

Otomatik ve Manuel Kar-Su Eşdeğeri Ölçümlerinin Karşılaştırılması; Ilgaz Dağı Örneği

Önder KOÇYİĞİT¹, Erhan DEMİR²

Özet

Yeryüzünün özellikle sub-tropikal kuşakta yer alan diğer pek çok ülkesinde olduğu gibi Ülkemizde de başta gelen ve sosyo-ekonomik sonuçları bakımından önemli etkileri bulunan iklim özelliği kuraklıktır. Ülkemizdeki yıllık yağış miktarları bölgeden bölgeye oldukça farklılık göstermektedir. Buna ilave olarak artan iklim değişikliği etkisi ile gittikçe fazlaşan düzensiz yağışlar da göz önüne alındığında su kaynaklarımızdan çevreci ve sürdürülebilir olarak faydalanmak, su kaynaklı olası afetlerden korunmak için yüzey suyu potansiyelimizin mekânsal ve zamansal durumunu mümkün olabildiğince doğru olarak tahmin edebilmek büyük önem arz eder. Bu açıdan bakıldığında kar kütesindeki suyun miktarı su kaynaklarımızın yönetiminde önemli bir bileşen olarak ortaya çıkmaktadır. Kar kütesinin içerdiği su miktarı, kısaca karın eridiğinde meydana getireceği su miktarı olarak tarif edilebilen, mm veya cm olarak ifade edilen kar-su eşdeğeri (SWE) ölçümleri ile belirlenmektedir. Kar-su eşdeğeri ölçümleri yaygın olarak kar numune tüpleri veya kar yastıkları kullanılarak yapılmakta olup ölçümler arazi ve hava şartlarına bağlı olarak belirli aralıklarla gerçekleştirilebilmektedir. Bununla birlikte, geliştirilen yeni ölçüm teknikleri kar-su eşdeğeri ölçümlerinin otomatik ve güvenilir sonuçlar verdiğini belirtmektedir. Bu çalışmada, A.B.D. menşeli bir firma tarafından geliştirilen CS725 kar-su eşdeğeri ölçüm sensörü arazide test edilmiş, sensör vasıtası ile elde edilen kar-su eşdeğer verileri, kar numune tüpü yöntemiyle elde edilen ölçüm değerleri ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, sensör tarafından yapılan ölçümlerin bir kısmının cihaza ait katalogta belirtilen doğruluk aralığında kaldığı, bazılarının ise katalogta belirtilen doğruluk aralığının dışına çıktığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Kar-Su Eşdeğeri, Kar Numune Tüpü, CS725, Kar-Su Eşdeğeri Sensörü

Comparison of Automatic and Manual Snow-Water Equivalent Measurements; Mount Ilgaz Case Study

Abstract

As in many other countries, especially situated in sub-tropical region of the world, drought is the most substantial and leading climate feature in which has vital effects in terms of socio-economic consequences. Annual precipitations dramatically differ among the regions in Turkey. In addition, taking into account the more and more irregular rainfall regimes occurring due to growing climate change effect, the estimation of the spatial and temporal variability of surface water potential as accurately as possible over the basin is of

^{1*} Sorumlu yazar, Dr. Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara

İlgili yazar e-posta / Corresponding author e-mail: konder@gazi.edu.tr ORCID No: 0000-0002-1350-4238

²Dr. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Etüt, Planlama ve Tahsisler Dairesi Başkanlığı, Ankara
e-posta / e-mail: erhandemir@dsi.gov.tr ORCID No: 0000-0003-2512-8521

Bu makaleye atıf yapmak için- *To cite this article*

Koçyigit, Ö. ve Demir, E. (2021). Otomatik ve Manuel Kar-Su Eşdeğeri Ölçümlerinin Karşılaştırılması; Ilgaz Dağı Örneği. *Afet ve Risk Dergisi*, 4(2), 237-248.

great importance for the management of water resources environmentally and sustainably, and also for flood forecasting. In this context, the amount of water existing in snowpack emerges as an important component for the management of water resources. As the amount of water contained in the snow cover, snow-water equivalent (SWE), is expressed in mm or cm can be briefly described as the standard for summarizing local site and basin snowpack conditions. Snow sample tubes or snow pillows are widely used as measurement techniques of SWE. However, more practical and accurate measurement technique has always been the subject of research. Therefore, in this study, recently proposed snow-water equivalent measurement sensor (CS725) developed by a private company in the USA was experienced on the test field. The SWE data obtained through the sensor were compared with the data measured by the snow sample tube. As a result, it was observed that some of the measurements recorded by the sensor remained within the accuracy range specified in the catalog of the device, and some of them were out of the accuracy range specified in the same catalog.

Keywords: Snow-Water Equivalence, Snow Sample Tubes, CS725, Snow-Water Equivalence Sensor

1.GİRİŞ

Yarı kurak – kurak iklim özelliği bulunan ülkemizde uzun yıllar yağış ortalamalarına göre yıllık yağış miktarları bölgeden bölgeye farklılık göstermekle birlikte 250 mm ile 2500 mm aralığında değişmektedir (Gençer vd., 2005). Türkiye 2019 yılı alansal ortalama yıllık yağışı 585,1 mm olarak gerçekleştirmiştir (MGM, 2020). Ülkemiz, bilindiğinin aksine su kaynakları açısından maalesef zengin bir ülke değildir. Mevcut durumda, kişi başına düşen su miktarının yıllık 1.519 m³ olduğu göz önüne alındığında esasen “su sıkıntısı çeken” bir ülke olduğumuz gerçeği ortaya çıkmaktadır.

Türkiye İstatistik Kurumu tarafından yapılan nüfus tahminine göre ülkemizin 2040 yılında nüfusunun 100Milyonu aşacağı öngörülmektedir (URL 2). Bu durumda kaynaklarımızda herhangi bir kayıp olmadığı düşünülse dahi ülkemizde kişi başına düşen su miktarının yıllık 1.120 m³ olması beklenmektedir. Bu açıdan bakıldığında ülkemizin artan nüfusu, gelişen sanayisi ve büyüyen ekonomisi ile “su fakiri” olma yolunda ilerlemesi kuvvetle muhtemeldir. İklim değişikliğinin ülkemizin su kaynakları üzerine getireceği ilave baskı olmaksızın sadece yukarıda bahsedilen 2040 yılı projeksiyonu dahi su kaynaklarımızın daha çevreci, sürdürülebilir ve etkin kullanılmasını zorunlu kılmaktadır.

DSİ Genel Müdürlüğü, Etüt, Planlama ve Tahsisler Dairesi Başkanlığı tarafından sürdürülebilir kullanım prensipleri dikkate alınarak yürütülen çalışmalar sonucunda 18 Milyar m³'ü yeraltı suyu olmak üzere ülkemizin toplam su potansiyeli 112 Milyar m³/yıl olarak belirlenmiştir. Söz konusu potansiyeli oluşturan yağışlar genellikle kış aylarında (yüksek kotlarda kar şeklinde) ve bahar aylarında (yağmur şeklinde) gerçekleşmektedir. Ülkemizin su kaynağını oluşturan söz konusu potansiyelden sürdürülebilir olarak faydalanmak suretiyle ülkemizin refah seviyesine azami katkı sunmak, seller/taşkınlar gibi su kaynaklı olası afetlerden korunmak için kullanılabilir su potansiyelimizin mekânsal ve zamansal durumu mümkün olabildiğince en doğru şekilde önceden belirlenmelidir. Bu açıdan bakıldığında su potansiyelimiz içerisinde önemli bir yer tutan kar örtüsündeki suyun miktarı, başta barajlarımız olmak üzere ilgili diğer tesislerimizin işletme kural eğrilerine doğrudan etkisi nedeniyle su kaynaklarımızın yönetiminde önemli bir bileşen olarak ortaya çıkmaktadır.

Kar örtüsünün içerdiği su miktarı, kısaca karın eridiğinde meydana getireceği su miktarı olarak ta tarif edilebilen ve mm veya cm olarak ifade edilen kar-su eşdeğeri (Snow Water Equivalent – SWE) ölçümleri ile belirlenmektedir. Kar-su eşdeğeri ölçümleri yaygın olarak kar numune tüpleri veya

kar yastıkları kullanılarak yapılmakta olup bu yöntemlere ilave olarak yeni ölçüm yöntemleri de geliştirilmektedir.

Halen, DSİ Etüt, Planlama ve Tahsisler Dairesi Başkanlığı bünyesindeki Rasatlar Şube Müdürlüğü tarafından ülkemizde 242 farklı noktadan kar rasatları yapılmakta olup bunlardan 41 adedi on-line olarak donatılmış kar gözlem istasyonudur. Kar rasatları konusunda önerilen yeni geliştirilmiş yöntem ve teknikler, diğer rasat çalışmalarında olduğu gibi kar rasatları için de, DSİ Genel Müdürlüğü ilgili birimlerince güncel olarak takip edilmektedir. Burada amaç, ülkemiz sathındaki ölçüm ağı içerisindeki güvenilir ölçümlerin yapıldığı istasyon sayısını artırmak ve bu istasyonları mümkün olduğunca otomatik kayıt yapabilecek biçimde teçhiz etmektir. Ancak, önerilen yeni yöntemlerin kabulü ve uygulanması öncesinde ülkemiz şartlarında performanslarının ve güvenilirliğinin sınanması gerekmektedir. Bu değerlendirmede, DSİ Genel Müdürlüğü tarafından yayınlanan rasat verilerinin güvenilirliğinin devamı, bu verilere göre şekillenecek yeni yatırımlar ile işletmedeki tesislerin menfi yönde etkilenmemesi ve bu türden yeni cihazların teçhizi için harcanacak milli bütçenin etkin olarak kullanılması gibi faktörler büyük önem arz etmektedir. Bu maksatla, bu çalışmada kar-su eşdeğeri ölçümü için Amerikan menşeli bir firma (Campbell Scientific) tarafından geliştirilen CS725 kod numaralı bir adet kar-su eşdeğeri ölçüm sensörü sahada test edilmiştir. Sensör vasıtasıyla elde edilen kar-su eşdeğeri ölçümleri aynı sahadan kar numune tüpü kullanılarak elde edilen ölçüm değerleri ile karşılaştırılmıştır.

CS725 sensörünün kar-su eşdeğeri ölçümündeki ana prensibi, zeminde doğal olarak oluşan elektromanyetik enerjinin zeminin üzerindeki kar örtüsü içerisinde geçtikten sonraki değişiminin değerlendirilmesi olarak tarif edilebilir. CS725 kar-su eşdeğeri ölçüm sensörü ile ilgili üretici firma tarafından belirtilen genel özellikler Tablo 1'de özetlenmiştir.

2. ÇALIŞMA SAHASI ve YÖNTEM

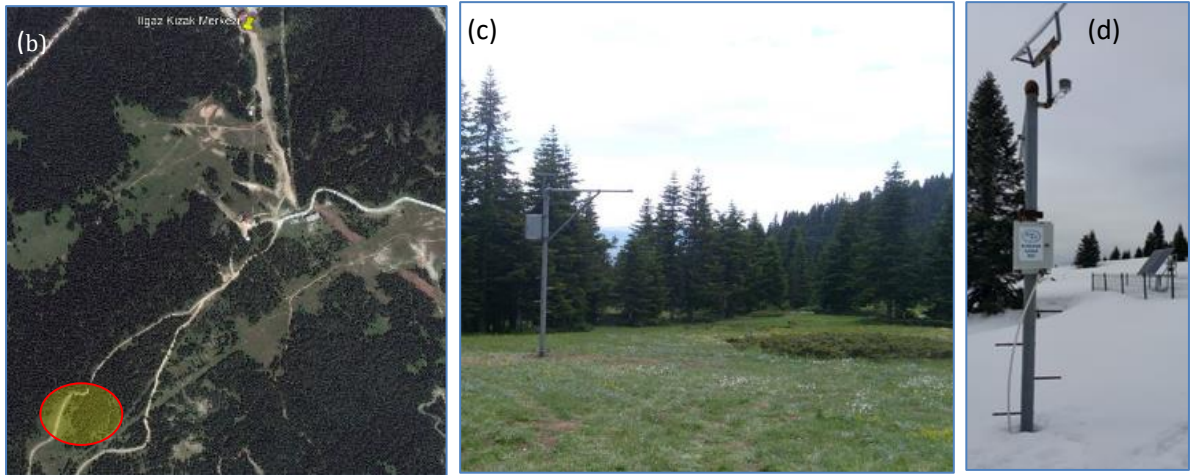
CS725 kar-su eşdeğeri sensörü testine yönelik yapılacak çalışmalar için mevcut durumda Ilgaz Dağı Milli Parkı sınırları içerisinde DSİ'ye ait 15-K06 numaralı Kar Gözlem İstasyon arazisi pilot çalışma sahası olarak seçilmiştir. Söz konusu bölgenin çalışma sahası olarak seçilmesinde, DSİ Kar gözlem İstasyonunun mevcudiyetinin yanı sıra bölgeye ağır kış şartlarında dâhi yılın her zamanı ulaşım imkânının bulunması, Ankara'ya oldukça yakın olması, gerektiğinde konaklama ile ikmal amaçlı da kullanılabilecek bir tesisin varlığı etken bir rol oynamıştır.

DSİ 15-K06 numaralı Kar Gözlem İstasyonunun ülkemizdeki konumu (Şekil 1 (a)), çalışma sahasını gösterir hava fotoğrafı (Şekil 1 (b)), bahar ve kış dönemlerine ait resimleri (sırasıyla Şekil 1 (c) ve (d)) Şekil 1'de verilmiştir.

Çalışma sahası olarak seçilen alanın yer aldığı Ilgaz Dağı Milli Parkı içindeki yaklaşık 45 km² alana sahip havzanın deniz seviyesinden yüksekliği ortalama 1800 metre olup ortalama sıcaklığı 5.7 °C'dir. Toprak genellikle şistler ve volkanik kayalardan oluşmuştur. Anadolu'nun en uzun ve en dinamik kırılma çizgisi olan Kuzey Anadolu fay hattı Ilgaz Dağı'nın güney eteklerinden geçmektedir. Milli Park içinde farklı özelliklere sahip vadiler, sırtlar ve tepeler bulunmaktadır. Jeomorfolojik olarak, hafif dalgalı yayla düzlüğü veya zirve düzlüğü olarak ta ifade edilebilecek bir yapıya sahiptir. Arazi, genel olarak başta saf Köknar ve Sarıçam meşcereleri olmak üzere orman ile orman içi açıklık niteliğindeki alanlardan oluşmaktadır.

Tablo 1. CS725 kar-su eşdeğeri ölçüm sensörü genel özellikleri (URL 1)

Ölçüm Aralığı	600 mm en büyük su eşdeğeri
Doğruluk	± 15 mm 0 ile 300 mm arasında $\% \pm 15$ 300 ile 600 mm arasında
Çözünürlük	1 mm.
Kapsama Açısı	60°
İşletme Sıcaklık Aralığı	-40° ile $+40^\circ$ arasında
Güç Gereksinimi	11-15 Vdc
Güç Tüketimi	180 mA





Şekil 1. (a) Çalışma sahasının Türkiye'deki yeri, (b) havadan fotoğrafı, DSİ 15-K06 numaralı Kar Gözlem İstasyonunun (c) bahar mevsimindeki ve (d) kış mevsimindeki resimleri

Çalışma sahası içerisindeki DSİ'ye ait 15-K06 numaralı Kar Gözlem İstasyonunun içerisinde yer aldığı ana akarsu havzası, bulunduğu koordinatlar, rakımı ve işletmeye alındığı yıl gibi bazı

karakteristik bilgileri, DSİ Genel Müdürlüğü Etüt, Planlama ve Tahsisler Dairesi Başkanlığı, Rasatlar Şube Müdürlüğü envanterindeki haliyle bilgi kartı olarak Şekil 2’de verilmektedir.

Önerilen sensörün (CS725) çalışma prensibi, elektromanyetik enerjide kar örtüsünden geçtikten sonra doğal olarak oluşan değişimin tespit edilmesidir. Sensör, öncelikle zeminden doğal olarak yayılan gama ışınlarını izler ve bir ölçüm alır. Kar zemin üzerinde biriktikçe, yağış öncesi zemin yüzeyindeki radyasyon seviyelerindeki zayıflama ölçülür. Kar biriktikçe ve enerji zayıfladıkça, kar-su eşdeğeri artacaktır. CS725, kar-su eşdeğerini belirleyen dâhili bir işlemciye sahiptir ve elde edilen bilgiyi kayıt eder veya bir iletişim cihazına gönderir. Kar-su eşdeğerini ölçmek için önerilen bu yöntemde sensörün kar örtüsü ile teması yoktur (URL 1). Sensörün çalışma prensibine ait detaylar Ducharme vd. (2015)’de ayrıntıları ile ifade edilmiştir.

 DEVLET SU İŞLERİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ Etüt Planlama ve Tahsisler Daire Başkanlığı	
	
İSTASYONUN	NUMARASI : 15-K06
	ADI : Ilgaz Dağı
	HAVZASI : 15-KIZILIRMAK HAVZASI
	BAĞLI OLDUĞU BÖLGE MERKEZİ : 23.Bölge Müdürlüğü- KASTAMONU
	BAĞLI OLDUĞU İL : Çankırı İLÇESİ : Ilgaz
	AÇILIŞ TARİHİ : 15.06.2009 KAPANIŞ TARİHİ :
	KAPANIŞ NEDENİ :
	KOORDİNATI : 33° 43' 28" D - 41° 03' 41" K KOTU : 1975 m
	PAFTASI : Kastamonu - F31
	TARİFİ : Ilgaz - Kastamonu karayolu 20.km de Ilgaz dağı mevkiinde karayolları bakım istasyonundan sola TV vericisi yoluna girilir. Yaklaşık 2.5 km sonra bu yolun sol tarafında bulunan çimenlik sahadır.
ALINAN NUMUNE ADEDİ : 18	
NUMUNE ALMA ŞEKLİ : Manuel	
MANUEL GÖZLEM BAŞ. TARİHİ : 01 Ocak	MANUEL GÖZLEM BİTİŞ TARİHİ : 31 Mayıs
NUMUNE ALMA BAŞLANGIÇ İŞARETİ : DSİ İşaretli Kar Direği	
GÖZLEM ZAMANI ARALIKLARI : Aynı ilk haftası manuel ve Data logger ile sürekli	
ÖLÇÜM İÇİN KULLANILAN ALETİN CİNSİ : GSM Modemli Data Logger	
GÖZLEM YERİNDE MEVCUT ÖLÇÜM TESİSLERİ : Otomatik KG Parkı	
TESİSİN KURULUŞ TARİHİ : 15.06.2009	

Şekil 2. DSİ 15-K06 numaralı Kar Gözlem İstasyonunun döküm kart bilgisi

Kar-su eşdeğerinin CS725 sensör ölçümleri ve doğrulanması ile ilgili literatürde son yıllarda oldukça fazla sayıda çalışma mevcuttur. Örneğin; Leppänen vd. (2018), Sodankylä (Finlandiya)'da 2013-2015 yılları arasında yapılan bir arazi çalışmasında, CS725 tarafından ölçümlenen kar-su eşdeğerlerinin manuel ölçümlere göre %30 oranında ortalama üzerinde değerler verdiğini kaydetmişlerdir. Benzer çalışmalar Yao vd. (2018) ve Ampel vd. (2019) tarafından Kanada'da 2014-2016 kış mevsimlerinde hem gözlemler hem de sayısal model sonuçları ile karşılaştırmalı olarak gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalardaki sonuçlar da CS725 ölçümlerinin en iyi sonuçları ürettiğini göstermiştir.

Smith vd. (2017) farklı bölgelerden alınan ölçümler ile oldukça kapsamlı bir saha araştırması gerçekleştirmiştir. 2013/14 ve 2014/15 kış mevsimlerinde elde edilen ölçümlerden CS725 ile alınan kayıtların %95'inin kullanılabilirliği ve yapılan ölçüm süresince sensörün bakım veya onarım gerektirmediğini belirtmişlerdir. Çalışmanın tartışma bölümünde oldukça detaylı irdelemeler verilmiştir.

Son dönemde yapılan bir diğer çalışma ise Boike vd. (2020) tarafından 2019 yılında arazide kurulmuş bir istasyonda CS725 sensörü ile gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonuçları sensör sayesinde yüksek kalitede, gerçek zamanlı ve sürekli veri akışının sağlanabildiğini göstermiştir. Kirkham vd. (2019), Himalaya Dağlarının oldukça yüksek rakımlarında, 4962 metre yükseklikte, pasif gamma ışınlarını kullanarak kar-su eşdeğeri ölçümü yapan sensör kayıtlarının bir analizi gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma yüksek rakımlarda sensör kullanımının önemini ve yaygınlaştırılması gerektiğini vurgulamıştır. Çalışma sayesinde CS725'in performansı hakkında oldukça detaylı analizlere yer verilmiştir. Literatürde ayrıca Choquette (2013) ve Wright (2011)'in yaptıkları çalışmalar konunun gelişimi ile doğrudan ilgili akademik çalışmalardır.

Literatürdeki konu ile ilgili yapılmış çalışmalar incelendiğinde, kar-su eşdeğeri ölçümü için yeni önerilen yöntem veya sensörlerin güvenilirliğinin belirlenmesi için mevcut yöntemler ile kıyaslama şeklinde ilerlediği görülmektedir. Bu nedenle, DSİ Genel Müdürlüğü tarafından 2009 yılından itibaren ölçüm yapılan DSİ 15-K06 numaralı Kar Gözlem İstasyonuna, Campbell Scientific tarafından geliştirilmiş kar örtüsü derinliği ile birlikte kar-su eşdeğeri ölçümü yapabilen CS725 sensöründen bir adet 2019 yılında teçhiz edilmiştir. CS725 sensörü tarafından yapılan kar-su eşdeğeri ölçümleri 29 Kasım 2019 tarihinden itibaren kayıt altına alınmaya başlanmıştır.

Söz konusu sensör tarafından yapılan ölçümlerin karşılaştırılacağı manuel kar-su eşdeğeri ölçümleri DSİ Genel Müdürlüğü personeli olan rasetçiler tarafından 6 farklı tarihte kar numune tüpleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. DSİ Genel Müdürlüğü'nce yapılan kar gözlem çalışmalarında uluslararası standartlara uygun olan Kar Numune Alma Tüpleri (Mountain Rose) kullanılmaktadır. DSİ tarafından kullanılan numune alma tüpünün parçaları Şekil 3'te gösterilmiştir.

Kar numune alma tüplerinin her biri 76 cm uzunluğunda alüminyum alaşımlı borulardan imal edilmiş olup uç uca eklenmek suretiyle 4 ila 5 metre derinliklere kadar kar tabakalarında ölçüm için kullanılacak şekilde hazırlanmıştır. Üzerinde, kar derinliğini cm. (veya inç.) cinsinden okunacak şekilde işaretlenmiştir. Tüpler 1 inçlik ve 2 cm'lik dilimlerle taksimatlandırılmıştır. Tüplerin dış çapları 43 mm ve iç çapları ise 37,7 mm'dir. Tüplerin üzerinde bulunan açıklıklardan araziden alınan numunenin durumu hakkında fikir sahibi olunabilir. Yine tüplerin üzerindeki bu yarıklar vasıtası ile iç kısımdaki numunenin yüksekliğini okumak mümkündür.

Terazi, numune tüpü ile birlikte tüp içine alınmış olan kar örneğini tartmak üzere kullanılır. Tartı üzerindeki gösterge, kar-su eşdeğerini cm ve inç biriminde ifade edecek şekilde ölçeklendirilmiştir. Terazi numune tüplerine göre taksimatlandırılmıştır.



Şekil 3. DSİ rasatçıları tarafından manuel ölçümlerde kullanılan kar numune alma tüpü ve terazisi

Kar numune alma tüpü (Mountain Rose) ile yapılan ölçümlerde, ölçüm alanının durumuna göre en az 10 noktadan kar numunesi alınması önerilmektedir. Numune sayısı arazinin durumuna göre artırılabilir. Kar tüpleri, kar örtüsünün tahmini derinliğine göre birleştirilir. Tüplerin içerisinde yabancı bir madde olmamasına özen gösterilir. Boş olarak tüpler tartılır. Boş tüp ağırlığı kar ölçüm kartında ilgili alana yazılır. Kar tüpü, kar yüzeyine dik olarak saat yönünde yavaşça çevrilerek zemin yüzeyine kadar sokulur. Tüpün dışından kar derinliği okunur. Tüp saat yönünün tersine çevrilerek yavaşça çıkarılır. Tüp içindeki numunenin seviyesi okunur ve kaydedilir. Daha sonra tüp içindeki numune ile birlikte tartılır ve ilgili yere kaydedilir. Son tartı değerinden tüpün boş ağırlığı çıkarılarak numunenin ağırlığı belirlenir. Bu değer, kar derinliğine bölünerek karın yüzde olarak yoğunluğu hesaplanır. Bu işlem bütün noktalardan numune alınıncaya kadar devam eder. Fakat her numune alınıp tartıldıktan sonra tüp özenle temizlenir ve tartılır. Boş tüp ağırlığında bir farklılık varsa diğer numunelerde bu değer dikkate alınır. Bir sonraki işlem için tüpün içerisinde bir önceki numuneden kar kalmamasına dikkat edilir.

Kar Gözlem İstasyonunda numune alma krokisinde belirtilen noktalardan Kar Numune Alma Tüpü ile kar derinlikleri cm olarak ölçülür. Kar derinliklerinin aritmetik ortalaması ve standart sapması hesaplanarak alt ve üst limitler belirlenir. Limit dışı kalan ölçümler atılarak tekrar aritmetik ortalama hesaplanır ve "Ortalama Kar Derinliği" böylece bulunur.

Kar-su eşdeğeri özetle kar örtüsündeki toplam suyun mm veya cm olarak tanımıdır. Hacim veya ağırlık olarak kar tabakasında bulunan suyun, kar miktarına oranının yüzde olarak ifadesi kar-su eşdeğerini verir. Kar terazisinin gösterge çizelgesi kar su eşdeğerini cm ve inç olarak gösterecek şekilde ölçeklendirilmiştir. Kar terazisi numune alma borularına göre taksimatlandırılmıştır. Kar Gözlem İstasyonunda numune alma krokisinde belirtilen noktalardan kar numune tüpü ile numune örnekleri alınır ve tartılır. Kar terazisinden ölçülen ağırlıklar cm cinsindedir.

$$\text{Kar Su Eşdeğeri (cm)} = (\text{Tüp + Çekirdek Ağırlığı}) - \text{Boş Tüp Ağırlığı} \quad (1)$$

Belirtilen formül yardımıyla kar-su eşdeğerleri bulunur ve aritmetik ortalama yöntemi kullanarak "Ortalama Kar-Su Eşdeğeri" hesaplanır.

3. BULGULAR

Ilgaz Dağı test sahasında, CS725 kar-su eşdeğeri ölçüm sensörünün çalışmalar kapsamında teçhizi ve akabinde ölçümlere başlandığı 29 Kasım 2019 tarihinden sonra 2020 yılı Ocak ayında 2 adet, Şubat ayında 3 adet ve Mart ayı başında 1 adet olmak üzere toplam 6 adet manuel ölçüm yapılmıştır. 05.03.2020 tarihinde test sahasında yapılan çalışmalar sırasında çekilen fotoğraflardan örnekler Şekil 4'te gösterilmektedir. 2020 yılına ait ölçümler ile aynı tarihlerde CS725 sensörü tarafından yapılan ölçümlere ait sonuçlar Tablo 2'de listelenmiştir. 2021 yılı Ocak ayında 1 adet, Şubat ayında 2 adet, Mart ayında 3 adet ve Nisan ayı başında da 1 adet olmak üzere toplam 7 adet manuel ölçüm yapılmıştır. 2021 yılına ait bu ölçümler ile aynı tarihlerde CS725 sensörü tarafından yapılan ölçümlere ait sonuçlar da Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 2 ve Tablo 3'te belirtilen tarihlerde yapılmış olan manuel kar derinliği ve kar-su eşdeğeri ölçümleri CS725 kar-su eşdeğeri ölçüm sensörü tarafından 29.11.2019 tarihinden itibaren 30.04.2021 tarihine kadar kesintisiz olarak yapılmış olan kar derinliği ve kar-su eşdeğeri ölçüm sonuçları ile birlikte grafik olarak sırasıyla Şekil 5 ve Şekil 6'da gösterilmiştir.

Üretici firması tarafından yayınlanan ürün kataloğunda (Tablo 1), CS725 kar-su eşdeğeri ölçüm sensörünün doğruluğu 0 - 300 mm kar-su eşdeğeri aralığında ± 15 mm, 300 - 600 mm kar-su eşdeğeri aralığında ise $\pm 15\%$ olarak verilmektedir. Yine aynı kataloğa göre sensör tarafından ölçülebilen en yüksek kar-su eşdeğeri de 600 mm olarak belirtilmektedir.

Ardışık iki kış döneminde yapılmış olan toplam 13 manuel kar-su eşdeğeri ölçümlerinin 9 tanesi (2020 yılına ait 2 ölçüm ile 2021 yılındaki tüm ölçümler) 300 mm'nin altında değerler olup söz konusu değerler aynı tarihler için cihaz tarafından yapılan ölçümler ile karşılaştırıldığında, 7 adet ölçüm farkının cihaz kataloğunda belirtilenden miktardan fazla olduğu, 2 adet ölçüm farkının ise katalogda belirtilen aralıkta olduğu görülmüştür. Söz konusu 13 adet manuel ölçümden 4 tanesinin değeri 300 mm'nin üzerinde olup bu ölçümler aynı tarihlerde cihaz (CS725) tarafından yapılan ölçümler ile karşılaştırıldığında ise ölçüm farklarının katalogda belirtilen $\pm 15\%$ doğruluk aralığında kaldığı görülmüştür.

Manuel kar-su eşdeğeri ölçümlerinden 10.02.2020, 20.02.2020, 27.02.2020 ve 05.03.2020 tarihlerindeki 4 adet ölçümde kar-su eşdeğerleri sırasıyla 310,00 mm, 303,30 mm, 326,67 mm ve 345,00 mm (Tablo 2) hesaplanmıştır. Yapılan bu dört ölçümün tümü katalogda sensör ölçüm doğruluğu için verilen 300 - 600 mm aralığında kalmaktadır. Aynı tarihler için CS725 sensörü tarafından yapılan ölçümler ise sırasıyla 289,75 mm, 314,75 mm, 355,00 mm ve 364,00 mm (Tablo 2) olup manuel ölçümlere göre sapma yüzdeleri sırasıyla -%6.53, %3.78, %8.67 ve %5.51'dir. Manuel ölçüm sonuçları ile CS725 sensörünce yapılan ölçümlerin farklarının katalogda belirtildiği doğruluk aralığında kaldığı görülmüştür.

Çalışma kapsamında yapılmış 6 adet manuel ölçüm sonucu elde edilen kar derinlikleri ile aynı ölçüm tarihlerinde CS725 sensörü tarafından kaydedilen kar derinlikleri, söz konusu derinliklerin birbirlerine göre farkları ve yüzde olarak ifadeleri Tablo 2'de özetlenmiştir. Çalışma, söz konusu sensörün kar-su eşdeğeri ölçümlerinin saha şartlarında ülkemiz için uygunluğunun sınanması olduğundan bu konuda ilave bir değerlendirme yapılmamıştır.

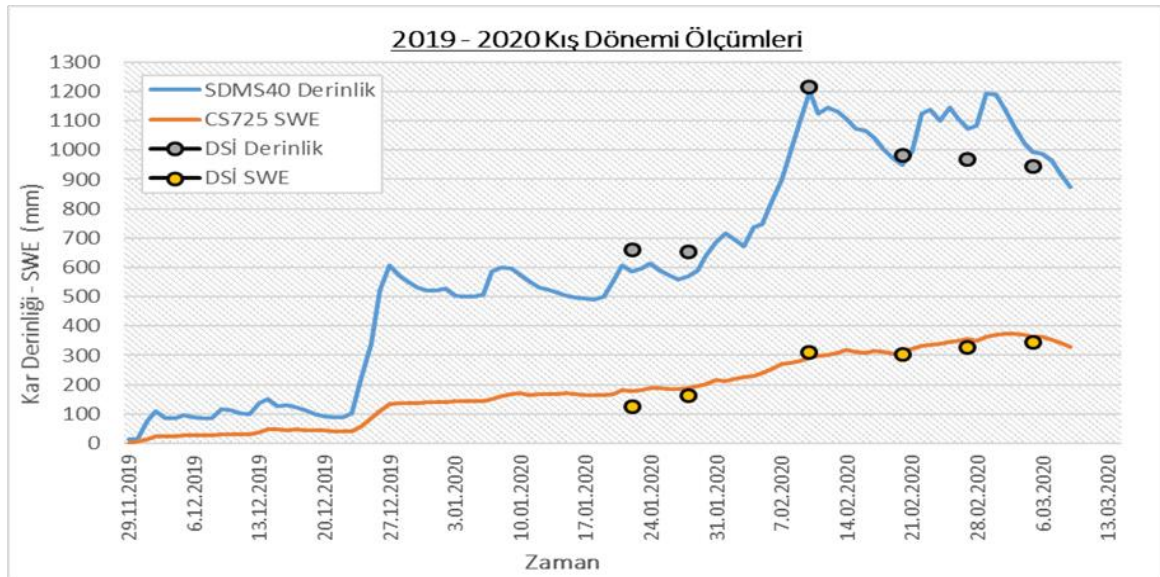


Şekil 4. Ilgaz test sahasında 05.03.2020 tarihinde icra edilen çalışmalar kapsamında kar profil çukuru açılmasına ait fotoğraflar (Dr. Önder Koçyiğit ve Dr. Erhan Demir)

Tablo 2. 2019 - 2020 kış sezonunda yapılan ölçümler

Ölçüm No	Ölçüm Tarihi	CS725 Sensör		Manuel (DSİ)		Ölçüm Farkları			
		H _s (mm)	SWE (mm)	H _s (mm)	SWE (mm)	H _s (mm) CS725 - Manuel	H _s (%) CS725 - Manuel	SWE (mm)	SWE (%)
1	22.01.2020	587	178	660	127	-73	-11	52	41
2	28.01.2020	569	187	653	163	-84	-13	24	15
3	10.02.2020	1199	290	1217	310	-17	-1	-20	-7
4	20.02.2020	949	315	983	303	-34	-3	11	4
5	27.02.2020	1074	355	967	327	107	11	28	9
6	05.03.2020	994	364	945	345	49	5	19	6

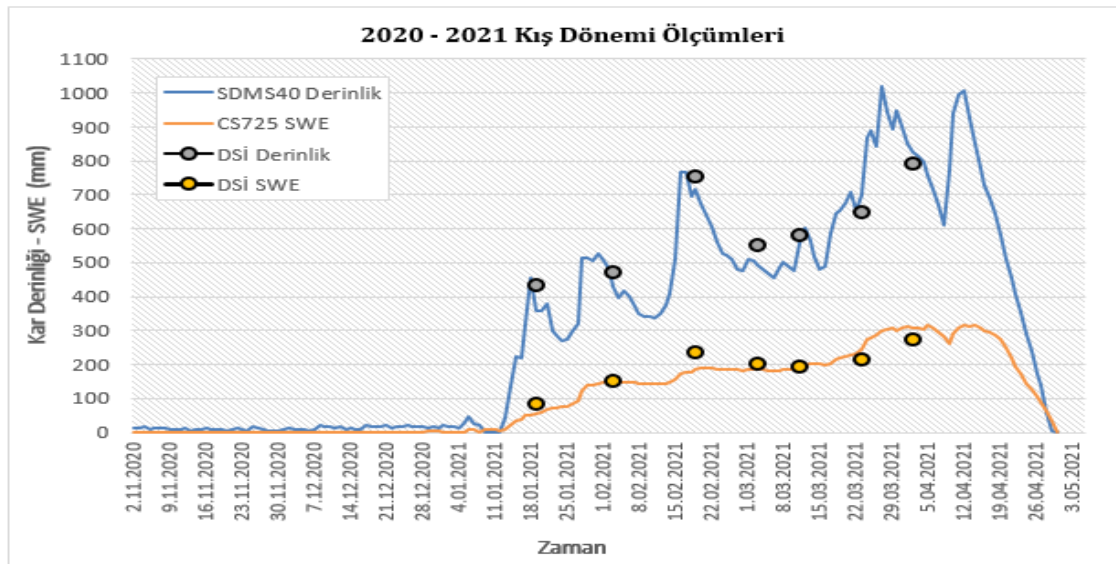
H_s: Kar Derinliği (mm) SWE-Kar Su Eşdeğeri (mm)



Şekil 5. 2019-2020 kış sezonunda CS725 sensörü ve manuel olarak yapılan ölçümlerin grafiksel gösterimi

Tablo 3. 2020 - 2021 kış sezonunda yapılan ölçümler

Ölçüm No	Ölçüm Tarihi	CS725 Sensör		Manuel (DSİ)		Ölçüm Farkları			
		H _s (mm)	SWE (mm)	H _s (mm)	SWE (mm)	H _s (mm) CS725 - Manuel	H _s (%) CS725 - Manuel	SWE (mm)	SWE (%)
1	19.01.2021	357	55	436	83	-79	-18	-28	-34
2	03.02.2021	432	148	473	150	-41	-9	-2	-1
3	19.02.2021	716	187	753	236	-37	-5	-49	-21
4	03.03.2021	495	185	553	203	-58	-10	-18	-9
5	11.03.2021	558	185	583	196	-25	-4	-11	-5
6	23.03.2021	700	243	650	217	50	8	26	12
7	02.04.2021	826	309	793	273	33	4	35	13
		H_s:Kar Derinliği (mm)				SWE-Kar Su Eşdeğeri (mm)			



Şekil 6. 2020-2021 kış sezonunda CS725 sensörü ve manuel olarak yapılan ölçümlerin grafiksel gösterimi

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Kış boyu oluşan kar örtüsü miktarının, bu miktarın su olarak karşılığının, bulunduğu arazide kar olarak kalma süresinin ve eriyerek su salma hızının bilinmesi, depolama tesislerine (baraj, gölet gibi yüzey depolamaları ile yeraltı barajları ve yas beslemeleri dahil) ilkbaharda karın erimesiyle gelebilecek su miktarının tahmini, taşkın öteleme maksatlı inşa edilmiş ve/veya işletilen tesislerde bırakılması gereken taşkın hacminin belirlenmesi, içme-kullanma, sanayi ve sulamaya verilecek suyun tahmini, enerji üretim planlamasında üretim kaynakları içerisinde hidroelektrik enerjiye verilecek payın düzenlenmesi, barajların işletme kural eğrilerinin optimizasyonu gibi hususlar dikkate alındığında ülkemizin yerüstü ve yeraltı su kaynaklarının sürdürülebilir şekilde optimum

işletilerek faydaya döndürülmesi böylelikle topluma ve ülke ekonomisine en üst seviyede katkıda bulunulabilmesi açısından büyük önem arz etmektedir.

Kar örtüsü ile ilgili bilgiler, belirlenen ölçüm yerlerinde yapılan noktasal ölçümler ile elde edilmekte olup söz konusu noktasal ölçümlerden alansal değerlere geçilmektedir. Dolayısıyla kar örtüsü ile ilgili noktasal ölçümlerin hem zamansal hem de mekânsal sıklığı (belirli bir sistem dâhilinde) bir bütün olarak kar örtüsü ile ilgili toplanan bilgilerin doğruluğunu artıracaktır. Benzer şekilde noktasal verilerin doğruluğu da bu anlamda çok önemlidir. Bu açıdan bakıldığında, kar-su eşdeğeri ölçümünde sadece bir noktadaki ve bir ölçümdeki santimetreler ile ifade edilebilecek artı veya eksi yöndeki görece küçük hatalar, o noktanın ait olduğu kar örtüsünün bulunduğu havzada oldukça büyük tahmin hatalarına neden olabilir. Bu durum alansal büyüklüğüne göre havzanın mansabında bulunan yerleşim yerleri, depolama tesisleri veya diğer sektörlere ait kritik öneme haiz başkaca tesislerin varlığı açısından değerlendirilmelidir.

Bu çalışma kapsamında elde edilen ölçüm sonuçlarından, 300 mm kar-su eşdeğerinin altındaki manuel ölçüm değerleri ile CS725 sensörü tarafından yapılan ölçümlerin farklarının katalogda belirtildiği doğruluk aralığından çok daha fazla sapma olduğu görülmüştür. 300 mm kar-su eşdeğerinin üzerindeki manuel ölçüm sonuçları ile CS725 sensörü tarafından yapılan ölçümlere ait farklarının ise katalogda belirtildiği doğruluk aralığında kaldığı görülmüştür. Cihaz ölçümleri ile ilgili bir değerlendirme yapabilmek için elde her ne kadar yeterli ölçümler (6 adet) varsa da söz konusu sensör ile ilgili daha kesin bir karar verilebilmek adına önümüzdeki kış sezonu için de ölçümlere manuel ölçümlerle birlikte devam edilmesinin faydalı olacağı düşünülmektedir. Aynı durum literatürde yapılmış benzer çalışmalar için de söylenebilir. Bu nedenle mümkün olması durumunda aynı marka bir cihazın yükseltisi, bakısı ve iklim şartları farklı bir test sahasında da en az bir kış mevsimi süresince sınanması önerilir.

Cihaz ölçümleri ile ilgili bu sınamalar neticesine göre cihaz ölçümlerince yapılabilecek hata payını tolere edebilecek bölgelerde, ulaşım açısından manuel ölçüm yapma imkânı bulunmayan veya oldukça zor olan noktalara manuel ölçümlere takviye maksatlı teçhizine karar verilebilir.

TEŞEKKÜR

Öncelikle, verdiği destekler için Türkiye Ulusal Hidroloji Komisyonu (TUHK) Başkanı DSİ Genel Müdür Yardımcısı Sayın Murat DAĞDEVİREN'e ve DSİ Etüt, Planlama ve Tahsisler Dairesi Başkanı Sayın Nazmi KAĞNICIOĞLU'na, sahaya ulaşım, konaklama ve ikmal konularında desteğini esirgemeyen DSİ 23. Bölge (Kastamonu) Müdürü Sayın Hayrettin BAYSAL'a, TUHK Kar Çalışma Grubu Başkan Yardımcısı ve Rasatlar Şube Müdürü Sayın Bekir Ragıp YURTSEVEN'e ve nezdinde bu ölçümlerde emeği geçen Rasatlar Şube Müdürlüğü personellerine, Sayın Mustafa ÖZKAYA'ya, DSİ 23. Bölge (Kastamonu) Müdürlüğü Havza Yönetimi, İzleme ve Tahsisler Şube Müdürü Sayın Mevlüt TUTAR'a ve nezdinde bu ölçümlerde emeği geçen tüm şube müdürlüğü personellerine teşekkürlerimizi sunarız.

KAYNAKLAR

Appel, F., Koch, F., Rösel, A., Klug, P., Henkel, P., Lamm, M., ve Bach, H. (2019). Advances in snow hydrology using a combined approach of GNSS in situ stations, hydrological modelling and earth observation—a case study in Canada. *Geosciences*, 9(1), 44. DOI: <https://doi.org/10.3390/geosciences9010044>

Boike, J., Westermann, S., Gallet, J. C., Jentzsch, K., Cable, B., Bornemann, N., ve Lange, S., (2020). Near real-time observations of snow water equivalent for SIOS on Svalbard-SWESOS. SIOS., Polar Night Week, Svalbard Science Centre, Longyerbyen, 13-17 January 2020.

Choquette, Y., Ducharme, P., ve Rogoza, J., (2013). CS725, An accurate sensor for the snow water equivalent and soil moisture measurements. In Proceedings of the International Snow Science Workshop, Grenoble, France (pp. 7-11).

Ducharme, P., Houdayer, A., Choquette, Y., Kapfer, B., ve Martin, J. P. (2015). Numerical simulation of terrestrial radiation over a snow cover. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 32(8), 1478-1485. DOI: <https://doi.org/10.1175/JTECH-D-14-00100.1>

Gençer, M., Uğurlu, A., Kacar, M., Özcan, H., Kesim A. ve Aydın B., (2005). Hidrometeoroloji. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Meteoroloji Genel Müdürlüğü Yayınları, s:18, Ankara.

Kirkham J.D., Koch I., Saloranta T.M., Litt M., Stigter E.E., Møen K., Thapa A., Melvold K. ve Immerzeel W.W. (2019). Near real- time measurement of snow water equivalent in the Nepal Himalayas, *Front. Earth Sci.*, 7:177. DOI: <https://doi.org/10.3389/feart.2019.00177>

Leppänen, L., Kontu, A., ve Pulliainen, J. (2018). Automated measurements of snow on the ground in Sodankylä. *Geophysica*, 53(1), 45-64.

MGM (Meteoroloji Genel Müdürlüğü),(2020), 2019 Yılı İklim değerlendirmesi Araştırma Dairesi Başkanlığı yayını, T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Meteoroloji Genel Müdürlüğü Ankara. s:10.

Smith, C. D., Kontu, A., Laffin, R., ve Pomeroy, J. (2017), An assessment of two automated snow water equivalent instruments during the WMO solid precipitation intercomparison experiment. *The Cryosphere*, 11, 101-116. DOI: <https://doi.org/10.5194/tc-11-101-2017>

URL 1, Campbell, (2020), <https://www.campbellsci.com/cs725> [Son erişim: 15 Haziran 2020].

URL 2, TÜİK, (2020), http://tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1027# [Son erişim: 15 Haziran 2020].

Wright, M., (2011), Performance analysis of CS725 snow water equivalent sensor, Edmonton, AB: Campbell Scientific Corp.

Yao, H., Field, T., McConnell, C., Beaton, A., ve James, A. L. (2018). Comparison of five snow water equivalent estimation methods across categories. *Hydrological Processes*, 32(12), 1894-1908. DOI: <https://doi.org/10.1002/hyp.13129>