

TÜRKİYEDEKİ KARLA KAPLI ALANLARIN UYDULARDAN TAKİBİ VE UZUN YILLAR TREND ANALİZİ

İbrahim SÖNMEZ¹, Ahmet Emre TEKELİ², Erdem ERDİ³

¹Yrd. Doç. Dr., Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Meteoroloji Mühendisliği Bölümü, 55420, Samsun, isonmez@omu.edu.tr

²Yrd. Doç. Dr., King Saud University, Civil Engineering Department, Riyadh, 11421, atekeli@ksu.edu.sa

³Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Uzaktan Algılama Şubesi, 06120, Ankara, erdi@mgm.gov.tr

ÖZET

Su insanlığın en önemli ihtiyaçlarından birisi olmakla beraber, yeryüzüne yağmur veya kar şeklinde düşer. Her iki yağış içerik olarak su olsa da oluşması, gelişmesi ve gözlemlenmeleri noktalarından yağmur ve kar birbirlerinden farklıdır. Yüksek yansıtma özelliği ve düşük sıcaklık iletkenliğine sahip olan kar, toprak yüzey neminde ve ilk bahar aylarında gelecek olan akım seviyelerinde direk etkisi olmakla beraber, meteoroloji, hidroloji ve iklim değişikliği uygulamaları için önemli bir parametredir. Dağlık alanlarda doğan nehirlerimiz çoğunlukla bahar zamanında meydana gelen kar erimelerinden beslenmektedir. Her ne kadar kar erimesi nehirlerimiz için önemli bir potansiyel teşkil etse de sınırlı sayıdaki yer gözlem istasyonları ve zor topografya nedeni ile ülkemizde kar örtüsü etkin bir şekilde izlenememektedir. Dolayısıyla uydu tabanlı uzaktan algılama veri ve ürünlerinin karla kaplı alanların tespitinde kullanılması hem iklimsel çalışmalar hem de operasyonel kullanım için son derece önemlidir. Bu çalışmada, uydu verileri kullanılarak Interactive Mapping System ile üretilmiş günlük kar ürünü kullanılarak Türkiye genelinde ve yedi coğrafi bölgeye göre karla kaplı alanların 2008-2011 yılları arasındaki değişimi incelenmiştir. Uygulanan Mann-Kendall testi aracılığı ile karla kaplı alanlardaki değişimlerin istatistiksel olarak anlamlılığı araştırılmıştır. Türkiye geneli için dört yıllık süre ve mevsimlere göre uygulanan test istatistiklerinde Türkiye genelinde azalan trend tespit edilmiştir. Bölgelere göre yapılan test uygulamalarında ise, dört yıllık süre için tüm bölgelerde azalan trend gözlenirken sonbahar mevsiminde tüm bölgeler için artan trend gözlenmiştir.

Anahtar Sözcükler: Kar örtüsü, IMS uydu verisi, iklim değişikliği, trend analizleri

ABSTRACT

SATELLITE BASED SNOW COVER MONITORING OVER TURKIYE AND LONG TERM TREND ANALYSIS

Water is one of the crucial needs of the humanity and the major source of it is precipitation, either in the form of rainfall or the snowfall. Despite the fact that both are water compound, there are major differences between them with respect to their formations, processes and monitoring. Snow, with its high albedo and low thermal conductivity, has major implications on the surface soil moisture and the available water for runoff that have direct consequences on the meteorology, hydrology and water resources. Majority of rivers in Türkiye that originate from the mountainous regions receive their water mainly from melting snow during the spring. Despite this fact, snow monitoring over Türkiye is limited due limited ground observation sites in association with the complex topography. For this reason, satellite based remote sensing data and products are very important to obtain snow cover information not only to be used in climatological studies but also in operational purposes. In this study, the IMS snow cover product is analyzed to examine the snow cover trend over Türkiye and with respect to the seven geographical sub-climatological regions covering the 2008-2011 period. The significance of the snow cover trend is introduced by Mann-Kendall trend test with runs for whole period and each season. The analysis over Turkey for the study period and each season indicated decreasing trend for the snow cover amount. On the other hand, the analysis with respect to the sub-climatological regions indicated decreasing trend for the four year period considered while increasing trend is observed in autumn for each sub-climatological region.

Keywords: Snow cover, IMS satellite data, climate change, trend analysis.

1. GİRİŞ

Kuzey yarım kürede Ocak ayında 46.5 milyon kilometre kare olan ve Ağustos ayında ise 3.8 milyon kilometre kareye düşen kar örtüsü (Robinson vd. 1993), deniz buzundan sonra yer yüzünde en çok değişkenlik gösteren (Papa vd., 2002) yer yüzü örtüsü olma özelliğine sahiptir. Kar örtüsünün bu derece değişkenlik göstermesi ile enerji akıllarındaki büyük etkisi göz önüne alınınca, karla kaplı alanların takibinin önemi kendiliğinden ortaya çıkmaktadır. Rees (2006) ve Mognard (2003), kış aylarında 46 milyon kilometre kareyi bulan kar örtüsünün mevcut yer gözlem ağları ile ölçülme yetersizliğinden bahsetmektedirler.

Yüksek zamansal ve mekansal çözünürlüğe sahip uyduların kullanımı, kar örtüsünün izlenmesi konusunda büyük bir yenilik yapmıştır (Wang ve Xie, 2007). Elektromagnetik spektrumun kısa dalga boyunda (0.4-0.7 μ m) yüksek yansıma değerine sahip olan kar örtüsü diğer yeryüzü örtülerinden ayırt edilebilmektedir. Bu özelliğinden dolayı 1960'lardan beri karla kaplı alanların tespitinde başarılı çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar arasında görsel analizler, basit bant oranları, çoklu eşik kriterleri ve tam otomatik sistemler gösterilmektedir (Robinson vd. 1993; Hall vd. 1995, Crane ve Anderson 1984; Dozier 1989; Gessel 1989; Romanov vd. 2000; Hall vd. 2002; Simic vd. 2004; Tekeli vd. 2005).

Bu çalışmada ise, Interactive Multisensor Snow and Ice Mapping System (IMS) günlük kuzey yarım küre kar ve buz analiz veri seti kullanılarak Türkiye için karla kaplı alanlardaki değişim incelenmiştir. 2008-2011 yılları arasındaki IMS verileri kullanılarak elde edilen günlük karla kaplı alan yüzdeleri kullanılarak trend analizi için Mann-Kendall testi kullanılmıştır. Analiz sonuçları, aynı çalışma periyodu için mevsimler bazında da sunulmuştur. Çalışmanın ikinci kısmında ise, aynı çalışma Türkiye'nin coğrafi bölgeleri için tekrarlanmış ve bölgesel karla kaplı alan yüzdelere ait trend analizleri mevsimsel olarak incelenmiştir.

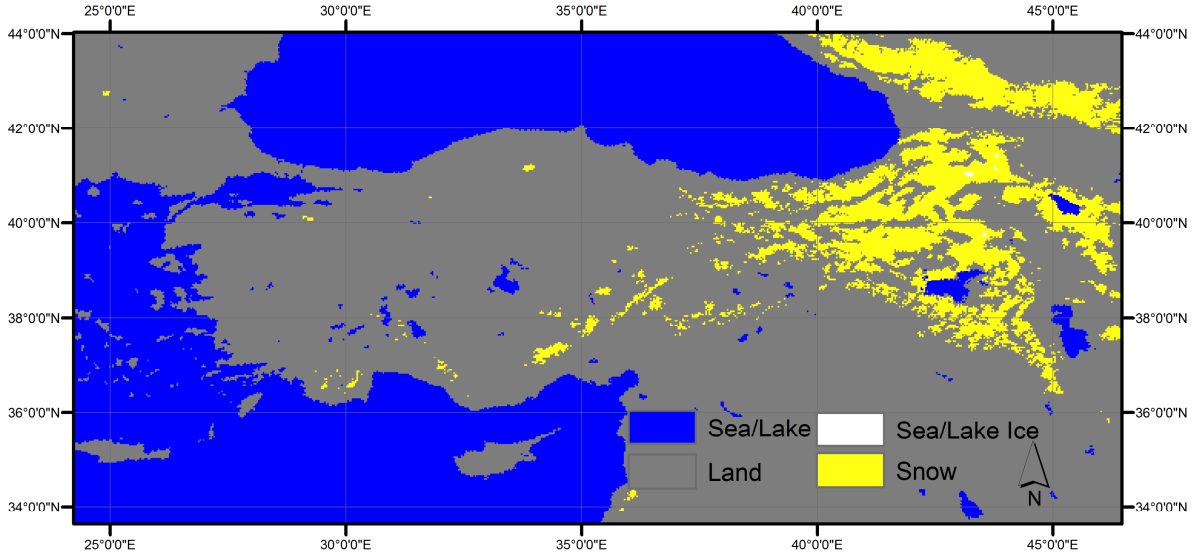
2. IMS VERİ SETİ

National Oceanic and Atmospheric Administration's (NOAA)'ya bağlı olarak çalışan National Environmental Satellite Data and Information Service (NESDIS) tarafından 1966 yılının kasım ayından itibaren haftalık olarak sağlanan karla kaplı alan haritaları, uzay tabanlı elden edilen en uzun veri seti olarak bilinmektedir (Ramsay,1998). 1995 yılından itibaren NOAA, karla kaplı alan haritalarının günlük olarak elde edilmesine imkan verecek IMS sistemini geliştirmeye başladı (NSIDC, 2009).

IMS günlük karla kaplı alan haritalarının elde edilmesi için çeşitli uydu verileri kullanılmaktadır. Temel olarak optik bantta, kutupsal yörüngeli uydularda bulunan Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) ve Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) enstrümanları yanında sabit yörüngeli Geostationary Operational Environmental Satellites (GOES), Geostationary Meteorological Satellites (GMS) ve Meteosat uyduları kullanılmaktadır. Optik uydulara nazaran düşük yersel çözünürlüklerine rağmen, gece ve bulutlu şartlarda görüntü alabilme imkanına sahip pasif mikro dalga aralığında çalışan Advanced Microwave Sounding Unit (AMSU) and Special Sensor Microwave Imager (SSM/I) uydularından da yararlanılmaktadır. Bunlara ek olarak da, United States Air Force Snow and Ice Analysis Product ve National Operational Hydrologic Remote Sensing Center (NOHRSC) den elde edilen kar ürünleri ve NESDIS ve National Centers for Environmental Prediction'dan elde edilen çeşitli altlıklar da kullanılmaktadır (NSIDC, 2009). Tüm veri setleri kullanılarak yakın gerçek zamanlı ihtiyaçları karşılayacak şekilde günlük karla kaplı alan haritaları oluşturulmaya çalışılmaktadır. Veri işlemlerinin detaylarını içeren daha geniş bilgilere, NSIDC'in ilgili web sitesinden ulaşılabilir. Nihai ürün olan IMS karla kaplı alan haritaları, zamansal olarak günlük, mekansal olarak da 4 km çözünürlük ile üretilmektedir. Herbir IMS pikseli Çizelge 1'de belirtilen sınıflardan biri ile kategorize edilmektedir. Şekil 1 ise, 30 Nisan 2007 tarihine ait Türkiye ve civarındaki örnek IMS verisini göstermektedir.

Çizelge 1. IMS verisine ait sınıf değişkenleri.

Değer	Sınıf
1	Deniz
2	Kara
3	Deniz buzu
4	Kar



Şekil 1. 30 Nisan 2007 gününe ait Türkiye için kesilmiş IMS verisi.

3. TREND ANALİZİ

3.1 Karla Kaplı Yüzdelerin Hesaplanması

IMS verilerine ait trend analizinin ilk aşaması olarak günlük karla kaplı yüzdelere (KKY) hesaplanmıştır. Gerek Türkiye gerekse bölgesel olarak KKY değerleri hesaplanırken öncelikle ilgili coğrafi alan içerisindeki IMS pikselleri tespit edilmiştir. İkinci aşama olarak bu piksellere ait veri sınıflarından (Çizelge 1) 'kar' olanlar dikkate alınarak KKY değerleri aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$KKY = \frac{\text{Kar kaplı toplam piksel sayısı}}{\text{Toplam piksel sayısı}} * 100 \quad (1)$$

3.2 Mann-Kendall Trend Testi

Klasik parametrik testlerdeki normalite, lineerlik ve bağımsızlık gibi temel varsayımlar genellikle birçok veri seti tarafından sağlanmamaktadır. Dolayısıyla bazı çalışmalarda Sen'in T testi, Spearman'ın Rho testi gibi parametrik olmayan testler de yaygın olarak kullanılmaktadır. Diğer bir parametrik olmayan test olan Mann-Kendall testi birçok trend analizi çalışmalarında kullanılmıştır (Kadioğlu 1997; Zhang vd. 2001; Burn ve Elnur 2002).

Mann-Kendall testi, verilerin belirli bir dağılıma uyması zorunluluğu aramadığı için özellikle kullanışlıdır. Bu testte, x_1, \dots, x_n şeklinde sıralanmış gözlemler H_0 hipotezine göre zamandan bağımsız (trend içermeyen) rastgele değişkenlerdir. Alternatifi olan H_1 hipotezine göre ise, seri lineer bir trend içermektedir. Mann-Kendall test istatistiği olan S aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (2)$$

$$\text{sgn}(x_j - x_k) = \begin{cases} +1 & \text{eger } (x_j - x_k) > 0 \\ +0 & \text{eger } (x_j - x_k) = 0 \\ -1 & \text{eger } (x_j - x_k) < 0 \end{cases} \quad (3)$$

Standart normal dağılım özelliğine sahip z istatistik değeri ise S değeri kullanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{eger } S > 0 \\ 0 & \text{eger } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{eger } S < 0 \end{cases} \quad (4)$$

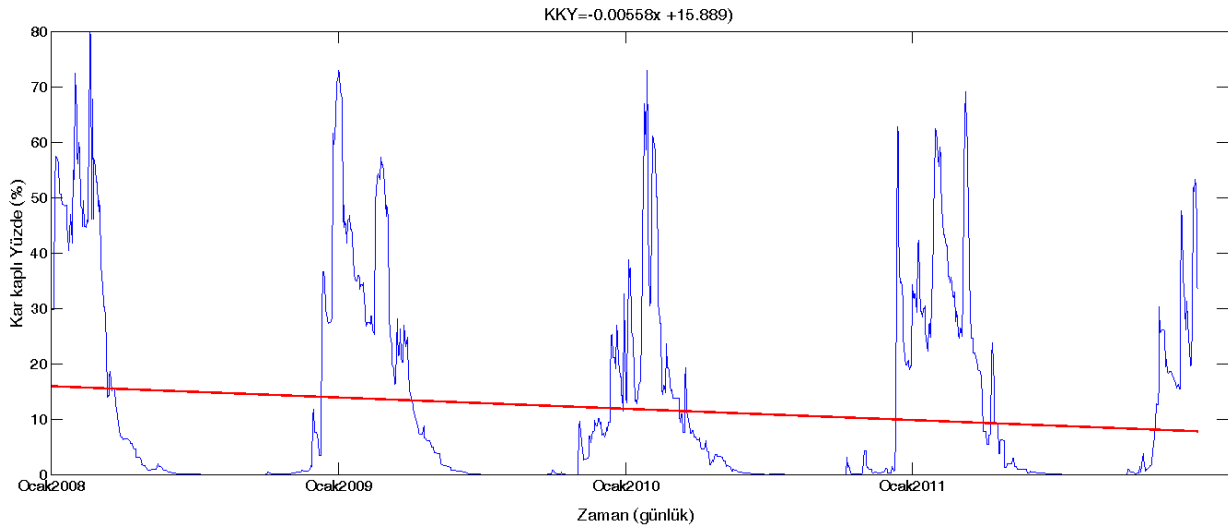
$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad (5)$$

Elde edilen z istatistik değeri, seçilen α anlamlılık düzeyine karşı gelen normal dağılımlı $z_{\alpha/2}$ değerinden küçükse H_0 hipotezi kabul edilmekte; yani incelenen seride trend olmadığı sonucuna varılmaktadır. Aksi takdirde H_1 hipotezi kabul edilerek serinin trend içerdiği sonucuna ulaşılmaktadır. Bu durumda S değeri pozitif ise artan, negatif ise azalan trend bulunduğu işaret etmektedir.

Hipotez testindeki diğer bir alternatif ise, seçilen α anlamlılık düzeyi ile test için hesaplan p-değerinin kıyaslanmasıdır. Eğer hesaplanan p-değeri seçilen α anlamlılık düzeyinden küçük ise H_0 hipotezi reddedilerek H_1 hipotezi kabul edilmektedir. Yani serinin trend içerdiği sonucuna varılmaktadır. Öte yandan, hesaplanan p-değeri seçilen α anlamlılık düzeyinden büyük ise H_0 hipotezi kabul edilerek serinin trend içermediğine hükmedilir.

3.3 Türkiye Genel Trend Analizi

Çalışmanın birinci kısmında Türkiye geneli için KKY trend analizi yapılmıştır. 2008-2011 dönemi için Türkiye'ye ait günlük KKY değişimi Şekil 2'de verilmiştir. Şekilden mevsimsel KKY değişimi açık bir şekilde görülmektedir. Zaman serisi olarak KKY verilerine uydurulan doğrusal denklem, Türkiye için karla kaplı alan yüzdesinde günlük ortalama 0,00558 azalmanın olduğunu ortaya koymaktadır.



Şekil 2. Türkiye için 2008-2011 dönemine ait günlük KKY değişimi ve uydurulan doğrusal denklem.

Günlük KKY değerlerinden oluşan zaman serisi ve mevsimsel alt gruplar için uygulanan Man-Kendall test sonucunda elde edilen p-değerleri Çizelge 2'de verilmiştir. Elde edilen p-değerleri $\alpha=0.05$ anlamlılık seviyesine(%95 güven aralığı) göre kıyaslandığında, her birinin α değerinden küçük olduğu görülmektedir. Dolayısıyla ' H_0 : Trend yok' hipotezi reddedilerek hem tüm mevsimler hem de her bir mevsim için KKY serisinin trend içerdiği sonucu elde edilmiştir. Her bir grup için hesaplanan S istatistik değeri negatif olduğundan trend türü azalan olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 2. 2008-2011 dönemi ve mevsimlere göre Türkiye için Mann-Kendall testi p-değerleri ve test sonuçları.

	p-değeri	H_0 : Trend yok	Trend
Tüm mevsimler	0.00406416	Red edildi	Azalan
Sonbahar	0.00000000	Red edildi	Artan
Kış	0.00000004	Red edildi	Azalan
İlkbahar	0.00000018	Red edildi	Azalan
Yaz	0.00049242	Red edildi	Azalan

3.4 Türkiye Bölgesel Trend Analizi

Çalışmanın ikinci kısmında KKY verilerine ait trend analizi Türkiye'deki coğrafi bölgeler için tekrarlanmıştır. Analizler bölgesel bazda hem 2008-2011 dönemi için hem de mevsimsel olarak yapılmıştır. Uygulanan Mann-Kendall testi sonucunda elde edilen p-değerlerine göre trend sonuçları ve trend türleri Çizelge 3'te verilmiştir.

Çizelge 3. 2008-2011 dönemi ve mevsimlere göre bölgeler için Mann-Kendall test sonuçlarına göre trend türleri.

	Karadeniz	Marmara	Ege	Akdeniz	İç Anadolu	Güneydoğu Anadolu	Doğu Anadolu
Tüm Mevsimler	Azalan	Azalan	Azalan	Azalan	Azalan	Azalan	Azalan
Sonbahar	Artan	Artan	Artan	Artan	Artan	Artan	Artan
Kış	Azalan	Trend Yok	Trend Yok	Trend Yok	Azalan	Azalan	Azalan
İlkbahar	Azalan	Azalan	Azalan	Azalan	Azalan	Azalan	Azalan
Yaz	Azalan	Trend Yok	Trend Yok	Azalan	Trend Yok	Kar Yok	Azalan

4. SONUÇLAR

Klasik gözlem şebekeleri birçok parametre gözleminde olduğu gibi karla kaplı alanların tespit edilmesinde de uzaysal ve zamansal ölçekte sınırlı gözlem bilgileri sağlamaktadır. Öte yandan, IMS gibi uydu verilerinden elde edilen karla kaplı alan verileri/ürünleri yüksek zamansal ve/veya kapsama alanı ile bu alandaki gözlem açığını kapatmaya adaydır. Özellikle bu tür uydu ürünlerinin gerek klimatolojik gerekse operasyonel amaç için kullanılması her geçen gün daha da artmaktadır.

Bu çalışmada, ülkemizdeki kar örtüsündeki değişimin anlaşılması için IMS verilerinden yararlanarak hesaplanan günlük karla kaplı yüzde değerleri kullanılarak trend analizi uygulanmıştır. Çalışmanın ilk aşamasında Türkiye geneli için Mann-Kendall trend testi uygulanmıştır. $\alpha=0.05$ anlamlılık seviyesine (%95 güven aralığı) göre elde edilen test sonuçları, 2008-2011 dönemi için Türkiye genelinde azalan trend göstermektedir. Mevsimsel olarak tekrarlanan test sonuçları da karla kaplı alanlarda azalan trend sonucu vermiştir.

Çalışmanın ikinci kısmında, trend analizi Türkiye'nin coğrafi bölgeleri için tekrarlanmıştır. 2008-2011 dönemi dikkate alındığında, tüm bölgeler için $\alpha=0.05$ anlamlılık seviyesinde (%95 güven aralığında) azalan trend tespit edilmiştir. Mevsimsel olarak yapılan test uygulamalarında ise değişen sonuçlara ulaşılmıştır. Sonbahar dönemi için tüm coğrafi bölgelerde karla kaplı alanlarda artan trend gözlenmiştir. Kış mevsiminde ise, Karadeniz, İç Anadolu, Güneydoğu Anadolu ve Doğu Anadolu bölgeleri için azalan trend sonuçları elde edilirken Marmara, Ege ve Akdeniz bölgelerinde ise karla kaplı alanların değişiminin trend içermediği sonucu elde edilmiştir. İlkbahar mevsiminde ise tüm coğrafi bölgelerde azalan trend gözlenmiştir. Yaz mevsiminde Karadeniz, Akdeniz ve Doğu Anadolu bölgeleri için azalan trend gözlenirken Marmara, Ege ve İç Anadolu bölgelerine ait KKY serisinin herhangi

bir trend içermediği sonucu elde edilmiştir. Güneydoğu Anadolu bölgesinde yaz döneminde kar ürünü gösteren piksel bulunmadığından Mann-Kendall testi bu coğrafi bölge için uygulanamamıştır.

KAYNAKLAR

- Burn, D. H. ve Elnur M. A. H.**, 2002. Detection of Hydrologic Trends and Variability. *Journal of Hydrology*, 255:107–122.
- Crane R.G. ve Anderson M.R.**,1984, Satellite discrimination of snow cloud surfaces, *International Journal of Remote Sensing*, 5(1):213–223
- Dozier J.**, 1989, Spectral signature of alpine snow cover from the Landsat Thematic Mapper, *Remote Sensing of Environment*, 28:9–22
- Gessel G.**,1989, An algorithm for snow and ice detection using AVHRR data. An extension to the APOLLO software package., *International Journal of Remote Sensing*, 10:897–905
- Hall D. K., Riggs G. A., Salomonson V.V., DiGirolamo N.E., Bayr K.J.**, 2002, MODIS snow cover products, *Remote Sensing of Environment*, 83:181–194
- Hall D.K., Riggs G.A., Salomonson V.V.**, 1995, Development of methods for mapping global snow cover using moderate resolution imaging spectroradiometer data, *Remote Sensing of Environment*, 54:127–140
- Kadoğlu, M.**, 1997, Trends in surface air temperature data over Turkey, *International Journal of Climatology*, 17: 511-520.
- Mognard N.**, 2003, Snow cover dynamics, in *Arctic environment variability in the context of global change*, Bobylev L. P., Kondratyev K. Y., Johannessen O. M. (Ed.), Praxis-Springer
- NSIDC**, 2009, http://nsidc.org/data/docs/noaa/g02156_ims_snow_ice_analysis/index.html (11.09.2012)
- Papa Fabrice, Legresy Benoît, Mognard Nelly M., Josberger Edward G., and Remy Frédérique**, 2002. Estimating Terrestrial Snow Depth With the Topex–Poseidon Altimeter and Radiometer, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 40, No. 10.
- Ramsay, B. H.**, 1998, The Interactive Multisensor Snow and Ice Mapping System, *Hydrological Processes*. Vol. 12: 1537-1546
- Rees W. G.**, 2006, *Remote sensing of snow and ice*, (England:Taylor & Francis, Cambridge University)
- Robinson D. A., Keiming F. T., Heim R. R.**, 1993. Global snow cover monitoring: An update, *Bull. Amer. Meteorol. Soc.*,74:1689–1696.
- Romanov P., Gutman G., Csiszar I.**,2000, Automated monitoring of snow cover over North America with multispectral satellite data. *J Appl Meteorol*, 39:1866–1880
- Simic, A., Fernandes, R., Brown, R., Romanov, P., & Park, W.**; 2004, Validation of VEGETATION, MODIS and GOES+SSM/I snow-cover products over Canada based on surface snow depth observations, *Hydrological Processes*, 18: 1089–1104.
- Tekeli A. E., Akyurek Z., Sorman A. A., Sensoy A., Sorman A. U.**, 2005, Using MODIS Snow Cover Maps in Modeling Snowmelt Runoff Processes in the Eastern Part of Turkey, *Remote Sensing of Environment*, 97(2):216-230
- Wang X and Xie H.**, 2007, New multi-day snow cover products from combination of Terra and Aqua MODIS daily snow cover data, *AGU Fall meeting, SanFrancisco, CA*
- Zhang, X., Harvey, K.D., Hoggy, W.D., Ve Yuzyk, T.R.**, 2001, Trends in Canadian Streamflow, *Water Resour. Res.*, 37(49): 987-998