

# **CBS VE UZAKTAN ALGILAMA DESTEKLİ KAR ERİMESİ MODELİ (SRM) İLE AKIŞ HİDROGRAFI BENZETİMİ (KAYSERİ-SARIZ ÇAYI HAVZASI ÖRNEĞİ)**

**İbrahim GÜRER, İbrahim UÇAR**

İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Maltepe 06570, Ankara  
[gurer@gazi.edu.tr](mailto:gurer@gazi.edu.tr), [iucar@gazi.edu.tr](mailto:iucar@gazi.edu.tr)

(Geliş/Received: 14.02.2012 ; Kabul/Accepted: 22.11.2012)

## **ÖZET**

Kar potansiyelinin fazla olduğu yüksek bölgelerdeki akarsu havzalarının yıllık akış hacimlerinin büyük bir kısmı, kış aylarında oluşan kar örtüsünün ilkbaharda erimesi sonucu oluşmaktadır. Kardan beslenen havzalarda; havza akışının modellenmesi, su kaynaklarının verimli ve sürdürülebilir olarak işletilmesi bakımından önemlidir. Bu kapsamda; Seyhan Havzasının bir alt havzası olan Sarız Çayı Havzasının, 2004 ve 2005 yılları kar erime dönemlerine ait (Mart-Nisan) hidrograflarının simülasyonu (benzetimi) üzerine çalışılmıştır. Çalışmada, kar akış hacminin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan kar erimesi akışı hidrolojik modelleme programı olan Snowmelt Runoff Model (SRM), Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile birlikte uygulanmıştır. SRM programı bağımsız değişken olarak; sıcaklık, yağış ve karla kaplı alanın (KKA) günlük değişimlerine ihtiyaç duymaktadır. KKA değişimi, MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) uydu görüntülerinin CBS ile sorgulanması sonucu belirlenmiştir. Benzetim çalışması iki alternatifli olarak yapılmıştır. Benzetilen hidrograflar, gözlenen hidrograflarla karşılaştırılmıştır ve genelde uyumludur. Benzetim çalışmalarının daha iyi ve güvenilir sonuç vermesi için çözüm önerilerinde bulunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Hidrolojik modelleme, MODIS, CBS, SRM, Sarız Çayı Havzası.

## **SIMULATION OF THE RUNOFF HYDROGRAPH BY SRM SUPPORTED BY GIS AND REMOTE SENSING (KAYSERİ-SARIZ CREEK WATERSHED CASE STUDY)**

### **ABSTRACT**

The significant part of annual runoff volume of the basins located at high altitudes with great snow potential is produced by melting of the accumulated snow in spring months. Modeling of hydrograph accumulation during melting seasons of snow is important for the operation of water resources as efficient and sustainable as possible. In this study, the simulation of hydrographs of Sarız Creek watershed in Seyhan Basin was studied for the snow melting seasons (March-April) of 2004 and 2005. Snowmelt Runoff Model (SRM), which is widely used in hydrological modeling, was applied together with Remote Sensing (RS) and Geographic Information Systems (GIS) technologies for determination of snowmelt runoff volume. SRM requires some daily climatologic variables of temperature, precipitation and snow covered area. Daily snow covered area values were determined by analyzing of MODIS satellite images with GIS. In the simulation studies, two cases were assessed. Solution has been provided as two alternatives. The simulated and observed hydrographs were compared and found in harmony. To make better and more reliable models, some improvements starting from the field observation are proposed.

**Keywords:** Hydrologic modeling, MODIS, GIS, SRM, Sarız Creek Watershed

### **1. GİRİŞ (INTRODUCTION)**

Küresel iklim değişikliği etkisiyle dünyada suyun kullanımı daha da önem kazanmıştır. Bu nedenle

mevcut su potansiyelinin doğru yönde kullanılması ve sürdürülebilir bir kaynak haline getirilmesi gereklidir. Türkiye’de su potansiyelinin büyük kısmını kardan karşılayan; özellikle Doğu Anadolu, Güney Doğu

Anadolu ve Orta Anadolu Bölgeleri'nin kar örtüsü oluşum miktarı ve akışa katkısı oldukça büyüktür. Kar oluşumu, birikmesi ve erime süreçlerini inceleyen Kar Hidrolojisi çalışmaları, akım tahminlerinin daha güvenilir yapılabilmesi için katkıda bulunmaktadır [1].

Bir havzada, akımın kar suyundan beslenimini belirlemek veya tahmin etmek için pek çok yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemler; derece-gün korelasyonlarını, "akım geri çekilme eğrisi" analizlerini, enerji dengesi, sıcaklık veya radyasyon indeks eşitliklerini içermektedir [2, 3, 4]. Yaygın olarak kullanılan kar erimesi yüzeysel akış modelleri; sıcaklık indekslerine dayalı yöntemlerdir [5].

Bu çalışma kapsamında, kar erimesi akışı hesaplamaları için kullanılan SRM programı, sıcaklık indeksi yöntemine göre kar erimesini hesaplamaktadır. Ayrıca SRM ile birlikte uzaktan algılama ve CBS'nin de kar hidrolojisi çalışmalarında kullanılması daha pratik ve sağlıklı sonuçların alınmasına yardım etmektedir [6, 7]. Bu sebeple, kar erime akış modeli olan SRM'nin yanı sıra bu çalışmada uzaktan algılama ve CBS teknikleri kullanılarak Seyhan Havzası'nda bulunan Kayseri-Sarız alt havzası incelenmektedir. Sarız Çayı üzerinde Devlet Su İşleri (DSİ) tarafından işletilen 18-17 Akım Gözlem İstasyonunu (AGİ) baz alan, 2004 ve 2005 yılı kar erime dönemini kapsayan Mart-Nisan ayları için akım hidrografi benzetimi yapılmaktadır. Programın önemli girdilerinden biri olan KKA'nın zamansal ve mekânsal değişimi, Terra ve Aqua uydularında bulunan MODIS algılayıcısından elde edilen görüntülerin CBS teknolojisiyle analizi sonucu belirlenmiştir [8]. CBS ve Uzaktan Algılama teknikleri tek başlarına pek çok mühendislik uygulamalarında başarı ile kullanılmakla [9, 10] beraber; son yıllarda birlikte kullanımlarında, özellikle kar hidrolojisinde oldukça geniş bir uygulama alanına sahiplerdir [11, 12, 13].

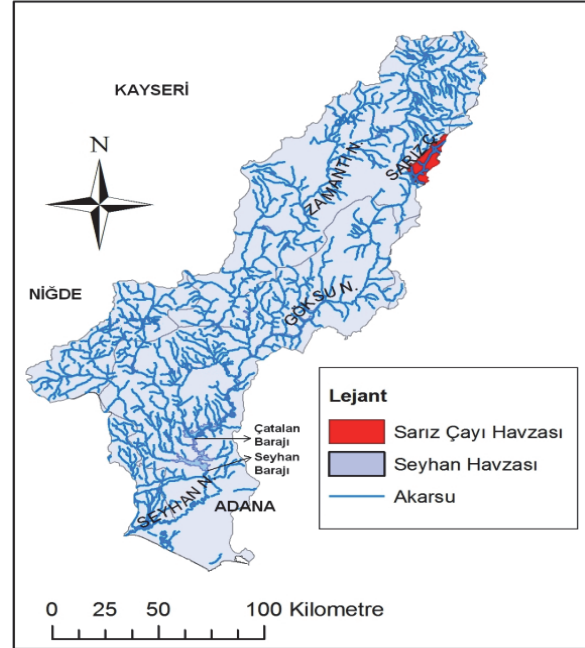
## 2. MATERYAL VE METOT (MATERIAL AND METHOD)

### 2.1. Materyal (Material)

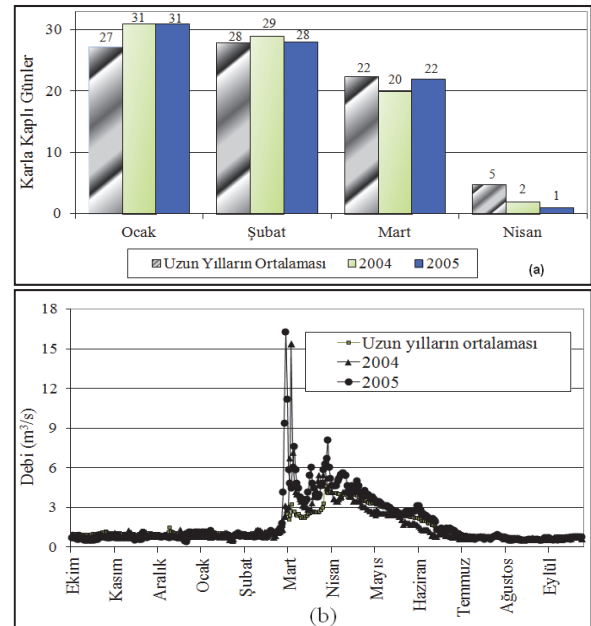
Çalışma alanı, Seyhan Havzası'nın bir alt havzası olan Sarız Çayı Havzası'dır. Sarız Çayı Havzası, Kayseri ilinin doğusunda, şehir merkezine yaklaşık olarak 150 km mesafede,  $38^{\circ}27'$ - $38^{\circ}41'$  kuzey enlemleri ile  $36^{\circ}27'$ - $36^{\circ}40'$  doğu boylamları arasında yer almaktadır (Şekil 1). Sarız Çayı, Seyhan Havzasının iki ana akarsu kolundan (Zamanti ve Göksu) biri olan Göksu Nehrinin başlangıç kısmını oluşturmaktadır. Göksu Nehri, havzanın kuzey doğusundaki Şarлак pınarlarından (1900 m) doğar [14].

Sarız Çayı Havzası; Seyhan Havzasının kar potansiyeli bakımından en önemli alt havzalarından

biridir. Ocak-Nisan döneminin yaklaşık %70'inde havza karla kaplıdır. Bu zaman aralığında havzanın karla kaplı gün sayısı Mart ayında azalmaya başlamakta ve Nisan ayında da kar örtüsü havzadan kalkmaktadır [14]. Çalışmanın 2004 ve 2005 Mart-Nisan döneminde yapılmasının nedeni ise, bu yıllardaki Ocak-Şubat dönemi kar kaplı gün sayısı (Şekil 2-a) ve Mart-Nisan dönemi kar erimesi sonucu olan akış değerlerinin (Şekil 2-b) diğer yıllara göre yüksek olmasıdır.

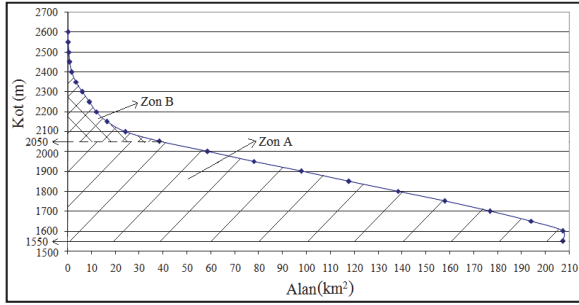


Şekil 1. Sarız Çayı Havzasının Konumu (Location of Sarız Creek Watershed)



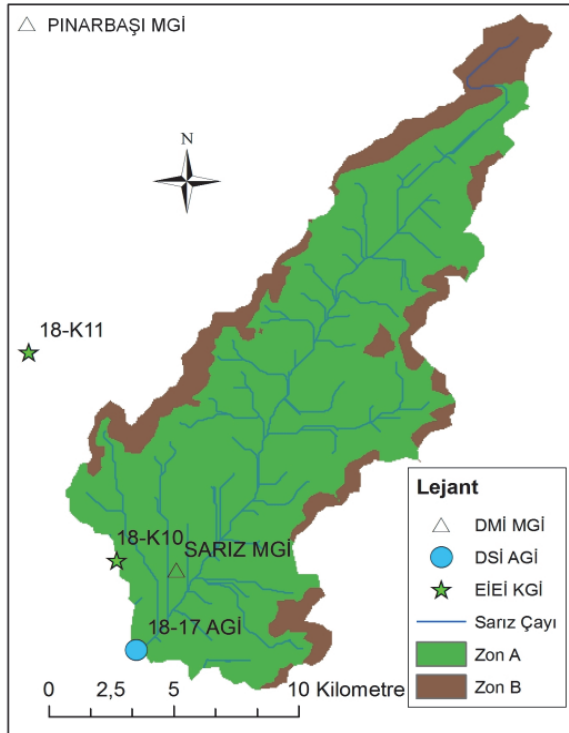
Şekil 2. Sarız Çayı Havzası'nın 2004, 2005 ve uzun dönem karla kaplı gün sayıları (Ocak-Nisan) (a) ve akım değerleri (b) (Number of days with snow covered (January-April) (a) and the discharge values (b) for 2004, 2005, and long term period of Sarız Creek Watershed)

Bu çalışmada, Sarız Çayının; 18-17 No'lu AGİ tarafından kontrol edilen kısmı incelenmektedir. Çayın başlangıcı olan Şarлак Pınarı ile 18-17 AGİ arasındaki akarsu kolu uzunluğu yaklaşık olarak 35 km, drenaj alanı ise 206,5 km<sup>2</sup>'dir. Havza, 1550 m ve 2600 metre arasında değişen kotlarda yer almaktadır. Kar hidrolojisi çalışmalarında dağlık havzalar için önerilen ortalama 500 metrelik zonlar oluşturulması önerisi göz önüne alınarak, havzada SRM uygulaması yapılabilmesi için 1550–2050 m arası zon A, 2050–2600 m arası ise zon B olarak ayrılmıştır (Şekil 3).



Şekil 3. Sarız Havzasının hipsometrik eğrisi (Hypsometric curve of Sarız Watershed)

Bir CBS yazılımı olan ArcGIS kullanılarak Harita Genel Komutanlığı'ndan temin edilen 1/25000 ölçekli sayısal haritadan oluşturulan sayısal arazi modeli ve bu modelden çıkarılan hipsometrik eğri yardımıyla zon A'nın alanı 168,50 km<sup>2</sup> ve ortalama kotu 1837,60 m bulunurken, zon B'nin alanı 38 km<sup>2</sup>, ortalama kotu ise 2132 m olarak tespit edilmiştir (Şekil 3, Şekil 4).



Şekil 4. Sarız Çayı Havzası yükseklik zonları, drenaj ağı ve ölçüm istasyonları (Elevation zones, drainage network, and hydro-meteorological stations of Sarız Creek Watershed)

Çalışmada kullanılan akım verileri; DSİ'nin 18-17 nolu AGİ'den (1550 m), meteorolojik veriler; Devlet Meteoroloji İşleri'nin (DMİ) Sarız Meteoroloji Gözlem İstasyonundan (MGI) (1591 m), kar verileri ise; önceki ismiyle Elektrik İşleri Etüt İdaresi'nin (EİEİ) 18-K10 (1670 m) ve 18-K11 (1760 m) Kar Gözlem İstasyonlarından (KGI) elde edilmiştir (Şekil 4, Şekil 5).



Şekil 5. 18-17 AGİ ve Sarız MGI (18-17 Stream Gauging Station and Sarız Meteorology Observation Station)

## 2.2. Metot (Method)

SRM, Martinec tarafından 1975 yılında küçük Avrupa havzaları için geliştirilmiştir. Kar örtüsünün uydular ile uzaktan algılanması sayesinde, SRM büyük havzalar için de uygulanmaktadır. SRM programı; kar erimesi kaynaklı beslenimin önemli olduğu dağlık havzalarda, günlük akımın benzetimi ve tahmini için tasarlanmıştır. Ayrıca; değişen iklimin, mevsimsel kar örtüsü ve kar erimesi üzerindeki etkisini değerlendirmek için de kullanılmaktadır [15].

SRM programının yapısı; her gün için kar erimesi ve yağmurdan oluşan debinin hesaplanarak, geri çekilme akımı ile süperpoze edilmesiyle ve Eşitlik 1'e göre havzadan çıkan günlük debiye çevrilmesine dayanmaktadır [15].

$$Q_{n+1} = [c_{sn} \cdot a_n (T_n + \Delta T_n) \cdot S_n + c_{Rn} \cdot P_n] \cdot \frac{A \cdot 10000}{86400} \cdot (1 - k_{n+1}) + Q_n \cdot k_{n+1} \quad (1)$$

Formülde;  $Q$  ortalama günlük debi (m<sup>3</sup>/s),  $c$  akış katsayısı (akış / yağış) ( $c_s$  kardan oluşan akım için,  $c_R$

yağmurdan oluşan akım için),  $\alpha$  derece gün faktörü ( $\text{cm}/(^{\circ}\text{C}\cdot\text{day})$ ),  $T$  derece gün değeri ( $^{\circ}\text{C}\cdot\text{day}$ ),  $\Delta T$  yüksekliğe bağlı sıcaklık farkı ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $S$  KKA'nın toplam alana oranı,  $P$  akışa geçen yağış (cm),  $A$  havza veya zonun alanı ( $\text{km}^2$ ),  $k$  debi geri çekilme katsayısı ve  $n$  ise gün sıralamasıdır.  $T$ ,  $S$  ve  $P$  değişkenlerinin her gün için ölçülmesi veya belirlenmesi model için gereklidir.

### 2.2.1. Modelde Kullanılan Parametreler (Parameters Used in the Model)

Havzanın karakteristik parametreleri; akış katsayıları ( $c_r$  ve  $c_s$ ), sıcaklık değişme oranı ( $\gamma$ ), kritik sıcaklık ( $T_{kr}$ ), debi geri çekilme katsayısı ( $k$ ) ve gecikme zamanı ( $L$ ) bir havza ve daha genel olarak bir iklim için karakteristik parametreler olarak sayılabilirler.

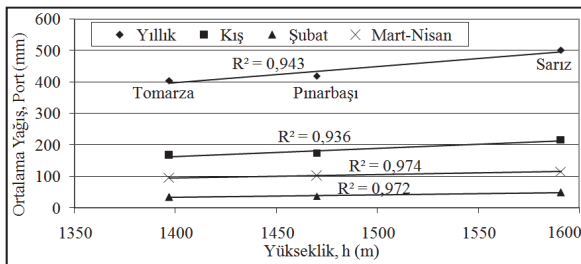
#### i. Sıcaklık ve Yağış (Temperature and Precipitation)

SRM programına sıcaklık verileri maksimum ve minimum değerler olarak girilir. Buna göre bir günün ortalama sıcaklığı o günkü minimum ( $T_{min}$ ) ve maksimum ( $T_{max}$ ) sıcaklık değerlerinin ortalaması olarak hesaplanır (Eşitlik 2). Her ne kadar Sarız MGİ'den ortalama sıcaklık değerini doğrudan elde etmek mümkün olsa bile, SRM analizinde Eşitlik 2'de verilen denklem ile ortalama sıcaklık hesaplanmaktadır.

$$T_{ort} = \frac{T_{min} + T_{max}}{2} \quad (2)$$

SRM programı ortalama sıcaklığın  $0^{\circ}\text{C}$  veya negatif olmasına bağlı olarak; kar erimesi hesabında derece-gün değerlerini "0" alır ve kar erimesi hesabı yapmaz.

SRM'de girdi olarak kullanılan yağış değerleri için, MGİ'lerde ölçülen yağış verilerinin tüm bir havzayı temsil edebilmesi için yükseklikle değişimleri göz önüne alınmıştır (Şekil 6). Ayrıca yağış-zaman verilerinden de yararlanarak, gerçekleşen yağışların günlük değişimleri ve buna bağlı olarak da yağış tipleri belirlenmiştir.



Şekil 6. Havzada yağış-yükseklik değişimi (Precipitation-Elevation change in the basin)

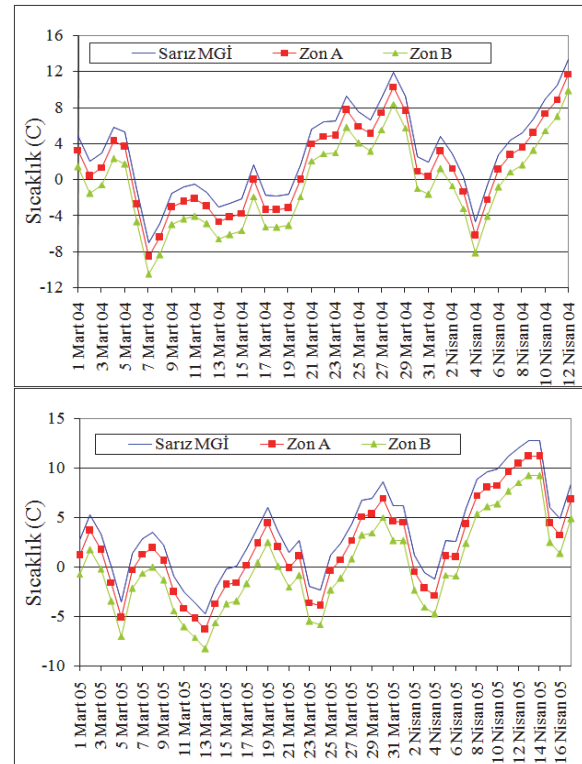
Sarız, Pınarbaşı ve Tomarza MGİ'leri (Şekil 4, Tomarza MGİ, Sarız MGİ'nin yaklaşık 55 km doğusundadır) arasında farklı dönemler için belirlenen

yağış-yükseklik ilişkisinin aynı eğilimde olduğu Şekil 6 ve Tablo 1'den görülmektedir. Bölgesel olarak Mart-Nisan dönemi toplamı için bulunan " $P_{ort}=0,10\text{h}-43,73$ " yağış-yükseklik ilişkisinden, her 100 m yükseklik artışında yağış miktarının ortalama olarak %8,5 değerinde arttığı belirlenmiştir. Sadece 3 istasyon kullanılarak analizin yapılması istatistikî yönden zayıf kalmaktadır ancak yöre ve çevresindeki MGİ'lerin daha fazla olmaması nedeniyle mevcut şartlar için en uygun yaklaşımın bu olduğuna inanılmaktadır. Hesaplanan ortalama yağış artış oranı, Sarız MGİ'nin yağış değerlerine uygulanarak zon A ve zon B yağış miktarları belirlenmiştir.

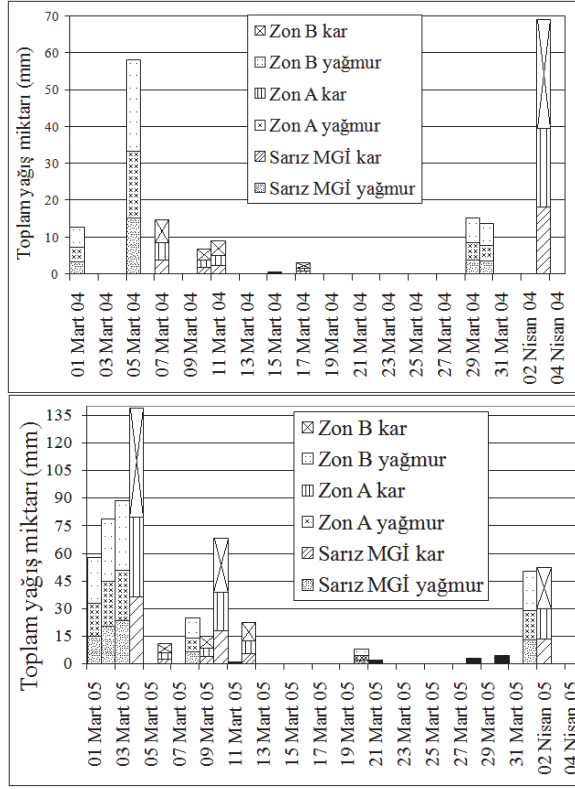
Tablo 1. Havzada yağış-yükseklik ilişkisi (Precipitation-Elevation relationship in the basin)

Yağış Dönemi	Yağış (mm) - Yükseklik (m) İlişkisi	R <sup>2</sup>
Yıllık	$P_{ort}=0,5165\text{h}-325,27$	0,94
Kış	$P_{ort}=0,26145\text{h}-201,89$	0,94
Şubat	$P_{ort}=0,0774\text{h}-74,53$	0,97
Mart-Nisan	$P_{ort}=0,10\text{h}-43,73$	0,97

SRM girdileri olan sıcaklık ve yağış değerleri; Sarız İstasyonu verilerinin yanı sıra oluşturulan her iki zon için ayrı ayrı hesaplanarak kullanılmıştır (Şekil 7, Şekil 8).



Şekil 7. Kar erime dönemlerinde ortalama sıcaklık değişimi (Average temperature change during snowmelt seasons)



**Şekil 8.** Kar erime dönemlerinde günlük toplam yağışlar (Total daily precipitation during snowmelt seasons)

Yağış türünün SRM programına doğru olarak tanıtılabilmesi amacıyla hem 2004 hem de 2005 yılları kış mevsimi için sıcaklık ve yağış verileri günlük (mümkün olduğunda saatlik) olarak birlikte değerlendirilmiş ve yağışın hangi saatlerde hangi türde olduğu tespit edilip, bazı günler için gerekli değişiklikler yapılmıştır. Yapılan düzeltmelere örnek olarak; 2005 yılı benzetim çalışmalarında, yağış verilerine göre 9 Mart 2005 günü kar yağışı gerçekleşmesine rağmen, o günkü ortalama sıcaklık, kritik sıcaklıktan ( $T_{kr}$ ) fazla olduğu için SRM programının yağışı yağmur olarak algılamasını düzeltmek amacıyla, 9 Mart ortalama sıcaklığı  $T_{kr}$  sıcaklığın altında alınmıştır. Aynı şekilde, 2 Nisan 2004 gününde meydana gelen kar yağışı 3 Nisan gününe taşınmıştır. Bunun nedeni; 2 Nisan ortalama sıcaklığının  $T_{kr}$  sıcaklığından fazla olmasından dolayı, 2 Nisan'da oluşan kar yağışının program tarafından yağmur olarak algılanmasıdır. Yağmur yağışı da benzetimde büyük sapmalara neden olacağından, ortalama sıcaklığın değiştirilmesi yerine yağış bir gün kaydırılmıştır. Benzer şekilde, 2 Nisan 2005 gününde ise karla karışık yağmur yağışı meydana gelmiştir. Bu yağış sonrası havzanın karla kaplandığı Sarız MGİ'deki verilerden görülmektedir. SRM programına, bu yağışın karla karışık yağmur olarak tanıtılmamasından dolayı, yağış kar olarak kabul edilmiştir. Ayrıca incelenen her iki yıl süresinde de, 4 Nisan tarihinden sonra yağış meydana gelmemiştir (Şekil 8).

## ii. KKA Değişimi (Change in Snow Covered Area)

SRM programının en önemli özelliklerinden birisi KKA'nın zamanla değişiminin girdi olarak kullanılmasıdır. Özellikle dağlık havzalarda kar kenar çizgileri erime mevsiminin ilerlemesi ile üst kotlara doğru çekilme göstermektedir. Yani kar erimesi sonucu oluşan akışın kaynağı olan KKA zamanla değişmektedir.

Birçok hidrolojik çalışmada sıkça kullanıldığı gibi, kar erime akım modellerinde de KKA değişiminin tespiti için uydu görüntülerinden yararlanılmaktadır [16, 17]. Bu çalışmada da, KKA değişiminde Terra ve Aqua uydularında bulunan MODIS algılayıcısı tarafından elde edilen görüntüler kullanılmıştır. MODIS kar haritalama algoritması en başta, kar örtüsünün belirlenmesinde sayısal bir değer olan NDSI'yi (Normalized Difference Snow Index) kullanmaktadır [11]. NDSI, karın görünen ve yakın kızıl ötesi dalga boylarındaki yansıtma farkının oranı olarak tanımlanabilir. NDSI'nin hesaplanması amacıyla; Terra MODIS, bant 4 (0,545 – 0,565  $\mu\text{m}$ ) ve bant 6'da (1,628 – 1,652  $\mu\text{m}$ ) ölçülen yansıtma değerlerini kullanırken (Eşitlik 3); Aqua MODIS, bant 4 ve bant 7'de (2,105 – 2,155  $\mu\text{m}$ ) ölçülen yansıtma değerlerini kullanmaktadır (Eşitlik 4) [18].

$$\text{NDSI}_{\text{Terra}} = \frac{\text{band4} - \text{band6}}{\text{band4} + \text{band6}} \quad (3)$$

$$\text{NDSI}_{\text{Aqua}} = \frac{\text{band4} - \text{band7}}{\text{band4} + \text{band7}} \quad (4)$$

Kar örtüsünün ormanlık alanlardaki haritalanmasında ise NDSI ile birlikte, NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) değeri kullanılmaktadır [19, 20]. NDVI MODIS'in bant 1 ve bant 2 değerlerini kullanmaktadır (Eşitlik 5) [21].

$$\text{NDVI} = \frac{\text{band2} - \text{band1}}{\text{band2} + \text{band1}} \quad (5)$$

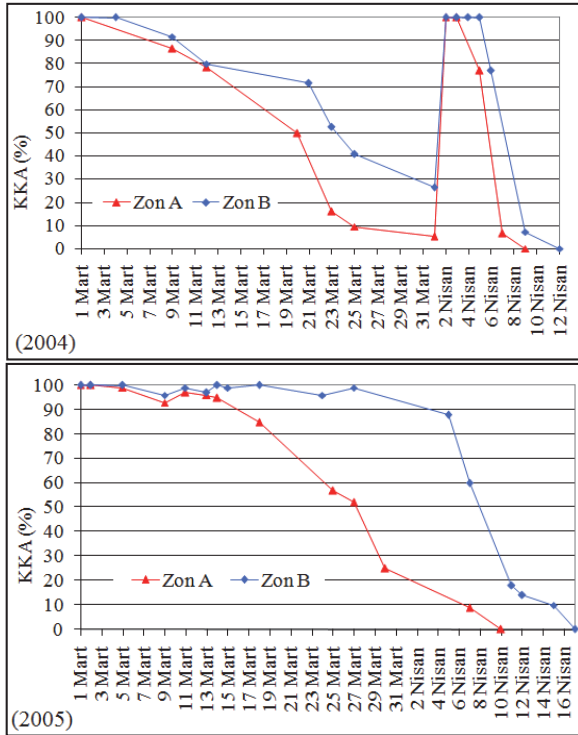
Uzaktan algılama çalışmalarında, MODIS algılayıcısının KKA'ları gösteren günlük bazdaki MOD10A1 ve MYD10A1 V05 ürününün "oransal kar örtüsü" (FSC, Fractional Snow Cover) görüntüleri kullanılmıştır [22]. Bu görüntülerin en önemli özelliği 500x500 m'lik her bir pikselin ne kadarının karla kaplı olduğunu belirleyen algoritmalarla oluşturulmuş olmasıdır [23]. Bir pikselin karla kaplı olup olmadığı ve karlı olan piksellerin 0-100 arasında değişen değerleri kullanılarak ne kadarının karla kaplı olduğu sağlanmıştır [24]. Bu durumda bir pikselin değeri "0" ise pikselin bulunduğu alan karsız, "100" ise tamamen karla kaplıdır.

KKA oranı ile NDSI arasında belirlenen regresyon denklemi Terra uydusu için Eşitlik 6'da ve Aqua uydusu için Eşitlik 7'de gösterilmektedir [25].

$$FSC_{Terra} = -0,01 + 1,45 * NDSI \quad (6)$$

$$FSC_{Aqua} = -0,64 + 1,91 * NDSI \quad (7)$$

Kar çekilme eğrilerinin oluşturulmasında Terra uydusu görüntüleri ağırlıklı olarak kullanılmıştır. Aqua uydusu görüntüleri ise bazı günlerde Terra uydusu görüntüsüne göre havanın daha az bulutlu olmasına bağlı olarak kullanılmıştır. Terra ile Aqua uyduları arasında yaklaşık olarak 2 – 3 saatlik bir zaman farkı vardır. Bu da Terra uydusunun sabah, Aqua uydusunun ise çalışılan alan üzerinde öğle vakitlerinde görüntü elde etmesini sağlamaktadır. Şekil 9'da 2004 ve 2005 yılları için zon A ve zon B için doğrudan uydu görüntülerinden alınan verilere göre KKA değişimleri gösterilmektedir. Eşitlik 6 ve 7'de tespit edilen denklemlerin uygulanmasına gerek kalmadan KKA değişimleri kar erime dönemleri için elde edilmiştir.



Şekil 9. Zon A ve zon B'nin KKA değişimi (Change in snow covered area of zone A and B)

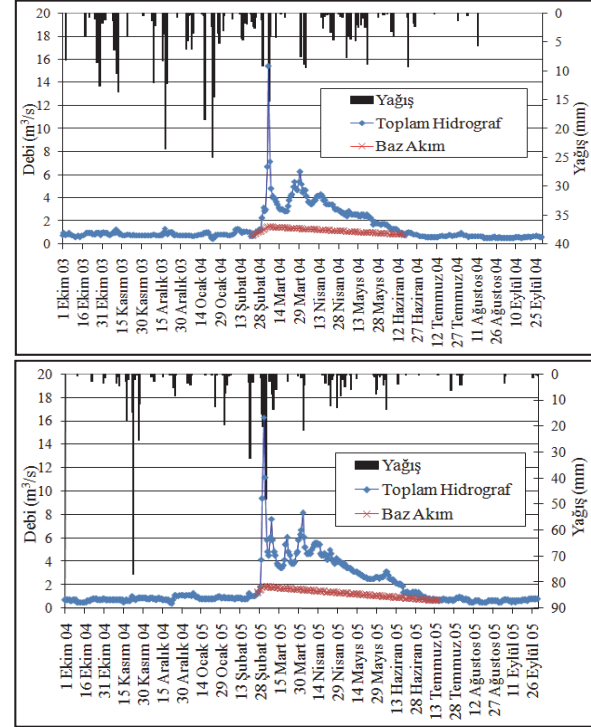
### iii. Akış Katsayıları (Runoff Coefficients)

SRM programı, yağmurun veya eriyen karın ne kadarlık kısmının yüzeysel ve yüzey altı akışa geçtiğini belirlemek amacıyla, kar ( $c_s$ ) ve yağmur ( $c_R$ ) akış katsayılarını [26] kullanmaktadır (Eşitlik 8). Bu çalışmada akış katsayıları 18-17 AGİ'den (Şekil 10 ve Şekil 11), Sarız, Pınarbaşı ve Tomarza MGİ'den, 18-K10 ve 18-K11 KGİ'den elde edilen verilerin kullanılmasıyla belirlenmiştir. Havzadaki kar-su eşdeğerinin değişimi erime mevsimi süresince yeterli verinin olmamasından dolayı belirlenemediğinden, kar akış katsayıları ( $c_s$ ) tüm bir

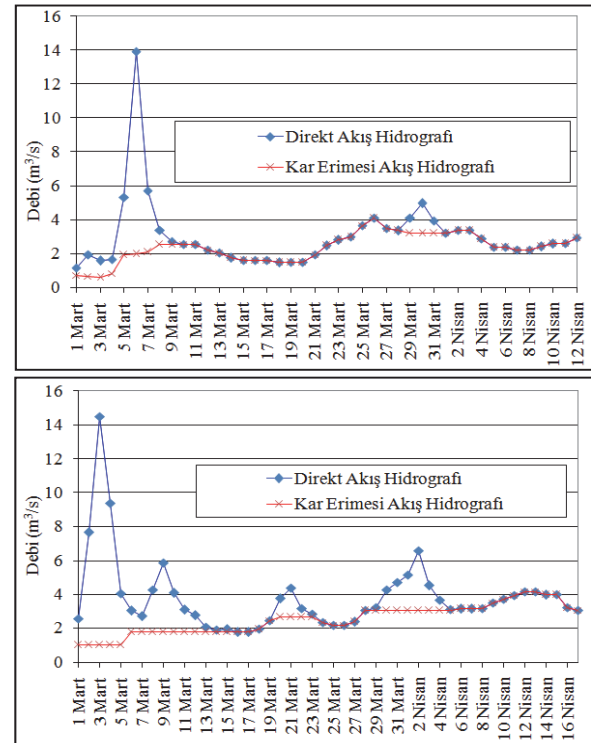
erime dönemi boyunca ortalama değer olarak bulunmuştur.

$$C_s = \frac{\text{Yüzeysel akışa geçen kar hacmi}}{\text{Toplam kar erime hacmi}}$$

$$C_R = \frac{\text{Yüzeysel akışa geçen yağmur hacmi}}{\text{Toplam yağmur hacmi}} \quad (8)$$



Şekil 10. Toplam hidrograf, baz akım ve yağış (Total hydrograph, base flow & precipitation)



Şekil 11. Kar erime ve direkt akış hidrografi (Snowmelt and direct runoff hydrographs)

iv. *Debi Geri Çekilme Katsayısı (Flow Recession Coefficient)*

Bir güne ait debi değerinin, bir sonraki günle olan ilişkisini belirleyen bir parametredir. SRM, debi geri çekilme katsayısını Eşitlik 9'a göre belirlemektedir. Bu denklemde bulunan "x" ve "y" pozitif ve sabit sayılardır [26]. Yüksek debilerde geri çekilme katsayısı küçük iken, debi değerleri küçüldükçe geri çekilme katsayısı artışı gösterir.

$$k_{n+1} = x \cdot Q_n^{-y} \quad (9)$$

Bu çalışmada debi geri çekilme katsayısı; 2004 ve 2005 yıllarına ait hidrograflardan faydalanılarak, yağmur yağışının ve kar erimesinin olmadığı günlere ait ardıl debi değerlerinin uygun şekilde kullanılması sonucu elde edilmiştir.

v. *Derece-Gün Faktörü (Degree-Day Factor)*

SRM; derece-gün faktörü değerlerini (a, cm/(°C.day)), derece-gün değerleri (T, °C.day) ile birlikte kullanarak, günlük eriyen karın su eşdeğerini (M, cm) hesaplamakta kullanılmaktadır (Eşitlik 10).

$$M = a \cdot T \quad (10)$$

Derece-gün faktörü değerleri, arazide kar örtüsü parametrelerinin (yoğunluk, derinlik) zamanla değişimlerine bağlı olarak belirlenmelidir. Ancak kar ölçümleri en sık 15 günde bir yapıldığı için, detaylı verinin eksiliğinde, derece-gün faktörünün belirlenmesinde ampirik bir denklem kullanılabilir (Eşitlik 11) [15].

$$a = 1,1 \frac{\rho_s}{\rho_w} \quad (11)$$

Bu denklemde kullanılan kar yoğunluğu ( $\rho_s$ ) değerleri; EİEİ tarafından işletilen 18-K10 (Sarız) ve 18-K11 (Yedioluk) KGİ'lerden elde edilen uzun yılların (1978-2005) ortalamasından elde edilmiştir. Suyun yoğunluk ( $\rho_w$ ) değeri ise saf su olduğu için uygun sıcaklık kabulü ile 1,0 g/cm<sup>3</sup> olarak kullanılmıştır. 18-K10 ve 18-K11 KGİ'de uzun yılların ortalama kar yoğunluğu değerleri ile 2004 ve 2005 yıllarına ait kar yoğunluğu değerleri ise Tablo 2'de gösterilmektedir.

vi. *Sıcaklık Değişme Oranı (Temperature Variation Ratio)*

Sıcaklık değişme oranı, yüksekliğe bağlı olarak sıcaklığın azalma miktarını ifade etmektedir. Havzada yükseklik ile birlikte sıcaklığın değişimini sorgulayabilecek, Sarız DMİ istasyonu dışında bir meteoroloji istasyonu olmadığından, sıcaklık değişme oranı ( $\gamma$ ) SRM kılavuzunda önerilen 0,65°C/100 m değeri alınarak modellenmiştir [15].

**Tablo 2.** Kar yoğunluğu değerleri (g/cm<sup>3</sup>) (Snow density values)

Ay	Uzun yılların ortalaması		2004 yılı kar yoğunluğu		2005 yılı kar yoğunluğu	
	18-K10	18-K11	18-K10	18-K11	18-K10	18-K11
Mart	0,35	0,30	0,31	0,31	0,35	-
Nisan	0,39	0,43	-	-	-	-

vii. *Kritik Sıcaklık (Critical Temperature)*

SRM, kritik sıcaklığı baz alarak, gerçekleşen yağışın tipini yani, yağmur veya kar olup olmadığını belirlemede kullanır [15]. Bu durum göz önüne alındığında ve yağış-zaman verilerinden elde edilen bilgiler sonucunda 0,01°C'nin kritik sıcaklık olarak kullanılmasının uygun olduğu görülmektedir.

viii. *Yağmur Katkı Alanı (Rain Contribution Area)*

Kar örtüsünün doymuş olup olmadığını ifade eden parametredir. 18-17 AGİ'nin; 2004 yılı 1 Mart – 12 Nisan ve 2005 yılı 1 Mart – 17 Nisan tarihleri arasındaki değişimine bakıldığında yağmurlu günlerde hidrografta belirgin şekilde piklerin oluşması nedeniyle her iki yıl ve zon için de; kar örtüsünün tüm bir erime dönemi boyunca doymuş olması; yağmur yağışının tüm havza alanından akışa katkı sağladığı (RCA=1) anlamına gelmektedir.

ix. *Gecikme Zamanı (Lag Time)*

Gecikme zamanı; modellenen havzada, sıcaklığın yükselmeye başladığı zaman ile hidrografın yükselmeye başladığı zaman arasındaki farktır. Mevcut hidrograf verileri gün içerisindeki ortalama debi değerlerini gösterme ile sınırlıdır. Bu nedenle gecikme zamanının belirlenmesinde Dünya Meteoroloji Örgütü'nün (WMO) karşılaştırmalı olarak yaptığı çalışmadan gecikme zamanı değeri belirlenmiştir [15]. Sonuç olarak analizlerde kullanılan tüm değerler Durum 1 (Tablo 3) ve Durum 2 (Tablo 4) için belirlenmiştir.

**3. SRM ÇIKTILARI VE TARTIŞMA (SRM OUTPUTS AND DISCUSSION)**

SRM programında, Sarız Çayı Havzasının 2004 ve 2005 yılı erime döneminde kar erimesi sonucu oluşan akım benzetiminde iki durum göz önüne alınarak koşturma yapılmıştır. Elde edilen değişken ve parametre değerleri doğrudan Durum 1'de uygulanmıştır. Durum 2'de ise, Durum 1'de kullanılan akış ve debi geri çekilme katsayılarının düzeltilmiş (kalibre edilmiş) değerleri kullanılmıştır. Koşturma sonuçları Şekil 12, Şekil 13 ve Tablo 5'te gösterilmektedir.

**Tablo 3.** Durum 1’de kullanılan parametreler (Parameters used in case 1)

Yıl	Tarih Aralığı	Sıcaklık Değ. Oranı	$T_{kr}$ (°C)	$a$ (cm/C. day)	Gecikme zamanı (hr)	$c_S$	$c_R$	RCA	$x$	$y$
2004	1-4 Mart	0,65	0,01	0,34	9	0,29	0,42	1	0,9729	0,1395
	5-6 Mart	0,65	0,01	0,34	9	0,29	0,42	1	1,6076	0,5736
	7-19 Mart	0,65	0,01	0,34	9	0,29	0,42	1	0,9729	0,1395
	20-28 Mart	0,65	0,01	0,40	9	0,29	0,42	1	0,9729	0,1395
	29-31 Mart	0,65	0,01	0,40	9	0,29	0,17	1	0,9729	0,1395
	1-12 Nisan	0,65	0,01	0,45	9	0,29	0,17	1	0,9729	0,1395
2005	1-15 Mart	0,65	0,01	0,36	9	0,22	0,28	1	1,0007	0,1337
	16-20 Mart	0,65	0,01	0,41	9	0,22	0,28	1	1,0007	0,1337
	21-27 Mart	0,65	0,01	0,41	9	0,22	0,57	1	1,0007	0,1337
	28-31 Mart	0,65	0,01	0,41	9	0,22	0,23	1	1,0007	0,1337
	1-17 Nisan	0,65	0,01	0,45	9	0,22	0,23	1	1,0007	0,1337

**Tablo 4.** Durum 2’de kullanılan parametreler (Parameters used in case 2)

Yıl	Tarih Aralığı	Sıcaklık Değ. Oranı	$T_{kr}$ (°C)	$a$ (cm/C. day)	Gecikme zamanı (hr)	$c_S$	$c_R$	RCA	$x$	$y$
2004	1-4 Mart	0,65	0,01	0,34	9	0,26	0,30	1	0,9865	0,1366
	5-6 Mart	0,65	0,01	0,34	9	0,26	0,42	1	1,6076	0,5736
	7-19 Mart	0,65	0,01	0,34	9	0,26	0,42	1	0,9865	0,1366
	20-28 Mart	0,65	0,01	0,40	9	0,42	0,42	1	0,9865	0,1366
	29-31 Mart	0,65	0,01	0,40	9	0,42	0,17	1	0,9865	0,1366
	1-12 Nisan	0,65	0,01	0,45	9	0,42	0,17	1	0,9865	0,1366
2005	1-2 Mart	0,65	0,01	0,36	9	0,26	0,20	1	0,9865	0,1366
	3-4 Mart	0,65	0,01	0,36	9	0,26	0,20	1	1,6076	0,5736
	5-15 Mart	0,65	0,01	0,36	9	0,26	0,28	1	0,9865	0,1366
	16-20 Mart	0,65	0,01	0,41	9	0,42	0,28	1	0,9865	0,1366
	21-27 Mart	0,65	0,01	0,41	9	0,42	0,57	1	0,9865	0,1366
	28-31 Mart	0,65	0,01	0,41	9	0,42	0,23	1	0,9865	0,1366
1-17 Nisan	0,65	0,01	0,45	9	0,42	0,23	1	0,9865	0,1366	

Durum 1 koşturması sonucu; 2004 yılı için ölçülen akış hacmi ile hesaplanan akış hacmi arasında toplamda %18,42 civarında bir hacim farkı mevcuttur ve ölçülen hidrograf ile hesaplanan hidrograf arasındaki belirleme katsayısı ise  $R^2=0,4956$  değerindedir. 2005 yılı için ise ölçülen akış hacmi ile hesaplanan akış hacmi arasında toplamda %23,82 civarında bir hacim farkı mevcuttur ve ölçülen hidrograf ile hesaplanan hidrograf arasındaki belirleme (determination) katsayısı ise  $R^2=0,4905$  değerindedir (Şekil 12). Akımın pik döneminden ziyade çekilme döneminde farklılıkların ortaya çıkmasının; gündüz kar erimesi ve akım oluşumu, gece donma ve akımın durmasının süre ve şiddetine bağlı olarak değişmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

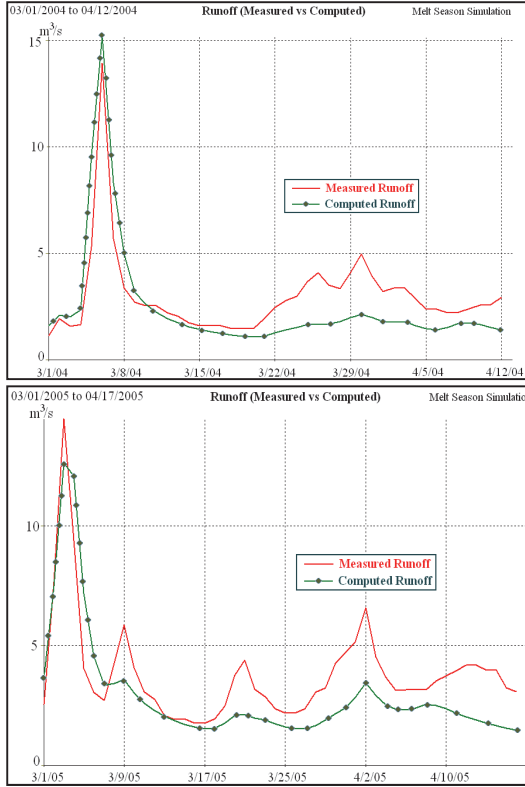
Aynı koşturmalar Durum 2 için değiştirilen parametreler kullanılarak yapıldığında ise; hacimler arası farklar 2004 yılı için %12 ( $R^2=0,7480$ ), 2005 yılı Mart-Nisan dönemi için %9 ( $R^2=0,8282$ ) olarak bulunmuştur (Şekil 13, Tablo 5). Literatürde yapılan

çalışmalarda, belirli dönemlerde hacim farkının %1’den %9’lara,  $R^2$  değerinin ise 0,94’ten 0,66 değerlerine kadar değiştiği örnekler bulunmaktadır [11, 13, 17, 27]. Mevcut verilerin azlığı, havzanın zemin yapısı ile ilgili bilgilerin ve erime dönemlerinde zemin sıcaklığı hakkındaki verilerin eksikliğine rağmen, bu çalışmada elde edilen sonuçların yüzey akış değerlerindeki muhtemel değişikliklerin eğilimini olabilecek en iyi düzeyde yansıtabileceği düşünülmektedir.

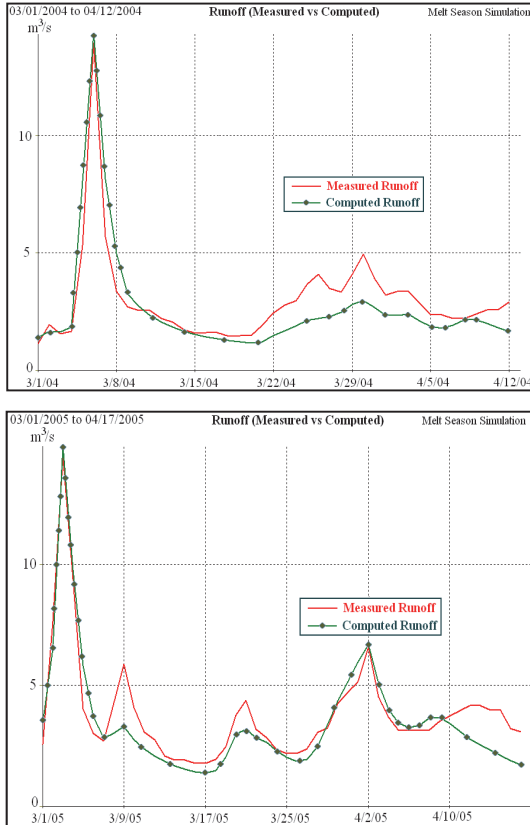
**Tablo 5.** Koşturmalardan elde edilen sonuçlar (Results obtained from the runs)

Koşturma	Durum 1		Durum 2	
	$R^2$	V (%)	$R^2$	V (%)
2004	0,4956	18,42	0,7480	12,00
2005	0,4905	23,82	0,8282	9,00





**Şekil 12.** 2004 ve 2005 yılları için kar erime akım hidrografı benzetimleri (Durum 1) (Simulations of snowmelt runoff hydrographs for 2004 and 2005 (Case 1))



**Şekil 13.** 2004 ve 2005 yılları için kar erime akım hidrografı benzetimleri (Durum 2) (Simulations of snowmelt runoff hydrographs for 2004 and 2005 (Case 2))

#### 4.SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada, Sarız Çayı Havzası'nın karla kaplı gün sayısı ve kar erime akım dönemindeki akış değerleri bakımından diğer yıllara göre daha yüksek olan 2004 ve 2005 yıllarına ait kar erime dönemi akış hidrograflarının benzetimi yapılmıştır. Bu benzetimde kullanılan kar erimesi akışı hidrolojik modelleme programı olan SRM'nin en önemli girdilerinden olan oransal kar örtüsü değerleri; CBS teknikleriyle oluşturulan Sarız Çayı Havzası'nın sayısal arazi modeli ve uydu görüntülerinin bu havza sınırlarında kalan bölümünün yine CBS teknikleriyle kesilip kullanılması ile elde edilmiştir. Böylece, Uzaktan Algılama ve CBS tekniklerinin kar erime akım modeli çalışmalarındaki etkin şekilde kullanımı örneklenmiştir. Çalışmada, Terra ve Aqua uydularında bulunan MODIS algılayıcısıyla elde edilen görüntülerin kullanılma nedenleri; konumsal (500x500 m) ve zamansal çözünürlüğün (1 gün) yüksek olması, kar örtüsü ile bulut örtüsünün birbirinden ayırt edilmiş olarak görüntülenmesi ve karla kaplı alanların oransal kar örtüsü içerikli veriye sahip olmasıdır.

Uydu görüntüleri ve CBS tekniklerinden oldukça faydalanılan bu çalışmada normal koşullarda modele girecek değişken ve parametrelerin çok hassas şekilde belirlenmesi gereklidir. Ancak modelin uygulama alanı olarak seçilen havzanın mevcut veri bankası bu hassasiyete yeterince olanak sağlamamaktadır. KKA değişimleri, sıcaklık, yağış, debi geri çekilme katsayıları, derece gün faktörü, kritik sıcaklık, yağmur katkı alanı, gecikme zamanı ve derece gün değeri gibi değişken ve parametreler doğrudan verilerden hesaplanırken, sıcaklığın yüksekliğe göre değişim değeri (0,65°C/100m) ve kritik sıcaklık (0,01°C) parametreleri literatürdeki daha önceki yapılan çalışmalardan faydalanılarak tespit edilmiştir.

Özellikle Durum 2'de hidrografın benzetiminde uyum değişikliklerinin yapılması gerekmiştir. Mevcut yağış verilerinin plüvyograf değerleri yerine manuel olarak günlük kayıtlı değerler olması nedeniyle birtakım varsayımlara gidilmiştir.

Yukarıda sıralanan sebeplerden dolayı her ne kadar kar örtüsü birikme dönemlerinde modelle tahmin edilen akım değerleri gözlenen değerlere oldukça yakın olsa da, hidrografın çekilme dönemlerinde yani havzadan akımın boşaldığı dönemlerde tahmin edilen ve gözlenen değerler arası fark biraz daha büyüktür. Bu farklar havzanın zemin yapısı ile oldukça ilgilidir. Ancak havzanın zemin yapısı ile ilgili bilgilere ve erime dönemlerinde zemin sıcaklığı hakkında verilere erişilememiştir.

Benzetimde havzayı tam olarak temsil edeceğine inanılan değişken ve parametreler kullanılmış ve sonuçların belli bir istatistiksel güven aralığı

içerisinde tatmin edici olduğu düşünülmektedir. Örneğin, Durum 2 koşturmasında kullanılan ortalama akış ve geri çekilme katsayıları, hidrograf benzetiminin artmasını sağlamıştır. Kullanılan parametre değerlerinin, arazi çalışmaları ile desteklenmeleri durumunda gelecekte yapılacak çalışmalar için model çıktılarının daha işlevsel hale geleceği ve baraj işletme çalışmalarında kullanılabileceği söylenebilir.

#### SEMBOLLER VE KISALTMALAR (SYMBOLS AND ABBREVIATIONS)

$\alpha$	Derece-gün faktörü
$A$	Havza veya zon alanı
$c_R$	Yağmur akış katsayısı
$c_S$	Kar akış katsayısı
$k(x,y)$	Debi geri çekilme katsayıları
$L$	Gecikme zamanı
$M$	Kar su eşdeğeri
$P$	Akışa geçen yağış yüksekliği
$Q$	Ortalama günlük debi
$R^2$	Benzetilen hidrograflar arasındaki sapmayı ifade eden katsayı
$S$	Karla kaplı alanın toplam alana oranı
$T$	Derece gün değeri
$T_{kr}$	Kritik sıcaklık
$T_{max}$	Maksimum hava sıcaklığı
$T_{min}$	Minimum hava sıcaklığı
$T_{ort}$	Ortalama hava sıcaklığı
$\Delta T$	Yüksekliğe bağlı sıcaklık farkı
$\gamma$	Sıcaklık değişme oranı
$\rho_s$	Kar yoğunluğu
$\rho_w$	Su yoğunluğu
AGİ	Akım Gözlem İstasyonu
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
DMİ	Devlet Meteoroloji İşleri
DSİ	Devlet Su İşleri
EİEİ	Elektrik İşleri Etüt İdaresi
FSC	Fractional Snow Cover (Oransal Kar Örtüsü)
GIS	Geographic Information Systems (Coğrafi Bilgi Sistemleri)
KGİ	Kar Gözlem İstasyonu
KKA	Karla kaplı alan
MGİ	Meteoroloji Gözlem İstasyonu
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (Orta Ölçülü Çözünürlüklü Görüntüleme Aygıtı)
MOD10A1	Terra/MODIS Seviye 3, (500 m) günlük kar ürünleri
MYD10A1	Aqua/MODIS Seviye 3, (500 m) günlük kar ürünleri
NDSI	Normalized Difference Snow Index (Normalize Fark Kar İndeksi)
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index (Normalize Fark Bitki Örtüsü İndeksi)
RCA	Yağmur katkı alanı
RS	Remote Sensing (Uzaktan Algılama)

SRM	Snowmelt Runoff Model (Kar Erime Akım Modeli)
WMO	Dünya Meteoroloji Örgütü

#### TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Yazarlar, bu çalışmayı; 06/2008-02 kodlu Bilimsel Araştırma Projesi (BAP) kapsamında destekleyen Gazi Üniversitesi'ne, topoğrafik haritaların bir kısmı ve hidrometeorolojik verilerin "Kar Erimesinden Oluşan Akım Hacminin Hidrolojik Modelleme ile Belirlenmesi" konulu protokol kapsamında temini konusunda katkılarından DSİ'ye, meteorolojik verilerin bir kısmının sağlanması konusunda desteklerinden ötürü DMİ Genel Müdürlüğü'ne ve çalışmaya katkılarından dolayı İnş.Y.Müh. Gökhan Taşdemir'e teşekkür eder.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Gürer, İ., **Kar Erimesi ve Akımı (Uludağ Örneği)**, Doçentlik Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, 1982.
- Wurbs, R.A., **Water Management Models**, Prentice Hall PTR, New Jersey, A.B.D., 1995.
- Day, C.A., "Modelling Impacts of Climate Change on Snowmelt Runoff Generation and Streamflow Across Western US Mountain Basins: A Review of Techniques and Applications for Water Resource Management", **Progress in Physical Geography**, Cilt 33, No 5, 614-633, 2009.
- Rango, A. ve Martinec, J., "Revisiting the Degree-Day Method for Snowmelt Computations", **Water Resources Bulletin**, Cilt 31, No 4, 657-669, 1995.
- Singh, V.P., **Computer Models of Watershed Hydrology**, Water Resources Publications, Colorado, A.B.D., 1995.
- Baumgartner, M.F. ve Apfl, G., "Towards an Integrated Geographic Analysis with Remote Sensing, GIS and Consecutive Modeling for Snow Cover Monitoring", **International Journal of Remote Sensing**, Cilt 15, No 7, 1507-1517, 1994.
- Baumgartner, M.F., Seidel ve K., Martinec, J., "Toward Snowmelt Runoff Forecast Based on Multisensor Remote Sensing Information", **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, Cilt 25, No 6, 746-750, 1987.
- Taşdemir, G., **Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Birlikte Kullanılması ile Kar Erimesi Akış Hidrografının Benzetimi (Sarız Çayı Havzası Örneği)**, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2009.
- Tudes, S., "Proposal of the Analytical Model on the Evaluation of the Geological Thresholds in Planning: Case Study Portsmouth (England)", **Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University**, Cilt 26, No 2, 273-288, 2011.

10. Yuksel, U.D. ve Yilmaz, O., "A Study on Determining and Evaluating Summertime Urban Heat Islands in Ankara at Regional and Local Scale Utilizing Remote Sensing and Meteorological Data" **Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University**, Cilt 23, No 4, 937-952, 2008.
11. Butt, M.J. ve Bilal, M., "Application of Snowmelt Runoff Model for Water Resource Management", **Hydrological Processes**, Cilt 25, No 24, 3735-3747, 2009.
12. Acar, R., Senocak, S. ve Sengul, S., "Snow Hydrology Studies in the Mountainous Eastern Part of Turkey", **IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM 2009)**, Hong Kong, China, 1578-1582, 08-11 Aralık 2009.
13. Mu, Z., Jiang, H, Peng, L. ve He, Y., "A Digital Hydrological Model of High Cold Alpine Areas and Its Application", **6<sup>th</sup> International Symposium on Digital Earth - Data Processing and Applications**, Beijing, China, Cilt 7841, No 78411N, 09-12 Eylül 2009.
14. DSİ, **Yukarı Seyhan Master Planı**, Verbundplan GmbH, Cilt 1, Türkiye, 1984.
15. Martinec, J., Rango, A., Roberts, R., **WinSRM 1.11-Snowmelt Runoff Model User's Manual**, Editörler: Gomez-Landesa E. ve Bleiweiss, P.M., New Mexico State University, Las Cruces, New Mexico, A.B.D., 2008.
16. Rango A., "Spaceborne Remote Sensing for Snow Hydrology Applications", **Hydrological Sciences Journal**, Cilt 41, No 4, 477-494, 1996.
17. Tekeli A.E., Akyurek, Z., Sorman, A.A., Sensoy, A. ve Sorman, A.U., "Using MODIS Snow Cover Maps in Modeling Snowmelt Runoff Process in the Eastern Part of Turkey", **Remote Sensing of Environment**, Cilt 97, No 2, 228-229, 2005.
18. Hall, D.K. ve Riggs, G.A., "Accuracy Assessment of the MODIS Snow Products", **Hydrological Processes**, Cilt 21, No 12, 1534-1547, 2007.
19. Hall, D.K., Riggs, G.A., Salomonson, V.V., DiGirolamo, N.E. ve Bayr, K.J., "MODIS Snow-Cover Products", **Remote Sensing of Environment**, Cilt 83, No 1-2, 181-194, 2002.
20. Klein, A.G., Hall, D.K. ve Riggs, G.A., "Improving Snow-Cover Mapping in Forests Through the Use of a Canopy Reflectance Model", **Hydrologic Processes**, Cilt 12, No 10-11, 1723-1744 (1998).
21. Riggs, G.A. ve Hall, D.K., "Reduction of Cloud Obscuration in the MODIS Snow Data Product", **59<sup>th</sup> Eastern Snow Conference**, Stowe, Vermont, A.B.D., 2002.
22. Li, B., Zhu, A., Zhou, C., Zhang, Y., Pei, T. ve Qin, C., "Automatic Mapping of Snow Cover Depletion Curves Using Optical Remote Sensing Data Under Conditions of Frequent Cloud Cover and Temporary Snow" **Hydrological Processes**, Cilt 22, No 16, 2930-2942, 2008.
23. Salomonson, V.V. ve Apel, I., "Estimating Fractional Snow Cover From MODIS Using the Normalized Difference Snow Index (NDSI)", **Remote Sensing of Environment**, Cilt 89, No 3, 351-360, 2004.
24. Dobрева, I.D. ve Klein, A.G., "Fractional Snow Cover Mapping Through Artificial Neural Network Analysis of MODIS Surface Reflectance" **Remote Sensing of Environment**, Cilt 115, No 12, 3355-3366, 2011.
25. Salomonson, V.V. ve Apel, I., "Development of the Aqua MODIS NDSI Fractional Snow Cover Algorithm and Validation Results", **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, Cilt 44, No 7, 1747-1756, 2006.
26. Martinec, J. ve Rango, A., "Parameter Values for Snowmelt Runoff Modeling", **Journal of Hydrology**, Cilt 84, No 3-4, 197-219, 1986.
27. Dey, B., Sharma, V.K. ve Rango, A., "A Test of Snowmelt Runoff Model for a Major River Basin in Western Himalayas", **Nordic Hydrology**, Cilt 20, No 3, 167-178, 2009.

