

Dağlık Havzalarda Kar Birikmesine ve Erimesine Etki Eden Parametrelerin HSPF Model Programıyla İncelenmesi ve Erzurum Kırkgöze Havzası Örneği

Reşat ACAR¹, Selim ŞENGÜL¹, Serkan ŞENOCAK¹

ÖZET: Özellikle dağlık bölgelerde kar erimelerinden meydana gelen akışlar hidrolojik döngünün ve su temininin en önemli elemanlarından biridir. Taşkınların kontrolü, su kuvveti tesisleri, çığ tehlikeleri veya tarım, sanayi ve günlük yaşam için su temini gibi konularda değerlendirme yapabilmek için, özellikle yönetim ve karar verme modellerinin eklendiği entegre havza simülasyon modelleri oldukça önem taşımaktadır. Bu çalışmada, kavramsal yapıdaki karmaşık bir model olan ve temelde sadece Amerika Birleşik Devletleri sınırları içindeki havzaların modellenmesine olanak sağlayan Hydrological Simulation Program Fortran (HSPF) model programının Türkiye’de kar erimesinin etkili olduğu dağlık havzalara uygulanabilirliği incelenmiştir. Kar erimesinin etkili olduğu bir havzanın modellenmesinde, HSPF modeli Türkiye’de ilk defa kullanılmıştır. Çalışma alanı olarak seçilen Kırkgöze Havzası’nda 2454 m rakımında, güney bakısında kurulan otomatik meteoroloji ve kar gözlem istasyonundan elde edilen veriler kullanılarak, enerji dengesi metodolojisi ile karın birikme ve erime süreçlerine etki eden parametreler belirlenmiştir. Bu parametreler kullanılarak kurulan modelde, meteoroloji istasyonunda ölçülen ve simüle edilen kar su eşdeğerleri ve kar yükseklikleri değerlendirildiği zaman çok iyi bir benzetimin sağlanmış olduğu gözlenmiştir.

Anahtar kelimeler: HSPF modeli, entegre havza modeli, kar modellemesi, enerji dengesi, kırkgöze havzası

The Investigation of Parameters Affecting the Snow Accumulation and Melt on Mountainous Basins by Using HSPF Model Program and a Case Study of Erzurum Kırkgöze Basin

ABSTRACT: Snowmelt flows, particularly resulting from mountainous regions, is one of the most important element in the hydrological cycle and water supply. Management and decision making models added integrated watershed simulation models have great significance to make evaluations such as flood control, hydroelectric power generation, avalanche hazards and water supply for agriculture, industry or daily life issues. In this study, the applicability of snowmelt modeling for the mountainous basins in Turkey where snowmelt is effective by using the Hydrological Simulation Program Fortran (HSPF) model program that is a conceptual structure, complex model and supported only for the watersheds in the United States of America was investigated. HSPF model was used for the first time in Turkey for the modeling of a watershed dominated by snowmelt. Energy balance methodology is used for determining the effective parameters of accumulation and melting processes. The data were obtained from the automatic meteorology and snow observation station, established at 2454 m altitude having a southern aspect in Kırkgöze Basin. A very good correlation was observed both between the measured and simulated snow water equivalents and snow heights at the meteorological station by using these parameters in the model.

Keywords: HSPF model, integrated basin management model, snow modeling, energy balance, kırkgöze basin

¹ Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği, Erzurum, Türkiye
Sorumlu yazar/Corresponding Author: Selim ŞENGÜL, ssengul@atauni.edu.tr

GİRİŞ

Yağışın kış aylarında kar olarak görüldüğü yüksek yerlerde kar erimesi, su kaynaklarının beslenmesi, geliştirilmesi ve işletilmesi için çok önemli rol oynar. Dağların yüksek kotlarından kaynaklanan sular üzerine kurulu birçok barajın yıllık su hacimlerinin büyük bir kısmının kış aylarında meydana gelen yağışlardan ve ilkbaharda ise kar erimesinden ve kar örtüsü üzerine düşen yağmurdan kaynaklandığı belirlenmiştir. Bu nedenle kar potansiyelinin oldukça yüksek olduğu Doğu Anadolu Bölgesi'nde yapılacak olan kar hidrolojisi çalışmaları su kaynaklarının planlanması, ekonomik olarak işletilmesi ve bölgedeki tarımsal faaliyetlere katkıda bulunmak açısından büyük önem taşımaktadır.

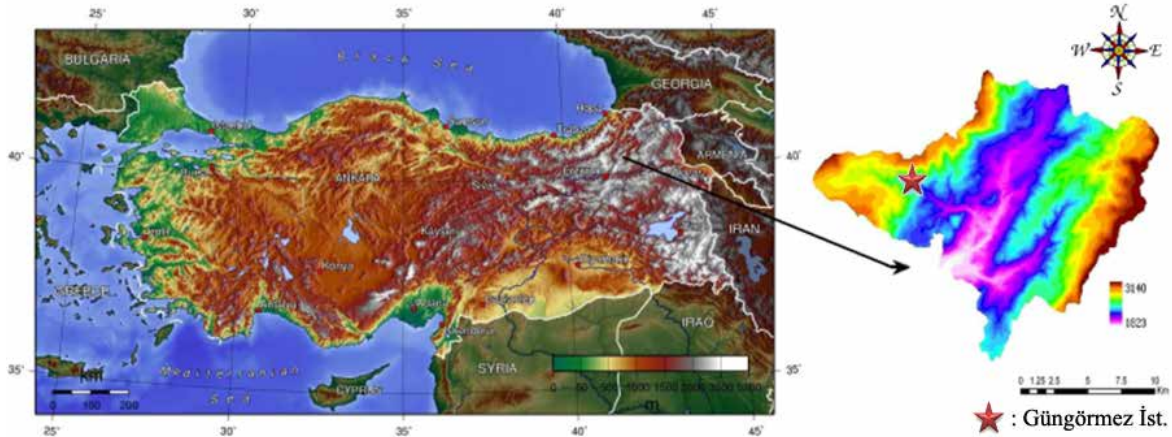
Çevresel sürekliliği oluşturan hava, su ve toprak ortamlarında var olan mevcut belirsizlikler, bu ortamların birbirleriyle olan karmaşık etkileşimleri, insanoglunun bu ortamlara yaptığı ve sonuçlarının tahmin edilemediği dış etkiler, çevresel yönetim mekanizmalarını belirsizlik altında karar vermeye zorlamaktadır.

Kar erimesi akışlarının tahmini ve benzetimini yapmak için pek çok modelleme yöntemi bulunmaktadır. Modelleme teknolojisi, gerek bilim insanlarına gerekse yönetim birimlerine, süreçlerde yaşanan belirsizliklerin açıklanmasında ve yönetim kararlarının teknik bir temele oturtulmasında yardımcı olmaktadır. Genelde hidrolojik süreçleri modellemenin iki temel nedeni vardır. Bunlardan birincisi modellenen sürecin nasıl işlediğinin ortaya konması ve süreç mekanizmalarının açıklanması, diğeri ise hidrolojik sistemin alternatif yönetim kararlarına nasıl cevap vereceğinin önceden tahmin edilmesidir. Bu noktada

Hydrological Simulation Program Fortran (HSPF) gibi karmaşık modeller, veri analizi ve kuramsal çatıyı bir araya getiren, ileri düzeyde model kalibrasyonuna yönelik araçların kullanımını gerektirmektedir.

Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Kurumu (USEPA) tarafından geliştirilmiş olan BASINS (Better Assessment Science Integrating Point and Non-point Sources) yazılımı çok işlevli bir havza analizi ve modelleme aracıdır. BASINS, modeller ile verileri birlikte kullanarak, su kalitesi ve havza çalışmalarına destek sağlayabilmektedir. HSPF, BASINS sisteminin çekirdeğini oluşturan modellerden birisidir. BASINS veri toplama, veri hazırlama, havza karakterizasyonu, model uygulamaları, model çıktılarının yorumlanması ve Coğrafi Bilgi Sistemleri yardımı ile sonuçların görselleştirilmesi, haritalandırılması ve tabloların oluşturulması süreçlerini bütünlüştürmektedir.

Bu çalışmada HSPF uygulamasının gerçekleştirilebilmesi için BASINS ile çalışma alanı olarak seçilen Kırkgöze-Çipak havzasının (Şekil 1) önceden sınırları belirlenmiş, karakterizasyonu yapılmış ve HSPF uygulaması için modelin çatısı kurulmuştur. BASINS yazılımının veri hazırlığı, havza sınırlarının belirlenmesi, havzanın karakterizasyonu ve model yapılandırılması amaçlı ön işlemler ile havzanın fiziksel özelliklerinin görselleştirilmesi için güçlü bir araç olduğu ve uygun bir çalışma sistematiği seçilerek, Amerika Birleşik Devletleri dışındaki havza verileri ile olabilecek uyumsuzlukların önemli ölçüde ortadan kaldırılabileceği anlaşılmıştır (Şengül, 2011). Havza ve alt havza sınırlarının belirlenmesi aşamasında yapılan işlemler, yüzeysel akış-akarsu ağının belirlenmesi, havza dış sınırlarının belirlenmesi ve elde edilen havza bütününe alt havzalara bölünmesidir (Tong and Chen, 2002).



Şekil 1. Kırkgöze Çipak Havzası ve Güngörmez istasyonu

Modeller kavramsal olarak, parametreleri ölçülebilen ve parametreleri kalibre edilebilen olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır. Parametreleri ölçülebilen modeller, havzadaki süreçler ve bunların fiziksel anlamları ile kurulum, bilinen havza özelliklerinden hareket edilerek tahmin edilebilen parametreleri kullanmaktadır. Ancak, model uygulamasının kapsamı ve ölçeği arttıkça, model karmaşıklığı da artabilmekte ve buna bağlı olarak ihtiyaç duyulan parametre sayısı da artmaktadır. Belirsizlik parametrelerinin çoğalması, fiziksel bazlı modellerin havza ölçeğinde uygulanmasını kısıtlamaktadır. Bunun sonucunda havza ölçeğinde parametreleri ölçülebilen modellerin uygulanması zorlaşmaktadır (Al-Abed and Whiteley, 2002). Parametreleri kalibre edilen modeller ise, fiziksel süreçleri tüm ayrıntıları ile ele alan özgün denklemler yerine, süreçleri genel hatları ile temsil eden denklemleri kullanmaktadır. Bu denklemlerin bünyesindeki ampirik katsayılar deneme yanılma yöntemi ile belirlenmektedir. Çok sayıda model parametresinin olduğu, bu parametrelerin sayısal büyüklüklerinin fiziksel süreçlere olan etkilerinin doğrudan anlaşılmadığı ve parametrelerin birbirlerinin büyüklüklerini etkiledikleri durumlarda, model kalibrasyonunun başarılı bir şekilde tamamlanması zorlaşmaktadır (Hayashi et al., 2004).

HSPF kavramsal bir model olup karmaşık yapıdadır. Model parametrelerinin değerlendirilmesinin yanı sıra modelde itici dış güçlerle ilgili verilere ve havzanın fiziksel özelliklerini karakterize eden topografya, zemin özellikleri, arazi kullanımı gibi diğer alansal verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Değişik amaçlı çevre verisi analizlerini bir araya getirebilen bütünlük sistemler, bunun gibi karmaşık yapıdaki modellerin kalibrasyonunda kullanılan temel araçlardır.

Türkiye’de Doğu Anadolu Bölgesi’ndeki kar erimesinin etkili olduğu dağlık havzalarda, debi benzetimlerini etkili bir şekilde ortaya koyabilmek adına kar erimesine etki eden parametrelerin karakterizasyonu önem arz etmektedir.

MATERYAL VE YÖNTEM

Kar birikmesi ve erimesine etki eden parametrelerin karakterizasyonu için kurulan ve BASINS sisteminin çekirdeğini oluşturan HSPF modeli, 15’er dakikalık hava sıcaklığı, çığ noktası sıcaklığı, yağış ve bulutluluk, rüzgâr hızı, potansiyel evapotranspirasyon ve güneş

ışması (solar radyasyon) zaman serileri ile enerji dengesi metodolojisi kullanılarak kurulmuş (Bicknell et al., 2001) ve sonuçlar kar yastığından elde edilen veriler ile karşılaştırılmıştır. Meteorolojik zaman serileri HSPF enerji dengesinin kurulabilmesi için bütün verilerin eksiksiz olarak bulunduğu 2009 su yılı için, havza sınırları içerisinde 2454 m rakımında güney bakısında kurulmuş olan Güngörmez otomatik meteoroloji ve kar gözlem istasyonundan elde edilen meteorolojik veriler ve gözle gözlemlenerek kaydedilen bulutluluk durumu kullanılarak derlenmiştir (Şengül, 2011).

HSPF model programı 5 dakikaya kadar inebilen aralıklarla modelleme gerçekleştirebilmektedir. Literatürde, havza çalışmalarında genellikle saatlik zaman aralıklarında veriler kullanılarak modelleme yapılmaktadır. Ancak Kırkgöze-Çipak havzasının dağlık bir alan olması ve kar erimesinin gün içerisindeki salınımlardan önemli ölçüde etkilendiği göz önüne alındığında meteoroloji istasyonlarından alınan 15’er dakikalık çözünürlükteki verinin havzayı daha iyi bir şekilde temsil edebileceği bu çalışma için uygun görülmüştür. Havzada işletilen otomatik meteoroloji ve kar gözlem istasyonları TÜBİTAK 106Y293 nolu proje desteğiyle kurulmuştur (Şekil 2). Kar potansiyeli yüksek olan dağlık bir havza içerisindeki istasyonlardan alınan iklim verilerinin yeterli, kaliteli ve gerçek zamanlı toplanabildiği gösterilmiştir (Acar ve ark., 2009a; Acar et al., 2009b).



Şekil 2. Otomatik meteoroloji ve kar gözlem istasyonu

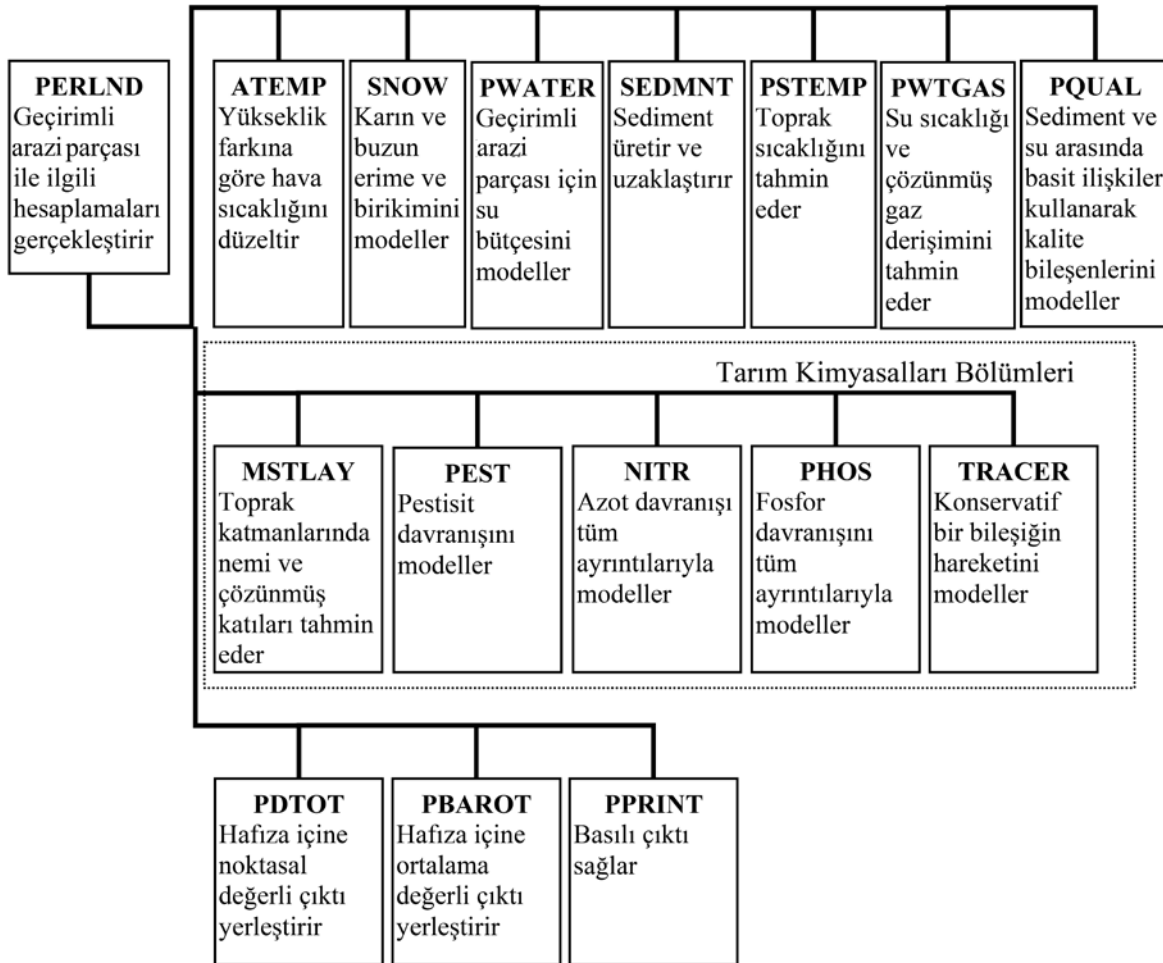
HSPF Model Parametreleri

Poligonal bir arazi parçası, simüle edilmiş havzanın alt bölümlerinden biridir. Sınırlar kullanıcının ihtiyaçlarına göre kurulur. Genellikle her bir parça (segment) benzer hidrolojik karakteristikli bir alan olarak tanımlanır. Modelleme amaçları için su, sediment ve su kalitesi öğeleri havzadan yanlamasına doğru aşağı eğimli bir parça (segment) veya bir rezervuara bırakılır. Su bütçesine etki edecek kadar yeterince sızmaya izin veren kapasiteye sahip bir arazi parçası geçirimli olarak düşünülür. PERLND modülünde HSPF modeli için geçirimli bir arazi parçasında meydana gelen su kalitesi ve niceliği işlemlerini simüle edilmektedir.

PERLND'deki temel modül bölümleri, kar birikmesi ve erimesini (SNOW bölümü), su bütçesini (PWATER bölümü), arazi yüzey erozyonu ile oluşan sedimenti (SEDMNT bölümü) ve çeşitli yöntemlerle su kalitesi öğelerini (PQUAL bölümü ve Tarım

Kimyasalları bölümü) simüle eder. ATEMP bölümü ile kar erimesi ve zemin sıcaklığı hesaplamalarında kullanmak için hava sıcaklığını doğrulayan yardımcı fonksiyonlar yürütülür. Yapı şemasındaki bölümler soldan sağa doğru yerine getirilir (Şekil 3). Bu çalışmada sırasıyla ATEMP ve SNOW bölümleri çalıştırılmış ve metodolojisi sunulmuştur.

HSPF programında sonradan yapılan iyileştirmelerle model girdi ve çıktıları İngiliz birim sistemi ve metrik sistemin her ikisini de desteklemektedir. Ancak Fortran kodlarının orijinali İngiliz birim sisteminde yazıldığından, Amerika Birleşik Devletleri haricindeki kullanımlarda edinilen tecrübe ile, daha anlaşılır ve problemsiz bir model kurabilmek için, giriş parametrelerinin İngiliz birim sisteminde girilmesi, çıktıların ise metrik sistemde alınması tavsiye edilebilir. Bu nedenle bu metodolojide model giriş parametreleri orijinal koda bağlı kalarak sunulmuş, metrik sistem karşılıkları da verilmiştir.



Şekil 3. PERLND'de temel modüller ve işleyiş sırası

Hava Sıcaklığı Yükseklik Farkı – ATEMP

ATEMP'in amacı, havzadaki herhangi bir arazi parçası üzerindeki ortalama hava sıcaklığını gösteren girdi hava sıcaklığını modifiye ederek değiştirmektir.

Hava sıcaklığı doğrulaması, arazi parçasının yüksekliği sıcaklık istasyonunun (ölçme aletinin) yüksekliğinden önemli derecede farklı ise gereklidir. Eğer yükseklik için doğrulamaya gerek yoksa bu modül kullanılmayabilir.

$$AIRTMP = GATMP - LAPS * ELDAT \quad (1)$$

AIRTMP = Doğrulanmış hava sıcaklığı (derece F)

GATMP = İstasyonda hava sıcaklığı (derece F)

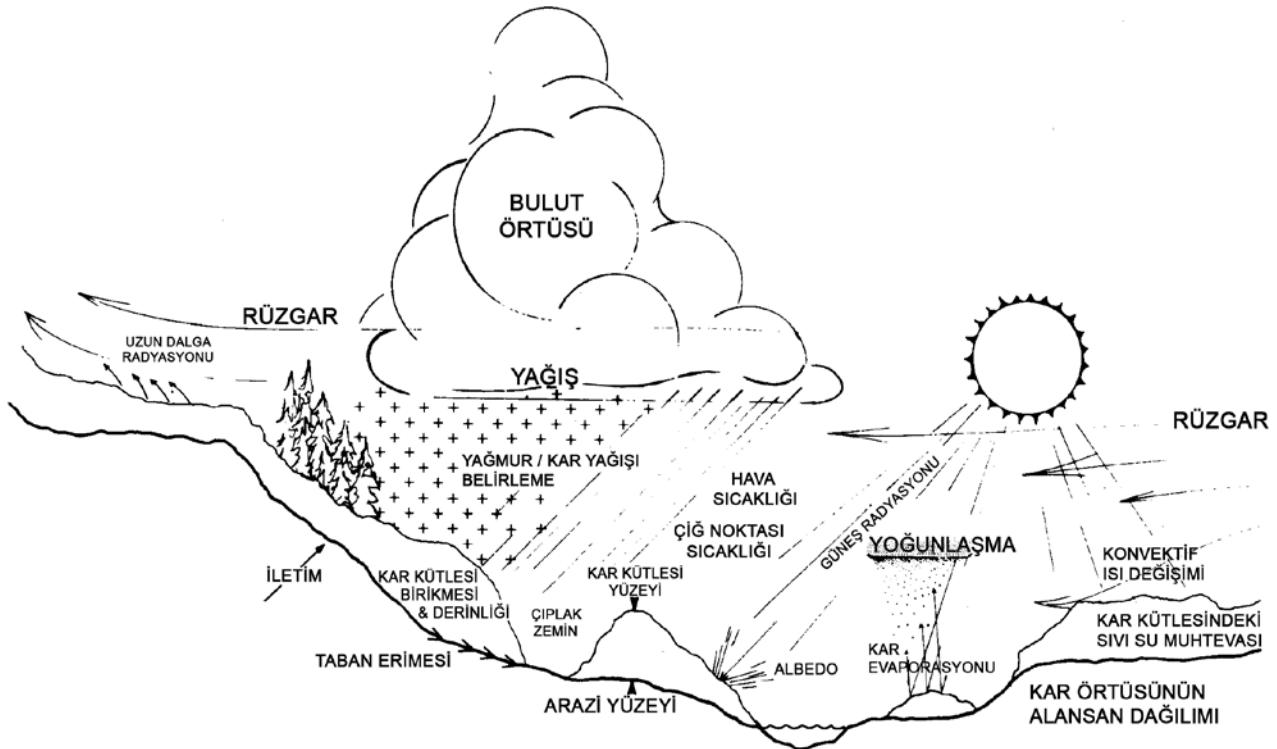
LAPS = Düşme oranı (derece F foot⁻¹)

ELDAT = Arazi parçası ve istasyon arasındaki yükseklik farkı (ft)

Kar ve Buzun Birikmesi ve Erimesi – SNOW

SNOW karın düşme, birikme ve erimesinden elde edilen akışla ilgili bir modüldür. Bu modül özellikle kar yağışının etkili olduğu havzalarda, kar erimesinden elde edilen akışın çıkış debisi üzerinde etkili olduğu düşünüldüğünde hidrolojik paketin önemli bir bölümüdür.

Bir arazi parçası üzerinde kar birikmesi ve erimesi ile alakalı işlemleri modellemek için iki seçenek mevcuttur. İlk yöntem, İstihkâm Sınıfı (Corps of Engineers) (Anonymous, 1956), Anderson and Crawford (1964) ve Anderson (1968) tarafından yapılan çalışmalara dayanan bir enerji dengesi yaklaşımıdır. Fiziksel ilişkiler iyi bilinmediğinde ampirik ilişkiler kullanılır. Kar algoritmaları, yağışın yağmur veya kar olup olmadığını belirlemek amacıyla, kar kütlesi için bir enerji dengesi simüle etmek ve kar kütlesine ısı akışının etkisini belirlemek için meteorolojik verileri kullanır. Şekil 4'de kar birikme ve erime işlemlerindeki süreçler gösterilmektedir.



Şekil 4. Kar birikme ve erime işlem süreci

İsteğe bağlı, ikinci bir kar erime yöntemi ise çok daha yüzeysel olarak sıcaklık indeksini veya derecenin yaklaşımını (Rango and Martinec, 1995) kullanır.

Altı meteorolojik zaman serisi, seçilen seçeneğe bağlı olarak, simüle edilen her arazi parçası için SNOW tarafından gerekli olabilir (Çizelge 1).

Çizelge 1. SNOW modülünde kullanılan meteorolojik zaman serileri

Meteorolojik Nicelik	Enerji Dengesi	Sıcaklık İndeksi
Yağış	Gerekli	Gerekli
Hava Sıcaklığı	Gerekli	Gerekli
Güneş Radyasyonu	Gerekli	Kullanılmıyor
Çiğ Noktası	Gerekli	Opsiyonel
Rüzgâr Hızı	Gerekli	Kullanılmıyor
Bulut Örtüsü	Opsiyonel	Kullanılmıyor

Bu zaman serilerinin hepsinden bir değer, her simülasyon aralığının başlangıcında SNOW'a girdi olarak kullanılır. Buna rağmen, meteorolojik zaman serilerinin bazıları, kar kütesinden evaporasyonun potansiyel oranının hesaplanmasındaki gibi, sadece ara hesaplama oranları için kullanılır.

Hava sıcaklığı, yağışın yağmur veya kar şeklinde olup olmadığını belirlemek için kullanılır. TSNOW kritik sıcaklığı çığ noktasına bakılarak doygun olmayan şartlarda 1°F'a (1.8°C) kadar yukarı doğru ayarlanabilir. Bu ayarlama sıcaklık indeks yöntemi kullanılırken opsiyoneldir ve sadece geçirimli arazi parçasına (Previous Land Segment, PLS) çığ noktası zaman serileri girdi olarak sağlandığında kullanılır.

Kar bir defa zemin üzerinde birikmeye başlarsa, kar birikmesi ve erimesi hesapları gerçekleşir. Kar kütesinin erimesini etkileyen ısının beş kaynağı simüle edilebilir (sıcaklık indeks yaklaşımı kullanıldığında).

1) Net radyasyon ısısı (RADHT), uzun dalga ve kısa dalga

2) Havadan hissedilir ısının konveksiyonu (CONVHT)

3) Kar kütesi üzerinde nemli havanın yoğunlaşmasıyla gizli ısı transferi (CONDHT)

4) Yağmurdan ısı, yağmur yağışından hissedilir ısı (RNSHT) ve kar kütesi üzerinde yağmurdan donmasından gizli ısı

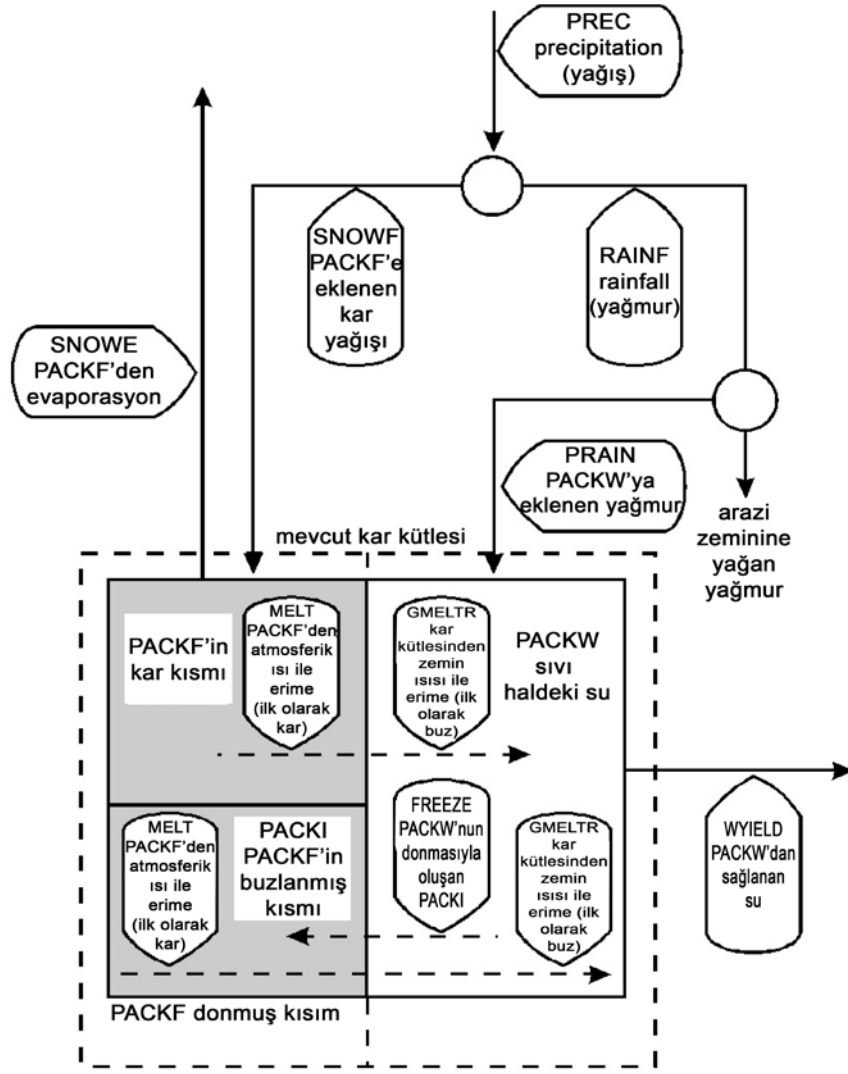
5) Zemin üzerinden kar kütesine ısı iletimi (GMELTR)

Evaporasyondan gizli ısı gibi diğer ısı değişimi işlemleri daha az önemli olduğu düşünülür ve simüle edilmez. Eğer enerji dengesi seçeneği açıksa, RADHT, CONVHT ve CONDHT için enerji hesaplamaları HEXCHR alt programı tarafından çalıştırılır. Bu üç ısı kaynağının toplamı MOSTHT ile ifade edilir. Yağmur donmasından gizli ısı WARMUP alt programında

dikkate alınır. RNSHT, SNOW ana alt programında hesaplanır. GMELTR, GMELT alt programında hesaplanır ve kar kütesinden ayrıca çıkarılır.

İşlemlerde benzerliğin sağlanabilmesi için bütün hesaplamalarda enerji değerleri, eritecekleri su eşdeğeri cinsinden hesaplanır. 32 derece F (0°C)'da 1 inç (2.54 cm) su eşdeğerindeki karın erimesi için yüzeyde cm² başına 202.4 kalori gerekir. RNSHT'yi de içeren ve kar kütesine giren bütün ısı kaynaklarının pozitif veya sıfır olduğu kabul edilirken RADHT negatif değer alabilir (ısının kütleyle terk etmesi). Atmosferden gelen net ısı (MOSTHT ve RNSHT'nin toplamı) kar kütesini ısıtmak için kullanılır. Kar kütesi, yağmur donması ile serbest bırakılan gizli ısı tarafından ilaveten ısıtılmış olabilir. Kar kütesini ısıtmak için gerekli olan 32 derece F (0°C) üzerinde herhangi bir fazla ısı, kütleyle eritmek için kullanılır. Aynı şekilde negatif bir ısı deposu üreten net ısı kaybı, kar kütesini soğutmak için kullanılır. Ayrıca, zeminden gelen ısı kar kütesini atmosferik ısı kaynaklarından bağımsız olarak alt taraftan eritmektedir. Bunun haricinde erime oranı kar kütesinin sıcaklığına bağlıdır.

Şekil 5'de SNOW bölümünde modellenen nem işlemleriyle ilgili şematik bir gösterim verilmiştir. Yağış, kar kütesi veya zemin üzerine yağmur veya kar şeklinde düşebilir. Simüle edildiğinde, evaporasyon sadece kütenin donmuş kısmından olur (PACKF). Kütenin donmuş kısmı kar ve buzdan oluşur. PACKF'in buz kısmının kar kütesinin alt kısımlarında olduğu düşünülür, bu yüzden zeminden ısı iletildiğinde ilk eriyecek kısımdır. Benzer şekilde, PACKF'in kar kısmı atmosferik ısı arttığında eriyecek ilk kısımdır. PACKF'in eriyen kısmı ve/veya kar kütesine düşen yağmur ile kar kütesinin taşıma kapasitesini aşabilecek, toplam kar kütesinin sıvı su kısmı üretilir. Üzerinde kar kütesi olmayan çıplak arazideki su akışı ve yağmur ayrıca P WATER veya I WATER (tamamıyla geçirimsiz arazi parçalarının simüle edildiği modül) bölümüne girdi olarak konulur.



Şekil 5. SNOW bölümünde modellenen nem şeması

Yağmurdan (RNSHT) kar kütlesine giren ısı transferi, SNOW ana alt programında hesaplanır. Aşağıdaki fiziksel tabanlı eşitlik kullanılır:

$$RNSHT = (AIRTMP - 32.0) * RAINF / 144.0 \quad (2)$$

AIRTMP = Havanın sıcaklığı (derece F)

RAINF = Yağmur yüksekliği (inç)

144.0 = Erimenin eşdeğer yüksekliğine dönüştürmek için faktör

32.0 = Donma noktası (derece F)

Kar kütlesinin diğer karakteristikleri de SNOW ana alt programında belirlenir. Mevcut kar kütlesi tarafından

arazinin ne kadarının karla kaplı olduğu, kar kütlesinin derinliğinin COVIND parametresinin bir fonksiyonu olan bir örtü indeksine (COVINX) bölünmesiyle ve EFFPRC alt programında açıklanan kütlenin tarihsel verileriyle tahmin edilir. Kar kütlesinin sıcaklığı:

$$PAKTMP = 32.0 - NEGHTS / (0.00695 * PACKF) \quad (3)$$

PAKTMP = Kar kütlesinin ortalama sıcaklığı (derece F)

NEGHTS = Negatif ısı deposu (inç olarak su eşdeğeri)

PACKF = Kar kütlesinin donmuş içeriği (inç olarak su eşdeğeri)

0.00695 = Fiziksel tabanlı dönüştürme faktörü

Meteorolojik Şartlar – METEOR

METEOR alt programı, ampirik denklemleri kullanarak, karla ilgili spesifik işlemler üzerinde belirli meteorolojik şartların etkilerini tahmin eder. Yağışın kar mı yoksa yağmur mu şeklinde olduğunu belirler. Yağışın şekli, akışın ve kar erimesinin güvenilir bir şekilde simüle edilmesi için kritiktir. Kar yağdığı zaman, yoğunluk yeni kar kütesinin yüksekliğini (derinliğini) belirlemek için hesaplanır. Açık olan gökyüzü parçası da radyasyon algoritmalarında kullanılmak üzere (eğer gerekirse) tahmin edilir ve eğer hava sıcaklığından daha sıcaksa istasyonun çığ noktası sıcaklığı doğrulanır.

Eğer çığ noktası girdi ise, doğrulanır ve kar yağışı için kritik sıcaklık ayarlaması için kullanılır. Bir istasyonun çığ noktasının hava sıcaklığından yüksek olması fiziksel olarak mümkün değildir ve kar kütesi evaporasyonunun hesaplanmasında hatalı sonuçlar verir. Bu yüzden, bu durum oluştuğunda çığ noktası hava sıcaklığına eşit alınır. Aksi takdirde istasyon çığ noktası kullanılır. Aşağıdaki ifade kar yağışının oluştuğu etkili hava sıcaklığı düşüşünün saatlik olarak hesaplanmasında kullanılır:

$$SNOTMP = TSNOW + (AIRTMP - DEWTMP) * (0.12 + 0.008 * AIRTMP) \quad (4)$$

SNOTMP = Yağışın kar şeklinde gerçekleştiği hava sıcaklığı eşiği (derece F)

TSNOW = Parametre (derece F)

AIRTMP = Hava sıcaklığı (derece F)

DEWTMP = Çığ noktası sıcaklığı (derece F)

Eşitlik 4 ile hesaplanan SNOTMP'nin TSNOW'dan maksimum bir derece F sapmasına izin verilir. Eğer çığ noktası girdi değil ise o zaman SNOTMP daima TSNOW'a eşit olur. AIRTMP, SNOTMP'ye eşit veya büyük olduğunda yağışın yağmur şeklinde olduğu farz edilir. Kar yağışı meydana geldiğinde, yoğunluğu hava sıcaklığının bir fonksiyonu olarak aşağıdaki gibi tahmin edilir:

$$RDNSN = RDCSN + (AIRTMP/100.0) * 2 \quad (5)$$

RDNSN = Yeni kar yağışının yoğunluğu (0°F = -17.8°C veya daha fazla sıcaklıklarda), sıvı su ile ilgili

RDCSN = Hava sıcaklığının sıfır derece F ve altında olduğu zaman yağın yeni karın yoğunluğunun,

suyun yoğunluğuna oranını belirten parametre

RDNSN, kar eklenmesinden dolayı kar kütesinin yeni derinliğini hesaplamak için EFFPRC'nin alt programında kullanılır. Bu ve diğer bütün kar yoğunluğu terimleri birim kar kütesinin derinliği başına (inç) birim su eşdeğeridir (inç).

Enerji dengesi seçeneği seçildiğinde açık olan gökyüzü parçası oranına (SKYCLR) bulutlardan kar kütesine doğru etki eden uzun dalga geri radyasyonunun hesaplanması için ihtiyaç duyulur (HEXCHR alt programında hesaplanır). Eğer bulut örtüsü bir zaman serisi olarak girdi ise, SKYCLR doğrudan bu zaman serisinden hesaplanır. Aksi halde, SKYCLR son yağış olayının olduğu zamandan itibaren tahmin edilir. Yağışın meydana gelmesi sırasında bir aralıkta, SKYCLR 0.15 minimum değerine ayarlanır. Olaylar arasında, her simülasyon zaman aralığında aşağıdaki şekilde artar:

$$SKYCLR = SKYCLR + (0.0004 * DELT) \quad (6)$$

DELTA = Simülasyon zaman aralığı (dakika) gösterir

SKYCLR, resetlemeye neden olan ya birliğe (unity) veya yağışa ulaşıncaya kadar artar

Kütle Üzerine Yağış – EFFPRC

Bu alt programın amacı düşen karı kütleyle eklemek, kar kütesi üzerine düşen yağmurun miktarını belirlemek ve yeni kar miktarını dikkate almak için kar kütesinin “dullness” değerini ayarlamaktır.

Kar veya yağmur şeklinde düşen yağışın miktarı METEOR alt programında belirlenir. EFFPRC alt programı kar yağışı veya yağmurun arazi parçası üzerine olan etkisini açıklar. Bu alt program kar kütesinin derinliğindeki artışı, kütle üzerine yağın miktarının kar yoğunluğuna bölünmesiyle analiz ederek başlar.

Arazi parçasının kar kütesiyle örtülü bölümü (SNOCOV), alansal kapsama indeksinin (COVINX) yeniden hesaplanmasıyla belirlenir. Kar kütesinin donmuş miktarı (PACKF), kar örtüsü tarafından alanın tamamen kaplanmasını sağlamak için gereken PACKF yüksekliğini açıklayan parametre eşliğini (COVIND) aştığı zaman, COVINX değeri COVIND'e eşit olarak ayarlanır. Aksi halde, COVINX, PACKF'in en büyük önceki değerine eşitlenir. Eğer PACKF < COVINX ise SNOCOV = PACKF / COVINX olur. Kar kütesi üzerine

yağan yağmurun miktarı, yağmur olarak düşen yağış parçasının SNOCOV ile çarpılması sonucunda elde edilir. Kar kütlesi üzerine düşen yağmur, ya kütlenin donmuş kısmına eklenip donar veya kütleyi ısıtmak için kullanılan ısıyı üreterek (WARMUP alt programında) aynı zamanda kütlenin sıvı su muhtevasını artırır (LIQUID alt programında). Kar kütlesinin üzerine düşmeyen yağmurun ise çıplak arazi üzerine düştüğü farz edilir.

Enerji dengesi seçeneği altında, kar kütlesi yüzeyinin albedosu, RADHT radyasyon ısı akışını hesaplamak için kullanılır. Kar yağışı olduğunda, kar kütlesinin “dullness” indeksi (DULL) bu zaman aralığı için kar yağışının bin katı kadar azaltılır. Buna rağmen eğer kar yağışının bin katı DULL’un önceki değerinden büyükse, DULL değeri mükemmel yansıtıcılığı olan karın yeni bir katmanı için hesaplama yapmak için sıfıra ayarlanır. Aksi halde, kar yağışı olmadığında DULL maksimum 800’e kadar saat başına bir indeks birimi artar. Bu yüzden DULL fiziksel birimi olmayan, bir indeks olarak kullanılan ampirik bir terimdir. DULL, HEXCHR alt programında kısa dalga enerji hesaplamalarında sırasında kullanılan kar kütlesinin albedosunu belirlemek için kullanılır.

Kütle Sıkışması (Compact) – COMPAC

Yeni karın eklenmesi, EFFPRC alt programındaki gibi kar kütlesinin derinliğini artırmasının yanı sıra yoğunluğunu da azaltacaktır. Kütle, maksimum bir yoğunluğa ulaşıncaya kadar zamanla sıkışma eğiliminde olacaktır. COMPAC alt programının amacı, sıkışma oranını belirlemek ve sıkışmadan dolayı derinlikteki gerçek değişimi hesaplamaktır.

Kar için bağıl yoğunluk %55’ten düşük olduğunda sıkışmanın gerçekleştiği farz edilir. Sıkışmanın oranı aşağıdaki ampirik ifadeye göre hesaplanır:

$$COMPCT = 1.0 - (0.00002 * DELT60 * PDEPTH * (0.55 - RDENPF)) \quad (7)$$

COMPCT = Aralık başına kar kütlesi sıkışmasının birim oranı

DELT60 = Bir aralıktaki saatlerin sayısı

PDEPTH = Toplam kar kütlesinin inç olarak kar kütlesi derinliği

RDENPF = Sıvı suya göre kütlenin yoğunluğu

PDEPTH için yeni değer COMPCT ile PDEPTH çarpımıdır. PDEPTH, LIQUID alt programında belirlendiği gibi sıvı su tutma kapasitesini etkileyen kar kütlesinin bağıl yoğunluğunu hesaplamak için kullanılır.

Kütleden Buharlaşma – SNOWEV

SNOWEV alt programı, enerji dengesi yöntemi kullanılmaya başlandığında kar kütlesinden buharlaşmayı (süblimleşme) tahmin eder.

Kar kütlesinden buharlaşma, sadece havanın buhar basıncı kar yüzeyindeki buhar basıncından daha az olduğunda gerçekleşir ki, bu durum ancak hava buhar basıncının 6.108 mbar’dan daha az olduğu zaman meydana gelmektedir.

Nitekim bu değer kar kütlesi üstündeki ince yüzey filmi halindeki havanın ulaşabildiği maksimum buhar basıncıdır. Bu şart karşılandığı zaman evaporasyon aşağıdaki ampirik ilişki ile hesaplanır:

$$SNOWEP = SNOEVP * 0.0002 * WINMOV * (SATV - AP - VAP) * SNOCOV \quad (8)$$

SNOWEP = Kar kütlesinin donmuş kısmından buharlaşmanın potansiyel oranı (su eşdeğeri aralık⁻¹, inç olarak)

SNOEVP = Arazi şartlarına göre hesaplamayı ayarlamak için kullanılan parametre

WINMOV = Rüzgâr akımı, hareketi (mil zaman_ aralığı⁻¹)

SATVAP = Mevcut hava sıcaklığında havanın doygun buhar basıncı (mbar)

VAP = Mevcut hava sıcaklığında havanın buhar basıncı (mbar)

SNOCOV = Kar kütlesi tarafından kaplanan arazi parçasının bölümü (fraction)

Eğer yeterli kar kütlesi varsa potansiyel evaporasyon (SNOWEP) gerçekleşecektir. Aksi takdirde sadece kalan kütle buharlaşacaktır.

Diğer durum için, buharlaşma sadece kar kütlesinin donmuş miktarından meydana gelecektir. Buharlaşmanın kütlenin içindeki ısı dengesine etkisinin önemsiz olduğu düşünülür.

Isı Değişim Oranları Tahmini – HEXCHR

Bu alt programın amacı, enerji dengesi yöntemi kullanıldığında yoğunlaşma, iletim ve radyasyondan dolayı atmosferden ısı değişimini tahmin etmektir.

Yoğunlaşma ile elde edilmiş ısının belirlenmesi yöntemi: Nemli hava kütleleri kar kütlesi üzerinde gezindiğinde, yoğunlaşma gizli ısısının transferi önemli olabilir. Hava, kar kütlesi üzerinde yoğunlaşacak kadar nemli olduğunda yoğunlaşma meydana gelir. Yani havanın buhar basıncı 6.108 mbar'dan büyük olduğu zaman yoğunlaşma gözlenir. Bu fiziksel işlem kar buharlaşmasının tersidir. Bu durumda ısı, başka bir ampirik ilişki ile hesaplanarak üretilir:

$$CONDHT=8.59*(VAP-6.108)*CCFACT*0.00026*WINMOV \quad (9)$$

CONDHT = Kar kütlesine yoğunlaşma ısı akışı (su eşdeğeri zaman aralığı⁻¹, inç olarak)

VAP = Mevcut hava sıcaklığında havanın buhar basıncı (mbar)

CCFACT = Saha (alan, arazi) şartlarına göre erime değerlerini doğrulamak için kullanılan parametre

WINMOV = Rüzgâr akımı, hareketi (mil zaman aralığı⁻¹)

CONDHT sadece pozitif veya sıfır olabilir (yani kütleye giren)

İletim ile elde edilmiş ısının belirlenmesi yöntemi: Atmosferdeki türbülans değişimi ile elde edilen ısı sadece, hava sıcaklıkları donma noktasından büyük olduğu zaman meydana gelebilir. Isının bu iletimi ampirik ifade ile hesaplanır:

$$CONVHT=(AIRTMP-32.0)*(1.0-0.3*MELEV/10000.0)*CCFACT*0.00026*WINMOV \quad (10)$$

CONVHT = Kar kütlesine iletim ısı akışı (su eşdeğeri zaman aralığı⁻¹, inç olarak)

AIRTMP = Hava sıcaklığı (°F)

MELEV = Deniz seviyesinden arazi parçasının ortalama yüksekliği (ft)

Bu simülasyonda CONVHT sadece pozitif veya sıfır olabilir; yani giren enerjidir.

Radyasyon ile elde edilmiş ısının belirlenmesi yöntemi: Radyasyon ile elde edilmiş ısı:

$$RADHT=(SHORT+LONG)/203.2 \quad (11)$$

RADHT = Kar kütlesine radyasyon ısı akışı (su eşdeğeri zaman aralığı⁻¹, inç olarak)

SHORT = Net güneş veya kısa dalga radyasyon (langley zaman aralığı⁻¹) (1 Langley = 1 gram kalori cm⁻²)

LONG = Net karasal veya uzun dalga radyasyon (langley zaman aralığı⁻¹)

203.2 sabiti 32 derece F'da kardan erimede, 1 inç yüksekliğinde su üretmek için gerekli olan langley miktarıdır. RADHT pozitif veya negatif olabilir; yani, giren veya çıkan enerji olabilir.

SHORT ve LONG aşağıdaki gibi hesaplanır. Bir zaman serisine gerek duyulan güneş radyasyonu, albedo ve gölge etkisiyle değiştirilir. Kar kütlesinin albedosu veya yansıtıcılığı, kütlenin dullness değeri (DULL) ve sezonun bir fonksiyonudur. 6 yaz ayı için albedo değerleri (ALBEDO) aşağıdaki eşitlikle hesaplanır:

$$ALBEDO=0.80-0.10*(DULL/24.0)**0.5 \quad (12)$$

Kış aylarında ise albedo değerleri şu eşitlikle hesaplanır:

$$ALBEDO=0.85-0.07*(DULL/24.0)**0.5 \quad (13)$$

ALBEDO, yaz ayları için 0.45, kış ayları için ise 0.60 minimum değerine izin verir. Arazi parçasının dünya üzerindeki yarım küresel konumu yaz ve kış periyotlarının belirlemesi için yukarıdaki eşitlikler kullanıldığında dikkate alınır. Kuzey yarım küre için veri girişi pozitif olan enlem parametresi kullanılarak yapılır.

Kütlenin albedosu bir defa bulunduğu güneş radyasyonu (SHORT) aşağıdaki eşitliğe göre modifiye edilerek değiştirilir:

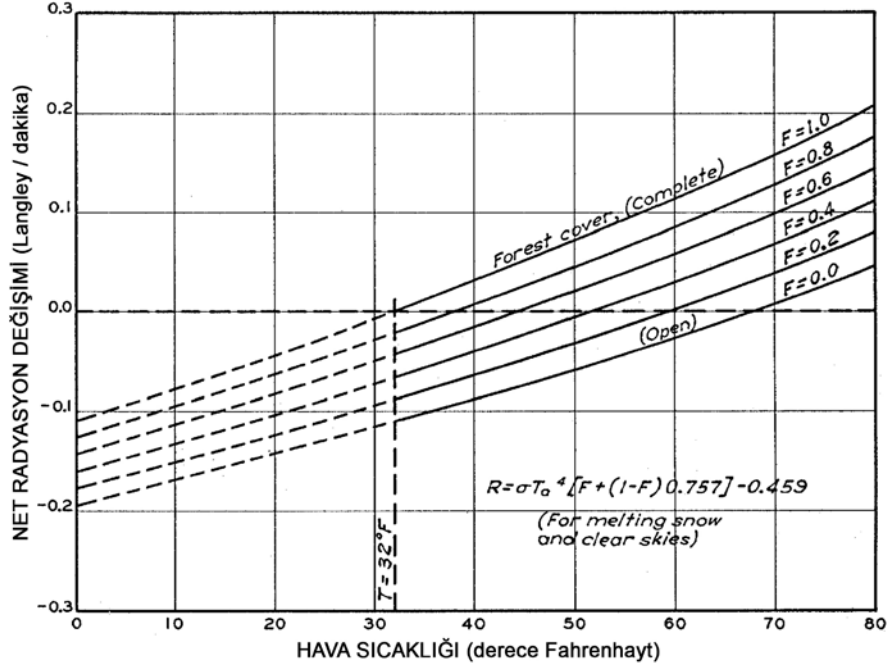
$$SHORT=SOLRAD*(1.0-ALBEDO)*(1.0-SHADE) \quad (14)$$

SOLRAD = Güneş radyasyonu (langley aralık⁻¹)

SHADE = Gölgelemiş arazi parçası oranını belirten parametre

Daha yaygın bir şekilde ölçülen kısa dalga radyasyonunun aksine, uzun dalga radyasyonu (LONG) kar kütesinin ve çevresinin yayma özelliklerinin teorik değerlendirmesinden tahmin edilir.

Aşağıdaki eşitlikler, Stefan'ın Siyah Cisim Yasası'na dayanan eğrilerin (Şekil 6) lineer yaklaşımlarıdır ve sadece hava sıcaklığına bağlı sabitlerle değişir.



Şekil 6. SHADE etkisinin sıcaklığa bağlı olarak net uzun dalga radyasyon değişimine etkisi (Anonymous, 1956)

LONG, donma noktasının üzerindeki hava sıcaklıkları için:

$$LONG=SHADE*0.26*RELTMP+(1.0-SHADE)*(0.2*RELTMP-6.6) \quad (15)$$

donma noktası ve altında hava sıcaklıkları için:

$$LONG=SHADE*0.20*RELTMP+(1.0-SHADE)*(0.17*RELTMP-6.6) \quad (16)$$

$$RELTMP = \text{Hava sıcaklığı} - 32(^{\circ}\text{F})$$

6.6 = Açık alanlarda kar kütesinden ortalama geri radyasyon kaybı (langley aralık⁻¹)

eşitlikleri ile hesaplanır. Bu eşitliklerdeki sabitler orijinal olarak saatlik zaman aralıklarına dayandığından, hesaplanmış değerlerin her ikisi de modelleme aralığı başına saatlerin sayısı (DEL60) ile çarpılır ve böylece simülasyon zaman aralığına denk gelir. Ek olarak, modelde uzun dalga radyasyonunun negatif olduğu zaman dilimlerinde, bulutlardan yansıyan geri radyasyonu açıklamak için, LONG değeri açık gökyüzü oranıyla (SKYCLR) çarpılır.

Kütleden Isı Kaybı – COOLER

Bu kodun amacı, kar kütesinin çevresindeki havadan daha sıcak olduğu ve bu yüzden ısı kaybettiği zaman diliminde kar kütesini soğutmaktır. Bu durumda çıkan enerji kar kütesinin negatif ısı kapasitesine aktarılır ve daha sonra kütleye ısı girdiğinde WARMUP alt modülünde olduğu gibi erime gerçekleşmeden önce gelen ısı ile bu kayıp tedarik edilir.

Atmosfere ısı kaybının olduğu ve kar kütesinin sıcaklığının hava sıcaklığından fazla olduğu her aralıkta negatif ısı depolaması artacaktır; yani kütle soğuyacaktır. Buna rağmen maksimum bir ısı depolaması vardır. Her zaman olabilecek maksimum negatif ısı depolaması, kar kütesinin en altındaki tabakanın 32°F (0°C) olduğu varsayımıyla, bu sıcaklığın üzerinde olduğu düşünülen hava sıcaklığından itibaren kütlede lineer bir sıcaklık dağılımı gerçekleştiği farz edilerek bulunur. Bu maksimum negatif ısı depolaması saatlik olarak aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$MNEGHS=0.00695*(PACKF/2.0)*(-RELTMP) \quad (17)$$

MNEGHS=Maksimum negatif ısı depolaması (inç olarak su eşdeğeri)

PACKF=Kar kütlelerinin donmuş muhtevasının su eşdeğeri (inç)

RELTMP=Donmanın üstünde hava sıcaklığı (°F)

Negatif ısı depolamasının birikimi aşağıdaki ampirik eşitlikten saatlik olarak hesaplanır:

$$NEGHT=0.0007*(PAKTMP-AIRTMP)*DEL60 \quad (18)$$

NEGHT = Kar kütlelerinin soğumasının potansiyel oranı (inç olarak aralık başına su eşdeğeri)

PAKTMP = Kar kütlelerinin ortalama sıcaklığı (°F)

AIRTMP = Hava sıcaklığı (°F)

DEL60 = Modelleme aralığı başına saatlerin sayısı

NEGHT, MNEGHS tarafından sınırlandırıldığı zamanlar haricinde negatif ısı depolamasına (NEGHTS) her model zaman aralığında eklenir. NEGHTS, SNOW esas alt programında kar kütlelerinin sıcaklığını hesaplamak için ve WARMUP alt programında kütlelerin 32°F'a ulaşmak için ısıtılması gereken büyüklüğü belirlemek için kullanılır.

Kar Kütlelerini Isıtmak – WARMUP

Bu alt program mümkün olduğu zaman kar kütlelerini 32°F'a kadar ısıtır. Kütlede negatif ısı depolaması (COOLER alt programındaki NEGHTS) ve önceki alt programlarda hesaplandığı gibi net giren enerji var olduğu zaman, NEGHTS, daha sıcak bir kar kütleleri ve muhtemel erime ile sonuçlanarak, azalacaktır.

Bu alt programda hesaplamalar sadece muhasebe edilir. NEGHTS değeri, net gelen ısının çıkartılmasıyla sıfır minimumuna kadar azaltılır. Şayet, negatif ısı depolaması kalırsa, kütleye gelen herhangi bir yağmurun donmasıyla açığa çıkan gizli ısı kütleye eklenir. NEGHTS ve diğer bütün ısı değişkenleri erimenin su eşdeğeri (inç veya mm) cinsinden birimleri olduğundan kütle üzerine düşen yağmur yüksekliği (inç veya mm) ve donma NEGHTS'den hiçbir değişim yapılmadan çıkarılır.

Kalan Isı Kullanılarak Kütlelerin Eritilmesi - MELTER

MELTER, gelen ısının ne kadar kaldıysa bununla kütlelerin gerçek erimesini simüle eder. WARMUP alt programında kar kütlelerini ısıtmak için kullanılmayan

herhangi bir ısı, kar kütlelerini eritmek için şimdi kullanılabilir.

Bu alt program sadece muhasebe yapan bir algoritmadır. Net gelen ısı miktarı erimenin su eşdeğeri cinsinden önceden hesaplanmıştır. Bu yüzden, herhangi kalan gelen ısı, kar kütlelerinin boyutuna bağlı olarak ya kısmi olarak ya da tamamen kar kütlelerini eritmek için doğrudan kullanılır.

Kütlede Sıvı Su – LIQUID

LIQUID alt programı öncelikle kar kütlelerinin sıvı depolama kapasitesini belirler. Sonra da depolama kapasitesini doldurmak için ne kadar sıvı suyun mümkün olabileceğini belirler. Kapasite üstündeki sıvı, su eğer donmazsa kar kütlelerinden ayrılır (ICING alt programı).

Kar kütlelerinin sıvı su tutma kapasitesi, sıfırda veya kütlelerin yoğunluğuna bağlı olarak arada bir yerde olabileceği gibi, MWATER parametresiyle belirlenen maksimum değerinde olabilir. Kar kütlelerinin yoğunluğu ne kadar az ise tutma kapasitesi o kadar büyüktür. Aşağıdaki ilişkiler kapasiteyi tanımlar:

MNEGHS= RDENPF>0.91 için,

$$PACKWC=0.0 \quad (19)$$

0.6<RDENPF<0.91 için,

$$PACKWC=MWATER*(3.0-3.33*RDENPF) \quad (20)$$

RDENPF<0.61 için,

$$PACKWC=MWATER \quad (21)$$

PACKWC = Kar kütlelerinin sıvı su tutma kapasitesi (inç inç⁻¹)

MWATER = Kar kütlelerinin maksimum sıvı su muhtevasını belirleyen parametre (inç inç⁻¹)

RDENPF = Kar kütlelerinin sıvı su yoğunluğuna oranı

MWATER, buz katmanı kütlelerinin, kar kristallerinin boyut, şekil ve boşluğu ile kanallaşmanın derecesinin ve kar kütlelerinin petekleşmesinin bir fonksiyonudur.

PACKWC bir kere hesaplandığında hâlihazırda kar kütlelerindeki mevcut olan sıvı su miktarı (PWSUPY) ile karşılaştırılır. PWSUPY aralığın başındaki hâlihazırda depolama ile herhangi bir erime ve donmamış kütlelerin üzerine düşen yağmur toplanarak hesaplanır. Eğer PWSUPY değeri PACKWC'den daha fazlaysa, su kar kütlelerinden arazi yüzeyine akar.

Küttele Buzun Meydana Gelmesi – ICING

ICING alt programının amacı donmadığı takdirde kar kütlesinden ayrılacak suyun olası donmasını simüle etmektir. Sırasıyla bu donma kar kütlesinin altında buz veya donmuş zemin üretir. Bu alt programda buzun, kar kütlesinin altında olduğu veya kütlenin kar kısmının altında zemin içinde donmuş halde bulunarak toplam kütleyi zemine nüfuz ettirerek uzattığı düşünülebilir. Bu alt program sadece belirli alanlarda kabul edilebilir olduğundan opsiyoneldir.

Kar kütlesinin su muhtevasının donması çevrenin kapasitesine bağlıdır. Her gün yaklaşık saat 6:00'da bu kapasite yeniden değerlendirilir. Yeni bir değer, havanın 32°F sıcaklığının altındaki Fahrenheit derecelerinin 0.01 ile çarpılması yoluyla erimenin inç cinsinden değeri ile tahmin edilir. Bu tahmin, eğer önceki 24 saatlik periyottan herhangi bir değer kalmışsa, mevcut donma kapasitesiyle karşılaştırılır. Eğer daha büyükse, yeni tahmin edilen kapasite eskisiyle yer değiştirir yoksa eski değer potansiyel olarak kalır. Kar kütlesini terk edebilecek herhangi bir su akışı kapasite karşılancaya kadar donarak kar kütlesinin buz kısmına eklenir. Geriye kalan su akışı ise kar kütlesinden bırakılır.

Zeminden Gelen Isı Kullanılarak Kütlenin Erimesi – GMELT

GMELT alt programının amacı, kar kütlesinin altında bulunan yüzeyden iletilen ısının neden olduğu erimeyi simüle etmektir. Bu zemin ısısı kütleyi sadece alttan eritir. Bu yüzden bu işlemdeki erime, kar kütlesinin sıcaklığı yolu ile dolaylı etkisi hariç daha önce hesaplanmış ısı etkilerinden bağımsız düşünülür. Diğer erime işlemlerinden farklı olarak, zemin ısısı ilk olarak kar kütlesinin buz kısmını eritir çünkü buzun kar kütlesinin alt derinliklerinde olduğu düşünülür.

Zemin erimesinin potansiyel oranı kar kütlesi sıcaklığının (PAKTMP) ve yığışımı (lumped) bir parametrenin (MGMELT) fonksiyonu olup, saatlik olarak hesaplanır. MGMELT 32°F'lık bir PAKTMP'de zeminden iletilen ısının neden olduğu su eşdeğeri birimindeki maksimum erime oranıdır. MGMELT zeminin ısı iletkenliğine ve normal zemin donma derinliğine bağlıdır.

MGMELT parametresinden azaltılan potansiyel zemin erimesi miktarı PAKTMP'nin 32°F altındaki her bir Fahrenheit derecesinin %3'ü mertebesinde olup minimal değeri toplamda 5 Fahrenheit veya daha düşük

sıcaklıklarda MGMELT'i %19'una kadar azaltabilir. Kar kütlesi olduğu sürece zemin erimesi bu potansiyel oranda meydana gelir.

Kar Kütlesi Kaybolduğu Zaman Durum Değişkenlerini Sıfırlamak – NOPACK

Bu kod, kar kütlesi tamamen kaybolduğu zaman durum değişkenlerini (örneğin SNOCOV) sıfırlar (resetler).

Karın alansal örtüsü (COVINX) için gerekli olan kar kütlesinin donmuş muhtevası arazinin tamamen karla kaplı olduğu varsayılan maksimum değer (COVIND) onda birine ayarlanır. Diğer bütün değişkenlere sıfır ya da -1.0E30 tanımsız değeri atanır.

HSPF Modelinde İstasyonlardaki Kar, Buzlanma ve Erime Süreçleri ile İlgili Analizler

Geçirimli arazi parçaları için HSPF benzetimleri yapılırken kar ile ilgili işlemlerin araziye en iyi şekilde karakterize etmesi için bir takım giriş parametrelerine ihtiyaç duyulur. Bu parametreler meteoroloji istasyonları ve kar yastıklarından alınan veriler ile kalibre edilerek belirli bir sistematik doğrultusunda araziye dağıtılır.

SNOW modülünde arazi ve kar yapısını karakterize edebilmek için ICE-FLAGS, SNOW-FLAGS, SNOW-PARM1 ve SNOW-PARM2 tablolarının her bir eş karakterli arazi alanı için işlenmesi ve kalibre edilmesi gerekmektedir.

ICE-FLAGS Tablosu

Bu tablo ile her bir arazi parçasında biriken kar kütlesi içinde buz formasyonunun oluşup oluşmadığı ve buna bağlı olarak ICING modülünün çalıştırılıp çalıştırılmayacağı komutu girilir. "1" girdisi ile kar kütlesinin taban kısmında buzlanma olduğu, "0" girdisi ile arazide buzlanmanın olmadığı ve dolayısıyla zeminde de infiltrasyon özelliğine etki edecek herhangi bir donmanın olmadığı belirtilir.

Çalışma alanının yüksek rakımlı dağlık bir alan olması nedeniyle bütün alanlarda buzlanma (ICING) modülü etkinleştirilmiştir. Ayrıca, arazi gözlemleri esnasında kar tüpü ile alınan karotların alt kısımlarında buzlanma olduğu da belirlenmiştir.

SNOW-FLAGS Tablosu

Bu tablo ile modellemenin derece-gün yöntemi ile mi yoksa enerji dengesi metodu ile mi yapılacağını belirten anahtarlar vardır. Bu çalışmada kar ile

ilgili modellemeler enerji dengesi metodu seçilerek yürütülmüştür.

SNOW-PARM1 Tablosu

LAT–Latitude: LAT parametresi girişi çalışma havzasının enlemini ifade eder. Kuzey yarım küre için pozitif, güney yarım küre için negatif değerler alır. Modelde mevsim aralıklarının tayini için kullanılır ve yüzey albedosunun alabileceği maksimum ve minimum değerlere etki eder. Kırkgöze-Çipak havzası 40. enlemde bulunduğundan bütün arazi parçalarına 40 değeri girilmiştir.

MELEV–Mean Elevation: Atmosferden kar kütesine konvektif ısı akışını hesaplamak için kullanılan bir parametredir. Her bir arazi parçasının deniz seviyesinden yüksekliğinin feet biriminden ifadesidir. İstasyonun taban kotu tabloya işlenmiştir.

SHADE: Her bir arazi parçasının ağaçlar veya yamaçlardan ötürü gölgelenme oranıdır. SHADE kar kütesine ulaşan güneş radyasyonunu kontrol eder. Ayrıca modelde Stefan'ın Siyah Cisim Yasası'na dayanarak uzun dalga radyasyon hesaplamalarında kullanılır.

SHADE, başlangıçta 0 değeri ile modellemeye başlanmış olup daha sonra kar yastığından elde edilen kar yüksekleri ve kar su eşdeğeri verileri, simülasyon sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Gerçekleştirilen kalibrasyonlar sonucunda, Güngörmez istasyonu için 0.6 değeri bulunmuştur. SHADE parametresi SNOW modülünde net kısa dalga radyasyonu hesaplanırken bir albedo düzeltme katsayısı olarak işlev görmektedir (Eşitlik 14).

SHADE parametresi 1'e yaklaştıkça, kar yüzeyinin gelen kısa dalga radyasyonunu yansıtması artacak ve kütleyle tesir eden net kısa dalga radyasyon miktarını azaltacaktır.

SNOWCF–Snow Coefficient: Rüzgâr kalkını olmayan yağışölçerlerde yağışın kar şeklinde olması durumunda, rüzgâr hızına ve yağışölçerin yapısına bağlı olarak yağışın bir kısmının ölçüm haznesine girmeyeceği belirtilmiştir. Bu durumda, kar olarak yağın yağış SNOWCF ile belirtilen bir düzeltme katsayısı ile çarpılır.

Bu çalışmada, istasyonlarda bulunan yağışölçerlerin yüksek yağış ve aşırı soğuk nedeniyle kış aylarında etkin bir şekilde kullanılamamasından ötürü, yağış

miktarları kar yastığından alınan kar su eşdeğerleri ile simüle edilmiştir. Dolayısıyla bu katsayı bütün arazi parçalarında 1 olarak alınmıştır.

COVIND–Cover Index: Arazi parçasının tümü karla kaplandığında, arazi parçasındaki maksimum kar yüksekliğinin, su eşdeğeri olarak yüksekliğidir (inç). COVIND arazi topolojisinin ve iklim koşullarının bir fonksiyonudur. ARM modeli kullanma kılavuzunda (Donigian and Davis, 1978) eşdeğer bir parametre olan MPACK değişkeni için 1-6 inç arasında değerler önerilmiştir. Düzlük alanların daha fazla olduğu ve kar yağışının etkin olduğu arazilerde genellikle alt sınıra yakın değerler kullanılmaktadır. Dağlık havzalarda ise, arazinin tamamen karla kaplanması için çok daha fazla kar yağışı gerektiğinden COVIND değeri üst sınıra yakın olur. COVIND su eşdeğeri cinsinden girildiği için 1 inçlik bir değer esasen yaklaşık 10 inçlik kar yüksekliğine karşılık gelmektedir.

COVIND parametresi arazi üzerine dağıtılırken arazi gözlemlerinden faydalanılmış ve yükseklik zonlarına göre dağılım yapılmıştır. Buna göre COVIND parametresi, eğimin fazla olduğu Güngörmez topoğrafyası için 4 inç (10.16 cm) alınmıştır.

SNOW-PARM2 Tablosu

RDCSN: Hava sıcaklığı 0 derece Fahrenheit (-17.78°C) veya daha düşük sıcaklıklarda iken yeni yağın kar yoğunluğunun suyun yoğunluğuna oranıdır. Tahmini bir değerle simülasyona başlandıktan sonra kalibre edilmesi gereklidir. Kalibrasyon yapılırken arazi verilerinden elde edilen kar yüksekliği ve kar yoğunluğu değerleri analiz edilir. RDCSN parametresi model çalışırken hava sıcaklığına bağlı olarak otomatik olarak yeniden hesaplanır. Kar yoğunluğu/sıcaklık bağıntısı Bicknell et al. (1997) tarafından açıklanmıştır.

İstasyonlarda kar yastığından elde edilen veriler ışığında kar yüksekliği ve kar yoğunluğu değerleri göz önüne alınarak kalibrasyon yapılmıştır. Güngörmez istasyonu için 0.16 değeri bulunmuştur.

TSNOW: Doygun şartlarda yağışın hangi ıslak termometre sıcaklığının altında kar olarak yağdığını belirten bir parametredir. Derece Fahrenheit olarak girilir. Tahmini bir değerle simülasyona başlandıktan sonra kalibre edilmesi gereklidir. Literatürde 31-33 derece F arasında değerler kullanılmıştır (Donigian and Davis, 1978). Hava sıcaklığı TSNOW eşliğini aştığı

zaman yağmur yağışı, aksi takdirde kar yağışı olarak simüle edilir. HSPF simülasyonlarında TSNOW eşiği olarak 30~40 derece Fahrenheit (-1.11 ~ +4.44°C) arasında değer girilebilir. Başlangıç değeri olarak 32°F (0°C) ile simülasyona başlanması önerilmektedir. Crawford (1999)'a göre TSNOW kar birikmesine etki eden en önemli parametrelerden birisidir. Her halükârda TSNOW parametresi 32 derece Fahrenheit civarında yağın yağışların simülasyonunda önem arz eder. Şayet kış aylarında tipik kar yağışı 30 derece F (-1.11°C)'ın altında oluşuyorsa TSNOW'un etkisi küçük veya önemsenmeyecek kadardır.

Özellikle erime döneminin sonlarında etkisi açıkça gözlenen TSNOW parametresi, istasyonlardaki kar yükseklikleri ve kar su eşdeğerlerinin değişimi incelenerek analiz edilmiştir. Kalibrasyonlar sonucunda yağmurdan ötürü meydana gelen kar yüksekliğindeki ani değişimler gözlenmiş verilere uygun olarak simüle edilmiştir. Güney bakısına sahip Güngörmez istasyonunda ise 31.6°F (-0.22°C) değerleri elde edilmiştir.

SNOEVP: Kar kütlelerinden süblimleşme ile evaporasyonun ölçüsünü ayarlayan birimsiz bir parametredir. Literatürde 0.1 civarındaki değerlerin kabul edilebilir olduğu gösterilmiştir (Donigan and Davis, 1978). Kar kütlelerinden evaporasyon havanın buhar basıncının kar yüzey basıncından daha az olduğu zaman gerçekleşir (Bicknell et al., 1997). Evaporasyon, rüzgâr hızının ve karla kaplı arazi yüzdesinin bir fonksiyonu olarak, kar kütlelerinin sadece donmuş olan kısmından gerçekleşir. Kar evaporasyonu çoğu havzada büyük ölçülerde olmaz ancak rüzgârlı ve düşük nemli şartlar altında etkilidir (Crawford, 1999).

Kırkgöze-Çipak havzası için kar yüksekliği ve kar su eşdeğeri simülasyonlar sonucunda kalibre edilerek, tüm arazi için 0.05 değeri kullanılmıştır.

CCFACT: Kar Arazi şartlarına göre atmosferden kar kütlelerine konveksiyon (iletim) ve kondansasyon (yoğunlaşma) yoluyla ısı transferinin oranını belirleyen birimsiz bir parametredir. Tahmin edilerek kalibrasyonu gerçekleştirilir. CCFACT iklim şartlarının bir fonksiyonudur. Rüzgâr hızı ve hava sıcaklığı değişkenleri ile ısı transferini modeller. Literatürdeki tipik değeri 1.0 civarında olup, genelde 0.5 ile 2.0 arasında değerler gözlenmiştir. HSPF simülasyonlarında

0.5–8 arasında değer alabilmektedir. Kar erimesinde çok etkili bir parametre olan erime oranının bir ifadesi olan CCFACT parametresi erime zamanının tayininde etkilidir. İstasyonlardaki kar erimesi ve kar yüksekliğindeki değişim gözlenerek kalibre edilmiştir. Güngörmez istasyonu için 1.7 değeri bulunmuştur. CCFACT değeri arttıkça erime dönemi zamanda ötelenmektedir. Bu parametrenin yüksek rakımlarda artan değerler alması konveksiyon ve kondansasyon yoluyla kar kütlelerinde meydana gelen ısı değişiminin, üst kotlarda düşük kotlara göre daha etkili olduğunu ortaya koymaktadır.

MWATER: Kar kütlelerindeki maksimum sıvı su tutma kapasitesidir (inç inç⁻¹). MWATER, kar kütlelerinde biriken suyun sızmasını engelleyen buz katmanları ile kar kristallerinin boyut, şekil ve boşluğunun; ayrıca, kütledeki kanallaşma derecesi ve petek örgüsünün bir fonksiyonudur. Literatürde deneysel sonuçlar ile elde edilen bu değer 0.01'den 0.05'e kadar değişim gösterirken genelde 0.03 ortalama değeri alınır (Donigan and Davis, 1978). HSPF modelinde minimum 0.005 ile maksimum 0.2 aralığında fiziksel olarak anlamlı bir aralıkta kullanılabilir.

Kar yastıklarından elde edilen kar su eşdeğeri birikme ve çekilme eğrilerinin karakteristik simülasyonu; ancak, MWATER parametresinin ekstrem bir değeri olan 0,2 değerini aldığı gerçeğe değerler ile örtüşmektedir. Bu durum dağlık alanlarda gün içindeki ısı değişiminin fazla olması neticesinde, kar kütlelerinin katman katman tabakalaşması sonucunda kütle içindeki serbest suyu bırakmaması ile açıklanabilir. Ayrıca erime döneminde yapılan arazi çalışmalarında, erimeye başlayan kar kütlelerinin neredeyse yarım metreye yakın kısmının su kıvamında olduğu gözlenmiş, kar hediği takılmasına rağmen bazı yerlerde yürümenin neredeyse imkânsız hale geldiği tecrübe edilmiştir. MWATER parametresi 0.2 olarak kalibre edilmiştir.

MGMELT: Zemin ısısından ötürü meydana gelen maksimum günlük kar erimesini ifade eden bir parametredir (inç gün⁻¹). MGMELT oranı kar kütlelerinin sıcaklığı 32 derece F (0°C) olduğu zaman simülasyona dâhil olur.

Zeminden kar örtüsünün tabanına ısı iletimi genellikle erime için oldukça küçük bir enerji kaynağıdır. Bu ısı akışı karın üzerinde bulunduğu

zeminden kar örtüsüne doğru hareket eder. Zeminde kar örtüsü yokken yaz dönemi boyunca zemin tarafından depolanarak kar örtüsünün erimesine katkıda bulunan enerji, kış ve baharın ilk dönemlerinde kar tabanının altında erimeye neden olur (Anonymous, 1998; Singh and Singh, 2001).

Kar örtüsünün erime döneminde zeminden kaynaklı erimenin 0.05 cm gün^{-1} alınması önerilir (Anonymous 1956).

MGMELT parametresi $0.02 \text{ inç gün}^{-1}$ ($0.0508 \text{ cm gün}^{-1}$) olarak kalibre edilmiştir.

ATEMP ve SNOW Parametreleri ve Değer Aralıkları

HSPF simülasyonlarında kullanılan ATEMP ve SNOW modüllerinin kullanıcı tanımlı giriş parametreleri ve sınır değerleri Çizelge 2. de gösterilmiştir. Modelleme yapılırken kalibrasyon değerleri verilen aralıklarda girilmiştir.

Çizelge 2. ATEMP ve SNOW modüllerinin kullanıcı tanımlı giriş parametreleri ve sınır değerleri

ADI	BİRİM	DEĞER ARALIKLARI				FONKSİYON
		GENEL		OLASI		
		ALT	ÜST	ALT	ÜST	
ATEMP - DAT						
ELDAT	feet	-1000	1000	-	-	Topoğrafya, istasyon konumu
AIRTMP	°F	30.0	70.0	0	90.0	İklim
SNOW-PARM 1						
LAT	derece	30	50	-90	90	Konum
MELEV	feet	50	3000	0	7000	Topoğrafya
SHADE	-	0.1	0.5	0	0.8	Orman oranı, topoğrafya
SNOWCF	-	1.1	1.5	1.0	2.0	Yağışölçer tipi ve konumu
COVIND	inç	1.0	3.0	0.1	10	Topoğrafya, iklim
SNOW-PARM 2						
RDCSN	-	0.1	0.2	0.05	0.3	İklim, hava sıcaklığı
TSNOW	°F	31	33	30	40	İklim, hava sıcaklığı
SNOEVP	-	0.10	0.15	0	0.5	İklim, hava sıcaklığı
CCFACT	-	1.0	2.0	0.5	8.0	İklim
MWATER	inç inç ⁻¹	0.01	0.05	0.005	0.2	İklim
MGMELT	inç gün ⁻¹	0.01	0.03	0	0.1	İklim, jeoloji

BULGULAR VE TARTIŞMA

Kar Erimesi ile İlgili Analiz Sonuçları

Meteoroloji istasyonunun içinde bulunduğu araziye ait açıklamalar ile bu topografya için SNOW

alt programında kullanılmak üzere kalibre edilen girdi değerleri, HSPF programında kullanılan İngiliz birim sisteminde, ayrıca metrik sistem karşılıkları da verilerek Çizelge 3. de sunulmuştur.

Çizelge 3. Meteoroloji istasyonunun içinde bulunduğu arazi poligonuna ait parametreler

Güngörmez Meteoroloji İstasyonu Arazi Parametreleri	
LAT (Enlem)	40
MELEV (ft ; m)	8256.79 ; 2516.67
SHADE	0.60
SNOWCF	1
COVIND (inç ; mm)	4 ; 101.6
Ortalama Eğim (derece)	24.10
RDCSN	0.16
TSNOW (°F ; °C)	31.6 ; -0.22
SNOEVP	0.05
CCFACT	1.7
MWATER (inç inç ⁻¹)	0.2
MGMELT (inç gün ⁻¹ ; cm gün ⁻¹)	0.02 ; 0.0508

Çizelge 4. Şekil 7. de kullanılan kısaltmalar

KISALTMA	AÇIKLAMA	TÜRÜ
PRAIN	Kar kütlesi üzerine yağın yağmur yüks. (mm gün ⁻¹)	Simülasyon
RAINF	Yağmur şeklindeki yağış yüksekliği (mm gün ⁻¹)	Simülasyon
PREC	Toplam yağış yüksekliği (mm gün ⁻¹)	Gözlenmiş
SNWD	Kar kütlesinin yüksekliği (mm)	Gözlenmiş
PDEPTH	Kar kütlesinin yüksekliği (mm)	Simülasyon
SWE	Kar su eşdeğeri (mm)	Gözlenmiş
PACK	Kar su eşdeğeri (mm)	Simülasyon
PACKW	Kar kütlesindeki serbest su içeriği (mm)	Simülasyon
PACKF	Donmuş kütle içeriği (mm)	Simülasyon
PACKI	Buzlanmış kütle içeriği (mm)	Simülasyon

Şekil 7’de Güngörmez istasyonunu karakterize eden arazi parçasına ait gözlenmiş ve simüle edilmiş sonuçlar verilmiştir. Sonuçlarda kullanılan kısaltmalar ve açıklamaları Çizelge 4. de sunulmuştur.

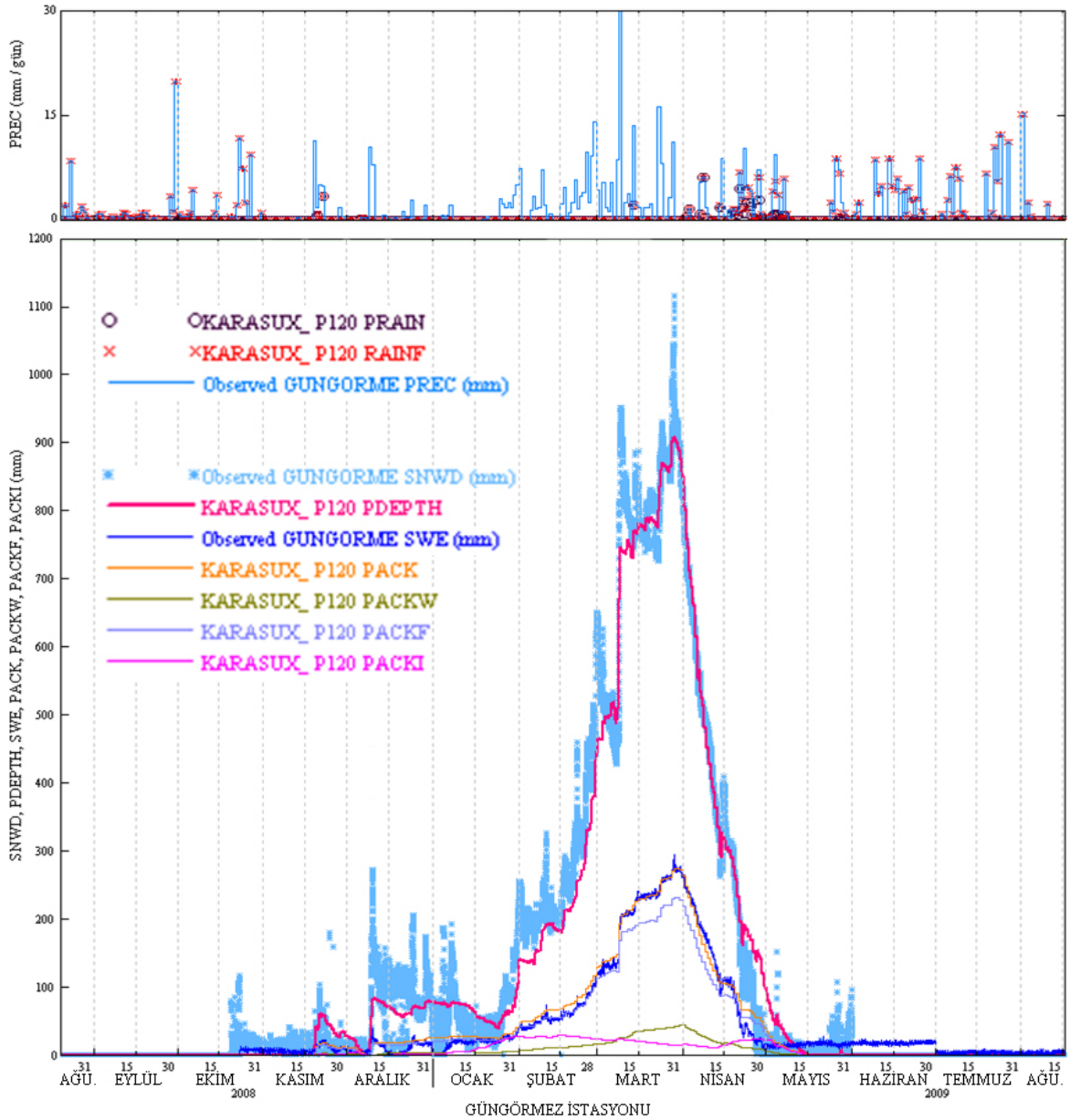
Meteoroloji istasyonlarından alınan ham veriler incelendiği zaman Güngörmez istasyonuna ait gözlenmiş kar su eşdeğeri değerlerinin kar dönemi başında ve sonunda dönem dönem negatife düştüğü veya erime dönemi sonunda pozitifte kaldığı gözlenmiştir. Ölçüm aletinden kaynaklanan bu hatanın giderilmesi için, artışın başladığı veya bittiği noktanın

0’a kalibre edilmesi amacıyla kar dönemi boyunca veri serisi dikey ekseninde sapma miktarınca yukarı veya aşağı kaydırılmıştır. Kar yüksekliği ve kar su eşdeğeri benzetimlerinde kar yastıklarının zemin kotundan bir miktar yukarıda (yaklaşık 30 cm) kurulmasından dolayı, özellikle erime periyodunda düşük değerlerde ölçülen ve simüle edilen veriler arasında düşük ölçek için tam bir uyumun olması beklenilemez. Meteoroloji istasyonunda ölçülen ve simüle edilen kar su eşdeğerleri ve kar yükseklikleri değerlendirildiği zaman çok iyi bir korelasyonun sağlandığı görülmektedir (Şekil 7).

Türkiye’de BASINS ve HSPF algoritmaları kullanılarak gerçekleştirilen çok az sayıda çalışma vardır. Bu çalışma ile kar erimesinin etkili olduğu bir havzanın modellenmesinde, BASINS ve HSPF programları Türkiye’de ilk defa kullanılmıştır. BASINS yazılımı, temelde sadece Amerika Birleşik Devletleri dâhilindeki havzaların modellenmesine olanak sağlayan bir programdır. BASINS çalışmalarında programa girilen birçok ham veri ve işlenmiş coğrafi bilgi sistemleri altlıkları, program içindeki yerleşik “data download tool” aracı ile modele entegre edilmektedir. Bu araç ile sadece Amerika Birleşik Devletleri sınırları

dâhilindeki havzalar için uygun formatta hazır veri sağlanabilmektedir.

Amerika Birleşik Devletleri harici ülkelerde gerçekleştirilecek çalışmalarda, uygun bir çalışma sistemi seçilerek, BASINS programının harici havza verileri ile olan uyumsuzluk halinin, önemli ölçüde ortadan kaldırılabileceği anlaşılmıştır. BASINS’in ve hidrolojik model yapılandırılmasında kullandığı HSPF’nin kar erimesine etki eden parametrelerin tayin edilmesi gibi havzanın karakterizasyonu ön işlemlerin gerçekleştirilmesinde ve görselleştirilmesinde güçlü bir araç olduğu belirlenmiştir.



Şekil 7. Gungörmez istasyonu için kar simülasyonu sonuçları

KAYNAKLAR

- Acar, R., Şenocak, S., Şengül, S., Coşkun, T. Balık Şanlı, F., 2009a. Erzurum Kırkgöze Havzasında Kar Erimesine Etki Eden Meteorolojik Ölçümlerin Üç İstasyonda Karşılaştırılması. III. Ulusal Kar Kongresi, Erzurum Toprak ve Su Kaynakları Araştırma Enstitüsü, Erzurum, 89-97.
- Acar, R., Şenocak, S. Şengül, S., 2009b. Snow Hydrology Studies in the Mountainous Eastern Part of Turkey. The IEEM International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, Hong Kong, China, 1578-1582.
- Al-Abed, N.A. Whiteley, H.R., 2002. Calibration of the Hydrological Simulation Program Fortran (HSPF) Model Using Automatic Calibration and Geographical Information Systems, *Hydrological Processes*, 16: 3169-3188.
- Anderson, E.A., 1968. Development and Testing of Snow Pack Energy Balance Equations, *Water Resources Research*, 4(1): 19-37.
- Anderson, E.A. Crawford N.H., 1964. The Synthesis of Continuous Snowmelt Runoff Hydrographs on a Digital Computer, Department of Civil Engineering, Stanford University, Stanford, California, Technical Report No. 36, 103 p.
- Anonymous, 1956. U.S. Army Corps of Engineers. Snow Hydrology, Summary Report of the Snow Investigations, North Pacific Division. Portland, Oregon, 437p.
- Anonymous, 1998. Runoff from Snowmelt. USA Army Corps of Engineers, Press no: 1110-2-1406, 142 p, Washington.
- Bicknell, B.R., Imhoff, J.C., Kittle, J.L., Donigian, A.S. Johanson, R.C., 1997. Hydrological Simulation Program -- FORTRAN, User's Manual for Version 11. EPA/600/R-97/080. U.S. EPA, National Exposure Research Laboratory, Athens, GA.
- Bicknell, B. R., J.C.Imhoff, Jr., T. H. Jobes, A.S. Donigian, J., 2001. Hydrological simulation program-Fortran: HSPF version 12 user's manual (Vol. 12).
- Crawford, N.H., 1999. Hydrologic Journal - Snowmelt Calibration. Hydrocomp, Inc. www.hydrocomp.com.
- Donigian, A.S. Davis, H. H., 1978. User's Manual for Agricultural Runoff Management (ARM) Model, U.S. Environmental Protection Agency, EPA- 600/3-78-080
- Hayashi, S., Murakami, S., Watanabe, M. and Bao-Hua, X., 2004. HSPF Simulation Of Runoff and Sediment Loads in the Upper Changjiang River Basin, China, *Journal of Environmental Engineering*, 130 (7): 801-815.
- Rango, A. Martinec J., 1995. Revisiting the degree-day method for snowmelt computations, *Water Resources Bulletin*, 31: 657-669.
- Singh, P. Singh, V. P., 2001. Snow and Glacier Hydrology, Kluwer Academic Publishers, 742 p, Netherlands.
- Şengül, S., 2011. Dağlık Bölgelerde Hidrolojik Çevrime Etki Eden Parametrelerin Coğrafi Bilgi Sistemleri ve HSPF Model Programıyla İncelenmesi ve Erzurum Kırkgöze Havzası Örneği. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Atatürk Üniversitesi, Erzurum.
- Tong, S.T.Y. Chen, W., 2002. Modeling the Relationship Between Land Use and Surface Water Quality, *Journal of Environmental Management*, 66: 377-393.