

**YUKARI FIRAT HAVZASI'NDA KAR BİLEŞENLERİNİN
ÖLÇÜLMESİ, DOĞRULANMASI VE MODELLENMESİ**

Mustafa Cansaran ERTAŞ

Doktora Tezi

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Hidrolik Bilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ali Arda ŞORMAN

Eskişehir

Eskişehir Teknik Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Haziran 2020

Bu tez çalışması BAP Komisyonu tarafından kabul edilen 1610F676 no.lu proje kapsamında desteklenmiştir.



ÖZET
YUKARI FIRAT HAVZASI'NDA KAR BİLEŞENLERİNİN
ÖLÇÜLMESİ, DOĞRULANMASI VE MODELLENMESİ

Mustafa Cansaran ERTAŞ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Hidrolik Bilim Dalı

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Haziran 2020

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ali Arda ŞORMAN

Küresel su dengesinin önemli bir bileşeni olan yağış, kış mevsimi boyunca dağlık alanlarda kar şeklinde gerçekleşmektedir. Dünya'nın büyük bir kısmını kaplayan kalıcı ve mevsimsel kar örtüsü; atmosferik hareketler, jeofiziksel değişimler, küresel ısınma ve insan etkileri nedeniyle yıldan yıla aşırı değişiklikler gösterebilmektedir. Avrupa'nın 4. en yüksek ülkesi olan Türkiye'nin dağlık doğu kesiminde ise yılın yarısından fazla bir sürede kar yerde kalmaktadır. Söz konusu kar baskın bölge, ülkemizin en büyük barajlarına sahip Fırat-Dicle Havzalarını beslemekte ve "Ortadoğu'nun su kulesi" olma özelliğini taşımaktadır. Bu nedenle, kar örtüsünün zamansal ve mekânsal değişkenliğinin yakından izlenmesi ve modellenmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu çalışmanın odak noktası, Yukarı Fırat Havzası'nı içine alan bölgede arazi üzerinde kar bileşenlerinin ölçülmesi, uzaktan algılama ile kar örtüsünün takibi ve zemin-kar-atmosfer ara yüzündeki etkileşimi içerecek şekilde kar kütlesinin modellenmesidir. Çalışma periyodu olarak, Türkiye'de su ile ilgilenen kurumların girişimleriyle kar gözlem ağının giderek geliştiği 2015-2018 güncel kar sezonları seçilmiştir. Kar sezonu boyunca farklı yükseklik seviyelerinde ve değişik ölçüm yöntemleri (otomatik ve münferit) kullanılarak kar bileşen ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, Türkiye'nin dağlık doğu bölgesinde seçilen uygun alanlarda kar çukur analizleri yapılmıştır. Söz konusu bölgede yükseklikleri 1250 m-2400 m arasında değişen, uzun yıllar boyunca kaydedilmiş 33 adet Kar Gözlem İstasyonu (KGİ) verileri derlenmiş ve ortalama 36 yıllık 4002 gözlem çifti ($KD-\rho_{kar}-KSE$) elde edilmiştir. Ortalama olarak 53 cm derinliğe ve 281 kg/m³

yoğunluğa sahip kar kütlesinin 16 cm su potansiyeline sahip olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, Türkiye’de 2015 kar sezonu öncesi kurulmuş olan 11 adet Snow Pack Analyzer (SPA) kar gözlem istasyonunun ekipmanları tanıtılmış, verileri analiz edilmiş ve uydu görüntüleri ile değerlendirilmiştir. Genel olarak, SPA istasyonları 2015-2018 sezonlarında bölgeye göre değişen kar bileşenleri ölçmüş ve Kar Su Eşdeğeri (KSE) açısından uydu görüntüleri ile RMSE olarak 30-480 mm arasında performans sergilemişlerdir. Son olarak, modelleme çalışmalarında ise 5 km x 5 km mekânsal çözünürlüğe sahip tam dağılımlı SNOW-17 kar modeli uygulanmıştır. Noktasal model kalibrasyon ve doğrulama sonuçları, yer gözlem kar verileri ile karşılaştırıldığında Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE) açısından sırasıyla ortalama 0.81 ve 0.66 başarı göstermiştir. Ayrıca, elde edilen tam dağılımlı model bulguları Karla Kaplı Alan (KKA) ve Kar Su Eşdeğeri (KSE) bilgisi veren çoklu uydu görüntüleri (IMS, MODIS, SEVIRI ve SSMI/S) ile havza bazlı olarak kıyaslanmıştır. Buna göre, 2015-2018 periyodu için KKA olarak 0.81-0.95 NSE ve KSE olarak 22-65 mm RMSE arasında başarılar elde edilmiştir. Yıllan yıla değişen meteorolojik şartlara göre farklı kar örtüsüne sahip olan bölgede model sonuçlarının her dört uydu görüntüsü ile hem zamansal hem de miktarsal olarak oldukça uyumlu olduğu tespit edilmiştir.

Birçok öncü uygulamayı (kar çukur analizleri, çoklu uydu görüntüleri ile kar takibi ve tam dağılımlı kar modellemesi) içeren bu tez çalışmasının, Türkiye’de operasyonel kar hidrolojisi uygulamalarında ve su kaynakları yönetiminde öncülük etmesi beklenmektedir.

Anahtar Sözcükler: Kar Bileşenleri, Arazi Ölçümleri, Uzaktan Algılama, SNOW-17, Yukarı Fırat Havzası.

ABSTRACT
MEASURING, VALIDATING AND MODELING OF SNOW COMPONENTS
IN THE UPPER EUPHARATES BASIN

Mustafa Cansaran ERTAŞ

Department of Civil Engineering

Programme in Hydraulics

Eskişehir Technical University, Institute of Graduate Programs, June 2020

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Ali Arda ŞORMAN

Precipitation, an important component of the global water balance, occurs in the form of snow in mountainous areas during the winter season. Permanent and seasonal snow covering much of the world show variations from year to year due to; atmospheric movements, geophysical changes, global warming and human impact. In the mountainous eastern part of Turkey, Europe's 4th highest country, snow remains on the ground more than half of the year. This snow dominated region feeds the Euphrates-Tigris Basins, that comprises many large dams of the country, and may also be called as “water tower of the Middle East”. Therefore, the spatial and temporal change of the snow cover needs to be closely monitored and modeled.

The focus of this study is the measurement of snow components on land, as well as monitoring the snow cover with remote sensing and modeling the snowpack to include its interaction on the soil-snow-atmosphere interface in the region that encompasses the Upper Euphrates Basin. The recent snow seasons of 2015-2018, when the snow observation network in Turkey has increasingly developed with the initiatives of water-related institutions, are selected as working periods. Snow component measurements are performed during the snow season using different measurement methods (automatic and discrete) at different elevation levels. Within this scope, snow pit analyses are carried out at suitable regions selected in the mountainous eastern Turkey. Within the same area, 33 snow observation station (KGI) data, ranging in altitude from 1250 m to 2400 m, are compiled and 4002 observation pairs (HS- ρ_{snow} - SWE) are analyzed for an average of 36 years. The long-term data from the region indicates on average a snow pack depth of

53 cm, snow density of 281 kg/m³ and a water potential of 16 cm. In addition, 11 Snow Pack Analyzer (SPA) snow observation station equipment established in Turkey before the 2015 snow season have been introduced, data analyzed and evaluated with satellite imagery. In general, SPA stations measured varying snow components according to region during the 2015-2018 winter seasons and their Snow Water Equivalent (SWE) performance with satellite imagery change from 30 to 480 mm in terms of RMSE. Finally, a fully distributed SNOW-17 snow model with 5 km x 5 km spatial resolution is applied as a modeling study. Snow model calibration and validation results show performances as 0.81 and 0.66 respectively, in terms of Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE) compared with ground observations. In addition, the findings of the fully distributed model are evaluated with multiple satellite products (IMS, MODIS, SEVIRI and SSMI/S) that provide information about Snow Covered Area (SCA) and Snow Water Equivalent (SWE). Accordingly, successes are achieved between 0.81-0.95 NSE in terms of SCA and 22-65 mm RMSE in terms of SWE for the 2015-2018 periods. The region has different snow extent compared to meteorological conditions varying from year to year, and the model results are found to be very consistent both temporally and quantitatively with four satellite products.

The thesis including many pioneer applications (snow pit analyses, multi-satellite snow monitoring and fully distributed snow modeling), is expected to pave new directions in operational snow hydrology and water resources management in Turkey.

Keywords: Snow Components, Field Measurements, Remote Sensing, SNOW-17, Upper Euphrates Basin.

TEŞEKKÜR

İnşaat mühendisliği mesleğinin önemli aşamalarından biri olan doktora eğitimimin sonuna gelmiş bulunmaktayım. Mesleğimin ayrıntılarını öğrenmek ve iyi bir akademisyen olarak yoluma devam etmek için önümde aşmam gereken birçok engel ve yol olduğunun farkında olarak;

Doktora tez çalışmalarım sırasında, kıymetli bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan, kendisine ne zaman danışsam değerli zamanını ayırıp sabırla ve büyük bir ilgiyle bana faydalı olabilmek için elinden geleni sunan, her sorun yaşadığımda yanına çekinmeden gidebildiğim, güler yüzünü, samimiyetini benden esirgemeyen ve gelecekteki mesleki hayatımda da bana verdiği değerli bilgi ve tecrübelerinden faydalanacağımı düşündüğüm kıymetli hocam Dr. Öğr. Üyesi Ali Arda ŞORMAN’a,

Yüksek lisans eğitimim sırasında göstermiş olduğu aktif desteği Doktora sürecinde de hiçbir fark olmadan gösteren, bilime olan tutkusuyla motivasyonumu her daim yüksek tutan, ne zaman bir sıkıntı ile karşılaşsam kendi derdiymiş gibi sonuna kadar ilgilenen, bilimsel yönünün yanında insani ve ahlaki değerleri ile de örnek edindiğim değerli hocam Prof. Dr. Aynur ŞENSOY ŞORMAN’a,

Kendisinin deyimiyile “*kar hidrolojisi alanında çalışan ve sayıları bir elin parmaklarını geçmeyen*” herkesin hocası, bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım, sahip olduğu enerji ve heyecan ile bizlerin yetişmeye çalıştığı saygıdeğer hocam Prof. Dr. Ali Ünal ŞORMAN’a,

Yoğun programlarının arasında vakit ayırarak tezin son haline gelmesine katkı sağlayan jüri üyeleri Prof. Dr. Zuhâl AKYÜREK, Prof. Dr. Erdem Ahmet ALBEK, Doç. Dr. Uğur AVDAN ve Dr. Öğr. Üyesi Semih KUTER’e,

Bu çalışmaya lojistik ve veri açısından destek olan Devlet Su İşleri (DSİ) Erzurum 8. Bölge Müdürlüğü ve Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM)’ne,

Eskişehir Teknik Üniversitesi 1610F676 numaralı Bilimsel Araştırma Projesi (BAP), ES1404 numaralı Avrupa Projesi ve proje yürütücüsü Dr. Ali Nadir ARSLAN’a,

Yetişmemde ve bugünlere gelmem de büyük pay sahibi olan, maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, annem Sevim ve babam Suat ERTAŞ’a,

Hayatım boyunca varlıklarından g   aldığım abim Fatih Coőkun ERTAŞ, ablam ve eőı Aysu-Mehmet AYDEMİR ve yeğenlerim Serhat-Alper ERTAŞ’a

Kendi ailemden ayırt etmekte zorlandığım eőimin ailesi Selma ve İbrahim OVNAMAK’a

Ve son olarak; en derin ve özel duygularımın sahibi, tanıdığım günden beri varlığıyla yaőantımın merkezinde yer alan ve vazgeçilmezi, her alanda benimle omuz omuza yürüyen ve duruőuyla beni onurlandıran, ilham kaynağım, çalıőmam süresince beni yalnız bırakmayarak destek olan, hayatım boyunca da yalnız bırakmayacak olan sevgili eőim Tuğçe ERTAŞ ve yaőamıma girdiği andan itibaren sadece benim değil tüm ailemin yaőama sevinci olan, kucağıma aldığım ilk dakika itibariyle b y d ğ m  hissettiren, gelecek hayallerimin ilk sırasında yer alan canımın içi kızım Zehra ERTAŞ’a en içten teőekkürlerimi sunuyorum.

Mustafa Kemal Atatürk’ün söylediği “*Dünyada her őey için, medeniyet için, hayat için, muvaffakiyet için en hakiki mürőit ilimdir, fendir. İlim ve fennin haricinde mürőit aramak gaflettir, cehalettir, dalalettir.*” sözünü ilke olarak benimseyip, bilim yolunda yürüyeceğim.

Mustafa Cansaran ERTAŞ

08/06/2020

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmamın Eskişehir Teknik Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programı”yla tarandığını ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Mustafa Cansaran ERTAŞ



İÇİNDEKİLER

Sayfa

BAŞLIK SAYFASI	i
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
ÖZET	iii
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR	vii
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
İÇİNDEKİLER	x
TABLOLAR DİZİNİ.....	xiii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xix
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Çalışmanın Kapsamı ve Önemi.....	1
1.2. Çalışmanın Amacı ve Özgün Değeri.....	2
1.3. Tezin İçeriği ve Ana Hatları.....	3
2. KAR FİZİĞİNİN TEMELLERİ.....	5
2.1. Giriş	5
2.2. Kar Oluşumu, Bileşenleri, Dağılımı ve Erime Süreci	5
2.2.1. Kar oluşumu	5
2.2.2. Kar bileşenleri	7
2.2.3. Kar dağılımı.....	10
2.2.4. Kar erime süreci.....	10
2.3. Kar Ölçümleri.....	11
2.3.1. Yerinde ölçümler.....	12
2.3.2. Uzaktan ölçümler	12

3. KAR ÖLÇÜMLERİ	14
3.1. Münferit Kar Ölçümleri	14
3.1.1. Giriş ve literatür	14
3.1.2. Türkiye’de kar ölçümü	16
3.1.3. Uzun dönem münferit kar ölçümlerinin incelenmesi ve temel bulgular	17
3.1.3.1. <i>Münferit kar verisi ile regresyon modeli</i>	23
3.1.3.2. <i>Sürekli kar verisi ile regresyon modeli</i>	29
3.1.4. Kar çukur analizi	36
3.1.4.1. <i>Ölçüm yöntemi ve aletler</i>	36
3.1.4.2. <i>Ölçüm noktaları ve bulgular</i>	42
3.2. Otomatik Kar Ölçümleri	45
3.2.1. Giriş ve literatür	45
3.2.2. Türkiye’nin otomatik kar gözlem ağı	46
3.2.3. Snow pack analyzer (SPA) istasyonları	46
3.2.3.1. <i>İstasyon tanıtımı</i>	46
3.2.3.2. <i>SPA istasyon verilerinin değerlendirilmesi</i>	49
3.3. Uzaktan Algılama ile Kar Ölçümleri	56
3.3.1. Giriş ve literatür	56
3.3.2. Kar hidrolojisinde uzaktan algılama	58
3.3.3. Karla kaplı alan (KKA) uydu ürünü	60
3.3.3.1. <i>Interactive multisensory snow and ice mapping system (IMS) uydu ürünü</i>	60
3.3.3.2. <i>Kar olasılık hesaplamaları</i>	62
3.3.3.3. <i>Otomatik istasyonlar ile uydu tutarlılıklarının incelenmesi</i>	63
3.3.4. Kar su eşdeğeri (KSE) uydu ürünü	71
3.3.4.1. <i>Special sensor microwave imager/sounder (SSM/I/S) uydu ürünü</i>	71
3.3.4.2. <i>Yükseklik analizleri</i>	72

3.3.4.3.	<i>Otomatik istasyonlar ile uydu tutarlılıklarının incelenmesi</i>	74
4.	KAR MODELLEMESİ	85
4.1.	Giriş ve Literatür	85
4.2.	SNOW-17 Kar Modeli	87
4.3.	Tam Dağılımlı Model Uygulaması	92
4.3.1.	Çalışma alanı ve veri	92
4.3.2.	Tam dağılımlı kar model yöntemi	95
4.3.2.1.	<i>Coğrafi bilgi sistemi (CBS) analizleri</i>	97
4.3.2.2.	<i>Model girdilerinin hazırlanması</i>	98
4.3.2.3.	<i>Model parametrelerinin hazırlanması</i>	107
4.3.3.	Tam dağılımlı kar model uygulaması ve sonuçları	116
5.	YORUMLAR VE ÖNERİLER	134
5.1.	Özet	134
5.2.	Yorumlar	135
5.2.1.	Kar bileşenlerinin belirlenmesi	135
5.2.2.	Kar çalışmalarında uydu ürünlerinin kullanılması	137
5.2.3.	Tam dağılımlı kar modelinin uygulanması	139
5.3.	Öneriler ve Gelecek Çalışmalar	141
	KAYNAKÇA	145
	EKLER	
	ÖZGEÇMİŞ	

TABLÖLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 2.1. Morfolojik olarak kar kristallerinin sınıflandırması (Fierz vd., 2009).	7
Tablo 2.2. Kar örtüsünün sertlik sınıflandırması (Fierz vd., 2009).....	8
Tablo 2.3. Kar örtüsünün su muhtevası sınıflandırması (Fierz vd., 2009).....	9
Tablo 3.1. Çalışmada kullanılan münferit kar ölçüm istasyonlarının listesi ve temel istatistik değerleri.	19
Tablo 3.2. Eğitim ve Test verilerinin istatistiksel karşılaştırılması.....	24
Tablo 3.3. Aylık ve günlük münferit KSE modelleri için regresyon katsayıları.	25
Tablo 3.4. Eğitim ve test veri setleri için model performans sonuçları. Kalın yazı tipi en başarılı olan model sonucunu göstermektedir.....	26
Tablo 3.5. Çalışmada kullanılan otomatik kar ölçüm istasyonlarının listesi.	29
Tablo 3.6. Hava sıcaklığı olmayan ve olan sürekli KSE modelleri için regresyon katsayıları.	31
Tablo 3.7. Eğitim ve test veri setleri için model performans sonuçları. Kalın yazı tipi en başarılı olan model sonucunu göstermektedir.....	33
Tablo 3.8. Sürekli KSE ölçümü bulunmayan otomatik istasyonlar için NRMSE açısından model performans sonuçları. Kalın yazı tipi en başarılı olan model sonucunu göstermektedir.....	35
Tablo 3.9. Kar çukur analizi için belirlenen noktalar ve bulunan otomatik istasyonlar	43
Tablo 3.10. Türkiye’de bulunan SPA istasyon bilgileri.....	47
Tablo 3.11. 2015-2018 kar sezonları için (1 Ekim-31 Mayıs) SPA istasyonları meteorolojik ve kar analiz sonuçları.	55
Tablo 3.12. NOAA/NESDIS tarafından üretilen IMS uydu görüntüsünün tarihsel özeti.....	60
Tablo 3.13. Tutarlılık tablosunun detaylı gösterimi.....	66
Tablo 3.14. Tutarlılık analizleri için kullanılan kriterlerin formülleri ve değer aralıkları	66
Tablo 3.15. 2015 kar sezonu için IMS uydu görüntüsü ile SPA yer gözleminin değerlendirilmesi.....	68
Tablo 3.16. 2016 kar sezonu için IMS uydu görüntüsü ile SPA yer gözleminin değerlendirilmesi.....	68

Tablo 3.17. 2017 kar sezonu için IMS uydu görüntüsü ile SPA yer gözleminin değerlendirilmesi.....	69
Tablo 3.18. 2018 kar sezonu için IMS uydu görüntüsü ile SPA yer gözleminin değerlendirilmesi.....	69
Tablo 3.19. H-SAF ürünlerinin detaylı listesi.....	71
Tablo 3.20. 2015 kar sezonu için H-13 uydu ürünü ile SPA yer gözleminin değerlendirilmesi.....	78
Tablo 3.21. 2016 kar sezonu için H-13 uydu ürünü ile SPA yer gözleminin değerlendirilmesi.....	79
Tablo 3.22. 2017 kar sezonu için H-13 uydu ürünü ile SPA yer gözleminin değerlendirilmesi.....	79
Tablo 3.23. 2018 kar sezonu için H-13 uydu ürünü ile SPA yer gözleminin değerlendirilmesi.....	80
Tablo 4.1. SNOW-17 modelinin kullandığı parametreler ve değer aralıkları.....	90
Tablo 4.2. 2015-2018 kar sezonlarında noktasal kalibrasyon ile parametre seti elde edilen kar istasyonları.....	108
Tablo 4.3. 2015-2018 kar sezonlarında noktasal doğrulama yapılan kar istasyonları ve performansları.....	120
Tablo 4.4. 2015-2018 kar sezonları KKA model ve uydu performansları.....	127
Tablo 4.5. 2015-2018 kar sezonları KSE model ve uydu performansları.....	127

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Kar taneciği, hava ve sudan oluşan kar örtüsünün temel yapısının şematik gösterimi.	6
Şekil 2.2. Doğal kar kristal örnekleri (Fierz vd., 2009).	6
Şekil 2.3. 22 Mayıs 2019 tarihli Erzurum Palandöken Kayak Merkezi'nin havadan çekilmiş görüntüsü (https://www.haberturk.com/erzurum-haberleri/69224845erzurumda-iki-mevsim-ayni-andayasaniyor).....	10
Şekil 2.4. Yerinde yapılan kar ölçüm örnekleri. Üst sırada bulunanlar münferit, alt sırada bulunanlar ise otomatik ölçümler.....	12
Şekil 2.5. 12 Mart 2019 tarihli örnek IMS uydusu Karla Kaplı Alan uydu görüntüsü (a), SSMI/S uydusu-Kar Su Eşdeğeri (mm) ürünü (b) ve Palandöken Kayak Merkezi kamera görüntüsü (c)	13
Şekil 3.1. Türkiye'deki münferit ölçüm yapılan kar gözlem istasyonları (yeşil aktif, kırmızı ise kapalı istasyonlar- http://rasatlar.dsi.gov.tr/#)	16
Şekil 3.2. (a) Kar Ölçüm Tüpü (Federal-Mount Rose) ve (b), (c),(d) kar örtüsünden örnek bir numunenin alınması ve tartılması işlemi.	17
Şekil 3.3. Münferit kar gözlem istasyonlarının Türkiye'deki havzalar ve Sayısal Yükseklik Modeli (DEM) üzerinde dağılımı. 1250 m-2400 m arası farklı yükseklik seviyelerinde bulunan 33 adet KGİ yeşil nokta ile gösterilmiştir.	18
Şekil 3.4. Münferit kar ölçüm istasyonlarının yükseklik dağılımı.	20
Şekil 3.5. 33 istasyondan elde edilen KD, KSE ve ρ_{kar} dağılımları ($n = 4002$).	20
Şekil 3.6. KD, KSE ve ρ_{kar} kar bileşenlerinin aylık değişimi.....	21
Şekil 3.7. KD, KSE ve ρ_{kar} kar bileşenlerinin yüksekliğe bağlı değişimi.	22
Şekil 3.8. Tüm veri seti için KD-KSE- ρ_{kar} arasında ikili ilişkiler ($n = 4002$).	22
Şekil 3.9. Eğitim (renkli dolgulu sütunlar) ve test (içi boş kırmızı sütunlar) veri setlerinin dağılımları.	24
Şekil 3.10. Eğitim veri seti için gözlem ve model KSE dağılım grafikleri ve hataların olasılık dağılım fonksiyonları	27
Şekil 3.11. Test veri seti için gözlem ve model KSE dağılım grafikleri ve hataların olasılık dağılım fonksiyonları.	28

Şekil 3.12. Otomatik kar gözlem istasyonlarının Türkiye'deki havzalar ve Sayısal Yükseklik Modeli (DEM) üzerinde dağılımı. 2070 m-2600 m arası farklı yükseklik seviyelerinde bulunan 8 adet otomatik kar gözlem istasyonu siyah noktalar ile gösterilmiştir. İsim etiketleri kırmızı olanlar sürekli KSE ölçümü olmayıp sadece sürekli KD ölçümü olanlar, siyah olanlar ise sürekli KD ve KSE ölçebilen istasyonlar.	30
Şekil 3.13. Otomatik istasyonlar tarafından ölçülmüş kar derinliği (üst panel), kar yoğunluğu (orta panel) ve kar su eşdeğeri (alt panel) değişimi.	32
Şekil 3.14. Güzelyayla istasyonu 2003-2005 kış sezonları için gözlem ve model KSE dağılım grafikleri ve hataların olasılık yoğunluk fonksiyonları.	34
Şekil 3.15. Bant formunda KSE için çoklu model sonuçları. 2011-2013 kış sezonları için örnek olarak seçilen Ağzıaçık otomatik kar gözlem istasyonu. Kırmızı noktalar, münferit KSE ölçümlerini ve gri dolgu ise altı model sonucunun minimum ve maksimum değerlerinden oluşan KSE bandını göstermektedir.....	35
Şekil 3.16. Kar çukuru ölçüm alanının ve kullanılan aletlerin genel bir görünümü.....	37
Şekil 3.17. Kar katmanlarının ve derinliğinin belirlenmesi.....	38
Şekil 3.18. Kar katmanlarının yoğunluk ve sıcaklık değişiminin belirlenmesi.....	39
Şekil 3.19. Kar katmanlarının tanecik tipi ve sertliğinin belirlenmesi.	40
Şekil 3.20. Kar çukur analiz ölçüm örneği.	41
Şekil 3.21. Kar çukur ölçümlerinin yapıldığı alanlar Türkiye'deki havzalar ve Sayısal Yükseklik Modeli (DEM) üzerinde dağılımı. 2040 m-2600 m arası farklı yükseklik seviyelerinde bulunan 6 adet kar çukuru ölçüm alanı yeşil noktalar ile gösterilmiştir.	42
Şekil 3.22. 09 ve 10 Ocak 2018 tarihlerinde Güzelyayla ve Palandöken istasyonlarının yakınında yapılan kar çukur analizi sonuçları	44
Şekil 3.23. Türkiye'de bulunan 11 adet SPA kar istasyonunun konumları.....	48
Şekil 3.24. SPA kar istasyonunun çalışma prensibi (a, b) ve Türkiye'de kurulan istasyon örnekleri (c).....	49
Şekil 3.25. 2018 kar sezonu Palandöken SPA istasyon örneği ve istasyon yanında yapılan münferit kar ölçümleri (tüp ve kar çukur analizi).....	52
Şekil 3.26. 2017 kar sezonu Palandöken SPA istasyonu günlük çevrimi.	54
Şekil 3.27. Kar kütlesinin albedosunun belirlenmesi	58

Şekil 3.28. 12 Mart 2019 tarihli IMS ve H13 uydu görüntüleri	60
Şekil 3.29. 12 Mart 2019 tarihli örnek IMS uydu görüntüsünün Delft-FEWS platformunda açılmış hali.	61
Şekil 3.30. SPA istasyonları için kar olasılığı (P_{kar}) dağılımı.....	63
Şekil 3.31. 2015-2018 kar sezonları için Palandöken SPA ve IMS uydu ilişkisi.....	65
Şekil 3.32. 2015-2018 kar sezonları için bütün SPA istasyonları ve IMS uydu ilişkisi.	70
Şekil 3.33. 12 Mart 2019 tarihli örnek SSM/I uydu ürünü SN-OBS-4 görüntüsünün Delft-FEWS platformunda açılmış hali.	72
Şekil 3.34. İstasyonların içerisinde bulundukları (a) 25 km x 25 km ve (b) 5 km x 5 km’lik çerçeveler	73
Şekil 3.35. SPA istasyonlarının bulundukları nokta ve alansal yükseklik ilişkileri.	74
Şekil 3.36. 2015-2018 kar sezonları için Palandöken SPA ve SSM/I (H-13) uydu ilişkisi.....	76
Şekil 3.37. SPA istasyonları için 2015-2018 kar sezonları RA değerlendirme sonuçları.	81
Şekil 3.38. 2015-2018 kar sezonları için Palandöken SPA ve SSM/I (H-13) uydu verilerinin dağılım grafikleri.....	84
Şekil 4.1. Kar örtüsünün enerji değişim özeti.	88
Şekil 4.2. SNOW-17 modelinin genel bileşenleri	89
Şekil 4.3. SNOW-17 kar modelinin çalışma akış diyagramı.....	91
Şekil 4.4. Türkiye’nin yükseklik değişimi ve sahip olduğu hidrolojik havzalar.	92
Şekil 4.5. Tam dağılımlı kar modeli için belirlenen çerçeve, kar gözlem istasyonları ve konumları	94
Şekil 4.6. Çalışmada kullanılan 50 adet otomatik kar gözlem istasyonlarının yüksekliklerine göre dağılımı.	95
Şekil 4.7. Tam dağılımlı kar modeli uygulamasının akış şeması	96
Şekil 4.8. Yukarı Fırat Havzası’nı içeren tam dağılımlı model pikselleri.	97
Şekil 4.9. Tam dağılımlı kar modeli için kullanılan piksellerin yükseklik dağılımı.	98
Şekil 4.10. Detrended Kriging (DK) programının ara yüzü (Garen vd., 1994).....	99
Şekil 4.11. 2015-2018 kar sezonları için noktasal sezonluk toplam yağış (mm) ve yükseklik ilişkisi.	102
Şekil 4.12. 2015-2018 kar sezonları için noktasal ortalama sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$) ve yükseklik ilişkisi.....	104

Şekil 4.13. 2015-2018 kar sezonları Ocak-Mayıs aylarının ilk günleri yağış (mm) haritaları	105
Şekil 4.14. 2015-2018 kar sezonları Ocak-Mayıs aylarının ilk günleri sıcaklık (°C) haritaları	106
Şekil 4.15. a) 2015 sezonu Sakaltutan kar gözlem istasyonu (NSE=0.92)	109
Şekil 4.15. b) 2016 sezonu Sarıkamış kar gözlem istasyonu (NSE=0.91)	110
Şekil 4.15. c) 2017 sezonu Ovacık SPA kar gözlem istasyonu (NSE=0.95)	110
Şekil 4.15. d) 2018 sezonu Palandöken SPA kar gözlem istasyonu (NSE=0.88)	111
Şekil 4.15. 2015-2018 kar sezonlarında kalibrasyon ile parametre seti elde edilen örnek kar istasyonları ve performansları.....	111
Şekil 4.16. 2015-2018 kar sezonları için noktasal MFMIN ($\text{mm} \cdot ^\circ\text{C}^{-1} \cdot 6 \text{ hr}^{-1}$) parametresi ve yükseklik ilişkisi.....	113
Şekil 4.17. 2017 kar sezonu için MFMIN parametre haritası.	114
Şekil 4.18. SNOW-17 model parametrelerinin çalışma periyodundaki değişimleri. ...	115
Şekil 4.19. 2015-2018 Kar derinliği (cm) tam dağılımlı model sonuç örnekleri.	117
Şekil 4.20. 2015-2018 Kar su eşdeğeri (mm) tam dağılımlı model sonuç örnekleri....	118
Şekil 4.21. a) 2015 sezonu Güzelyayla kar gözlem istasyonu (NSE=0.69)	121
Şekil 4.21. b) 2016 sezonu Palandöken Dağı kar gözlem istasyonu (NSE=0.69).....	121
Şekil 4.21. c) 2017 sezonu Dumlu kar gözlem istasyonu (NSE=0.80)	122
Şekil 4.21. d) 2018 sezonu Kuzgun kar gözlem istasyonu (NSE=0.84)	122
Şekil 4.21. Tam dağılımlı kar model doğrulaması için Güzelyayla, Palandöken Dağı, Dumlu ve Kuzgun istasyon örnekleri.	122
Şekil 4.22. Tam dağılımlı modelin IMS, MODIS ve SEVIRI uyduları ile alansal KKA açısından ilişkileri.	126
Şekil 4.23. Tam dağılımlı modelin H-13 uydu ürünü ile alansal KSE açısından ilişkileri.	129
Şekil 4.24. 2015-2018 periyodu için Türkiye alansal yağışının normalleri ile karşılaştırılması. Kırmızı çerçeve, tam dağılımlı model uygulamasının yapıldığı alanı göstermektedir (https://www.mgm.gov.tr/).	133

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

θ_w	:	Su Muhtevası
ρ_{kar}	:	Kar Yoğunluğu
AMSR-E	:	Advanced Microwave Scanning Radiometer-Earth Observing System
Delft-FEWS	:	Delft Flood Early Warning System
DK	:	Detrended Kriging
DSİ	:	Devlet Su İşleri
EİEİ	:	Elektrik İşleri Etüt İdaresi
EUMETSAT	:	European Organization for the Exploitation of Meteorological Satellites
T_{hava}	:	Hava Sıcaklığı
H-SAF	:	Satellite Application Facility on Support to Operational Hydrology and Water Management
IMS	:	Interactive Multisensor Snow and Ice Mapping System
KD	:	Kar Derinliği
KGİ	:	Kar Gözlem İstasyonu
KKA	:	Karla Kaplı Alan
KSE	:	Kar Su Eşdeğeri
MGM	:	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
MAE	:	Mean Absolute Error
NSE	:	Nash-Sutcliffe Efficiency
NOAA	:	National Oceanic and Atmospheric Administration
NRMSE	:	Normalized Root Mean Square Error
P_{kar}	:	Kar Olasılığı
RMSE	:	Root Mean Square Error
SPA	:	Snow Pack Analyzer
SSMIS	:	Special Sensor Microwave Imager Sounder
UA	:	Uzaktan Algılama
WMO	:	World Meteorological Organization

1. GİRİŞ

1.1. Çalışmanın Kapsamı ve Önemi

Milyonlarca yıldır Dünya üzerinde sürekli olarak farklı formlarda bulunan su, hidrolojik çevrim neticesinde yeryüzü ve atmosfer arasında sürekli hareketi sonucu iklim, küresel ısınma, kuraklık, taşkın ve dolayısıyla her türlü canlı yaşamı üzerinde etkili olmaktadır. Aslında, yerkürenin 3/4'ü sular ile kaplı olsa da; canlıların kullanabileceği tatlı su miktarı, gezegendeki suların tamamına oranlandığında çok küçük bir değer ile ifade edilebilmektedir. Çağımız yaşam koşullarıyla birlikte insanoğlunun gelişen ihtiyaçları düşünüldüğü zaman, sınırlı tatlı su kaynaklarının korunması ve verimli bir şekilde kullanılmasının gerekliliği açıktır.

Yerküre üzerindeki bir bölge bulunduğu konuma bağlı olarak, güneş ışınlarını farklı açı ve sürelerde almakta, buna göre de günlük ve mevsimsel sıcaklık değişimleri gerçekleşmektedir. Topoğrafya etkisiyle birlikte; bu sıcaklık değişimlerinin mevsimsel olarak farklılaşması, bölge ikliminin karasallaşmasına ve yağışların çoğunlukla kar şeklinde meydana gelmesine neden olmaktadır. Uygun atmosferik koşullar altında meydana gelen kar yağış olayları sonucunda, sezon boyunca kar örtüsü yerde birikir ve yine atmosferik şartların değişmesiyle eriyerek yeraltı ve yerüstü sularını besler. Bu yüzden bir bölgenin konum ve iklim özelliklerine göre kar örtüsü, hidrolojik çevrim içerisinde önemli bir yere sahiptir. Kuzey yarımküre üzerinde kalıcı ve mevsimsel bulunan kar örtüsü, 50 milyon km²'ye kadar kara yüzeyini kaplayabilir, böylelikle yüksek albedo ve düşük ısı iletkenliği nedeniyle Dünya'nın enerji dengesi üzerinde önemli bir etken olarak karşımıza çıkabilmektedir (<http://climate.rutgers.edu/snowcover/>). Ayrıca karın hidrolojik önemi aylarca bulunduğu bölge ile sınırlı kalmaz; az miktarda kar yağın ya da hiç kar yağmayan bölgedeki birçok nehir, kilometrelerce uzaklıktaki yüksek dağlardan gelen ve kar erimesinden oluşan su ile beslenmektedir. Bu nedenle kar erimesinden oluşan su, dünyanın birçok yerinde son derece önemli tatlı su kaynağıdır.

Çoğunlukla dağlık ve yükseklik değişiminin fazla olduğu kesimlerde bulunan kar; tarım, sulama, şehir şebeke suyu, turizm, enerji üretimi, iklim değişikliği, taşkın ve kuraklık gibi konular için oldukça önemlidir. Ancak; atmosfer hareketleri, jeofiziksel değişimler, küresel ısınma ve insan aktiviteleri sonucu kar örtüsü yıldan yıla büyük değişiklikler gösterebilmektedir. Bu yüzden; kar derinliği, kar su eşdeğeri gibi kar

bileşenlerinin, kar örtüsünün alansal olarak yerde kalma süresinin ve sezon süresince geçirdiği başkalaşımın detaylı olarak takip edilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Arazi üzerinde yapılan kar ölçümleri; modelleme, havza planlama, su yapılarının gerçek zamanlı işletme çalışmalarında ve karın mekânsal/zamansal dağılımını belirlemek için kullanılabilir. Teknolojik gelişmelere bağlı olarak; otomatik kar gözlem istasyonları, kar hidrolojisi için özellikle soğuk, ulaşılması zor ve yüksek kotlardaki dağlık bölgelerden yakın gerçek zamanlı veriler sağlayabilmektedir.

Bulunduğu coğrafyayı tanımak ve onu haritalamak insanoğlunun tarih boyunca en büyük meraklarından biri olmuştur. Son yıllarda özellikle teknolojinin gelişimi ile birlikte artık Dünya ile ilgili bilgiler uzaktan elde edilmeye başlanmıştır. Karın doğadaki en parlak (yüksek albedolu) objelerden birisi olması ve büyük alanları kaplaması nedeniyle, Uzaktan Algılama (UA) yöntemleriyle takip edilmesi yaygınca kullanılan bir yöntemdir. Dağlık alanlardaki kar örtüsünün uydu ile görüntülenmesi, karmaşık topoğrafya ve değişken zemin özellikleri nedeniyle zor olsa da; sayıları her geçen gün artan uydu platformu ve bunlardan elde edilen dijital verilerin işlenmesi sonucu yakın gerçek zamanlı olarak kar bilgisi elde etmek mümkün hale gelmiştir. Bu bilgiler, özellikle alansal temsiliyetin önemli olduğu kar hidrolojisi gibi bilimsel ve mühendislik tabanlı çalışmalarda kullanılmaktadır.

1.2. Çalışmanın Amacı ve Özgün Değeri

Ülkemiz üç tarafı denizlerle çevrili bir ada ülkesi olma özelliğini taşımasına rağmen, ortalama yüksekliği 1140 m civarında olan dağlık ve karasal iklim şartlarının hüküm sürdüğü bir ülkedir. Sahip olduğu ortalama yüksekliği ile Andorra, Gürcistan ve İsviçre'den sonra Avrupa'nın 4. en yüksek ülkesi olma özelliğine sahiptir. Yaklaşık 783.000 km²'lik bir yüzey alana sahip olan Türkiye, toplam 7 adet iklimsel bölgeye ayrılmış olup Doğu Anadolu, İç Anadolu ve Doğu Karadeniz Bölgeleri toplam alan yüzdesinin yaklaşık %45'ini oluşturmaktadır. Özellikle kuzey, doğu ve orta kesimlerdeki yüksek dağlık alanlarda kar çok sık görülür ve yılın yarısından fazla yerde kalabilmektedir. Bu nedenle, özellikle kurulu büyük barajların bulunduğu ve beslendiği bu bölgelerde kış aylarında biriken kar örtüsünün mekânsal ve zamansal olarak takip edilmesi ülkenin su kaynaklarının verimli şekilde kullanılması için dikkat edilmesi gereken bir konudur.

Bu çalışmanın genel olarak konusu; kar hidorlojisi ile ilgili son dönem bilimsel çalışmalarda sıkça rastlanan kar örtüsünün ölçülmesi (münferit, otomatik ve kar çukur analizleri vb.), doğrulanması (uydu görüntüleri) ve modellenmesidir (tam dağılımlı SNOW-17 kar modeli). Çalışmanın en yenilikçi tarafları ise; son yıllarda Dünyada ve özellikle Avrupa ülkelerinde sıkça kullanılmaya başlanan ancak ülkemizde ise ilk uygulamaları görülen münferit ve otomatik kar ölçüm yöntemleri ile kar bileşenlerinin belirlenmesi, farklı özelliklere sahip uydu görüntüleri ile güncel yer ölçümlerinin sürekli olarak takip edilmesi ve tam dağılımlı kar model yaklaşımının günlük zaman diliminde uygulanmasıdır. Bu bağlamda; çalışmanın sahip olduğu özgün değer motivasyonu ile birlikte, araziden gerçek zamanlı veri aktarımı, bilgisayar ortamında uydu görüntülerinin işlenerek analiz edilmesi ve tam dağılımlı kar modelinin kurgulanıp uygulanmasına kadar bütün işler eş zamanlı olarak yürütülmüştür.

1.3. Tezin İçeriği ve Ana Hatları

Bu doktora tezi; kolay anlaşılabilir ve takip edilebilir olması amacıyla, tez sonunda ulaşılması hedeflenen amaçlara göre beş bölüm halinde hazırlanmıştır. İlerleyen kısımlarda açıklanan bu bölümler sırasıyla aşağıda özetlenmiştir:

Bölüm 2’de hidrolojik çevrim içerisinde büyük bir öneme sahip olan kar örtüsünün oluşumu, bileşenleri, dağılımı ve erime süreci ile ilgili genel bilgiler sunulmuştur. Ayrıca, genel olarak yapılan kar ölçümlerinin sınıflandırılması ve ölçüm yöntemleri anlatılmıştır.

Bölüm 3’te kar çalışmalarının en önemli kısımlarından biri olan arazi üzerinde ve uzaktan yapılan kar ölçümleri detaylı bir şekilde anlatılmıştır. İlk olarak, yarım asrı aşkın süredir Türkiye’nin dağlık doğu bölgesinde yapılmakta olan ve bu çalışma kapsamında analiz edilen münferit kar ölçümleri sunulmuş ve bunun sonucunda elde edilen temel bulgular ile söz konusu bölgede Kar Derinliği (KD), Kar Su Eşdeğeri (KSE) ve Kar Yoğunluğu (ρ_{kar}) gibi kar bileşenleri için genel tespitlerde bulunulmuştur. Kar bileşenlerinin zamansal, yüksekliğe bağlı ve birbirleri ile olan ilişkileri incelenerek; KD ile KSE arasında münferit ve sürekli olmak üzere iki ayrı regresyon model yaklaşımı önerilmiş, elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. İkinci olarak, yine aynı bölge için seçilen uygun alanlarda yapılmış olan detaylı kar çukur analizi ölçümleri anlatılmış ve 2017-2019 kar sezonları içerisinde yapılmış olan toplam 27 adet ölçüm sonucu elde edilen bulgular paylaşılmıştır. Bunları takiben, 2015 kar sezonu öncesi Meteoroloji Genel

Müdürlüğü (MGM) tarafından Türkiye’de ilk defa kurulan ve yeni nesil otomatik kar gözlem istasyonu olan 11 adet Snow Pack Analyzer (SPA) tanıtılmış ve 2015-2018 kar sezonları için istasyon değerlendirilmelerinden elde edilen bulgular sunulmuştur. Son olarak ise, otomatik kar gözlem istasyonlarının değerlendirilmesi için kullanılan National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) tarafından üretilen IMS/Karla Kaplı Alan (KKA) ve Avrupa Meteoroloji Uyduları (EUMETSAT) H-SAF projesi kapsamında üretilen H-13/Kar Su Eşdeğeri (KSE) uydu ürünleri detaylı olarak tanıtılmış ve yapılan nokta bazlı kıyaslama sonuçları değerlendirilmiştir.

Bölüm 4’te ilk olarak tez çalışmasında kullanılan ve dağlık alanlarda derece-gün yöntemini kullanarak kar yağışı, birikme ve erime ilişkisini kuran kavramsal SNOW-17 kar modeli tanıtılmıştır. Bunu takiben, tam dağılımlı modelin uygulanması için belirlenen, Fırat Havzası’nın önemli kollarını barındıran ve büyük kar potansiyeline sahip çerçevenin içerisinde ve yakınında bulunan, yükseklikleri 1150-2940 m arasında değişen 50 adet yer ölçüm istasyonunun analiz sonuçları sunulmuştur. Daha sonra, tam dağılımlı modelleme çalışmalarına temel oluşturacak olan alan karakteristiklerinin belirlenmesi için yapılmış olan Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) analizleri, tam dağılımlı modele girdi olarak kullanılacak meteorolojik veriler (sıcaklık ve yağış) ve tam dağılımlı model parametrelerinin hazırlanması işlemlerinden sırasıyla bahsedilmiştir. Son olarak ise, tam dağılımlı model uygulaması sonucu elde edilen bulgular için noktasal ve alansal olmak üzere bağımsız yer verileri ve uydu görüntüleri ile yapılan değerlendirme sonuçları sunulmuştur.

Bölüm 5’te ise önceki iki bölümün ana sonuçları özetlenmiş, çalışmanın mevcut kar hidrolojisi literatürü bağlamındaki etkileri tartışılmış ve gelecekteki çalışmalar/araştırmalar için önerilerde bulunulmuştur.

2. KAR FİZİĞİNİN TEMELLERİ

2.1. Giriş

Yerkürede sıcaklığın etkisiyle birlikte sürekli çevrim halinde bulunan su; iklim, tarım, turizm ve dolayısıyla canlı yaşamında önemli bir yere sahiptir. Suyun insan hayatı üzerindeki önemiyle birlikte, yüksek bölgelerin iklim özellikleri düşünüldüğü zaman kar, hidrolojik çevrim içerisinde önemli bir yere sahiptir. Özellikle Türkiye gibi yükseklik değişimi ve ortalama yükseltisi fazla olan ülkelerde, yılın büyük çoğunluğunda kar şeklinde meydana gelen yağış olaylarının ve bunların sonucunda oluşan kar birikiminin tespit edilmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

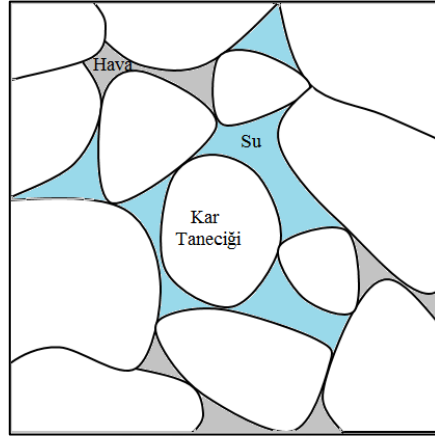
Akarsu havzalarının sahip olduğu hidrolojik özellikler su toplama alanının karakteristiğine bağlıken; akarsuyun rejimi de alanda meydana gelen yağış olayının türüne bağlıdır. Bu nedenle kar baskın havzalarda sezon içerisinde kar örtüsünün tespit ve takip edilmesi, su kaynaklarının verimli olarak kullanılması açısından büyük bir öneme sahiptir. Bununla birlikte, iklim koşulları ve arazi şartları düşünüldüğü zaman kar ölçümlerinin ne kadar zor olduğu anlaşılmaktadır. Bütün zorluklara rağmen su ile ilgilenen kurumların ölçümleri ve arazi üzerinde yapılan ölçümlere dayalı çalışmaları sürekliliğini korumaktadır.

2.2. Kar Oluşumu, Bileşenleri, Dağılımı ve Erime Süreci

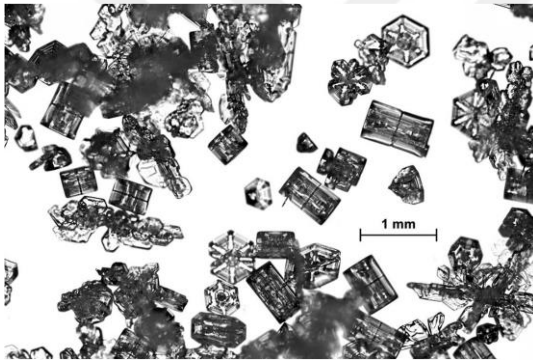
2.2.1. Kar oluşumu

Uygun atmosferik koşullar söz konusu iken donma sıcaklığının altında meydana gelen yağış olayları kar şeklinde gerçekleşir. Atmosferde kar kristalleri birbirlerinin etrafında toplanarak büyürler ve havanın kaldırma kuvvetini yenebilecek ağırlığa ulaştıkları zaman kar yağışı şeklinde yeryüzüne düşerler. Arazi üzerindeki kar örtüsü, Şekil 2.1’de gösterildiği üzere kar tanecikleri, su ve havadan (boşluk) meydana gelmektedir. Kar kristalleri genel olarak altı köşeli bir yapıya sahip olmasına karşın; yeryüzüne doğru düşerken gerek sıcaklık gerekse de diğer atmosferik değişkenlerden dolayı, farklı şekillere dönüşebilmektedir (Şekil 2.2). Bu şekillere; arazi üzerinde yapılan kar ölçüm çalışmaları esnasında alınan örneklerin soğuk laboratuvar ortamında uygun mikroskoplar ile incelenmesiyle karar verilebilirken, ölçüm sırasında alınan numunenin büyüteç ile incelenmesiyle de karar verilebilmektedir. Bu noktada kar örtüsünden şekil

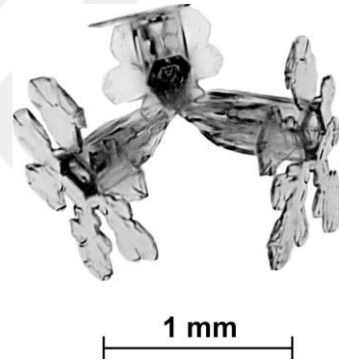
taini için alınan örneğin yapısının bozulmaması ve numuneyi inceleyecek kişinin bu konuyla ilgili tecrübe ve bilgisinin olması oldukça önemlidir.



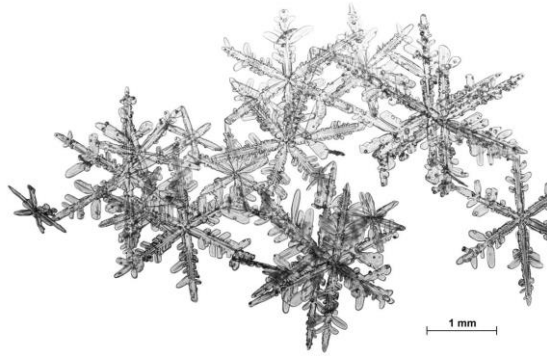
Şekil 2.1. Kar taneciği, hava ve sudan oluşan kar örtüsünün temel yapısının şematik gösterimi.



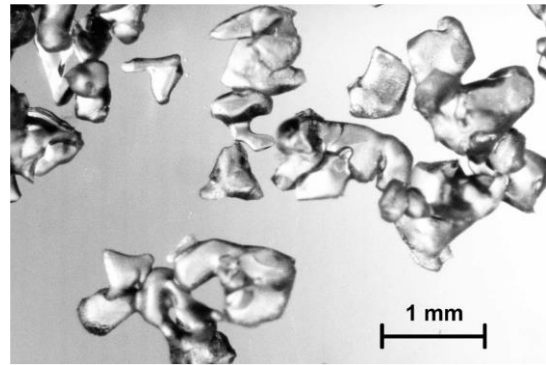
a) Kolon kristali



b) Kolon ve plaka kristali



c) Basit yıldız dallı kristal



d) Yuvarlanmış kristal

Şekil 2.2. Doğal kar kristal örnekleri (Fierz vd., 2009).

Kar konusunda çalışan kişi veya kurumların daha güvenilir bir sınıflandırmaya varmalarına ve gözlemlerinin daha kolay bir şekilde yorumlanmasına yardımcı olmak için kar kristalleri morfolojik olarak sınıflandırılmıştır. Tablo 2.1' de görüldüğü üzere basit kristal şekil sınıflandırılmasında her bir sınıf için bir sembol ve büyük harflerden oluşan

kısaltmalar kullanılmaktadır. Bu kısaltmalar ve semboller özellikle arazi üzerinde ölçüm alınırken daha hızlı ve doğru kayıt işleminin yapılmasına ve kaydedilen verilerin elektronik ortama aktarılıp yorumlanmasına yarar sağlamaktadır.

Tablo 2.1. *Morfolojik olarak kar kristallerinin sınıflandırması (Fierz vd., 2009).*

Kar Kristal Sınıfı	Sembol	Kısaltma
Yağış Parçacığı (P recipitation P articles)	+	PP
Makine Yapımı Kar (M achine M ade S now)	⊙	MM
Parçalanmış Parçacık (D ecomposing and F ragmented precipitation particles)	/	DF
Yuvarlak Parçacık (R ounded G rains)	●	RG
Çok Yüzlü Kristaller (F aceted C rystals)	□	FC
Dip Kırığı (D epth H oar)	^	DH
Yüzey Kırığı (S urface H oar)	∨	SH
Eriyen Kristal (M elt F orms)	○	MF
Buz Kristali (I ce F ormations)	▪	IF

Karın sezon içerisinde değişik zamanlarda aralıklı olarak yağması, kar örtüsünün katmanlı bir yapıya sahip olmasına neden olur. Kar yağışı sırasındaki hava sıcaklığı, rüzgâr ve nem oranı gibi meteorolojik değişkenler yağan karın yoğunluk ve derinliğini etkileyip, kar örtüsünün başkalaşım (metamorfoz) geçirmesine neden olur. Bu nedenle kar örtüsünü teşkil eden kar katmanları farklı fiziksel özellikler gösterebilmektedirler.

2.2.2. Kar bileşenleri

Kar, sahip olduğu gözenekli yapı nedeniyle doğada bulunan ilgi çekici malzemelerden birisidir. Karın karakteristiğini belirleyen, zamana ve duruma göre değişkenlik gösterebilen fiziksel özelliklere “Kar Bileşenleri” adı verilmektedir. Farklı fiziksel bileşenlere sahip kar tabakalarından oluşan kar örtüsü, bir bütün olarak da zamana (mevsime) ve yere (yüksekliğe, bölgeye vb.) göre farklılıklar gösterebilmektedir.

Arazi üzerinde biriken kar örtüsünün sahip olduğu, fiziksel ve mekanik temel bileşenler aşağıda detaylı bir şekilde açıklanmaktadır:

❖ Kar derinliği ($\overline{KD}$ veya KD):

Kar derinliği, toprak zemin referans noktasına göre kar örtüsünün dikey uzunluğunun ölçüsü olarak tanımlanabilir. Derinliğin birimi genel olarak cm veya mm olarak tanımlanıp, KD olarak sembolize edilebilmektedir. Bölgenin topoğrafyasından dolayı arazi üzerinde değişiklikler gösterebilir. Bu nedenle, derinlik ölçümü için belirlenen noktanın alanı temsil etmesi önemli bir husustur.

❖ Kar sertliği (R):

Bir kar çukuru içerisinde, katmanlarının bir nesnenin içerisine nüfus etmesine karşı gösterdiği dirence karın sertlik derecesi denir. Sertlik ölçümü hem uygulayıcıya hem de ölçüm ekipmanına bağlı göreceli bir kar bileşenidir. Bunun için bir takım teknik aletler geliştirilmiş olsa da arazi üzerinde en yaygın kullanılan yöntem “el testi” olarak adlandırılan testtir. Yumruk, parmak gibi el uzuvları ve kalem, bıçak vb. gibi arazide kullanılabilecek objeler ile karın sertlik derecesi belirlenebilir (Tablo 2.2).

Tablo 2.2. Kar örtüsünün sertlik sınıflandırması (Fierz vd., 2009).

Sertlik İfadesi	Test Objesi	Kısaltma	Sembol
Çok Yumuşak	Yumruk (F ist)	F	
Yumuşak	4 Parmak (4 Finger)	4F	/
Orta Sert	1 Parmak (1 Finger)	1F	×
Sert	Kalem (P encil)	P	≡
Çok Sert	Bıçak (K nife)	K	✕
Buz		I	—

❖ Kar yoğunluğu (ρ_{kar}):

Kar yoğunluğu, referans hacmi dolduran karın kütlesi olarak tanımlanmaktadır. Yoğunluğun birimi genel olarak kg/m^3 veya gr/cm^3 olarak tanımlanıp, ρ_{kar} olarak sembolize edilmektedir. Kar örtüsünün sahip olduğu yoğunluk, yerde beklediği süre içerisinde meydana gelen sıkışma ve yapısal bozulmalardan dolayı değişebilmektedir. Yerde sıkışan kar örtüsünün boşluk oranı azalır ve genel olarak yoğunluğu artar.

❖ Sıcaklık (T):

Kar örtüsünü oluşturan her bir katman, farklı sıcaklık değerlerine sahip olabilmektedir. Kar erimesinde önemli bir yere sahip olan sıcaklık bileşeni, kar örtüsünün izotermal denge (her noktasındaki sıcaklığın 0 °C civarında olması durumu) halinin belirlenmesi ve takibi için kullanılabilmektedir.

❖ Kar su eşdeğeri (KSE):

Kar su eşdeğeri, karın tamamen eridiği zaman oluşturacağı su derinliği olarak tanımlanır. Birim olarak metrekare başına düşen kilogram veya litreye denk gelen mm veya cm ile ifade edilir. Kar derinliği (KD) ve kar yoğunluğu (ρ_{kar}) arasındaki aşağıdaki denklem ile kar su eşdeğeri (KSE) hesaplanabilmektedir.

$$KSE = KD \times \rho_{kar} \quad (2.1)$$

❖ Su muhtevası (θ_w):

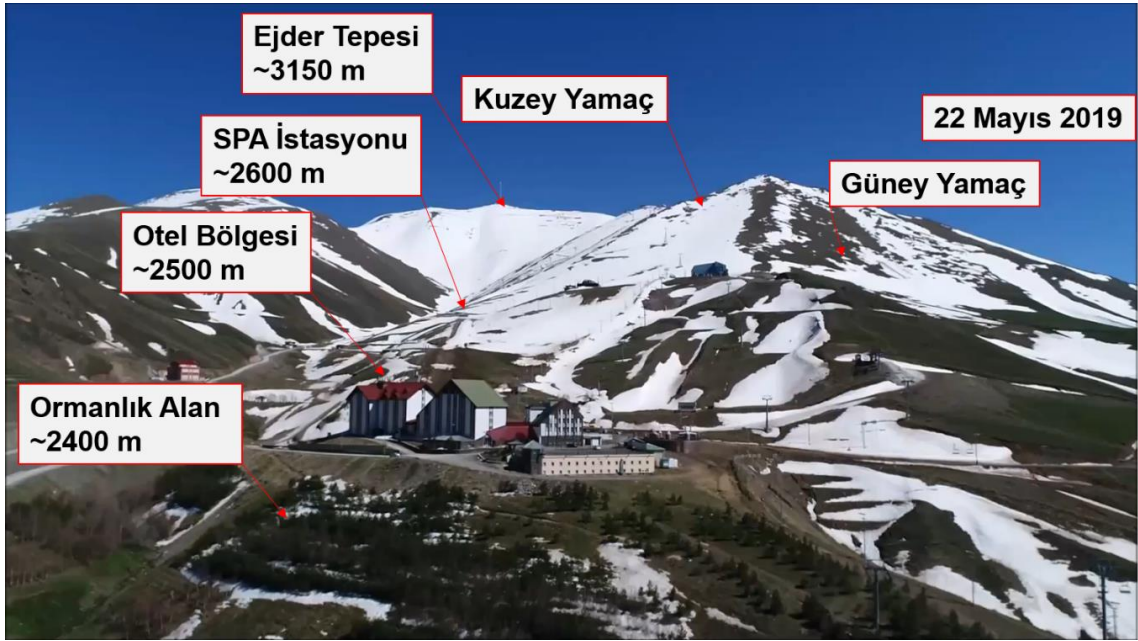
Su muhtevası, karın içindeki sıvı fazdaki su miktarı olarak tanımlanır. Bu aynı zamanda serbest su miktarı olarak da değerlendirilebilir. Kardaki su; erime, yağmur veya ikisinin birleşiminden kaynaklanır. Su muhtevası, hacim veya kütlenin oranı olarak ifade edilir ve her iki durumda da yüzde olarak belirtilebilir. Tablo 2.3'te su muhtevası için genel bir sınıflandırma yöntemi sunulmuştur.

Tablo 2.3. Kar örtüsünün su muhtevası sınıflandırması (Fierz vd., 2009).

Nemlilik durumu	Tanımlama	Kısaltma	Sembol
Kuru	Genellikle 0 °C'nin altında ve kuru kar.	D	
Az nemli	Kartopu yapılabilir, mercek altında su görülmez.	M	
Nemli	Kartopu kolayca yapılabilir, mercek altında çok az su görülür.	W	
Islak	Kar erimeye ve az da olsa akmaya başlar.	V	
Çok ıslak	Su kolayca akmaya başlar.	S	

2.2.3. Kar dağılımı

Gerek arazi şartları gerekse de iklim koşulları düşünüldüğü zaman, kar ölçümleri zor ve tehlikeli bir iş haline gelmektedir. Dolayısıyla, kar ölçüm istasyonları için arazi ve iklim şartları göz önünde bulundurularak sürekli ulaşılabilir ve gözlem yapmaya elverişli yerler seçilmelidir. Ancak arazi üzerinde kar örtüsünün dağılımının, ölçüm alınan noktalar ile paralel hareket ettiğini söylemek her zaman mümkün olmamaktadır. Şekil 2.3'te sunulduğu gibi özellikle erime dönemine yakın zamanlarda kar örtüsü arazi üzerinde çok dağınık bir davranış sergilemekte ve yapılan ölçümlerin o bölgeyi temsil etmesi oldukça güçleşebilmektedir.



Şekil 2.3. 22 Mayıs 2019 tarihli Erzurum Palandöken Kayak Merkezi'nin havadan çekilmiş görüntüsü (<https://www.haberturk.com/erzurum-haberleri/69224845-erzurumda-iki-mevsim-ayni-andayasaniyor>)

2.2.4. Kar erime süreci

Hidrolojide kar erimesi kaynaklı yüzeysel akış, kar örtüsünün katı halden sıvı hale geçmesiyle oluşmaktadır. Kar erimesi tarafından üretilen su, dünyanın birçok yerinde yıllık su döngüsünün önemli bir parçasıdır ve bazı durumlarda bir havzadaki yıllık akışın büyük bir kısmına katkıda bulunur.

Kar erimesi süreci, kavramsal olarak birbiriyle ilişkili altı farklı süreçten oluşmaktadır:

- Karın ısı (enerji) dengesi
- Atmosfer-kar yüzeyi erimesi
- Eriyen karın kar içerisinde su olarak hareketi
- Kar-yer yüzeyi arasındaki kar erimesi
- Serbest suyun kar örtüsünün dibinden akışa geçmesi
- Süzülme ve yüzey akışı

Normalde kar erimesi terimi bütün bu süreçlerin bir arada gerçekleşmesi durumunda kullanılmaktadır. Ancak sezon süresince atmosferik koşulların etkisiyle kar örtüsünde bunların hepsi ve/veya birkaçı farklı zamanlarda görülebilir, bu da karda meydana gelen yapısal değişimlerin ana sebeplerinden biridir.

2.3. Kar Ölçümleri

Yılın büyük kısmını kar örtüsü altında geçiren bölgelerde, karın insan yaşamı üzerinde olumlu ve olumsuz etkileri olabilmektedir. Yapılarda kar birikimi sonucu çatı çökmeleri, kar erime dönemlerinde meydana gelen feyezanlar ve özellikle eğimi fazla olan bölgelerde çığ tehlikesi gibi olumsuz durumlar gerçekleşebilmektedir. Ayrıca; şehirlerin temiz su ve enerji ihtiyacının karşılanması, tarımsal alanların ve meraların su ihtiyacının temin edilerek veriminin artırılması ve kış turizminin gelişmesi ile ekonomik faaliyetlerin artması gibi olumlu etkileri de olmaktadır. Bu etkiler doğrudan insan hayatı ve güvenliği ile ilişkili olup, bunlardan korunmak ya da yararlanabilmek için sezon içerisinde kar örtüsünün takip edilmesi son derece önemlidir.

Akımlarının büyük bir kısmı kar erimesinden oluşan havzalarda, kar ölçümlerinden elde edilen bilgilerin kullanım alanları aşağıdaki gibi sıralanabilmektedir:

- Hidrolojik model/tahmin projelerinde ve olası feyezan hesaplamalarında
- Kar suyu potansiyelinin dönemsel hesaplarında
- Baraj yönetimi konusunda verimliliğin artırılmasında
- Uzun vadeli iklim değişikliği senaryolarının incelenmesinde

- Turizm faaliyetleri kapsamında spor tesislerinin kurulacağı merkezlerin belirlenmesinde
- Oluşturulacak kar haritaları ile birlikte kar yükü hesaplarının yapılmasında
- Çığın zamansal, alansal tahminlerinde ve önleyici tedbirler alınmasında

Arazi üzerinde kar verisi toplamak için kullanılan ölçüm teknikleri, farklı şekillerde sınıflandırılrsa da genel olarak “Yerinde Ölçümler” ve “Uzaktan Ölçümler” olarak ikiye ayrılabilir.

2.3.1. Yerinde ölçümler

Kar bileşenlerinin, münferit (tekil ölçümler) ve otomatik (sürekli ölçümler) şekilde arazi üzerinde belirlendiği ölçüm sistemlerinin tümüne yerinde ölçümler denilmektedir. Yerinde ölçümlerde kullanılan aletler, Şekil 2.4’de gösterildiği gibi arazideki kullanım durumlarına uygun tasarlanmıştır.

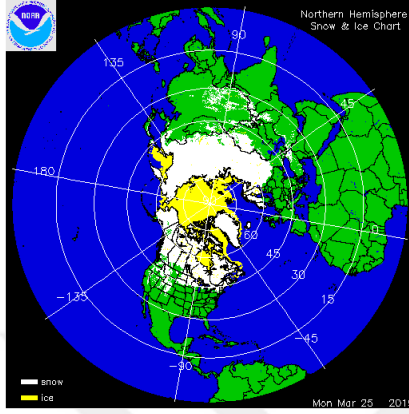


Şekil 2.4. Yerinde yapılan kar ölçüm örnekleri. Üst sırada bulunanlar münferit, alt sırada bulunanlar ise otomatik ölçüm örnekleridir.

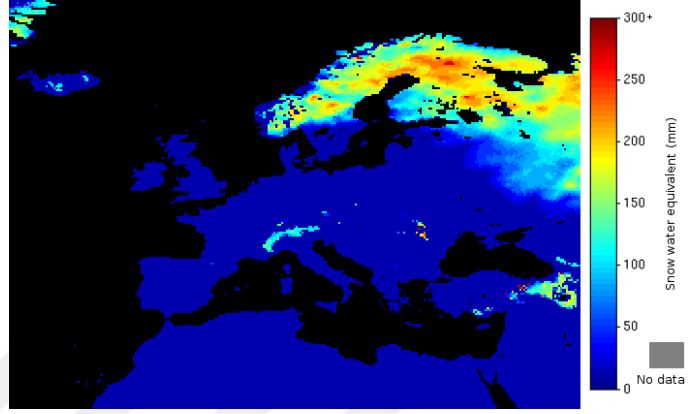
2.3.2. Uzaktan ölçümler

Çetin kış koşullarında ölçüm alanına ulaşmakta veya otomatik istasyon ile olan bağlantılarda çoğu zaman büyük zorluklar ve dolayısıyla veri kayıpları yaşanmaktadır. Bu koşullar göz önüne alındığında, kar örtüsünün uzaktan takip edilmesinde uzaktan

algılama ürünleri önemli bir role sahiptir. Yer ölçümlerinden elde edilen gerçek zamanlı verilerin yanı sıra, yakın gerçek zamanlı değişimleri de uzaktan ölçümler (uydu, radar ve kameralı ölçüm sistemleri v.b.) kullanarak daha geniş alansal temsiliyete sahip olacak şekilde takip etmek mümkün olmaktadır (Şekil 2.5).



a) IMS-Karla Kaplı Alan (KKA)



b) HSAF-Kar Su Eşdeğeri (KSE)



c) Palandöken Kayak Merkezi kamera görüntüsü

Şekil 2.5. 12 Mart 2019 tarihli örnek IMS uydusu Karla Kaplı Alan uydu görüntüsü (a), SSMI/S uydusu-Kar Su Eşdeğeri (mm) ürünü (b) ve Palandöken Kayak Merkezi kamera görüntüsü (c)

3. KAR ÖLÇÜMLERİ

3.1. Münferit Kar Ölçümleri

3.1.1. Giriş ve literatür

Kar hidrolojisinin en önemli kısımlarından biri olan arazi üzerinde kar ölçümlerinin alınması işi, erişilmesi güç ve yüksek kotlarda yürütülmektedir. Bu nedenle, ölçümlerden elde edilen veriler ve yapılan uygulamalardan oluşan kar ölçüm teknikleri ile ilgili bilimsel çalışmalar son derece kıymetlidir.

Dünya’da ve Avrupa’da klasik yöntem ve/veya otomatik kar ölçümleri ülkemize göre daha önce başlamıştır ve göze çarpan en önemli husus gözlem noktalarının sıklığıdır. Golding, (1968) yapmış olduğu çalışmada Marmot Creek test havzasında 20 farklı nokta için topladığı münferit kar ölçümleri ile kar su eşdeğeri analizi yapmıştır. Türkiye’de ise 1960’lı yıllardan sonra Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİEİ), Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ) ve Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü (DMİ) gibi kamu kurumları tarafından kar ölçümleri alınmaya başlanmıştır. İlk başlarda seçilmiş az sayıdaki önemli noktalarda klasik metotlarla yapılan kar derinliği ve zaman zaman eşlik eden kar yoğunluğu ölçümleri, yıllar içerisinde sayısal olarak artarak devam etmiştir.

Yıllara göre kar ölçüm noktalarının sayılarının artması, gelişmeye yönelik bir çaba olarak görülmekte; ancak, insana bağlı klasik metotlarla yapılan noktasal kar ölçümleri bazı sorunları ve yetersizlikleri de beraberinde getirmektedir. Son dönemde; kar bileşenlerinin (derinlik, yoğunluk, kar su eşdeğeri, kristal tipi ve büyüklüğü vb.) objektif olarak belirlenmesi ve kullanılan dilin ortak hale getirilmesi için standartlar ve tanımlamalar belirlenmiş Fierz vd., (2009), bunu takiben de National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) ve World Meteorological Organization (WMO) tarafından kar ölçümü yapan ulusal kurumlar için yönlendirici ilkeler yayınlanmıştır (NOAA, 2013 ve WMO, 2018). Yapılan çalışmalar ise kar bileşenlerinin ve fiziksel özelliklerinin (derinlik, yoğunluk su eşdeğeri, kristal tip ve büyüklüğü vb.) farklı ekipmanlar ile ölçümü üzerine yoğunlaşıp, Kinar ve Pomeroy, (2015); Krajci vd., (2016); Proksch vd., (2016); Haberkorn, (2019) ve López-Moreno vd., (2020) gibi çalışmalar yapılmıştır.

Özellikle son on yılda; literatürde farklı ülkeler için çeşitli yükseklik, mevsim ve bölge özellikleriyle birlikte uzun yıllar kaydedilmiş münferit kar ölçümleri kullanılarak kar derinliğinden kar su eşdeğerinin tahmin edilmesiyle ilgili çalışmalar yapılmaktadır. Jonas vd., (2009) uzun vadeli kar verilerini kullanmış ve İsviçre için doğrusal regresyon denklemlerinden oluşan deneysel bir model oluşturmuştur. Benzer bir şekilde; Sturm vd., (2010) bölgesel iklim koşullarına göre Kanada, ABD ve İsviçre için kar sınıflarına bağlı parametrelerle, kar yüksekliğine ve yılın gününe (YG) göre yoğunluğu tahmin eden bir model önermiştir. McCreight ve Small, (2014), KD-KSE ilişkisini tahmin etmek için ABD'den çok sayıda SNOTEL verisini kullanarak, istasyon bazlı sürekli regresyon modelleri geliştirmişlerdir. Pistocchi, (2016), Tyrol, İtalya için Jonas vd., (2009) ve Sturm vd., (2010) basit deneysel kar yoğunluğu modellerini uygulamış ve yeni bir regresyon modeli önermiştir. Fayad vd., (2017), iki yıllık sınırlı kar verisi ile Lübnan dağları için 30 kar baskın havzadan toplanan kar bileşen gözlemlerini inceleyerek bir KD-KSE regresyon modeli geliştirmişlerdir. Son olarak, Hill vd., (2019) yağış ve sıcaklık meteorolojik verilerini, yılın günü (YG) ve iklimsel (30 yıllık normal) değerlerini kullanarak KSE'yi veren sürekli regresyon modeli geliştirmişlerdir.

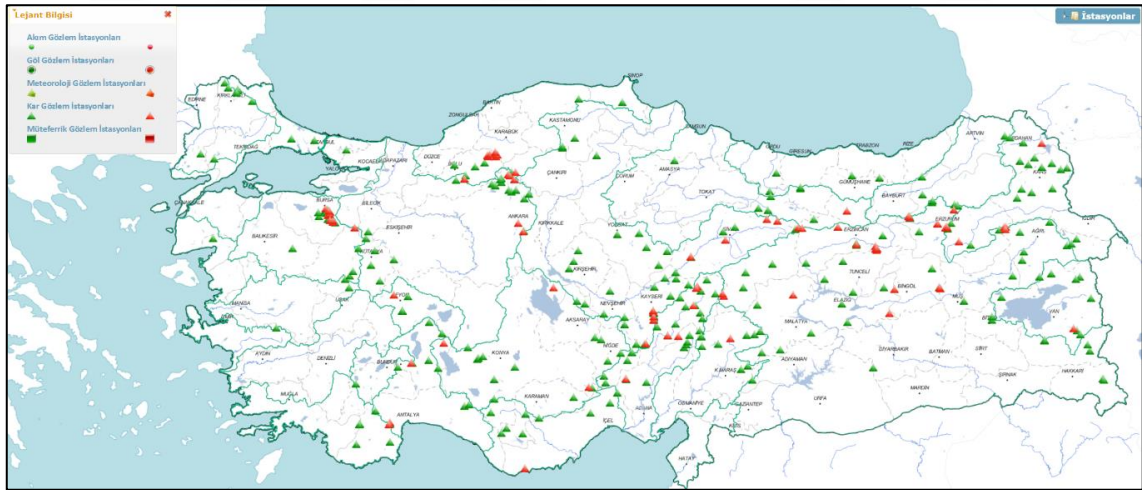
Türkiye'de ise kamu kurumlarının aldığı uzun süreli ölçümler bilimsel çalışmalarda kullanılmaya başlanmıştır (Gürer vd., 2002). Bütün bu birikimlerin sonucunda, 2008 yılında Erzurum DSİ VIII. Bölge Müdürlüğünün ev sahipliği yaptığı ulusal “Kar Hidrolojisi Konferansı” düzenlenmiştir. Gözel, (2011) yaptığı yüksek lisans çalışmasında Detrended Kriging (DK) yöntemi kullanarak kar su potansiyeli hesaplamaları yapmıştır. Bu kapsamda DSİ ve Eİİİ tarafından Türkiye'nin dağlık doğu bölgesinde yer alan toplam 53 kar gözlem istasyonundan sağlanan kar ölçümleriyle 2008-2011 su yıllarının dönemsel kar su eşdeğeri ve kar su potansiyelini hesaplamıştır. 2011'de tamamlanan TÜBİTAK-108Y161, (2011) projesi ile Yukarı Fırat Havzasında arazi ölçümlerinin alınması ve kar potansiyelinin dönemsel tahmin edilmesi hedeflenmiştir.

Son olarak, bu tez çalışmasının danışmanı ve araştırmacısının da düzenleme kurulunda bulunduğu ve arazi ölçümlerinde aktif olarak görev aldığı ESSEM COST HarmoSnow Action ES1404 projesi tarafından desteklenen, “1. Arazi Ölçümleri & Yönetim Komitesi-Çalışma Grup Toplantıları” isimli uluslararası çalıştay 2016 yılı içerisinde Erzurum'da gerçekleşmiştir. Bu çalıştay süresinde Avrupa'nın farklı

ülkelerinden gelen ve kar ölçümleri üzerinde çalışan bilim insanları ölçüm aletlerini tanıtmış, arazi üzerinde ölçümler almış, bilgi ve tecrübelerini paylaşmışlardır.

3.1.2. Türkiye’de kar ölçümü

Ülkemizde 1960’lı yıllarda EİEİ tarafından başlatılan münferit kar ölçümleri günümüzde halen DSİ kurumu tarafından devam ettirilmektedir. Uzun yıllar boyunca yapılan bu ölçüm arşivi Türkiye’nin sahip olduğu kar potansiyelinin tespiti konusunda önemli bir yere sahiptir. Bugün itibarıyla, DSİ Kurumu tarafından 22 adet havza içerisinde 250 farklı noktada bulunan münferit Kar Gözlem İstasyonu’nda (KGİ) ölçümler yapılmaktadır (Şekil 3.1). Kar gözlem istasyonlarının konumları seçilirken, iklim ve topoğrafya bakımından alan temsiliyetinin yüksek ve kolay ulaşılabilir olmasına dikkat edilmektedir. Ölçümlerde istasyon alanının durumuna göre alınan numune sayısı ve numune alma krokisi değişiklik gösterebilmektedir. Münferit kar ölçümlerinin amacı belirlenen nokta veya noktalar ile hedeflenen bölgenin temsil edilebilmesini sağlamaktır. Bu nedenle münferit kar ölçüm noktaları için; karın yağdığı gibi doğal haliyle yerde kaldığı, savruntu veya birikinti olmayan ve eğimin fazla olmadığı yerler tercih edilmektedir.



Şekil 3.1. Türkiye’deki münferit ölçüm yapılan kar gözlem istasyonları (yeşil aktif, kırmızı ise kapalı istasyonlar-<http://rasatlar.dsi.gov.tr/#>)

İstasyonlarda uzun yıllar ölçüm yapılması nedeniyle belirli bir standartın yakalanması büyük önem arz etmektedir. Yapılan kar ölçümlerinde uluslararası standartlara uygun olan Kar Numune Alma Tüpü (Federal-Mount Rose) kullanılmakta olup (Şekil 3.2); gözlem sırasında kar derinliği ile kar yoğunluğu ölçülmekte, kar su

eşdeğeri ise hesaplanmaktadır. Her bölgeden alınan örnek sayısı, alanın koşullarına göre değişebilmektedir. Ölçüm esnasında gözlemcinin hatası sonucu oluşabilecek yanlış ölçümleri eleayebilmek için belirli istatistiksel testler uygulanır.



a)



b)



c)

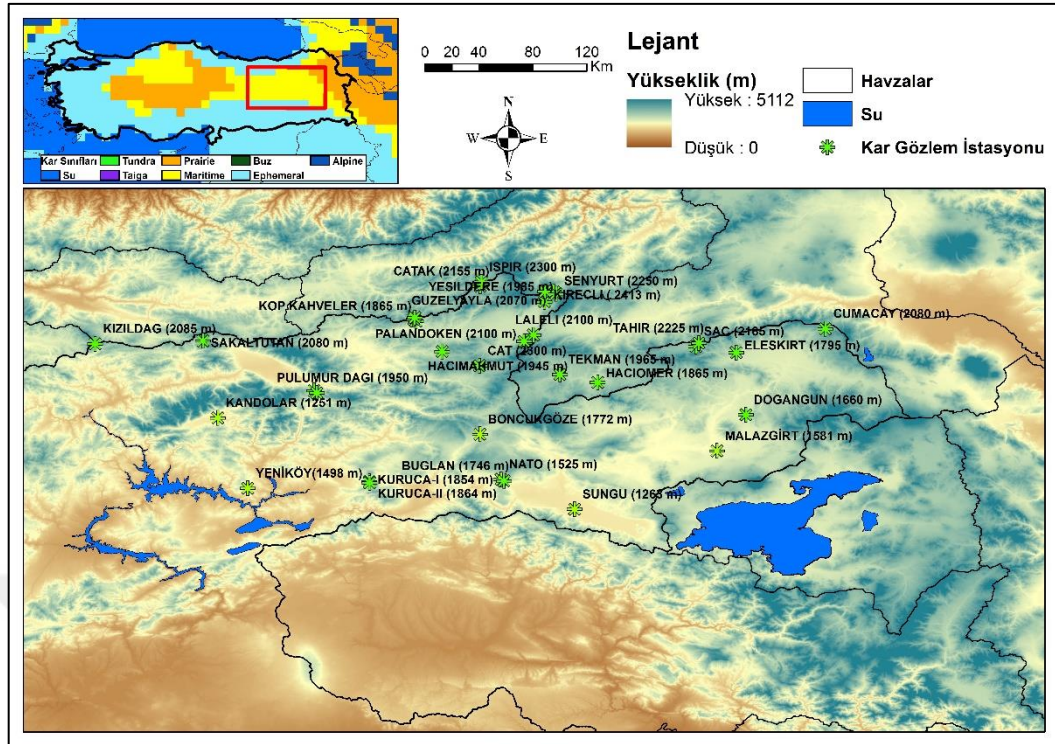


d)

Şekil 3.2. (a) Kar Ölçüm Tüpü (Federal-Mount Rose) ve (b), (c),(d) kar örtüsünden örnek bir numunenin alınması ve tartılması işlemi.

3.1.3. Uzun dönem münferit kar ölçümlerinin incelenmesi ve temel bulgular

Bu tez çalışmasında, ilgili kurumlardan temin edilen 1250 m-2400 m arasında farklı yükseklik seviyelerinde bulunan 33 adet KGİ (Şekil 3.3) verileri incelenmiştir. Uzun yıllar boyunca kaydedilmiş ham veri, kalite kontrolünden geçirildikten sonra analiz edilmiş ve sonuç olarak ortalama 36 yıllık 4002 gözlem çifti ($KD-KSE-\rho_{kar}$) elde edilmiştir (Tablo 3.1). İstasyonların yükseklik dağılımının bölgenin ortalama yüksekliğine (~2000 m) yakın olduğu Şekil 3.4'ten görülebilmektedir.



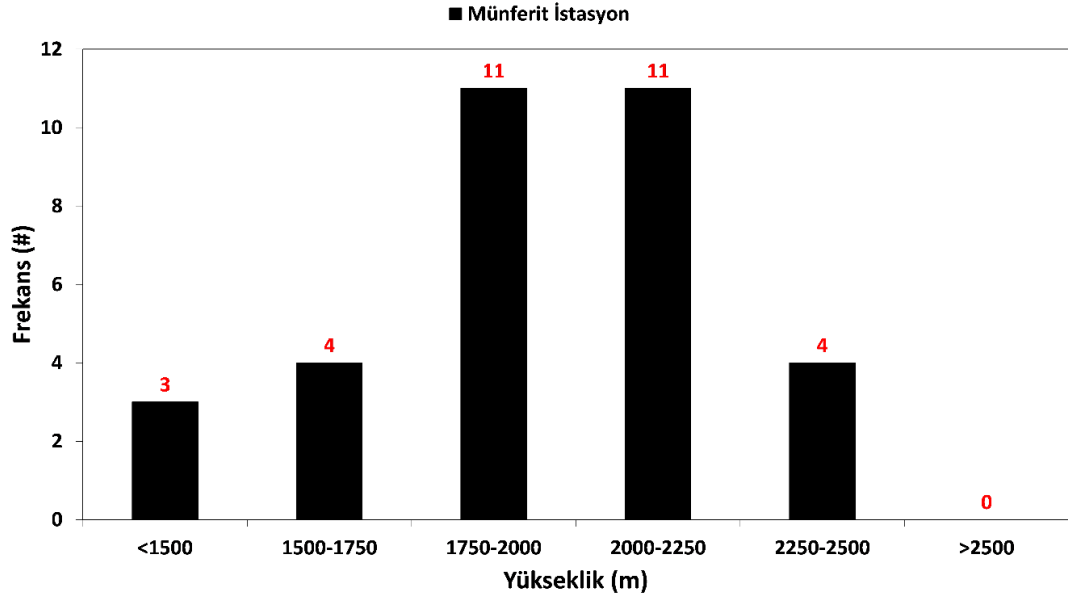
Şekil 3.3. Münferit kar gözlem istasyonlarının Türkiye’deki havzalar ve Sayısal Yükseklik Modeli (DEM) üzerinde dağılımı. 1250 m-2400 m arası farklı yükseklik seviyelerinde bulunan 33 adet KGİ yeşil nokta ile gösterilmiştir.

Bu bağlamda 33 tane istasyonun 18 tanesinin (~%55) 2018 yılına kadar verisi bulunmakta olup, geriye kalan istasyonların verileri ise münferit kar ölçümlerinden sorumlu olan Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİEİ) kurumunun kapanma tarihi olan 2011 yılı ve öncesine kadardır. Düzenli şekilde kar ölçümü alınan bu istasyonların verileri incelendiği zaman, her bir istasyonda kış sezonu içerisinde ortalama olarak 3.6 defa (Ocak, Şubat, Mart ve Nisan) ölçüm alındığı söylenebilir. Söz konusu bölge için, ortalama olarak 281 kg/m^3 kar yoğunluğuna ve 53 cm derinliğe sahip kar kütlelerinin ortalama 16 cm su potansiyeli olduğu belirlenmiştir (Tablo 3.1). Ayrıca 4002 adet gözlem çifti değerleri ($KD-KSE-\rho_{kar}$) incelenmiş ve kar yoğunluk verisinin normal dağılıma, derinlik ve kar su eşdeğerinin ise log-normal dağılıma uygun olduğu belirlenmiştir (Şekil 3.5).

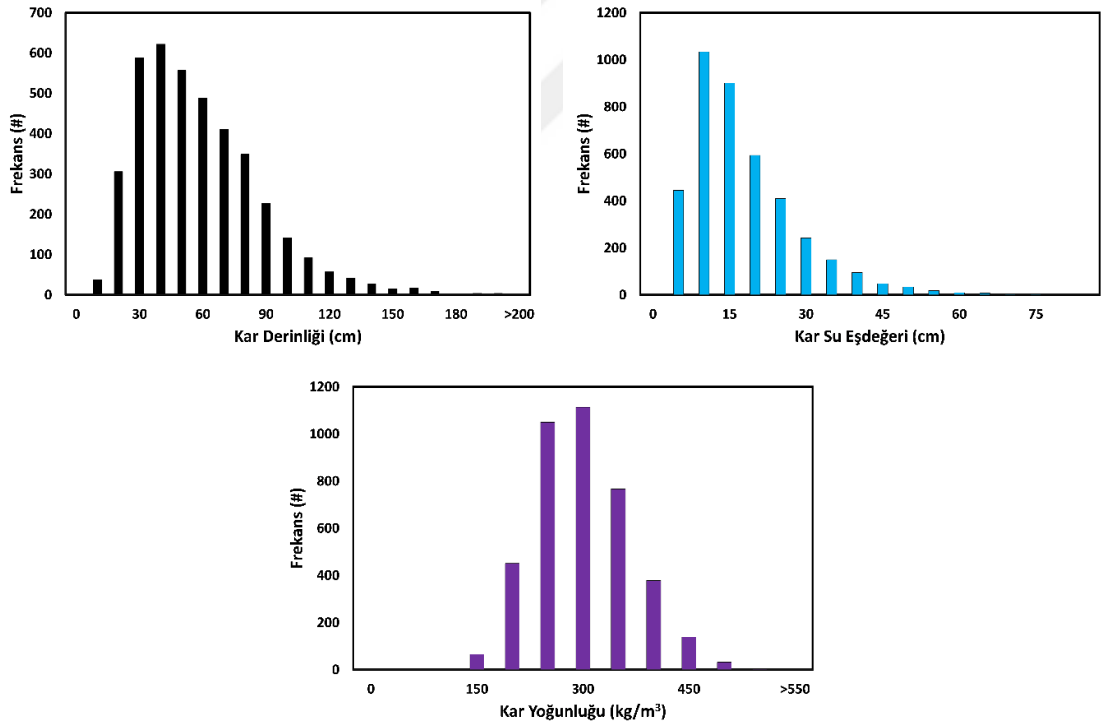
Tablo 3.1. Çalışmada kullanılan münferit kar ölçüm istasyonlarının listesi ve temel istatistik değerleri.

İstasyon Adı	Yükseklik (m)	Veri Sayısı (#)	Ölçüm Periyodu	Kar Derinliği KD (cm)		Kar Yoğunluğu (kg/m ³)		Kar Su Eşdeğeri (cm)	
				Ortalama	Standart Sapma	Ortalama	Standart Sapma	Ortalama	Standart Sapma
Kandolar	1251	110	1988-2018	75.54	43.76	298.65	71.46	23.05	14.76
Sungu*	1263	24	2008-2017	29.83	23.71	302.80	63.00	8.84	6.72
Yeniköy	1498	94	1988-2018	36.01	20.46	265.51	64.53	9.68	6.11
NATO*	1525	79	1990-2018	34.04	21.01	265.03	69.88	9.25	6.40
Malazgirt*	1581	37	1989-2017	26.69	20.42	303.36	60.77	7.53	4.95
Doğangün	1660	140	1981-2018	35.03	15.23	257.01	54.64	9.096	4.46
Buğlan*	1746	79	1967-1993	91.29	39.97	282.33	61.51	26.06	13.36
Boncukgöze	1772	113	1988-2018	47.53	23.63	282.01	60.43	13.66	7.67
Eleşkirt	1780	110	1990-2018	42.09	19.00	252.72	54.08	10.68	5.49
Kuruca-I	1854	113	1966-2011	53.06	21.42	307.42	67.23	16.39	7.73
Kuruca-II	1864	96	1970-2005	53.27	22.17	303.61	71.07	16.29	8.06
Kop Kahveler	1865	108	1975-2018	42.15	16.15	252.05	54.48	10.71	4.90
Hacıömer	1865	225	1976-2018	33.57	14.72	236.99	57.07	8.22	4.52
Pülümür Vadi	1865	54	1970-1993	107.58	44.34	354.44	70.51	37.56	16.70
Yeşildere	1935	95	1974-2011	43.64	17.07	271.46	59.59	11.85	5.31
Hacımahmut	1945	101	2000-2018	30.42	12.43	236.65	67.16	7.38	3.98
Pülümür*	1950	91	1964-1993	96.15	34.62	357.43	66.08	34.74	14.94
Tekman	1965	211	1967-2010	39.92	15.93	238.35	56.69	9.75	4.89
Güzelyayla	2070	261	1976-2018	45.71	19.11	256.68	53.18	12.11	6.14
Sakaltutan	2080	117	1975-2011	68.19	23.81	293.81	58.01	20.09	8.24
Cumaçay	2080	153	1981-2018	62.28	26.89	288.56	75.79	18.90	10.79
Kızıldağ	2085	110	1973-2011	82.51	31.59	336.32	83.91	27.84	13.33
Laleli	2100	106	1981-2018	39.36	16.23	267.91	66.02	10.87	5.71
Palandöken	2100	106	1964-2011	33.36	12.67	266.84	51.44	9.07	4.18
Çatak	2155	271	1976-2018	56.23	21.12	240.22	55.19	14.06	6.92
Saç*	2165	72	1970-1994	48.36	21.14	270.53	54.13	13.09	6.34
Kop Dağı	2200	97	1975-2011	46.55	21.65	281.25	52.80	13.65	8.26
Tahir*	2225	48	1964-1977	47.07	23.63	313.53	50.36	14.92	7.98
Şenyurt*	2250	62	1997-2018	54.68	22.46	282.42	52.39	16.01	8.19
İspir	2300	137	1980-2018	74.57	22.21	283.71	58.47	21.12	7.52
Çat	2300	284	1968-2018	63.19	25.55	281.11	51.77	18.54	9.73
Kireçli	2300	91	1991-2018	33.97	13.66	241.80	39.91	8.28	3.68
Kop Dağı Vadi	2400	207	1964-2018	74.18	29.44	314.25	60.58	23.46	10.58
Ortalama/Toplam	1939	4002	36	53	23	281	60	16	8

*Regresyon modelinin sonuç doğrulaması için kullanılan bağımsız test istasyonları



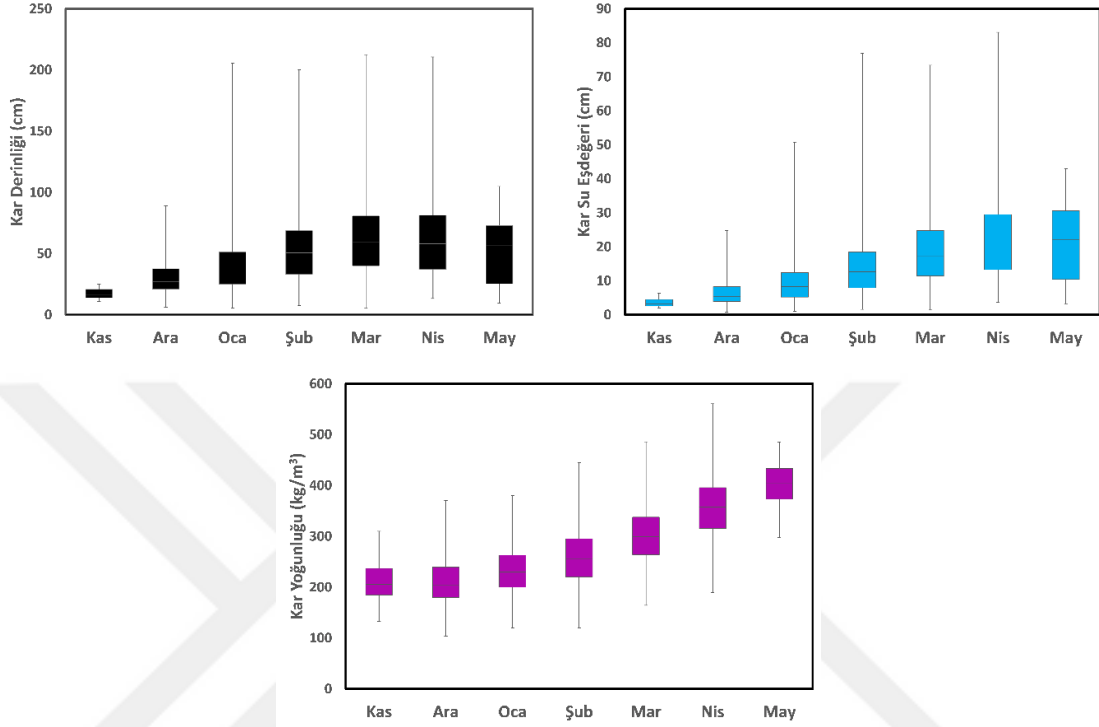
Şekil 3.4. Münferit kar ölçüm istasyonlarının yükseklik dağılımı.



Şekil 3.5. 33 istasyondan elde edilen KD, KSE ve ρ_{kar} dağılımları ($n = 4002$).

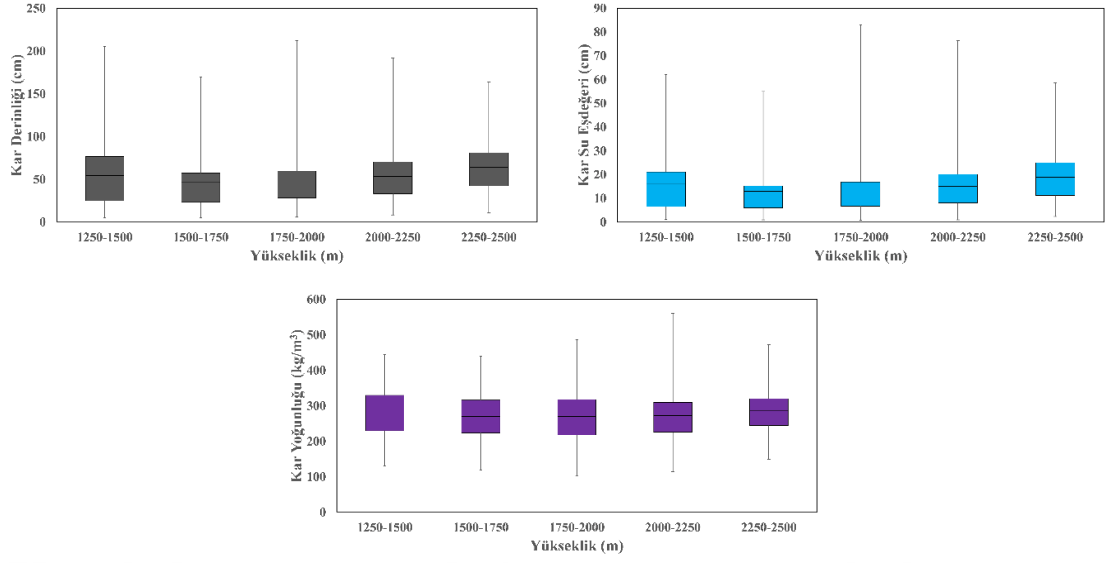
Buna ek olarak, üç kar bileşeninin de kar sezonu içerisinde zaman ve yüksekliğe göre değişimleri incelenmiştir (Şekil 3.6 ve 3.7). Bulgulara göre; kar bileşenlerinin zamanla arttığı, ancak yükseklik ile değişmediği tespit edilmiştir. Buradan da karın yeryüzüne düştüğü andan tamamen eriyinceye kadar geçen zamanda birtakım

başkalaşım (metamorfizm) geçirdiği sonucuna ulaşılabilir. Yani, kar sezonunun sonunda kar kütlesi maksimum yoğunluğuna ulaşmakta, kar derinliğine göre sahip olduğu su potansiyelini akışa geçirmek için uygun atmosferik şartların oluşmasını beklemektedir.

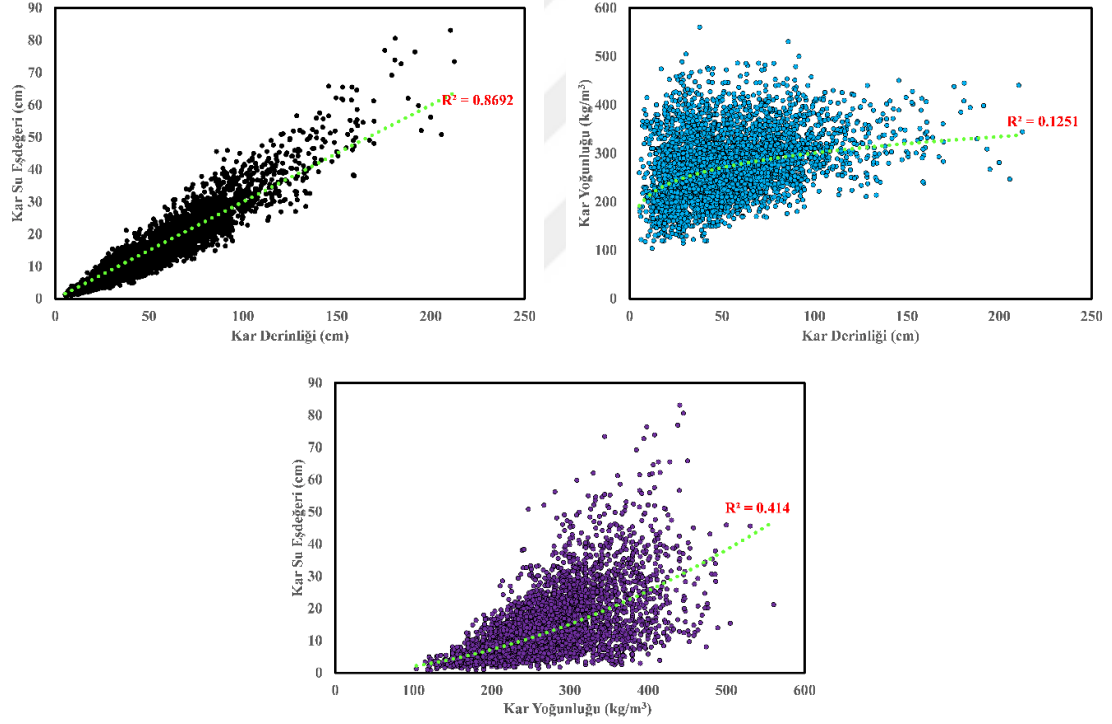


Şekil 3.6. KD, KSE ve ρ_{kar} kar bileşenlerinin aylık değişimi.

Kar su eşdeğeri (KSE), su potansiyelinin belirlenmesinde en önemli kar bileşenidir, ancak arazi üzerinde özel ekipmanlar gerektiren KSE ölçümleri oldukça zahmetli ve zaman alıcıdır. Buna karşın, kar derinliği (KD) KSE'ye göre daha çabuk ve kolay ölçülebildiği için; özellikle dağlık ve zor alanlarda ölçümü daha yaygındır. Ayrıca Şekil 3.8'de gösterildiği gibi KD-KSE- ρ_{kar} kar bileşenleri arasında güçlü bir ilişki bulunmaktadır. Bu nedenle KSE hesaplamalarında, kavramsal veya fiziksel modeller, uydu görüntüleri ve istatistiksel modeller gibi farklı yöntem ve çözümler kullanılabilir.



Şekil 3.7. KD, KSE ve ρ_{kar} kar bileşenlerinin yüksekliğe bağlı değişimi.



Şekil 3.8. Tüm veri seti için KD-KSE- ρ_{kar} arasında ikili ilişkiler ($n = 4002$).

3.1.3.1. Münferit kar verisi ile regresyon modeli

Kar bileşenlerinin kendi aralarında bulunan güçlü ilişki zamana ve yüksekliğe bağlı incelendiği zaman; özellikle kar yoğunluğunun kış mevsimi boyunca kademeli olarak arttığı görülmektedir. Kar derinliği de Aralık ile Şubat ayları süresince artmakta, Mart ile Nisan ayları arasında maksimum seviyesine ulaşarak Mayıs ayına doğru azalmakta, yani kar erimektedir. Bütün bunlara göre, ρ_{kar} 'ın mevsimsel değişimi ve KD ile olan ilişkisi kullanılarak bir regresyon model yaklaşımı, KSE hesaplamasında alternatif bir yöntem olarak ortaya çıkmaktadır.

İlgili literatür çalışmaları incelendiği zaman; KD ile KSE arasında regresyon model yaklaşımını kullanan, son yıllarda yapılmış birçok çalışma olduğu görülmektedir (Jonas vd., (2009) [J-2009]; Sturm vd., (2010) [S-2010] vb.). Bu tez çalışması kapsamında, KD ölçümlerinden KSE'yi elde etmek için iki farklı yönteme sahip regresyon modeli önerilmiş ve elde edilen bulgular daha önce önerilmiş J-2009 ve S-2010 modelleri ile kıyaslanmıştır. Bunun için birinci derece lineer regresyon katsayılarına sahip aylık (Denklem 3.1) ve günlük (Denklem 3.2) olmak üzere iki model yaklaşımı geliştirilmiştir. Aylık modelde her bir ay için bir sabit ve Kar Derinliği (KD) katsayısı; günlük modelde ise bütün sezonu kapsayacak şekilde tek bir sabit, Kar Derinliği (KD) ve Yılın Günü (YG) (1 Ekim -92 olmak üzere) katsayıları hesaplanmıştır.

$$\rho_{ay} = c_1 + c_2 \cdot KD_{gözlem} \quad (3.1)$$

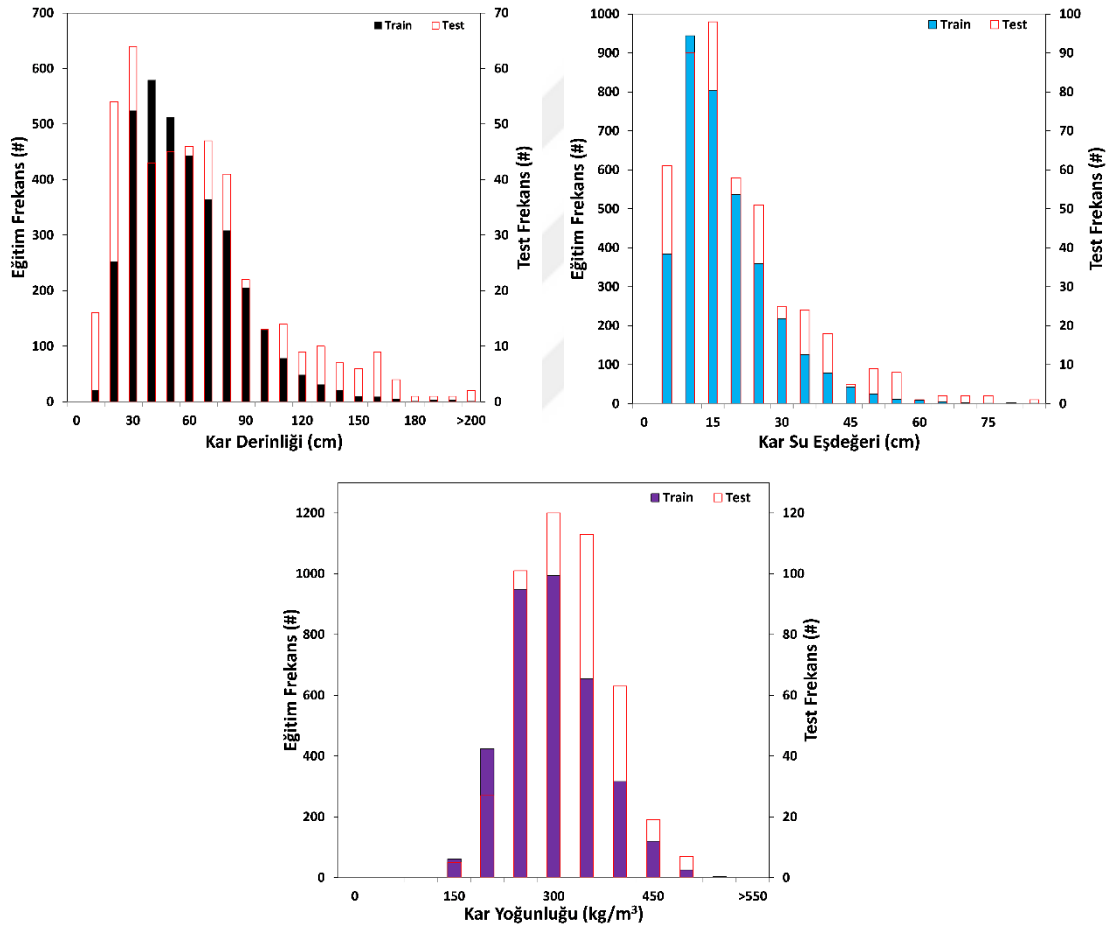
$$\rho_{gün} = c_3 + c_4 \cdot KD_{gözlem} + c_5 \cdot YG \quad (3.2)$$

Regresyon model parametrelerinin belirlenmesinden önce, toplam veri setinin yaklaşık %10'una denk gelecek şekilde rastgele olarak seçilen istasyonlar test olarak ayrılmış, geriye kalan istasyonlar ise parametrelerin elde edilmesi amacıyla kullanılmıştır (Tablo 3.1). Yani; 33 istasyondan elde edilen toplam 4002 gözlem çiftinden oluşan veri seti, eğitim (n=3547) ve test (n=455) olmak üzere iki gruba ayrılmıştır. Eğitim ve test periyotlarının davranışlarını değerlendirebilmek için tanımlayıcı istatistikler uygulanmış ve sonuçları Tablo 3.2'de sunulmuştur. Buna göre, eğitim seti için ortalama olarak KD, ρ_{kar} ve KSE kar bileşenleri sırasıyla 52.66 cm, 272.83kg/m³ ve 15.06 cm iken; test veri seti için 58.34 cm, 292.11 kg/m³ ve 17.50 cm olarak hesaplanmıştır. Ayrıca Şekil 3.9'da

sunulduğu üzere hem eğitim hem de test veri setlerinde KD ve KSE asimetrik, ρ_{kar} ise simetrik davranış sergilemektedir.

Tablo 3.2. Eğitim ve Test verilerinin istatistiksel karşılaştırılması.

Bileşen	Ortalama		Minimum / Maksimum	
	Eğitim	Test	Eğitim	Test
KD (cm)	52.66	58.34	5.50/205.74	5.30/212.76
ρ_{kar} (kg/m ³)	272.83	292.11	104.00/560.50	120.00/479.10
KSE (cm)	15.06	17.50	0.76/80.60	0.99/83.10



Şekil 3.9. Eğitim (renkli dolgulu sütunlar) ve test (içi boş kırmızı sütunlar) veri setlerinin dağılımları.

Tablo 3.3. Aylık ve günlük münferit KSE modelleri için regresyon katsayıları.

	Aylık (Denklem 3.1)		Günlük (Denklem 3.2)		
	C1	C2	C3	C4	C5
Kasım	184.27	1.49	192.17	0.43	1.25
Aralık	170.04	1.27			
Ocak	204.70	0.67			
Şubat	218.92	0.73			
Mart	282.27	0.32			
Nisan	354.05	0.05			
Mayıs	381.46	0.58			

Bu tez çalışması kapsamında önerilen münferit regresyon modellerinin eğitim ve test veri setleri için sonuç performanslarının belirlenmesi ve daha önce önerilen J-2009 ve S-2010 modelleriyle kıyaslanması için Yanlılık (Bias, Denklem 3.3), Ortalama Hataların Karekökü (Root Mean Square Error-RMSE, Denklem 3.4) ve Normalize Ortalama Hataların Karekökü (Normalized Root Mean Square Error-NRMSE, Denklem 3.5) gibi istatistiksel kriterler kullanılmıştır.

$$\text{Bias} = \frac{\sum(\text{KSE}_{\text{gözlem}} - \text{KSE}_{\text{model}})}{n} \quad (3.3)$$

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum[(\text{KSE}_{\text{gözlem}} - \text{KSE}_{\text{model}})^2]}{n}} \quad (3.4)$$

$$\text{NRMSE} = \frac{\sqrt{\frac{\sum[(\text{KSE}_{\text{gözlem}} - \text{KSE}_{\text{model}})^2]}{n}}}{\text{KSE}_{\text{gözlem}}} \quad (3.5)$$

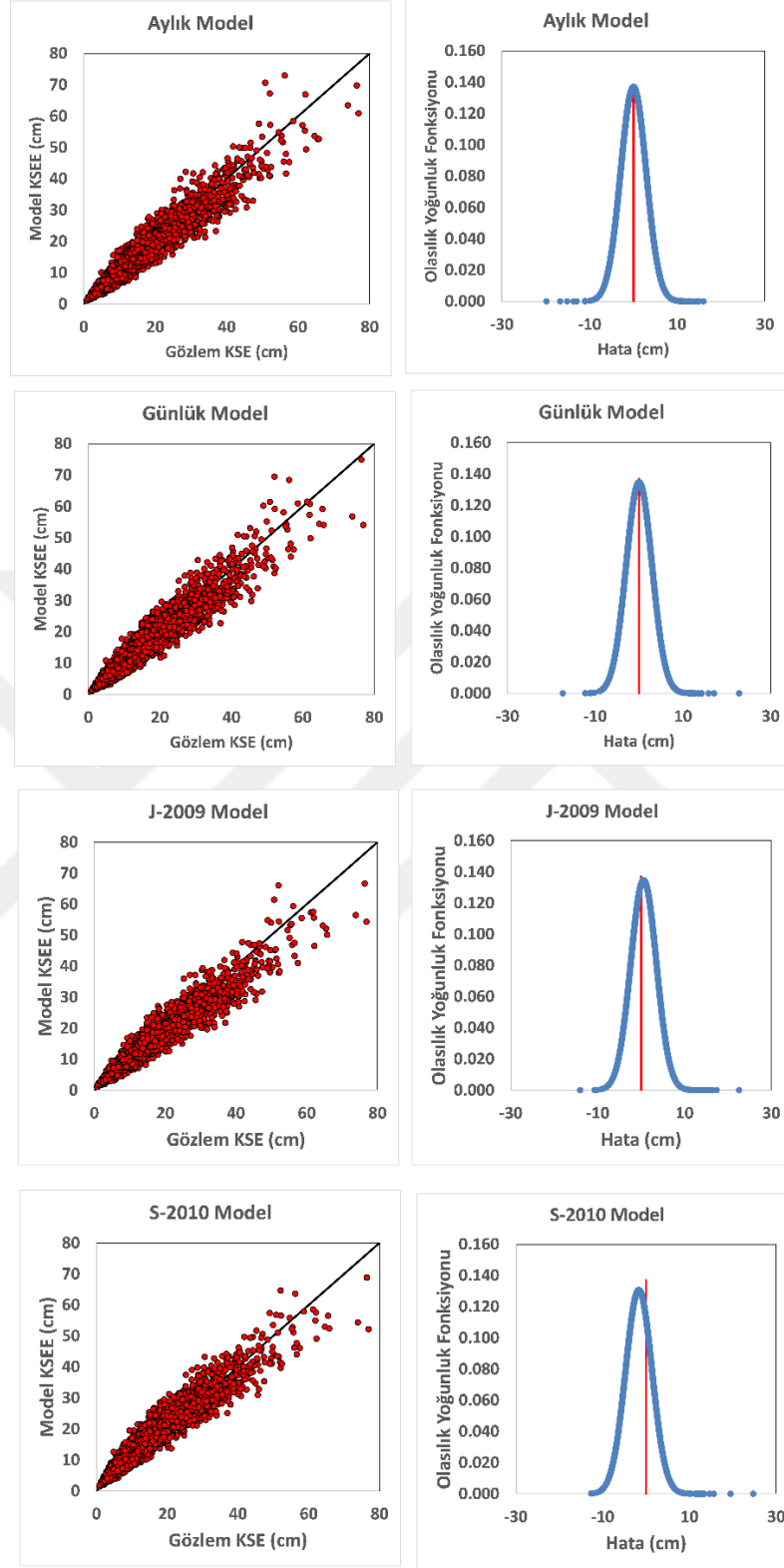
Geçmiş dönemlerde (J-2009 ve S-2010) ve bu tez çalışması kapsamında önerilmiş modeller için (Aylık ve Günlük) elde edilen performans sonuçları Tablo 3.4'te sunulmuştur. Genel olarak eğitim veri setinde Aylık model, test veri setinde ise Günlük ve J-2009 modellerinin daha başarılı oldukları söylenebilir. Ancak, tüm model yaklaşımları hem eğitim hem de test veri setlerinde KSE tahmini için kabul edilebilir performanslar göstermişlerdir. Eğitim veri setinde; ρ_{kar} RMSE olarak 49.20 kg/m³'den 65.45 kg/m³'e kadar değişmekte iken, KSE ise RMSE olarak 2.91 cm'den 3.47 cm'ye kadar değişmektedir. Benzer şekilde test veri setinde; ρ_{kar} RMSE olarak 56.60 kg/m³'den 63.73 kg/m³'e kadar değişmekte iken, KSE ise RMSE olarak 3.44 cm'den 3.95 cm'ye kadar değişmektedir. KSE'nin ortalama değeri farklı dönemlere göre değişebildiğinden,

farklı dönem ve istasyonları içeren eğitim/test dönemlerinin performanslarını karşılaştırmak için NRMSE kriteri daha objektif olacaktır. Buna göre, NRMSE (ρ_{kar} ve KSE için) eğitim veri setinde aylık modelden S-2010 modeline doğru, test veri setinde ise J-2009 modelinden S-2010 modeline doğru olumsuz bir şekilde değişmiştir.

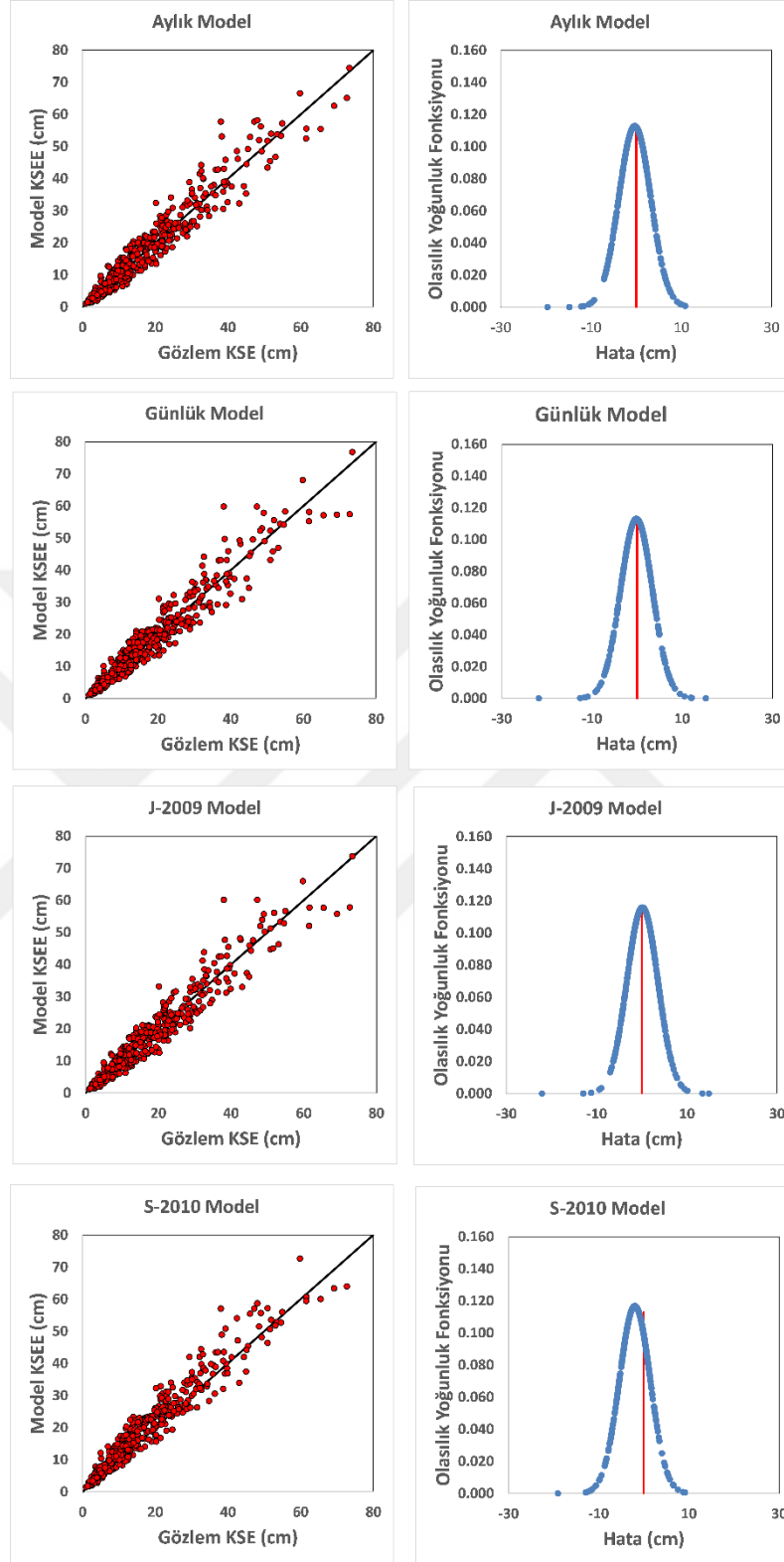
Tablo 3.4. Eğitim ve test veri setleri için model performans sonuçları. Kalın yazı tipi en başarılı olan model sonucunu göstermektedir.

	Kriter	Bileşen	Aylık	Günlük	J-2009	S-2010
Eğitim (n=3547)	Bias	ρ_{kar} (kg/m ³)	0.000	0.002	8.556	-38.223
		KSE (cm)	0.006	0.006	0.597	-1.642
	RMSE	ρ_{kar} (kg/m ³)	49.20	50.69	50.13	65.45
		KSE (cm)	2.91	2.96	3.02	3.47
	NRMSE	ρ_{kar}	0.180	0.186	0.184	0.240
		KSE	0.194	0.197	0.201	0.230
Test (n=455)	Bias	ρ_{kar} (kg/m ³)	3.942	6.310	9.806	-34.061
		KSE (cm)	-0.330	-0.119	0.116	-1.990
	RMSE	ρ_{kar} (kg/m ³)	59.95	56.60	58.09	63.73
		KSE (cm)	3.55	3.53	3.44	3.95
	NRMSE	ρ_{kar}	0.205	0.194	0.199	0.218
		KSE	0.203	0.202	0.197	0.226

Şekil 3.10 ve Şekil 3.11’de ise sırasıyla eğitim ve test veri setleri için KSE model sonuçlarının gözlem ile olan dağılım grafikleri ve dört modelin hatalarının olasılık dağılım fonksiyonları sunulmuştur. Sol tarafta birebir çizgisi üzerinde dağılım grafikleri, sağ tarafta ise dikey sıfır çizgisi üzerinde olasılık yoğunluk fonksiyonları bulunmaktadır. Buna göre hem eğitim hem de test veri setlerinde, S-2010 modelinin diğer modellere göre daha düşük performansa sahip olduğu açıkça görülebilmektedir.



Şekil 3.10. Eğitim veri seti için gözlem ve model KSEE dağılım grafikleri ve hataların olasılık dağılım fonksiyonları



Şekil 3.11. Test veri seti için gözlem ve model KSEE dağılım grafikleri ve hataların olasılık dağılım fonksiyonları.

3.1.3.2. Sürekli kar verisi ile regresyon modeli

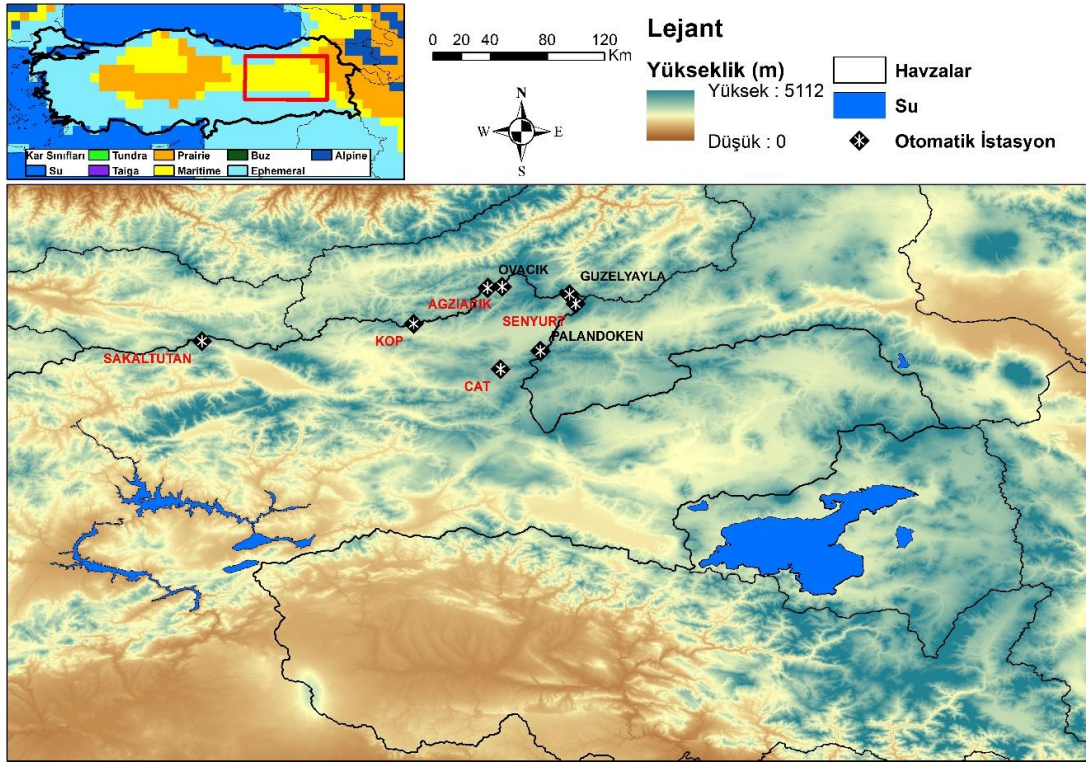
Ülkemizde özellikle 2000’li yıllardan sonra kurulmuş olan otomatik kar gözlem istasyonları gerek nitelik gerekse de nicelik olarak giderek gelişmektedir. Bu istasyonlar; yağış miktarı, sıcaklık ve güneş radyasyonu gibi meteorolojik parametrelerin yanı sıra kar derinliği ve yoğunluğu gibi kar bileşenlerini de ölçebilmektedir. Klasik yöntemle yapılan münferit kar ölçümlerinden farklı olarak, otomatik istasyonlar kış sezonu süresince otomatik sensörlerle sürekli ölçüm alıp, uzaktaki bir merkeze gönderebilir veya uygun depolama cihazlarına kaydedebilirler. Elbette ki, karsız dönemde istasyonla ilgili gerekli bakımların yapılması ve karlı dönem içerisinde ise istasyon yanında münferit kar ölçümü alınarak istasyonun doğrulanması oldukça önemlidir.

Bu tez çalışmasında; ilgili kurumlardan temin edilen ve 3 tanesi sürekli KD-KSE ölçebilen, 5 tanesi ise sadece sürekli KD ölçebilen ve yükseklikleri 2070 m-2600 m arasında değişen toplam 8 adet otomatik kar gözlem istasyonunun (Tablo 3.5 ve Şekil 3.12) verileri kullanılmıştır. İstasyonların ham verileri kalite kontrolünden geçirildikten sonra analiz edilmiş ve sonuç olarak 8 istasyon için kar gözlemleri elde edilmiştir.

Tablo 3.5. Çalışmada kullanılan otomatik kar ölçüm istasyonlarının listesi.

İstasyon	Yükseklik (m)	KD/KSE Sensörü	Ölçüm Periyodu
Palandöken*	2600	Ultrasonik/Yalıtkan Kablo	2015-2019
Kop	2400	Ultrasonik/ -	2009-2018
Ağzıaçık	2310	Ultrasonik/ -	2011-2015
Çat	2300	Ultrasonik/ -	2007-2011
Şenyurt	2250	Ultrasonik/ -	2010-2011
Ovacık*	2150	Ultrasonik/Kar Yastığı	2003-2005
Sakaltutan	2080	Ultrasonik/ -	2009-2011
Güzelyayla*	2070	Ultrasonik/Kar Yastığı	2003-2005

* Sürekli KD ve KSE ölçebilen otomatik istasyonlar.



Şekil 3.12. Otomatik kar gözlem istasyonlarının Türkiye'deki havzalar ve Sayısal Yükseklik Modeli (DEM) üzerinde dağılımı. 2070 m-2600 m arası farklı yükseklik seviyelerinde bulunan 8 adet otomatik kar gözlem istasyonu siyah noktalar ile gösterilmiştir. İsim etiketleri kırmızı olanlar sürekli KSE ölçümü olmayıp sadece sürekli KD ölçümü olanlar, siyah olanlar ise sürekli KD ve KSE ölçebilen istasyonlar.

Konuyla ilgili literatür çalışmaları incelendiği zaman, KD ile KSE arasında regresyon dönüşüm sürekli model yaklaşımını kullanan ve son yıllarda yapılmış birçok çalışma olduğu görülmektedir (McCreight ve Small, (2014); Hill vd., (2019) vb.). Bu tez çalışması kapsamında, sürekli KD ölçümlerinden sürekli KSE'yi elde etmek için iki farklı yöntemle sahip regresyon modeli önerilmiş ve tamamen bağımsız istasyon üzerinde test edilmiştir. Bunun için; birinci derece lineer regresyon katsayılarına sahip hava sıcaklığı olmayan sürekli model (Denklem 3.6) ve hava sıcaklığı olan sürekli model (Denklem 3.7) olmak üzere iki model yaklaşımı geliştirilmiştir. Her iki modelde bütün sezonu kapsayacak şekilde tek bir sabit, Kar Derinliği (KD) ve Yılın Günü (YG) (1 Ekim -92 olmak üzere) katsayıları ortak olarak bulunmakta, hava sıcaklığı olan sürekli modelde ise bunlara ek olarak otomatik istasyon tarafından ölçülen günlük Hava Sıcaklığı (T_{hava}) bulunmaktadır.

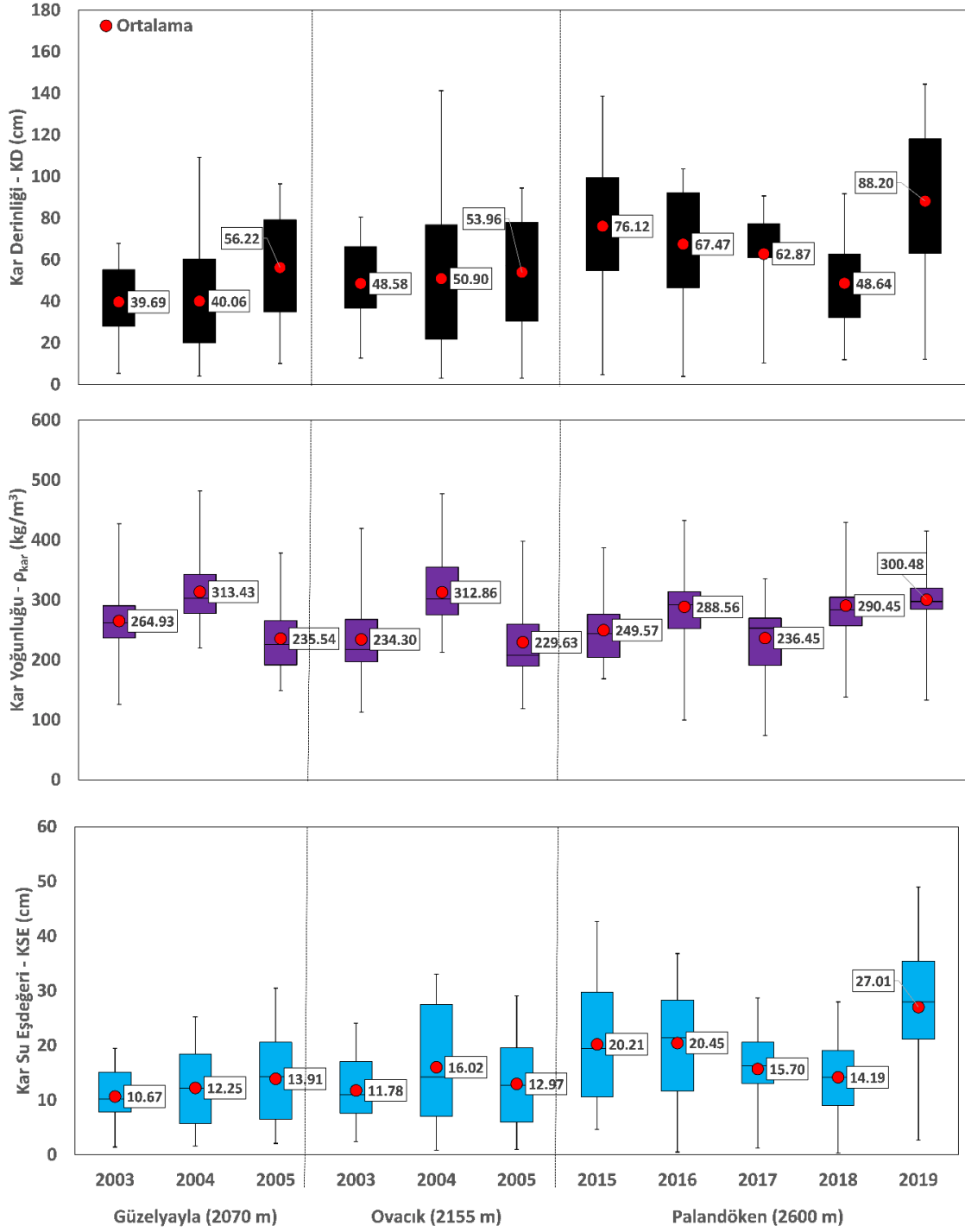
$$\rho_{\text{sürekli}} = c_{10} + c_{11} \cdot KD_{\text{gözlem}} + c_{12} \cdot YG \quad (3.6)$$

$$\rho_{\text{sürekli}} = c_{13} + c_{14} \cdot KD_{\text{gözlem}} + c_{15} \cdot YG + c_{16} \cdot T_{\text{hava}} \quad (3.7)$$

Bu otomatik istasyonlar farklı tarihlerde kuruldukları için, operasyonel olarak istasyonların çalışma periyotları farklılık göstermektedir. Şekil 3.13, Güzelyayla (2070 m), Ovacık (2150 m) ve Palandöken (2600 m) otomatik kar istasyonlarından elde edilen KD, ρ_{kar} ve KSE ölçümlerinin (n = 1633) ait oldukları kış sezonları boyunca değişkenliklerini göstermektedir. Buna göre, her üç istasyon için en yüksek KSE değerlerinin 20-50 cm aralığında değiştiği ve ölçülmüş maksimum KSE'nin ise Palandöken'de 2019 kar sezonunda gerçekleştiği görülebilmektedir. Farklı yıllar karşılaştırıldığında ise kar bileşenlerinin önemli ölçüde sezonsal değişimi tespit edilebilir. Örneğin, 2004 kış sezonunda Ovacık ve Güzelyayla istasyonları için diğer sezonlara göre daha fazla kar yoğunluğu belirlenmiştir. Bu nedenle, istasyon bazlı sürekli formülünden ziyade bölgesel bir sürekli formül önerilmesinin uygun olacağına karar verilmiştir. Bu bağlamda; eğitim veri seti için Palandöken, Ovacık (n=1216) ve test veri seti için ise Güzelyayla (n=417) istasyonları seçilmiştir. Buna göre; KD, YG, T_{hava} parametrelerine karşılık ρ_{kar} arasındaki doğrusal regresyon ile model parametreleri belirlenmiştir. Denklem 3.6 ve Denklem 3.7'ye ait sürekli model katsayıları KD cm ve ρ_{kar} kg /m³ olacak şekilde Tablo 3.6'da sunulmuştur.

Tablo 3.6. Hava sıcaklığı olmayan ve olan sürekli KSE modelleri için regresyon katsayıları.

Hava Sıcaklığı Olmayan Sürekli Model (Denklem 3.6)			Hava Sıcaklığı Olan Sürekli Model (Denklem 3.7)			
c ₁₀	c ₁₁	c ₁₂	c ₁₃	c ₁₄	c ₁₅	c ₁₆
234.01	0.01	0.80	244.56	0.06	0.68	1.67



Şekil 3.13. Otomatik istasyonlar tarafından ölçülmüş kar derinliği (üst panel), kar yoğunluğu (orta panel) ve kar su eşdeğeri (alt panel) değişimi.

Bu tez çalışması kapsamında önerilmiş sürekli ve münferit modeller, (T_{hava} olmayan sürekli model, T_{hava} olan sürekli model, Aylık, Günlük, J-2009 ve S-2010) eğitim (Palandöken, Ovacık ve $n=1216$) ve test (Güzelyayla, $n=417$) istasyonlarına uygulanmış ve elde edilen performans sonuçları Tablo 3.7’de sunulmuştur. Bulgular tüm modellerin

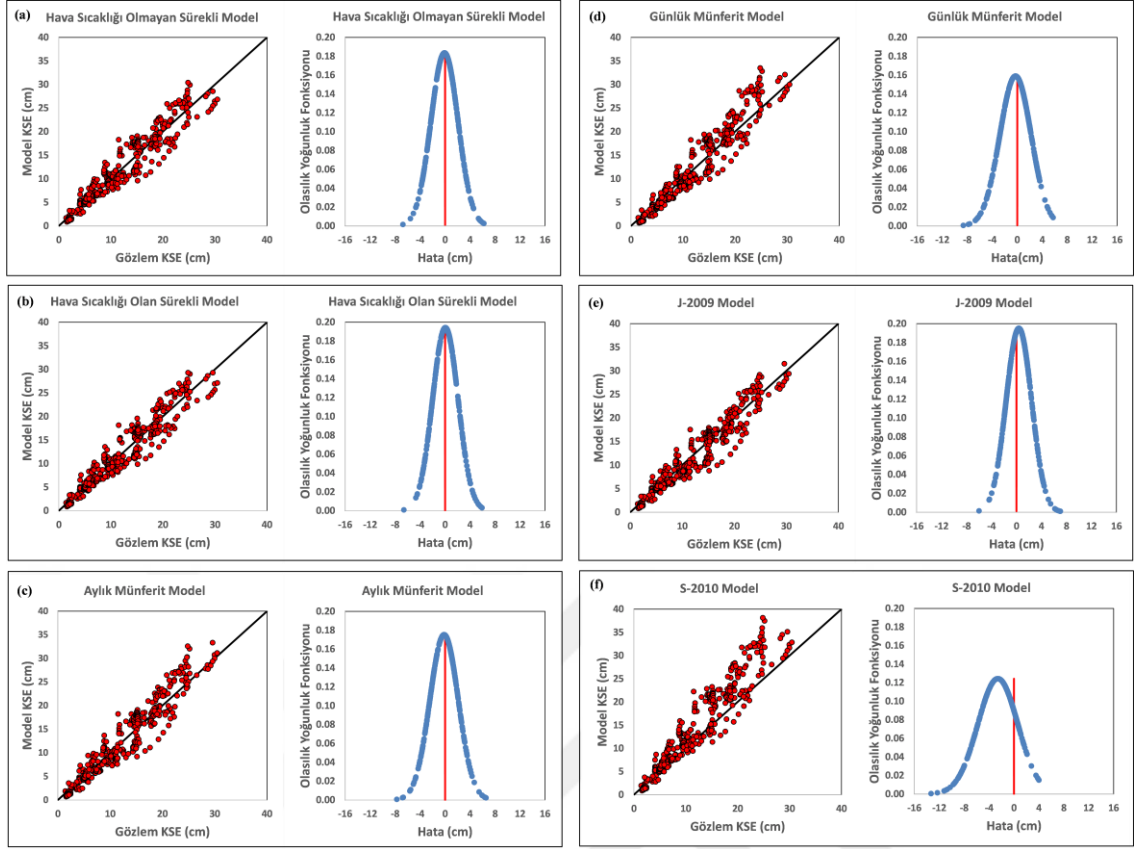
KSE tahmini için kabul edilebilir düzeyde başarı sergilediklerini göstermektedir. T_{hava} Olan Sürekli Model, eğitim ve test veri setlerinin her ikisinde de en başarılı model olarak öne çıkmaktadır. Test (Güzelyayla) istasyonunda KSE; RMSE açısından 2.05 cm ile 4.12 cm arasında değişirken, yanlılık açısından -2.59 cm ile 0.38 cm arasında değişmektedir.

KSE'nin ortalama değeri eğitim ve test veri setlerine göre değiştiği için sonuçları karşılaştırırken NRMSE kriteri daha objektif olmaktadır. Hem eğitim (Palandöken ve Ovacık) hem de test (Güzelyayla) veri seti için KSE NRMSE açısından, T_{hava} Olan Sürekli Modelden S-2010 modeline doğru negatif bir şekilde değişmektedir. Tablo 3.7'deki sonuçlara göre, NRMSE açısından KSE hataları aralığı eğitim veri setinde % 16.2'den % 35.0'a, test veri setinde ise % 16.6'dan % 33.3'e değişmiştir.

Tablo 3.7. Eğitim ve test veri setleri için model performans sonuçları. Kalın yazı tipi en başarılı olan model sonucunu göstermektedir.

İstasyon	Kriter	T_{hava} Olmayan Sürekli Model	T_{hava} Olan Sürekli Model	Aylık	Günlük	J-2009	S-2010
Palandöken & Ovacık	Bias (cm)	0.01	0.01	-1.00	-0.97	-0.02	-3.77
	RMSE (cm)	2.90	2.86	3.38	3.60	2.96	5.37
	NRMSE	0.165	0.162	0.192	0.204	0.168	0.350
Güzelyayla	Bias (cm)	-0.10	0.04	-0.16	-0.28	0.38	-2.59
	RMSE (cm)	2.18	2.05	2.28	2.52	2.09	4.12
	NRMSE	0.176	0.166	0.184	0.204	0.168	0.333

2003-2005 kış sezonlarında Güzelyayla istasyonu için altı modelin (dört münferit ve iki sürekli) sonucunun bir karşılaştırması Şekil 3.14'te verilmiştir. Her bir kutucuğun sol tarafındaki grafik, gözlenmiş KSE'ye karşılık modellenen KSE'nin dağılım grafiğini birebir çizgisi üzerinde göstermektedir. Sağ tarafta ise dikey sıfır çizgisi üzerinde olasılık dağılım fonksiyonları bulunmaktadır. Grafiklere göre; T_{hava} Olan Sürekli Model en küçük yanlılık değeri ile en iyi performansı, S-2010 modeli ise daha büyük yanlılık ile en düşük performansı sergilediği açık bir şekilde görülmektedir.



Şekil 3.14. Güzelyayla istasyonu 2003-2005 kış sezonları için gözlem ve model KSE dağılım grafikleri ve hataların olasılık yoğunluk fonksiyonları.

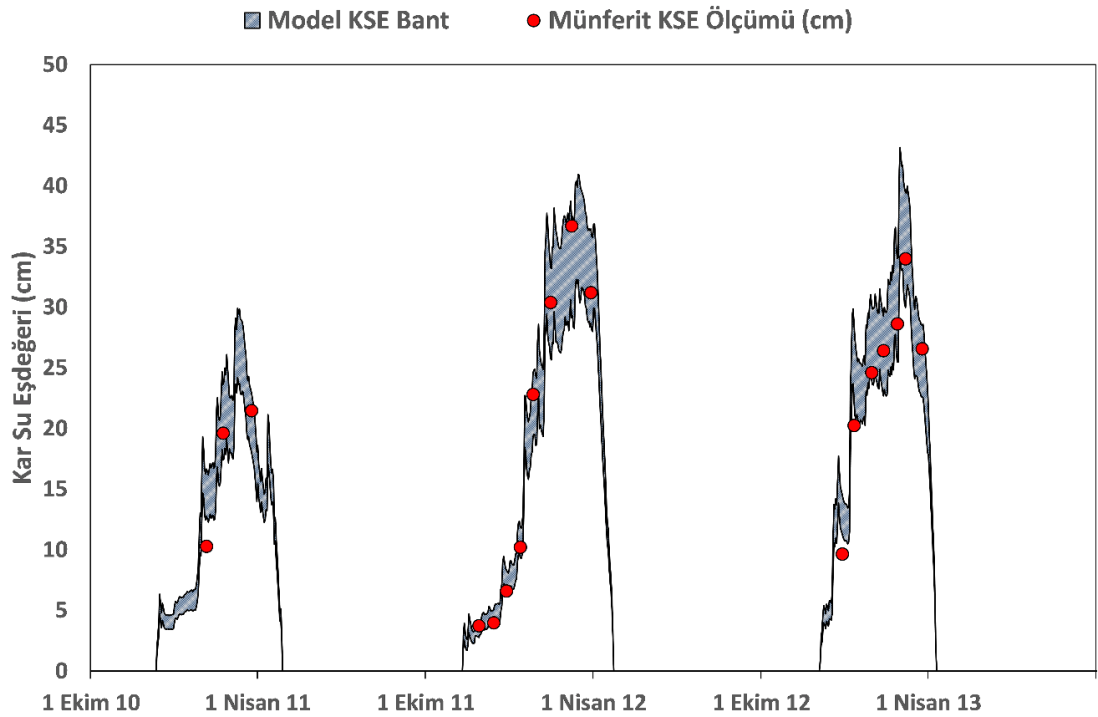
Son olarak, altı model yaklaşımı (dört münferit ve iki sürekli) sürekli KD ölçümü olan ancak sürekli KSE ölçümü bulunmayan beş adet otomatik kar istasyonuna uygulanmış ve istasyonların yanında yapılan münferit ölçümler ile model performansları belirlenmiştir. Tablo 3.8’de bütün modellerin performansları NRMSE açısından sunulmuştur. Sonuçlar, sürekli modellerin yanı sıra münferit modellerin de tamamen bağımsız doğrulama veri setleri üzerinde başarılı performans sergilediklerini göstermektedir. Ayrıca sıcaklık içeren sürekli modelin sıcaklık içermeyen sürekli modele göre daha başarılı olması, sıcaklık parametresinin model üzerindeki olumlu etkisini de göstermektedir. Genel olarak, modellerin hataları % 13.8’den % 35.4’e değişmektedir. Ayrıca, her model kar bileşenlerinin ve istasyon konumlarının değiştiği farklı durumlar için kabul edilebilir performans göstermektedir.

Şekil 3.15’te gösterilen sonuçlar, 2011-2013 kış sezonlarında Ağzıaçık otomatik kar istasyonu için münferit KSE ölçümlerini ve çoklu model sonuçlarının minimum ve maksimum değerlerinden elde edilen KSE bandını göstermektedir. KSE bandının

dağılımı kar sezonu süresince değişse de sezon sonuna kadar neredeyse tüm münferit KSE ölçümlerini içerisine almaktadır. Buna göre, sürekli KD ölçümü bulunan fakat sürekli KSE ölçümü olmayan otomatik istasyonlar için bu çalışmada önerilen tüm modeller ile bulunabilecek bant KSE model yaklaşımı oldukça başarılı sonuçlar vermektedir.

Tablo 3.8. Sürekli KSE ölçümü bulunmayan otomatik istasyonlar için NRMSE açısından model performans sonuçları. Kalın yazı tipi en başarılı olan model sonucunu göstermektedir.

İstasyon	#	T_{hava} Olmayan Sürekli Model	T_{hava} Olan Sürekli Model	Aylık	Günlük	J-2009	S-2010
Kop	31	0.244	0.238	0.283	0.281	0.265	0.332
Ağzıaçık	30	0.155	0.153	0.153	0.144	0.170	0.278
Çat	19	0.162	0.161	0.140	0.135	0.176	0.163
Şenyurt	7	0.164	0.138	0.196	0.175	0.149	0.354
Sakaltutan	11	0.153	0.151	0.145	0.146	0.155	0.235



Şekil 3.15. Bant formunda KSE için çoklu model sonuçları. 2011-2013 kış sezonları için örnek olarak seçilen Ağzıaçık otomatik kar gözlem istasyonu. Kırmızı noktalar, münferit KSE ölçümlerini ve gri dolgu ise altı model sonucunun minimum ve maksimum değerlerinden oluşan KSE bandını göstermektedir.

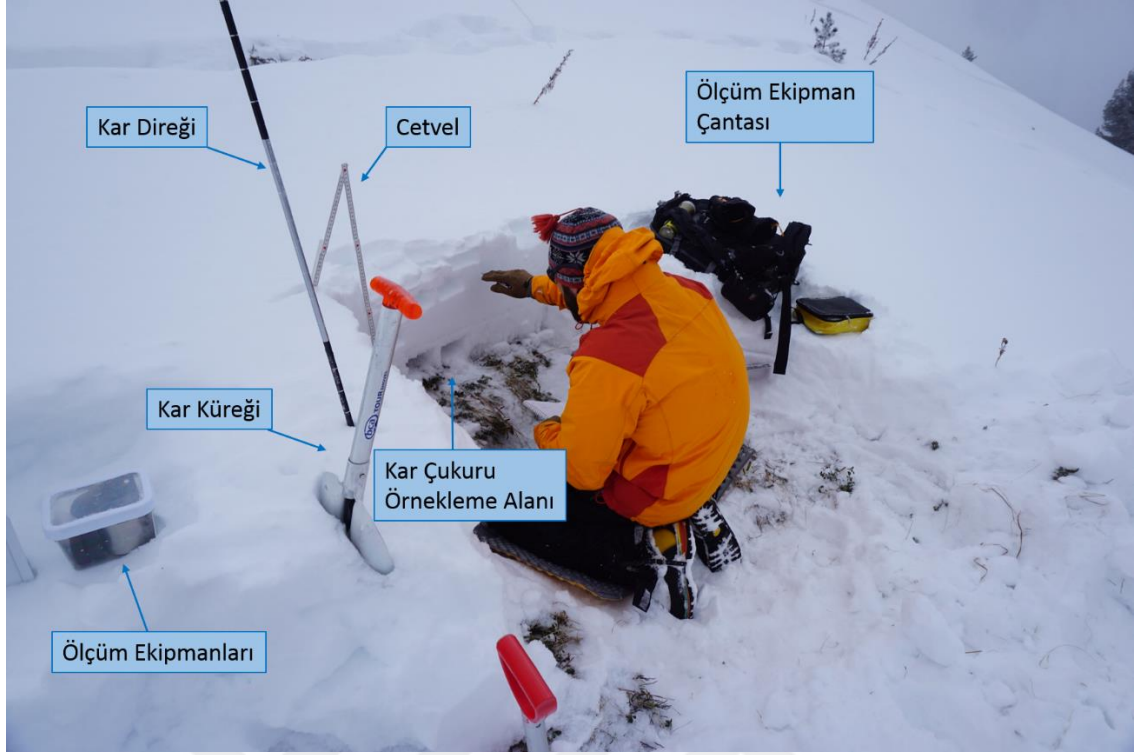
3.1.4. Kar ukur analizi

Hava sıcaklıklarının 0 °C'nin altına düşmesiyle birlikte, deniz seviyesinden yüksekliğe ve arazi şartlarına bağılı olarak yılın farklı zamanlarında kar yağışı gözlenir. Meydana gelen yağış olaylarının kar olarak yere düşmesiyle birlikte kar örtüsü, arazi üzerinde katmanlar halinde birikmeye başlar. Sezon içerisinde kısmi erimeler gözlenebile, oluşan kar tabakası genellikle erime koşullarının söz konusu olmadığı kış mevsimi boyunca arazide kalır. Özellikle sıcaklıkların arttığı ilkbahar aylarında kar örtüsü eriyerek önce suya ve sonra yolunu bularak akışa dönüşmektedir. Dolayısıyla kar sezonu içerisinde kar katmanlarının fiziksel bileşenlerinin takip edilmesi erime miktarı ve zamanının belirlenmesi için son derece önemlidir.

Kar tüpleri ile alınan ölçümlerde, farklı katmanlardan oluşan kar örtüsü için tek bir kar bileşen değeri bulunur. Örneğin farklı yoğunluk değerlerine sahip katmanlı bir kar örtüsünde tüp ile alınan ölçümde bütün katmanları içeren tek bir yoğunluk değeri ölçülmüş olur. Bu temsiliyet sorununu ortadan kaldırmak ve daha detaylı ölçümler alabilmek için özellikle son dönemlerde sıkça uygulamasına rastlanan bir diğer ölçüm yöntemi de kar çukuru analizleridir.

3.1.4.1. Ölçüm yöntemi ve aletler

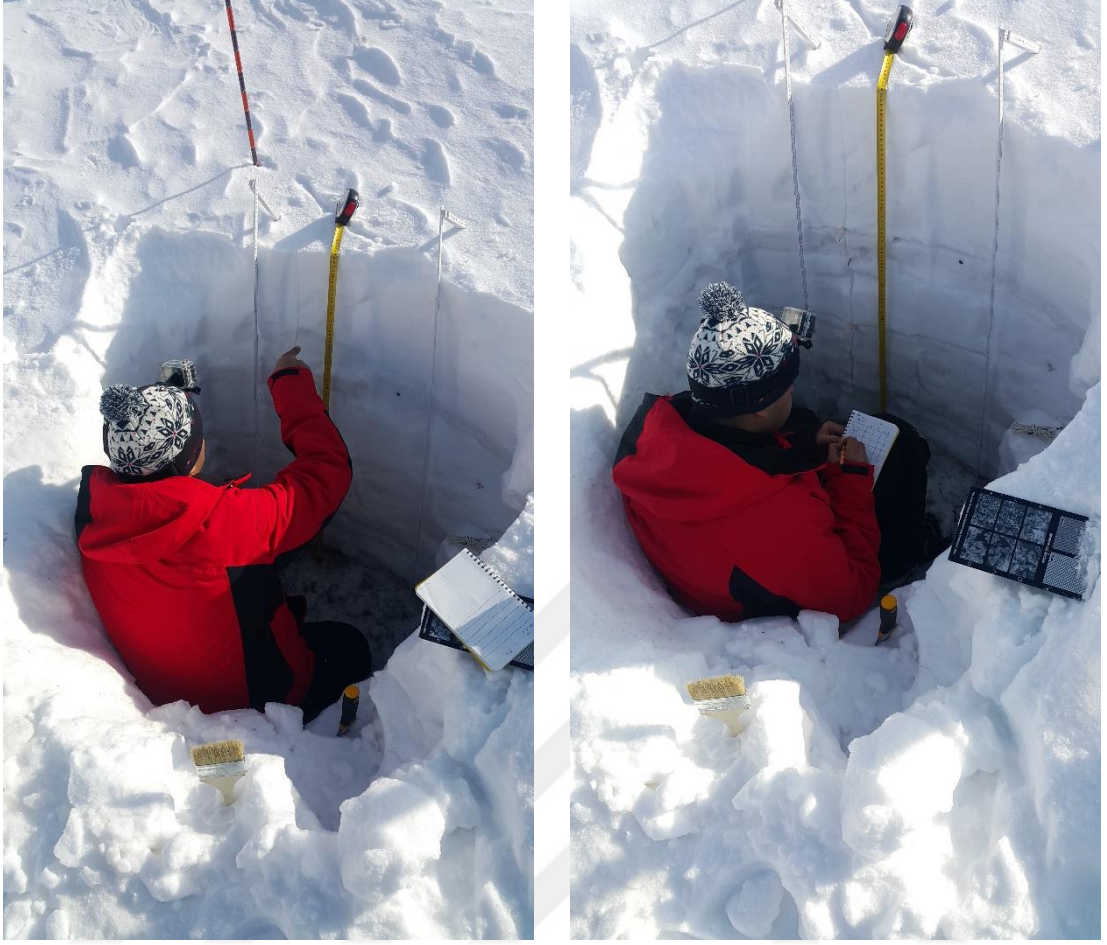
Kar ukuru analizinde; ölçüm yapılacak alanda bir kar çukuru kazılıp, açılan örnekleme alanında belirlenen her bir katman için özel aletler kullanılarak kar bileşen ölçümleri gerçekleştirilmektedir. Şekil 3.16'da örnek bir çukur analiz alanı ve kullanılan malzemeler gösterilmektedir. Kar katman bileşenlerinin ölçüm yöntemleri ve kullanılan özel aletler aşağıda maddeler halinde açıklanmıştır.



Şekil 3.16. Kar çukuru ölçüm alanının ve kullanılan aletlerin genel bir görünümü.

❖ Kar katmanlarının ve derinliklerinin belirlenmesi

Kar çukuru örnekleme alanı içerisinde kar duvarının yüzeyi temizlendikten sonra; kar derinliği demir cetvel ya da metal şerit metre ile ölçülür. Şekil 3.17’de gösterildiği gibi; parmakla veya bir nesne (kart, kalem, çubuk vb.) yardımıyla kar katmanları belirlenir. Burada kar yüzeyinden aşağıya doğru yavaşça hareket ederken karın sertlik ve yapısal açıdan değişiminin hissedildiği seviye, farklı kar katmanını işaret etmektedir. Bu adımdan sonra yapılacak tüm ölçümler, belirlenen bu katmanlar üzerinde olacağı için bu aşama büyük önem taşımaktadır. Sonraki bileşen ölçümlerine başlamadan önce katmanlar son haliyle belirlenip, her bir katmanın kalınlığı ölçüm notlarına kaydedilmelidir.



Şekil 3.17. Kar katmanlarının ve derinliğinin belirlenmesi.

❖ Kar katman yoğunluklarının ve sıcaklıklarının belirlenmesi

Katmanların belirlenmesinin ardından, her bir katman için kar yoğunlukları hacmi bilinen kar kesici alet yardımı ile ölçülür. Kar katmanından numune alırken, kalınlığı 15-20 cm civarında olan katmanlar için kar kesici numune aleti dikey olarak kar örtüsüne sokulurken; daha ince katmanlarda yatay olarak sokulmalıdır. Alınan kar numunesinin ağırlığı, darası bilinen bir poşet içerisinde veya elektronik tartı yardımı ile ölçülür. Bu işlemlerle paralel olarak her bir katman için dijital sıcaklık ölçer ile katmanların sıcaklıkları da tespit edilir (Şekil 3.18).



Şekil 3.18. Kar katmanlarının yoğunluk ve sıcaklık değişiminin belirlenmesi.

❖ Kar katmanlarının tanecik tipinin ve sertliğinin belirlenmesi

Katmanların sertlik derecesi el testi uygulaması ile her bir katman için bulunarak, kaydedilir. Burada en yumuşaktan en sertte doğru yani yumruktan bıçağa (Tablo 2.2) doğru olan sıralama ile katmanlar sertlik açısından test edilir. Ayrıca yine her katmandan alınan örnekler mercek altında incelenerek tanecik boyutuna, şekline ve su muhtevasına karar verilir (Şekil 3.19). Tanecik şeklinin belirlenmesinde özellikle güneşli, sıcak havalarda hızlı hareket edilmesi ölçümün hassasiyeti açısından oldukça önemlidir.



Şekil 3.19. *Kar katmanlarının tanecik tipi ve sertliğinin belirlenmesi.*

Arazi üzerindeki kar örtüsü sezon boyunca farklılaştığı gibi gün içerisinde de (güneş ışınları ve hava sıcaklığının etkisiyle) bir takım yapısal farklılaşmalar olabilmektedir. Bu nedenle, yapılacak kar ölçümlerinin mümkün olduğunca sabah erken saatlerde yapılması ölçüm hassasiyeti açısından önemlidir. Ayrıca, elde edilen ölçümler arazi üzerinde uygun not defterlerine ve daha sonra hazırlanan kar profil kağıtlarına kaydedilmelidir (Şekil 3.20).

SNOW PIT PROFILE CHART

Date Tuesday 07. Feb. 2019 General Area _____

Location of Pit GÜZELYAYLA İST. YANI

Weather & Temperature: Rüzgarsız, Sisli / T_{ort} = -14 °C

Any Observed Instability (slabs, cracks, whoomps, etc.): _____

Other Notes:
1 hour = 11.20

Elevation 2070 m

Aspect Flst

Slope Angle _____

STABILITY FORECAST

1 - Stable (Green) ☒ 1.

2 - 50/50 (Yellow)

3 - Very Unstable (Red)

Crystal & Grain Symbols
(Note: slightly simplified from ICSI Standards)

- ++ Newly Precipitated (Original crystals identifiable)
- / / Partially Rounded (Branches, irregular shapes)
- • • Rounded Grains
- □ Faceted Crystals (Sharp edges and corners, glassy smooth faces)
- ^ ^ ^ Depth Hoar (Faceted, angular crystals with striations)
- □ Rounding of Faceted Crystals
- ∨ ∨ ∨ Surface Hoar (Striated - sometimes needle-like)
- ○ Melt Freeze
- Ice Masses

Free Water Symbols

- Dry Snow
- Moist - A snowball can be made but water not visible with a hand lens
- ▨ Wet - A snowball can be made easily and water can be seen between grains
- ▨ Very Wet - Water can be pressed out of the ball
- ▨ Slush - Water runs out easily

Shear Characteristics

Q1 - Breaks clean and smooth like it's spring loaded
Q2 - Breaks on a smooth plane but more stubborn
Q3 - Breaks on a rough, broken plane

Compression Test (CT) (30 cm x 30 cm - 1' x 1')
(10 Wrist Taps / 10 Elbow Taps / 10 Shoulder Hits)
CTV - Fractures when isolating column (Red Flag)
CT1-CT10 - Fractures during first 10 taps (Red Flag)
CT11-CT20 - Fractures during elbow taps (Yellow)
CT21-CT30 - Fractures during shoulder hits (Green)
CTN or CTX - No Fracture (Green)

Extended Column Test (ECT) (90 cm x 30 cm) (3' x 1')
(10 Wrist Taps / 10 Elbow Taps / 10 Shoulder Hits)
ECTPV - Propagation: Entire column fractures (Red!)
ECTP# - Propagation: Entire column after # taps (Red)
ECTN# - Part of column fractures after # taps (Green)
ECTX - No Fracture (Green but try different shear tests)

Rutschblock Scores (RB) (2m x 1.5m - 6' x 4.5')

- RB1 - Slides during digging (Red Flag)
- RB2 - Slides with gentle step (Red Flag)
- RB3 - Slides with knee compression (Red Flag)
- RB4 - Slides with one jump (Yellow Flag)
- RB5 - Slides with two jumps (Yellow Flag)
- RB6 - Slides with repeated jumps (Green)
- RB7 - Nothing produces smooth break (Green)

Size of Grains	Free Water	Temperature	Distance Above Ground	Very Soft (Fist)	Soft (4 Fingers)	Medium (1 Finger)	Hard (Pencil)	Very Hard (Knife)
		(°C)	(cm)					
□		-3.5	72					
□		-6.3	66					
□		-4.5	51					
□		-3.5	41					
□		-2.6	29					
□		-1.5	12					

Snow Layer Temperature: _____

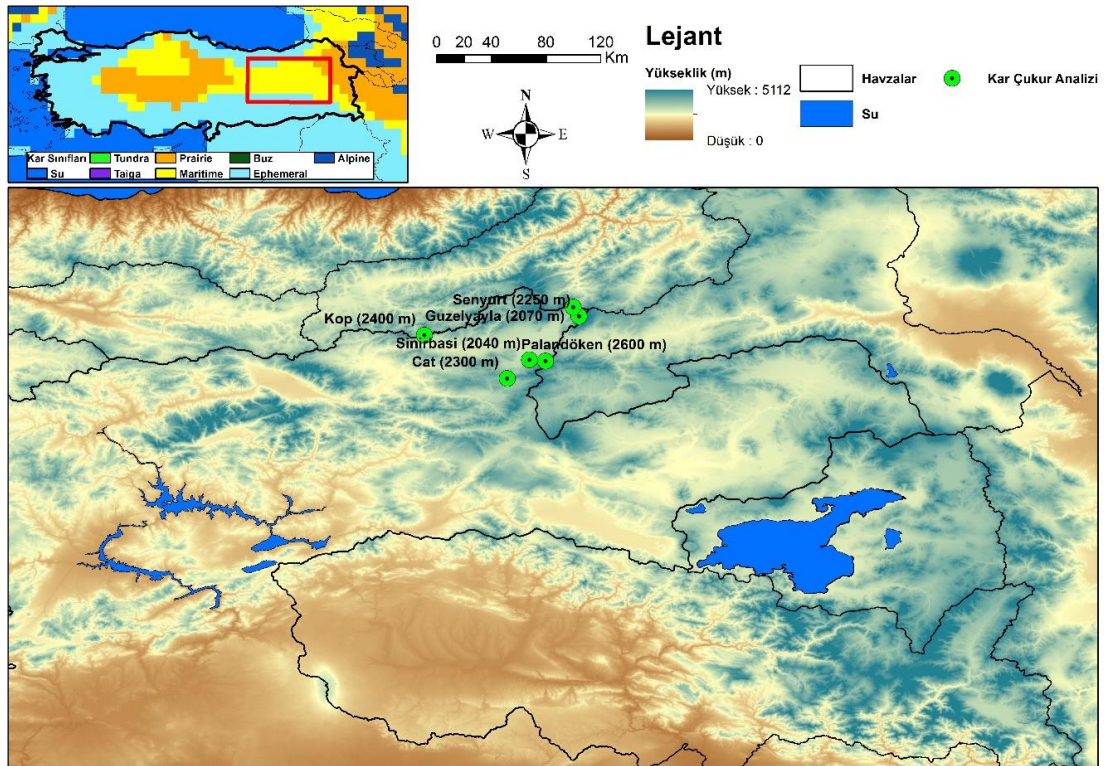
Handwritten calculations for snow layer strength:

- $D_1 = \frac{66}{250} = 0.26 \text{ g/cm}^3$
- $D_2 = \frac{70}{250} = 0.28 \text{ g/cm}^3$
- $D_3 = \frac{78}{250} = 0.31 \text{ g/cm}^3$
- $D_4 = \frac{80}{250} = 0.32 \text{ g/cm}^3$
- $D_5 = \frac{84}{250} = 0.34 \text{ g/cm}^3$
- $D_6 = \frac{104}{250} = 0.41 \text{ g/cm}^3$

Şekil 3.20. Kar çukur analiz ölçüm örneği.

3.1.4.2. Ölçüm noktaları ve bulgular

Bu tez çalışması kapsamında, Türkiye'nin dağlık doğu bölgelerinde seçilen uygun alanlarda kar çukur analizi ölçümleri yapılmıştır. Mevcut çalışır durumda olan otomatik kar ölçüm istasyonlarının yakınında bulunan ve yer aldığı havzanın potansiyelini temsil edebilecek alanlar, ölçüm noktalarının seçiminde göz önüne alınmıştır. Tablo 3.9 ve Şekil 3.21'de görüldüğü gibi 2017-2019 kış sezonlarında Doğu Anadolu Bölgesinde ve Erzurum ili merkezli olacak şekilde 6 farklı noktada toplam 27 kar çukur analizi yapılmıştır.



Şekil 3.21. Kar çukur ölçümlerinin yapıldığı alanlar Türkiye'deki havzalar ve Sayısal Yükseklik Modeli (DEM) üzerinde dağılımı. 2040 m-2600 m arası farklı yükseklik seviyelerinde bulunan 6 adet kar çukuru ölçüm alanı yeşil noktalar ile gösterilmiştir.

Seçilen noktaların otomatik kar ölçüm istasyonlarının yanında, ulaşımının kolay ve güvenli olması belirleyici sebepler olmuştur. Ayrıca bu noktaların Aras, Çoruh ve Fırat Havzaları gibi Türkiye'nin kar potansiyeli yüksek havzalarının membaı niteliğinde olan alanlarda olması seçimini ön plana çıkarmaktadır. Yapılan arazi çalışmalarında Erzurum Doğu Anadolu Tarımsal Araştırma Enstitüsü (TAGEM), Meteoroloji Genel Müdürlüğü

(MGM) ve Devlet Su İşleri (DSİ) 8. Bölge Müdürlüğü kurumlarından teknik ve lojistik destek alınmış, tecrübeli personelleri ile birlikte arazi çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

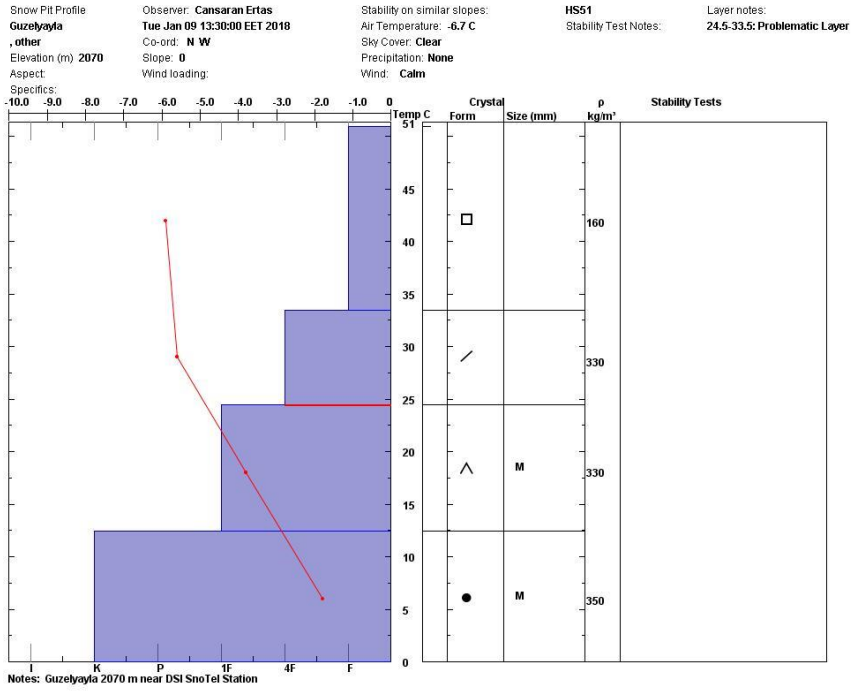
Tablo 3.9. Kar çukur analizi için belirlenen noktalar ve bulunan otomatik istasyonlar

İstasyon Adı	Yükseklik (m)	Enlem	Boylam	Mevcut İstasyon
Sinirbaşı	2040	39.91	41.08	TAGEM SnoTel
Güzelyayla	2070	40.01	41.28	DSİ SnoTel
Şenyurt	2250	40.11	41.29	DSİ SnoTel
Çat	2300	39.70	40.97	DSİ SnoTel
Kop Dağı	2400	40.01	40.32	DSİ & MGM SnoTel
Palandöken	2600	39.50	41.17	MGM SPA İstasyonu

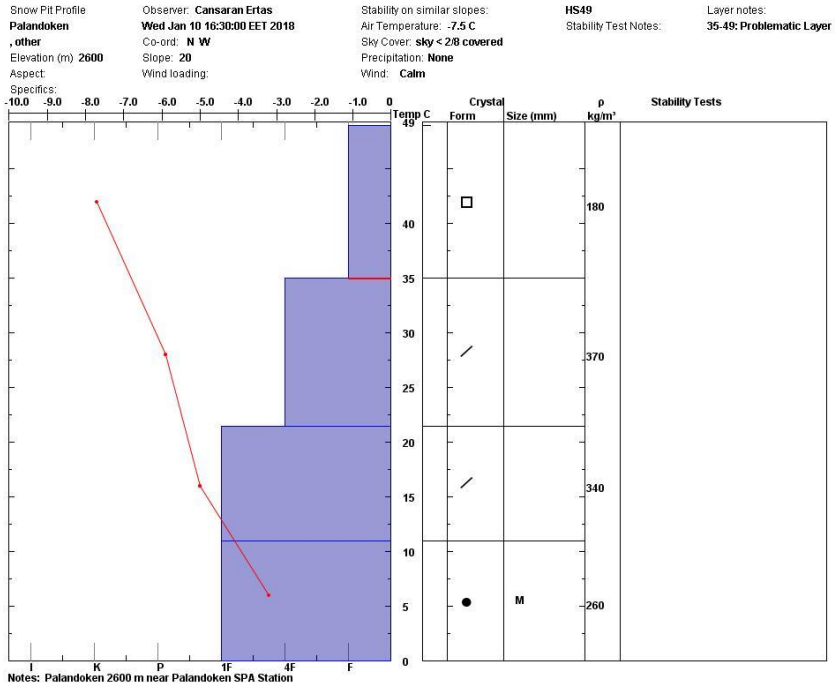
2017-2019 kış sezonları içerisinde gerçekleştirilmiş olan kar çukur analizi ölçümlerinden elde edilen sonuçlar için kar profil grafikleri hazırlanmıştır. Hazırlanan çok eksenli grafikler yardımıyla kar örtüsündeki katmanların yoğunluk, sıcaklık, sertlik, tanecik şekli ve su muhtevası ile ilgili bilgiler okunup, yorumlanabilmektedir. 09-10 Ocak 2018 tarihlerinde Güzelyayla ve Palandöken istasyonlarının yakınında yapılan kar çukur analizi ölçümlerine ait bulgular örnek olarak Şekil 3.30'da ve geriye kalan tüm istasyon yakınında yapılan ölçümler detaylı bir şekilde EK-1'de sunulmuştur.

09 Ocak 2018 tarihinde Güzelyayla otomatik kar istasyonu yanında yapılan kar çukur analizine göre ise; toplam 4 katmandan oluşan kar örtüsünün derinliği 51 cm olarak belirlenmiştir. Bu katmanların yoğunlukları ise $160-350 \text{ kg/m}^3$ arasında değişmekte olup, ortalama yoğunluğu ise 295 kg/m^3 olarak hesaplanmıştır (Şekil 3.22-a).

10 Ocak 2018 tarihinde Palandöken SPA otomatik kar istasyonu yanında yapılan kar çukur analizine göre; toplam 4 katmandan oluşan kar örtüsünün derinliği 49 cm olarak belirlenmiştir. Bu katmanların yoğunlukları ise $180-370 \text{ kg/m}^3$ arasında değişmekte olup, ortalama yoğunluğu ise 290 kg/m^3 olarak hesaplanmıştır (Şekil 3.22-b).



a) 09 Ocak 2018, Güzelyayla



b) 10 Ocak 2018, Palandöken

Şekil 3.22. 09 ve 10 Ocak 2018 tarihlerinde Güzelyayla ve Palandöken istasyonlarının yakınında yapılan kar çıkur analizi sonuçları

3.2. Otomatik Kar Ölçümleri

3.2.1. Giriş ve literatür

Kar hidrolojisi çalışmaları; erişilmesi güç, dağlık ve engebeli bölgelerde yürütülmektedir. İnsan gücüne dayalı olan münferit kar ölçümleri bu zorlu şartlar altında yetersiz kalabilmektedir. Bu nedenle, teknolojik gelişmelerle birlikte münferit kar ölçümlerine ilave olarak, son dönemlerde otomatik kar ölçüm istasyonları da yaygınlaşmaktadır.

Yurt dışında yapılan çalışmalarda göze çarpan en önemli husus özellikle kar gözlem noktalarının sıklığıdır. 2000’li yıllarda daha modern ve yeni nesil teknolojiler ile ölçümler alınmaya başlanmış ve farklı test havzalarında uygulanan modeller ile yapılan ölçümler değerlendirilmiştir (Lundberg ve Hallin, 2001; Marks vd., 2001). Türkiye’de ise Orta Doğu Teknik Üniversitesi tarafından yürütülen NATO SfS 96-01-0055, (1996-2000) projesiyle yeni bir kar ve meteoroloji ölçüm ağı geliştirilmeye karar verilmiş, bu yönde çalışmalar başlatılmış ve bu süreçte devlet kurumları ile üniversite işbirliğinin temelleri atılmıştır. Daha sonra yürütülen çeşitli Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP), Devlet Planlama Teşkilatı (DPT) destekli projelerle kar baskın bölgelerde kar yastığı, kar lizimetresi gibi ölçüm sistemlerinin kurulması ve güncellenmesi yapılmış, sürekli kar ve meteorolojik verinin yanı sıra akım verilerinin de otomatik transferi sağlanmıştır (Şorman vd., 2004; Tekeli vd., 2005). Bu projeler paralelinde, çeşitli doktora tezleri tamamlanmıştır (Şensoy, 2005; Şorman, 2005; Tekeli, 2005). Son dönemde ise; Şorman ve Ertaş, (2019) yaptıkları çalışmada, Türkiye’de yeni kurulmuş olan 11 adet Snow Pack Analyzer (SPA) otomatik kar ölçüm istasyon verilerini ve bu istasyonların uydu görüntüleriyle olan tutarlılıklarını 2017 kar sezonu için incelemişlerdir. Buna göre, bazı istasyonlarda kesintisiz ve kaliteli veri elde edilirken bazılarında ise çeşitli sorunların yaşandığı tespit edilmiştir. İstasyonların kar ölçümleriyle uydu verisi karşılaştırıldığında ise RMSE ölçütüyle 30-314 mm arasında hatalar hesaplanmıştır.

3.2.2. Türkiye'nin otomatik kar gözlem ağı

Özellikle son yıllardaki teknolojik gelişmelerle birlikte kar örtüsünün sürekli takibine imkân tanıyan otomatik ölçüm sistemleri de yaygınlaşmaktadır. Bu istasyonlarda otomatik algılayıcılar ile ölçülebilen kar derinliğine ilave olarak, kar yastıkları ile kar su eşdeğeri belirlenebilmektedir. Ancak kar yastıklarının kurulumunun ve işletmesinin zor olmasından dolayı yeni ölçüm yöntemlerinin gelişmesi, kar bileşenlerinin daha güvenilir ve kolay belirlenmesi hususunda önemli rol oynamaktadır. Bu bağlamda kar örtüsünü dışarıdan değil, karın içinden ölçmeye imkân tanıyan modern algılayıcılar geliştirilmiştir.

Türkiye'de Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) ve Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ) olmak üzere uygulayıcı iki kamu kurumu operasyonel kar gözlemleri yapma görevini paylaşmaktadır. 1937 yılında kurulan MGM Türkiye'deki tüm meteorolojik bilgileri sağlayan yasal bir kuruluşken, 1954 yılında teşkilatlanmış DSİ ise genel olarak ülkenin su kaynaklarından, akım ölçümlerinden ve dolayısıyla kar/su ölçümlerinden sorumludur. Günümüzde KD için toplam 137 münferit ve 376 otomatik ölçüm istasyonu, KSE için ise 137 münferit ve 11 otomatik ölçüm istasyonu bulunmaktadır. Önceki bölümlerde anlatıldığı üzere, yapılan münferit kar ölçümlerinde uluslararası standartlara uygun olan Kar Numune Alma Tüpü (Federal-Mount Rose) kullanılmakta olup (Şekil 3.2); gözlem sırasında kar derinliği ile kar yoğunluğu ölçülmekte, kar su eşdeğeri ise hesaplanmaktadır.

3.2.3. Snow pack analyzer (SPA) istasyonları

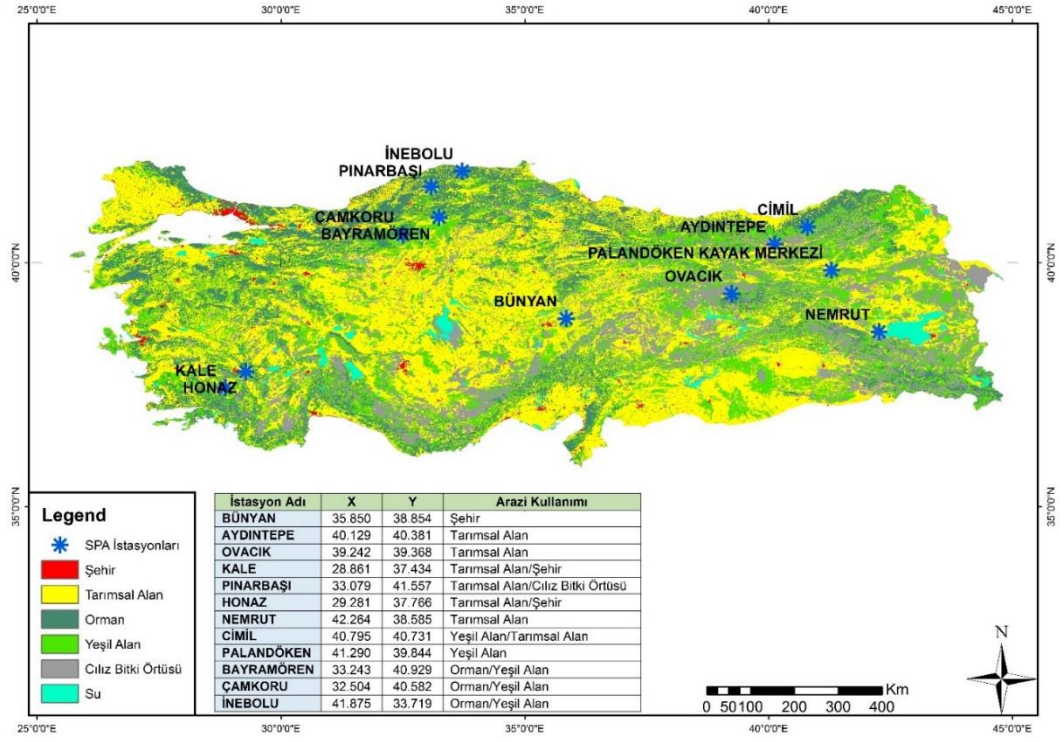
3.2.3.1. İstasyon tanıtımı

Son yıllarda; Türkiye'de kar ölçümü yapan devlet kurumları, mevcut ölçüm ağının yeni teknolojilerle geliştirilmesini ve güncel olarak izlenmesini hedeflemektedirler. Bu sebeple, MGM 2015 kar sezonu 11 adet Snow Pack Analyzer (SPA) otomatik kar gözlem istasyonunun Türkiye'nin çeşitli yerlerine kurulmasını sağlamıştır. Bu istasyonlarla ilgili detaylar Tablo 3.10 ve Şekil 3.23'te sunulmuştur.

Tablo 3.10. *Türkiye’de bulunan SPA istasyon bilgileri.*

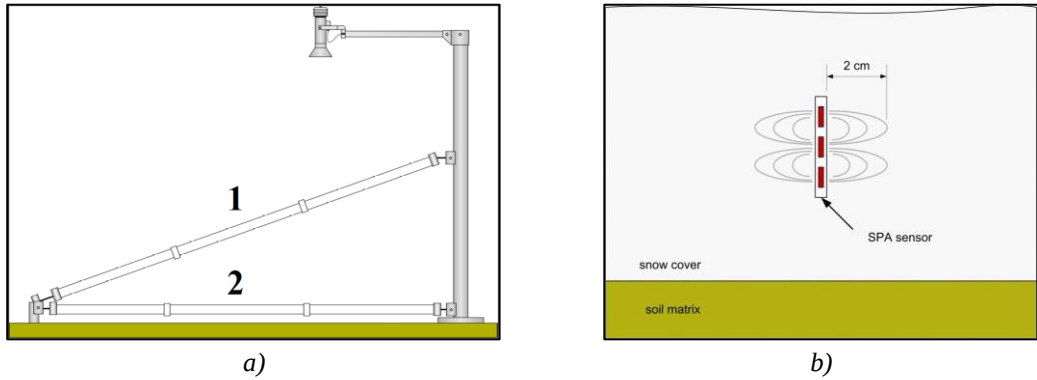
İstasyon Adı	Yükseklik (m)	İstasyon Numarası
Palandöken	2600	17777
Nemrut	2550	18584
Cimil	2072	18569
Aydıntepe	1597	18557
Bayramören	1450	18251
Çamkoru	1402	18241
Bünyan	1335	18455
Ovacık	1280	18179
Kale	1190	18301
Pınarbaşı	1010	18519
İnebolu	965	18911

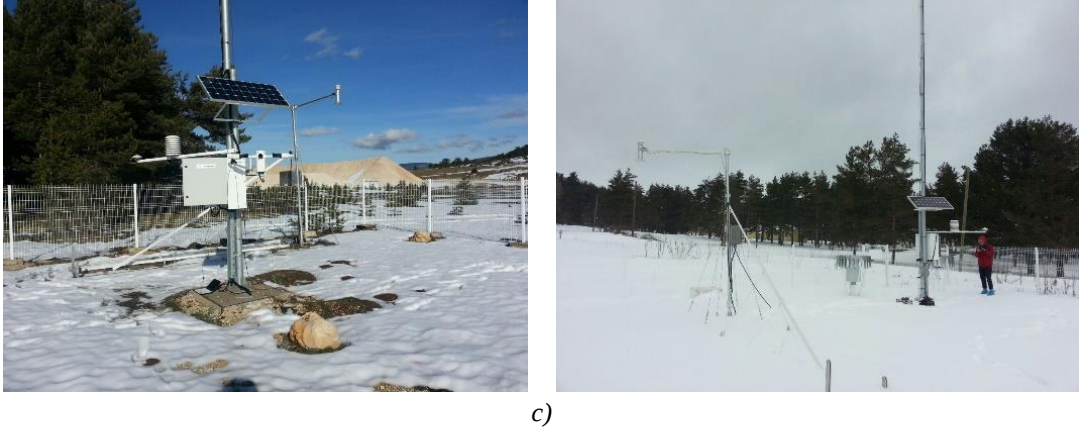
SPA istasyonu; kar kalınlığı, kar su eşdeğeri, kar yoğunluğu ve su içeriği bileşenlerini belirlemek için kullanılan bir ölçüm sistemi bütünüdür. Arazinin durumuna ve ölçümün amacına göre farklı istasyon kurulum durumları söz konusu olmaktadır. SPA ölçüm istasyonu; SPA sensörü, kontrol birimi, ultrasonik kar derinlik sensörü ve sistemin gerekli gerginliği koruyabilmesi için yaylardan oluşan farklı bileşenleri mevcuttur. Gergi yayları frekans algılayıcılarını farklı seviyelerde tutmak için düz ya da eğimli bir şekilde olabilmektedir (Şekil 3.24-a). Düz ölçüm kablosu üzerindeki algılayıcılar aynı seviyedeki kar derinliği için kar bileşen ölçümünü temsil ederken; eğimli olan ise farklı katmanlar arası ölçümü temsil etmektedir.



Şekil 3.23. Türkiye’de bulunan 11 adet SPA kar istasyonunun konumları.

SPA, ölçüm kablolarının üzerinden geçen farklı frekans algılayıcıları sayesinde kablonun bulunduğu seviye için ölçümler almaktadır (Şekil 3.24-b). Bu algılayıcılar ile kar kütlelerinin içindeki su, hava ve buz bileşenlerinin durumlarına göre kar yoğunluğu tespit edilmektedir. Belirlenen kar yoğunluğu ve ölçülen kar derinliği ile birlikte kar su eşdeğeri hesaplanmaktadır (Sommer Messtechnik, 2016). Şekil 3.24-c’de Türkiye’de kurulan istasyonlardan örnekler sunulmuştur.





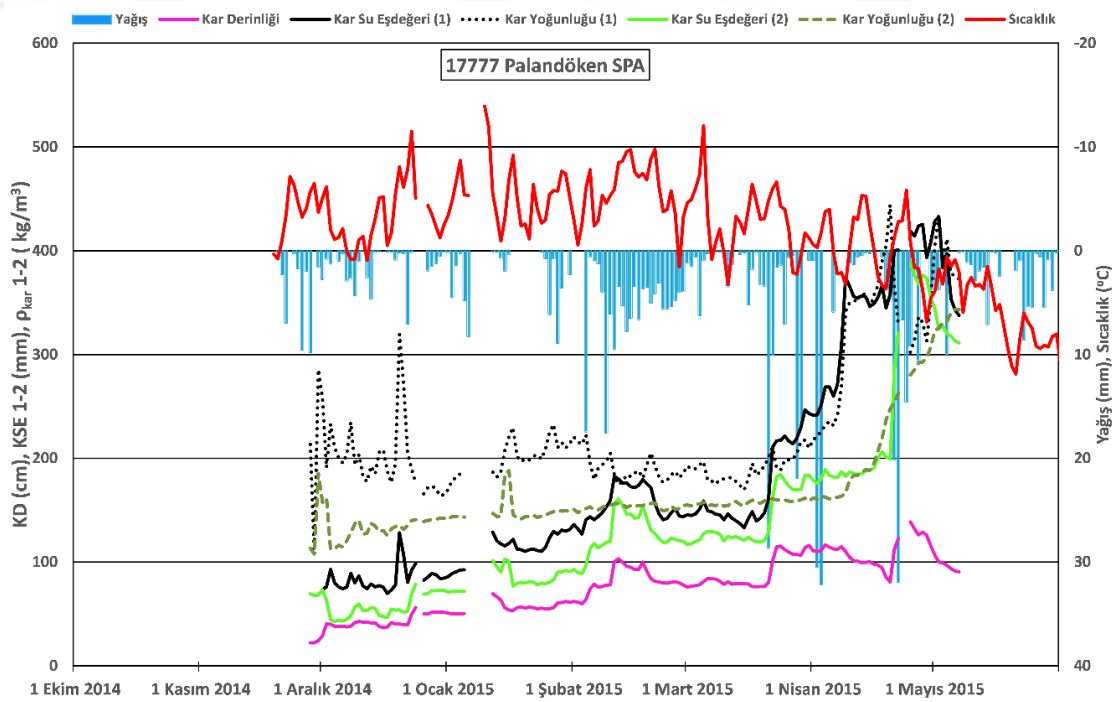
Şekil 3.24. SPA kar istasyonunun çalışma prensibi (a, b) ve Türkiye’de kurulan istasyon örnekleri (c).

3.2.3.2. SPA istasyon verilerinin değerlendirilmesi

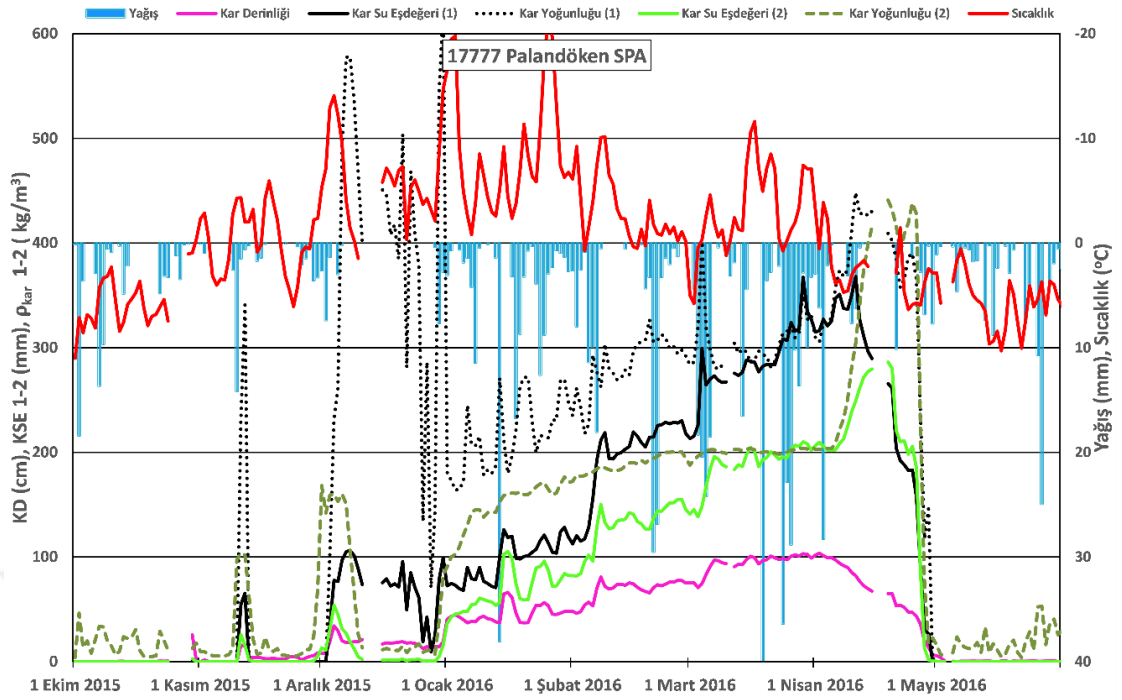
Kar bileşeni ve meteorolojik ölçüm alan SPA istasyonları, verileri 10 dakikalık aralıklarla veri toplayıcıya (datalogger) kaydetmektedir. Bu çalışmada 11 ayrı SPA istasyonu için veriler işlenerek günlük ortalama haline dönüştürülmüştür. Elde edilen veriler detaylı olarak analiz edilerek dört kar sezonunda (2015-2018) her istasyon için ayrı ayrı yorumlanmıştır. SPA istasyonlarından elde edilen kar bileşen ve meteorolojik veriler birlikte kullanılarak, kar örtüsünün sezon içerisindeki durumu ve değişimleriyle ilgili değerlendirmeler yapılmıştır.

11 adet SPA kar ölçüm istasyonu için hem kar hem de meteorolojik ölçümleri içeren çok eksenli grafikler hazırlanmıştır. Burada ve bundan sonraki bütün örneklerde 2015-2018 kar sezonları için, gerek büyük kar potansiyeli ve sürekliliğinin olması gerekse de kolay ulaşılabilir olmasından dolayı, Palandöken SPA istasyonu örnek olarak sunulmuştur (Şekil 3.25). (1) ve (2) olarak isimlendirilen kar bileşenleri sırasıyla, eğimli ve yatay kablolarla ait ölçümleri göstermekte ve sol eksen üzerinde kar bileşenleri, sağ tarafta ise meteorolojik ölçümler yer almaktadır. Buna göre, 17777 numaralı Palandöken SPA istasyonu Erzurum ili içinde bulunan Palandöken kayak merkezi oteller bölgesinde, kayak pistine yakın ama karın sıkıştırılmadığı doğal arazi üzerinde yaklaşık 2600 m seviyesinde kurulmuştur. Bölgenin kar sezonu göz önüne alındığı zaman, söz konusu kar sezonları için karın yağdığı ve çekildiği zamanlar net olarak gözlenmektedir. Meteorolojik ölçümlerde ise sezon boyunca günlük eksiklikler dışında herhangi bir eksiklik bulunmamaktadır. Yatay ve eğimli kabloların ölçüm sırasında farklı hassasiyetlere sahip oldukları tespit edilmiştir. Beklenildiği gibi, en büyük KSE değerleri

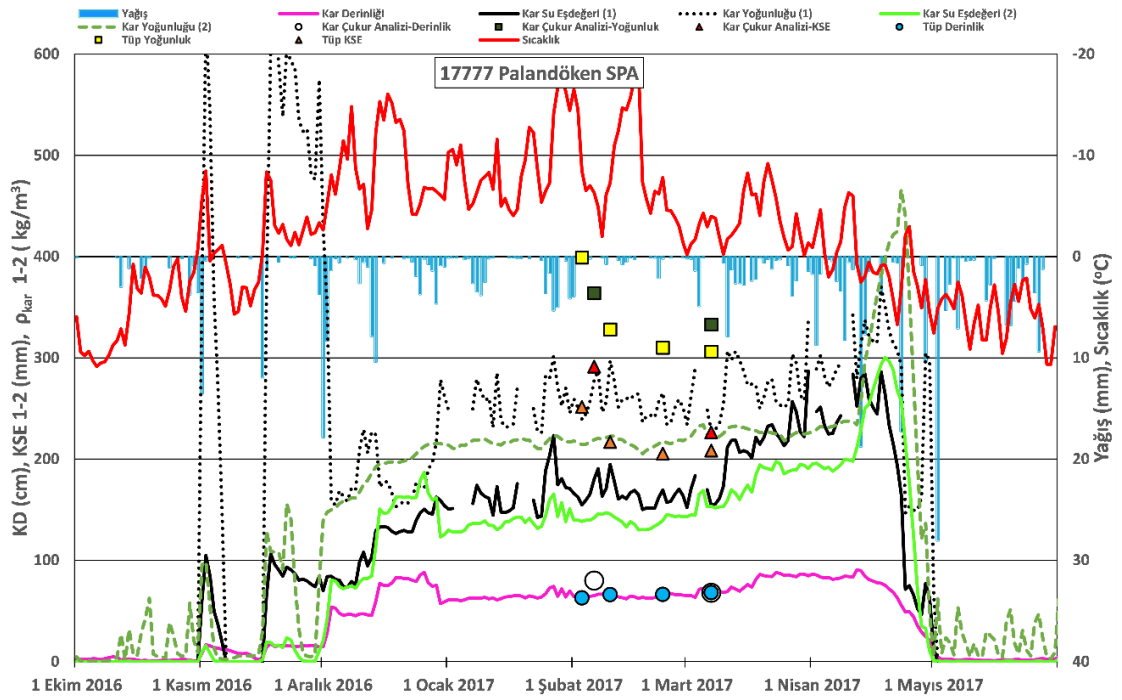
(yaklaşık 300-400 mm) Nisan ayı başlarında gözlenmektedir. KSE'nin mevsimsel artışları sırasında KSE-2 ölçümleri daha düzenli bir şekilde seyrederken, KSE-1 ölçümleri daha dalgalı bir seyir göstermektedir. Bunun nedeni olarak sıcaklıkların pozitif seyretmesiyle birlikte meydana gelen yağış olaylarının yağmur şeklinde düşmesi sonucunda ıslanan karda yoğunluk ölçümlerinin etkilenmesi gösterilebilir. Kar yoğunluğu için de benzer durumların gözlenmesi, yapılan bu yorumu desteklemektedir. İstasyon ölçümlerini değerlendirmek için, söz konusu kar sezonu boyunca istasyonun yakınında münferit ölçümler (tüp ve kar çukur analizi) yapılmıştır. Bu sonuçlara göre, kar örtüsünün nispeten daha az değişkenlik gösterdiği ve sürekliliğinin olduğu söz konusu dönem içinde otomatik ve münferit kar bileşen ölçümleri oldukça tutarlıdır.



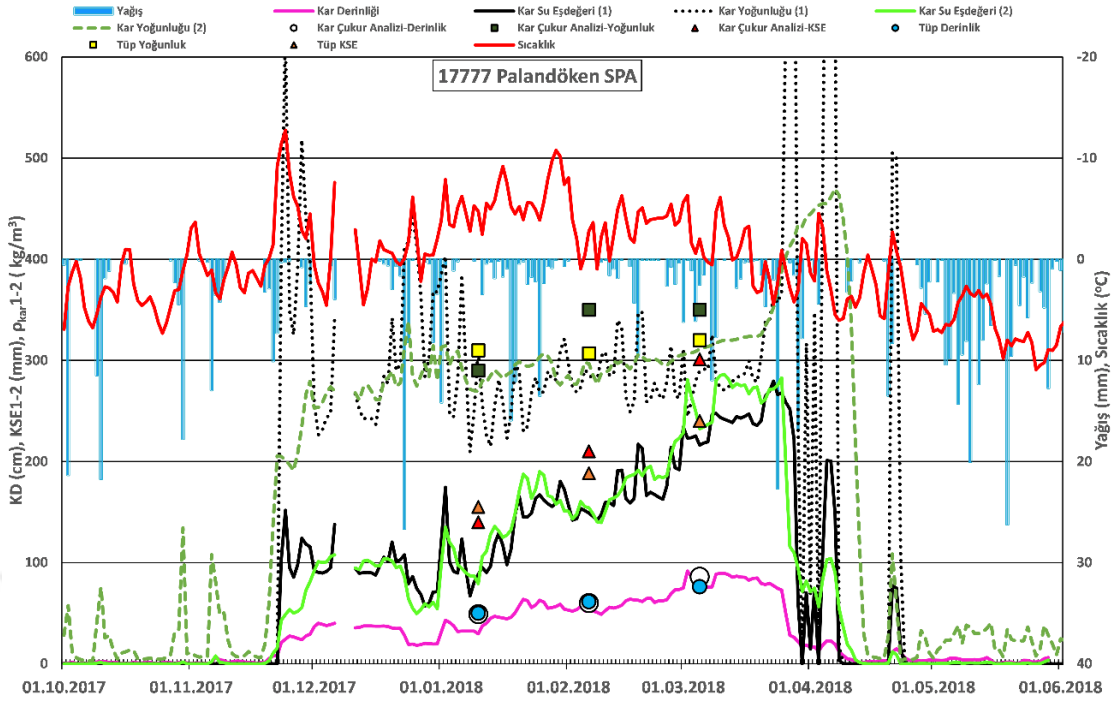
a) 2015



b) 2016



c) 2017



d) 2018

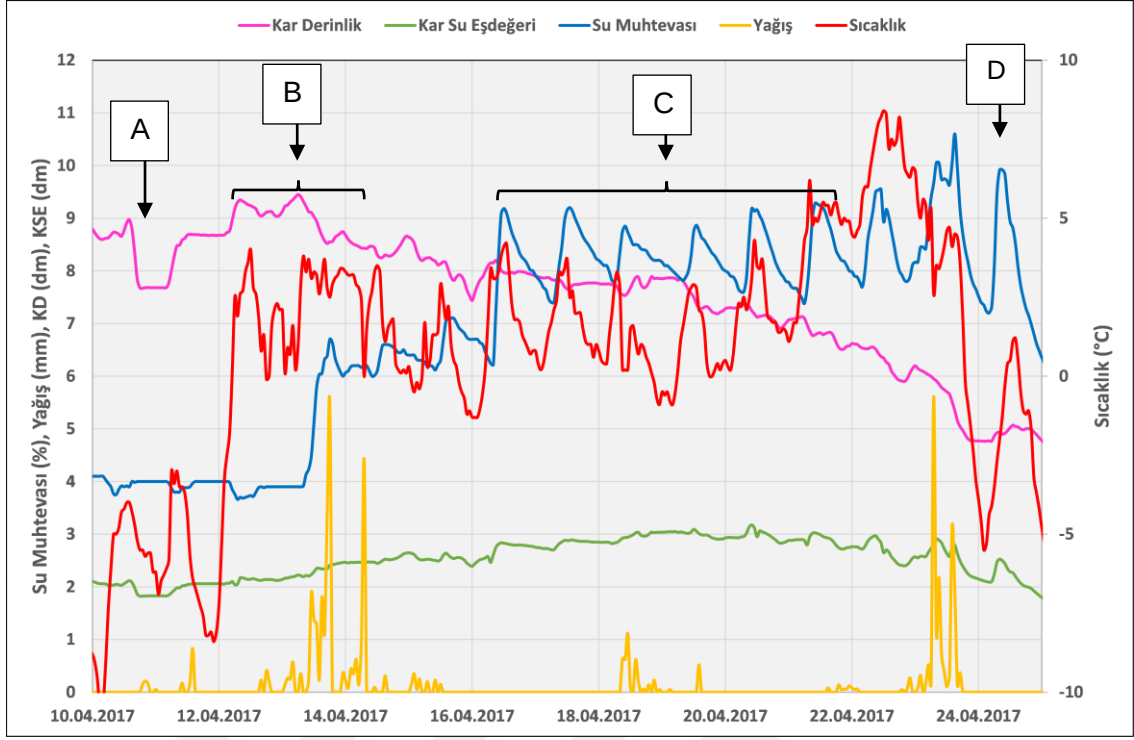
Şekil 3.25. 2018 kar sezonu Palandöken SPA istasyon örneği ve istasyon yanında yapılan münferit kar ölçümleri (tüp ve kar çukur analizi).

Ayrıca, her bir SPA istasyonu için 2015-2018 kar sezonları (1 Ekim-31 Mayıs arası 243 günlük periyot) boyunca istasyon değerlendirilmesi yapılmıştır. Tablo 3.11’de sunulduğu gibi her istasyon için kar sezonu çalışma periyodu içerisindeki verimliliği (%), negatif sıcaklık gün sayısı, ortalama sıcaklığı (°C), karlı gün sayısı ve maksimum/ortalama kar derinliği (cm) belirlenmiştir.

İstasyonlardaki kar durumu, kopukluklar yaşandığı günlerde meteorolojik verilerden desteklenerek ve bulundukları bölgenin kar sezonu gözetilerek değerlendirilmiştir. Buna göre SPA istasyonlarında; 2015 sezonunda ilk kar 28 Kasım 2015 tarihinde Palandöken istasyonunda, en son kar ise 20 Mayıs 2015 tarihinde Nemrut istasyonunda; 2016 sezonunda ilk kar 11 Kasım 2016 tarihinde Palandöken istasyonunda, en son kar ise 04 Mayıs 2016 tarihinde Nemrut istasyonunda; 2017 sezonunda ilk kar 01 Kasım 2017 tarihinde Palandöken istasyonunda, en son kar ise 20 Mayıs 2017 tarihinde Nemrut istasyonunda ve 2018 sezonunda ise ilk kar 07 Kasım 2018 tarihinde Palandöken istasyonunda, en son kar ise 25 Nisan 2018 tarihinde Palandöken istasyonunda ölçülmüştür. Beklenildiği gibi Türkiye’nin doğusunda hava sıcaklıkları 5-6 ay gibi uzun süre negatif seyrederken, batısında bu süre 1 ay ile sınırlı kalmıştır. Bunun sonucu olarak; Palandöken ve Nemrut gibi istasyonlar soğuk bir bölgede, diğer istasyonlar ise bunlara

göre daha ılıman bölgelerde konumlandırılmış oldukları ortaya çıkmaktadır. Bütün bunlara göre, kış şartlarının daha baskın olduğu Palandöken, Nemrut ve Ovacık gibi istasyonlarda daha fazla kar derinliği (90-240 cm) gözlenmiştir.

Kar örtüsü uygun atmosferik şartlar gerçekleştiği zaman erimeye başlasa da öncesinde sıcaklık değişimlerinin de etkisiyle yapısal anlamda farklılaştığı bir süreç geçirir. Gece hava sıcaklıklarının sıfırın altında ve gündüz sıcaklıklarının ise sıfırın üzerinde olduğu bu dönemlerde, kar örtüsü gece-gündüz arasında donma-erime günlük çevrimini gerçekleştirir. Kısa zaman aralıkları ile (10 dakika) ölçüm alan SPA istasyonu özellikle kar örtüsünün erime öncesi bu dönemde günlük çevriminin takibi konusunda faydalı olmaktadır. Şekil 3.26'da örnek olarak Palandöken SPA istasyonunun 2017 kar sezonunda 10-25 Nisan 2017 tarihleri arasındaki saatlik ölçümleri sunulmuştur. Buna göre, A bölgesinde hava sıcaklığının negatif seyrettiği durağan kış şartları geçerlidir. Bunu takiben, B bölgesinde hava sıcaklıkları ani bir şekilde artmış, meydana gelen bir yağış olayıyla birlikte su muhtevası yaklaşık %6-7 değerlerine ulaşmıştır. C bölgesinde ise su muhtevası %7-9 değerlerine çıkarken, kar örtüsünün günlük donma-erime günlük çevrimi net bir şekilde görülebilmektedir. Aynı bölgede KD azalırken KSE ise artmaktadır. Son olarak, D bölgesinde ise kar örtüsü taşıyabileceği maksimum su muhtevasına (%10) ve KSE'ye ulaşmıştır. Bu bölgeden sonra artık KSE hızlı bir şekilde azalmaya ve kar erimeye başlamıştır.



Şekil 3.26. 2017 kar sezonu Palandöken SPA istasyonu günlük çevrimi.

Tablo 3.11. 2015-2018 kar sezonları için (1 Ekim-31 Mayıs) SPA istasyonları meteorolojik ve kar analiz sonuçları.

	Palandöken	Nemrut	Cimil	Aydıntepe	Çamkoru	Bayramören	Bünyan	Ovacık	Kale	Pınarbaşı	İnebolu	
Yükseklik (m)	2610	2550	2072	1597	1450	1402	1335	1280	1190	1010	965	
Ölçüm Gün Sayısı (19 Kas-31 May)	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	-	2015
Verimlilik (%)	83	69	65	45	62	97	98	45	0.0	66	-	
Negatif Sıcaklık Gün Sayısı	131	132	83	62	79	52	30	60	-	30	-	
Ortalama Sıcaklık (°C)	-2.0	-1.4	0.62	2.4	1.9	3.1	4.9	2.0	-	5.2	-	
Karlı Gün Sayısı	161	134	89	45	60	89	36	59	0	65	-	
Maks./Ort. Kar Derinliği (cm)	138/62	235/147	114/30	25/5	41/9	56/10	21/3	92/29	0/0	83/9	-	
Ölçüm Gün Sayısı (1 Eki-31 May)	244	244	244	244	244	244	244	244	244	244	244	2016
Verimlilik (%)	95	95	21	34	21	0	32	88	0	43	58	
Negatif Sıcaklık Gün Sayısı	114	109	3	71	73	38	45	75	-	22	15	
Ortalama Sıcaklık (°C)	-1.1	-0.5	5.9	2.5	3.0	5.2	6.2	4.3	-	7.3	7.8	
Karlı Gün Sayısı	161	159	13	37	0	0	18	100	0	53	51	
Maks./Ort. Kar Derinliği (cm)	104/38	214/78	95/14	42/8	-	-	17/2	136/22	-	44/7	83/10	
Ölçüm Gün Sayısı (1 Eki-31 May)	243	243	243	243	243	243	243	243	243	243	243	2017
Verimlilik (%)	100	99	0	36	3	60	53	100	0	40	30	
Negatif Sıcaklık Gün Sayısı	153	143	0	98	101	82	64	92	-	60	45	
Ortalama Sıcaklık (°C)	-2.3	-1.2	-	1.4	1.2	3.2	4.2	2.1	-	4.6	5.5	
Karlı Gün Sayısı	185	182	0	41	1	86	41	113	0	55	72	
Maks./Ort. Kar Derinliği (cm)	91 / 44	195 / 64	196 / 64	28 / 10	0 / 0	59 / 14	21 / 3	116 / 32	0 / 0	37 / 9	71 / 19	
Ölçüm Gün Sayısı (1 Eki-31 May)	243	243	243	243	243	243	243	243	243	243	243	2018
Verimlilik (%)	98	98	0	68	0	0	0	83	0	0	18	
Negatif Sıcaklık Gün Sayısı	112	98	48	50	42	36	22	64	-	14	20	
Ortalama Sıcaklık (°C)	0.3	1.2	4.4	4.8	4.1	5.3	7.7	5.4	-	7.5	7.8	
Karlı Gün Sayısı	168	132	0	56	0	0	0	81	0	0	43	
Maks./Ort. Kar Derinliği (cm)	92/29	109/28	-	39/5	-	-	-	88/14	-	-	45/16	

3.3. Uzaktan Algılama ile Kar Ölçümleri

3.3.1. Giriş ve literatür

Kar hidrolojisinde, kar örtüsünün güvenli ve kesintisiz bir şekilde ölçülmesi ve verilerin toplanması en zor aşamalardan biridir. Hidrolojik döngü içerisinde önemli yeri olan kar örtüsü; bulunduğu alanın iklim özelliklerini etkilemekle kalmaz, aynı zamanda termal ve radyoaktif özellikleri nedeniyle toprak ve atmosfer değişkenlerini de etkiler. Arazi üzerinde karla kaplanmış olan bir bölgeye gelen güneş radyasyonunun hemen hemen hepsi kar yüzeyinden geriye yansımaktadır. Bu nedenle, kar örtüsünün takip edilmesinde uzaktan algılama (UA) ürünleri önemli bir yere sahiptir. Yer ölçümlerinden elde edilen gerçek zamanlı nokta verilerinin yanı sıra, yakın gerçek zamanlı değişimleri de uydu ürünleri kullanarak daha geniş alansal temsiliyete sahip olacak şekilde takip etmek mümkün olmaktadır. Kar albedosunun yüksek olmasından dolayı, farklı dalga boylarında kar görüntüsü alan uydular bulunmakta ve kar hidrolojisi alanında yapılan çalışmalarda farklı şekillerde kullanılmaktadırlar.

Yeryüzü Gözlem (Earth Observation–EO) uydu verisi, kar hidrolojisinde 1970’li yıllarda uygulanmaya başlamıştır. Öncü çalışmalar, Rango vd., (1977) tarafından EO verisiyle Alp dağlarında karla kaplı alan uygulaması olarak yapılmış ve akım tahmini gerçekleştirmiştir. EO verisi kullanılarak yapılan, o güne kadarki kar ve buz haritalama çalışmaları Hall ve Martinec, (1985) tarafından özetlenmiştir. Uydu görüntüsünden üretilen karla kaplı alan verisinin hidrolojik modellemede kullanılmasının yararını gösteren öncü bir çalışma Martinec ve Rango, (1987) tarafından sunulmuştur. Wiesnet vd., (1987) karla kaplı alanların haritalanması için uzaktan algılama ürünlerinin önemini ilk vurgulayan çalışmalardan biri olmuştur. Seidel vd., (1994); Baumgartner ve Rango (1995); Rango (1996); Nagler ve Rott (1997) bireysel olarak sık sık karla kaplı alan izleme çalışmaları gerçekleştirmişlerdir. Ancak geniş kullanıcı kitlesiyle paylaşılan metod ve uygulama sonuçları özellikle Avrupa’da HydAlp (Rott vd., 2000) ve SnowTools (Gueriussen vd., 2000) projeleri ile başlamış olup; Harmosnow (<http://harmosnow.eu/>), SnowEx (<https://snow.nasa.gov/>) gibi projelerle son dönemlerde de devam etmektedir. Türkiye’de geniş alanlar için uydularla kar izleme çalışmaları 1990’lı yılların sonunda başlatılmış ve yeni uyduların katılımlarıyla ilerletilerek devam ettirilmektedir (Kaya, 1999; Akyürek ve Şorman, 2002; Tekeli vd., 2005; Tekeli, 2008; Şorman vd., 2009; Akyürek vd., 2011; Şorman ve Beşer, 2013; Sönmez vd., 2014 ve Kuter vd., 2018).

Ayrıca Türkiye’de, 2005 yılında Avrupa Meteoroloji Uyduları İşletme Örgütü (EUMETSAT) tarafından başlatılan ve desteklenen H-SAF (Su Kaynaklarında Uydu Uygulamaları) projesi kapsamında Avrupa’daki dağlık alanlarda kar uydu görüntüleri üretmek, doğrulamak ve hidrolojik modellerde uygulamaktan sorumlu ülke konumundadır (<http://hsaf.meteoam.it/>).

Uyduyan elde edilen uzun ve sürekli kar örtüsü verilerinin, kar hidrolojisi ve operasyonel kar erimesi akış tahminleri analizi için faydası olmaktadır. Karla kaplı alan-süre, kar olasılık, kar çizgisi ve kar çekilme haritaları gibi bulgular uzun dönem uydu görüntülerinden elde edilebilmektedir. Bununla ilgili bilimsel literatür incelendiği zaman, özellikle son yıllarda yapılmış olan çalışmalar dikkat çekmektedir. Brander vd., (2000) sınırlı sayıda Landsat-TM görüntüsü kullanarak kar örtü süresi haritalarını türetmiştir. Richer, (2009), Colorado’daki bir havza için kar olasılık haritaları ve 2000-2006 erime dönemlerinde MODIS’in 8 günlük kar örtüsü ürünlerini kullanarak, mekânsal ve zamansal kar dağılım değişimlerini incelemiştir. Ayrıca Şensoy ve Uysal, (2012), sınırlı sayıda MODIS kar örtüsü verileriyle kar yağış tahmininde olasılık yaklaşımını geliştirmişlerdir. Gafurov vd., (2015), geçmiş yer gözlem kar derinliği verileri, uzaktan algılama kar örtüsü verileri ve topoğrafik verileri kullanarak geçmiş kar örtüsünü yeniden oluşturmak için istasyon kayıtları ve alansal kar örtüsü modelleri arasındaki korelasyonlara dayanan bir metodoloji sunmuştur. Çoşkun, (2016) ise yaptığı yüksek lisans tez çalışmasında kar hidrolojisinde yaygın olarak kullanılan MODIS, MSG-SEVIRI ve IMS kar uydu ürünlerinin Türkiye’nin doğu bölgesinde bulunan 50 yer gözlem istasyonundan elde edilen veriler ile doğrulanmasını yapmıştır. Bulut etkisini azaltmak için harmanlama çalışması yapılmış, harmanlama çalışmasının her basamağına doğruluk analizi uygulanmış ve uydu ürünleri kendi içerisinde zamansal ve mekânsal özellikleri doğrultusunda karşılaştırılmıştır. Arslan vd., (2017), uzaktan erişimi bulunan kamera sistemi ile Finlandiya’da bulunan ormanlık alanlar için Etkili Karla Kaplı Alan (EKKA) tespiti konusunda bir çalışma yapmışlar ve sonuçları uydu görüntüleri ile kıyaslamışlardır. Son zamanlarda ise; Tekeli vd., (2016), Türkiye genelinde Interactive Multi Sensor Snow and Ice Mapping System (IMS) kar uydu ürünlerini kullanarak kar olasılık haritalarını hesaplamış ve Şorman vd., (2019) ise bulut filtresi uygulanmış günlük MODIS kar uydu görüntülerini kullanarak Olasılıklı Kar Çekilme Eğrileri (P-SDC) ve Olasılıklı Kar Çizgilerini (P-SL) elde etmişlerdir. Ayrıca; Leppänen, (2019) yapmış olduğu çalışmada, uzaktan algılama gözlemlerinden daha doğru bir KSE belirlemek ve

pasif mikrodalga gözlemlerini yorumlamak için mevsimsel kar bileşenlerinin ölçümü ve mikro yapısal olarak modellenmesini amaçlamıştır. Pasif mikrodalga gözlemlerinin yorumlanmasındaki ana zorlukların, kar bileşenlerinin mekânsal değişkenliği ve hesaplama algoritmalarındaki kar mikro yapısının yetersiz temsiliyeti olduğu vurgulanmıştır.

3.3.2. Kar hidrolojisinde uzaktan algılama

Albedo, genel olarak bir nesnenin yüzeyine gelen ışığın geri yansıtılma kapasitesi olup, yüzeyden yansıyan radyasyonun gelen radyasyona oranı ile bulunur. Kar örtüsü içinse, gelen radyasyonu yansıtma gücü kar albedosu olarak tanımlanır. Karın kirlilik oranı ve yeni ya da eski kar olup olmadığı gibi etmenler, kar albedosunu etkileyen unsurlardır. Yeni yağan kar için albedo değeri 0.80-0.90 seviyesinde iken, eski ve kirlenmiş kar için bu değer 0.30-0.40 seviyelerine kadar düşebilmektedir Albedo ölçümü arazi üzerinde albedo ölçen sensörler ile yapılmaktadır (Şekil 3.27).



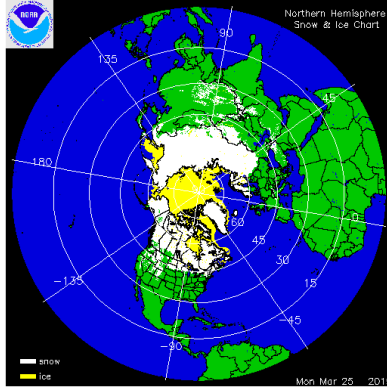
Şekil 3.27. Kar kütlesinin albedosunun belirlenmesi

Karın doğadaki en parlak objelerden birisi olması nedeniyle, yeryüzündeki kar örtüsünü uzaktan algılama (UA) yöntemleriyle takip etmek yaygınca kullanılmaktadır. Uzaktan algılama; fiziksel bir temas olmadan, nesneler ile ilgili uzaktan bilgi toplanması veya yayılan radyasyonun nitelik ve nicelik yönünden değerlendirilerek özelliklerinin belirlenmesi ve/veya ölçülmesi şeklinde tanımlanabilir. Son dönemlerde, özellikle alansal

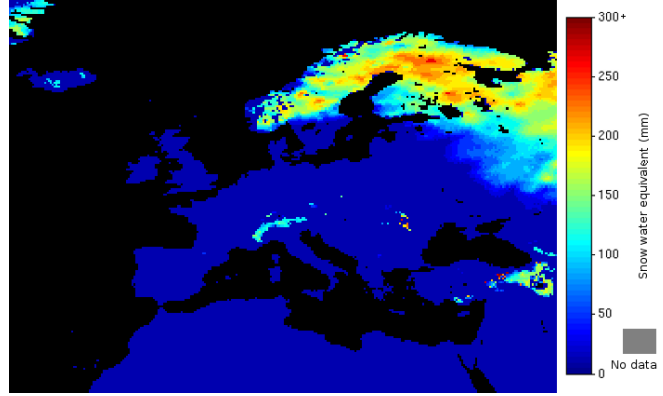
temsiliyetin önemli olduğu kar hidrolojisi gibi bilimsel ve mühendislik tabanlı çalışmalarda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Havza içerisindeki Karla Kaplı Alan (KKA) dağılımının tespiti, kar bileşenlerinin zamanla değişimi ve çeşitli doğrulama çalışmaları yaygın kullanım alanlarıdır.

Algılayıcılar (sensör), uzaktan algılama sisteminin en önemli parçası olarak görev yapmakta ve bulundukları platformların özelliklerine göre çeşitlenebilmektedirler. Yaygın olarak uydu tabanlı uzaktan algılama sistemleri bulunurken, yer, uçak veya insansız hava aracı (İHA) tabanlı uzaktan algılama sistemleri de mevcuttur. Uydu tabanlı uzaktan algılama sistemleri için çok farklı sınıflandırmalar söz konusu iken, genel olarak algılayıcıların tipine göre sınıflandırılır. Uydular algılama tekniğinde kullandıkları enerji kaynaklarına göre aktif ve pasif sistemler olmak üzere ikiye ayrılırlar. Karın mekânsal ve zamansal dağılımı göz önüne alındığında, KKA ve KSE gibi değişkenler için sırasıyla optik ve pasif mikrodalga uydu görüntüleri kullanılabilir. KKA'nın operasyonel olarak izlenmesinde orta ölçekli mekânsal, günlük zamansal çözünürlüklü ve bulutsuz görüntü elde edilmesi açısından filtrelemeye sahip optik uydu görüntüleri tercih edilmektedir. KSE'nin takibi için ise karın yüzey ve yüzey altı (karın içine girerek) özelliklerinin belirlenebildiği pasif mikro dalga uydu görüntüleri kullanılmaktadır.

Bu tez çalışması kapsamında, NOAA tarafından üretilen IMS / Karla Kaplı Alan (KKA) ve Avrupa Meteoroloji Uyduları (EUMETSAT) H-SAF projesi kapsamında üretilen H-13 / Kar Su Eşdeğeri (KSE) uydu ürünleri, otomatik kar gözlem istasyonlarının değerlendirilmesi için kullanılmıştır (Şekil 3.28). IMS (Versiyon 1.2) uydu görüntüsü 1 günlük zamansal ve 4 km x 4 km mekânsal çözünürlüğe sahiptir. H-13 uydu ürünü ise Special Sensor Microwave Imager Sounder (SSMIS) uydusunun pasif mikrodalga sensörleri ile üretilmekte olup, 1 günlük zamansal ve 25 km x 25 km mekânsal çözünürlüğe sahiptir.



a) IMS-Karla Kaplı Alan (KKA)



b) H-13-Kar Su Eşdeğeri (KSE)

Şekil 3.28. 12 Mart 2019 tarihli IMS ve H13 uydu görüntüleri

3.3.3. Karla kaplı alan (KKA) uydu ürünü

3.3.3.1. *Interactive multisensory snow and ice mapping system (IMS) uydu ürünü*

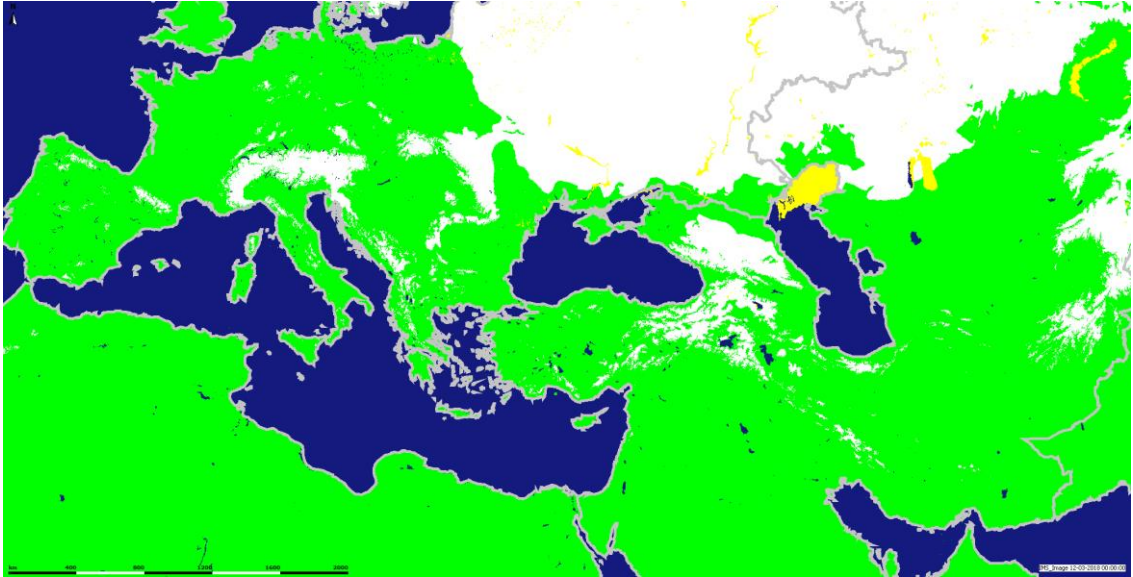
1966’da bu yana “The National Oceanic and Atmospheric Administration / National Environmental Satellite, Data, and Information Service (NOAA/NESDIS)” kullanılmakta olan “Interactive Multisensor Snow and Ice Mapping System (IMS)” karla kaplı uydu ürünü kar ve buz kaplı alanları takip etmek için en uzun kayıt geçmişine sahiptir. IMS uydu ürünü, kullanıcılar için farklı mekânsal ve zamansal çözünürlükte toprak, kar, su ve buz için ayrı değerleri gözlemlemelerine olanak sağlar (Tablo 3.12).

Tablo 3.12. NOAA/NESDIS tarafından üretilen IMS uydu görüntüsünün tarihsel özeti.

Ürün Adı	Zamansal Çözünürlük	Mekânsal Çözünürlük	Kayıt Arşivi
Northern Hemisphere Snow and Ice Boundaries	Haftalık	Kâğıt formatında	1966-1993
IMS Daily Northern Hemisphere Snow and Ice Analysis, Version 1.1	Günlük	24 km (1024x1024)	1997-Günümüz
IMS Daily Northern Hemisphere Snow and Ice Analysis, Version 1.2	Günlük	4 km (6144x6144)	2004-Günümüz
IMS Daily Northern Hemisphere Snow and Ice Analysis, Version 1.3	Günlük	1 km (24576x24576)	2014-Günümüz

Öncül IMS uydu görüntüleri; hidrolojik uygulamalarda, sayısal hava tahmin modellerinde, iklim çalışmalarında ve yüzey sınır koşullarının belirlenmesinde kullanılmak üzere günlük Kuzey Yarımküre kar haritası sunmaktadır (Ramsey, 1998). Teknolojik gelişmelere bağlı olarak; IMS uydu görüntüsü, mekânsal ve zamansal çözünürlükleri iyileştirerek operasyonel anlamda karla kaplı alan takibine imkân tanımaya başlamıştır. Yakın dönemler içerisinde IMS uydu görüntüsüne; birkaç uydu, istasyon verisi ve diğer veri kaynakları eklenmiştir. Ayrıca, bulutun kapladığı bölgeler için genellikle düşük çözünürlükte pasif mikrodalga verileri ve mümkün olduğunda yer gözlemleri göz önünde bulundurularak bulut temizleme işlemi yapılmaktadır. Farklı uydular, veri kaynakları ve ekipmanlar kullanılmasının bir sonucu olarak, IMS uydu ürünleri bulutsuz görüntüler sağlayabilmektedir.

Bu tez çalışması kapsamında, 2008-2018 yılları için 4 km x 4 km mekânsal çözünürlüğe sahip günlük IMS uydu ürünü (Versiyon 1.3) NSIDC aracılığıyla ücretsiz olarak elde edilmiştir. “Tiff” veya “Ascii” formatlarında bulunabilen IMS görüntüleri için ascii formatı tercih edilmiş ve Delft Flood Early Warning System (Delft-FEWS) platformu IMS uydu görüntülerinin açılıp analiz edilmesi için kullanılmıştır (<http://www.deltares.nl/>). Açık kaynaklı ve ücretsiz kullanılabilen Delft-FEWS platformunun Windows işletim sistemine uyumlu versiyonu internetten indirilip kullanılabilir (Şekil 3.29).



Şekil 3.29. 12 Mart 2019 tarihli örnek IMS uydu görüntüsünün Delft-FEWS platformunda açılmış hali.

3.3.3.2. *Kar olasılık hesaplamaları*

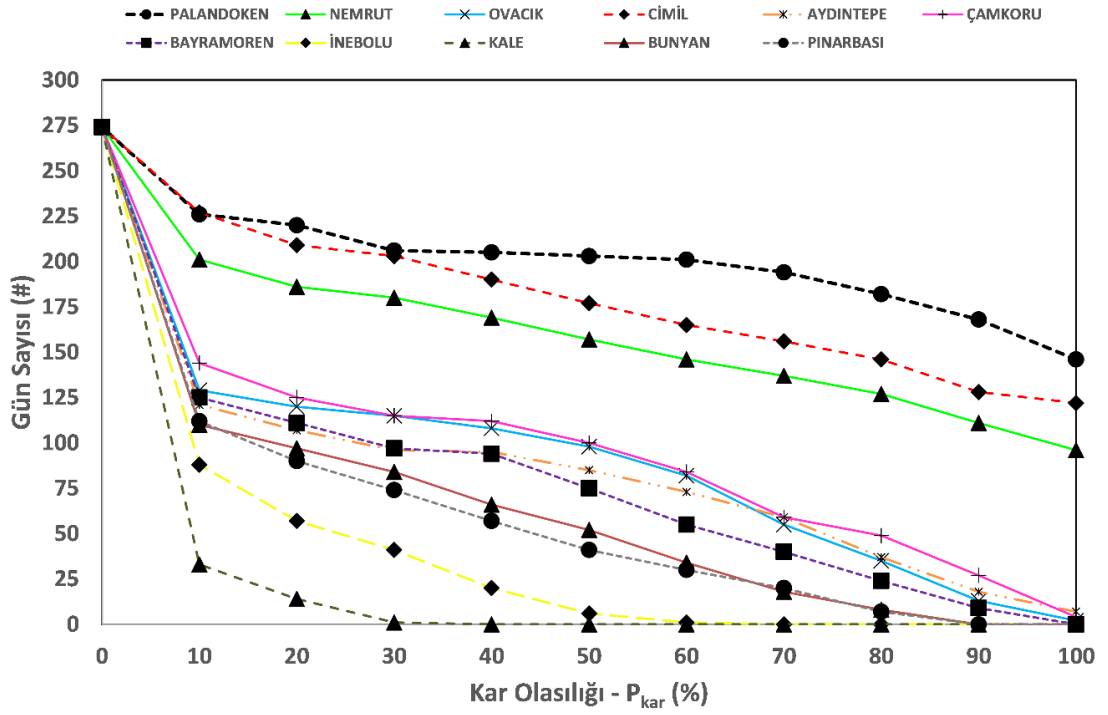
Uzun ve kesintisiz arşivlenmiş uydu görüntüleri, kar örtüsünün yakın gerçek zamanlı takibinde olduğu gibi bölgesel uzun dönem kar analizleri için de faydalı olmaktadır. Karla kaplı alan-süre, kar olasılık, kar çizgisi ve kar çekilme haritaları gibi bulgular, uzun dönem uydu görüntülerinden elde edilebilmektedir. Uydu piksellerine dayalı yapılan bu tarz analizler, özellikle kar baskın bölgeler için hidrolojik açıdan önemli sonuçlar verebilmektedir.

Bu tez çalışması kapsamında, SPA istasyonlarının içerisinde bulunduğu pikseller için 2008-2018 yıllarında arşivlenmiş olan IMS uydu görüntüleri kullanılarak, aşağıda detaylı olarak açıklanan Kar Olasılığı (Probability of Snow- P_{kar}) hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar bütün SPA kar ölçüm istasyonları için Şekil 3.30'da sunulmuştur. Buna göre; kar olma ihtimali en fazla olan istasyonlar Palandöken, Cimil ve Nemrut iken, en az olanlar ise Kale ve İnebolu'dur. En fazla kar olma ihtimaline sahip Palandöken istasyonu %100 oranla 146 gün karlıdır. Onu takip eden istasyonlar ise sırasıyla 122 ve 98 gün ile Cimil ve Nemrut istasyonlarıdır.

$$P_{kar} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{n} * 100 \quad (3.8)$$

P_{kar} : Kar olasılığı

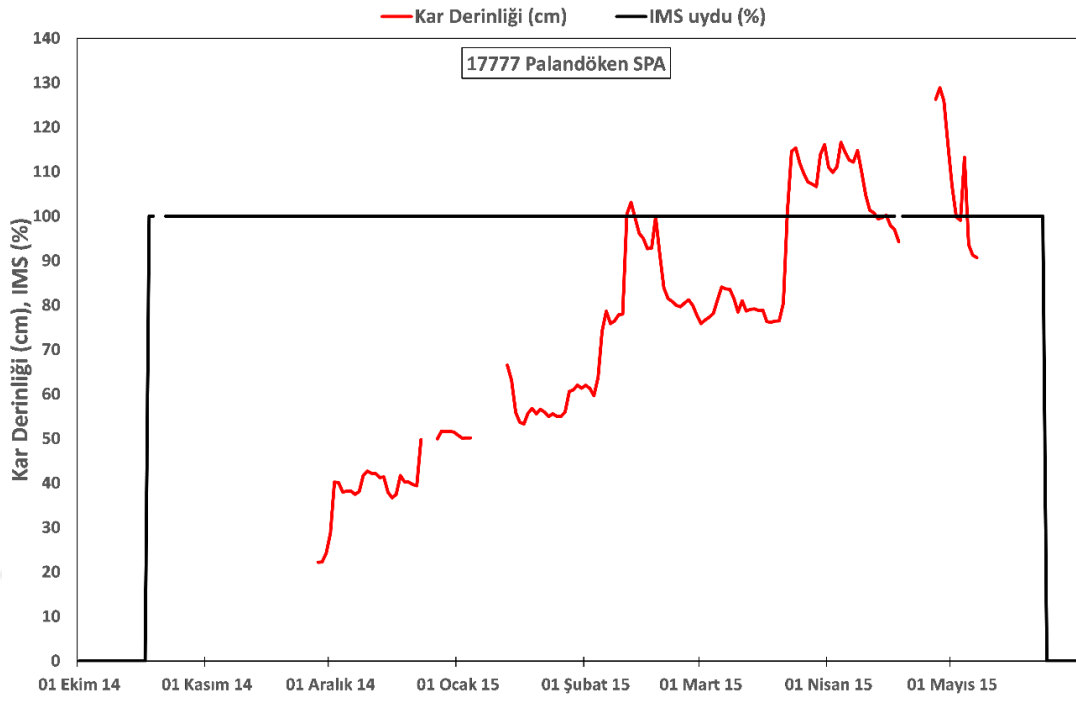
n: Uydu gözlem yılı sayısı



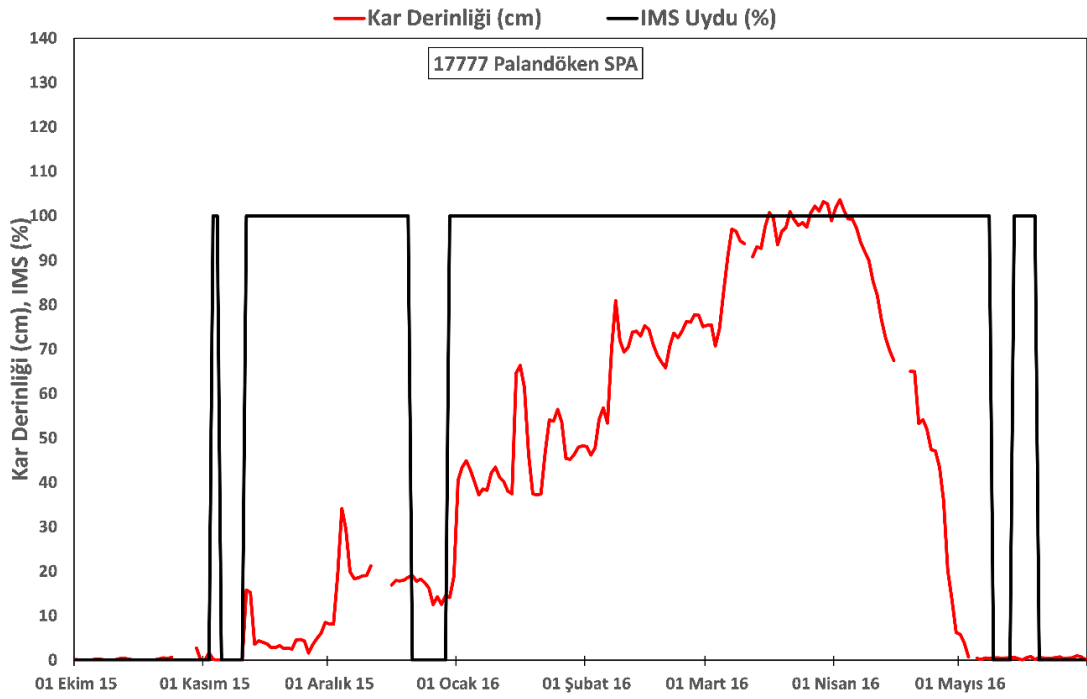
Şekil 3.30. SPA istasyonları için kar olasılığı (P_{kar}) dağılımı.

3.3.3.3. Otomatik istasyonlar ile uydu tutarlılıklarının incelenmesi

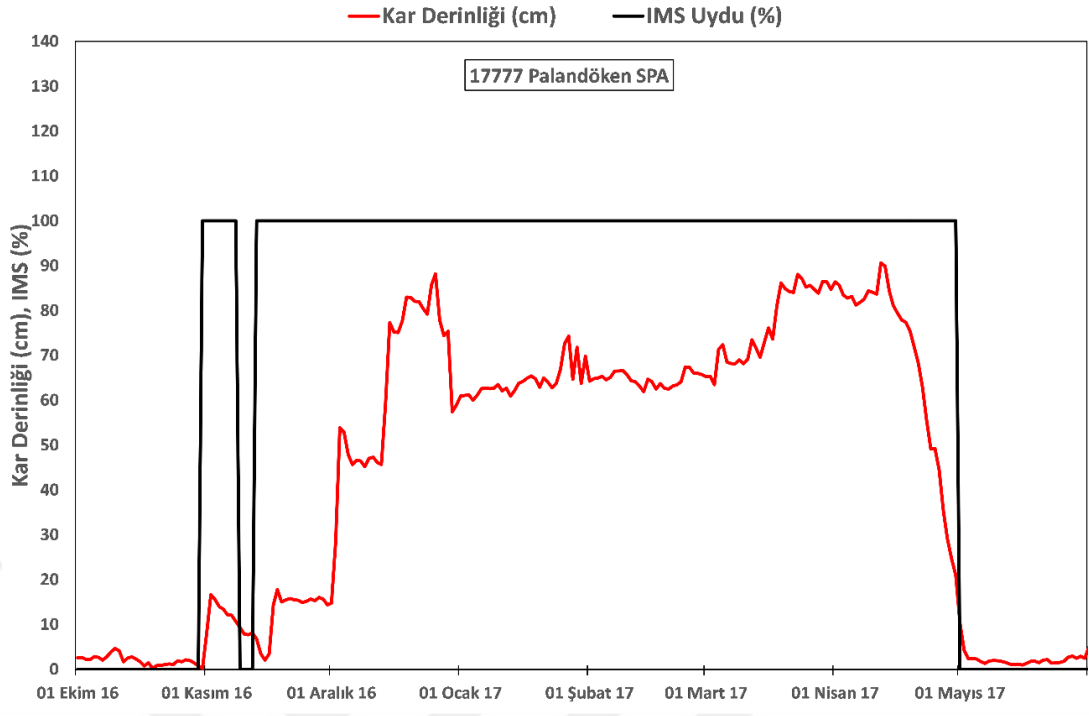
IMS uydu görüntüsü, söz konusu piksel alanı için kar var (1) / yok (0) bilgisi vermektedir. SPA otomatik kar istasyonları da kar derinliklerine bakılarak; kar derinliğinin belirli bir değerden ($KD > 1$ cm) fazla olup olmamasına göre kar var (1) / yok (0) şekline dönüştürülmüştür. İstasyonun içinde bulunduğu IMS uydu görüntüsü pikseli kestirilerek sürekli karla kaplı alan değerleri elde edilmiştir. Şekil 3.31’de örnek olarak Palandöken SPA istasyonu ve IMS uydu görüntüsünün 2015, 2016, 2017 ve 2018 yılları için grafiksel ilişkisi sunulmuştur.



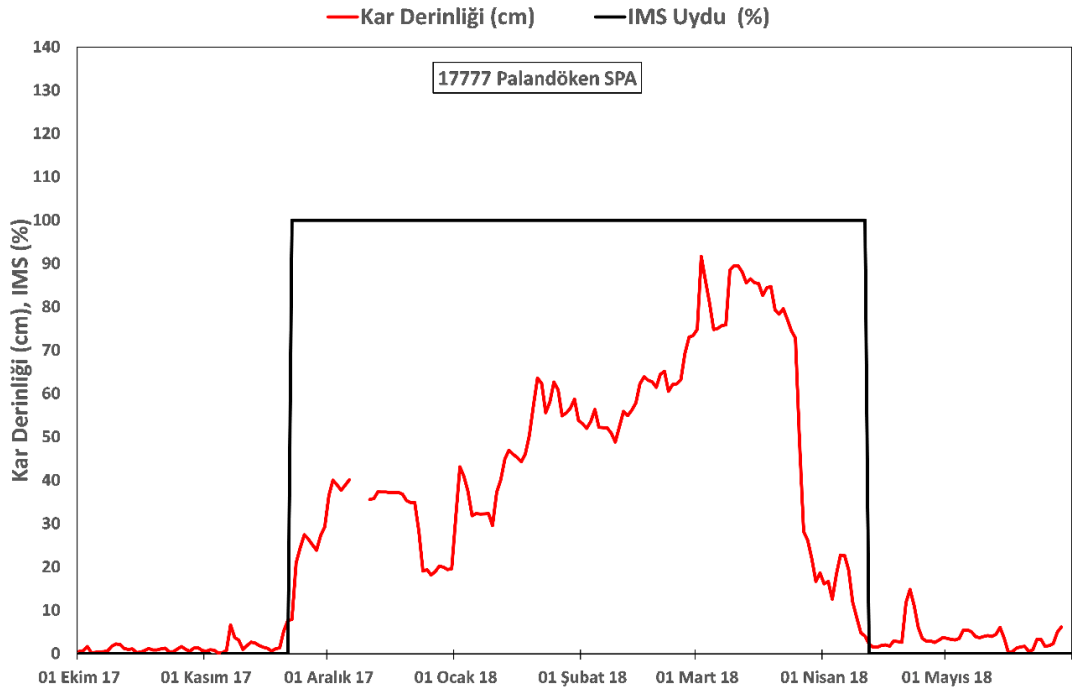
a) 2015



b) 2016



c) 2017



d) 2018

Şekil 3.31. 2015-2018 kar sezonları için Palandöken SPA ve IMS uydu ilişkisi

Buna ek olarak, IMS uydu görüntüsünün yer gözlemleri ile istatistiksel tutarlılığını irdelemek için Tablo 3.13 ve Tablo 3.14'te özetlendiği gibi “Tutarlılık Tablosu (Contingency Table)” hazırlanmıştır. Buna göre, otomatik gözlem istasyonu ile uydu görüntüsünün yerde kar olup olmama durumlarına göre performans değerlendirmesi yapılmıştır.

Tablo 3.13. Tutarlılık tablosunun detaylı gösterimi

Uydu Ürünü	Yer Gözlem Verisi	
	Evet, (KD>1 cm)	Hayır, (KD<1 cm)
	Evet Hayır	A B C D

A = Olanı Yakalama Sayısı (Hits)

B = Yanlış Alarm Sayısı (False Alarms)

C = Kaçırma Sayısı (Misses)

D = Olmayanı Yakalama Sayısı (Correct Negatives)

Tablo 3.14. Tutarlılık analizleri için kullanılan kriterlerin formülleri ve değer aralıkları

Kriter	Kısaltma	Formül	Aralık	En Başarılı Değer
Yanlılık (Bias)	BIAS	$(A+B)/(A+C)$	0 ~ sonsuz	1
Yakalama Olasılığı (Probability of Detection)	POD	$A/(A+C)$	0 ~ 1	1
Yanlış Alarm Oranı (False Alarm Rate)	FAR	$B/(A+B)$	0 ~ 1	0
Yanlış Yakalama Olasılığı (Probability of False Detection)	POFD	$B/(B+D)$	0 ~ 1	0
Kritik Başarı İndeksi (Critical Success Index)	CSI	$A/(A+B+C)$	0 ~ 1	1
İsabet Oranı (Hit Rate)	HR	$(A+D)/(A+B+C+D)$	0 ~ 1	1

2015-2018 kar sezonları için elde edilen tüm bulgular Tablo 3.15-Tablo 3.18 tablolarında özetlenmiştir. Sonuçlar incelendiği zaman, uydu verisi ve otomatik kar ölçüm istasyonundan elde edilen gözlem çifti sayılarının yıldan yıla ve istasyona bağlı olarak değiştiği net bir şekilde görülebilmektedir. Beklenildiği gibi zorlu kış şartlarının hâkim olduğu bölgelerde bulunan Palandöken, Nemrut ve Ovacık gibi istasyonların gözlem çifti sayısı diğer istasyonlara göre genel olarak daha fazladır.

Sunulan tüm değerlendirme kriterlerinin farklı istatistiksel anlamlarının olması, uydu ile yer gözlemi arasında yapılan değerlendirmeleri çeşitlendirmektedir. Uydunun yer gözlemlerine göre yanlışlığı ifade eden BIAS kriterine göre; tüm istasyonların 2015-2018 sezonları içerisinde yanlışlıkları 0.35 ile 2.15 arasında değişmektedir. BIAS'ın 1 değerinden büyük olması istasyonun uyduya göre daha fazla yerde kar olduğunu, 1 değerinden küçük olması ise uydunun istasyona göre daha fazla yerde kar olduğunu tespit ettiği anlamına gelmektedir. Buna göre dört yıl içerisinde Palandöken SPA istasyonunun 1'den büyük BIAS değerlerine sahip olması, istasyonun uydudan daha fazla yerde kar olduğunu tespit ettiğini göstermektedir. Başka bir deyişle, uydu yerde kar olan bazı günleri yakalayamamış ve başarısız olmuştur.

2015-2018 kar sezonları için bütün SPA istasyonlarının IMS uydu görüntüleriyle ilişkisi Şekil 3.32'de sunulmuştur. Bu grafikte bütün SPA istasyonlarının CSI kriterine göre sıralanmış sütun POD, CSI, FAR ve çizgisel BIAS sonuçları gösterilmektedir. Buna göre; Bayramören, Cimil, Çamkoru ve Bünyan gibi istasyonların POD açısından oldukça başarılı ($POD = 1.00$) gözükmelerine rağmen, aslında yanlış yani BIAS değerlerinin yüksek oluşu ve FAR açısından da oldukça başarısız oldukları net bir şekilde görülmektedir. Bu sonuçlara göre, yer gözlemi ve uydu değerlendirmelerinde gözlem çifti sayısının dikkat edilmesi gereken nokta olduğu ortaya çıkmaktadır.

Tablo 3.15. 2015 kar sezonu için IMS uydu görüntüsü ile SPA yer gözleminin değerlendirilmesi

2015 Kar Sezonu IMS Uydu ve SPA İstasyon Değerlendirmesi								
	Yükseklik (m)	Gözlem Sayısı	BIAS	POD	FAR	CSI	POFD	HR
Palandöken	2600	160	1.00	1.00	0.00	1.00	-	1.00
Nemrut	2550	134	0.84	0.84	0.00	0.84	0.00	0.86
Cimil	2072	106	1.46	1.00	0.32	0.68	0.73	0.72
Aydıntepe	1597	129	0.35	0.35	0.00	0.35	0.00	0.53
Bayramören	1450	193	1.14	1.00	0.13	0.88	0.08	0.95
Çamkoru	1402	193	1.85	1.00	0.46	0.54	0.44	0.71
Bünyan	1335	193	2.00	1.00	0.50	0.50	0.10	0.91
Ovacık	1280	87	0.46	0.46	0.00	0.46	0.00	0.76
Kale	1190	-	SPA verisi yok.					
Pınarbaşı	1010	187	1.04	0.80	0.23	0.65	0.10	0.87
İnebolu	965	-	İstasyon 2016 yılında kuruldu.					

Tablo 3.16. 2016 kar sezonu için IMS uydu görüntüsü ile SPA yer gözleminin değerlendirilmesi

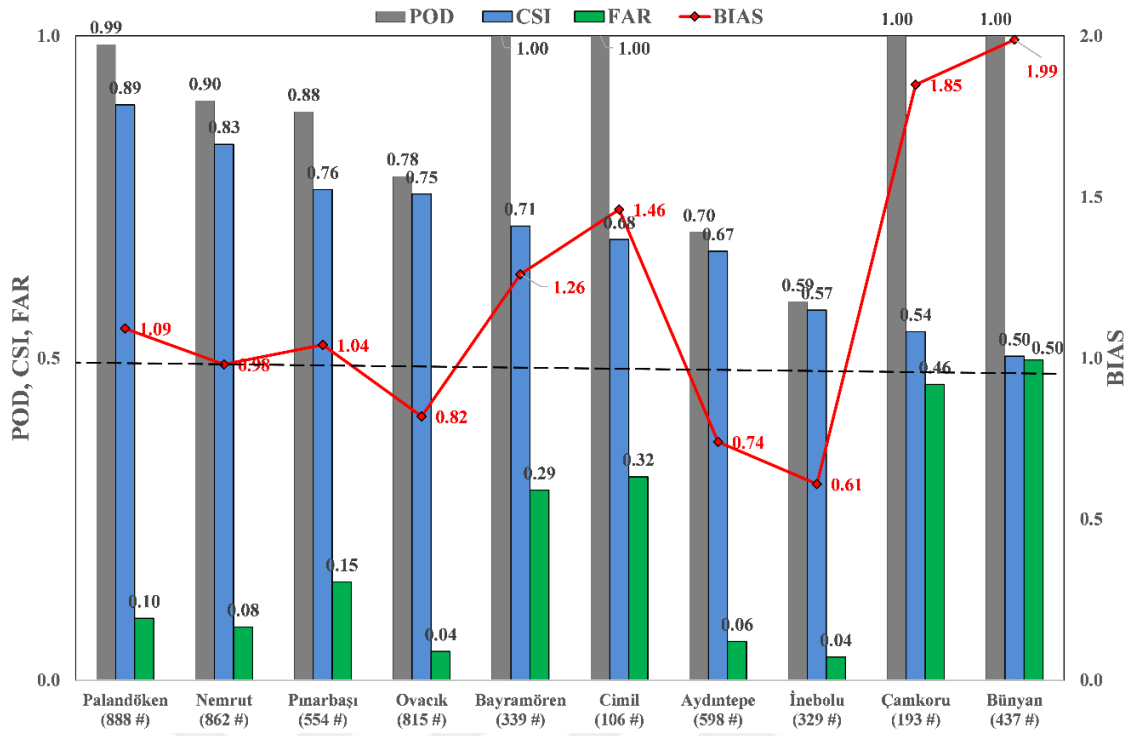
2016 Kar Sezonu IMS Uydu ve SPA İstasyon Değerlendirmesi								
	Yükseklik (m)	Gözlem Sayısı	BIAS	POD	FAR	CSI	POFD	HR
Palandöken	2600	244	1.03	0.95	0.08	0.88	0.20	0.91
Nemrut	2550	244	0.96	0.92	0.04	0.89	0.08	0.92
Cimil	2072	-	SPA verisi yok					
Aydıntepe	1597	138	0.99	0.99	0.00	0.99	0.00	0.99
Bayramören	1450	-	SPA verisi yok					
Çamkoru	1402	-	SPA verisi yok					
Bünyan	1335	78	2.45	1.00	0.59	0.41	0.50	0.63
Ovacık	1280	244	0.82	0.80	0.02	0.79	0.02	0.89
Kale	1190	-	SPA verisi yok					
Pınarbaşı	1010	244	1.08	0.93	0.14	0.81	0.05	0.95
İnebolu	965	219	0.40	0.40	0.00	0.40	0.00	0.80

Tablo 3.17. 2017 kar sezonu için IMS uydu görüntüsü ile SPA yer gözleminin değerlendirilmesi

2017 Kar Sezonu IMS Uydu ve SPA İstasyon Değerlendirmesi								
	Yükseklik (m)	Gözlem Sayısı	BIAS	POD	FAR	CSI	POFD	HR
Palandöken	2600	243	1.16	1.00	0.14	0.86	0.50	0.88
Nemrut	2550	243	1.05	0.93	0.11	0.83	0.40	0.86
Cimil	2072	-			SPA verisi yok			
Aydıntepe	1597	136	1.03	0.96	0.06	0.90	0.08	0.94
Bayramören	1450	146	1.41	1.00	0.29	0.71	0.24	0.85
Çamkoru	1402	-			SPA verisi yok			
Bünyan	1335	145	1.79	1.00	0.44	0.56	0.38	0.74
Ovacık	1280	243	0.89	0.89	0.00	0.89	0.00	0.95
Kale	1190	-			SPA verisi yok			
Pınarbaşı	1010	123	1.00	0.91	0.09	0.83	0.07	0.92
İnebolu	965	68	0.87	0.87	0.00	0.87	0.00	0.90

Tablo 3.18. 2018 kar sezonu için IMS uydu görüntüsü ile SPA yer gözleminin değerlendirilmesi

2018 Kar Sezonu IMS Uydu ve SPA İstasyon Değerlendirmesi								
	Yükseklik (m)	Gözlem Sayısı	BIAS	POD	FAR	CSI	POFD	HR
Palandöken	2600	241	1.17	1.00	0.14	0.86	0.39	0.88
Nemrut	2550	241	1.04	0.88	0.15	0.75	0.21	0.84
Cimil	2072	-			SPA verisi yok			
Aydıntepe	1597	195	0.67	0.54	0.20	0.47	0.07	0.79
Bayramören	1450	-			SPA verisi yok			
Çamkoru	1402	-			SPA verisi yok			
Bünyan	1335	-			SPA verisi yok			
Ovacık	1280	241	0.88	0.76	0.13	0.69	0.09	0.85
Kale	1190	-			SPA verisi yok			
Pınarbaşı	1010	-			SPA verisi yok			
İnebolu	965	42	0.64	0.50	0.22	0.44	0.07	0.79



Şekil 3.32. 2015-2018 kar sezonları için bütün SPA istasyonları ve IMS uydu ilişkisi.

3.3.4. Kar su eşdeğeri (KSE) uydu ürünü

3.3.4.1. *Special sensor microwave imager/sounder (SSM/I/S) uydu ürünü*

2005 tarihinde kurulan H-SAF (EUMETSAT Satellite Application Facility on Support to Operational Hydrology and Water Management) EUMETSAT'ın (European Organization for the Exploitation of Meteorological Satellites) bir alt kuruluşu olarak görev yapmaktadır. H-SAF operasyonel olarak, gözlem uydularından elde edilen yağış, toprak nemi ve kar ürünlerini sunmaktadır. Karla kaplı alan (H-10), kar durumu (kuru/ıslak) (H-11), efektif karla kaplı alan (H-12) ve kar su eşdeğeri (H-13) üretilen kar ürünleridir (Tablo 3.19).

Tablo 3.19. H-SAF ürünlerinin detaylı listesi.

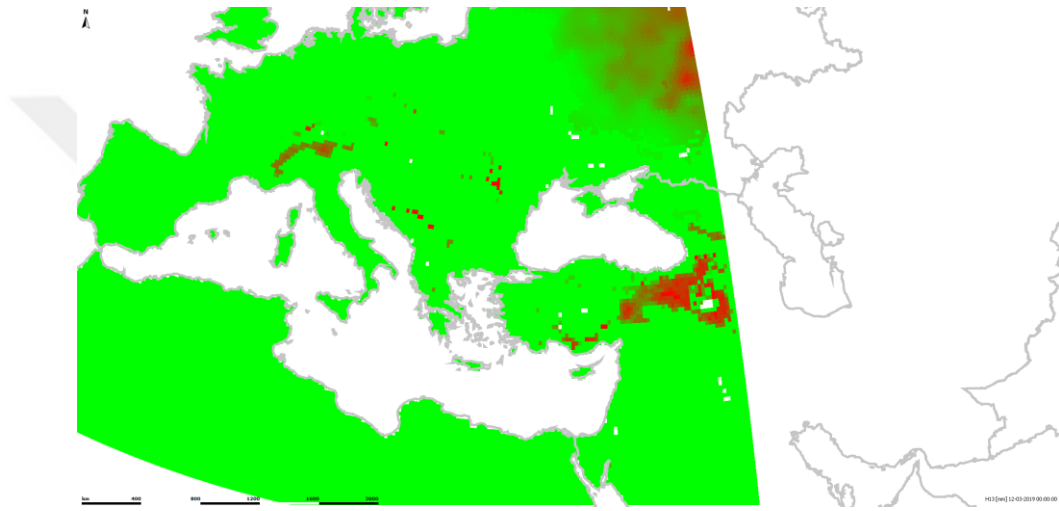
Ürün	Kısaltma	Açıklama
SN-OBS-1	H-10	Karla kaplı alan (VIS/IR radiometry)
SN-OBS-2	H-11	Kar durumu (kuru/ıslak) (MW radiometry)
SN-OBS-3	H-12	Efektif karla kaplı alan (VIS/IR radiometry)
SN-OBS-4	H-13	Kar su eşdeğeri (MW radiometry)

SN-OBS-4 kar su eşdeğeri ürünü, temel olarak 4 Mayıs 2002'de NASA (National Aeronautics and Space Administration) tarafından uzaya gönderilmiş EOS-Aqua uydusunun üzerinde bulunan AMSR-E (Advanced Microwave Scanning Radiometer-Earth Observing System) mikrodalga radyometresine dayanmaktadır. AMSR-E 6 farklı frekansta 12 kanal üzerinden ölçüm alabilen bir pasif ve kısa dalga radyometre sistemidir. Yatay ve dikey olmak üzere 6.9 GHz, 10.7 GHz, 18.7 GHz, 23.8 GHz, 36.5 GHz ve 89.0 GHz frekanslarında sıcaklık parlaklığı (brightness temperature) ölçümü yapabilmektedir. Mekânsal çözünürlüğü 89.0 GHz'te 5.4 km'den 6.9 GHz'te 56 km'ye kadar değişmektedir. Daha sonra 2011 yılında AMSR-E veya EOS-Aqua'nın arızalanması sonucunda, DMSP (Defense Meteorological Satellite Program) uydusu üzerinde SSM/I ve SSMIS kullanılmaya başlanmış ve halen kullanılmaktadır.

Aslında bir asimilasyon işleminin sonucu olan SN-OBS-4 ürününün algoritması düzlük veya ormanlık alanlar ve dağlık bölgeler için birtakım farklılıklar göstermektedir. Ürün Finlandiya'da FMI (Finnish Meteorological Institute) tarafından ve Türkiye'de MGM (Meteoroloji Genel Müdürlüğü) tarafından birlikte üretilmektedir. FMI ürününde

düzlük/ormanlık alanlarda ve MGM ürününde dağlık alanlarda bulunan bilgiler harmanlanarak birleştirilip tek bir ürüne dönüştürülmektedir.

Bu tez çalışması kapsamında, 2015-2018 yılları için 25 km mekânsal çözünürlüğe sahip günlük SSM/I kar su eşdeğeri SN-OBS-4 uydu ürünü (H-13) H-SAF aracılığıyla ücretsiz olarak elde edilmiştir. “Grib2” formatlarında bulunabilen H-13 görüntülerinin Delft Flood Early Warning System (Delft-FEWS) platformu kullanılmıştır (<http://www.deltares.nl/>). Şekil 3.33’te 12 Mart 2019 tarihli H-13 uydu ürünü örnek olarak gösterilmektedir.

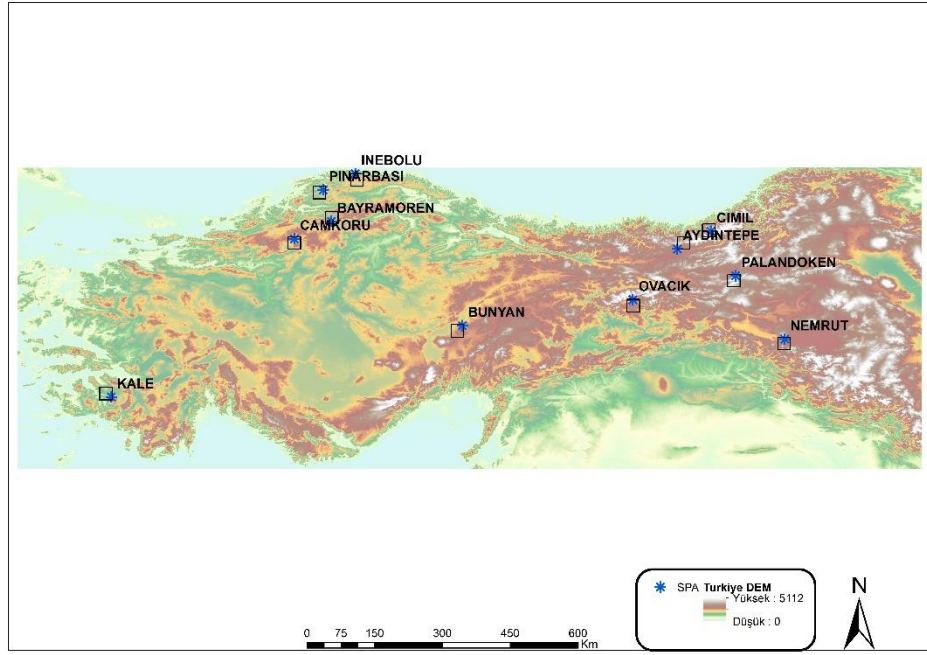


Şekil 3.33. 12 Mart 2019 tarihli örnek SSM/I uydu ürünü SN-OBS-4 görüntüsünün Delft-FEWS platformunda açılmış hali.

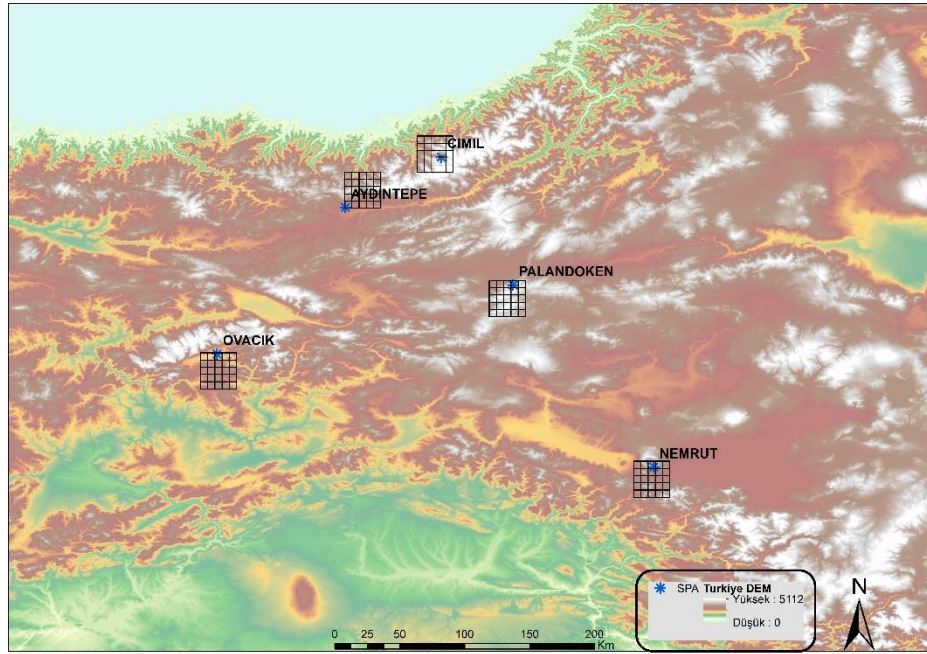
3.3.4.2. Yükseklik analizleri

SPA istasyonlarının MGM tarafından belirtilen konumları, koordinat ve yükseklik bilgileri Google Earth ortamında doğrulanmıştır. Bu doğrultuda, yapılan CBS analizleri sonucunda her bir istasyonun bulunduğu bölgenin arazi üzerindeki kullanımları belirlenmiştir. İstasyonlardan bir kısmının şehirleşme etkisinin en az olduğu tarımsal/yeşil alanlarda, diğer bir kısmının ise ormanlık alanlarda kurulduğu tespit edilmiştir (Şekil 3.23).

Bu tez çalışması kapsamında yapılan CBS analizleri sonucunda, her bir istasyon için 25 km x 25 km (H-13 uydu ürünü piksel çözünürlüğü) ve 5 km x 5 km’lik çerçeveler hazırlanmıştır (Şekil 3.34). Bu bağlamda, istasyonların içerisinde bulundukları çerçeveler için 30 m x 30 m mekânsal çözünürlüğe sahip Sayısal Yükseklik Modeli (SRTM-DEM) kullanılarak yükseklik analiz çalışması yapılmıştır.



a)

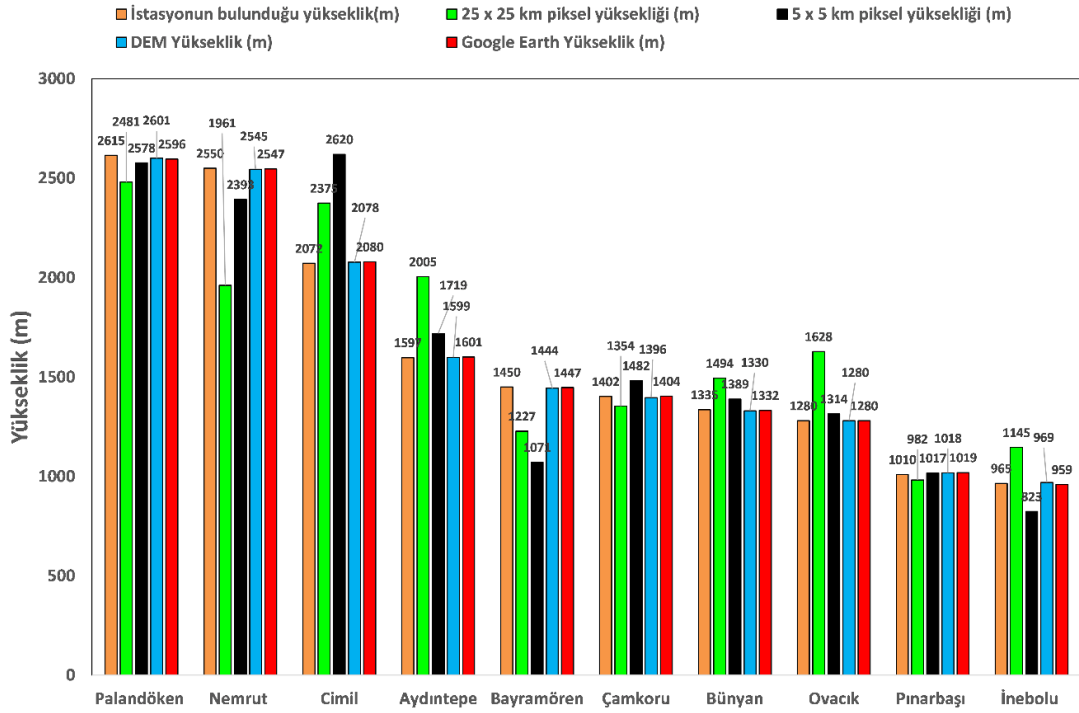


b)

Şekil 3.34. İstasyonların içerisinde bulundukları (a) 25 km x 25 km ve (b) 5 km x 5 km'lik çerçeveler

Hazırlanmış olan çerçeveler (25 km x 25 km ve 5 km x 5 km) sayısal yükseklik modeline kestirilerek, her bir istasyon için ortalama yükseklikler hesaplanmış ve elde edilen bulgular Şekil 3.35'te sunulmuştur. Palandöken, Çamkoru, Bünyan ve Pınarbaşı

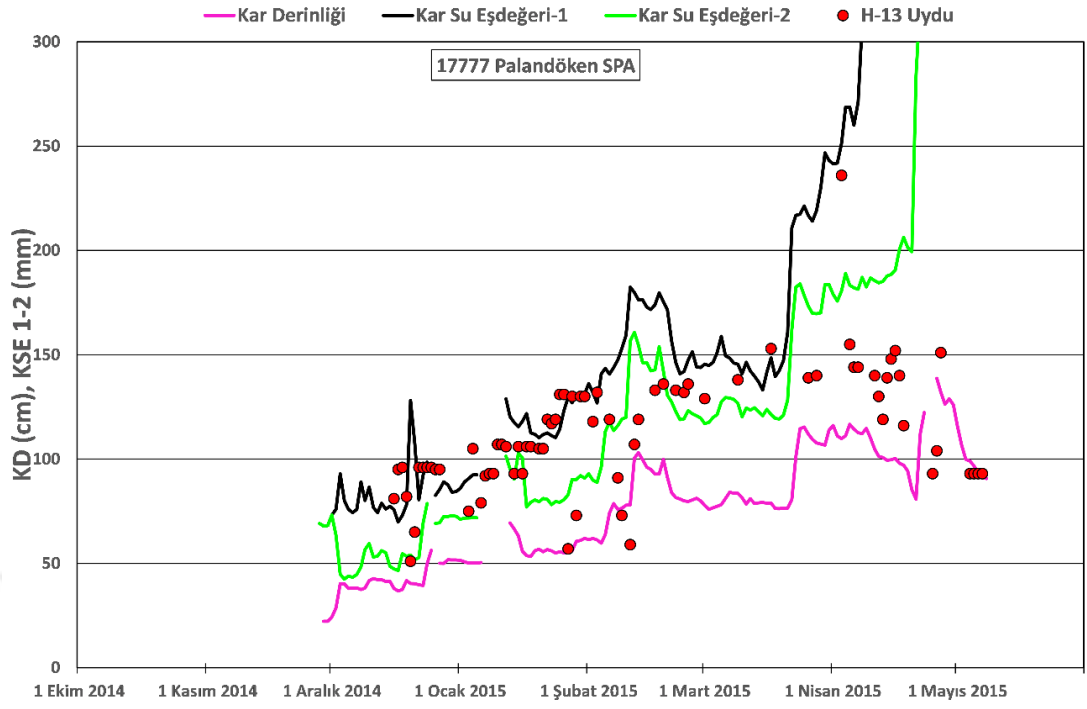
gibi istasyonlar bulundukları piksel yükseklikleri ile uyumluyken; Nemrut, Cimil ve Bayramören gibi istasyonlarda böyle bir uyum bulunmamaktadır.



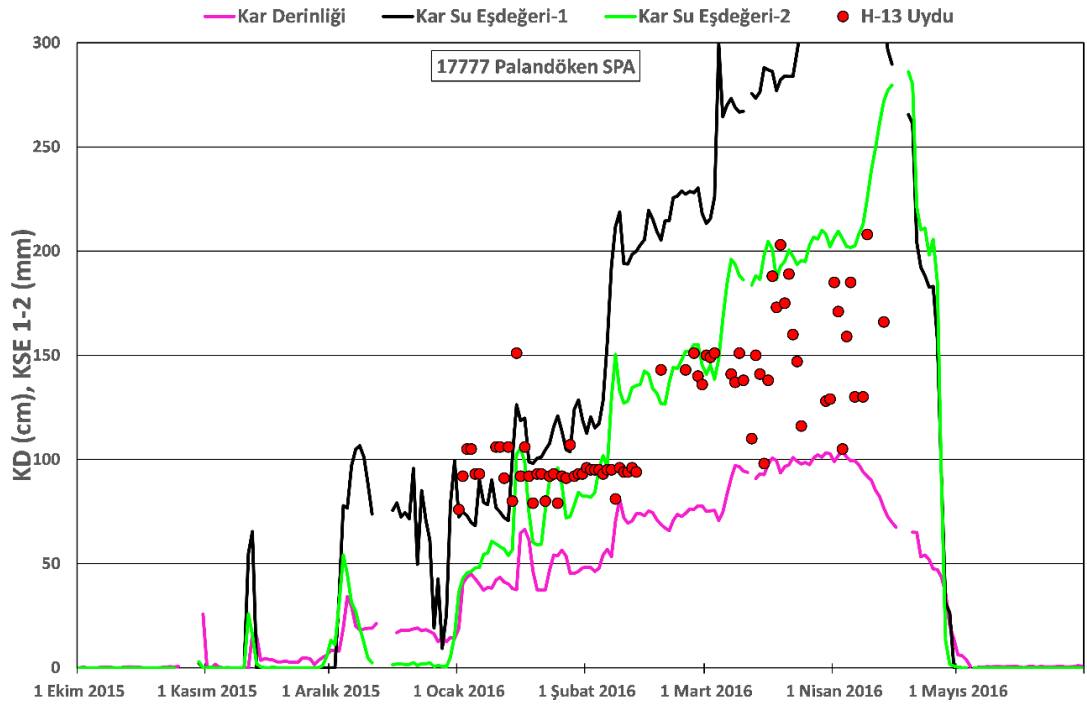
Şekil 3.35. SPA istasyonlarının bulundukları nokta ve alansal yükseklik ilişkileri.

3.3.4.3. Otomatik istasyonlar ile uydu tutarlılıklarının incelenmesi

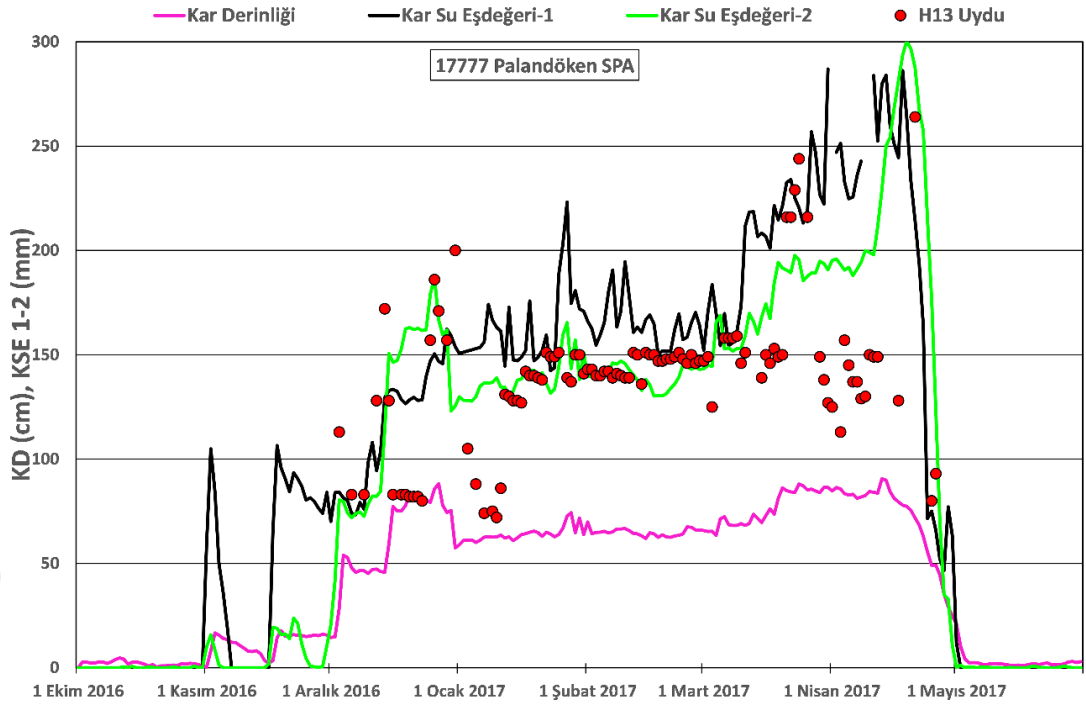
Yükseklik analizlerine ek olarak, her bir SPA istasyonu H-13 uydu ürünü ile 2015-2018 kar sezonları için kıyaslanmıştır. Bunun için; SPA istasyonlarının içinde bulunduğu H-13 uydu ürünü piksellerinin analiz sonucunda sürekli KSE değerleri elde edilmiş, ardından eksik ve yanlış olan veriler filtrelenmiştir. 2015-2018 kar sezonları için bütün SPA istasyonlarına uygulanan bu değerlendirmelerden örnek olarak Palandöken istasyonunun grafiksel sonuçları Şekil 3.36’da sunulmuştur. İstasyonda bulunan eğimli ölçüm kablosu Kar Su Eşdeğer-1 (KSE-1) ve yatay ölçüm kablosu ise Kar Su Eşdeğer-2 (KSE-2) olarak gösterilmiştir.



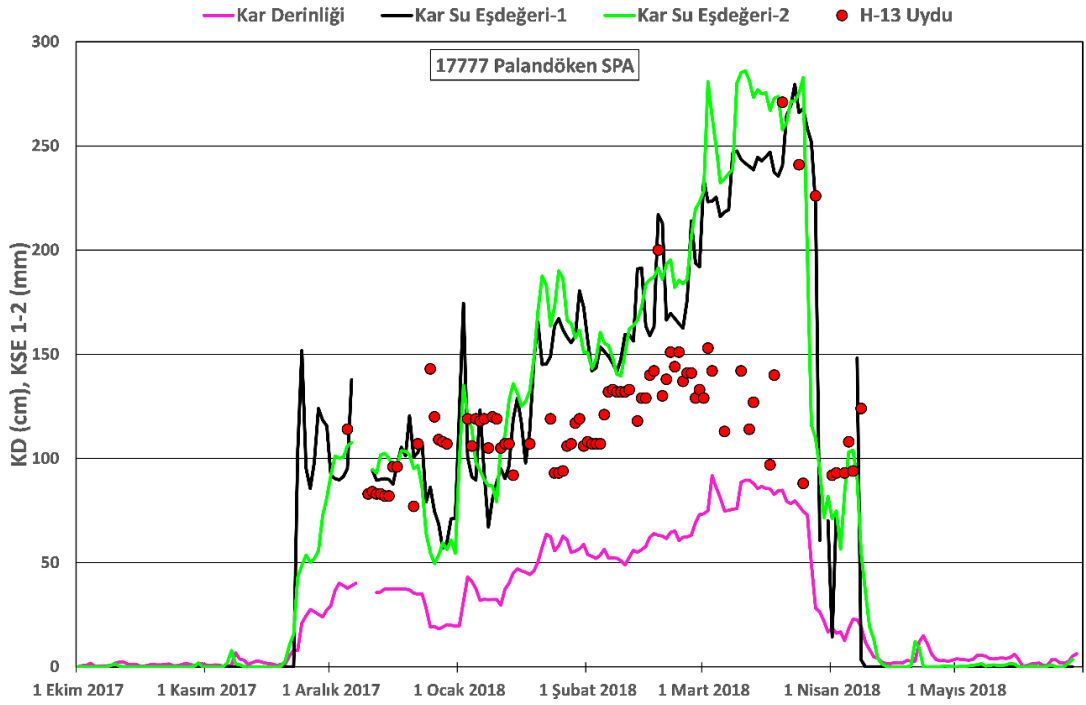
a) 2015



b) 2016



c) 2017



d) 2018

Şekil 3.36. 2015-2018 kar sezonları için Palandöken SPA ve SSM/I (H-13) uydu ilişkisi

İlgili grafik incelendiği zaman; uydudan elde edilen KSE değerlerinin kar sezonunun başında ve sonunda daha iniş çıkışlı bir seyir, ocak ayından sonra ise daha istikrarlı bir seyir gösterdiği gözlenebilmektedir. Beklenildiği gibi yatay ve eğimli ölçüm

kablolarının KSE ölçümlerinde kar birikmesinden dolayı sezon süresince artan bir trendi bulunmaktadır. Uydu görüntülerinden elde edilen KSE değerleri için de zamansal olarak benzer artış göze çarpmaktadır.

Buna ek olarak, hatalı verilerin ayıklanmasından sonra, H-13 uydu görüntüleri SPA istasyonu ile kıyaslama için kullanılmış ve istasyonun içinde bulunduğu hücre ile aşağıda formülleri verilen Root Mean Square Error (RMSE) ve Mean Absolute Error (MAE) istatistiksel yöntemleri kullanılarak değerlendirilmiştir. 2015-2018 kar sezonları için elde edilen tüm bulgular Tablo 3.20-Tablo 3.23 tablolarında özetlenmiştir.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [(SPA_i - Uydu_i)^2]} \quad (3.9)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |SPA_i - Uydu_i| \quad (3.10)$$

SPA, Uydu: Sırasıyla KSE yer ve uydu gözlemi

n: Gözlem çifti sayısı

Genel olarak; SPA istasyonları 2015-2018 sezonlarında iyi derecede değerlendirilebilecek kar bileşeni ölçmüşlerdir, ancak uydu görüntüleri tutarlılığı açısından çok farklı davranmışlardır. Yatay ölçüm kablosu (KSE-2) eğimli ölçüm kablosuna (KSE-1) göre uydu görüntüleri ile daha uyumlu olarak değerlendirilebilir. RMSE açısından performans sonuçları KSE-1 için yaklaşık 30-480 mm arasında, KSE-2 için ise 29-550 mm arasında değişmektedir. Literatürde, KSE yer gözlem-uydu RMSE hata oranı dağlık alanlar için 40-50 mm'ye kadar başarılı kabul edilmektedir (HSAF, 2012). Buna göre; Palandöken, Bayramören, Bünyan ve Pınarbaşı istasyonları uydu ile tutarlı iken, Nemrut ve Ovacık istasyon ölçümlerinin daha tutarsız olduğu görülmektedir. Bu durumun nedeni; 25 x 25 km'lik bir alanı temsil eden kaba mekânsal çözünürlüğe sahip uydu görüntüsünün istasyonda ölçülen KSE değerini temsil edememesi olarak düşünülmektedir. Ayrıca Nemrut (maksimum 200 cm) ve Ovacık (maksimum 120 cm) gibi çok fazla kar tutan istasyonların bulunduğu bölgelerde, literatürden de bilindiği üzere pasif mikrodalga yansımaları 100-150 cm'den derine nüfuz edememekte ve dolayısıyla hatalı sonuçlar verebilmektedir. Yine Nemrut ve İnebolu gibi istasyonların büyük su

kütlelerine (Van Gölü veya Karadeniz) yakın olması yer ölçümü-uydu performansının düşük olmasının diğer bir nedeni olarak değerlendirilmektedir.

Tablo 3.20. 2015 kar sezonu için H-13 uydu ürünü ile SPA yer gözleminin değerlendirilmesi

	Yükseklik (m)	Ortak Gözlem Sayısı	RMSE (mm)		MAE (mm)	
			KSE-1	KSE-2	KSE-1	KSE-2
Palandöken	2615	69	30.0	57.3	20.4	37.5
Nemrut	2550	19	484.0	552.4	429.0	533.2
Cimil	2072	26	94.2	120.9	87.0	113.1
Aydıntepe	1597	25	105.1	116.0	98.6	114.9
Bayramören	1450	36	99.5	70.4	91.3	66.1
Çamkoru	1402	10	40.7	62.1	33.3	59.6
Bünyan	1335	27	84.7	83.1	83.1	81.4
Ovacık	1280	10	145.1	132.7	141.9	131.6
Kale	1190	0	SPA verisi yok.			
Pınarbaşı	1010	0	Uydu verisi yok.			
İnebolu	965	0	İstasyon 2016 yılında kuruldu.			

Tablo 3.21. 2016 kar sezonu için H-13 uydu ürünü ile SPA yer gözleminin değerlendirilmesi

	Yükseklik (m)	Ortak Gözlem Sayısı	RMSE (mm)		MAE (mm)	
			KSE-1	KSE-2	KSE-1	KSE-2
Palandöken	2615	69	37.1	75.6	26.5	50.3
Nemrut	2550	45	99.8	406.2	95.3	373.1
Cimil	2072	0	SPA verisi yok.			
Aydıntepe	1597	93	114.1	SPA verisi yok	110.3	SPA verisi yok
Bayramören	1450	0	SPA verisi yok.			
Çamkoru	1402	0	SPA verisi yok.			
Bünyan	1335	122	40.2	39.9	14.0	14.3
Ovacık	1280	46	132.5	171.5	123.4	139.7
Kale	1190	0	Uydu verisi yok.			
Pınarbaşı	1010	0	Uydu verisi yok.			
İnebolu	965	0	Uydu verisi yok.			

Tablo 3.22. 2017 kar sezonu için H-13 uydu ürünü ile SPA yer gözleminin değerlendirilmesi

	Yükseklik (m)	Ortak Gözlem Sayısı	RMSE (mm)		MAE (mm)	
			KSE-1	KSE-2	KSE-1	KSE-2
Palandöken	2615	106	62.66	38.69	43.12	26.87
Nemrut	2550	86	SPA verisi yok	313.94	SPA verisi yok	244.05
Cimil	2072	0	SPA verisi yok.			
Aydıntepe	1597	8	53.78	46.62	47.71	41.73
Bayramören	1450	23	87.02	29.56	62.02	22.77
Çamkoru	1402	0	Uydu verisi yok.			
Bünyan	1335	23	44.08	60.14	43.91	55.28
Ovacık	1280	72	266.44	192.65	220.80	173.49
Kale	1190	0	Uydu verisi yok.			
Pınarbaşı	1010	27	77.47	36.89	74.09	30.37
İnebolu	965	27	140.84	104.99	122.88	77.25

Tablo 3.23. 2018 kar sezonu için H-13 uydu ürünü ile SPA yer gözleminin değerlendirilmesi

	Yükseklik (m)	Ortak Gözlem Sayısı	RMSE (mm)		MAE (mm)	
			KSE-1	KSE-2	KSE-1	KSE-2
Palandöken	2615	70	52.27	62.28	42.24	49.01
Nemrut	2550	20	SPA verisi yok	83.85	SPA verisi yok	61.44
Cimil	2072	0		SPA verisi yok.		
Aydıntepe	1597	11	77.29	52.61	96.73	51.41
Bayramören	1450	0		SPA verisi yok.		
Çamkoru	1402	0		SPA verisi yok.		
Bünyan	1335	0		SPA verisi yok.		
Ovacık	1280	29	110.36	101.54	76.43	83.41
Kale	1190	0		SPA verisi yok.		
Pınarbaşı	1010	0		SPA verisi yok.		
İnebolu	965	0		Uydu verisi yok.		

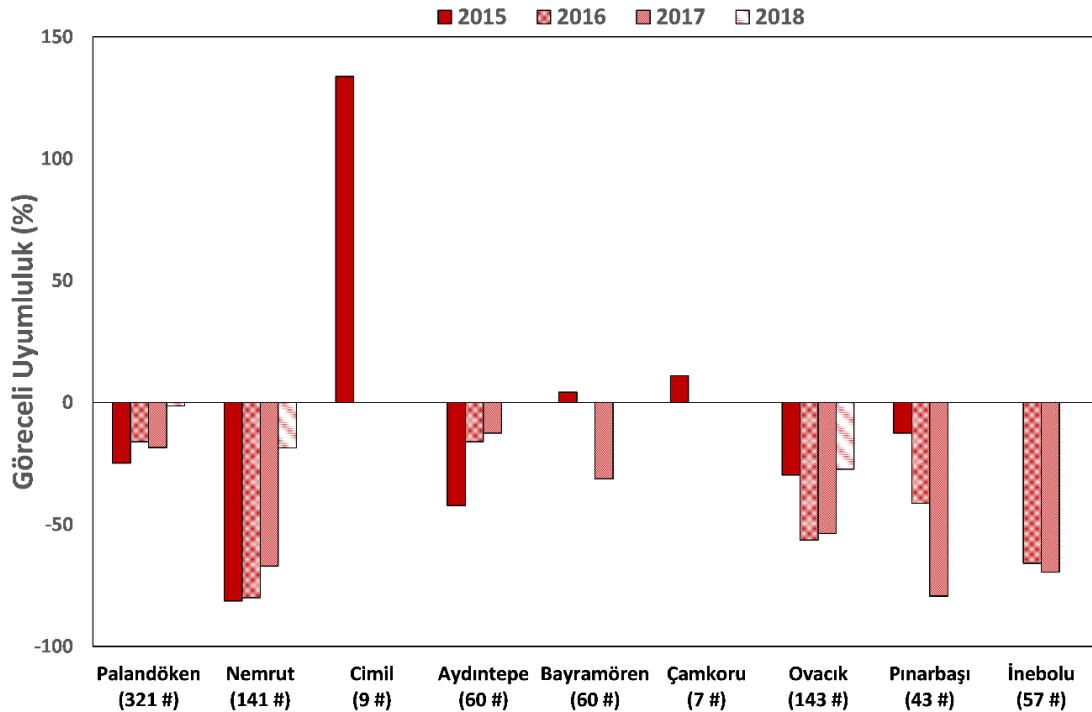
2015-2018 kar sezonları için bütün SPA istasyonları RMSE ve MAE gibi istatistiksel yöntemlerle değerlendirilmiştir. KSE'nin ortalama değeri farklı dönemlerde değişebildiğinden, farklı istasyon ve yılların performanslarını karşılaştırmak için Göreceli Uyumluluk (Relative Agreement-RA) istatistiki yöntemi kullanılmıştır (Denklem 3.11). RA istatistiksel değerlendirme kriteri, otomatik yer gözlemi ve uydu gözlem çifti bulunan bütün istasyonlar için hesaplanmıştır. Buna göre, ülkemizde yeni kurulmuş olan 11 adet SPA otomatik kar ölçüm istasyonundan yer ve uydu gözlem çifti bulunan toplam 10 istasyon için, 2015-2018 kar sezonlarının tümünü içerecek şekilde istatistiksel olarak incelenmiş ve sonuçları Şekil 3.37'de sunulmuştur.

$$RA = \frac{KSE_{Uydu} - KSE_{Yer\ Gözlemi}}{KSE_{Yer\ Gözlemi}} \times 100 \quad (3.11)$$

RA: Göreceli Uyumluluk

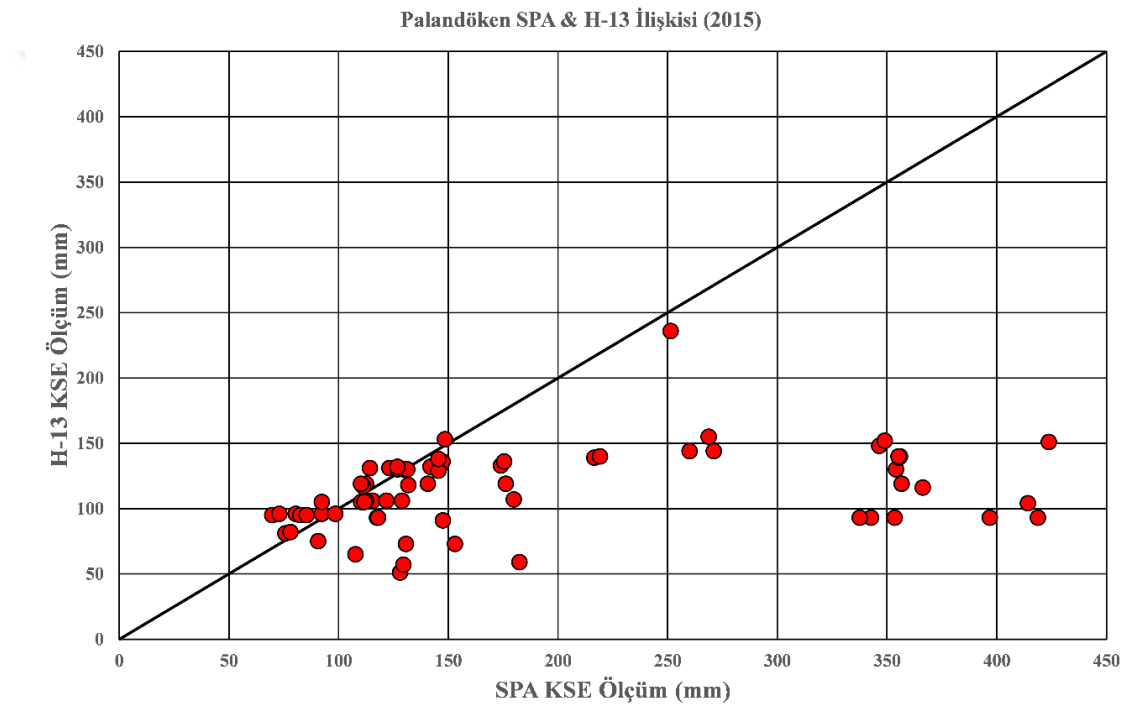
KSE_{Uydu} , $KSE_{Yer\ Gözlemi}$: Uydu görüntüsü ve yer gözlem KSE değerleri

RA istatistiksel değerlendirme kriteri, uydu görüntülerinin yer gözlemlerine göre başarı durumunu göstermektedir. Dolayısıyla, bu kriter negatif ve pozitif değerler alabilmektedir. Denklem 3.8 incelendiği zaman; RA'nın pozitif olması uydunun yer istasyonuna göre daha fazla KSE tahmin etmesi, negatif olması ise uydunun yer istasyonuna göre daha az KSE tahmin etmesi anlamına gelmektedir. 2015-2018 kar sezonlarını kapsayan tüm bulgular incelendiğinde, sonuçlar yıldan yıla farklılıklar göstermiş olup, genel olarak Cimil istasyonu dışındaki SPA istasyonlarında, uydu yer gözlemlerine göre daha az KSE tahmin etmiştir. Daha önceki bölümlerde de bahsedildiği gibi, pasif mikrodalga yansımaları ile çalışan uydular 100-150 cm'den fazla kar derinliğine nüfuz edememekte ve dolayısıyla hatalı ölçümler yapabilmektedir. Ayrıca, 25 x 25 km'lik gibi kaba bir mekânsal çözünürlüğe sahip uydu görüntüsü, istasyonu temsil etmekte zorlanmaktadır. RA değerleri oldukça yüksek olan Nemrut, Cimil, Ovacık, Pınarbaşı ve İnebolu gibi istasyonların, bulundukları yükseklikler ile içerisinde oldukları alanların ortalama yükseklikleri farklılık göstermektedir (Şekil 3.34). Bulundukları bölgelerle uyumsuz yüksekliklerde kurulmuş olan SPA istasyonları uyduya göre mevcut alanı temsil edememektedirler.

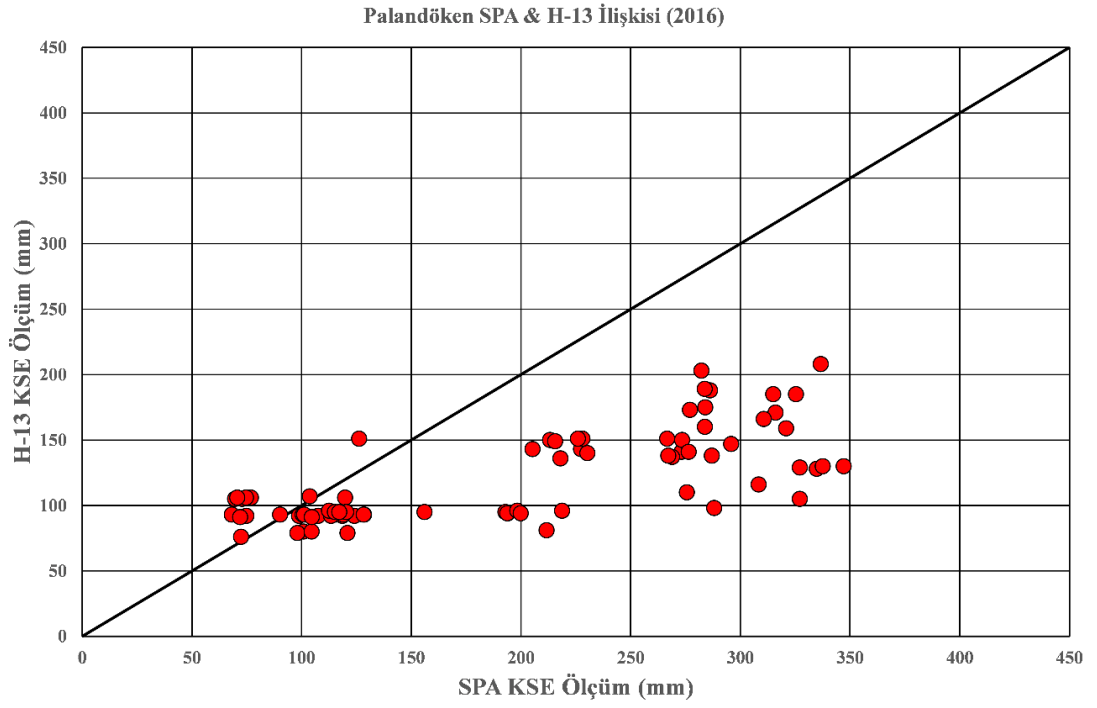


Şekil 3.37. SPA istasyonları için 2015-2018 kar sezonları RA değerlendirme sonuçları.

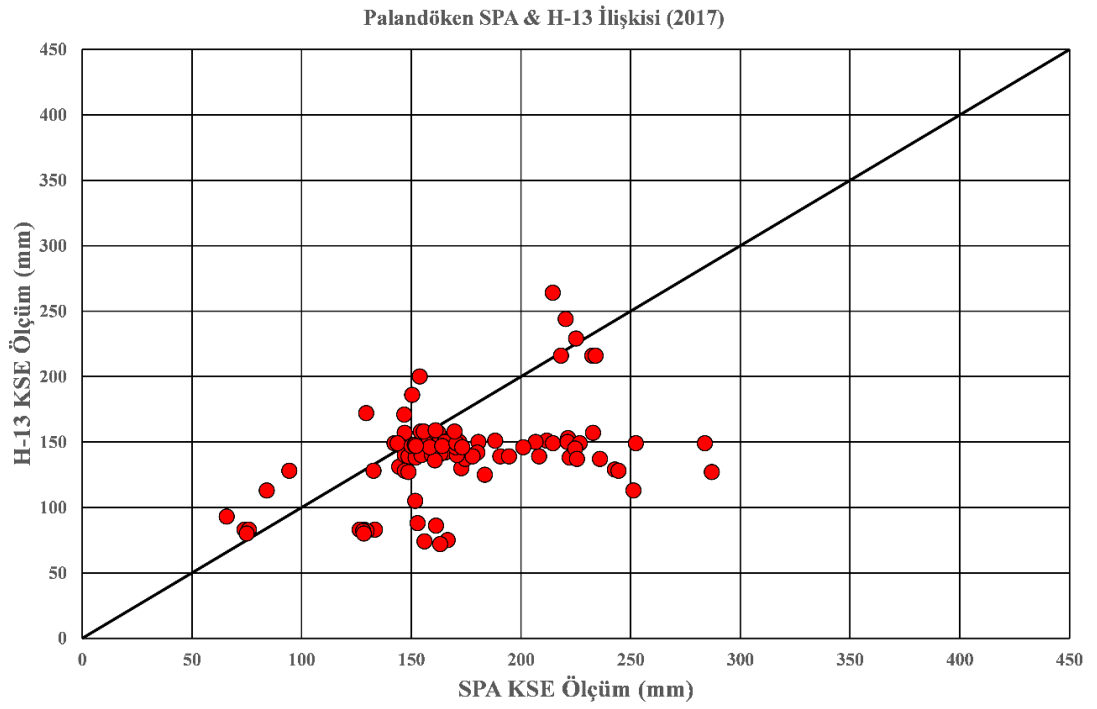
Son olarak, bütün SPA otomatik kar ölçüm istasyonları için yer gözlemine karşılık uydu verilerinin dağılım grafikleri hazırlanmış, örnek olması için Palandöken SPA istasyonu sonuçları Şekil 3.38’de sunulmuştur. Bu dağılım grafikleri Palandöken SPA istasyonu için hesaplanan RA sonuçlarını doğrular niteliktedir. Buna göre, 2015-2018 kar sezonlarının hepsinde uydu yer istasyonuna göre KSE’yi daha az olarak belirlemiştir. Bütün bu bulgulara göre, istasyon yer seçiminin ne kadar önemli olduğu ön plana çıkmaktadır. İstasyonun bulunduğu bölgeyi temsil edebilecek bir yükseklikte olması, şehir ve/veya ormanlık alan içerisinde olması, büyük su kütlelerine yakın olması uydu tarafından doğru bir şekilde görülememesine sebep olabilmektedir.



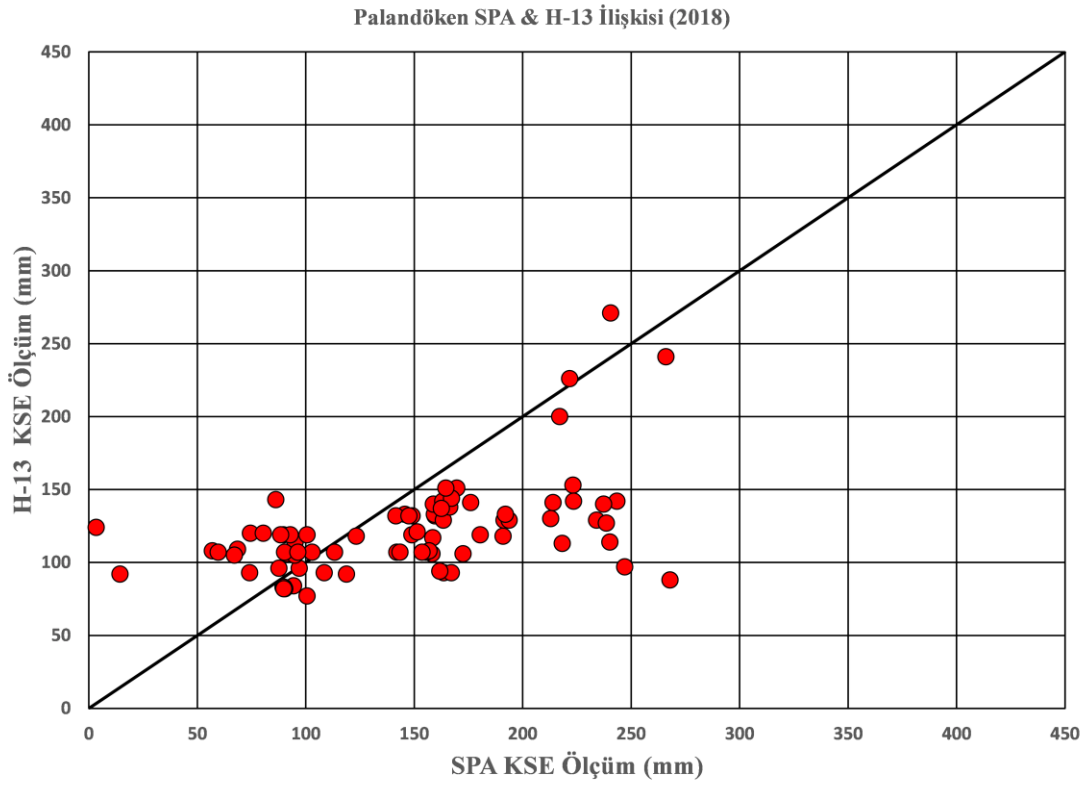
a) 2015



b) 2016



c) 2017



d) 2018

Şekil 3.38. 2015-2018 kar sezonları için Palandöken SPA ve SSM/I (H-13) uydu verilerinin dağılım grafikleri

4. KAR MODELLEMESİ

4.1. Giriş ve Literatür

Dünyanın dağlık ve yüksek birçok yerinde toplam yıllık yağış, kar yağışı şeklinde gerçekleşir ve kar erimesi kullanılabilir suyun büyük çoğunluğunu oluşturmaktadır. Kar örtüsünün iklim değişikliği ve su dengesi üzerinde büyük etkisinin olması; karın miktarsal, alansal ve zamansal dağılımını hidrolojik sistem içerisinde oldukça önemli bir yere taşımaktadır. Buna karşın; hidrolojik problemlerin karmaşıklığı, zamansal ve alansal olarak büyüklüğü, bu problemlerin yönetilmesi noktasında birtakım bilinmezliklerin ortaya çıkmasına ve zorlukların yaşanmasına neden olmaktadır. Bu noktada; bu bilinmezliklerin minimize edilip belirlenmesi adına kar hidrolojisinin olumlu etkileri göz ardı edilemez. Çağımız koşullarının getirmiş olduğu teknolojik yenilikler ve gereksinimler, kar örtüsünün takibi konusunda birtakım kolaylıklar sağlamaktadır. Bu noktada, kar modelleme teknolojisi ve yöntemleri su kaynaklarının yönetimi alanında önemli bir role sahiptir.

Karmaşık olan kar modelleme işlemini, bilgisayar ortamında basitleştirilmiş matematiksel denklemlerle temsil etmeye 1960'lı yılların başında Anderson ve Crawford, (1964) ve Anderson, (1968) tarafından başlanmıştır. Takip eden sonraki yıllarda, farklı amaçlar için birçok kar model yöntemi önerilip, geliştirilmiştir. Son dönemlerde ise, farklı karmaşıklık seviyelerinde ve kapsamda çok çeşitli kar birikme-erime modelleri geliştirilmiştir. Bunlar genellikle hava sıcaklığına bağlı olarak bir veya daha fazla meteorolojik değişkene dayanan kavramsal modellerden, fiziksel olarak temel enerji dengesi modellerine kadar uzanmaktadır.

Son yıllarda, değişik seviye ve kapsamda çok çeşitli kar erime modelleri geliştirilmiş ve farklı amaçlar doğrultusunda kullanılmıştır. Derece-gün yöntemi, Dünya Meteoroloji Teşkilatının (WMO) dağlık havzalardaki kar erimesi kaynaklı akımın hesaplanmasında kullanımını en çok önerdiği metotlardan biridir (WMO, 1986). Bu yöntemi kullanan kar modelleri, belirli bir eşik sıcaklık değerine göre kar birikmesi ve erimesine karar verirken, sezon boyunca kar örtüsünde meydana gelen değişiklikleri de belirlerler (Bagchi, 1983; Martinec, 1989; Kustas ve Rango, (1994). Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) yöntemlerinin gelişimine paralel olarak, klasik sıcaklık indeksi yaklaşımının alansal kullanımına olanak tanıyan CBS modülüne sahip kar modelleri geliştirilmiştir. Bu

tür kar modelleri alansal olarak Karla Kaplı Alan (KKA) eğrilerinin elde edilmesine imkân tanımakla birlikte, model sonuçlarını etkileyen bölgesel faktörleri de ortaya koymaktadır (Cazorzi ve Fontana, 1996). Bu dönem içerisinde son olarak; Brubaker vd., (1996) yaptıkları çalışmada, derece-gün yöntemini ve uzaktan algılama ile elde edilen KKA verilerini kullanan Snowmelt Runoff Model (SRM) içinde sıcaklık ve radyasyon verilerini birleştirmenin öncül sonuçlarını sunmuşlardır.

Bilgi çağının bir sonucu olarak, en son teknolojilerin ve farklı bilimsel yöntemlerin kullanıldığı kar modelleme yaklaşımları gelişmekte ve bunların kıyaslanarak değerlendirilmesi önemli hale gelmektedir. Bu doğrultuda, 2000’li yılların başında SnowMIP (Snow Model Intercomparison Project) projesi başlatılmış ve mevsimsel kar örtüsü bulunan değişik ormanlık ve açık alanlarda çok sayıda kar modelinin performansını değerlendiren bir karşılaştırma sunmuşlardır (Etchevers vd., 2002; Essery vd., 2009). Türkiye’de ise, Yukarı Fırat’ın Karasu Havzasında gerçekleştirilen projelerle birlikte kar ve meteoroloji gözlem ağıları geliştirilmiş ve bunun sonucu olarak SNOBAL kar modeli kullanılarak nokta bazlı enerji ve kütle dengesini içeren kar model uygulaması yapılmıştır (Şensoy vd., 2006). Fiziksel tabanlı modellerin aksine, kavramsal kar modelleri parametreler kullanarak kar örtüsünün benzetimini gerçekleştirir. Raleigh vd., (2012), kavramsal SNOW-17 kar modelini kar yastığı bulunan 154 otomatik kar gözlem istasyonu için noktasal olarak uygulamışlardır. Şorman ve Beşer, (2013) ise yarı kavramsal kar modeli olan HUT modelini Türkiye’de ilk defa uygulamışlar ve yer gözlemlerine göre model performansını değerlendirmişlerdir. Yıllar içerisinde kar modellerinin çeşitlenmesi, modellerin hangi şartlar altında, nasıl başarılar sergilediklerinin gösterilmesi ihtiyacını ortaya çıkarmıştır. Bu doğrultuda, Essery vd., (2013) Fransa’da 1071 adet kar modelini 4 kar sezonu için uygulamış ve sonuçlarını değerlendirmişlerdir. Elde edilen bulgular; “en iyi” modelin olmadığını ve model karmaşıklığı ile performans arasında net bir bağlantı bulunmadığını göstermektedir. Benzer şekilde, Solaranta, (2016) temel olarak Bayes teoremine dayalı veri asimilasyonu ile kavramsal seNorge kar modelini Norveç’te uygulamış ve model parametreleri için duyarlılık analizleri yapmıştır.

Fiziksel tabanlı kar modelleri kavramsal modellere göre daha fazla meteorolojik veri seti ve hesaplamaya gerek duyarlar. Bu nedenle, bu modeller nispeten daha küçük alanlar veya noktasal uygulamalar için uygundur. Bavera vd., (2014), Oreiller vd.,

(2014) ve Madore vd., (2018) sırasıyla ALPINE3D, HYDROTEL/CROCUS ve SNOWPACK fiziksel modellerini kullanarak kar bileşenlerini tahmin etme üzerine yoğunlaşmışlardır. Arazi üzerinde meydana gelen rüzgâr ve çığ olayları, yüksek kotlarda çok yıllık kar birikintileri olan “kar kulelerinin” oluşmasına neden olabilmektedir. Modellerde, oluşan bu düzensiz kar dağılımının dikkate alınması ve su dengesinin buna göre hesaplanması oldukça önemlidir. Bu doğrultuda, Freudiger vd., (2017) yaptıkları çalışmada dağlık havzalarda yapılan hidrolojik modellemelerde karın yeniden dağılımına ilişkin bir derleme yapmışlar ve kar örtüsünün değişkenliğinin önemini vurgulamışlardır. Son dönemlerde, özellikle büyük dağlık alanlarda kar örtüsünün temsiliyeti noktasında kaba çözünürlüklü (piksel çözünürlüğü yaklaşık 25 km) pasif mikrodalga uydu görüntülerinin yetersiz kalmasından dolayı, kar bileşenlerini belirlemek için tam dağılımlı kar model uygulamaları yaygınlaşmaktadır Alonso-Gonzalez vd., (2018).

Bu tez çalışmasında kullanılan kar modeli ise, dağlık alanlarda derece-gün yöntemini kullanarak yağış-kar birikme ve erime ilişkisini kuran kavramsal SNOW-17 modelidir. Bu modelin en kuvvetli tarafı, yağış-kar birikme ve erime ilişkisini basit matematiksel formüllerle açıklaması ve az sayıda veri gerektirmesidir.

4.2. SNOW-17 Kar Modeli

Kar modeli, bir alanda ve/veya noktada yağış-kar birikme-erime arasındaki ilişkiyi bölgenin fiziksel özelliklerine göre belirlemek için yapılan tüm işlemler bütünüdür. Hidrolojik süreçte kar modelleme çalışmalarının birçok sebebi bulunabilir. Bunlardan biri, kar modellemesi yapılan zaman süresi boyunca kar örtüsünün davranışını görüp, hidrolojik öneme sahip kar bileşenlerinin belirlenmesi; diğeri ise arazi ölçümlerinin zor ve nadir olduğu kar hidrolojisi için uygulanabilir kar tahmin sistemlerinin kurgulanması ve geliştirilmesidir.

Bir kar modelinin sınırlamalarını ve koşullarını iyi kavrayabilmek için kar örtüsünün enerji değişim sürecini anlamak önemlidir. Çünkü ancak bu bilindiğinde, mevcut meteorolojik ve kar örtüsü koşullarına göre hesaplamalar için mantıklı kararlar verilebilir. Kar örtüsü için enerji eşitliği denklemi şöyle ifade edilebilir:

$$Q_i - Q_r + Q_a - Q_s + Q_h + Q_e + Q_m + Q_g = \Delta Q \quad (4.1)$$

Q_i = Gelen Güneş radyasyonu,

Q_r = Yansıyan Güneş radyasyonu,

Q_a = Gelen atmosferik ve karasal uzun dalga radyasyonu,

Q_s = Kar örtüsü tarafından yayılan uzun dalga radyasyonu,

Q_h = Hissedilir ısı transferi,

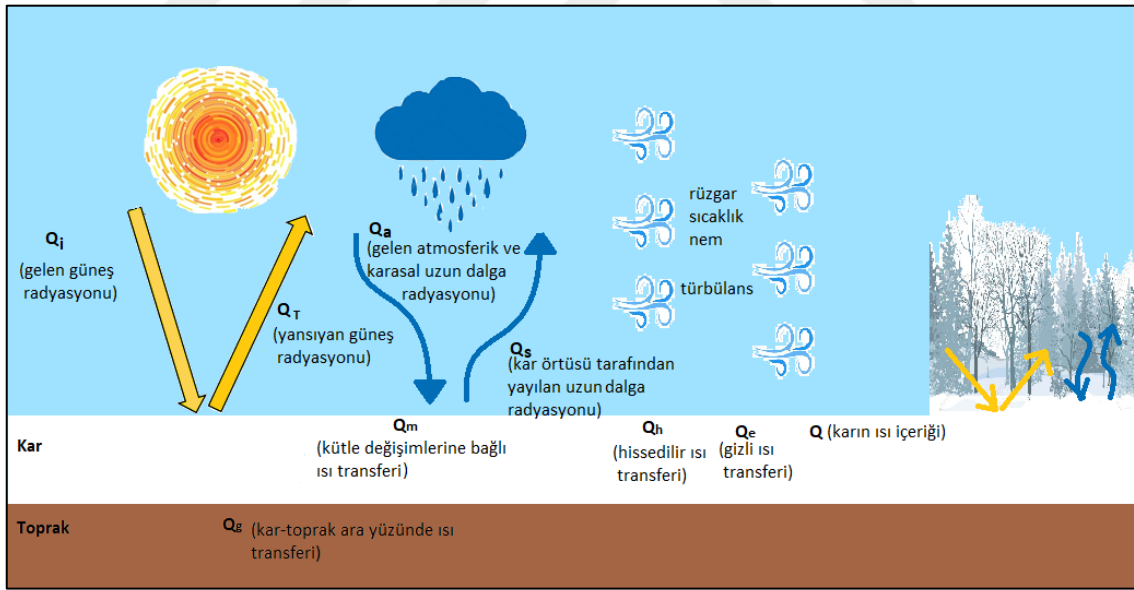
Q_e = Gizli ısı transferi,

Q_m = Kütle değişimlerine bağlı ısı transferi,

Q_g = Kar-toprak ara yüzünde ısı transferi,

ΔQ = Kar örtüsünün ısı depolamasında değişiklik

Şekil 4.1’de bir kar örtüsü için enerji dengesi denklemindeki tüm terimler gösterilmektedir. Enerji değişiminin çoğu, kar erimesinin büyük çoğunluğunun olduğu yer olan kar-hava ara yüzünde veya oraya yakın bir bölgede gerçekleşir. Bu nedenle, kar birikmesi ve erimesinin hesaplandığı modellerde yüzey enerji değişim sürecini anlamak önemlidir.

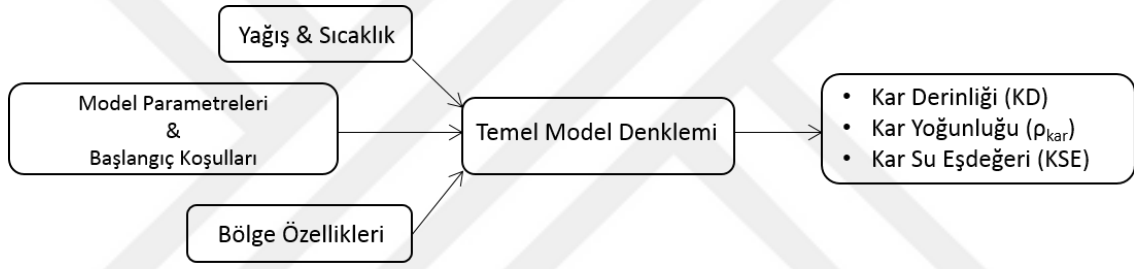


Şekil 4.1. Kar örtüsünün enerji değişim özeti.

SNOW-17 kar birikimi ve erime modeli ilk olarak, daha önceki versiyonları olan Anderson ve Crawford (1964) ve Anderson (1968) iki kar modelinin birleşiminden geliştirilmiş ve sonrasında National Weather Service River Forecast System (NWSRFS) bileşeni olarak 1973 yılında Anderson tarafından son haline getirilmiştir. 1973'ten bu yana SNOW-17 modelinde birkaç küçük ekleme ve kar derinliği hesaplamalarında

değişiklik yapılmıştır. Model, kar-hava ara yüzü arasındaki enerji değişimini belirlemek için tek değişken olarak hava sıcaklığını kullanan bir sıcaklık indeks modelidir. Ölçülmesi en kolay meteorolojik değişkenlerden olan hava sıcaklığına ek olarak, modeli çalıştırmak için gereken bir diğer değişken ise yağıştır.

SNOW-17 kar modeli, yağış ile sıcaklık meteorolojik gözlem verilerini kullanarak kar derinliği (KD), kar yoğunluğu (ρ_{kar}) ve kar su eşdeğeri (KSE) gibi kar bileşenlerini bir alan ve/veya nokta için vermektedir. Model genel olarak, bilgisayar ortamında kar örtüsünün sahip olduğu enerji değişimini çözümleyen parametreleri, kullanıcı tarafından temin edilecek olan meteorolojik verileri ve bölgenin fiziksel bilgilerini kullanarak kar bileşen sonucu veren sistem olarak özetlenebilir (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. SNOW-17 modelinin genel bileşenleri

Model kar bileşenlerini hesaplarken sıcaklık indeksli, derece-gün yöntemini kullanmasına rağmen; kar katmanının enerji dengesini göz önüne alan fiziksel süreçlerini çözümlemektedir. Bu ana süreçleri sıralamak gerekirse:

- ❖ Yağışın şekli
- ❖ Kar örtüsünün yerde birikmesi
- ❖ Kar-hava ara yüzünde enerji değişimi
- ❖ Kar örtüsünün başlangıç durum değişkenleri
- ❖ Kar örtüsü boyunca suyun iletimi
- ❖ Kar-toprak ara yüzünde ısı transferi

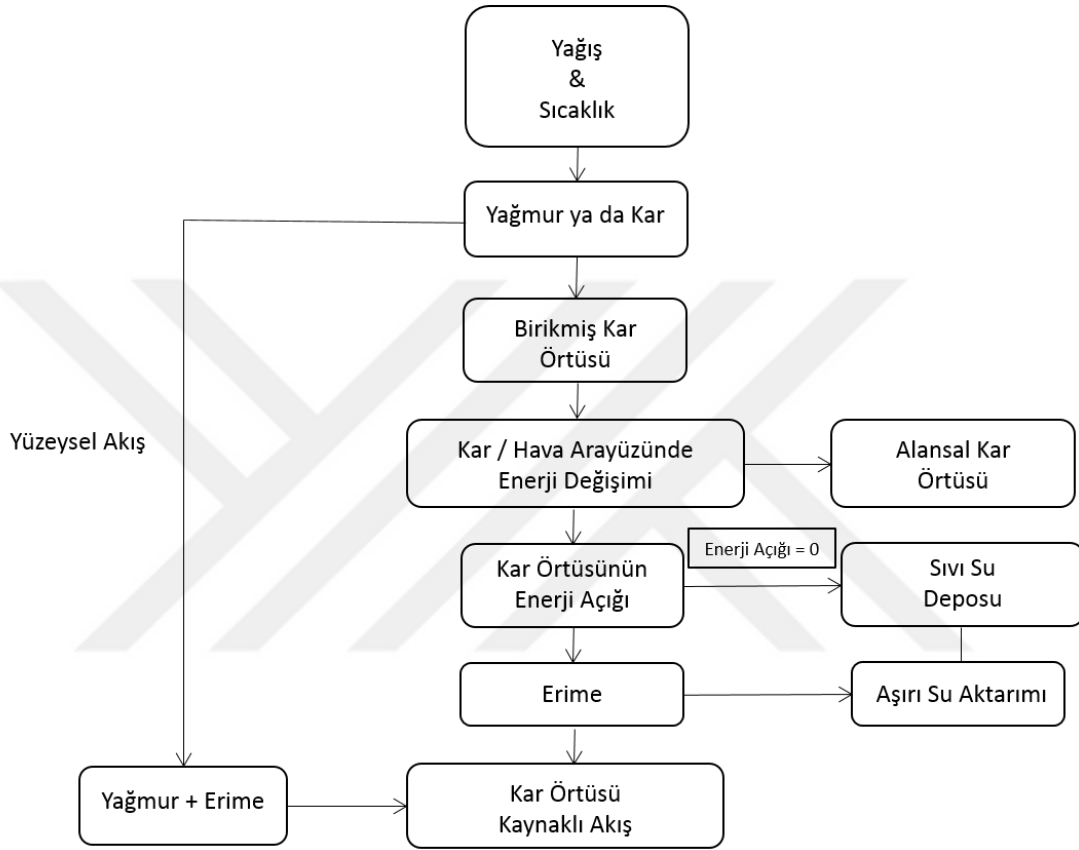
SNOW-17 modeli, 24 saate eşit olarak bölünen herhangi bir zaman aralığında (1, 2, 3, 4, 6, 8, 12 ve 24 saatlik) çalıştırılacak şekilde kodlanabilmektedir. Genel olarak, mevcut sıcaklık ve yağış ölçüm süreleri, modelin çalışma zaman aralığını belirlemektedir. Modelin çalışacağı zaman aralığına karar verildikten sonra, parametrelerin hepsi o zaman

aralığı için tanımlanmalı ve hesaplamalar aynı zaman aralıkları için yapılmalıdır. Model, 10 adet parametre ve 2 adet model değişkeni kullanarak kar örtüsünün benzetimini gerçekleştirir (Tablo 4.1). Parametreler belirli aralıklarda değer alabilmektedirler. Bu nedenle model parametrelerinin uygulama bölgesi için mutlaka kalibre edilmesi gerekmektedir.

Tablo 4.1. SNOW-17 modelinin kullandığı parametreler ve değer aralıkları

Parametre	Birim	Değer Aralığı	İngilizce Anlamı	Türkçe Anlamı
PXTEMP	°C	-5-+5	The temperature that separates rain from snow	Yağmuru kardan ayıran sıcaklık
SCF	-	0.60-1.40	Snowfall correction factor	Kar yağıışı düzeltme faktörü
UADJ	mm·mb ⁻¹	0-2	The average wind function	Ortalama rüzgâr fonksiyonu
NMF	mm·°C ⁻¹ ·6 hr ⁻¹	0-2	Maximum negative melt factor	Maksimum negatif erime faktörü
MFMIN	mm·°C ⁻¹ ·6 hr ⁻¹	0-3	Minimum melt factor during non-rain periods	Yağmursuz dönemde minimum erime faktörü
MFMAX	mm·°C ⁻¹ ·6 hr ⁻¹	2-5	Maximum melt factor during non-rain periods	Yağmursuz dönemde maksimum erime faktörü
MBASE	°C	-5-+5	Base temperature for snowmelt computations	Kar erimesi için baz sıcaklık
TIPM	°C	0-1	Antecedent temperature index parameter	Biriktirilmiş sıcaklık indeksi
PLWHC	-	0-0.4	Percent liquid water holding capacity	Su tutma kapasitesi
DAYGM	mm·day ⁻¹	0-1	Constant daily amount of melt	Günlük erime sabiti
Latdeg	°	-	Latitude degree	Boylam derecesi
He	m	-	Elevation	Yükseklik

Model genel olarak, Şekil 4.3'te görüldüğü gibi farklı modüller ile kar örtüsünün benzetimini gerçekleştirmektedir. Her bir modül, model sistemi içerisinde etkileşimli olarak çalışır, bir modülün çıktısı diğer bir modülün girdisi olabilmektedir. Modele girdi olarak kullanılan yağış ve sıcaklık sonucunda kar bileşenleri ($KD-KSE-\rho_{kar}$) elde edilir.

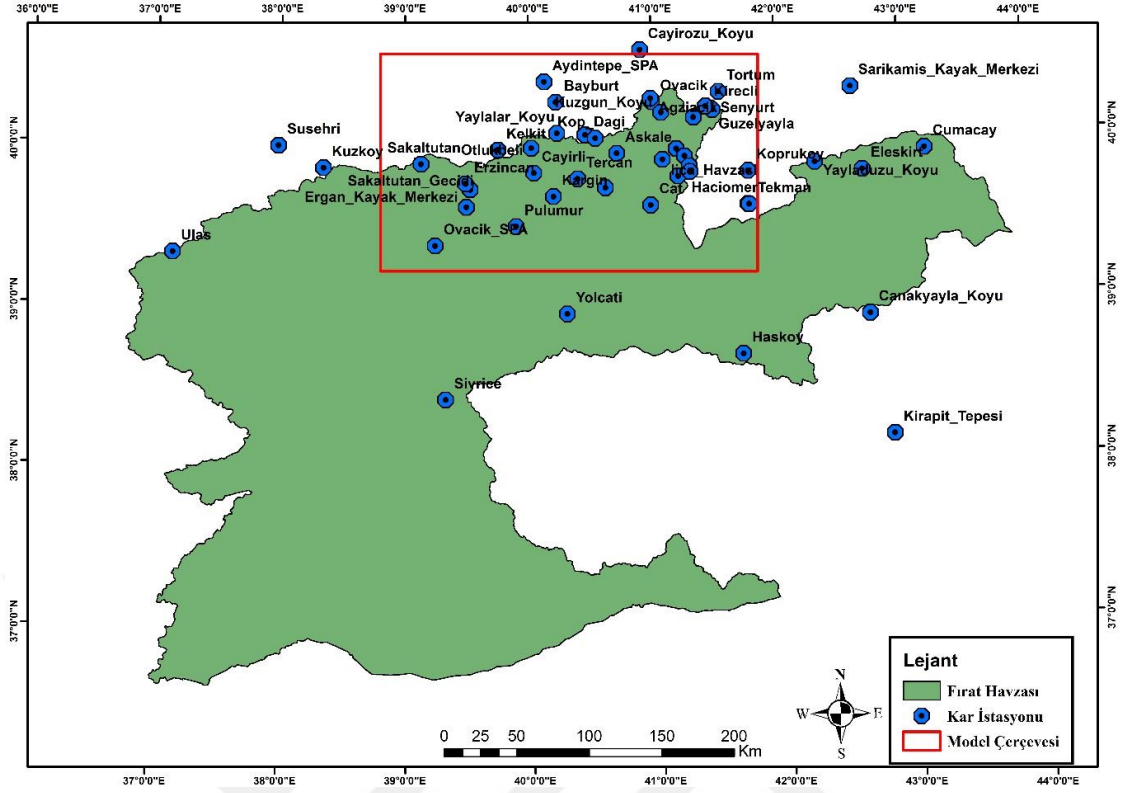


Şekil 4.3. SNOW-17 kar modelinin çalışma akış diyagramı

olarak izlemeyi hedeflemektedir. Bu sebeple Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM), 2015 kar sezonu öncesi özellikle Türkiye'nin kar potansiyeli yüksek değişik bölgelerine otomatik yeni kar gözlem istasyonlarının kurulmasını sağlamıştır.

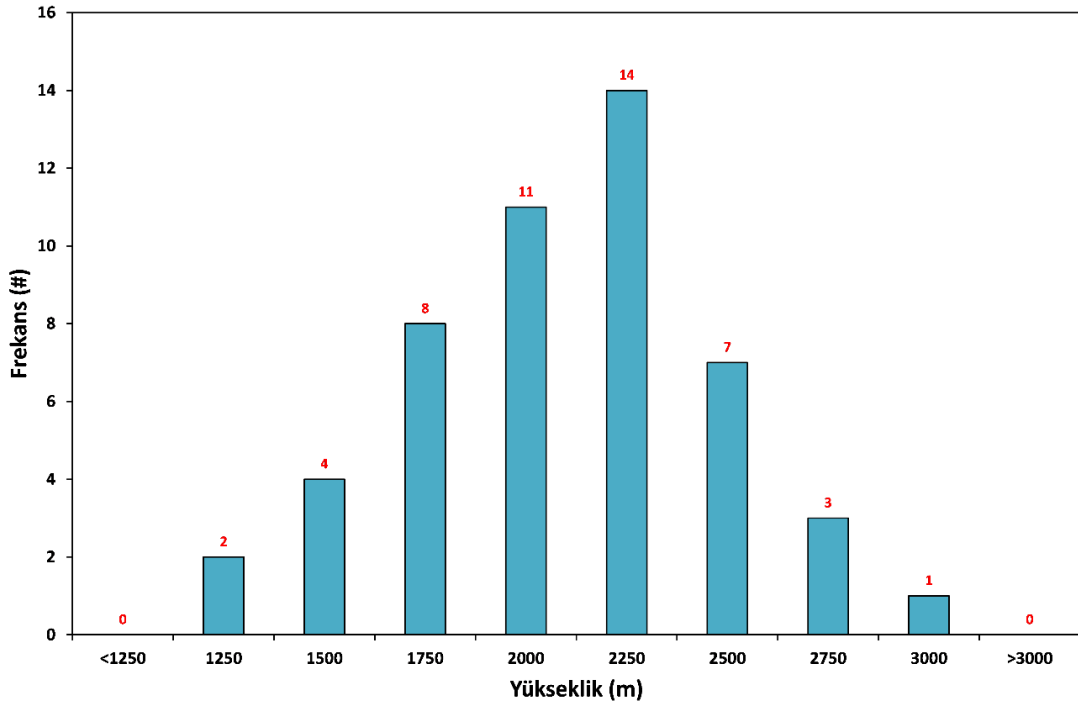
Bu tez çalışması kapsamında, Yukarı Fırat Havzası'nda Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) tarafından işletilen güncel istasyonlar incelenerek, yükseklikleri 1150-2940 m arasında değişen toplam 50 adet kar istasyonu tam dağılımlı model uygulamasında kullanılmak üzere seçilmiştir (Şekil 4.5). Kar istasyonlarının yoğunlaştığı ve haritada kırmızı çerçeve ile gösterilen bölge, kar modeli için uygulama alanı olarak belirlenmiştir. Belirlenen uygulama alanı yaklaşık olarak 40,000 km²'lik bir alanı kapsamaktadır. Çalışma alanı olarak bu bölgenin seçilmesinde; kar ölçüm istasyonlarının yoğunluğuna ek olarak, Keban Barajını besleyen, Fırat Nehri'nin önemli kollarından biri olan ve üzerinde uzun yıllar hidrolojik modelleme çalışması yapılmış Karasu Havzası'nın da bu bölge içerisinde olması önemli bir neden olarak gösterilebilir. Uygulanacak tam dağılımlı model sonuçları ile uydu görüntülerinin Karasu Havzası'na kestirilerek alansal kıyaslamanın yapılması, model doğrulaması için oldukça yararlı olacaktır.

Karasu Havzası, 39° 50' kuzey enlemleri, 40° 20' doğu boylamları arasında yer almaktadır. Yaklaşık 10,275 km² drenaj alanına sahip olan havzanın yüksekliği 1125 m ile 3500 m arasında değişmektedir. Havzanın ortalama yüksekliği 1985 m olup, ortalama eğimi yaklaşık %20'dir. Mera (%35), tarım alanı (%31.5) ve çıplak arazi (%27.5) havzanın başlıca arazi kullanımını oluşturmaktadır.



Şekil 4.5. Tam dağılımlı kar modeli için belirlenen çerçeve, kar gözlem istasyonları ve konumları

Belirlenen model çerçevesinin içerisinde ve yakınında bulunan, 1150-2940 m arasında değişen 50 adet kar istasyonunun yükseklikleri, Şekil 4.6'da görüleceği üzere normal dağılıma uymaktadır. 2000-2250 yükseklik aralığında yoğunlaşan istasyonlar Karasu Havzası'nın hipsometrik yüksekliği olan 1985 m'yi destekler niteliktedir. Yükseklik değişiminin hissedilir derecede etkili olduğu bu bölgede; kar istasyonlarının ve Karasu Havzası'nın yükseklik dağılımlarının paralellik göstermesi, bölgenin temsiliyeti açısından oldukça önemlidir.



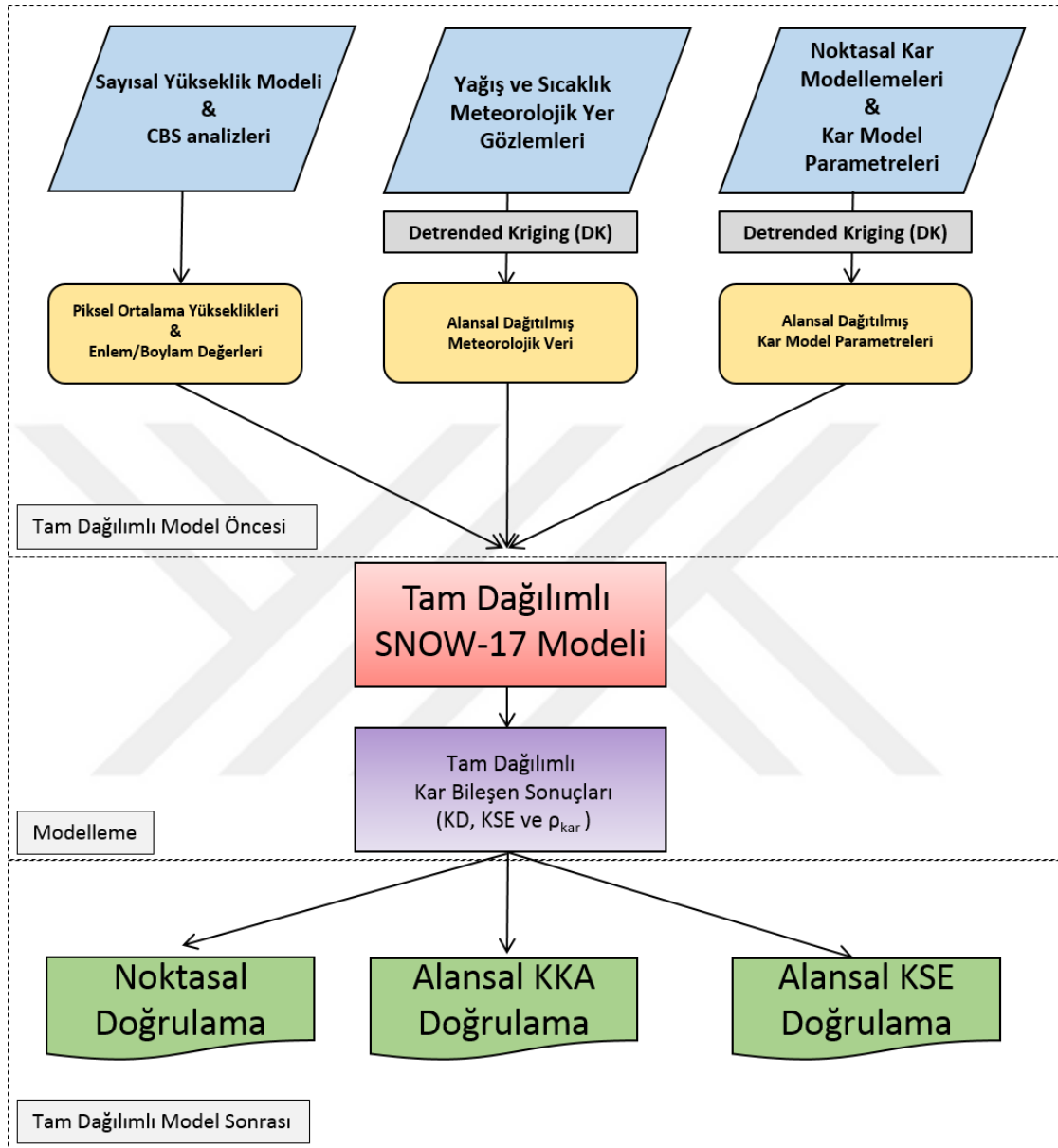
Şekil 4.6. Çalışmada kullanılan 50 adet otomatik kar gözlem istasyonlarının yüksekliklerine göre dağılımı.

4.3.2. Tam dağılımlı kar model yöntemi

Bu tez çalışmasında; tam dağılımlı SNOW-17 kar modeli, dağlık Yukarı Fırat Havzası'nda belirlenen alanda güncel 2015-2018 kar sezonları (1 Ekim-31 Mayıs) için uygulanmıştır. Modelleme çalışmalarında otomatik gözlem istasyonlarından elde edilen sıcaklık ve yağış verileri girdi olarak kullanılırken; kar bileşenleri (KD, KSE ve ρ_{kar}) temel sonuçlar olarak elde edilmiştir. Girdi olarak kullanılan meteorolojik verilerin hepsi noktasal ve günlük olarak ölçülmektedir. Verilerin günlük olması tam dağılımlı kar modelinin de günlük olarak kodlanmasına neden olmuştur.

Tam dağılımlı SNOW-17 model uygulamasını oluşturan ve genel olarak; model öncesi, modelleme ve model sonrası gibi üç farklı aşamadan oluşan akış şeması Şekil 4.7'de özet halinde sunulmuştur. Tezin bu bölümünde; modelleme çalışmalarına temel oluşturacak olan alan karakteristiklerinin belirlenmesi için yapılmış olan CBS analizleri, tam dağılımlı modele girdi olarak kullanılacak meteorolojik veriler (sıcaklık ve yağış) ve tam dağılımlı model parametrelerinden sırasıyla bahsedilecektir. Son olarak, tam dağılımlı model uygulaması sonucu elde edilen bulguların noktasal ve alansal olmak

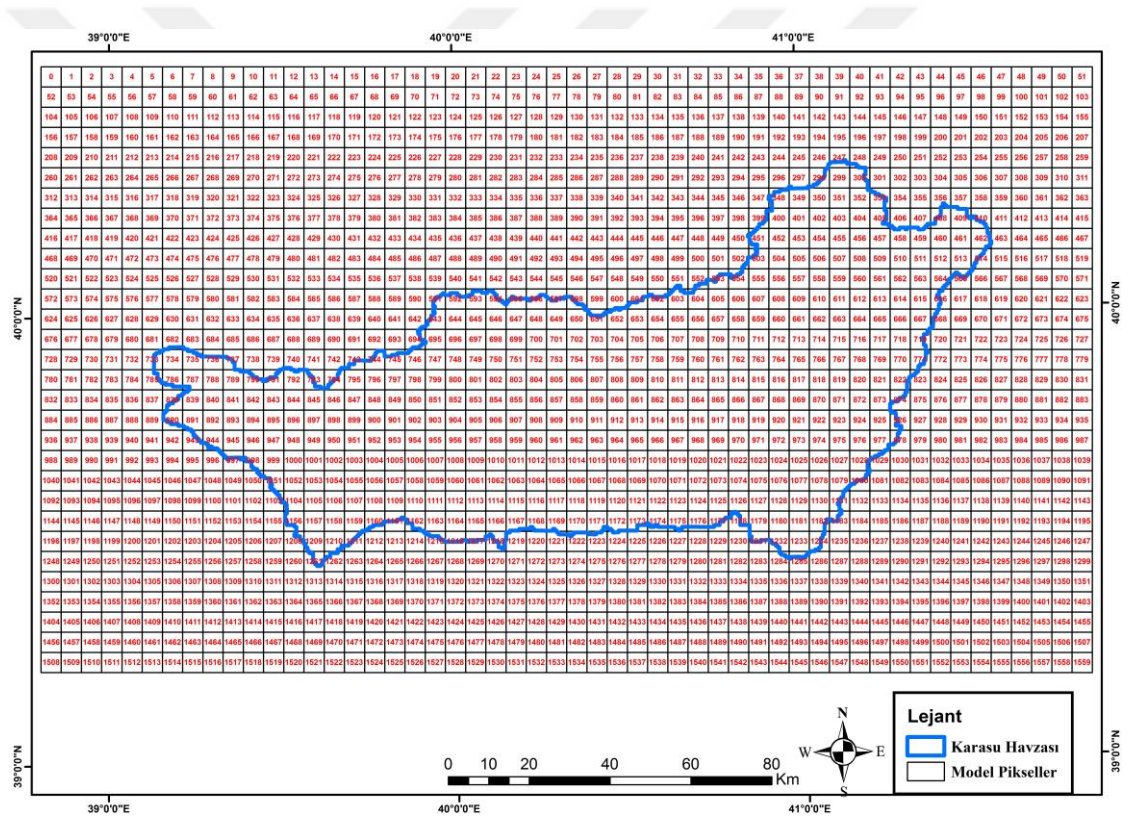
üzere bağımsız yer gözlem istasyon verileri ve uydu görüntüleri ile yapılan değerlendirme sonuçları sunulacaktır.



Şekil 4.7. Tam dağılımlı kar modeli uygulamasının akış şeması

4.3.2.1. Coğrafi bilgi sistemi (CBS) analizleri

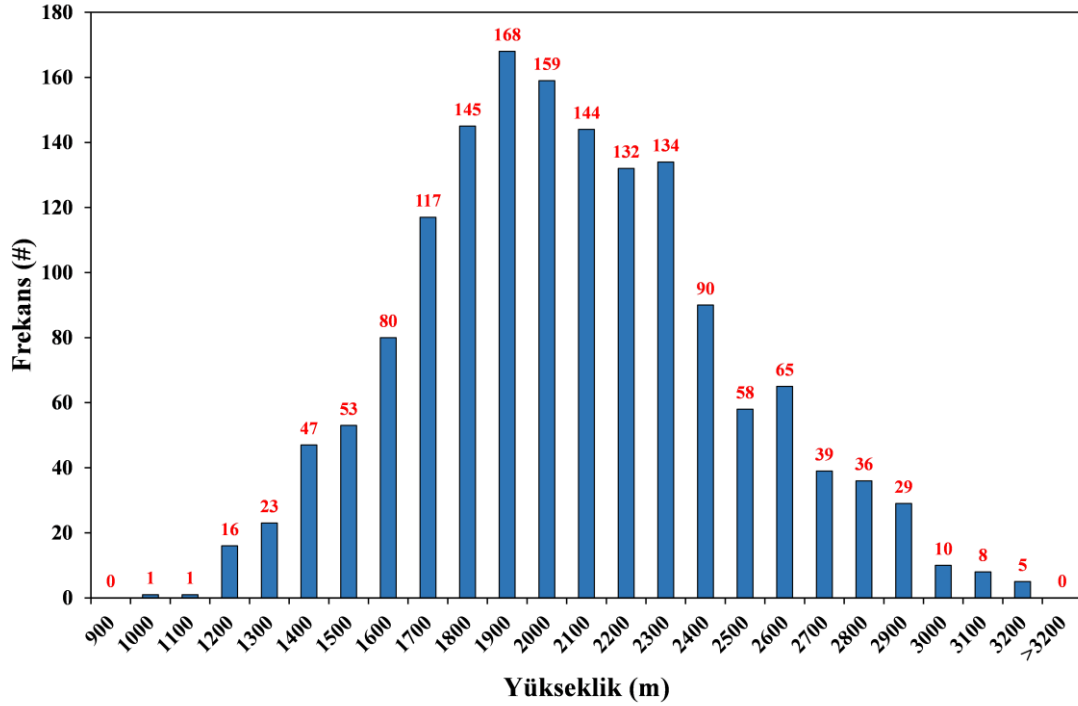
Çalışma alanının sahip olduğu yükseklik, eğim, bakı gibi alan özelliklerinin belirlenmesi için Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) analizleri yapılmıştır. Havza özelliklerinin belirlenmesi, hem gerekli bilgilerin tam dağılımlı kar modeline sağlanması hem de sonuçların değerlendirilmesi açısından büyük bir öneme sahiptir. Bölgenin meteorolojik ve topoğrafik özellikleri göz önünde bulundurularak; uygulanan dağılımlı modelin alansal çözünürlüğü 5 km x 5 km olarak belirlenmiştir. Bunun sonucunda, Yukarı Fırat Havzası'nın dağlık ve yüksek kesimlerini kapsayacak şekilde 1560 adet piksel elde edilmiştir (Şekil 4.8). Yapılan bu analizler ile birlikte, belirlenen tam dağılımlı model piksellerinin ortama yükseklikleri girdi olarak kullanılmıştır.



Şekil 4.8. Yukarı Fırat Havzası'nı içeren tam dağılımlı model pikselleri.

Model çerçevesini oluşturan ve yükseklikleri 980-3190 m arasında değişen 1560 pikselin yükseklik değerleri, Şekil 4.9'da görüleceği üzere normal dağılıma uymaktadır. 1900-2100 yükseklik aralığında yoğunlaşan pikseller bölgenin hipsometrik yüksekliği olan 1985 m'yi ve kar gözlem istasyon ağının yükseklik dağılımını destekler niteliktedir. Yükseklik değişiminin hissedilir derecede etkili olduğu bu bölgede; model çerçevesi,

Çalışma alanı ve kar istasyonlarının yükseklik dağılımlarının paralellik göstermesi, tam dağılımlı model uygulamasının sonraki adımları için ilk ve önemli adımlardan biridir.



şekil 4.9. Tam dağılımlı kar modeli için kullanılan piksellerin yükseklik dağılımı.

4.3.2.2. Model girdilerinin hazırlanması

Elde edilen noktasal istasyon verileri incelenerek, işlenip günlük hale dönüştürülmüş ve kalite kontrol çalışmalarının ardından kullanılmaya hazır hale getirilmişlerdir. İstasyonların 2015-2018 kar sezonları içerisindeki meteorolojik lmler (Sıcaklık [°C], Yağış [mm] ve Kar Derinliği [cm]) değişkenlik gösterdiği için; yıl yıl hangi istasyonların kullanılacağına karar verilmiştir. Burada, elde edilen sıcaklık ve yağış verileri model girdisi olarak kullanılmış, kar derinliği ölçümleri ise tam dağılımlı model parametrelerinin elde edilmesi veya model doğrulamasında kullanılmak üzere sınıflandırılmışlardır.

Tam dağılımlı model çalışmasının başında araziden elde edilen noktasal meteorolojik gözlem istasyon verilerinin alansal olarak dağıtılması yer almaktadır. Noktasal llen yağış, sıcaklık ve kar su eşdeğeri gibi verilerin alansal dağıtılması için literatürde sıklıkla kullanılan farklı yöntemler bulunmaktadır. Bu yöntemlerden bazıları

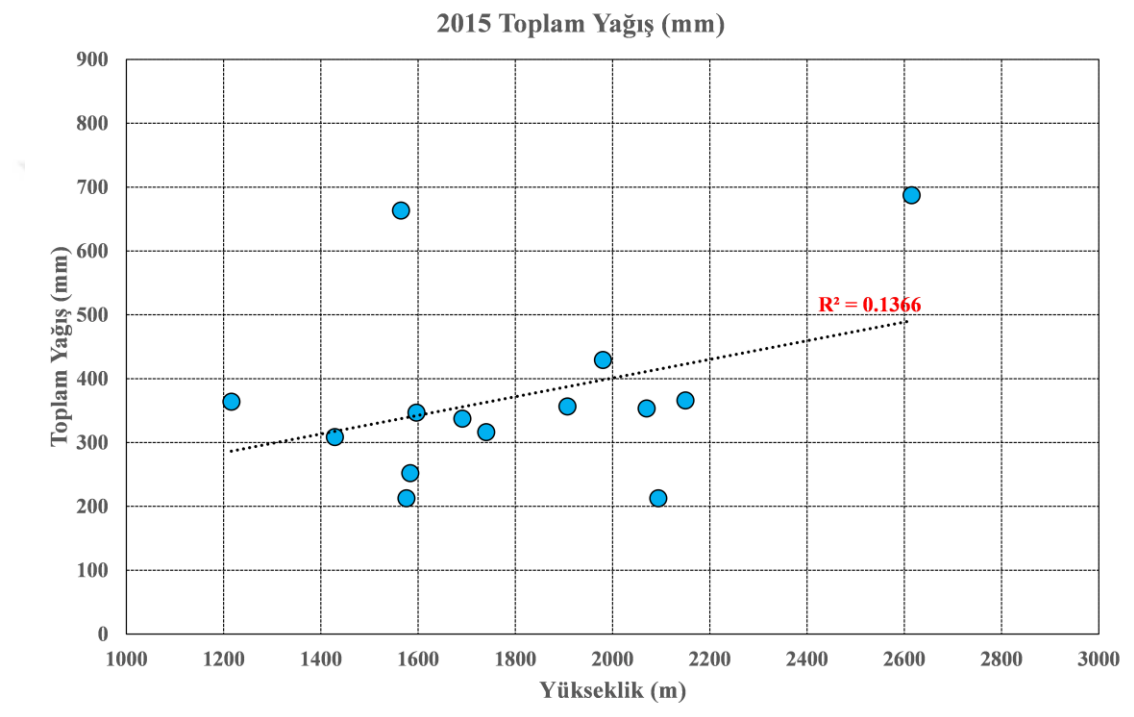
Aritmetik Ortalama, Thiessen Poligonları, Eşyüksekti (İzohips) Eğrileri, Ters Mesafe ile Ağırlıklandırma (IDW), Ordinary Kriging ve Detrended Kriging (DK) yöntemleridir.

Detrended Kriging yöntemi sıcaklık, yağış ve kar su eşdeğeri gibi noktasal ölçülen verileri yüksekliğe bağlı olarak belirli bir alana dağıtan bir yöntemdir. Hesaplamalarında noktasal ölçülen meteorolojik veriler ile ölçümün yapıldığı noktanın koordinatları ve yükseklik değerini kullanmaktadır. Noktasal istasyon ölçümlerinin yükseklik ile ilişkisi bu yöntemde oldukça önemli bir rol oynamaktadır. Dağıtma işlemi sırasında, veriler arasında eğilime (farklarının karesinin toplamının en küçüğüne göre) göre bir formül oluşturulmaktadır. Nokta değerlerinin bu eğilime olan farkları kriging yöntemiyle dağıtılmaktadır. Yöntemin bilgisayar ortamında ve tam dağılımlı model uygulaması ile uyumlu kullanabilmek için Garen vd., (1994) tarafından hazırlanan DK programı kullanılmıştır. Şekil 4.10'da kullanılan DK programının ara yüzü gösterilmektedir.

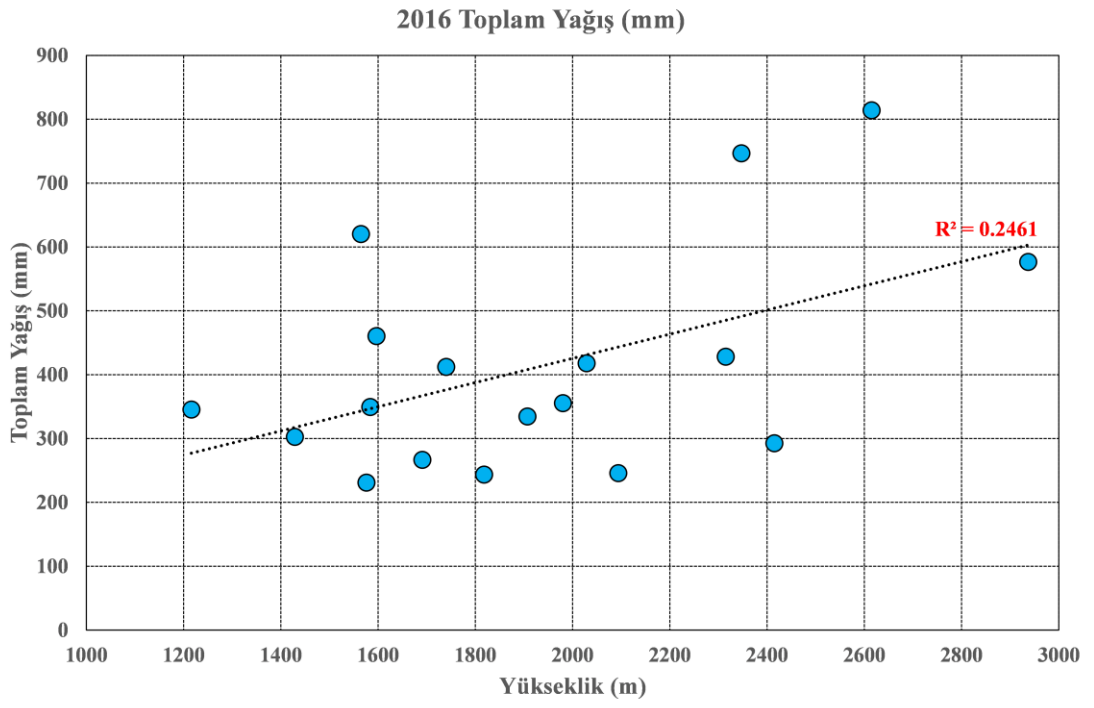
The screenshot shows the 'Detrended Kriging' software interface. It is divided into several panels. The 'Input' panel on the left has fields for 'Station data file name', 'Elevation grid file name', 'Watershed mask grid file name', 'Zone grid file name', and 'Input Data Type' (set to 'Temperature'). The 'Grid Output' panel on the right has fields for 'Grid output directory', 'ARC/INFO output precision' (set to 'Integer'), 'Beginning day number for grid output' (274), 'Ending day number for grid output' (365), 'Output format' (set to 'Daily fields -- ARC/INFO format, plus mean areal values'), and 'Zone output file name'. The 'Main Output' panel at the bottom left has 'Output file name' (2018_temp_5200_out.dat) and 'Optional Output' checkboxes for 'Elevation trend regressions', 'Distances among stations', 'Input data', 'Detrended residuals', and 'Kriging weights'. The 'Calculations' panel at the bottom right has 'Detrending method' (Least squares regression), 'Station Weighting method' (Distance Weighting), and 'Number of days per period' (1). The 'Saved Settings' panel at the bottom right has a text box, 'Load', 'Save', 'Run', 'Cancel', and 'Exit' buttons.

Şekil 4.10. Detrended Kriging (DK) programının ara yüzü (Garen vd., 1994).

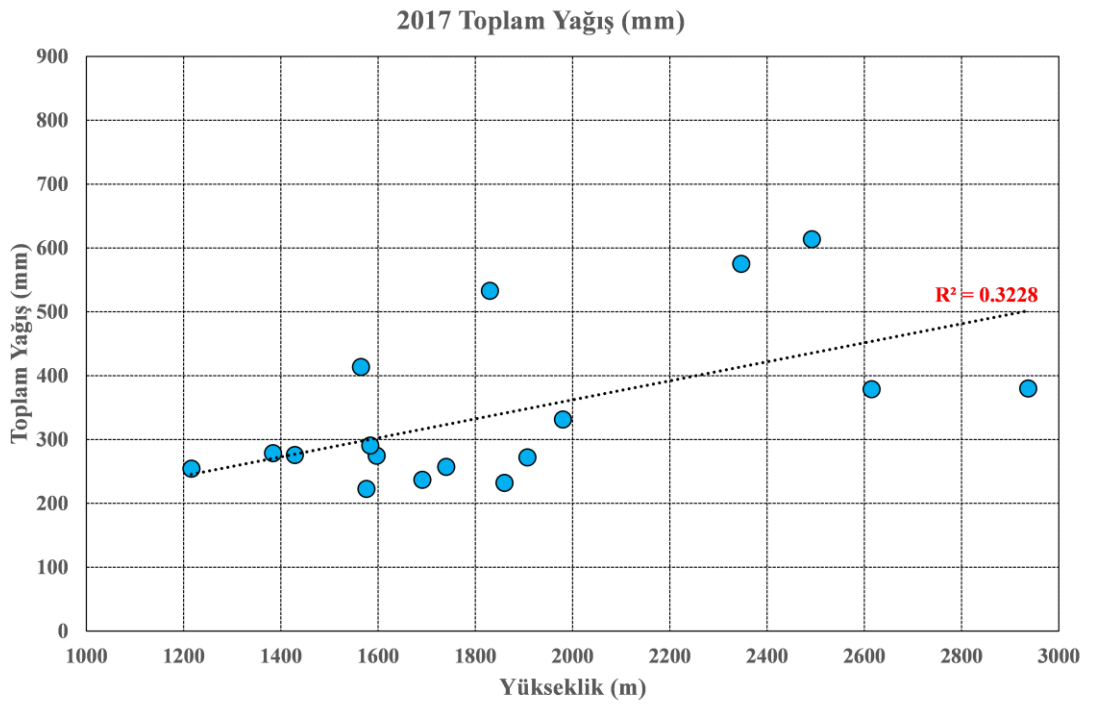
Tam dağılımlı modelde kullanılan yağış ve sıcaklık verilerinin değerlendirilmesi için Şekil 4.11 ve Şekil 4.12’de gösterildiği üzere meteorolojik ölçümlere karşılık istasyon yükseklikleri çizdirilmiştir. Bunun için 1 Ekim-31 Mayıs tarihleri arasında toplam yağış (mm) ve ortalama sıcaklık (°C) hesaplanarak o yükseklikteki istasyon için tek bir değere dönüştürülmüştür. Beklenildiği gibi, yüksekliğin artması ile yağış artmakta ve sıcaklık ise düşüş göstermektedir. Ayrıca, sıcaklığın yükseklik ile olan ilişkisinin yağışa göre daha kuvvetli olduğu net bir şekilde görülebilmektedir.



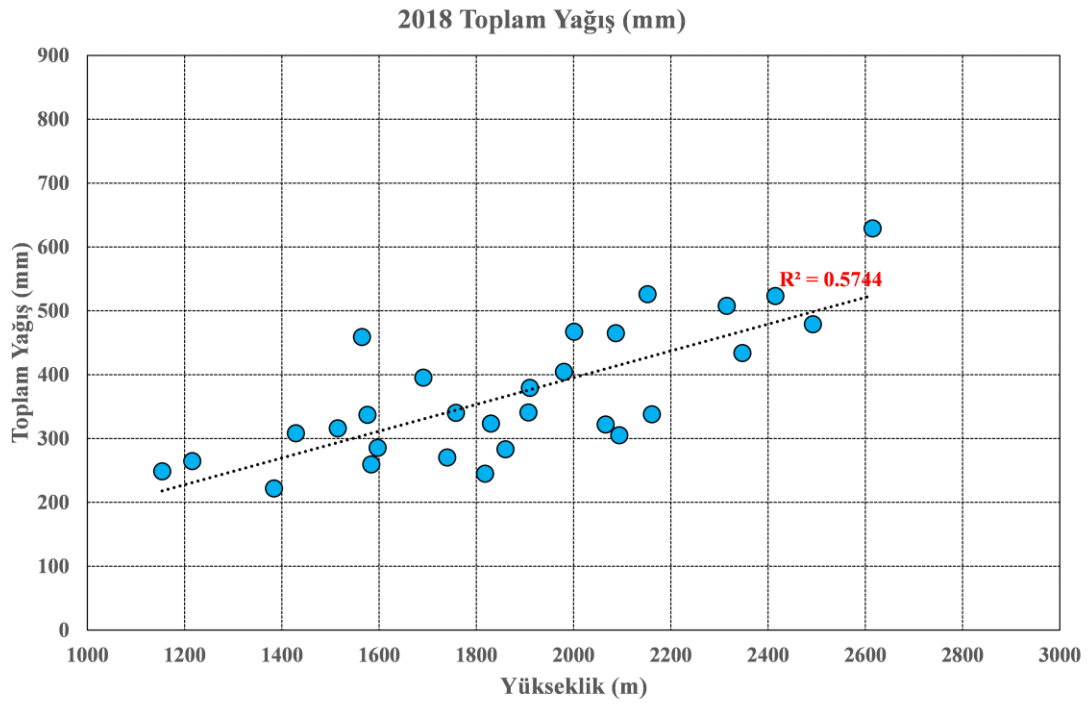
a) 2015



b) 2016

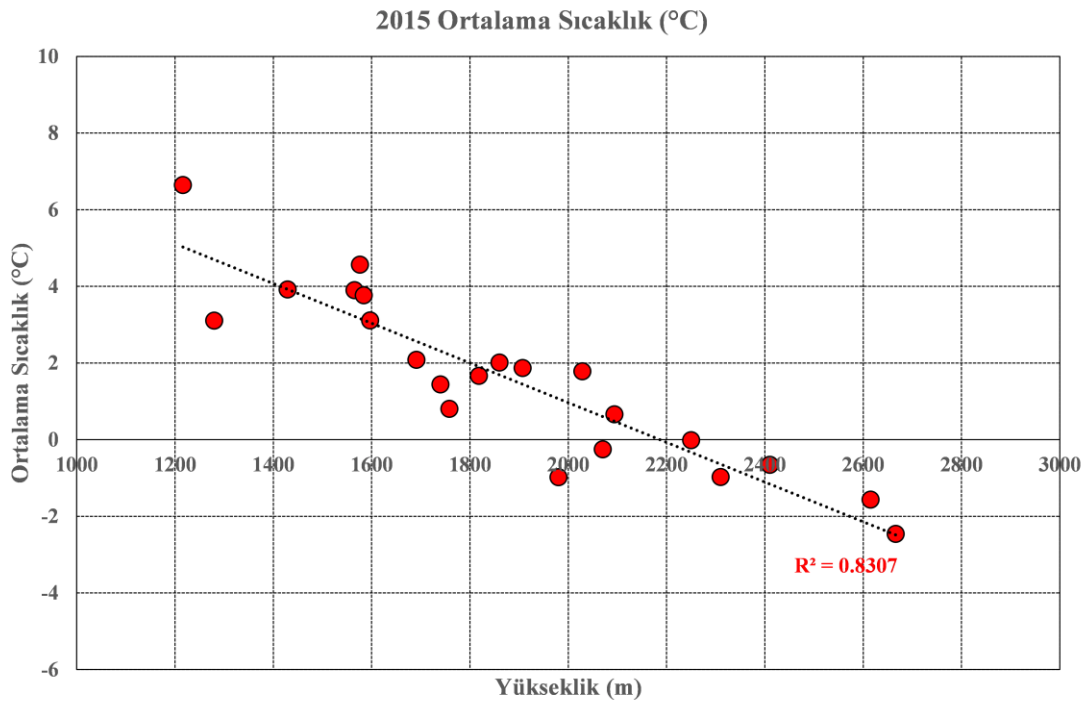


c) 2017

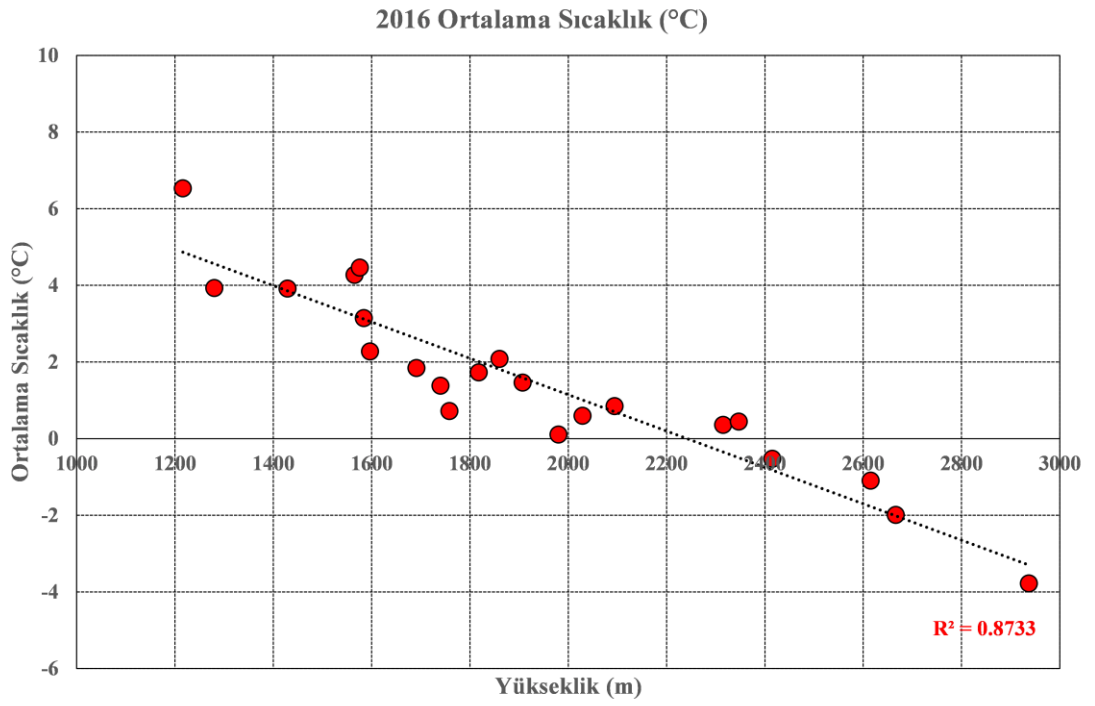


d) 2018

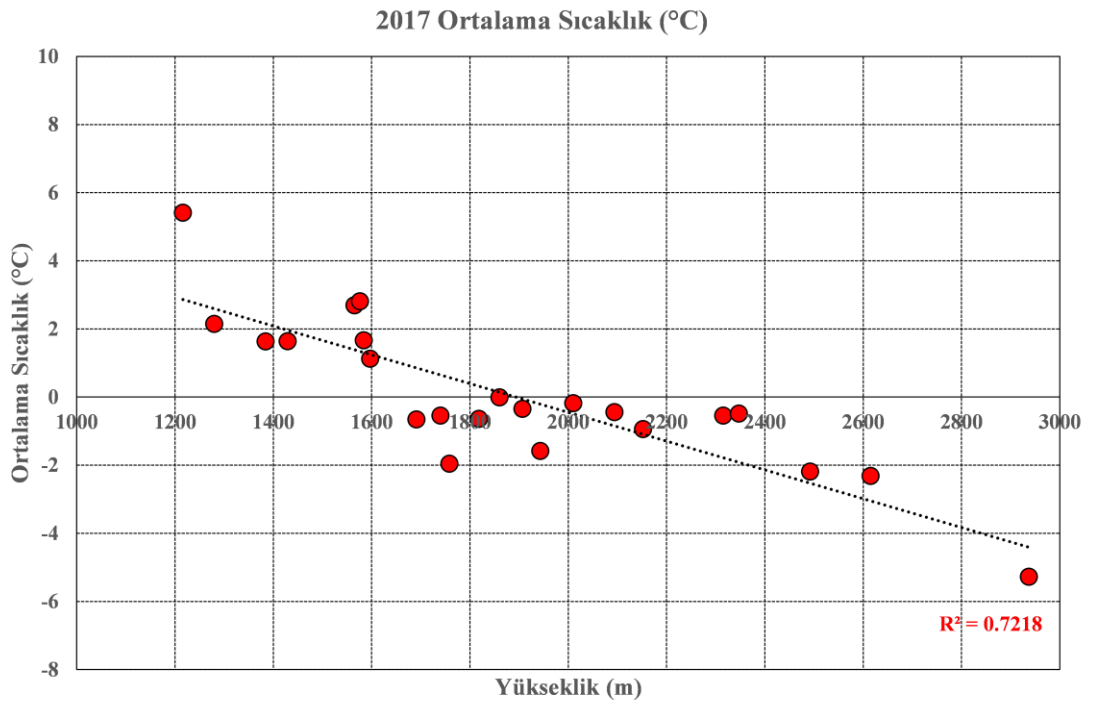
şekil 4.11. 2015-2018 kar sezonları için noktasal sezonluk toplam yağış (mm) ve yükseklik ilişkisi.



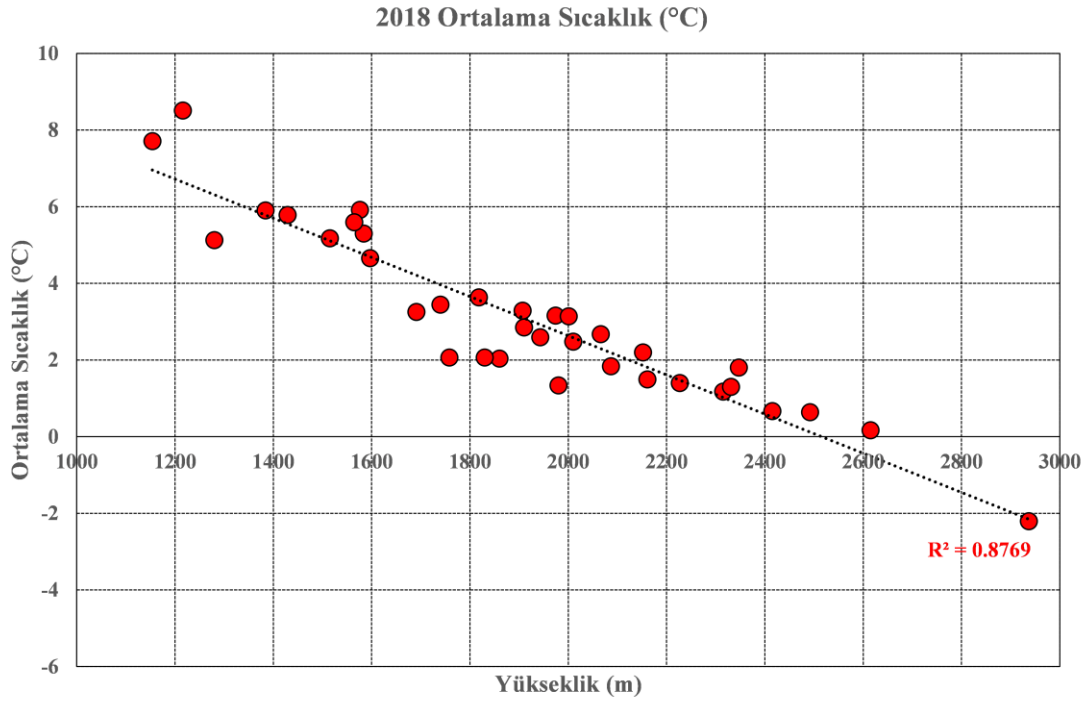
a) 2015



b) 2016



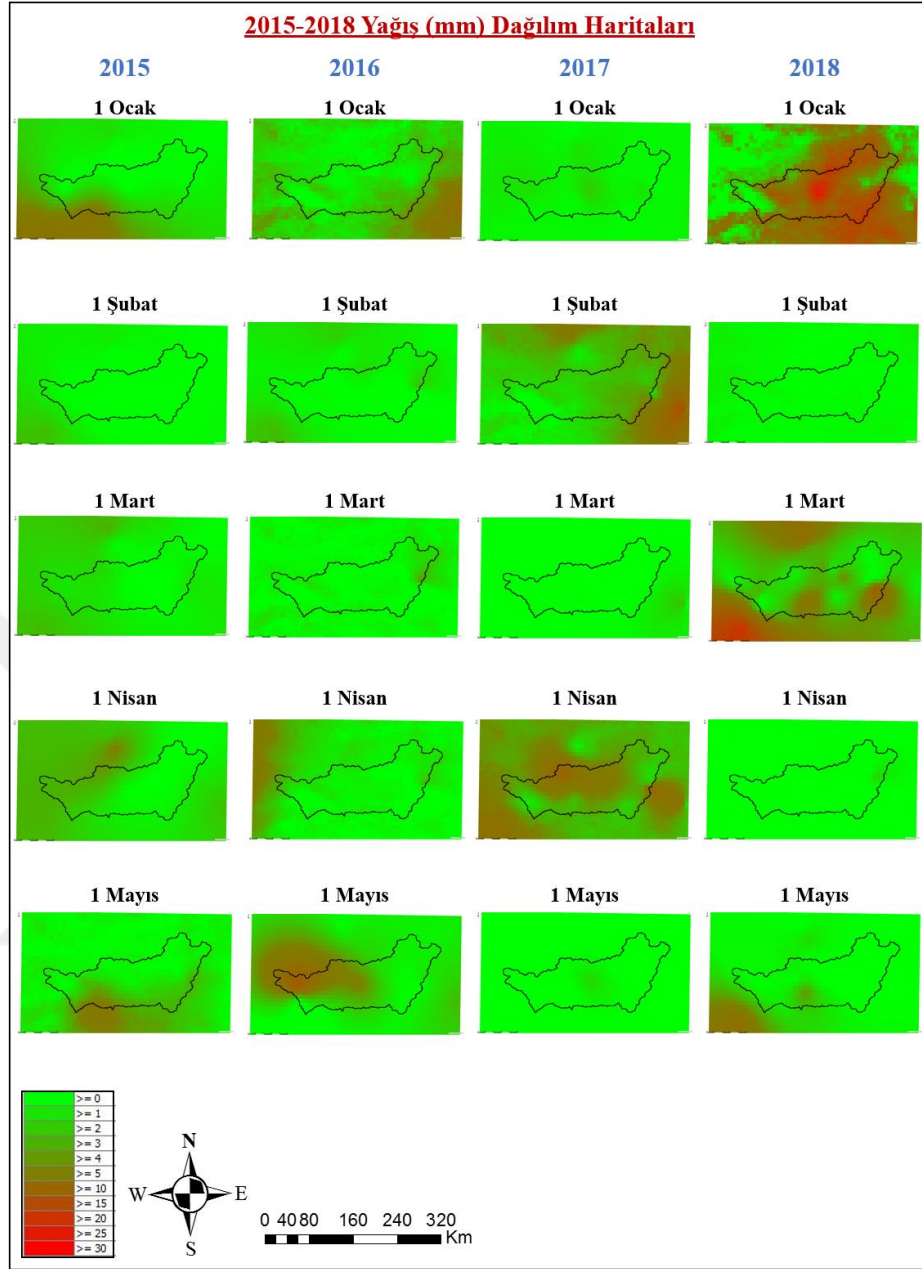
c) 2017



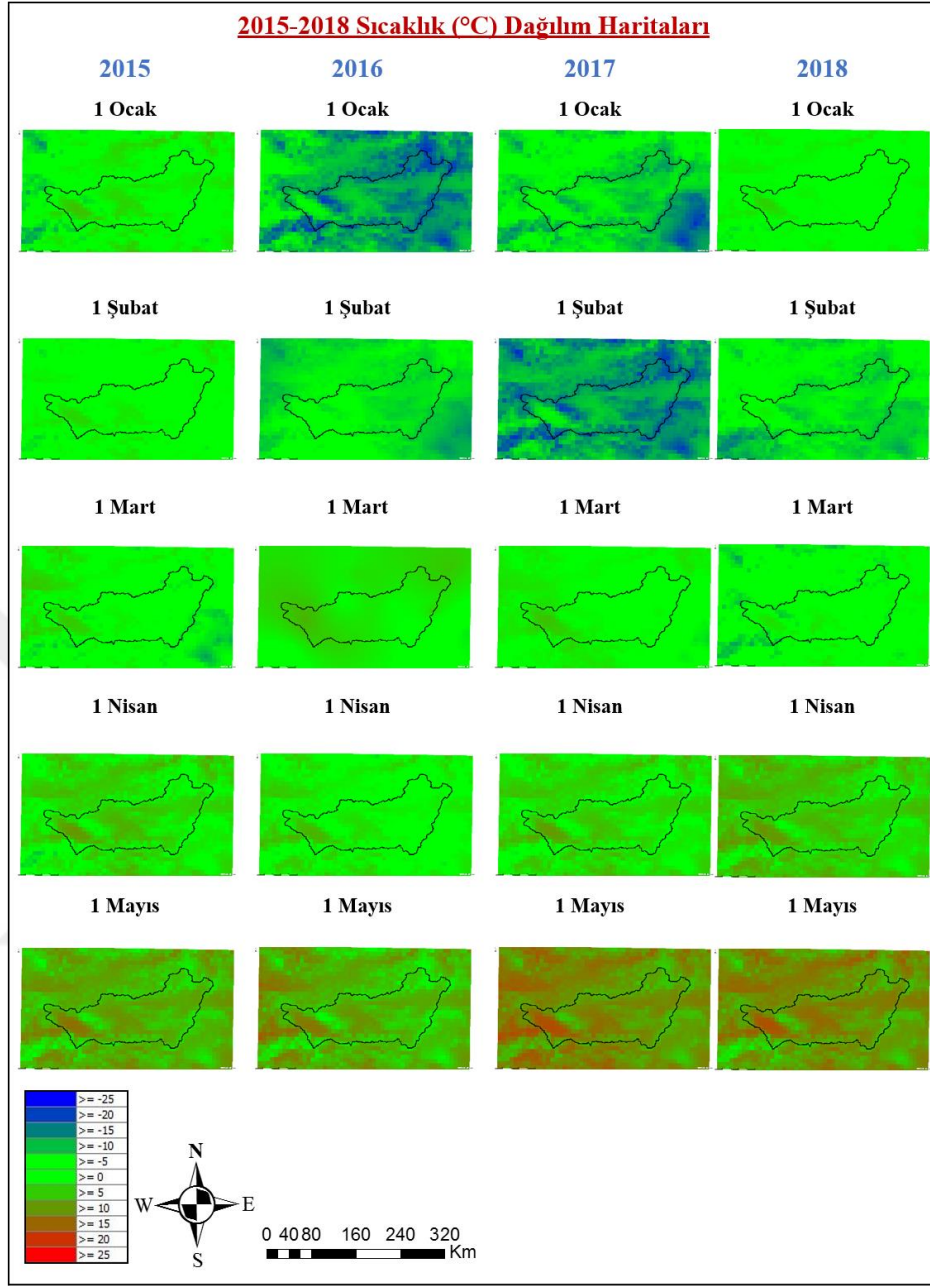
d) 2018

Şekil 4.12. 2015-2018 kar sezonları için noktasal ortalama sıcaklık (°C) ve yükseklik ilişkisi.

Bu tez çalışması kapsamında tam dağılımlı modelde girdi olarak kullanılmak üzere; noktasal yağış ve sıcaklık verileri Detrended Kriging (DK) yöntemi uygulanarak alansal ve günlük olarak dağıtılmıştır. Dağıtımı yapılacak çerçevenin mekânsal çözünürlüğü, uygulanacak dağılımlı model çözünürlüğü ile aynı olacak şekilde 5 km x 5 km olarak belirlenmiştir. Şekil 4.13 ve 4.14’te 2015-2018 kar sezonlarının Ocak-Mayıs aylarının ilk günleri için örnek yağış ve sıcaklık haritaları sunulmuştur.



Şekil 4.13. 2015-2018 kar sezonları Ocak-Mayıs aylarının ilk günleri yağış (mm) haritaları



Şekil 4.14. 2015-2018 kar sezonları Ocak-Mayıs aylarının ilk günleri sıcaklık (°C) haritaları

4.3.2.3. Model parametrelerinin hazırlanması

Günümüzde gerek farklı platformlarda gerekse farklı işletim sistemlerinde SNOW-17 model yöntemini kullanarak çalışan kar modelleri bulunabilmektedir. Bu çalışmada; tam dağılımlı model kodu, Windows işletim sisteminde, VBA (Visual Basic for Applications) ortamında yazılan ve Microsoft Excel tabanlı çalışan SNOW-17 modeli kullanılmıştır.

SNOW-17 modeli, 10 adet parametre ve 2 adet model değişkeni kullanarak kar örtüsünün modellenmesini gerçekleştirmektedir. Parametre kalibrasyon çalışması yapılarak o alan için gözlenmiş kar bileşen (KD, KSE ve ρ_{kar}) değerlerine göre en uygun parametre setinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, Microsoft Excel üzerinde bulunan “Solver” eklentisi ile otomatik parametre kalibrasyonu sürekli Kar Derinlik (KD) ölçümlerine göre yapılmıştır. Tam dağılımlı modelde ise, her bir hücre içerisinde model kalibrasyonu sonucu parametre elde edilmesi söz konusu olamayacağı için; belirlenen noktasal parametreler alansal olarak dağıtılmıştır.

2015-2018 kar sezonları için, meteorolojik ölçüm istasyonları incelenerek sürekli ve hatasız kar ölçümü olan istasyonlar belirlenmiştir. Belirlenen kar gözlem istasyonları için noktasal modeller yapılarak bütün istasyonlarda en uygun sonucu veren parametre setleri bulunmuştur. Yapılan yer gözlemi ve model kıyaslamasını anlamlandırabilmek için aşağıda formülü verilmiş olan Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE) katsayısı kullanılmıştır (Denklem 4.1). Kalibrasyon için kullanılan toplam 23 kar istasyonu ve elde edilen performans sonuçları detaylı bir şekilde Tablo 4.2’de sunulmuştur.

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (X_{model,i} - X_{gözlem,i})^2}{\sum_{i=1}^n (X_{gözlem,i} - \overline{X_{gözlem}})^2} \quad (4.2)$$

X_{model} : Kar model değeri

$X_{gözlem}$: Kar yer gözlem değeri

$\overline{X_{gözlem}}$: Gözlem periyodu boyunca yer gözlem ortalaması

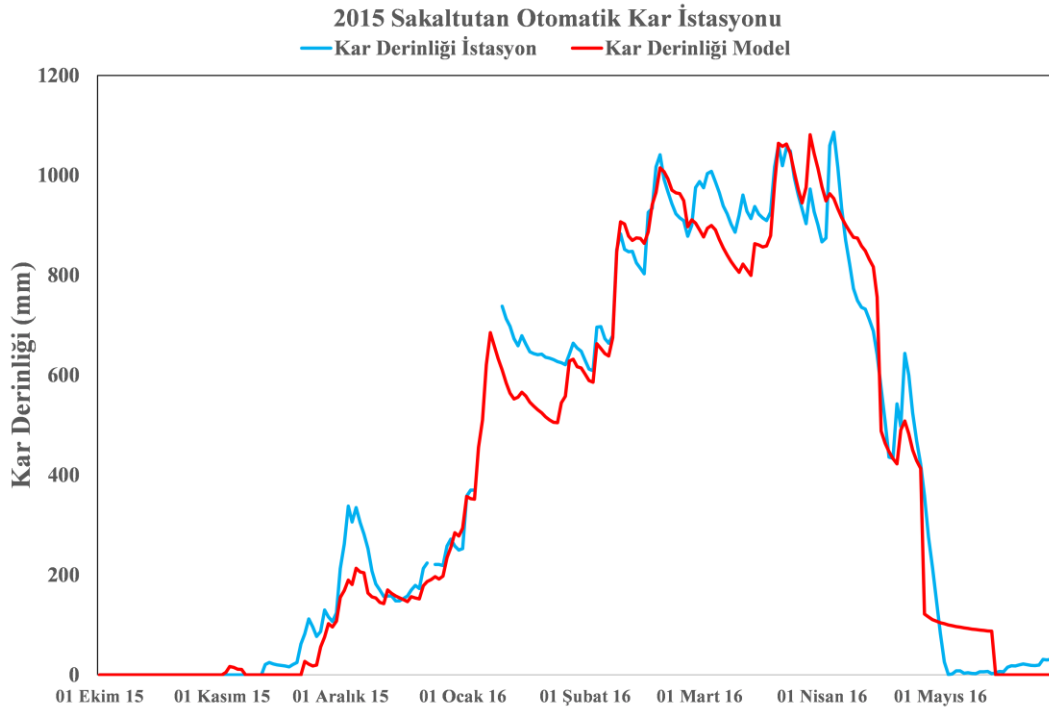
n: Gözlem sayısı

Tablo 4.2. 2015-2018 kar sezonlarında noktasal kalibrasyon ile parametre seti elde edilen kar istasyonları.

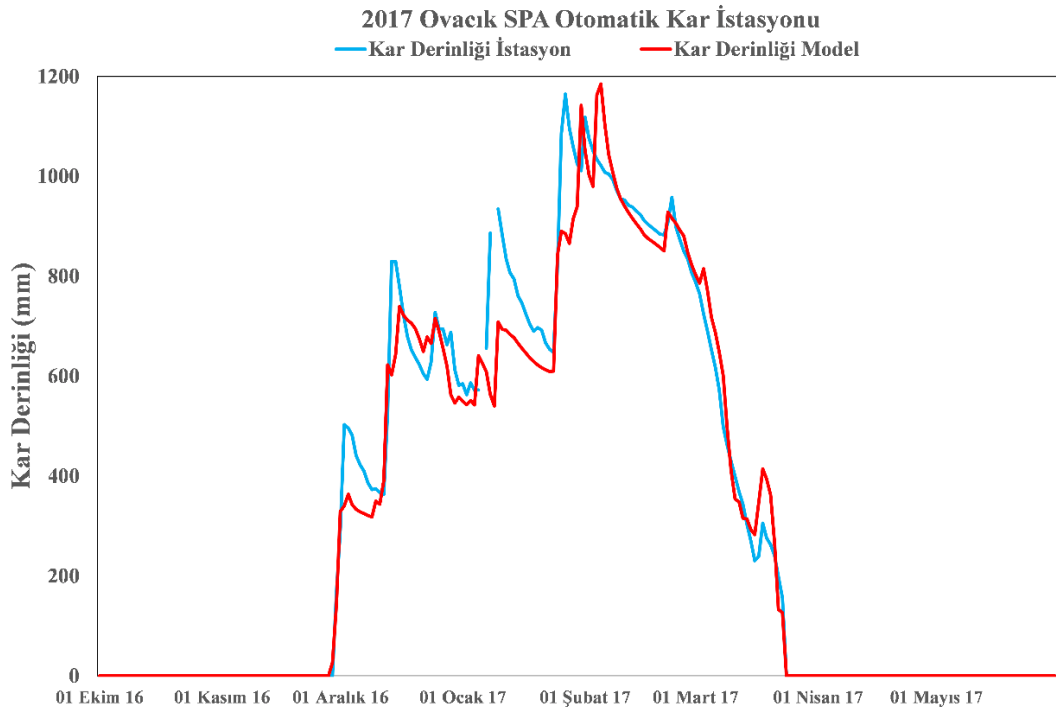
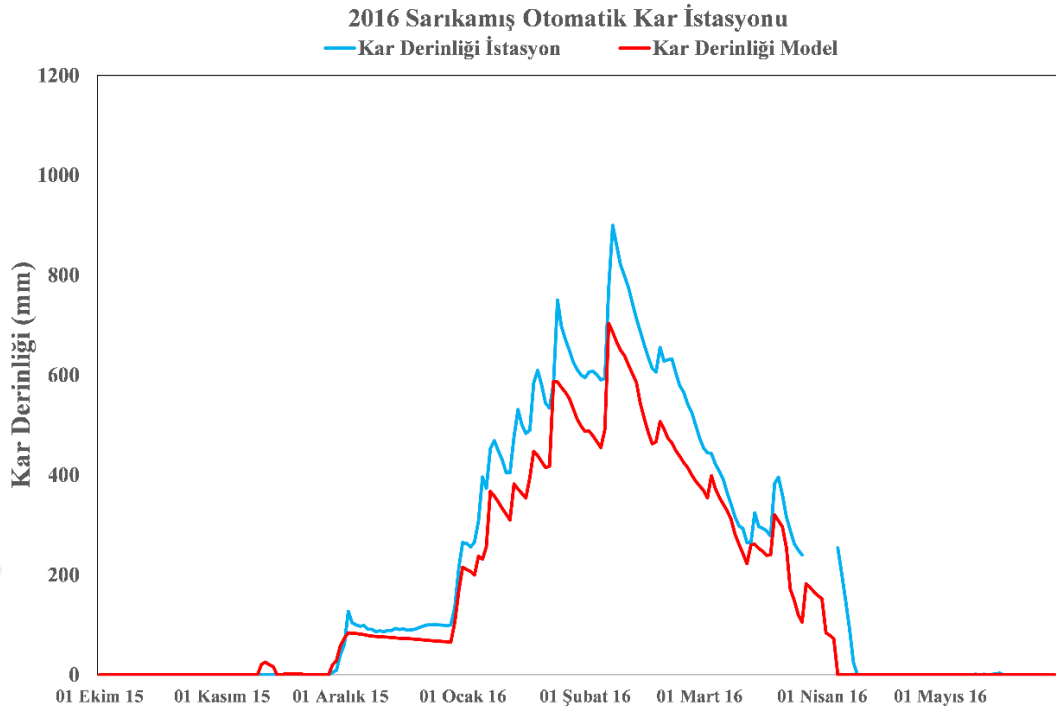
İstasyon	Yükseklik	Enlem	Boylam	Performans (NSE)
2015 Kar Sezonu				
Eleşkirt	1818	39.906	41.254	0.89
Çat	1907	39.911	43.188	0.88
Sakaltutan*	2150	39.847	42.701	0.92
Ağzıaçık	2310	40.145	41.334	0.90
Palandöken SPA	2600	40.381	40.129	0.75
2016 Kar Sezonu				
Ovacık SPA	1280	39.669	40.193	0.51
Ilıca	2094	40.571	40.911	0.82
Sarıkamış*	2315	39.809	41.295	0.91
Palandöken SPA	2600	40.381	40.129	0.86
Dumlu	2660	39.368	39.242	0.87
2017 Kar Sezonu				
Ovacık SPA*	1280	39.669	40.193	0.95
Çat	1907	39.911	43.188	0.82
Ilıca	2094	40.571	40.911	0.86
Sakaltutan	2150	39.847	42.701	0.92
Palandöken SPA	2600	40.381	40.129	0.93
Palandöken Dağı	2940	39.874	41.290	0.59
2018 Kar Sezonu				
Ovacık SPA	1280	39.669	40.193	0.96
Aşkale	1691	39.321	37.140	0.53
Erzurum Havalimanı	1758	39.599	41.754	0.79
Kelkit	1974	39.719	40.613	0.86
Sakaltutan	2150	39.847	42.701	0.78
Kop	2410	40.189	41.488	0.49
Palandöken SPA*	2600	40.381	50.129	0.88
Ortalama				0.81

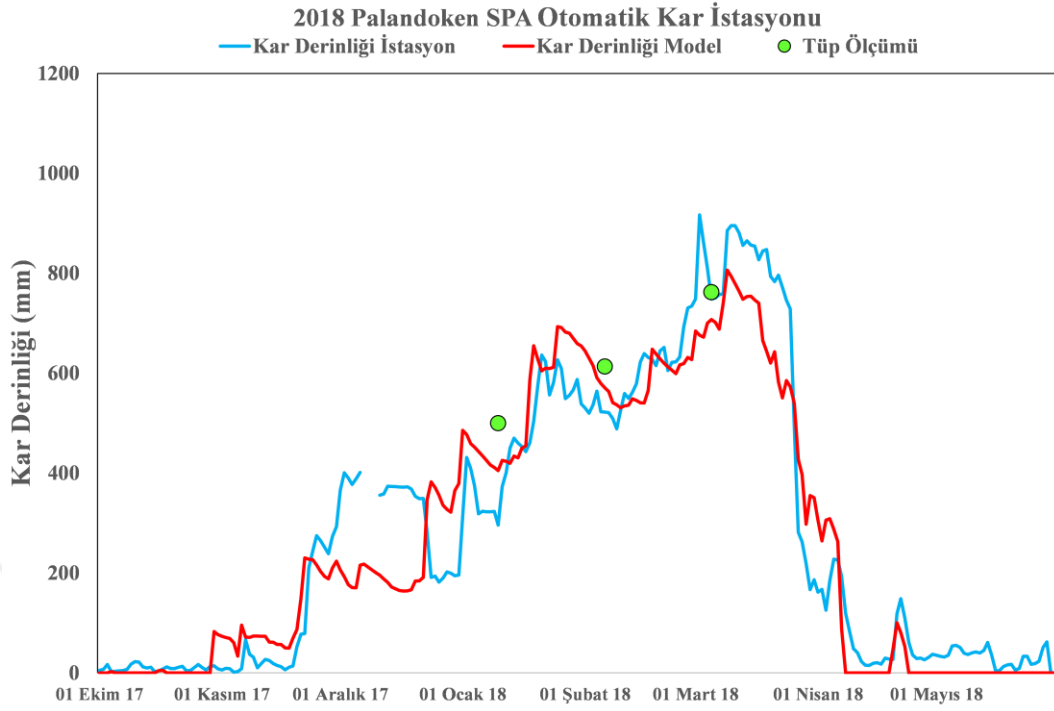
* Örnek olarak sonuç grafikleri sunulan istasyon.

Model parametrelerinin belirlenmesi için uygulanan noktasal kalibrasyon sonuçları, gözlenmiş kar verileri ile karşılaştırıldığında oldukça başarılı performanslar göstermektedir. NSE açısından 0.49 ile 0.96 arasında değişen ve ortalaması 0.81 olan başarılar sergileyen tüm model sonuçları arasından farklı istasyon ve kar sezonları için seçilen örnek istasyonların grafikleri Şekil 4.15'te sunulmuştur. İstasyonların zamansal ve alansal olarak çeşitlilik göstermesi, kar örtüsünün sezon içerisindeki davranışından da açık bir şekilde görülebilmektedir. Genel olarak, modeller kar birikme dönemi süresince meydana gelen kar yağış olaylarını zamansal olarak başarılı bir şekilde yakalamasına karşın miktarsal olarak farklı davranışlar gösterebilmektedir. Maksimum kar derinlik değerleri, genellikle zamanlama ve nicelik açısından model tarafından kısmen yakalanabilmektedir. 2016 kar sezonu için sunulan Sarıkamış istasyonu modelleme örneğinde; model sonuçları yer gözlemi ile şekilsel olarak oldukça benzer hareket etse de miktarsal olarak farklılık göstermektedir. Bu durumun sebebi olarak, otomatik istasyonda kaydedilen yağış ölçümlerinin eksik ölçülmüş olabileceği ön plana çıkmaktadır.



a) 2015 sezonu Sakaltutan kar gözlem istasyonu (NSE=0.92)

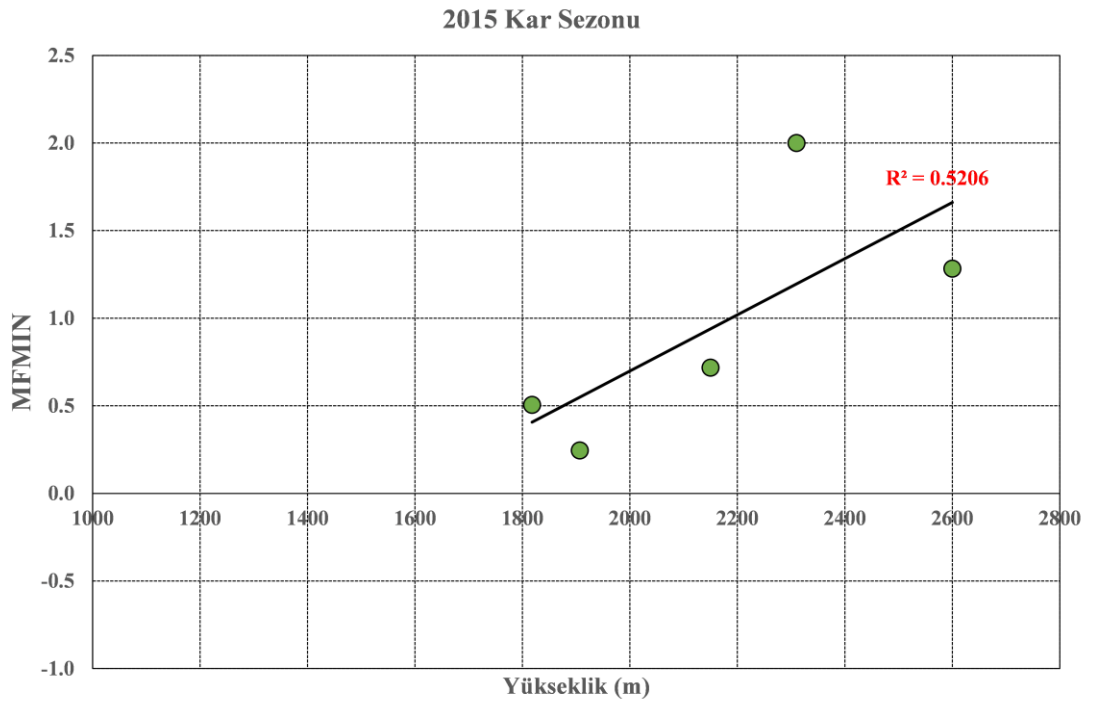




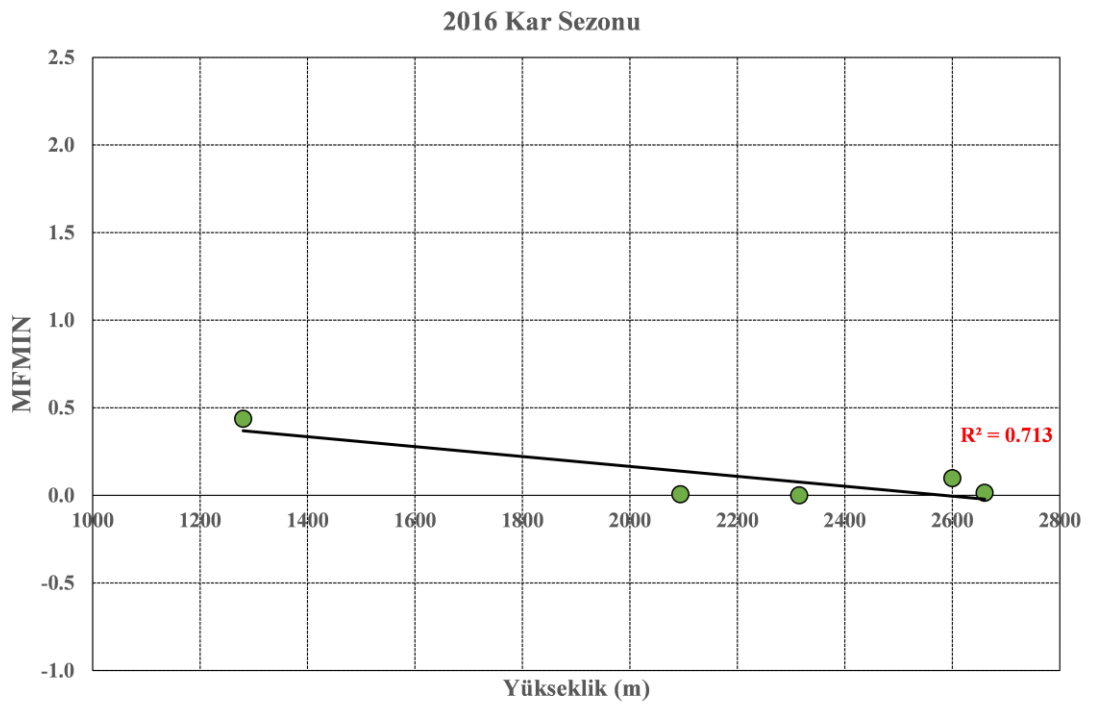
d) 2018 sezonu Palandöken SPA kar gözlem istasyonu (NSE=0.88)

Şekil 4.15. 2015-2018 kar sezonlarında kalibrasyon ile parametre seti elde edilen örnek kar istasyonları ve performansları.

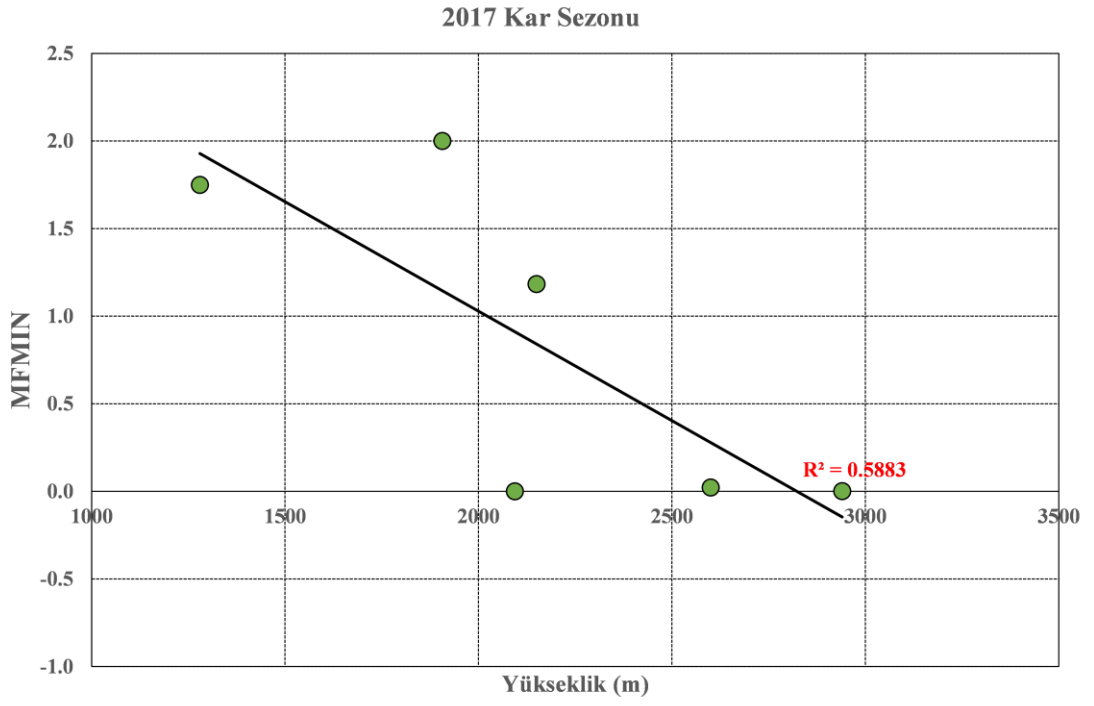
Kalibrasyon çalışmaları sonucunda elde edilen model parametre setleri kullanılarak, her bir kar sezonu için ayrı ayrı yükseklik ve parametre ilişkileri belirlenmiştir. Çalışma alanı içerisinde kısıtlı sayıda otomatik kar gözlem istasyonunun bulunması, 2015-2018 kar sezonlarında kalibrasyon için seçilen kar istasyonlarının farklılık göstermesine sebep olmuştur. Bütün parametrelerin yükseklik ile ilişkilerinin sunulması zor olacağı için, sadece yağmursuz dönemde minimum erime faktörü olan MFMIN parametresinin 2015-2018 kar sezonları için sonuçları sunulmuştur (Şekil 4.16). Buna göre; 0-3 değer aralığında kalibre edilen bu model parametresi için 2015 kar sezonunda yükseklik ile artan bir ilişki, diğer yıllarda ise tersi bir durum söz konusu olmaktadır.



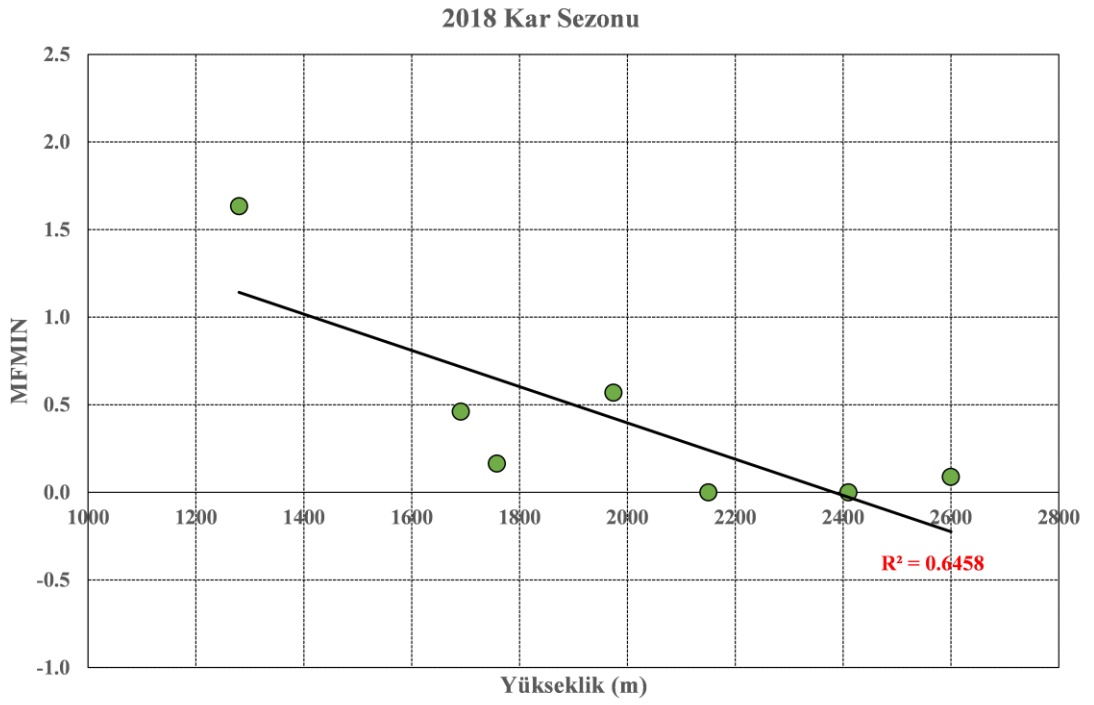
a) 2015



b) 2016



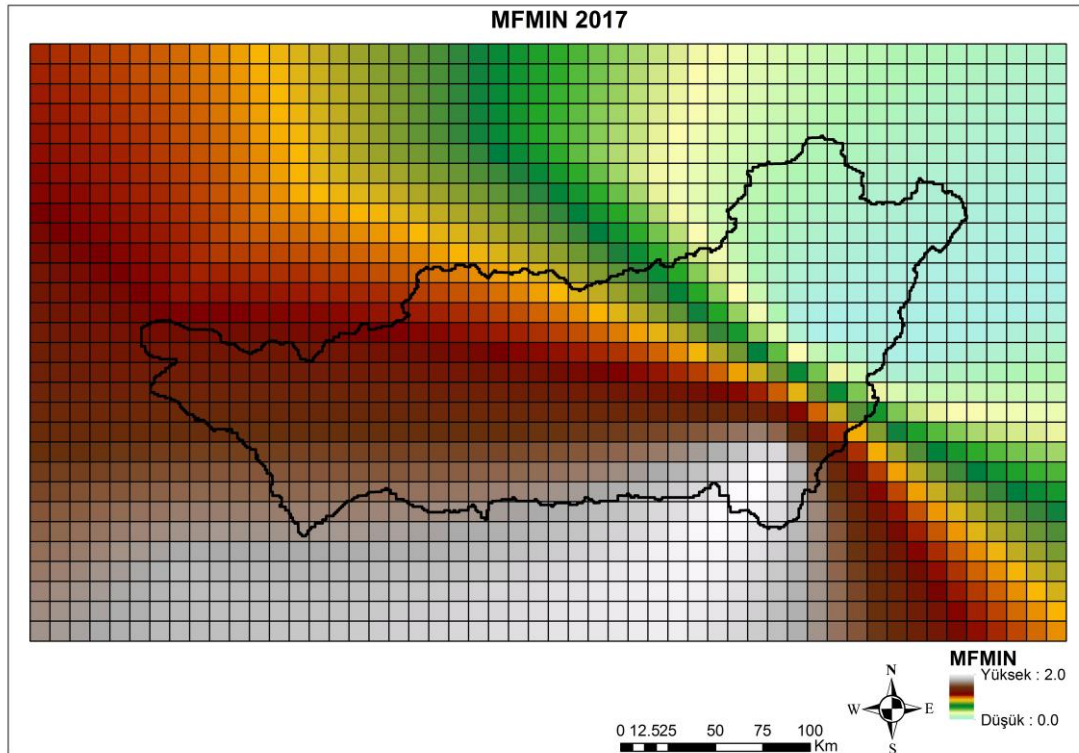
c) 2017



d) 2018

Şekil 4.16. 2015-2018 kar sezonları için noktasal MFMIN ($\text{mm} \cdot ^\circ\text{C}^{-1} \cdot 6 \text{ hr}^{-1}$) parametresi ve yükseklik ilişkisi.

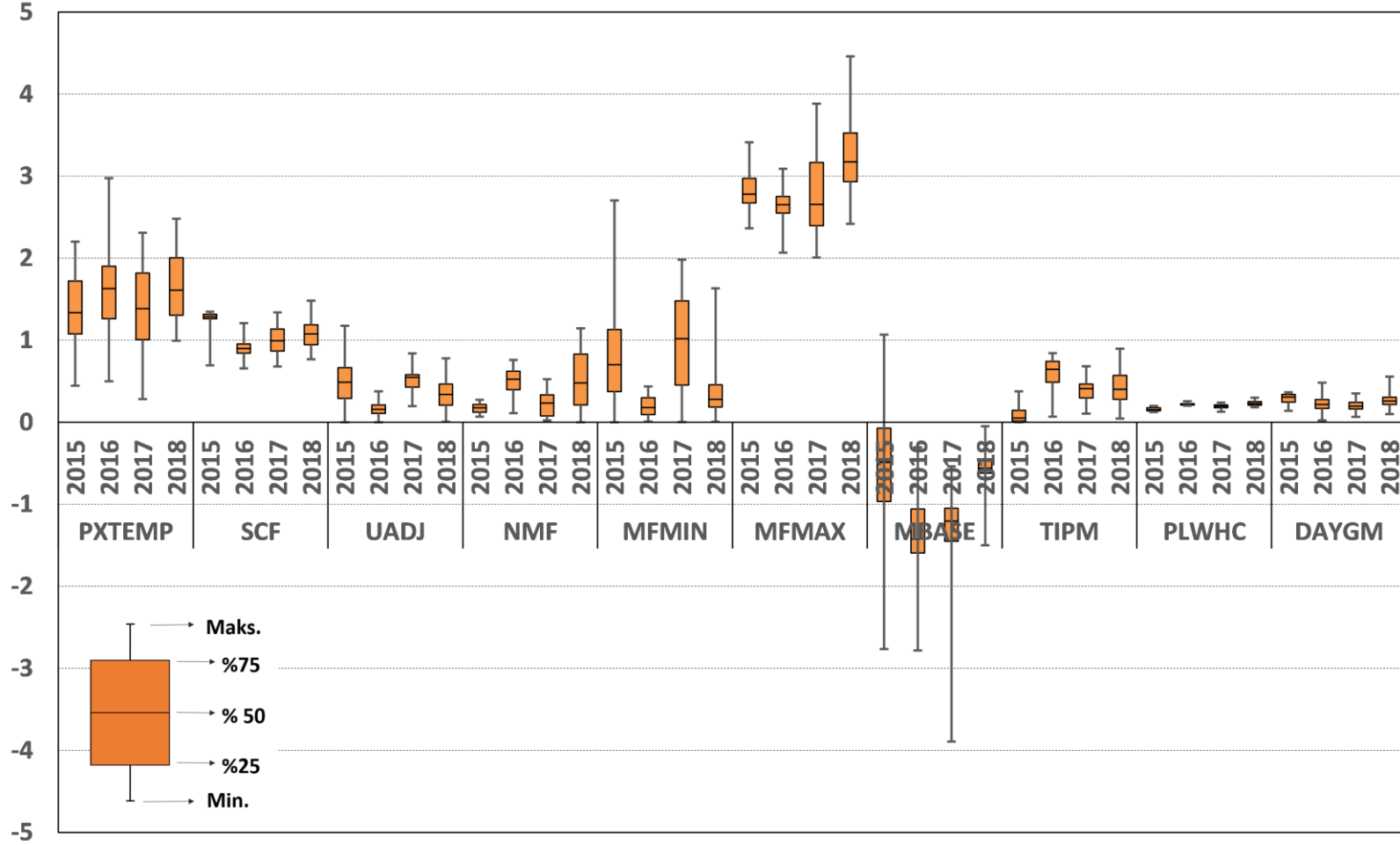
Parametrelerin yükseklik ile ilişkilerinin belirlenmesinin ardından, yağış ve sıcaklık verilerinde olduğu gibi bütün parametreler Detrended Kriging (DK) yöntemi ile alansal dağıtılmıştır. Dağıtımı yapılacak çerçevenin çözünürlüğü, dağılımlı model çözünürlüğü ile uyumlu olması için 5 km x 5 km (1560 piksel) olarak belirlenmiştir. Şekil 4.17’de yağış ve sıcaklığa benzer şekilde 2017 kar sezonu için örnek MFMIN parametre haritası sunulmuştur.



Şekil 4.17. 2017 kar sezonu için MFMIN parametre haritası.

Ayrıca, bütün model piksellerindeki parametre dağılımının daha kolay değerlendirilmesini ve yorumlanmasını sağlayan Şekil 4.18’de sunulan özel kutu grafikler (box plots) oluşturulmuştur. Bu kutular sırasıyla en küçük, birinci çeyrek (%25), ortalama (%50), üçüncü çeyrek (%75) ve en büyük değerleri göstermektedir. Buna göre, SNOW-17 model parametrelerinin her birinin 2015-2018 kar sezonlarında ve çalışma alanı içerisindeki her bir pikselin sahip olduğu değerleri içerecek şekilde ne kadar bir saçılma ve belirsizliğe sahip olduğu görülebilmektedir.

2015-2018 Model Parametrelerinin Dağılımı

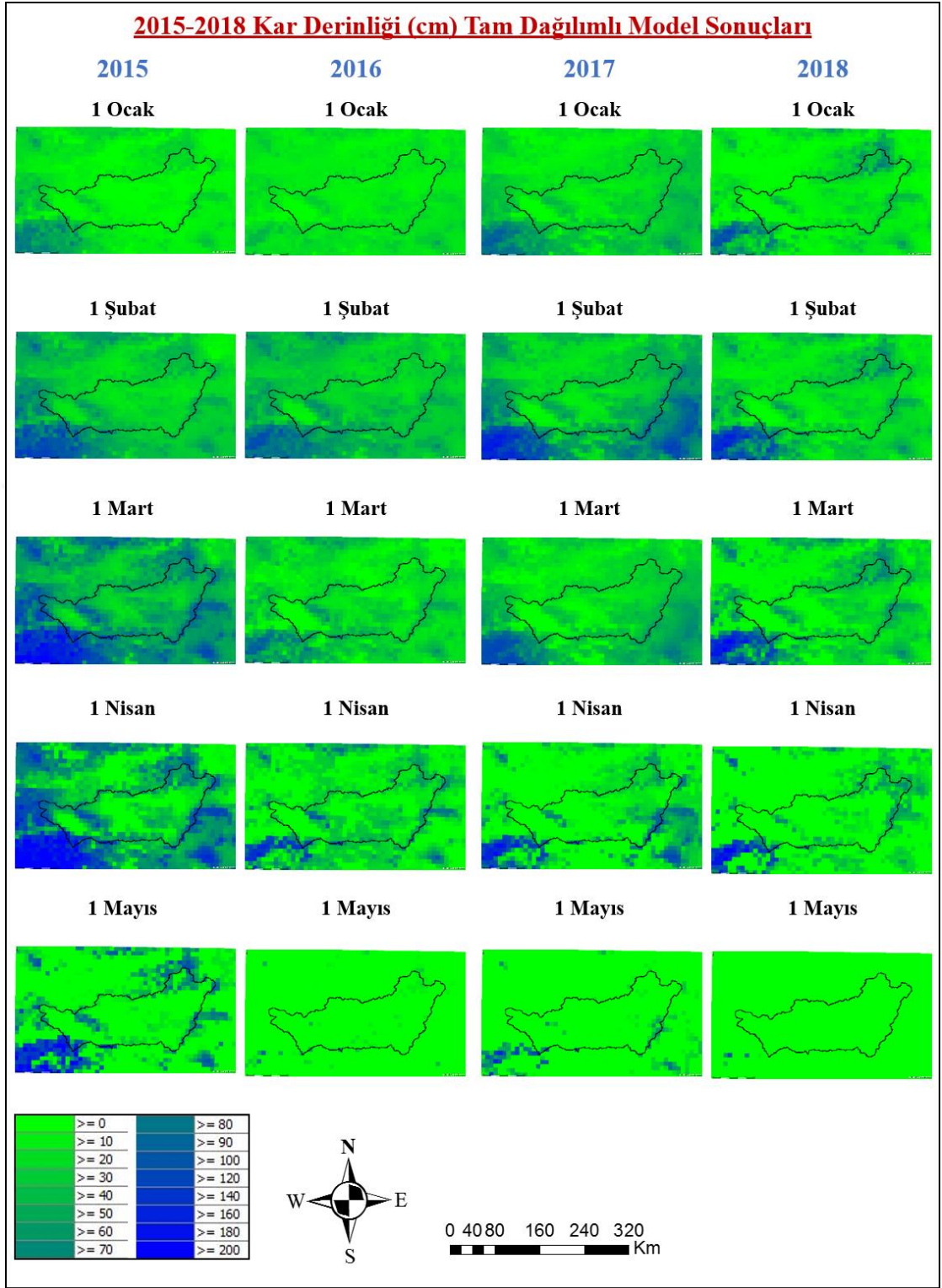


Şekil 4.18. SNOW-17 model parametrelerinin çalışma periyodundaki değişimleri.

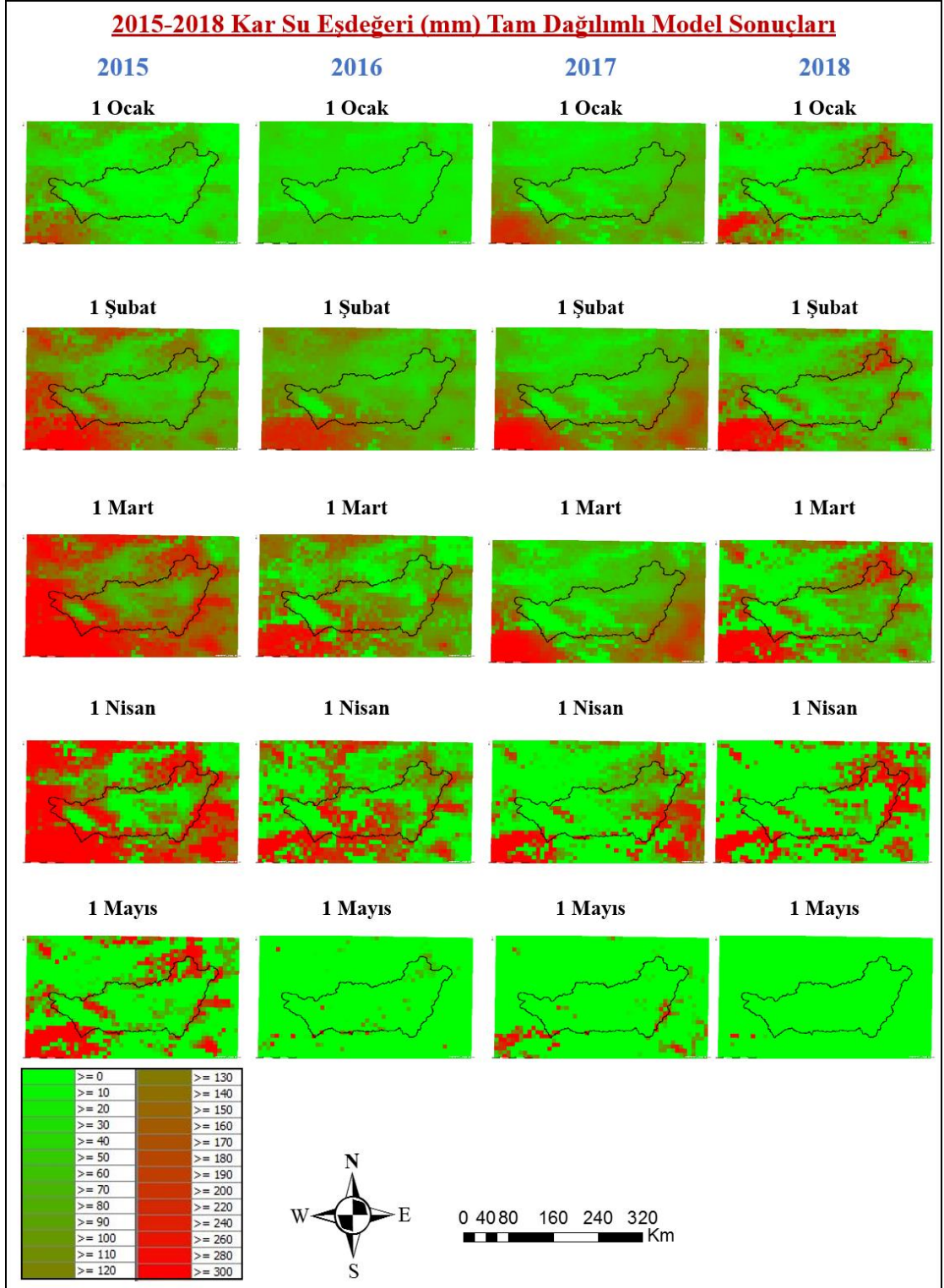
4.3.3. Tam dağılımlı kar model uygulaması ve sonuçları

SNOW-17 modeli kavramsal bir model olduğundan, sağlanan girdilerin çeşitli matematiksel denklemlerden geçerek ürettikleri çıktıların, arazide ölçülen değerlerle tutarlı olması için modelin bazı parametrelerinin düzenlenmesi gerekmektedir. Bu işleme kalibrasyon adı verilir. Noktasal otomatik kar ölçüm istasyonları için kalibre edilen model parametrelerinin de farklı yılların modellenmesi sürecinde tutarlılıklarının incelenmesi gerekmektedir. Bu işleme de doğrulama adı verilir. Dolayısıyla, kavramsal modeller önce kalibrasyon ve daha sonra ise model sonuçlarının doğrulanması işlemlerinden geçmelidir. Belirli periyotlar arasında ölçülen verilerin bir kısmı kalibrasyon için, bir kısmı ise doğrulama için kullanılmalıdır, bu verilerin çakışmaması gerekmektedir. Doğrulama işlemlerinin ardından, kullanılan modelin seçilen alan üzerindeki model parametreleri belirlenmiş olmalıdır.

Bu tez çalışmasında, çalışma periyodu olan 2015-2018 kar sezonları (1 Ekim-31 Mayıs) için SNOW-17 modelinin noktasal olarak kalibrasyonu yapılmıştır. Her yıl için elde edilen parametre setleri tam dağılımlı model uygulaması yapılacak olan çerçeveye Detrended Kriging (DK) yöntemi ile alansal dağıtılmıştır. Son olarak; alansal olarak dağıtılmış olan yağış, sıcaklık ve model parametreleri kullanılarak tam dağılımlı model uygulaması gerçekleştirilmiştir ve sonuç olarak Kar derinliği (cm) ve Kar su eşdeğeri (mm) belirlenmiştir. Şekil 4.18 ve 4.20’de 2015-2018 kar sezonları için örnek olarak hazırlanan KD ve KSE sonuçları sunulmuştur.



Şekil 4.19. 2015-2018 Kar derinliği (cm) tam dağılımlı model sonuç örnekleri.



Şekil 4.20. 2015-2018 Kar su eşdeğeri (mm) tam dağılımlı model sonuç örnekleri.

Elde edilen bulguların değerlendirilmesi için yapılan doğrulama çalışmaları ise aşağıdaki gibi üç başlık altında sunulmuştur.

- i. Model sonuçlarının noktasal olarak değerlendirilmesi
- ii. Model sonuçlarının Karla Kaplı Alan (KKA) açısından alansal olarak değerlendirilmesi
- iii. Model sonuçlarının Kar Su Eşdeğeri (KSE) açısından alansal olarak değerlendirilmesi

i. Model sonuçlarının noktasal olarak değerlendirilmesi

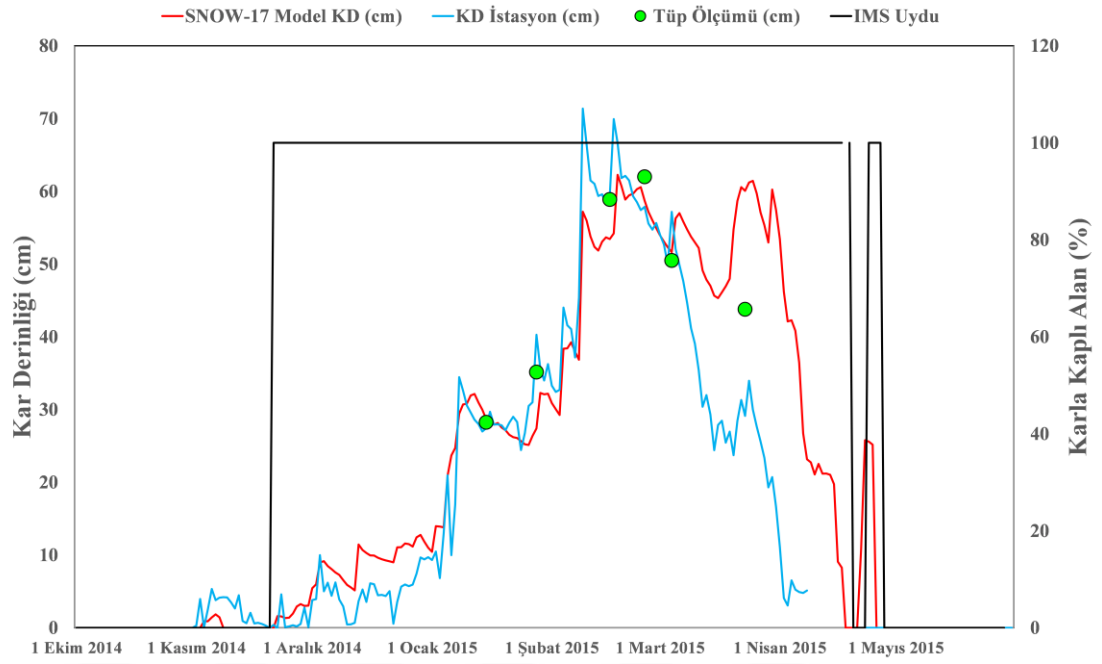
Elde edilen sonuçların noktasal veriyle değerlendirilmesi için, otomatik kar ölçüm istasyon verileri ile ilgili hücrenin model sonuçları kıyaslanarak, doğrulama çalışmaları yapılmıştır. Doğrulama için kullanılan toplam 17 kar istasyonu için elde edilen sonuçların gösterilmesinin zor olmasından dolayı, bütün istasyonlara ait performans sonuçları detaylı bir şekilde Tablo 4.3'te ve her yıl için örnek olarak seçilen istasyonların grafikleri ise Şekil 4.21'de sunulmuştur.

Uygulanan tam dağılımlı SNOW-17 model sonuçları, noktasal olarak kar gözlem verileri ile karşılaştırıldığında NSE açısından 0.20 ile 0.94 arasında değişen ve ortalaması 0.66 olan kabul edilebilir seviyede performanslar göstermektedir. Doğrulama için kullanılan kar gözlem istasyonlarının zamansal ve alansal olarak farklılık göstermesi, kar örtüsünün sezon içerisindeki davranışlarına da yansımaktadır. Genel olarak, modeller kar birikme dönemi süresince meydana gelen kar yağış olaylarını miktarsal olarak olmasa da zamansal olarak başarılı bir şekilde yakalayabilmektedir. Maksimum kar derinliği değerleri genellikle zamanlama ve nicelik açısından model tarafından kısmen yakalanabilmektedir.

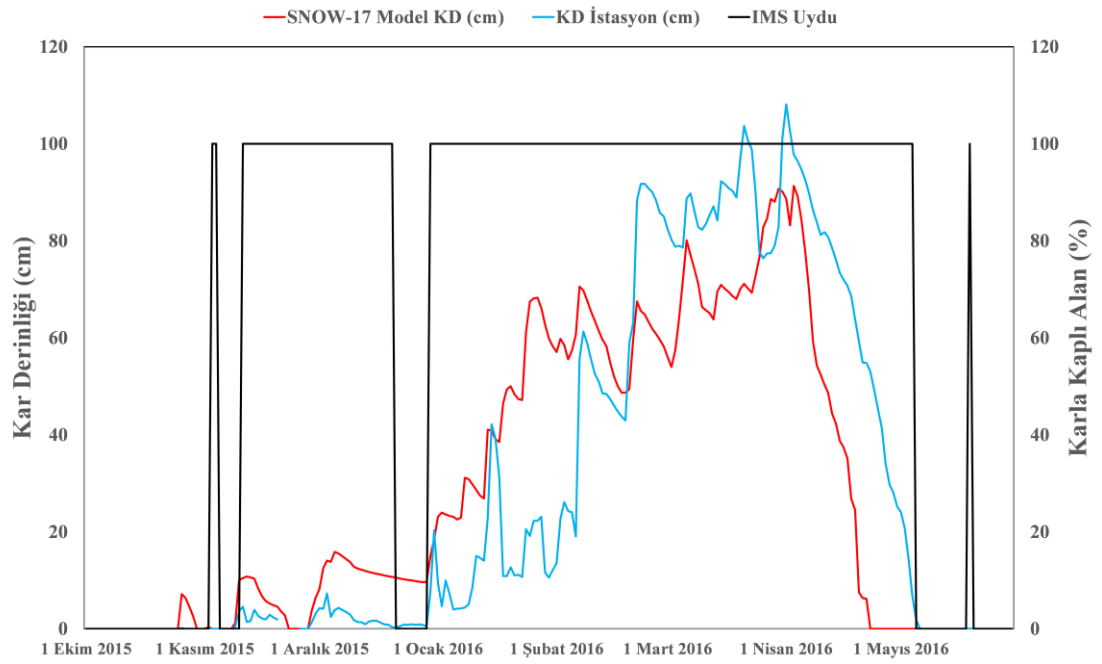
Tablo 4.3. 2015-2018 kar sezonlarında noktasal doğrulama yapılan kar istasyonları ve performansları.

İstasyon	Yükseklik	Enlem	Boylam	Performans (NSE)
2015 Kar Sezonu				
Güzelyayla*	2080	39.876	39.129	0.69
Şenyurt	2250	38.146	42.858	0.77
Ovacık Aşkale	2001	39.852	38.343	0.94
Ilıca	2094	40.571	40.911	0.59
2016 Kar Sezonu				
Palandöken Dağı*	2940	39.874	41.290	0.69
Çat	1907	39.911	43.188	0.51
Ergan	2347	39.873	39.131	0.91
Kop	2415	40.189	41.488	0.20
2017 Kar Sezonu				
Dumlu*	2660	39.368	39.242	0.80
Konaklı	2492	40.288	40.989	0.56
Ergan	2347	39.873	39.131	0.41
2018 Kar Sezonu				
Kargın	1384	39.777	40.193	0.63
Ovacık Aşkale	2001	39.852	38.343	0.57
Bayburt Kayak Merkezi	1584	38.938	40.293	0.73
Yaylalar	2087	40.179	41.072	0.59
Ergan	2347	39.873	39.131	0.87
Kuzgun*	2030	40.061	40.227	0.84
Ortalama				0.66

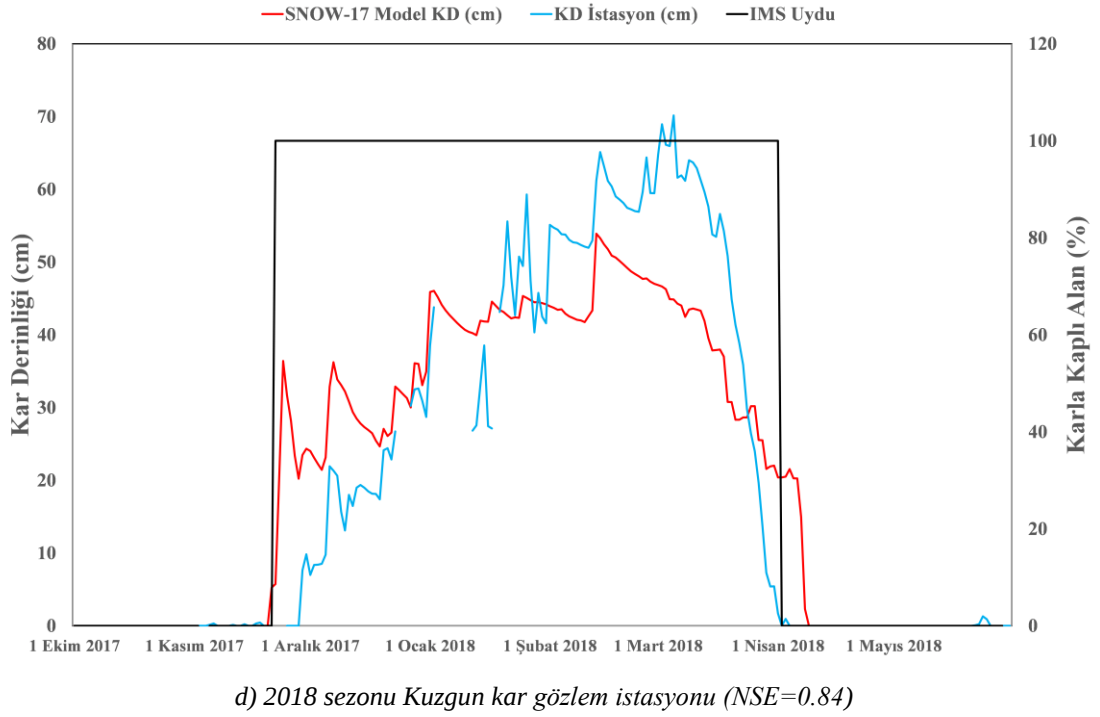
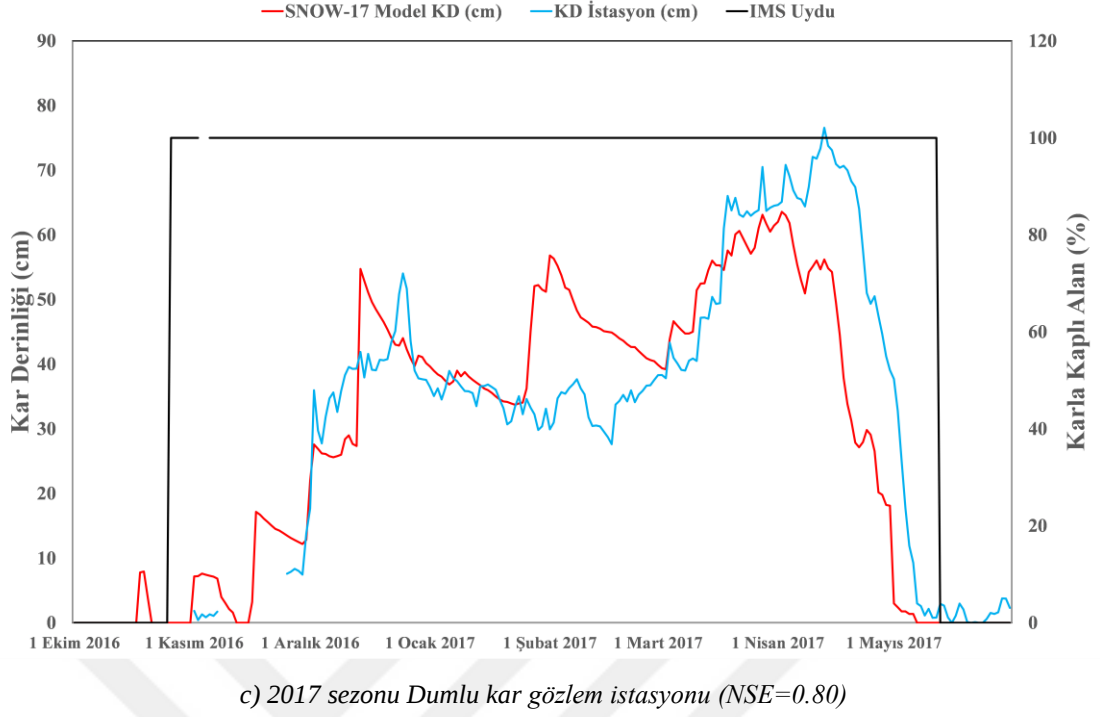
* Örnek olarak sonuç grafikleri sunulan istasyon.



a) 2015 sezonu Güzelyayla kar gözlem istasyonu ($NSE=0.69$)



b) 2016 sezonu Palandöken Dağı kar gözlem istasyonu ($NSE=0.69$)



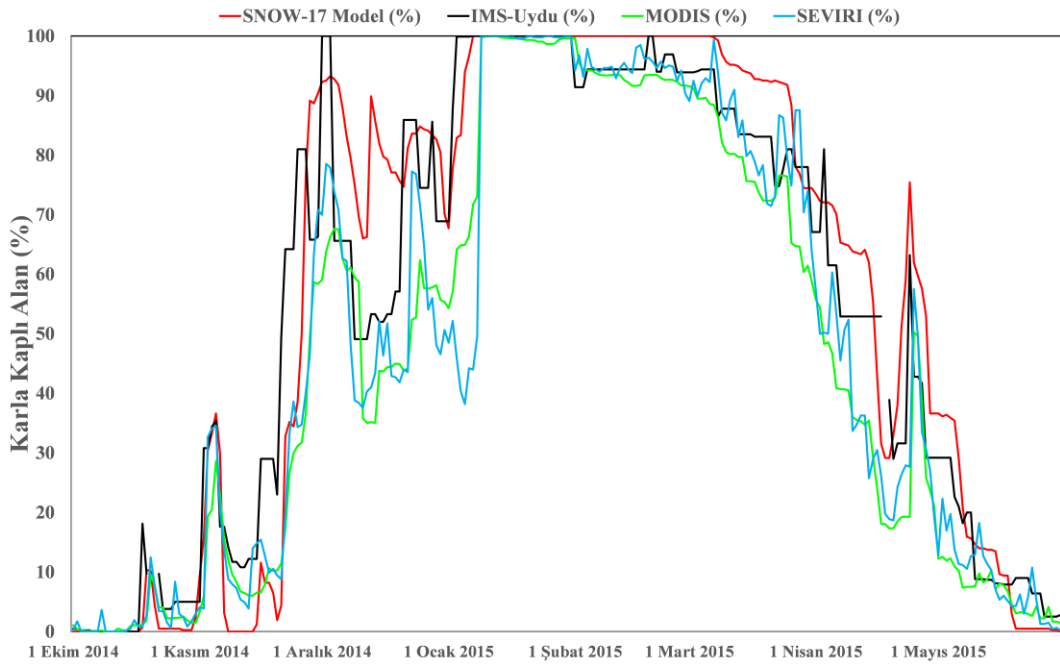
Şekil 4.21. Tam dağılımlı kar model doğrulaması için Güzelyayla, Palandöken Dağı, Dumlu ve Kuzgun istasyon örnekleri.

Otomatik ölçüm istasyonlarının içerisinde bulundukları hücrelerin model sonuçları, yer gözlemleri ve uydu görüntüleri ile kıyaslanmıştır. 2015 yılı için Güzelyayla otomatik kar ölçüm istasyonu model sonuçları incelendiği zaman (Şekil 4.19-a); kar birikme döneminde (Aralık–Mart) model yer gözlemleri ile oldukça tutarlı bir seyir gösterirken,

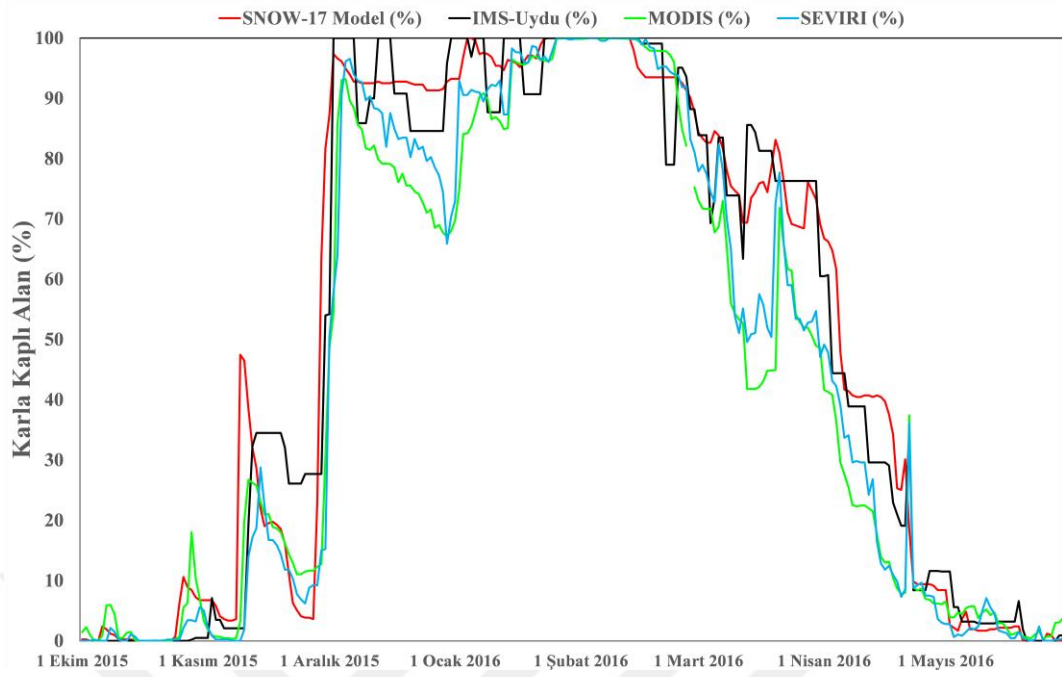
erime döneminde daha az tutarlı bir seyir görülmektedir. Bunun nedeni olarak, erime döneminde o nokta için kar üfürmesi, otomatik kar ölçüm sensörünün sıfır ayarında (offset) bir bozulma veya kar örtüsünün ani göçmesi gibi etkilerden dolayı mevcut kar derinliğini az ölçmüş olabileceği düşünülmektedir. Erime dönemine kadar münferit yer ölçümlerinin, otomatik yer gözlemi, uydu ve model sonuçları ile paralel gidip, son erime döneminde otomatik yer gözlemi ve uydudan uzaklaşması bu yorumu kuvvetlendirmektedir. 2016 yılı için Palandöken Dağı otomatik kar ölçüm istasyonu model sonuçları incelendiği zaman (Şekil 4.19-b); kar birikme döneminde (Aralık–Mart) modelin KD’yi fazla belirlediği, sonraki erime döneminde ise az belirlediği görülebilmektedir. Ayrıca, IMS uydusu Palandöken Dağı otomatik kar ölçüm istasyonunun bulunduğu piksel için sezon başı ve sonunda yanlış kar bilgisi vermektedir. 2017 ve 2018 yılları için sırasıyla Dumlu ve Kuzgun otomatik kar ölçüm istasyonu model sonuçları incelendiği zaman (Şekil 4.19-c ve d); sezon sonuna kadar model gerek niceliksel gerekse de miktarsal olarak istasyon ile uyumlu gitmiş, ancak maksimum KD’yi doğru belirleyememiştir.

ii. **Model sonuçlarının Karla Kaplı Alan (KKA) açısından alansal olarak değerlendirilmesi**

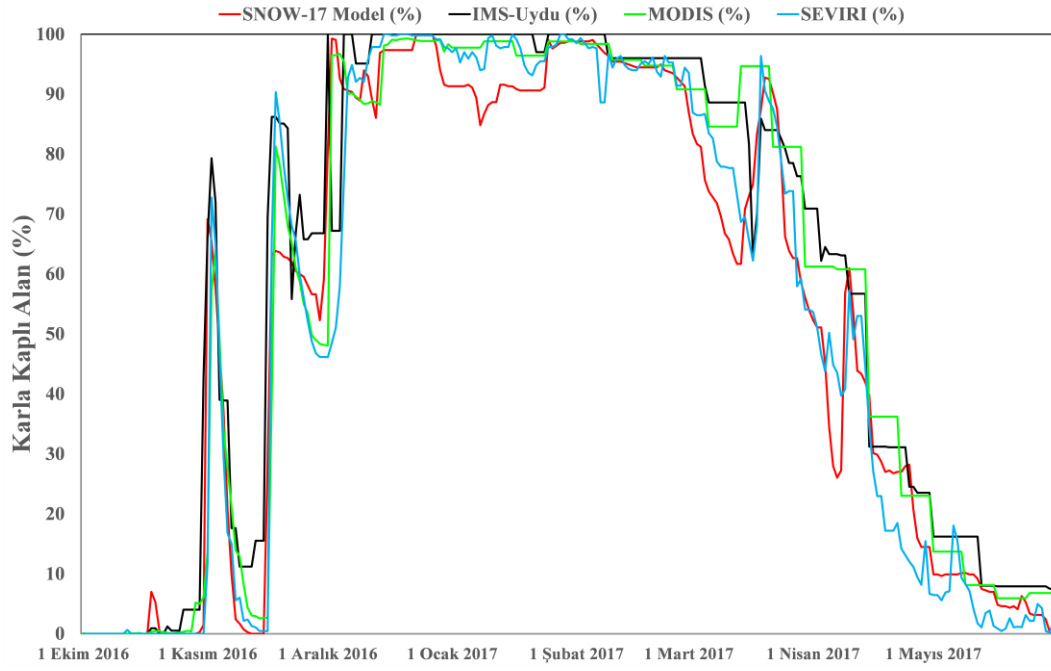
Noktasal doğrulamaya ek olarak; tam dağılımlı model sonuçları kar var/yok bilgisi veren üç farklı (IMS, MODIS ve SEVIRI) uydu verisiyle alansal kıyaslanmıştır. Bunun için model çerçevesinde Karasu Havzası'nı kesen hücreler belirlenmiş ve bu hücrelerin kar derinlik değerlerine ($KD \geq 2$ cm) göre kar var (1) ya da kar (0) yok şeklinde sınıflandırılmıştır. Ardından havza alanı için alansal olarak karla kaplı alan yüzdeleri hesaplanmıştır. Yapılan uydu model kıyaslamasını anlamlandırabilmek için daha önce formülü verilmiş olan NSE katsayısı kullanılmıştır (Denklem 4.1). Elde edilen bulgular Şekil 4.22'de grafiksel olarak, performans sonuçları ise detaylı bir şekilde Tablo 4.1'de sunulmuştur.



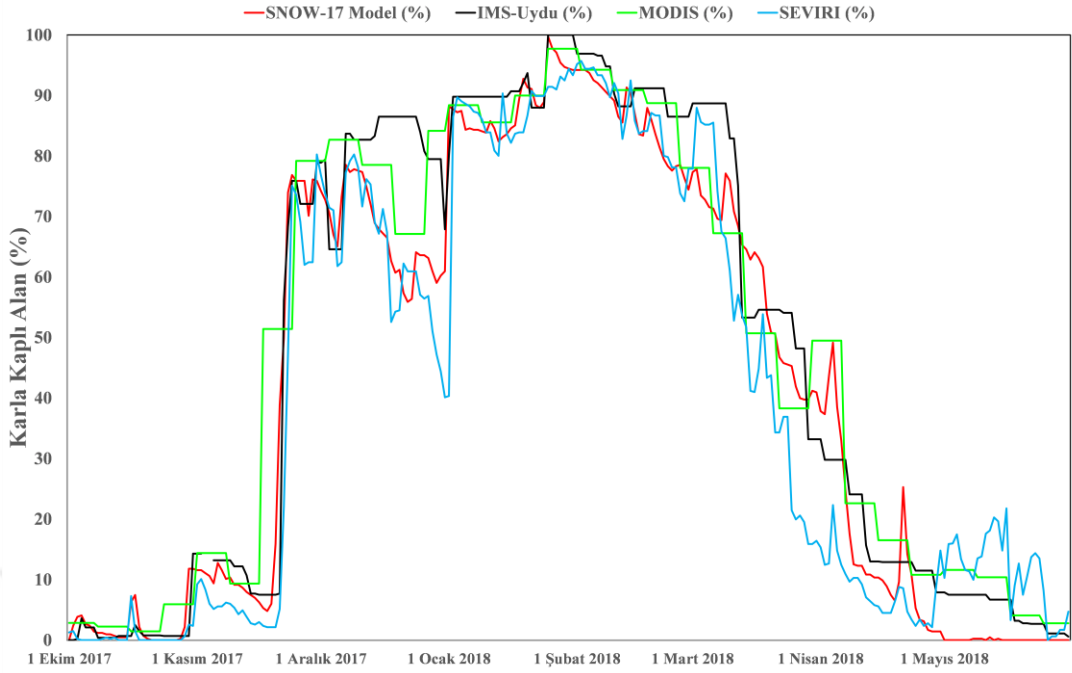
a) 2015



b) 2016



c) 2017



d) 2018

Şekil 4.22. Tam dağılımlı modelin IMS, MODIS ve SEVIRI uyduları ile alansal KKA açısından ilişkileri.

Tam dağılımlı modelin kar derinliği sonuçlarının; Karasu Havzası'na kestirilmesi sonucu elde edilen alansal kar çekilme eğrileri; IMS uydusuna ek olarak bulut filtresinden geçirilen MODIS ve SEVIRI uydularından elde edilen kar çekilme eğrileri ile 2015-2018 kar sezonları için kıyaslanmıştır. Buna göre, havzanın yıldan yıla değişen meteorolojik şartlara göre farklı kar çekilme eğrilerine sahip olduğu net bir şekilde görülebilmektedir. Model sonucu her üç uydu görüntüsü ile hem zamansal hem de miktarsal olarak oldukça uyumlu seyretmektedir. 2015-2018 yılları için tüm uydular ile istatistiksel olarak, NSE açısından 0.817-0.953 arasında değişen başarıların bulunması da bunu desteklemektedir (Tablo 4.4). Ayrıca, birbirinden ayrışan özelliklere sahip olan uyduların yılın farklı zamanlarında değişik hareket etmesi de net bir şekilde görülebilmektedir. Bu durumda, model sonucunun en az bir uydu ile ya da hepsini temsil edebilecek bir şekilde ilerlemesi modelin olumlu yanını ortaya çıkarmaktadır.

Tablo 4.4. 2015-2018 kar sezonları KKA model ve uydu performansları

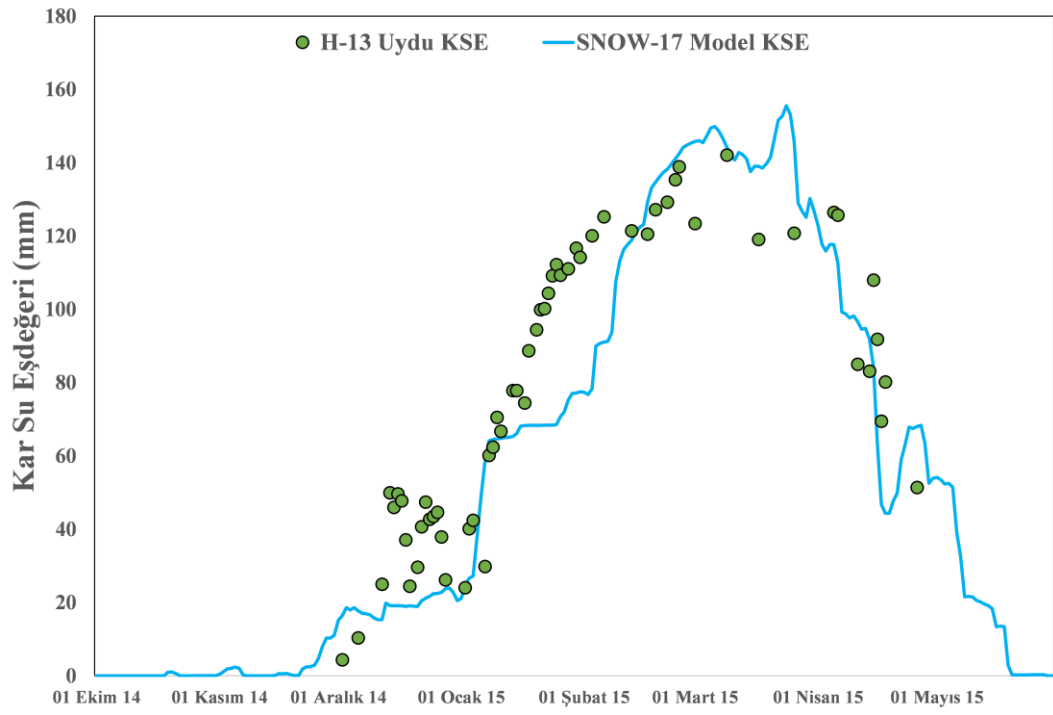
Yıl	Model-IMS	Model-MODIS	Model-SEVIRI
2015	0.911	0.817	0.823
2016	0.953	0.867	0.911
2017	0.915	0.937	0.942
2018	0.941	0.932	0.919

iii. Model sonuçlarının Kar Su Eşdeğeri (KSE) açısından alansal olarak değerlendirilmesi

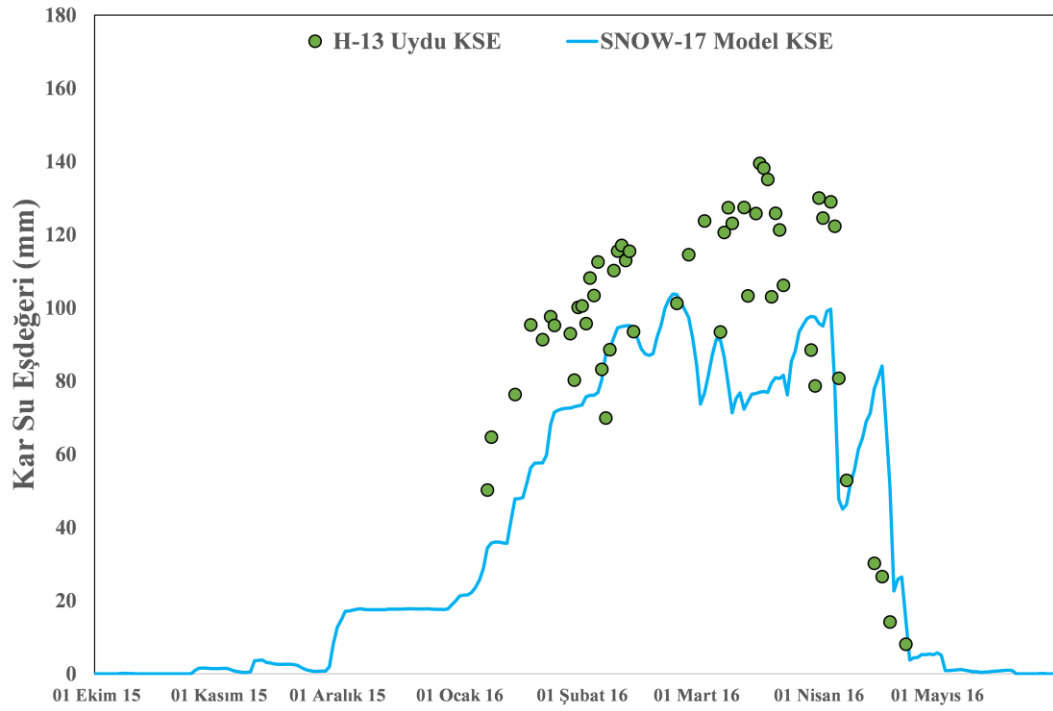
Son olarak, mekânsal çözünürlüğü oldukça kaba olan (25 km x 25 km) ve kar su eşdeğeri bilgisi veren H-13 pasif mikrodalga uydu ürünü ile tam dağılımlı model sonuçları alansal olarak kıyaslanmıştır. Bunun için Karasu Havzası'nı kesen H13 uydu görüntüsü ve tam dağılımlı model hücrelerinin ağırlıkları belirlenip alansal ortalamaya çevrilmiştir. Elde edilen alansal ve havzayı temsil eden KSE değerleri kıyaslanmış, çalışma periyodu olan 2015-2018 kar sezonları için performans sonuçları ise detaylı bir şekilde Tablo 4.5'te ve grafiksel sonuçları ise Şekil 4.23'te sunulmuştur.

Tablo 4.5. 2015-2018 kar sezonları KSE model ve uydu performansları

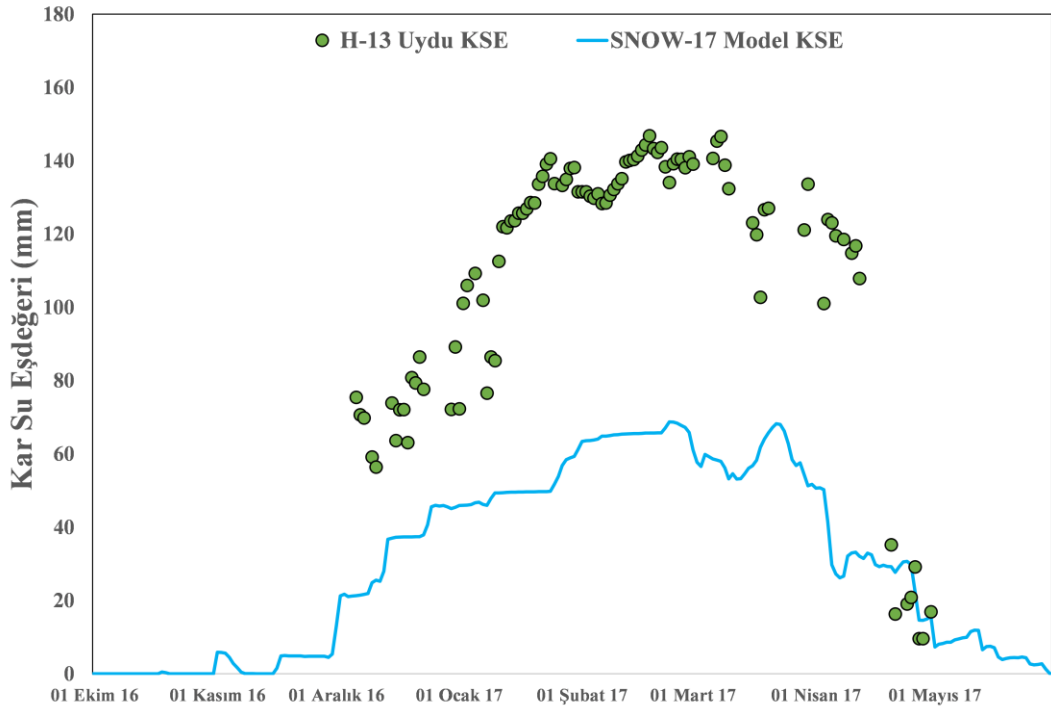
Yıl	Model-H-13 (RMSE-mm)	Gözlem çifti sayısı
2015	22.66	60
2016	33.05	53
2017	65.55	101
2018	31.83	98



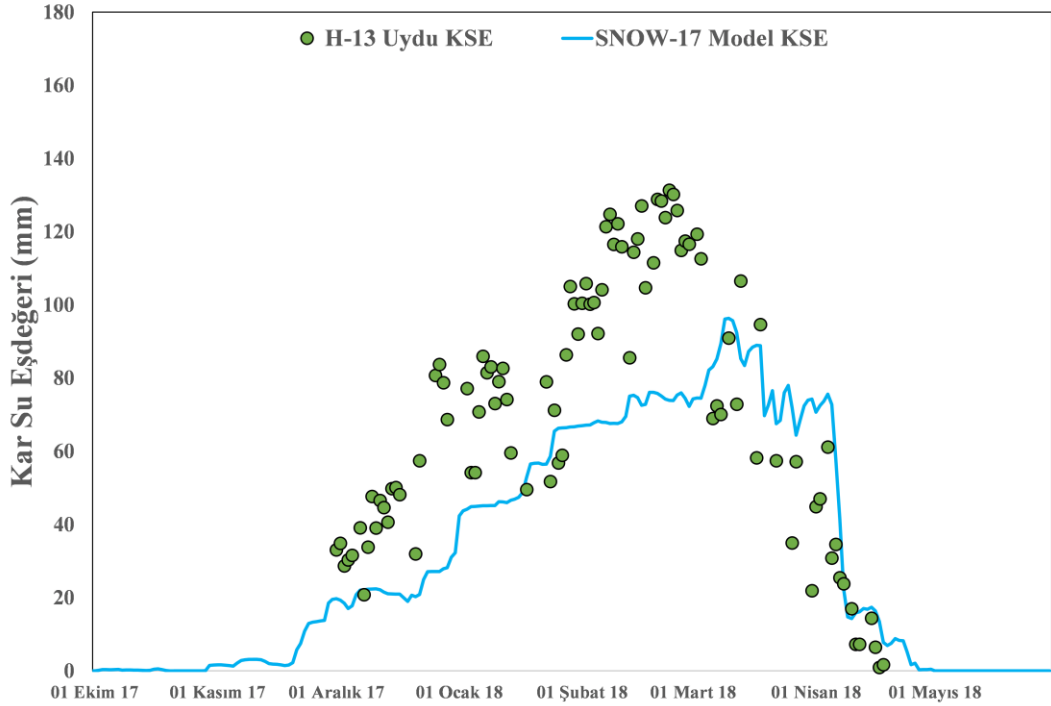
a) 2015



b) 2016



c) 2017



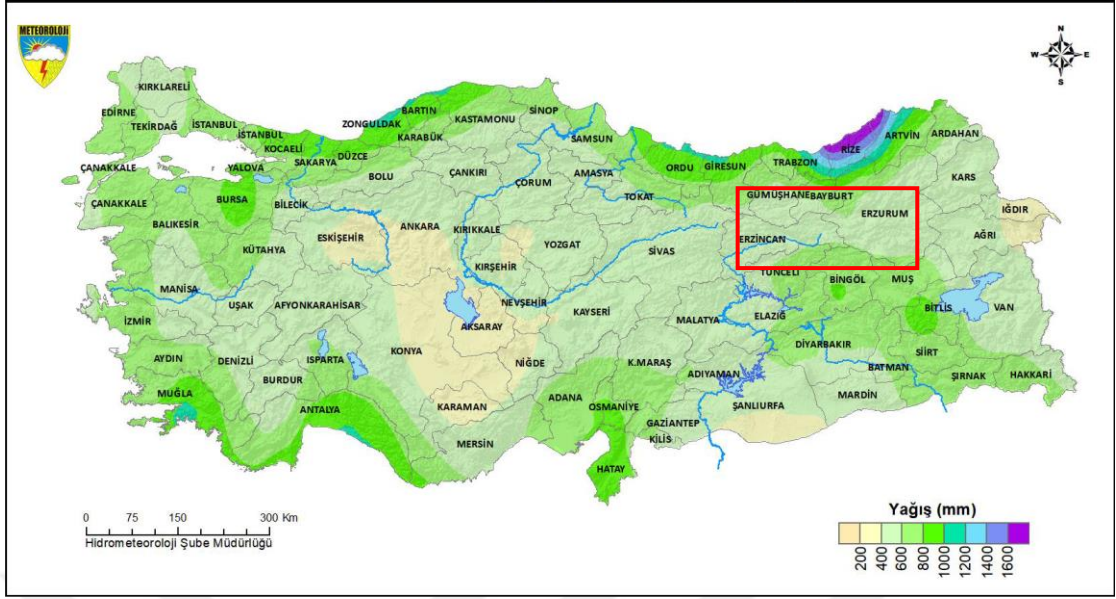
d) 2018

Şekil 4.23. Tam dağılımlı modelin H-13 uydu ürünü ile alansal KSE açısından ilişkileri.

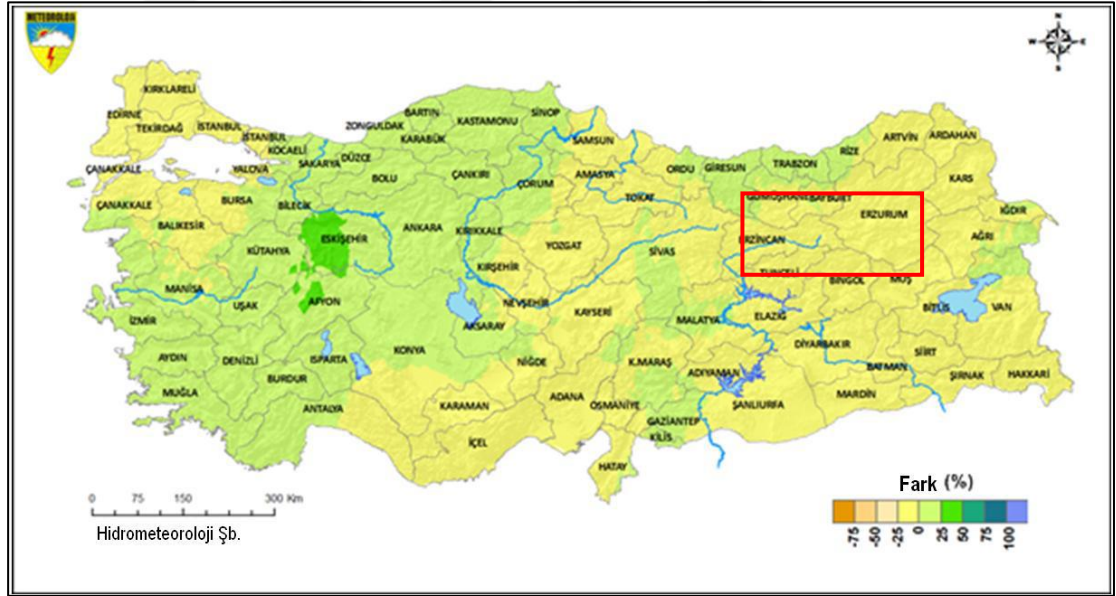
Tam dağılımlı modelin kar su eşdeğeri çıktılarının Karasu Havzası'na kestirilmesi sonucu elde edilen bulgular ile H-13 uydu ürünlerinden elde edilen bulgular 2015-2018 kar sezonları için alansal olarak kıyaslanmıştır. Beklenildiği gibi, model sonuçlarından

elde edilen alansal kar su eşdeğeri kar birikme döneminden erime dönemine kadar artarak en yüksek seviyeye ulaşmış ve erimenin başlamasıyla birlikte azalmaya başlamıştır. Model ile uydu tutarlılıkları yıldan yıla farklılık göstermekle birlikte her yıl için zamansal ve şekilsel olarak paralel hareketler gözlenmektedir. Ayrıca 2015, 2016 ve 2018 yıllarında miktarsal olarak model ve uydu uyumu söz konusu iken; 2017 yılında model sonucu uyduya göre daha aşağıda kalmaktadır. RMSE açısından model performansları da bunu desteklemekte; 2015, 2016 ve 2018 kar sezonlarında model 20-30 mm civarında hataya sahipken 2017 kar sezonu için hata 65 mm seviyelerine çıkmaktadır. MGM tarafından her yıl için ayrı ayrı yayınlanan yıllık yağış değerlendirme raporlarından 2017 yılına ait değerlendirme raporu incelendiği zaman; söz konusu yılın normal yıllara göre oldukça az yağışlı ve kurak bir yıl olduğu net bir şekilde görülebilmektedir (Şekil 4.24). Fakat 2017 yılının daha az yağışlı bir yıl olmasına karşın, H-13 uydu ürünü diğer yıllara benzer şekilde 130-140 mm alansal KSE değeri vermektedir. Miktarsal olarak farklı yağış trendlerinin söz konusu olduğu 2015-2018 kar sezonlarında, 2017 kar sezonu için bu seviyedeki alansal KSE'nin beklenenden fazla olduğu düşünülmektedir.

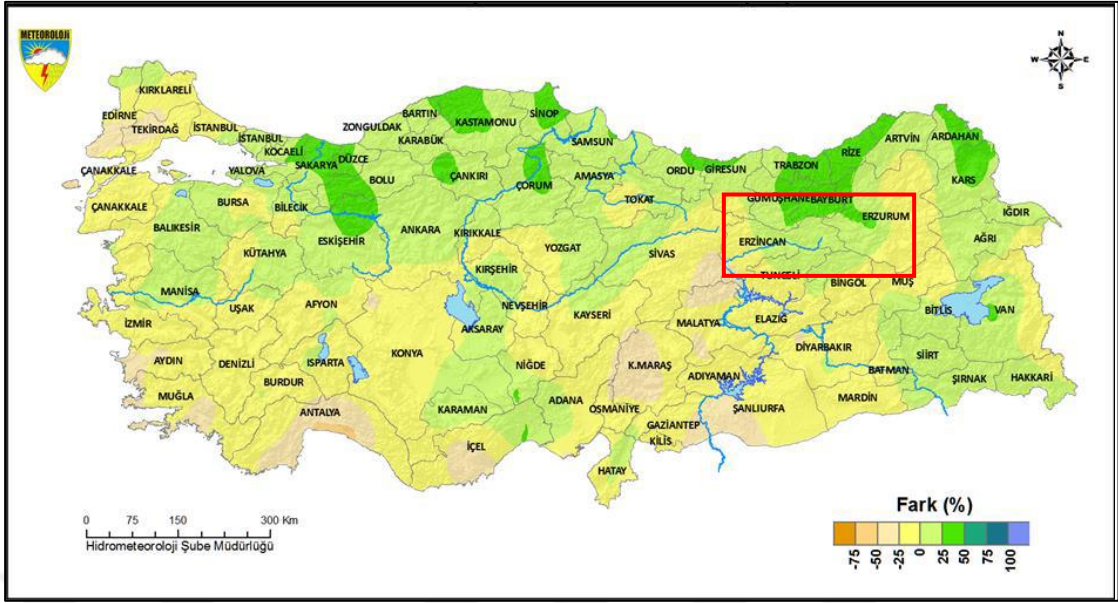
Ayrıca, Bölüm 3'te detaylı olarak anlatıldığı gibi 25 km x 25 km (H-13 uydu görüntüsü piksel çözünürlüğü) ve 5 km x 5 km'lik (tam dağılımlı model piksel çözünürlüğü) çerçevelerde yükseklik ve alansal özellikler bakımından farklılıklar bulunabilmektedir (Şekil 3.35). Bu da tutarsızlığın fazla olduğu yıllar için mekânsal çözünürlüğü oldukça kaba olan (25 km x 25 km) H-13 KSE uydu ürününün havzanın bazı bölgelerini temsil edemediği ve alansal temsiliyetinin iyi olmadığı sonucunu ortaya çıkabilmektedir.



a) Türkiye alansal yağış normalleri haritası (1981–2010)



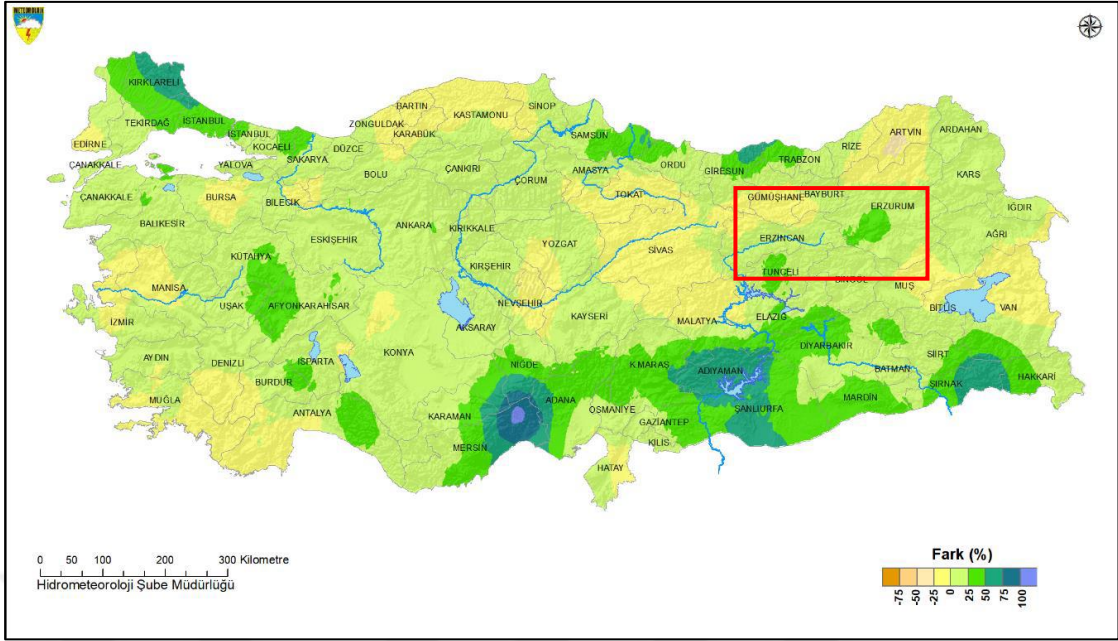
b) 2015 yılı



c) 2016 yılı



d) 2017 yılı



e) 2018 yılı

Şekil 4.24. 2015-2018 periyodu için Türkiye alansal yağışının normalleri ile karşılaştırılması. Kırmızı çerçeve, tam dağılımlı model uygulamasının yapıldığı alanı göstermektedir (<https://www.mgm.gov.tr/>).

5. YORUMLAR VE ÖNERİLER

5.1. Özet

Ülkemizin dağlık doğu bölgelerindeki kar erimesinin bahar ve ilkyaz ayları süresince meydana getirdiği akımlar, yıllık toplam akım hacminin yaklaşık %60-70'ini oluşturması sebebiyle büyük bir önem ve potansiyele sahiptir. Bu nedenle, özellikle kurulu büyük barajların bulunduğu ve beslendiği Yukarı Fırat Havzası'nda kış aylarında biriken kar örtüsünün alansal ve zamansal olarak takip edilmesi ülkenin su kaynaklarının verimli şekilde kullanılması için dikkat edilmesi gereken bir konudur.

Bu çalışmanın genel olarak konusu, kar hidrolojisi ile ilgili son dönem bilimsel çalışmalarda sıkça rastlanan kar örtüsünün ölçülmesi (münferit, otomatik ve kar çukur analizleri vb.), doğrulanması (uydu görüntüleri) ve modellenmesidir (tam dağılımlı SNOW-17 kar modeli). Bu doğrultuda çalışmanın başlangıcında belirlenen iki ana hedef şunlardır:

- I. Türkiye'de kar tüpleri ile ölçümlerin alındığı Kar Gözlem İstasyonlarına (KGİ) ait uzun yıllar kar verilerini inceleyerek, kar bileşenleri ile ilgili bir genel değerlendirme yapmak ve KD ölçümlerini direkt olarak KSE'ye çeviren bölgesel bir regresyon formülün önerilmesi. Ayrıca; münferit ölçümler (tüp ve kar çukur analizleri), otomatik kar istasyonları ve uydu görüntüleri ile Yukarı Fırat Havzası'nda kar örtüsünün takip edilip, değerlendirilmesi.
- II. Literatürde yaygın bir kullanıma sahip olan SNOW-17 kar modelini kullanarak Yukarı Fırat Havzası'nı içeren bölge için tam dağılımlı (dağılımlı yağış, sıcaklık ve kar parametrelerine sahip) model uygulamasını 2015-2018 güncel kar sezonları için uygulanması ve model performansının gerek yer ölçümleri gerekse de uydu görüntüleri ile değerlendirilmesi.

Tez çalışması kapsamındaki bu ana hedefler doğrultusunda; yenilikçi ölçüm teknikleri, uydu teknolojisi ve tam dağılımlı model konularıyla ilgili son yıllarda özellikle Avrupa ve Dünya'da yapılan güncel bilimsel çalışmalar takip edilmiştir. Buna ek olarak, 2016 yılı içerisinde İsviçre'de düzenlenen "2. Snow Science Winter School" kar okuluna ve COST araştırma programında desteklenen ES1404 numaralı Avrupa Projesi kapsamında sırasıyla 2016 yılı Türkiye ve 2018 yılında Finlandiya'da düzenlenen 1. ve 3. Kar Ölçüm Çalıştaylarına katılarak, konuyla ilgili tecrübe kazanılmıştır. Bu hedeflere

ne ölçüde ulaşıldığı ve bu tezde sunulan çalışmalardan elde edilen temel bulgular aşağıda sırasıyla değerlendirilmektedir.

5.2. Yorumlar

5.2.1. Kar bileşenlerinin belirlenmesi

Kar çalışmalarının en önemli ve ilk aşamalarından biri olan arazi üzerinde kar bileşenlerinin ölçülmesi, erişilmesi güç, yüksek ve dağlık alanlarda yürütülmektedir. Bu yüzden, arazi ölçümlerinden elde edilen veriler ve bunlara dayalı uygulamalardan oluşan kar ölçüm teknikleri ile ilgili bilimsel faaliyetler oldukça önemlidir.

Ülkemizde yaklaşık yarım asır kadar önce Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) tarafından başlatılan kar ölçümleri, günümüzde Devlet Su İşleri (DSİ) ve Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) kurumları tarafından klasik ölçümlere ek olarak yenilikçi ölçüm yöntemleri ile geliştirilerek devam ettirilmektedir. Bu tez çalışmasında bu kurumlardan temin edilen, Yukarı Fırat Havzası'nı kapsayan ve yükseklikleri 1250 m-2400 m arasında değişen, uzun yıllar boyunca kaydedilmiş 33 adet KGİ verileri kullanılmış, ortalama 36 yıllık 4002 gözlem çifti (KD-KSE- ρ_{kar}) elde edilmiştir (Tablo 3.1 ve Şekil 3.1). Söz konusu bölge için, ortalama olarak 281 kg/m³ kar yoğunluğu ve 53 cm derinliğine sahip kar kütlesinin ortalama 16 cm su potansiyeli olduğu belirlenmiştir. Bu tez çalışması kapsamında, KD ölçümlerinden KSE'yi elde etmek için iki farklı yöntem (münferit ve sürekli) sahip regresyon modelleri (Tablo 3.3 ve Tablo 3.6) önerilmiş ve elde edilen bulgular literatürde daha önce önerilmiş modeller ile kıyaslanmıştır. Bulgular basit bir regresyon modeli için umut verici performanslar göstermektedir. Sonuç olarak, önerilen modeller bir kış sezonunda kar suyu potansiyelini hesaplamak için (sadece modelin geliştirildiği Türkiye'nin dağlık doğu kısmı için) kolayca kullanılabilir.

Bu çalışmayı yenilikçi kılan en büyük özellik, Türkiye'de ilk defa farklı yükseklik seviyelerinde, kar sezonu boyunca ve farklı ekipmanlar kullanılarak yapılan detaylı kar bileşen ölçümleridir. Bu kapsamda Türkiye'nin dağlık doğu bölgelerinde seçilen uygun alanlarda kar çukur analizi ölçümleri yapılmıştır. Bu noktaların seçiminde, mevcut çalışma durumunda olan otomatik kar ölçüm istasyonlarının yanında ve bulunduğu havzanın potansiyelini temsil edebilecek noktalar olması özellikleri göz önüne alınmıştır. 2017-2019 kış sezonlarında Doğu Anadolu Bölgesinde Erzurum merkezli olacak şekilde 6

farklı noktada toplam 27 kar çukur analizi yapılmıştır (Şekil 3.20). Kar çukur analizinde ölçüm alınacak alanda bir kar çukuru kazılıp, açılan örnekleme alanında belirlenen her bir katman için farklı ekipmanlar kullanılarak kar bileşen ölçümleri (derinlik, yoğunluk, sıcaklık ve sertlik vb.) yapılmaktadır. Elde edilen bulgular için çok eksenli kar profil grafikleri hazırlanmış, detaylı olarak yorumlanmış ve sonuçları Şekil 3.30 ve Ek-1’de sunulmuştur. Uzun zamandan beri devam ettirilen kar tüpü ile ölçüm metodunun yanı sıra kar çukur analizi gibi yeni tekniklerin uygulanması veri kalitesi ve çeşitliliğine de katkı sağladığı görülmüştür. Kar örtüsünün kesit ölçümleri olarak tespit edilmesi kar bileşenlerinin detaylı takibi ve bölgedeki çıkış durumu için de bilgi sağlamaktadır.

Özellikle son yıllardaki teknolojik gelişmelerle birlikte kar örtüsünün sürekli takibine imkân tanıyan otomatik ölçüm sistemleri de yaygınlaşmaktadır. Bu istasyonlarda otomatik algılayıcılar ile ölçülebilen kar derinliği ve modern kablolu algılayıcılar ile kar su eşdeğeri belirlenebilmektedir. Bu yeni nesil ölçüm tekniği kar örtüsünü dışarıdan değil, karın içinden ölçmeye imkân tanıyan modern sistemlere sahiptir. Ülkemizde 2015 yılı kar sezonu öncesi MGM tarafından kurulmuş olan mevcut 11 adet Snow Pack Analyzer (SPA) kar gözlem istasyon ekipmanları tanıtılmış ve kar sezonu kabul edilen 243 günlük periyod (1 Ekim-31 Mayıs) için değerlendirilmesi Türkiye’de ilk defa yapılmıştır. Her istasyonun, kar sezonu çalışma periyodu içerisindeki verimlilik (%), negatif sıcaklık gün sayısı, ortalama sıcaklık (°C), karlı gün sayısı ve maksimum/ortalama kar derinlik (cm) değerleri belirlenmiştir (Tablo 3.10). Bazı istasyonlarda kesintisiz ve kaliteli veri elde edilirken, bazılarında ise çeşitli sorunların yaşandığı (kar tutmayan yerde kurulma, bulunduğu yeri temsil edememe, şehir ve/veya ormanlık alana kurulma ve teknik problemler vb.) tespit edilmiştir. Bu nedenle bazı istasyonlarda yer değişikliği söz konusu olması güvenilir veri elde etme açısından isabetli olacaktır. Ayrıca, kısa zaman aralıkları ile (10 dakika) ölçüm alan SPA istasyonu özellikle kar örtüsünün yapısal anlamda farklılaştığı erime döneminin takibi konusunda oldukça faydalı olmaktadır.

5.2.2. Kar çalışmalarında uydu ürünlerinin kullanılması

Çetin kış koşullarında ölçüm alanına ulaşmakta veya otomatik istasyon ile olan bağlantılarda çoğu zaman büyük zorluklar ve dolayısıyla veri kayıpları yaşanmaktadır. Bu koşullar göz önüne alındığında, kar örtüsünün uzaktan takip edilmesinde uzaktan algılama ürünleri önemli bir role sahiptir.

Bu tez çalışması kapsamında NOAA tarafından üretilen IMS / Karla Kaplı Alan (KKA) ve Avrupa Meteoroloji Uyduları (EUMETSAT) H-SAF projesi kapsamında üretilen H-13/Kar Su Eşdeğeri (KSE) uydu görüntüleri, otomatik kar gözlem istasyonlarının değerlendirilmesi için kullanılmıştır (Şekil 3.33). IMS (Versiyon 1.2) uydu görüntüsü 1 günlük zamansal ve 4 km x 4 km mekânsal çözünürlüğe sahiptir. H-13 uydu ürünü ise SSMI/S uydusunun pasif mikrodalga sensörleri ile üretilmekte olup, 1 günlük zamansal ve 25 km x 25 km mekânsal çözünürlüğe sahiptir.

Arşivlenmiş uzun ve sürekli IMS uydu görüntüleri, kar örtüsünün yakın gerçek zamanlı takibinde olduğu gibi bölgesel uzun dönem kar analizleri için de faydalı olmaktadır. Karla kaplı alan-süre, kar olasılık, kar çizgisi ve kar çekilme haritaları gibi bulgular uzun dönem uydu görüntülerinden elde edilebilmektedir. Bu çalışmada da, SPA otomatik kar istasyonlarının içerisinde bulunduğu pikseller için 2008-2018 yıllarında arşivlenmiş olan IMS uydu görüntüleri kullanılarak aşağıda detaylı olarak açıklanan Kar Olasılığı (Probability of Snow- P_{kar}) hesaplanmıştır. Bulgulara göre; kar olma ihtimali en fazla olan istasyonlar Palandöken, Cibil ve Nemrut iken, en az olanlar ise Kale ve İnebolu'dur. En fazla kar olma ihtimaline sahip Palandöken istasyonu %100 oranla 146 gün karlıdır. Onu takip eden istasyonlar ise sırasıyla 122 ve 98 gün ile Cibil ve Nemrut istasyonlarıdır (Şekil 3.35).

IMS uydu görüntüsü piksel alanı için kar var (1)/yok (0) bilgisi vermektedir. SPA otomatik kar istasyonları da; kar derinliklerine bakılarak kar derinliğinin belirli bir değerden ($KD > 1$ cm) fazla olup olmamasına göre kar var/yok şeklinde sınıflandırılmıştır. İstasyonun içine denk gelen IMS uydu görüntüsü pikseli kestirilerek sürekli karla kaplı alan değerleri elde edilmiş ve 2015-2018 yılları için grafiksel ilişkisi sunulmuştur (Şekil 3.36). Ayrıca, IMS uydu görüntüsünün yer gözlemleri ile istatistiksel tutarlılığını irdelemek için Tablo 3.12'de özetlendiği gibi "Tutarlılık Tablosu (Contingency Table)" hazırlanmıştır. Buna göre, otomatik gözlem istasyonu ile uydu

görüntüsünün yerde kar olup olmama durumlarına göre performans değerlendirmesi yapılmıştır. Bütün SPA istasyonlarının CSI kriterine göre sıralanmış sütun POD, CSI, FAR ve çizgisel BIAS sonuçlarına göre; Bayramören, Cimil, Çamkoru ve Bünyan gibi istasyonların POD açısından başarılı gözükmelerine rağmen, aslında oldukça yanlış yani BIAS değerlerinin yüksek olduğu ve FAR açısından da oldukça başarısız oldukları net bir şekilde görülmektedir (Şekil 3.37). Bu sonuçlara göre, yer gözlemi ve uydu değerlendirmelerinde gözlem çifti sayısının dikkat edilmesi gereken nokta olduğu ortaya çıkmaktadır.

Bunlara ek olarak, tez çalışması kapsamında yapılan CBS analizleri sonucunda her bir istasyon için 25 km x 25 km (H-13 uydu görüntüsü piksel çözünürlüğü) ve 5 km x 5 km'lik çerçeveler hazırlanmıştır (Şekil 2). Bu bağlamda istasyonların içerisinde bulundukları çerçeveler (25 km x 25 km ve 5 km x 5 km) için 30 m x 30 m mekânsal çözünürlüğe sahip Sayısal Yükseklik Modeli (SRTM-DEM) kullanılmış ve elde edilen bulgular Şekil 3.40'ta sunulmuştur. Palandöken, Çamkoru, Bünyan ve Pınarbaşı gibi istasyonlar bulundukları piksel yükseklikleri ile uyumluyken; Nemrut, Cimil ve Bayramören gibi istasyonlarda böyle bir uyum bulunmamaktadır.

Ayrıca, her bir SPA istasyonu H-13 uydu ürünü ile 2015-2018 kar sezonları için kıyaslanmıştır. Bunun için; SPA istasyonlarının içinde bulunduğu H-13 uydu ürünü piksellerinin analiz sonucunda sürekli KSE değerleri elde edilmiş, ardından eksik ve yanlış olan veriler filtrelenmiştir. Genel olarak SPA istasyonları 2015-2018 sezonlarında iyi derecede değerlendirilebilecek kar bileşeni ölçmüşlerdir, ancak uydu görüntüleri tutarlılığı açısından çok farklı davranmışlardır. Yatay ölçüm kablosu (KSE-2) eğimli ölçüm kabloşuna (KSE-1) göre uydu görüntüleri ile daha uyumludur. Performans sonuçları RMSE açısından KSE-1 yaklaşık 30-480 mm arasında, KSE-2 ise 29-550 mm arasında değişmektedir. Literatürde, KSE yer gözlem-uydu RMSE hata oranı dağlık alanlar için 40-50 mm'ye kadar başarılı kabul edilmektedir (HSAF, 2012). Buna göre; Palandöken, Bayramören, Bünyan ve Pınarbaşı istasyonları uydu ile tutarlı iken, Nemrut ve Ovacık istasyon ölçümlerinin daha tutarsız olduğu görülmektedir. Bu durumun nedeni; 25 x 25 km'lik bir alanı temsil eden kaba mekânsal çözünürlüğe sahip uydu görüntüsünün istasyonda ölçülen KSE değerini temsil edememesi olarak düşünülmektedir. Ayrıca Nemrut (maksimum 200 cm) ve Ovacık (maksimum 120 cm) gibi çok fazla kar tutan istasyonların bulunduğu bölgelerde, literatürden de bilindiği üzere pasif mikrodalga

yansımaları 100-150 cm'den derine nüfuz edememekte ve dolayısıyla hatalı sonuçlar verebilmektedir. Yine Nemrut ve İnebolu gibi istasyonların büyük su kütlelerine (Van Gölü veya Karadeniz) yakın olması yer ölçümü-uydu performansının düşük olmasının diğer bir nedeni olarak değerlendirilmektedir.

Türkiye'de uydu ürünlerine dayalı, farklı kar sezonları ve bölgeler için otomatik kar gözlem istasyonlarının detaylı değerlendirme çalışması ilk defa bu tez çalışması kapsamında yapılmıştır. Elde edilen bulgulara göre; SPA istasyonlarının bir kısmı uydular ile kabul edilebilir performanslar gösterirken, bir kısmı gösterememektedir. Ancak kar potansiyeli fazla olan ülkemizde bu tarz otomatik kar ölçümlerinin uzun yıllar devam ettirilip kaliteli ve gerçek zamanlı veri toplanması ve çoklu uydu ürünleri ile kar potansiyelinin yakından izlenmesi son derece önemlidir.

5.2.3. Tam dağılımlı kar modelinin uygulanması

Günümüz bilimsel ve teknolojik koşullarının getirmiş olduğu yenilikler ve gereksinimler, kar örtüsünün takibi konusunda bir takım kolaylıklar sağlamaktadır. Bu noktada, kar modelleme teknolojisi ve yöntemleri su kaynaklarının yönetimi alanında önemli bir role sahiptir. Son yıllarda, farklı karmaşıklık seviyelerinde ve kapsamda çok çeşitli kar birikme-erime modelleri geliştirilmiştir. Bunlar genellikle hava sıcaklığına bağlı olarak bir veya daha fazla meteorolojik değişkene dayanan kavramsal modellerden, fiziksel olarak temel enerji dengesi modellerine kadar uzanmaktadır. Bu tez çalışmasında kullanılan kar modeli, günlük alanlarda derece-gün yöntemini kullanarak yağış-kar birikme ve erime ilişkisini kuran kavramsal SNOW-17 modelidir. Bu modelin en kuvvetli tarafı, yağış-kar birikme ve erime ilişkisini basit matematiksel formüllerle açıklaması ve az sayıda veri gerektirmesidir.

Bu tez çalışması kapsamında Yukarı Fırat Havzası'nda Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) tarafından işletilen güncel istasyonlar incelenerek, yükseklikleri 1150-2940 m arasında değişen toplam 50 adet kar istasyonu tam dağılımlı model uygulamasında kullanılmak üzere seçilmiştir (Şekil 4.5). Çalışma alanı olarak bu bölgenin seçilmesinde; kar ölçüm istasyonlarının yoğunluğuna ek olarak, Keban Barajı'nı besleyen, Fırat Nehri'nin önemli kollarından biri olan ve üzerinde uzun yıllar hidrolojik modelleme çalışması yapılmış Karasu Havzası'nın da bu bölge içerisinde kalması önemli bir neden olarak gösterilebilir. Tam dağılımlı modelleme çalışmalarında otomatik gözlem

istasyonlarından elde edilen noktasal, günlük sıcaklık ve yağış verileri girdi olarak kullanılırken; dağılımlı kar bileşenleri (KD, KSE ve ρ_{kar}) temel sonuçlar olarak elde edilmiştir. Tam dağılımlı model öncesi, modelleme ve model sonrası aşamalarından oluşan tam dağılımlı SNOW-17 modeli 5 km x 5 km mekânsal çözünürlük için uygulanmış ve Şekil 4.7’de akış şeması olarak özet halinde sunulmuştur.

Bu tez çalışması kapsamında tam dağılımlı modelde girdi olarak kullanılmak üzere; noktasal yağış ve sıcaklık verilerine ek olarak SNOW-17 model parametreleri Detrended Kriging (DK) yöntemi uygulanarak alansal ve günlük olarak dağıtılmıştır. Bu yöntem sıcaklık, yağış ve kar su eşdeğeri gibi noktasal ölçülen verilerin yüksekliğe bağlı olarak belirli bir alana dağıtan bir yöntemdir. Hesaplamalarında noktasal ölçülen meteorolojik veriler ile ölçümün yapıldığı noktanın koordinatları ve yükseklik değerini kullanmaktadır. Dağıtımı yapılacak çerçevenin alansal çözünürlüğü, uygulanacak dağılımlı model çözünürlüğü ile aynı olacak şekilde 5 km x 5 km olarak belirlenmiştir.

SNOW-17 model parametrelerinin belirlenmesi için 23 kar gözlem istasyonuna uygulanan noktasal model kalibrasyon sonuçları, gözlem kar verileri ile karşılaştırıldığında NSE açısından 0.49 ile 0.96 arasında değişen ve ortalaması 0.81 olan başarılı performanslar göstermektedir (Tablo 4.2 ve Şekil 4.15). Genel olarak, kalibrasyon için yapılan modeller kar birikme dönemi süresince meydana gelen kar yağış olaylarını zamansal olarak başarılı bir şekilde yakalamasına karşın miktarsal olarak farklı davranışlar gösterebilmektedir.

Tam dağılımlı model uygulamasının ardından elde edilen sonuçların noktasal veriyle değerlendirilmesi için, otomatik kar ölçüm istasyonlarının verileri ile ilgili hücrenin model sonuçları kıyaslanarak, doğrulama çalışmaları yapılmıştır. Doğrulama için kullanılan toplam 17 kar istasyonu noktasal olarak kar gözlem verileri ile karşılaştırıldığında NSE açısından 0.20 ile 0.94 arasında değişen ve ortalaması 0.66 olan kabul edilebilir seviyede performanslar göstermektedir (Tablo 4.3 ve Şekil 4.21).

Noktasal doğrulamaya ek olarak, tam dağılımlı model sonuçları Karla Kaplı Alan (KKA) ve Kar Su Eşdeğeri (KSE) bilgisi veren farklı (IMS, MODIS, SEVIRI ve SSM/I H-13 ürünü) uydu görüntüleriyle alansal olarak kıyaslanmıştır. Tam dağılımlı modelin kar derinliği sonuçlarının Karasu Havzası’na kestirilmesi sonucu elde edilen alansal kar çekilme eğrileri; IMS uydusu ve bulut filtresinden geçirilen MODIS ve SEVIRI

uydularından elde edilen kar çekilme eğrileri ile 2015-2018 kar sezonları için kıyaslanmıştır. Buna göre, havzanın yıldan yıla değişen meteorolojik şartlara göre farklı kar çekilme eğrilerine sahip olduğu net bir şekilde görülebilmektedir. Model sonucu her üç uydu görüntüsü ile hem zamansal hem de miktarsal olarak oldukça uyumlu seyretmektedir. 2015-2018 yılları için tüm uydular ile istatistiksel olarak, NSE açısından 0.817–0.953 arasında değişen başarıların bulunması da bunu desteklemektedir.

Tam dağılımlı modelin kar su eşdeğeri sonuçlarının Karasu Havzası'na kestirilmesi sonucu elde edilen sonuçlar ile H-13 uydu ürünlerinden elde edilen sonuçlar 2015-2018 kar sezonları için alansal olarak kıyaslanmıştır. Beklenildiği gibi, model sonuçlarından elde edilen alansal kar su eşdeğeri kar birikme döneminden erime dönemine kadar artarak en yüksek seviyeye ulaşmış ve erimenin başlamasıyla birlikte azalmaya başlamıştır. Model ile uydu tutarlılıkları yıldan yıla farklılık göstermekle birlikte her yıl için zamansal ve şekilsel olarak paralel hareketler gözlenmektedir. Ayrıca 2015, 2016 ve 2018 yıllarında miktarsal olarak model ve uydu uyumu söz konusu iken; 2017 yılında model sonucu uyduya göre daha aşağıda kalmaktadır. RMSE açısından model performansları da bunu desteklemekte; 2015, 2016 ve 2018 kar sezonlarında model 20-30 mm civarında hataya sahipken 2017 kar sezonu için hata 65 mm seviyelerine çıkmaktadır.

5.3. Öneriler ve Gelecek Çalışmalar

Bu tez çalışması kapsamında elde edilen temel bulgular ve sonuçlar neticesinde; kar bileşenlerinin ölçülmesi, doğrulanması ve modellenmesi konularında detaylı yorumlar ve değerlendirmeler yapılmıştır. Türkiye’de bir ilk olma özelliğine sahip birçok uygulamayı (kar çukur analizleri, çoklu uydu görüntüleri ile kar takibi ve tam dağılımlı kar modeli uygulaması vb.) içeren bu çalışma sonucunda gelecek çalışmalar ve uygulanması gerekli adımlar için birtakım öneriler aşağıda sırasıyla sunulmuştur.

- ❖ Özellikle Türkiye gibi yükseklik değişimi ve ortalama yükseltisi fazla olan ülkelerde yılın büyük çoğunluğunda kar şeklinde meydana gelen yağış olaylarının ve bunların sonucunda oluşan kar birikiminin tespit edilmesi gerekmektedir. Bununla birlikte, iklim koşulları ve arazi şartları düşünüldüğü zaman kar ölçümlerinin ne kadar zor olduğu bir gerçektir. Bütün zorluklara rağmen MGM ve DSİ gibi su ile ilgilenen uygulamacı devlet kurumlarının ölçümleri ve arazi üzerinde yapılan ölçümlere dayalı çalışmaları sürekliliğini korumaktadır. Bu

bağlamda, son yıllarda özellikle Avrupa’da yürütülen ve kar örtüsünün detaylı olarak takibini amaçlayan disiplinler arası güncel proje ve çalışmaların; devlet kurumları ve bilim insanları tarafından takip edilmesi, ülkemizin sahip olduğu büyük kar potansiyeliyle birlikte yapılan uygulamaların (kar gözlem ağı, gerçek zamanlı model uygulamaları vb.) gösterilmesi için önemli bir adım olacaktır.

- ❖ Uzun yıllar yapılan KGİ ölçüm arşivi Türkiye’nin sahip olduğu kar potansiyelinin tespiti konusunda önemli bir yere sahiptir. Yıllara göre kar ölçüm noktalarının sayılarının artması; gelişmeye yönelik bir çaba olarak görülmekle birlikte, klasik metotlarla yapılan münferit kar ölçümleri alansal temsiliyet noktasında yetersizlikleri de beraberinde getirmektedir. Düzenli şekilde kar ölçümü alınan bu istasyonların verilerine dayalı bir regresyon modeli, arazi üzerinde daha kolay ve yaygın ölçülebilen KD’dan KSE’yi elde etmek için umut verici performanslar göstermektedir. Bu model bir kış sezonunda kar suyu potansiyelini hesaplamak için kar verilerini toplayan devlet kurumları (sadece modelin geliştirildiği Türkiye’nin dağlık doğu kısmı için) tarafından kolayca kullanılabilir. İlerleyen zamanlarda, çalışma Türkiye’deki diğer bölgelerden daha fazla kar verisi eklenerek detaylandırılır ve böylece modeldeki bölgesel faktörler de göz önünde bulundurulabilir. Ayrıca; son yıllarda kullanımı giderek artan otomatik kar gözlem istasyon ölçümlerinin de bu veri seti içinde kullanılmasıyla, bu regresyon kar modelinin kar sezonunu ve değişen özelliklerini daha iyi yansıtmaları sağlanabilir.
- ❖ 2017-2019 kar sezonları içerisinde yapılmış olan kar çukuru analizleri, Türkiye’de ilk defa farklı yükseklik seviyelerinde, kar sezonu boyunca ve farklı ekipmanlar kullanılarak yapılan detaylı kar bileşen ölçümleridir. Bu ölçümler, katmanlı bir yapıya sahip olan kar örtüsünün kar birikmesi ve erimesi süresince sergilediği davranışların tespit edilip değerlendirilmesi açısından oldukça önemlidir. Kar potansiyeli fazla olan ülkemizde bu tarz uygulamaların uzun yıllar devam ettirilip kaliteli veri toplanması ve kar/hidrolojik modellerle entegre edilmesi kar hidrolojisi çalışmaları konusunda son derece önemli olacaktır.
- ❖ Son yıllarda Türkiye’de kar ölçümü yapan devlet kurumları mevcut ölçüm ağının yeni teknolojilerle geliştirilmesi ve güncel olarak izlenmesini hedeflemektedir. Bu sebeple MGM 2015 kar sezonu 11 adet Snow Pack Analyzer (SPA) otomatik kar gözlem istasyonunun Türkiye’nin çeşitli yerlerine kurulmasını sağlamıştır. Bu tez

çalışması kapsamında, bu istasyonların ekipmanları tanıtılmış ve kar sezonu olarak kabul edilen 1 Ekim-31 Mayıs periyodu için değerlendirilmesi Türkiye’de ilk defa yapılmıştır. Kısa zaman aralıklarıyla ölçüm alan SPA istasyonu özellikle kar örtüsünün erime öncesi döneminde günlük çevriminin takibi konusunda faydalı olmaktadır. Ayrıca; bu tarz otomatik kar gözlem istasyon ağının geliştirilmesi, kar erimesinden beslenen büyük nehirler üzerinde kurulu olan barajlarda karar vericiler için su kaynaklarının verimli yönetimi ve devamlılığı adına büyük bir öneme sahip olacaktır.

- ❖ Kar örtüsünün iklim değişikliği, su/enerji dengesi üzerinde büyük etkisinin olmasından dolayı; karın miktarsal, alansal ve zamansal dağılımı hidrolojik sistem içerisinde oldukça önemlidir. Son yıllarda, değişik seviye ve kapsamda çok çeşitli kar erime modelleri geliştirilmiş ve farklı amaçlar doğrultusunda kullanılmıştır. Bu çalışmada kullanılan kavramsal SNOW-17 kar modeli, bir alanda ve/veya noktada yağış ve sıcaklık meteorolojik gözlem verilerini kullanarak kar derinliği (KD), kar yoğunluğu (ρ_{kar}) ve kar su eşdeğeri (KSE) gibi kar bileşenlerini verir. Bu tarz bir tam dağılımlı kar model çalışmasında en önemli kısıtlardan bir tanesi, uygulama alanı içerisinde bulunan ve modelin farklı aşamalarında (kalibrasyon ve doğrulama) kullanılan gözlem istasyonu ağının nitel ve niceliksel olarak yeterli olmasıdır. Buna ek olarak, uygulayıcı kurum-üniversite iş/proje birliktelikleri sonucuyla yenilikçi ve gelişmiş ölçüm sistemlerinin (enerji dengesini çözebilen detaylı ölçümler alabilen istasyonlar, soğuk laboratuvarlar vb.) yaygınlaşması noktasal ve tam dağılımlı fiziksel tabanlı kar modellerinin uygulanması ve operasyonel kar model geliştirilmesi adına faydalı olacaktır.
- ❖ Karın doğadaki en parlak objelerden birisi olması nedeniyle, yeryüzündeki kar örtüsünü uzaktan algılama yöntemleriyle takip etmek yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu çalışma kapsamında gerek noktasal yer verileri gerekse de alansal tam dağılımlı model sonuçları, Karla Kaplı Alan (KKA) bilgisi veren üç farklı (IMS, MODIS ve SEVIRI) uydu verisiyle ve Kar Su Eşdeğeri (KSE) bilgisi veren bir uydu ürünüyle (H-13) kıyaslanmıştır. Özellikle erime dönemine yakın zamanlarda kar örtüsünün arazi üzerinde çok dağınık bir davranış sergilemesi ve yapılan münferit veya otomatik noktasal ölçümlerin o bölgeyi temsil edememesi, uydu ürünlerinin ön plana çıkmasına neden olmaktadır. Noktasal ve/veya alansal temsiliyetin önemli olduğu kar hidrolojisi gibi bilimsel ve mühendislik

alışmalarında güncel ve modern uydu teknolojilerinden faydalanmak önemli olmaktadır.

- ❖ Son olarak; kar bileşenlerinin llmesi, doğrulanması ve modellenmesini konu alan bu gibi çalışmaların örnek alınarak niversite ve kurum personellerinin birlikte arazi üzerinde kar ölçümleri yaptığı, elde edilen bulguların ve tecrübelerin paylaşılarak değerlendirildiği çalışmaların niceliksel olarak artması; iklim değişikliğinin de etkisiyle artık su zengini olmayan Türkiye'nin verimli su kaynakları yönetimini sağlayabilecek ve hidro-politik açıdan da elini güçlendirecektir.



KAYNAKÇA

- Akyürek, Z. ve Şorman, A.Ü. (2002). Accuracy Assessment of a Landsat Assisted Land-cover Mapping Case Study: City of Erzurum and its Vicinity-Turkey, 3rd *International Remote Sensing Symposium of Urban Areas*, İstanbul, Türkiye, Vol. 2, pp. 529-536.
- Akyürek, Z., Sürer, S. ve Beser, Ö. (2011). Investigation of the snow-cover dynamics in the Upper Euphrates Basin of Turkey using remotely sensed snow-cover products and hydrometeorological data, *Hydrological Processes*, 25(23), 3637-3648.
- Alonso-González, E., Ignacio López-Moreno, J., Gascoin, S., García-Valdecasas Ojeda, M., Sanmiguel-Vallelado, A., Navarro-Serrano, F., Revuelto, A., Esteban-Parra, M. J. ve Essery, R. (2018). Daily gridded datasets of snow depth and snow water equivalent for the Iberian Peninsula from 1980 to 2014. *Earth System Science Data*, 10(1), 303–315. <https://doi.org/10.5194/essd-10-303-2018>
- Anderson, E. A. (1968). Development and Testing of Snow Pack Energy Balance Equations. *Water Resources Research*. Vol. 4, No. 1, pp 19-37.
- Anderson, E. A. ve Crawford, N. H. (1964). The Synthesis of Continuous Snowmelt Runoff Hydrographs on a Digital Computer. *Technical Report No. 36, Department of Civil Engineering*, Stanford University, Stanford, California, 103 pp.
- Arslan, A. N., Tanis, C. M., Metsämäki, S., Aurela, M., Böttcher, K., Linkosalmi, M. and Peltoniemi, M. (2017). Automated webcam monitoring of fractional snow cover in northern boreal conditions. *Geosciences (Switzerland)*, 7(3). <https://doi.org/10.3390/geosciences7030055>
- Bagchi, A. K. (1983). Areal Value of Degree-Day Factor. *Hydrological Sciences Journal*, 28(4), 499–511.
- Baumgartner, M.F. ve Rango, A. (1995). A microcomputer based alpine snow cover analysis system (ASCAS). *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 61(12), 1475-1486.

- Bavera, D., Bavay, M., Jonas, T., Lehning, M., ve De Michele, C. (2014). A comparison between two statistical and a physically-based model in snow water equivalent mapping. *Advances in Water Resources*, 63, 167–178. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2013.11.011>
- Brander, D., Seidel, K., Zurflüh, M., Huggel, C. (2000). Snow cover duration maps in alpine regions from remote sensing data. *In Proceedings of EARSeL-SIG-Workshop Land Ice and Snow*, Dresden/FRG, pp 292–296.
- Brubaker, K., Rango, A. ve Kustas, W. (1996). Incorporating Radiation Inputs into the Snowmelt Runoff Model. *Hydrological Processes*, 10(10), 1329–1343. [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1099-1085\(199610\)10:10<1329::aid-hyp464>3.3.co;2-n](https://doi.org/10.1002/(sici)1099-1085(199610)10:10<1329::aid-hyp464>3.3.co;2-n)
- Cazorzi, F. ve Fontana, D. G. (1996). Snowmelt modelling by combining air temperature and a distributed radiation index. *Journal of Hydrology*, 181(1–4), 169–187. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(95\)02913-3](https://doi.org/10.1016/0022-1694(95)02913-3)
- Çoşkun C. (2016). Comparative Analysis of Various Satellite Products through Hydrological Modeling, *Yüksek Lisans Tezi*, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Essery, R., Morin, S., Lejeune, Y. ve B Ménard, C. (2013). A comparison of 1701 snow models using observations from an alpine site. *Advances in Water Resources*, 55, 131–148. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2012.07.013>
- Essery, R., Rutter, N., Pomeroy, J., Baxter, R., Stahli, M., Gustafsson, D., Barr, A., Bartlett, P. ve Elder, K. (2009). An Evaluation of Forest snow Process simulations. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 114(November 2008), 2267–2274. <https://doi.org/10.1029/2008JD011063>
- Etchevers, P., Martin, E., Brown, R., Fierz, C., Lejeune, Y., Bazile, E., Boon, A., Dai, Y.-J., Essery, R., Fernandez, A., Gusev, Y., Jordan, R., Koren, V., Kowalczyk, E., Nasonova, R., Pyles, D., Schlosser, A., Shmakin, A. B., Smirnova, T. G., Strasser, U., Verseghy, D., Yamazaki, T. ve Z.-L. Yang, (2002). SnowMIP, an intercomparison of snow models: first results. *In: Proceedings of the International snow science workshop*, Penticton, Canada.

- Fayad, A., Gascoin, S., Faour, G., Fanise, P., Drapeau, L., Somma, J., Fadel, A., Bitar, A. A. ve Escadafal, R. (2017). Snow observations in Mount Lebanon (2011-2016). *Earth System Science Data*, 9(2), 573–587. <https://doi.org/10.5194/essd-9-573-2017>
- Fierz, C., Armstrong, R.L., Durand, Y., Etchevers, P., Greene, E., McClung, D.M., Nishimura, K., Satyawali, P.K., ve Sokratov, S.A. (2009). The International Classification for Seasonal Snow on the Ground. IHP-VII Technical Documents in Hydrology N°83, *IACS Contribution N°1*, UNESCO-IHP, Paris.
- Freudiger, D., Kohn, I., Seibert, J., Stahl, K. ve Weiler, M. (2017). Snow redistribution for the hydrological modeling of alpine catchments. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 4(5), e1232. <https://doi.org/10.1002/wat2.1232>
- Gafurov, A., Vorogushyn, S., Farinotti, D., Duethmann, D., Merkushkin, A. ve Merz, B. (2015). Snow-cover reconstruction methodology for mountainous regions based on historic in situ observations and recent remote sensing data. *The Cryosphere*, 9, 2, 451–463.
- Garen, D. C., Johnson, G. L. ve Hanson, C. L. (1994). Mean areal precipitation for daily hydrologic modeling in mountainous regions. *Water Resources Bulletin* 30, 481-491.
- Golding, D. L. (1968). Snow Measurement on Marmot Creek Experimental Watershed. *Forest Research Laboratory Calgary, Alberta Information Report A-X-18*.
- Gözel, E. (2011). Yukarı Fırat Havzasında Kar Suyu Potansiyelinin Dönemsel ve Akımların Günlük Modellenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir.
- Guneriussen, T., Bjerke, P.L., Hallikainen, M., Hiltbrunner, D., Johnsen, H., Jaaskelainen, V., Kolberg, S.A., Koskinen, J., Maltzer, C., Pullianen, J., Sand, K., Solberg, R. Standley, A. ve Wiesmann, A. (2000). Research and Development of Earth Observation Methods for Snow Hydrology. *SnowTools Final Report*, NORUT Report, 431/47-00.

- Gürer, İ., Özgüler, H., Eryılmaz, A., Dorum, A., Gürbüz, A., Bakır, H., Özlü, A. ve Sevim, Z. (2002). 1964-2002 Kış Dönemlerinde Türkiye’de Kar Gözlem ve Analizleri Konusunda Yapılan Çalışmalar. *Akdeniz Ülkelerinde Kar Hidrolojisi*, Beyrut, Lübnan.
- Haberkorn, A. (Ed.) (2019). European Snow Booklet. 363 pp., doi:10.16904/envidat.59.
- Hall, D.K. ve Martinec, J. (1985). Remote sensing of ice and snow. *Chapmen and Hall*, London, pp189.
- Hill, D. F., Burakowski, E. A., Crumley, R. L., Keon, J., Michelle, H. J., Arendt, A., Jones, K.W. ve Wolken, G.J. (2019). Converting snow depth to snow water equivalent using climatological variables. *The Cryosphere*, 13(7), 1767–1784. <https://doi.org/10.5194/tc-13-1767-2019>
- HSAF (2012). Product Validation Report (PVR-13) for product H13 (SN-OBS-4) Snow water equivalent by MW radiometry. 13 (November).
- Jonas, T., Marty, C. ve Magnusson, J. (2009). Estimating the snow water equivalent from snow depth measurements in the Swiss Alps. *Journal of Hydrology*, 378(1–2), 161–167. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.09.021>
- Kaya, I. (1999). Application of Snowmelt Runoff Model using remote sensing and geographic information systems. *Master of Science Thesis*, Middle East Technical University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Ankara.
- Kinar, N. J. ve Pomeroy, J. W. (2015). Measurement of the physical properties of the snowpack. *Reviews Geophysics*, 53, doi:10.1002/2015RG000481.
- Krajci, P. Danko, M. Hlavco, J. ve Holko, L. (2016). Experimental measurements for improved understanding and simulation of snowmelt events in the Western Tatra Mountains, *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 64, doi: 10.1515/johh-2016-0038
- Kustas, W. P. ve Rango, A. (1994). A simple energy budget algorithm for the snowmelt runoff model. *Water Resources Research*, 30(5), 1515–1527. <https://doi.org/10.1029/94WR00152>

- Kuter, S., Akyurek, Z. ve Weber, G.W. (2018). Retrieval of Fractional Snow Covered Area from MODIS Data by Multivariate Adaptive Regression Splines. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 205, pp. 236-252.
- Leppänen, L. (2019). Measurements and modelling of seasonal snow characteristics for interpreting passive microwave observations. *PhD Thesis*, University of Helsinki, Finland.
- López-Moreno Ignacio, Leena Leppnen, Luks Bartomiej, Ladislav Holko, Ghislain Picard, Alba Sanmiguel Vallelado, Esteban Alonso Gonzalez, Finger David, Arslan Ali Nadir, Katalin Gillemot, Şensoy Aynur, Şorman Ali Arda, Ertaş Mustafa Cansaran, Fassnacht Steven, Fierz Charles ve Marty Christoph (2020). Intercomparison of measurements of bulk snow density and water equivalent of snow cover with snow core samplers: instrumental bias and variability induced by observers. *Hydrological Processes*, Doi:10.1002/hyp.13785
- Lundberg, A. ve Halldin, S. (2001). Snow measurement techniques for land-surface-atmosphere exchange studies in boreal landscapes. *Theoretical and Applied Climatology*, Vol. 70, Pages 215-230.
- Madore, J. B., Langlois, A. ve Côté, K. (2018). Evaluation of the SNOWPACK model's metamorphism and microstructure in Canada: a case study. *Physical Geography*, 39(5), 406–427. <https://doi.org/10.1080/02723646.2018.1472984>
- Marks D., Keith R. C., David C. R. ve Adam W.(2001). Long-term snow database, Reynolds Creek Experimental Watershed, Idaho, United States. *Water Resources Research*, Vol. 37, No. 11, Pages 2835–2838, November.
- Martinec, J. (1989). Hour-to-hour snowmelt rates and lysimeter outflow during an entire ablation period. *Snow Cover and Glacier Variations*, 19(183), 19–28. <https://doi.org/10.1029/89EO00333>
- Martinec, J. ve Rango, A. (1987). Interpretation and utilization of areal snow cover data from satellites. *Annals of Glaciology*, Vol. 19, pp. 166-169.
- McCreight, J. L. ve Small, E. E. (2014). Modeling bulk density and snow water equivalent using daily snow depth observations. *The Cryosphere*, 8(2), 521–536. <https://doi.org/10.5194/tc-8-521-2014>

- Nagler, T. ve Rott H. (1997). The application of ERS-1 SAR for snowmelt runoff modeling. In: M.F. Baumgartner, G.A. Schultz, and A.I. Johnson (eds), *55th Scientific Assembly of the International Association of Hydrological Sciences*, Rabat, Morocco, 28-30 April, IAHS Publication No.242, pp. 119-126.
- NATO SfS 96-01-055. (1996-2000). Establishment of satellite based observation and its applications in Turkey –NATO Consultant, NVE, Norway.
- NOAA (2013). Snow Measurement Guidelines for National Weather Service Surface Observing Programs. *National Weather Service Office of Climate, Water and Weather Services*.
- Oreiller, M., Nadeau, D. F., Minville, M. ve Rousseau, A. N. (2014). Modelling snow water equivalent and spring runoff in a boreal watershed, James Bay, Canada. *Hydrological Processes*, 28(25), 5991–6005. <https://doi.org/10.1002/hyp.10091>
- Pistocchi, A. (2016). Simple estimation of snow density in an Alpine region. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 6, 82–89. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2016.03.004>
- Proksch, M., Rutter, N., Fierz, C. ve Schneebeli, M. (2016). Intercomparison of snow density measurements: bias, precision, and vertical resolution. *The Cryosphere*, Vol. 10, Pages 371–384.
- Raleigh, M. S. ve Lundquist, J. D. (2012). Comparing and combining SWE estimates from the SNOW-17 model using PRISM and SWE reconstruction. *Water Resources Research*, 48(1), 1–16. <https://doi.org/10.1029/2011WR010542>
- Ramsey, B. H. (1998). The interactive multisensor snow and ice mapping system. *Hydrological Processes*, 12, 1537-1546.
- Rango, A. (1996). Spaceborne remote sensing for snow hydrology applications. *Hydrological Sciences Journal*, Vol. 41, 477-494.
- Rango, A., Salomonson, V.V. ve Foster, J.L. (1977). Seasonal streamflow estimation in the Himalayan region employing meteorological snow cover observations. *Water Resources Research*, Vol. 13 (1), 109-112.

- Richer, E.E. (2009). Snowmelt runoff analysis and modelling for the upper cache La Poudre River basin, Colorado. *MS Thesis*, Colorado State University, Fort Collins, USA.
- Rott, H., Nagler, T., Glendinning, G., Wright, G., Miller, D., Gauld, J., Caves, R., Ferguson, R., Quegan, S., Turpin, O., Clark, C., Johansson, B., Gyllander, A., Baumgartner, M., Kleindienst, H., Voigt, S. ve Pirker, O. (2000). HYDALP. Hydrology of Alpine and High Latitude Basins. Final Report. *Institut für Meteorologie and Geophysik, Universitat Innsbruck, Mitteilungen*, 4.
- Saloranta, T. M. (2016). Operational snow mapping with simplified data assimilation using the seNorge snow model. *Journal of Hydrology*, 538, 314–325. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.03.061>
- Seidel, K., Brush, W. ve Steinmeier, C. (1994). Experiences from real time runoff forecasts by snow cover remote sensing, IEEEIGARSS.
- Şensoy, A. (2005). Physically Based Point Snowmelt Modeling and Its Distribution in Upper Euphrates Basin. *PhD Thesis*, Middle East Technical University.
- Şensoy, A. ve Uysal, G. (2012). The value of snow depletion forecasting methods towards operational snowmelt runoff estimation using MODIS and Numerical Weather Prediction Data. *Water Resources Management*, 26, 12, 3415–3440.
- Şensoy, A., Şorman, A. A., Tekeli, A. E., Şorman, A. Ü. ve Garen, D. C. (2006). Point-scale energy and mass balance snowpack simulations in the upper Karasu basin, Turkey. *Hydrological Processes*, 20, 4, 899–922.
- Sommer Messtechnik. (2016). Snow Pack Analyser SPA-2 Analysing system User Manual.
- Sönmez, İ., Tekeli, A.E. ve Erdi, E. (2014). Snow cover trend analysis using Interactive Multisensor Snow and Ice Mapping System (IMS) data over Turkey. *International Journal of Climatology*, 34(7): 2349–2361, DOI: 10.1002/joc.3843
- Şorman, A. A. ve Ertaş M.C. (2019). Otomatik Yeni Yöntemlerle Gözlenen Kar Bileşenlerinin Manuel Ölçümler ve Uydu Görüntüleriyle Değerlendirilmesi. *DSİ Teknik Bülteni*, Sayı 132, ISSN: 1308-2477.

- Şorman, A. A., Şensoy, A., Tekeli, A. E., Şorman, A. Ü. ve Akyürek, Z. (2009). Modeling and forecasting snowmelt runoff process using the HBV model in the eastern part of Turkey. *Hydrological Processes*, 23, 1031–1040.
- Şorman, A. A., Uysal G. ve Şensoy, A. (2019). Probabilistic snow cover and ensemble streamflow estimations in the Upper Euphrates Basin. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 67.
- Şorman, A. U. ve Beser, O. (2013). Determination of snow water equivalent over the eastern part of Turkey using passive microwave data. *Hydrological Processes*, 27(14), 1945–1958. <https://doi.org/10.1002/hyp.9267>
- Şorman, A.A. (2005). Use of Satellite Observed Seasonal Snow Cover in Hydrological Modeling and Snowmelt Runoff Prediction in Upper Euphrates Basin, Turkey. *PhD Thesis*, Middle East Technical University.
- Şorman, A.A., Şensoy A., Tekeli A.E. ve Şorman A.Ü. (2004). Yukarı Karasu Havzasında Nokta Bazlı Yüzey İklim ve Enerji Değişimi 1. Gerçek Zamanlı Meteorolojik ve Kar Ölçümlerinin Gözlenmesi. *IV. Ulusal Hidroloji Kongresi*, 21-25 Haziran 2004, İstanbul.
- Sturm, M., Taras, B., Liston, G. E., Derksen, C., Jonas, T. ve Lea, J. (2010). Estimating snow water equivalent using snow depth data and climate classes. *Journal of Hydrometeorology*, 11(6), 1380–1394. <https://doi.org/10.1175/2010JHM1202.1>
- Tekeli, A. E. (2008). Early findings in comparison of AMSR-E/Aqua L3 global snow water equivalent EASE grids data with in situ observations for Eastern Turkey. *Hydrological Processes*, Vol 22, Issue 15, pp 2737-2747, DOI: 10.1002/hyp.7093.
- Tekeli, A. E., Şorman, A. A., Şensoy, A., Şorman, A. Ü., Bonta, J. ve Schaefer, G. (2005). Snowmelt lysimeters for real-time snowmelt studies in Turkey. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 29(1), 29–40.
- Tekeli, A.E. (2005). Operational hydrological forecasting of snowmelt runoff by remote sensing and geographic information systems integration. *PhD Thesis*, Middle East Technical University.

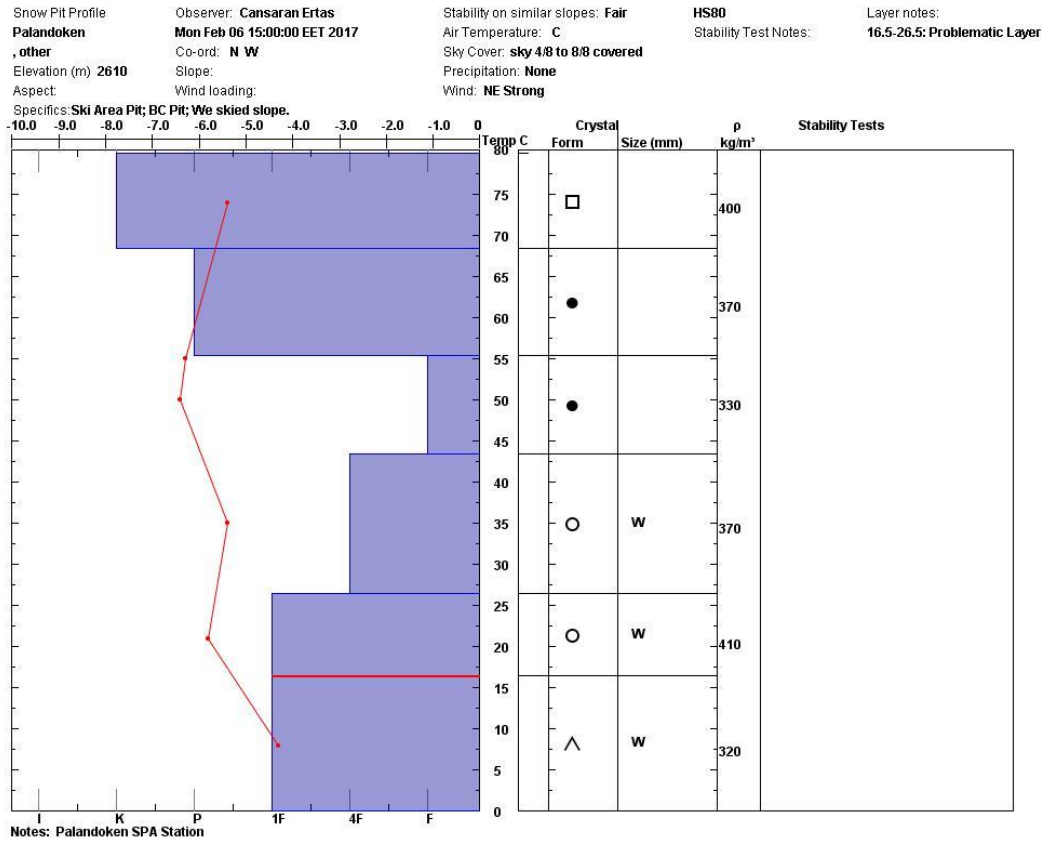
- Tekeli, A.E., Akyürek, Z., Şensoy, A., Şorman, A.A. ve Şorman, A.Ü. (2005). Modelling the temporal variation in snow-covered area derived from satellite images for simulating/forecasting of snowmelt runoff in Turkey. *Hydrological Sciences Journal*, 50 (4), 669-682.
- Tekeli, A.E., Sönmez, I. ve Erdi, E. (2016). Snow-covered area determination based on satellite-derived probabilistic snow cover maps. *Arabic Journal of Geosciences*, 9, 198.
- TÜBİTAK-108Y161. (2011). Yukarı Fırat Havzasında, arazi ölçümleri, uydu teknolojileri, hava tahmin verileri ve hidrolojik modeller kullanılarak, kar potansiyelinin dönemsel ve akımların günlük tahmini. *Anadolu Üniversitesi*, Eskişehir.
- Wiesnet, D.R., Ropelevski, C.F., Kukla, G.J. ve Robinson, D.A. (1987). A discussion of the accuracy of NOAA satellite derived global seasonal snow cover measurements, *IAHS publications*, Vol. 166, 291-304.
- WMO (1986). Intercomparison of models of snowmelt runoff, Publication No. 646, *Operational Hydrology Report No. 23*, World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland.
- WMO (2018). Guide to meteorological instruments and methods of observation: Measurement of Cryospheric Variables, *World Meteorological Organization*, Geneva, Switzerland. https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=9870

EKLER

EK-1. Kar Çukur Analizi Sonuçları

- 06 Şubat 2017 Palandöken Dağı (2600 m)**

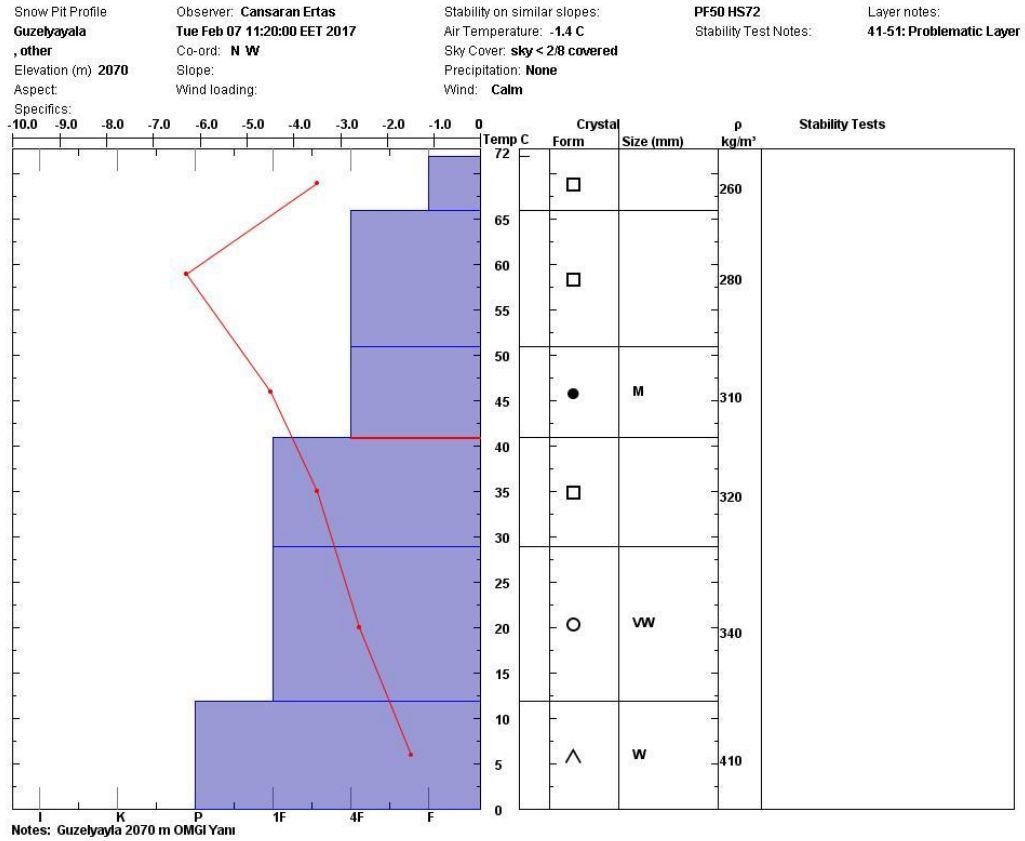
Toplam 6 katmandan oluşan kar örtüsünün derinliği 80 cm olarak belirlenmiştir. Bu katmanların yoğunlukları ise 320-470 kg/m³ arasında değişmekte olup, ortalama yoğunluğu ise 360 kg/m³ olarak hesaplanmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. 06 Şubat 2017 Palandöken kar çukur analizi

- **07 Şubat 2017 Güzelyayla (2070 m)**

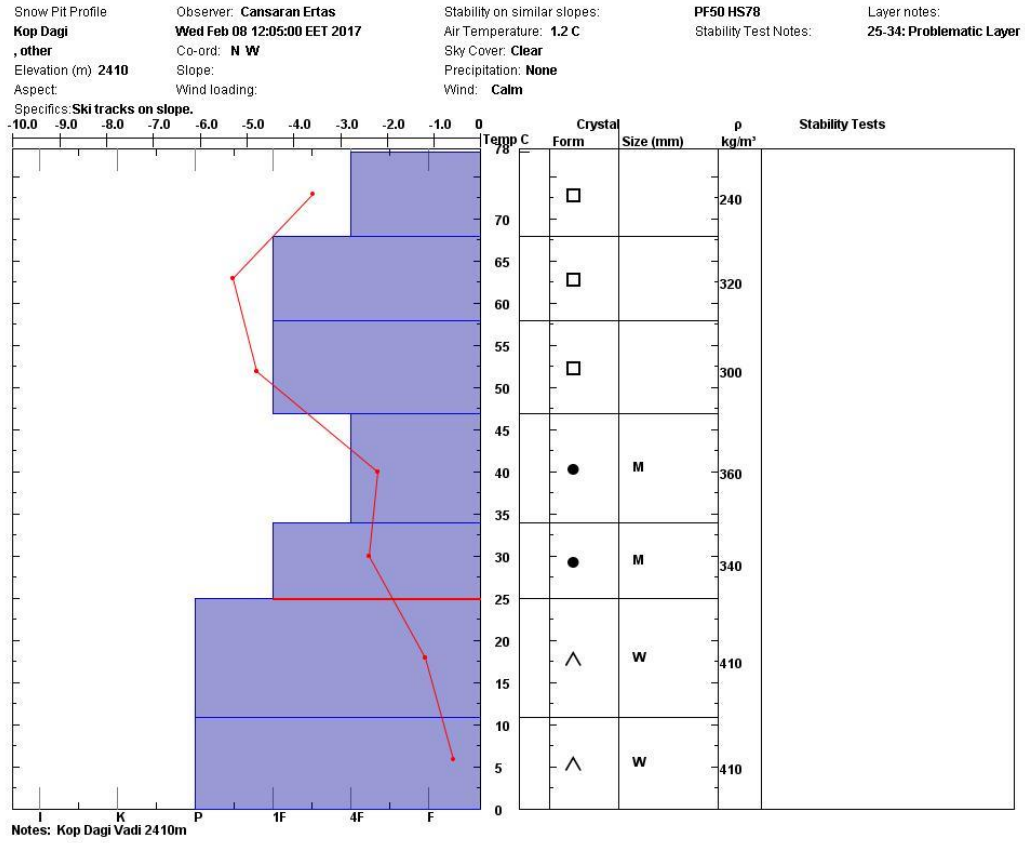
Toplam 6 katmandan oluşan kar örtüsünün derinliği 72 cm olarak belirlenmiştir. Bu katmanların yoğunlukları ise 260-420 kg/m³ arasında değişmekte olup, ortalama yoğunluğu ise 330 kg/m³ olarak hesaplanmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. 07 Şubat 2017 Güzelyayla kar çukur analizi

- **08 Şubat 2017 Kop Dağı (2400 m)**

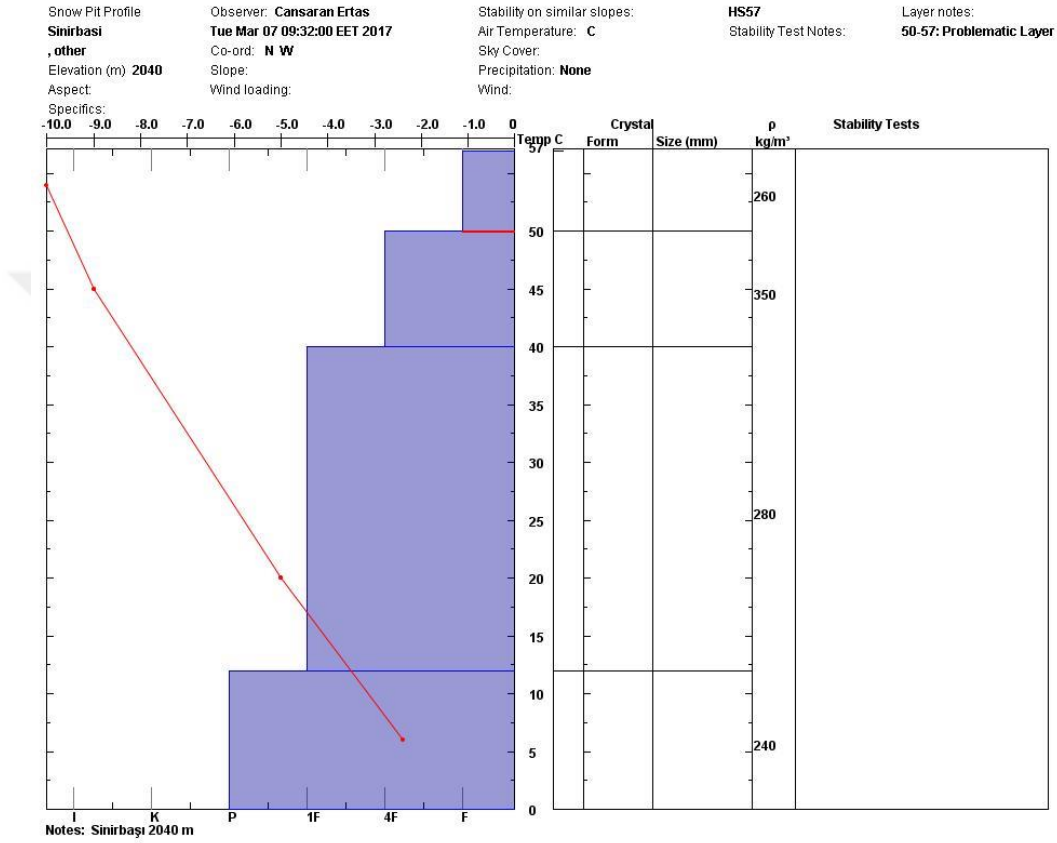
Toplam 7 katmandan oluşan kar örtüsünün derinliği 70 cm olarak belirlenmiştir. Bu katmanların yoğunlukları ise 240-410 kg/m³ arasında değişmekte olup, ortalama yoğunluğu ise 340 kg/m³ olarak hesaplanmıştır (Şekil 3).



Şekil 3. 08 Şubat 2017 Kop Dağı kar çukur analizi

- **06 Mart 2017 Sinirbaşı (2040 m)**

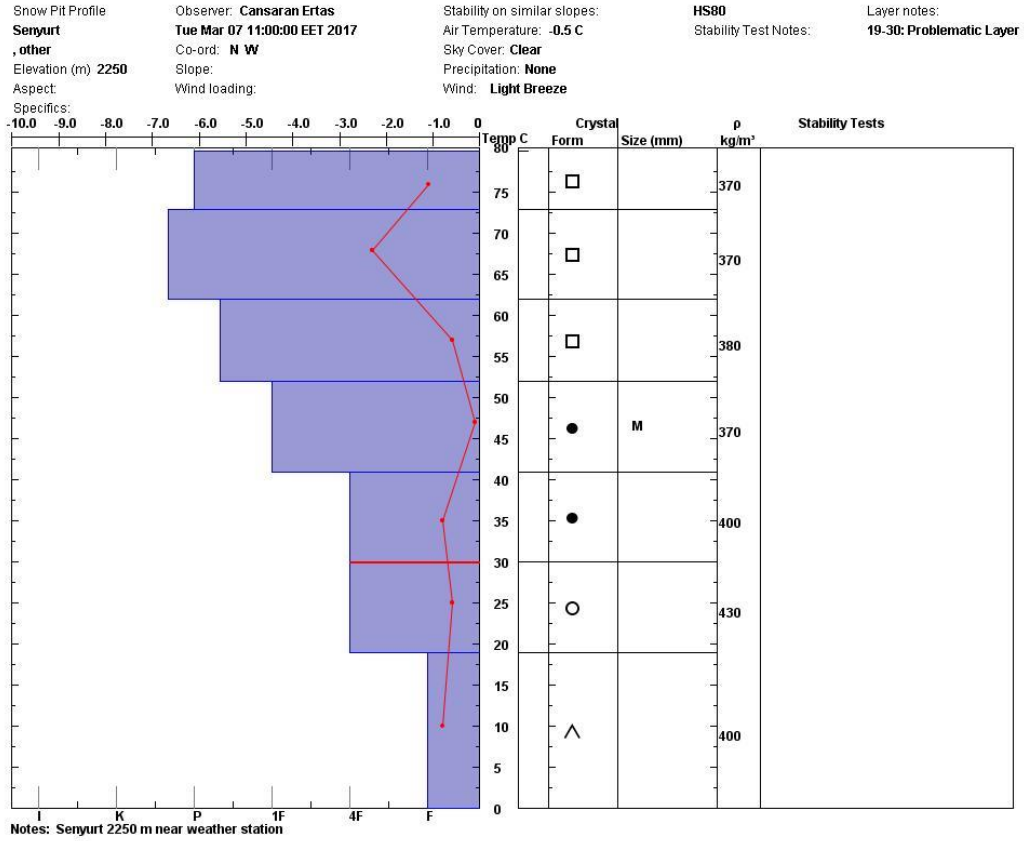
Toplam 4 katmandan oluşan kar örtüsünün derinliği 57 cm olarak belirlenmiştir. Bu katmanların yoğunlukları ise 240-350 kg/m³ arasında değişmekte olup, ortalama yoğunluğu ise 290 kg/m³ olarak hesaplanmıştır (Şekil 4).



Şekil 4. 06 Mart 2017 Sinirbaşı kar çukur analizi

- **07 Mart 2017 Şenyurt (2250 m)**

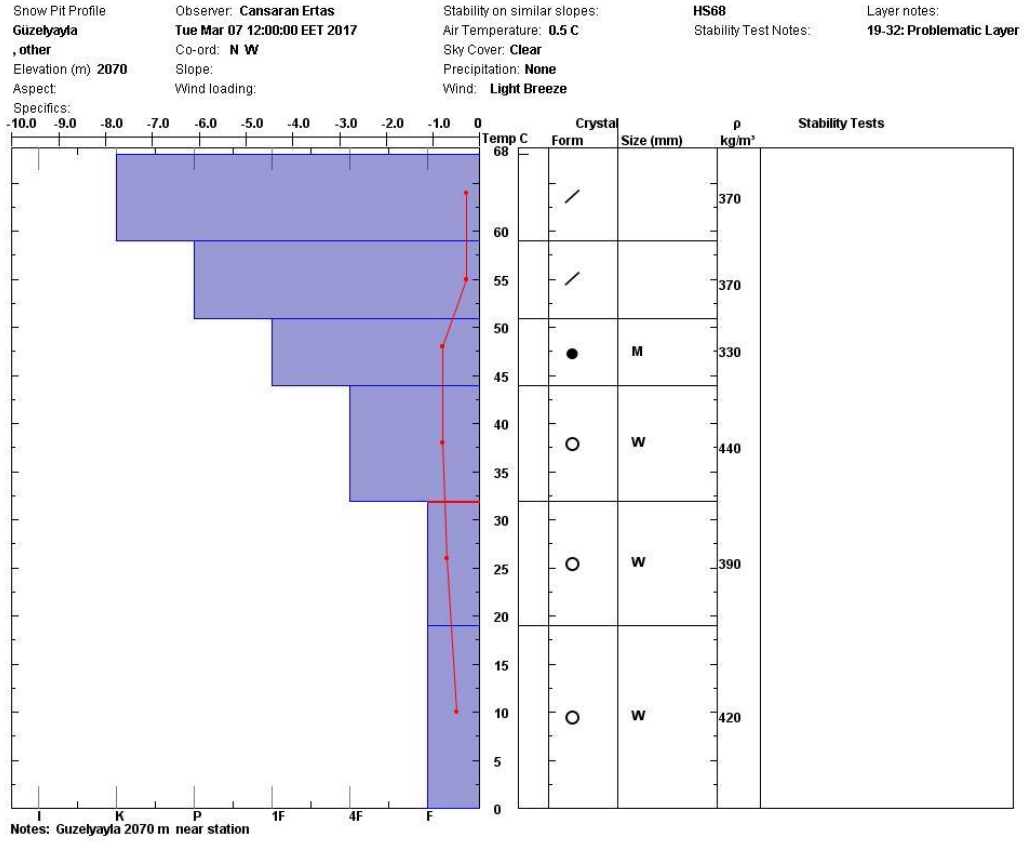
Toplam 7 katmandan oluşan kar örtüsünün derinliği 80 cm olarak belirlenmiştir. Bu katmanların yoğunlukları ise 370-430 kg/m³ arasında değişmekte olup, ortalama yoğunluğu ise 390 kg/m³ olarak hesaplanmıştır (Şekil 5).



Şekil 5. 07 Mart 2017 Şenyurt kar çukur analizi

- **07 Mart 2017 Güzelyayla (2070 m)**

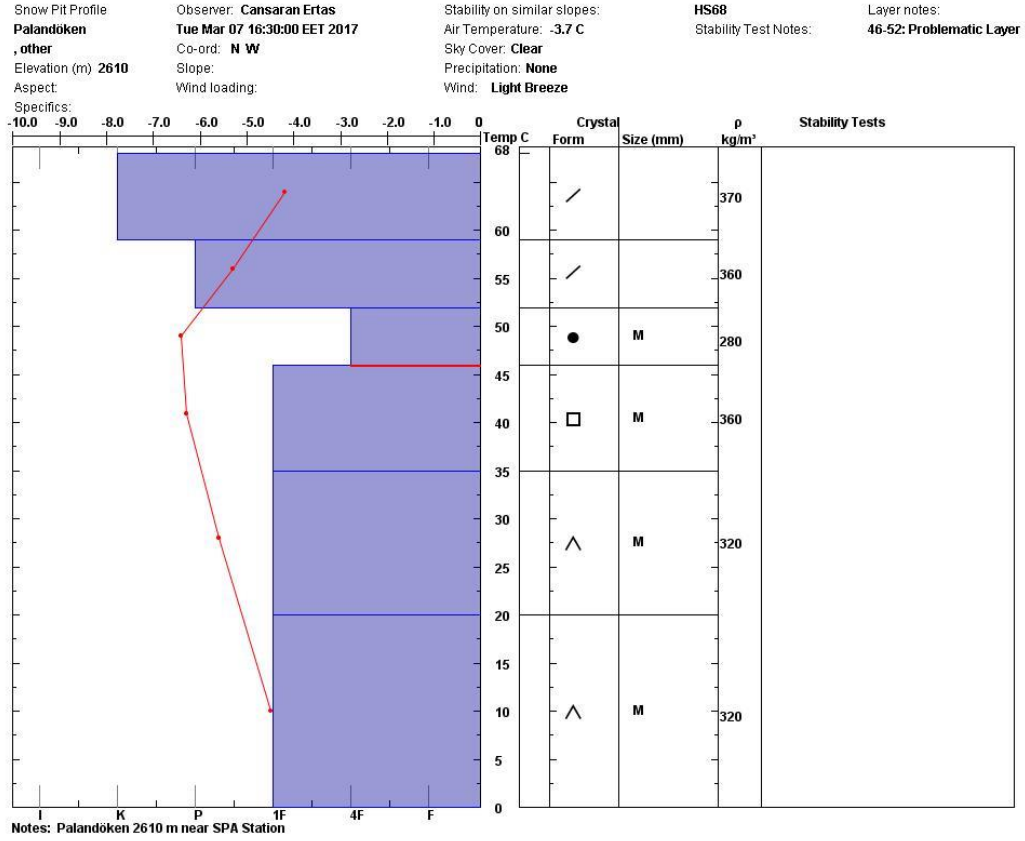
Toplam 6 katmandan oluşan kar örtüsünün derinliği 68 cm olarak belirlenmiştir. Bu katmanların yoğunlukları ise 330-440 kg/m³ arasında değişmekte olup, ortalama yoğunluğu ise 397 kg/m³ olarak hesaplanmıştır (Şekil 6).



Şekil 6. 07 Mart 2017 Güzelyayla kar çukur analizi

- **07 Mart 2017 Palandöken Dağı (2600 m)**

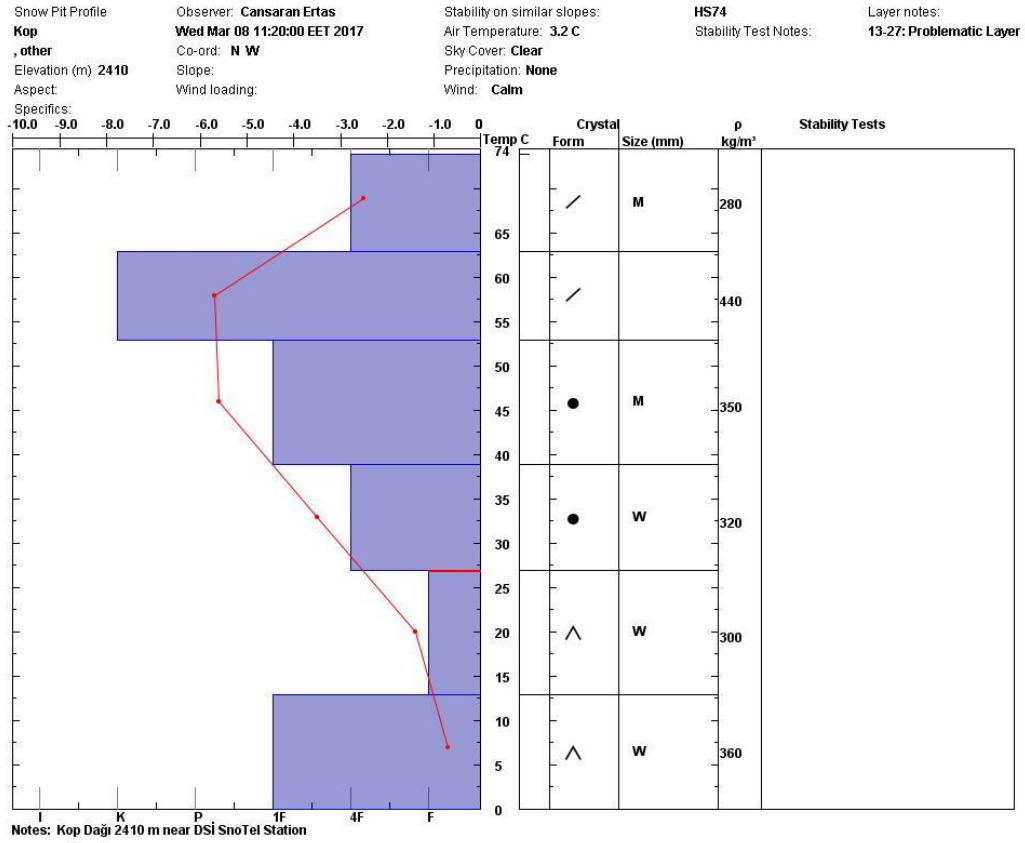
Toplam 6 katmandan oluşan kar örtüsünün derinliği 68 cm olarak belirlenmiştir. Bu katmanların yoğunlukları ise 280-370 kg/m³ arasında değişmekte olup, ortalama yoğunluğu ise 333 kg/m³ olarak hesaplanmıştır (Şekil 7).



Şekil 7. 07 Mart 2017 Palandöken Dağı kar çukur analizi

- **08 Mart 2017 Kop Dağı (2400 m)**

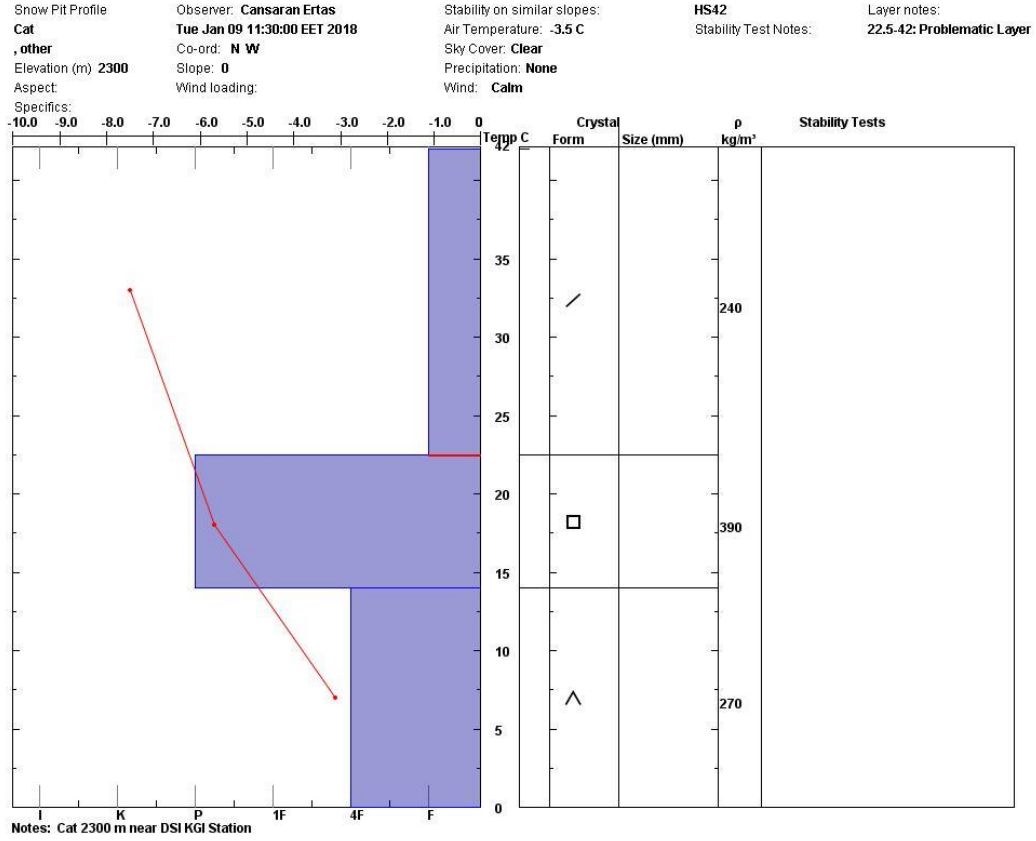
Toplam 6 katmandan oluşan kar örtüsünün derinliği 80 cm olarak belirlenmiştir. Bu katmanların yoğunlukları ise 280-440 kg/m³ arasında değişmekte olup, ortalama yoğunluğu ise 338 kg/m³ olarak hesaplanmıştır (Şekil 8).



Şekil 8. 08 Mart 2017 Kop Dağı kar çukur analizi

- **09 Ocak 2018 Çat (2300 m)**

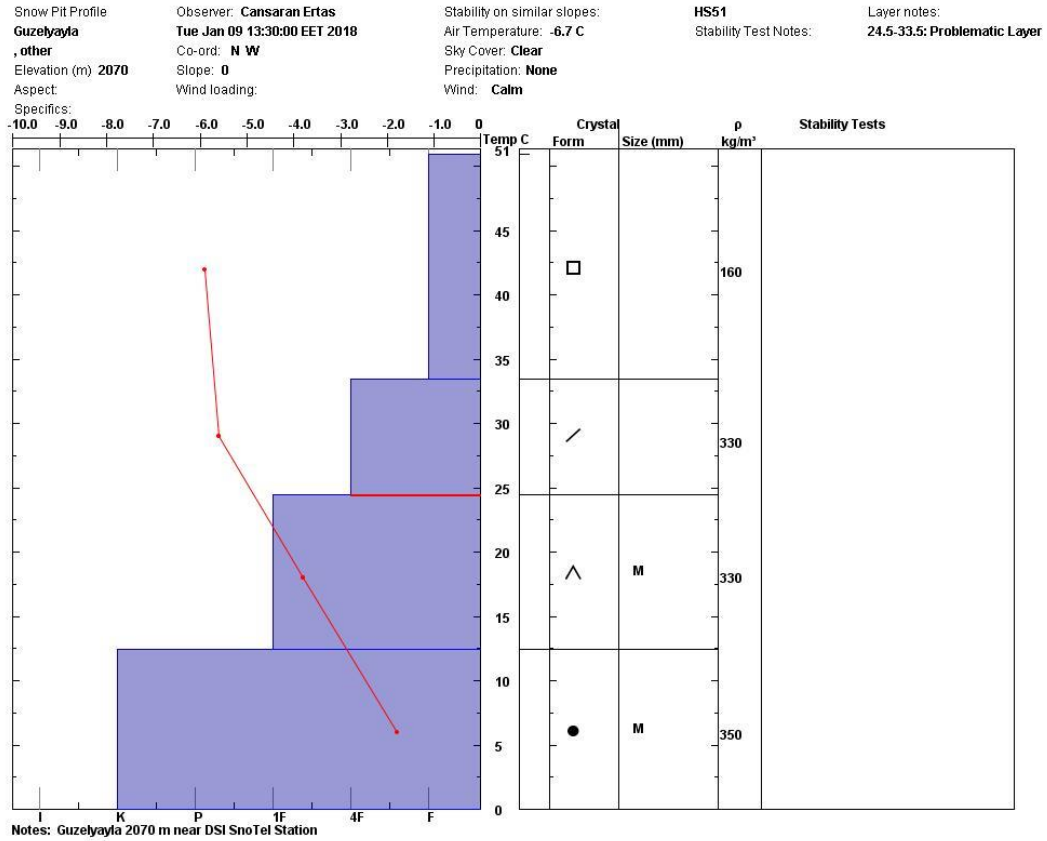
Toplam 3 katmandan oluşan kar örtüsünün derinliği 42 cm olarak belirlenmiştir. Bu katmanların yoğunlukları ise 240-390 kg/m³ arasında değişmekte olup, ortalama yoğunluğu ise 300 kg/m³ olarak hesaplanmıştır (Şekil 9).



Şekil 9. 09 Ocak 2018 Çat kar çukur analizi

- **09 Ocak 2018 Güzelyayla (2070 m)**

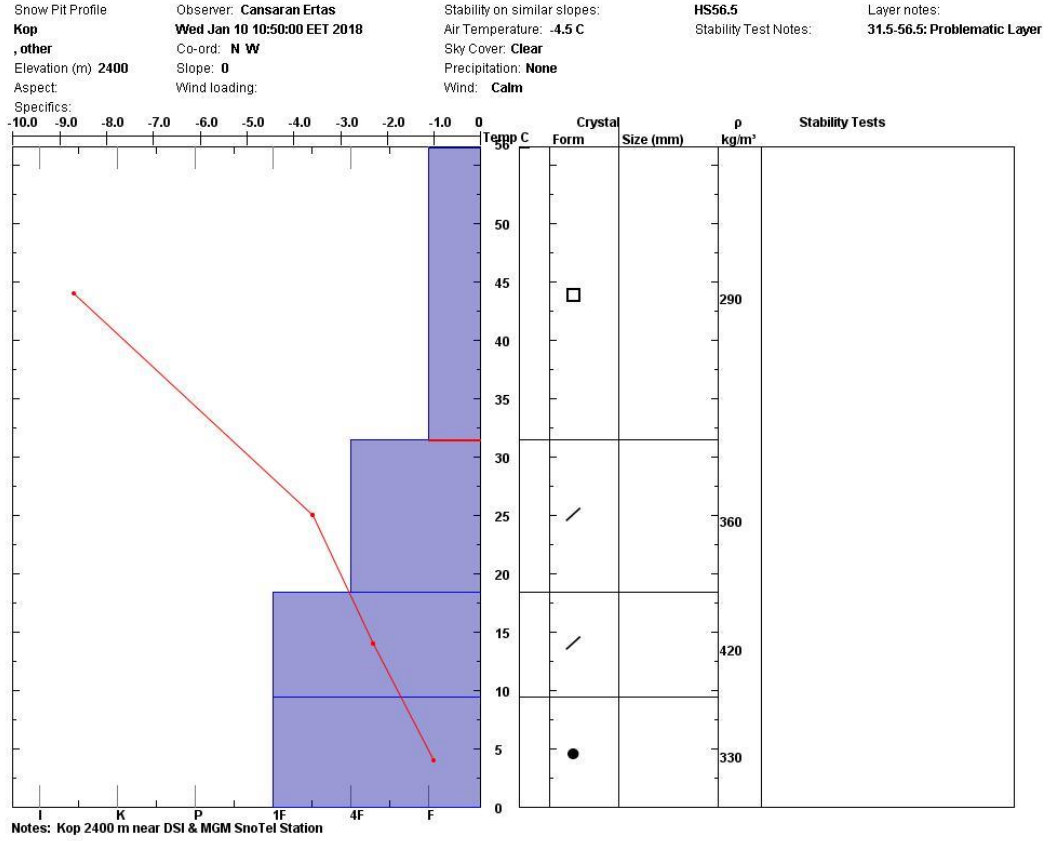
Toplam 4 katmandan oluşan kar örtüsünün derinliği 51 cm olarak belirlenmiştir. Bu katmanların yoğunlukları ise 160-350 kg/m³ arasında değişmekte olup, ortalama yoğunluğu ise 295 kg/m³ olarak hesaplanmıştır (Şekil 10).



Şekil 10. 09 Ocak 2018 Güzelyayla kar çukur analizi

- **10 Ocak 2018 Kop (2400 m)**

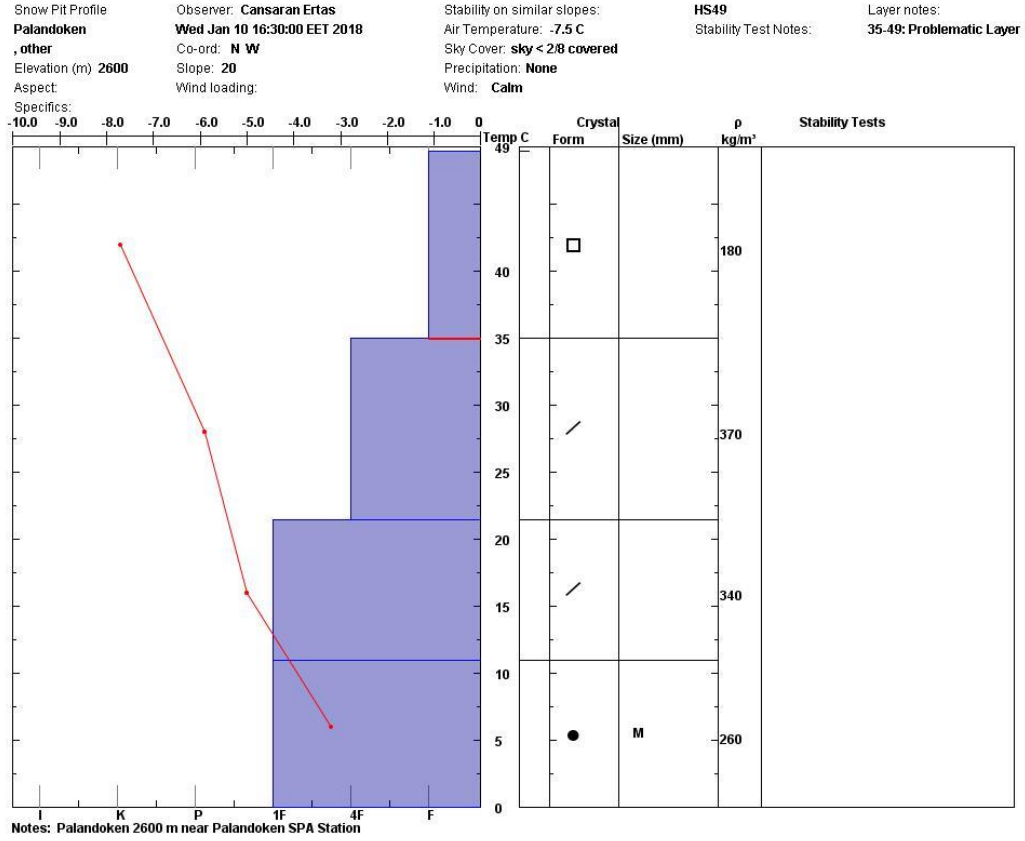
Toplam 4 katmandan oluşan kar örtüsünün derinliği 56 cm olarak belirlenmiştir. Bu katmanların yoğunlukları ise 290-420 kg/m³ arasında değişmekte olup, ortalama yoğunluğu ise 350 kg/m³ olarak hesaplanmıştır (Şekil 11).



Şekil 11. 10 Ocak 2018 Kop kar çukur analizi

- **10 Ocak 2018 Palandöken (2600 m)**

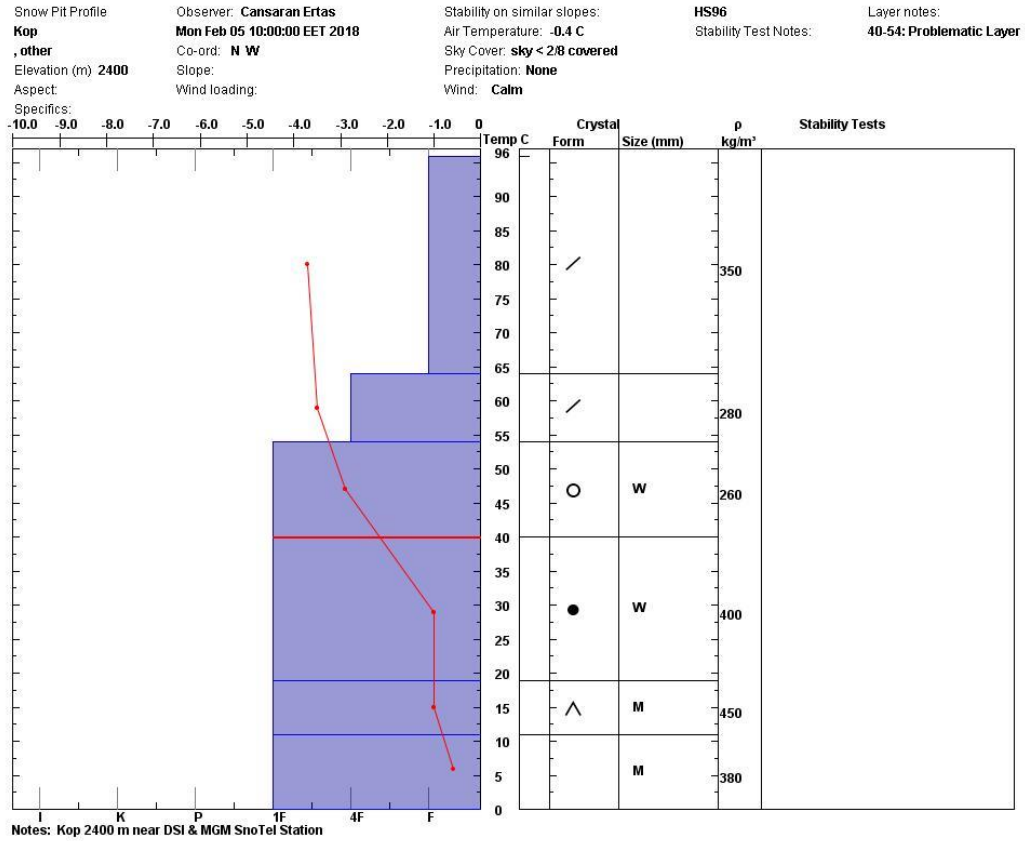
Toplam 4 katmandan oluşan kar örtüsünün derinliği 49 cm olarak belirlenmiştir. Bu katmanların yoğunlukları ise 180-370 kg/m³ arasında değişmekte olup, ortalama yoğunluğu ise 290 kg/m³ olarak hesaplanmıştır (Şekil 12).



Şekil 12. 10 Ocak 2018 Palandöken kar çukur analizi

- **05 Şubat 2018 Kop (2400 m)**

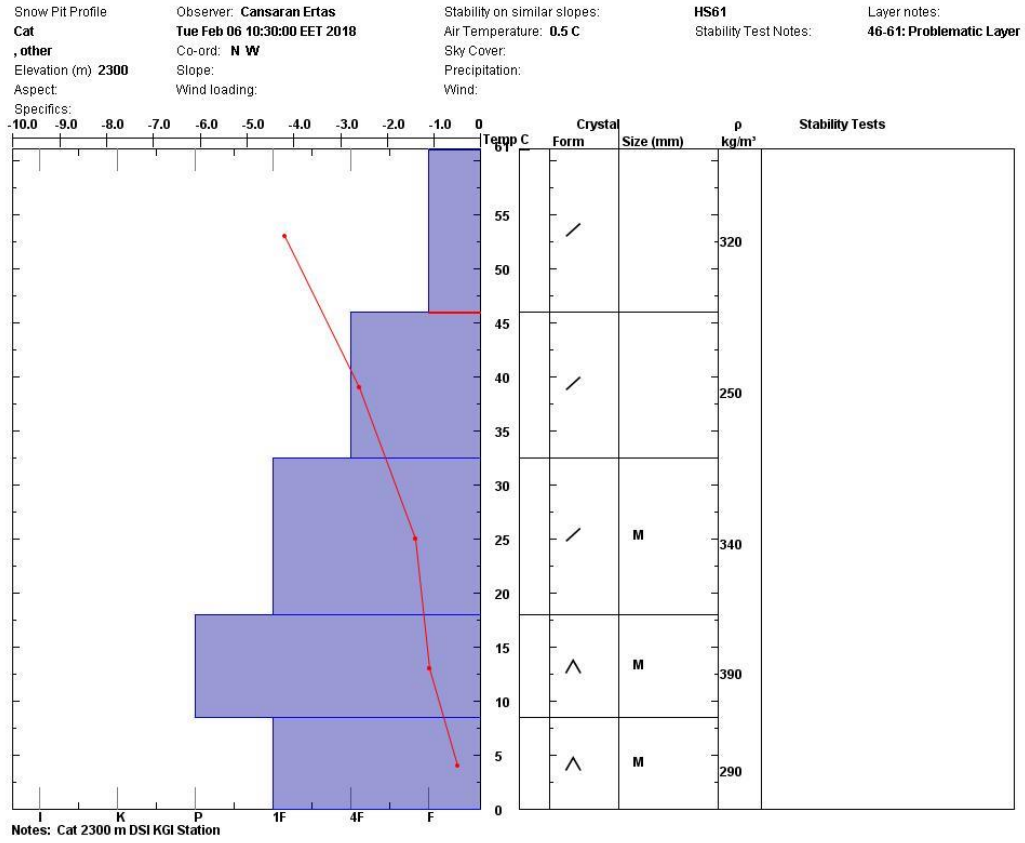
Toplam 6 katmandan oluşan kar örtüsünün derinliği 96 cm olarak belirlenmiştir. Bu katmanların yoğunlukları ise 280-450 kg/m³ arasında değişmekte olup, ortalama yoğunluğu ise 350 kg/m³ olarak hesaplanmıştır (Şekil 13).



Şekil 13. 05 Şubat 2018 Kop kar çukur analizi

- **06 Şubat 2018 Çat (2300 m)**

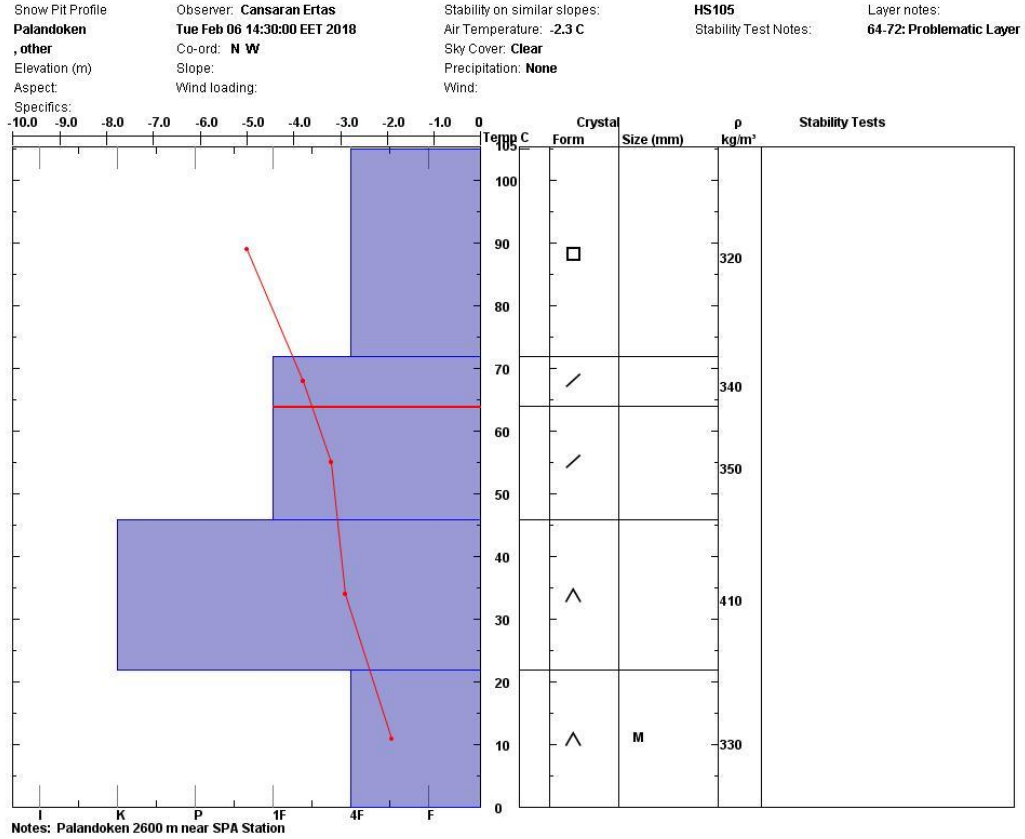
Toplam 5 katmandan oluşan kar örtüsünün derinliği 61 cm olarak belirlenmiştir. Bu katmanların yoğunlukları ise 250-390 kg/m³ arasında değişmekte olup, ortalama yoğunluğu ise 320 kg/m³ olarak hesaplanmıştır (Şekil 14).



Şekil 14. 06 Şubat 2018 Çat kar çukur analizi

- **06 Şubat 2018 Palandöken (2600 m)**

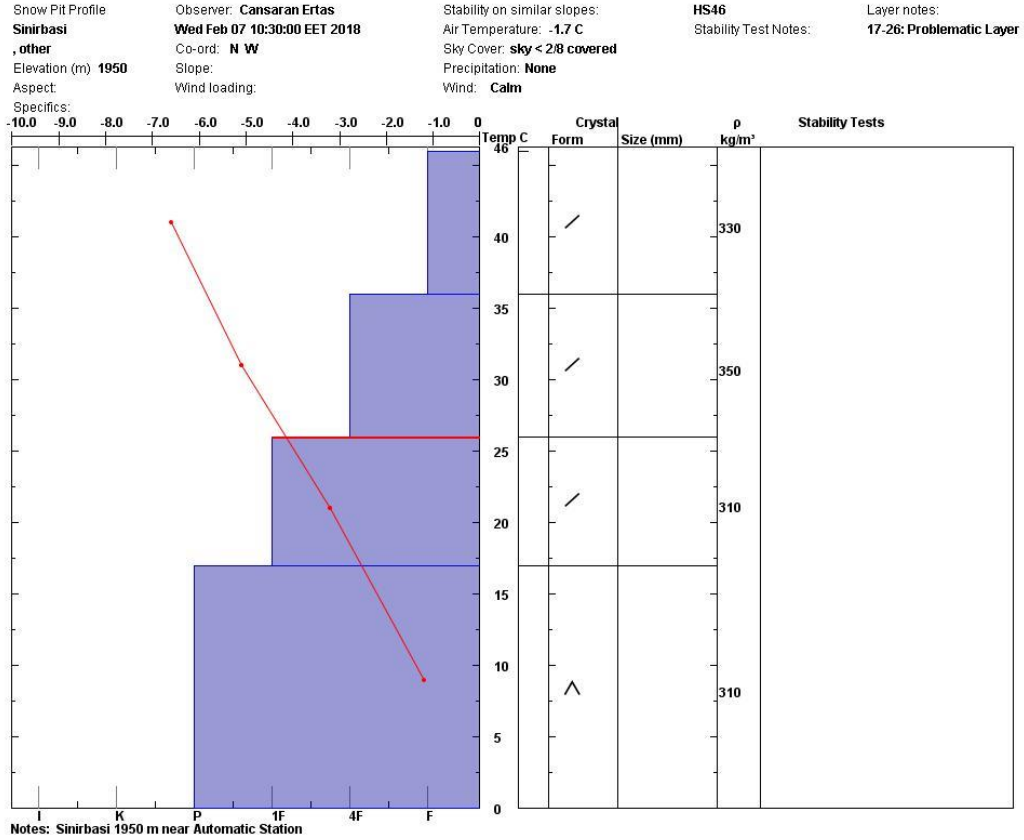
Toplam 5 katmandan oluşan kar örtüsünün derinliği 105 cm olarak belirlenmiştir. Bu katmanların yoğunlukları ise 320-410 kg/m³ arasında değişmekte olup, ortalama yoğunluğu ise 350 kg/m³ olarak hesaplanmıştır (Şekil 15).



Şekil 15. 06 Şubat 2018 Palandöken kar çukur analizi

- **07 Şubat 2018 Sinirbaşı (2040 m)**

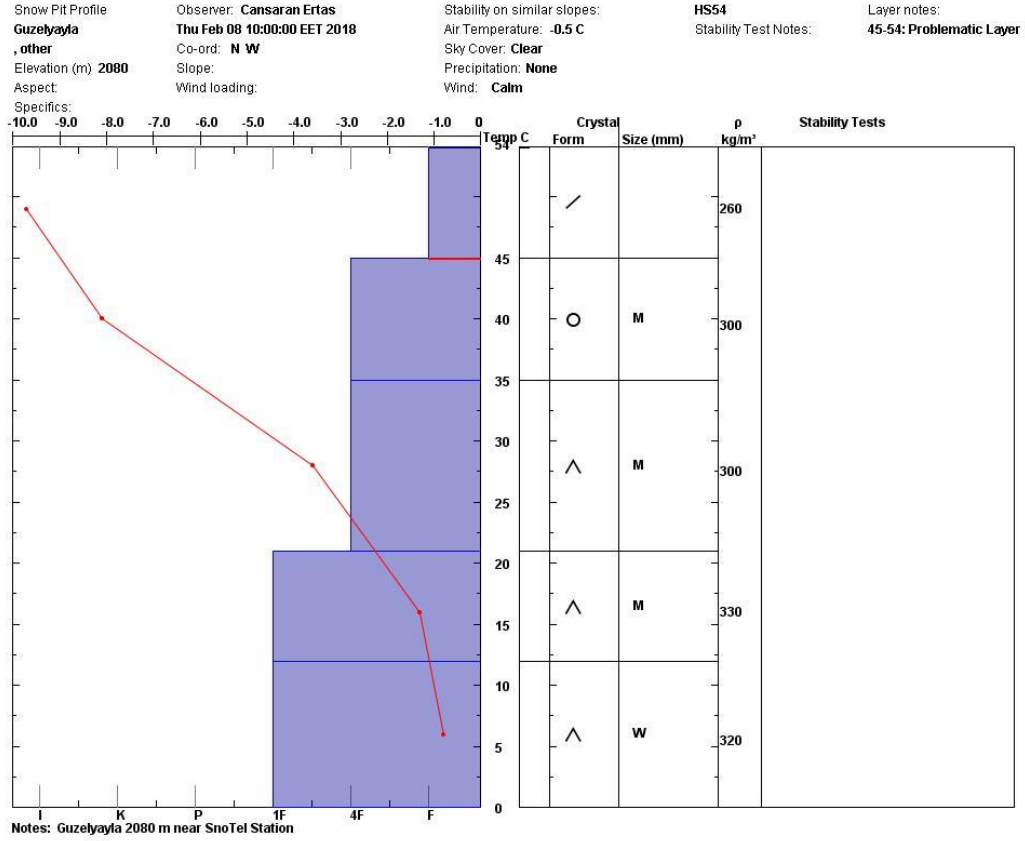
Toplam 4 katmandan oluşan kar örtüsünün derinliği 46 cm olarak belirlenmiştir. Bu katmanların yoğunlukları ise 3100-350 kg/m³ arasında değişmekte olup, ortalama yoğunluğu ise 330 kg/m³ olarak hesaplanmıştır (Şekil 16).



Şekil 16. 07 Şubat 2018 Sinirbaşı kar çukur analizi

- **08 Şubat 2018 Güzelyayla (2070 m)**

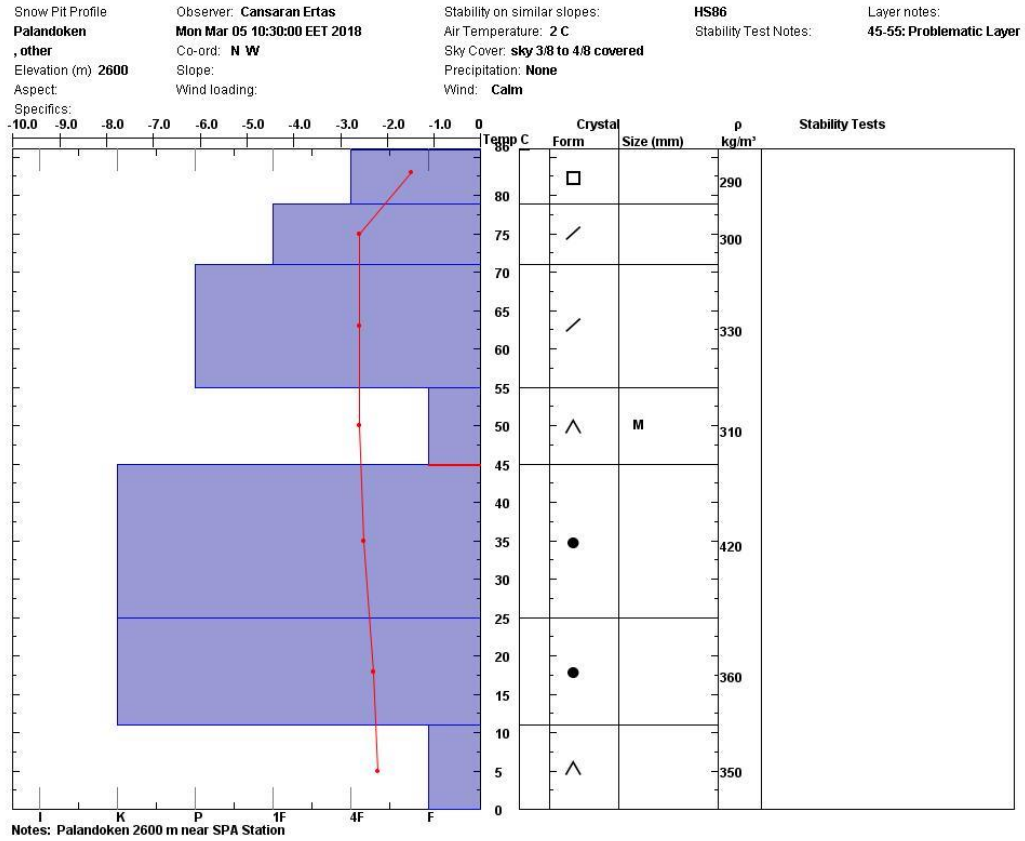
Toplam 5 katmandan oluşan kar örtüsünün derinliği 54 cm olarak belirlenmiştir. Bu katmanların yoğunlukları ise 200-330 kg/m³ arasında değişmekte olup, ortalama yoğunluğu ise 300 kg/m³ olarak hesaplanmıştır (Şekil 17).



Şekil 17. 08 Şubat 2018 Güzelyayla kar çukur analizi

- **05 Mart 2018 Palandöken (2600 m)**

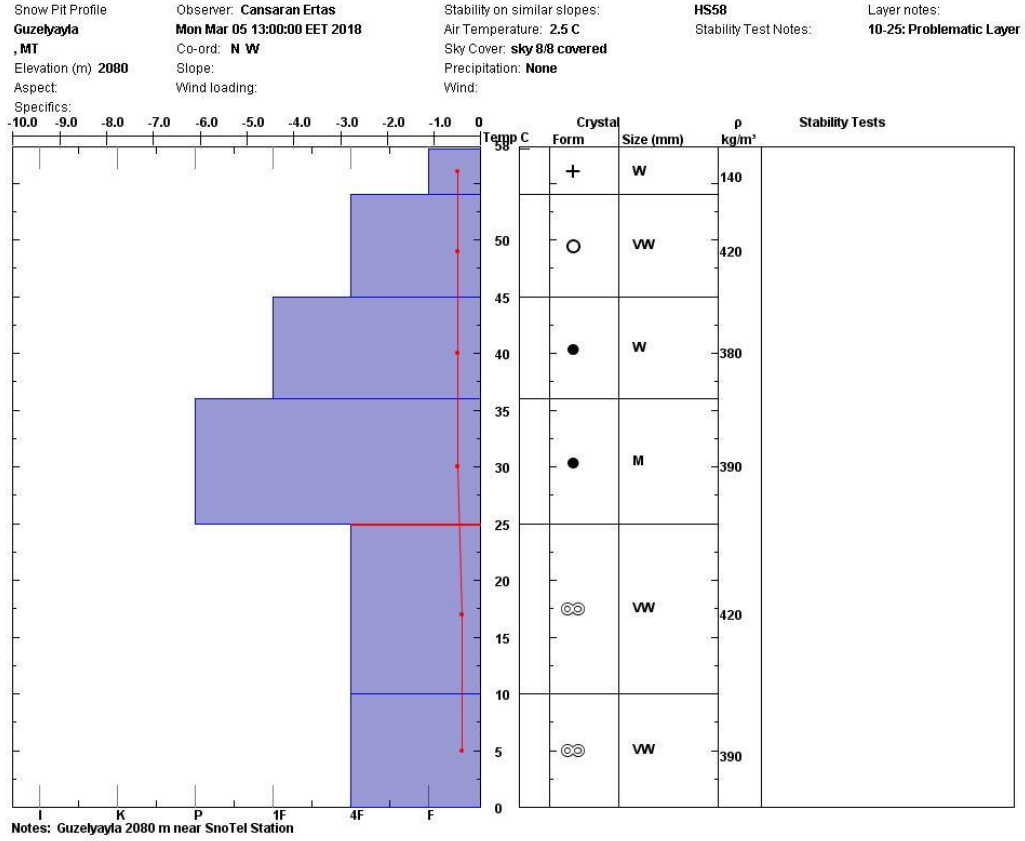
Toplam 7 katmandan oluşan kar örtüsünün derinliği 86 cm olarak belirlenmiştir. Bu katmanların yoğunlukları ise 290-420 kg/m³ arasında değişmekte olup, ortalama yoğunluğu ise 350 kg/m³ olarak hesaplanmıştır (Şekil 18).



Şekil 18. 05 Mart 2018 Palandöken kar çukur analizi

- **05 Mart 2018 Güzelyayla (2070 m)**

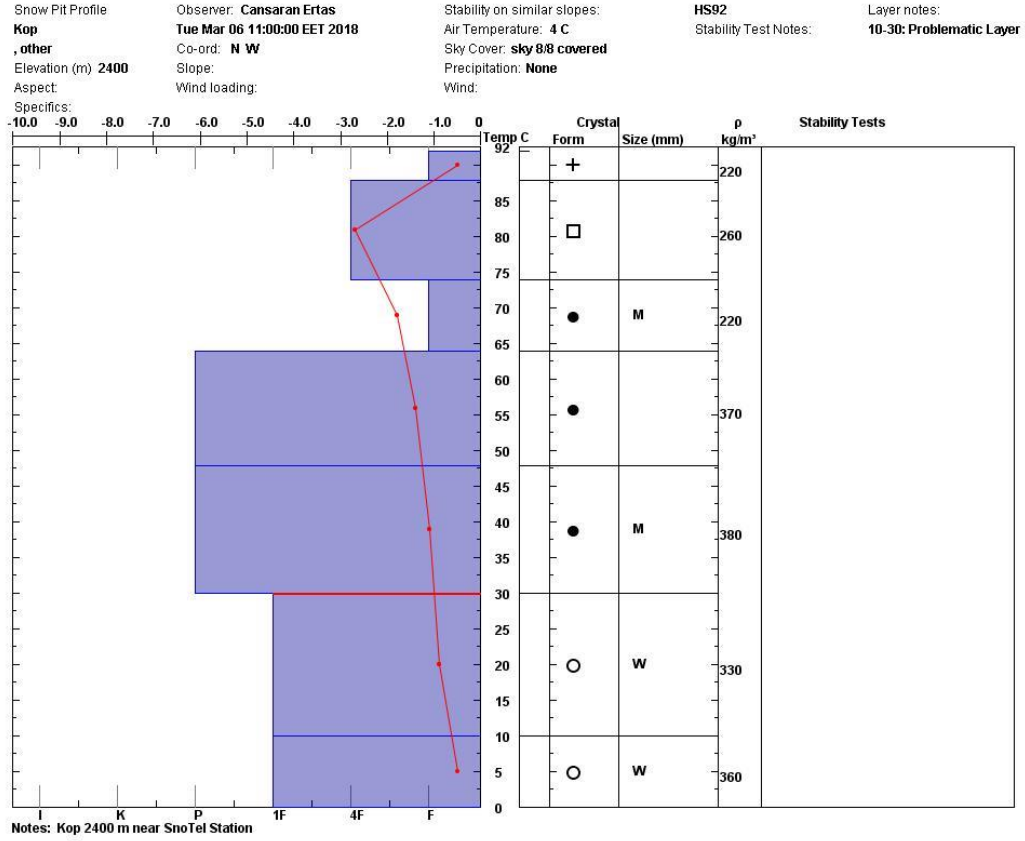
Toplam 6 katmandan oluşan kar örtüsünün derinliği 58 cm olarak belirlenmiştir. Bu katmanların yoğunlukları ise 140-420 kg/m³ arasında değişmekte olup, ortalama yoğunluğu ise 350 kg/m³ olarak hesaplanmıştır (Şekil 19).



Şekil 19. 05 Mart 2018 Güzelyayla kar çukur analizi

- **06 Mart 2018 Kop (2400 m)**

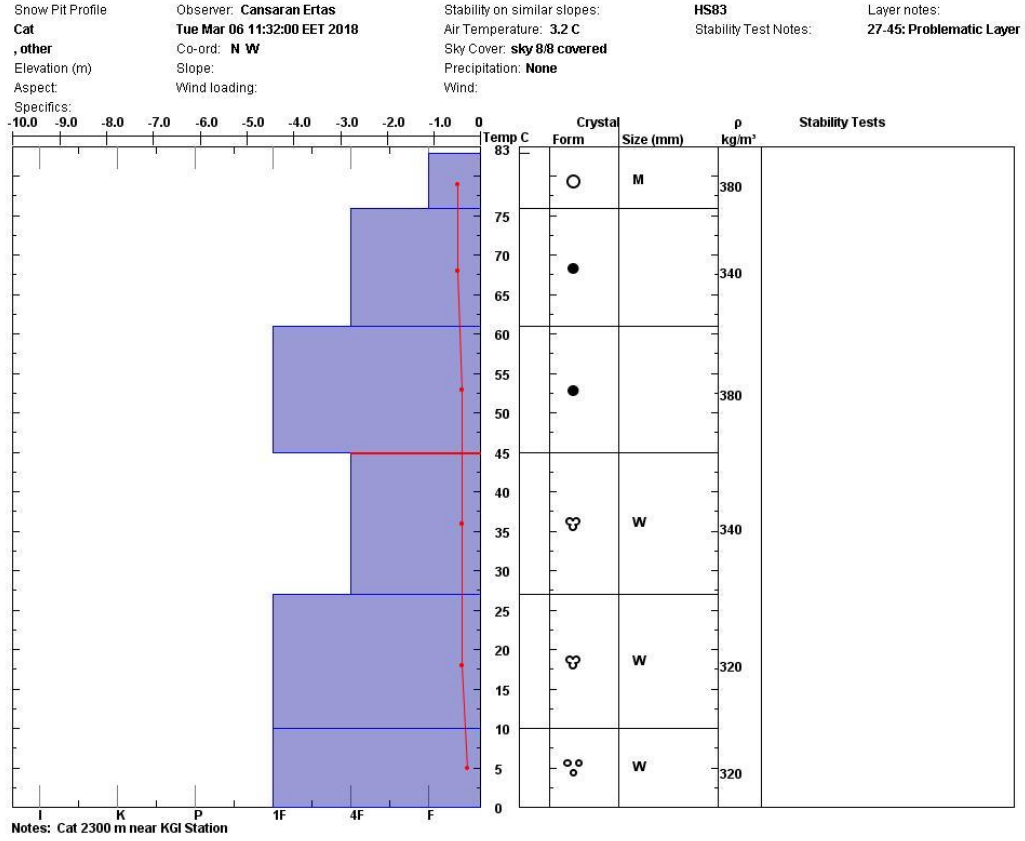
Toplam 7 katmandan oluşan kar örtüsünün derinliği 92 cm olarak belirlenmiştir. Bu katmanların yoğunlukları ise 220-380 kg/m³ arasında değişmekte olup, ortalama yoğunluğu ise 300 kg/m³ olarak hesaplanmıştır (Şekil 20).



Şekil 20. 06 Mart 2018 Kop kar çukur analizi

- **06 Mart 2018 Çat (2300 m)**

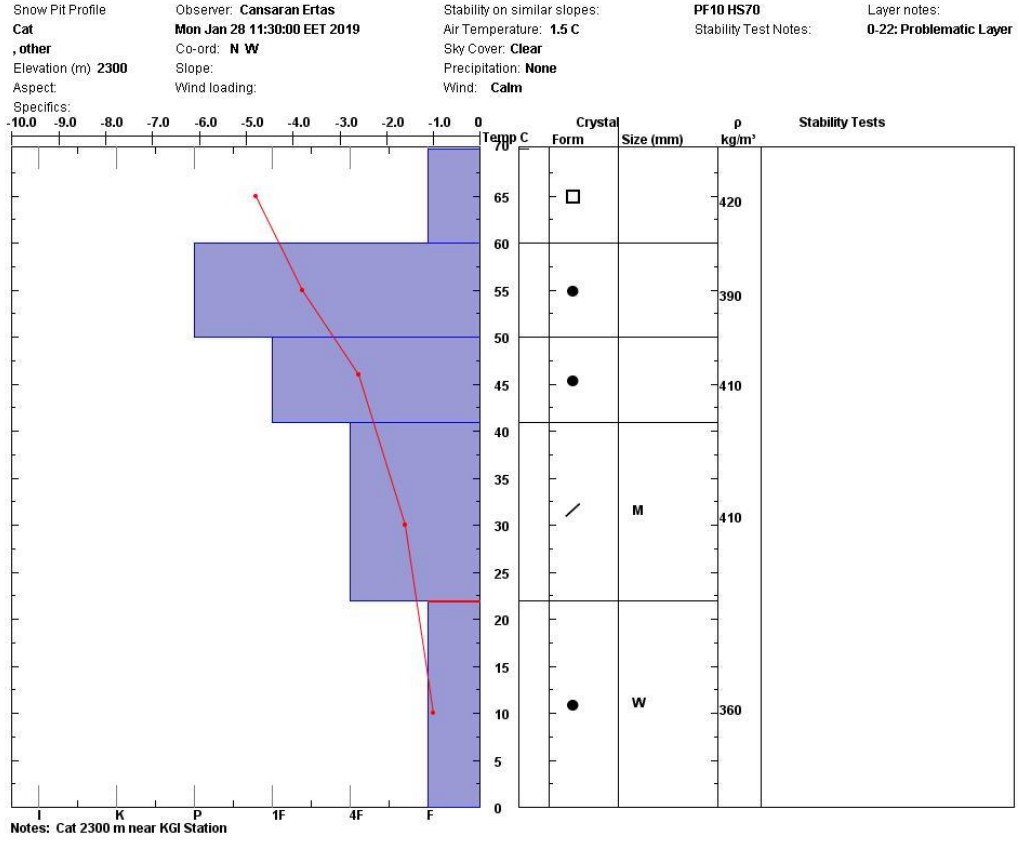
Toplam 6 katmandan oluşan kar örtüsünün derinliği 83 cm olarak belirlenmiştir. Bu katmanların yoğunlukları ise 320-380 kg/m³ arasında değişmekte olup, ortalama yoğunluğu ise 350 kg/m³ olarak hesaplanmıştır (Şekil 21).



Şekil 21. 06 Mart 2018 Çat kar çukur analizi

- **28 Ocak 2019 Çat (2300 m)**

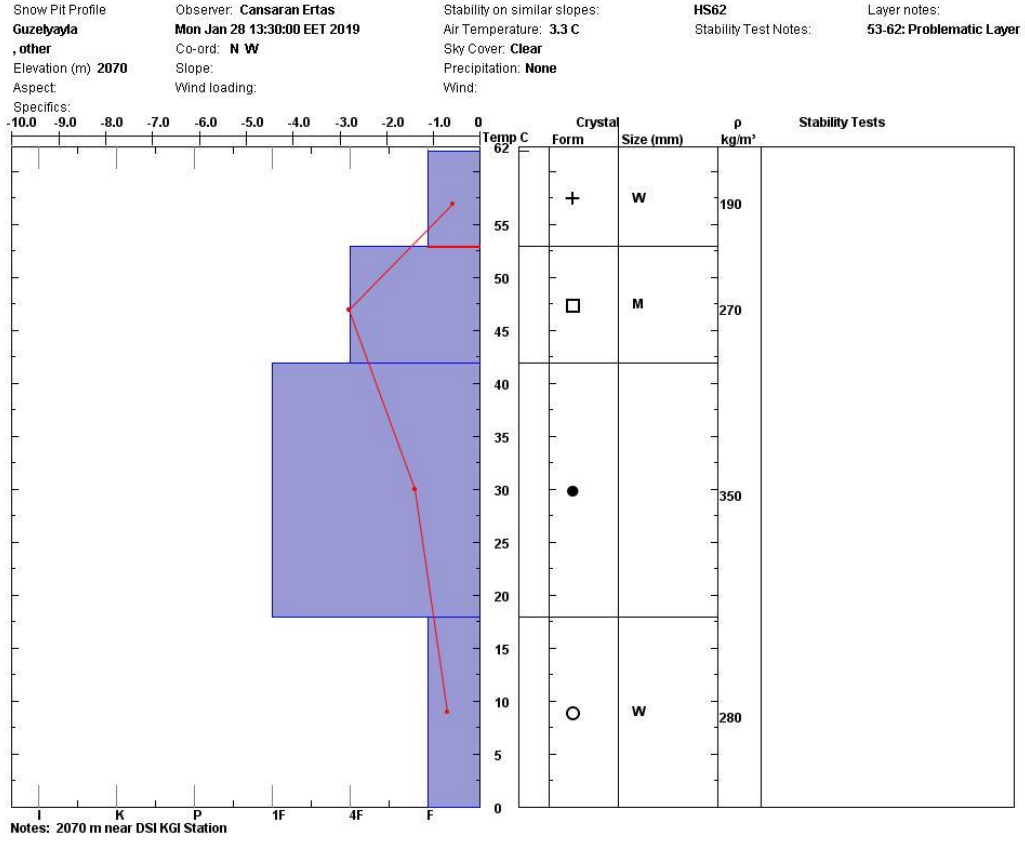
Toplam 5 katmandan oluşan kar örtüsünün derinliği 70 cm olarak belirlenmiştir. Bu katmanların yoğunlukları ise 360-420 kg/m³ arasında değişmekte olup, ortalama yoğunluğu ise 390 kg/m³ olarak hesaplanmıştır (Şekil 22).



Şekil 22. 28 Ocak 2019 Çat kar çukur analizi

- **28 Ocak 2019 Güzelyayla (2070 m)**

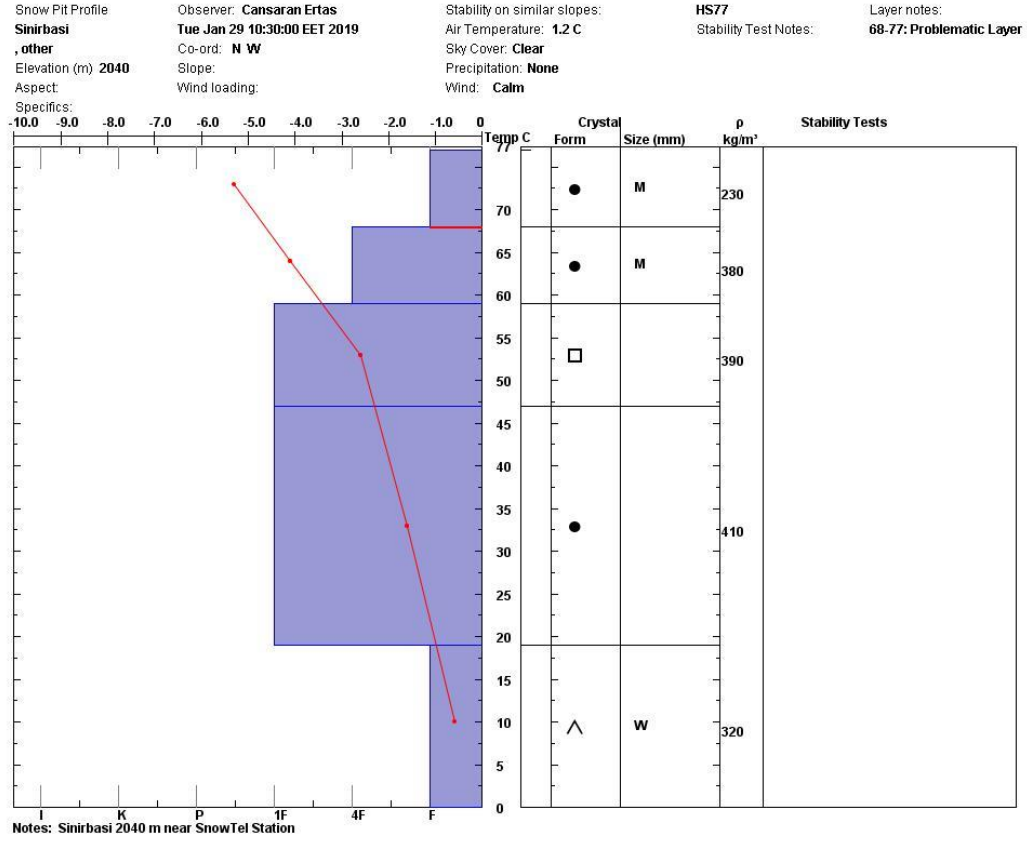
Toplam 4 katmandan oluşan kar örtüsünün derinliği 62 cm olarak belirlenmiştir. Bu katmanların yoğunlukları ise 190-350 kg/m³ arasında değişmekte olup, ortalama yoğunluğu ise 295 kg/m³ olarak hesaplanmıştır (Şekil 23).



Şekil 23. 28 Ocak 2019 Güzelyayla kar çukur analizi

- **29 Ocak 2019 Sinirbaşı (2040 m)**

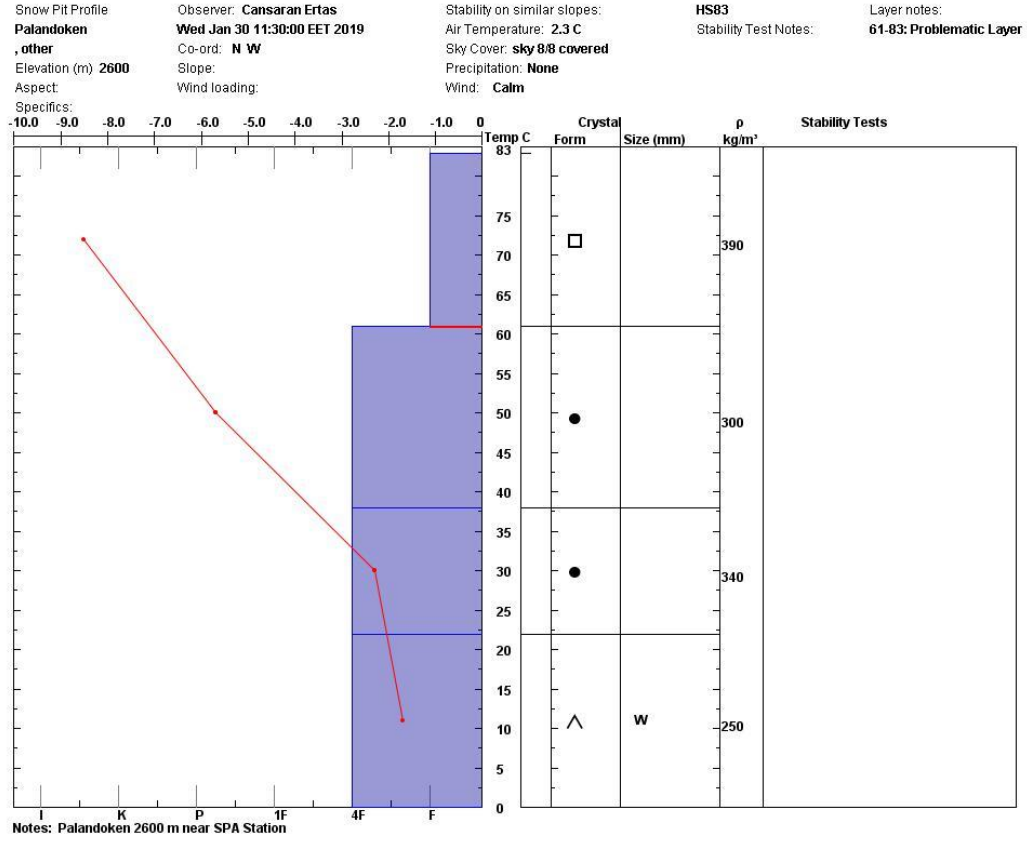
Toplam 5 katmandan oluşan kar örtüsünün derinliği 77 cm olarak belirlenmiştir. Bu katmanların yoğunlukları ise 230-410 kg/m³ arasında değişmekte olup, ortalama yoğunluğu ise 360 kg/m³ olarak hesaplanmıştır (Şekil 24).



Şekil 24. 29 Ocak 2019 Sinirbaşı kar çukur analizi

- **30 Ocak 2019 Palandöken (2600 m)**

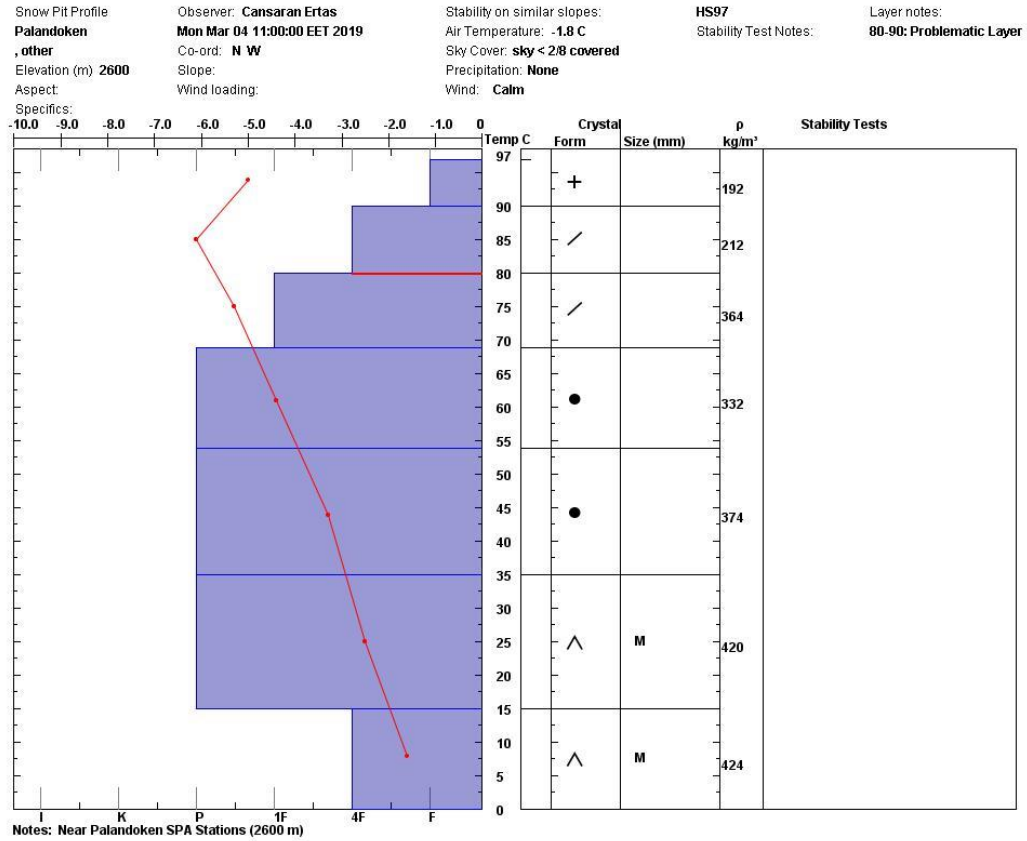
Toplam 4 katmandan oluşan kar örtüsünün derinliği 83 cm olarak belirlenmiştir. Bu katmanların yoğunlukları ise 250-390 kg/m³ arasında değişmekte olup, ortalama yoğunluğu ise 320 kg/m³ olarak hesaplanmıştır (Şekil 25).



Şekil 25. 30 Ocak 2019 Palandöken kar çukur analizi

- **04 Mart 2019 Palandöken (2600 m)**

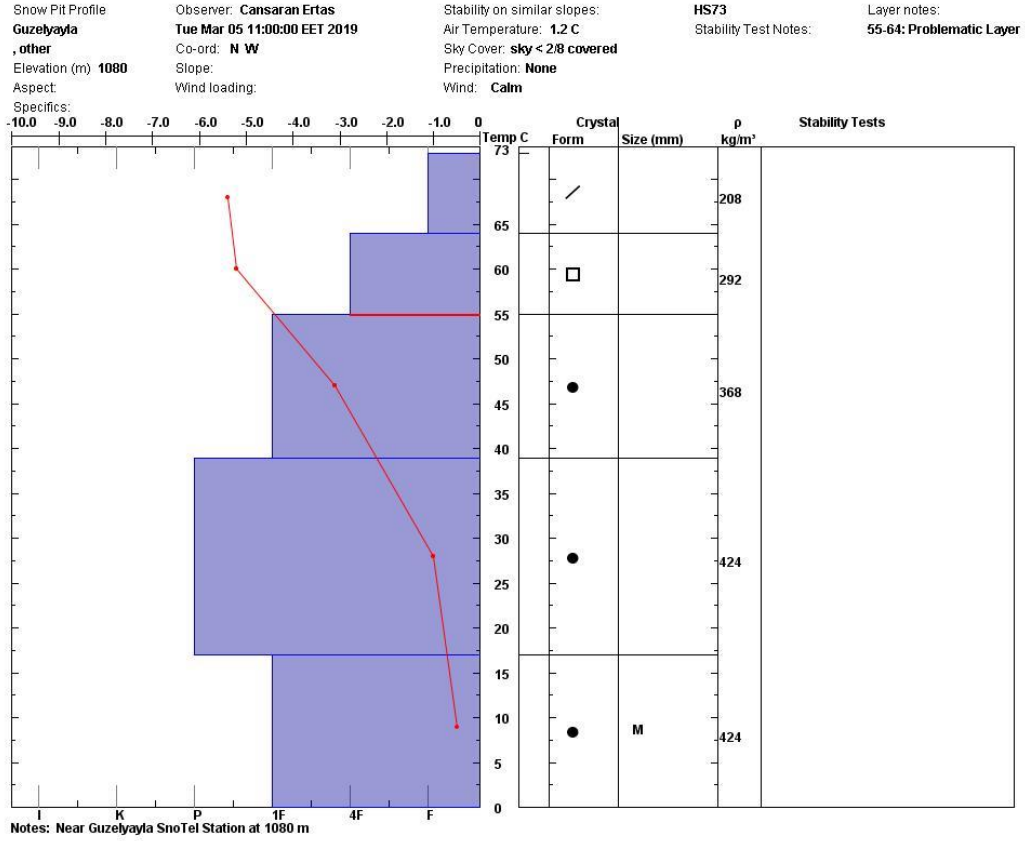
Toplam 7 katmandan oluşan kar örtüsünün derinliği 97 cm olarak belirlenmiştir. Bu katmanların yoğunlukları ise 190-420 kg/m³ arasında değişmekte olup, ortalama yoğunluğu ise 355 kg/m³ olarak hesaplanmıştır (Şekil 26).



Şekil 26. 04 Mart 2018 Palandöken kar çukur analizi

- **05 Mart 2019 Güzelyayla (2300 m)**

Toplam 5 katmandan oluşan kar örtüsünün derinliği 73 cm olarak belirlenmiştir. Bu katmanların yoğunlukları ise 200-420 kg/m³ arasında değişmekte olup, ortalama yoğunluğu ise 370 kg/m³ olarak hesaplanmıştır (Şekil 27).



Şekil 27. 05 Mart 2019 Güzelyayla kar çukur analizi

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Mustafa Cansaran ERTAŞ
Yabancı Dil : İngilizce
Doğum Yeri ve Yılı : Erzurum/02.01.1985
E-Posta : mcertas@eskisehir.edu.tr
cansaranertas@gmail.com

Eğitim ve Mesleki Geçmişi:

2014-2020 **Doktora-Eskişehir Teknik Üniversitesi/ İnşaat Mühendisliği Bölümü**
2011-2014 **Yüksek Lisans-Anadolu Üniversitesi/ İnşaat Mühendisliği Bölümü**
2004-2009 **Lisans-Atatürk Üniversitesi/ İnşaat Mühendisliği Bölümü**
2000-2003 **Lise-Erzurum Anadolu Lisesi**

Görevler:

Araştırma Görevlisi Eskişehir Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü
2011- 2020

Projeler:

1. “A European network for a harmonised monitoring of snow for the benefit of climate change scenarios, hydrology and numerical weather prediction”, Avrupa Birliği altında COST aksiyonu tarafından desteklenen bilimsel proje, Araştırmacı, 11/2014-11/2018
2. “Dağlık Fırat ve Seyhan Havzalarında EPS ve Uydu Verileri ile Operasyonel Hidrolojik Tahmin Sisteminin Geliştirilmesi”, TÜBİTAK PROJESİ, Bursiyer, 15/09/2013-15/01/2016
3. “Düşük Dış Ortam Sıcaklığına Maruz Kalma Süresinin Sismik İzolatör Özellikleri ve Yapısal Tepkiler Üzerindeki Etkisi”, TÜBİTAK PROJESİ, Bursiyer, 01/02/2020 (Devam Ediyor)

Ulusal Hakemli Dergilerde Yayımlanan Makaleler:

1. Şorman Ali Arda, Ertaş Mustafa Cansaran (2019), “Otomatik Yeni Yöntemlerle Gözlenen Kar Bileşenlerinin Manuel Ölçümler ve Uydu Görüntüleriyle Değerlendirilmesi” DSİ Teknik Bülteni, Sayı: 132, 1-11.

Uluslararası Hakemli Dergilerde Yayımlanan Makaleler:

1. Ertaş Mustafa Cansaran, Akkol Bulut, Cihan Çoşkun, Uysal Gökçen, Şorman Ali Arda, Şensoy Şorman Aynur (2016), “Evaluation of Probabilistic Streamflow Forecasts Based on EPS for a Mountainous Basin in Turkey”, *Procedia Engineering*, 154, 490-497, Doi: 10.1016/j.proeng.2016.07.543
2. López-Moreno Ignacio, Leena Leppnen, Luks Bartomiej, Ladislav Holko, Ghislain Picard, Alba Sanmiguel Vallelado, Esteban Alonso Gonzalez, Finger David, Arslan Ali Nadir, Katalin Gillemot, Şensoy Aynur, Şorman Ali Arda, Ertaş Mustafa Cansaran, Fassnacht Steven, Fierz Charles and Marty Christoph (2020). “Intercomparison of measurements of bulk snow density and water equivalent of snow cover with snow core samplers: instrumental bias and variability induced by observers”, *Hydrological Processes*, Doi:10.1002/hyp.13785
3. Ertaş Mustafa Cansaran and Şorman Ali Arda (2020), “Determination of Snow Water Equivalent Using Discrete and Continuous Height of Snow Observations”, *Journal of Hydrology: Regional Studies* (Değerlendirme sürecinde)