DOĞU AKDENİZ BÖLGESİ KAR BİLEŞENLERİNİN UZAKTAN ALGILAMA VERİLERİ ve J2000 YAKLAŞIMIYLA MODELLENMESİ

Cenk DÖNMEZ[1], Süha BERBEROĞLU[1], Mehmet Akif ERDOĞAN[2]

[1]Ç.Ü. Peyzaj Mimarlığı Bölümü Balcalı/ADANA 01130[1]
İ.T.Ü. Mimarlık Fak. Peyzaj Mimarlığı Bölümü Taşkışla, Taksim/İSTANBUL[2],
suha@cu.edu.tr, cdonmez@cu.edu.tr,

ÖZET

Doğu Akdeniz Bölgesinde yeralan Seyhan Havzası, su kaynakları ile birlikte toprak varlığı, vejetasyon tür çeşitliliği, tarımsal üretimi, tarıma dayalı endüstrisi ve nüfus yoğunluğu gibi özellikleri yönünden bölge ve ülke ekonomisine önemli katkı yapan başlıca tarımsal üretim bölgelerinden biridir. Tarımsal üretimin verimliliği için gerekli su miktarının karşılanmasında, özellikle kış aylarında havzanın yüksek kesimlerinde yeralan kar örtüsü, bölgedeki en önemli hidrolojik bileşenlerden birisidir.
Su kaynaklarının doğru kullanımı kaynak miktarının bileşen bazında doğru olarak bilinmesine bağlıdır. Seyhan Nehri Havzası gibi kompleks nehir sistemlerinde özellikle kar gibi hidrolojik bileşenlerin potansiyeli ve dağılımının doğru olarak belirlenmesinde, uzaktan algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri'ne (CBS) dayalı hidrolojik modelleme uygulamaları gibi uygun ve güncel yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır.
Bu çalışmada, süreç tabanlı J2000 modeli yaklaşımı ve uzaktan algılanmış veriler kullanılarak Seyhan Havzası için kar örtüsü, kar-su eşdeğeri ve kar erime miktarları gibi kar bileşenleri tahmin edilmiştir. Kar bileşenlerinin modellenmesi için Sayısal Yükseklik Modeli, eğim, bakı, arazi örtüsü, toprak ve jeoloji haritaları ve iklim verilerini (sıcaklık, yağış, rüzgar, vb.) içeren geniş bir veri seti hazırlanmıştır. Model ile elde edilen kar örtüsü haritasının doğruluğu 1987-2002 tarihleri arasında 7 adet uzaktan algılanmış LANDSAT verisi kullanılarak elde edilen kar örtüsü haritası ile test edilmiştir. Bu kapsamda, modelin kompleks havza sistemlerinde uygulanabilirliği irdelenmiş ve sonuçların kabul edilebilir düzeyde olduğu ölçüm verileri ve uzaktan algılanmış veriler ile ortaya konulmuştur. Kar bileşenlerinin hesaplanması ile bölgedeki su kaynaklarının doğru kullanımı için öneriler geliştirilmiş ve yöntemde uzaktan algılama ve CBS'nin etkinliği değerlendirilmiştir.

Modelling Snow Components at the Eastern Mediterranean Region using Remotely Sensed Data and J2000 Approach

ABSTRACT

Seyhan watershed located in eastern Mediterranean region is one of the major agricultural watershed contributes significantly to Turkey's economy with its water and land resources, biodiversity, agricultural production and related industry. Snow cover at the highlands as a source of water for agriculture is one of the most important hydrological components of the region. Appropriate water resource management requires accurate information on the hydrological components of the catchment. Hydrological modeling based on remote sensing and Geographical Information Techniques (GIS) is needed to estimate the spatial distribution and potential of hydrological components including, snow in complex river systems such as, Seyhan Watershed.
This study aimed to estimate the snow components such as, snow cover, snow-water equivalent and snow melt using process based J2000 modelling approach. A large data set including, Digital Elevation Model (DEM), was created for modeling snow. The model outcomes were validated using snow cover maps derived from seven remotely sensed Landsat images acquired between 1987 and 2002. In this context, applicability of the model to the complex watersheds was assessed and snow maps derived from remotely sensed images were approved that the results were acceptable. Estimation of snow components enabled to make proposals for appropriate water resource management and the effectiveness of remote sensing and GIS techniques were assessed.

1.GİRİŞ

Kar örtüsü, ülkemizin engebeli yüzey yapısı içerisinde geniş alanlar kaplamakta ve bu alanlar bölgesel yüzey akışı ve yer altı suyu potansiyelinin en önemli kaynağını oluşturmaktadır. Özellikle rakımı yüksek olan bölgelere kar şeklinde düşen yağış, birçok ülkede su kaynakları için önemli bir su potansiyeli oluşturmaktadır. Dağlık havzalarda, toplam akışın verimliliği, yüzeydeki kar miktarı ile doğrudan ilişkilidir. Bu kapsamda, kar örtüsü ve bileşenleri (erime mikt.,kar-su eşdeğeri vb.) ülkemiz havzaları için çok önemlidir.

Özellikle karmaşık yapıya sahip havzaların hidrolojik yapısı temelinde önemli yer tutan kar örtüsü ile ilgili ilk araştırmalar yaklaşık 100 yıl önce başlamış ve ilk bilimsel yayım Dr. Church tarafından 1917 yılında "Snow Surveying" adıyla yayınlanmıştır (Stafford, 1959). Ülkemizde ise, ilk kar gözlem çalışmalarına DSİ tarafından 1969 yıllında başlanmıştır (Gürer ve ark., 2002). Geçtiğimiz 10 yılda ise, dünya genelinde arazinin fiziksel durumuna veya vejetasyon örtüsüne bağlı olarak güneşlenme ve rüzgarların etkisiyle değişen katsayıların kullanıldığı birleştirilmiş havza veya hidrolojik yanıt ünitelerine (HYÜ) dayanan modeller geliştirilmiştir (Melloh, 1999).

Havza bazında gerçekleştirilen bu çalışmalarda, uzaktan algılama ve CBS tekniklerinin desteğiyle farklı hidrolojik modelleme yaklaşımları kullanılmaktadır. Geçmişten günümüze, Utah Enerji Balans (Utah Energy Balance (UEB)), Kar Sıcaklık Modeli (Snow Therm Model (SNTHERM)), Yağış Akış Model Sistemi (Precipitation-Runoff Modeling System (PRMS)) ve Kar Erime ve Akış Modeli (The Snowmelt Runoff Modeli (SRM)) modelleri yaygın olarak kullanılan yaklaşımlar arasındadır (Özlü, 2008).

Bu modeller içerisinde, havzanın fiziksel yapısı ve elde edilen meteorolojik verilere bağlı olarak kullanılacak modelin tipi belirlenmektedir. Özellikle PRMS (Leavesley, 1989) gibi yersel ve zaman serisi verilerine dayalı süreç tabanlı modeller ile tür çeşitliliğinin fazla olduğu heterojen yapıdaki havzalarda başarılı sonuçlar alındığı görülmüştür.

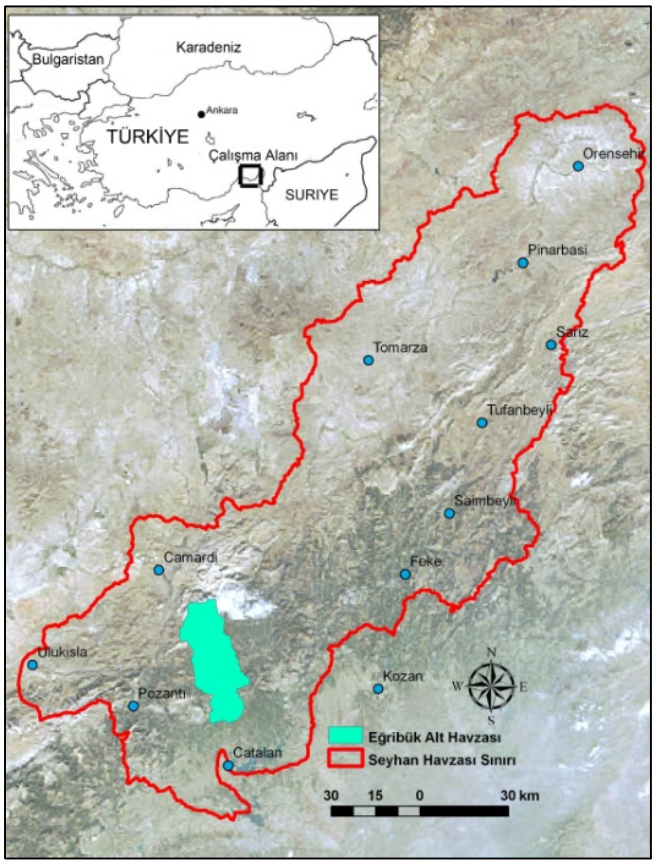
Süreç tabanlı hidrolojik modeller ile kar erimesi ile oluşan su miktarı, suyun dinamik akımı ve kar örtüsünün barındırdığı su potansiyeli tahmin edilebilmektedir. Kar tahmin verileri, nehir havzalarında su kaynaklarının yönetimi için önemli bir potansiyel sağlamaktadır. Bu potansiyel ile plan kararlarının alınabilmesinde tahmin sonuçlarının güvenilirliği de önemli rol oynamaktadır. Bu kapsamda, model uygulamasının yer gerçeği ve gözlem verileriyle doğrulanması da sonuçların güvenilirliği açısından büyük öneme sahiptir.

Bu çalışmanın amacı, Doğu Akdeniz Bölgesi, Seyhan Havzası'nın Eğribük Alt Havzası'nda süreç tabanlı hidrolojik modelleme yaklaşımı ile kar örtüsü / bileşenlerinin hesaplanması ve model doğruluğunun uzaktan algılanmış veriler ile belirlenmesidir. Havzada, süreç tabanlı J2000 modeli yaklaşımı ve uzaktan algılanmış veriler kullanılarak Seyhan Havzası için kar örtüsü, kar-su eşdeğeri ve kar erime miktarları gibi kar bileşenleri modellenmiştir.

J2000 modelinden elde edilen kar bileşenlerinin doğruluğu havza genelindeki kar istasyonlarından elde edilen ölçüm verileri ile karşılaştırılmıştır. Model ile elde edilen kar örtüsü haritasının doğruluğu ise LANDSAT verilerinden elde edilen Normalleştirilmiş Fark Kar İndeksi (NFKİ) ve kar sınıflama haritaları kullanılarak test edilmiştir. Bu kapsamda, modelin kompleks havza sistemlerinde uygulanabilirliği irdelenmiş ve kar örtüsü ve bileşenlerinin tahmini için güncel bir yaklaşım geliştirilmiştir.

2.ÇALIŞMA ALANI ve MATERYAL

Eğribük Alt Havzası, Doğu Akdeniz Bölgesi, Seyhan Havzası'nda Toros Dağlarına doğru uzanmakta ve 552.76 km^2'lik bir alanı kapsamaktadır (Şekil 1). Bölgenin yükselti ortalaması 1300 m üzerindedir ve en alçak noktası 210 m'dir. Eğribük alt havzası, Eğribük akım gözlem istasyonu referans alınarak oluşturulmuştur.



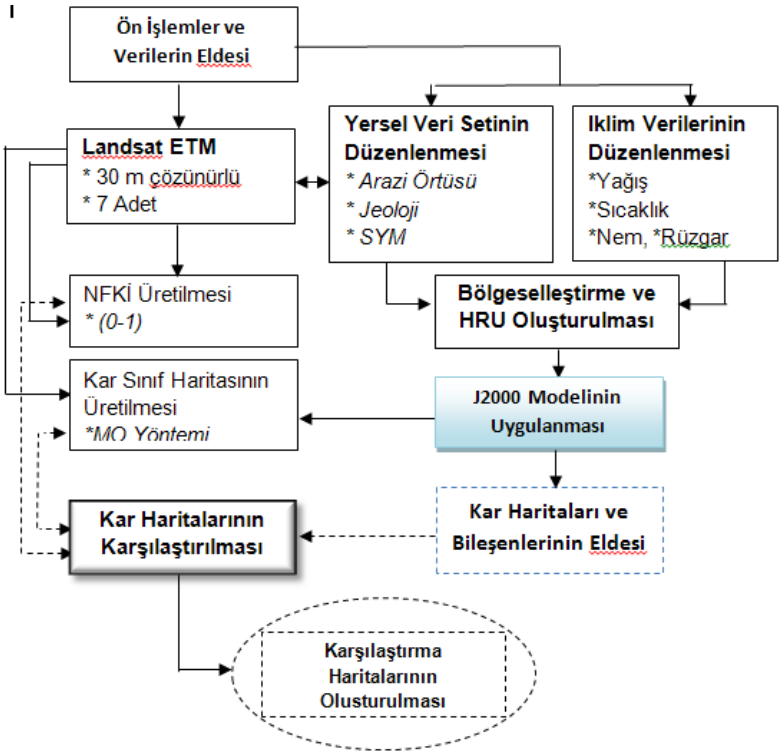
Şekil 1. Egribük Alt Havzasının Konumu.

Eğribük alt havzasında Triyas, Jurasik ve Kretasenin yoğun olarak saptandığı, Mesozoyik ve genellikle kalın karstik bir yapı olduğu görülmektedir. Bölgedeki Triyas formasyonu yaklaşık % 65, kretase ise % 23'lük bir alanı kaplamaktadır. Bölgedeki en yüksek tepeler bu jeoloik yapıdadır ve mikritik kireçtaşından oluşan istif yer yer dolomitize düzeyler içerir. Bölgede daha önce yapılan jeolojik araştırmalarda bol miktarda foraminifer kapsadığı görülmüştür (Berberoğlu ve ark., 2007). Eğribük alt havzası arazi örtüsü haritası incelendiğinde, alanın % 4'lük bir kısmının kayalık yapıda olduğu görülmektedir. Alt havzada yükseltinin az olduğu bölümlerde iğne yapraklı ormanlar bulunmakla birlikte (246 km^2), çayır ve mera alanları da % 35'lik kısmı kaplamaktadır. Alt havzada kayalık bölgelerin dışında, toprak serileri içerisinde kolüviyal topraklar % 11 oranında dağılım göstermektedir. Modelde kullanılan toprak verisinde, kayalık bölgeler tanımlanmıştır.

Çalışma kapsamında kar örtüsü ve bileşenlerinin modellenmesi ve model sonuçlarının uzaktan algılanmış veriler ile değerlendirilmesi için yersel ve zaman serilerinden oluşan geniş bir veri seti hazırlanmıştır. 1/25000 ölçekli topoğrafik haritalar Sayısal Yükseklik Modelinin (SYM) oluşturulmuştur. SYM, hidrolojik modelleme sürecinde çalışma alanı akış yönü, Seyhan Nehri akış potansiyeli, eğim ve bakı haritalarının oluşturulmasında kullanılmıştır. Modelde kullanılan jeoloji haritası, Ç.Ü.Jeoloji Bölümü, toprak haritası da Toprak Bölümü'nde elde edilmiş ve CBS analizleri ile model formatına dönüştürülmüştür. Devlet Su İşleri'nden (DSI) elde edilen 1975-2006 yılları arasında ölçülmüş meteorolojik veriler (sıcaklık, yağış, rüzgar, nem) J2000 modelinde zaman serisi olarak kullanılmıştır.
J2000 modelinden elde edilen kar örtüsü haritaları, uzaktan algılanmış verilerden elde edilmiş NFKİ ve kar sınıflama haritaları ile karşılaştırılmıştır. NFKİ ve sınıflama haritalarının oluşturulmasında 1987 – 2002 yılları arasında LANDSAT uydusundan elde edilmiş 7 görüntü kullanılmıştır.

2. YÖNTEM

Çalışma beş ana aşamadan oluşmaktadır; I) Yersel ve zaman serisi verilerinin işlenmesi, ii) J2000 modeli ile kar bileşenlerinin hesaplanması, iii) LANDSAT verileri ile NFKİ oluşturulması, iv) LANDSAT verileri ile kar sınıflama haritasının eldesi, v) model ve uydu verilerinden elde edilmiş kar haritalarının karşılaştırılması. Çalışmanın akış şeması Şekil 2'de görülmektedir.



Şekil 2. Çalışmada izlenen yöntemin akış şeması.

3.1. Ön İşlemler

Çalışmanın veri hazırlama aşamasında, hidrolojik modelde ve kar örtüsünün eldesinde kullanılacak veriler ön işlemlerden geçirilmiştir. Bu ön işleme aşamasında yersel verilerin geometrik düzeltmeleri yapılmıştır. Bu kapsamda LANDSAT görüntüleri ve model yersel verileri UTM koordinat sistemine göre kaydedilmiştir. Zaman serisi verileri, J2000 modeli girdi verisi formatına göre düzenlenmiştir.

3.2. J2000 Modeli ile Kar Bileşenlerinin Tahmini

Çalışmada kar örtüsü haritası ve buna bağlı olarak kar-su eşdeğeri ve kar erime miktarı J2000 modeli kullanılarak gerçekleştirilmiştir. J2000 modeli kar modeli ile kar bileşenlerinin hesaplanmasında arazi örtüsü, jeoloji, SYM, toprak, Hidrolojik Tepki Üniteleri (HRU) ve meteorolojik verileri içeren geniş bir veri seti kullanılmıştır.

Model verilerinin hazırlanmasındaki ilk aşamada;

- Arazi örtüsü haritası, Mayıs, 2003 tarihli LANDSAT görüntüsünün maksimum olabilirlik yöntemi ile sınıflanması ile elde edilmiştir.
- Toprak haritası ise CBS ortamında düzenlenmiş ve bu haritaya literatur ve arazi ölçümlerinden elde edilen toprak derinliği, tane büyüklüğü vb. bilgiler ilave edimiştir.
- Jeoloji haritası CBS ortamında düzenlenmiş ve bölgedeki karstik yapıyı temsil edecek parametreler haritaya eklenmiştir.
- SYM verisi kullanılarak akım ağları, akış yönü ve dağılımı haritarının eldesinde kullanılmıştır. Bu haritalar modele topolojik bilgi sağlamakta ve yüzeydeki akımın yönü bu dağılıma gore belirlenmektedir.
- Elde edilen yersel verilerin birleştirilmesi ile çalışma alanı için HRU haritası oluşturulmuştur. HRU, suyun alandaki dağılımının temsil edildiği küçük hidrolojik birimlerdir. J2000 modelinin en önemli özelliği, heterojen yapıdaki havzalarda modellemenin birim bazında yapılmasına olanak sağlayan HRU yaklaşımının kullanılmasıdır.
- İklim verileri, model formatına gore düzenlemiş ve modelleme günlük bazda gerçekleştirilmiştir.

J2000 modeli ile hidrolojik bileşenlerin simülasyonu, veri setinin entegre edildiği birbirinden farklı modül ve algoritmaların kullanılmasıyla gerçekleşmektedir. Bu modül ve algoritmalar, suyun dağılımının hesaplanabilmesi için literatürde kabul görmüş kural ve kanunların JAVA yazılım dilinde bilgisayar ortamına aktarılmış formatıdır. Çalışmada J2000 hidrolojik modelinin kar modülü kullanılmıştır. Kar modülü, kar örtüsü miktarını dikkate alarak kar-su eşdeğerini hesaplamaktadır. Model eşitlikleri içerisinde veri seti ile birlikte sabit kar parametreleri de kullanılmıştır. Bu süreçte model kar örtüsü birikimi (Eşitlik 1) ve erime miktarının (Eşitlik 2) eşik sıcaklık değerlerini hesaplayarak süreci başlatır.

$$T_{acc} = \frac{T_{min}+T_{avg}}{2} \; [°C] \qquad (1)$$

$$T_{melt} = \frac{T_{max}+T_{avg}}{2} \; [°C] \qquad (2)$$

Sıcaklık eşik değerlerinin hesaplanmasından sonraki aşamada kar örtüsü birikim miktarı ve kalıcılığı sırasıyla kar ısısı (cold content-CC) ve kar yoğunluğu varsayımı (snow densitiy-SD) hesaplanarak belirlenir (Eşitlik 3).

$$CC = coldContFact * T \; [mm] \qquad (3)$$

Burada coldContFact, yağan karın oluşturduğu varsayılan örtüsünün devamlılığı için gerekli sıcaklık katsayısıdır. Bu katsayı sıcaklık ile carpılır ve CC bulunur. CC değerinin 0' a yaklaşması kar erime sürecinin başlamasını işaret eder.
Hava sıcaklığının -15 derece ve daha düşük olması durumunda kar yoğunluğu %3 kabul edilir. Bu eşik kar derinliğinin (KD) hesaplanmasında kullanılır (Eşitlik 4).

$$deltaSD = \frac{netSnow}{newSnowDrens} \; [mm] \qquad (4)$$

Bu süreçte kar su eşdeğeri (SWE) de yağış miktarına bağlı olarak belirlenir (Eşitlik 5)

$$SWEdry_t = SWEdry_{t-1} + netSnow_t[mm] \quad (5)$$

Kar-su eşdeğerinin hesaplandığı aşamadan sonra kar erime miktarı hesaplanır. Burada ilk olarak erime oranı (Mp) belirlenir (Eşitlik 6)

$$Mp = t_factor * T_{melt} + r_factor * netRain * T_{melt} + g_factor\ [mm] \quad (6)$$

Burada, t_factor; sıcaklık parametresi, Tmelt; erime için gerekli eşik değer, r_factor ise yağış potansiyel parametresini ifade etmektedir. Erime oranın belirlenmesi ile erime miktarının belirlenmesi için sürece kar-su eşdeğeri dahil edilir (Eşitlik 7)

$$Q_{snow} = SWE_{tot} - SWE_{max} * Mp\ [mm] \quad (7)$$

Kar erimesinin gerçekleşmesinden sonra kar örtüsü oluşumunun tekrar mümkün olabileceği sıcaklık değerleri gözlemlendiğinde, model tekrar kar örtüsü birikim sürecini başlatmakta ve biriken kar örtüsünü hesaplamaktadır.

3.3. Uydu verileri ile Normalleştirilmiş Fark Kar İndeksi (NFKİ) Eldesi

Çalışmada, J2000 modelinden elde edilen kar örtüsü haritaları NFKİ ile karşılaştırılmış ve modelin harita üretmedeki başarı yüzdesi saptanmıştır. Bu kapsamda 1987-2002 tarihleri arasında algılanmış yedi adet LANDSAT görüntüsü kullanılarak elde edilmiştir. NFKİ LANDSAT band 2 ve band 5'in kombinasyonu ile üretilmiştir (Erdenetuya ve ark., 2006) (Eşitlik 8). Burada band 2 yeşil, band 5 ise orta kızılötesinde kayıt yapmaktadır.

$$NDSI = \frac{(TM2 - TM5)}{(TM2 + TM5)} \quad (8)$$

3.4. Uydu verileri ile Kar Sınıflama Haritalarının Eldesi

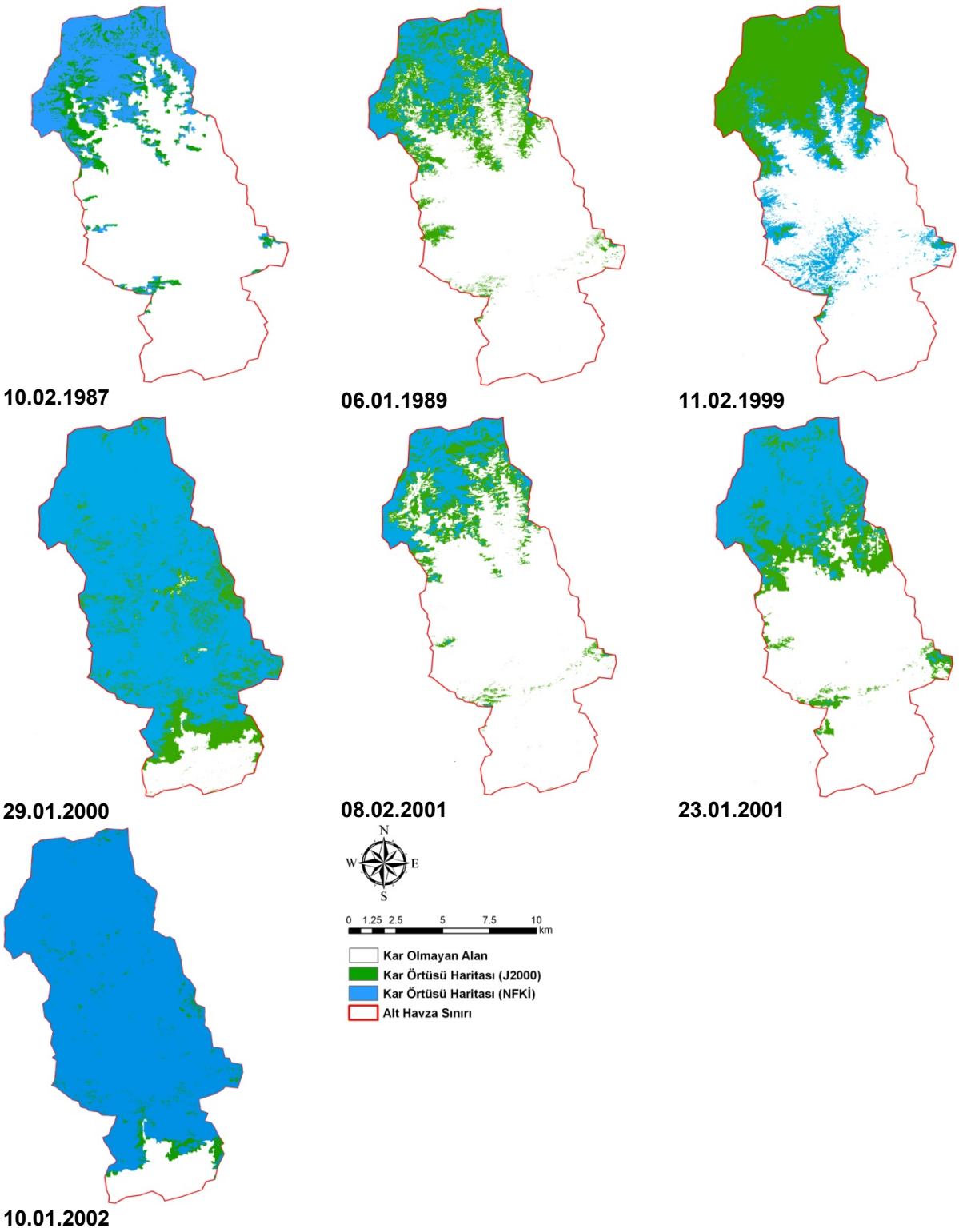
J2000 modelinden elde edilen kar örtüsü haritalarının doğruluğunun belirlenmesinde kullanılan bir diğer veri, kar sınıflama haritalarıdır. Sınıf haritaları aynı tarihli LANDSAT verilerinin MO yöntemi ile kar olan ve olmayan alanlar olarak sınıflanması ile elde edilmiştir. Burada, kar olan alanlar 1, olmayan boş alanlar ise 0 olarak kodlanmıştır.

3.5. Model ve Uydu Verileri Kar Haritalarının Karşılaştırılması

J2000 modelinden elde edilen kar haritaları, NFKİ ve sınıflama haritaları ile karşılaştırılmış ve kar örtüsü çakışma miktarları belirlenmiştir. Karşılaştırma işlemi, farklı görüntüler çakıştırılarak Cross Tabulation (çapraz listeleme-CT) yönteminin uygulanması ile gerçekleştirilmiştir. Bu yöntem ile farklı kar haritalarında örtüşen kar pikseli sayıları ve korelasyon düzeyleri hesaplanmıştır. Bu kapsamda görüntülerdeki kar örtüsü miktarı ve yüzde değerleri de belirlenmiştir.

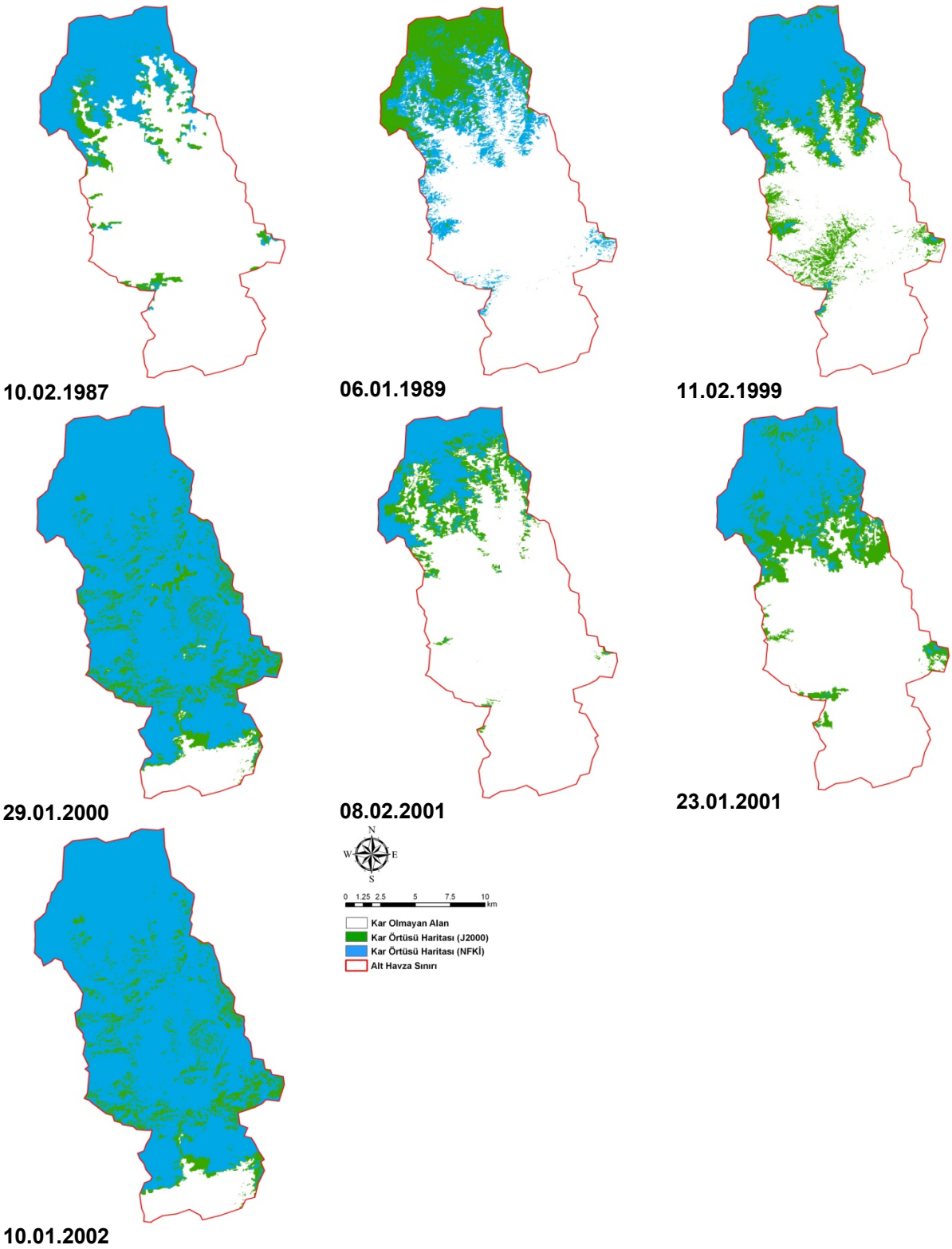
3. SONUÇ ve ÖNERİLER

Çalışma kapsamında J2000 modelinden elde edilmiş kar örtüsü haritaları, LANDSAT verilerinden elde edilmiş kar örtüsü haritaları ile karşılaştırılmıştır. Kar örtüsü dağılımı ile birlikte modelden elde edilen kar bileşenlerinin miktarları da değerlendirilmiştir. J2000 modeli kar örtüsü ve NFKİ haritaları çakıştırma görüntüleri Şekil 3'te görülmektedir.



Şekil 3. J2000-NFKİ çakıştırma görüntüleri.

J2000-NFKİ çakıştırma haritaları değerlendirildiğinde, farklı tarihlerdeki haritaların kabul edilebilir düzeyde çakıştığı görülmüştür. En fazla kar yağışının 2000 ve 2002 yıllarında gerçekleştiği belirlenmiştir. Çalışmada, J2000 kar örtüsü haritaları, kar sınıflama haritaları ile de çakıştırılmıştır (Şekil 4.).



Şekil 4. J2000-Kar Sınıflama Haritaları çakıştırma görüntüleri.

Çalışma kapsamında çakıştırılan J2000 ve kar sınıflama haritalarının yüksek oranda örtüştüğü görülmüştür. Farklı tarihlerdeki kar haritalarının CT yöntemi ile çakıştırılmasına ait istatistikler Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. J2000-NFKİ-Sınıflama haritaları çakıştırma korelasyon değerleri.
(Toplam Hücre Sayısı: 614.177)

Görüntü	Kar Hücre Sayıları	Kappa İstatistikleri

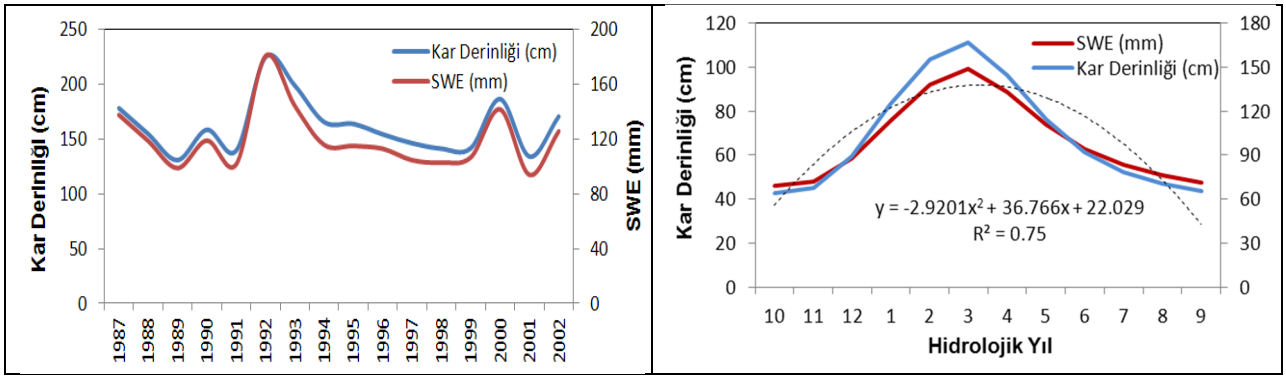
Listesi	*NFKI*	*J2000*	*Sınıflama*	*J2000-NFKI*	*J2000-Sınıflama*
10.02.1987	151611	170763	172012	0.71	0.794
06.01.1989	155047	117037	172494	0.702	0.798
11.02.1999	225769	190531	254550	0.70	0.76
29.01.2000	481617	549929	503689	0.85	0.94
08.02.2001	105804	117274	110554	0.69	0.74
23.11.2001	181723	234251	179067	0.76	0.66
10.01.2002	560795	560000	503689	0.95	0.97
				0.76	**0.80**

Model ve yersel verilerden elde edilen kar haritaları hesaplandığında, modelden elde edilen kar haritalarının LANDSAT verilerinden üretilen kar haritaları ile kabul edilebilir düzeyde örtüştüğü görülmüştür. J2000-NFKI-sınıflama karşılaştırılması Kappa istatistiklerinin 0.69 – 0.97 arasında değişmesi, model çıktılarının yersel veriler ile yüksek korelasyon gösterdiğini ifade etmektedir. Bu korelasyon, modelin kar dağılımını güvenilir düzeyde haritalayabilme yeteneğini ortaya koymuştur. Model kar haritalarının validasyonu ile farklı kar haritalarına göre kar dağılım miktarları da hesaplanmıştır (Çizelge 2).

Çizelge 2. J2000-NFKİ-Sınıflama haritaları kar dağılım miktarları.

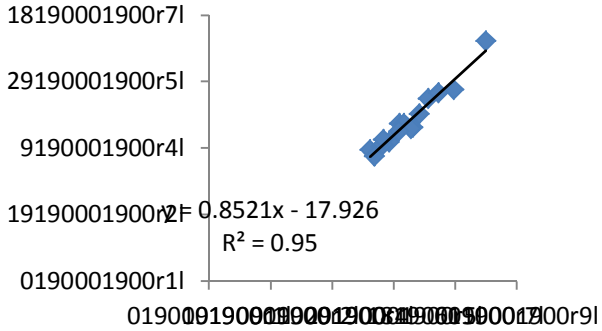
Görüntü Listesi	Alan (km^2)	NFKİ			J2000			Sınıflama		
		Kar	*Arazi*	*%*	*Kar*	*Arazi*	*%*	*Kar*	*Arazi*	*%*
10.02.1987		85.62	467.1	15.0	109.6	443.1	19.0	127.0	425.7	22.0
06.01.1989		88.17	464.5	15.75	78.3	474.4	14.1	87.37	465.3	15.8
11.02.1999		152.6	400.1	27.6	68.7	483.9	12.4	162.4	390.3	29.5
29.01.2000	552.76	427.5	125.1	77.7	513.4	39.3	92.8	439.4	113.2	79.4
08.02.2001		69.17	483.5	12	62.4	490.3	11	76.85	475.9	13.9
23.11.2001		151.7	401.0	27	70.95	481.8	12	151.6	401.1	27.4
10.01.2002		487.4	65.36	88.49	491.4	61.27	89.2	446.8	105.9	80.8

Farklı kar haritaları tabanında kar ve arazi dağılım miktarları incelendiğinde, modele gore en fazla kar dağılımının 2002 yılında olduğu görülmüştür. Model kar haritaları faklı yıl ve aylarda kar dağılımının 85 ile 487 km^2 arasında olduğunu göstermiştir. Bu dağılım miktarları alt havzada kar miktarının standart bir miktarda olmadığını ve yıllara gore değişim gösterdiğini ortaya koymuştur. Kar dağılım miktarının 400 km^2 üzerinde olduğu 2000 ve 2002 yıllarında, modelin yersel veriler ile daha fazla korelasyon gösterdiği saptanmıştır.
Modelin kar haritalarının güvenilir olduğunun belirlenmesi ile diğer model çıktıları olan kar-su eşdeğeri ve kar derinliği verileri de değerlendirilmiştir. Süreç tabanlı J2000 modeli ile günlük olarak hesaplanan ve yıl tabanında genellenen uzun yıl ve aylık kar-su eşdeğeri ve kar derinliği dağılımları Şekil 3'te görülmektedir.



Şekil 3. Eğribük Alt Havzası kar bileşen dağılımları; (a) uzun yıllar, (b) hidrolojik yıl aylık ortalama.

J2000 modelinden elde edilen kar derinliği ve SWE dağılımları, bu bileşenlerin uzun yıl ve ortalama hidrolojik yıl için birbirleri ile korelasyon içerisinde olduklarını göstermiştir (Şekil 4). Bu korelasyon değerinin 0.95 düzeyinde olduğu hesaplanmıştır.



Şekil 4. SWE-Kar Derinliği korelasyon grafiği.

Model çıktıları, uzun yıllar SWE verisinde geçmişten günümüze genel bir azalma olduğunu ve maksimum değerin 120 ile 160 mm arasında değiştiğini ortaya koymuştur. Hidrolojik yıl içerisinde ise SWE ve kar derinliğinin yağışa bağlı olarak Aralık-Mart ayları arasında artış gösterdiği, Nisan ayında kar erime süreci ile bu bileşenlerde azalmanın başladığı saptanmıştır. Alt havza için en yüksek kar derinliğinin 1992 yılında 2 m, ortalama değerinin ise yaklaşık 1 m olduğu görülmüştür.

Süreç tabanlı J2000 modeli ile kar örtüsü dağılımının hesaplandığı ve model güvenilirliğinin uzaktan algılanmış veriler ile test edildiği çalışmadan elde edilen genel bulgular;

- Alt havza bazında uygulanan süreç tabanlı J2000 modelinin kar örtüsü dağılım haritaları, uzaktan algılanmış verilerden elde edilmiş kar haritaları ile yüksek korelasyon göstermiştir.
- Uzaktan algılanmış veriler ile karşılaştırılan model kar örtüsü haritaları, modelin kabul edilebilir doğrulukta sonuçlar üretebildiğini ortaya koymuştur.
- Bölgede bulunan kar istasyonlarından düzenli veri ölçümü yapılmamaktadır. Bu durum J2000 modeli ile kar örtüsü dışında tahmin edilen kar derinliği ve SWE bileşenlerinin validasyonu konusunda sıkıntı yaratmaktadır. Bu kapsamda bölgede verimli çalışan kar istasyonlarının bulunması gerekliliği ortaya konulmuştur.
- Modelin kar örtüsü tahminindeki başarısı, karmaşık yapıdaki Seyhan Havzası için erime miktarının da hesaplanabileceğini göstermiştir. Kar erime miktarı, yüzey akışının büyük bölümüne katkı sağlaması bakımından Seyhan Havzası'nda büyük önem taşımaktadır.
- LANDSAT verilerinden elde edilen NDSI haritaları kar dağılımını ortaya koymuş ve model kar örtüsü çıktılarının test edilmesine önemli kaynak sağlamıştır.
- LANDSAT verilerinden elde edilen kar örtüsü sınıflama haritaları NDSİ haritaları ile birlikte, model kar örtüsü haritalarının doğruluğunun belirlenmesinde kullanılmıştır. Test verisinin artırılması ve çeşitlendirilmesi, model kar haritaları validasyonunun yüksek doğrulukla gerçekleştirilmesine olanak sağlamıştır.
- Bu çalışma, karmaşık yapıdaki havzalarda kar örtüsünün süreç tabanlı olarak haritalanması ve doğruluğunun test edilmesi bakımından önemli bir örnek oluşturmaktadır. Bu kapsamda, model girdi verilerinin doğruluğu ile kar örtüsü ile birlikte farklı kar bileşenlerinin hesaplanabilmesinin mümkün olduğu ortaya konulmuştur.
- Süreç tabanlı J2000 modelinin kar örtüsünü yüksek doğrulukta hesaplayabilmesi, bu çalışmanın geleceğe yönelik olarak iklim değişikliği altında kar modelleme çalışmalarınına kaynak olabilmesi bakımından önemlidir.

KAYNAKLAR

Gürer, İ. 2002. The Snow Drıft Problem And Its Effects On Road Safety In Turkey, International Traffic and Road Security Congress and Fair, sf.1-4, Ankara.

Özlü A., 2008. Bazi Kar-Erime Modellerine Genel Bir Bakiş. Kar Hidrolojisi Konferansi Bildiri Kitabi.

Melloh , R.A., 1999. A synopsis and comparison of selected snowmelt algorithms. CRREL Report 99-8.

Leavesley, G.H., 1989. Problems of Snowmelt Runoff Modeling for A Variety of Physiographic and Climatic Conditions. Hydrological Sciences Journal,334, 6, 617-34.

Berberoğlu S., Gültekin E., Çetin M., Kaya Z., Erk N., Ortaş İ., Evrendilek F., Çevik F., Dönmez C., Satir O., Derici B., Erdoğan M.A., Akın A., 2009. Doğu Akdeniz için Coğrafi Bilgi Sistemleri tabanlı bütüncül su kaynakları önetim sistemi: Seyhan Nehri bölgesel temiz su eylem planı. TUBITAK-Julich (Almanya) Ortak İşbirliği Projesi Sonuç Raporu (Proje No: 105Y151).

Erdenetuya M., Khıshıgsuren P., Davaaa C., Otgontogs, M., 2006. Glacier Change Estimation Using Landsat TM Data. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science, Volume XXXVI, Part 6, Tokyo Japan.