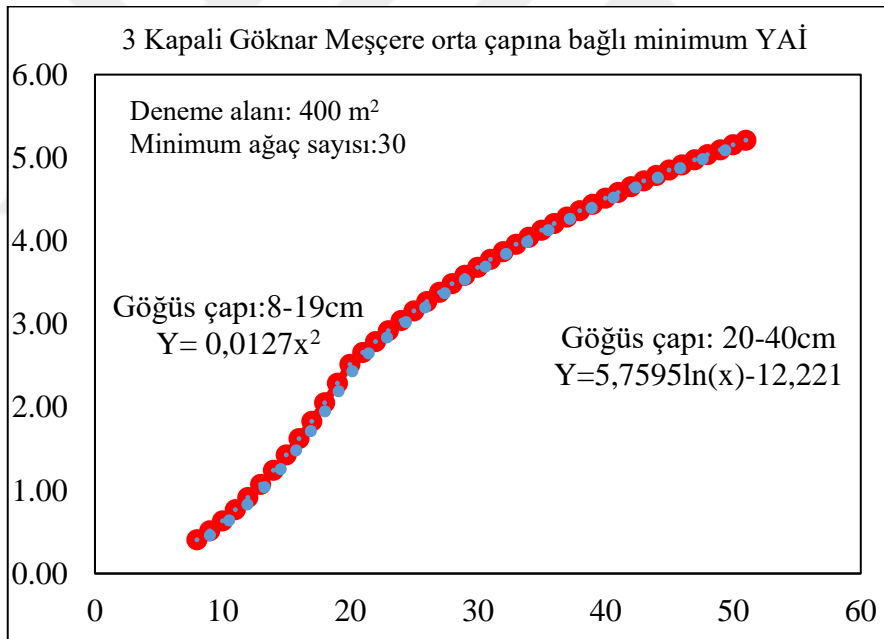
Bu çalışmada 6,13 YAI'ye sahip Gökvarda meşçeresinde, 1 birim YAI'de ne kadar meşçere altı akış, gövdeden akış, yüzeysel akış, topraktan filtrasyon gerçekleştiği ilgili değerlerin YAI'ye oranlanması ile elde edilir. Yine aynı şekilde orman örtüsü kalınlığı da 1 birim YAI'de hesaplanır. Daha sonra yukarıdaki modellerde hesaplanan orta çapın sahip olduğu YAI değeri ile çarpılarak b,c,d çağları için ilgili intersepsiyon değerleri elde edilmiştir. Bu kapsamda; meşçere altı yağış, gövdeden akış, yüzeysel akış, topraktan filtrasyon ve orman örtüsü kalınlığı tahmin edilmiştir. Aynı şekilde bu değerler kullanılarak orman örtüsü, meşçere çatısı ve toplam orman intersepsiyon değerleri hesaplanmıştır.



Şekil 67. 1 kapalı Gökvardameşçere orta çapına bağlı YAI değeri



Şekil 68. 2 kapalı Gökmarında meşçere orta çapına bağlı YAİ değeri



Şekil 69.3 kapalı Gökmarında meşçere orta çapına bağlı YAİ değeri

Son olarak ladin ve gökmar meşçeresi için elde edilen intersepsiyon değerleri gelişim çağı orta çapı ilişkiye getirilerek regresyon modelleri geliştirilmiştir. Bu modellerde doğrudan meşçere orta çapını girerek toplam orman intersepsiyonu ve bileşenleri hesaplanmış ve tartışma ve sonuçlar kısmında verilmiştir.

3. BULGULAR

3.1. Meşçere Parametlerinin Tespiti

3.1.1. Meşçerelerde Çap-Boy Ölçümü

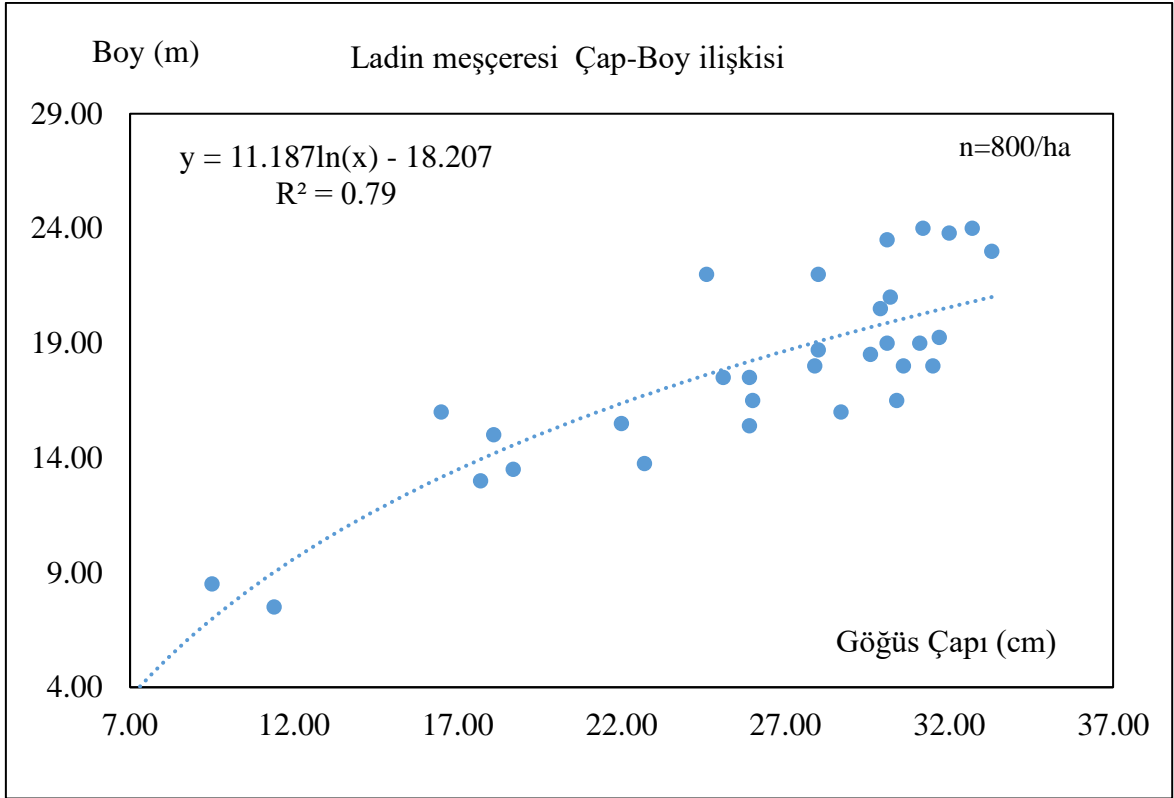
Ladin meşçeresinde hektarda 800 adet birey vardır (Şekil 70). Çalışma alanındaki bireylerin d1.30 çapları ortalama 25,53 cm olup ortalama boy ise 17,39 metre olarak bulunmuştur. Doğal ortamda normal gelişimini sağlıklı sürdüren orman ekosistemlerinde çap ve boy arasında güçlü bir korelasyonun varlığı söz konusudur ve çap boyun bir fonksiyonu olarak değerlendirilmektedir (Şekil 71). Buna göre, çalışma alanına ait Ladin meşçeresinde de Çap*Boy ilişkisi, $r=0.89$ olarak tespit edilmiş ve meşçerenin sağlıklı bir şekilde ekosistem fonksiyonlarını yerine getirdiği değerlendirilmektedir.

Gökmar meşçeresinde hektarda 1.450 adet birey vardır. Çalışma alanımızdaki bireylerin d1.30 çapları ortalama 15,15 cm olup ortalama boy ise 12,21 metredir. Doğal ortamda normal gelişimini sağlıklı sürdüren orman ekosistemlerinde çap ve boy arasında güçlü bir korelasyonun varlığı söz konusudur ve çap boyun bir fonksiyonu olarak değerlendirilmektedir (Şekil 72). Buna göre, çalışma alanına ait Gökmar meşçeresinde de Çap*Boy ilişkisi, $r=0.78$ olarak tespit edilmiş ve meşçerenin sağlıklı bir şekilde ekosistem fonksiyonlarını yerine getirdiği değerlendirilmektedir.

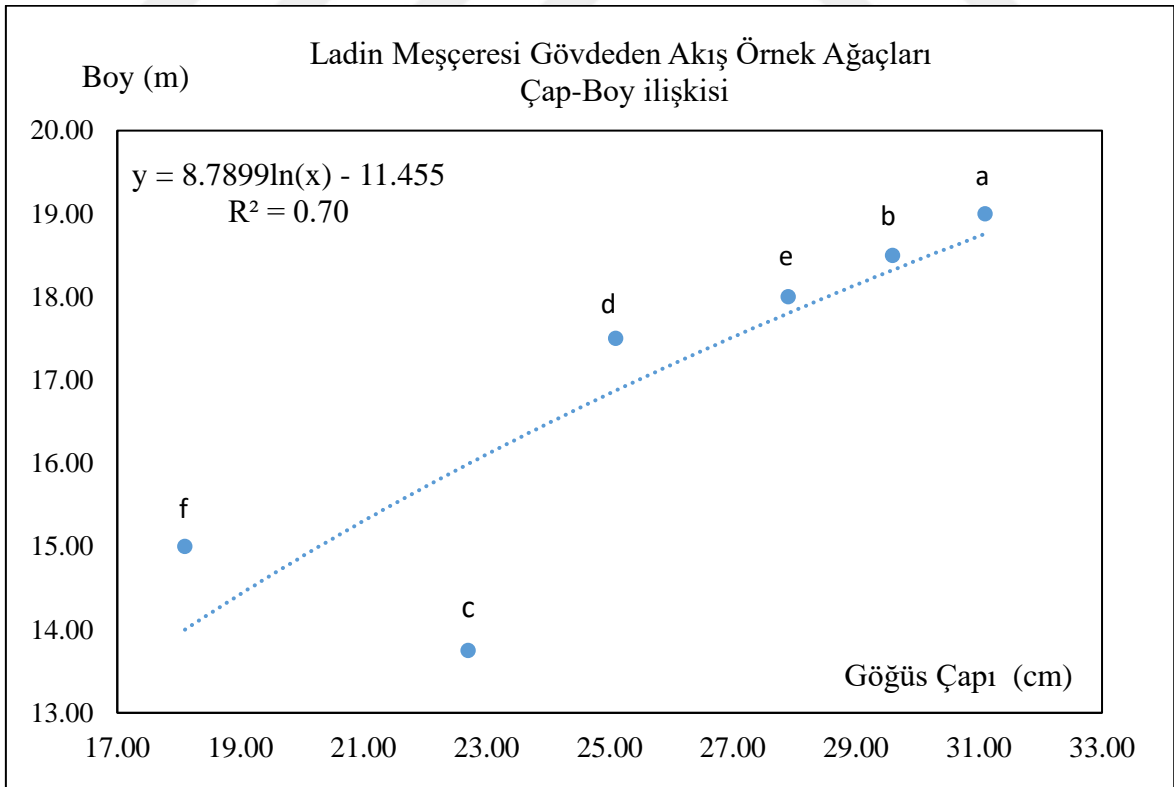
Ladin meşçeresinde gövdeden akışı tespit etmek için seçilen bireyler farklı çap sınıfında yer almaktadır ve meşçereyi temsil eden bireylerden oluşmaktadır (Şekil 73). Gökmar meşçeresinde gövdeden akışı tespit etmek için seçilen bireyler farklı çap sınıfında yer almaktadır ve meşçereyi temsil eden bireylerden oluşmaktadır (Şekil 74).



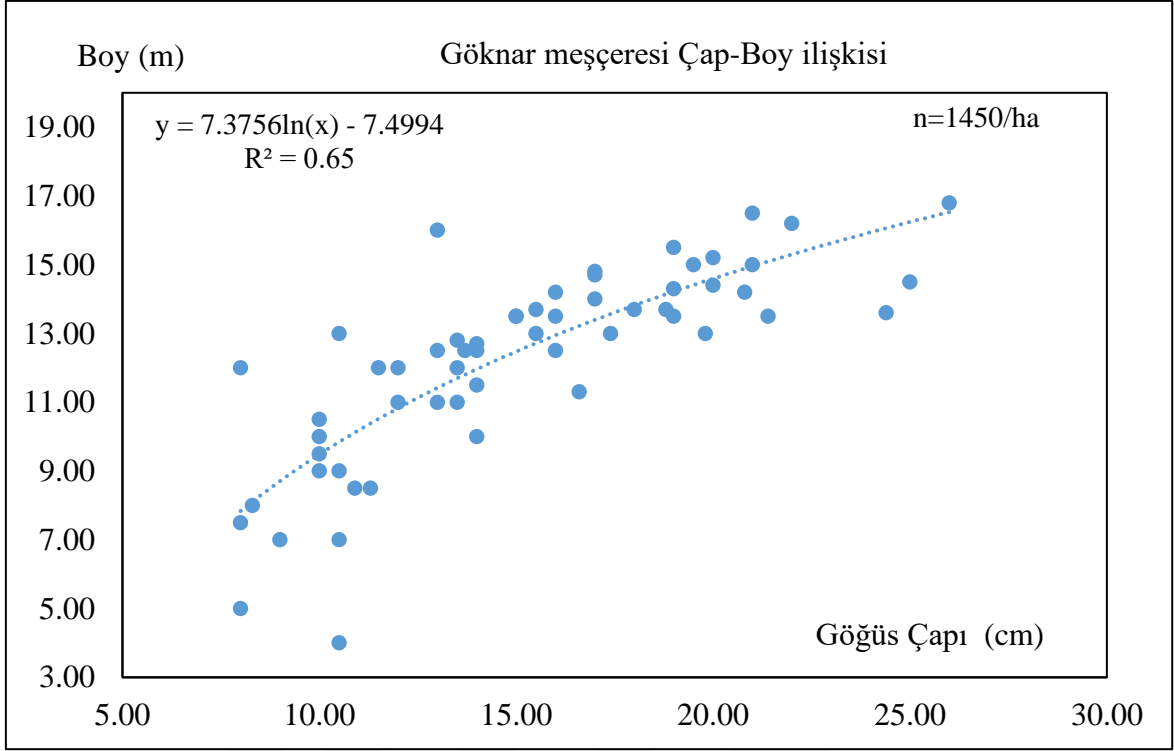
Şekil 70. Gökmar (a) ve Ladin (b) deneme alanlarından görünüm



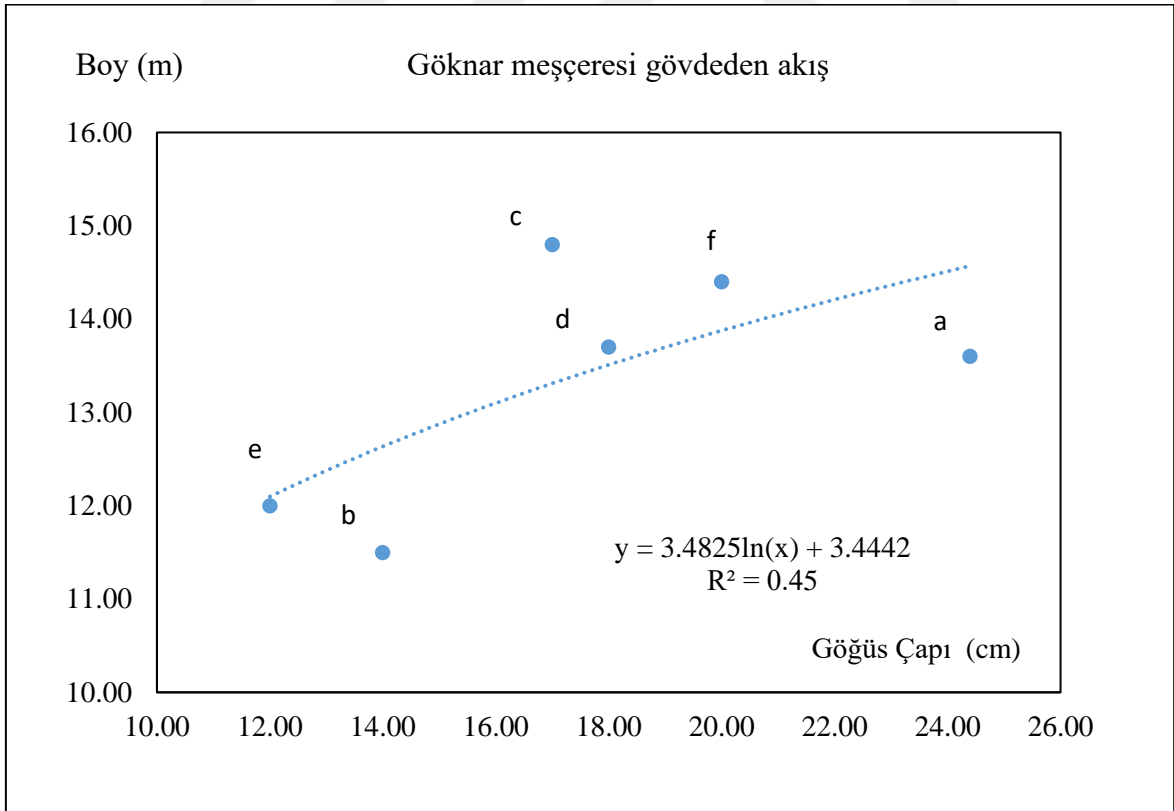
Şekil 71. Ladin deneme alanına ait çap*boy ilişki grafiği ve denklemi ($r=0,89$)



Şekil 72. Gövdeden akış örnek ağaçlarının çap*boy ilişkisi ($r=0.84$)



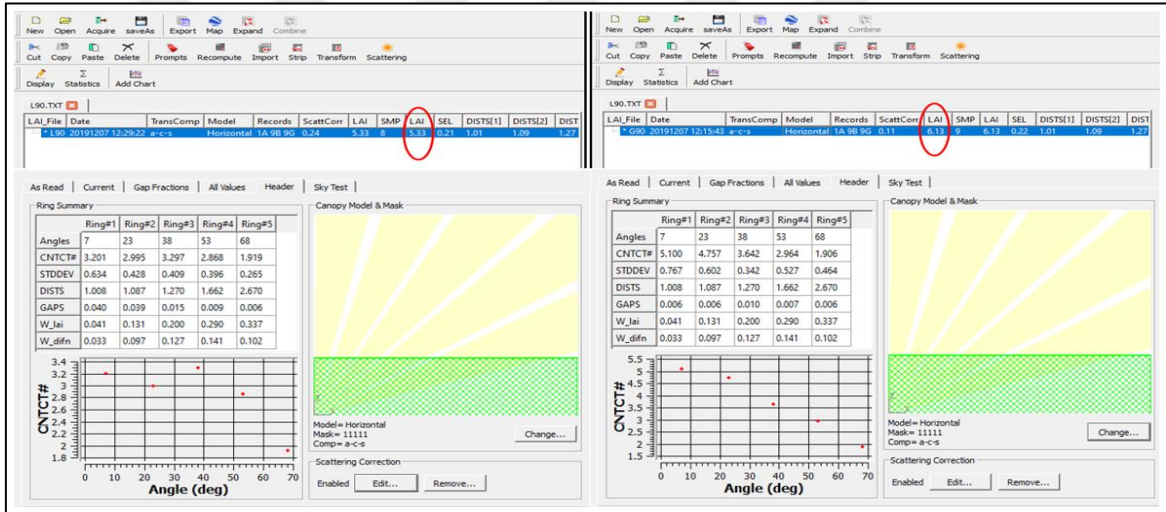
Şekil 73. Gök nar meşçeresine ait çap*boy ilişkisi grafiği ve denklemi ($r=0.78$)



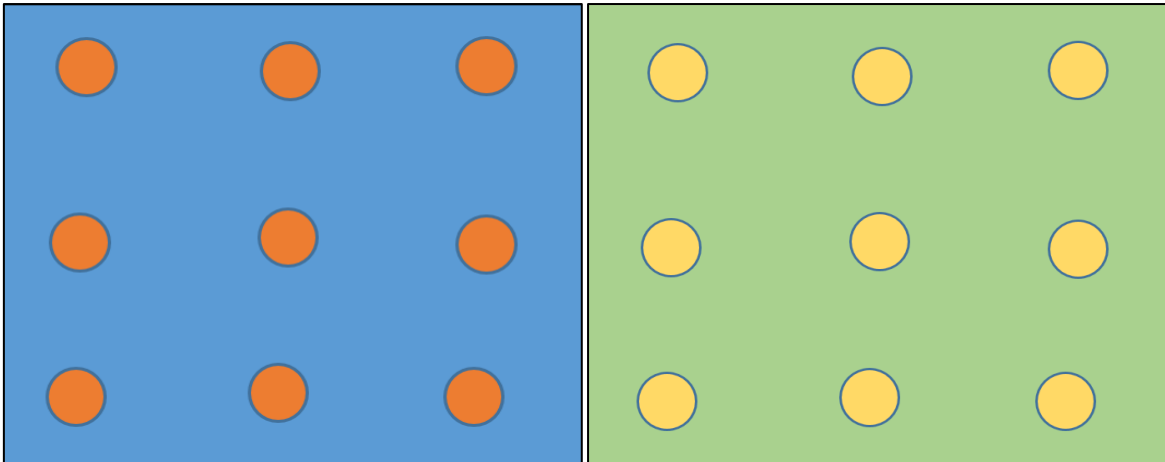
Şekil 74. Gök nar meşçeresi gövdeden akış örnek ağaçlarının çap*boy ilişkisi ($r=0.67$)

3.1.2. Yaprak Alan İndeksi (YAI)

Her iki meşçerede 9 adet homojen dağılmış noktalarda ölçüm alınmıştır. Ladinde ortalama $5,33 \text{ m}^2/\text{m}^2$, Gökmar meşçeresinde ise bu değer $6,13 \text{ m}^2/\text{m}^2$ ölçülmüştür (Şekil 75,76). Ölçülen intersepsiyon bileşenlerinin (meşçere altı yağış, gövdeden akış, yüzeysel akış, orman örtüsü intersepsiyon düzeneği) değerleri ortalama meşçere YAI'ye göre kalibre edilmiştir. Düzeltme katsayılarına göre kalibrasyonlar ve yeniden hesaplamalar YAI ile meşçere altı yağış arasında ters orantı, gövdeden akış arasında doğru orantı, yüzeysel akış arasında ters orantı, orman örtüsü kalınlığı arasında doğru orantı, orman örtüsü intersepsiyonu arasında doğru orantı ve organik döküntüde doğru orantı esasına göre düzenlenmiştir.



Şekil 75. FV2200 programında Ladin ve Gökmar meşçerelerine ait YAI hesabı



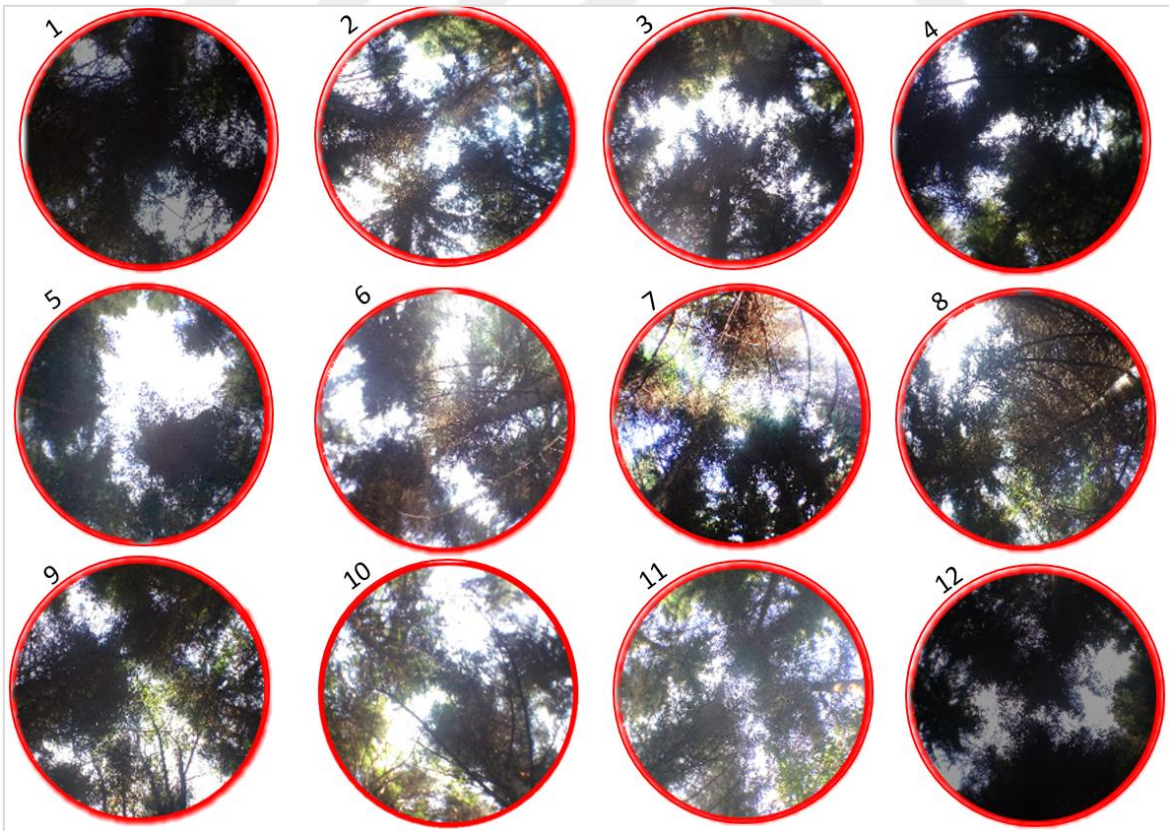
Şekil 76. Ladin ve Gökmar deneme alanlarında meşçereyi temsilen YAI ölçüm noktaları

Meşçere altı yağış ölçerlerinin ortalama YAI değeri Ladinde $5,04 \text{ m}^2/\text{m}^2$, Gökvarda ise bu değer $5,74 \text{ m}^2/\text{m}^2$ bulunmuştur (Şekil 77,78,79). Meşçere ortalama YAI'ye göre düzeltme katsayısı Ladin için 0,97 Gökvar için de 0,96 hesaplanan değerler kullanılmıştır.

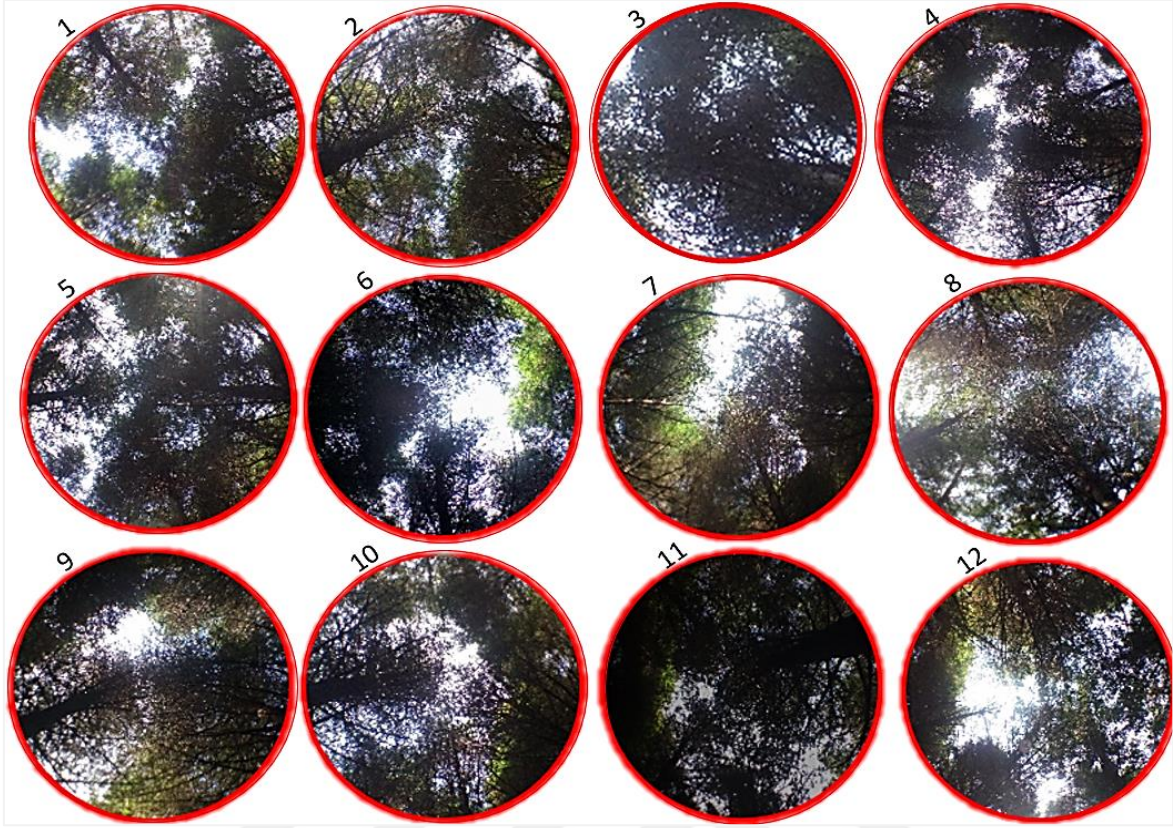
LAI_File	Model	Records	ScattCorr	LAI
* L1	Horizontal	1A 1B 1G	none	6.59
* L2	Horizontal	1A 1B 1G	none	4.59
* L3	Horizontal	1A 1B 1G	none	4.20
* L4	Horizontal	1A 1B 1G	none	5.98
* L5	Horizontal	1A 1B 1G	none	2.90
* L6	Horizontal	1A 1B 1G	none	5.12
* L7	Horizontal	1A 1B 1G	none	4.95
* L8	Horizontal	1A 2B 2G	none	6.39
* L9	Horizontal	1A 1B 1G	none	5.06
* L10	Horizontal	1A 1B 1G	none	4.38
* L11	Horizontal	1A 1B 1G	none	4.84
* L12	Horizontal	1A 1B 1G	none	5.48

LAI_File	Model	Records	ScattCorr	LAI
* G1	Horizontal	1A 1B 1G	none	5.39
* G2	Horizontal	1A 1B 1G	none	6.01
* G3	Horizontal	1A 1B 1G	none	7.06
* G4	Horizontal	1A 1B 1G	none	6.13
* G5	Horizontal	1A 1B 1G	none	6.61
* G6	Horizontal	1A 1B 1G	none	4.77
* G7	Horizontal	1A 1B 1G	none	5.10
* G8	Horizontal	1A 2B 2G	none	6.20
* G9	Horizontal	1A 1B	none	5.76
* G10	Horizontal	1A 1B 1G	none	5.49
* G11	Horizontal	1A 1B 1G	none	6.78
* G12	Horizontal	1A 1B 1G	none	3.60

Şekil 77. Ladin (a) ve Gökvar (b) deneme alanlarındaki yağış ölçerlerin bireysel YAI



Şekil 78. Ladin meşçere-altı yağış ölçerlerin merkezinden yarı küresel efektif alan



Şekil 79. Göknaar meşçere-altı yağış ölçerlerin merkezinden yarı küresel efektif alan

Deneme alanlarında gövdeden akış düzeneklerinde yapılan 6 adet YAI ölçümlerinde Ladinde ortalama $4,36 \text{ m}^2/\text{m}^2$, Göknaarda ise ortalama $5,38 \text{ m}^2/\text{m}^2$ olarak tespit edilmiştir (Şekil 80). Meççere ortalama YAI'ye göre düzeltme katsayısı Ladin için 1,220 Göknaar için de 1,139 hesaplanan değerler kullanılmıştır.

LAI_File	Model	Records	ScattCorr	LAI
* La	Horizontal 1A 1B	none	4.51	
* Lb	Horizontal 1A 1B 1G	none	4.51	
* Lc	Horizontal 1A 1B 1G	none	4.01	
* Ld	Horizontal 1A 1B 1G	none	4.14	
* Le	Horizontal 1A 1B 1G	none	4.38	
* Lf	Horizontal 1A 1B 1G	none	4.58	

a

LAI_File	Model	Records	ScattCorr	LAI
* Gb	Horizontal 1A 1B 1G	none	5.18	
* Ga	Horizontal 1A 1B 1G	none	5.67	
* Gd	Horizontal 1A 1B 1G	none	5.56	
* Ge	Horizontal 1A 1B 1G	none	5.06	
* Gf	Horizontal 1A 1B 1G	none	6.04	
* Gc	Horizontal 1A 1B 1G	none	4.76	

b

Şekil 80. Ladin (a) ve Göknaar (b) gövdeden akış düzeneklerinde bireysel YAI

Yüzeysel akış düzeneklerinde yapılan 2 adet YAİ ölçümlerinde Ladinde ortalama $5,195 \text{ m}^2/\text{m}^2$, Gökvarda ise ortalama $5,915 \text{ m}^2/\text{m}^2$ olarak tespit edilmiştir (Şekil 81). Meşçere ortalama YAİ'ye göre düzeltme katsayısı Ladin için 0,975 Gökvar için de 0,965 hesaplanan değerler kullanılmıştır.

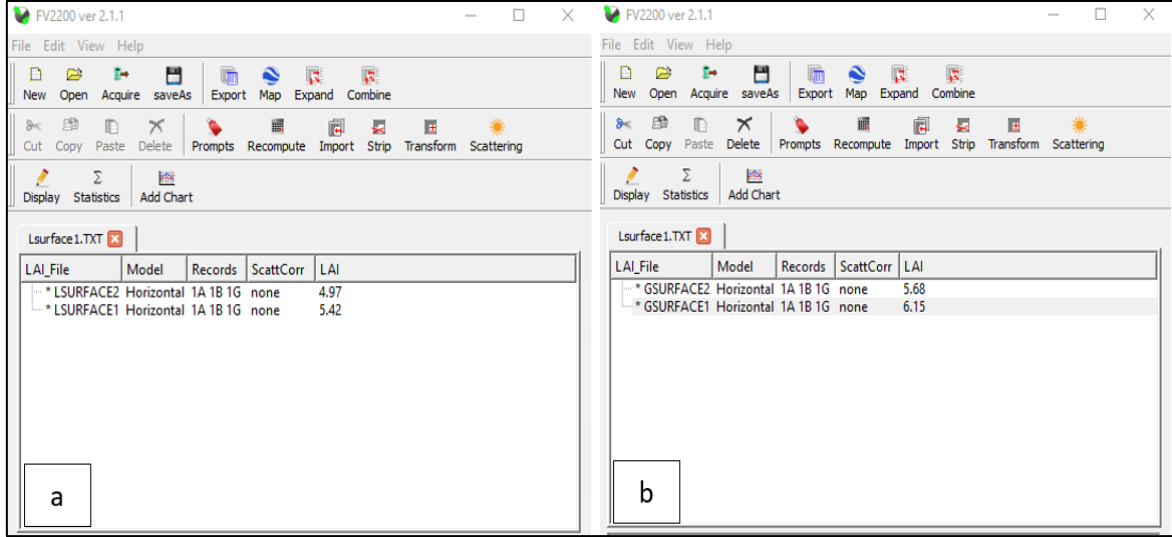


Figure 81 shows two screenshots of the FV2200 ver 2.1.1 software interface. The left screenshot (a) displays the LAI data for the Ladin site, and the right screenshot (b) displays the LAI data for the Gökvar site. Both screenshots show a table with the following columns: LAI_File, Model, Records, ScattCorr, and LAI.

LAI_File	Model	Records	ScattCorr	LAI
*LSURFACE2	Horizontal	1A 1B 1G	none	4.97
*LSURFACE1	Horizontal	1A 1B 1G	none	5.42

LAI_File	Model	Records	ScattCorr	LAI
*GSURFACE2	Horizontal	1A 1B 1G	none	5.68
*GSURFACE1	Horizontal	1A 1B 1G	none	6.15

Şekil 81. Ladin (a) ve Gökvar (b) yüzeysel akış düzeneklerinde bireysel YAİ

Orman örtüsü intersepsiyon düzeneklerinde yapılan 1'er adet YAİ ölçümlerinde Ladinde $5,44 \text{ m}^2/\text{m}^2$, Gökvarda ise $6,15 \text{ m}^2/\text{m}^2$ olarak tespit edilmiştir (Şekil 82). Meşçere ortalama YAİ'ye göre düzeltme katsayısı Ladin için 1,0394 Gökvar için de 1,0033 hesaplanan değerler kullanılmıştır.

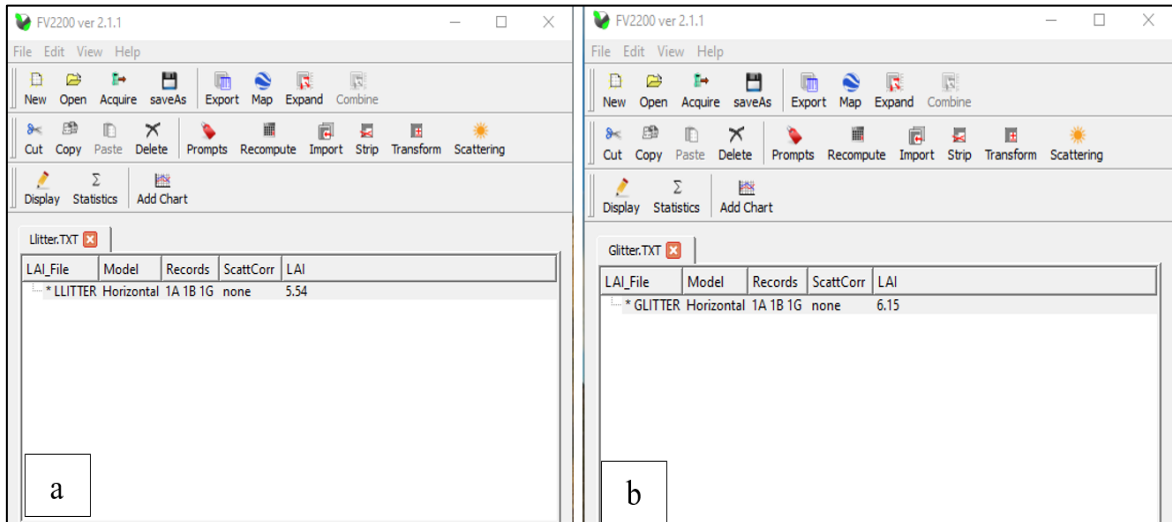


Figure 82 shows two screenshots of the FV2200 ver 2.1.1 software interface. The left screenshot (a) displays the LAI data for the Ladin site, and the right screenshot (b) displays the LAI data for the Gökvar site. Both screenshots show a table with the following columns: LAI_File, Model, Records, ScattCorr, and LAI.

LAI_File	Model	Records	ScattCorr	LAI
*LLITTER	Horizontal	1A 1B 1G	none	5.54

LAI_File	Model	Records	ScattCorr	LAI
*GLITTER	Horizontal	1A 1B 1G	none	6.15

Şekil 82. Ladin (a) ve Gökvar (b) orman örtüsü intersepsiyon düzeneklerinde bireysel YAİ

Deneme alanlarına kurulan istasyonlarda yapılan 1'er adet YAI ölçümlerinde Ladinde $5,42 \text{ m}^2/\text{m}^2$, Gökvarda ise $6,72 \text{ m}^2/\text{m}^2$ olarak tespit edilmiştir (Şekil 83). Meşçere ortalama YAI'ye göre düzeltme katsayısı Ladin için 1,019 Gökvar için de 1,096 hesaplanan değerler kullanılmıştır.

Figure 83 shows two screenshots of the FV2200 ver 2.1.1 software interface. The left screenshot (a) shows the 'Glitter.TXT' file with the following data:

LAI_File	Model	Records	ScattCorr	LAI
*ISTAS1L	Horizontal	1A 1B 1G	none	5.42

The right screenshot (b) shows the 'GISTAS.TXT' file with the following data:

LAI_File	Model	Records	ScattCorr	LAI
*GISTAS	Horizontal	1A 1B 1G	none	6.72

Şekil 83. Ladin (a) ve Gökvar (b) istasyonlarında bireysel YAI

Deneme alanlarında organik döküntü yakalama düzeneklerinde yapılan 7 adet YAI ölçümlerinde Ladinde ortalama $4,76 \text{ m}^2/\text{m}^2$, Gökvarda ise ortalama $6,34 \text{ m}^2/\text{m}^2$ olarak tespit edilmiştir (Şekil 84). Meşçere ortalama YAI'ye göre düzeltme katsayısı Ladin için 1,12 Gökvar için de 0,97 hesaplanan değerler kullanılmıştır.

Figure 84 shows two screenshots of the FV2200 ver 2.1.1 software interface. The left screenshot (a) shows the 'GISTAS.TXT' file with the following data:

LAI_File	Model	Records	ScattCorr	LAI
*LKAP2	Horizontal	1A 1B 1G	none	4.96
*KAPL3	Horizontal	1A 1B 1G	none	4.87
*LKAP1	Horizontal	1A 1B 1G	none	4.45

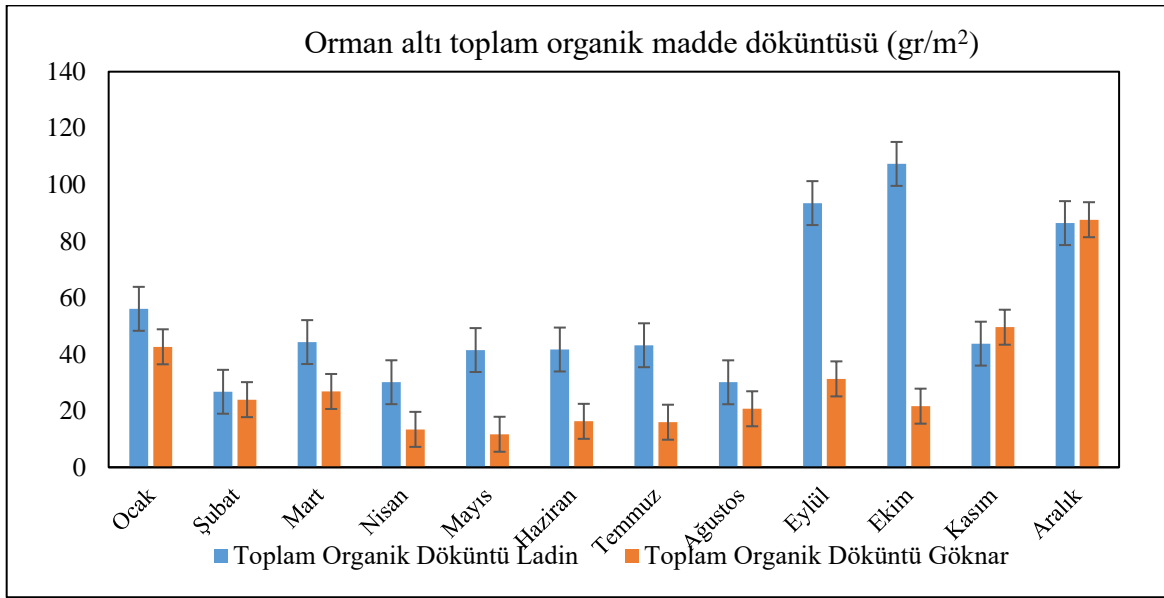
The right screenshot (b) shows the 'GKAP6.TXT_plus' file with the following data:

LAI_File	Model	Records	ScattCorr	LAI
*GKAP4	Horizontal	1A 1B 1G	none	6.09
*GKAP5	Horizontal	1A 1B 1G	none	6.35
*GKAP6	Horizontal	1A 1B 1G	none	5.88
*GKAP7	Horizontal	1A 1B 1G	none	7.04

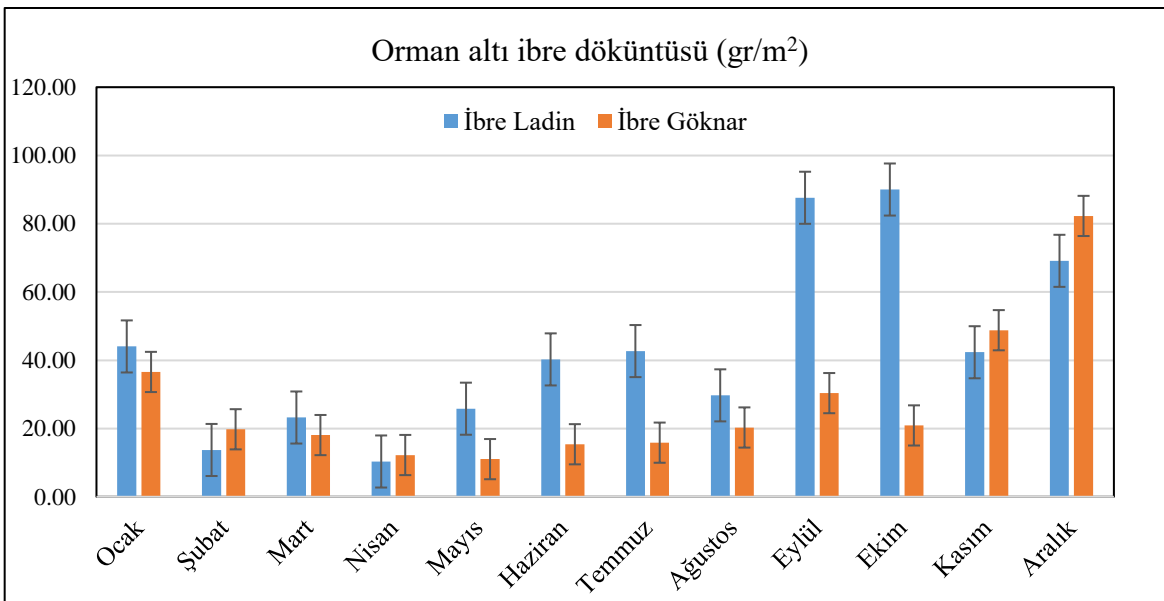
Şekil 84. Ladin (a) ve Gökvar (b) alanlarında organik döküntü tuzaklarında bireysel YAI

3.1.3. Ladin ve Gök nar Deneme Alanlarında Organik Madde Döküntüsü

Ladin ve Gök nar meşçerelerinde çalışma periyodunda tuzaklar aracılığı ile toplanan toplam organik döküntü Ladin meşçeresinde yıl içinde en yüksek Ekim ayında 107,36 gr/m² olmuştur. Bu değerin 90,02 gramı ibrelerden, 17,34 gramı ise ince dal ve kozalak kalıntılarında oluşmuştur (Şekil 85-87).

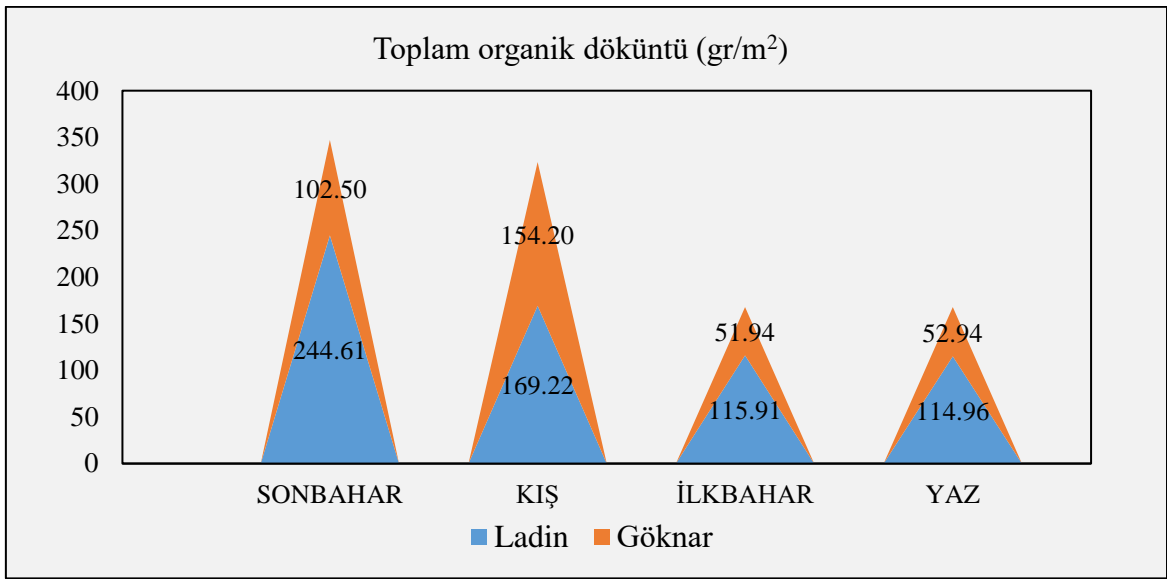


Şekil 85. Ladin ve Gök nar toplam organik döküntü miktarlarının yıl içindeki değ iş imi

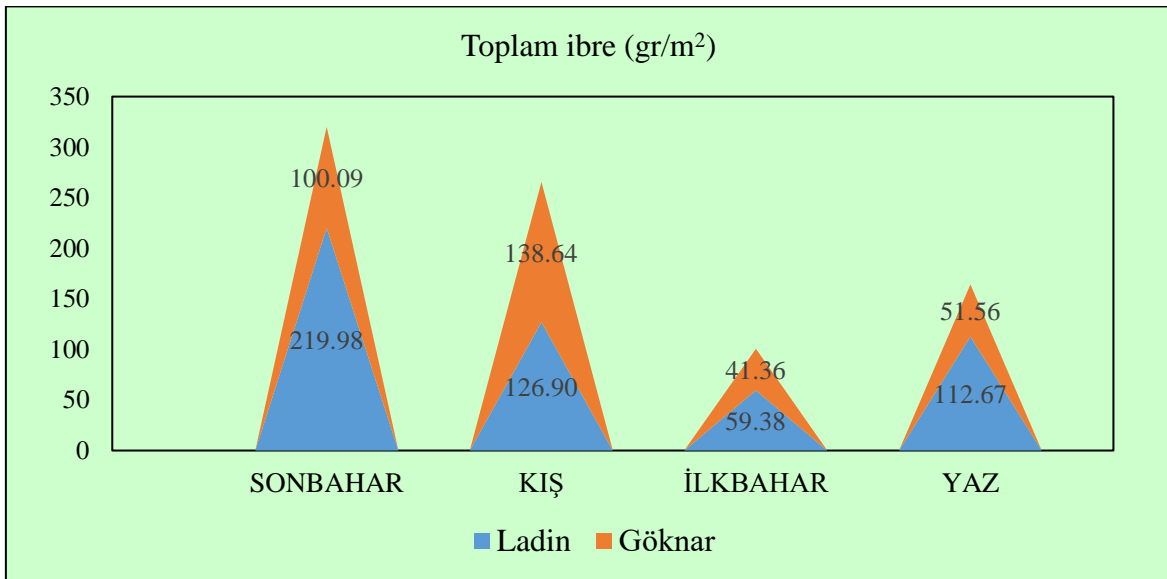


Şekil 86. Ladin ve Gök nar toplam organik döküntü miktarlarının yıl içindeki değ iş imi

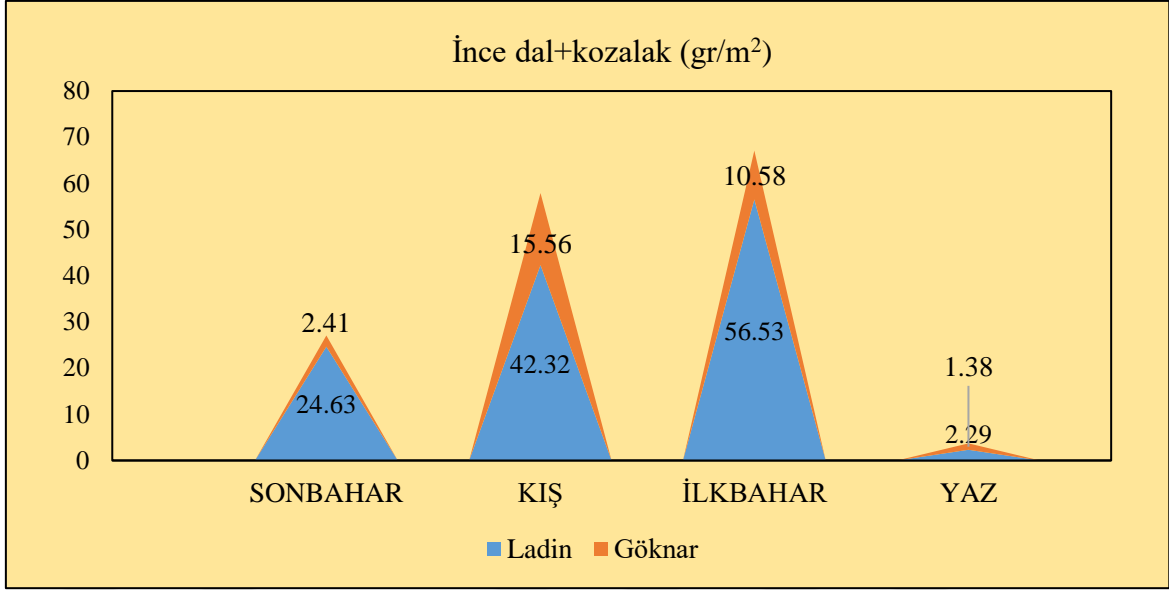
Organik madde döküntüsü, mevsimsel bazda değerlendirildiğinde, toplamda en fazla döküntü miktarı Ladinde sonbaharda $244,61 \text{ gr/m}^2$ olarak gerçekleşirken, Göknarda ise en yüksek değer kışın $154,2 \text{ gr/m}^2$ olarak gerçekleşmiştir. Yine en düşük toplam organik madde döküntüsü Ladinde yaz mevsiminde $114,96 \text{ gr/m}^2$ olarak bulunurken, Göknarda ise ilkbaharda $51,94 \text{ gr/m}^2$ olarak tespit edilmiştir. Yıllık toplam organik madde döküntüsü Ladinde $644,7 \text{ gr/m}^2$ ($6,5 \text{ ton/ha}$) olarak hesaplanmış ve bunun yaklaşık %81'ini ($518,93 \text{ gr}$) ibreler oluşturmuştur. Göknarda bu değer $361,58 \text{ gr/m}^2$ ($3,62 \text{ ton/ha}$) olmuş ve bunun yaklaşık %92'sini ($331,65 \text{ gr}$) ibreler oluşturmuştur (Şekil 87-89).



Şekil 87. Ladın ve Göknarda toplam organik döküntünün mevsimsel değişimi

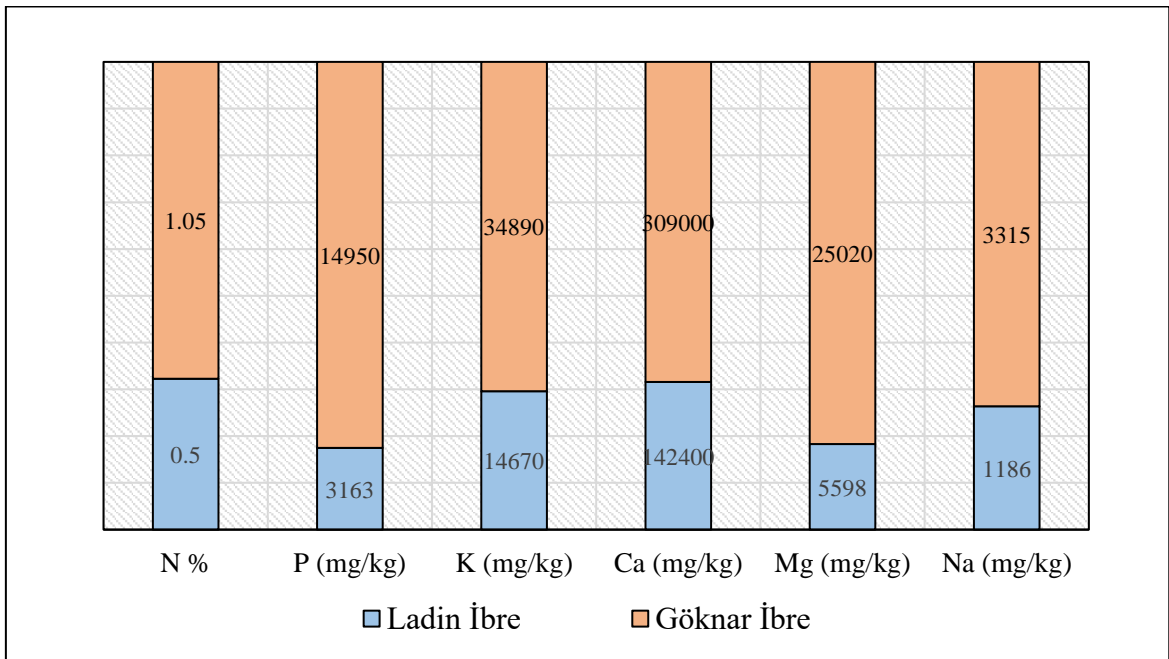


Şekil 88. Ladın ve Göknarda ibre döküntüsünün mevsimsel değişimi



Şekil 89. Ladin ve Gök narda ince dal ve kozalak döküntüsünün mevsimsel değişimi

Ladin ve Gök nar deneme alanlarındaki ibre döküntüsünde yapılan elemental analizde, her iki meşçere de bitki besin maddesinden zengin olduğu tespit edilmiştir. Genel olarak değerlendirildiğinde Gök nar türü ibrelerinin bitki besin maddesi içeriği ladin türünden bir hayli fazla bulunmuştur. Gök nar türü Ladine göre yaklaşık 2 kat azot (N), 3 kat fosfor (P), 2 kat Kalsiyuma (Ca), 5 kat kat Magnezyum (Mg) ve yaklaşık 3 kat daha fazla da sodyum (Na) ihtiva ettiği tespit edilmiştir (Şekil 90).



Şekil 90. Ladin ve Gök nar döküntü ibrelerinde mineral madde dağılımı

3.1.4. Ladin ve Gökmar Deneme Alanlarında Orman Örtüsü Kalınlığı (Kib)

Ladin ve Gökmar deneme alanlarında orman örtüsü (ibre) kalınlıkları hesaplanmıştır. Öncelikle Ladinde hacim ağırlığı $0,187 \text{ gr/cm}^3$, Gökmar da ise $0,089 \text{ gr/cm}^3$ olarak hesaplanmıştır (Şekil 91).



Şekil 91. Ladin ve Gökmar ibrelerinde hacim ağırlığı tespiti

Aynı şekilde üst toprakta 24 adet silindir örneklerinde Ladinde ortalama 2,430 gr ibre tespit edilmiş iken bu değer Gökmar da 1,194 gr olmuştur.

$$\text{Kib} = \text{Hi} / \text{Hc} \quad (25)$$

Kib: Orman örtüsü (ibre) kalınlığı (cm), Hc: Örnekleme silindirinin hacmi (cm^3) x İbre hacim ağırlığı (gr/cm^3), Hi: 24 adet silindir örneklemesindeki ibre ağırlığı (gr/cm^3)

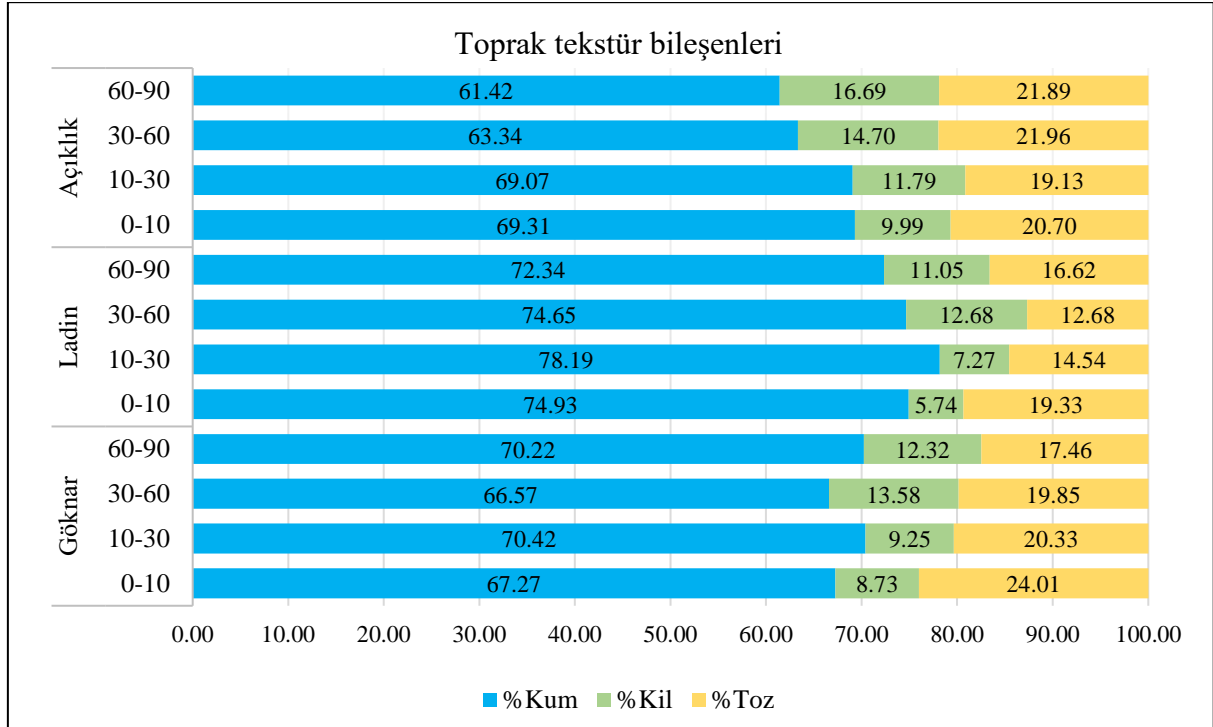
Ladin deneme alanında $\text{Hi} = 2,430$ ve $\text{Hc} = 19,625 \times 0,187 = 3,67$, $\text{LKib} = 2,430 / 3,67 = 0,66 \text{ cm} = 6,6 \text{ mm}$ olarak hesaplanmıştır. Gökmar da ise bu değer, $\text{Hi} = 1,194$ ve $\text{Hc} = 19,625 \times 0,089 = 1,747$, $\text{GKib} = 1,194 / 1,747 = 0,68 \text{ cm} = 6,8 \text{ mm}$ olarak hesaplanmıştır.

Genel olarak orman örtüsü kalınlığı, ibre içeriği açısından değerlendirildiğinde Gökmar meşçeresinin organik horizonu Ladin meşçeresinin 2 katından daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Bu durum da orman örtüsü intersepsiyonuna etki eden en önemli parametre olarak değerlendirilmektedir.

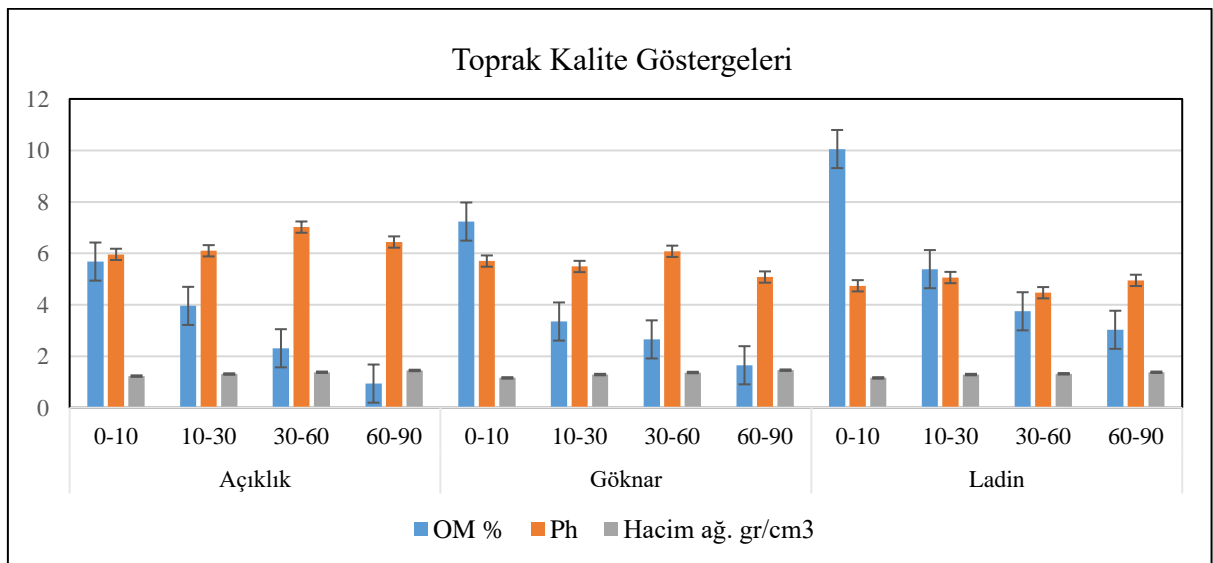
3.1.5. Çalışma Alanı Toprak Özellikleri

Gökmar ve Ladin meşçerelerinde farklı derinlik kademelerinden (0-10, 10-30, 30-60, 60-90) bozulmuş ve bozulmamış toprak örnekleri alınarak toprak analizleri yapılmıştır.

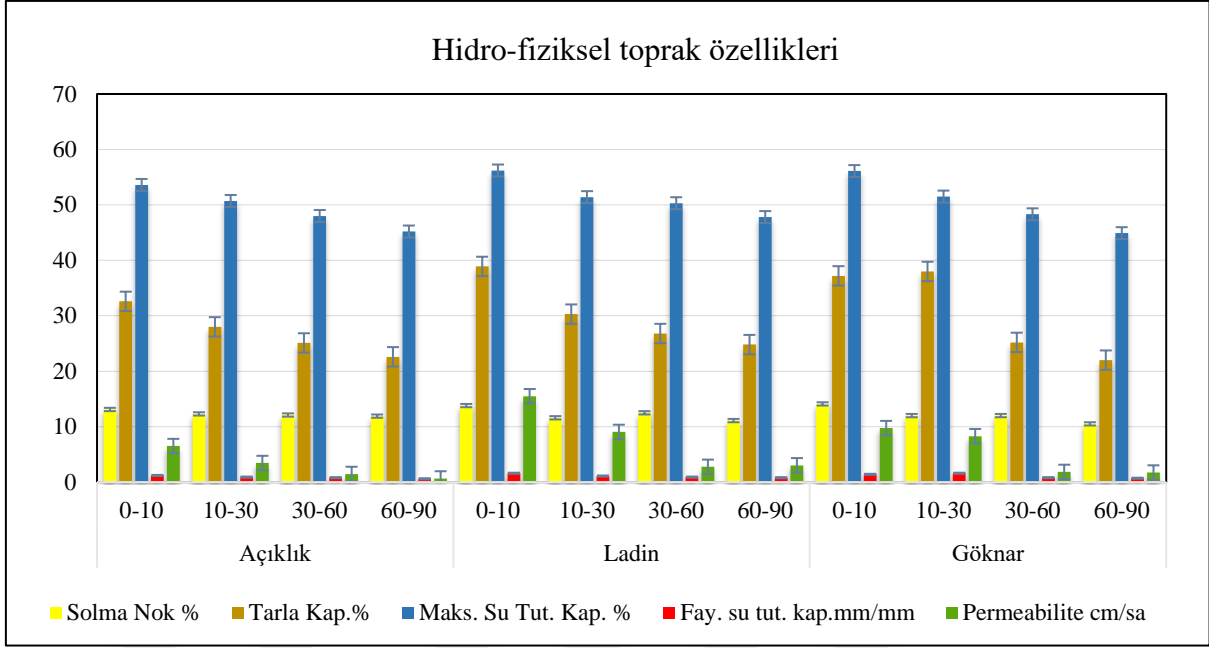
Toprak özellikleri genel olarak her iki deneme alanında da ve açık alanda benzer özellik göstermektedir. Toprak türü 3 alanda tüm derinlik kademelerinde Kumlu Balçık olarak tespit edilmiştir. Ancak üst toprakta organik madde miktarı ayrışma sürecine bağlı olarak farklılık göstermiştir. Toprak analizlerine ilişkin analiz sonuçları aşağıda grafik halinde verilmiştir (Şekil 92-94).



Şekil 92. Çalışma alanının derinlik kademesine göre toprak tekstürü

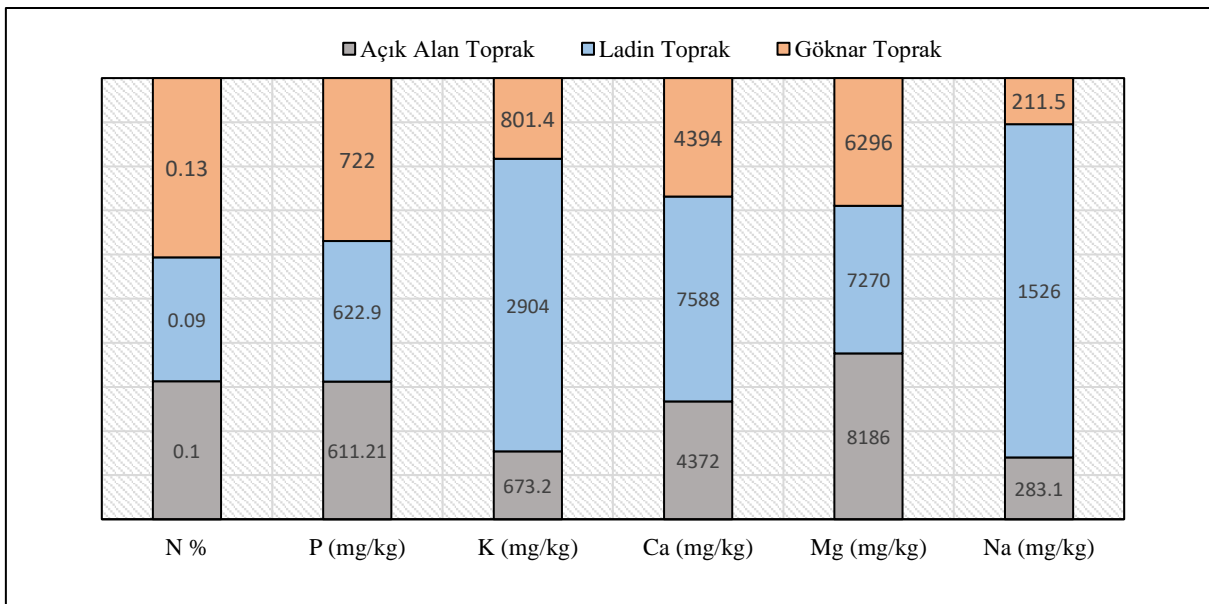


Şekil 93. Çalışma alanının derinlik kademesine göre toprak tekstürü



Şekil 94. Çalışma alanının derinlik kademesine göre toprağın hidro-fiziksel özellikleri

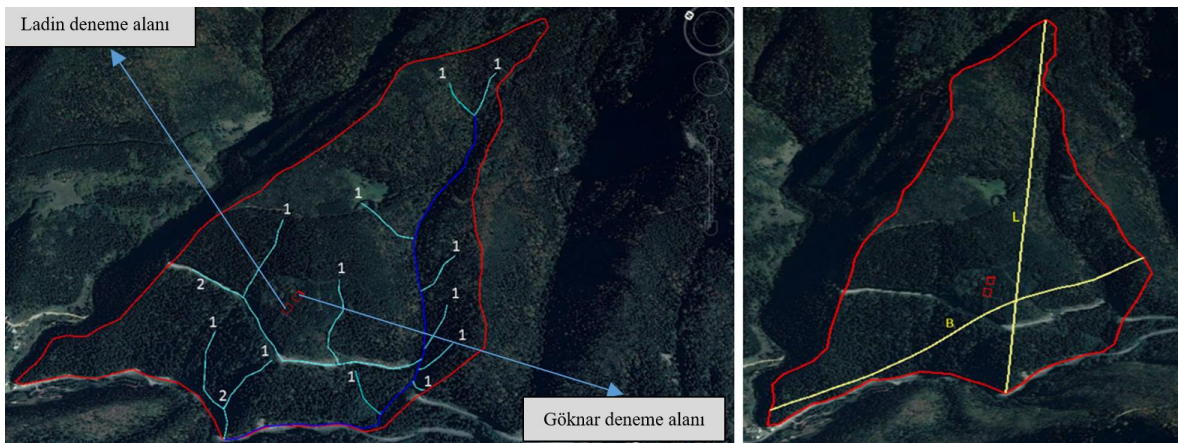
Çalışma alanında üst toprakta (0-30) besin maddesi analizine göre Azot (N) ve fosfor (P) açısından en yüksek değerler Gökнарda tespit edilmiştir. Ladin meşçeresi de potasyum (K), Kalsiyum (Ca), Magnezyum (Mg) ve Sodyum (Na) açısından en yüksek değerler almıştır. Açık alan ile meşçereler değerlendirildiğinde Mg içeriği mera vasfındaki açık alanda en yüksek değer almıştır. Aynı zamanda Azot içeriği de Ladin meşçeresinden yüksek bulunmuştur Aynı şekilde Sodyum içeriği de Gökнар alanından daha fazladır (Şekil 95).



Şekil 95. Çalışma alanının derinlik kademesine göre toprağın hidro-fiziksel özellikleri

3.1.6. Mikro Havzanın Jeomorfolojik Karakteristiği

Havza Alanı ve çevresi: Havzanın alanı $0,88 \text{ km}^2$ ve çevresi $4,76 \text{ km}$ olarak hesaplanmıştır (Şekil 96). Form Faktörü: Havzanın form faktörü $0,27$ olarak bulunmuştur. Form faktörü $0,5$ 'den küçük olduğu için ve şekil bakımından dar ve uzun bir yapıya sahiptir. Dairesellik oranı: Dairesellik oranı havza jeolojisinin homojenliği hakkında fikir vermesi bakımından önemlidir. Mikro havzanın dairelilik oranı $0,49$ olarak bulunmuştur. Homojen havzalarda bu değer $0,6-0,7$ arasındadır. Bu değer $0,4-0,5$ arasında olması ise havzanın heterojen jeolojik yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Uzama oranı: Uzama oranı $0,17$ olarak bulunmuştur ve uzama oranı çeşitli iklim ve jeolojik yapı tiplerinde $0,6-1,0$ arasında değişir. Bu değer $0,4$ 'den düşük çıkması ise yüzeysel akış sularının havza çıkışına ulaşmasının uzun olduğu anlamını taşır. Dere sayısı: Havzanın dere numarası Strahler yöntemine göre bulunmuştur. Devamlı ve kuru derelerin sayısı 14 adet olarak belirlenmiştir. Ana Dere Eğimi: Ana dere uzunluğu 1426 metredir. Ana dere eğimi ise havzanın çıkışına doğru azalmakta olup ortalama eğimi yaklaşık $\%39$ olarak bulunmuştur. Akarsuyun eğimi dere akış hızını doğrudan etkiler. Eğim arttıkça hız da artmaktadır. Dere Sıklığı: Dere sıklığı $15,9$ olarak bulunmuştur. Bu da havzada birim alanda (km^2) düşen dere sayısını ifade etmektedir. Drenaj Yoğunluğu: Devamlı ve periyodik derelerin toplam uzunluğu $2,282 \text{ km}$ olarak bulunmuştur. Bu değer havza alanına oranlandığında $3,275$ değeri hesaplanır. Drenaj yoğunluğunun $2,5$ 'den yüksek olması, iyi gelişmiş drenaj sistemine sahip olduğunu ve yüzeysel akışın çabukça oluştuğunu göstermektedir. Konsantrasyon Zamanı: Konsantrasyon zamanı $14,85 \text{ dk}$ bulunmuştur. Konsantrasyon zamanının uzunluğu ya da kısalığına havzanın büyüklüğü, drenaj özellikleri, havza şekli, havzanın topografik yapısı etki eder.

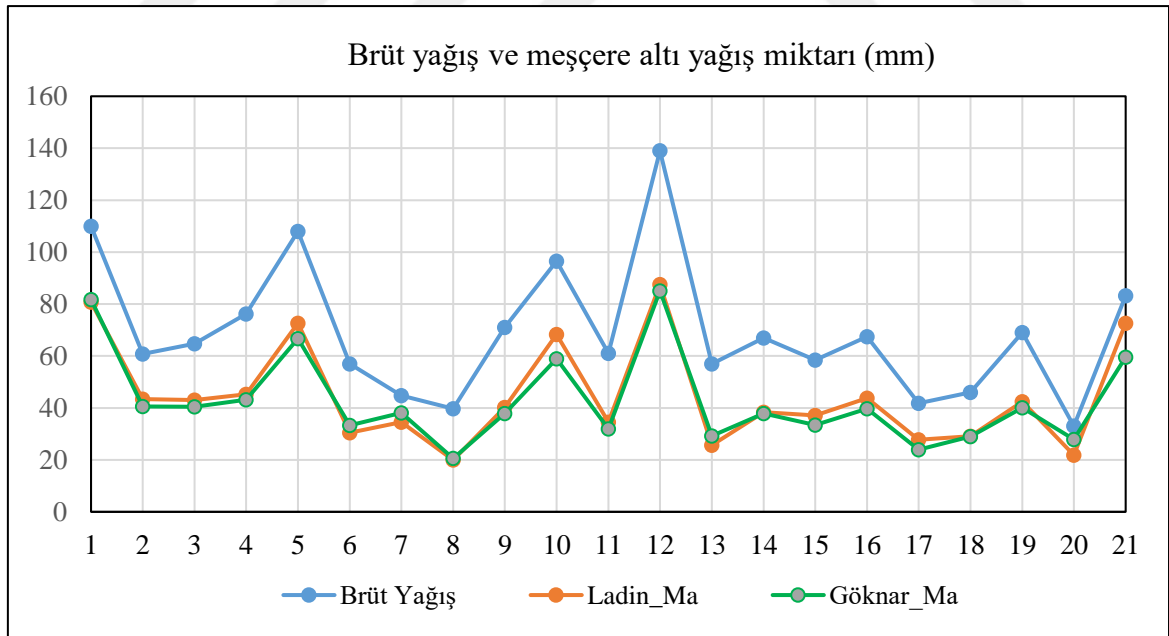


Şekil 96. Mikro havzanın genel karakteristiği

3.2. İntersepsiyon Bileşenlerinin Tespiti

3.2.1. Brüt Yağış (Yt0) ve Meşçere Altı Yağışlar (Yma)

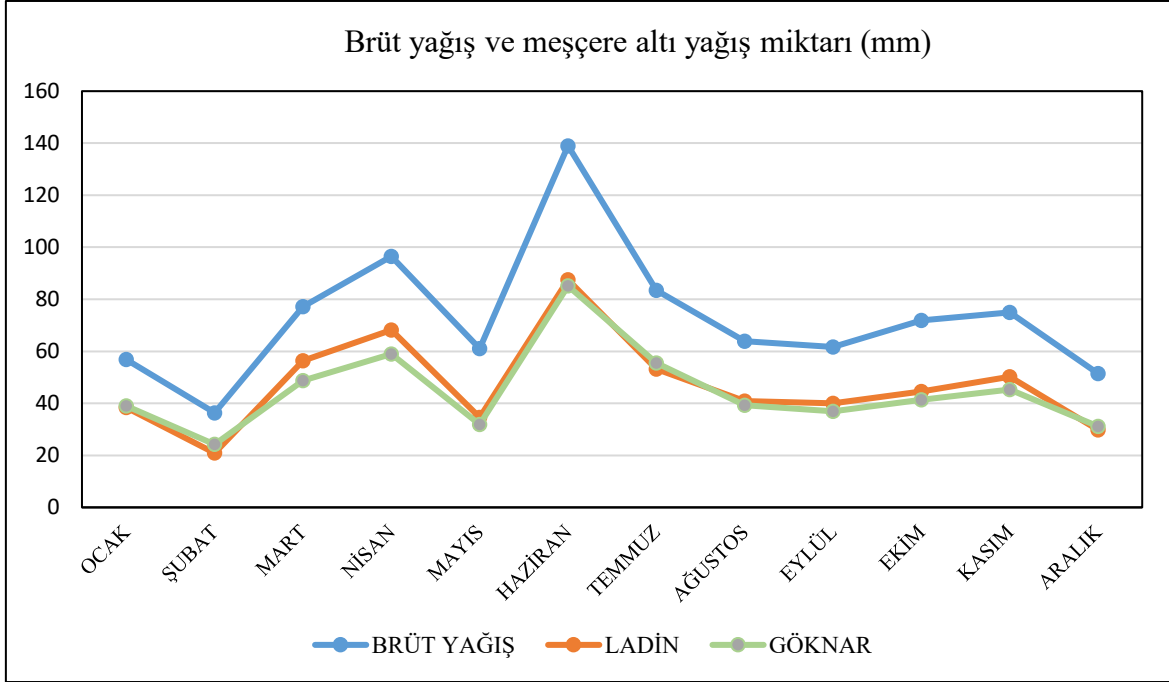
Çalışma alanında ölçüm periyodunda toplam brüt yağış miktarı 1451,70 mm/m² ölçülmüştür. Ladinde meşçere altı toplam yağış miktarı 939,15 mm/m² iken Gökvarda ise bu değer 898,89 mm/m² olarak ölçülmüştür. Bu değerler aylık ortalamalar şeklinde örnekleme sayısı ile gösterilmiştir (Şekil 97). Bu veriler açık alana kurulan 2 adet manuel yağışölçerin, meşçere altı yağışta ise Ladin ve Gökvar için 12 adet yağış ölçerin ortalamasıdır. Ölçülen 21 aylık dönemde en yüksek değer, ölçümlerin alındığı 12. ay olan 2019 Haziran ayında 139 mm olarak tespit edilmiştir. En düşük değer ise 20. ay olan 2020 Şubat ayında 33 mm olarak ölçülmüştür. Bununla birlikte ölçülen 21 aylık değerlerin ortalaması kullanılarak 12 aylık ve mevsimlik değişim grafikleri (Şekil 4.10, 4.11) oluşturulmuştur (Hesaplama aynı aya ait değerlerin aritmetik ortalaması alınmıştır). Daha sonraki bölümlerde dijital iklim istasyonlarından elde edilen veriler ayrıca verilir değerlendirilmiştir.



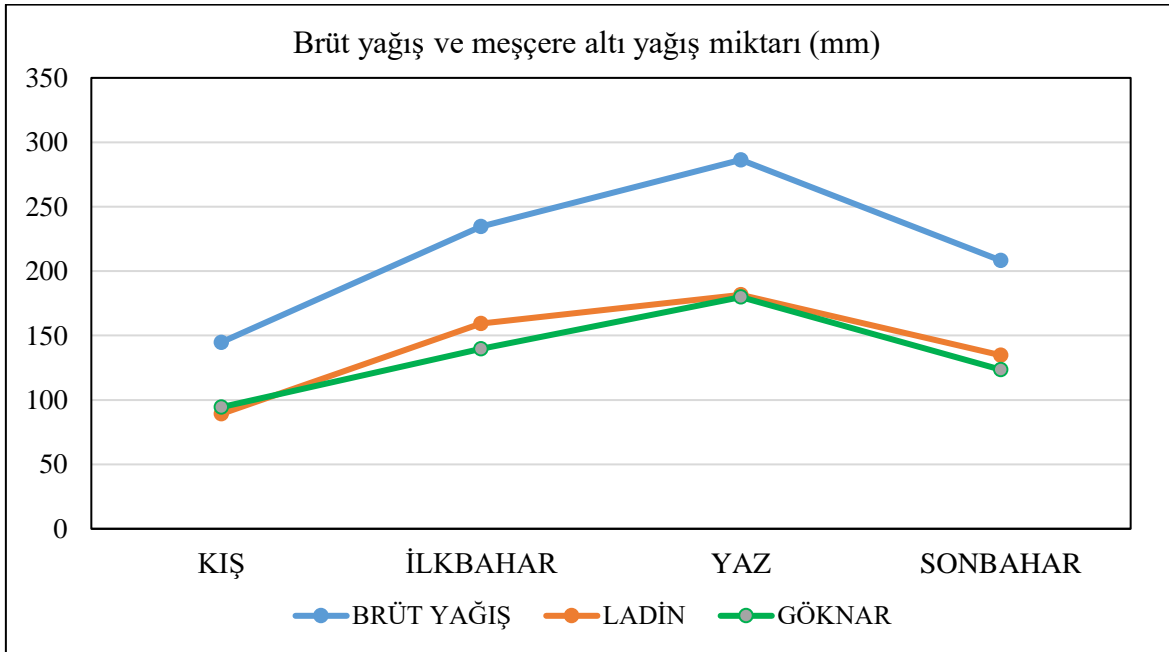
Şekil 97. Ölçüm periyodunda açık alana düşen ve meşçere altına düşen yağışların değişimi

Ölçülen veriler yıl içinde aylara göre değerlendirildiğinde, Haziran ayında brüt yağışa bağlı olarak meşçere altı yağışlar en yüksek değerlerini almıştır. Yine brüt yağışa bağlı

olarak yıl içinde en düşük yağış Şubat ayında gerçekleşmiş, buna paralel olarak Ladin ve Gökmar deneme alanlarında Şubat ayı en düşük meşçere altı yağışına sahip ay olmuştur (Şekil 98). Mevsimsel olarak değerlendirildiğinde ise en düşük yağışlar kış aylarında, en yüksek yağışlar da yaz aylarında gerçekleşmiştir (Şekil 99).

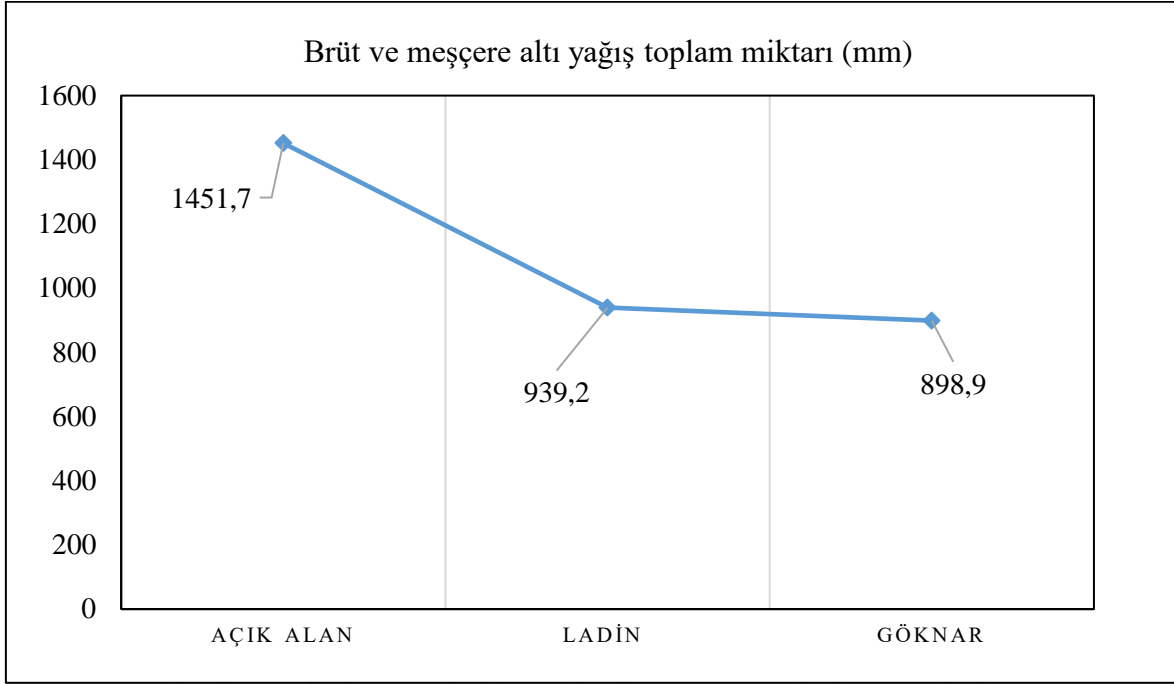


Şekil 98. Açık alana ve meşçere altına düşen yağışların yıl içindeki değişimi

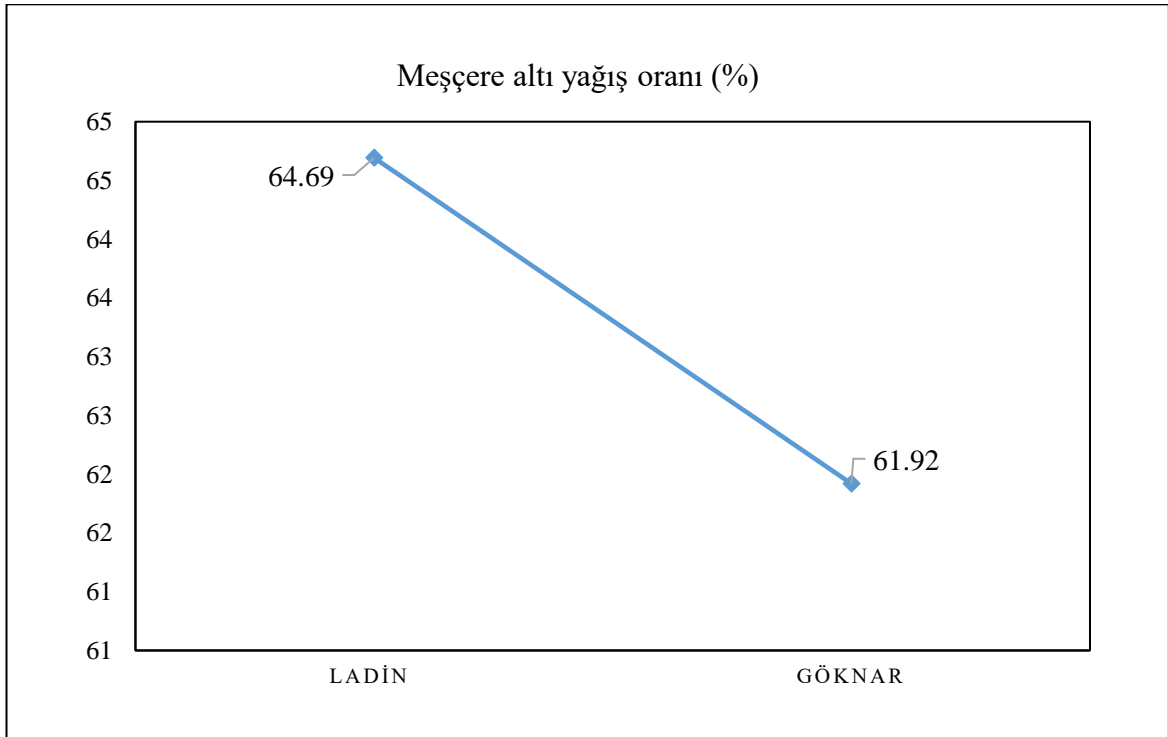


Şekil 99. Açık alana ve meşçere altına düşen yağışların mevsimsel değişimi

Genel olarak değerlendirildiğinde, açık alan düşen toplam brüt yağışın yaklaşık %64,69'u Ladin deneme alanında meşçere altı yağışa geçerken, bu değer Gök nar meşçeresinde %61,92 olmuştur (Şekil 100,101).



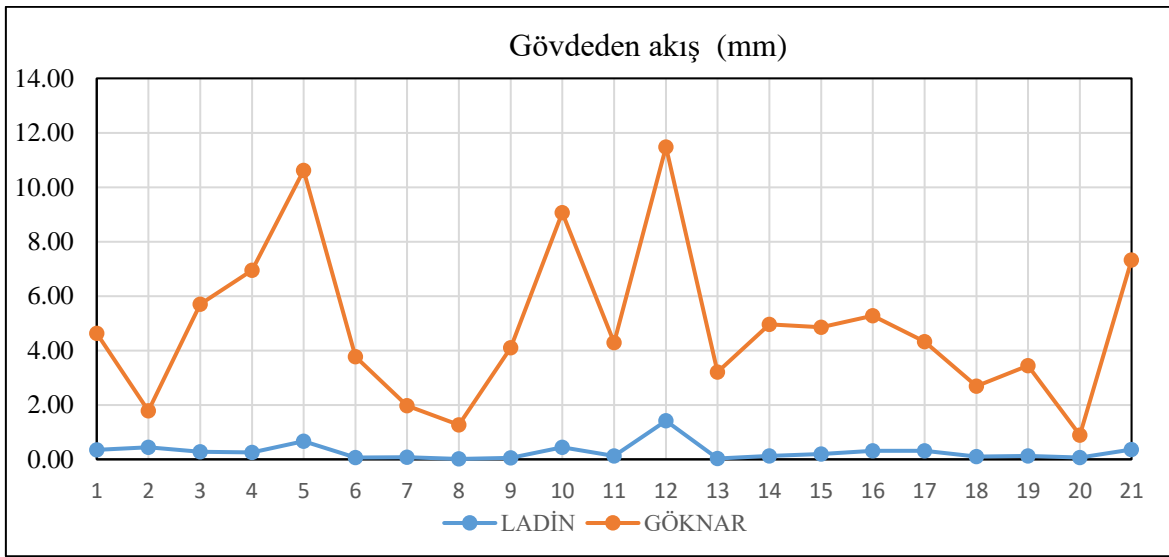
Şekil 100. Açık alana ve meşçere altına düşen ölçülen toplam yağışların değişimi



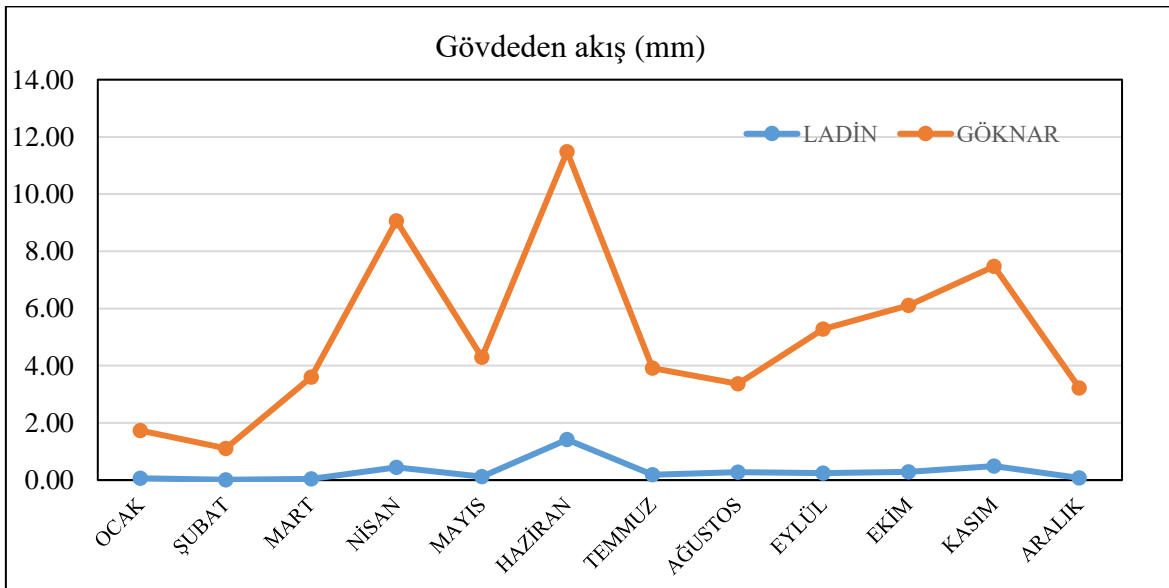
Şekil 101. Açık alana düşen brüt yağışın meşçere altı yağış oranı

3.2.2. Gövdeden Akışlar (Yga)

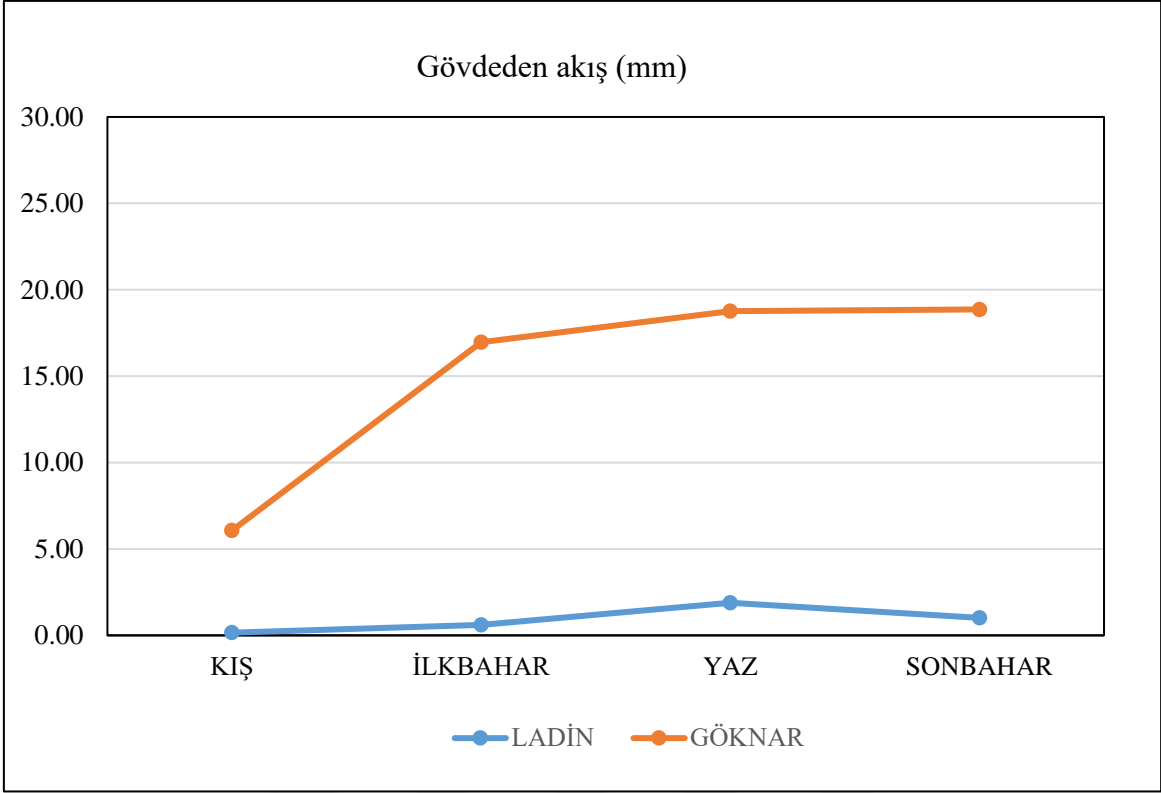
Ölçüm periyodu olan 21 aylık sürede toplam gövdeden akış miktarı Ladinde $5,82 \text{ mm/m}^2$ ve Gökvarda ise $102,58 \text{ mm/m}^2$ olarak hesaplanmıştır. Bununla birlikte ölçülen değerlerin ortalaması kullanılarak 12 aylık ve mevsimlik değişim grafikleri aşağıda verilmiştir (Şekil 102-104). Buna göre tüm ölçüm dönemlerinde olduğu gibi Gökvar meşçeresindeki gövdeden akış miktarı, tüm dönemlerde, Ladin meşçeresinden neredeyse 18 kat fazla olmuştur (Şekil 105).



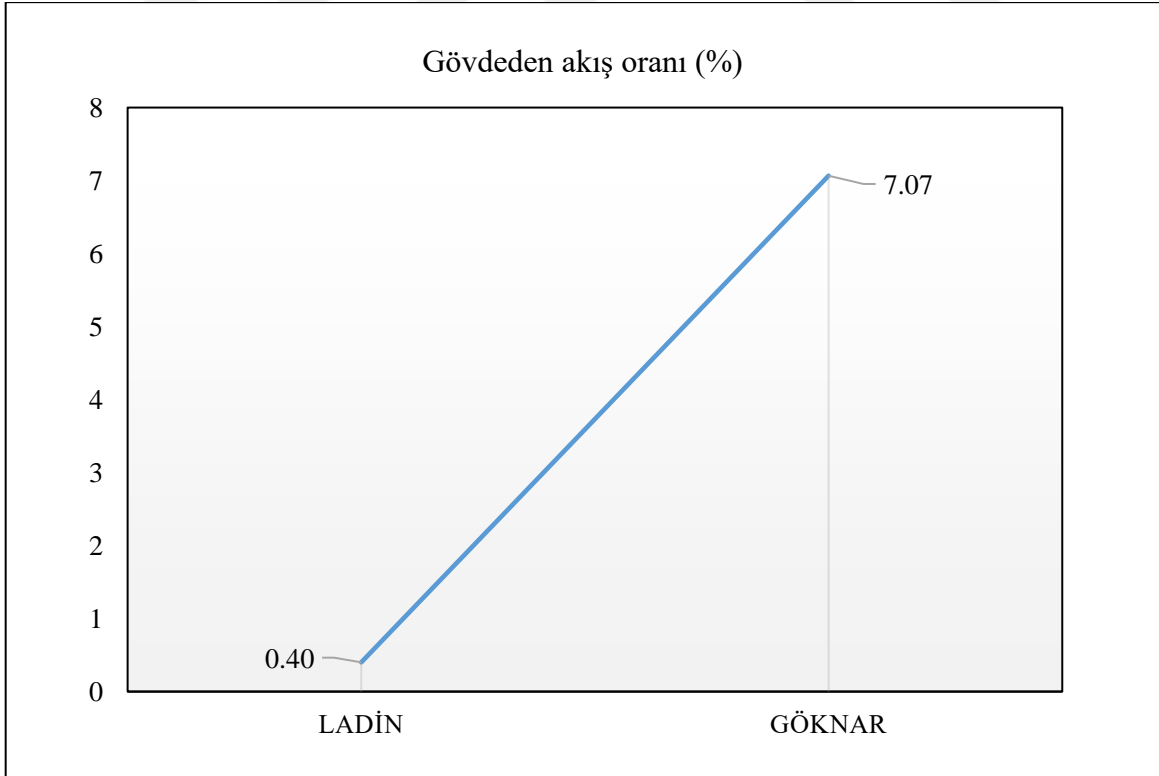
Şekil 102. Meşçerelerde gövdeden akışların ölçüm periyodundaki değişimi



Şekil 103. Meşçerelerde gövdeden akışların yıl içindeki değişimi



Şekil 104. Meşçerelerde gövdeden akışların mevsimsel değişimi



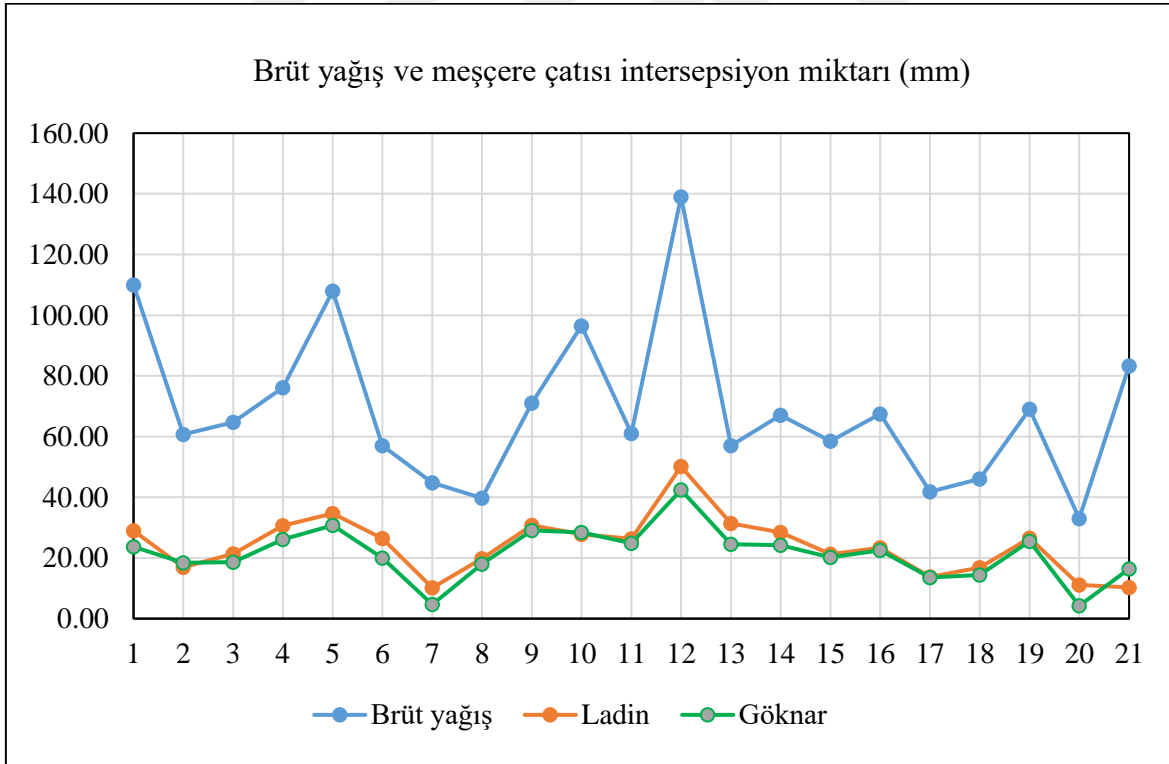
Şekil 105. Meşçerelerde gövdeden akışların brüt yağışa göre oranı

3.2.3. Meşçere Çatısı İntersepsiyonu (İm)

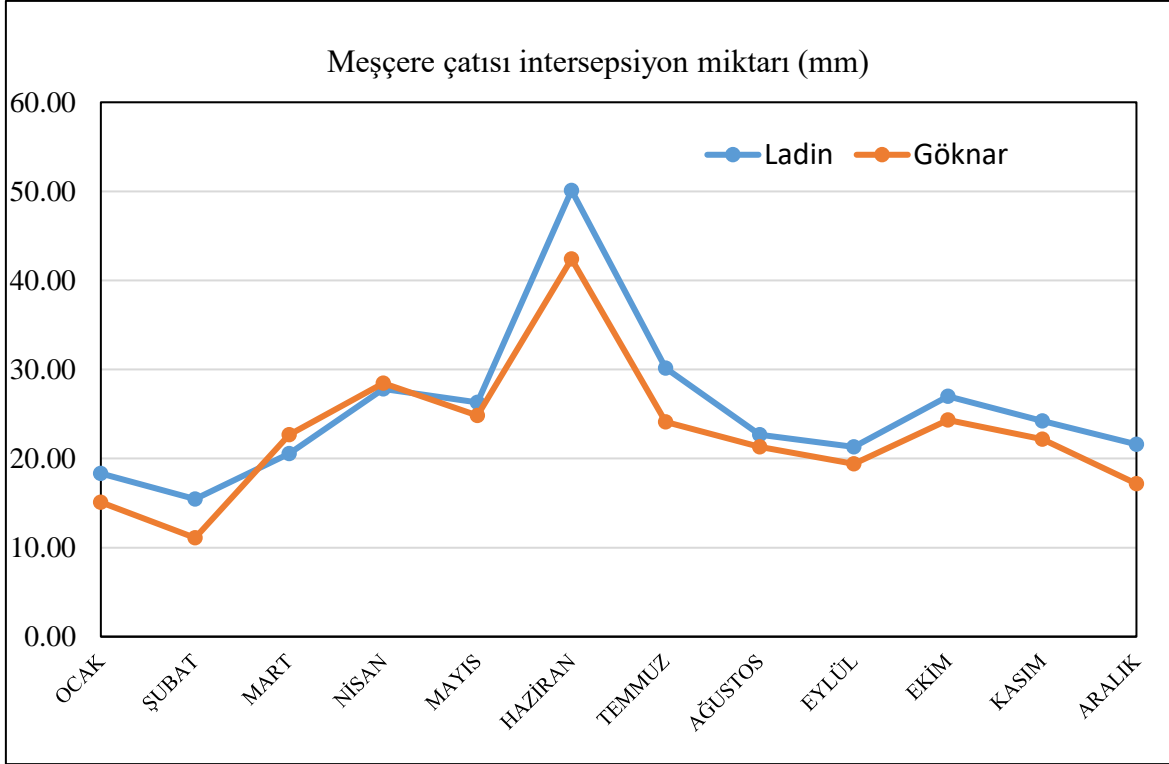
Meşçere çatısı intersepsiyonu brüt yağış (Yt0) ve net yağış (Ynet) arasındaki fark ile tahmin edilebildiği durumda;

$$\text{İm} = Y_{t0} - Y_{\text{net}} = Y_{t0} - (Y_{\text{ma}} + Y_{\text{ga}}) \quad (26)$$

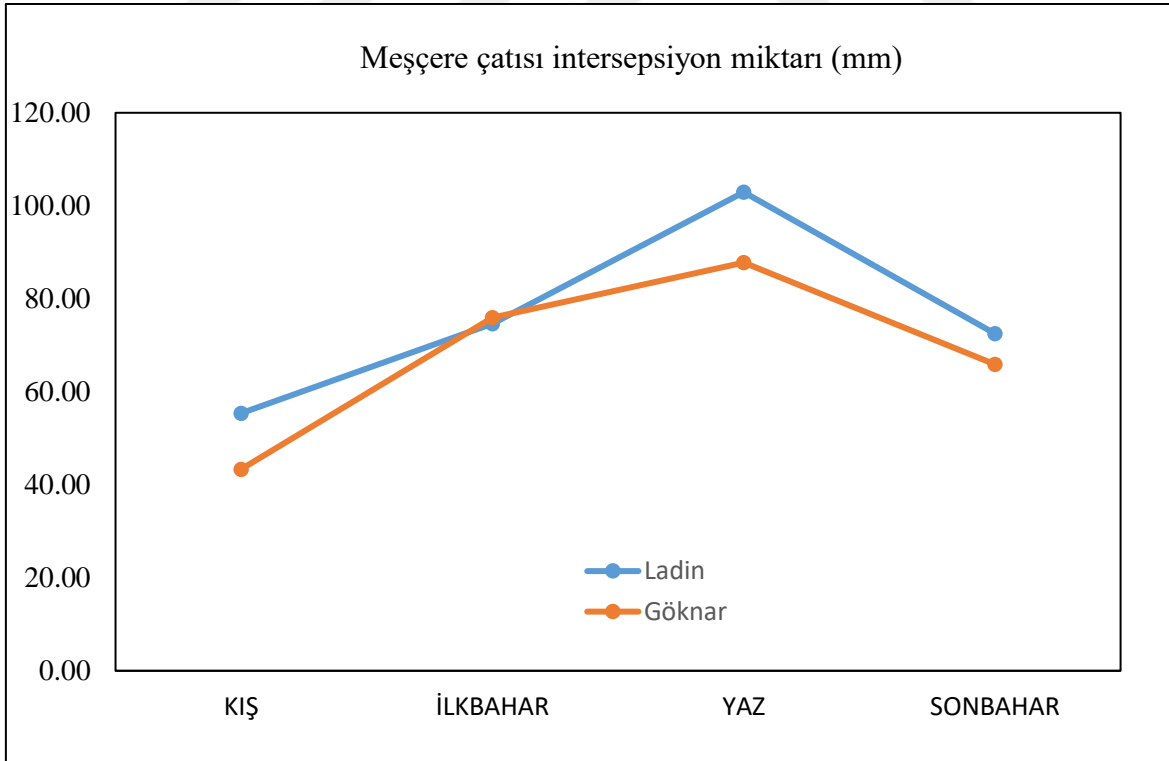
Çalışmamızda 21 aylık veriler değerlendirildiğinde, hemen hemen tüm dönemlerde, Ladin meşçeresindeki meşçere çatısı intersepsiyonu Gökmar meşçeresine göre artma eğilimi göstermiştir. Bununla birlikte 21 aylık ölçüm ortalamaları, aylık dönemler halinde Ladin ve Gökmar meşçereleri için grafikler halinde sunulmuştur. Bununla birlikte 12 aylık ve mevsimlik değişim grafikleri de aşağıda sunulmuştur. (Şekil 106-108). Genel olarak 21 aylık ölçüm periyodu değerlendirildiğinde, Ladinde toplam 506,73 mm/m² meşçere çatısı intersepsiyonu gerçekleşmiş iken Gökmar'da bu değer 450,23 mm/m² olmuştur. Bu değerler de açık alana gelen brüt yağışın (1451,7mm) %34,1'inin Ladinde, %31,01'inin de Gökmar alanından meşçere çatısı aracılığı ile intersepsiyona uğradığını göstermiştir (Şekil 109).



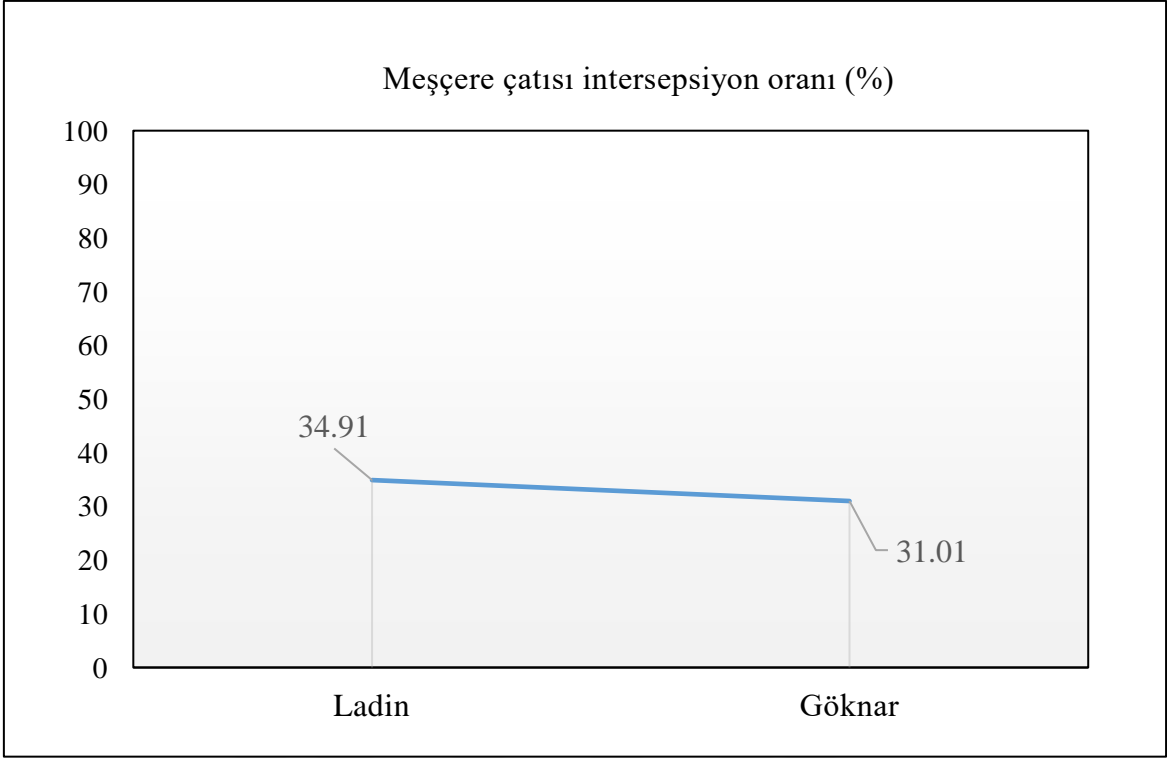
Şekil 106. Brüt yağış ve meşçere çatısı intersepsiyonunun ölçüm periyodundaki değişimi



Şekil 107. Meşçere çatısı intersepsiyonunun yıl içindeki aylara bağlı değişimi



Şekil 108. Meşçerelerde meşçere çatısı intersepsiyonunun mevsimsel değişimi

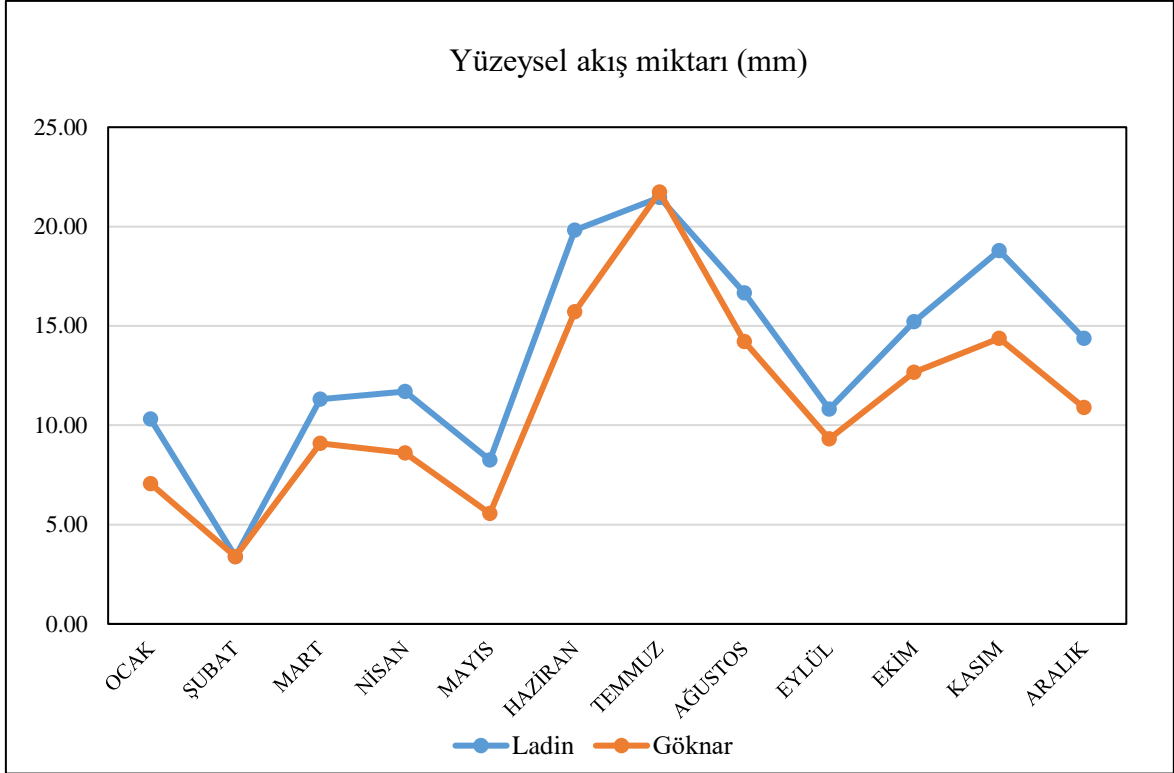


Şekil 109. Brüt yağışın meşçere çatısından intersepsiyon oranı

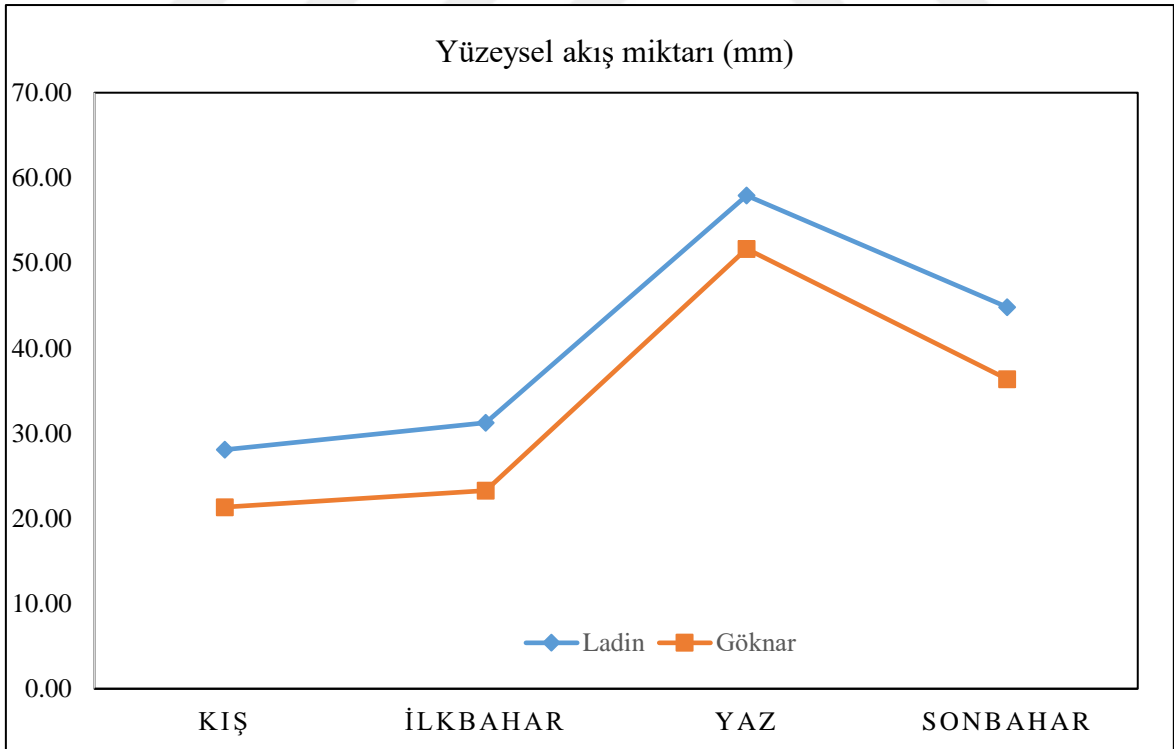
3.2.4. Yüzeysel Akış (Yya)

Ölçüm periyodu olan 21 aylık sürede toplam yüzeysel akış miktarı Ladinde $284,37 \text{ mm/m}^2$ ve Göknardada ise $235,33 \text{ mm/m}^2$ olarak hesaplanmıştır. Bununla birlikte ölçülen değerlerin ortalaması kullanılarak 12 aylık ve mevsimlik değişim grafikleri aşağıda verilmiştir (Şekil 110,111).

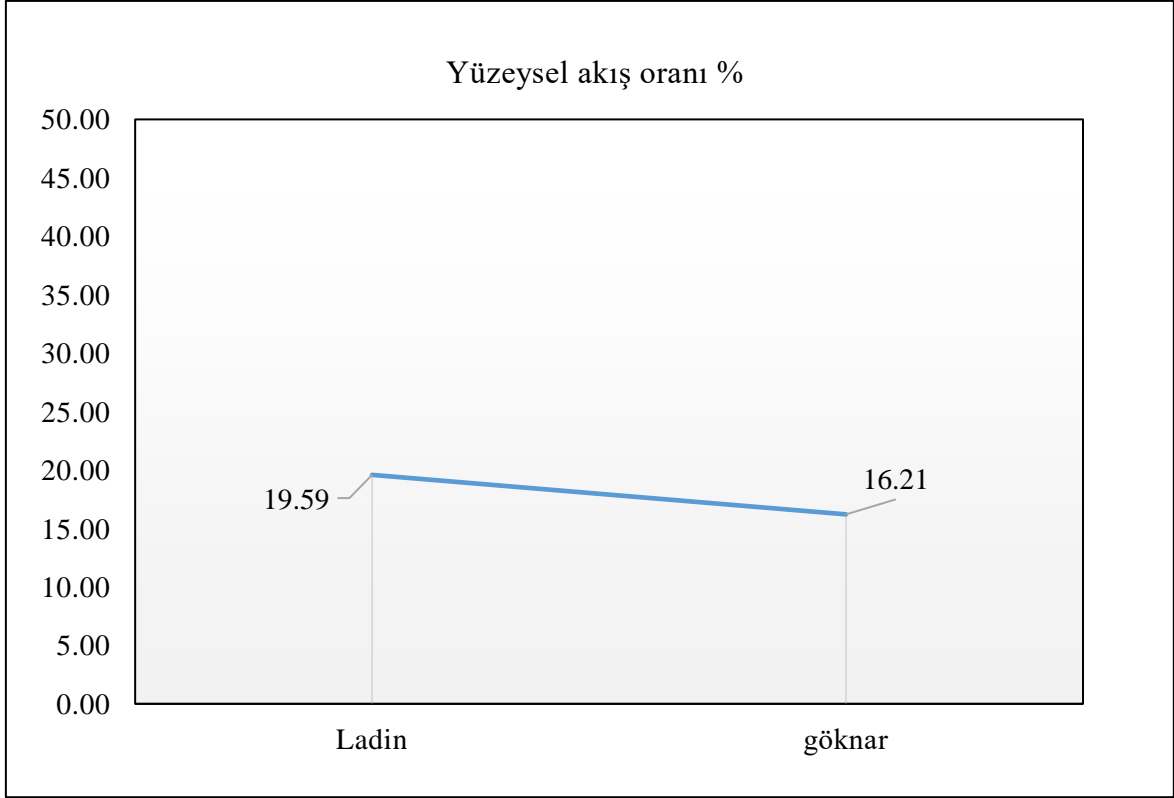
Tüm ölçüm periyodunda Ladin meşçeresindeki yüzeysel akış miktarı, Göknarada göre daha fazla ölçülmüş ve artış-azalışlar paralel olmuştur. Mevsimsel bazda değerlendirildiğinde ise yine Ladin ve Gökнар meşçeresi paralel artış-azalışlar sergilemektedir. Meşçerelerde en düşük yüzeysel akış değeri Kış mevsiminde Ladinde toplam $28,07 \text{ mm/m}^2$, Göknardada ise $21,33 \text{ mm/m}^2$ olarak ölçülmüştür. En yüksek yüzeysel akışın gerçekleştiği mevsim ise Sonbahar olmuştur. Bu mevsimde Ladinden yüzeysel akış miktarı toplam $44,81 \text{ mm/m}^2$ olur iken, bu değer Göknardada $36,35 \text{ mm/m}^2$ olarak tespit edilmiştir (Şekil 111). Bu sonuçlarla Ladinde yıllık ortalama yüzeysel akış oranı brüt yağışın %19,59'unu oluştururken, Göknardada ise bu değer %16,21 olmuştur (Şekil 112). Bu sonuçla, Gökнар meşçeresindeki yüzeysel akış miktarı orman örtüsündeki farklılıktan dolayı Ladin meşçeresine göre daha düşük çıkmıştır.



Şekil 110. Meşcerelerde meşcere çatısı intersepsiyonunun yıl içindeki aylara bağlı değişimi



Şekil 111. Meşcerelerde yüzeysel akışın mevsimsel değişimi



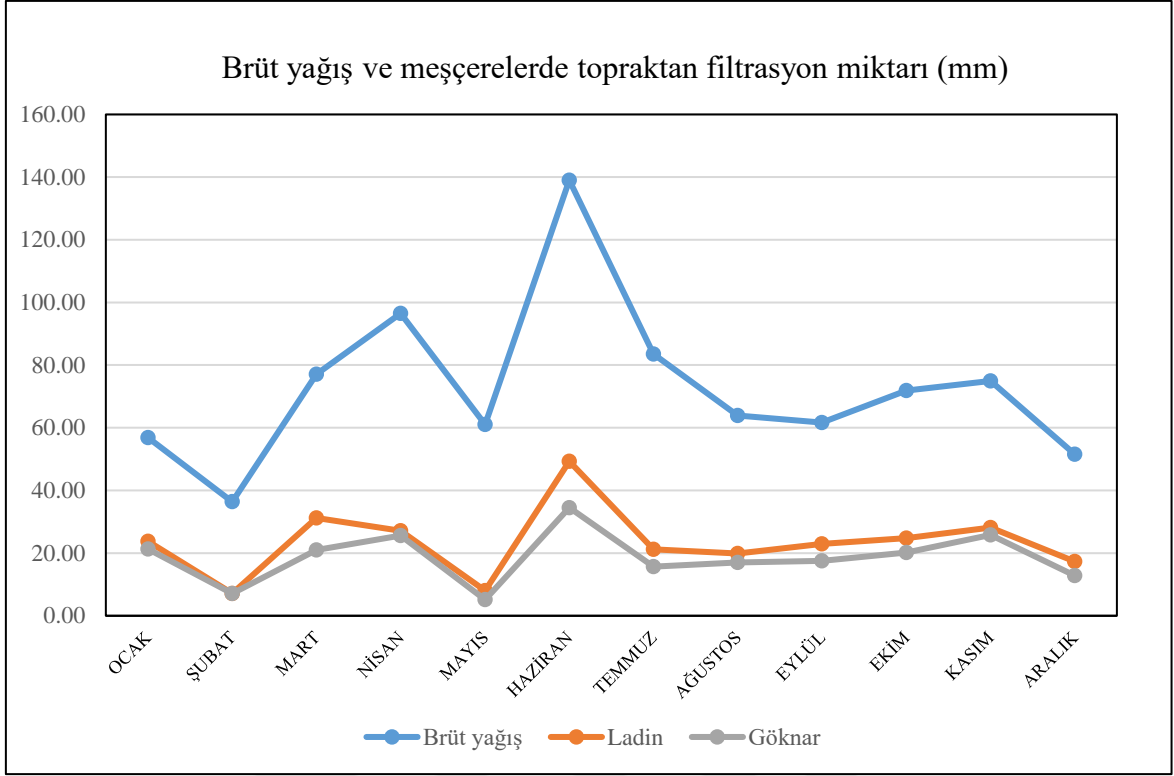
Şekil 112. Brüt yağışın meşçerelerde yüzeysel akışa geçiş oranı

3.2.5. Topraktan Filtrasyon (Yfiltre)

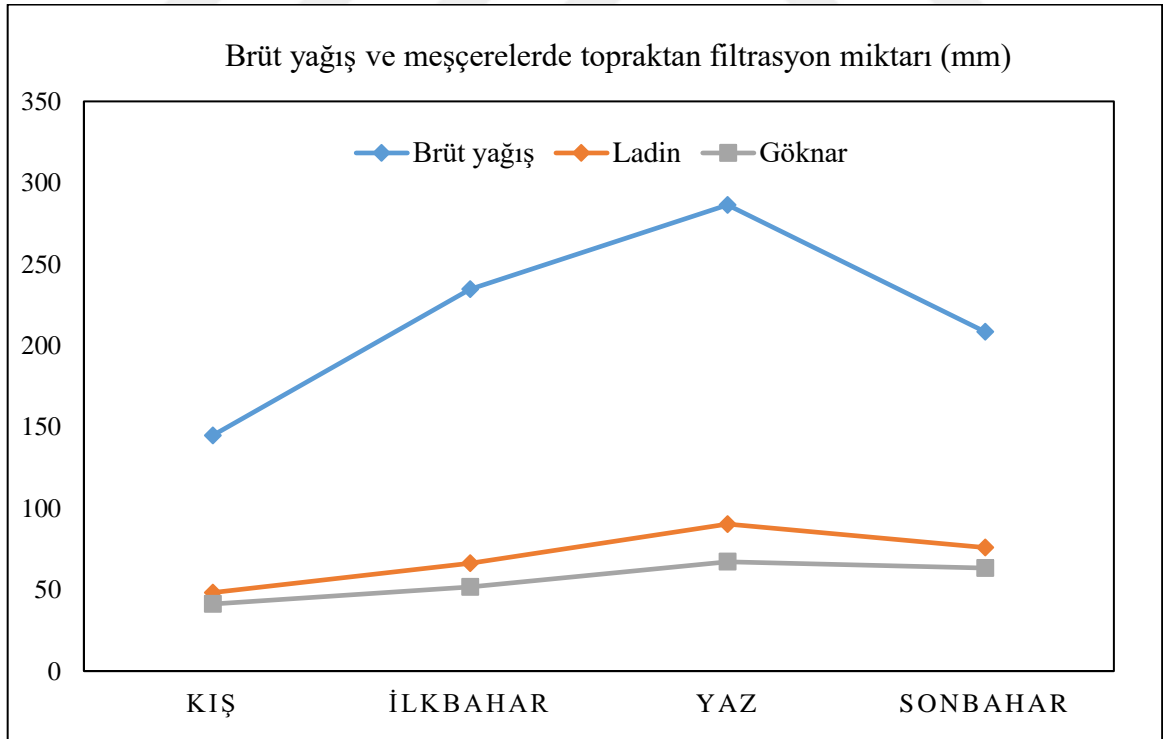
Ölçüm periyodu olan 21 aylık sürede toplam filtrasyonla aşağı sızan su miktarı Ladinde $477,15 \text{ mm/m}^2$ ve Gökvarda ise $381,51 \text{ mm/m}^2$ olarak hesaplanmıştır. Bununla birlikte ölçülen değerlerin ortalaması kullanılarak 12 aylık ve mevsimlik değişim grafikleri aşağıda verilmiştir (Şekil 113,114).

Tüm ölçüm periyodunda Ladin meşçeresindeki orman örtüsünden filtrasyon miktarı, Gökvara göre daha fazla ölçülmüş ve artış-azalışlar paralel olmuştur. Bununla birlikte zamana bağlı artış-azalışlar brüt yağış miktarına göre paralel seyretmiştir.

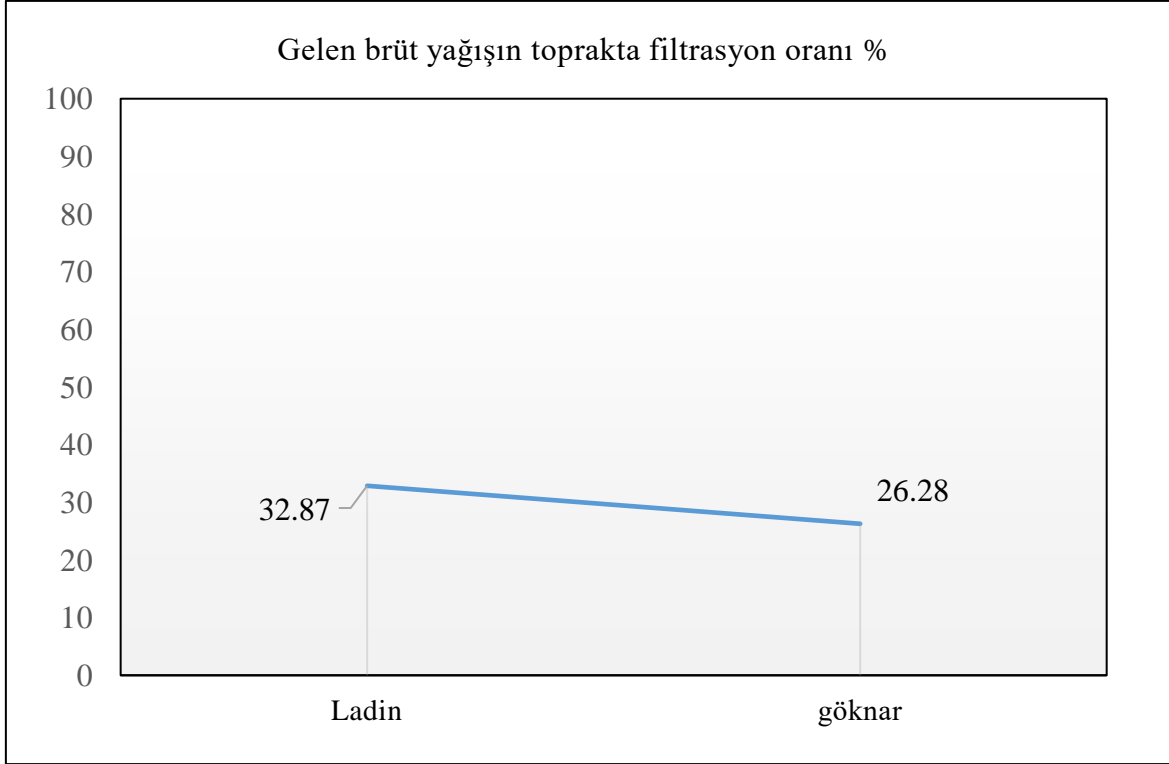
Mevsimsel bazda değerlendirildiğinde ise her iki meşçerede en yüksek filtrasyon değeri, yağış miktarının en fazla olduğu yaz mevsiminde gerçekleşmiştir (Ladin: $90,32 \text{ mm}$, Gökvar: $67,12 \text{ mm}$). Yine en düşük değerler ise brüt yağışın en az olduğu kış mevsiminde teşekkül olmuştur. Yıllık brüt yağışın topraktan filtrasyon oranı ise Ladinde %32,87 olur iken Gökvarda bu değer %26,28 olmuştur (Şekil 115). Bu konuda orman örtüsü kalınlığı önemli bir rol üstlenmiştir.



Şekil 113. Brüt yağışın meşçerelerde topraktan filtrasyonun yıl içindeki dağılımı



Şekil 114. Brüt yağışın meşçerelerde topraktan filtrasyonun mevsimsel dağılımı



Şekil 115. Brüt yağışın meşçerelerde topraktan filtrasyon oranı

3.2.6. Orman Örtüsü İntersepsiyonu (İö)

Ladin ve Göknaarda 0-30 cm derinlikteki maksimum su tutma kapasitesi volümetrik olarak %53,8 olarak tespit edilmiştir. Orman örtüsü düzeneği $1 \times 1 \times 0.3 = 0,3 \text{ m}^3$ lük bir hacim yapmaktadır. Bunun da maksimum su tutma kapasitesi Ladin ve Göknaarda %53,8'dir. Buradan $0,3 \text{ m}^3 \times 0,5380 = 0,1614 \text{ m}^3$ su yapmaktadır. Bu da 161,4 mm suya denk gelmektedir. Mineral toprakta (30cm) 161,4 gram maksimum su tutulmaktadır. Bu da demek oluyor ki toprakta belli bir oranda tarla kapasitesinde zaten su mevcuttur. Bunun üzerine gelen su toplam su tutuma kapasitesine kadar toprakta tutularak fazlası filtre olmaktadır. Eğer toprak tam hava kurusu halinde olsa idi her iki meşçerede de toprak 161,4 mm su ile doyuma ulaşacaktı. Bundan sonra verilen su sızarak filtre olan sudur. Ancak her zaman çalışma alanının bir tarla kapasitesi vardır. Bu tarla kapasitesi meteoroloji istasyonlarındaki ilk 20 cm de teşekkül olan nem sensöründen toprak nemi bilgilerinden alınmıştır (21 aylık ortalama). Buna göre;

Ladinde ortalama tarla kapasitesi: % 14,72

Göknaarda ise bu değer: %20,31 şeklinde teşekkül olmuştur.

Ladinde volümetrik olarak %14,72 değeri mm olarak şu şekilde hesaplanmıştır. Daimi var olan ortalama su miktarı: $0,3 \times 0,1472 = 0,04416$ bu da mm (kg)'ye çevirmek için 1000 katsayısı ile çarpılmış ve sonuç 44,16 mm bulunmuştur. Sonuç olarak $161,4 - 44,16 = 117,24$ mm su eklenirse toprak toplam su tutma kapasitesine ulaşacak anlamı taşımaktadır. Yani ladinde meşçere altı yağışın 117,24 mm si toprakta depo olmuştur. Bu da toplam 21 aylık ölçüm periyodundaki brüt yağışın (1451,7 mm) %8,1 ini oluşturmaktadır ve bu da kayıp olarak değerlendirilmiştir.

Göknarda ise %20,31 değeri de daimi ortalama tarla kapasitesi $0,3 \times 0,2031 = 0,0609 \text{ m}^3$ bu da $0,0609 \times 1000 = 60,9 \text{ mm}$ yapmaktadır. Bu şekilde $161,4 - 60,9 = 100,5$ mm toprakta depo olduğu anlamına gelmektedir. Bu da 21 aylık ölçüm periyodundaki brüt yağışın (1451,7) yaklaşık %6,9'unu oluşturmaktadır.

Orman örtüsü intersepsiyonu hesaplanmasında aşağıdaki denklem kullanılmıştır (Tablo 7).

$$\text{İö} = Y_{ma} - (Y_{ya} + Y_{filtre} + Y_{tn}) \quad (27)$$

İö (mm): Orman örtüsü intersepsiyonu, Y_{ma} : Meşçere altı yağış (mm), Y_{ya} : % Yüzeysel akış etkisi, Y_{tn} : Toprak nemi (1 m² alanda, 30 cm toprak derinliğinde tutulan su miktarı, mm).

Tablo 7. Orman örtüsü intersepsiyon hesap tablosu

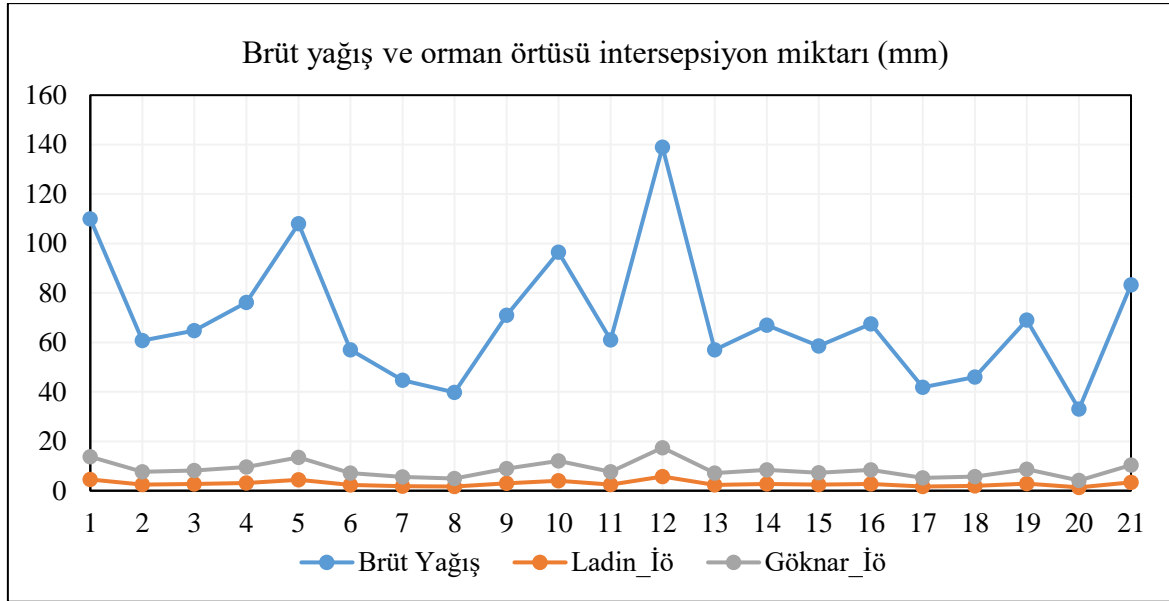
Orman örtüsü intersepsiyonu hesap tablosu		
Parametre	Ladin	Göknar
Y_{ma} %	+64.69	+61.92
Y_{ya} etkisi %	-19.59	-16.21
Y_{filtre} %	-32.87	-26.28
Y_{tn} etkisi %	-8.1	-6.9
İö %	4.13	12.53

Sonuç olarak, ladin meşçeresinde orman örtüsü intersepsiyonu %4,13 olur iken, göknar meşçeresinde orman örtüsü intersepsiyonu %12,53 olmuştur.

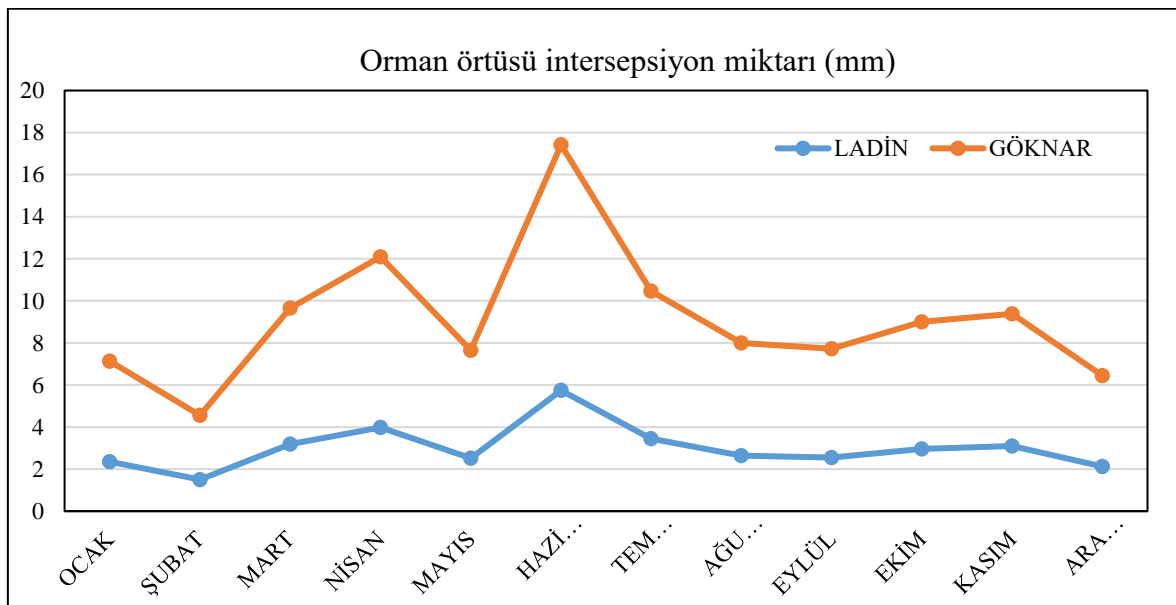
Orman intersepsiyon değerleri, ölçüm periyotlarında (n=42) brüt yağışlara oranlanarak ölçüm periyodundaki orman örtüsü intersepsiyon miktarları bulunmuştur. Bu veriler ile dönemlik ve mevsimlik değişim trendleri oluşturulmuştur. Meşçere altı yağış verileri

kullanılarak da regresyon denklemi oluşturulmuştur. Burada azalan bir fonksiyonun olması gerekmektedir. Çünkü orman örtüsü maksimum su tutma kapasitesine ulaştıktan sonra durağan hale gelecektir.

Ölçüm periyodunda, Ladin ve Gökmar meşcerelerinde orman örtüsü intersepsiyon değerleri yıllık brüt yağışa paralel olarak maksimum değerini 12. ölçüm zamanında Haziran ayında almıştır. En düşük değer de 20. ölçüm zamanında, Şubat ayında meydana gelmiştir (Şekil 116). Yıl içinde değişim trendi de şekil 117’de verilmiştir.

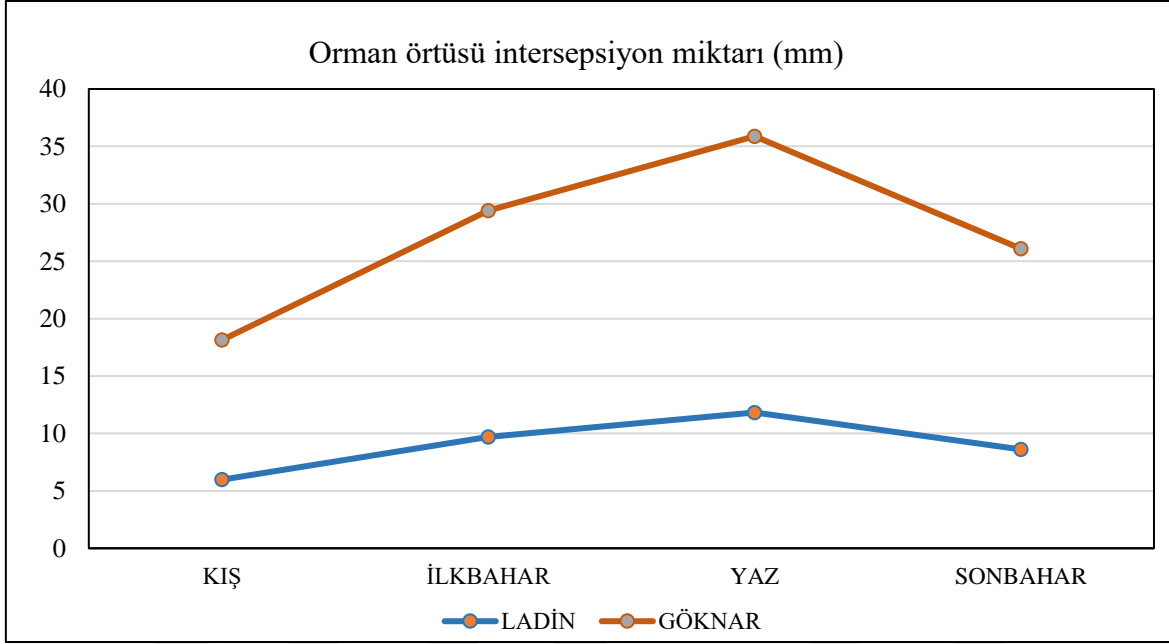


Şekil 116. Meşcerelerde orman örtüsünün ölçüm periyodundaki değişimi

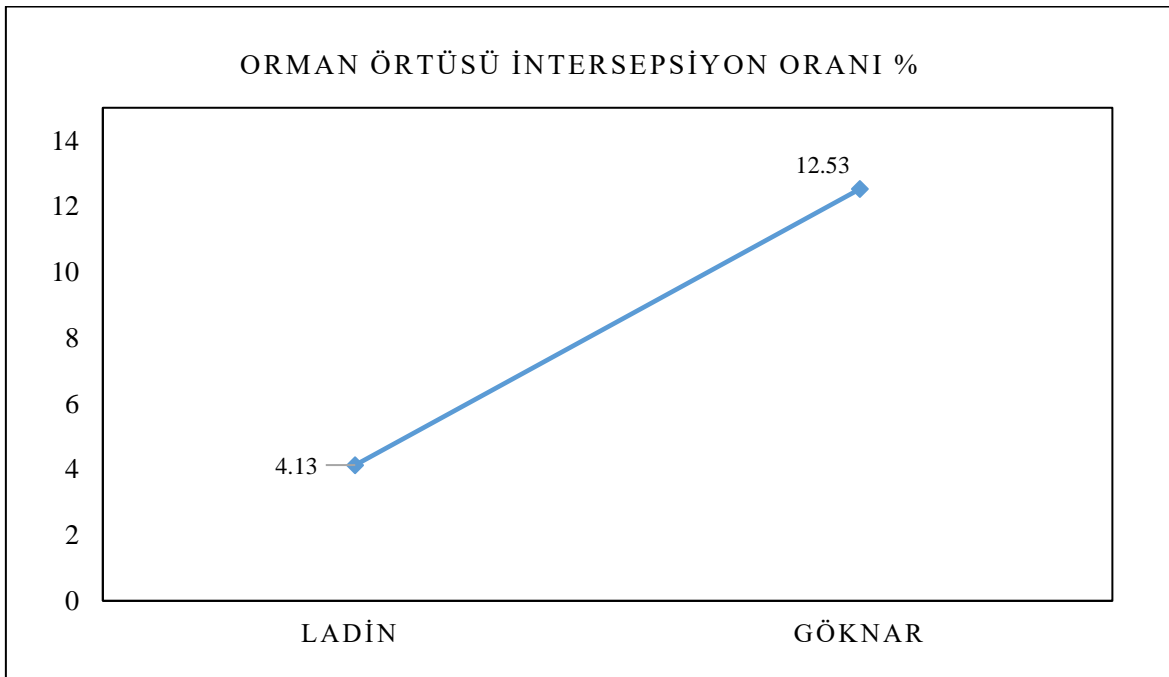


Şekil 117. Meşcerelerde orman örtüsü intersepsiyonunun yıl içindeki aylık değişimi

Göknar ve Ladin meşcerelerinde Orman örtüsü intersepsiyon değerleri mevsimse olarak değerlendirildiğinde, en fazla yaz mevsiminde gerçekleştiği, en düşük değerlerin de kış aylarında teşekkül olduğu tespit edilmiştir (Şekil 118). Toplam intersepsiyon değerleri de şekil 119’da verilmiştir. Bu değer Göknarda, Ladine göre 3 kat daha fazla gerçekleşmiştir.



Şekil 118. Meşcerelerde orman örtüsü intersepsiyonunun mevsimsel değişimi



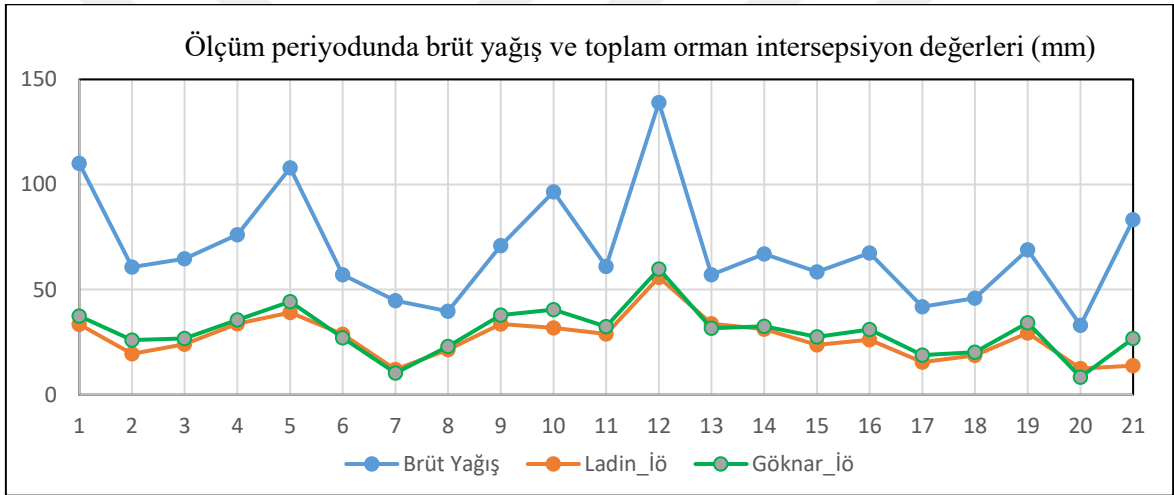
Şekil 119. Brüt yağışın orman örtüsünden intersepsiyon oranı

3.2.7. Toplam Orman İntersepsiyonu (İto)

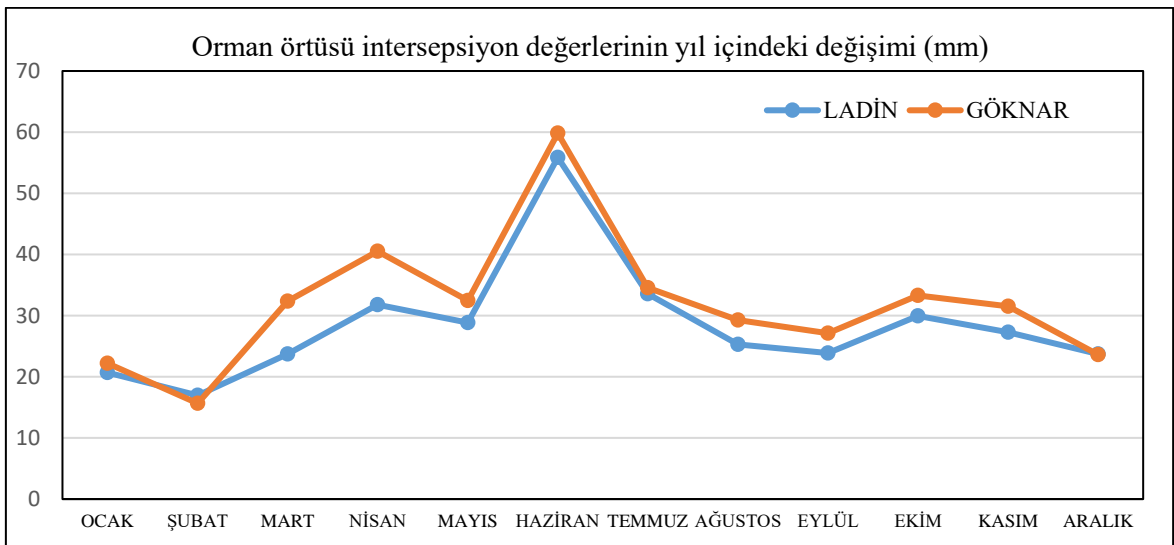
Kantitatif olarak, toplam orman intersepsiyonu (İto), meşçere çatısı intersepsiyonu (İm) ve orman örtüsü (İö) intersepsiyonunun toplamı olarak hesaplanmıştır.

$$\text{İto} = \text{İm} + \text{İö} \quad (28)$$

Ölçüm periyodunda gerçekleşen toplam intersepsiyon değerlerinin değişim aylık ve mevsimlik değişim grafikleri (Şekil 120-122) ile toplam intersepsiyon değerleri Şekil 123'de verilmiştir.

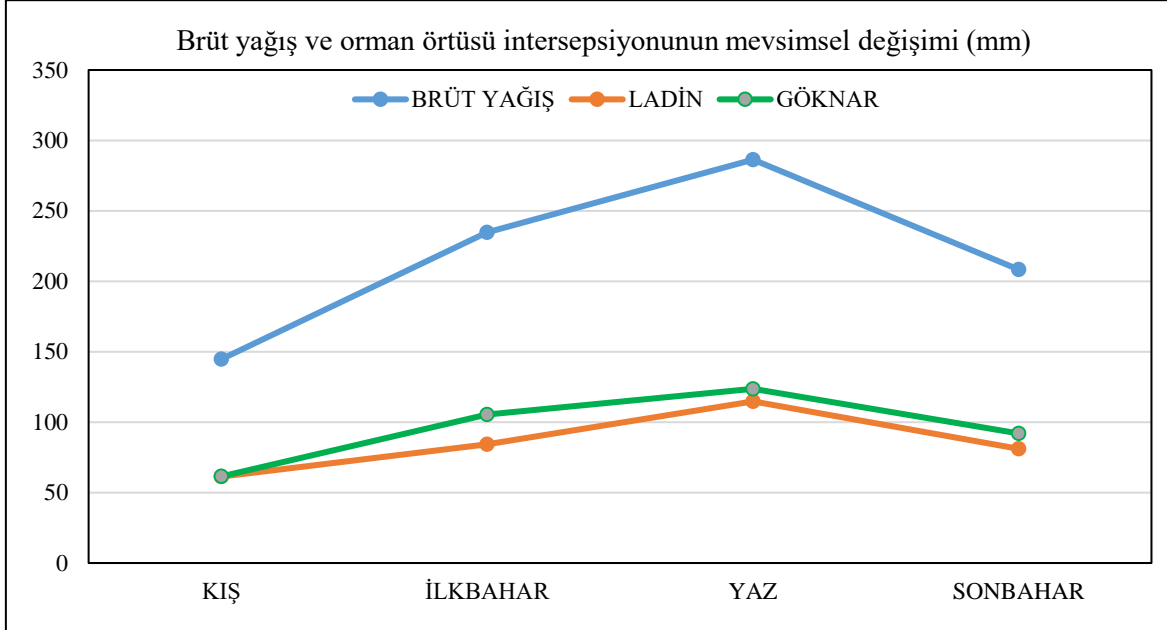


Şekil 120. Meşçerelerde orman örtüsünün ölçüm periyodundaki değişimi

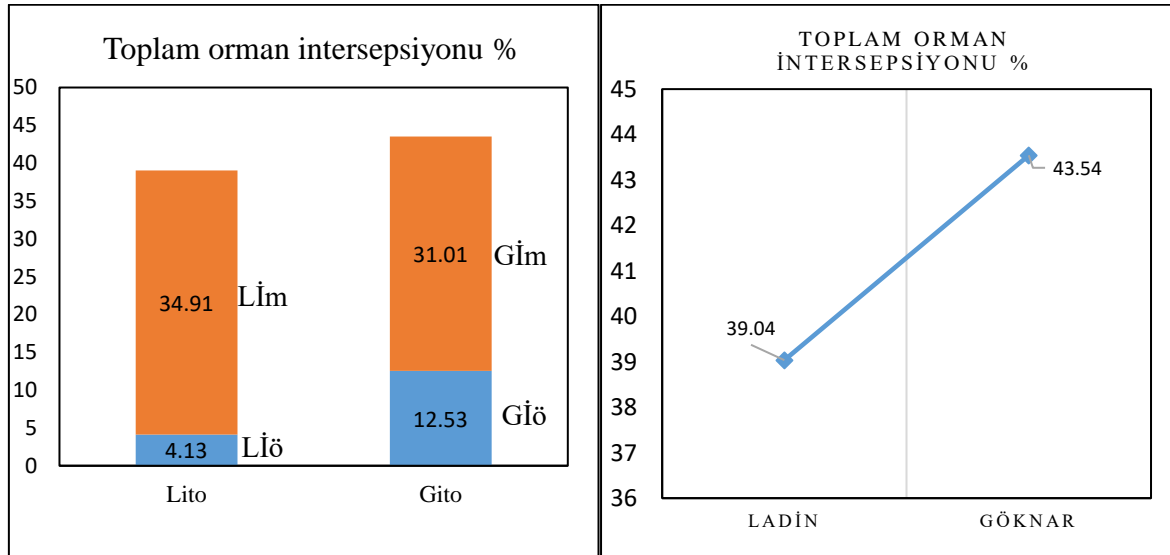


Şekil 121. Meşçerelerde orman örtüsü intersepsiyonunun yıl içindeki aylık değişimi

Genel olarak değerlendirildiğinde toplam orman intersepsiyonu Ladinde %39,04 oranında gerçekleşir iken Göknarda bu değer %43,54 olmuştur. Toplam intersepsiyon değerleri, ekosisteme gelen brüt yağış ile paralel bir eğilim göstermiştir. Ladin ve Göknarda maksimum değerler haziran ayında gerçekleşmiştir. Yine yaz ayında maksimum, kışın ise minimum değerler almıştır.



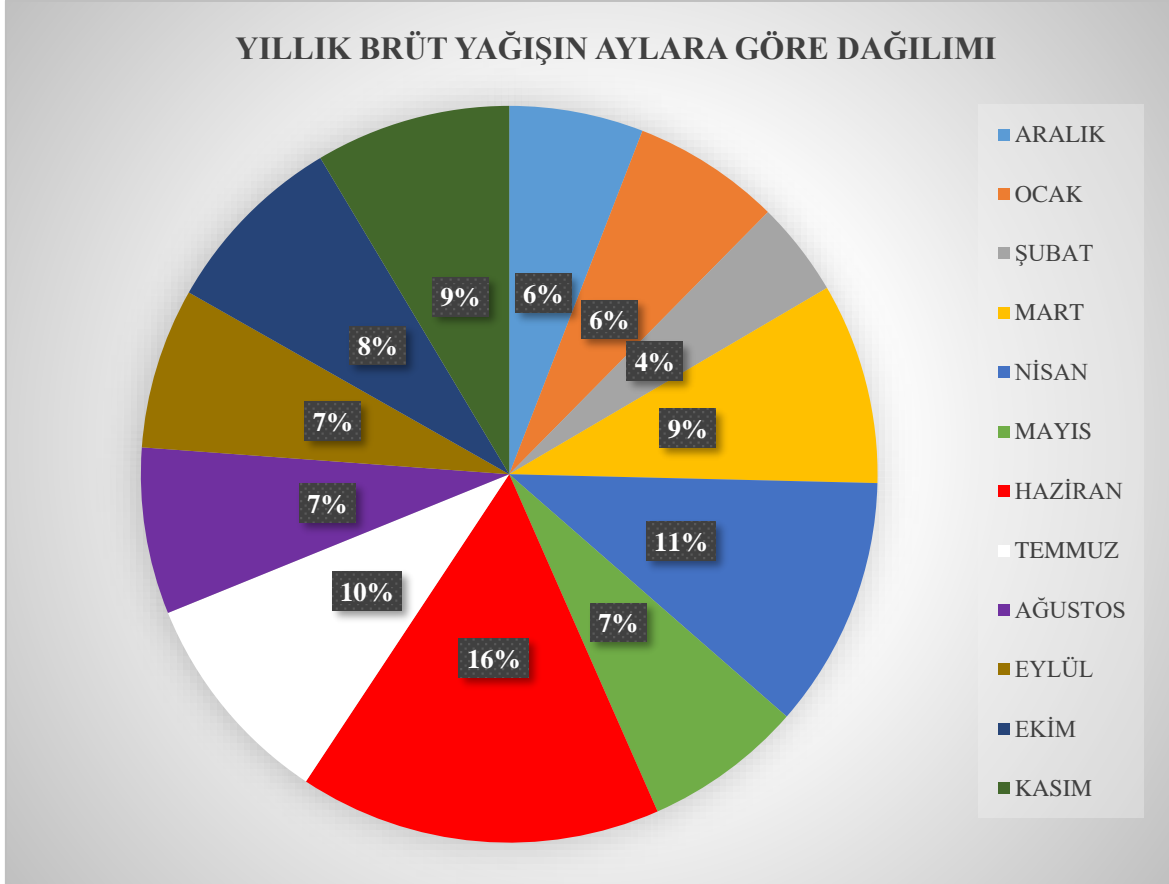
Şekil 122. Meşçerelerde orman örtüsü intersepsiyonunun mevsimsel değişimi



Şekil 123. Brüt yağışın intersepsiyon oranı

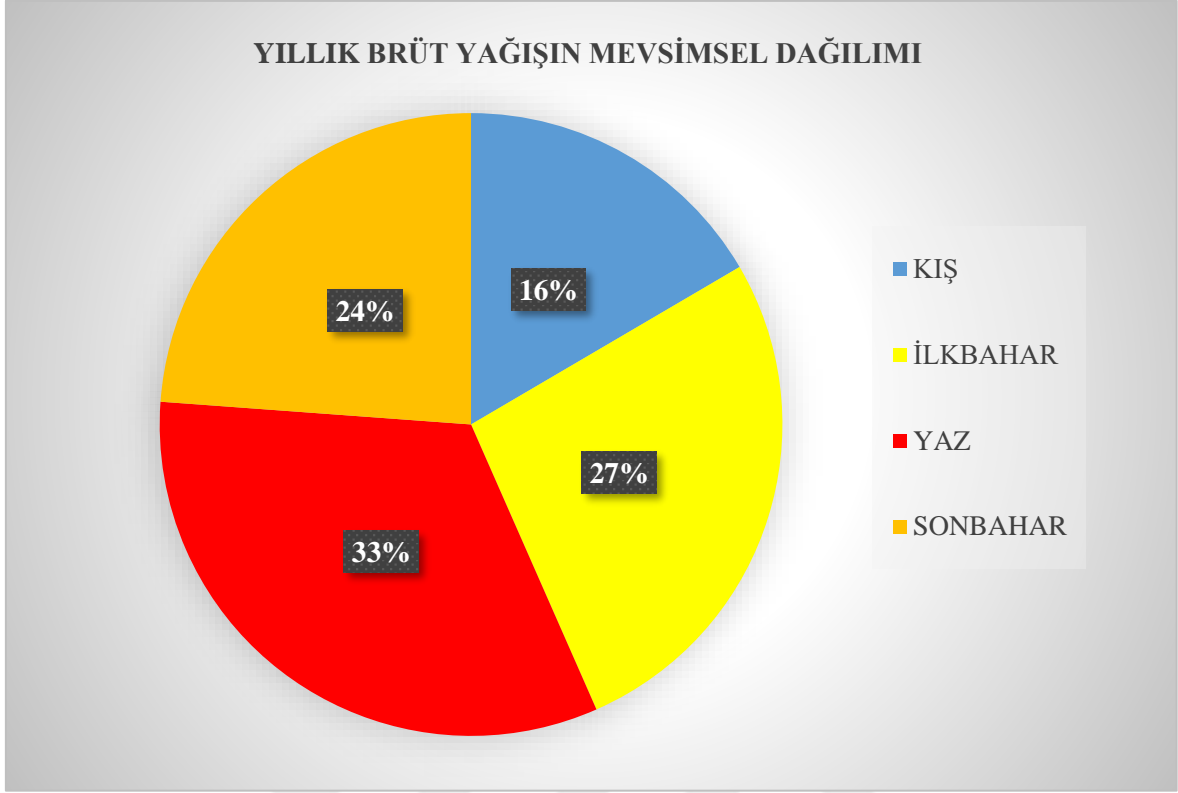
3.2.8. Brüt Yağış ve İntersepsiyon Bileşenlerinin Zamana Bağlı Trend Analizi

Bu çalışma kapsamında açık alana düşen brüt yağış ve toplam orman intersepsiyonuna etki eden bileşenlerin oransal dağılım grafikleri aşağıda verilmiştir (Şekil 124-130)

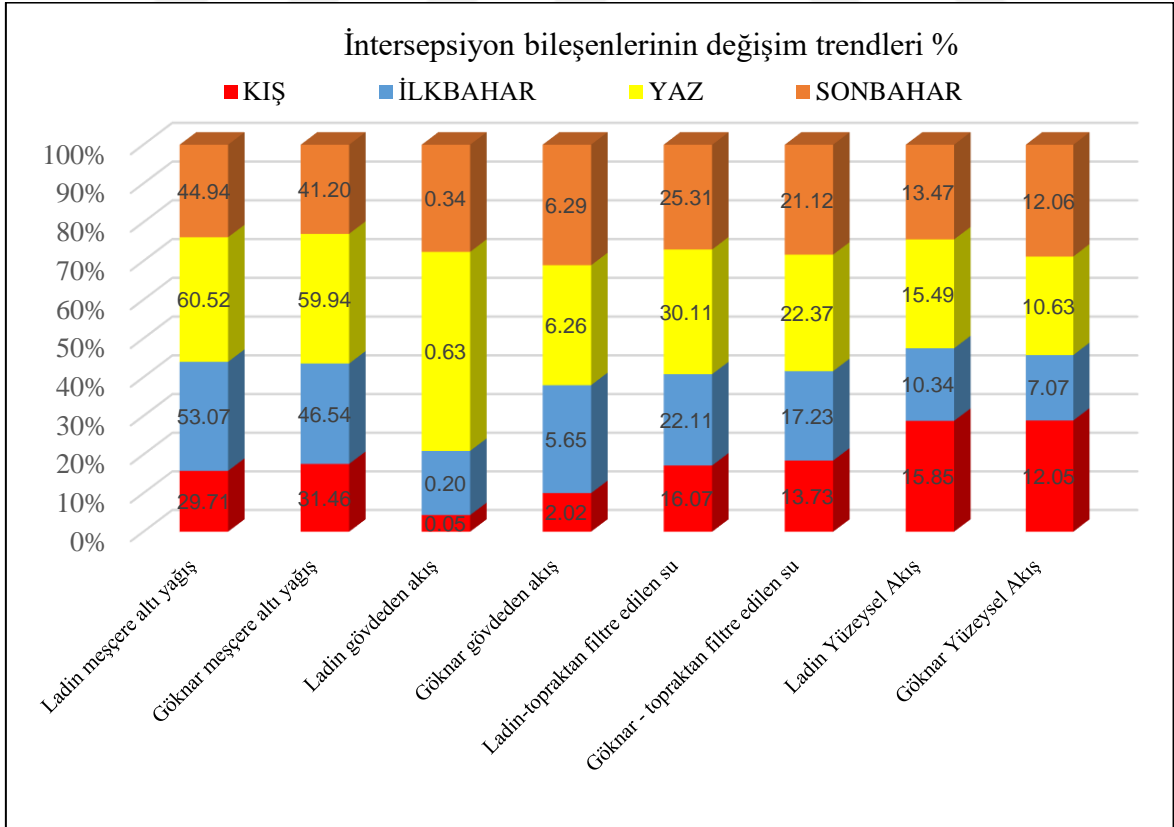


Şekil 124. Yıllık brüt yağışın aylara bağlı değişimi

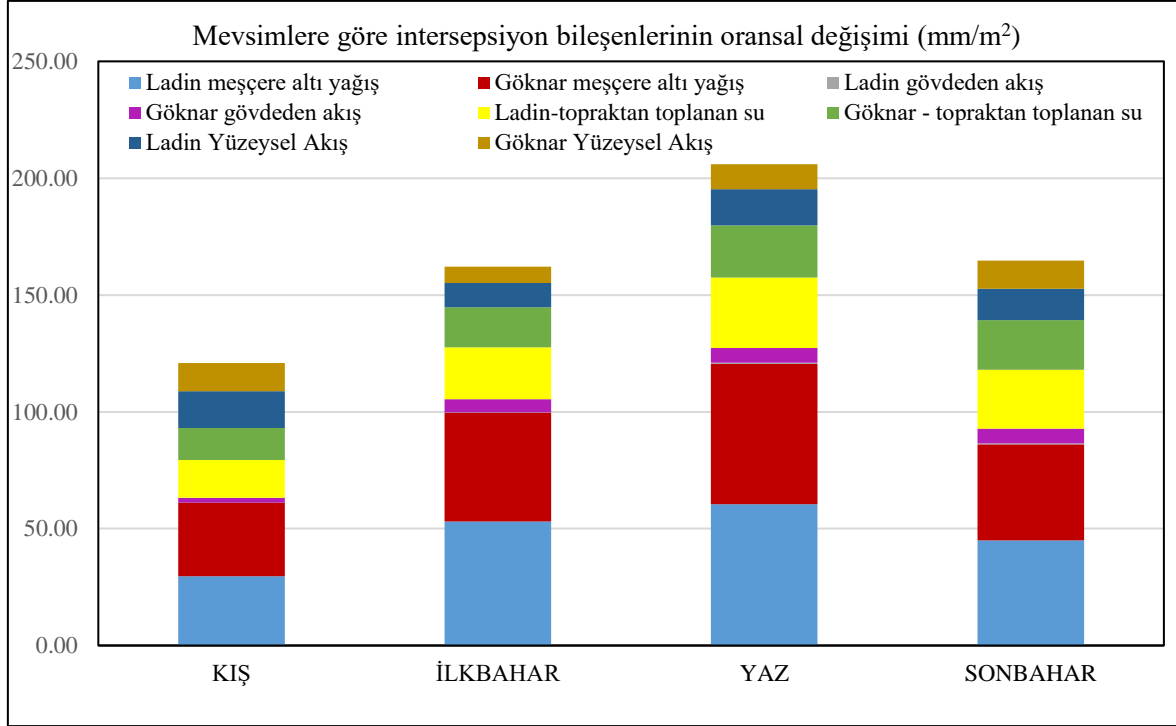
Brüt yağışın ölçüm periyodu süresinde haziran ayında en yüksek değere ulaşmış ve %16 olmuştur. Brüt yağışın %4'ü ise Şubat ayında gelmiş ve minimum değeri almıştır. Bu ekosistem genel olarak değerlendirildiğinde yıl boyunca yağış rejiminde aylara bağlı düzenli bir yapı görülmektedir. Mevsimlere bağlı değerlendirildiğinde ise en yüksek yağış oranının %33 ile yaz aylarında geldiği tespit edilmiştir. Bu da vejetasyon aktif periyodunda bitkilerin gelişimi açısından önemli olmuştur. Vejetasyon aktif periyodunda ise yıllık brüt yağışın yaklaşık %60'ı ekosisteme gelmiştir.



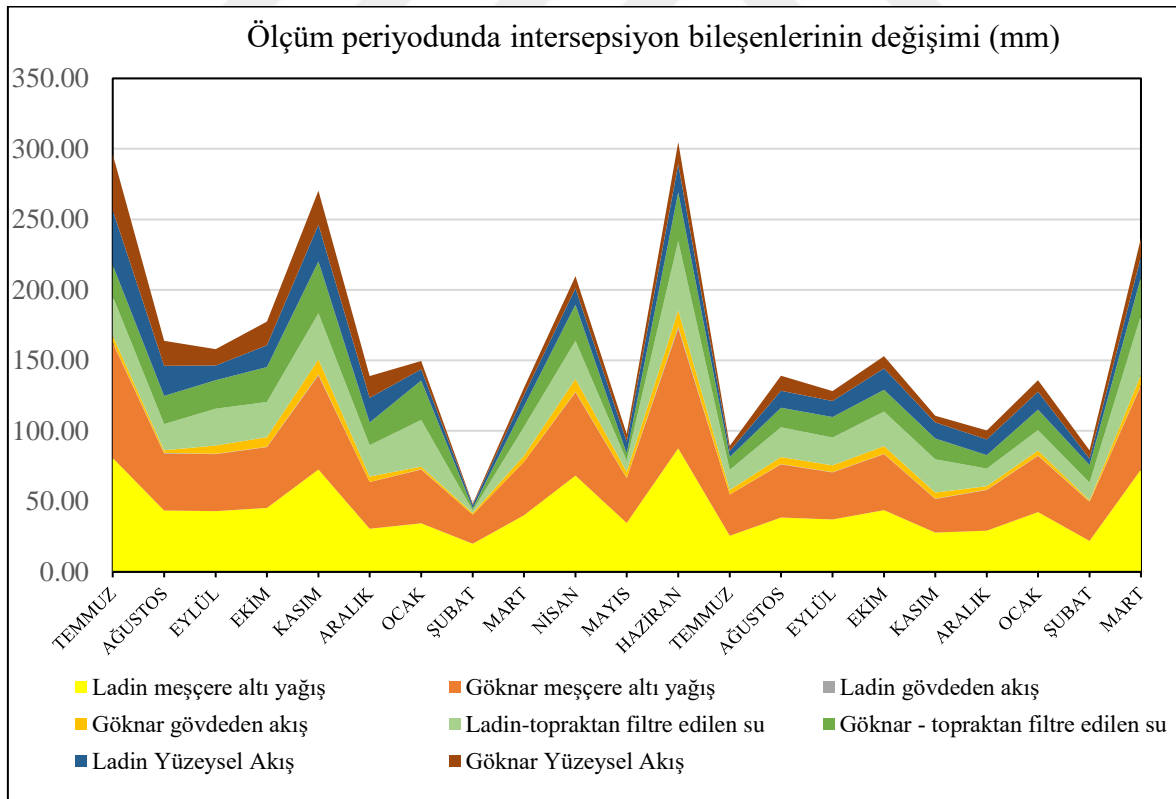
Şekil 125. Yıllık brüt yağışın mevsime bağlı değişimi



Şekil 126. İntersepsiyon bileşenlerinin kümülatif mevsimlik değişimi



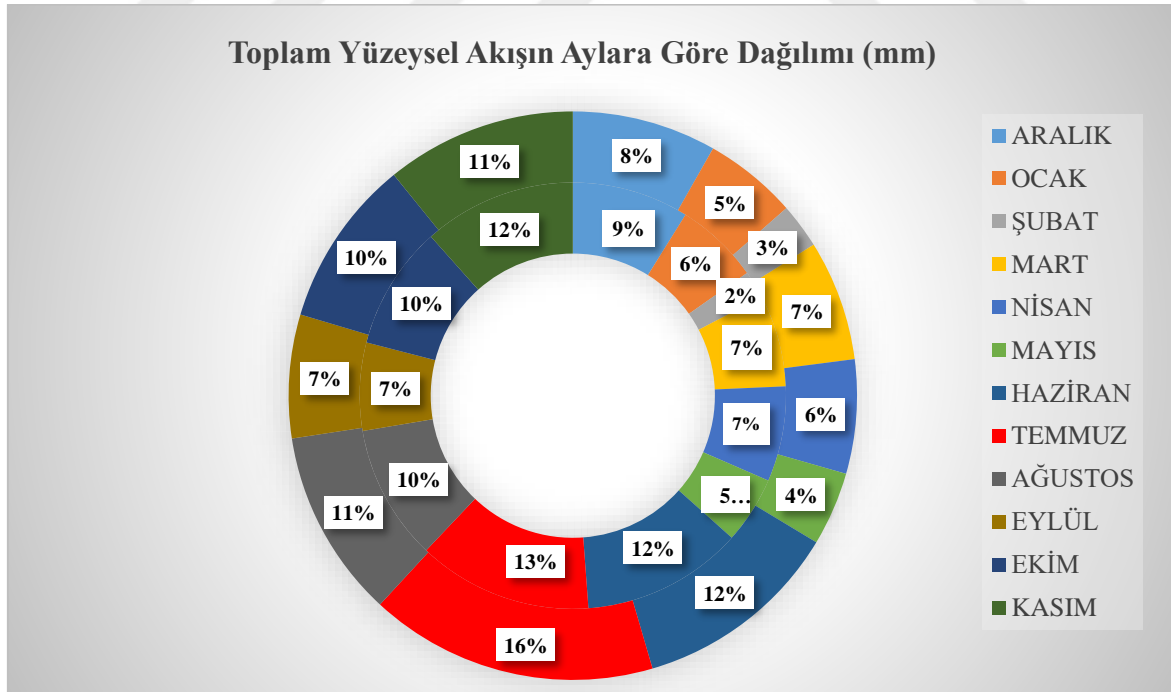
Şekil 127. İntersepsiyon bileşenlerinin kümülatif mevsimlik değişimi



Şekil 128. Ölçüm periyodunda intersepsiyon bileşenlerinin kümülatif mevsimlik değişimi

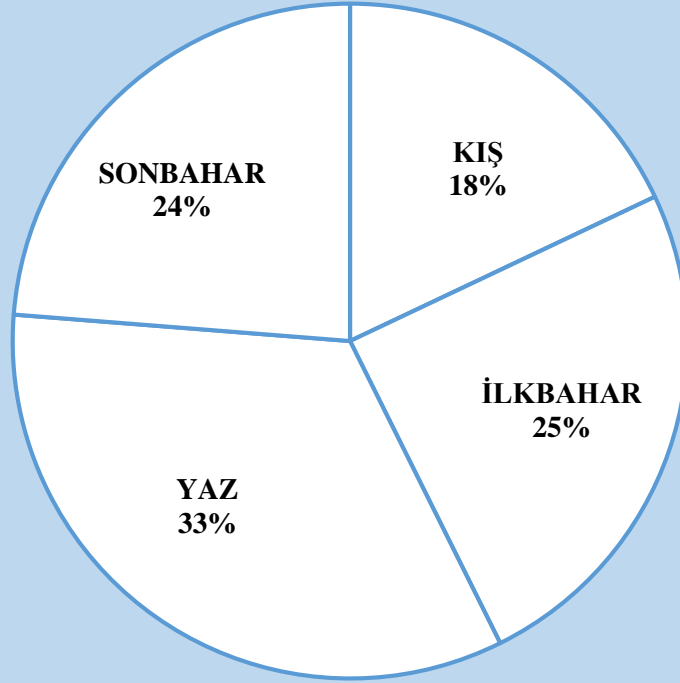
Çalışma periyodunda elde edilen ölçümler değerlendirildiğinde, Ladin ve Gökarda meşçere altı yağış miktarları, açık alanda düşen yağış miktarı ile paralellik göstermiştir. Yıl içinde aylara göre Haziran ayı en çok yağış alan ay olarak tespit edilmiştir; bu da meşçere altı yağışların da en yüksek değere ulaşmasını sağlamıştır. Bununla birlikte Ladin ve Gökarda meşçere çatısı intersepsiyonu, gövdeden akış, orman örtüsü intersepsiyonu ve dolayısıyla da toplam orman intersepsiyonu değerleri, yağışın en fazla yoğunlaştığı Haziran ayında vuku bulmuştur. Yine topraktan filtre edilen miktarlar değerlendirildiğinde, yıl içinde yağışın en yüksek olduğu ay olan Haziran ön plana çıkmıştır. Toplam orman intersepsiyonu mevsimsel bazda değerlendirildiğinde, ilkbahar ve yaz aylarını içine alan vejetasyon aktif periyotta değerlendirildiğinde, Ladinde toplam intersepsiyonun %58'i bu dönemde gerçekleşir iken, Gökarda bu değer %60 olmuştur (Şekil 130).

İntersepsiyon bileşenlerinin en önemli bileşenlerinden olan ve yağış-akış ilişkilerinin ani göstergesi yüzeysel akış miktarlarının zamansal dağılımında diğer intersepsiyon bileşenlerinden daha farklı bir davranış sergilemiştir. Yıl içinde brüt yağışın en fazla olduğu ay Haziran olmasına rağmen Ladin (%13) ve Göknaar (%16) meşçerelerinde Yüzeysel akışın en fazla gerçekleştiği ay Temmuz ayı olmuştur (Şekil 129).

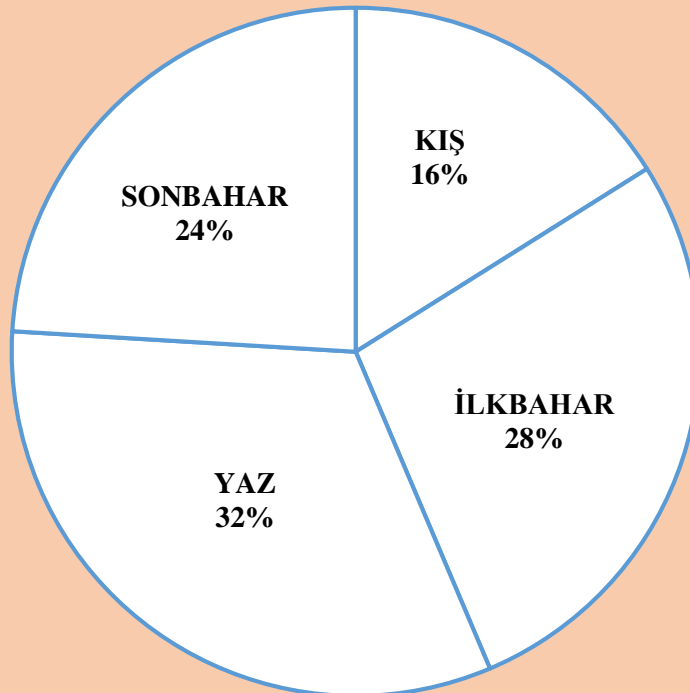


Şekil 129. Ladin (iç değerler), ve Göknaarda (dış değerler) yüzeysel akışın yıl içindeki oransal dağılımı (Herbir grafik için Kümülatif toplam 100 birimdir)

**LADİN_YILLIK TOPLAM İNTERSEPSİYONUNUN
MEVSİMSEL DAĞILIMI**



**GÖKNAR_YILLIK TOPLAM İNTERSEPSİYONUNUN
MEVSİMSEL DAĞILIMI**



Şekil 130. İntersepsiyon bileşenlerinin kümülatif mevsimlik değişimi

3.3. İklim Parametreleri

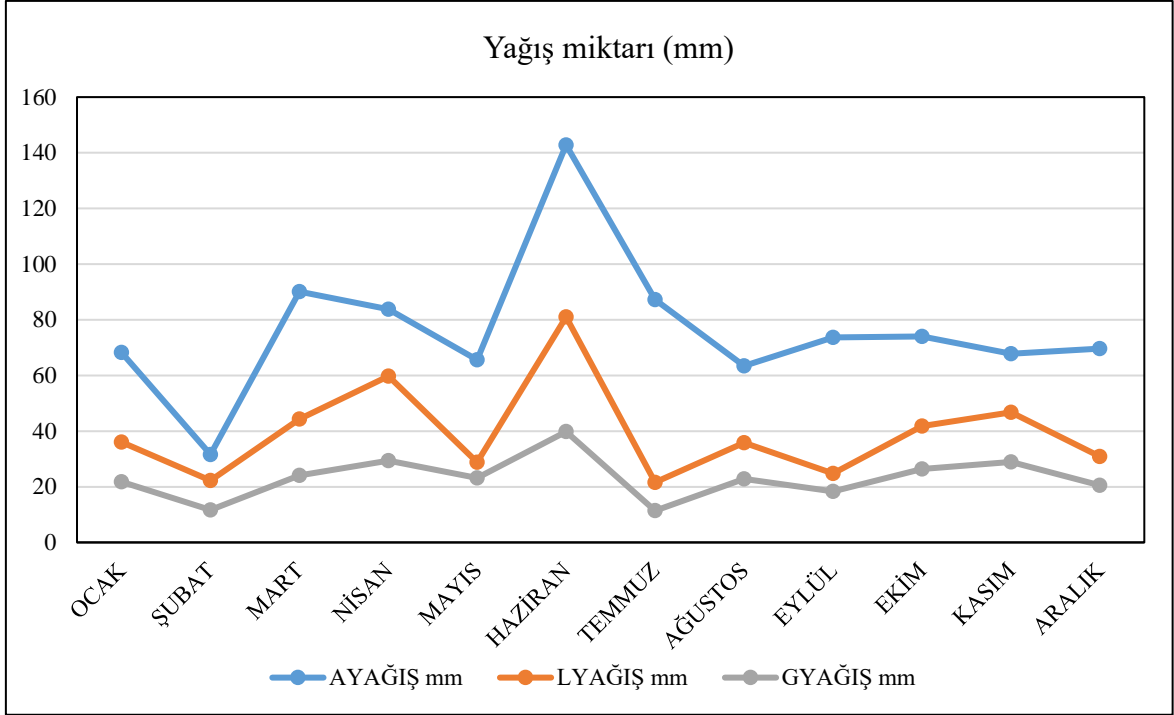
Çalışma alanlarında tüm ölçüm dönemlerine ait önemli iklim verileri, yağış şiddeti hariç, otomatik istasyonlardan data loggerlar vasıtasıyla sağlanmıştır. Yağış şiddeti çalışma periyodunda günlük yağış şiddeti (mm/m^2) olarak hesaplanmış ve 42 ölçüm periyodunda her bir dönem için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Yağış şiddeti, “*Aynı periyot içinde, verilen dönemdeki toplam yağış miktarının, verilen dönemdeki yağışlı güne bölünmesiyle elde edilen her bir yağışlı gün için ortalama yağış miktarı için kullanılan terim*” esasına göre hesaplanmıştır. Açık alan ve meşçerelerde yağış şiddeti hesaplamalarında manüel yağış toplayıcılarından elde edilen veriler kullanılmıştır.

Bu çalışmada, iklim istasyonlarından elde edilen veriler saatlik verilere dönüştürülmüş, buradan da her bir ölçülen iklim parametresi için 42 ölçüm döneminde ortalama değerler olarak işlenmiştir. Bu değerler kullanılarak iklimde parametrelerinin 21 aylık ölçüm periyodunda, yıl içinde ve mevsimlere göre nasıl değiştiği grafikler halinde aşağıda sunulmuştur.

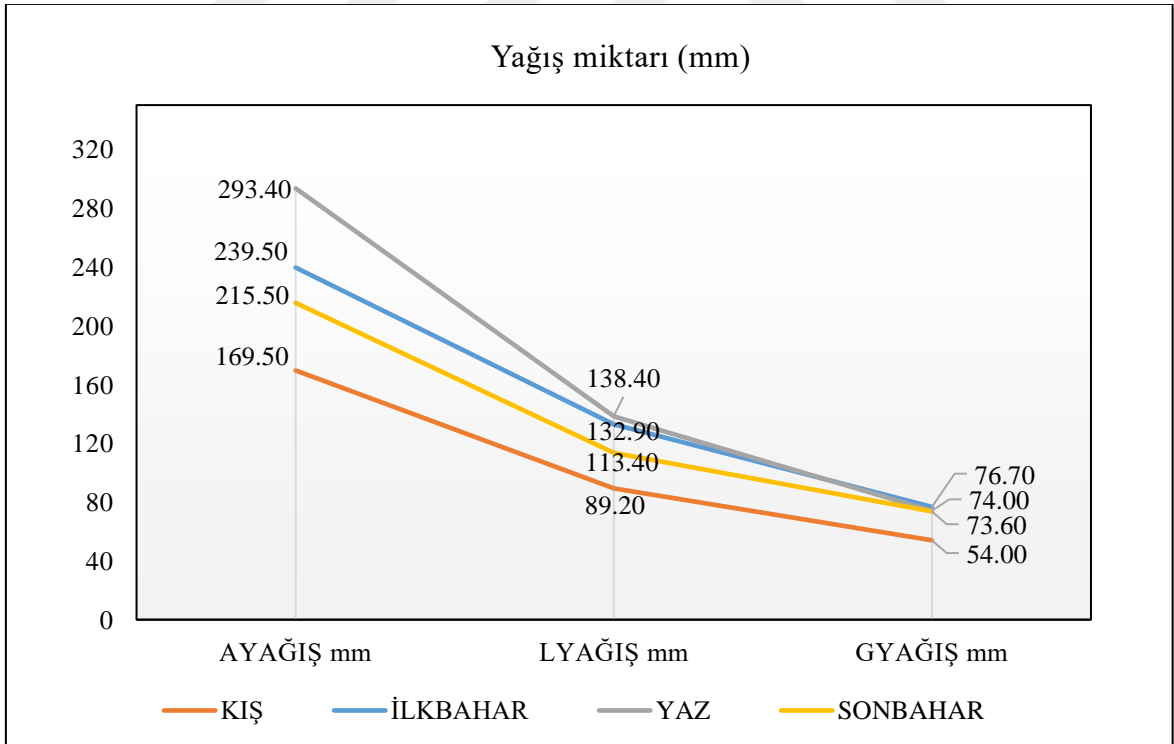
3.3.1. Yağış (mm)

İklim istasyonlarından elde edilen verilere göre yıl içinde yağış dağılımı 131’de verilmiştir. İstasyonlardaki yağış miktarları değerlendirildiğinde, açık alana kurulan iklim istasyonunda 21 aylık ölçüm toplamı 1543,60 mm olarak ölçülmüştür. Manüel yağış ölçerlerdeki değer ise 1451,7 mm olarak ölçülmüştü. Yine Ladin alanındaki iklim istasyonunda çalışma periyodundaki yağış toplamı 720,80 mm iken manüel yağış ölçerlerin değeri 939,15 mm olmuştur. Göknarda ise iklim istasyonu değeri 430 mm iken manüel yağış ölçerlerden elde edilen değer ise 898,89 mm olmuştur. Ladin ve Göknarda iklim istasyonlarındaki yağış değerlerin düşük çıkmasının ana nedeni ilk 2 ay yağış verilerinin alınamaması olması ve dönem dönem yağış açısından veri kaybının olması gösterilebilir.

Yıllık yağış toplamı açık alan istasyonunda 917,9 mm iken, manüel yağış ölçerlerden elde edilen değer ise 874,1 mm olmuştur. Açık alanda kurulan iklim istasyonu ise manüel yağış toplayıcılara yakın bir değer almıştır. Açık alanda 2 adet yağışölçerinin ortalama değeri kullanıldığı için bu süreçte açık alandan manüel yağış ölçerler ile veri toplanması daha sağlıklı olarak değerlendirilmektedir. Açık alan ve meşçelerde kurulu olan iklim istasyonlarından elde edilen yağış miktarının mevsimsel değişimi şekil 132’de verilmiştir.



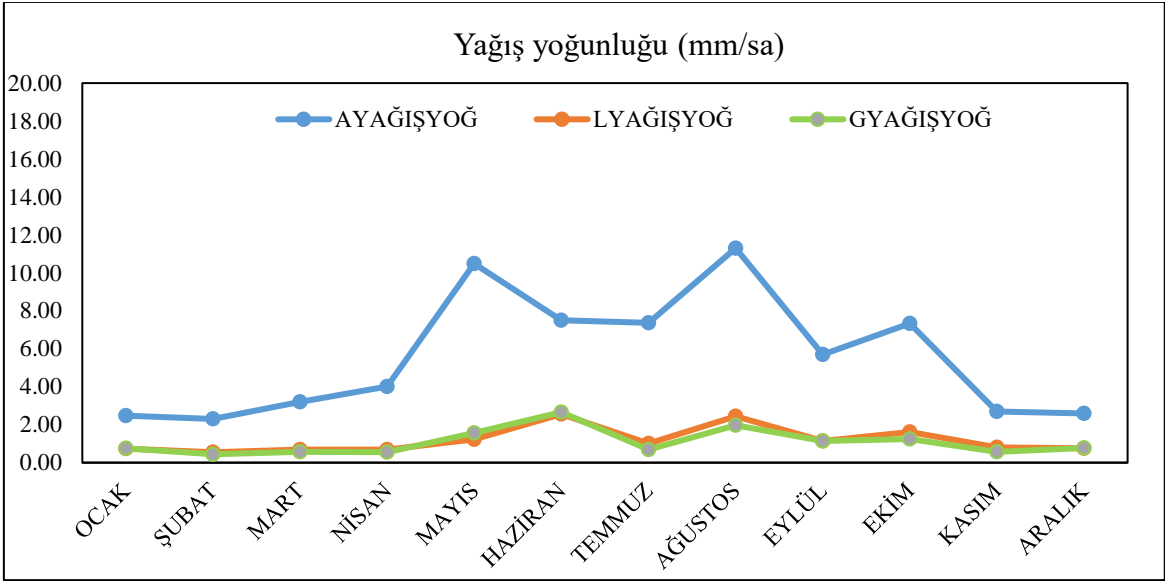
Şekil 131. Açık alanı le Ladin ve Gökнар meşçeresi istasyonlarında yağış değerlerinin yıl içindeki değişimi (A:Açık alan, L:ladin, G: Gökнар)



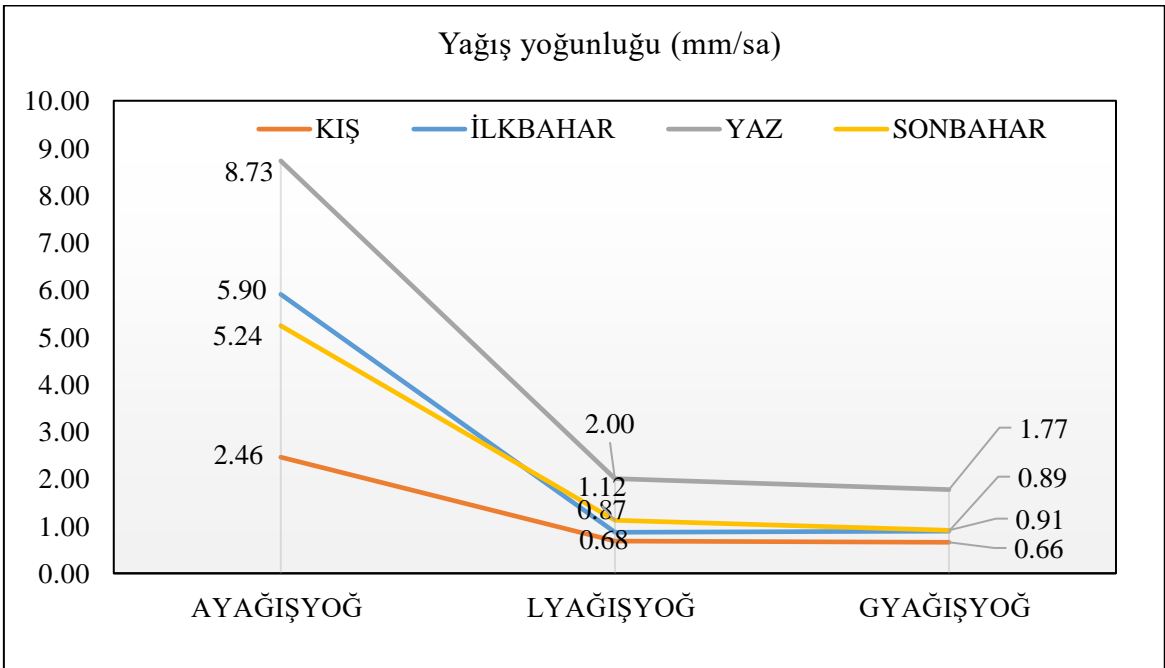
Şekil 132. Açık alanı le Ladin ve Gökнар meşçeresi istasyonlarında yağış değerlerinin yıl içindeki değişimi (A:Açık alan, L:ladin, G: Gökнар)

3.3.2. Yağış Yoğunluğu (mm/sa)

Yağış yoğunluğu değeri mm/sa olarak 42 ölçüm periyodunda yıllık ve mevsim bazında değerlendirilmiştir (Şekil 133,134). Ladin ve Gökmar meşçerelerinde yıl boyu yağış yoğunluğu benzer değerler almış iken, açık alandaki ortalama yıllık yağış yoğunluğu (5,58) ise Ladin (1,17) ve Gökmar (1,06) meşçerelerinin neredeyse 5 katı değer almıştır.



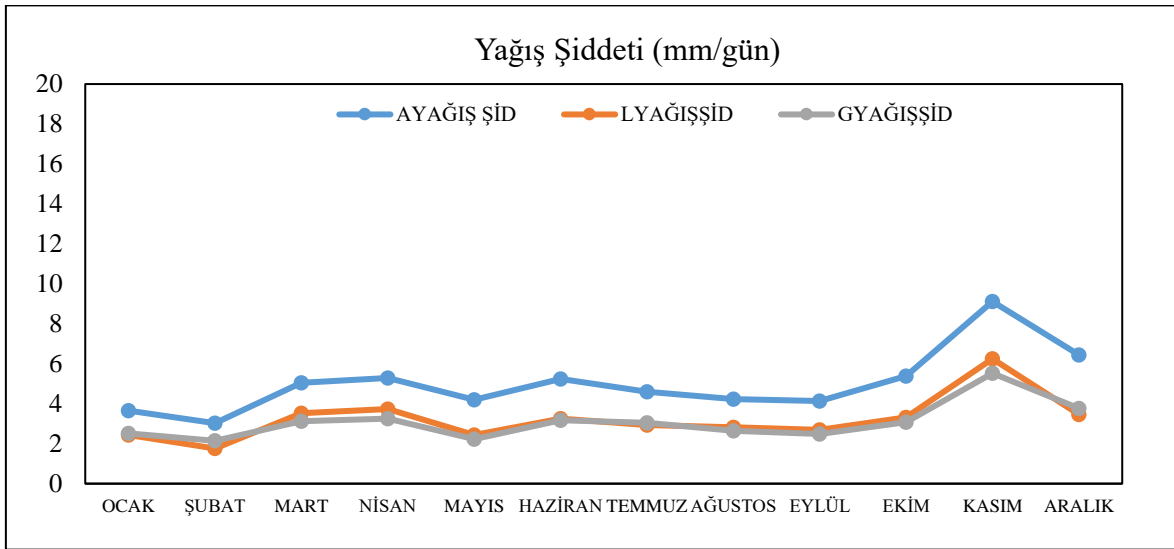
Şekil 133. Açık alan ve meşçerelerde yağış yoğunluğunun yıl içindeki değişimi



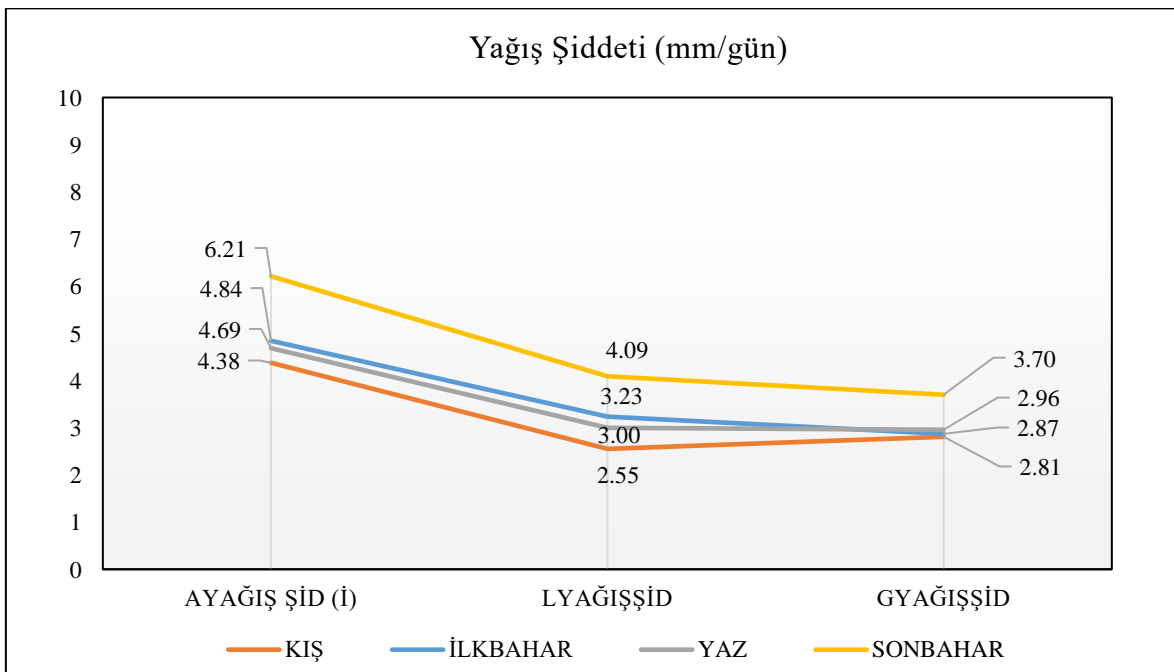
Şekil 134. Açık alan ve meşçerelerde yağış yoğunluğunun yıl içindeki değişimi

3.3.3. Yağış Şiddeti (mm/gün)

Yağış şiddeti, ölçülen yağışlı dönemin yağışlı gün sayısına bölünmesi ile elde edilmiştir. Buna göre açık alan ve meşçere altı yağışlar yıl içinde paralel bir şekilde değişim izlemiştir. Yıllık ortalama yağış şiddeti açık alanda 5,03 mm/gün iken, Ladinde bu değer 3,22 ve Göknarda ise 3,08 olmuştur (Şekil 135,136).



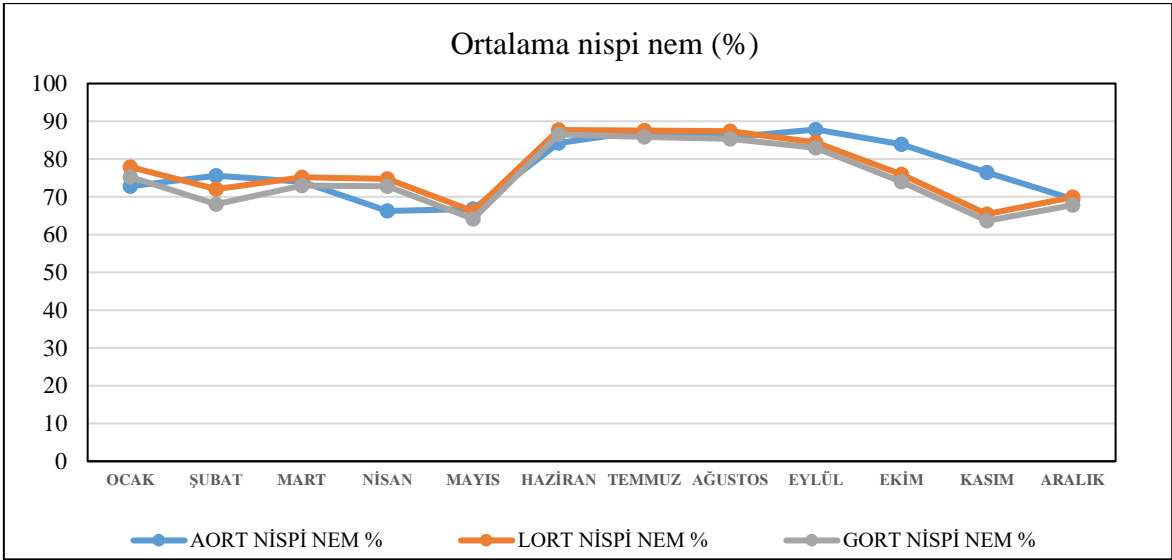
Şekil 135. Açık alan ve meşçerelerde yağış şiddetinin yıl içindeki değişimi



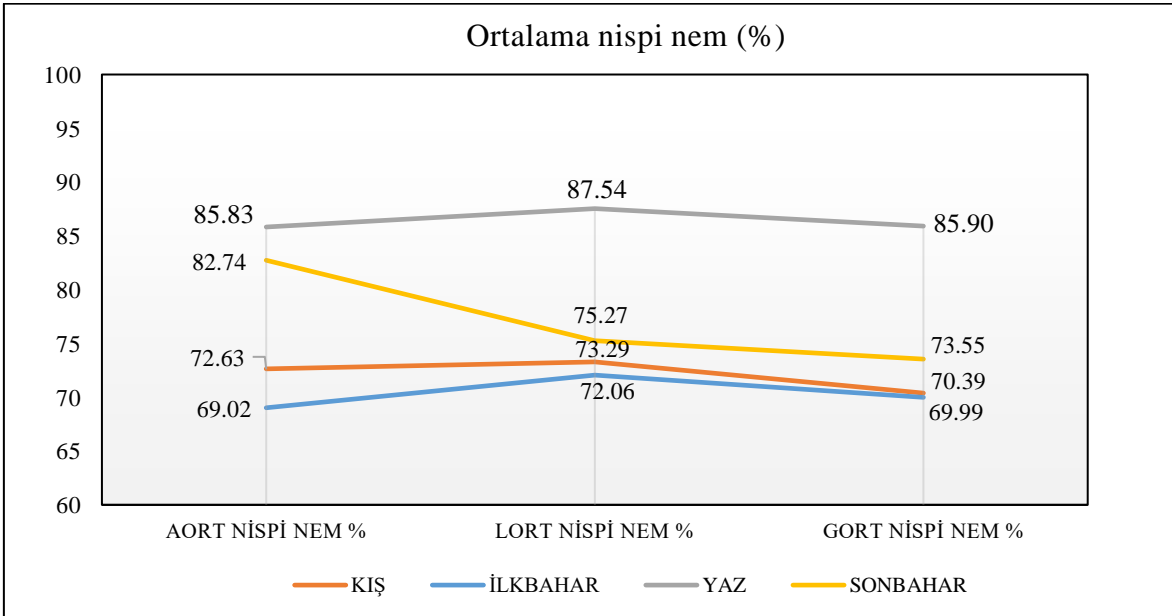
Şekil 136. Açık alan ve meşçerelerde yağış şiddetinin mevsimsel değişimi

3.3.4. Ortalama Nispi Nem (%)

Çalışma periyodu süresinde nispi nem yıl içinde %60'ın üzerinde seyrettiği görülmektedir (Şekil 137). Yıllık ortalama nem açık alanda % 77,55 olur iken, Ladinde bu değer %77,04 ve Göknarda ise %77, 96 olmuştur. Sis yağışları da nem derecesine etki ederek orman içindeki miktarın artmasına neden olduğu değerlendirilmektedir. Bununla birlikte yaz mevsimi en yüksek nem derecesine sahip olmuştur (Şekil 138)



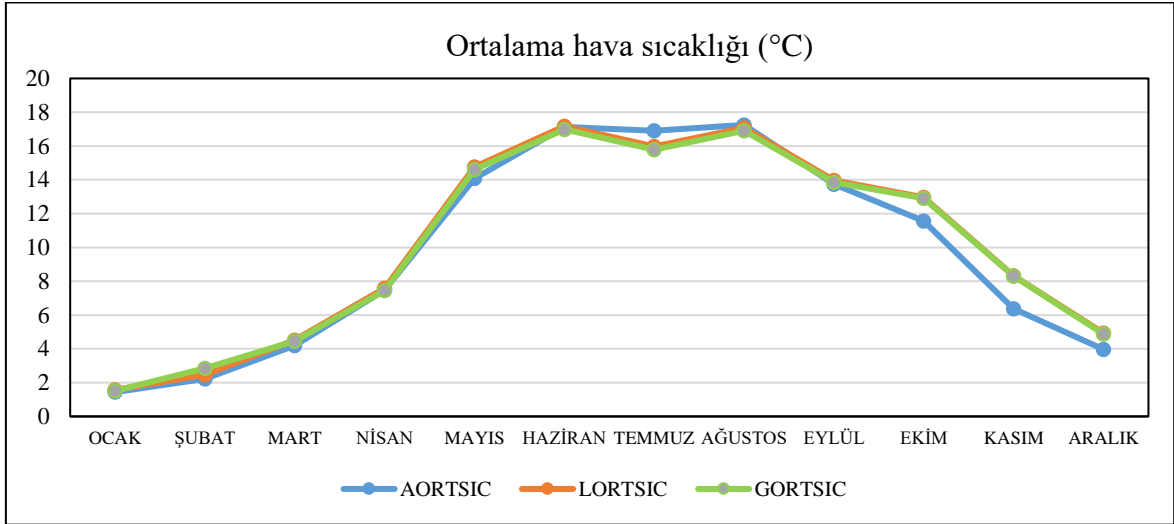
Şekil 137. Açık alan ve meşçerelerde nispi nemin yıl içindeki değişimi



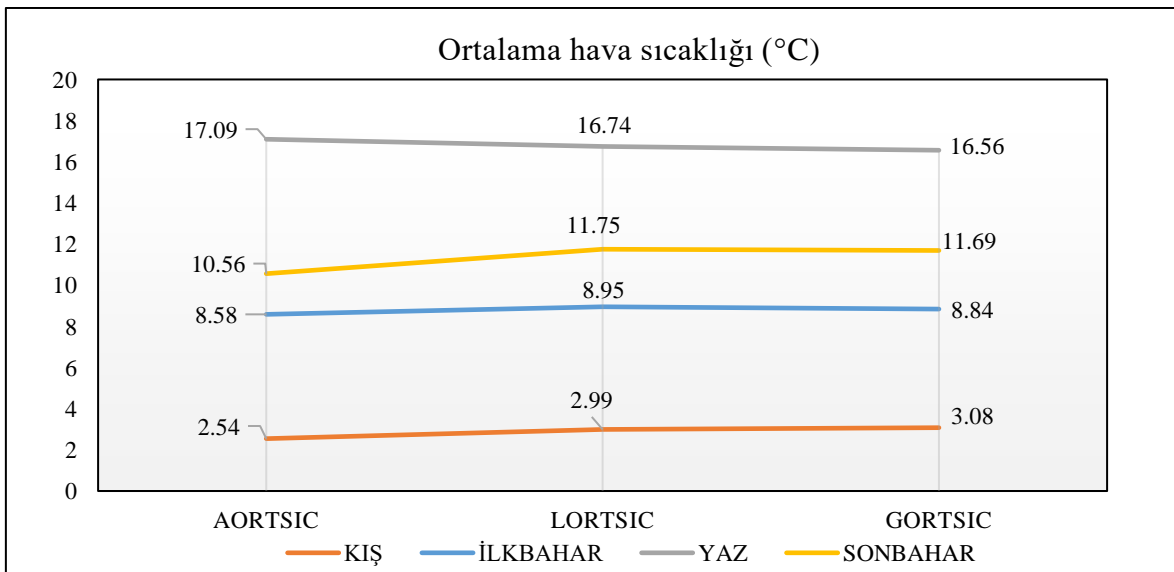
Şekil 138. Açık alan ve meşçerelerde nispi nemin mevsimsel değişimi

3.3.5. Ortalama Hava Sıcaklığı (°C)

Ortalama sıcaklıklar genel olarak değerlendirildiğinde, yıl içinde açık alan ve meşçerelerdeki değerlerin değişimi paralel olmuştur (Şekil 139). Bununla birlikte yıllık ortalama sıcaklık açık alanda 9,7°C iken, Ladinde bu değer 10,1, Gökvarda ise 10,4 olmuştur. Her ne kadar yıllık ortalamalar meşçerelerde açık alan göre fazla olmuş olsa da mevsimsel bazda değerlendirildiğinde orman örtüsü yazın açık alandan daha düşük sıcaklığa sahip olma eğiliminde iken, kış mevsiminde ise daha yüksek olma eğiliminde olmuştur (Şekil 140).



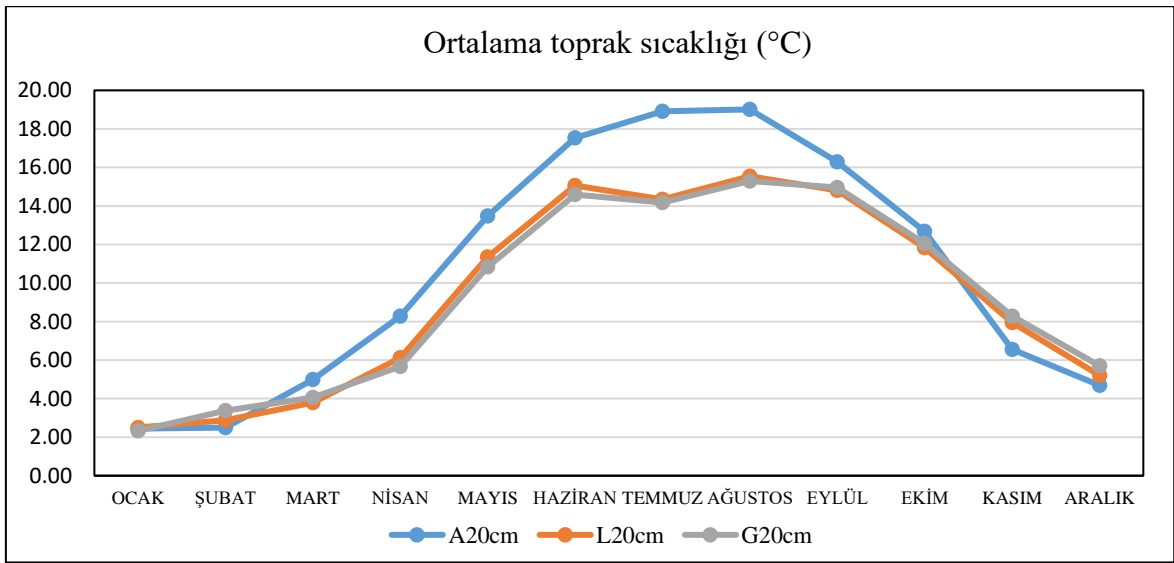
Şekil 139. Açık alan ve meşçerelerde hava sıcaklığının mevsimsel değişimi



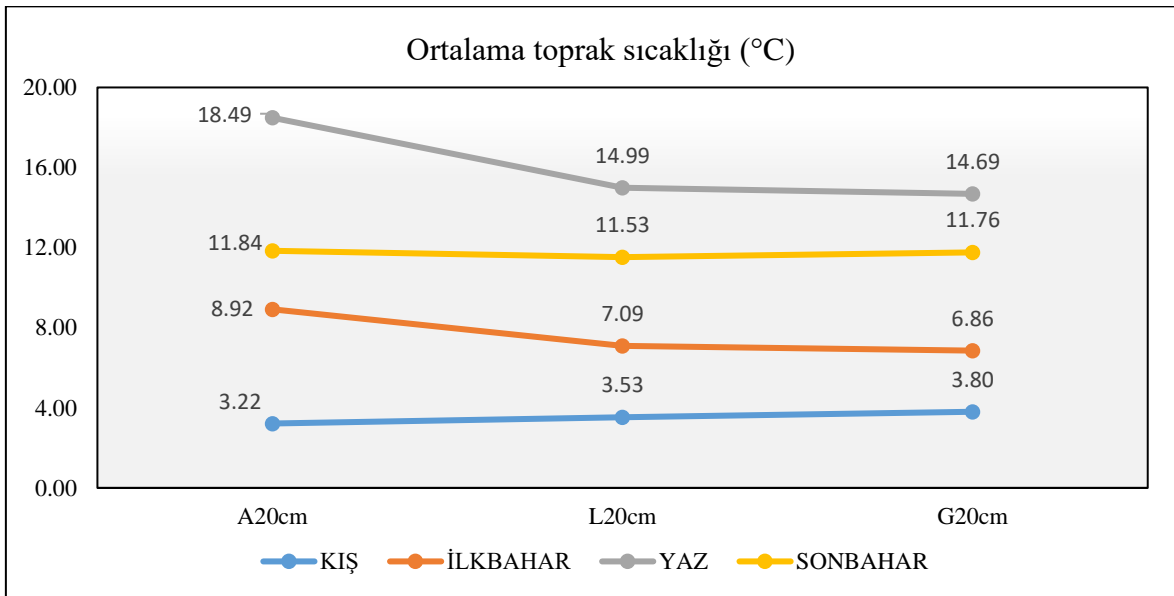
Şekil 140. Açık alan ve meşçerelerde hava sıcaklığının mevsimsel değişimi

3.3.6. Ortalama Toprak Sıcaklığı (°C)

Yıl içinde açık alan ve meşçerelerdeki değerlerin toprak sıcaklık değişimi paralel olmuştur (Şekil 141). Bununla birlikte yıllık ortalama toprak sıcaklığı açık alanda 10,62°C iken, Ladinde bu değer 9,28 ve Göknarda ise 9,28 olmuştur. Her ne kadar yıllık ortalamalar meşçerelerde açık alana göre yakın değerler almış olsa da mevsimsel bazda değerlendirildiğinde orman örtüsü yazın açık alandan çok daha düşük sıcaklığa (4-5°C) sahip olma eğiliminde iken, kış mevsiminde ise daha yüksek olma eğilimindedir (Şekil 142).



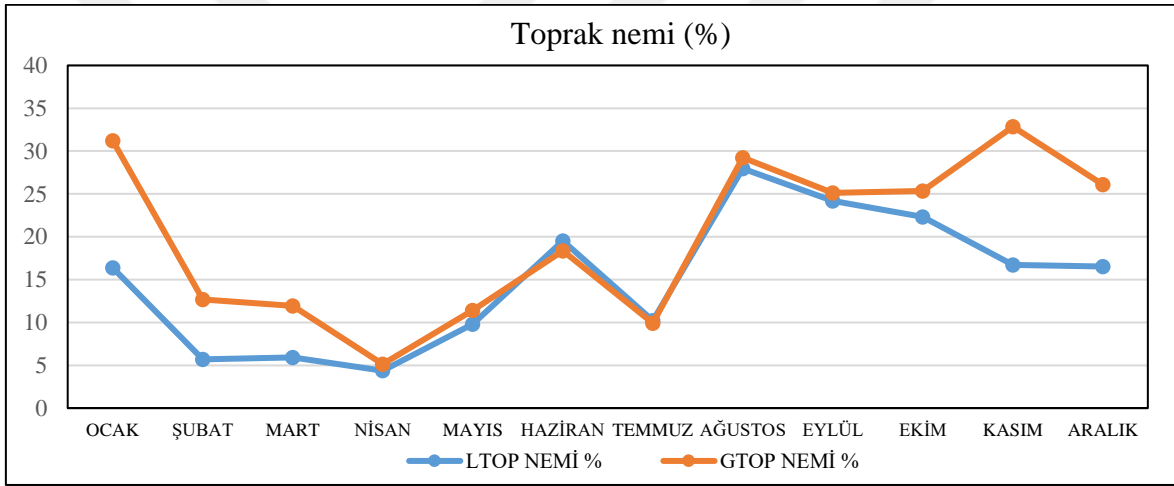
Şekil 141. Açık alan ve meşçerelerde toprak sıcaklığının yıl içindeki değişimi



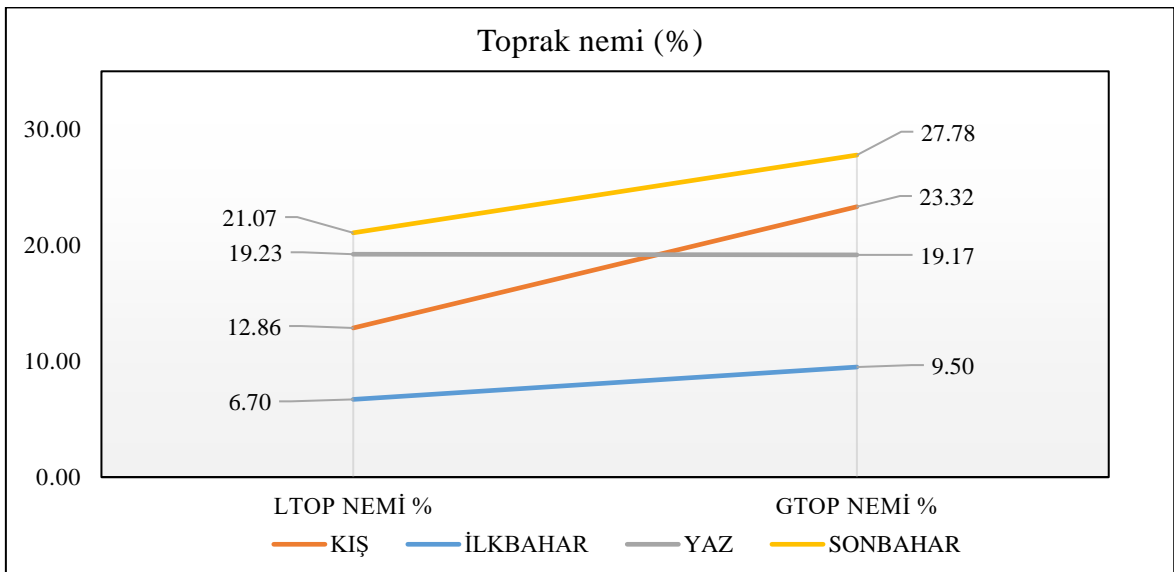
Şekil 142. Açık alan ve meşçerelerde toprak sıcaklığının mevsimsel değişimi

3.3.7. Ortalama Toprak Nemi (%)

Çalışma alanında volümetrik toprak nem değişimleri üst toprakta(0-20cm) tür bazında değerlendirilmiştir. Yıl boyunca Göknaar meşçeresindeki toprak nem içeriği, Ladinden daha yüksek olma eğiliminde olmuştur. Yıl içinde Ladin meşçeresinde en düşük nem içeriği Nisan ayında %4,37 olur iken, en yüksek değer Ağustos ayında yaklaşık %28 olmuştur. Göknaar meşçeresinde en düşük değer yine Nisan ayında %5,13 olarak gerçekleşirken, en yüksek değer Kasım ayında %33 olmuştur (Şekil 143). Yıllık ortalama toprak nemi ise Ladinde %14,97 iken Göknaarda bu değer %19,94 olmuştur. Mevsimsel olarak her iki türde de en yüksek değerler sonbaharda, en düşük değerler ilkbaharda gerçekleşmiştir (Şekil 144).



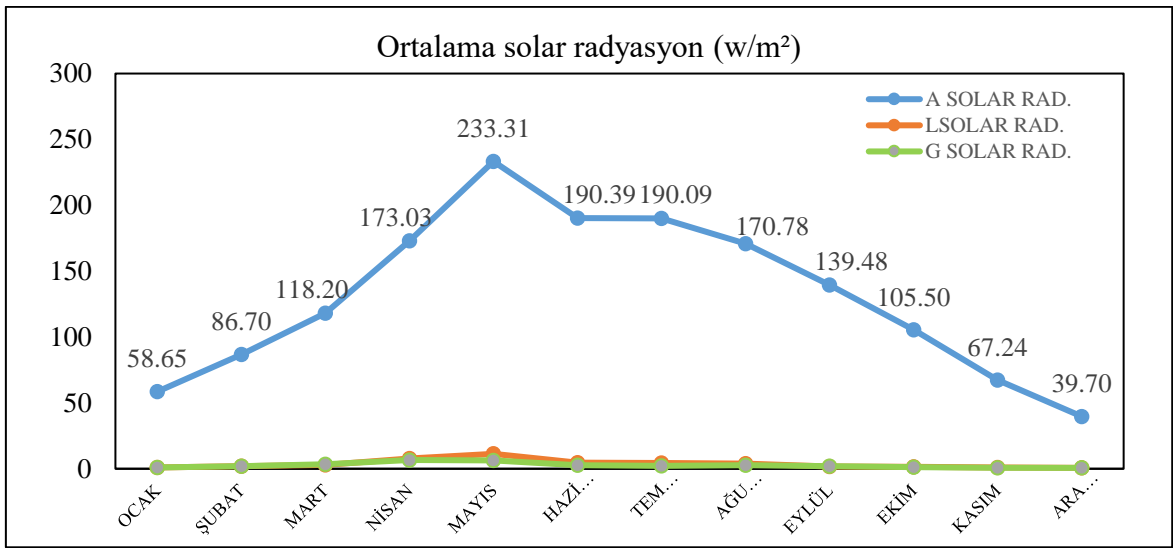
Şekil 143. Meşçerelerde toprak neminin yıl içindeki değişimi



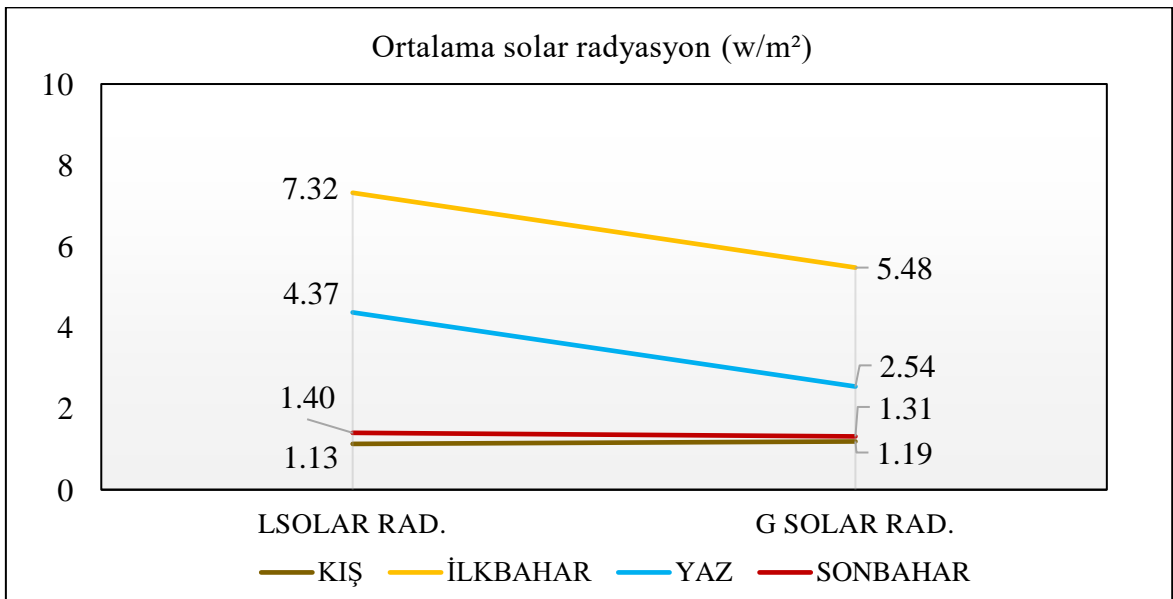
Şekil 144. Meşçerelerde toprak sıcaklığının mevsimsel değişimi

3.3.8. Ortalama Solar Radyasyon (w/m^2)

Solar radyasyon değeri açık alanda, yıl içinde Mayıs ayında 233,31 ile en yüksek değere ulaştığı, Aralık ayında ise 39,70 ile en düşük değere ulaştığı tespit edilmiştir (Şekil 145). Mevsimsel olarak yazın en yüksek 183,75 olur iken kışın 61,68 ile en düşük değerlere ulaşmıştır. Yıllık ortalama değerler ise açık alanda 131,09 olur iken Ladinde bu değer 3,56 ve Göknerde ise 2,63 değerini almıştır. Meşçere bazında ise en yüksek solar radyasyon değerlerine ilkbaharda ulaşılır iken en düşük değerler kışın teşekkül olmuştur (Şekil 146).



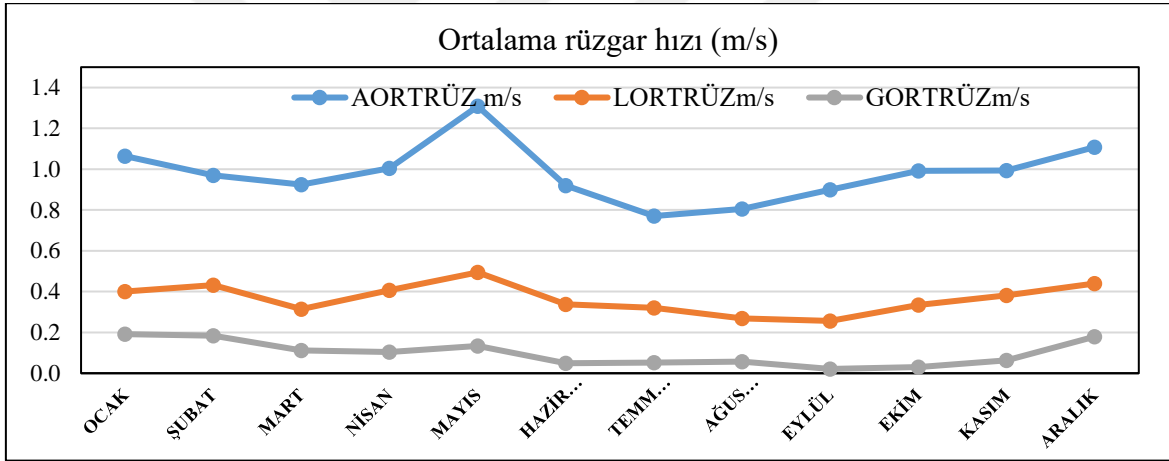
Şekil 145. Solar radyasyonun yıl içindeki değişimi



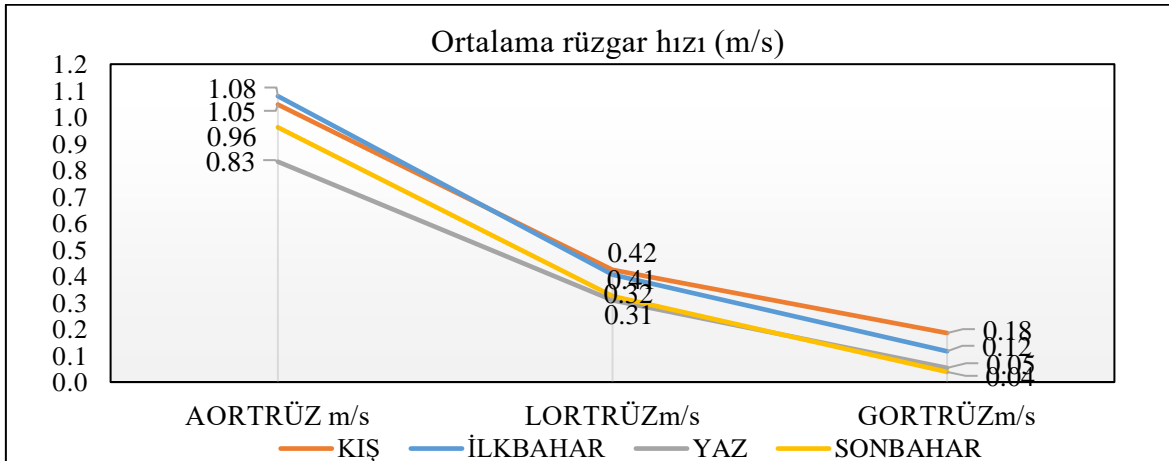
Şekil 146. Solar radyasyonun yıl içindeki değişimi

3.3.9. Ortalama Rüzgâr Hızı (m/s)

Rüzgâr hızının ortalama değeri açık alanda yılda ortalama 0,98 m/s olur iken Ladinde bu değer 0,37 ve Gökvarda ise 0,10 değerini almıştır. Yıl içinde açık alanda en yüksek rüzgâr hızı Mayıs ayında 1,31 m/s olarak ölçülmüş en düşük değerini de 0,77 ile Temmuz ayında almıştır. Ladinde en yüksek yine Mayıs ayında gerçekleşmiş, en düşük ise 0,26 ile Eylülde gerçekleşmiştir. Gökvar meşçeresinde ise en yüksek Ocak ayında, en düşük ise yine Eylül ayında 0,02 m/s olarak teşekkül olmuştur (Şekil 147). Mevsimsel bazda değerlendirildiğinde ise açık alanda rüzgâr hızı ilkbaharda en yüksek, yazın en düşük olur iken Ladinde ve Gökvarda en yüksek rüzgâr hızı kış mevsiminde tespit edilmiştir. Yine Ladinde en düşük rüzgâr hızı açık alandaki gibi yaz mevsiminde vuku bulur iken, Gökvarda ise sonbaharda teşekkül olmuştur (Şekil 148).



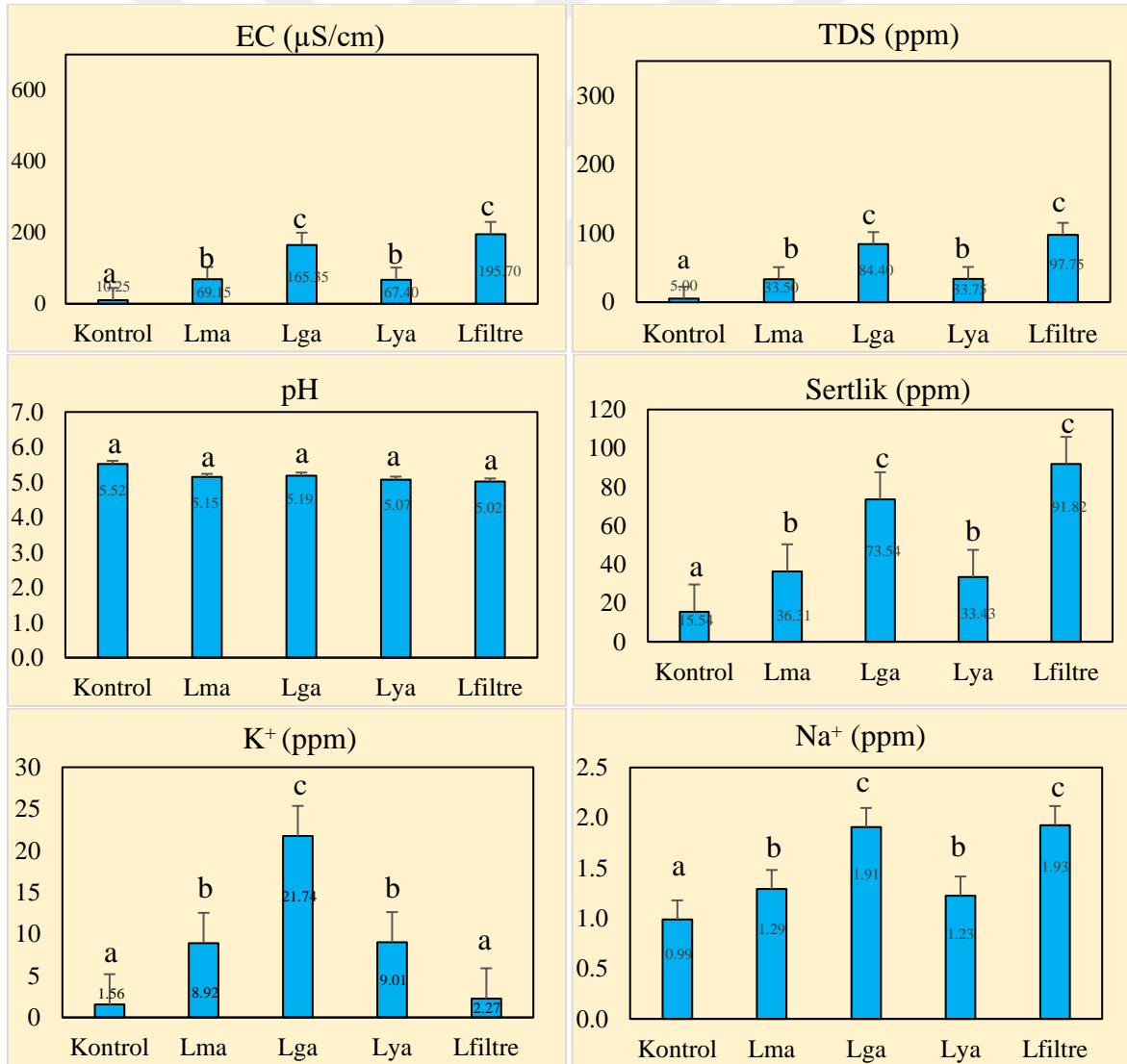
Şekil 147. Ortalama rüzgâr hızının yıl içindeki değişimi



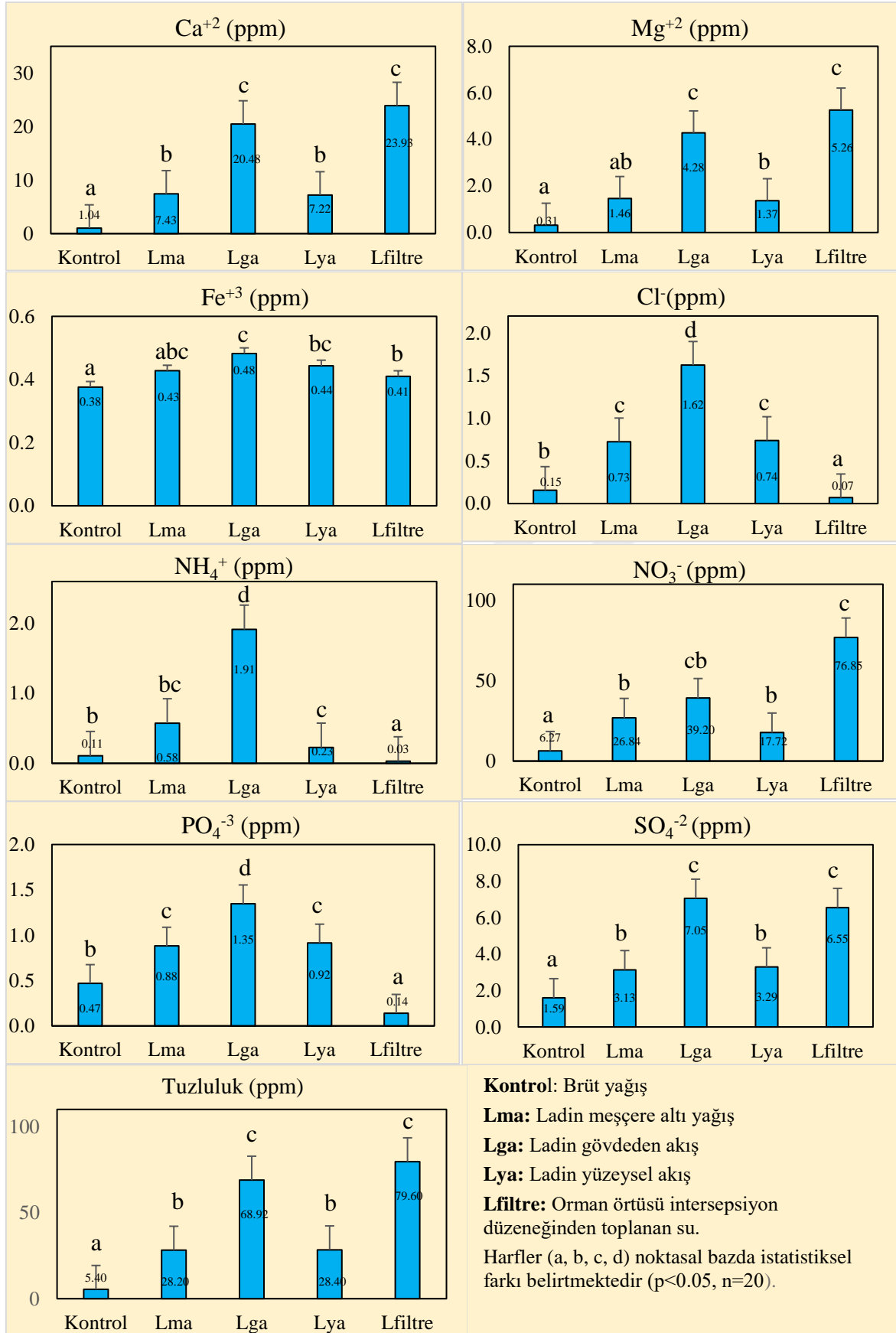
Şekil 148. Ortalama rüzgâr hızının yıl içindeki değişimi

3.4. İntersepsiyon Bileşenlerinde Su Kalite Parametreleri

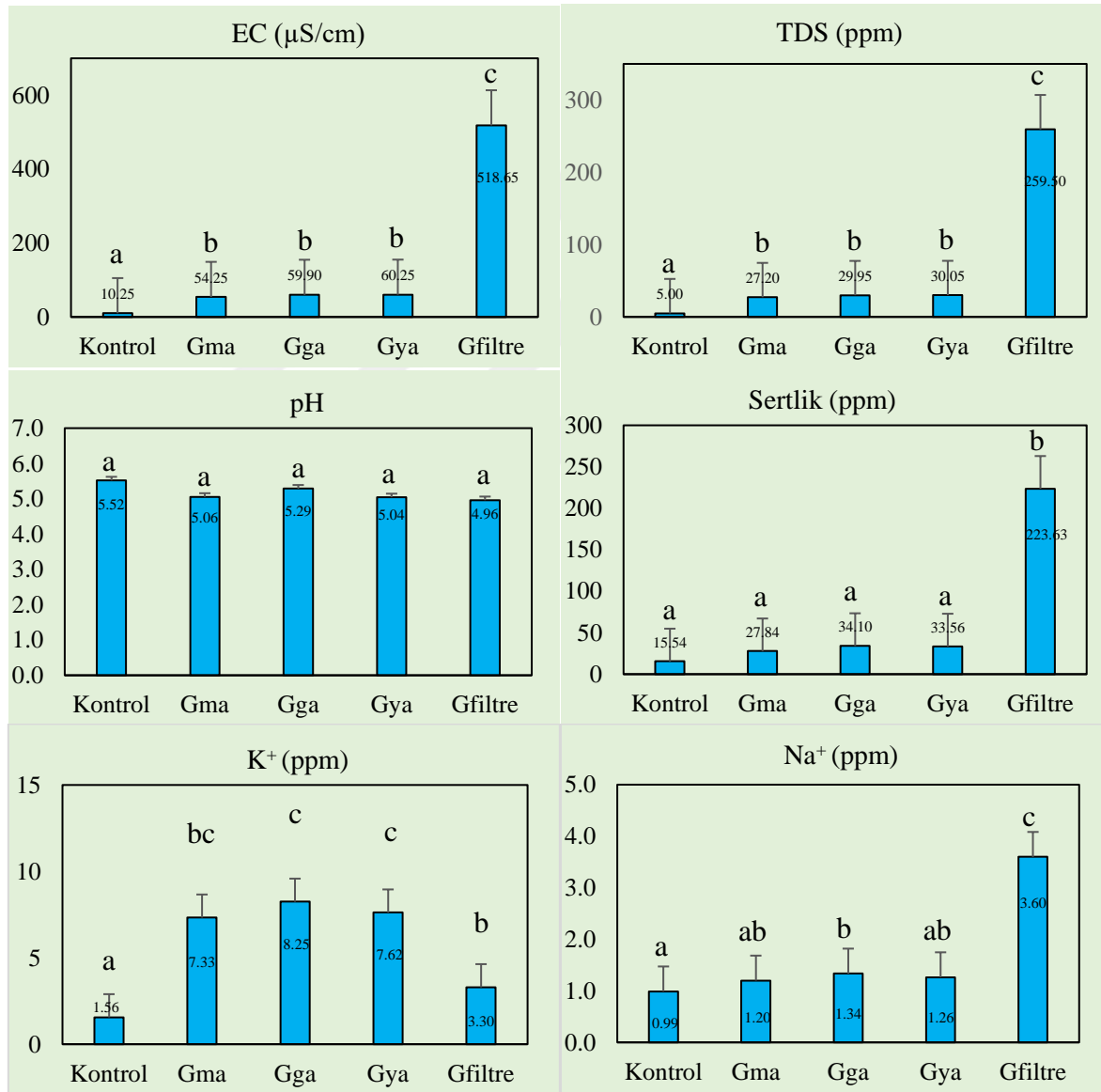
Çalışma alanında, Ladin meşçeresinde EC, TDS, Na, K, sertlik parametreleri kontrol suyunda diğer noktalara göre en düşük çıkmıştır. Bununla birlikte pH ise en yüksek kontrol noktasında tespit edilmiştir. Açık alanı temsil eden kontrol noktası ile meşçere altı yağış, gövdeden akış, yüzeysel akış ve orman örtüsü düzeneğinden toplanan sulardaki sertlik, pH, EC, TDS, Na, K parametrelerindeki değişim ve istatistiksel ilişkiler şekil 149 'da detaylı olarak verilmiştir. Ölçülen diğer parametreler ve noktasal değerlendirmeler şekil 150'de verilmiştir. Kontrol: Brüt yağış, Lma: Ladin meşçere altı yağış, Lga: Ladin gövdeden akış, Lya: Ladin yüzeysel akış, Lfiltre: Ladinde orman örtüsü intersepsiyon düzeneğinden toplanan su. Harfler (a,b,c) noktasal bazda istatistiksel farkı belirtmektedir ($p < 0.05$, $n=20$).



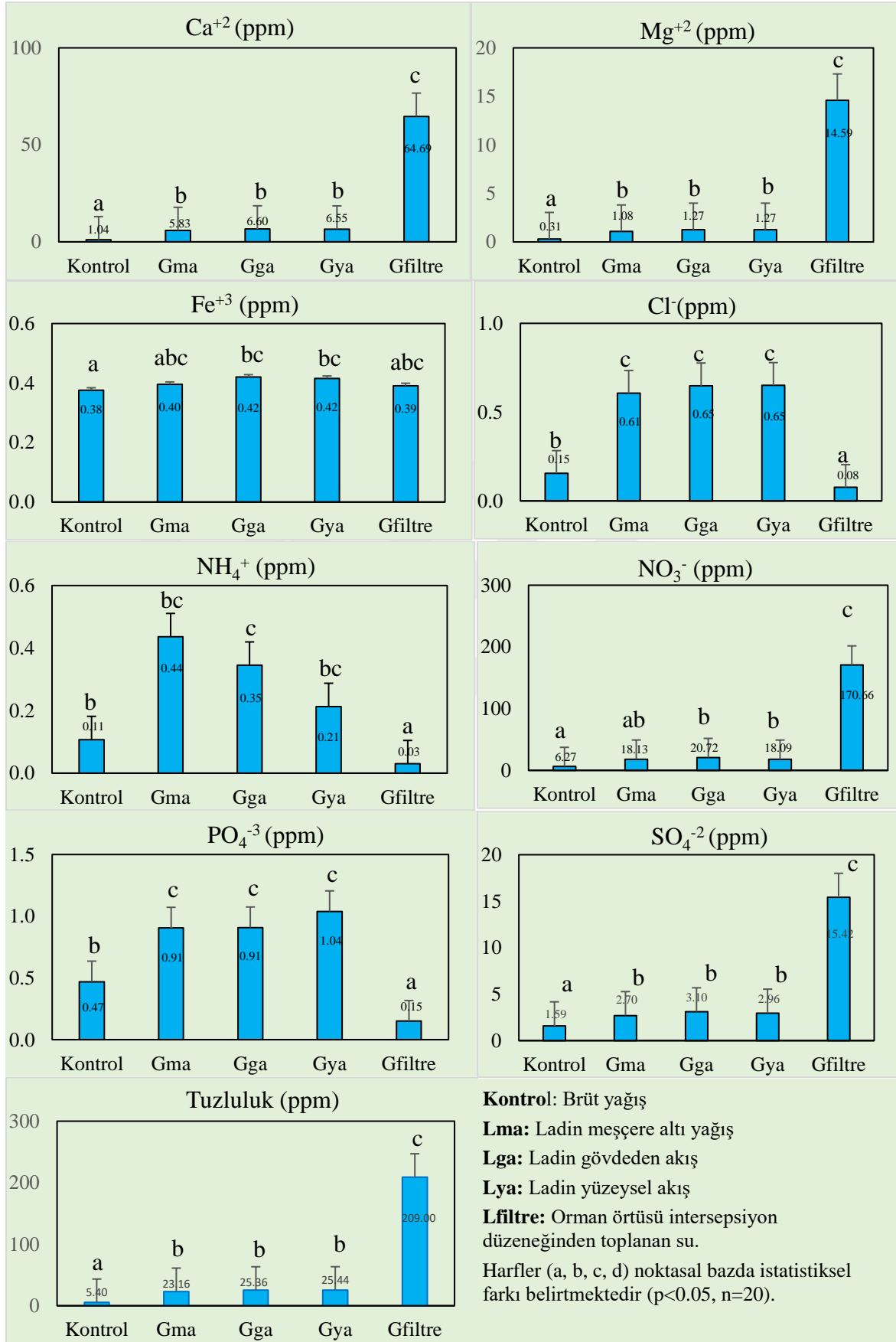
Şekil 149. Ladinde EC, TDS, pH, Sertlik, K, ve Na değerlerinin noktalara göre değişimi

Şekil 150. Kontrol ve Ladinde Ca, Mg, Fe, Cl, NH₄, NO₃, PO₄, SO₄ ve tuzluluk değişimi

Göknar meşçeresinde EC, TDS, Na, K, sertlik parametreleri kontrol suyunda diğer noktalara göre en düşük çıkmıştır. Bununla birlikte pH ise en yüksek kontrol noktasında tespit edilmiştir. Açık alanı temsil eden kontrol noktası ile göknar deneme alanındaki meşçere altı yağış, gövdeden akış, yüzeysel akış ve orman örtüsü düzeneğinden toplanan sulardaki sertlik, pH, EC, TDS, Na, K parametrelerindeki değişim ve istatistiksel ilişkiler şekil 151’de detaylı olarak verilmiştir. Ölçülen diğer parametreler ve noktasal değerlendirmeler şekil 152’de verilmiştir.



Şekil 151. EC, TDS, pH, Sertlik, K, ve Na parametrelerinin su toplama noktalarına göre değişimi ($p < 0.05$, $n=20$). Kontrol: Brüt yağış, Gma: Göknar meşçere altı yağış, Gga: Göknar gövdeden akış, Gya: Göknar yüzeysel akış, Gfiltre: Göknarda orman örtüsü intersepsiyon düzeneğinden toplanan su. Harfler (a,b,c) noktasal bazda istatistiksel farkı belirtmektedir.

Şekil 152. Kontrol ve Gökarda Ca, Mg, Fe, Cl, NH₄, NO₃, PO₄, SO₄ ve tuzluluk değişimi

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada, asli orman ağacı türlerimizden olan Doğu ladini (*Picea orientalis* L.) ve Doğu Karadeniz Göknaarı (*Abies nordmanniana* subsp. *nordmanniana*) meşçerelerinde gerçekleşen toplam intersepsiyonun kantitatif ve kalitatif yönden bazı ekolojik ve meteorolojik parametrelerle birlikte 21 aylık süre ile detaylı analizi yapılmıştır. Bu süreçte hidrolojik döngünün önemli bir kısmını, meşçere çatısı ve orman örtüsünden gerçekleşen toplam intersepsiyon oluşturmuştur. İntersepsiyonun kantitatif özelliklerine etki eden gövdeden akış, meşçere altı yağış, yüzeysel akış, meşçere ve orman örtüsü yapısı (ölü örtü kalınlığı, yaprak alan indeksi vb.) ve topraktaki filtrasyon olayları gibi süreçler ön plana çıkmıştır. Bununla birlikte intersepsiyon süreçlerine etki eden meşçere altı yağış, gövdeden akış, yüzeysel akış ve filtrasyon gibi hidrolojik döngü elemanları da çevrime giren suyun kalitatif (pH, EC, TDS, tuzluluk, Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^+ , Na^+ , NH_4^+ , Fe^+ , SO_4^{-2} , NO_3^- , Cl^- ve PO_4^{-3}) yönden etkilenmesine neden olmuştur.

Bununla birlikte yağış yoğunluğu ve şiddeti gibi yağış karakteristikleri, hava ve toprak sıcaklığı, solar radyasyon, toprak nemi ve rüzgâr gibi meteorolojik parametreler de dolaylı olarak toplam orman intersepsiyonuna etki eden faktörler olarak tespit edilmiştir. Bundan dolayı, bu çalışmada ekosistem seviyesinde araştırılan intersepsiyon süreci ekolojik, hidrolojik ve meteorolojik etkilerin bir sonucu olarak Toprak-Bitki-Atmosfer ilişkilerinin karmaşık doğasının daha iyi anlaşılmasına önemli katkılar sağlamıştır.

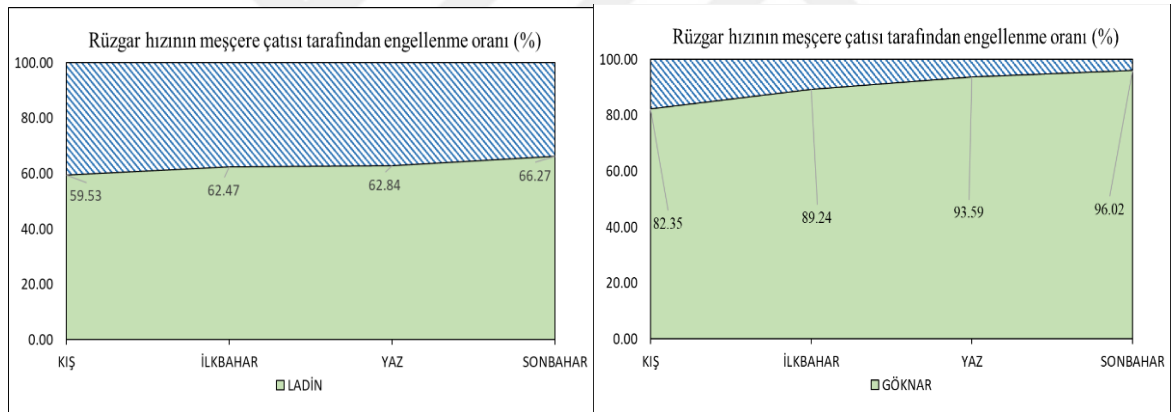
Bu çalışmada iklim istasyonlarından elde edilen verilere göre açık alandaki yıllık ortalama sıcaklık açık alanda 9,70 °C, toplam yağış miktarı 917,9 mm, yıllık ortalama nispi nem %77,55 yıllık ortalama rüzgâr hızı 0,98 m/s ve 20 cm derinlikteki yıllık ortalama toprak sıcaklığı 10,62°C olmuştur. Solar radyasyon ise ortalama 131,09 w/m², yağış yoğunluğu 5,58 mm/sa ve yağış şiddeti 5,03 mm/gün olmuştur.

Ladin meşçeresinde ortalama yıllık sıcaklık 10,11 °C, toplam yıllık yağış miktarı 473,90 mm, yıllık ortalama nispi nem %77,04, yıllık ortalama rüzgâr hızı 0,37 m/s, 20 cm'deki toprak sıcaklığı 9,28 °C, yıllık ortalama toprak nemi %14,97 olmuştur. Solar radyasyon 3,56 w/m², yağış yoğunluğu 1,17 mm/sa yağış şiddeti 3,22 mm/gün olarak tespit edilmiştir.

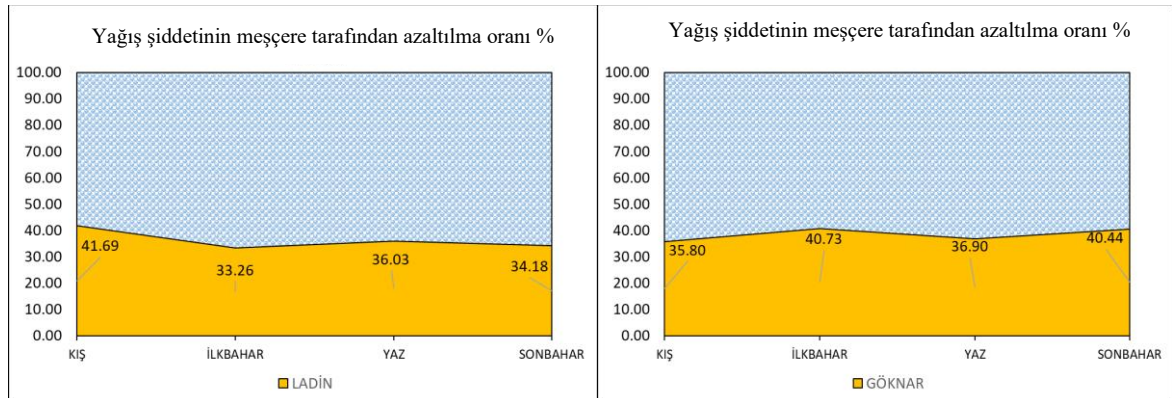
Göknaar meşçeresinde ise ortalama yıllık sıcaklık 10,04 °C, toplam yıllık yağış miktarı 278,30 mm, yıllık ortalama nispi nem %74,96, yıllık ortalama rüzgâr hızı 0,10 m/s, 20

cm'deki toprak sıcaklığı 9,28 °C, yıllık ortalama toprak nemi %19,94 olmuştur. Solar radyasyon 2,63 w/m², yağış yoğunluğu 1,06 mm/sa ve yağış şiddeti de 3,08 mm/gün olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlarla, orman ekosistemleri iklim açısından değerlendirildiğinde önemli iklim parametrelerini etkilediği ortaya çıkmıştır. Hatta orman ekosistemlerindeki farklı türlerin bile önemli iklim parametreleri açısından da farklılıklar sergilediği bu çalışma ile tespit edilmiştir. Bununla birlikte intersepsiyonu oluşturan hidrolojik parametrelerin tür bazında karşılaştırılabilmesi için öncelikle intersepsiyon üzerinde önemli bir rol oynayan YAI indekslerinin de eşit olması gerekir. Buna göre karşılaştırmalar yapıldığında aradaki var olan önemli farkın çok daha da önemli halde açılacağı için hidrolojik parametreler tür bazında karşılaştırılmamış ancak ölçülen değerler, oransal olarak verilmiştir.

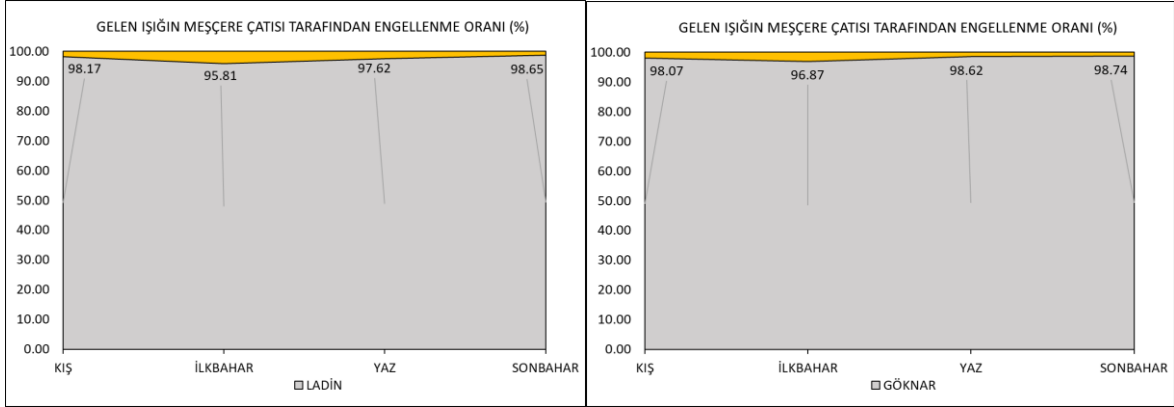
Bu çalışmada orman örtüsünün rüzgâr hızını %60-96 oranında engellediği, yağış şiddetini %30-45 oranında azalttığı ve daha da önemlisi solar radyasyonu %95-99 oranında engellediği tespit edilmiştir (Şekil 155-157).



Şekil 155. Açık alandaki rüzgâr hızının meşçerelerde azaltılma ve engellenme oranları



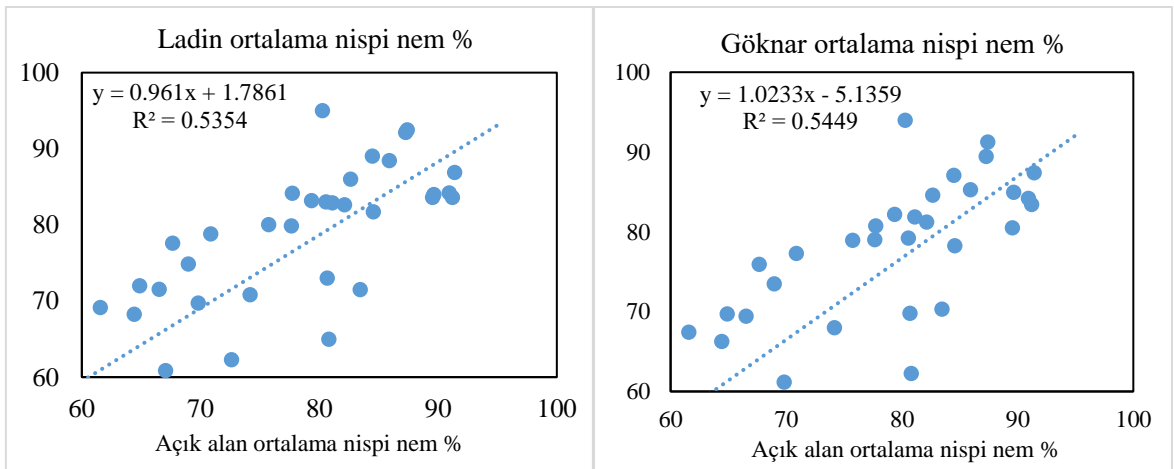
Şekil 156. Açık alandaki yağış şiddetinin meşçerelerde azaltılma ve engellenme oranları



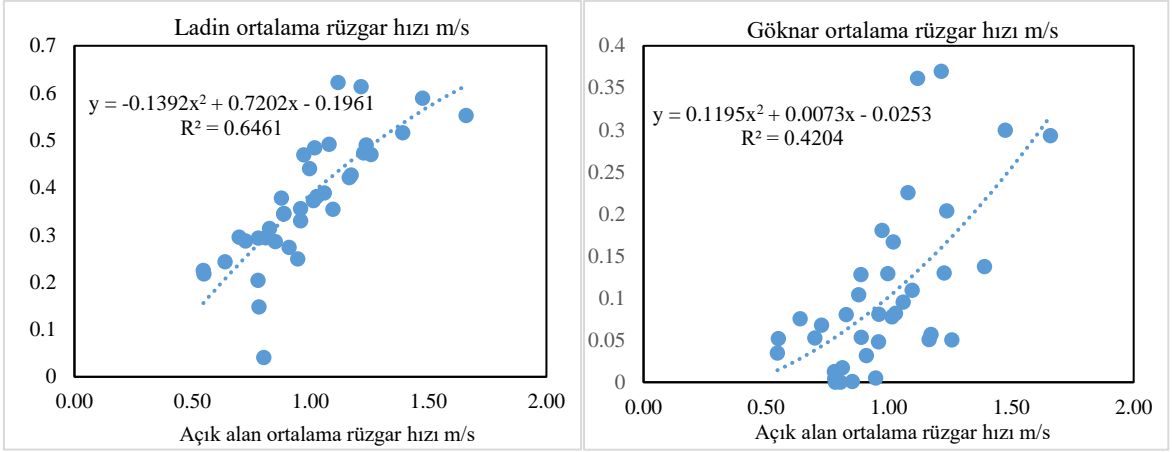
Şekil 157. Açık alandaki solar radyasyonun meşçere çatısı tarafından engellenme oranları

Orman ekosistemlerinin rüzgâr, solar radyasyon ve sıcaklık gibi özellikle dinamik iklim parametreleri üzerinde önemli bir etkisi vardır. Bu etkiler ormanların tür bileşenlerine ve meşçere karakteristiklerine bağlı olarak değişmektedir. Daha önce yapılan çalışmalarda bildirildiğine (Çepel, 1995) göre açık alanda 1,2 m/s olan rüzgâr hızı ormanda yaklaşık bu değer 0,01 m/s gibi bir değer olarak yaklaşık 12 kat oranında düşürülmüştür. Bunun yanı sıra açık alanda 7 m/s olan rüzgâr hızı ormanlar tarafından yaklaşık yarı yarıya düşürülerek 3,2 m/s değerini almıştır. Ormanların yaklaşık %54 oranında rüzgâr hızını düşürdüğü rapor edilmiştir. Bunun da ülkemiz yüzölçümünün rüzgâr erozyonuna 6/1000'sinin maruz kaldığı alanlar açısından önemli olduğu değerlendirilmiştir.

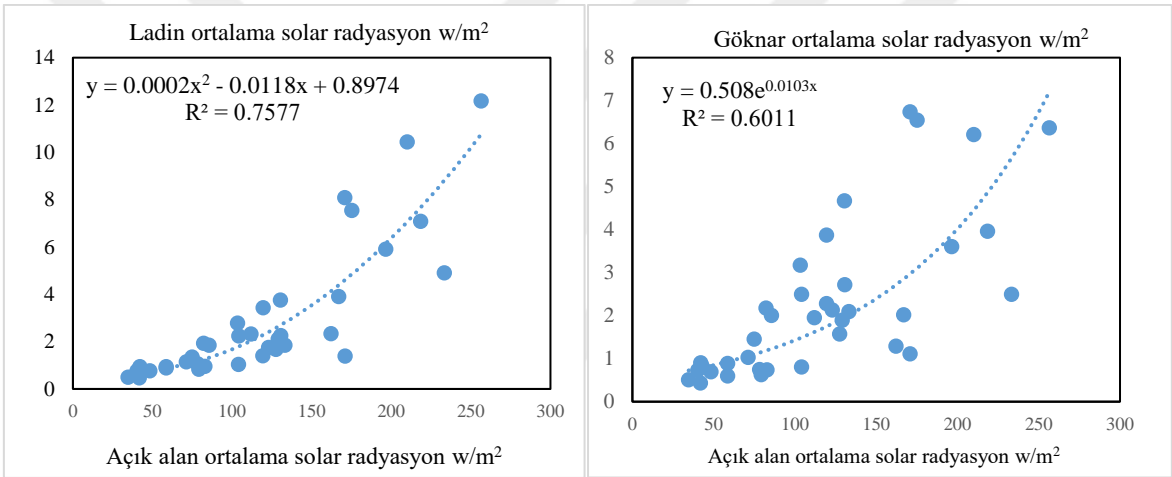
İklim verileri kullanılarak Ladin ve Gökknar meşçereleri için basit regresyon denklemleri oluşturulmuştur (Şekil 158-162). Bu denklemler 3 kapalı benzer meşçere yapısına sahip ekosistemlerde Ladin ve Gökknar türleri için kullanılabilir.



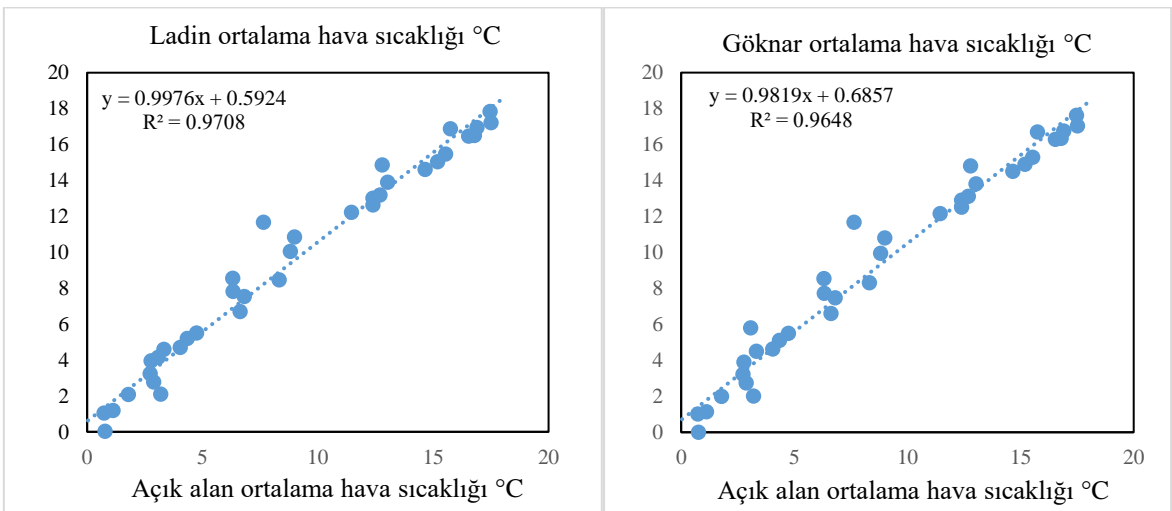
Şekil 158. Ladin ve Gökknar meşçerelerinde açık alana göre nispi nem tahmin modelleri



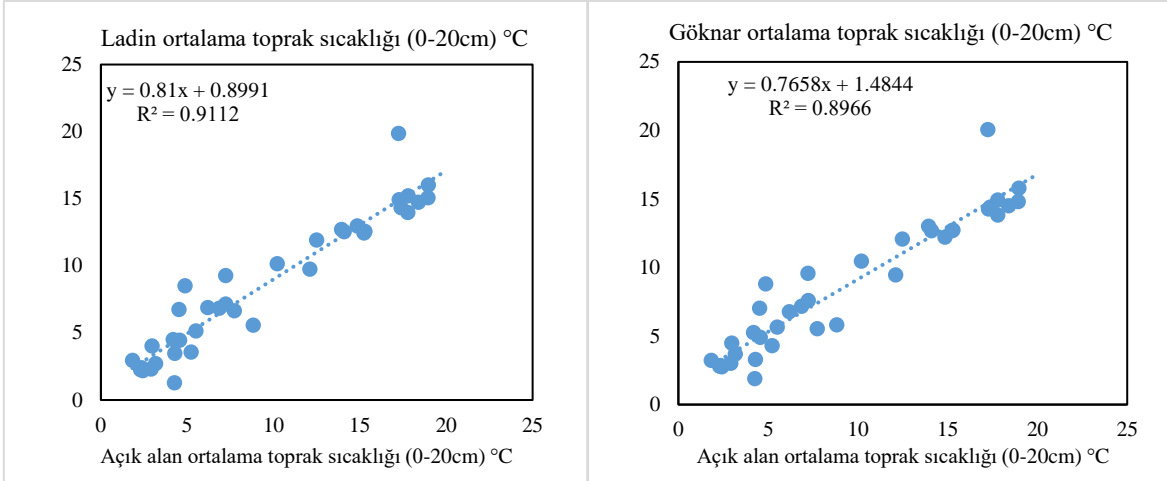
Şekil 159. Ladin ve Gökmar meşçerelerinde açık alana göre rüzgâr tahmin modelleri



Şekil 160. Ladin ve Gökmar meşçerelerinde açık alana göre solar radyasyon tahmin modelleri



Şekil 161. Ladin ve Gökmar meşçerelerinde açık alana göre hava sıcaklığı tahmin modelleri



Şekil 162. Ladin ve Gökmar meşçerelerinde açık alana göre toprak sıcaklığı tahmin modelleri

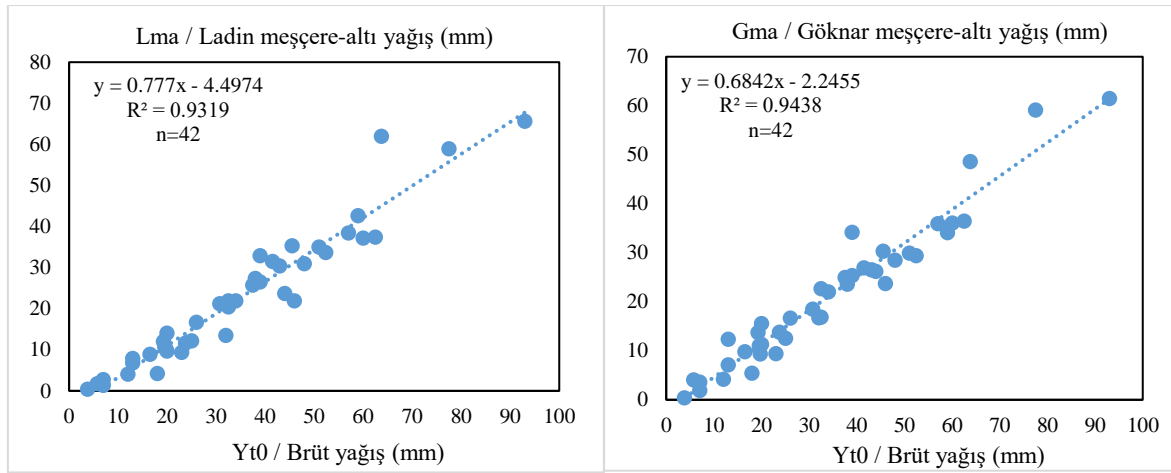
Çalışma yapılan alan, Değirmendere havzasının denizden içeri sokulumunun etkisinde bulunmaktadır. Sıcaklığın her 100 metrede $0,5^{\circ}\text{C}$ azaldığı olgusu ülkemizde yaygın olarak bilinmekte ve ormancılıkta sıklıkla kullanılmaktadır. Ancak bu değerlerin makro ve mikro iklim bölgelerinde değişim gösterebileceği unutulmamalıdır. Öyle ki Alper’de yapılan bir çalışmada her 185 metrede sıcaklığın 1°C değiştiği bildirilmiştir (Nather, 1972). Avusturya’da yapılan diğer bir çalışmada her 100 metrede ilkbahar sonunda ve yaz başında $0.62-0.69^{\circ}\text{C}$ ve kışın ise $0.03-0.55^{\circ}\text{C}$ sıcaklık azalması olduğu bildirilmiştir (Franz, 1979). Bununla birlikte arazinin topografik özellikleri de iklim parametrelerini önemli derecede etkileyen etmenlerin başında gelmektedir. Bu nedenle iklim parametrelerinin Doğu Karadeniz gibi birçok ana havzadan oluşan bölgelerde, ana havza bazında değerlendirilmesi önem arz etmektedir.

Toprak sıcaklığı, soğuk ekosistemlerde vejetasyon süresini belirleyip ekosistemi birçok açıdan etkileyen en önemli faktör olduğu bildirilmektedir (Chapin vd. 1979). Yine dünyanın farklı biyomlarındaki orman kompozisyonlarını da içeren birçok çalışmada ortalama üst toprak sıcaklıklarının (5-50cm) önemli oranda değiştiği bildirilmiştir (Pregitzer ve King, 2005). Buna göre kutuplara yakın Tundra ekosistemlerinde yıllık sıcaklığın $\leq 0^{\circ}\text{C}$ ile en düşük değer aldığı, bununla birlikte tropikal kuru ormanlarda ise 30°C ’ye ulaşarak en yüksek değer aldığı rapor edilmiştir. Çalışmamızdaki gerek açık alan gerekse de Ladin ve Gökmar ekosistemlerindeki toprak sıcaklığı SSF (1975)’ye göre değerlendirildiğinde, ılıman-iso ılıman toprak sıcaklık sınıfına girdiği tespit edilmiştir.

Tüm bunlara ek olarak havadaki sıcaklık değişimleri ile üst toprak sıcaklık değişimi arasında güçlü bir korelasyon olduğu birçok çalışmada rapor edilmiştir (Çolak ve Pitterle

1999). Bu durum üzerinde mevsimsel sıcaklığa bağlı değişimlerin büyük bir etkisi olmaktadır. Örneğin kışın hava sıcaklığının düşük olduğu olduğu durumlarda üst toprak sıcaklığının daha fazla olduğu bulunmuştur (Breshears vd., 1998).

Bu çalışmada meşçere altı yağışlar değerlendirildiğinde, manüel ölçümlere göre toplam 21 aylık ölçüm periyodunda açık alana 1451,70 mm yağış düşerken, Ladin meşçeresine 939,15 mm, Gökmar meşçeresine de Meşçere altı yağış olarak toplam 898,89 mm yağış düşmüştür. Bu ölçüm değerleri kullanılarak regresyon denklemi oluşturulmuştur. Buna göre bu çalışmada, brüt yağış ve meşçere altı yağışlar arasında güçlü bir ilişkinin varlığı tespit edilmiştir (Şekil 163).



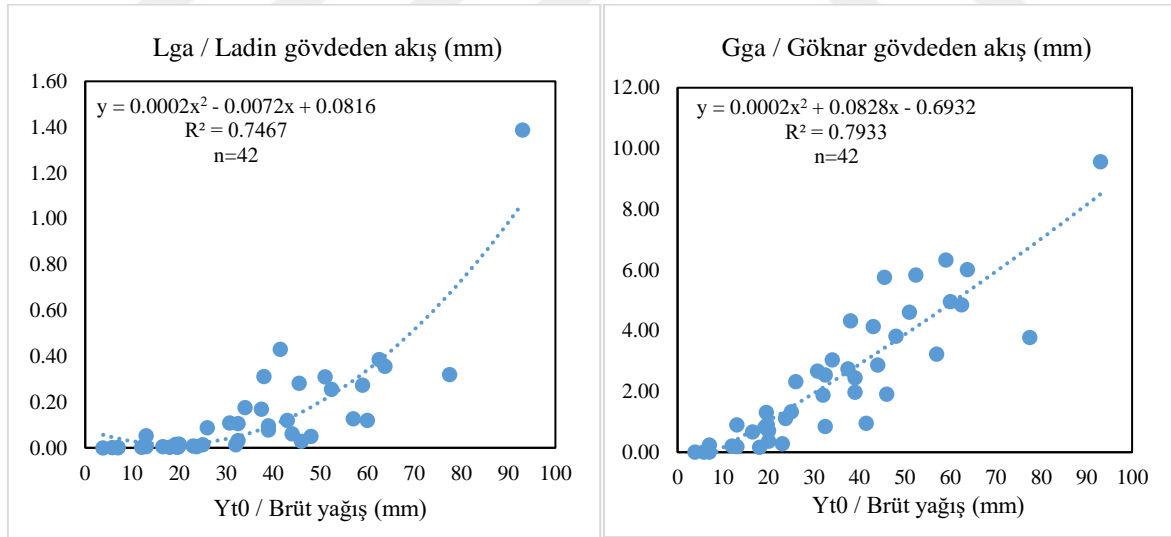
Şekil 163. Ladin ve Gökmar meşçere-altı yağışın brüt yağışa göre tahmin modeli

Yapılan önceki çalışmalarda da açık alana düşen brüt yağış miktarı ile meşçere altı yağış, arasında yüksek bir ilişkinin varlığı ($R^2 > 0,99$) bildirilmektedir (Silva ve Okumura, 1996). Bununla ilgili Helvey (1971) yapmış olduğu çalışmada Ladin-Gökmar-Duglas türlerinden oluşan karışık meşçere için brüt yağışa göre meşçere altı yağışı tahmin eden korelasyon katsayısı yüksek bir denklem geliştirmiştir ($Y_{ma} = 0.77Y_{t0} - 1.27$).

Bu çalışmada Ladinde meşçere altı yağış, brüt yağışın %64,69'unu oluştururken, Gökmar'da %61,92'sini oluşturmuş ve yakın değerler almıştır. Yapılan çalışmalarda meşçere yapısı ve yağış karakteristiklerine göre değişmekle birlikte, meşçere altı yağışın ibrelilerde %80'e kadar çıkabileceği (Wei vd., 2017) bildirilmektedir. Yine ladin (*Picea abies*) meşçeresinde yapılan çalışmada %80'i geçebileceği bildirilmiştir (Dohnal vd., 2014). Bununla birlikte yağış şiddetine bağlı olarak ibrelilerde meşçere altı yağış oranının %25-47 arasında olabileceği de bildirilmektedir (Zabret vd., 2017).

Meşçerelerde Gövdeden akış miktarları ise 21 aylık çalışma periyodunda Ladinde toplam 5,82 mm, Gökvarda ise 102,58 mm olmuştur. Bu da Ladinde gövdeden akış değeri, brüt yağışın %0,4'ünü oluşturmuş, Gökvarda ise %7,07'sini oluşturmuştur. Gökvar türü Ladin türüne göre neredeyse 20 kat daha fazla gövdeden akış değerine sahip olmuştur. Çin'de yapılan bir çalışmada gövdeden akış miktarının ortalama 1.2 ± 0.7 arasında değiştiği ve hatta %2'nin üzerine çıkabildiği bildirilmiştir (Sun vd., 2018). Bazen Brezilya'daki yağmur ormanlarında ise bu oranın %1'den az olabildiği bildirilirken, bazen de çam ormanlarında yaklaşık %9'a kadar çıkabileceği bildirilmiştir (Bruijnzeel vd., 2011). Bununla birlikte yağış miktarının 25 mm de fazla olduğu durumlarda ise %13'ün üzerine çıkabileceği de çalışmalarda rapor edilmiştir (Crockford ve Richardson, 1990).

Bu çalışmada gövdeden akış ölçüm değerleri kullanılarak regresyon modelleri oluşturulmuştur. Buna göre, brüt yağış ve gövdeden akışlar arasında güçlü bir ilişkinin varlığı tespit edilmiştir (Şekil 164). Yine yapılan çalışmalarda brüt yağış ile gövdeden akış arasında güçlü korelasyon olduğu bildirilmiş ve brüt yağışa göre gövdeden akış oranını tahmin eden Ladin-Gökvar-Duglas karışık meşçeresi için denklem ($Y_g=0.02Y_{t0}$) geliştirilmiştir (Helvey, 1971).

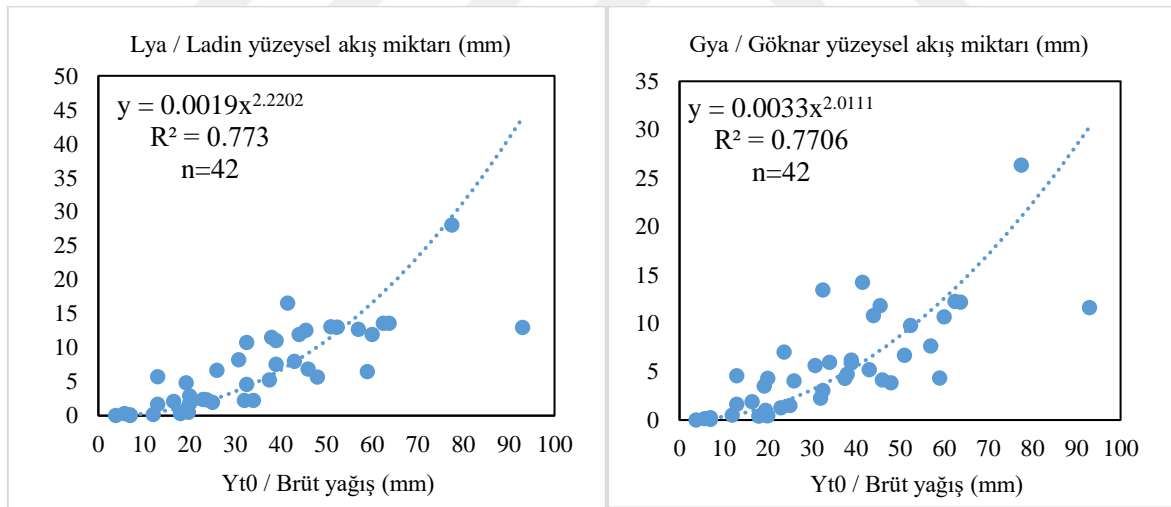


Şekil 164. Ladin ve Gökvarda gövdeden akışın brüt yağışa göre tahmin modeli

Meşçerelerde yüzeysel akış miktarları 21 aylık ölçüm periyodunda Ladinde toplam 284,37 mm su yüzeysel akışa geçerken, Gökvarda bu değer 235,33 mm olarak belirlenmiştir. Yıllık olarak değerlendirildiğinde ise brüt yağışın %19,56'u Ladin meşçeresinde yüzeysel akışa geçerken, Gökvarda bu değer %16,21 olmuştur.

Yapılan önceki çalışmalarda, ormanlık alandan yüzeysel akış miktarı yaklaşık %9 iken, çayırılık alanda ise bu değer %28'e çıkmıştır çayırılık alandaki yüzeysel akışa geçen miktar neredeyse ormanlık alanın üç katı olmuştur (Uslu, 1969). Yine Balcı (1958), yapmış olduğu çalışmada ormanlık alandaki yüzeysel akışın %18' kadar ve çıplak alanda da %56'ya kadar çıkabileceğini bildirmiştir. Çin'de yapılan bir çalışmada ise toprağın organik örtüsüne bağlı olarak yüzeysel akışın %6-20 arasında değişebileceği rapor edilmiştir (Zhou vd., 2018). Bununla birlikte yüzeysel akış miktarının orman kompozisyonundan önemli derecede etkilenebileceği gibi arazi eğiminden de etkilendiği bildirilmiştir (Hacisalihoğlu, 2004). Yağış karakteristiğinin de yüzeysel akış miktarını önemli derece manipüle ettiği bildirilmektedir. Hua Jiang vd., (2019), orman ekosistemlerinde yapmış olduğu çalışmada, yağış yoğunluğunun 5 mm den daha düşük olduğu durumlarda yüzeysel akışın ve hatta meşçere altı yağışın gerçekleşmediğini rapor etmiştir.

Bu çalışmada, brüt yağış ve meşçerelerdeki yüzeysel akış arasında güçlü bir ilişkinin varlığı tespit edilmiş ve brüt yağışa göre yüzeysel akışı tahmin eden modeller oluşturulmuştur (Şekil 165).

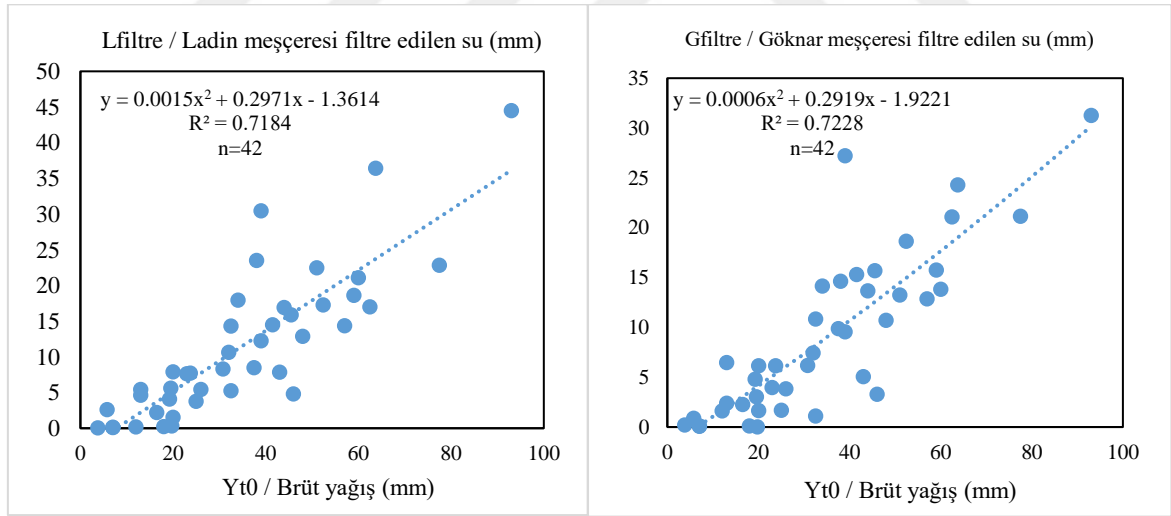


Şekil 165. Ladin ve Gökmar yüzeysel akışının brüt yağışa göre tahmin modeli

Meşçerelerde ölçüm periyodunda (21 aylık), orman örtüsü intersepsiyonunun önemli bir bileşeni olan topraktan infiltrasyon miktarları değerlendirildiğinde Ladinde toplam 477,15 mm tespit edilmiş iken Gökmar'da ise bu değer 381, 51 mm olmuştur. Ladin meşçeresinde açık alana düşen brüt yağışın yaklaşık %32,87'si toprak tarafından filtre edilerek eğim yönünde aşağıya doğru sızar iken Gökmar'da bu oran %26,28 olmuştur. Yapılan çalışmalarda bu değerlerin meşçere ve yağış karakteristiklerine göre değişmekle

birlikte %65'e kadar çıkabileceği bildirilmektedir (Jiang vd., 2019). Bulcock (2011) yaptığı çalışmada, çalışmamıza benzer kavramsal yaklaşımla orman örtüsü intersepsiyonunu meşçere altı yağış ile topraktan infiltrasyona uğratarak aşağı süzülen suyun arasındaki fark olarak almıştır. Buna göre çam (*Pinus patula*) meşçeresi için orman örtüsü intersepsiyonu %12,1 olarak hesaplanmış iken, Okalıptüs (*Eucalyptus grandis*) meşçeresi için %8,5 ve Akasya (*Acacia mearnsii*), meşçeresinde ise %6,6 olarak hesaplanmıştır. Yine bu çalışmada eğimin düşük olmasından dolayı filtre edilen su miktarı çalışmamıza göre bir hayli yüksek çıkmıştır. Okalıptüs meşçeresinde brüt yağışın yaklaşık %76'sı, çam meşçeresinde yaklaşık %67'si ve akasya meşçeresinde yaklaşık %66'sı infiltrasyonla toprağa sızdığı bildirilmiştir. Topraktan filtre edilen suyun yüksek miktarda çıkmasının en büyük nedenleri arasında genç meşçere yaşları, YAİ, orman örtüsü ve toprak özellikleri sayılabilir. Çünkü daha önce yapılan bu çalışmada YAİ okalıptüs için ortalama 3,7 olarak tespit edilmiş iken, çam meşçeresi için ortalama 3,6 olarak verilmiş ve akasya için de 2,8 olarak sunulmuştur.

Brüt yağış ve filtre edilen su miktarı arasında güçlü korelasyonların olduğu tespit edilmiş ve regresyon modelleri oluşturulmuştur (Şekil 166).



Şekil 166. Ladin ve Gökmar meşçerelerinde filtrasyonun brüt yağışa göre tahmin modeli

Bu çalışmanın ana omurgasını oluşturan meşçere çatısı intersepsiyonu için toplam 21 aylık ölçümler değerlendirildiğinde brüt yağış toplamı 1451,7 mm olmuştur. Meşçere çatısı intersepsiyonu ise Ladinde toplam 506,73 mm ve Gökmar'da ise 450,23 mm olmuştur. Oransal bazda ise Ladinde %34,1 meşçere çatısı intersepsiyonu gerçekleşirken, Gökmar'da bu oran, %31,01 olmuştur. Çepel (1986), yaptığı çalışmada iğne yapraklılardaki meşçere

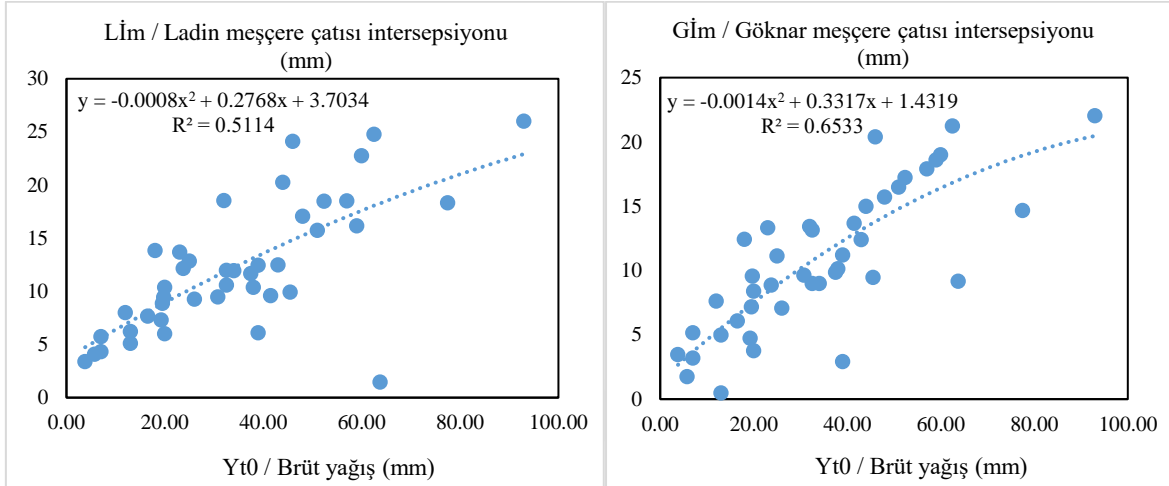
çatısı intersepsiyon sınırını %36 olarak bildirmiştir. Şen (2014) ise meşçere çatısı intersepsiyonunun Uludağ göknarında %21 ve Karaçamda %28 ve Kayında %17 olduğunu bildirmiştir. Zengin (1997) de Radiata çamında bu değer %28 olduğunu tespit etmiştir. Williams (2016), yaptığı çalışmada, ibrelili türlerde bu değer %18-25 arasında olabileceği ve geniş yapraklı türlerde ise %10-15 gibi değerler alabileceğini rapor etmiştir. Bulcock (2011) 24 ayı kapsayan meşçere çatısı intersepsiyonu ile ilgili yaptığı çalışmada, çam (*Pinus patula*) meşçeresi için %21, Okaliptüs (*Eucalyptus grandis*) Meşçeresi için yaklaşık %15, ve Akasya (*Acacia mearnsii*), meşçeresinde ise yaklaşık %28 olarak ölçmüştür.

Orman ekosistemlerinde meşçere çatısı intersepsiyonu ile brüt yağış arasında yüksek derecede ilişki bulunmaktadır. Bu ilişki, yağış karakteristikleri ve meşçere yapısına göre değişmekle birlikte bazen logaritmik bazen doğrusal olmaktadır. Ardıç meşçeresinde yapılan bir çalışmada (Owens ve Lyons, 2002), düşük yağış şiddetinde (<6.4 mm) gelen yağışın hemen hemen hepsi meşçere çatısı tarafından intersepsiyona uğratılırken, yüksek yağış şiddetinde ise bu oranın %48,2'ye kadar çıkabileceği bildirilmiştir. Yine Amazon yağmur ormanlarında düşük yağış şiddetinde meşçere çatısı intersepsiyonunun %9 gibi düşük değer alabileceği bildirilmiş iken (Lyod ve Marques, 1988), İran'da yapılan bir çalışmada (Ahmadi vd., 2009), yağış şiddetine bağlı olarak Kayın ormanlarında bu değer %26-36 olabileceği rapor edilmiştir.

Ekosistemlerdeki intersepsiyon olgusu normalde yağış karakteristiklerine (yağış miktarı, şiddeti, süresi, damla boyutu ve sayısı vb.) bağlı olarak değişmekle birlikte mikro meteorolojik ve yakın zamandaki hava koşulları ile yaprak yüzeyi, kapalılık, gövde yüzey alanı, meşçere yapısı gibi meşçere özelliklerine bağlı olarak değişebildiği rapor edilmiştir (Livesley vd., 2014). Bununla birlikte bir bitki çatısının statik ve rüzgârsız koşullar altında 100 g/m²'ye kadar veya birkaç mm yağmura eşdeğer bir yağış derinliğini tutabildiği bildirilmektedir (Dunkerley, 2020). Bu çalışmada, brüt yağış ile meşçere çatısı intersepsiyonunu tahmin eden ilişki katsayısı yüksek regresyon denklemleri oluşturulmuştur (Şekil 167).

Ladinde meşçere altı yağış Göknaar meşçeresinden fazla olmasına rağmen meşçere çatısı intersepsiyonu ladin meşçeresinde daha fazla çıkmıştır. Bunun en büyük nedeni de meşçere çatısı intersepsiyon denklemindeki gövdeden akış parametresinden kaynaklanmıştır. Çünkü gövdeden akış değeri meşçere çatısı intersepsiyonuna negatif katkı sağladığı için ve Göknaarda gövdeden akış değerleri ladin meşçeresine göre kayda değer bir biçimde daha fazla olmuştur. Bu nedenle gövdeden akışın, meşçere çatısı intersepsiyonu

üzerinde önemli derecede kontrol edici bir mekanizma olduğu değerlendirilmiştir. Bununla birlikte, başta ağaç türü olmakla birlikte yağış şiddeti, sıcaklık, yaprak alan indeksi bunda etkili olmuştur.



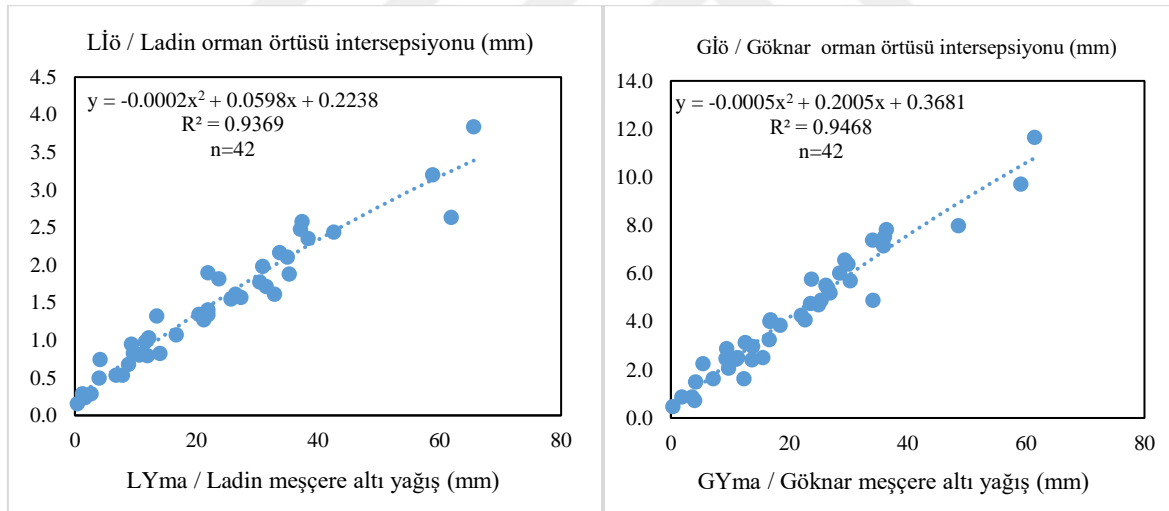
Şekil 167. Ladin ve Gökvarda meşçere çatısı intersepsiyonunun tahmin modeli

Meşçere çatısı intersepsiyonunu YAI önemli derecede etkilemektedir. Orman ekosistemlerinde YAI oranı arttıkça yaprak alanı ve gövdedeki depolama kapasitesi de önemli derecede arttığı bildirilmektedir (Wallace vd., 2013, r=0,99). Acharya vd. (2020), yüksek ilişki katsayılı (R² =0,84) yıllık intersepsiyon denklemi (Y=-0,015+0,13x) geliştirilmiştir. Bazı çalışmalarda (Sadeghi vd., 2020) YAI ile meşçere altı yağış arasında yaklaşık korelasyon katsayısı r=0,32 (R²=0,10) gibi çok yüksek olmayan ilişki katsayısı sergilemektedir. Ancak burada göz ardı edilen olgu herdem yeşil bitki türleri (çam ladin vs) ile yaprağını döken türler (kayın, meşe vs) aynı kategoride değerlendirilerek ortalaması alınmıştır. Bu yaklaşım araştırma sonucunu ciddi oranda manipüle etmiştir. Oysaki herdem yeşil bireyler yaprağını döken bireyler olarak en azından 2 farklı ana kategori oluşturulmalı idi. Buna ek olarak yaprağını döken bireylerin de yapraklı periyotları dikkate alınarak bir alt kategoride yapraklı-yapraksız sezon olarak 2 alt kategoride değerlendirilmeliydi. Çünkü herdem yeşil bireylerde yaprak alanı sezonsal olarak önemli derecede değişmez iken, yaprağını döken türlerden oluşan meşçerelerde yaprak alanının önemli derecede değiştiği bilinen bir olgudur.

Orman örtüsü intersepsiyonu, ölçüm periyodunda Ladin meşçeresinde toplam 59,96 mm su orman örtüsünden intersepsiyonla atmosfere verilir iken Gökvar meşçeresinde bu değer toplam 181,90 mm olmuştur. Bu da brüt yağış açısında değerlendirildiğinde 6,62 mm

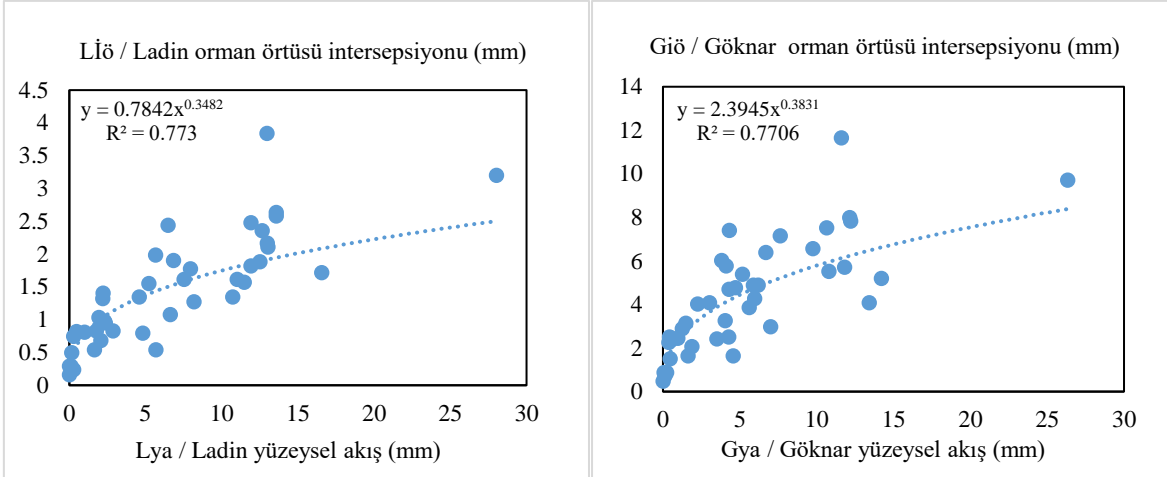
orman örtüsüne sahip (ibre) ladin meşçeresinde orman örtüsü intersepsiyonu %4,13 olur iken, 13,94 mm orman örtüsü (ibre) kalınlığına sahip Gökmar meşçeresinde orman örtüsü intersepsiyonu %12,53 olmuştur. Bu sonuçlar da orman örtüsü kalınlığına bağlı olarak meşçere altına gelen yağışın o oranda tutulacağı ve bu mekanizma tarafından intersepsiyona uğrayacağını açık bir şekilde göstermiştir. Yapılan çalışmalarda orman örtüsünden gerçekleşen intersepsiyon değerinin genel olarak %1-5 arasında değiştiği bildirilmekle (Helvey ve Patric, 1965) birlikte Çam gibi ibreli türlerde bu değer %17'ye kadar çıkabileceği (Alden, 1968) hatta Avrupa Kayın ormanlarında bu değer %34'e kadar çıkabileceği (Gerrits vd., 2006) bildirilmiştir. Yine yağış karakteristiğini de değerlendiren bir çalışmada bu değer %2-12 arasında olabileceği rapor edilmiştir (Kiss vd., 2014).

Bu çalışmada meşçere altı yağışa göre orman örtüsü intersepsiyonunu tahmin eden regresyon katsayısı yüksek modeller oluşturulmuştur (Şekil 168). Buna göre brüt yağışa göre tahmin edilen meşçere altı yağışlar denkleme girilerek orman örtüsü intersepsiyonuna kolayca ulaşılabilir.



Şekil 168. Ladin ve Gökmar orman örtüsü intersepsiyonunun meşçere altı yağışa göre tahmin modeli

Yüzeysel akış ve orman örtüsü intersepsiyonu arasında güçlü bir ilişki tespit edilmiştir. Her iki türde de yüzeysel akış miktarına göre orman örtüsü intersepsiyonunu tahmin eden modeller geliştirilmiştir (Şekil 169).

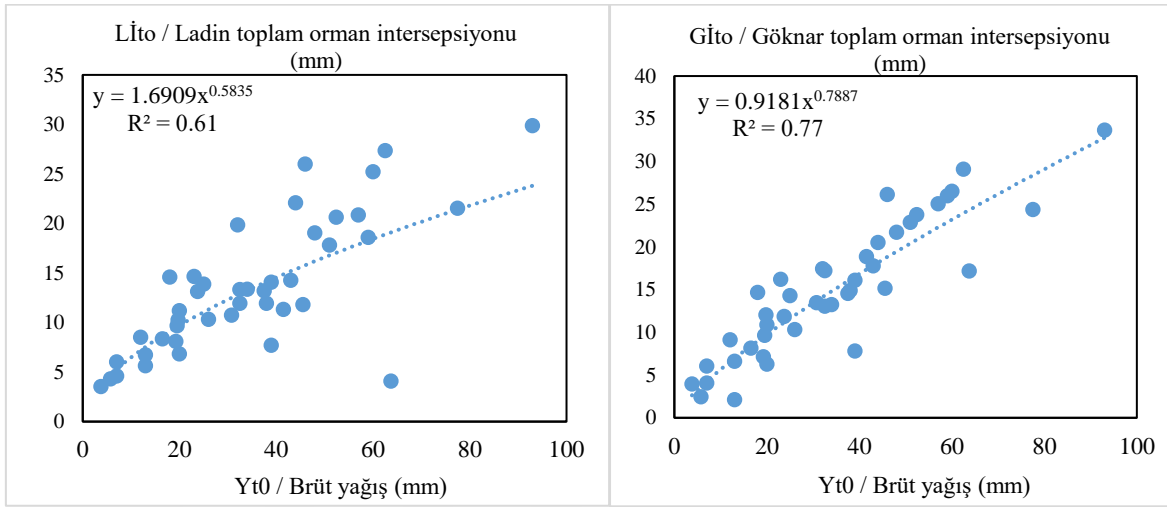


Şekil 169. Ladin ve Gökvarda orman örtüsü intersepsiyonunun yüzeysel akışa göre tahmin modeli

Sonuç olarak, 21 aylık bir araştırma sonucunda asli türlerimizden olan Ladin ve Gökvar ekosistemlerinde orman örtüsü ve meşçere çatısı intersepsiyonunun bileşeni olan toplam orman intersepsiyon değerleri elde edilmiştir. Buna göre ölçüm periyodunda Ladin meşçeresinde, toplam 566,69 mm yağış suyu intersepsiyonla atmosfere geri döner iken, Gökvar meşçeresinde ise toplam 632,13 mm su atmosfere geri verilmiştir. Bu değerler brüt yağış bazında değerlendirildiğinde Ladinde %39,04 olur iken, Gökvarda ise bu değer %43,53 olmuştur. Gökvar türünde meşçere çatısı intersepsiyonunun Ladin türüne göre daha düşük çıkmasına rağmen, orman örtüsündeki intersepsiyonun Ladin türüne göre çok yüksek olması, toplam orman intersepsiyonunun Gökvar meşçeresinde yüksek olmasına neden olmuştur. Açık alana düşen brüt yağış miktarının da toplam orman örtüsü intersepsiyonu üzerinde önemli bir rolü olmuştur. Genel olarak orman örtüsü ve meşçere çatısı intersepsiyonunu içine alan toplam orman intersepsiyonunu tespit eden çalışmalar oldukça sınırlıdır. Orman ekosistemlerindeki çalışmaların çoğu meşçere çatısı intersepsiyonunu belirlemeye yönelik gerçekleştirilmiştir. Bununla birlikte sınırlı sayıda çalışmada da ibrelili türlerin toplam orman intersepsiyon değerlerinin yüksek çıkabileceğini göstermiştir. Rusya'da Ladin ve Gökvar ormanlarında yapılan bir çalışmada (Shiklomanov ve Krestovsky, 1988) toplam orman intersepsiyonunun %40-60 arasında olabileceği tespit edilmiştir. İran'da Servi türünde yapılan çalışmada ise bu değer %45 olduğu bildirilmiştir. Çin gökvarında yapılan bir çalışmada (Hua Jiang vd., 2019), toplam intersepsiyon oranının plantasyon alanında %34 ve doğal meşçerede %36 olduğu tespit edilmiş ve bu aradaki farkın da birim alanındaki birey sayısından ve yaprak alan indeksinden kaynaklandığı bildirilmiştir. Görüldüğü gibi aynı ekolojik koşullarda YAI ve meşçere yapısına sahip olan plantasyon ve

doğal orman ekosistemlerinde gerçekleşen intersepsiyon oranında farkın önemsiz olacağı öngörülmektedir.

Bu çalışmada, çalışılan tür bazında brüt yağışa göre toplam orman intersepsiyonunu tahmine den ilişki katsayısı yüksek basit regresyon modelleri oluşturulmuştur (Şekil 170). Yine ABD’de Veymut çamında meşçere yaşına bağlı yapılan çalışmalarda (Helvey, 1967), 35 yaşındaki meşçere için $I_{to} = 1.27 N + 0.12 Y_{t0}$ (N: ağaç sayısı) denklemi ve 60 yaş için $I_{to} = 1.52 N + 0.18 Y_{t0}$ denklemleri geliştirilmiştir.



Şekil 170. Ladin ve Gökvarda toplam orman intersepsiyonun brüt yağışa göre tahmin modeli

Çalışma alanı havza karakteristiği olarak drenaj yoğunluğunun iyi gelişmiş sisteme sahip olduğu ve yüzeysel akışın kolaylıkla oluştuğu söylenebilir. Form faktörüne göre nispeten dar ve uzun bir yapı göstermiştir. Böyle bir mikro havzadan alınan deneme alanlarında ölçüm sonuçları değerlendirildiğinde, Mevsimsel olarak yaz dönemindeki intersepsiyon değerleri yüksek çıkmıştır. Bunun ana sebebi de açık alana düşen brüt yağış miktarı olmuştur. Çalışma bölgesine düşen yağış miktarı yaz mevsiminde en yüksek olmuştur.

Daha önce de oluşturulan regresyon denklemlerinde de gösterildiği gibi açık alana düşen yağış miktarı ile intersepsiyona etki eden ana bileşenler olan meşçere altı yağış, gövdeden akış ve orman örtüsü intersepsiyonu, yağış miktarından güçlü bir şekilde etkilenmektedir. Daha önce de literatür kısmında belirtildiği üzere, bir orman ekosisteminde meşçere çatısı intersepsiyonu, çoğunlukla orman kompozisyonuna (Siegert ve Levia, 2014), yağış karakteristiğine (Van Stan li vd., 2011) ve meteorolojik duruma (Herwitz ve Slye, 1995) bağlı olarak değişmektedir. Bununla birlikte, intersepsiyon kayıpları, meşçeredeki

ağaçların yaşı, yaprak yüzey indeksi ve meşçere göğüs yüzeyi ile ilişkili olabilmektedir. İğne yapraklı türlerde (koniferlerde) meşçere göğüs yüzeyinin artmasına paralel olarak intersepsiyon oranlarının arttığı tespit edilmiştir. Meşçere göğüs yüzeyi 30 m²/ha ‘den az olduğunda intersepsiyon oranı %20 iken meşçere göğüs yüzeyinin 70 m²/ha’ı aşması durumunda ise intersepsiyon miktarı %50’ye kadar çıkabilmektedir (Grelle vd., 1997; Crockford and Richardson, 2000; Barbier vd., 2009). Bu çalışmada ladin ve Gökmar türleri herdem yeşil türlerdendir. Bu yüzden yaprak yüzey indeksinin değişimi daha ziyade göğüs çapının artımına bağlı olarak değişmektedir (Katsuno ve Hozumi, 1987; Turner vd., 2000; Kigomo vd., 2013, Kezik ve Kocaçınar, 2014).

Ölçüm periyodu dikkate alındığında çap artımının küçük bir değer alacağı ve vejetasyon periyodu sonunda da fizyolojik aktivitelerini sınırlandırılmasına bağlı olarak bir kısım yaprak döküleceği için yaprak yüzey indeksindeki değişim göz ardı edilmiştir. Bu yüzden çalışmamızdaki intersepsiyon değerlerinin yaz ayında yüksek olması yağış miktarının yanı sıra karakteristiği tarafından etkilendiği değerlendirilmektedir. Bunun için de iklim parametrelerine göre çoklu regresyon modelleri test edilmiştir. Buna göre açık alandaki ortalama rüzgâr hızı ve yağış şiddeti, Ladin ve Gökmar meşçerelerinde toplam orman intersepsiyonu üzerinde önemli derecede etkili olan iki iklim parametresi olmuştur (Tablo 8,9). Yapılan çalışmalarda, intersepsiyona etki eden meteorolojik faktörler arasında, yağış miktarı, yağış süresi ve yoğunluğu, rüzgar hızı, hava sıcaklığı ve nemi ile yağmur damlalarının karakteristik özelliklerinin yer aldığı bildirilmektedir (Crockford vd., 2000; Xiao vd. Andre vd.,2000; 2008; Sraj vd. 2008; Siegert vd. 2014).

Tablo 8. Ladinde toplam orman intersepsiyonunun (Lito) iklim parametreleri ile tahmini

Model Summary ^a									
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	.616 ^a	.379	.312	5.57181	.379	5.645	4	37	.001

a. Predictors: (Constant), ASOLARRAD, AORTRUZ, AYAGISSID, AORTSIC
b. Dependent Variable: LadinLITO

Coefficients ^a								
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF
1	(Constant)	15.542	4.513		3.444	.001		
	AYAGISSID	.854	.278	.412	3.066	.004	.931	1.075
	AORTRUZ	-10.908	3.719	-.387	-2.933	.006	.966	1.035
	AORTSIC	.053	.226	.049	.236	.814	.394	2.539
	ASOLARRAD	.030	.024	.270	1.294	.204	.387	2.585

a. Dependent Variable: LadinLITO

Tablo 9. Gökvarda toplam orman intersepsiyonunun (Gito) iklim parametreleri ile tahmini

Model Summary ^b									
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	.726 ^a	.528	.477	5.59544	.528	10.330	4	37	.000

a. Predictors: (Constant), ASOLARRAD, AORTRUZ, AYAGISSID, AORTSIC
b. Dependent Variable: GökvarITO

Coefficients ^a								
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF
1	(Constant)	18.510	4.532		4.084	.000		
	AYAGISSID	1.287	.280	.539	4.602	.000	.931	1.075
	AORTRUZ	-15.239	3.735	-.469	-4.080	.000	.966	1.035
	AORTSIC	-.093	.227	-.074	-.411	.684	.394	2.539
	ASOLARRAD	.046	.024	.357	1.967	.057	.387	2.585

a. Dependent Variable: GökvarITO

Yapılan bu çalışmada intersepsiyon bileşenlerinin su kalitesi üzerinde önemli bir etkisi olduğu belirlenmiştir. Ölçülen su kalite parametreleri genel olarak değerlendirildiğinde açık alana düşen su, ölçüm periyodu boyunca en düşük içerik yoğunluğuna sahip nokta olarak değerlendirilmiştir.

Açık alana düşen yağış suları kontrol olarak alınarak orman ekosistemi örtüsüne düştükten sonra toprağa girene kadar ne gibi değişimler gösterdiği tespit edilmiştir. Meşçere altı yağışlar, kontrol noktasından sonra 2. derecede içerik yoğunluğuna sahip ölçüm noktası olarak değerlendirilmektedir. Meşçere çatısına düşen suyun saflık oranı yukarıdan aşağıya doğru azalmakta ve içerisindeki toplam çözünmüş madde miktarı artma eğilimi göstermektedir. Öyle ki meşçere altı yağıştan sonra toprak içerisine sızan suyun özellikleri toprağın elemental içeriğinden önemli derecede etkilenecek suyun kalite özelliklerinde önemli değişimler meydana getirmiştir.

Sonuç olarak açık alana düşecek olan yağış sularında, orman örtüsü gibi bir engele çarparak intersepsiyon bileşenlerinin (Meşçere altı yağış, gövdeden akış, yüzeysel akış, orman örtüsü intersepsiyonu) de etkisi ile kalite özelliklerinde önemli değişimler meydana gelmiştir. Bu çalışma ile intersepsiyonun önemli su kalite parametrelerini ne oranda değiştirebildiği detaylı olarak tespit edilmiştir.

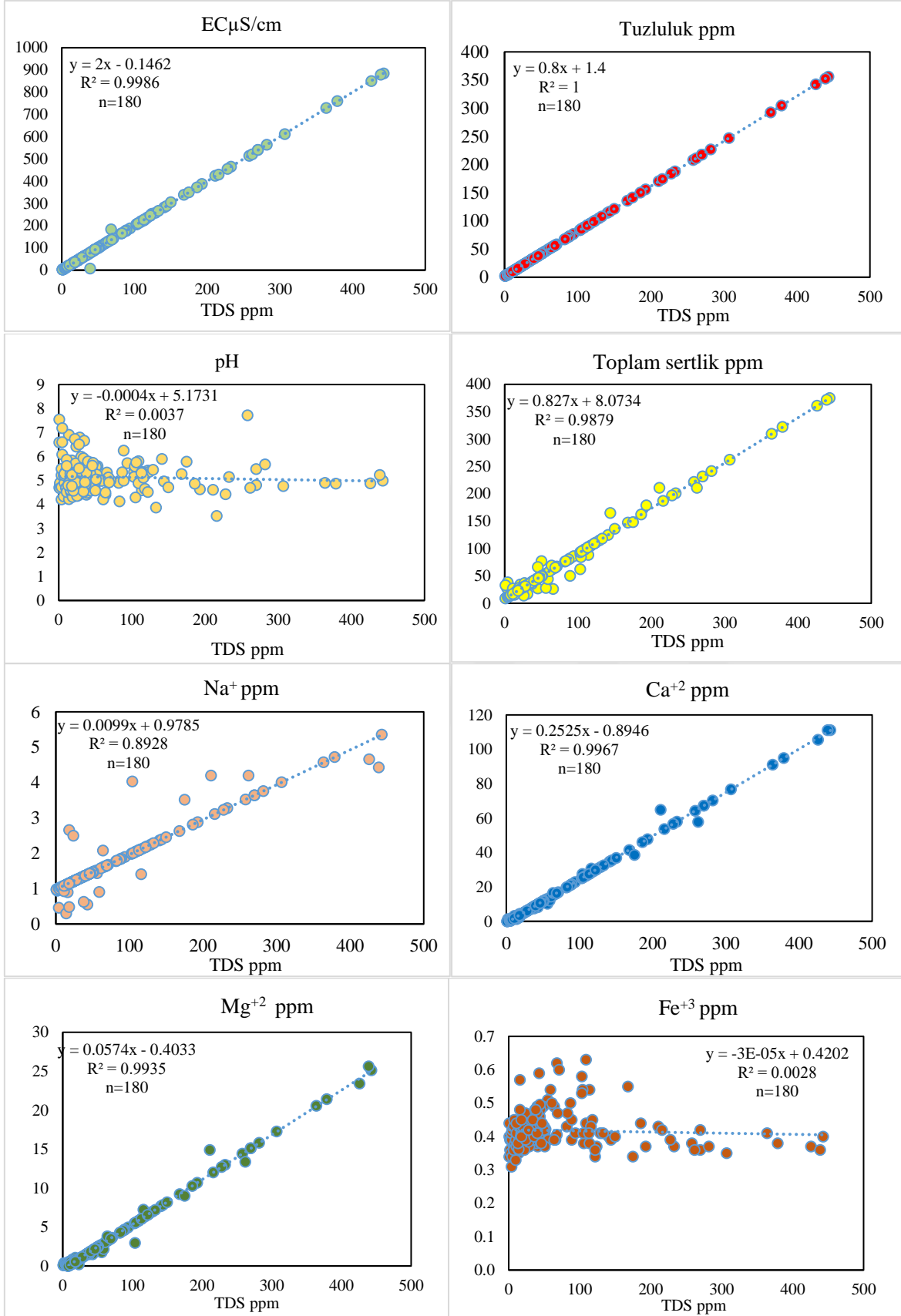
Ladin ve Gökvar meşçerelerinde, meşçere çatısına düştükten sonra meşçere çatısından süzülüp toprak yüzeyine gelen yağış suları, toprağın inorganik (kil) ve organik (humus) partükülleri ile etkileşime girmiş ve içeriğinde bazı maddeler artmış ve bazı maddeler de azalmıştır. Toprakta filtre olan sularda pH, K⁺, Cl⁻, PO₄⁻³, NH₄⁺, oranları önemli ölçüde

azalırken, EC, TDS, sertlik, Na^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , NO_3^- , SO_4^{-2} ve Tuzluluk oranlarında ise önemli derecede artışlar meydana gelmiştir. Ölçülen kimyasal parametreler 20 aylık süreçte tüm intersepsiyon bileşenleri ve açık alan dâhil toplam çözünmüş madde miktarına (TDS) göre basit regresyon denklemleri yardımı ile modellenmiştir. İlgili ekosistemde TDS oranı kolayca belirlenerek diğer karmaşık su kalite parametrelerinin oranı da belirlenmiş olur.

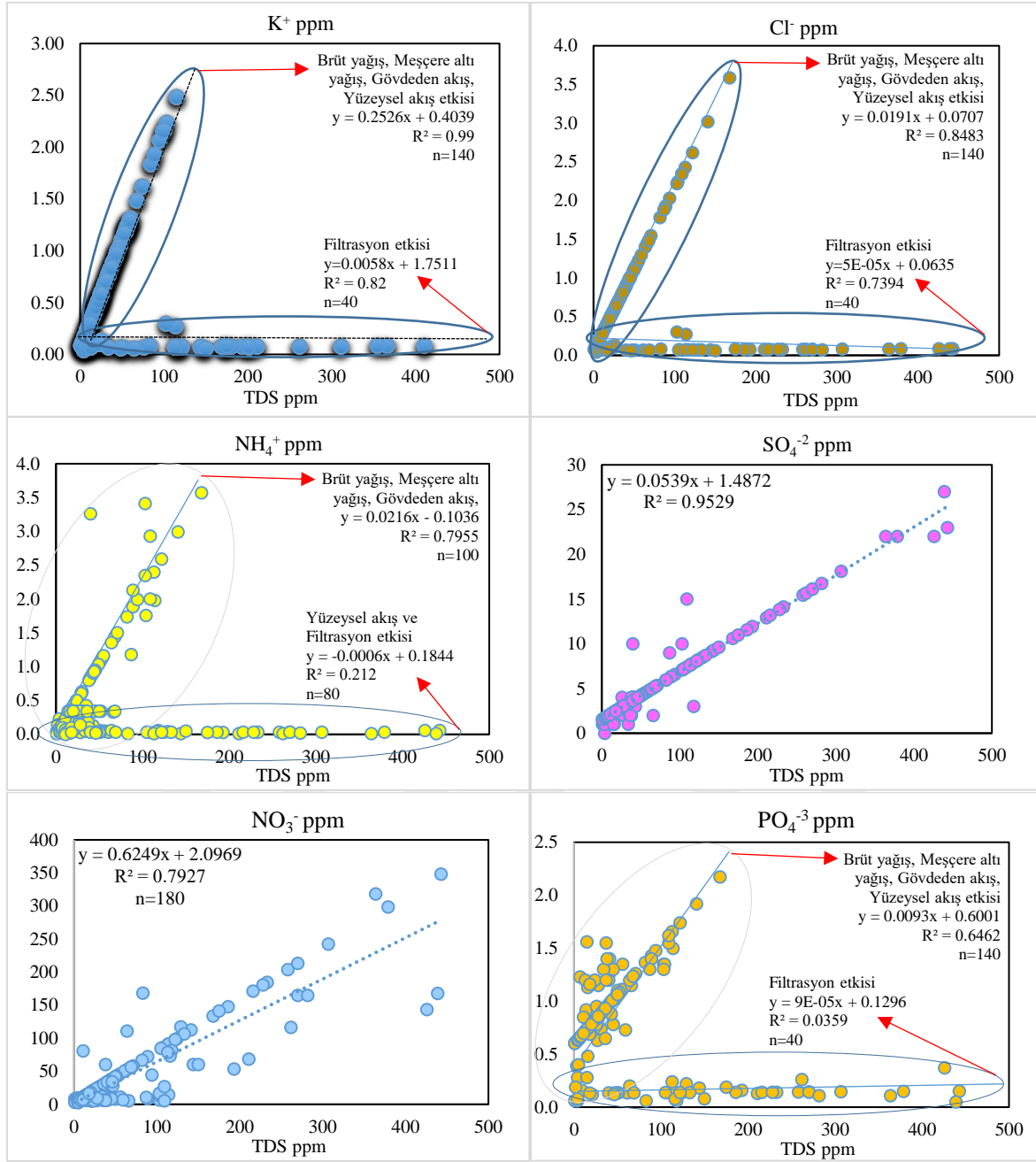
TDS'ye göre oluşturulan denklemlerde tüm intersepsiyon süreçlerinde pH, EC, tuzluluk, toplam sertlik, Na^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Fe^{+3} , NO_3^- ve SO_4^{-2} için tek bir denklem oluşturulmuştur (Şekil 171,172). Ancak toprağa nüfuz ettikten sonra içeriğinde önemli değişimler gösterdiği PO_4^{-3} , NH_4^+ , Cl^- , K^+ için iki ayrı denklem oluşturulmuştur (Şekil 171, 172).

Orman ekosistemlerinde yapılan önceki çalışmalarda, meşçere altı yağış ve gövdeden akışın suyun içeriğini Na^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^+ , Cl^- , NO_3^- , SO_4^{-2} , PO_4^{-3} açısından önemli derecede etkilediği bildirilmiştir (Tonello vd., 2021). Yine, gövdeden akışın toprak çözeltisi içeriğine %5-20 oranında katkı sağladığı Parker (1983) tarafından rapor edilmiştir. Kayın ekosisteminde yapılan çalışmada meşçere altı yağışların Cl^- , NH_4^+ , ve Na^+ içeriğinde önemli değişimler oluşturduğu rapor edilmiştir (Dev-laeminck vd. 2005). Bununla birlikte Türkiye, İstanbul'da yapılan bir çalışmada (Eisalou vd., 2013) meşe (*Quercus petraea* (Mattuschka), Kayın (*Fagus orientalis* L.) ve Karaçam (*Pinus nigra* Arnold. *subsp. pallasiana* (Lamb) meşçerelerinin su kalitesi üzerine etkisi araştırılmıştır. Tüm meşçere türlerinde orman örtüsünün meşçere altı yağış sularını EC, N, P, Cl^- , Na^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^+ , Fe, NO_3^- yönünden zenginleştirdiği, SO_4^{-2} açısından da fakirleştirdiği rapor edilmiştir.

Williams vd. (1987) , tavus otu (*Agrostis capillaris*) ve mavi koyun yumağı (*Festuca ovina*) ekosistemlerinde yapmış oldukları çalışmada, topraktan süzülen suyun kalitesinde önemli değişimler meydana geldiğini bildirmiştir. Brüt yağışın pH'sı 4,26'dan 4.72'ye kadar çıkmış, Na^+ değeri 3,79 ppm'den 5,81 ppm'e, K^+ miktarı 0,41'den 11,03 ppm'e, Ca^{+2} 0,33'den 2,75 ppm'e, Mg^{+2} 0,44'ten 1,72'ye, Cl^- miktarı da 5,94'ten 13,81 ppm'e yükseldiğini rapor etmiştir. Yapılan bir çalışmada (Holting, 2015), toprak ekosistemi sahip olduğu partiküller ve kolloidler sayesinde farklı formdaki virüslerin toprak çözeltisinden taban suyuna ulaşmadan uzaklaştırabileceği rapor edilmiştir. Toprakta katyon değişim kapasitesi ise şu şekilde teşekkül olmaktadır: $\text{Al}^{+3} > \text{H}^+ > \text{Ca}^{+2} > \text{Mg}^{+2} > \text{K}^+ = \text{NH}_4^+ > \text{Na}^+$ (Barnes vd., 1998).



Şekil 171. Toplam çözünmüş maddeye göre diğer su kalite parametrelerinin tahmin modelleri-1



Şekil 172. Toplam çözünmüş maddeye göre diğer su kalite parametrelerinin tahmin modelleri-2

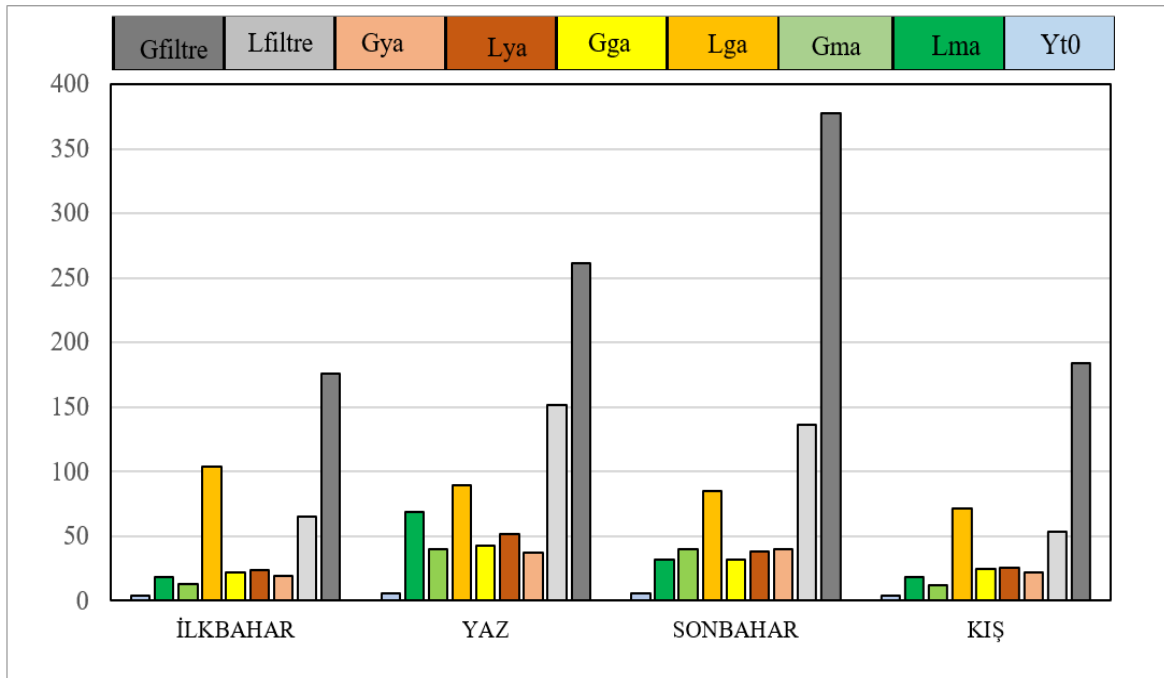
Ölçüm noktalarında daha önce de belirtildiği gibi bazı elementlere için TDS içeriğine göre iki ayrı denklem oluşturulmuştur. Birinci denklem toprağa sızmadan önceki süreçte kullanılacağı gibi ikinci denklem de toprak suyunun TDS'ye göre kimyasal içeriğinde kullanılabilir. Afrika kıtasında Tropikal ormanlarda yapılan benzer çalışmalarda TDS ile EC, Na⁺, K⁺, Ca⁺², Mg⁺², Cl⁻ ve SO₄⁻² arasında çok güçlü ilişkiler tespit edilmiştir (Akotoyen, 2013). Dünya yüzeyindeki atmosfer, bitki örtüsü, toprak ve ana kaya arasındaki çok ince arayüz, "**kritik bölge**" olarak da adlandırılmaktadır (Brantley vd., 2006).

Kritik bölge olarak adlandırılan bu bölgesinin özellikle kuzey yarım kürede onlarca yıldır, hatta yüzyıllardır sanayileşmeye bağlı olarak insan faaliyetlerinin baskısı altında olduğu bildirilmektedir (Wohl, 2013). Kritik bölge kapsamında Probst ve Ambroise (2019), bir havzada yapmış olduğu çalışmada brüt yağışın dere akışına geçene kadar olan hidrokimyasal özelliklerindeki değişimlerini incelemiştir. Buna göre brüt yağışta 4.61 olan pH değerinin dere akımında 6.85'a kadar ulaşabildiğini tespit etmiştir. Yine brüt yağıştaki Na^+ , K^+ , Mg^{+2} , Ca^{+2} , Cl^- , SO_4^{-2} ve TDS miktarlarının dere akımında önemli derecede arttığı rapor edilmiş iken, NH_4^+ , H^+ ve NO_3^- , değerlerinde önemli derecede azalmalar meydana geldiği tespit edilmiştir. Hatta bu değişimlerin mevsime bağlı olarak da değişebileceği bildirilmiştir.

Bu çalışmada, filtrasyon noktasında üst toprak (0-30cm) katmanı kullanılmıştır ve topraktan süzülen suyun kimyasal içeriği toprağın kimyasal içeriğinden önemli derecede etkilenmiştir. Orman ekosistemlerinde yağışlarla birlikte toprakta aşağı doğru sızan suyun kimyasal özellikleri toprak yapısından ve onu oluşturan kayaçların kimyasal içeriğinden önemli derecede etkilenebildiği gibi infiltrasyon hızından da etkilenebilmektedir (Bouma, 2012). İsveç'in boreal ormanlarında yapılan bir çalışmada (Vestin, 2008), toprak içindeki hızlı bir akışta süzülen suyun kimyasal özellikleri üst toprak özelliklerini yansıtırken, yavaş bir süzülme sürecinde ise alt toprak özelliklerini yansıtmıştır. Bundan dolayı, çalışmamızdaki Ladin ve Gökmar meşçeresindeki filtre edilen sudaki kimyasal madde konsantrasyonu (TDS vs) üzerinde toprağın kimyasal içeriği ile birlikte topraktaki suyun akış karakteristiğinin önemli göstergesi olan permeabilite oranı da etkili olmuştur. Üst topraktaki (0-30 cm) permeabilite oranı Gökmar meşçeresinde ortalama 9.01 cm/saat iken Ladinde bu değer 12,27 cm/saat olmuştur. Bunun sonucu olarak Gökmar meşçeresinde daha yavaş süzülen suyun kimyasal konsantrasyonunun Ladine göre daha fazla olduğunu tespit edilmiştir. Bu durum yukarıda belirtilen önceki çalışmayı desteklemektedir. Ek olarak Gökmar'daki ölü örtü kalınlığı Ladindeki hemen hemen 2 katıdır. Bunun da filtre edilen suyun kimyasal konsantrasyonunu değiştirmede etkili olduğu değerlendirilmektedir. Açık alanda herhangi bir düzenek kurulmadığı için, açık alana göre su kalitesi açısından meşçereler karşılaştırılamamıştır. Ancak genel ekolojik koşullar (anakaya, eğim, yükselti, bakı vs.) aynı olduğu için permeabilite ve organik madde içeriğine göre bir değerlendirme yapmak mümkündür. Açık alanda permeabilite değeri üst toprakta (0-30cm) 4,97 cm/saat gibi Ladin ve Gökmar meşçeresine göre düşük değer almıştır. Eğer organik madde miktarı ve içeriğinin aynı olduğu varsayıldığında açık alanda toprakta süzülen sudaki kimyasal

konsantrasyon oranı daha fazla olacak idi. Ancak Gök nar ve ladin meşçeresindeki biyojeolojik döngünün önemli bir parametresi olan organik döküntüler ve bu maddelerin içeriği değerlendirildiğinde belki de tam tersi bir durumun söz konusu olması mümkündür. Gelecek çalışmalarda tüm bu hidrokimyasal süreçler SoilGen ve WITCH modelleri kullanılarak değerlendirilebilir.

İntersepsiyon bileşenlerinde toplam çözünmüş maddelerin (TDS) mevsimsel değişimi incelendiğinde ise Şekil 173 'deki gibi bir sonuç ortaya çıkmıştır. Buna göre brüt yağışta, Ladin ve Gök narda meşçere altı yağışta ve yüzeysel akıştaki TDS miktarı yağışın en fazla olduğu Yaz döneminde en yüksek olmuştur. Bununla birlikte Gök nar meşçeresinde topraktan filtre olan sulardaki TDS miktarı en fazla Sonbahar mevsiminde gerçekleşirken Ladinde yine yağışın en fazla olduğu Yaz döneminde gerçekleşmiştir. Gövdeden akış miktarındaki TDS oranı Ladinde en fazla İlkbaharda, Gök narda ise yağışın en fazla olduğu Yaz mevsiminde gerçekleşmiştir. Bu sonuçlar da aynı yetiştirme ortamında yayılış göstergeleri bile tür bazında intersepsiyon bileşenlerinin su kalitesine farklı mevsimlerde farklı oranlarda etki ettiği sonucunu ortaya çıkarmıştır. Bu çalışmada, toplam çözünmüş maddeye (TDS) göre yapılan modellerde TDS içeriğine göre diğer su kalite parametreleri çalışma bölgesinde ve benzer ekosistemlerde tahmin edilebilir.



Şekil 173. İntersepsiyon bileşenlerinde TDS oranlarının mevsime bağlı değişimi

Çalışma alanında birim alanda organik madde döküntüsü Ladinde **6,5 ton/ha/yıl** olarak hesaplanmış ve bunun yaklaşık %81'inin ibre olduğu tespit edilmiştir. Göknarda ise bu değer **3,62 ton/ha/yıl** olmuş ve bunun %92'sinin ibrelerden oluştuğu tespit edilmiştir. Bu şekilde Ladin meşçeresinde yılda **5,27 ton/ha ibre** orman örtüsüne gelirken, Göknarda ise bu değer **3,33 ton/ha** olmuştur. Brezilya bölgesindeki ormanlarda yapılan çalışmada (De Moreas vd., 1999), 0.25 m²'lik tuzaklarla birlikte organik döküntü toplanmıştır. Buna göre, Atlantik ormanlarında yıllık organik döküntünün 6,3 ton/ha olduğu, Restinga ormanlarında ise 3,9 ton/ha olarak tespit edilmiştir. Dökülmelerin büyük bir kısmı sonbahar ve kış aylarında gerçekleşmiştir. Bununla birlikte, Atlantik ormanlarındaki organik madde döküntüsünün %70'ini yapraklar oluştururken Restinga bölgesinde bu oran %75 olmuştur.

Bu çalışmadaki ibre döküntüleri, bitki besin elementleri açısından değerlendirildiğinde ise Ladinde; yılda hektarda, 26,35 kg N, 16,67 kg P, 77,31 kg K, 750,45 kg Ca, 29,5 kg Mg, 6,25 kg Na toprak üstüne ibre döküntülerinden gelmektedir. Göknarda ise 34,97 kg N, 49,78 kg P, 116,18 kg K, 1028,97 kg Ca, 83,32 kg Mg, 11,04 kg Na toprak üstüne gelerek doğal gübreleme oluşturmuştur.

Yapılan önceki çalışmalarda, organik döküntü içeriğinde elemental analizler yapılmıştır (De Moreas vd., 1999). Buna göre Atlantik ormanlarında N: 101,8 kg/ha/yıl olarak toprağa geri dönerken, sırasıyla diğer elementlerde: 3,8 P, 20,3 K, 60 Ca, 18 Mg ve 14,6 S şeklinde gerçekleşmiştir. Restinga ormanlarında ise N:27,5 kg/ha/yıl olur iken diğer elementlerde sırasıyla 1,0 P, 6,5 K, 30 Ca, 10,9 Mg ve 6,6 S şeklinde gerçekleşmiştir. Atlantik bölgesinde yapraklardaki element oranları ppm olarak şu şekilde rapor edilmiştir: N:16100, P:500, K:3000, Ca:9900, Mg: 3300, S:2800 şeklinde olmuştur. Diğer Restinga bölgesindeki yapraklarda ise N:7000, P:200, K:1800, Ca:7900, Mg: 3400, S:1700 ppm olarak tespit edilmiştir.

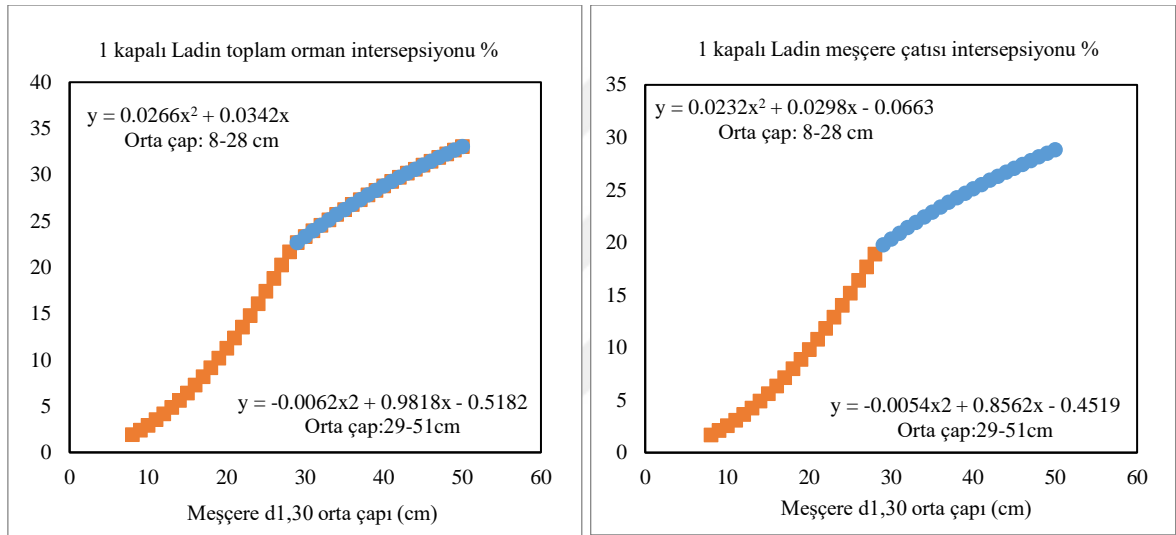
Yine ülkemizde Göknar ve Ladinde yapılan çalışmada (Sarıyıldız, 2008), dökülen ibrelerde bazı kimyasal analizler yapılmıştır. Buna göre Göknarda N içeriği %1,16 iken çalışmamızda bu oran %0.05 bulunmuştur. Göknarda ise %1.21 olarak tespit edilen N, çalışmamızda %1.05 olarak bulunmuştur. Bu da yetiştirme ortamından kaynaklandığı gibi örneklerin toplanma mevsiminden de kaynaklanabilmektedir. Çünkü yapılan önceki çalışmada örnekler sonbaharda toplanmış, çalışmamızda ise yıllık ortalama yı yansıtmak şekilde ibreler karıştırılmıştır.

Ladin ve Göknar meşçerelerinde üst toprağın gerek organik madde açısından gerekse de N, P, K, Ca, Mg ve Na gibi mineral madde açısından zengin olduğu tespit edilmiştir. Bu

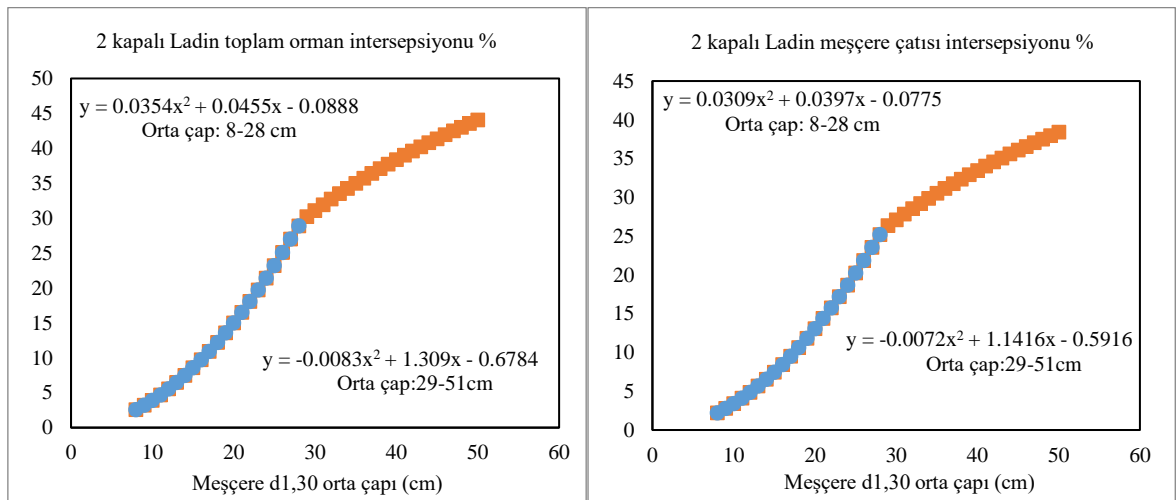
durum da meşçere çatısına gelen yağış sularının toprağa sızdıktan sonra suyun ihtivasına etki ederek toplam çözünmüş madde miktarının (TDS) önemli derecede artmasına neden olmuştur. Özellikle toprakta Na, Ca, Mg, N, P oranlarının yüksek olması, filtre edilen suların TDS içeriğini arttıran en önemli parametre olmuştur. Bununla birlikte üst toprağı besleyen organik döküntünün içeriği de toprağın mineral maddesi doğrudan etkileyen bir faktör olarak bu çalışmada tespit edilmiştir. Öyle ki Ladin ve Gökmar meşçeresinde organik döküntünün %80-95 'ini oluşturan ibrelerin mineral madde içerikleri oldukça zengin bir tablo sergilemiştir. Örneğin Gökmar ibresinde Na miktarı (3315ppm) toprağın Na içeriğinden (211,5ppm) neredeyse 16 kat fazla bulunmuştur. Aynı şekilde Gökmar ibresindeki Mg miktarı (25020 ppm) da toprağın Mg içeriğinden (6296ppm) yaklaşık 4 kat daha fazla olmuştur. Ancak bazı durumlarda toprağın mineral madde içeriği organik döküntüden daha fazla olmuştur. Ladinde Mg miktarı ibrede 5598 ppm iken toprağın Mg içeriği ise 7270 ppm olarak tespit edilmiştir. Bunun ana nedeni ise toprağın ana materyalinin mineral madde kompozisyonu olmuştur. Çalışma yapılan alanda Granit, granodiyorit, mikrogranit, kuvars porfir, kuvarslı diyorit ve diyorit gibi silikat mineralleri teşhis edilmiştir. Bu minerallerin ayrışma ürünlerinde Na, K, Ca, Mg, Cl, Fe elementleri bolca bulunmaktadır. Ancak toprak çözeltisinde, toprak kolloidleri tarafından tutulan mineral maddelerin fazlası sızıntı suyuna geçerek muhteviyatına şekil verici en önemli etmen olmuştur. Bu nedenle intersepsiyon sürecinde meşçere çatısına gelen yağış sularının toprağa sızdıktan sonra bazı mineral madde yoğunluklarının artması (Na^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} vb.) ve bazı maddelerin de azalması (K^+ , Cl^- , PO_4^{3-} , NH_4^+) bu durum ile açıklanabilir.

Bu çalışmada, intersepsiyon bileşenlerinin “Orman Amenajman Planlarına” entegrasyonu kapsamında bir dizi model çalışması yapılmıştır. Acharya ve ark (2020) yaptıkları intersepsiyon çalışmasında meşçere altı direk yağış ölçümlerinin intersepsiyon tahminlerinde alansal düzeyde bilgi sunduğunu bildirmekte ve bunun da meşçere düzeyinde ve vejetasyon yapısındaki alansal ve zamansal değişimler nedeni ile ekonomik olmadığı vurgulanmaktadır. Dahası, açık ekosistemlerde kapsamlı ölçümler de alansal olarak bireylerin homojen olarak dağılmadığı meşçerelerde, gövdeden akış ve orman örtüsü intersepsiyonunun farklılık göstermesi nedeni ile daha fazla örnek alan ile çalışmanın karmaşıklığı ve ekonomik olmadığı bildirilmektedir (Lundberg vd., 1997). Ancak bu olumsuz durumlar meşçere tipi düzeyinde gelişim çağı ve kapalılığa bağlı intersepsiyon modelleri kullanılarak bertaraf edilebilir.

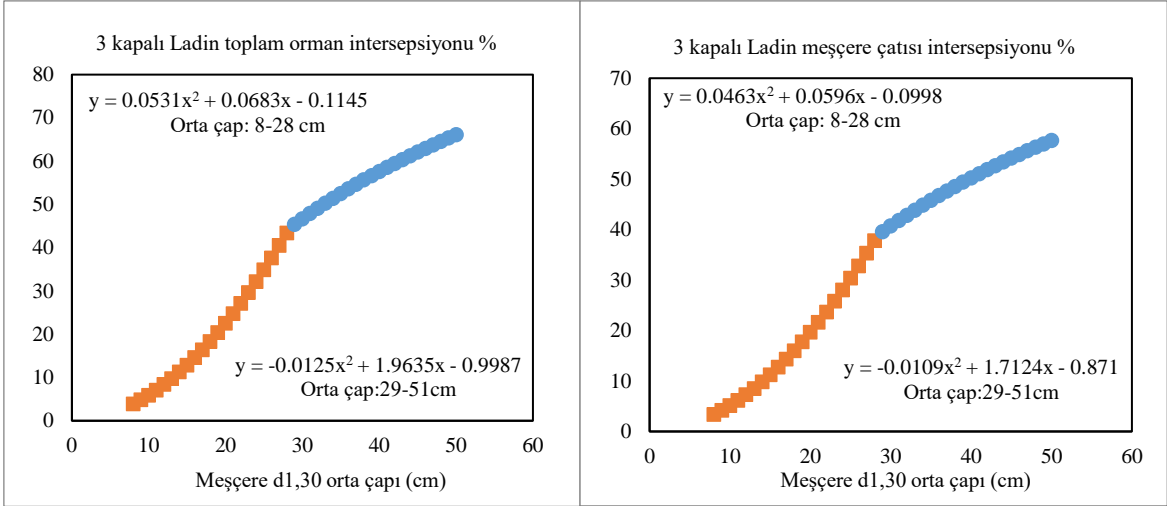
Bu çalışmada, kapalılığa ve gelişim çağına bağlı olarak yaprak alan indeksi modeli geliştirilmiş, yaprak alan indeksine göre de toplam orman intersepsiyonu bileşenleri modellenmiştir (Şekil 174-179). Böylelikle, orman yönetim planlarının ana omurgasını oluşturan meşçere tiplerine göre intersepsiyon modelleri ortaya çıkarılmıştır. Kapalılık sınıfına göre (1, 2, 3) ve meşçere orta çapına göre, Ladin ve Gökvarda toplam orman intersepsiyonu ve meşçere çatısı intersepsiyonu % olarak modellenmiştir. İlgili meşçere orta çapı girilerek intersepsiyon değerleri % olarak elde edilebilir. Orman örtüsü intersepsiyon (%) değerlerine de toplam orman intersepsiyonu ve meşçere çatısı intersepsiyonunun farkı alınarak ulaşılabilir.



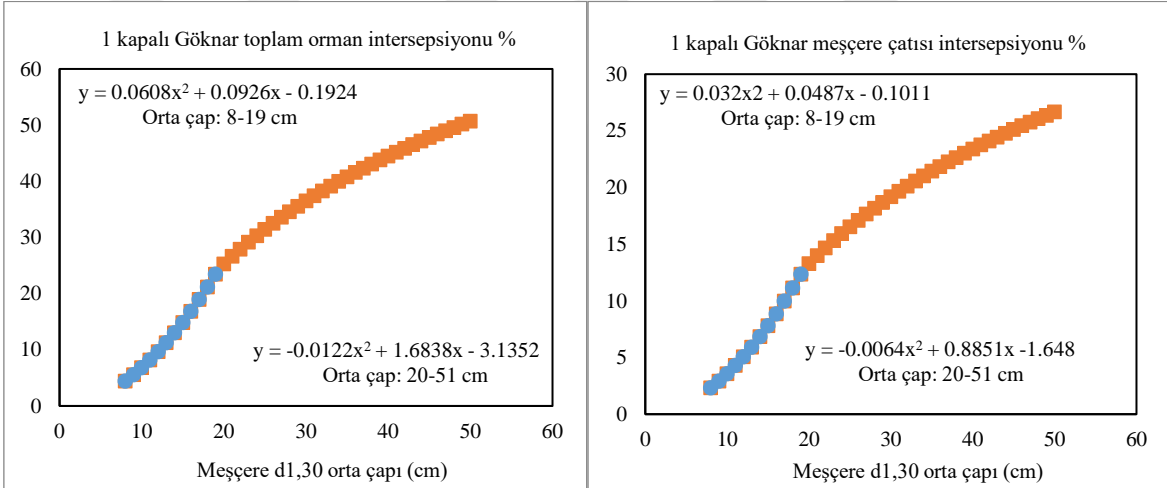
Şekil 174. 1 kapalı Ladin türü için meşçere orta çapına göre intersepsiyon denklemleri



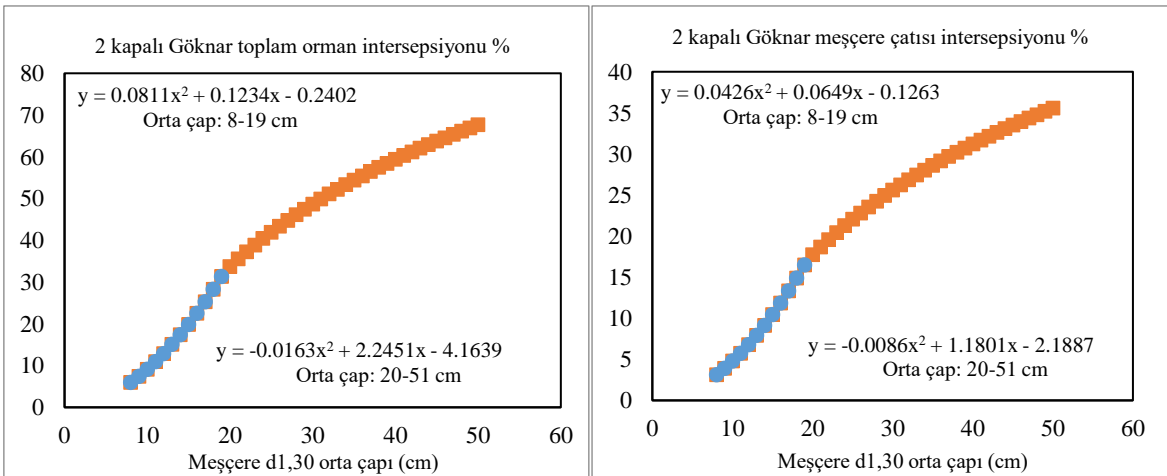
Şekil 175. 2 kapalı Ladin türü için meşçere orta çapına göre intersepsiyon denklemleri



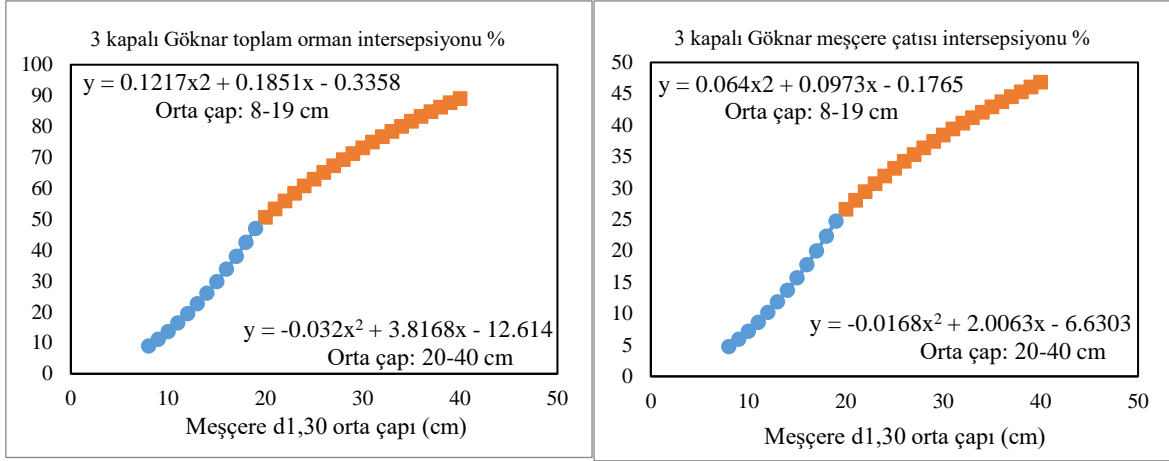
Şekil 176. 3 kapalı Ladin türü için meşçere orta çapına göre intersepsiyon denklemleri



Şekil 177. 1 kapalı Gökmar türü için meşçere orta çapına göre intersepsiyon denklemleri



Şekil 178. 2 kapalı Gökmar türü için meşçere orta çapına göre intersepsiyon denklemleri



Şekil 179. 3 kapalı Gökmar türü için meşçere orta çapına göre intersepsiyon denklemleri

Her iki türde de yapılan intersepsiyon modellerinde 1 kapalı meşçere için 800 m², 2 kapalı meşçere için 600 m² ve 3 kapalı meşçere için 400 m²'lik deneme alanlarında 30 adet bireyin mevcudiyetine göre modeller geliştirilmiştir. Eğer deneme alanında 30 adet bireyden fazla bir durum var ise elde edilen meşçere çatısı intersepsiyon oranı ağaç sayısına göre oranlanarak kalibre edilir. Örneğin, 25,15 cm orta çapa (d1,30) sahip 3 kapalı Ladin meşçeresinde 400 m² de 32 adet bireye göre toplam orman intersepsiyonu hesaplanmak isteniyor ise, deneme alanında 30 ağaç varsayımına göre toplam orman intersepsiyonu $y = 0.0531x^2 + 0.0683x - 0.1145$ denklemi kullanılır ve sonuç %36,24 olarak bulunur. Meşçere çatısı intersepsiyonu ise $y = 0.0463x^2 + 0.0596x - 0.0998$ denklem yardımı ile %33,71 olarak bulunur. Orman örtüsü intersepsiyon oranı= % (36,24-33,71) = %4,64 olarak bulunur.

Birim alandaki 32 adet ağaç sayısına göre meşçere çatısı intersepsiyonu tekrar kalibre edilir ve 31,60 değeri $32/30=1,067$ katsayısı ile çarpılır ve %33,71 değeri bulunur. Bu değere tekrar orman örtüsü intersepsiyon değeri %4,64 eklenirse %38,35 değerine ulaşılır. Çalışmamızda ise bu değer %39,04 olarak hesaplanmıştır. Modelin Ladin meşçeresi için güven düzeyi %98 doğrulukla toplam orman intersepsiyonu tahmin edilmiş oldu.

Gökmar meşçeresinde 15,15 meşçere orta çapına ait intersepsiyon hesabı: 3 kapalı meşçere için toplam orman intersepsiyonu $y = 0.064x^2 + 0.0973x - 0.1765$ denklemi ile %30,40 olarak hesaplanır. Meşçere çatısı intersepsiyonu da $y = 0.064x^2 + 0.0973x - 0.1765$ denklemi %15,99 olarak hesaplanır. Orman örtüsü değeri de Toplam orman ve meşçere çatısı intersepsiyon arasındaki farka göre hesaplandığında $(30,40-15,99)= %14,41$ olarak bulunur.

Bu değerler birim alandaki 30 adet bireye göre hesaplanmıştır. Eğer deneme alanında 58 adet birey var ise yine meşçere çatısı intersepsiyonu bu değere göre kalibre edilerek tekrar orman örtüsü intersepsiyonu ile toplanarak toplam orman intersepsiyonuna ulaşılır.

Kalibrasyon katsayısı= $58/30=1,93$ olarak bulunur. Bu değer meşçere çatısı intersepsiyonu $15,99 \times 1,93= \%30,91$ olarak kalibre edilmiş olunur. Bu değere orman örtüsü intersepsiyon değeri eklenerek toplam orman intersepsiyonuna ulaşılır. Bu şekilde $30,91+14,41= \%45,32$ olarak tespit edilmiştir. Çalışmamızda bu değer $\%43,54$ olarak tespit edilmiştir. Modelin Göknar meşçeresi için güven düzeyi $\%96$ doğrulukla toplam orman intersepsiyonu tahmin edilebilir.

Tüm bunlara ek olarak ekosistemlerde, eğime bağlı olarak yüzeysel akış miktarı ve toprağa infiltrasyonla giren suyun miktarı önemli derecede etkilendiği bildirilmektedir (Morbidevli vd., 2018). Bu nedenle çalışmamızda oluşturulan senaryolarda eğim faktörü de dikkate alınarak eğime bağlı yüzeysel akış ve filtre edilen su miktarı değişeceğinden orman ekosistemlerinde orman örtüsü intersepsiyon miktarına bağlı olarak toplam intersepsiyon miktarı da değişecektir. Ancak, $\% 0-40$ eğim derecelerinde yüzeysel akışın önemli bir değişim göstermediği de rapor edilmiştir (Jourgholami ve Jouriz, 2009). Sonuç olarak diğer bir açıdan değerlendirildiğinde, çalışma alanımız $\%50$ eğimden büyük olduğu için maksimum intersepsiyon kapasitesini yansıtır ve diğer eğim derecelerinde de kullanılabilir.

5. ÖNERİLER

Orman ekosistemlerinin yapı ve fonksiyonunu anlamada ve hidrolojik döngüdeki yerini belirlemede, orman intersepsiyonunun önemli bir rolü vardır. Bununla ilgili uluslararası ve ulusal düzeyde birçok çalışma yapılmıştır. Orman ekosistemlerini oluşturan elemanların dinamik yapısı nedeni ile orman ekosistemlerindeki intersepsiyon süreci henüz tam olarak anlaşılmış değildir. Ülkemizde yapılan çalışmalarda; açık alana düşen brüt yağış, meşçere altı yağış, gövdeden akış ve kısmen de yaprak alan indeksi parametreleri kullanılarak orman intersepsiyonu tahmin edilmeye çalışılmıştır. Ancak, meşçere karakteristiği, mevsimsel değişim ile meteorolojik koşullarla ortaya çıkan değişkenlikleri ve etkileri göz önünde bulunduran orman örtüsü intersepsiyonunu da içine alan dinamik veya senaryo temelli modellere ihtiyaç duyulmaktadır. Bunun yanı sıra çoğu asli türümüzün ekolojik, hidrolojik ve meteorolojik özelliği henüz çalışmalara konu edilmiş değildir.

Bu çalışma ile ülkemizin asli türlerinden olan Ladin ve Göknarda intersepsiyon ve bileşenlerinin kantitatif ve kalitatif özellikleri ile bazı önemli meteorolojik bileşenleri tespit edilerek Toprak-Bitki-Atmosfer düzeyinde ele alınmıştır. Bu konu ile ilgili ülke genelinde diğer asli türlerimizin hidrolojik, ekolojik ve meteorolojik fonksiyonlarının belirlenmesine ihtiyaç vardır. Yapılacak çalışmalarla elde edilen verilerin mikro havzalarda kullanılması ve havza bazında yapılacak amenajman planlarına altlık oluşturması açısından önemlidir. Bu çalışmada, intersepsiyon değerlerinin Orman Amenajman Planlarına entegrasyonu konusunda Excel tabanlı model geliştirme süreci de devam etmektedir. İlerleyen zamanlarda daha profesyonel bir programın patentli olarak uygulamacılara sunulması planlanmaktadır.

Gerçekleştirilen bu çalışma kapsamında öneriler maddeler halinde aşağıda sıralanmıştır:

- İntersepsiyon değerlendirmelerinde manuel ölçümlerden elde edilen veriler kullanılmıştır. Her ne kadar modern sistemlere sahip elektronik iklim istasyonları sıcaklık, nem ve rüzgâr gibi iklim parametreleri açısından hassas ölçümler sunsa da özellikle yağış değerlerinde herhangi bir zaman aralığında veri alınamamasından dolayı alınan yağış değerlerinde eksiklikler ortaya çıkabilmektedir. Bu yüzden yapılan bu gibi çalışmalarda yağış değerlerinin belirlenmesinde otomatik iklim istasyonlarının yanı sıra en az 2 tekrarlı olacak şekilde bu çalışmada olduğu gibi profesyonel manüel yağış ölçerler kullanılmalıdır.

- Yapılan bazı çalışmalarda intersepsiyon verilerinin tekli yağışlardan sonra alınması gerektiği önerilmektedir. Ancak yağışın yıl boyu düzenli ve hemen hemen homojen olarak dağıldığı bölgelerde bu durum sağlıklı sonuçların elde edilmesini zorlaştıracaktır. Öyle ki gün içerisinde, kesintili olarak 3-5 veya daha fazla yağış tekerrürü düşünüldüğünde, manüel cihazlardan veri sağlanması oldukça güçleşecektir. Bu durum hem zaman hem de maliyet açısından önemli bir yük oluşturur. Ayrıca verileri sağdıktan hemen sonra yine bir yağışın başlaması ile gece de dâhil olmak üzere gün boyu arazide kalma ihtiyacı ortaya çıkar ki bu da pek mümkün görünmemektedir. Bununla birlikte yağıştan hemen sonra, meşçere altı damlamalar devam edeceği için de verilerin tam olarak sağlıklı bir şekilde sağlanması sorunsalı ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle nispi nemin yüksek olduğu ve bundan dolayı da ölçüm kaplarında toplanan suyun evaporasyon miktarının önemsiz olduğu ve yağış tekerrürlerinin yıl içinde düzenli olarak dağıldığı nemli ve yarı nemli bölgelerde periyodik olarak (haftalık veya 2 haftalık) ölçümlerin alınması daha sağlıklı olarak değerlendirilmektedir.

- Ülkemizde Orman Mühendisliği Bölümü bünyesindeki Orman Amenajmanı kürsülerinde orman ekosistemlerinin hidrolojik ve ekolojik fonksiyonlarının hesaplanması konusunda şimdiye kadar lisansüstü düzeyde birçok çalışma yapılmıştır. Ancak, bu yapılan çalışmaların özgün değerlerinin olmasının yanında karmaşık süreçlerden teşekkül olması, bu çalışmaların yaygın etkisinin düşük olmasına neden olmuştur. Bu nedenle de elde edilen verilerin orman amenajman planlarında bölmecek bazında (Meşçere tipi) entegrasyonu da güç hale gelmiş, bunun sonucunda da orman ekosistemlerimizin ekosistem tabanlı fonksiyonel yönetim planlarının oluşturulma sürecini geciktirmiştir. Hâlbuki orman ekosistemlerimizin sadece odun hammaddesi üretimi gibi ekonomik fonksiyonlarının yanında ekolojik ve sosyal fonksiyonlara sahip olduğu son 20 yıldır yoğun bir şekilde tartışılmaktadır.

- Tüm bu olgular çalışmamızda göz önünde bulundurularak önemli hidrolojik bileşenlerini araştırıp belirlediğimiz Ladin ve Gökmar ekosistemlerinden elde edilen veriler yardımı ile modeller oluşturulmuş, bu modeller kullanılarak da Meşçere tipine bağlı olarak senaryolar geliştirilmiştir. Orman amenajman planlarında, meşçere tipi genel olarak gelişim çağları baz alınarak gösterilmektedir. Bu durum, odun üretim sınıflarında verimli bir kullanım şeklidir ve yıllardan beridir orman

ekosistemlerimizde bu şekilde kullanılmaktadır. Ancak, ülkemiz ormanları, ekosistem tabanlı çok fonksiyona sahip bir planlama ile yönetilmek isteniyor ise; bu gelişim çağı çok kaba bir veri sunmaktadır. Bu yüzden meşçere tipi rumuzlarının acilen güncellenmesi gerekmektedir. Bu rumuz tipi yalnızca odun sınıflarına atıf yaparak ekonomik açıdan yönetilmesi anlamı taşır. Örneğin; Ld_3 meşçeresi, ladin meşçeresinin d çağında 3 kapalı olduğunu göstermektedir. Ancak d çağı 35-51 cm orta çapa sahip olduğunu göstermektedir. Sorun şu ki; bu Meşçerenin orta çapı 50 cm de olabilir 35 cm de olabilir. İşte hidrolojik bir fonksiyon olan intersepsiyon modellemelerinde, çapa bağlı olarak yaprak alanı gelişeceğinden (yapılan çalışmalar $R^2=1$ e yakın) intersepsiyon oranı da 35 cm ortalama çapa sahip meşçerede, 50 cm ortalama çapa sahip meşçerede oldukça farklı bir değer olacaktır. Çalışmamızda yapılan senaryoda, ladinde 35 cm orta çapa sahip meşçeredeki intersepsiyon miktarı 2x olur iken, bu meşçerenin ortalama çapının 50 cm olması halinde bu değer 3x 'e kadar çıkmıştır. Bu da tarafımızca önerilen ve Meşçere rumuzlarının revize edilmesi gerektiği olgusunu kuvvetlice desteklemektedir. Bununla ilgili yine orman ekosistemlerinde % kapalılığa göre erozyon miktarı hesabı yapılmış (Yücesan vd, 2019) buna göre aynı kategoride (3 kapalı) yer alan %80 ve %90 kapalılığa sahip karaçam meşçerelerin toprak kayıpları önemli derecede birbirinden farklı bulunmuştur. Orman ekosistemlerimiz için bölmeçik bazında meşçere tipi için yeni revize rumuz $L3_{35}$ şeklinde olabilir. Zaten 35 cm orta çapa sahip Meşçere d çağındadır; orman mühendisi ya da meslek erbabı tarafından bu kolayca anlaşılabilir. Aslında bu şekilde bir olguyu planlama sürecine entegre ederek, planlamaların tek ağaç düzeyine indirgenmesi de sağlanmış olunur.

- Bu çalışmada genel olarak orman ekosistemlerinin önemli ekolojik, hidrolojik bileşenlerinin ekosistem tabanlı orman amenajman planlarına entegrasyon sürecinde önemli adımlar atılmıştır. Ancak gelecek çalışmalarda diğer önemli fonksiyonların belirlenmesine yönelik çalışmalar yapılmalıdır. Bu da orman ekosistemlerimizin sağlıklı bir şekilde ekosistem tabanlı yönetilmesi açısından önemlidir.

- Yapılan bu çalışmada, tüm mevsimlerden elde edilen ibre döküntüsü eşit hacimlerde karıştırılarak bitki besin maddesi içeriği tespiti yapılmıştır. Organik dökünteki mineral maddelerin mevsimlere bağlı olarak değişebildiği bildirilmektedir (Wood vd., 2006). Bu nedenle ileride yapılacak çalışmalarda

mevsimlere bağılı olarak besin maddesi yoğunluklarının nasıl değiştiği belirlenebilir.

- Orman intersepsiyonununa etki eden faktörler kapsamında, yağmur damlalarının, sıçrama yoluyla toprak erozyonuyla bağlantısı açısından incelenen özellikleri arasında, son hız, kinetik enerji (Rosewell 1986), çarpma kuvveti ve momentum (Goebes ve diğerleri 2014) bulunmaktadır. Kinetik enerji şu şekilde verilmektedir; $KE=0.5mV^2$, KE: Kinetik enerji (joule), m: damla ağırlığı (g), V: hız (m/s). Bu şekilde birim alandaki yağışın enerjisi tahmine dileyebilir. Örneğin, 3 mm çapa sahip bir damlanın 8 m/s son hız ile yaklaşık 0,4 mJ (milijoule) enerjiye sahip olur ki bu enerji, çarpma üzerine kısmen sıçrayan toprak parçacıklarına aktarılabilir. Tüm damla boyutlarının toplamı, yağışla zemine iletilen toplam kinetik enerji miktarı $J/m^2/mm$ veya $J/m^2/sa$ olarak ifade edilebilir; Elbette verilen toplam kinetik enerji yağış yoğunluğuyla birlikte artar ve genellikle farklı $kJ/m^2/saate$ veya $20-30 J/m^2/mm'$ ye ulaşır (Shin vd. 2016).

- Tüm bu yukarıda bahsedilen yağmur damlarının eroziv etkisi, USLE ve RUSLE gibi toprak kaybı simülasyon modellerinde R katsayısını belirlemek için önem arz etmektedir. Ülkemizde ve küresel düzeyde bu R katsayısı USLE ile toprak kayıp denklemlerinin önemli bir parametresi olarak kullanılmaktadır (Hacısalıhoğlu vd., 2017). Günümüzde R değeri için açık alandan elde edilen R katsayısı, orman ekosistemlerinin erozyonu önlemedeki ekolojik fonksiyonunu belirlemek için ormanlar için oluşturulan toprak kaybı simülasyon modellerinde bu katsayı kullanılmaktadır. Oysa ki; orman ekosistemleri gerek meşçere çatısı gerek de örtü sistemi ile yağmur damlalarına etki ederek eroziv kapasitesini değiştirmektedir. Bu nedenle orman ekosistemlerinin gerçek R katsayısını orman ağacı türü bazında tespit etmek gerekmektedir. Bu da ormanlık alanlarımızdan su erozyonu ile kaybolan toprak miktarını, simülasyon modelleri ve denklemlerini kullanarak yüksek doğrulukta hesaplama imkanı sunacaktır.

- Ekosistemde ekolojik bir birim olan ve ormanları da bünyesinde barındıran havzalardaki araştırmaların 5 farklı başlıkta olabileceği Özhan (2004) tarafından bildirilmiştir. Burada Hidrolojik süreçlerle ilgili araştırmaların altında ormanın iklim üzerindeki etkisi, toprakların geçirgenliği ve nitelikleri arasındaki ilişkiler de alt başlık olarak verilmiş olsa da günümüzde orman ekosistemlerinin karmaşık birçok fonksiyona sahip olduğu anlaşılmıştır. Bu fonksiyonları belirlerken eko-

hidroloji ve hidro-meteoroloji gibi farklı çalışma disiplinleri de ortaya çıkmıştır ki bu çalışma konuları çoğunlukla ekolojik fonksiyonların araştırılıp incelenerek modellenmesi esasına dayanmaktadır. Bu yüzden ekolojik ve meteorolojik araştırmaları da içeren hidrolojik çalışmalar salt hidrolojik çalışma olarak değerlendirilmemeli, “Orman ekolojisi” kapsamında değerlendirilmelidir. Bu konu, Türkiye’deki Orman fakültelerinin bünyesinde yer alan “Toprak ilmi ve Ekoloji” ve “Havza Amenajmanı” anabilim dalları açısından önem arz etmektedir.

- İçinde bulunduğumuz yüzyılda suyun önemi giderek daha iyi anlaşılmaya başlanmıştır. Orman ekosistemlerinin de suyun mevcudiyeti üzerinde önemli roller üstlendiği ve bu konuda küresel düzeyde 5 yıllık aksiyon planları yapılmıştır (FAO, 2013). Bu nedenle ülkemizde de ulusal düzeyde acilen su eylem planlarına geçilmesi gerekmektedir
- Çalışma bölgesinde, araştırma süresi boyunca deneme alanlarında yağışlardan sonra, dönem dönem ani beliren irili ufaklı türü tespit edilemeyen envai çeşit mantara rastlanılmıştır. Özellikle meşçere altında ve orman örtüsü olan yerlerde gözlenen mantarlar sayıca açık alan göre çok fazla idi. Bu yüzden ileriki çalışmalarda meşçere özellikleri ile intersepsiyon bileşenlerinin meşçere altı organizmalara özellikle mantarlara olan etkisi araştırılabilir.

Tüm bunlardan da anlaşıldığı üzere meteorolojik, hidrolojik ve ekolojik koşulların bitkilerin ekosistem düzeyinde Toprak-Bitki-Atmosfer ilişkilerini önemli derecede etkilediği ortaya çıkmıştır. Bu durum özellikle orman ekosistemlerinde, ormanların fonksiyonlarının net olarak ortaya çıkarılması ile artım ve büyümeyi dolayısıyla da meşçere verimliliğini etkileyen konular arasında yer almaktadır. Orman amenajmanı ya da yönetim planları fiziksel olarak artım ve büyüme tabanlı planlandığı gibi son yıllarda da fonksiyonel olarak da ekosistem tabanlı planlanmaya başlanmıştır. Ancak fonksiyonel planlanma sürecinde, kullanışlı ve yeterli düzeyde ekolojik tabanlı verilere ihtiyaç duyulmaktadır.

6. KAYNAKLAR

- Acharya, B. S., Stebler, E., ve Zou, C. B., 2005. Monitoring litter interception of rainfall using leaf wetness sensor under controlled and field conditions, Hydrol. Process., 31, 240-249.
- Acharya, S., McLaughlin, D., Kaplan, D., J. ve Cohen, M., 2020. A proposed method for estimating interception from near-surface soil moisture response, Hydrol. Earth Syst. Sci., 24, 1859-1870.
- Ahmadi, M.T, Attarod, P., Mohadjer, M.RM., Rahmani, R. ve Fathi, J., 2009. Partitioning rainfall into throughfall, stemflow, and interception loss in an oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) forest during the growing season, Turk J Agric For, 33, 557-568.
- Akoteyon, I.S., 2013. Hydrochemical studies of groundwater in parts of lagos, southwestern nigeria, Bulletin of Geography – Physical Geography Series, 6, 27-42.
- Alden, E.F., 1968. Moisture loss and weight of the forest floor under pole-size ponderosa pine stands, J. For., 66, 70-71.
- Allison, L.E., 1965. Organic Carbon: Walkley-Black Method. In: Methods of Analysis. Agronomy Monographs No: 9, Part 2. American Society Agronomy, Madison, Wisconsin, USA, pp.1367-1378.
- Altun, L., Kezik, U., Kara, Ö. ve Babur, E., 2016. Potential of Water Purification of Macka Forest Ecosystems in Northeastern Turkey, Journal of Environmental Protection and Ecology, 17, 2, 557-565.
- Amato, P., Joly, M., Besaury, L., Oudart, A., Taib, N., Moné ,A.I., Deguillaume, L., Delort, A.M. ve Debroas, D., 2017. Active microorganisms thrive among extremely diverse communities in cloud water, PLoS One, 12, e0182869
- Andersson T., 1991. Influence of stemflow and throughfall from common oak (*Quercus robur*) on oil chemistry and vegetation patterns, Canadian Journal of Forest Research, 21, 917-924.
- Andre, F., Jonard, M., ve Ponette, Q., 2008. Influence of species and rain event characteristics on stemflow volume in a temperate mixed oak-beech stand, Hydrol. Process., 22, 4455-4466.
- Anonim, 2005. Conserving the Pascagoula River Watershed Conservation Action Plan, November.
- Anonim, 2011. Marengo river watershed partnership project watershed action plan, Bad River Watershed Association P.O. Box 875. Ashland, WI 54806.
- Arnell, N., 2002. Hydrology and Global Environmental Change, Pearson Education, Harlow. 346.

- Asan, Ü., 1990. Orman Kaynaklarının Çok Amaçlı Kullanımı ve Fonksiyonel Planlama. İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi, B 40, 3, 76-84.
- Asan, Ü., 1992. Orman Amenajmanında Fonksiyonel Planlama ve Türkiye'deki Uygulamalar, Ormancılığımızda Orman Amenajmanının Dünü, Bugünü ve Geleceğine İlişkin Genel Görüşme Bildirileri, 181 -196.
- Asan, Ü., 1995. Orman Kaynaklarının Rasyonel Kullanımı ve Ülkemizdeki Durumu, İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi, B 45, 3-4, 15-27.
- Asdak, C., 2003. Evaporation of intercepted precipitation in unlogged and logged forest areas of central Kalimantan, Indonesia, Water Resources Systems—Water Availability and Global Change, Franks, S., Eds., IAHS Publ. No. 280, Merelbeke, Belgium, pp. 275-281.
- Aubrey, D.P., 2020. Precipitation partitioning by vegetation: a global synthesis, In: Van Stan, J.T., Gutmann, E., Friesen, J. (Eds.), Precipitation Partitioning by Vegetation: A Global Synthesis. Springer, pp. 1-281.
- Balcı A.N.1958. Elmalı barajının siltilasyondan korunması imkânları ve vejetasyon su düzeni münasebeleri üzerinde araştırmalar, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Barandun, J., 1983. Aufforstung in Bohem Lagrn. Schweiz. Zeitschr. Forstwes, 134.
- Barbier, S., Balandier, P. ve Gosselin, F., 2009. Influence of several tree traits on rainfall partitioning in temperate and boreal forests: a review, Annals of Forest Science Journal, 66, 602.
- Barger, NN., Archer, S., Campbell, J., Huang, C., Morton, J. ve Knapp, A.K., 2011. Woody plant proliferation in North American drylands: A synthesis of impacts on ecosystem carbon balance, Journal of Geophysical Research, Biogeosciences 116, G00, K07.
- Barnes, B.V., Zak, D.R., Denton, S.R., ve Spurr, S.H., 1998. Forest Ecology, 4th ed., John Wiley & Sons, New York.
- Baumgartner, A., 1967. Energetic bases for differential vaporization from forest and agricultural lands, International Symposium on Forest Hydrology, Sopper, W.H. and Lull, H.W., Eds., Pergamon Press, Elmsford, NY, pp. 381-390.
- Besçeli, Ö. ve Ekici, M., 1969. Dogu ladini (*Picea orientalis l.*) Mıntakasında Ips sexdentatus'un biyolojisi ve mücadelesi, Ormancılık Araştırma Enstitüsü Yayınları. Teknik Bülten Serisi No: 32. İstanbul.
- Beven, K. J. ve M. J. Kirkby, 1979. A Physically Based Variable Contributing Area Model of Basin Hydrology, Hydrological Sciences Bulletin, 24, 1, 43-69.
- Bhark, E.W. ve Small, E.E., 2003. Association between plant canopies and the spatial patterns of infiltration in shrubland and grassland of the Chihuahuan Desert, New Mexico. Ecosystems 6, 185-196.

- Bialkowski, R. ve Buttle, J.M., 2015. Stemflow and throughfall contributions to soil water recharge under trees with differing branch architectures. Hydrol Process, 29,4068-4082.
- Bittar, T. B., Pound, P., Whitetree, A., Moore, L. D. ve van Stan John, T., 2018. Estimation of throughfall and stemflow bacterial flux in a subtropical oak-cedar forest, Geophys. Res. Lett., 45, 1410-1418.
- Blanco, J.A. ve Lo, Y.H., 2012. Forest Ecosystems- More Than Just Trees, Janeza Trdine 9, 51000 Rijeka, Croatia ISBN 978-953-51-0202-1.
- Bloom, A. J., 1994. Crop acquisition of ammonium and nitrate. In Physiology and Determination of Crop Yield, K. J. Boote, J. M. Bennett, T. R. Sinclair, ve G. M. Paulsen, eds., Soil Science Society of America, Inc., Crop Science Society of America, Inc., Madison, WI, pp. 303-309.
- Bollen, W.B., Chen, C.S., Lu, K.C., Tarrant, R.F., 1968. Effect of stemflow precipitation on chemical and microbiological soil properties beneath a single alder tree, In: Biology of alder, proceedings of northwest forest scientific association annual meeting, 14-15, 149-156.
- Borong, C., Guangshan, X., Xiaoyuan, G. ve Guoliang, Z., 1993. Nutrient input of throughfall in a pine-spruce-fir forest of Changbai Mountain, Chinese J Appl Ecol 4, 4, 447-449.
- Bouyoucos, G.J., 1962. Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils, Agronomy Journal, 54, 464.
- Brantley, S.L., White, T.S., White, A.F., Sparks, D., Richter, D., Pregitzer, K., Derry, L., Chorover, J., Chadwick, O., April, R., Anderson, S. ve Amundson R., 2006. Frontiers in Exploration of the Critical Zone: Report of a Workshop Sponsored by the National Science Foundation (NSF), , Newark (DE), October 24-26, 2005.
- Breshears, D.D., Nyhan, J.W., Heil, C.E, ve Wilcox, B.P., 1998. Effects of woody plants on microclimate in a semiarid woodland: Soil temperature and evaporation in canopy and intercanopy patches, Int J Plant Sci ,159,101-1017.
- Bruijnzeel, L.A., Mulligan, M. ve Scatena, F.N., 2011. Hydrometeorology of tropical montane cloud forests: emerging patterns, Hydrol. Processes, 25, 465-498.
- Bryant, M.L., Bhata, S., ve Jacobs, J.M., 2005. Measurements and modeling of throughfall variability for five forest communities in the southeastern US, Journal of Hydrology, 312, 95-108.
- Bulcock, H.H., 2011. An assessment of canopy and litter interception in commercial and indigenous forests in the kwazulu-natal midlands, south africa. Submitted in partial fulfilment of the requirements for the degree of PhD in Hydrology. School of Bioresources Engineering and Environmental Hydrology University of KwaZulu-Natal Pietermaritzburg December.

- Burger, J.A., Gray, G. ve Andrew Scott, D., 2010. Using Soil Quality Indicators for Monitoring Sustainable Forest Management. USDA Forest Service Proceedings RMRS-P-59.
- Burger, James A. ve Kelting, D.L., 1999. Using SQIs to assess forest stand management, Forest Ecology and Management, 122, 155-166.
- Buttle, J.M., Toye, H.J., Greenwood, W.J. ve Bialkowski, R., 2014. Stemflow and soil water recharge during rainfall in a red pine chronosequence on the Oak Ridges Moraine, southern Ontario, Canada. J Hydrol., 517, 777-790.
- Calder, I., 1977. A model of transpiration and interception loss from a spruce forest in Plynlimon, central Wales. J. Hydrol., 33, 3, 247-265.
- Calder, I.R., 1996. Rainfall interception and drop size development and calibration of the two-layer stochastic interception model, Tree Physiol., 16 , 8, 727-732.
- Calder, I.R. ve Wright, I.R., 1986. Gamma ray attenuation studies of interception from Sitka spruce: Some evidence for an additional transport mechanism, Water Resour. Res., 22, 409-417.
- Caritat, A., Berthou, E.G., Lapena, R. ve Vilar, L., 2006. Litter production in a *Quercus suber* forest of Montseny (NE Spain) and its relationship to meteorological conditions. Ann For Sci., 63, 791-800.
- Carlyle-Moses, D. E., Iida, S., Germer, S., Llorens, P., Michalzik, B. ve Nanko, K., 2018. Expressing stemflow commensurate with its ecohydrological importance, Adv. Water Resour., 121, 472-479.
- Casper, Julie Kerr., 2010. Changing Ecosystems Effects of Global Warming, An imprint of Infobase Publishing 132 West 31st Street New York NY 10001.
- Chang, M., 2003. Forest Hydrology: An Introduction To Water And Forests, 373s.
- Chang, M., Roth, F.A., II, ve Hunt, E.V., Jr., 1982. Sediment production under various forest-site conditions, Recent Developments in the Explanation and Prediction of Erosion and Sediment Yield, Proceedings of the Exeter Symposium, Walling, D.E., Ed., IAHS, Exeter, 13-22.
- Chang, S.C. ve Matzner, E., 2000. The effect of beech stemflow on spatial patterns of soil solution chemistry and seepage fluxes in a mixed beech/oak stand, Hydrol Process., 14, 135-144.
- Chang, S.C. ve Matzner, E., 2000. The effect of beech stemflow on spatial patterns of soil solution chemistry and seepage fluxes in a mixed beech/oak stand, Hydrol. Processes, 14, 135-144.
- Chapin, F.S., Van Cleve, K. ve Chapin, M.C., 1979. Soil temperature and nutrient cycling in the tussock growth form of *Eriophorum vaginatum*, J Ecol., 67, 169-189.

- Chen, J., Liu, Y., Gitau, M.W., Engel, B.A., Flanagan, D.C. ve Harbor, J.M., 2019. Evaluation of the effectiveness of green infrastructure on hydrology and water quality in a combined sewer overflow community, Sci Total Environ. 15, 665, 69-79.
- Clark, J., 2013. Forest Management Plan 2013 through 2023. Means Brook Watershed Block Centennial Watershed State Forest, Department of Energy & Environmental Protection Division of Forestry, Hartford, CT. USA.
- Cole, D.W. ve Rapp, M., 1981. Elemental cycling in forest ecosystems, In Dynamic Properties of Forest Ecosystems; Reichle, E.D., Ed.; Cambridge University Press: London, 341-409.
- Corti, G., Agnelli, A., Cocco, S., Cardelli, V., Masse, J. ve Courchesne, F., 2019. Soil affects throughfall and stemflow under Turkey oak (*Quercus cerris* L.), Geoderma, 333, 45-56.
- Costanza, R. ve Jorgensen, S. E., 2002. Understanding and Solving Environmental Problems in the 21st Century. 1st ed. Elsevier.
- Cotrone, V., 2016. The Role of Trees and Forests in Healthy Watersheds (Green Industry). Green Industry (Penn State Extension)..
- Creed, I.F., A.K. Bergström, C.G. Trick, N.B. Grimm, D.O. Hessen, J. Karlsson ve K.A. Kidd., 2018. Global change-driven effects on dissolved organic matter composition: Implications for food webs of northern lakes. Global Change Biology, 24, 3692-3714.
- Crockford, R.H. ve Richardson, D.P., 1990. Partitioning of rainfall in a eucalypt forest and pine plantation in southeastern Australia: II. Stemflow and factors affecting stemflow in a dry sclerophyll eucalypt forest and a *Pinus radiata* plantation, Hydrological Processes, 4, 145-155.
- Crockford, R.H. ve Richardson, D.P., 2000. Partitioning of rainfall into throughfall, stemflow, and interception: effect of forest type, ground cover, and climate, Hydrological Processes, 14, 2903-2920.
- Crozier, C.R. ve Boerner, E.J., 1986. Stemflow induced soil nutrient heterogeneity in a mixed mesophytic forest, Bartonia, 52, 1-8.
- Cui, Y. ve Jia, L., 2014. A Modified Gash Model for Estimating Rainfall Interception Loss of Forest Using Remote Sensing Observations at Regional Scale, Water, 6, 993-1012.
- Çepel, N. 1986. Barajların Yukarı Yağış Havzaları için Arazi Kullanım Planlamasının Ekolojik Esasları, İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi, B, 36, 2.
- Çepel, N., 1995. Yok ettiğimiz Ormanlarımız Kaybolan Fonksiyonel Değerler ve Zamanımızın Orman Ölümleri, Genişletilmiş 3. Basım. TEMA Vakfı Yayınları, 2, İstanbul.

- Çolak, H.A. ve Pitterle, A., 1999. Yüksek Dağ Silvikültürü (Cilt I- Orta Avrupa) Genel Prensipler. OGEM-VAK-ISBN:975-93943-0-8, 1. Baskı, İstanbul.
- ÇŞB. 2012. Türkiye'nin İklim Değişikliği İkinci Ulusal Bildirimi (Taslak), T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Nisan 2012, Ankara.
- David, J., Valente, F. ve Gash, J., 2005. Evaporation of intercepted rainfall. In: Anderson, M. (Ed.), *Encyclopedia of Hydrological Sciences*, John Wiley and Sons. Ltd., 43, 627-634.
- Dawoe, E. K., Barnes, V. R., ve Oppong, S. K., 2017. Spatiotemporal dynamics of gross rainfall partitioning and nutrient fluxes in shaded-cocoa (*Theobroma cocoa*) systems in a tropical semi-deciduous forest, *Agroforest. Syst.*, 92, 397-413.
- Day, T. A., Delucia, E.H. ve Smith, W.K., 1989. Influence of cold soil and snowcover on photosynthesis and leaf conductance in two Rocky Mountains conifers, *Oecologia*, 80.
- De Martonne, E., 1926. Aréisme et indice aridite. *Comptes Rendus de L'Acad Sci*, 182,1395–1398.
- De Moraes, R.M., Delitti, W.B.C. ve De Vuono, Y.S., 1999. Litterfall and litter nutrient content in two Brazilian Tropical Forests. *Brazilian Journal of Botany*, 22, 1.
- Deguchi, A., Hattoria, S. ve Park, H., 2006. The influence of seasonal changes in canopy structure on interception loss: Application of the revised Gash model, *J. Hydrol.*, 318, 80-102.
- Després, V., Huffman. J.A., Burrows, S.M., Hoose, Cç, Safatov, A., Buryak, G., Fröhlich-Nowoisky, J., Elbert, W., Andreae, M. ve Pöschl, U. 2012. Primary biological aerosol particles in the atmosphere: a review, *Tellus*, B, 64, 15598.
- Devlaeminck R, An DS, Hermy, M., 2005. Variation in throughfall deposition across a deciduous beech (*Fagus sylvatica* L.) forest edge in Flanders, *Sci Total Environ*, 337, 241-252.
- Dimock, E.J., 1958. Litterfall in a Young Stand of Douglas-Fir North-west, *Science*, 32, 1, 19-29.
- Dingman, S., 2002. *Physical Hydrology*. Prentice Hall, Upper Saddle River. 646 p.
- Dohnal, M., Černý, T., Votrubová, J. ve Tesař, M., 2014. Rainfall interception and spatial variability of throughfall in spruce stand, *J Hydrol Hydromech*, 62, 277-284.
- Dunkerley, D. A., 2002. Review of the Effects of Throughfall and Stemflow on Soil Properties and Soil Erosion. In: Van Stan, II J., Gutmann E., Friesen J. (eds) *Precipitation Partitioning by Vegetation*. Springer, Cham.
- Durocher, M.G., 1990. Monitoring spatial variability of forest interception, *Hydrological Processes*, 4, 215-229.

- Eaton, J.S., Likens, G.E. ve Bormann, F.H., 1973. Throughfall and Stemflow Chemistry in a Northern Hardwood Forest. J Ecol, 61, 2, 495-508.
- Eisalou, K.H., Sengönül, K., Gökbülak, F., Serengil, Y. ve 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.
- Elrick, D.E. ve Reynolds W.D., 2002. Measuring Water Transmission Parameters in Vadose Zone Using Poned Infiltration Techniques. Agricultural Sciences, 7, 2, 17-22.
- Eraslan, İ., 1982. Orman Amenajmanı, İÜ Orman Fakültesi Yayınları No.: 3010/318, İstanbul, s. 582.
- Eschenbach, C. ve Kappen, L., 1996. Leaf area index determination in an alder forest: a comparison of three methods, Journal of Experimental Botany, 47, 302, 1457-14.
- FAO, Forests and Water - International Momentum and Action, (Synthesis report, FAO 2013, www.fao.org/docrep/017/i3129e/i3129e.pdf), 4 April, 2021.
- Fensham, R.J., ve Holman, J.E., 1999. Temporal and spatial patterns in drought-related tree dieback in Australian savanna, Journal of Applied Ecology, 36, 1035-1050.
- Fioretto, A., C. Di Nardo, S. Papa ve A. Fuggi., 2005. Lignin and cellulose degradation and nitrogen dynamics during decomposition of three leaf litter species in a Mediterranean ecosystem. Soil Biology and Biochemistry, 37, 1083-1091.
- Fleischbein, K., Wilcke, W., Goller, R., Boy, J., Valarezo, C. ve Zech, W., 2005. Knoblich, K. Rainfall interception in a lower montane forest in Ecuador: Effects of canopy properties. Hydrol. Process., 19, 1355-1371.
- Foster, N.W. ve Bhatti, J.S., 2006. Forest ecosystems: nutrient cycling, Encyclopedia of Soil Science New York: Taylor & Francis Group, 1, 718-21.
- Franz, H. 1979. Ökologie der Hochgebirge. Ulmer, Stuttgart.
- Frey, W. ve Löch, R., 1998. Lehrbuch der Geobotanik. Pflanze und Vegetation in Raum und Zeit. Gustav Fischer Stuttgart.
- Friedrich, W., 1967. Forest hydrology research in Germany, International Symposium on Forest Hydrology, Sopper, W.E. and Lull, H.W., Eds., Pergamon Press, Elmsford, NY, pp. 45-47.
- Fröhlich-Nowoisky, J., Kampf, C.J., Weber, B., Huffman, J.A., Pöhlker, C., Andreae, M.O., Lang-Yona, N., Burrows, S.M., Gunthe, S.S., Elbert, W., Su, H., Hoor, P., Thines, E., Hoffmann, T., Després, V.R. ve Pöschl, U., 2016. Bioaerosols in the earth system: climate, health, and ecosystem interactions, Atmos Res, 182, 346-376.
- Führer, E., 1994. Csapadékmérések bükkös, kocsánytalan tölgyes és lucfenyves ökoszisztémában, [Precipitation measurements in beech, sessile oak and spruce forest ecosystem] Erdészeti Kutatások, 84, 11-35.

- Garbelotto, M. M., Davidson, J. M., Ivors, K., Maloney, P. E., Hüberli, D., Koike, S. T., ve Rizzo, D. M., 2003. Non-oak native plants are main hosts for sudden oak death pathogen in California, Calif. Agr., 57, 18-23.
- Garrigues, E., M.S. Corson, D.A. Angers, H.M.G. van der Werf, ve C. Walter., 2012. Soil quality in life cycle assessment: Towards development of an indicator, Ecological Indicators, 18, 434-442.
- Gash, J.H.C., 1979. An analytical model of rainfall interception by forests, Quart. J. Roy. Meteorol. Soc., 105, 443, 43-55.
- Gash, J.H.L., Lloyd, C.R., ve Lachaud, G., 1995. Estimating sparse forest rainfall interception with an analytical model, J. Hydrol., 170, 79-86.
- GCOS, 2004. Implementation plan for the Global Observing System for Climate in support of the UNFCCC, Report GCOS-92 (WMO/TD No. 1219), 136p.
- Gerçek, V., 2011. Doğu karadeniz bölgesinde *Abies grandis* (dougl) lindl. Orijin denemeleri. Orman Ve Su İşleri Bakanlığı Orman Genel Müdürlüğü, Doğu Karadeniz Ormancılık Araştırma Enstitü Müdürlüğü. Araştırma Bülteni, 24.
- German, L., Mansoor, H., Alemu, G., Mazengia, W., Amede, T. ve Stroud, A., 2007. Participatory integrated watershed management: evolution of concepts and methods in an ecoregional program of the eastern African highlands, Agric Syst, 94,189-204.
- Gerrits, A. ve Savenije, H., 2011. Forest floor interception, in: Forest Hydrology and Biogeochemistry, chap. 22, Springer, Dordrecht, 445-454.
- Gerrits, A.M.J., 2010. The Role of Interception in the Hydrological Cycle. TU Delft, Delft University of Technology, Delft, The Netherlands.
- Gerrits, A.M.J. Savenije, H.H.G., Hoffman, L. ve Pfister, L., 2006. Measuring forest floor interception in a beech forest in Luxembourg, Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss., 3, 2323-2341.
- Gerrits, A.M.J., Savenije, H.H.G., Hoffman, I. ve Pfister, L., 2007. New Technique to measure forest floor Interception-an application in a beech forest in Luxembourg, Hydrol Earth Syst. Sci., 11, 695-701.
- Gersper, P.L. ve Holowaychuk, N., 1970. Effects of stemflow water on a Miami soil under a beech tree: I. morphological and physical properties. Soil Sci Soc Am Proc, 34, 779-786.
- Gersper, P.L. ve Holowaychuk, N. 1971. Some effects of stem flow from forest canopy trees on chemical properties of soils, Ecology, 52, 691-702.
- Goebes, P., Seitz, S., Geissler, C., Lassu, T., Peters, P., Seeger, M., Nadrowski, K. ve Scholten, T., 2014. Momentum or kinetic energy how do substrate properties influence the calculation of rainfall erosivity?, J Hydrol, 517, 310, 316.

- Goebes, P., Schmidt, K. ve Seitz, S., 2019. The strength of soil-plant interactions under forest is related to a Critical Soil Depth, Sci Rep, 9, 8635.
- Gómez, J. A., Gira, J.V. ve Fereres, E., 2001. Rainfall interception by olive trees in relation to leaf area, Agric. Water Manag., 15, 49, 65-76.
- Gómez, J. A., Vanderlinden, K., Giráldez, J. V., ve Fereres, E., 2002. Rainfall concentration under olive trees. Agric. Water Manag., 55, 53-70.
- Gorte, R.W. ve Sheikh, P.A., 2010. Deforestation and climate change, CRS Report for Congress, R41144, Congress Research Service (<http://www.crs.gov>), Washington, DC, p. 41.
- Gosz, J.R., Likens, G.E. ve Bormann, F.H., 1976. Organic matter and nutrient dynamics of the forest and forest floor in the Hubbard Brook Forest, Oecologia, 22, 305-320.
- Gower, S.T. ve Norman, J.M., 1990. Rapid estimation of leaf area index in forests using the LI-COR LAI-2000, Ecology, 72,1896-1900.
- Grelle, A., Lundberg, A., Lindroth, A., Morén, A.-S. ve Cienciala, E., 1997. Evaporation components of a boreal forest: variations during the growing season, Journal of Hydrology, 197, 70-87.
- Güven, İ.H., 1998. Türkiye Jeoloji Haritaları. 1:100.000 ölçekli Açınsama Nitelikli. No:58. Trabzon C29 ve D29 Paftaları, MTA, Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara.
- Hacısalıhoğlu, S., Mısır, M., Mısır, N., Yücesan, Z., Oktan, E., Gümüş, S. ve Kezik, U. 2017. The effects of land use change on soil loss and carbon stock amounts, Fresenius Environ Bull, 26, 1-13.
- Hacısalıhoğlu, S., 2004. Dogu Karadeniz Ardı Gümüşhane Yöresinde Farklı Kullanım ve Eğitimdeki Arazilerin Toprak Aşınmasının Nicel ve Nitel Olarak Belirlenmesi ile USLE Benzetim (Simulasyon) Modeli Sonuçlarının Karşılaştırılması Üzerine Araştırmalar, Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Hacısalıhoğlu, S., 2020. Doğu Karadeniz Bölgesindeki Saf Ladin ve Gök nar Orman Ekosistemlerinde İntersepsiyonun Ekolojik ve Hidrolojik Yönden Araştırılması, TÜBİTAK Program Kodu: 3001, Proje No: 217O359. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Nisan, Trabzon.
- Hanks, R.J. ve Ashcroft, G.L., 1980. Applied soil physics, Springer, Berlin Heidelberg New York.
- Hansen, K., Vesterdal, L., Schmidt, I.K., Gundersen, P., Sevel, L., Birk, A.B., Pedersen, L.B. ve Hansen, J.B., 2009. Litterfall and nutrient return in five tree species in a common garden experiment, For Ecol Manag, 257, 2133-2144.
- Hashemi, S.A. 2011. Comparison of canopy interception loss between trees species, Am. J. Sci. Res., 13, 151-157.

- Häsler, R., 1994. Ecophysiological investigations on cembran pine at timberline in the Alps, an overview. In: Schmidt WC, Holtmeier F-K, editors. Proceedings of an International workshop on Subalpine stone pines and their environment: the status of knowledge; St. Moritz, Switzerland, Sept. 5-11, 61–66. Tech. Rep. INT-GTR-309, US Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Research Station, Ogden, UT.
- Helvey, J.D., 1964. Rainfall interception by hardwood forest litter in the southern Appalachians, U.S. Forest Service Research Paper, SE 8, 1-8.
- Helvey, J.D., 1967. Interception by eastern white pine, Water Resour. Res., 3, 723-729.
- Helvey, J.D. ve Patric, J.J., 1965. Canopy and litter interception of rainfall by hardwoods of eastern United States, Water Resour. Res., 1, 193-206.
- Helvey, J.D., 1971. A summary of rainfall interception by certain conifers in North America, in Biological Effects of the Hydrological Cycle, Proceedings of the 3rd International Seminar on Hydrology Professors, Lafayette, IN, pp. 103-113.
- Herwitz, S. R., 1986. Infiltration-excess caused by stemflow in a cycloneprone tropical rainforest, Earth Surf. Process. Landforms, 11, 401-412.
- Herwitz, S.R., 1985. Interception storage capacities of tropical rainforest canopy trees, J. Hydrol., 77, 237-252.
- Herwitz, S.R. ve Slye, R.E., 1995. Three-dimensional modeling of canopy tree interception of wind-driven rainfall, J. Hydrol., 168, 1-4, 205-226.
- Hoover, M.D. ve Lunt, H.A., 1952. A key for the classification of forest humus types. Soil Science of America Proceedings, 16, 368-370.
- Houghton, R.A., 2005. Aboveground Forest Biomass and the Global Carbon Global Change, Biology, 11, 945-958.
- Hsiao, T. C., 1979. Plant responses to water deficits, efficiency, and drought resistance. Agricult. Meteorol., 14, 59-84.
- Ide, J., Makita, N., Jeong, S., Yamase, K. ve Ohashi, M., 2019. The Contribution of Coniferous Canopy to the Molecular Diversity of Dissolved Organic Matter in Rainfall, Water, 11, 167.
- Bouma, J., 2012. Hydropedology as a Powerful Tool for Environmental Policy and Regulations: Toward Sustainable Land Use, Management and Planning. Hydropedology, Edited by H. Lin. Chapter 15.
- Jaenicke, R., Matthias-Maser, S. ve Gruber, S., 2007. Omnipresence of biological material in the atmosphere, Environ Chem, 4, 217-220.
- Janeau, J.L., Podwojewski, P., Orange, D., Jouquet, P., Nguyen, V.T., Tran, D.T. ve Valentin, C., 2008. Land-use impacts on surface runoff and soil detachment within

- agricultural slopinglands in Northern Vietnam, Journal of Soil Science, Catena, 74, 109-118.
- Jiménez-Rodríguez, C.D., Coenders-Gerrits, M., Schilperoort, B., González-Angarita, A. Del P. ve Savenije, H., 2021. Vapor plumes in a tropical wet forest: spotting the invisible evaporation, Hydrol. Earth Syst. Sci., 25, 619-635.
- Johnson, R.C., 1990. The interception, throughfall and stemflow in a forest in Highland Scotland and the comparison with other upland forests in the U.K, Journal of Hydrology, 118, 281-287.
- Jones, P.D., Lister, D. H., Osborn, T. J., Harpham, C., Salmon, M. ve Morice, C. P., 2012. Hemispheric and large-scale land-surface air temperature variations: An extensive revision and an update to 2010, J. Geophys. Res. Atmos., 117.
- Joslin, J.D. ve Wolfe, M.H., 1993. Temperature increase accelerates nitrate release from high elevation red spruce soils, Can J For Res, 23, 756-759.
- Jury, W.A., Gardner, W.R. ve Gardner, W.H., 1991. Soil physics, 5th edn. Wiley, New York.
- Kadeba, O. ve Aduayi, E.A., 1985. Litter production, nutrient recycling and litter accumulation in *Pinus caribaea* Morelet var. *hondurensis* stands in the northern Guinea savanna of Nigeria, Plant Soil, 86, 2, 197-206.
- Kara, Ö., Şentürk, M., Bolat, i. ve Çakıroğlu, K., 2011. Kayın, Göknar ve Göknar-Kayın Meşcerelerinde Yaprak Alan İndeksi ile Toprak Özellikleri Arasındaki İlişkiler, Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University, 61,1, 47-54.
- Karavaşin, H., Tulukçu, M., Şengün, S. ve Nur, M., 2002. doğu karadeniz göknarı (*Abies nordmanniana* (Stev.) Spach.) kozalaklarının tohum verimi. T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, Orman Ağaçları ve Tohumları İslah Araştırma Müdürlüğü. Teknik Bülten No:9. Ankara.
- Katsuno, M. ve Hozumi, K., 1987. Needle Area Measurement by the Cut Method and Estimation of Specific Leaf Area in *Cryptomeria japonica*, Ecol. Res., 2, 203-213. Japan.
- Kayacık, H., 1960. Doğu ladini (*Picea orientalis* L.) Carr.)ın coğrafi yayılışı, Orman Fakültesi Dergisi, B, X, 2, 25-32.
- Keenan, R.J. ve Kimmins, J.P., 1993. The ecological effects of clear-cutting, Environ. Rev., 1, 121-144.
- Keim, R.F., Skaugset, A.E., ve Weiler, M., 2005. Temporal persistence of spatial patterns in throughfall, J. Hydrol., 314, 1-4, 263-274.
- Kelkar, V.N., 1945. Size of raindrops, In: Proceedings of the Indian academy of science, A22.
- Kelkar, V.N., 1961. Size distribution of raindrops, Nature, 192, 252.

- Kelliher, F. M., Whitehead, D. ve Pollock, D. S., 1992. Rainfall interception by trees and slash in a young *Pinus radiata* D. Don stand, J. Hydrol., 131, 187-204.
- Kelly, J.M., 1993. Temperature affects solution-phase nutrient concentrations and subsequent calculations of supply parameters, Soil Sci Soc Am J, 57, 527-531.
- Kenneth, W.T. 1996. Agronomy and range science, University of California, Davis, CA 95616- 8515.
- Kezik, U. ve Kocaçınar, F. 2014. Kurak ve Yarı-Kurak Bölgelerde Yayılış Gösteren *Quercus brantii* L. Baltalıklarında Seyreltmenin Su Potansiyeli ve Sürgün Durumu Üzerine Etkisi. II. Ulusal Akdeniz Orman ve Çevre Sempozyumu. Akdeniz ormanlarının geleceği: Sürdürülebilir toplum ve çevre Isparta-Türkiye, 22-24 Eylül, Süleyman Demirel Üniversitesi, 117-127.
- Khan, Q., Kalbus, E., Alshamsi, M.D., Mohamed, M.M. ve Liaqat, U.M., 2019. Hydrochemical analysis of groundwater in Remah and Al Khatim regions, United Arab Emirates, Hydrology, 6, 60.
- Kigomo, J.N., Sweda, T. ve Tsuzuki, H., 2013. Improved model for estimation of leaf area index using airborne laser profiling, Journal of Horticulture and Forestry. 5, 4, 53-60.
- Kiss, K. A, Gribovszki, Z. ve Kalicz, P., 2005. Rainfall interception by forest canopy and forest litter in three different forest ecosystems at the eastern border of the Alps, Geophysical Research Abstracts, 7, 05430.
- Kiss, K.A.Z., Kalicz, P., Csáfordi, P. ve Gribovszki, Z., 2014. Forest Litter Interception Model for a Sessile Oak Forest, Acta Silv. Lign. Hung.,10, 1, 91-101.
- Kobayashi, H., Ryu, Y., Baldocchi, D.B., Welles, J.M. ve Norman, J.M., 2013. On the correct estimation of gap fraction: how to remove scattered radiation in gapfraction measurements?, Agric. For. Meteorol., 174-175, 170-183.
- Kocaçınar, F., Abacı, A.A. ve Kezik, U., 2010. Kurak ve Çorak Alanların Rehabilitasyonunda Kullanılabilecek C3 ve C4 Bitkilerde Ekofizyolojik Parametreler, III. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi, Mayıs, Artvin, Bildiriler Kitabı III, 1144-1156.
- Koichiro, K., Yuri, T., Nobuaki, T. ve Isamu, K., 2001. Generation of stemflow volume and chemistry in a mature Japanese cypress forest, Hydrol Process, 15, 1967-1978.
- Koren, I., Dagan, G. ve Altaratz, O., 2014. From aerosol-limited to invigoration of warm convective clouds, Science, 344, 1143-1146.
- Lahti, M., Aphalo, P.J., Finer, L., Ryyppo, A., Lehto, T. ve Mannerkoski, H., 2005. Effects of soil temperature on shoot and root growth and nutrient uptake of 5-year-old Norway spruce seedlings, Tree Physiol, 25, 115-122.
- Langkamp, P.J., Farnell, G.K. ve Dalling, M.J., 1982. Nutrient cycling in a stand of *Acacia holosericea* A. Cunn. Ex G. Don. 1. Measurements of precipitation interception,

- seasonal acetylene reduction, plant growth and nitrogen requirement, Aust J Bot, 30, 87-106.
- Le Maitre, D.C., Scott, D.F. ve Colvin, C., 1999. A review of information on interactions between vegetation and groundwater, Water SA, 25,137-152.
- Lee, R. 1980. Forest Hydrology, Columbia University Press, New York. Black, P.E. 1996. Watershed Hydrology, 2nd edn., Ann Arbor Press, Chelsea, MI. Baird, A.J. and Wilby, R.L. 1999. Eco-Hydrology, Routledge, New York. Ward, A.D. and Trimble, S.W. 2004. Environmental Hydrology, 2nd edn., Lewis Publishers, Boca Raton, FL.
- Levia, D. F. ve Germer, S., 2015. A review of stemflow generation dynamics and stemflow-environment interactions in forests and shrublands, Rev. Geophys., 53, 673714.
- Levia, D.F., Van Stan, J.T., Siegert, C.M., Inamdar, S.P., Mitchell, M.J., Mage, S.M. ve McHale, P.J., 2011. Atmospheric deposition and corresponding variability of stemflow chemistry across temporal scales in a mid-Atlantic broadleaved deciduous forest, Atmos. Environ., 45, 3046-3054.
- Levia, D.F., Hudson, S.A., Llorens, P. ve Nanko, K., 2017. Throughfall drop size distributions: A review and prospectus for future research, WIREs Water, 4, e1225.
- Licata, J.A., Pypker, T.G., Weigandt, M., Unsworth, M.H., Gyenge, J.E., Fernández, M.E., Schlichter, T.M. ve Bond, B.J., 2011. Decreased rainfall interception balances increased transpiration in exotic ponderosa pine plantations compared with native cypress stands in Patagonia, Argentina, Ecohydrology, 4, 83-93.
- Lida, S., Tanaka, T. ve Sugita, M., 2005. Change of interception process due to the succession from Japanese red pine to evergreen oak, J Hydrol, 315, 154-166.
- Lin, H., 2012. Hydropedology Synergistic Integration of Soil Science and Hydrology. First edition. ISBN: 978-0-12-386941-8. Academic Press is an imprint of Elseviers, 499-500.
- Linhoss, A.C. ve Siegert, C.M., 2016. A comparison of five forest interception models using global sensitivity and uncertainty analysis, Journal of Hydrology, 538,109-116.
- Link, T.E., Unsworth, M. ve Marks, D., 2004. The dynamics of rainfall interception by a seasonal temperate rainforest, Agric For Meteorol, 124, 171-191.
- Linsley, R. K., Kohler, M. A., ve Paulhus, J. L. H., 1958. Hydrology for engineers, 2nd Edn., McGraw-Hill, New York.
- Liu, J., 1988. A theoretical model of the process of rainfall interception in forest canopy, Ecol. Model., 42, 111-123.
- Liu, S., 2001. Evaluation of the Liu model for predicting rainfall interception in forests world-wide, Hydrol. Process., 15, 2341-2360.
- Liu, S.G., 1997. A new model for the prediction of rainfall interception in forest canopies, Eco. Model., 99, 151-159.

- Livesley, S.J., Baudinette, B. ve Glover, D., 2014. Rainfall interception and stem flow by eucalypt street trees-The impacts of canopy density and bark type, Urban For. Urban Green., 13, 192-197.
- Llorens, P. ve Poch, R. 1997. Rainfall interception by a *Pinus sylvestris* forest patch overgrown in a Mediterranean mountainous abandoned area I. Monitoring design and results down to the event scale, J. Hydrol., 199, 331-345.
- Loescher, H.W., Powers, J.S. ve Oberbauer, S.F., 2002. Spatial variation of throughfall volume in an old-growth tropical wet forest, Costa Rica, J. Trop. Ecol., 18, 397-407.
- Lopushinsky, W. ve Max, T.A., 1990. Effect of soil temperature on root and shoot growth and on budburst timing in conifer seedling transplant, New For, 4, 107-124.
- Loustau, D., Berbigier, P., Granieff, A. ve Hadj Moussa, F.E., 1992. Interception loss, throughfall and stemflow in a maritime pine stand. I. Variability of throughfall and stemflow beneath the pine canopy, Journal of Hydrology, 138,449-467.
- Löfgren, S., Forsius, M. ve Andersen, T., 2003. The color of water - Climate induced water color increase in Nordic lakes and streams due to humus, Nord. Counc. Minist. Brochur.
- Lu, J., Sun, G., McNulty, S.G. ve Amatya, D.M., 2003. Modeling actual evapotranspiration from forested watersheds across the southeastern United States, J. Am. Water Resour. Assoc., 39, 887-896.
- Lundberg, A., Eriksson, M., Halldin, S., Kellner, E., ve Seibert, J., 1997. New approach to the measurement of interception evaporation, J. Atmos. Ocean. Tech., 14, 1023-1035.
- Lyod, C.R., Marques, F. ve A. De O., 1988. Saptial variability of throughfall and stemflow measurements in an Amazonian rainforest, Agricultural and Forest Meteorology, 42, 63-73.
- Lyr, H. ve Hoffma, G., 1967. Growth rates and periodicity of tree roots. In: Romberger JA, Mikola P (eds), International review of forest research, 2. Academic, New York.
- Lukac, M. ve Godbold, D. L., 2011. Soil Ecology in Northern Forests A Belowground View of a Changing World. pp:2-22. Cambridge University PressThe Edinburgh Building, Cambridge CB2 8RU, UK.
- Macedo, Sá., João, H., Chaffe, P. ve Quillet, M., 2016. The influence of the interception process on the precipitation quality in a catchment covered by subtropical Atlantic Forest, Brazilian Journal of Water Resources, 21, 742-751.
- Macfarlane, C., Grigg, A. ve Evangelista, C., 2000. Estimating forest leaf area using cover and fullframe fisheye photography: Thinking inside the circle, Agricultural and Forest Meteorology, 146, 1-12.
- Mader, S.S., 1998. *Biology*, McGraw-Hill, New York.

- Marin, C.T., Bouten, W. ve Sevink, J., 2000. Gross rainfall and its partitioning into throughfall, stemflow and evaporation of intercepted water in four forest ecosystems in western Amazoni, J. Hydrol. 237, 40-57.
- Mateos, B. ve Schnabel, S., 2001. Rainfall Interception By Holm Oaks in Mediterranean Open Wodland, Cuadernos de Investigacion Geografica, 27, 27-38.
- Matschonat, G. ve Falkengren-Grerup, U., 2000. Recovery of Soil pH, cation-exchange capacity and the caturation of exchange sites from stemflow-induced soil acidification in three Swedish beech (*Fagus sylvatica* L.) Forests, Scandinavian Journal of Forest Research 15, 39-48.
- May, F.E. ve Ash, J.E., 1990. An assessment of the allelopathic potential of Eucalyptus, Aust J Bot, 38, 245-254.
- Mayer, H. ve Ott, E. K., 1991. Gebirgswaldbau - Schutzwaldpflege. Ein waldbaulicher Beitrag zur.
- Meghdad, J. ve Saeedeh, J., 2019. Plot-Scale Effects of Ground-Based Skidding on Runoff and Soil Loss in Relation to Slopes and Leaf-On and Leaf-Off Periods in the Mixed Broadleaf Forests, Eur J Forest Eng, 5, 2, 83-91.
- Melillo, J.M., J.D. Aber, A.E. Linkins, A. Ricca, B. Fry ve K.J. Nadelhoffer., 1989. Carbon and nitrogen dynamics along the decay continuum: plant litter to soil organic matter, Plant and soil, 115, 189-198.
- Merriam, R. A., 1960. A note on the interception loss equation, J. Geophys. Res., 65, 3850-3851.
- Metzger, J. C., Schumacher, J., Lange, M.,ve Hildebrandt, A., 2019. Neighbourhood and stand structure affect stemflow generation in a heterogeneous deciduous temperate forest, Hydrol. Earth Syst. Sci., 2019, 336.
- Miao-Hua, J., Teng-Chi, L., Pei-Je, L.S., Mao-Kui, L., Chao, X., Jin-Sheng, X., Cheng-Fang L., Zhi-Ji, Y. ve Yu-Sheng, Y., 2019. Understory interception contributed to the convergence of surface runoff between a Chinese fir plantation and a secondary broadleaf forest, Journal of Hydrology, 574, 862-871.
- Miller, J. D., Anderson, H. A., Ferrier, R. C., ve Walker, T. A. B., 1990. Comparison of the hydrological budgets and detailed hydrological responses in two forested catchments, Forestry, 63, 251-269.
- Molchanov, A.A., 1963. The Hydrological Role of Forests, Israel Program for Scientific Translations, U.S. Department of Agriculture, Washington, DC.
- Molina, A.J. ve del Campo, A.D., 2012. The effects of experimental thinning on throughfall and stemflow: A contribution towards hydrology-oriented silviculture in Aleppo pine plantations, Forest Ecology and Management, 269, 206-213.

- Monke, E.J., Ed. 1971. Biological effects in the hydrological cycle, Proceedings of the Third International Seminar for Hydrology Professors, Department of Agricultural Engineering, Purdue University, West Lafayette, IN.
- Monteith, J.L. ve Unsworth, M.H., 1990. Principles of Environmental Physics, Edward Arnold, London, U.K. Rutter, A.J. ve Morton, A.J., 1977. A predictive model of rainfall interception in forests, III: Sensitivity of the model to stand parameters and meteorological variables, J. Appl. Ecol., 14, 567-588.
- Morbidelli, R., Saltalippi, C., Flammini, A. ve Govindaraju, R.S., 2018. Role of slope on infiltration: A review, J. Hydrol., 557, 878-886.
- MTA, 2015. Türkiye Yer Altı Kaynakları (İllere Göre). Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü. Yer Bilimleri ve Kültür Serisi-5, Ankara.
- Murakami, S., 2009. Abrupt change in annual stemflow with growth in a young stand of Japanese cypress, Hydrol Res Lett, 3, 32-35.
- Murphy, D.V., Sparling, G.P. ve Fillery, I.R.P., 1998. Stratification of microbial biomass C and N and gross N mineralization with soil depth in two contrasting Western Australian Agricultural soils, Australian Journal of Soil Research, 36, 45-55.
- Muzylo, A., Llorens, P., Valente, P., Keizer, J.J., Dominge, F. ve Gash, J.H.C., 2009. A review of rainfall interception modeling, Journal of Hydrology, 370, 191-206.
- Nadkarni, N.M. ve Sumera, M.M., 2004. Old-Growth Canopy Structure and Its Relationship to Throughfall Interception, Forest Science, 50, 3, 290.
- Nacar, S. 2020. İklim Değişikliğinin Doğu Karadeniz Havzası Sıcaklık ve Yağış Parametreleri Üzerindeki Olası Etkilerinin İncelenmesi. Doktora Tezi. KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 339.
- Naeth, M., Bailey, A., Chanasyk, D. ve Pluth, D., 1991. Water holding capacity of litter and soil organic matter in mixed prairie and fescue grassland ecosystems of Alberta, Journal of Range Management, 44, 13-17.
- Nather, J., 1992., Boden und Klima als Standorts- und Wachstumsfaktoren (In: Lyr, H., Friedler, J., H., Tranquillini, W., Physiologie der Gehölze) Stuttgart.
- Nortcliff, S., 2002. Standardisation of soil quality attributes, Agriculture Ecosystems and Environment, 8, 161-168.
- Odum, H.T., 1971. Fundamentals of Ecology, 3rd ed. W.B. Saunders CO., Toronto, 574 pp.
- OGM, 2014. Türkiye Orman Varlığı. Orman İdaresi ve Planlama Dairesi Başkanlığı Yayın No, 15, Envanter Serisi No, 17.
- Oishi, A.C., Ram Oren, R., ve Stoy, P.C., 2008. Estimating components of forest evapotranspiration: A footprint approach for scaling sap flux measurements, Agric. For. Meteorol., 148, 1719-1732.

- Osman, K.T., 2013. *Forest Soils: Properties and Management*. Springer International Publishing, Switzerland.
- Owens, M.K. ve Lyons, R.K., 2002. Evaporation and interception water loss from Juniper Communities on the Edwards Aquifer Recharge Area, UREC-02–028, Texas A and M Agricultural Research and Extension Center at Uvalde, Texas.
- Ozenda, P., 1988. *Die Vegetation der Alpen im europaischen Gebirgsraum (Aus dem franzsischen iberzetz von Hannes Mayer und Andreas Zirrig)*, Stuttgart.
- Özhan, S., 1982. Belgrad Ormanındaki bazı meşçelerde evapotranspirasyonun deneysel olarak saptanması ve sonuçların ampirik modellerle karşılaştırılması, İ.Ü. Orman Fakültesi Yayın No. 311, İstanbul.
- Özhan, S., 2004. Havza Amenajmanı. İ.Ü.Orman Fakültesi Yayınları, İ.Ü.Rektörlük Yayın No:4510, Orman Fakültesi Yayın No:481, 975-404-739-1, İstanbul.
- Park, H-T., Hattori, S. ve Tanaka, T., 1998. Development of a numerical model for evaluating the effect of litter layer on evaporation, Journal of Forest Research 3, 25-33.
- Parker, G.G., 1983. Throughfall and Stemflow in the Forest Nutrient Cycle, Adv Ecol Res, 13, 57-133.
- Pater, S. ve McReynolds, K., 2005. *Watershed Soils*. Master Watershed Steward, The *USDA-Agricultural Research Service Watershed Research Program*. USA.
- Pathak, P. C., Pandey, A. N., ve Singh, J. S., 1985. Apportionment of rainfall in central Himalayan forests (India), J. Hydrol., 76, 319-332.
- Pathak, P. C. Ve Singh, J. S., 1984. Nutrients in precipitation components for pine and oak forests in Kumaun Himalaya, Tellus B, Chemical and Physical Meteorology, 36, 1, 44-49.
- Penman, H.L., 1963. *Vegetation and Hydrology*, Commonwealth Agricultural Bureaux, Farnham Royal, Buks, England.
- Pikora, T., Giles-Corti, B., Bull, F., Jamrozik, K. ve Donovan, R., 2003. Developing a framework for assessment of the environmental determinants of walking and cycling, Social Science and Medicine, 56, 8,1693-1703.
- Poehlker, C., Wiedemann K.T., Sinha, B., Shiraiwa, M., Gunthe, S.S., Smith, M., Su, H., Artaxo, P., Chen, Q., Cheng, Y., Elbert, W., Gilles, M.K., Kilcoyne, A.L.D., Moffet, R.C., Weigand, M., Martin, S.T., Poeschl, U. ve Andreae, M.O., 2012. Biogenic potassium salt particles as seeds for secondary organic aerosol in the Amazon, Science, 337, 1075-1078.
- Ponce, V.M. ve Hawkins, R.H., 1996. Runoff curve number: has it reached maturity?, J. Hydrol. Eng., 1, 1, 11-19.

- Pregitzer, K.S. ve King, J.S., 2005. Nutrient Acquisition by Plants. An Ecological Perspective (ed.: BassiriRad, Hormoz) Chapter 10, Effects of Soil Temperature on Nutrient Uptake. Heidelberg.181: XVIII, 348, Springer-Verlag Berlin.
- Pressland, A.J. ,1976. Soil moisture redistribution as affected by throughfall and stemflow in an arid zone shrub community, Aust J Bot, 24, 641-649.
- Pressland, A. J., 1973. Rainfall partitioning by an arid woodland (*Acacia aneura* F. Muell.) in south-western Queensland, Aust. J. Bot., 21, 235-245.
- Probsta, A. ve Ambroiseb, B., 2019. Disturbance and resilience of a granitic critical zone submitted to acid atmospheric influence (the Ringelbach catchment, Vosges Mountains, France): Lessons from a hydrogeochemical survey in the nineties, Journal of Hydrology, 569, 77- 92.
- Prutzer, E., 1961. Die Niederschlagsverhältnisse an der Waldgrenze (In: Ökologie der alpinen Waldgrenze). Mitt. der forstl. Bundesversuchsanstalt) Wien.
- Putuhena, W. M. ve Cordery, I., 1996. Estimation of interception capacity of the forest floor, Journal of Hydrology, 180, 283-299.
- Pypker, T. G., Bond, B. J., Link, T. E., Marks, D., ve Unsworth, M. H., 2005. The importance of canopy structure in controlling the interception loss of rainfall: Examples from a young and an old-growth Douglas-fir forest, Agric. For. Meteorol., 130, 113-129.
- Raven, J. A., ve Smith, F. A., 1976. Nitrogen assimilation and transport in vascular land plants in relation to intracellular pH regulation, New Phytol. 76, 415-431.
- Reiners, W.A., 1972. Nutrient content of canopy throughfall in three Minnesota forests, Oikos, 23, 14-22.
- Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A., McCool, D.K., ve Yoder, D.C., 1997. Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE), USDA, Agricultural handbook, 703. USA.
- Riegler, W., 1881. Beobachtungen über die Abfuhr meteorischenWassers entlang den Hochstämmen. Mitteil. Forstl, Bundes VersuchsanstaltWien, 2, 234-246.
- Rosenfeld, D., Lohmann, U., Raga, G.B., O'Dowd, C.D., Kulmala, M., Fuzzi, S., Reissell. A. ve Andreae, M.O., 2008. Flood or drought: how do aerosols affect precipitation?, Science, 321, 1309-1313.
- Rosewell, C.J., 1986. Rainfall kinetic energy in eastern Australia, J Climate Appl Meteorol 25, 1695-1701.
- Rutter, A. J., Kershaw, K. A., Robins, P. C., ve Morton, A. J., 1971-1972. A predictive model of rainfall interception in forests, 1. Derivation of the model from observations in a plantation of Corsican pine, Agr. Meteorol., 9, 367-384.
- Saatçioğlu, F., 1976. Silvikültürün Biyolojik Esasları ve Prensipleri, (Silvikültür I), İÜ Orman Fakültesi, Yayın No: 2187/222, İstanbul.

- Sadeghi, S.M.M., Gordon, D.A. ve Van Stan, J.T., 2020. A Global Synthesis of Throughfall and stemflow, *Hydrometeorology* (chapter 4). J. T. Van Stan, II et al. (eds.), *Precipitation Partitioning by Vegetation*.
- Sanchez , P.A., 1976. *Properties and management of soils in the tropics*. Wiley, New York
- Sankaran, M., N.P. Hanan, R.J. Scholes, J. Ratnam, D.J. Augustine, B.S. Cade, J. Gignoux, S.I. Higgins, X. Le Roux, F. Ludwig, ve Ardo, J., 2005. Determinants of woody cover in African savannas, *Nature*, 438, 846-849.
- Sar, T. , Avcı, S. ve Avcı, M., 2019. Evaluation of the Vegetation Period According to Climate Change Scenarios: A Case Study in the Inner West Anatolia Subregion of Turkey, *Journal of Geography*, 39, 29-39.
- Sariyildiz, T., 2008. Effects of tree canopy on litter decomposition rates of *Abies nordmanniana*, *Picea orientalis* and *Pinus sylvestris*, *Scandinavian Journal of Forest Research*, 23, 330-338.
- Satterlund, D.R. ve Adams, P.W., 1992. *Wildland Watershed Management*, John Wiley & Sons, New York.
- Savenije, H.H.G., 2004. The importance of interception and why we should delete the term evapotranspiration from our vocabulary, *Hydrological Processes*, 18, 8, 1507-1511.
- Saxton, K.E., rawls W.J., romberger J.S. ve Ppapendick R.I., 1986. Estimating generalized soil-water characteristics from texture, *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 50, 4,1031.
- Schönenberger, W. 1978. *Ökologie der natürlichen Verjüngung von Fichte und Bergföhre in Lwainenzügen der nördlichen Voralpen*. Diss. Gebirgsprogramm: 14. Beitrag, Mitt. Eidg. Anst forstlich. Versuchswesen 54.
- Schönenberger, W. ve Frey, W., 1988. *Untersuchungen zur Ökologie und Technik der Hochlagenaufforstung-Forschungsergebnisse aus dem Lawinenrissgebiet Stillberg Schweiz*. Z. Forstsewen 139.
- Scurlock, J. M., Asner, G. P., ve Gower, S. T., 2001. *Worldwide historical estimates of leaf area index, 1932-2000*, Tech. Rep. December, ORNL Oak Ridge National Laboratory (US), Oak Riidge, USA,
- Senn, J., W. Schönenberg, ve Wasem, U., 1994. *Survival and growth of planted Cembran pines at the alpine timberline*. Pages 105-109 in W. C. Schmidt, and F.-K. Holtmeier, compilers. *Proceedings—International workshop on subalpine stone pines and their environment: The status of our knowledge*. USDA Intermountain Research Station, General Technical Report INT-GTR-309, Ogden, Utah, USA.
- Sheil, D., 2018. *Forests, atmospheric water and an uncertain future: the new biology of the global water cycle*, *Forest Ecosystems*, 5, 19.
- Shi, Jianru. *Decomposition and Nutrient Release of Different Cover Crops in Organic Farm Systems*. *Dissertations & Thesis in Natural Resources*. 75. <https://digitalcommons.unl.edu/natresdiss/75>, October, 2020.

- Shiklomanov, I.A. and Krestovsky, O.I., 1988. The influence of forests and forest reclamation on streamflow and water balance, *Forests, Climate, and Hydrology*, Reynolds, E.C. and Thompson, F.B., Eds., United Nations University Press, The United Nations University, Tokyo, Japan.
- Shin, S.S., Park, S.D. ve Choi, B.K., 2016. Universal power law for relationship between rainfall kinetic energy and rainfall intensity, *Adv Meteorol*, 2494681.
- Shuttleworth, W.J., 1993. Evaporation, *Handbook of Hydrology*, Maidment, D.R., Ed., McGraw-Hill, New York, pp. 41-53.
- Siegert, C.M. ve Levia, D.F., 2004. Seasonal and meteorological effects on differential stemflow funneling ratios for two deciduous tree species, *J. Hydrol.*, 519, 446-454.
- Silva, I.C., ve Okumura, T., 1996. Throughfall, Stemflow and Interception (*Quercus serrata* Thunb.), *J. For. Res.*, 1, 123-129.
- Silva, I.C. ve Rodríguez, H.G., 2001. Interception loss, throughfall and stemflow chemistry in pine and oak forests in northeastern Mexico, *Tree Physiology*, 21, 1009-1013.
- Singh, S. ve Mishra, A., 2014. Spatiotemporal analysis of the effects of forest covers on stream water quality in Western Ghats of peninsular India, *Journal of Hydrology*, 519, 214-224.
- Slatyer, R.O., 1959. Methodology of water balance study conducted on a desert woodland (*Acacia aneura* F. Muell.) community in central Australia. UNESCO: Symposium paper no. 13. Madrid, Spain.
- Solomon, C.T, Jones, S.E., Weidel, B.C., Buffam, I., Fork, M.L., Karlsson, J., Larsen, S., Lennon, J.T., Read, J.S., Sadro, S. ve Saros, J.E., 2015. Ecosystem consequences of changing inputs of terrestrial dissolved organic matter to lakes: Current knowledge and future challenges, *Ecosystems*, 18, 376-389.
- Spadavecchia, L., M. Williams, R. Bell, P. C. Stoy, B. Huntley, ve van Wijk, M.T., 2008. Topographic controls on the leaf area index and plant functional type of a tundra ecosystem, *Journal of Ecology*, 96, 6, 1238-51.
- Spittlehouse, D.L. ve Stathers, R.J., 1990, Seedling microclimate. British Columbia Ministry of Forests, Victoria, Land Management Rep no 65.
- Šraj, M., Brilly, M. ve Mikoš, M., 2008. Rainfall interception by two deciduous Mediterranean forests of contrasting stature in Slovenia, *Agric. For. Meteorol.*, 148, 121-134.
- SSF (Soil Survey Staff), 1975. Soil taxonomy: a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys, USDA Soil Conservation Service, Washington, DC, USA.
- Steven, R., Archer, E., Andersen, M., Predick, K.I., Schwinning, S., Steidl, R.J. ve Woods, S.R., 2017. Chapter 2, Woody Plant Encroachment: Causes and Consequences.

- D.D. Briske (ed.), Rangeland Systems, Springer Series on Environmental Management.
- Stewart, J.B., 1977. Evaporation from the wet canopy of a pine forest, Water Resour. Res., 13, 915-921.
- Storck, P., Lettenmaier, D.P., ve Bolton, S.M., 2002. Measurement of snow interception and canopy effects on snow accumulation and melt in a mountainous maritime climate, Oregon, United States, Water Resour. Res., 38, 11, 1223, 1223-1238.
- Sumrall, L.B., Roundy, B.A., Cox, J.R. ve Winkel, V.K., 1991. Influence of canopy removal by burning or clipping on emergence of *Eragrostis lehmanniana* seedlings, Int J Wildland Fire, 1, 35-40.
- Sun, J., Yu, X., Wang, H., Jia, G., Zhao, Y., Tu, Z., Deng, W., Jia, J. ve Chen, J. 2018. Effects of forest structure on hydrological processes in China, Journal of Hydrology, 561, 187-199.
- Swaffer, B.A., Holland, K.L., Doody, T.M. ve Hutson, J., 2014. Rainfall partitioning, tree form and measurement scale: a comparison of two co-occurring, morphologically distinct tree species in a semi-arid environment, Ecohydrology, 7, 1331-1334.
- Swank, W.T., 1968. The influence of rainfall interception on streamflow. Reprinted by permission of the Council on Hydrology Clemson University Water Resources Research Institute, Report No. 4 Clemson, South Carolina, USA.
- Swank, W.T., Goebel, N.B., ve Helvey, J.D., 1972. Interception loss in loblolly pine stands of the South Carolina piedmont, J. Soil Water Conserv., 27, 160-164.
- Swift, M.J., Heal, O.W. ve Anderson, J.M., 1979. Decomposition in terrestrial ecosystems. Univ of California Press.
- Szilagyi, J. ve Parlange, M.B., 1999. Defining watershed-scale evaporation using a normalized difference vegetation index, J. Am. Water Resour. Assoc., 35, 1245-1255.
- Şen, S.G., 2014. Kastamonu-Daday Yöresinde Farklı Meşçere Tiplerinde Yağışın Dizpozisyonu ve Özellikleri. Yüksek Lisans Tezi Kastamonu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kastamonu, 128.
- Taiz, L. ve Zeiger, E. 2002. Plant Physiology (Third Edition). Sinauer Associates, Inc., Publishers, Sunderland, 33-46.
- Taiz, Lincoln ve Zeiger, Eduardo., 2008. Bitki Fizyolojisi, üçüncü baskıdan çeviri (Prof. Dr. İsmail TÜRKAN), Palme yayıncılık, Ankara. Sayfa 33-65.
- Tanaka, T., Taniguchi, M. ve Tsujimura, M., 1996. Significance of stemflow in groundwater recharge. 2: a cylindrical infiltration model for evaluating the stemflow contribution to groundwater recharge, Hydrol Process, 10, 81-88.

- Teklehaimanot, Z. ve Jarvis, P.G., 1991. Direct measurement of evaporation of intercepted water from forest canopies, J. Appl. Ecol., 28, 603-618.
- Terra, M.D.C.N.S., de Mello. C.R., de Mello. J.M., de Oliveira, V.A., Nunes, M.H., Silva, V.O., Rodrigues, A.F. ve Alves, G.J., 2018. Stemflow in a neotropical forest remnant: vegetative determinants, spatial distribution and correlation with soil moisture, Trees 32, 323-335.
- Thornthwaite, C.W., 1948. An approach toward a rational classification of climate, Geogr. Rev., 38, 55-94.
- Toba, T. ve Otha, T., 2008. Factors affecting rainfall interception determined by a forest simulator and numerical model, Hydrol. Process., 22, 2634-2643.
- Tonello, K.C., Rosa, A.G., Pereira, L.C., Matus, G.N., Guandique, M.E.G. ve Navarrete, A.A., 2021. Rainfall partitioning in the Cerrado and its influence on net rainfall nutrient fluxes, Agricultural and Forest Meteorology, 303, 1923.
- Tranquillini, W., 1992. Wald un Wesser (In:Lyr, H., Fiedler, J., h., Tranquillini, W. 1992: Physiologie und Ökologie der Gehölze) Stuttgart.
- Tsiko, C. T., Makurira, H., Gerrits, A. M. J., ve Savenije, H. H. G.: 2012. Measuring forest floor and canopy interception in a savannah ecosystem, Phys. Chem. Earth, Pt. A/B/C, 47, 122–127.
- Turner, D.P., Acker, S.A., Means, J.E. ve Garman, S.L., 2000. Assessing alternative allometric algorithms for estimating leaf area of Douglas-fir trees and stands, Forest Ecology and Management, 126, 61-76.
- Turner, H., 1958. Maximaltemperaturen oberflachannaher Bodenschichten an der alpinen Waldgrenze Wetter un Leben 10.
- Twidwell, D., C.L. Wonkka, C.A. Taylor, C.B. Zou, J.J. Twidwell, ve W.E. Rogers., 2014. Drought-induced woody plant mortality in an encroached semi-arid savanna depends on topographic factors and land management, Applied Vegetation Science, 17, 42-52.
- Unger, P.W. ve Parker, J.J. 1976. Evaporation reduction from soil with wheat, sorghum, and corn residues, Soil Sci. Soc. Am. J., 40, 936-942.
- USDA, 2008. Targeting of Watershed Management Practices for Water Quality Protection, The board of Regents of the University Nebraska on Behalf of the University of Nebraska-Lincoln extention, USA.
- Uslu, S., 1969. Ormanlarm Toprak Koruması ve Hidrolojik Bakımdan Önemi, İ.Ü. Orman Fak. Dergisi, A, 43.
- Van Cleve, K., Oechel, W.C. ve Hom, J.L., 1990. Response of black spruce (*Picea mariana*) ecosystems to soil temperature modification in interior Alaska, Can J Forest Res 20, 1530, 1535.

- Van Cleve, K., Chapin, F.S., Dyrness, C.T. ve Viereck, L.A., 1991. Element cycling in taiga forests: state factor control, Bioscience, 41, 78-88.
- Van Stan Ii, J.T., Siegert, C.M., Levia Jr., D.F. ve Scheick, C.E., 2011. Effects of winddriven rainfall on stemflow generation between codominant tree species with differing crown characteristics, Agric. For. Meteorol., 151, 9, 1277-1286.
- Van Stan, J.T. ve Gordon, D.As, 2018. Mini-review: stemflow as a resource limitation to near-stem soils, Front Plant Sci., 9, 248.
- Vapaavuori, E.M., Rikala, R. ve Ryyppö, A., 1992. Effects of root temperature on growth and photosynthesis in conifer seedlings during shoot elongation, Tree Physiol, 10, 217-230.
- Vestin, J.L.K., Norström, S.H., Bylund, D. ve Lundstrom, U.S., 2008. Soil solution and stream water chemistry in a forested catchment I: Dynamics, Geoderma, 144, 256-270.
- Visser, S., 1985. Role of the soil invertebrates in determining the composition of soil microbial communities. In: Fitter AH (ed) Ecological interactions in soil., 297-317. Blackwell, Boston, USA.
- Vitousek, P.M. ve Stanford, R.L., 1986. Jr. Nutrient cycling in moist tropical forest, Ann. Rev. Ecol. Syst., 17, 137-167.
- Vose, J.M., Dougherty, P.M., Long, J.N., Smith, F.W., Gholz, H.L. ve Curran, P.J., 1994. Factors influencing the amount and distribution of leaf area of pine stands, Ecol. Bull., 43, 102-114.
- Wallace, J., Macfarlane, C., McJannet, D. E., Ellis, T., Grigg, A. ve van Dijk, A., 2013. Evaluation of forest interception estimation in the continental scale Australian Water Resources Assessment – Landscape (AWRA-L) model, Journal of Hydrology, 499, 210-223.
- Walter, H., Harnickell, E. ve Mueller-Dombois, D., 1975. Climate-diagram maps of the individual continents and the ecological climatic regions of the earth. Berlin: Springer-Verlag. 36p. with 9 maps.
- Walter, J.M. ve Torquebiau, E.F., 2000. The computation of forest leaf area index on slope using fish-eye sensors, C R Acad Sci III. 323, 9, 801-13.
- Wang, G., Mang, S., Cai, H.İ, Liu, H., Zhang, Z., Wang, L. ve Innes, J.L., 2016. Integrated watershed management: evolution, development and emerging trends, J. For. Res. 27, 5, 967-994.
- Wang, L., Zhang, Z., Shao, M. ve Wang, Q., 2013. Rainfall Interception in a *Robinia pseudoacacia* Forest Stand: Estimates Using Gash's Analytical Model, J. Hydrol. Eng. 18, 474-479.
- Wei, X., Bi, H. ve Liang, W, 2017. Factors controlling throughfall in a *Pinus tabulaeformis* forest in North China, Sci Rep, 7, 14060.

- Westbrook, C. D., Hogan, R. J., O'Connor, E. J. ve Illingworth, A. J., 2010. Estimating drizzle drop size and precipitation rate using two-colour lidar measurements, Atmos. Meas. Tech., 3, 671-681.
- Whittaker, R. H., 1970. *Communities and Ecosystems*. Macmillan, New York.
- WHO, 2004. *Guidelines for Drinking Water Quality, 3rd ed.; Recommendations; Volume 1*, Geneva, Switzerland.
- Williams, J.W., Gonzales, L.M., ve Kaplan, J.O., 2008. Leaf area index for northern and eastern North America at the Last Glacial Maximum: A data-model comparison, Global Ecol. Biogeogr., 17, 1, 122-134.
- Williams, T.M., 2016. *Forest Hydrology: Processes, Management and Assessment* (eds D.M. Amatya, T.M. Williams, L. Bren and C. de Jong) Chapter 2 Forest Runoff Processes. Clemson University, Georgetown, South Carolina, USA.
- Wilson, J.P., 2003. *GIS-based Land Surface/Subsurface Modeling: New Potential for New Models*, Geographic Information and Analysis Center, Department of Earth Sciences, University, Bozeman, Montana State, USA.
- Wischmeier, W.H., ve Smith, D.D., 1978. *Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning*. Agriculture Handbook No. 537. U.S. Department of Agriculture, Washington, DC. USA.
- Wohl, E., 2013. Wilderness is dead: whither critical zone studies and geomorphology in the Anthropocene? Anthropocene, 2, 4-15.
- Wolch, J.R., Byrne, J. ve Newell, J.P., 2014. Urban green space, public health, and environmental justice: The challenge of making cities 'just green enough', Landscape and Urban Planning, 125, 234-244.
- Wood, T.E., Lawrence, D., ve Clark, D.A., 2006. Determinants of leaf litter nutrient cycling in a tropical rain forest: soil fertility versus topography, Ecosystems, 9, 1-11.
- Xiao, Q., McPherson, E.G., Ustin, S.L., Grismer, M.E., ve Simpson, J.R., 2000. Winter rainfall interception by two mature open-grown trees in Davis, California, Hydrol. Process., 14, 763-784.
- Xu, C., Wei, M., Chen, J., Sui, X., Zhu, C., Li, J., Zheng, L., Sui, G., Li, W. ve Wang, W., 2017. Investigation of diverse bacteria in cloud water at Mt. tai, China, Sci Total Environ, 580, 258-265.
- Yang, X.Y., Li, Z.P. ve Lin, H.Y.T., 2009. Connecting ecohydrology and hydrogeology in desert shrubs: stemflow as a source of preferential flow in soils, Hydrol Earth Syst Sci, 13, 1133-1144.
- Yakubu, M.L., Yusop, Z. ve Fulazzaky, M. A., 2016. The Influence of Rain Intensity on Raindrop Diameter and The Kinetics of Tropical Rainfall: Case Study of Skudai, Malaysia, Hydrol. Sci. J., 61 944-51.

- Yang, W.Q., Wang, K.Y., Kellomaki, S. ve Gong, H., 2005. Litter dynamics of three subalpine forests in Western Sichuan, Pedosphere, 15, 5, 653-659.
- Yılmaz, F., 2014. Doğu Kayını (*Fagus orientalis* L.) Meşçerelerinde Aralamanın Yağışın Dispozisyonu ve Bazı Su Kalitesi Parametrelerine Etkileri. , Doktora Tezi, Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Mühendisliği Anabilim Dalı, Düzce, 147.
- Yuan, C., Gao, G., Fu, B., He, D. , Duan, X. ve Wei, X., 2019. Temporally dependent effects of rainfall characteristics on interand intra-event branch-scale stemflow variability in two xerophytic shrubs, Hydrol. Earth Syst. Sci., 23, 4077-4095.
- Yurdaer, M. ve Kip, H. S., 2007. Orman Amenajmanında Hidrolojik Fonksiyon, Küresel İklim Değişimi ve Su Sorunlarının Çözümünde Ortamlar Sempozyumu, Aralık, İstanbul, Bildiriler kitabı, 145-153, 13-14,
- Yurtseven, I. ve Zengin, M., 2013. Neural network modelling of rainfall interception in four different forest stands, Ann. For. Res., 56, 2, 351-362.
- Yücesan, Z., Hacisalihoğlu, S., Kezik, U. ve Karadağ, H., 2019. Effects on soil erosion and carbon sequestration in a pedunculate oak coppice stand during the conversion process into high forest, Austrian Journal of Forest Science, 136, 45-66.
- Zabret, K., Rakovec, J., Mikoš, M. ve Šraj, M., 2017. Influence of raindrop size distribution on 809 throughfall dynamics under pine and birch trees at the rainfall event level. Atmosphere, 8, 810, 240.
- Zeng, N., Shuttleworth, J.W. ve Gash, J.H., 2000. Influence of temporal variability of rainfall on interception loss. Part I. Point analysis, J. Hydrol., 228, 3, 228-241.
- Zengin, H., Yeşil, A., Ünal, A., Bettinger, P., Cieszewski, C. ve Siry, J.P., 2013. Evolution of Modern Forest Management Planning in the Republic of Turkey, J. For., 111, 4, 239-248.
- Zengin, M., 1997. Kocaeli Yöresinde Orman Ekosistemlerinin Hidrolojik Ağaçlandırmalar Yönünden Karşılaştırılması. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 212.
- Zhang, P., 1999. Nutrient inputs from trees via throughfall, stemflow and Litterfall in an intercropping system. MS Thesis, The University of Guelph, Canada.
- Zhang, Y.F., Wang, X.P., Hu, R. ve Pan, Y.X., 2017. Stemflow volume per unit rainfall as a good variable to determine the relationship between stemflow amount and morphological metrics of shrubs, J Arid Environ, 141, 1-6.
- Zhang, S.Y. ve Li, X.Y., 2016. Measurement and modelling of rainfall partitioning by deciduous *Potentilla fruticosa* shrub on the Qinghai-Tibet Plateau, China, Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss., 2016, 589.

- Zhou, Q., Zhou, X., Luo, Y. ve Cai, M., 2018. The Effects of Litter Layer and Topsoil on Surface Runoff during Simulated Rainfall in Guizhou Province, China: A Plot Scale Case Study, Water, 10, 7, 915.
- Zimmermann, A., Germer, S., Neill, C., Krusche, A.V. ve Elsenbeer, H., 2008. Spatio-temporal patterns of throughfall and solute deposition in an open tropical rain forest, J. Hydrol., 360, 87-102.
- Zinke, P. J., 1967. Forest Interception Studies in United States. In: Sopper, W.E. & Lull, H.W. (eds): Forest Hydrology, Pergamon Press, Oxford, 137-161.
- Zou, J., Tobin, B., Luo, Y. ve Osborne, B.A., 2018. Response of soil respiration and its components to experimental warming and water addition in a temperate Sitka spruce forest ecosystem, Agric. Meteorol., 260, 204-215.



ÖZGEÇMİŞ

İlk ve Orta öğrenimini yurdun çeşitli bölgelerinde tamamladıktan sonra Kafkas Üniversitesi Artvin Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümünü Kazandı;KSÜ Orman Mühendisliği Bölümü'ne yatay geçiş yaptı. Öğrenimine devam ederken 2006- 2007 eğitim öğretim yılı II. yarıyılımı, Polonya'daki Szkole Główniej Gospodarstwa Wiejskiego Üniversitesi Orman Mühendisliği bölümünde tamamladı. Haziran 2008 tarihinde Fakülte ve Bölüm birincisi olarak Onur derecesi ile KSÜ'den Mezun oldu. Aynı yıl mezun olduğu yerde Yüksek Lisans öğrenimine başladı ve TÜBİTAK projesinde bursiyer olarak görev aldı. Bunu takiben 2008 KPSS puanı ile Orman Genel Müdürlüğü emrine atandı. Elazığ, Tunceli ve Mardin illerinde Orman Bölge şefi olarak görev yaptıktan sonra YÖK'ün açmış olduğu ÖYP sınavında başarılı olarak Ekim 2010 tarihinde Çankırı Karatekin Üniversitesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Toprak İlimi ve Ekoloji Anabilim Dalı'na kurumunun muvafakatı ile naklen atandı. YTÜ'de bir dönem dil eğitimi için görevlendirildi. Mayıs 2011 tarihinde Yüksek Lisans öğrenimini bitirdi. YÖK tarafından Doktora öğrenimi kapsamında merkezi yerleştirme sistemi ile KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Mühendisliği Anabilim dalına yerleşti. Öğrenimine devam ederken Uluslararası alanda tanınan Czech University of Life Sciences Prague Üniversitesinden bir bilim adamının önderliğini yaptığı yaz okulunda deneysel ve teorik çalışmaları içeren Toprak ilmi konuları kapsamında 8 AKTS'lik dersleri derece ile başarmış, diploma almıştır. Aynı zamanda öğrenim gördüğü dönem içerisinde İstanbul Üniversitesi AUZEF Sosyoloji Bölümünü de Onur Öğrencisi olarak başarı ile bitirip Sosyoloji Lisans derecesi almıştır. Halen KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Mühendisliği Anabilim Dalında Doktora öğrenimine devam eden Yüksek Onur Öğrencisi Uğur KEZİK yurtiçi ve yurtdışında Ulusal ve Uluslararası çapta düzenlenen birçok bilimsel sempozyuma katılmıştır. Bu kapsamda aralarında en iyi sözlü/poster bildiri ödülüne sahip olduğu 30 adet bilimsel bildirisi mevcuttur. SCI/SSCI kapsamında yabancı dilde yazılmış 6 adet makalesi ve TR indekse giren 3 adet makalesi bulunmaktadır. Ayrıca Uğur Kezik 2 yıl üst üste YÖK Akademik teşvik ödülü almıştır. Birçok uluslararası dergide bilimsel hakemliği bulunmaktadır. Sosyal ve Doğa bilimleri gözlemlerine ilgi duyan Uğur Kezik iyi derecede İngilizce bilmektedir.