



ISSN:1306-3111

e-Journal of New World Sciences Academy
2010, Volume: 5, Number: 1, Article Number: 4A0019

NATURE SCIENCES

Received: June 2009
Accepted: January 2010
Series : 4A
ISSN : 1308-7282
© 2010 www.newwsa.com

Gürcan Gürgen
Onur Çalışkan
Erkan Yılmaz
Serdar Yeşilyurt
Ankara University
gurgen@education.ankara.edu.tr
Ankara-Turkey

DÖKÜNTÜ ÖRTÜLÜ BUZULLAR ve KAYA BUZULLARI

ÖZET

Döküntü örtülü buzullar, dünyadaki tüm buzullaşma sahalarında (Alpler, Antarktika, Grönland, And Dağları, Kaskatlar ve Kayalık Dağları, vb.) gözlenmektedir. Döküntü örtülü buzullar, normal buzullardaki gerilemenin sonucunda ortaya çıkan oluşumlardır. Buzul ilerlemesi sırasında buzulun içinde ya da üstünde taşınan malzeme, gerileme sırasında buzul üstünde depolanmaktadır. Buzul bir kez yeterli kalınlıktaki döküntüyle örtüldüğünde kütle dengesi, hareket tarzı, enerji transferi, biyolojik ve hidrolojik özellikleri değişmekte ve normal buzul buzundan farklılaşmaktadır. Döküntü örtülü buzullar son dönemlerinde genellikle buz çekirdekli kaya buzuluna dönüşmektedirler. Bu özellikleri nedeniyle, döküntü örtülü buzulu normal buzul buzundan elde edilen bilgi ve deneyimlerle açıklamak bir hayli zordur.

Anahtar Kelimeler: Buzullaşma, Döküntü Örtülü Buzullar,
Kaya Buzulları, Buz Çekirdeği,
Aktif Termal Katman

DEBRIS-COVERED GLACIERS AND ROCK GLACIERS

ABSTRACT

The debris-covered glaciers are observed all over the glaciation regions of the world (Alps, Antarctica, Greenland, Andes, Cascades, Rocky Mountains and ext.). The debris covered glaciers are the formations which occur as a result of the recession of normal glaciers. The debris, which can be transported easily in glacier as englacial or supraglacial during glacier advance, has to deposit over the glacier as a supraglacial layer during the recession. Once a glacier covered with a debris layer which has an enough thickness, its mass balance, motion style, energy transportation, hydrological and biological characteristics change and differentiated from the normal glacier ice. The debris-covered glaciers generally can transform to a ice-cored rock glaciers at the last stage of their formation. Because of these characteristics, it is very difficult to define the debris-covered glaciers by the experience and the information which is acquired from the bare glacier ice.

Keywords: Glaciation, Debris-Covered Glaciers, Rock Glaciers,
Ice-Core, Active Thermal Layer

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Günümüzde, dünyanın sadece %10'u buzullarla kaplı olmasına karşın; buzullar ve buzullaşma koşulları neredeyse, dünyanın tamamını ilgilendiren bir süreç olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu haliyle yeryüzünün iklimi, ekolojisi, biyolojik çeşitliliği gibi olgular üzerinde doğrudan etkisi bulunan buzullar, geçmiş dönemlerin farklı özelliklerini de kaydeden, doğal bir arşivdir. Geçmişte meydana gelen olayların kanıtlarını barındırması yanında, geleceğe yönelik projeksiyon ve modellemelerde, buzullarda ortaya çıkacak değişikliklerin analiz edilmesi büyük önem taşımaktadır. Bunların yanında, buzullar sadece yakın çevreleriyle değil, çok geniş alanların doğal ve buna bağlı olarak, yaşam alanlarının sosyal koşulları ile etkileşim halindedirler.

Dünya üzerindeki buzullar, Buzküre (kayrosfer) olarak tanımlanmaktadır. Karalar üzerindeki buzulların büyük kısmını (%96) Antarktika ve Grönland'daki buzullar (14 Milyon Km²), küçük bir bölümünü de (540.000km²) dağ-vadi buzulları ve buz takkeleri oluşturmaktadır (Tablo 1, Şekil 1). Çevresel koşullara bağlı olarak ortaya çıkan ve normal buzullardan farklı özelliklere sahip olan, döküntü örtülü buzullar, çoğunlukla alpin buzul alanlarında ortaya çıkmasına rağmen, koşulların uygun olduğu örtü buzullarının cephe-dil kısımlarında da oluşabilmektedir (Foto 1). Buzullar, döküntü malzemesiyle örtüldüğünde, temiz buzul buzundan farklı bir karaktere sahip olmaktadır. Bu farklılıklar, buzulların kütle dengesi, hareket tarzı, enerji transferi, biyolojik ve hidrolojik özelliklerinde belirginleşmektedir. Bunların dışında, belki de en önemli farklılığı iklim değişimlerine, özellikle sıcaklıklardaki artışa, temiz buzdan farklı tepki vermesidir. Dolayısıyla döküntü kaplı buzulların, temiz buzullardan elde edilen bilgi, birikim ve deneyimlerle açıklanması mümkün olmamaktadır. Döküntü örtülü buzullar üzerine gerçekleştirilen çalışmalar, özellikle deneysel araştırmalar, buzul-buzullaşma süreçleri ve topografyası hakkında yeni bir bakış açısı kazandırmıştır. Elde edilen sonuçlar, bu sahaların ve etkileşim halinde oldukları süreçlerin daha iyi anlaşılmasına yardımcı olmuştur.

Tablo 1. Buz küreyi oluşturan unsurların alan, hacim, deniz seviyesi yükselim karşılıkları[1]

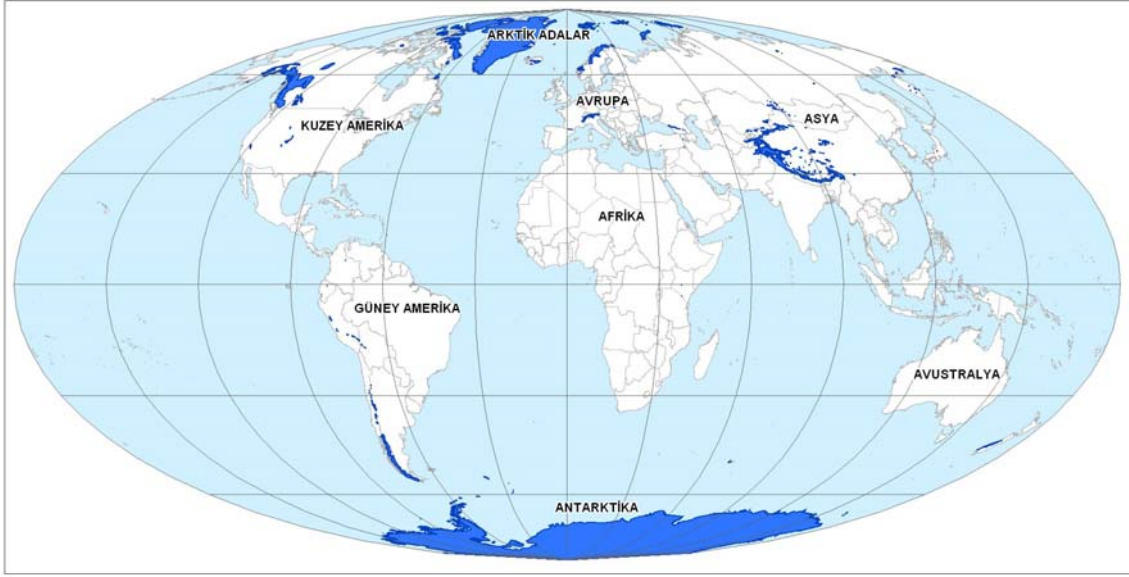
(Table 1. Area, volume and sea level equivalent of cryospheric components [1])

| Buz kürenin (cryosphere) bileşenleri | Alan milyon km ² | Buz hacmi milyon km ³ | Potansiyel deniz seviyesi yükselimi (m) |
|--------------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|---|
| Buzullar ve buz takkeleri | 0,54 | 0,13 | 0,37 |
| Buz şelfleri | 1,50 | 0,70 | ~0 |
| Buz Örtüleri | | | |
| Grönland | 1,7 | 2,9 | 7,3 |
| Antarktika | 12,3 | 24,7 | 56,6 |

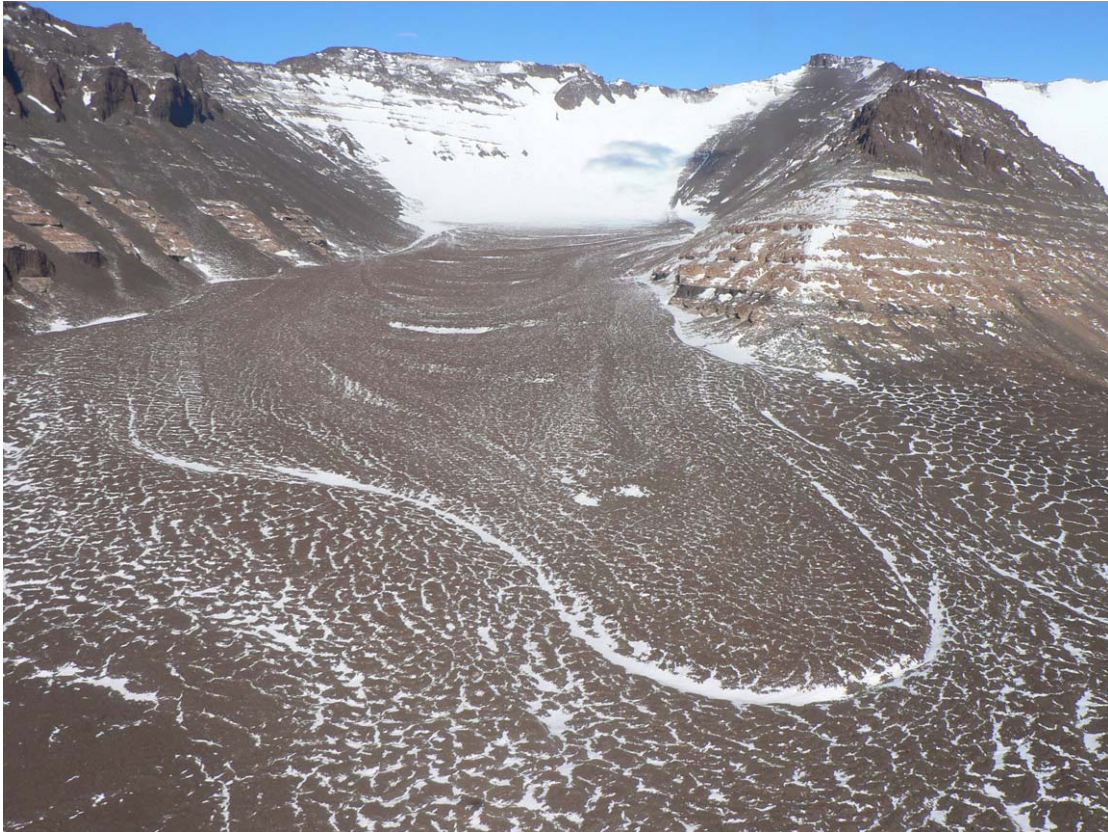
2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Dünyanın belirli bölgelerinde, normal buzullara göre farklı özellikler içeren döküntü örtülü buzullar bulunmaktadır. Bu tür buzullar üzerinde son dönemlerde önemli ve süreklilik gösteren araştırmalar yapılmaktadır. Türkiye'deki buzul araştırmalarında ise, çoğunlukla buzul alanlarının dağılışı, oluşan buzul şekilleri, dönemleri ve doğrudan buzulların morfometrik özelliklerine ağırlık verilmekte, güncel buzulların büyük bir bölümü döküntüler tarafından kısmen ya da tamamen örtülü olmasına karşın, bu konuya pek değinilmemiştir. Bu çalışma ile döküntü örtülü buzullar hakkında bazı temel bilgiler ortaya konulmakta, önceki araştırmalardan elde edilen

deneyimler aktarılmaktadır. Ortaya konan bilgiler, Türkiye’de yapılacak güncel buzul araştırmalarına da farklı bir bakış açısı kazandırabilecek niteliktedir.



Şekil 1. Kayrosfer, IPCC’den [1] kısmen değiştirilerek
(Figure 1. Cryosphere, partly modified from IPCC [1])



Fotoğraf 1. Antarktika’da döküntü örtülü bir buzul. Adam Lewis,
North Dakota Devlet Üniversitesi (kişisel iletişim)
(Photo 1. A debris-covered glacier in Antarctica. Adam Lewis, North
Dakota State University (personal communication))

3. DÖKÜNTÜ ÖRTÜLÜ BUZULLARIN BELLİ BAŞLI ÖZELLİKLERİ (THE MAIN CHARACTERISTICS OF DEBRIS-COVERED GLACIERS)

3.1. Oluşum ve Dağılışı (Formation and Distribution)

Dünyadaki buzullaşma alanlarının tamamında gözlenebilen döküntü örtülü buzulların kaynağı normal buzullardır. Buzulların, belirli koşullar altında parçalanmış-ufalanmış materyal tarafından kalıcı olarak örtülmesi sonucu "döküntü örtülü buzullar" oluşmaktadır. Ortaya çıkan bu yeni oluşum, kısmen ya da tamamen örtülmüş olabilmektedir. Genellikle dağ (alpin tip) buzullarının birikim (akümülyasyon) alanları örtüsüz (normal) buzul buzundan, ablyasyon alanları ise döküntü ile kaplı buzullardan oluşmaktadır. Türkiye'de de sıklıkla görülen bir diğer tip ise eğimin fazla olduğu sirk duvarlarına bitişik bölümlerde, 'buz aynası' biçiminde çıplak bir buzulun görülmesi, buzulun devamında ise, daha az eğime sahip kısımlarda döküntüyle örtülü alanların bulunmasıdır (Foto 2).



Fotoğraf 2. Aladağlar'da tipik bir buzul aynası
(Photo 2. A typical ice mirror on Aladağlar, (Taurus Mountains))

Buzullara ev sahipliği yapan alanlar, yukarı enlemlerde ve yüksek-dağlık alanlarda bulunmaktadır. Bu sahalarda fiziksel ve kimyasal ayrışma bir hayli etkindir. Buzulların çevresindeki ayrışma olayları sonucunda, ana kayadan koparılan çeşitli boyutlardaki malzeme kütle hareketleri (çığ, akma, kayma, düşme, yüzey akışı) ve rüzgârlar tarafından, buzulların üzerine taşınmaktadır. Buzulların ilerleme sürecinde buzul içi (englasyal) ve buzul üstünde (supraglasyal) taşınan bu malzeme, gerileme sürecinde taşınmamakta ve buzulun üzerinde depolanmaktadır. Buna göre, döküntü örtülü buzulların oluşum nedeni en basit şekliyle; çeşitli sebeplerle çevreden gelen malzemenin taşınmaması sonucu, buzul üzerinde depolanması olarak açıklanabilir. Gelen döküntünün miktarı, buzulun yüzey eğimi, buzun sıcaklık özellikleri ve erimeyle gerçekleşen su boşalımı, döküntü malzemesinin buzul yüzeyinde tutunmasını etkileyen temel faktörlerdir.

Döküntü örtülü buzullar konusunda çok sayıda çalışma bulunmaktadır [2]. Dünyanın pek çok yerinde karşılaşılan döküntü

örtülü buzulların, en fazla olduğu ve çalışıldığı alan Himalaya Dağları, özellikle Nepal ve Tibet Himalayaları'dır. Bu alanda, Everest Dağı bölümündeki buzulların %80'inin döküntü ile kaplı olduğu hesaplanmıştır [3]. Himalayalar'daki buzulların, kalın bir döküntüyle kaplanmasına sebep olarak, beslenme rejimleri gösterilmektedir. Bu alanlardaki buzullar genellikle kendilerini çevreleyen yüksek yamaçlardan gelen buz çığları ve kaya düşmeleriyle beslenmektedir. Dolayısıyla sadece kar yağışlarıyla beslenen buzullara nazaran daha fazla döküntü içermektedirler [4]. Bahsi geçen alan dışında neredeyse dünyanın bütün buzullaşma sahalarında (Alpler, Antarktika, Grönland, And Dağları, Kaskatlar ve Kayalık Dağları) döküntüyle örtülü buzullara rastlanabilmektedir [2]. Bu oluşum, Türkiye'de güncel buzulların bulunduğu Doğu Karadeniz Dağları ve Toroslar'da da yaygın olarak gözlenebilmektedir.

3.2. Kütle Dengesi (Mass Balance)

Döküntü örtülü buzulların kütle dengesi, normal buzullarda olduğu gibi, buzul buzunun akümülyasyon ve ablyasyonuna bağlıdır. Döküntü malzemesinin bu noktadaki temel işlevi, buzul buzunun ablyasyon oranını etkilemesidir. Yapılan deneyler ve arazi araştırmaları belli bir kritik kalınlığın aşılmasından sonra, döküntü malzemesinin, buzulu ablyasyondan koruyan bir yalıtım işlevi gördüğünü ortaya koymaktadır. Buzulun üzerindeki döküntü örtüsünün kalınlığı 26-30 mm olduğunda ablyasyon oranının en üst seviyeye (ablyasyon maksimumu) ulaştığı belirlenmiştir. Temiz buzun albedosu döküntü malzemesinin albedosundan çok daha yüksektir. Dolayısıyla 26-30 mm kalınlığa kadar, buzulun üzerinde bulunan malzeme daha fazla net radyasyon soğurarak ısınmakta ve kütle kaybının en yüksek seviyesine ulaşmasına neden olmaktadır. Bu kritik kalınlığı aşan döküntü örtüsü artık yüzeyine ulaşan radyasyon miktarından etkilenmeksizin buzulu ısıya karşı yalıtılmaktadır [3, 5 ve 6]. ABD'nin Kuzey Kaskat Dağları üzerinde bulunan, Lyman ve Columbia buzullarında (Washington) yapılan araştırmalar, temiz buzula nazaran döküntüyle kaplı bölümlerdeki yıllık ablyasyonun %25-30 daha az olduğunu ortaya koymuştur [7]. Nepal Himalayaları'nda bulunan Khumbu Buzulu üzerinde 10 cm kalınlığındaki döküntü örtüsünün, temiz buzula oranla ablyasyonu %40'dan fazla azalttığı hesaplanmıştır [8].

Yeterli kalınlığa ulaşan döküntü örtüsü, buzulu yalıtıyan bir katman işlevi görmekle kalmayıp, içsel bir kontrol sağlamakta ve buzulun ablyasyonunda birincil etken haline gelmektedir. Farklı döküntü malzemesinde değişik oranların ortaya çıkmasındaki temel neden de budur. Buzulun kütle dengesini, sadece dışarıdan gelen enerji (ısı) etkilememektedir. Bunun yerine döküntü örtüsünün kalınlığı, topografyası, döküntüyü oluşturan kayacın türü, boyutları, rengi, termal iletkenliği-direnci ve buzul üzerinde oluşan göller ablyasyon miktarını ve dolayısıyla buzulun kütle dengesini belirleyen iç unsurlar olarak karşımıza çıkmaktadır. Dış kontrol unsurlarının buzul üzerindeki etkisinin azalması, buzulun iklim koşullarındaki değişimlere, özellikle sıcaklık artışına verdiği tepkileri değiştirmektedir. Normal koşullarda sıcaklıklardaki artışa bağlı olarak geri çekilmesi beklenen buzulların, gerilemediği ve kimi durumlarda da ilerlediği gözlenmiştir.

Döküntü kaplı buzullar temiz buzullardan farklı bir beslenme-erime dengesine sahiptir. Bu tür buzulların kütle dengesinin, radyasyon ve yağış miktarı ile çığlar gibi dış unsurlar kadar iç unsurlar tarafından da belirlenmesi nedeniyle, hareketleri de farklıdır. Buzulun kütlesi içinde sadece buzul buzunu değil, üzerinde ya da içinde taşıdığı morenler ve diğer malzemeler de bulunmaktadır. Döküntü kaplı buzullar söz konusu olduğunda, taşıdıkları buzul içi ve buzul üstü morenler ve döküntü malzemesi, hareket tarzını belirleyen

önemli bir etkene dönüşmektedir. İtalya Alplerindeki Miage Buzulu, üzerinde bulunan döküntü örtüsünün sağladığı yalıtım sonucunda kütlelerini kaybetmekten korunmuş ve eğim aşağı hareketini devam ettirmiştir [9]. Döküntü malzemesi, buzulun kütlelerinde herhangi bir artış olmamasına rağmen, eğim aşağı hareket etmesine ve cephesini ilerletmesine yol açabilmektedir. Bu tip ilerlemelerin iklim koşullarıyla açıklanması olası değildir. Çıplak buzullar, sıcaklıklardaki artışa bağlı olarak negatif kütle dengesinden dolayı gerileme eğiliminde olmaktadır. Miage örneğinde görüldüğü gibi, döküntü ile kaplı buzullar ise sıcaklıklardaki artışa rağmen, uygun koşulların varlığında, dil kısmını ilerletebilmektedirler.

Döküntü örtülü buzullarda ablasyonun asıl kaynağının, buzuldaki çökmeler sonucunda oluşan buz falezleri ve eğim fazlalığına bağlı olarak döküntünün tutunamadığı çıplak yüzeyler olduğu belirlenmiştir. Lirung Buzulu (Nepal Himalayaları) üzerinde yapılan bir araştırma göl kenarında bulunan falezlerdeki ablasyonun döküntü kaplı alanlara göre oniki (12) kat daha fazla olduğunu ortaya koymaktadır (Fotoğraf 3). Buzul yüzeyinde sadece %2'lik bölümü oluşturmalarına rağmen toplam ablasyonun %80'inin bu göllerden kaynaklandığı ortaya çıkmaktadır [3]. Ayrıca, buzul üzerindeki döküntü malzemesinin süpürülmesiyle oluşan buzul üstü kanal ve göllerindeki aşınımın da ablasyon oranları üzerinde önemli bir katkısının olduğu bulunmuştur [10]. Bu tip alanlarda kütle dengesinin olumsuz etkilenmesinin nedeni, döküntü örtüsünün yalıtıcı korumasının bulunmaması ve buzulun parçalara ayrılarak erimesidir (calving). Buz parçaları ana kütlelerden ayrıldıklarında, ortalama 12 kat daha hızlı erimekte-dirler [11].



Fotoğraf 3. Baltoro buzulu üzerindeki buzul üstü gölü ve buz falezleri, Karakurum Dağları/Pakistan [12]
(Photo 3. Supraglacial lake and ice cliff on the Baltoro Glacier (Karakurum Mountains/Pakistan) [12]))

3.3. Hidroloji (Hydrology)

İklim ve hava koşullarına karşı yalıtım sağlayan bir döküntüyle örtülü buzulların hidrolojik özellikleri de normal buzullardan farklıdır. Kanada Kayalık Dağları'nda, biri tamamıyla döküntü örtülü, diğeri temiz buzul buzuna sahip olan, Dome ve Athabasca buzullarının yıllık ortalama boşalım değerleri dikkat çekici sonuçlar ortaya koymuştur. Temiz buzul buzuna sahip Athabasca Buzulu'nda yıllar arasındaki boşalım farkının %25 civarında olduğu hesaplanmıştır. Döküntüyle örtülü Dome Buzulu'nda ise yıllık ortalama boşalım farkı %1 seviyesinde kalmıştır. Birbirleriyle aynı yükselti, benzer topografya ve bakı koşullarına sahip bu iki buzul arasındaki boşalım oranlarındaki farklılığın tek nedeni döküntü malzemesidir. Buzulun üzerini kaplayan döküntü örtüsünün, bir düzenleyici (regülatör) görevi gördüğü ve bu tip buzullardaki boşalım oranlarının daha düzenli olduğu sonucuna ulaşılmaktadır [13].

Spedding [14], Gigjökull ve Kviarjökull'da (İzlanda) gerçekleştirdiği çalışmada buzulların üzerindeki döküntü örtüsünün yarattığı yalıtım ve basıncın, buzul içi akımların, buzul altı akımlara dönüşmesine yol açarak, dip morenleri ve till depolarının taşınmasına neden olduğu sonucuna ulaşmıştır.

Döküntü örtülü buzulların en ilginç özelliklerinden biri, çoğunda buzul üstü göllerin oluşmasıdır. Bu göller, buzun geçirimsiz tabaka işlevi görerek, üzerinde bulunan suyu tutmasıyla oluşmaktadırlar. Buzul üstü göllerin oluşum nedenleri hakkında çeşitli kuramlar ortaya atan araştırmalar bulunmaktadır [15 ve 16]. Bu çalışmalarda elde edilen bulgulara göre buzul üstü (supraglasyal) göllerin oluşumuna etki eden iki faktör ortaya çıkmaktadır. Bunlardan ilki buzul altı (subglasyal) tünellerinin çökmesi ile üzerlerinde oluşan depresyonun yağış ve erime suları tarafından doldurulmasıdır. İkincisi ise döküntülerin bir set meydana getirmesi ve gerisinde bir baraj gölü oluşmasıdır. Her ikisinde de döküntü örtüsünün etkisi büyüktür.

Konrad [15] Sierra Nevada Dağları (Kaliforniya, ABD) üzerindeki Mendel Buzulu'nda yaptığı araştırmada buzulun döküntüyle örtülü bölümünün daha az, örtüsüz bölümünün ise daha fazla ablasyona uğraması yüzünden bu iki farklı alanın sınırında çökmelerin yaşandığını ve buzul üstü göllerinin genellikle buralarda oluştuğunu ileri sürmektedir. Bu kuramı destekleyen bir diğer araştırma ise Krainer ve Mostler'in [17] Batı Stubai Alpleri (Avusturya) üzerinde bulunan Reichenkar (Kaya) Buzulunda gerçekleştirilmiştir. Büyük bir bölümü döküntüyle örtülü olan Reichenkar Buzulu'nda, örtüsüz alandan örtülü alana geçişte, buz üzerinde "kaşık şekilli bir depresyon" ortaya çıktığı vurgulanmaktadır. Buzul üstü gölleri, döküntü kaplı buzullar dışında sadece örtü buzullarında görülmektedir [11]. Bu özellik, buzul üstü göllerinin oluşumunda, döküntü katmanının doğrudan rol oynadığını gösteren en önemli kanıt olarak karşımıza çıkmaktadır.

Döküntü örtülü buzullarda, buzul üstü göllerinin oluşumunda etkili olan önemli bir faktör de, buzulun yüzey eğimidir. Reynolds [18] Bhutan'ın kuzeybatı bölümünde bulunan buzullarda, 1966 yılından beri oluşan gölleri inceleyerek, kalıcı buzul üstü göllerinin 2°lik yüzey eğimlerinde meydana geldiğini hesaplamıştır. Bölgede, 2°-10°lik eğimler arasında da buzul üstü gölleri oluşmakta fakat bu göller kalıcı olamamaktadır. Bhutan buzullarında, gözlem yapılan 30 yıllık dönem içinde 10°den fazla eğimli yerlerde buzul üstü göl oluşumuna rastlanılmamıştır. Buzulun yüzey eğimi, buzul üstü göllerinin yarık ve çatlaklardan (krevas) sızıntılarla boşaltılıp-boşaltılmayacağını belirleyen en önemli faktördür.

Buzul üstü gölleri, diğer buzul gölleri (sirk, moren setti...) gibi çoğunlukla belli gidegenlerle dış drenaja açık göllerdir. Bu

gideğenler buzul içinde ya da buzul üstünde olabilir. Buzulların yaygın olarak görüldüğü bölgelerin alçak kısımlarında, su temini için önemli kaynaklardan biri de bu göllerdir. Dolayısıyla bu koşullar, bölgedeki su yönetimi açısından dikkate alınması gereken önemli bir olgudur. Ancak, bu gideğenlerin patlaması taşkınlarla neden olabilmektedir. Afet yönetimi açısından buzul üstü gölleri ile gideğenlerinin oluşum mekanizmalarının iyi anlaşılması ve kontrolü önemli bir olgu olarak karşımıza çıkmaktadır [3 ve 15].

3.4. Biyoloji (Biology)

Döküntü örtülü buzullar üzerindeki göllerde bazı canlı türleri yaşayabilmektedir. Nepal Himalayaları'nda bulunan Khumbu Buzulu'nun buzul üstü göllerinde yapılan bir araştırmada, iki çeşit böcek (tatarcık ve su sineği larvaları), bir tür Copepod (su biti), bir tür Brachiopod ve dokuz tip alg olduğu belirlenmiştir. Buzul üzerindeki göller üçe ayrılmıştır. Birinci tip göllerde hem hayvanlar hem de algler bulunurken, ikinci tip göllerde sadece hayvanlar yaşamaktadır. Üçüncü tip göllerde ise herhangi bir canlı izine rastlanılmamıştır. Göllerin içindeki canlı türlerini göl sularının kimyasal-fiziksel özellikleri ve canlı yaşam zinciri kontrol etmektedir. Bu iki koşulu, gölü çevreleyen döküntü malzemesinin özellikleri belirlemektedir. En zengin canlı yaşamının bulunduğu göllerin etrafında sabit ve kalın bir döküntü örtüsü bulunurken, yaşamın bulunmadığı göllerin hareketli ve ince bir döküntüyle çevrelendiği gözlenmiştir [19].

Buzulların döküntüyle kaplanmasının temel nedeni buzul ilerlemesinin sona ermesidir. Dolayısıyla buzul üzerindeki bu malzeme, yüzlerce yıl sonucunda birikmektedir. Buzulu kaplayan bu örtü de dış etkilere bağlı olarak zamanla ayrılmaktadır Buzul üstü gölleri örtü üzerinden gelen erime suları ve bu sular içindeki mineraller tarafından beslenmektedir. Dolayısıyla suyun fiziksel, kimyasal ve biyolojik içeriğinin döküntü malzemesi tarafından belirlenmesi doğal bir süreç olarak karşımıza çıkmaktadır.

Döküntüyle kaplı buzullar, yüzey sıcaklıkları bakımından mikroklima alanları oluşturabilmektedirler. Gerçekleştirilen arazi çalışmaları, alpin bitkilerin döküntü örtülü buzullar üzerinde normalde bulunması gereken yükseltilerden, çok daha aşağılarda bulunabildiğini ortaya koymuştur. Bunun nedeni, buzulun üzerindeki yüzey sıcaklığını düşürmesidir. Elde edilen bulgular, döküntü örtülü buzulların, Pleistosen bitki türlerinin korunmasını sağlayacak alanlar olabileceğini göstermektedir [20].

4. KAYA BUZULLARI (ROCK GLACIERS)

4.1. Kaya Buzullarının Oluşumu ve Sınıflandırılması

(The Formation and Classification of Rock Glaciers)

Bir boyutu ile döküntü örtülü buzullarla ilgili olan kaya buzulları, uzun yıllardan beri bilim dünyasının önemli tartışma konularından biridir. Temel tartışma konusu; kaya buzulunun tanımı ve neyin kaya buzulu olarak adlandırılması gerektiği ile ilgilidir. Wahrhaftig ve Cox [21] "talus ya da morenlere ait malzemenin, çatlaklar arasında bulunan permafrost katmanı tarafından, erime-çözülme olayları sonucunda harekete geçmesiyle oluşan şekiller" olarak tanımlamışlardır. Bu görüşün, daha sonraki taraftarları "kaya buzulu" teriminin sadece bu modelde oluşan şekiller için kullanılması gerektiğini savunmuşlardır [22 ve 23]. Potter [24], Kuzey Absaroka Dağları (Wyoming, ABD) Galane Creek kaya buzulları üzerinde yaptığı çalışmada; permafrostun değil buzul buzunun, kaya buzulunda temel hareket kaynağı olduğunu ileri sürmüştür. "Buz çekirdekli kaya buzulu" terimini, ilk kez kullanan kişi de Potter'dır [25]. Bu araştırmalarda da değinildiği üzere kaya buzulları, buzul bölgeleri ya da periglasyal

alanlarda bulunan döküntü materyali ve morenlerden oluşan depoların hareket kazanmasıyla oluşan ve kendine özgü biçimleri bulunan oluşumlardır. Birinci tipte, genellikle eğimli yamaçlarda bulunan eski moren depoları ya da döküntü malzemesi donma-çözülme etkisiyle hareket kazanarak eğim yönünde uzayan loblar oluşturmaktadır. Buz çekirdekli kaya buzulları ise, eğim koşulları ve donma-çözülme etkisi dışında hareket edebilen, biçimi de altındaki buz kütesine bağlı olan şekilleridir. Kaya buzullarının permafrosta bağlı olarak oluşmasına "permafrost krep modeli", buzul buzuna bağlı olarak oluşmasına ise "buz çekirdekli kaya buzulu modeli" denilmektedir. Günümüzde her iki modelde de kaya buzulları oluşabileceği kabul görmüştür (Tablo 2).

Tablo 2. Kaya buzullarının oluşumunda temel modeller (Whalley ve Martin'den [25] değiştirilerek)
(Table 2. Main models of formation of rock glaciers (Adopted from Whalley and Martin [25]))

| Modeller | Oluşum | Akış |
|---------------|---|--|
| Permafrost | Buz ve kayanın karışımı olarak oluşmaktadırlar. | Buz-kaya karışımının eğim yönündeki hareketine bağlı olarak akmaktadır. |
| Buz çekirdeği | Buzul buzunun kalın bir döküntü malzemesiyle kaplanması sonucu oluşmaktadırlar. | Döküntü katmanının altındaki buzulun hareketine bağlı olarak akmaktadır. |

Kaya buzullarının oluşumu için temel faktörlerden biri, döküntüyle örtülü buzullarda olduğu gibi bol miktarda döküntü malzemesi bulunmasıdır. Kaya buzulları, döküntü malzemesinin tipine göre de sınıflandırılabilir. Farklı bilim insanları tarafından oluşturulan sınıflandırmalar Tablo 3'te verilmiştir. Buna göre, oluşum modeli ve döküntü örtüsünün kökeni dikkate alınarak, talus depolarından türeyen (talus-derived) ve buzuldan türeyen (glacier-derived) iki tip kaya buzulundan bahsedilmektedir. İlki, talus depolarındaki döküntü malzemesinin periglasyal alanlarda bulunan permafrost etkisiyle hareket etmesiyle oluşmaktadır. Hareketi sağlayan süreci genellikle donma-çözülme olayları belirlemektedir. Buz çimentolu kayalarda, beslenmeye de bağlı olarak, erime-donma olaylarının birbirini izlemesi sonucu eğim aşağı hareketlenmesiyle loblar oluşmaktadır.

Tablo 3. Kaya buzullarının sınıflandırılması (Whalley ve Martin'den [25] uyarlanmıştır)
(Table 3. Classification of rock glaciers (Adopted from Whalley and Martin [25]))

| Araştırmacılar | Kaya buzulu tipleri |
|----------------------------|--|
| Wahrhaftig ve Cox (1959) | Loblu kaya buzulları Dil şekilli kaya buzulları |
| Outcalt ve Benedict (1965) | Vadi kenarı kaya buzulları Vadi tabanı kaya buzulları |
| Lindner ve Marks (1985) | Talus önü kaya buzulları Moren kaya buzulları |
| Barsch (1988) | Talus kaya buzulları Döküntü kaya buzulları |
| Whalley ve Martin (1992) | Talus önü lobları Kaya buzulları |

Buzuldan türeyen kaya buzulları, döküntü örtülü buzulların, üzerine gelen döküntü miktarının artmasıyla oluşmaktadır. Bu malzemeyi

taşıyacak kütle dengesine sahip olmayan buzul, bir buz çekirdeği olarak döküntü örtüsünün içinde kalmakta ve kaya buzuluna dönüşmektedir. [17, 24, 25 ve 26]. Bu tip kaya buzullarının hareketi buz çekirdeğinin kalınlığı ve eğimle orantılı olarak değişmektedir. Eğim sabit kalsa dahi iklimdeki değişimlere (soğumaya) bağlı olarak buz çekirdekli kaya buzullarında ilerlemelerin olabileceği saptanmıştır [26]. Ayrıca, kalın bir buz çekirdeğine sahip olan kaya buzulları, ince çekirdeğe sahip olanlara göre daha hareketlidir [25].

Döküntü örtülü buzulların ihtiyarlık aşaması da diğerlerinden farklıdır. Bu tür buzullar, son dönemlerinde çoğu zaman buz çekirdekli kaya buzullarına dönüşmektedir. Şekil 2'de döküntü örtülü buzuldan, kaya buzuluna dönüşüm gösterilmektedir. Galene Creek'teki benzer dönüşümlerin Avusturya Alplerindeki Reichenkar kaya buzulları [17], Disko Adası (Grönland) ve James Rose Adası (Antarktika) kaya buzulları [27] için de geçerli olduğu belirtilmektedir.

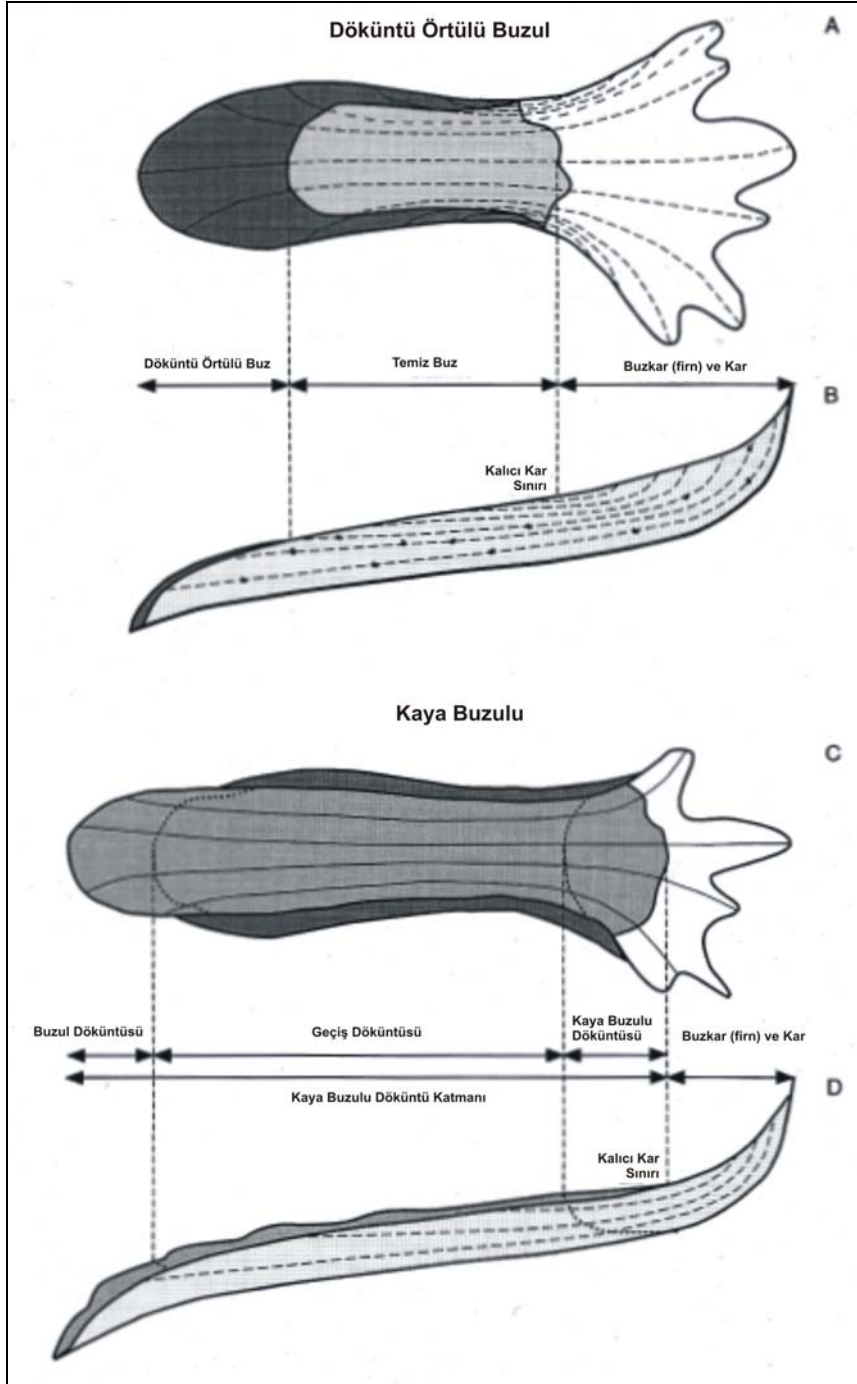
Kaya buzulları, hareket edip etmediklerine bağlı olarak da aktif, aktif olmayan ve relikt (veya fosil) olarak üçe ayrılmaktadır. Yıl içinde çeşitli hızlarla hareket ettiği gözlenen veya hesaplanan kaya buzulları aktif kabul edilmektedir. Genellikle içlerinde buz çimentolu kayalar (permafrost katmanı) ya da buzul buzu bulunan kaya buzulları bu grup içine girmektedir. Aktif olmayan kaya buzulları, içinde bir permafrost katmanı ya da buzul bulunduran fakat günümüzde hareket etmeyen kaya buzullarıdır. Bu tip kaya buzullarını, yeteri kalınlıkta aktif termal katmanlarının veya buz çekirdeklerinin bulunmaması ya da yeterli eğime sahip olmamasıyla açıklamak mümkündür. Relikt kaya buzulları ise artık buz çekirdekleri ya da aktif termal katmanları bulunmayan, dolayısıyla hareket yeteneklerini yitirmiş şekiller olup, genellikle bitki örtüsüyle kaplandıkları belirtilmektedir [25].

3.2. Kaya Buzullarının Gelişimi (Development of Rock Glaciers)

Kaya buzullarının iç kontrol unsurları (buz kalınlığı ve sıcaklığı, eğim, döküntü örtüsünün kalınlığı) yanı sıra, dış faktörler de gelişimlerinde önemli bir paya sahiptir. Kaya buzullarını çevreleyen alanın genişliği, eğimi, yükseltisi, günlenmeye bağlı olarak gelen döküntü miktarı, gelişimlerini etkileyen başlıca çevresel faktörlerdir. Chueca [28] İspanya Pireneleri'nde kaya buzulu oluşumunun, paleoiklimin etkilerine, litolojik faktörlere ve kayaçların çatlak, kırık yoğunluğuna bağlı olduğunu bulmuştur. Janke ve Frauenfelder [29] yaptıkları istatistiksel çalışmanın sonucu olarak kaya buzullarındaki kalınlığın, gelen döküntü miktarı ve çevrelerindeki alanın genişliğiyle doğru orantılı olduğunu bulmuşlardır. Ayrıca, şekil olarak uzun kaya buzulları ile geniş alanlara yayılan kaya buzullarının daha hızlı olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Aynı çalışmada, kalın kaya buzullarının daha hızlı hareket ettikleri, havzanın yıllık ortalama hava sıcaklığındaki değişimlerin, kaya buzulunun hızındaki değişimlerle birebir uyumlu olduğu da saptanmıştır. Kaya buzullarının hareketinde en önemli etkenin iç sıcaklık olduğu vurgulanan araştırmada, sıcak olan kaya buzullarının, soğuk olanlara göre daha hızlı hareket ettiği ve daha geniş alanlara yayıldığı belirtilmiştir.

Kaya buzullarının gelişimindeki önemli faktörlerden biri de havzanın iklimidir. Permafrost etkisiyle oluşan kaya buzulları için yıllık ortalama hava sıcaklığının -4°C ile -10°C , yıllık yağışın ise 500-1000mm arasında olması gerekmektedir. Buz çekirdekli kaya buzulları içinse, yıllık ortalama hava sıcaklığının 1°C ile -10°C arasında olması gerektiği hesaplanmıştır. Ayrıca, benzer koşullar altında daha fazla kar yağışı alan yerlerin, kaya buzulu gelişimi açısından daha uygun olduğu saptanmıştır [27]. Kaya buzullarının

görece kurak alanlarda daha fazla olmasının nedeni de, nemli alanlarda düşen yağışın, erime sularıyla birleşerek döküntü altındaki buz çekirdeğini olumsuz etkilemesi şeklinde açıklanmaktadır [30].



Şekil 2. Galena Creek'te döküntüyle örtülü buzulun, kaya buzuluna dönüşümü A ve C kuş bakışı görünüm, B ve D enine kesittir (Ackert'den [26] uyarlanmıştır)

(Figure 5. The transformation of debris-covered glacier to the rock glacier, A and C are top view, B and D are cross section (Adopted from Ackert [26]))

5. SONUÇ (CONCLUSION)

Sıcaklık artışı, buzulların erime sürecini belirleyen önemli faktörlerin başında gelmektedir. Günümüzde önemli gündem konularından biri olan küresel ısınma da bu kapsamda buzulların erimesini hızlandıran bir tehdit olarak değerlendirilmektedir. Açık yüzeylere sahip buzulların değişen iklim koşulları ve sıcaklık artışlarına bağlı olarak, kütle kayıpları devam ederken, döküntü örtülü buzulların kütlelerinde önemli değişikliklerin olmadığı, hatta bazı yerlerde bu tip buzulların ilerleme gösterdikleri bile anlaşılmaktadır. Holosen iklim koşullarına bağlı olarak, buzul oluşumlarının tipik bir aşaması şeklinde karşımıza çıkan döküntü örtülü buzullar dünyada yaygın olarak görülmektedir. Türkiye'deki buzullaşma alanlarında da bulunan döküntü örtülü buzulların kendilerine özgü koşul ve nitelikleri bulunmaktadır. Normal buzullardan farklı kütle dengesi, hidrolojisi, sediment taşınımı ve çevresel etkileri bulunan döküntü örtülü buzulların açıklanması için farklı yöntem ve bakış açıları gerekmektedir. Örneğin, sıcaklık değişimlerine, temiz buzul buzu gibi karşılık vermeyen döküntü örtülü buzulların iklimsel modellemeler ve tahminlerde kullanılırken, bu farklılıklarının dikkate alınması gerekmektedir. Buzullarla beslenen akarsular ve taban suyunun yönetimi açısından döküntüyle örtülü buzulların morfolojik ve hidrolojik özelliklerinin iyi araştırılıp, anlaşılması bu nedenle önemli bir gerekliliktir. Çıplak yüzeyli buzullara göre çok daha az ablyasyon oranına sahip olan döküntü örtülü buzullar, bir anlamda eski çevre koşullarının kayıtlarını daha uzun süreler boyunca saklayan ve saklayabilecek veri bankalarıdır. Döküntü örtülü buzullar gibi, kaya buzulları da son yıllarda üzerinde çok durulan araştırma konularındadır. Esas olarak iki ayrı modelde oluşan kaya buzullarının, döküntü örtülü buzullarla benzerlikleri olmasına karşın, oluşum koşulları ve buldukları yerler açısından farklılıkları vardır. Türkiye'deki yüksek dağlık alanlarda da gözlenen bu oluşumların araştırılması bilimsel araştırmalara konu edilmesi bu alandaki eksikliğin giderilmesinde önemli bir katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. IPCC, (2007). Climate Change: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC, Cambridge: Cambridge University Press.
2. Nakao, M., Fountain, A., and Raymond, C.,F., (2000). "Debris-covered Glaciers: Proceedings of an International Workshop Held at the University of Washington in Seattle, Washington, USA, 13-15 September 2000", No: 264, Washington: IAHS Publication.
3. Nakawo, M. and Rana, B., (1999). "Estimate of ablation rate of a glacier ice under supraglacial debris layer". Geografiska Annaler, C.81, S. 4, ss:695-701.
4. Shroder, F.J., Bishop, P.M., Copland, L., and Sloan, V.F., (2000). "Debris-covered glaciers and rock glaciers in the Nanga Parbat Himalaya, Pakistan", Geografiska Annaler, C. 82, S. 1, ss:17-31.
5. Singh, P., Kumar, N., Ramasastri. K.S. and Singh, V., (2000). "Influence of a fine debris layer on the melting of snow and ice on a Himalayan glacier". Debris-covered Glaciers. Nakao, M., Fountain, A. ve Raymond, C.,F., (editors), Washington: IAHS Publication, No: 264, ss:63-69.
6. Kayastha, R.B., Takeuchi, Y., Nakawo., M., and Ageta, Y., (2000). "Practical prediction of ice melting beneath various thickness of debris cover on Khumbu Glacier, Nepal, using a positive-degree day factor". Debris-covered Glaciers. Nakao, M., Fountain, A. and Raymond, C.,F., (editors), Washington: IAHS

- Publication, No: 264, ss:71-81.
7. Pelto, S.M., (2000). "Mass balance of adjacent debris-covered and clean glacier ice in the North Cascades, Washington". Debris-covered Glaciers. Nakao, M., Fountain, A. ve Raymond, C.,F., (editors), Washington: IAHS Publication, No: 264, ss:35-42,
 8. Takeuchi, Y., Kayastha, B.R., and Nakawo, M., (2000). "Characteristics of ablation and heat balance in debris-free and debris-covered areas on Khumbu Glacier, Nepal Himalayas, in the pre-monsoon season". Debris-covered Glaciers. Nakao, M., Fountain, A. ve Raymond, C.,F., (editors), Washington: IAHS Publication, No: 264, ss:53-61.
 9. Tomphson, M.H., Kirkbride, M.P., and Brock, B.W., (2000). "Twentieth century surface elevation change of the Miage Glacier, Italian Alps". Debris-covered Glaciers. Nakao, M., Fountain, A. ve Raymond, C.,F., (editors), Washington: IAHS Publication, No: 264, s:219-225.
 10. Iwata, S., Aoki, T., Kadota, T., Seko, K., and Yamaguchi, S., (2000). "Morphologic evolution of the debris cover on Khumbu Glacier, Nepal, between 1978-1995", Debris-covered Glaciers. Washington: IAHS Publication, No: 264, ss:3-11.
 11. Benn, Douglas I. and Evans, David J.A., (1999). *Glaciers and Glaciation*. New York: Arnold.
 12. <http://www.defence.pk/forums/general-images-multimedia/20292-love-northern-area-pakistan-2.html>
 13. Mattson, E.L., (2000). "The influence of a debris cover on the mid-summer discharge of the Dome Glacier, Canadian Rocky Mountains". Debris-covered Glaciers. Nakao, M., Fountain, A. ve Raymond, C.F., (editors), Washington: IAHS Publication, No: 264, ss:25-33.
 14. Spedding, N. "Hydrological controls on the sediment transport pathways: implications for debris-covered glaciers", Debris-covered Glaciers. Washington: IAHS Publication, No: 264, s. 133-142.
 15. Konrad, S.K., (1998). "Possible outburst floods from debris-covered glaciers in the Sierra Nevada, California", *Geografiska Annaler*, C. 80, S. 3-4, ss:183-192.
 16. Raymond. F.C. and Nolan, M., (2000). "Drainage of a glacial lake through an ice spillway". Debris-covered Glaciers. Nakao, M., Fountain, A. ve Raymond, C.F., (editors), Washington: IAHS Publication, No: 264, ss:199-217.
 17. Krainer, K. and Mostler, W., (2000). "Reichenkar rock glacier: a glacier derived debris-ice system in the Western Stubai Alps, Austria". *Permafrost and Periglacial Processes*, C. 11, ss:267-275.
 18. Reynolds, M.J., (2000). "On the formation of supraglacial lakes on debris-covered glaciers", Debris-covered Glaciers. Nakao, M., Fountain, A. ve Raymond, C.,F., (editors), Washington: IAHS Publication, No: 264, ss:153-161.
 19. Takeuchi, N. and Kohshima, S., (2000), "Effect of debris cover on species composition of living organisms in a supraglacial lake on a Himalayan glacier", Debris-covered Glaciers. Washington: IAHS Publication, No: 264, ss:267-275.
 20. Fickert, T., Friend, D., Gruninger F., Molnina B., and Richter M., (2007), "Did Debris-Covered Glaciers Serve as Pleistocene Refugia for Plants A New Hypothesis Derived from Observations of Recent Plant Growth on Glacier Surfaces". *Arctic, Antarctic and Alpine Research*, C. 39, S. 2, ss:245-257.

21. Wahrhaftig, C. and Cox, A., (1959). "Rock glaciers in the Alaska Range". Geol. Soc. Am. Bull., C. 70, ss:383-436.
22. Haeberli, W., (1989). "Glacier ice-cored rock glaciers in Yukon Territory, Canada". Journal of Glaciology, C. 35, ss:294-295.
23. Barsch D., (1992). "Permafrost creep and rockglaciers", Permafrost and Periglacial Processes, C.3, ss:175-188.
24. Potter, N., (1972), "Iced cored rock glaciers, Galena Creek, northern Absaroka Mountains, Wyoming". Geological Society of American Bulletin, C. 83, ss:3025-3058.
25. Whalley, W.B. and Martin, H.E., (1992). "Rock glaciers: II models and mechanisms". Progress in Physical Geography, C. 16, S. 2, ss:127-186.
26. Ackert, P.R., (1998). "A rock glacier/debris-covered glacier system at Galena Creek, Absaroka Mountains, Wyoming". Geopgrafiska Annaler, C. 80, S. 3-4, ss:267-276.
27. Humlum, O., (1998). "The climatic significance of rock glaciers", Permafrost and Periglacial Processes, C:9, ss:375-395.
28. Chueca, J., (1992). "A statistical analysis of the spatial distribution of rock glaciers , Spanish Central Pyrenees". Permafrost and Periglacial Processes, C. 32, S. 3, ss:261-265.
29. Janke, J. and Frauenfelder, R., (2008). "The relationship between rock glacier and contributing area parameters in the Front Range of Colorado". Journal of Quaternary Science, C. 23, S. 2, ss:153-163.
30. Humlum, O., (1997). "Active Layer Thermal Regime at Three Rock Glaciers in Greenland". Permafrost and Periglacial Processes, C. 8, ss:383-408.