

YAPILARDA KAR YÜKÜNÜN BELİRLENMESİ

M. Levent KOÇ

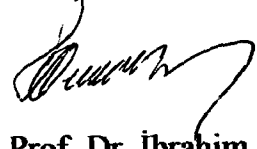
**YÜKSEK LİSANS TEZİ
(İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ)**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Şubat 1998

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

M. Levent KOÇ tarafından hazırlanan YAPILARDA KAR YÜKÜNÜN BELİRLENMESİ adlı bu tezin Yüksek lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.



Prof. Dr. İbrahim Gürer
Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Doç. Dr. Tekin Gültop



Üye : Prof. Dr. İbrahim Gürer



Üye : Dr. Osman Özdemir



Üye :

Üye :

Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.



İÇİNDEKİLER

	sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	iv
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	viii
1.GİRİŞ.....	1
2. KAR VE KAR ÖRTÜSÜ.....	3
2.1. Kar Yağışı.....	3
2.2. Kar Örtüsü.....	5
2.2.1. Kar örtüsünün kütleli değişimi.....	9
2.2.2. Kar örtüsünün mekaniksel değişimi.....	12
2.2.3. Kar örtüsünün zamana ve yere bağıli değişimi.....	15
3. YAPILARDA KAR YÜKÜNÜN BELİRLENMESİ.....	21
3.1. Zemin Kar Yükünün Belirlenmesi.....	21
3.2. Çatı Kar Yükünün Belirlenmesi.....	28
3.2.1. Teras çatılarda kar yükünün belirlenmesi.....	34
3.2.2. Beşik ve sundurma çatılarda kar yükü.....	37
3.2.2.1. Kar kaymasının mekaniğı.....	41
3.2.3. Eğri yüzeyli çatılarda kar yükünün belirlenmesi.....	44
3.2.4. Düzgün yayılı olmayan kar yükü.....	53
3.2.4.1. Alçak çatılarda kar yığılması.....	53
3.2.4.2. Çok açıklıklı çatılarda kar yığılması.....	63
3.2.4.3. Çatı üzerindeki yapı ve yapı elemanlarında kar yığılması.....	65
4. UYGULAMA.....	70
4.1. Zemin Kar Yükünün Belirlenmesi.....	70
4.1.1. Korelasyon analizi.....	70
4.1.2. Regresyon analizi.....	74
4.1.3. Zemin kar yükünün tahmini.....	80
4.2. Çatı Kar Yükünün Belirlenmesi.....	91
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	95
KAYNAKLAR.....	98
EKLER.....	103
ÖZGEÇMİŞ.....	141

YAPILARDA KAR YÜKÜNÜN BELİRLENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

M. Levent Koç

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÖZET

Çatı kar yükü, güneş ışınlamı ve rüzgarın çatı üzerindeki dağılımı, çatının geometrisi, yapıdan kaynaklanan ısı kayıpları, çatı malzemesinin türü gibi birçok faktöre bağlıdır. Ancak, çatı kar yükü pratikte yapının inşa edileceği alanın zemin kar yüküne göre saptanır. Bundan dolayı, rasgele bir değişken olan zemin kar yükü proje kar yükünün esas bileşenidir. Bu çalışmada, Sivas bölgesi için zemin kar yükü istatistiksel yöntemlerle saptanmış ve çatı kar yükleri hesaplanmıştır. TS.498'in konuya yaklaşımı elde edilen sonuçlar doğrultusunda değerlendirilmiştir.

Bilim Kodu: 624. 02. 02

Anahtar Kelimeler: Kar, Çatı, Kar yükü

Sayfa adedi: 141

Tez Yöneticisi: Prof. Dr. İbrahim Gürer

DETERMINATION OF SNOW LOADS ON STRUCTURES
(M. Sc. Thesis)

M. Levent Koç

GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

ABSTRACT

Roof snow load depends on some factors such as roof exposure to wind and sun, roof geometry, thermal losses from the building and roof materials. However, roof snow load in practice determined according to ground snow load in the building area. So ground snow load which is a random variable is the basis component of snow load for the design. In this paper, ground snow loads were determined by statistics methods for Sivas region and roof snow loads were calculated by these loads. Results were presented and the approach of TS.498 (Turkish Standards) for the subject was evaluated with the results.

Science Code: 624. 02. 02

Key Words: Snow, Roof, Snow load

Page Number: 141

Adviser: Prof. Dr. İbrahim Gürer

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın hazırlanmasında, yapmış olduğu yardım ve katkılardan dolayı başta hocam Prof. Dr. İbrahim Gürer'e , meteorolojik verilerin elde edilmesine yardımcı olan ve adlarını burada anamadığım DMI ve DSI çalışanlarına teşekkür ederim. Ayrıca, bu çalışmayı 06/97-11 kod numaralı araştırma projesi kapsamında destekleyen Gazi Üniversitesi Araştırma Fonu Müdürlüğüne teşekkür ederim.



ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1	Erime indeksinin karın erime karakteristiklerine bağlı değişimi.....24
Çizelge 3.2	Yapı ısı faktörünün değişimi.....35
Çizelge 3.3	Rüzgar dağılım faktörünün değişimi.....35
Çizelge 3.4	Çatı kar yükü değerleri.....37
Çizelge 3.5	Çatı eğimine bağlı azaltma değerleri.....40
Çizelge 4.1	Arapça kar kursu için regresyon analizi sonuçları.....76
Çizelge 4.2	Çatpınar kar kursu için regresyon analizi sonuçları.....76
Çizelge 4.3	Kayakevi kar kursu için regresyon analizi sonuçları.....76
Çizelge 4.4	Kızıldağ kar kursu için regresyon analizi sonuçları.....77
Çizelge 4.5	Ortaköy kar kursu için regresyon analizi sonuçları.....77
Çizelge 4.6	Şerefiye kar kursu için regresyon analizi sonuçları.....77
Çizelge 4.7	Sivas istasyonunu için Kolmogorov-Smirnov testinin sonuçları ve dağılım parametreleri.....82
Çizelge 4.8	Suşehri istasyonunu için Kolmogorov-Smirnov testinin sonuçları ve dağılım parametreleri.....82
Çizelge 4.9	Divriği istasyonunu için Kolmogorov-Smirnov testinin sonuçları ve dağılım parametreleri.....82
Çizelge 4.10	Gemerek istasyonunu için Kolmogorov-Smirnov testinin sonuçları ve dağılım parametreleri.....83
Çizelge 4.11	Hafik istasyonunu için Kolmogorov-Smirnov testinin sonuçları ve dağılım parametreleri.....83
Çizelge 4.12	İmranlı istasyonunu için Kolmogorov-Smirnov testinin sonuçları ve dağılım parametreleri.....83
Çizelge 4.13	Kangal istasyonunu için Kolmogorov-Smirnov testinin sonuçları ve dağılım parametreleri.....83
Çizelge 4.14	Şarkışla istasyonunu için Kolmogorov-Smirnov testinin sonuçları ve dağılım parametreleri.....84
Çizelge 4.15	Ulaş istasyonunu için Kolmogorov-Smirnov testinin sonuçları ve dağılım parametreleri.....84
Çizelge 4.16	Yıldızeli istasyonunu için Kolmogorov-Smirnov testinin sonuçları ve dağılım parametreleri.....84
Çizelge 4.17	Zara istasyonunu için Kolmogorov-Smirnov testinin sonuçları ve dağılım parametreleri.....84
Çizelge 4.18	Kayakevi kar kursu için Kolmogorov-Smirnov testinin sonuçları ve dağılım parametreleri.....85
Çizelge 4.19	Kızıldağ kar kursu için Kolmogorov-Smirnov testinin sonuçları ve dağılım parametreleri.....85

Çizelge 4.20	Ortaköy kar kursu için Kolmogorov-Smirnov testinin sonuçları ve dağılım parametreleri.....	85
Çizelge 4.21	Şerefiye kar kursu için Kolmogorov-Smirnov testinin sonuçları ve dağılım parametreleri.....	85
Çizelge 4.22	Arapça kar kursu için Kolmogorov-Smirnov testinin sonuçları ve dağılım parametreleri.....	86
Çizelge 4.23	Çatpınar kar kursu için Kolmogorov-Smirnov testinin sonuçları ve dağılım parametreleri.....	86
Çizelge 4.24	Sivas bölgesi için (T=30 yıl) hesaplanan zemin kar yükleri	88
Çizelge 4.25	Sivas bölgesi için (T=50 yıl) hesaplanan zemin kar yükleri	89
Çizelge 4.26	Sivas bölgesi için kar derinliklerine göre hesaplanan zemin kar yükleri.....	90
Çizelge 4.27	Sivas bölgesi için hesaplanan çatı kar yükleri.....	94

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil		Sayfa
Şekil 3.1	Basit şekilli çatılar.....	29
Şekil 3.2	Teras çatı üzerinde kar yükünün dağılımı	35
Şekil 3.3	Beşik ve sundurma çatılarda kar birikimi.....	38
Şekil 3.4	Beşik çatı üzerinde karın asimetrik dağılımı.....	41
Şekil 3.5	Kar kaymasının mekaniği	42
Şekil 3.6	Kar kaymasının tehlike olduğu alanın belirlenmesi ve kar kaymasının parapet ve kar perdesi kullanılarak önlenmesi	45
Şekil 3.7	Eğri yüzeyli çatı üzerinde kar birikimi ve dağılımı	47
Şekil 3.8	Eğri yüzeyli çatılarda simetrik yük durumu	48
Şekil 3.9	Eğri yüzeyli çatılarda asimetrik yük durumu.....	49
Şekil 3.10	Zemin-çatı yüzeylerinin keşişmesi halinde kar birikmesi	51
Şekil 3.11	Eğri yüzeyli çatılarda kar yükünün asimetrik dağılımı.....	52
Şekil 3.12	Alçak çatılarda kar yığılması tipleri.....	54
Şekil 3.13	Alçak çatılarda kar yığılması	56
Şekil 3.14	Alçak çatılarda yığılmış karın dağılımı	58
Şekil 3.15	Alçak çatılardaki kar yığılması uzunluğunun hesabı.....	59
Şekil 3.16	Alçak çatılardaki kar yığılması için şekil katsayısının hesabı	59
Şekil 3.17	T şekilli çatılarda kar yığılması	60
Şekil 3.18	L köşesi kırma çatılarda kar yığılması	61
Şekil 3.19	L köşesi kırma çatılarda kar yığılması uzunluğunun hesabı.....	62
Şekil 3.20	L köşesi kırma çatılarda kar yığılması için şekil katsayısının hesabı.....	62
Şekil 3.21	Çok açıklıklı çatılarda kar yığılması	64
Şekil 3.22	Parapetlerin çevresinde kar yığılması.....	66
Şekil 3.23	Çatı üzerindeki elemanların çevresindeki kar yığılmaları.....	67
Şekil 3.24	Çatı üzerindeki engellerin çevresinde kar yükünün dağılımı	68
Şekil 3.25	Güneş kolektörleri çevresinde kar yığılmaları	69
Şekil 4.1	Sivas bölgesi ve bölgedeki mevcut meteoroloji istasyonlarının ve kar kurslarının dağılımı.....	71
Şekil 4.2	Arapça kar kursu için kar derinliği ve kar-su eşdeğeri ilişkisi.....	72
Şekil 4.3	Çatpınar kar kursu için kar derinliği ve kar-su eşdeğeri ilişkisi.....	73
Şekil 4.4	Kayakevi kar kursu için kar derinliği ve kar-su eşdeğeri ilişkisi.....	72
Şekil 4.5	Kızıldağ kar kursu için kar derinliği ve kar-su eşdeğeri ilişkisi.....	73

Şekil 4.6	Ortaköy kar kursu için kar derinliği ve kar-su eşdeğeri ilişkisi.....	74
Şekil 4.7	Şerefiye kar kursu için kar derinliği ve kar-su eşdeğeri ilişkisi.....	74
Şekil 4.8	Arapça kar kursu için tahmini ve ölçülen kar-su eşdeğerleri arasındaki farklar	78
Şekil 4.9	Çatpınar kar kursu için tahmini ve ölçülen kar-su eşdeğerleri arasındaki farklar	78
Şekil 4.10	Kayakevi kar kursu için tahmini ve ölçülen kar-su eşdeğerleri arasındaki farklar	78
Şekil 4.11	Kızıldağ kar kursu için tahmini ve ölçülen kar-su eşdeğerleri arasındaki farklar	79
Şekil 4.12	Ortaköy kar kursu için tahmini ve ölçülen kar-su eşdeğerleri arasındaki farklar	79
Şekil 4.13	Şerefiye kar kursu için tahmini ve ölçülen kar-su eşdeğerleri arasındaki farklar.....	79
Şekil 4.14	Sivas bölgesinde kar-su eşdeğerinin yüksekliğe bağlı değişimi.....	89
Şekil 4.15	Sivas bölgesinde zemin kar yükünün yüksekliğe bağlı değişimi.....	90
Şekil 4.16	Kar derinliklerine ve kar-su eşdeğerlerine göre hesaplanan kar yükleri arasındaki farklar.....	91
Şekil 4.17:	Sivas bölgesinde normalize edilmiş zemin kar yükünün (T=30yıl) dağılımı.....	92
Şekil 4.18:	Sivas bölgesinde normalize edilmiş zemin kar yükünün (T=50yıl) dağılımı.....	93
Şekil 4.19	Sivas bölgesinde çatı kar yükünün yüksekliğe bağlı değişimi.....	94

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılan bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklama

$\Delta(t)$	t zamanı boyunca kar yükündeki azalma
$(.)_m$	Ölçülen yıllık maksimum değer
α	Çatı eğimi
δ	Çatı yüzeyine teğet doğrunun yatayla yaptığı açı
β	Çatının eşlenik eğimi
μ	Örneğin aritmetik ortalaması
σ	Örneğin standart sapması
γ_d	Yığılmış karın özgül ağırlığı, kN/m^3
α_c	Saçak eğimi
Δh	Alçak ve yüksek çatı yükseklikleri farkı, m
α_i	i. yapı için çatı eğimi
$\Delta_{\max}$	Kolmogorov-Smirnov testi istatistiği
ΔP_i	i. kar yağışı sonucu oluşan yük artışı, kN/m^2
γ_r	Çatı üzerindeki karın özgül ağırlığı, kN/m^3
ρ_s	Kar yoğunluğu, kg/m^3
γ_s	Zemin üzerindeki karın özgül ağırlığı, kN/m^3
μ_y	Dönüştürülmüş değişkenin ortalaması
σ_y	Dönüştürülmüş değişkenin standart sapması
A	C_s için minimum çatı eğimi
B	C_s için maksimum ve minimum çatı eğimleri farkı
b_u	Yüksek çatının genişliği, m
c	Katsayı
C	Şekil katsayısı
C_1	Çatı mahyası ve tepe noktası için şekil katsayısı
C_2	Saçak için şekil katsayısı
C_3	Maksimum birikme için şekil katsayısı
C_a	Biriktirme faktörü
C_b	Esas yük faktörü
C_i	i. çatı için şekil katsayısı

C_s	Çatı eğimine bağlı azaltma değeri
C_{si}	i. çatı için eğime bağlı azaltma değeri
C_t	Yapı ısı faktörü
C_w	Rüzgarın dağılım faktörü
d	Erime indeksi
f	Sürtünme katsayısı
F_a	Adhezyon kuvveti, kN
F_c	Basınç kuvveti, kN
F_s	Sürtünme kuvveti, kN
F_t	Çekme kuvveti, kN
g	Yerçekimi ivmesi, m/sn^2
H_1	Karşıt hipotez
H_d	Yığılmış karın derinliği, m
H_g	Zemin üzerindeki kar derinliği, mm
h_o	Engelin yüksekliği, m
H_o	Sıfır hipotezi
h_r	Çatı yüksekliği, m
H_r	Çatı üzerindeki kar derinliği, m
$H_s(T)$	Tahmini maksimum kar derinliği, mm
H_s	Kar derinliği, mm
$H_w(T)$	Tahmini kar-su eşdeğeri, mm
H_w	Kar-su eşdeğeri, mm
$H_{wy}(T)$	Dönüştürülmüş tahmini kar-su eşdeğeri, mm
H_x	Yatay yönde kar derinliği, m
I	Yapı önem katsayısı
K_1	1. Bağımsız değişken için regresyon katsayısı
K_2	2. Bağımsız değişken için regresyon katsayısı
$K(T)$	Frekans faktörü
K	Derece-gün faktörü
l	Çatı uzun kenarı, m
l_c	Karakteristik uzunluk, m
l_d	Yığılma uzunluğu, m
l_{di}	i. yapı için yığılma uzunluğu, m
l_l	Alçak çatının uzunluğu, m
l_{max}	Maksimum çatı uzunluğu, m
l_{mi}	i. yapı için mahya-saçak arasındaki mesafe, m
l_r	Çatı açıklığı, m
l_{ri}	i. yapı için çatı uzunluğu veya açıklığı, m
l_u	Yüksek çatının uzunluğu, m
l_x	Yatay yönde çatı açıklığı, m
m	Kütle, kg
M_d	Günlük erime, mm
$N(t)$	t zamanı boyunca oluşan yağış sayısı

N	Toplam gözlem süresi, yıl
N_n	Ölçümlerin sıfırdan farklı olduğu yılların sayısı
N_o	Ölçümlerin sıfır olduğu yılların sayısı
P_d	Yığılmış kar yükü, kN/m^2
P_g	Zemin kar yükü, kN/m^2
P_n	Normalize yük, kN/m^2
$P_r(t)$	Zamanın fonksiyonu olarak çatı kar yükü, kN/m^2
P_r	Çatı kar yükü, kN/m^2
R	Korelasyon katsayısı
R^2	Düzeltilmiş korelasyon katsayısı
SD	Serbestlik derecesi
SH	Tahminin standart hatası
SH_c	Regresyon katsayıları için standart hata
t	t istatistik değeri
t_{alt}	Regresyon katsayısı alt sınır değeri
t_c	t istatistiğinin kritik değeri
$t_{üst}$	Regresyon katsayısı üst sınır değeri
T	Yineleme periyodu, yıl
T_a	Düzeltilmiş yineleme periyodu, yıl
T_d	Günlük ortalama sıcaklık, °C
T_m	Kış mevsimi sıcaklık ortalaması, °C
V_d	Yığılmış kar hacmi, m^3
w	Çatı kısa kenarı, m
z	Standart değişken
Z	İstasyon kotu, m

Kısaltmalar

ANSI	American National Standards Institute
BSI	British Standards Institute
DMİ	Devlet Meteoroloji İşleri
DSİ	Devlet Su İşleri
EİEİ	Elektrik İşleri Etüt İdaresi
NBCC	National Building Code of Canada
TSE	Türk Standartları Enstitüsü

1. GİRİŞ

Karın, özellikle kar yağışının yoğun olarak gözlendiği bölgelerde, yapılar üzerinde birikimi çatı çökmelerine veya hasarlarına neden olabilmektedir. Türkiye'de, kar birikmesinin neden olduğu çatı hasarlarına-çökmelerine ait istatistiki bilgilerin yetersiz olması konunun değerlendirilmesi açısından bir eksiklik olmakla birlikte çatı elemanının kar yüküne karşı güvenli ve ekonomik olarak projelendirilebilmesi, zemin kar yükü ile birlikte karın çatı üzerindeki birikimini etkileyen tüm faktörlerin de dikkate alınmasını gerektirir.

Çatılarda kar yükünü belirleyen başlıca faktörler çatı şekli, çatı eğimi, çatı kaplama malzemesinin türü ve pürüzlülüğü, rüzgarın ve güneş ışıının çatı üzerindeki dağılımı, yapı-çatı arasında ortaya çıkacak ısı geçişler, çatının üzerinde ve çevresindeki engellerdir (yapı veya yapı elemanları). Ancak, çatıya özgü bu faktörler her çatı için farklılıklar gösterebileceğinden, pratikte, çatı kar yükü zemin kar yükü esas alınarak belirlenir.

Zemin kar yükü, kar örtüsünün zemin yüzeyine uyguladığı normal gerilmeler olup; yapının inşa edileceği alanın meteorolojik özelliklerine bağlı, zamana (mevsime) ve yere (yükseklige) göre farklılıklar gösteren rasgele bir değişkendir. Bu nedenle, zemin kar yükü gözönüne alınan bölgeye ait uzun dönem kar verileri yardımıyla istatistiksel yöntemlerle tahmin edilir. Zemin kar yükü ile ilgili temel veriler gözlem istasyonlarınca ölçülen kar derinliği ve kar-su eşdeğerleridir.

Basit şekilli çatılarda (beşik, sundurma, kubbe vb) çatı şekli, çatı eğimi, çatı yüzeyinin pürüzlülüğü, rüzgarın ve güneş ışıının çatı üzerindeki dağılımı, yapı-çatı arasında ortaya çıkacak ısı geçişler kar yükünü önemli ölçülerde değiştirebilir. Bu faktörler arazi ölçümleri ve laboratuvar çalışmaları

sonucunda boyutsuz dönüştürme katsayıları ile ifade edilirler. Çatı kar yükü, bu katsayılarla zemin kar yükü çarpılarak hesaplanır.

Farklı geometrik özelliklere sahip çatılarda (karmaşık geometrik özellikler gösteren çatılar) ise, karın çatı üzerindeki dağılımı çok değişik davranışlar gösterebilir. Bu nedenle, bu tip özel yapımlı çatılarda, çatı üzerinde ortaya çıkabilecek farklı yüklerin belirlenmesi için rüzgar tünellerinde modeller üzerinde yapılacak deneylerden yararlanılır.

Kar yükü hesabında uyulması gereken esaslar, zemin kar yükü değerleri ve dönüştürme katsayıları birçok ülkede yapı standartları içinde yer almış olup; Türkiye’de de halen TS.498 (Türk Standartları) içinde verilmektedir. Ancak, son yıllarda özellikle ABD, Kanada gibi ülkelerde yapılan araştırmalar doğrultusunda konu ile ilgili mevcut standartlar geliştirilmiştir. Bu nedenle, konu ANSI.A58.1 (American National Standard Building Code Requirements for Minimum Design Loads in Building and Other Structures); NBCC.Commentary on Snow Loads (National Building Code of Canada); BS.6399 (British Standards) gibi değişik yapı standartlarından örnekler verilerek anlatılmıştır. Söz konusu standartlar yayımlandıkları yıllara göre anılmış olup aynı standartlara ait yayın yıllarının konulara göre farklılıklar göstermesinin nedeni farklı konulardaki değişikliklerin eşzamanlı yapılmaması olmuştur.

Yapılan uygulamada, Sivas Bölgesi için zemin kar yükünün dağılımı, bölgede çalışmakta olan meteoroloji istasyonlarına ve ölçüm yapılan kar kurslarına ait veriler yardımıyla, istatistiksel yöntemlerle belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda, son yıllarda değişik standartlarda ortaya konulan gelişmelerde dikkate alınarak, TS.498’in konuya yaklaşımı değerlendirilmiştir.

2. KAR VE KAR ÖRTÜSÜ

2.1. Kar Yağışı

Kar yağışı havadaki su buharının, belirli koşulların oluşması halinde, yeryüzüne katı halde düşme şekillerinden biridir. Yağış için gerekli koşullar su buharının yeterli miktarlarda bulunması, havanın yeterince soğuması, yoğunlaşmanın olması ve su damlalarının yeryüzüne düşebilecek iriliğe ulaşmış olmalarıdır. Yağışın oluşabilmesi için yoğunlaşma olayının yoğunlaşma çekirdeği adı verilen toz parçacıkları üzerinde meydana gelmesi gereklidir. Yoğunlaşmanın 0°C'den yüksek sıcaklıklarda oluşması ile sis ve yağmur tanecikleri oluşurken; sıcaklığın 0°C değerine düşmesiyle, yavaş ve devamlı yoğunlaşma sonucu, genel olarak altıgen yıldız ve plaka şeklinde buz kristalleri oluşur (Gürer, 1977).

Bulut içindeki sıcaklığın 10°C den düşük olduğu durumlarda, yeterli miktarda buz kristallerinin olması halinde, su buharının buz kristalleri üzerinde yoğunlaşması ile yeryüzüne düşebilecek irilikte buz kristalleri oluşabilir. Büyük buz kristalleri su damlacıklarının ve buz kristallerinin çarpışarak birleşmesi ile oluşur. Kar kristali ise birbiri ile zayıf bir şekilde bağlı 1 ile 100 arasında buz kristalinin birleşimi sonucu meydana gelir. Kar kristalleri 0,5-4,0 mm çaplarında olup, kristallerin yere düşme hızları 0,5 ile 1,5 m/sn arasında değişir. Kar kristalleri hava sıcaklığı, bulut içindeki aşırı doymunluğun derecesine (kristalin oluşumu sırasındaki) bağlı olarak değişik hegzagonal formlar alır. Kristallerin alacağı temel formlar için doyma noktası (havanın su buharı taşıma kapasitesi) %105-150 arasında değişirken, sıcaklık değerleri düzlem (plates), dentritik (ağaç veya yosun gibi), kristal-düzlem ve prizmatik şekiller için sırasıyla -4, -8¼; -8, -12¼; -12, -25¼; -25, -40¼ °C arasında

değerler alır ve yüksek doygunluk derecelerinde kristallerin büyüme oranında daha hızlı artış gözlenir (Föhn, 1995).

Yağışın kar olarak düşebileceği sınır yükseklik değeri genel olarak atmosferde 0°C sınırından itibaren düşey yönde 300 m'dir. Bu durumun nedeni kar kristallerinin belirli bir süre içinde erimesi ve erime işleminin kristallerin çevresindeki hava tabakalarının sıcaklığını düşürmesidir. Şiddetli kar yağışlarında ise bu sınır değeri 500 ile 800 m'ye kadar düşebilmektedir (Föhn, 1995).

Yağış, yatay bir düzlem üzerine belirli bir zaman dilimi içinde birikerek düşen ve yağış yüksekliği olarak isimlendirilen su sütunu (mm veya cm) yüksekliğidir. Kar yağışının ölçümünde, yağmur ölçümü için de kullanılan plüvyometre (yazıcı olmayan yağışölçer) ve plüvyograf (yazıcı yağışölçer) adı verilen yağışölçerlerden yararlanılır. Ölçek içinde biriken karın donmadan eriyebilmesi için katkı maddeleri (kalsiyum klorür vb) kullanılır. Ancak, kar taneleri yağmur damlalarına kıyasla rüzgarla daha çok taşınabileceğinden, yağışölçerler kar yağışı için yalnızca düşük kotlarda ve rüzgara kapalı alanlarda kullanılır. Rüzgar nedeniyle, ölçeğe girebilen kar miktarı %20-50 oranlarında azalabilmektedir (Föhn, 1995).

Türkiyede plüvyometre kullanarak kar ölçümü DMİ (Devlet Meteoroloji İşleri) ve DSİ (Devlet Su İşleri) tarafından Hellman ve USWB tipleri plüvyometerler kullanılarak yapılmaktadır. Helman tipi plüvyometrelerde rüzgar siperi kullanılmamasına karşın DSİ tarafından kullanılan USWB tipi dağ plüvyometerlerinde Nipher tipi rüzgar siperi kullanılmaktadır. Yağış şiddetini ölçen plüvyograflar kullanılarak da yağış yüksekliğini belirlemek mümkündür: DMİ tarafından kullanılan OSK tipi plüvyograflar bu tür araçlardır (Gürer, 1980).

Meteorolojik olarak yapılan kar gözlemleri kar yağışlı günler sayısı, kar derinliği, kar yağışı şiddeti, nivometrik sabit olup bunlar aşağıdaki şekilde tanımlanabilir:

Kar yağışlı günler sayısı: Kar yağışının en az 1 cm olarak ölçüldüğü günlerin sayısıdır. Türkiye’de gözlem yapılan alanın denizden yüksekliği ve uzaklığı kar yağışlı günler sayısını etkileyen başlıca faktörlerdir (Gürer, 1980).

Kar derinliği: Kar tablaları kullanılarak, her kar yağışının ardından alanı 1 m² olan bir tabla üzerinde ölçülen derinliktir. Devamlı kar örtüsünün derinliği (cm veya mm) ise kar eşelleri kullanılarak günlük veya 15-30 gün aralıklarla ölçülür. Ulaşılması güç alanlarda kar derinliğinin ölçülmesinde uzaktan gözlenebilen kar direkleri kullanılır. Bu yöntemle uçak, helikopter veya güçlü dürbünler yardımıyla uzaktan kar derinliği ölçülebilmektedir.

Kar yağışı şiddeti: Birim zamanda düşen yağış olup sıvı şeklinde düşen yağışlar (yağmur) için kullanılan yöntemle ölçülür ve yerleşim alanları ile yüksek alanlar için ayrı olarak verilir. Kar yağışı yeni kar derinliği 3 cm ve daha az ise hafif; 6-10 cm arasında ise normal yağış olarak adlandırılır. Yüksek kesimlerde normal yağış değeri 20 cm’ye kadar çıkabilir.

Nivometrik sabit: Kar yağışlı günler toplamının, aylık veya yıllık olarak, yağışlı günler (kar ve yağmur) toplamına oranıdır.

2.2. Kar Örtüsü

Yeryüzüne düşen kar kristallerinin zemin üzerinde birikimi ile ortaya çıkan tabakalaşmış yapıya kar örtüsü adı verilir. Kar örtüsü birbirini izleyen yağışlarla veya son yağışla ortaya çıkan tabaka/tabakalardan meydana gelir.

Örneğin Türkiye’de, Keban havzasında yapılan ölçümlerde devamlı üstüste biriken kar örtüsü ölçülürken; Trakya’da ve Antalya yöresindeki her gözlemde yeni kar örtüsü ölçülmüştür (Gürer, 1992). Karın erimesi için için gerekli koşul kar örtüsünün 0°C ’de izotermal olmasıdır ve hava sıcaklığı 0°C ’nin altında olduğu sürece kar örtüsü varlığını sürdürür. Kar erimesi rüzgar hızı ve hava sıcaklığı ile doğru orantılıdır.

Kar örtüsünü fiziksel olarak karakterize eden parametreler kar derinliği, kar yoğunluğu, kar-su eşdeğeri, su muhtevası ve su kalitesi olarak verilebilir. Kar yükünün belirlenmesi açısından ise kar derinliği, kar yoğunluğu, kar-su eşdeğeri önemli parametrelerdir ve kar yükü bu parametrelerin bir fonksiyonu olarak verilir.

Karın, başlangıçta 0,10 (hacimsel olarak) kabul edilebilen yoğunluğu zaman içinde kar örtüsünde ortaya çıkacak sıkışmalar sonucu artar. Kar örtüsündeki sıkışmaların başlıca nedenleri kar örtüsünün kendi ağırlığı ve kar erimesi olup karın yoğunluğunu etkileyen meteorolojik faktörler sıcaklık, yağış ve rüzgardır. Meydana gelen yağışın kar şeklinde olması kar örtüsünde oturmaya neden olur ve havanın dışarı atılması ile yoğunluk artar. Yağmur olarak düşen yağışların ise kardaki erimeye fazla etkisi olmayacağı kabul edilir. Ancak, kar örtüsü üzerine düşen yağmur karın yoğunluğunu 0,90’a kadar çıkarabilmektedir. Rüzgar yönündeki sıkışmalar da karın yoğunluğunu artırır.

Yağmış karı toz kar (yeni) ve eski kar olmak üzere iki ana gruba ayırmak mümkündür. Toz kar, karın yeni, oturmakta olan ve oturmuş haldeki aşamalarını içerir. Yeni kar, karın hemen yağış sonraki gevşek, tüy gibi olan, genellikle yağışın rüzgarla birlikte gözlenmediği ve kristallerin dentrik yapısını koruduğu durumuna karşılık gelir . Bu karın, düşük sıcaklıklarda düşen şekli ise vahşi kar adını alır. Oturmakta olan kar yeni ve oturmuş kar

arasındaki aşamadır. Bu durumda kar kristalleri dentrik yapılarının büyük kısmını kaybetmiştir. Kar kristallerinin dentrik yapılarını tümüyle kaybetmesi ile oluşan oturmuş kar halinde, kristaller birbirine yakın olarak “tozlu şekilde” oturmuştur; kar taneleri eski kar tanelerinden daha küçüktür ve taneler arasındaki bağ zayıftır. Karın vahşi, yeni (yağıştan hemen sonra), oturmakta olan ve oturmuş aşamaları için yoğunluk sırasıyla 0,01-0,03; 0,05-0,065; 0,07-0,19; 0,2-0,3 arasında (Pugh, 1953) değerler alabilir.

Eski kar rüzgar etkisi ile sertleşmiş, güneş, rüzgar ve sıcaklık değişikliklerinin etkisi altında sıkışmış kuru taneli, yaklaşık % 20 oranında serbest su içeren yaşı taneli ve % 25’ten daha büyük oranlarda serbest su içeren sulu kar durumlarını içerir. Yukarıda belirtilen aşamalar için yoğunluk değerleri Pugh (1953) tarafından sırasıyla 0,2-0,35; 0,3-0,55; 0,35-0,65; 0,6-0,85 olarak verilmiştir. Bununla birlikte, kar sıkışması sonucu oluşan buzullarda maksimum yoğunluk 0,91 değerine kadar çıkabilmektedir.

Kar-su eşdeğeri, kar eridiğinde oluşacak su sütununun (mm veya cm) yüksekliğidir. Kar derinliğinin kar yoğunluğu ile çarpımı kar-su eşdeğerini verir. Kar-su eşdeğeri kar örtüsü içinde erime-yağış nedeniyle ortaya çıkabilecek değişimleri yansıttığından, kar örtüsünün sahip olduğu su depolamasının belirlenmesinde kar derinliğine kıyasla daha önemli bir parametredir.

Kar örtüsünün sahip olduğu suyun, hacim veya ağırlık olarak, içerdiği kar miktarına oranı olan su muhtevasını % 100’e tamamlayan değere kar kalitesi adı verilir ve bu terim aynı zamanda kardaki buz miktarının da ölçüsüdür. Kar kalitesinin bulunmasında yaygın olarak kullanılan yöntem kalorimetrik yöntemdir. Bu yöntemde, kar numunesi kısmen sıcak su ile doldurulmuş bir şişe içine konulur; ilk ve son sıcaklıkların ölçülmesi ile kar ve suyun bilinen

ağırlıklarından yararlanılarak kar kalitesi hesaplanır. Kar örtüsü içindeki serbest su, rosalin (özel bir boya) kullanılarak yapılan basit bir deney ile de tespit edilir. Bu boya kuru iken yeşil, ıslandığında ise parlak kırmızı renk almaktadır.

Kar yükünün belirlenebilmesi için kar derinliği ve kar yoğunluğu veya kar-su eşdeğerinin ölçülmesi gereklidir. Kar-su eşdeğerinin ölçümünde plüvyometrelerden yararlanılabileceği gibi kar numune tüpleri de kullanılabilir. Ölçümün plüvyometre (iç kap çıkarılarak) kullanılarak yapılması halinde, ölçüm hatalarının azaltılması amacıyla yağışölçerin rüzgar siperi ile donatılması gerekir. Kar örtüsünün ölçümünde kar numune tüpleri ile ölçüm kar örtüsünden örnek alınarak yapılır. Kar örneği, kar örtüsünün üst kısmından itibaren zemine kadar olan kısımdan kar numune alma tüpü ile alınır. Alınan örnek tartılır, ölçülen kar derinliği yardımıyla yoğunluk ve kar-su eşdeğeri hesaplanır.

Dünya Meteoroloji Örgütünün standartlarına göre düz olan yüksek kesimlerde 1000 km²'lik; dağlık yüksek kesimlerde ise 650-750 km² lik bir alan için belirlenmiş bir yerde ölçüm istasyonu kurulur. Türkiye'de kar-su eşdeğeri ölçümü DMİ, DSİ ve EİEİ (Elektrik İşleri Etüt İdaresi) tarafından değişik aletler kullanılarak yapılmaktadır. Örneğin, DSİ tarafından Türkiye'deki tüm akarsu havzalarındaki kar gözlem istasyonlarında ABD yapısı Mount Rose tipi numune alma aletleri kullanılırken; DMİ tarafından Uludağdaki kar gözlem istasyonlarında Japon yapımı OSK 771 tipi alet kullanılmaktadır. Kar-su eşdeğeri kar yastıkları kullanılarak da yapılabilmektedir (Gürer, 1992).

Kar örtüsü, kış mevsimi boyunca termodinamik ve mekanik bir süreç içinde değişime uğrar. Karın yeryüzüne düşmesiyle başlayan bu süreç, kar örtüsünü

mekanik özellikleri ile birlikte kütleli olarak da değişime uğratar. Ancak, karın dağılımını, yağış sırasında ve yağış sonrasında, belirleyen temel faktör rüzgardır ve karın dağılımını önemli ölçüde değiştirebilir.

2.2.1. Kar örtüsünün kütleli değişimi

Kar örtüsü, yerde kaldığı süre içinde, yağmur veya kar olarak düşecek yeni yağışlarla, kar örtüsü içinde erime sonucu oluşacak suyun zemine sızması ve kar yüzeyinde buharlaşma-yoğunlaşma sonucu oluşacak kayıplarla kütleli değişime uğrar. Bu değişim yağışlar girdi erime sonucu oluşacak kayıplar çıktı olmak üzere kütle transferi veya enerji transferi şeklinde karakterize edilir. Belirli bir dönem içinde oluşacak kar erimesinin miktarı sıcaklık, nem oranı, rüzgar, güneş ışıınımı, sıcaklık ve yağış (yağmur) miktarı gibi birçok faktöre bağlıdır. Kar erimesi termodinamik bir süreç olup, enerji dengesi yönteminin kar örtüsüne uygulanması ile hesaplanır. Kar erimesi için gerekli enerji güneş ışıınımı, kondüksiyon ve konveksiyon yoluyla havadan ısı geçişi, kar yüzeyindeki nemin yoğunlaşması, zeminden kondüksiyon yolu ile ısı geçişi, kar örtüsü üzerine düşecek yağışın (yağmur) neden olacağı ısı olarak verilebilir.

Karın erimesine etkiyen başlıca faktör kısa dalga güneş ışıınımıdır ve bu ışıınının kar örtüsüne etkisi karın albedosuna (kar yüzeyinin gelen ışıını yansıtma düzeyi) bağlıdır. Karın albedosu dalga boyu, tane çapı ve karın kirlilik derecesine bağlıdır (Gubler, 1995). Yeni (temiz) kar yüzeyi gelen ışıını % 80-90 oranında yansıtırken; bu oran eski (kirli) kar yüzeyi için % 40-50 arasında değişebilir. Kar örtüsünde zaman içinde oluşacak kirlenme, kristal yapısındaki değişmeler ve yoğunluğun artması ile karın albedosu % 50 ve daha düşük değerler alır. Kar örtüsü tarafından emilen kısa dalga ışıınının karın yoğunluğuna bağlı olarak yayılır ve güneş ışıınımını nedeniyle oluşabilecek

erime miktarı güneşli günlerde 60 mm'ye (su yüksekliği olarak) kadar çıkabilir (Beyazıt, 1987).

Kar yüzeyi genellikle siyah cisim olarak ışıınım yapar ve 0 °C'de 24 saatlik süre boyunca kar örtüsünce yayılan uzundalga ışıınım yaklaşık 84 mm'lik negatif erimeye eşittir. Ancak, bu ışıınımın bir kısmı atmosferden geri döneceğinden (uzun dalga ışıınım) net kayıp bu miktardan daha az olur. Net uzun dalga ışıınım karın ve havanın sıcaklığına, havanın buhar basıncına, bulut örtüsünün tipine ve yayılımına bağlıdır. Karın ve havanın sıcaklıkları ile çigleşme noktasının donma sıcaklığına yakın olduğu, bulutsuz havalarda uzundalga ışıınıma bağlı net kayıp miktarı yaklaşık 20 mm/gün olur (Linsley et al., 1988).

Kar ve hava birbirinden farklı sıcaklıklara sahip iki ortamdır ve aralarındaki ısı alış-verişi her iki ortamın sıcaklıklarında değişmelere neden olur. Hava sıcaklığının kar yüzeyindeki sıcaklıktan yüksek olması, kar yüzeyine doğru ısı akımı oluşturur. Bu ısı akımı kar örtüsü içinde yavaş yayılır ve kar örtüsünün sıcaklığını artırır. Bu aşamada hava ile temasta bulunan kar yüzeyinde soğuma oluşur. Kar yüzeyi sıcaklığının daha yüksek olması halinde bu süreç tersine işler. Kar örtüsü ile atmosfer arasındaki ısı alış-verişi kondüksiyon, konveksiyon, kar örtüsü yüzeyinde oluşacak buharlaşma/yoğunlaşma yolu ile ortaya çıkar.

Kar örtüsünün atmosferden kondüksiyon yoluyla aldığı enerji ihmal edilecek kadar düşük olmasına karşın konveksiyon yolu ile aldığı enerji özellikle rüzgarlı havalarda dikkate alınır. Konveksiyon enerjisi kar örtüsünün yüzeyi ile atmosfer arasındaki sıcaklık farkıyla orantılıdır ve rüzgar hızı, sınır tabakasının stabilitesi ve yüzeyin pürüzlülük boyuna bağlıdır. Konveksiyon

enerjisine bağılı olarak kar erimesi günde 10-20 mm kadar olabilir (Beyazıt, 1987; Gubler, 1995).

Havanın çığlaşma noktasının donma sıcaklığının üstünde olması halinde, kar yüzeyinde oluşacak yoğunlaşma sonucunda kar örtüsü ısı kaybeder ve havadaki nemin kar yüzeyinde yoğunlaşması sonucunda açığa çıkan ısı kar erimesi meydana getirir. Bu yoğunlaşma rüzgarlı ve sıcak havalarda önem kazanır ve 1 cm nemin yoğunlaşması sonucunda 7,5 cm (su yüksekliği) kadar erime olur; çığlaşma noktasının kar yüzeyinin sıcaklığından düşük olması durumunda ise, karın buhar basıncı havanın buhar basıncından büyük olacağından, kar yüzeyinde buharlaşma oluşur. Bu yolla oluşan buharlaşma miktarı çok rüzgarlı havalarda günde 5 mm olmasına karşın genelde aylık olarak 5-30 mm kadardır (Beyazıt, 1987)

Kar örtüsü üzerine kar ve yağmur olarak düşen yağışlar kar örtüsünün ağırlığını artırarak kar tabakalarında kırılmalara neden olabileceği gibi (yağış şiddetine bağılı olarak yükün büyük değerlere ulaşması durumunda); yağış ve kar yüzeyi arasındaki sıcaklık farkına ve yağışın türüne bağılı olarak ısı geçişlerine de neden olur. Yağmurun kar erimesine etkisi önemsiz olup kar örtüsüne esas etkisi karı ıslak hale getirmesi ve kar sıcaklığını yükseltmesidir. 5°C sıcaklıktaki 10 mm' lik yağış, yoğunluğu 0,150 olan kar için 1 cm'den daha az erimeye neden olabilmektedir (Sergent, 1995). Düşen yağmur miktarının çok yüksek olması halinde, yağmur suyu karın alt tabakalarına kadar sızar. Yağmur suyunun zemin veya alt tabaka yüzeylerine ulaşması ile bu yüzeylerde ince bir su tabakası meydana gelir. Kar örtüsünün su tutma kapasitesi ağırlığının (su ağırlığı olarak) % 5'i kadardır (Linsley and Franzini, 1964).

Kar örtüsüne zeminden iletilen ısı dikkate alınmayacak kadar küçüktür. Bu yolla oluşacak erime miktarları günlük olarak düşük değerler almasına karşın tüm kış mevsimi için zemini suya doymun hale getirebilecek değerlere ulaşabilir ve kar örtüsünün tabanında akış halinde doymuş ince bir tabakanın oluşmasına neden olur. Bu şekilde eriyen kar 0,5 mm kadar erime (su yüksekliği) meydana getirebilir (Beyazıt, 1987).

Kar örtüsünde ortaya çıkacak kar erimesi enerji dengesi yöntemi ile hesaplanabilir. Ancak, meteorolojik parametreler (rüzgar hızı, sıcaklık, buharlaşma basıncı, albedo vd) yersel değişimler göstereceğinden ya da bu parametrelerin tümü ölçülemediğinden, kar erimesi pratikte yaygın olarak derece-gün yönteminden yararlanılarak hesaplanır. Bu yöntemde bir gün içinde kar örtüsünde oluşacak erime (su yüksekliği olarak) o günün ortalama sıcaklığı ile doğru orantılı olarak kabul edilirken; sıcaklık değeri ışıınım, rüzgar ve nem etkisini içerir. M_d : günlük erime (mm), K : derece-gün faktörü, T_d : günlük ortalama sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$) olmak üzere erime miktarı aşağıdaki denklem ile verilir. Burada K değeri ortalama 2-4 arasında alınır (Beyazıt, 1987):

$$M_d = K T_d \quad (2.1)$$

2.2.2. Kar örtüsünün mekaniksel değişimi

Yeryüzüne düşen kar kristalleri maddenin katı (buz), sıvı (su) ve gaz (su-su buharı-doymuş hava) olmak üzere değişik oranlarda iki veya üç halini kapsar. Kar yağışı sırasında, zemin sıcaklığı $4 \frac{1}{4}$ ile -15°C arasında değerler alır ve $2 \frac{1}{4}^{\circ}\text{C}$ civarındaki sıcaklıklarda düşen yağışın bileşimi % 50 katı ve % 50 sıvı oranlarından oluşur (Föhn, 1995). Yeni karın mekanik davranışı tam olarak belirlenememekle birlikte düşük yoğunluğu ve düşük viskozitesi nedeniyle bu aşamadaki kar, karın en kırılğan (fragile) tiplerine karşılık gelir. Karın

mekanik özelliklerini kristal yapısında ortaya çıkan değişimler belirler. Bu değişim yağışın hemen ardından başlayan termodinamik ve mekanik etkilerden oluşan bir süreçtir. Kar örtüsünün mekanik özellikleri tüm kış mevsimi boyunca bu süreç altında, havanın/karın koşullarına bağlı olarak değişir ve kar örtüsünü meydana getiren tabakalar için farklılıklar gösterir. Kar örtüsünü oluşturan her tabaka, yoğunluk, tane çapı, tane şekli, taneler arasındaki bağ kuvveti, sıcaklık, kar-su eşdeğeri gibi değişik parameterlere göre saptanır. Mekanik açıdan sertlik indeksi, tane şekli, tane çapı ve kar-su eşdeğeri sabit olan tabaka homojen olarak kabul edilir (Meister, 1995).

Kar örtüsünün, tabakalı, heterojen ve hava koşullarına bağlı olarak günlük değişimler gösterebilen yapısı mekanik olarak incelenmesini zorlaştırır. Kar, gözenekli-heterojen bir malzeme olarak kabul edilir ve değişik kar tiplerinin gerilme altındaki davranışı, gerilme dayanımları (basınç, çekme ve kesme dayanımları) zemin mekaniği tekniklerinden yararlanılarak saptanır. Bu ölçümler, arazide kesme kutusu, vane deneyi ve ramsonde; laboratuvarında eksenel olmayan veya üç eksenli yükleme gibi yöntemlerle yapılır. Karın viskoz parametrelerinin saptanmasında (sürekli yükleme hali veya sabit şekil değiştirme durumu için) viskoz-elastik ve viskoz-elastik-plastik reolojik (rheologic) modellerden (Maxell, Kelvin, Burger, Bingham vb) yararlanılır. Bu yollarla elde edilecek sonuçlar yükleme oranlarına, karın tipine bağlı olarak değişimler gösteceğinden elde edilen sonuçlar deney/gözlem koşullarına benzer koşullarda kullanılır veya değişik kar tipleri için basınç-çekme deneyleri sonucunda elde edilen tipik eğriler kullanılır.

Karın mekanik özellikleri çok hafif ve gevrek bir yapıdan buz haline yakın başka bir yapıya ve bir sınır durumu olarak sıvı su haline kadar geniş bir alanı içerir ve aşağıdaki şekillerde özetlenebilir (Navarre, 1995):

Yeni kar çok gözenekli, düşük dayanıma sahip bir yapı gösterir ve yıldız biçimindeki kristallerin bileşiminden oluşur. Bu aşamada karın yoğunluğu 0,05 civarında olup kar örtüsündeki oturmaların nedeni dentritik yapıda oluşan gevrek kırılmaların neden olduğu mikro seviyedeki çökmelerdir.

Düşük sıcaklık gradyanı ve basınç altında, kar kristalleri yavaş bir şekilde önce gözle görülebilir taneciklere (particles), daha sonra kristallerin zayıf veya gevşek olarak birbirine bağlanmasıyla kar tanelerine (grains) dönüşür. Bu tür kar yüksek kohezyona sahiptir ve viskoz-elastik-plastik özellikler gösterir.

Karın orta veya yüksek sıcaklık gradyanına maruz kalması halinde, kar zamanla düzlemsel (faceted) kristallerden oluşan bir malzemeye dönüşür. Bu aşamada kar düşük kohezyona sahip gevrek bir malzemedir.

Havanın ısındığı dönemlerde, özellikle bahar mevsiminde, kar ıslaktır ve sürekli olarak erime halindedir. Bu durumda karın özellikleri viskoz-plastik bir karışıma (paste) karşılık gelir ve malzemenin kohezif ve viskoz davranışı sıvı haldeki suya göre belirlenir. Son aşamada ise kar tabakasının tümü suya doymun hale gelir.

Sıcaklık değişimleri sonucunda eriyen karın yeniden donması ve bu işlemin kış mevsimi boyunca belirgin olarak tekrarlanması karın mekanik yapısını değiştirir. Bu yolla eriyip-donan kar agregasyon halindedir ve cürüfa (slag) benzetilebilir. Donma olayı sonrasında artan kohezyon bu aşamada karın dayanımını belirgin şekilde artırır. Bu tür donma sonucunda, özellikle yağmur olarak düşecek yağışlarla, buz tabakaları da oluşabilir.

Şiddetli rüzgar altında sertleşmiş kar incelmış kar tanelerinin birbiriyle bağlı haline karşılık gelir ve kar tabakasının yoğunluğu 0,300 ile 0,600 arasında

değişir. Bu aşamada karın yapısal olarak değişimi ve gevrek kırılmalara uğraması beklenmez.

Karın mekanik davranışı yükleme/deformasyon oranlarına bağlı olarak değişir: Düşük yükleme oranlarında sünek kırılmalar; yüksek yükleme oranlarında gevrek kırılmalar gözlenir. Kısa süreli yükler altında kar büyük miktarlarda deformasyonlara uğrarken, uzun süreli yüklemelerde deformasyon oranı azalır. Malzemenin tekrarlı yüklemeler altındaki davranışı ise yorulmuş ve viskoz-elastik-plastik malzemelerin davranışı ile benzerlik gösterir.

2.2.3. Kar örtüsünün zamana ve yere bağlı değişimi

Kar örtüsü yere ve zamana göre rasgele değişen bir özellik gösterir. Bu değişimin genelde yersel olmasına karşın, özellikle yüksek kesimlerde karakteristik bir yapısı olduğu söylenebilir. Kış mevsimi içinde, günlük kar yağış yüksekliklerinin sıfırdan büyük olduğu birbirini izleyen günlerden oluşan dönem kar yağışlı dönem olarak tanımlanır. Ölçülen maksimum kar derinliği ile maksimum kar-su eşdeğeri eşzamanlılık göstermez. Örneğin, Alplerde maksimum kar derinliğine 2500'm yükseklikte nisan ayı başında ulaşılırken; kar-su eşdeğerinin maksimum değeri mayıs başlarına kadar uzanır (Meister, 1995).

Kar örtüsü sıcaklığının 0°C'ye ulaşması sonucunda kütleli kayıpların meydana gelmesini, kar örtüsünün ablasyonu (buharlaşma ve erime yoluyla kütleli kayıp) izler. Kar örtüsünün yerde kalma süresi, sıcaklık, kar yağış süresi, rüzgarlar, güneş açma süresi, yağmur ve güneş ışınlamına bağlıdır (Onur,1964) ve bu süre Alplerin güneye bakan kesimlerinde 2000 m yüksekliklerde tipik olarak yedi ay olmakla birlikte 1 ile 10 ay arasında değişirken; 1200 m gibi düşük kotlu kesimlerde kar örtüsü mevsim boyunca

birkaç kez gözlenir (Meister,1995). Türkiye’de ise, örneğin Seyhan havzasında 1100 m’nin üzerindeki kesimlerde 1 Kasım’da başlayan kar örtüsü güneye bakan yamaçlarda 1 Nisan’a, kuzeye bakan yamaçlarda 1 Mayıs’a kadar gözlenebilmektedir (Gürer ve Türksoy, 1981).

Uygulama alanı olarak seçilen Sivas bölgesi için yıllık ortalama karla örtülü gün sayısı 30-60 olup, bu değer ocak ayı için 20-30, şubat ayı için 10-20, mart ayı için 5-10, nisan ayı için 1-5 arasında değerler alır. Bölge için yıllık ortalama en yüksek kar örtüsü 51-100 cm arasında değişirken, en yüksek kar örtüsü Ekim, Kasım, Aralık, Ocak, Şubat, Mart, Nisan ve Mayıs ayları için sırasıyla 1-10, 11-30, 31-50, 51-100, 51-100, 51-100 cm arasında değerler alır (DMİ, 1989). Bölgede karasal iklim egemendir ve mevsimler ile gece-gündüz arasındaki sıcaklık farkları yüksektir. Kış aylarında sıcaklık genel olarak 0°C’nin altındadır. Mevsim başında 25°C olabilen sıcaklık mevsim ortalarında -25°C’ye düşebilmektedir; gece-gündüz arasındaki sıcaklık farkı da 20°C’dir (Everest, 1994).

Kar örtüsünün yersel değişimi, zamana bağlı değişimine kıyasla daha az karakteristik bir yapı gösterir. Örneğin, bir kar fırtınası ardından kar örtüsünün dağılımında tahmini zor olan büyük yersel değişimler gözlenebilir. Kar, özellikle dağlık kesimlerde, rüzgarın etkisinde taşınır ve birbirinden farklı şekillerde arazi üzerinde birikim gösterir. Gözönüne alınan bir bölgede karın rüzgara bağlı olarak dağılımı, kar ile ilgili çalışmalarda (kar yükü, çığ tahminleri) ve mühendislik yapılarının çevresinde oluşabilecek kar birikimlerinin belirlenmesi açısından önemlidir. Oluşabilecek kar taşınımının şekli, etkiyebileceği yükseklikler yapıların tasarımında (kapı, pencere elemanlarının yerleştirilmesi vb) dikkate alınır.

Karın rüzgarla taşınımı, akışkan içinde tanenin taşınımı ile benzeştirilerek, laboratuvar ve arazi çalışmaları yardımıyla araştırılır. Kar tanelerinin rüzgarla taşınımı, rüzgarın sürüklenme kuvvetinin tane ağırlığından büyük veya eşit olması halinde kayma ve yuvarlanma biçiminde sürünme (creep), sıçrama (saltation) ve askıda (suspension) olmak üzere üç farklı şekilde oluşur.

Sürünerek taşınma halinde, kar taneleri zemin yüzeyinde taşınır ve kar tanelerinin çapı 0,5 ile 2 mm arasında değişir. Bu aşamada minimum rüzgar hızı (sürüklenme hızı) tane çapı ile doğru orantılı değişir (0,1 mm'den büyük çaplarda artarken; 0,1 mm'den küçük çaplarda azalır) ve yeni kar için, kar yüzeyinden 1 m yükseklikte (yatay bir düzlem üzerinde) yaklaşık olarak 4 m/sn olup eski kar için veya düşen yağmurun donması halinde yaklaşık (zemin yüzeyinden 5 m yükseklikte) 11 m/sn olur. Kar tanelerinin sıçrayarak taşınımı rüzgar ve yerçekimi etkisinde, çapları 0,05-0,5 mm arasında değişen tanelerin yükselme-düşme hareketi sonucu meydana gelir ve hareket düşey yönde 20 cm, yatay yönde 5-10 cm mesafelerle gerçekleşir. Kar tanelerinin sıçrama şeklindeki taşınımı için denge hali (harekete geçen kar miktarının taşınan kar miktarına eşit olması hali) yaklaşık olarak 200-300 m taşınım mesafesine veya 40 sn taşınım süresine karşılık gelir (O' Rourke and Galanakis, 1990; Castelle, 1995).

Rüzgar hızının kar yüzeyinden 1 m yükseklikte 10 m/sn olması durumunda (yatay bir düzlem üzerinde) kar taşınımının % 90'ı yüzeyden 3 cm yükseklikte oluşurken; taşınımın % 2'lik kısmı 10 cm üzerinde gerçekleşir. Karın askıdaki hareketiyle, rüzgar etkisinde yükselen çok ince taneli kar (0,02-0,1 mm çaplarında) havada tutunarak, türbülans difüzyonu nedeniyle askı malzemesi şeklinde kilometrelerce uzağa taşınabilir ve bu tür taşınım için minimum rüzgar hızı yüzeyden itibaren 1 m yükseklikte 15 m/sn'dir (Irwin et al., 1995).

Karın rüzgara bağlı taşınımı arazi üzerinde kar yığılması (snow drift), korniş (cornice) ve erime kabuğu (slab avalanche) olmak üzere üç farklı birikime neden olur. Kar yığılmaları, yağışla birlikte veya yağış sonrasında, taşınan karın rüzgar hızının düştüğü kesimlerde birikmesi sonucu oluşur ve rüzgarın yönü ile şiddeti, arazinin topografik yapısına bağlıdır. Binalar (çatı elemanları, yanal duvarlar) ve çığ koruma yapılarının projelendirilmesi açısından önemli olan birikme şekli kar yığılmalarıdır. Korniş ve erime kabuğu şeklindeki birikim şekilleri ise çığ tahmininde dikkate alınan kar birikmeleridir.

Orta ölçekte (200 m ile 2000 km) kar birikim alanları, yüksekliğe, ana jet akım (main jetstream) eksenlerine, esas dağ sırasının rüzgaraltı kesimlerine (tepe noktalarında) bağlıdır. Ayrıca, gözönüne alınan bölgedeki rüzgar rejimi, sıcaklık ve havadaki nem oranı da kar birikmelerini etkiler. Kar derinliği gradyanı mevsim koşullarına bağlı olarak her mevsim farklılıklar göstermesine karşın, farklı alt iklim bölgelerinde belirli bir sürekliliğe sahiptir. Örneğin, Meister (1995) tarafından Aralık ayı için, her 100 m’de kar derinliği gradyanının tipik değeri 2-10 cm; Mart ayı için ise 8-20 cm arasında verilmiştir.

Mikro ölçekte (2 m ile 2 km arasında) kar birikimini yönlendiren temel mekanizma, karın rüzgar etkisinde, yağış sırasında (kar fırtınaları) rüzgar yönündeki yamaçlardan rüzgaraltı yamaçlara taşınmasıdır ve kar derinliği rüzgaraltı yamaçlarda diğer kesimlerde ölçülen derinliklerin 2-5 katı olabilmektedir (Meister, 1995).

Kar örtüsündeki oturmalar, özellikle dik eğimli güneye bakan düşük kotlu yamaçlarda daha belirgin olarak ortaya çıkar. Ormanlık alanlarda, çevresindeki alanlara kıyasla daha fazla kar birikimi oluşur. Örneğin, Gürer (1981) tarafından yapılan bir çalışmada, Uludağ’da ormanlık alanda açık alana

oranla % 18 daha fazla kar gözlenmiş (kar derinliği olarak); mevsim ilerledikçe açık alanlardaki kar derinlikleri ormanlık alanlara göre % 10 daha fazla bulunmuştur. Bunun nedeni, mevsim başında kar savrulmasının ormanlık alanda daha az olması; mevsim sonunda ise erimenin açık alanda daha hızlı oluşması olarak verilmiştir.

Kar örtüsünün yerde kalma süresi gözönüne alınan bölgenin yeryüzü şekline de bağlıdır. Bu süreyi etkileyen faktörler yükseklik, denize yakınlık-uzaklık, dağlar ve çukurların uzanış istikameti, yerden kondüksiyon yolu ile gelen ısıdır ve kar örtüsü şehirlerde meskun olmayan yerlere göre daha çabuk kalkar (Onur, 1964).

Uygulama alanı olarak seçilen Sivas Bölgesi Yukarı Kızılırmak bölümünde yer almakta olup İç Anadolu Bölgesinin en yüksek bölümüdür (ortalama yükseklik 1000'm nin üzerindedir). Kentin yerleşmiş olduğu alan kuzeyden güneye doğru alçalan ve eğimi yaklaşık % 5 olan bir topoğrafik yapı gösterir. Bu alanın % 46 oranındaki bölümünü oluşturan dağlık kesim derin sarp ve uzun vadilerle ayrılmıştır. Sıradağlar kuzey, doğu ve güneydoğudadır. Doğu Anadolu bölgesinden gelen dağlar batıya doğru yaklaştıkça yükseklikle birlikte azalma gösterir. Kentin kuzeyinde ve doğusunda yüzey şekilleri parçalanmış ve şeritvari tepelerle bölünmüştür. Dağlık kesimdeki yükseltiler 3050 m ile Köseadağ, 2406 m ile Asmalı Tepesi arasında değişim gösterir ve kent çevresi dağlarla çevrili çanak biçimindedir (Everest, 1993; Beyazıt ve Bali, 1996).

Sivas Bölgesinin de içinde yer aldığı İç Anadolu Bölgesinde, kış mevsiminde, bir antisiklon alan haline gelmiş bulunan nemli polar hava kütleleri bölge üzerinde salınım yaptığı sürece kar yağışı meydana gelir. Yüksek basınç alanının etkisinden uzak kalan İç Batı Anadolu da ise, kar yağışı çoğunlukla

depresyonik hava hareketleri sonucu oluşur. İç Anadolu Bölgesinde en fazla yağış kış mevsiminde gözlenir. Bunun nedeni, Kızılıрмаğın bölgede meydana getirdiği oluk şeklindeki çanaklaşma sahasının etrafındaki yüksek dağların yağışı fazla almasıdır. Kayseri-Sivas ve Kayseri-Kangal arasındaki alanlar bu çanaklaşmanın etkisinde yüksek yağış alırlar (Onur, 1964).



3. YAPILARDA KAR YÜKÜNÜN BELİRLENMESİ

Çatılarda kar yükünü belirleyen başlıca faktörler çatı şekli, çatı eğimi, çatı kaplama malzemesinin türü ve pürüzlülüğü, rüzgarın ve güneş ışınımının çatı üzerindeki dağılımı, yapı-çatı arasında ortaya çıkacak ısı geçişler, çatının üzerinde ve çevresindeki engellerdir (yapı veya yapı elemanları). Ancak, çatıya özgü bu faktörler her çatı için farklılıklar gösterebileceğinden, pratikte çatı kar yükü zemin kar yükü esas alınarak belirlenir. Karın, çatı üzerindeki birikimini-dağılımını belirleyen faktörler ise arazi ve laboratuvar çalışmaları sonucunda boyutsuz dönüştürme katsayı ya da katsayıları ile ifade edilirler. Bu katsayıların zemin kar yükü ile çarpımı çatı kar yükünü verir. Yapının/çatının belirlenen ömrü boyunca karşılaşılabileceği kar yüküne karşı güvenli ve ekonomik olarak projelendirilebilmesi zemin kar yükünün doğru bir şekilde saptanmasını gerektirir.

3.1. Zemin Kar Yükünün Belirlenmesi

Yapıların projelendirilmesinde kar örtüsünün, bulunduğu zemin yüzeyine uyguladığı normal gerilmelerden yararlanır ve bu gerilmelere zemin kar yükü adı verilir. Zemin kar yükünün esas bileşeni ağırlık kuvvetidir. Zemin kar yükü, hızdan bağımsız bir yük olup (kar örtüsünde ortaya çıkacak küçük miktardaki oturmalar ihmal edildiğinden) kar derinliğinin ya da kar-su eşdeğerinin bir fonksiyonudur ve bu parametreler rasgele değişkenler olmaları nedeniyle istatistiki olarak tahmin edilen büyüklüklerdir. Zemin yüzeyine paralel gerilmeler ise kar birikmesi sonucu yapıların yanal duvarlarına gelebilecek yüklerin veya çık bariyerlerinin projelendirilmesinde kullanılan yüklerdir.

Kar-su eşdeğeri olarak da verilebilen zemin kar yükü, gözönüne alınan bölgenin meteorolojik özelliklerine bağlıdır. Bu nedenle, zemin kar yükü bölgesel değişimler gösteren rasgele bir değişkendir ve yapının inşa edileceği bölgeye bağlıdır. Son yıllarda, Kuzey Amerika ve Avrupa'da konu ile ilgili olarak yapılan araştırmalarda zemin kar yükü istatistiksel yöntemler içinde ele alınmış ve bu araştırmalar doğrultusunda da çatı kar yükleri ile ilgili standartlar geliştirilmiştir (Ellingwood and Redfield, 1983).

Bir yapı üzerine etkiyebilecek kar yükü, yüzyılın başında bölgesel özelliklerden bağımsız ve düzgün yayılı bir yük olarak (1kPa) alınmış; NBCC.1941'de ise Ocak, Şubat, Mart aylarında oluşacak kar yağışlarının ortalamasına, yine bu dönemde düşecek 24 saatlik maksimum yağışın (yağmur) eklenmesiyle elde edilmiştir. Bu yaklaşım 1951 yılına, zemin kar yükünün meteorolojik verilerin istatistiki analizi ile tahmin edilmesine kadar kullanılmıştır (Fridley et al, 1994). Türkiye'de ise kar yükünün belirlenmesinde, TS.498/1987'de getirilen esaslar kullanılmakla birlikte zemin kar yükü ayrı bir yük bileşeni olarak dikkate alınmamaktadır (TSE, 1987).

Zemin kar yükü ile ilgili temel veriler, meteoroloji istasyonlarınca günlük/aylık olarak kar tablaları veya kar direkleri ile ölçülen kar derinliği (cm) ya da kar-su eşdeğeridir (mm) ve zemin kar yükü bu verilerin yıllık maksimum değerlerinin (uzun dönem) istatistiksel analizi ile tahmin edilebilir. Türkiye'de kar gözlemleri DMİ, EİEİ ve DSİ tarafından gözlem istasyonlarında/kar kurslarında yapılmaktadır. Bu kurumların çalışma amaçlarının farklı olması nedeniyle, DMİ tarafından çalıştırılan istasyonlar yerleşim birimlerine yakın kurulu olmalarına karşın; DSİ ve EİEİ tarafından çalıştırılan istasyonlar ya da ölçüm yapılan kar kursları çoğunlukla daha yüksek dağlık kesimlerde kuruludur.

Gözönüne alınan herhangi bir bölgenin zemin kar yükü analizi kısaca şu aşamalardan oluşur: a) Bölgedeki mevcut istasyonlara ait yıllık maksimum kar verilerinin (kar-su eş değeri, kar derinliği) derlenmesi b) Elde edilen veriler yardımıyla her istasyon için, uygun bir olasılık dağılımı ve uygun bir yineleme periyodu kullanılarak, yapının bu dönem içinde karşılaşabileceği maksimum kar-su eşdeğeri veya kar derinliğinin tahmini ve kar yükünün hesabı c) Her istasyon için elde edilen kar yükü değerlerinin bölge için (spatial extrapolation) genelleştirilmesi .

Çatıların projelendirilmesinde kullanılacak zemin kar yükü, kar derinliklerinden yararlanılması durumunda P_g :zemin kar yükü (kN/m^2) γ_s :karın özgül ağırlığı (kN /m^3), $H_s(T)$: T yıllık yineleme peryodu için tahmin edilen maksimum kar derinliği (m) olmak üzere aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$P_g = \gamma_s H_s(T) \quad (3.1)$$

Maksimum kar derinliğinin tahmininde aylık en yüksek kar verilerinin kullanılması, özellikle kış mevsiminin ılık geçtiği bölgelerde, kar örtüsünde erime nedeniyle oluşabilecek değişimleri yansıtmayabilir. Bu durumda, tahmin edilen kar derinliklerinin erime indeksi (melting index) (Newark et al, 1989) ile çarpılarak düzeltilmesi gerekir.

Erime indeksinin uygun değerinin ise, gözönüne alınan bölgenin klimatolojik özelliklerine göre belirlenmesi gerekir (Çizelge 3.1). Bu durumda (3.1) no'lu eşitlik, d: erime indeksi olmak üzere aşağıdaki şekli alır:

$$P_g = \gamma_s H_s(T) d \quad (3.2)$$

Çizelge 3.1: Erime indeksinin karın erime karakteristiklerine bağlı değişimi
(Newark et al, 1989)

Karın bölgesel erime karakteristiği	Erime indeksi
Az	<1,1
Orta	1,1-1,3
Yüksek	1,3-1,6
Çok yüksek	>1,6

Kar yükünün hesabında, sabit bir kar yoğunluğunun kullanılması mümkünse de, kullanılacak yoğunluk değerinin gözönüne alınan bölgeyi temsil etmesi gerekir. Sabit kar yoğunluğu, özellikle maksimum kar derinliğine ulaşıldığında, kar örtüsünün sahip olacağı heterojen yapı nedeniyle kar yoğunluğunda ortaya çıkacak değişimleri yansıtmaz. Bu nedenle, kar yoğunluğu genellikle kar derinliği, sıcaklık gibi değişik parametrelerle kurulan ampirik ilişkiler yardımıyla tahmin edilir. Bu tür ampirik ilişkilere örnek olarak ρ_s : kar yoğunluğu (kg/m^3), H_s : kar derinliği olmak üzere aşağıdaki denklem verilebilir (Ellingwood and O'Rourke, 1985):

$$\rho_s = 300 - e^{(-1.5 H_s)} \quad (3.3)$$

Kar derinliği ile kar yoğunluğu arasında geliştirilen başka bir ilişkide ise T_m : kış mevsimi içindeki en soğuk üç ayın sıcaklık ortalaması ($^{\circ}\text{C}$) olmak üzere (Martinec, 1977):

$$\rho_s = 250 + H_s + 6T_m \quad (3.4)$$

olarak verilmiştir. Ancak, derinlik-yoğunluk arasında kurulacak bu tür bağıntıların yükün istatistiksel tahmininde belirsizliklere neden olabileceği (Ellingwood and O' Rourke, 1985) gözönüne alınmalıdır.

Kanada ve ABD'de yapılan ilk çalışmalarda, karın spesifik gravitesi (karın özgül ağırlığının suyun özgül ağırlığına oranı) sabit olarak alınmış (ABD'de 0,192 ve Kanada'da 0,385) ve bu değere kış ayları boyunca yağmur olarak düşebilecek 24 saatlik maksimum yağış değeri eklenmiştir (Sack and Taheri, 1985). NBCC.1990'da kar yoğunluğunun bölgesel değişimleri saptanmış ve kar yoğunluğu 205 ile 430 kg/m³ değerleri (Newark et al, 1989) arasında alınmıştır. Kar yoğunluğu belirlenirken, yoğunluğun karın zemin yüzeyinde maruz kaldığı hava koşullarına (hava sıcaklığı, nem oranı, rüzgar, yağmur, güneş ışınlamı, zemin sıcaklığı) ve kar derinliğine bağlı olarak geniş aralıklar içinde değişim göstereceği gözönüne alınır.

Yeni karın spesifik gravitesi bir veya iki gün içinde 0,200 değerine çıkabileceği gibi bu değer ıslak kar için daha yüksek değerlere ulaşabilir. Rüzgar etkisiyle sıkışmış kar için ise spesifik gravite, meydana gelecek bir kar fırtınasını izleyen birkaç gün içerisinde 0,350-0,400 değerine kadar çıkabilir. Maksimum kar derinliği yeni karın düşmesinin hemen ardından ortaya çıkacağından kar yükünün hesabında spesifik gravite 0,200 alınabilmekle birlikte; bu değer kar ölçümlerinin günlük yapıldığı durumlarda çoğunlukla arazide ölçülen değerlerin altında kalabileceği söylenebilir (Taylor, 1980).

Kar verilerinin istatistiksel analizinde kullanılacak olasılık dağılımı önemli olup uygun dağılım Kolmogorov-Smirnov, χ^2 (ki-kare) testi gibi testlerden yararlanılarak belirlenir. Kar yükü analizlerinde kullanılan olasılık dağılımları genellikle Gumbel ve Lognormal dağılımlardır (Ellingwood and O'Rourke., 1985); Avrupa ve Kanada'da Gumbel dağılımı, ABD'de ise Lognormal dağılım yaygın olarak kullanılmaktadır (Sack, 1989^a).

İstatistiksel analizde kullanılacak uygun yinleme periyodunun (T) yapının belirlenen fiziksel ömrüne göre güvenilirlik-ekonomi arasındaki dengeyi

sağlayacak şekilde seçilmesi gerekir. 30 yıllık yineleme periyodu tahmin edilecek yükün güvenli ve ekonomik olması bakımından uygun olarak değerlendirilir (Rusten et al, 1980). Zemin kar yükünün tahmininde, yineleme periyodunun değeri ANSI.1982 ve BSI.1988'de 50; NBCC.1990'da 30 yıl olarak alınmıştır (BSI, 1988; Kenneth et al, 1994; Auld, 1995)

Kar derinlikleri kullanılarak tahmin edilen yükler, kış dönemi içinde yağmur olarak düşecek yağışın neden olacağı yükleri içermez. Bu durum, kar yükünü artıracığından, yağmurun neden olacağı ilave yüklerin ayrı bir bileşen olarak kar yüküne ilave edilmesi gerekir. Yağmurun neden olacağı ilave yük, kar yükü analizinde kullanılan dönem içinde kaydedilen günlük yağışların analizi ile belirlenebilir. Yağmur, kar örtüsü içinde erime oluşuncaya kadar tutunabileceğinden bu durumun günlük yağışların (yağmur) analizi sırasında dikkate alınması gerekir.

NBCC.1990'da kar yükünün yağmur bileşeni, kar yükü tahmininde kullanılan kayıt dönemindeki günlük yağışların (yağmur) istatistiksel analizi ile tahmin edilmiş (yineleme periyodu kar derinliği tahmininde kullanılan yineleme periyoduna eşit alınarak) ve kullanılan yağış miktarları kar-su eşdeğerleri ile sınırlandırılmıştır (Newark et al, 1989). Kar yükünün belirlenmesinde kar-su eşdeğerlerinden yararlanılması durumunda ise, kar-su eşdeğerleri erime nedeniyle kar örtüsünde ortaya çıkacak değişimleri yansıtacağından, yükün yağmur bileşenlerinin kullanılmasına gerek duyulmaz.

Her meteoroloji istasyonu veya kar kursu için tahmin edilen maksimum zemin kar yüklerinin gözönüne alınan bölge için genelleştirilmesinde Verilerin Normalizasyonu (Data Normalization) yönteminden yararlanılabilir. Bu yöntemde, kar yükünün normalize edilen değeri, yükün deniz seviyesine (veya bir kıyas yüksekliğine) indirgenen değeridir ve kar yükünün yüksekliğe bağlı

değişimi gözönüne alınan bölgenin klimatolojik özelliklerine bağlı olarak değişik fonksiyonel ilişkiler gösterir. Yağışlı bölgelerde yükseklikle (wet climate) kuadritik (quadratic) olarak değişen zemin kar yükü kurak (dry climate) ve soğuk bölgelerde lineer bir değişim göstermekte olup İngiltere’de ve İsviçre’de kuadritik; Kanada da ise lineer değişim kabul edilerek normalize yük değerleri hesaplanmıştır (Newark et al., 1989).

Sivas bölgesi için, tahmin edilen zemin kar yüklerinin bölgesel değişimi dikkate alındığında, zemin kar yükünün yüksekliğin 1000-1400 m arasında değiştiği hat boyunca (Gemerek, Şarkışla, Ulaş, Sivas, Hafik, Zara, Suşehri) lineer bir değişim gösterdiği; yüksekliğin 1400-2000 m arasında değiştiği dağlık kesimlerde (Kangal-İmranlı hattı ve Yıldızeli-Ortaköy hattı) ise yükün ani değişimler gösterdiği söylenebilir.

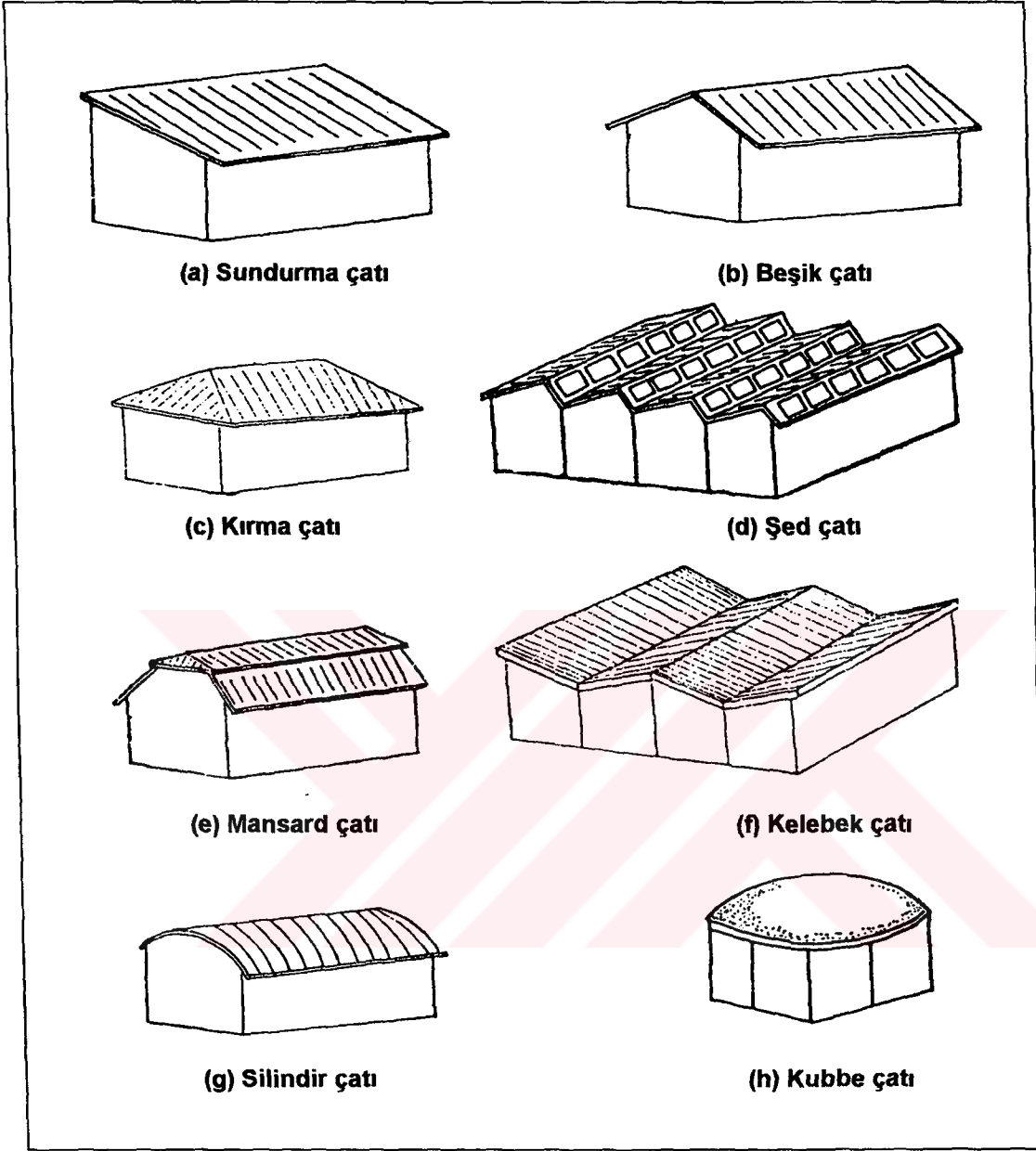
Topografik özelliklerin iklimsel değişim bölgelerini yansıttığı kabul edilmesi halinde, zemin kar yükünün yükseklikle değişimi dağlık alanların rüzgara kapalı kesimlerinde rüzgara açık kesimlerine göre daha hızlı artış gösterirken (kuadritik ilişki); kıyı kesimlerine kıyasla iç kesimlerde yükün yükseklikle daha yavaş bir değişim (lineer ilişki) gösterdiği söylenebilir. Bununla birlikte, yüksekliğin yük değişimine etkisi 600 m’den daha düşük kotlarda önemsizdir (vadi tabanlarında) ve bu tür kesimlerde yersel etmenler yüksekliğe kıyasla kar yükünün değişimini daha çok etkiler (Auld, 1995).

Rusten et al (1980) tarafından verilen ve yarı normalizasyon (quasi-normalization) olarak nitelenen yöntemde ise normalize zemin kar yükleri her istasyon için tahmin edilen maksimum kar yükü değerlerinin istasyon kotuna bölünmesi ile elde edilmiş; böylece yükün bölgesel olarak yüksekliğe bağlı değişimi (kPa/m) belirlenmiştir. Herhangi bir yükseklik için normalize yükler arasında lineer interpolasyon yapılarak zemin kar yükleri tahmin edilmiştir.

3.2. Çatı Kar Yükünün Belirlenmesi

Kar, özel yapımlı çatılar dışında (farklı ve karmaşık geometrik özellikler gösteren çatılar), basit şekilli çatılar (sundurma, beşik, kubbe, kemer vb) üzerinde (Şekil 3.1) esas olarak gözönüne alınan bölgenin rüzgar özelliklerine ve rüzgarın çatı üzerindeki dağılımına göre düzgün yayılı veya düzgün yayılı olmayan bir dağılım gösterir. Pratikte, çatı kar yükü yapının inşa edileceği alanın zemin kar yüküne göre, çatı şekli, çatı malzemesinin pürüzlüğü, rüzgarın ve güneş ışıının çatı üzerindeki dağılımı, yapıdan kaynaklanan ısı geçişler dikkate alınarak belirlenir. Çatı kar yükünü büyük boyutta değiştirebilecek bu faktörlerin çatının projelendirilme aşamasında olabildiğince gözönünde bulundurulması çatının güvenli ve ekonomik olarak projelendirilmesi bakımından önemlidir. Yapının projelendirilmesi sırasında, yapının çevresinde (zemin yüzeyinde) oluşabilecek kar birikimleri de dikkate alınarak yapının yönelimi, kapı, yükleme rampaları vb yapı elemanlarının yerleşimi belirlenir. Yapının yerleşimi yapı çevresinde oluşabilecek kar yığılmaları en az olacak şekilde planlanır.

Çatı kar yükü, karın çatı üzerinde birikimini etkileyen faktörlere bağlı olarak elde edilen boyutsuz dönüştürme katsayı (şekil katsayısı) veya katsayıları ile zemin kar yükünün çarpılması sonucu elde edilen proje yüküdür. Bu boyutsuz dönüştürme katsayıları birçok ülkede arazide ve laboratuvarında yapılan çalışmalarda kaydedilen verilerin analizleri sonucu saptanmış ve yapı standartları içinde verilmiştir. Boyutsuz dönüştürme katsayıları kış mevsimi /mevsimleri boyunca zeminde ve çatıda düzenli olarak elde edilen kar yükü değerlerinden yararlanılarak saptanır.



Şekil 3.1: Basit şekilli çatılar (Taymaz, 1997)

Ölçüm yapılan çatılar farklı özelliklere göre sınıflandırılır ve çatı kar yükünün zemin kar yüküne oranı ölçüm yapılan çatının geometrisine bağlı olarak şekil katsayısı (şekil faktörü) ile ifade edilir. C : şekil katsayısı, P_g : zemin kar yükü, γ_s : zemin üzerindeki karın özgül ağırlığı (kN/m^3), H_g : zemin üzerindeki kar derinliği, P_r : çatı kar yükü, γ_r : çatı üzerindeki karın özgül ağırlığı (kN/m^3), H_r :

kayıplar, güneş ışıınımı, kar örtüsünün çevresindeki ısıyı emme derecesi, çatı üzerindeki suyun yetersiz drenajı (yapısal veya buz debris gibi nedenlerle) olarak verilebilir. Teras çatılarda eğimli çatılara kıyasla kar örtüsündeki oturmalar nedeniyle, kar yoğunluğu zamanla daha yüksek değerlere ulaşır. Eğimli çatılarda yüzeye paralel deformasyonlar düşük düzeylerde dilatasyonlara neden olurken; yüzeye dik deformasyonlar (oturmalar) kar yoğunluğunu artırır (Taylor, 1980, 1985).

Çatı kar yükünün dönüştürme katsayılarına bağlı olarak deterministik olarak hesaplanmasının çatı kar yüklerini gerçek değerlerinden uzaklaştırabileceği düşüncesi, “kar yükünün benzeşim yöntemi ile hesabı” gibi farklı yöntemlerin ortaya atılmasına neden olmuşsa da bu yöntemler henüz yaygın olarak kullanılmamaktadır (Sack et al, 1987). Çatı kar yükünün zemin kar yükünden bağımsız olarak ele alındığı stokastik modeller de geliştirilmiş olup bunlara örnek olarak $P_r(t)$: zamanın fonksiyonu olarak çatı kar yükü, ΔP_i : i. kar yağışı sonucu oluşan yük artışı; $N(t)$: t zamanı boyunca oluşan yağış sayısı $\Delta(t)$: erime, buharlaşma ve rüzgar nedeniyle t zamanı boyunca kar yükündeki azalma olmak üzere:

$$P_r(t) = \left[\sum_{i=1}^{N(t)} \Delta P_i - \int_0^t \Delta(t) dt \right] \quad (3.6)$$

ifadesi verilebilir (Ellingwood and O'Rourke, 1985). Bu tür yaklaşımlar, deterministik yaklaşımlara oranla, çatı şekli ve yersel meteorolojik özellikler dikkate alındığından, teorik olarak daha uygun kabul edilmesine karşın karın çatı üzerindeki birikimini-taşınımını belirleyen sürecin işleyişinin tam olarak belirlenmesindeki güçlükler nedeniyle yaygın olarak kullanılmamaktadır.

Kar basit şekilli çatılar üzerinde rüzgarın hızı ve doğrultusuna, karın tipine, çatının şekline, çatının çevresinde veya üzerindeki engellerin yerleşimine ve yüksekliğine bağlı olarak düzgün yayılı ve düzgün yayılı olmayan olmak üzere başlıca iki farklı dağılım gösterir. Farklı geometrik özellikler gösteren özel yapımlı çatılarda ise karın çatı üzerindeki dağılımı laboratuvar çalışmaları (rüzgar tüneli deneyleri vb) ile belirlenir.

Düzgün yayılı yük durumu basit şekilli ve tekil çatılar üzerinde karın tüm çatı yüzeyinde aynı dağılımı göstermesi ile ortaya çıkarken; düzgün yayılı olmayan yükleme durumu, rüzgarın etkisinde taşınan karın alçak çatılar üzerinde veya değişik yapı elemanları (parapetler, bacalar vb) çevresinde meydana getireceği yersel yığılmalara karşılık gelir. Düzgün yayılı yükün çatının yalnızca belirli bir kısmına etkimesi ise asimetrik dağılmış yüklere neden olur. Asimetrik dağılmış yük çatı şekline göre, örneğin eğri yüzeyli çatılarda olduğu gibi, düzgün yayılı olmayan bir dağılım da gösterebilir. Karın çatı üzerindeki dağılımını belirleyen esas faktör rüzgar olup kar yağışı ile birlikte rüzgarın “olmadığı” veya “çok az” olduğu durumlarda tüm çatı üzerinde karın düzgün yayılı bir dağılım göstereceği (BSI, 1988) kabul edilir.

Asimetrik yük çatı üzerindeki mevcut karın yağışla birlikte veya yağış sonrasında “rüzgarlı koşullarda” taşınması ile ortaya çıkacağı gibi, eğimli çatılarda ortaya çıkabilecek kar kaymaları da asimetrik yüklere neden olabilir. Asimetrik yük, karın çatı üzerinde rüzgarüstü eğimli yüzeyden, rüzgaraltı eğimli yüzeye taşınması ile oluşur ve genellikle çatının rüzgaraltı kesiminde düzgün yayılı bir dağılımın varlığı kabul edilirken; rüzgarüstü yüzeyde yük olmadığı varsayılır. Asimetrik yük durumu için simetrik yükler için verilen ifadelerden yararlanılır ve elde edilen yük değerinin çatının yalnızca bir tarafına etkiyeceği kabul edilir.

Çatı elemanının projelendirilmesi sırasında, tekil çatı üzerinde farklı yükleme durumlarının (simetrik-asimetrik ve düzgün yayılı olmayan) birlikte ortaya çıkabileceği durumlarda, tüm yük durumları birlikte gözönüne alınır; çatı yalnızca en uygunsuz yükleme durumuna göre projelendirilir. Bu durum, yersel meteorolojik koşulların (özellikle gözönüne alınan bölgenin rüzgar özelliklerinin) doğru değerlendirilmesini gerektirir.

Özel kullanımlara (çatının bakım-onarım dışında değişik amaçlarla kullanıldığı durumlar) göre projelendirilen teras ve beşik çatılarda minimum kar yükü (planda alan üzerinden) düzgün yayılı yük durumu için (simetrik veya asimetrik) $1,5 \text{ kN/m}^2$; bileşik yük durumu (düzgün yayılı ve düzgün yayılı olmayan) için ise $1,8 \text{ kN/m}^2$ alınabilir. Çatının özel kullanımlara göre projelendirilmediği durumlarda seçilen en olumsuz yükleme durumuna karşı alınabilecek yükler: düzgün yayılı yük durumunda 30° ve daha küçük çatı eğimlerinde $0,6 \text{ kN/m}^2$ olup bu değer 30° ’den daha büyük eğimlerde $0,6 [(60-\alpha)/30]$ olarak alınabilir. Bileşik yükleme halinde alınabilecek minimum yük değeri $0,9 \text{ kN/m}^2$ ’dir (BSI,1988).

Çatı yüzey alanının 200 m^2 ’den küçük, çatı genişliğinin herhangi bir yönde 10 m ’den fazla olmadığı “küçük çatılar” olarak adlandırılan beşik veya teras çatılarda (parapetsiz) kar yükü şekil katsayıları dikkate alınmadan hesaplanabilir. Bu yolla kar yükünün hesabı için, çatı çevresinde $1,5 \text{ m}$ ’lik kesimde başka bir yapının, çatı üzerinde veya çevresinde kar birikmelerinin olabileceği $1,5 \text{ m}$ ’den daha yüksek yapı elemanlarının ya da 35 m^2 ’den daha büyük alana sahip alçak kesimlerin olmaması koşulu aranır. Çatı üzerindeki yapı elemanlarının düşey yönde (yığılma oluşturacak yüzeyler) yüzey alanlarının 1 m^2 ’den az olması durumunda bu elemanların biriktirme etkileri ihmal edilir ve bu koşulların sağlanması durumunda, “küçük çatılar” için kar yükü, düzgün yayılı yük durumu için zemin kar yükünün $1,25$ katı veya $0,75$

kN/m^2 ; bileşik yük durumu için $0,9 \text{ kN/m}^2$ alınabilir. Çatı eğiminin 30° 'den büyük olması halinde düzgün yayılı yük durumunda alınan değerler $[(60-\alpha)/30]$ ifadesi ile çarpılarak azaltılır.

Eğri yüzeyli çatılarda, kar yükünün minimum değeri beşik çatılar için verilen koşullar çerçevesinde belirlenir. Eğri yüzeyli çatılarda, çatı yüzeyi en az beş eşit parçaya bölünür (eğrisel olarak) ve minimum düzgün yayılı yük her bölüm için ayrı ayrı, değişen çatı eğimine göre azaltılır (BSI, 1988).

3.2.1. Teras çatılarda kar yükünün belirlenmesi

Teras çatılar çatı eğiminin % 5 ve daha az olduğu çatılardır ve bu tür çatılarda yük düzgün yayılı bir dağılım gösterir (Şekil 3.2). Teras çatılarda kar yükü, ANSI.1982'de C_t : yapı ısı faktörü (Çizelge 3.2), C_w : rüzgarın dağılım faktörü (Çizelge 3.3), I : yapı önem katsayısı ve P_r : çatı kar yükü (kN/m^2) olmak üzere:

$$P_r = 0,7 C_w C_t I P_g \quad (3.7)$$

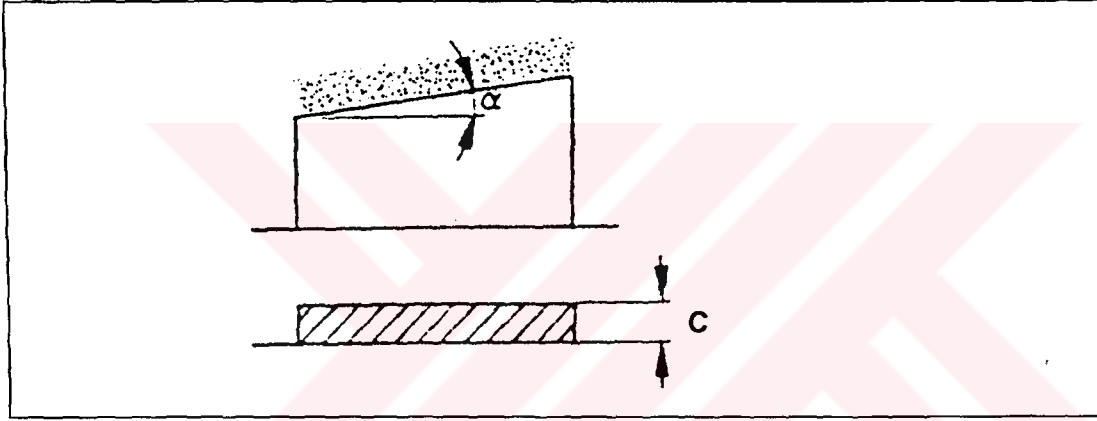
olarak verilmiştir. Burada, yapı önem katsayısı tarım binalarında 0,8; önemli yapılarda (hastane vb) 1,2; insan sayısının 300 ve daha büyük olduğu binalarda 1,1; diğer yapılarda ise 1.0 olarak alınmıştır (Sack and Inverso, 1983).

Yapı ısı faktörünün uygun değeri belirlenirken, çatı üzerinde oluşacak ısı geçişlerin oldukça karmaşık olması nedeniyle, ısı faktörün ısıtılmış yapılarda 1.0'den büyük değerler de alabileceği (Sack and Inverso 1983); kış mevsimi içinde ısıtılacağı kabul edilerek projelendirilen yapıların kış mevsimi içinde soğuk kalmasının, çatı açısından tehlike yaratabileceği; çatının sıcak olarak projelendirildiği durumlarda, çatı yüzeyinde oluşacak suyun saçakta daha

düşük sıcaklıklarla karşılaşarak donmasının sarkan buz kütleleri meydana getireceği gözönüne alınır.

Çizelge 3.2: Yapı ısı faktörünün değişimi (Sack and Inverso, 1983)

Yapının ısı özelliği	C_i
Isıtılmış	1,0
Donma noktasının üzerinde	1,1
Soğuk	1,2



Şekil 3.2: Teras çatı üzerinde kar yükünün dağılımı (BSI, 1988)

Çizelge 3.3: Rüzgar dağılım faktörünün değişimi (Sack and Inverso, 1983)

Yapı yerinin özelliği	C_e
Rüzgara tamamen açık yapılarda	0,8
Rüzgara kısmen açık yapılarda	0,9
Rüzgar etkisine aralıklı olarak maruz kalan yapılarda	1,0
Rüzgara çok az maruz kalan yapılarda	1,1
Rüzgara etkisine tamamiyle kapalı yapılarda (yapı çevresi sık ağaçlarla kaplı vb)	1,2

NBCC.1990'da teras çatı kar yükü C_b : esas yük faktörü, C_a : biriktirme faktörü, C_s : çatı eğimine bağlı azaltma değeri, C_w : rüzgar dağılım faktörü olmak üzere:

$$P_r = C_b C_w C_a C_s P_g \quad (3.8)$$

bağıntısı ile verilmiş ve teras çatılar için esas yük faktörü 0,8; rüzgarın dağılım faktörü rüzgara kapalı alanlarda 1,0; açık alanlarda 0,5-0,75; çatı eğimine bağlı azaltma değeri 1,0; biriktirme faktörü 1,0 (düzgün yayılı yüklerde) olarak verilmiştir. Teras çatılar için şekil katsayısı ($C=C_b C_w C_s C_a$) soğuk veya izole edilmiş çatılar için, rüzgara açık kesimlerde 0,6; rüzgara kapalı kesimlerde ise 0,8 olarak alınmıştır (Kennedy et al, 1985; Irwin et al., 1995).

NBCC.1995 için yapılan çalışmalarda, büyük yüzey alanına sahip teras çatılarda (hakim rüzgar doğrultusunda 120 m ve daha uzun çatılar) daha büyük miktarlarda birikme olabileceği dikkate alınmış ve biriktirme faktörü çatı boyutları dikkate alınarak yeniden düzenlenmiş ve l_c : karakteristik uzunluk (m), l : çatı uzun kenarı (m), w : çatı kısa kenarı (m) olmak üzere karakteristik uzunluk, rüzgara kapalı ($C_w=1$) ve açık alanlar için ($C_w=0,75-0,50$) biriktirme faktörleri sırasıyla:

$$l_c = w (2-w/l) \quad (3.9)$$

$$C_a = 1,2[(1-(30/l_c)^2)] \geq 1 \quad (3.10)$$

$$C_a = 1,6[(1-(120/l_c)^2)] \geq 1 \quad (3.11)$$

bağıntılarıyla verilmiştir. Bu ifadelerde çatı-yapı arasında oluşacak ısı geçişlerin etkisi dikkate alınmamış yükün oluşabilecek ısı geçişlere bağlı olarak % 5-15 oranlarında azaltılabileceği belirtilmiştir (Irwin et al., 1995). Bu

tür büyük çatılarda (rüzgara açık) kar yükü, çatının izole edilmesi halinde, zemin kar yükünün % 60- 80'i kadar olabilmektedir (Taylor, 1980).

BSI.1988'de, teras çatılar (soğuk çatı) için şekil katsayısı 0,8 olarak (BSI,1988); TS.498/1987'de ise çatı tiplerinde herhangi bir ayırım yapılmaksızın, 30°'ye kadar eğimli çatıların projelendirilmesinde kullanılacak "kar yükü hesap değeri" dört farklı bölge için yapı yerinin denizden yüksekliğine bağlı olarak (Çizelge 3.4); kar yükü bölgeleri ise kar yağış yüksekliği haritasında ve çizelgeler halinde verilmiştir (Ek.1). Belirtilen bölgeler dışında kalacak bölgelerde ise verilen değerlerin meteorolojik ölçümler yardımıyla arttırılabileceği belirtilmiştir (TSE, 1987).

Çizelge 3.4: Çatı kar yükü değerleri (TSE,1987)

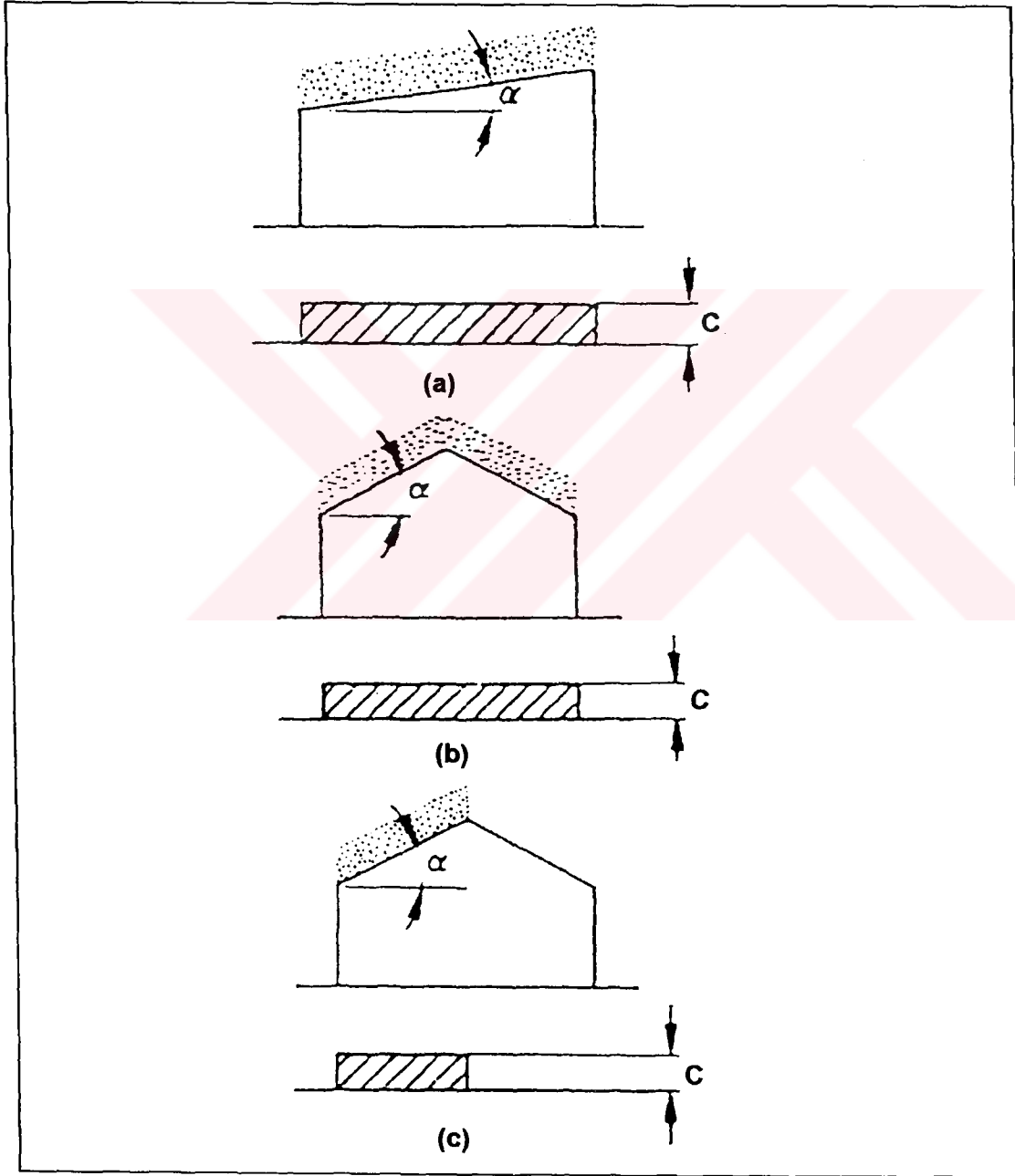
Yapı yerinin deniz seviyesinden yüksekliği (m)	Kar Yüğü (kN/m ²)			
	Bölgeler			
	I	II	III	IV
≤200	0.75	0.75	0.75	0.75
300	0.75	0.75	0.75	0.80
400	0.75	0.75	0.75	0.80
500	0.75	0.75	0.75	0.85
600	0.75	0.75	0.80	0.90
700	0.75	0.75	0.85	0.95
800	0.80	0.85	1.25	1.40
900	0.80	0.95	1.30	1.50
1000	0.80	1.05	1.35	1.60
>1000	1000 m'ye karşılık gelen değerler 1500 m'ye kadar %10 1500 m'den büyük değerlerde %15 artırılır.			

3.2.2. Beşik ve sundurma çatılarda kar yükü

Basit şekilli eğimli sundurma ve beşik çatılarda, kar simetrik ve asimetrik dağılımlar gösterir (Şekil 3.3). Bu tür çatılarda çatı eğimi, kar kaymasının engellenmediği durumlarda kar yükünü azaltan önemli bir faktördür. Çatı kar

yükü (düzgün yayılı yük hali için) ANSI.1982'de beşik ve sundurma şeklindeki çatılar için, teras çatılar için verilen ifadeye çatı eğimine bağlı azaltma değeri eklenerek aşağıdaki şekilde verilmiştir:

$$P_r = 0,7 C_w C_t C_s I P_g \quad (3.12)$$



Şekil 3.3: Beşik ve sundurma çatılarda kar birikimi (BSI,1988)

BSI.1988’de beşik ve sundurma çatılar (soğuk çatı) için şekil katsayısı çatı eğiminin 30° - 60° arasındaki değerleri için dikkate alınmış olup α : çatı eğimi olmak üzere aşağıdaki şekilde verilmiştir. Burada şekil katsayısı 30° ’den küçük eğimlerde 0,8; 60° ’den büyük eğimlerde sıfır olarak alınmıştır (BSI,1988).

$$C=0,8[(60-\alpha)/30] \quad (3.13)$$

NBCC.1990’da beşik ve sundurma çatılar için kar yükü hesabı teras çatılar için verilen ifade çatı eğimine bağlı azaltma değeri ile azaltılarak verilmiştir (Sack, 1989^b). Benzer şekilde, TS.498/1987’de soğuk ve sıcak çatı ayrımı yapılmamış; kar kaymasının engellenmediği çatılar tanımı getirilmiş ve 30° ’den büyük eğimli çatılar için azaltma değeri kullanılmıştır (TSE, 1987).

Sözkonusu yapı standartlarınca kullanılan çatı eğimine bağlı azaltma değerleri, A: azaltma değeri için minimum çatı eğimi ve B: azaltma değeri için maksimum ve minimum çatı eğimleri arasındaki fark olmak üzere Çizelge 3.5’te özetlenmiştir. Bununla birlikte, $0^\circ \leq \alpha \leq 70^\circ$ için $A=0^\circ$ ve $B=70^\circ$; $15^\circ \leq \alpha \leq 70^\circ$ için $A=15^\circ$ ve $B=55^\circ$ alınabileceği (Sack, 1988); kayıcı yüzeye sahip çatılarda (cam, metal vb) 15° ’den küçük eğimlerde de kar kaymasının oluşabileceği (Sack, 1989^a) ve bu durumun özellikle yağmur yağışının sık gözlendiği ve aralıklı olarak kar erimesinin olduğu bölgelerde (Taylor, 1985) geçerli olabileceği söylenebilir.

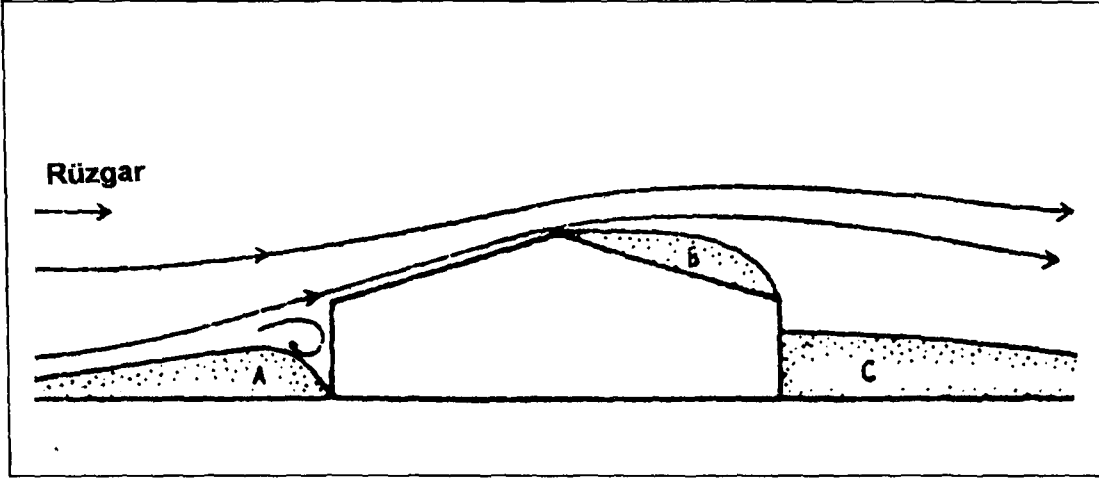
Beşik çatılarda, rüzgarüstü kesimde, çatının saçağına çarparak hızlanan akımın etkisiyle taşınan karın, hızın düştüğü rüzgaraltı kesimde birikmesi veya kar kayması sonucunda asimetrik dağılım ortaya çıkar ve bu dağılımın düzgün yayılı olduğu kabul edilir. (Şekil 3.4). Bu aşamada biriken karın şekli (B

birikmesi) çatı üzerindeki akımın dağılımına ve karın eğimli yüzey üzerindeki maksimum tutunma açısına bağlıdır (Templin and Schriever., 1982). Çatı üzerindeki asimetrik birikime ilave olarak, yapıların rüzgaraltı ve rüzgarüstü kesimlerinde de birikmeler meydana gelir (A ve C birikmeleri) ve bu tür birikmeler çatıya ulaşabilecek büyüklüklere ulaşmadığı sürece dikkate alınmaz. Genellikle, rüzgarüstü kesimde ortaya çıkacak vorteksler A birikmesinin yapı doğrultusunda genişlemesini engeler. Çatı yüzeyinde oluşacak kar kayması da C birikmesini artırabilir ve A ve C şeklindeki birikmelerin yapının yanal duvarlarının projelendirilmesinde gözönüne alınması gerekebilir.

Beşik çatılar üzerinde, asimetrik yükün belirlenmesi için farklı yaklaşımlar olmakla birlikte, asimetrik yük durumunun oluşumu için minimum çatı eğimi 15° - 20° ; yük değeri düzgün yayılı yükün 1,25 ile 1,5 katı kadar kabul edilir (Sack, 1989^a).

Çizelge 3.5: Çatı Eğimine Bağlı Azaltma değerleri (TSE 1987; Sack, 1988; Sack 1989^b)

Yapı standardı	Eğime bağlı azaltma değeri	Sıcak çatılarda				Soğuk çatılarda			
		Kayıcı yüzeyler ($15^{\circ} \leq \alpha \leq 70^{\circ}$)		Diğer yüzeyler ($30^{\circ} \leq \alpha \leq 70^{\circ}$)		Kayıcı yüzeyler ($30^{\circ} \leq \alpha \leq 70^{\circ}$)		Diğer yüzeyler ($30^{\circ} \leq \alpha \leq 70^{\circ}$)	
		A	B	A	B	A	B	A	B
ANSI.1982	$C_s = 1 - [(\alpha - A) / B]$	15°	55°	30°	40°	30°	40°	45°	25°
NBCC.1985	$C_s = 1 - [(\alpha - A) / B]$	-	-	30°	40°	30°	40°	-	-
TS.498/1987	$C_s = 1 - [(\alpha - A) / B]$	-	-	-	-	30°	40°	-	-



Şekil 3.4: Beşik çatı üzerinde karın asimetric dağılımı (Templin and Schriever., 1982)

NBCC.1980’de beşik çatılarda (soğuk çatı) asimetric yük durumunda rüzgara kapalı kesimler için şekil katsayısı $\alpha > 20^\circ$ olması koşuluyla aşağıdaki şekilde verilmiş ve elde edilen değerin rüzgara açık kesimlerde % 25 oranında azaltılabileceği belirtilmiştir (Taylor, 1980; Templin and Schriever, 1982).

$$C = 1,25 [0,8 - (\alpha - 30)/50] \quad (3.14)$$

BSI.1988 de ise asimetric yükleme durumunda $0^\circ \leq \alpha \leq 15^\circ$ ve $60^\circ \leq \alpha$ için şekil katsayısı sıfır olmak üzere $15^\circ < \alpha \leq 30^\circ$ ve $30^\circ < \alpha < 60^\circ$ arasındaki çatı eğimleri için şekil katsayıları sırasıyla aşağıdaki bağıntılarla verilmiştir (BSI, 1988):

$$C = 0,8 + 0,4 [(\alpha - 15)/15] \quad (3.15)$$

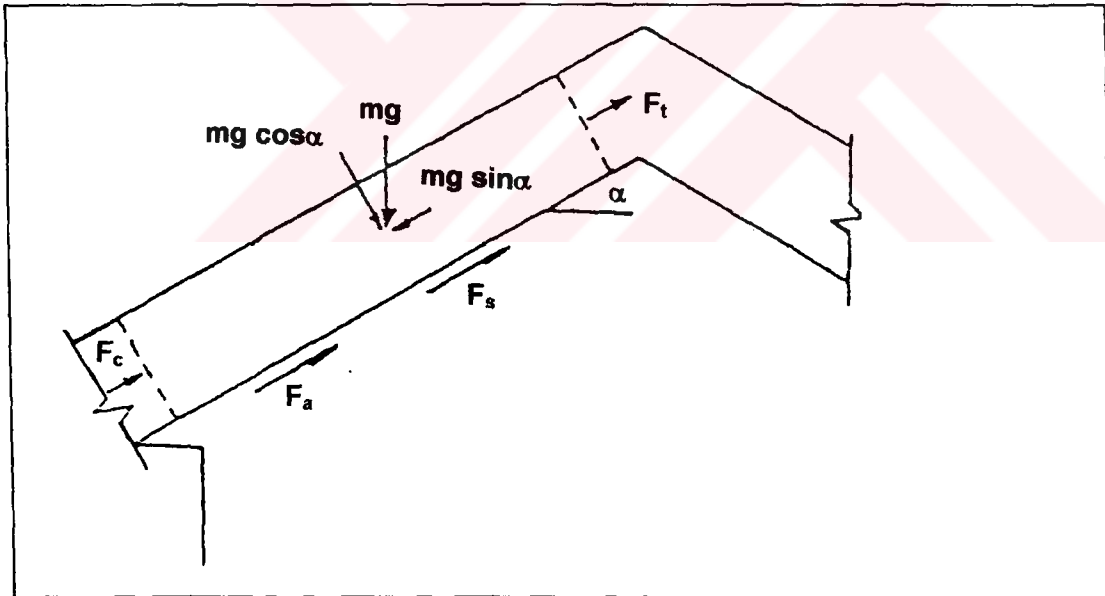
$$C = 1,2 [(60 - \alpha)/30] \quad (3.16)$$

3.2.2.1. Kar kaymasının mekaniği

Eğimli çatılarda, çatı eğimi kar yükünü belirleyen önemli bir etkendir. Yeterince dik bir eğime sahip ve kar kaymasının engellenmediği, kayıcı

yüzeye sahip çatılarda oluşabilecek kar kayması, çatı üzerinde büyük miktarlarda kar birikmesini engelleyeceğinden, proje yükünü önemli miktarda azaltır. Kar kütlesi, çatı üzerinde çatı yüzeyine paralel etkiyen bileşke ağırlığı ile kaymaya çalışırken ($mg \sin \alpha$); harekete ters yönde etkiyen sürtünme (F_s), adhezyon (F_a), çatının mahyasında çekme (F_t) ve saçakta oluşabilecek basınç kuvvetleri (F_c) ile dengede kalır (Şekil 3.5).

Sürtünme kuvveti sıcaklık değişimlerine ve karın özelliklerine bağlıdır. Karın çatı yüzeyine donarak tutunduğu durumlarda ahhezif kuvvetler önem kazanır. Beşik çatılarda karın çatının mahyasında donarak tutunması sonucunda oluşan çekme kuvveti, beşik çatının sundurma çatılara oranla daha fazla kar tutmasına neden olur.



Şekil 3.5: Kar kaymasının mekaniği (Sack et al, 1987)

Sıcak çatılarda, kar örtüsünde meydana gelecek erime sonucu çatı yüzeyinde oluşacak suyun saçakta daha düşük sıcaklıklarla karşılaşarak donması sonucunda oluşacak buz kütleleri basınç kuvvetlerine neden olur. Bu kuvvetler

çatı çökmelerine neden olabilir ve çatının projelendirme aşamasında çift katlı soğuk çatı (double cold roof) kullanılarak giderilebilir (Sack, 1989^b).

Kaymaya karşı koyan kuvvetler sıcaklık, yapıdan kaynaklanan ısı kayıpları, klimatoloji ve çatı malzemesinin pürüzlülüğüne bağlıdır ve günlük değişimler gösterebilir (Taylor, 1985). Kar kaymasının nedeni, kar örtüsündeki erime sonucu çatı-kar yüzeyleri arasında oluşacak su tabakası nedeniyle kaymaya karşı koyan kuvvetlerde (adhezyon ve sürtünme kuvvetleri) meydana gelecek azalma olabileceği gibi, bu yüzeyler arasındaki kesme gerilmelerinin aşılması da olabilir

Karın erimesi için gerekli enerjinin kaynağı yapıdan kaynaklanan ısı kayıpları veya güneş ışıınımı, konveksiyon, kondüksiyon yoluyla kazanılan enerji, kar üzerindeki su buharının yoğunlaşması ve yağmurdur. Kar kaymasının başka bir nedeni de, yaygın olarak yeni yağışlar (yağmur ve kar) sonucunda ağırlığın artması ile, çatı-kar yüzeyleri arasındaki kesme dayanımının aşılmasıdır. Kar örtüsündeki kopmanın nedeni kesme dayanımı ile birlikte sürtünme ve adhezif kuvvetlerin birlikte aşılması da olabilir (Sack et al, 1987).

Basit şekilli eğimli çatılar üzerinde oluşan kar kayması, çatı üzerinde yer alan baca, yağmur oluğu, kar perdesi, parapet gibi elemanlar tarafından önlenemediği gibi bu elemanlara zarar da verebilir. Bu nedenle, bu tür elemanlar çatının mahyasına yakın yerleştirilir. Kar kaymasının engellenmediği veya saçakta buz kütlelerinin (sıcak çatılarda) ortaya çıktığı çatıların çevresinde, yayaların, araçların, diğer çatıların vb zarar görmemesi için saçaklardan itibaren belirli bir aralık tehlikeli bölge olarak belirlenir Bu aralık basit olarak, çatı yüzeyinin yüksek derecede pürüzlü olmadığı durumlarda, sürtünme katsayısı (f) sıfır (kayan kar kütlelerinin ivmesi bu durumda $g \sin \alpha$ olacaktır) alınarak güvenli olarak tahmin edilebilir (Şekil

3.6.a). Ancak, çatının pürüzlülüğüne, sıcaklığa bağlı olarak sürtünme olacağından uygun bir sürtünme katsayısı kullanılabilir. Sürtünme katsayısı boyanmış çelik veya aliminyum malzeme için yaklaşık olarak 0,05; cam malzeme için 0,02 olarak alınabilir (Taylor, 1983).

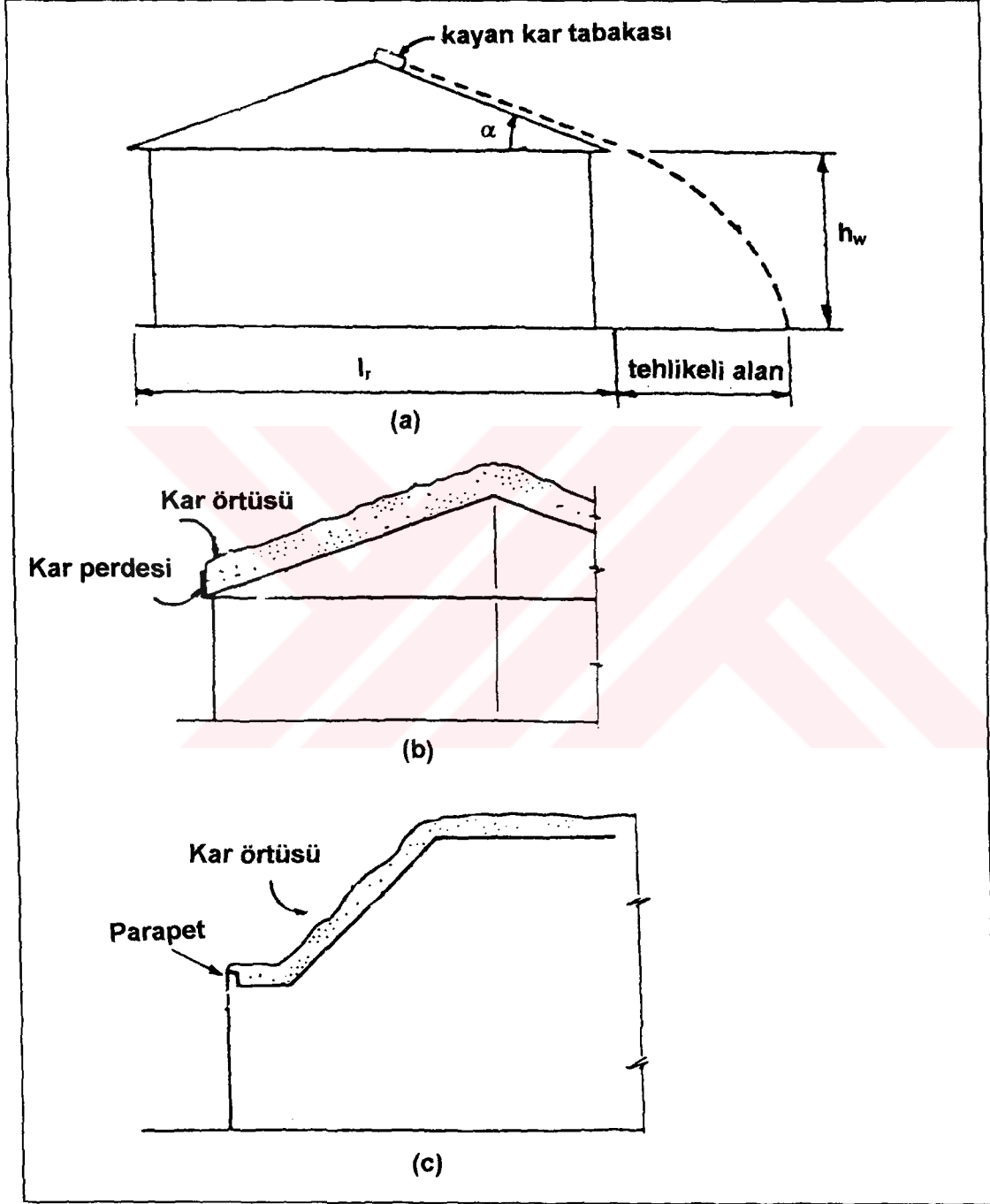
Kaymanın kar perdeleri veya parapetler kullanılarak önlendiği çatılarda (Şekil 3.6.b ve c) çatı üzerinde birikecek karın yapı elemanlarına uygulayacağı yüklerin belirlenmesi gerekir. Kar perdeleri kesme kuvvetlerini karşılayacak şekilde projendirilir ve perdenin birim boyuna gelecek kuvvetin tahmininde çatı üzerindeki kar örtüsünün düzgün yayılı bir dağılım göstereceği kabul edilir.

Perde yüksekliği yaklaşık 30 cm seçilebilirken, perde alt kesiminde yağmur ve erime sonucu oluşacak suyun drenajı için 25-50 mm arasında açıklık bırakılır. Kar yükünün çatı eğimine bağlı olarak azaltılacağı durumlarda, kar kayması ile birlikte çatının drenaj özellikleri, karın doğal tutunma açısı, düşen kar kristallerinin momentumu da dikkate alınabilir (Taylor, 1983). Çatının taşıma kapasitesinin perde kullanılması halinde de yeterli olduğu durumlarda, çatının özellikleri uygun olmasına karşın, kar yükü eğime bağlı olarak azaltılamayabilir.

3.2.3. Eğri yüzeyli çatılarda kar yükünün belirlenmesi

Kubbe, silindir gibi değişik şekillerdeki eğri yüzeyli çatılar üzerinde kar, beşik çatılar üzerinde oluşan dağılımlara benzer şekilde simetrik ve asimmetrik olmak üzere iki farklı dağılım gösterir. Ancak, yapılan ölçümler eğri yüzeyli çatılarda kar yükünün maksimum değerinin beşik çatılara kıyasla daha büyük değerler aldığı ve asimmetrik yük durumunun çatı yüksekliğinin çatı açıklığına

oranının yüksek olması halinde (0,36-0,55) ortaya çıktığını göstermiştir (Taylor, 1979).



Şekil 3.6: Kar kaymasının tehlike olduğu alanın belirlenmesi ve kar kaymasının parapet ve kar perdesi kullanılarak önlenmesi (Taylor, 1983)

NBCC.1980’de çatı yüksekliğinin (h_r) çatı açıklığına (l_r) oranının (1/10) olduğu durumlarda, rüzgara kapalı alanlar için, karın çatı üzerinde (soğuk çatı) simetrik dağılım göstereceği kabul edilerek ve yük dağılımı Şekil 3.7’de verilen 1 nolu duruma karşılık gelmektedir. Bu aşamada şekil katsayısı rüzgara kapalı alanlar için:

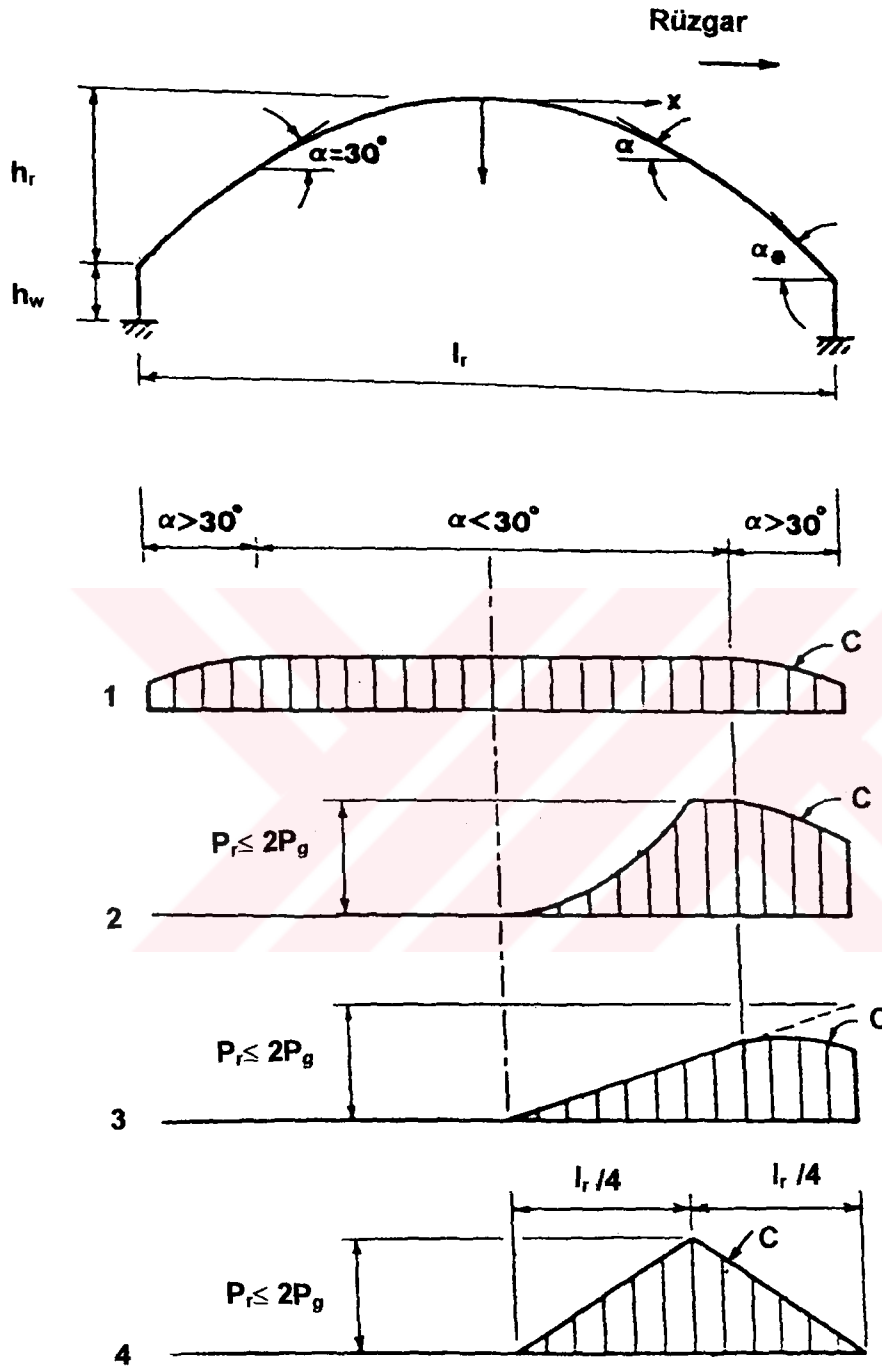
$$C=0,8 C_s \quad (3.17)$$

olarak verilmiş; bu değerin rüzgara açık alanlarda %25 oranında azaltılabileceği belirtilmiştir. Şekil katsayısı $30^\circ < \alpha < 60^\circ$ arasındaki çatı eğimlerinde daha önce de verildiği şekilde azaltılmıştır (Taylor,1980).

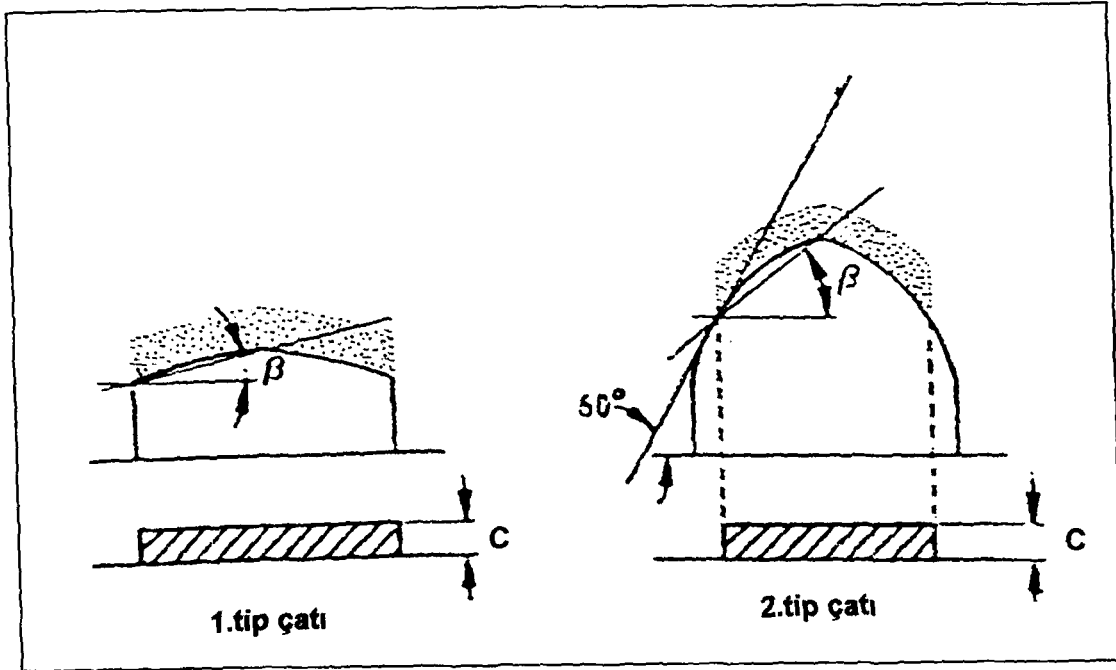
BSI 1988’de eğri yüzeyli çatılar iki grup içinde ele alınmış; çatının saçağına teğet doğrunun yatayla yaptığı açının (δ) 60° ve daha küçük olduğu çatılar 1. tip; 60° ’den büyük olduğu çatılar ise 2.tip çatılar olarak adlandırılmıştır. Kar yükünün düzgün yayılı ve simetrik bir dağılım göstermesi halinde (Şekil 3.7), her iki çatı tipi için şekil katsayısı β : çatının eşlenik eğimi (çatının tepe noktası ile saçak arasında çizilecek doğrunun yatayla yaptığı açı) olmak üzere, 30° ve daha küçük eğimlerde 0,8; 60° ve daha büyük eğimlerde sıfır olmak üzere aşağıdaki şekilde verilmiştir (BSI, 1988):

$$C=0,8 [(60-\beta)/30] \quad (3.18)$$

Düşey duvarlar üzerine projelendirilen eğri yüzeyli çatılar üzerinde (kemer çatı vb) karın asimetrik dağılımı beşik çatılardaki dağılım ile karakteristik benzerlikler gösterir. Ancak, eğri yüzeyli çatılar üzerinde, akımın ayrılma noktasının, genellikle çatı tepe noktasının rüzgaraltı kesiminde olmasına karşın, belirlenmesi güçtür.



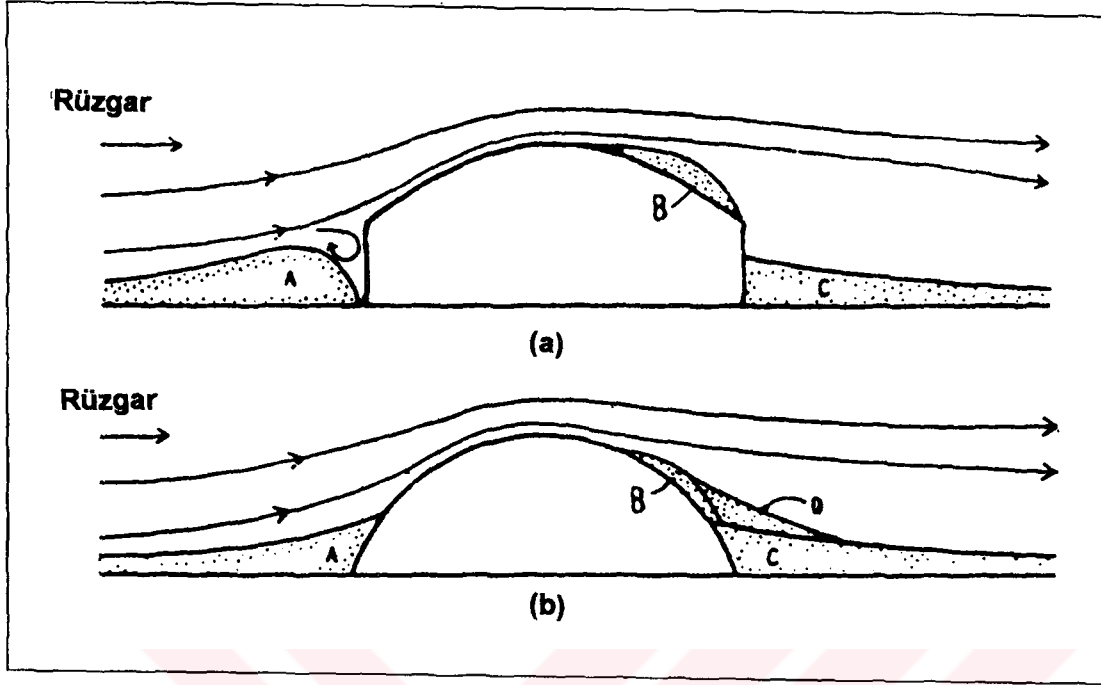
Şekil 3.7: Eğri yüzeyli çatı üzerinde kar birikimi ve dağılımı (Kennedy et al., 1985)



Şekil 3.8: Eğri yüzeyli çatılarda simetrik yük durumu (BSI, 1988)

Bu nedenle, rüzgarüstü kesimdeki kar tümüyle taşınırken, rüzgaraltı kesimdeki kar birikmesi (B birikmesi) tepe noktasına yakın bir noktadan başlar (Şekil 3.9.a). Çatı eğimi saçak doğrultusunda artar, kar birikmesinin şekli karın kohezif özelliklerine, çatı yüzeyinin pürüzlülüğüne ve sıcaklığına bağlıdır (Templin and Schriever., 1982). Yapının çevresinde ise daha önce de bahsedildiği şekilde A ve C birikmeleri ortaya çıkar.

Çatının zemin yüzeyi ile birleştiği eğri yüzeyli çatılarda yük dağılımı farklılıklar gösterir. Çatı şeklinin aerodinamik (streamlined) olması A ve C birikmelerinin çatı yüzeyi ile birleşmesine neden olur. Bu durum zemin yüzeyinden çatı sırtına daha fazla kar taşınmasına neden olur. Rüzgaraltı kesimdeki B ve C birikmeleri birbirine karışır ve yeterince kar taşınması halinde her iki birikme arasında D birikmesinin ortaya çıkması (Şekil 3.9.b) büyük miktarlarda asimetrik yüklere neden olabilir.



Şekil 3.9: Eğri yüzeyli çatılarda asimetric yük durumu (Templin and Schriever, 1982)

NBCC.1980’de eğri yüzeyli çatılarda kar yükünün asimetric dağılımı çatı yüksekliğinin çatı açıklığına oranının 10 dan büyük olması koşuluyla ($h_r/l_r > 10$) 3 farklı dağılım ile gözönüne alınmış (Şekil 3.7) ve şekil katsayıları tüm dağılım durumları için ayrı ayrı verilmiştir (Taylor, 1981). (2) nolu yük durumunda, çatının rüzgarüstü kesiminde kar birikmesi olmadığı ($C=0$), rüzgaraltı kesimde birikecek karın zemin yüzeyine paralel olduğu; çatı üzerinde kar çatı sırtından yüksek olmayacağı; çatı yüzeyinin herhangi bir noktasındaki maksimum yükün zemin kar yükünün iki katından büyük olmayacağı ($P_r \leq 2P_g$) koşuluyla çatının rüzgaraltı kesimi için şekil katsayısı H_x : yatay yönde çatı üzerindeki kar derinliği olmak üzere (m):

$$C = [(\gamma_r H_x) / P_g] \quad (3.19)$$

olarak verilmiştir. Burada çatı üzerindeki karın özgül ağırlığı $2,35 \text{ kN/m}^3$ olarak alınmış olup şekil katsayısının maksimum değeri:

$$C=2 C_s \quad (3.20)$$

olarak verilmiştir. Çatının birim boyuna karşılık gelen toplam kar yükünün ($P_g l_r/2$) değerini aştığı durumlarda (3) ve (4) nolu yük durumlarının kullanılması önerilmiş ve bu dağılımlar için şekil katsayısı l_x : yatay yönde çatı açıklığı, l_r : çatı açıklığı ve maksimum kar yükü zemin kar yükünün iki katı olmak üzere aşağıdaki ifade ile verilmiştir (Taylor,1980).

$$C=[(4 l_x/l_r) C_s] \quad (3.21)$$

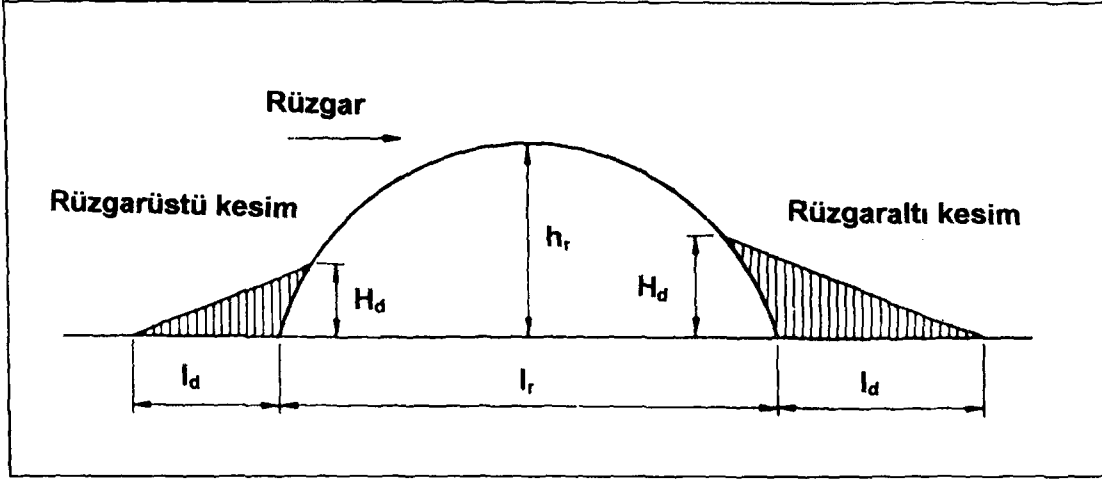
NBCC.1985'te ise (3) nolu yük durumunun, (2) nolu yük durumuna karşılık gelen yükün ($0,5P_g l_r$) değerinden büyük olması koşuluyla kullanılması önerilmiş ve (3) nolu yük durumu için şekil katsayısının maksimum değeri (3.20) nolu denklemlerle verilmekle birlikte bu durum için çatı eğimine bağlı azaltma değeri saçak eğimine (α_e) göre hesaplanmıştır (Kennedy et al., 1985).

Zemin-çatı yüzeylerinin keşişmesi halinde (hem kayma hem de sürüklenen karın çatı önünde birikmesi nedeniyle) oluşabilecek yük durumları için çatının rüzgarüstü ve rüzgaraltı kesimlerindeki yığılmış karın uzunluğu ve yüksekliği için maksimum değerler (Şekil 3.10) Taylor (1981) tarafından aşağıdaki şekilde verilmiştir.

$$l_d=1,5 H_d \quad (3.22)$$

$$H_d=1,5 (P_g/\gamma_r) \quad (3.23)$$

$$H_d=2 (P_g/\gamma_r) \quad (3.24)$$



Şekil 3.10: Zemin-çatı yüzeylerinin keşişmesi halinde kar birikmesi (Taylor, 1985)

BSI 1988'de eğri yüzeyli çatılarda asimetrik yük durumu için $\beta > 15^\circ$ koşuluyla, şekil katsayılarının saçaklara paralel doğrultuda sabit olduğu ve rüzgarüstü kesimde kar birikiminin olmadığı kabul edilerek 1. ve 2. Tip çatılar için (Şekil 3.11.a.b.c) C_1 : çatının tepe noktası için şekil katsayısı, C_2 : saçak için şekil katsayısı, C_3 : birikmenin maksimum olduğu kesime ait şekil katsayısı olmak üzere $15^\circ \leq \beta$ ve $\beta \geq 60^\circ$ için şekil katsayıları sıfır alınarak $15^\circ < \beta \leq 30^\circ$ ve $30^\circ < \beta < 60^\circ$ için şekil katsayıları sırasıyla aşağıdaki şekillerde verilmiştir (BSI 1988):

$$C_1 = 0,4 \quad (3.25)$$

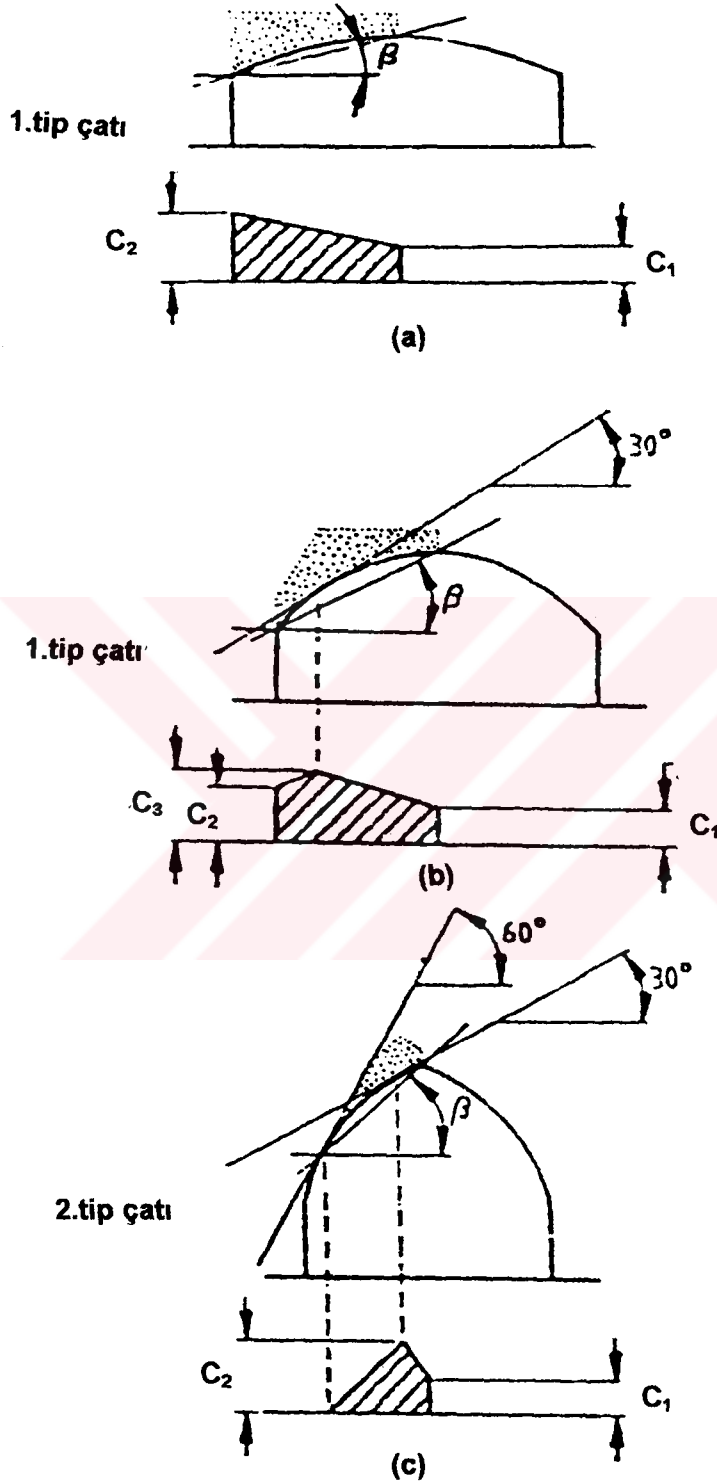
$$C_2 = 0,8 + [0,4(\beta - 15)/15] \quad (3.26)$$

$$C_3 = C_2[(60 - \delta)/30] \quad (3.27)$$

$$C_1 = 0,4 \quad (3.28)$$

$$C_2 = 1,2[(60 - \beta)/30] \quad (3.29)$$

$$C_3 = C_2[(60 - \delta)/30] \quad (3.30)$$



Şekil 3.11: Eğri yüzeyli çatılarda kar yükünün asimetrik dağılımı (BSI, 1988)

3.2.4. Düzgün yayılı olmayan kar yükü

Çatılar üzerinde yersel olarak etkiyen, rüzgarın etkisinde taşınan karın çatı üzerinde yer alan değişik elemanların çevresinde ya da alçak çatılar veya çatı üzerindeki dereler üzerinde yığılması ile ortaya çıkan yükler düzgün yayılı olmayan yükler olarak tanımlanabilir. Bu tür yüklerin yersel olarak etkiyeceği, çatının başka kesimlerinde kar birikimi olmadığı; kar yükünün gözönüne alınan engele paralel doğrultuda düzgün yayılı; dik doğrultuda (saplama çatılar hariç) düzgün yayılı olmayan dağılıma sahip olduğu kabul edilir. Çatının aynı kesimi için birden fazla yük durumunun sözkonusu olduğu durumlarda en olumsuz yük durumu dikkate alınır. Düzgün yayılı olmayan kar yükünün maksimum değeri ise zemin kar yükünün 5 veya 8 katı alınabilir (BSI, 1988).

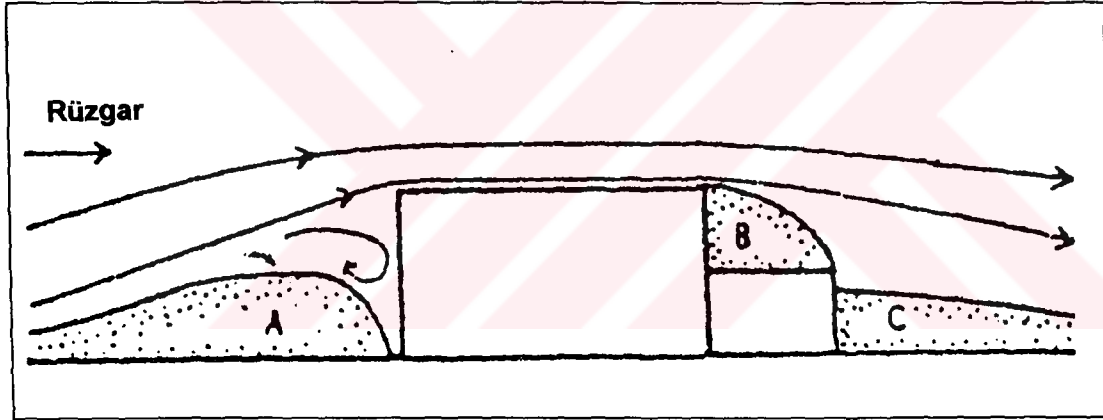
3.2.4.1. Alçak çatılarda kar yığılması

Rüzgarın etkin olduğu alanlarda, çatı kar yükünün çok küçük değerlere ulaşabilmesi, çatının düzgün yayılı yüklere göre projelendirilmesini ekonomik ve güvenli kılmaz. Ancak, bu tür bölgelerde çatının üzerinde veya çevresindeki yapı/yapı elemanlarının etrafında rüzgara bağlı olarak kar yığılmaları oluşabilir.

Kar yığılmalarına bağlı çatı çökmelerinin düzgün yayılı yüklere kıyasla daha fazla olması ve bu tür birikmelerin zemin kar yükünün üç katına kadar yüklere neden olabilmesi, çatı üzerinde oluşabilecek kar yığılmalarının projelendirilme aşamasında dikkate alınmasını gerektirir. Kar yığılmalarının oluşabileceği bölgeler belirlenirken, rüzgar hızının artacağı (karın taşınacağı alanlar) ve azalacağı (karın yığılacağı alanlar) kesimler; kar taşınımının düşük kotlardan yüksek kotlara veya aynı yüzey üzerinde rüzgarüstü kesimden rüzgaraltı kesimlere olacağı gözönüne alınır. Kar yağışının rüzgarla birlikte oluşması kar birikim bölgelerini değiştiren önemli bir faktördür. Bu -nedenle yağış

sırasındaki hakim rüzgar yönü kar yığılmasının belirlenmesi açısından önemlidir.

Alçak çatılarda oluşabilecek kar yığılmalarının nedeni, rüzgarın yapının keskin yüzeyleri (saçakta) ile karşılaşmasıyla akım çizgilerinin bozulması sonucu (Şekil 3.12) yüksek çatıda yüzeye yaklaşan en dıştaki akım çizgilerince taşınan karın hızın düştüğü alçak çatılar üzerinde yığılmasıdır. Yüksek çatının yeterince “büyük” olduğu durumlarda taşınan kar ile yığılma alçak çatının tümünde oluşurken; yüksek çatının “küçük” olması ve yağış sırasında rüzgar olmaması halinde B ve C birikmeleri oluşmaz. Bununla birlikte, daha önce de bahsedildiği şekilde A ve C yığılmaları ortaya çıkabilir.



Şekil 3.12: Alçak çatılarda kar yığılması (Templin and Schriever., 1982)

Yüksek çatının küçülmesi ile düşük çatı üzerinde meydana gelecek birikme azalır. Bu tür birikmeler çatıya ulaşabilecek büyüklüklere ulaşmadığı sürece dikkate alınmaz. Genellikle, rüzgarüstü kesimde ortaya çıkacak vorteksler A birikmesinin yapı doğrultusunda genişlemesini engeller.

Alçak çatı üzerindeki yığılmanın başka bir nedeni de yüksek çatının 10° - 15° ve daha yüksek eğime sahip olması durumunda oluşacak kar kaymaları olabilmektedir (Taylor, 1980).

Alçak çatılar üzerinde ortaya çıkabilecek kar yığılmaları rüzgar yönüne bağlı olarak üçgen veya dörtgen şeklinde oluşabilir: Yüksekteki çatının alçak çatının rüzgar altı yönünde olması (rüzgar yönü sağdan sola) veya üçgen şeklinde oluşmuş yığılmalarda ortaya çıkacak erimeler sonucunda (yapıdan kaynaklanan ısı geçişlerin neden olduğu) dörtgen şeklinde yığılmalar meydana gelirken (Şekil 3.13.a); alçak çatının yüksekteki çatının rüzgar altı yönünde olması (rüzgar yönü soldan sağa) üçgen şeklinde yığılmalara neden olur (Şekil 3.13.b). (Taylor, 1987; O'Rourke and Galanakis, 1988).

Alçak ve yüksek çatılar arasındaki uzaklığın karın yüksek çatıdan alçak çatıya taşınabileceği yeterlikte olduğu bitişik olmayan çatılarda da (bitişik yapılar arasındaki uzaklığın 1,5 m ve daha az olduğu durumlarda) alçak çatı üzerinde kar yığılması olacağı kabul edilebilir (BSI, 1988).

Zemin seviyesinden çatı üzerine kar, yapının rüzgarüstü kesiminde oluşacak kar yığılmasının sıçrama halindeki kar tanelerine rampa görevi görmesi durumunda veya difüzyon yoluyla taşınabilir. Difüzyon yoluyla oluşabilecek taşınımlar, şiddetli rüzgarlar gerektirmesi (kar tanelerinin küçük parçalara ayrılarak çatı yüzeyine kadar taşınabilmesi için) ve kar tanelerinin yüzeyden itibaren en fazla 30 cm yükselebilmesi nedeniyle sık gözlenen bir durum değildir (Irwin et al., 1995).

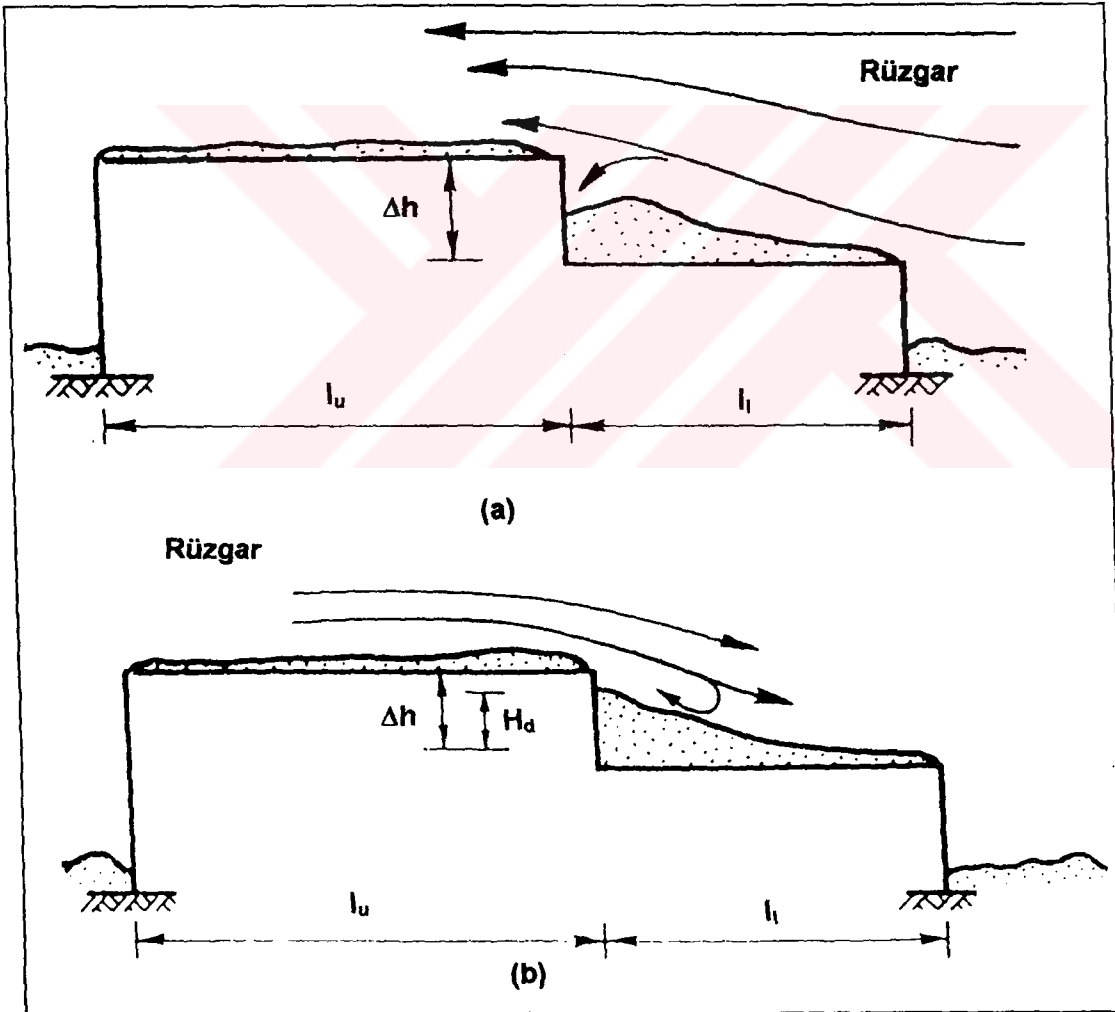
Kar yığılmasının alçak çatılarda meydana getireceği yük, P_d : yığılmış kar yükü (kN/m^2), H_d : yığılmış karın derinliği (m), γ_d : yığılmış karın yoğunluğu olmak üzere aşağıdaki şekilde verilebilir:

$$P_d = \gamma_d H_d \quad (3.31)$$

Yığılmış kar derinlikleri ise üçgen ve dörtgen şeklindeki yığılmalar için b_u : yüksek çatının genişliği (m), l_u : yüksek çatının uzunluğu (m), l_l : alçak çatının uzunluğu (m), Δh : alçak ve yüksek çatı yükseklikleri arasındaki fark ya da kar yığılmasının meydana geleceği yüzeyin düşey yönde yüksekliği (m) olmak üzere sırasıyla aşağıdaki ifadelerle verilebilir (O'Rourke and EL Hmadi, 1987).

$$H_d = [0,43 (l_u)^{1/3} (P_g + 0,479)^{1/4} - 0,457] \leq \Delta h \quad (3.32)$$

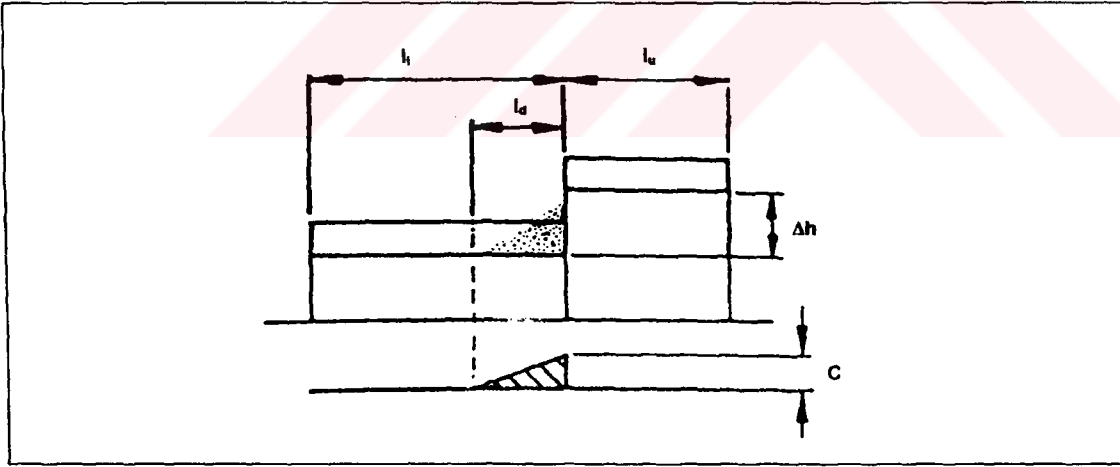
$$H_d = [0,062(P_g)^{0,60} (b_u)^{0,42} (l_l)^{0,13}] \leq \Delta h \quad (3.33)$$



Şekil 3.13: Alçak çatılarda kar yığılması tipleri (O'Rourke and Galanakis., 1988)

olarak verilmiştir. Burada, yığılma uzunluğu (l_d) yığılma yüksekliğinin beş katı ($l_d=5H_d$) alınmıştır. Yığılmış kar yükünün maksimum değeri (rüzgara kapalı alanlarda) zemin kar yükünün beş katı ($P_d=5 P_g$); minimum değeri ise (rüzgara açık ve kapalı tüm alanlar için) zemin kar yükünün iki katı ($P_d=2 P_g$) olarak önerilmiştir (Irwin et al., 1995). Proje yükü için ise rüzgara kapalı alanlarda zemin kar yükünün % 60'ının alınabileceği söylenebilir (Taylor, 1992).

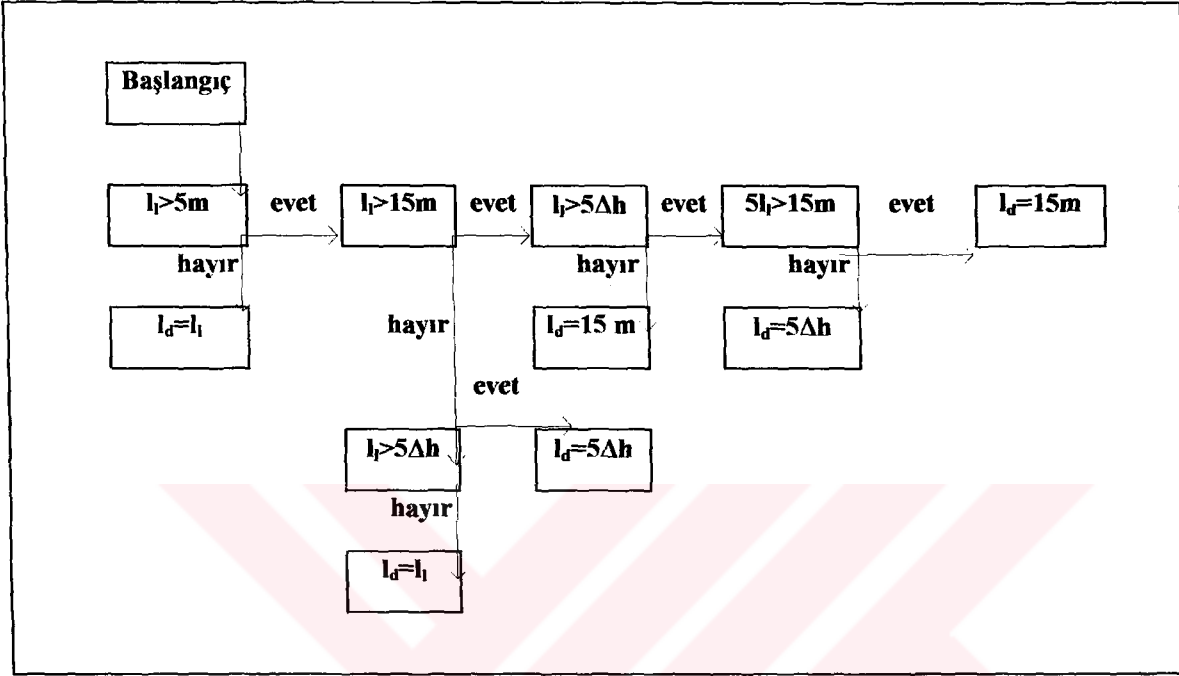
BSI.1988'de alçak çatılar üzerinde ortaya çıkabilecek kar yükleri değişik çatı tiplerinin tekil veya çoklu bileşimleri için (beşik-teras çatı; beşik-eğri yüzeyli vb) aynı yaklaşım içinde (Şekil 3.14); kar yığılmasının uzunluğu, şekil katsayılarının hesabı çatı boyutlarına bağlı olarak, l_{max} : alçak ve yüksek çatı uzunluklarının maksimum değeri (m) olmak üzere akış diyagramı şeklinde (Şekil 3.15 ve Şekil 3.16) verilmiştir.



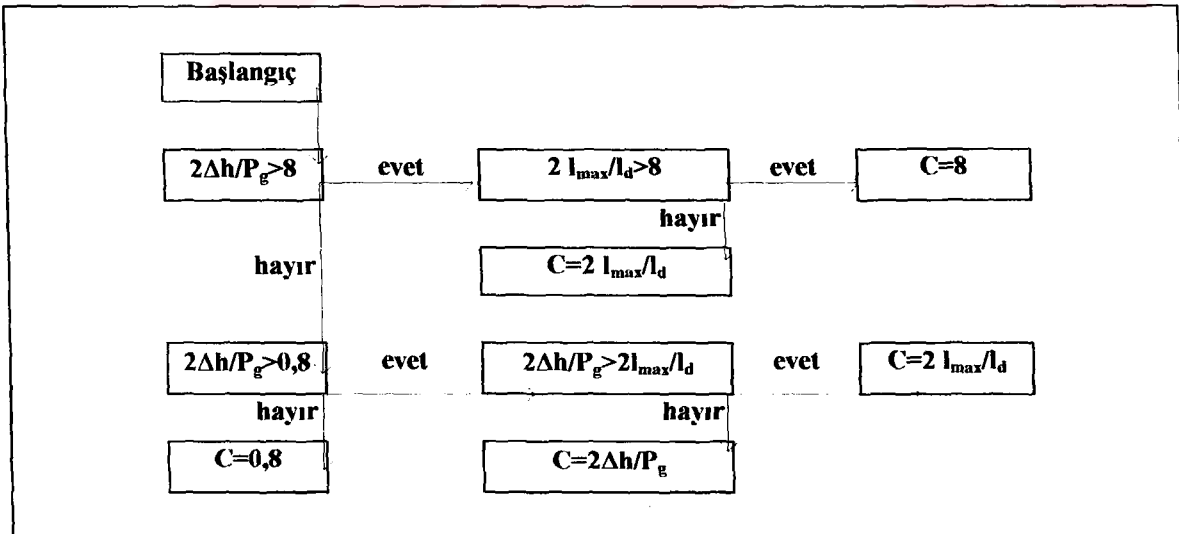
Şekil 3.14: Alçak çatılarda yığılmış karın dağılımı (BSI, 1988)

T şekilli saplamalı çatılarda (alçak çatının yüksek yapıya beşik saplama şeklinde tasarlandığı durumlarda) (Şekil 3.17) C_1 : çatı mahyası için şekil katsayısı, C_2 : saçak için şekil katsayısı olmak üzere, çatının 15° 'ye eşit ve daha küçük eğimlerinde Şekil 3.16'da verilen şekil katsayılarına eşit; 60° ve

daha büyük çatı eğimleri için sıfır olmak üzere $15^\circ < \alpha \leq 30^\circ$ ve $30^\circ < \alpha < 60^\circ$ arasındaki eğimler için sırasıyla aşağıdaki şekillerde verilmiştir:



Şekil 3.15: Alçak çatılardaki kar yığılması uzunluğunun hesabı (BSI,1988)



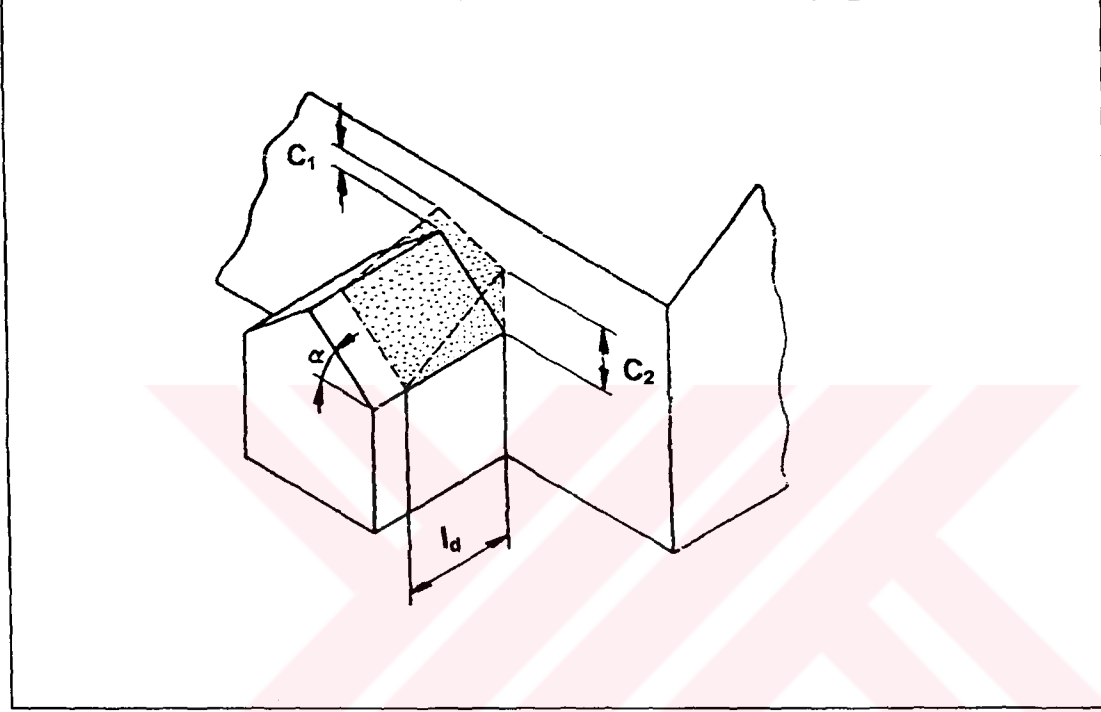
Şekil 3.16: Alçak çatılardaki kar yığılması için şekil katsayısının hesabı (BSI,1988)

$$C_1 = C [(30 - \alpha)/15] \quad (3.37)$$

$$C_2 = C \quad (3.38)$$

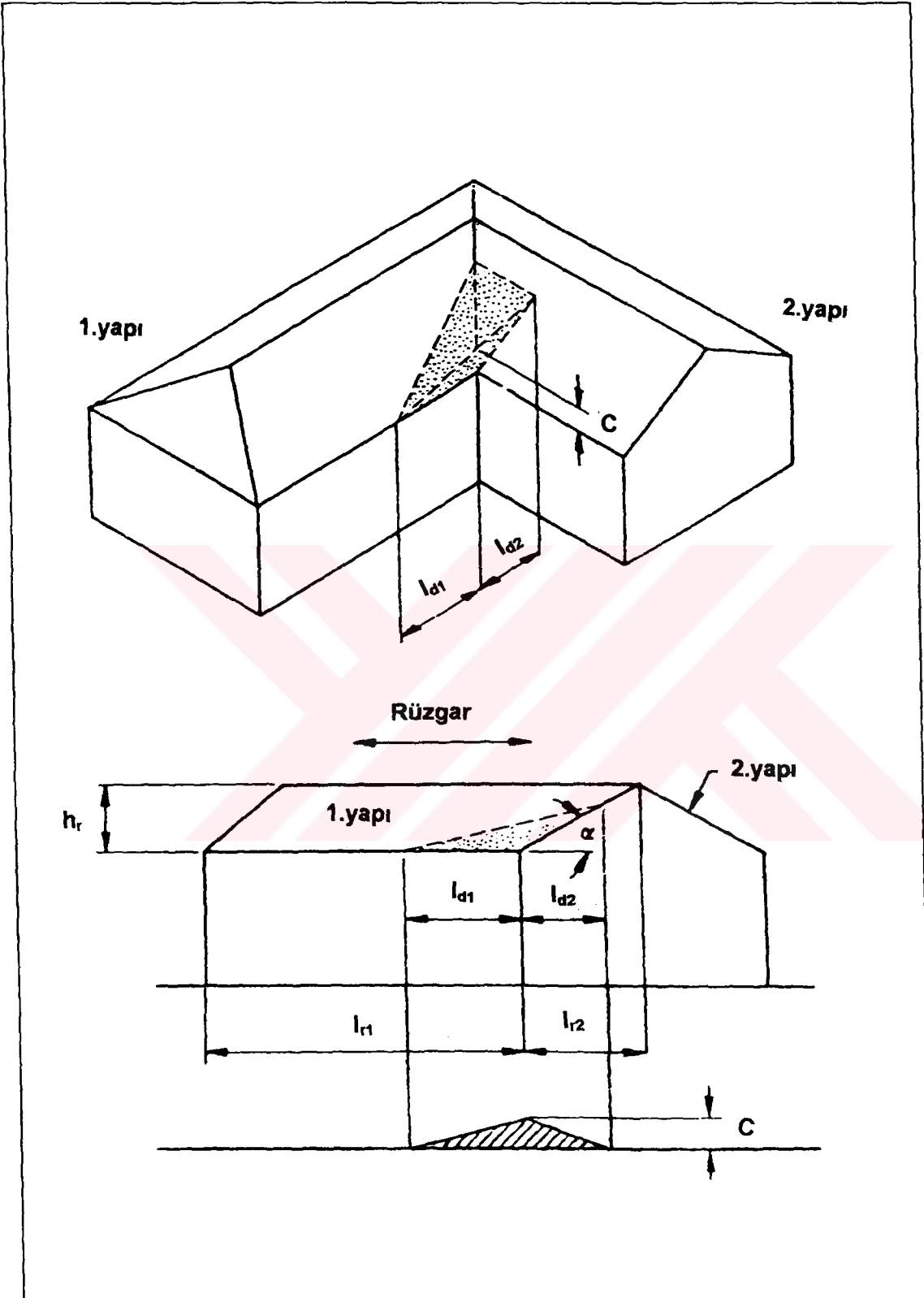
$$C_1 = 0 \quad (3.39)$$

$$C_2 = C [(60 - \alpha)/30] \quad (3.40)$$

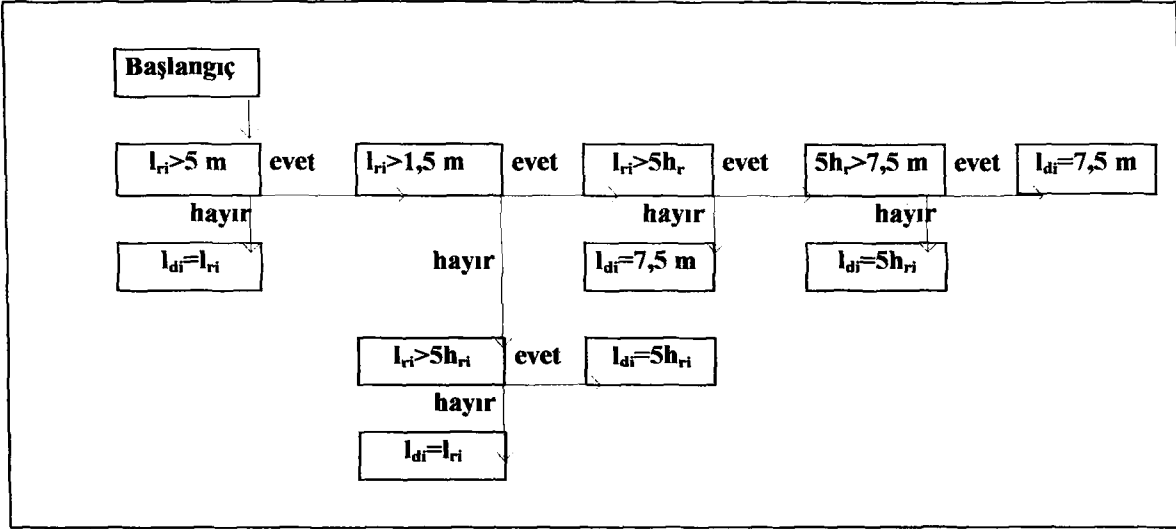


Şekil 3.17: T şekilli çatılarda kar yığılması (BSI, 1988)

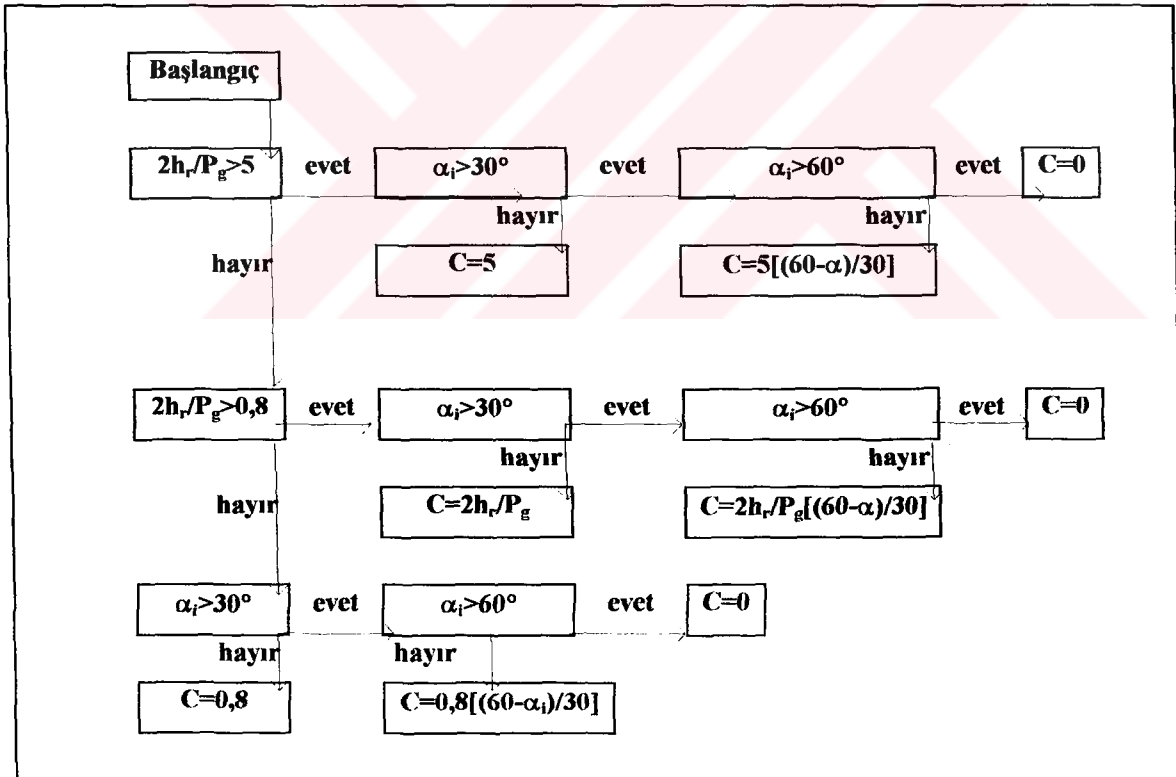
L köşesi kırma eğimli çatılarda (beşik, kırma veya beşik-kırma bileşimi) L köşesindeki dereye ortaya çıkabilecek yersel yığılmaların (Şekil 3.18) neden olacağı yükler, yükün rüzgar doğrultusunda düzgün yayılı olmayan bir dağılım gösterdiği kabul edilerek, yığılma yüksekliği ve şekil katsayılarının hesabı akış diyagramları halinde BSI (1988)de verildiği şekliyle l_{di} : i. yapı için yığılma uzunluğu (m), l_{ri} : i. yapı için çatı uzunluğu (m) olmak üzere Şekil 3.19 ve Şekil.3.20'de verilmiştir.



Şekil 3.18: L köşesi kırma çatılarda kar yığılması (BSI, 1988)



Şekil 3.19: L köşesi kırma çatılarda kar yığılması uzunluğunun hesabı (BSI,1988)



Şekil 3.20: L köşesi kırma çatılarda kar yığılması için şekil katsayısının hesabı (BSI,1988)

3.2.4.2. Çok açıklıklı çatılarda kar yığılması

Çok açıklıklı beşik veya eğri yüzeyli çatılarda (şed çatı vb), bitişik çatı yüzeyleri arasındaki kesimlerde (dere) rüzgara bağlı olarak rüzgarüstü kesimlerdeki karın rüzgaraltı kesimlere taşınması ile kar yığılmaları ortaya çıkar. Bu tür yığılmaların başka bir nedeni de eğimli yüzey doğrultusundaki oturmaların etkisiyle yoğunluğu artan karın tabanda mevcut karla birleşmesidir.

NBCC.1980’de bu tür yükler, beşik ve eğri yüzeyli çatılar için, üç farklı yükleme durumu içinde değerlendirilmiş ve yük dağılımları, kullanılması gerekli şekil katsayıları bitişik çatı eğimlerine bağlı olarak elde edilmiştir (Şekil 3.21). Burada, bitişik çatı eğimlerinin 10° ’ye eşit ve daha küçük olması halinde (1) nolu yükleme durumu; diğer hallerde ($\alpha_i > 10^\circ$) (2) ve (3) nolu yük durumları kullanılmış, l_{mi} : i. yapı için mahya-saçak arasındaki mesafe (m), α_i : i. yapı için çatı eğimi, C_{si} : i. çatı için eğime bağlı azaltma değeri ve C_i : i. çatı için şekil katsayısı olmak üzere (1) nolu yük durumu için (rüzgara kapalı alanlarda) şekil katsayısı:

$$C_i = 0,8 C_{si} \quad (3.41)$$

olarak verilmiştir. Rüzgara açık alanlar için ise bu değerin % 25 oranında azaltılması önerilmiştir. Aynı yaklaşım eğri yüzeyli çatılar için de kullanılmış olup bu durumda çatı eğimine bağlı azaltma değerleri çatının saçağına teğet doğrunun yatayla yaptığı açılara göre (δ) hesaplanmıştır (Taylor, 1980).

3.2.4.3. Çatı üzerindeki yapı ve yapı elemanlarında kar yığılması

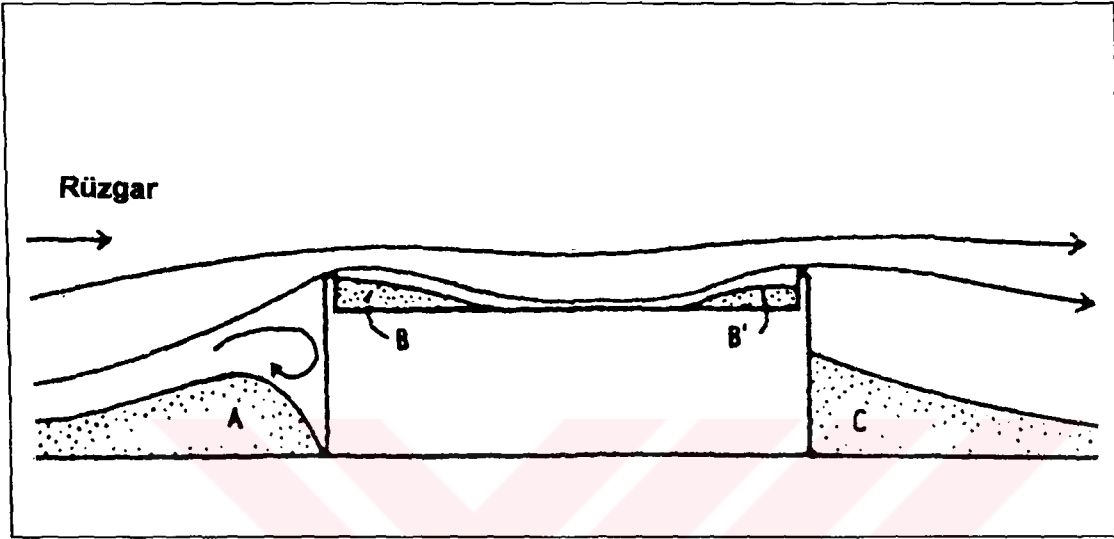
Çatı üzerinde yer alan bacalar, parapetler, güneş kollektörleri gibi yapı elemanlarının çevresinde/arkasında oluşacak kar birikmeleri yersel etkiler gösterecek yüklere neden olurlar. Bu tür yükler, gözönüne alınan engelin ya da yapı elemanının düşey yönde yüzey alanının 1 m^2 'den büyük olması halinde dikkate alınır (BSI,1988). Aşağıda çeşitli yapı elemanlarının çevresinde oluşabilecek kar birikmelerinin oluşumundan, bu durumlara ait yük hesaplarından bahsedilecektir.

Çatı çevresinde yer alması durumunda, çevresinde kar birikmesi meydana gelebilen yapı elemanlarından biri parapetlerdir. Kar birikmesinin belirleyen temel faktör rüzgar olup Şekil 3.22'de verildiği gibi parapetin rüzgarüstü kesimi bariyer gibi çalışırken, rüzgaraltı kısımda kar yığılması (B yığılması) meydana gelir. Parapet çevresindeki yığılma yalnızca kar yağışı sırasında gözlenir, bunun nedeni rüzgaraltı kesimde biriken karın, yalnızca yağış sırasında taşınan kar olmasıdır. Kar birikmesi çatının her iki ucundaki parapetlerin çevresinde de oluşur (rüzgarüstü parapetin çevresinde B' birikmesi, rüzgaraltı parapetin önünde B birikmesi oluşur) ve parapetler karın çatı üzerinden taşınımını engeller.

Parapetlerin arkasında oluşacak yığılma alçak çatılar üzerinde verildiği şekilde yığılma uzunluğu yığılma yüksekliğinin beş katı alınarak ($l_d=5H_d$) hesaplanabilir. Parapet yüzey alanının 1 m^2 'den küçük olması halinde parapet çevresindeki yığılmaların neden olacağı yükler ihmal edilebilir (BSI, 1988; Irwin et al., 1995).

Çatı katı, baca vb çatı üzerinde yer alan yapılar veya yapı elemanları kar birikmesi açısından küçük bir yapı gibi davranırlar. Yapının keskin

yüzeylerine çarparak hızı artan akımın, yapının çevresindeki karı taşıyarak (her iki yanındaki) engelin arka tarafında (hızın düştüğü kesimde) birikime uğratması sonucunda kar yığılması ortaya çıkar.



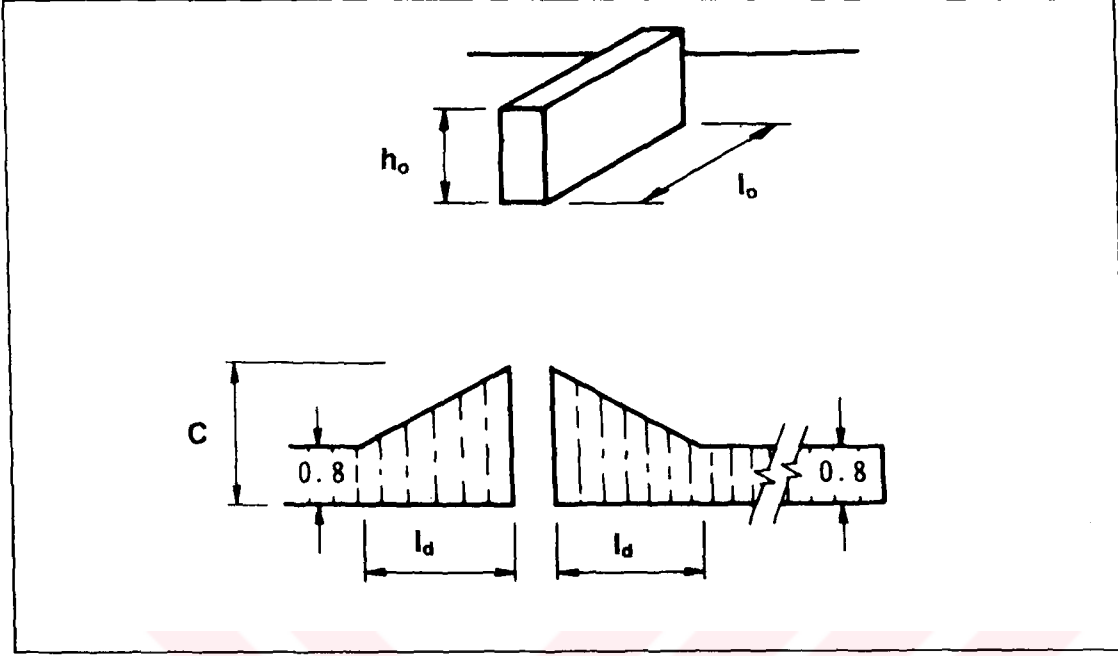
Şekil 3.22: Parapetlerin çevresinde kar yığılması (Templin and Schriever., 1982)

Yapı üzerindeki engellerin “küçük” olması durumunda rüzgar engelin rüzgaraltı kesimdeki mevcut karı taşıırken; engelin “geniş” bir yüzey alanına sahip olması engelin çevresinden taşınan karın rüzgaraltı kesimde yığılmasına neden olur (Şekil 3.23). Bu birikimin kapsadığı yüzey, engelin genişliğine bağlıdır ve engelin genişliğine kıyasla daha küçük değerler alır. Bu tür yapı elemanları kapalı bir kar perdesi gibi çalışır ve elemanın her iki kesiminde kar yığılmaları ortaya çıkar. Rüzgarüstü kesimde daha küçük yığılmalar oluşur.

NBCC.1977’de engel çevresindeki yük dağılımı Şekil 3.24’de verildiği haliyle yığılma uzunluğu ve şekil katsayısı h_o : engelin yüksekliği (m) olmak üzere:

$$l_d = 2 h_o \quad (3.42)$$

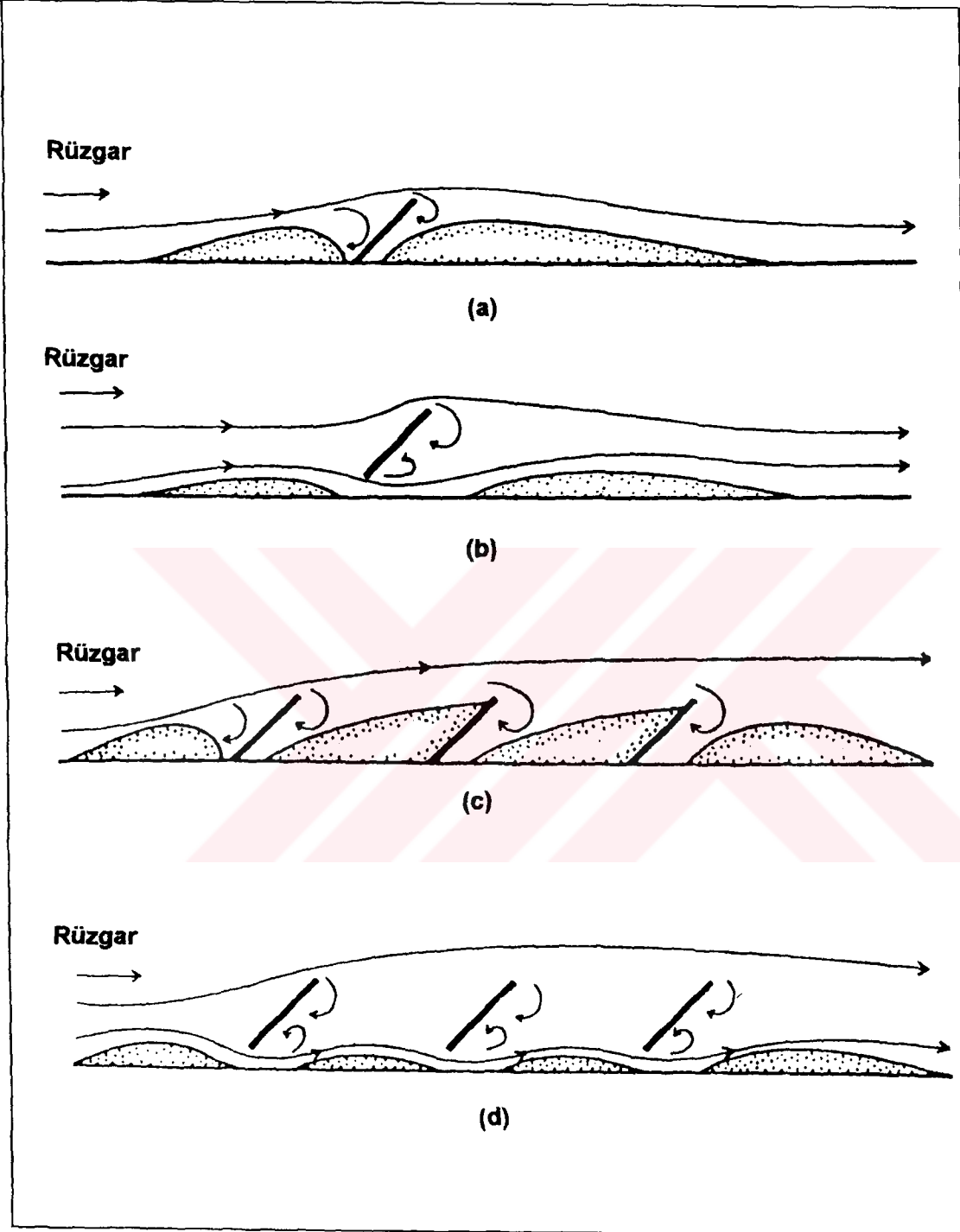
$$C = 2/3 [(\gamma_d H_d) / P_g] \quad (3.43)$$



Şekil 3.24: Çatı üzerindeki engellerin çevresinde kar yükünün dağılımı (Taylor, 1980)

Çatı üzerinde yer alan (beşik veya teras çatı) güneş kollektörleri çevresinde oluşacak kar yığılması, kollektör panelinin çatı yüzeyi ile arasındaki açıklığa bağlıdır. Çatı yüzeyi ile panel arasında açıklık olmaması kar birikimini büyük miktarlara ulaştırabilirken (Şekil 3.25.a); çatı yüzeyi ile kollektör arasında bırakılacak açıklık kar birikimini, kollektör altında akımın hızının artmasıyla, önemli ölçüde azaltabilir (Şekil 3.25.b). Kollektörleri çatıya bağlayan destek yapılarının etkisi, akımı bloke etmemeleri halinde, dikkate alınmaz.

Birden çok kollektörün sıralı bir şekilde birlikte kullanılması kar birikmesini artıran bir faktördür (Şekil 3.25.c). Bunun nedeni, sıralı olarak dizilen kollektörlerin rüzgar hızını tekil olarak kullanılan panellere kıyasla daha fazla düşürmesidir (Şekil 3.25.d). Bu tür durumlar çatı yüzeyi-panel arasında bırakılacak açıklığın etkisini de azaltır.



Şekil 3.25: Güneş kolektörleri çevresinde kar yığılmaları (Templin and Schriever., 1982)

4. UYGULAMA

Sivas ve çevresinde yapıların projelendirilmesinde kullanılacak kar yükü değeri zeminde ve çatıda iki ayrı bileşen olarak ele alınmıştır: Zemin kar yükü istatistiksel yöntemlerle tahmin edilmiş olup çatı kar yükleri (basit şekilli çatılar için) tahmini zemin kar yüklerinden yararlanılarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda TS.498/1987’de verilen kar yükü değerleri ve esaslar değerlendirilmiştir. Uygulama kapsamında kullanılan yöntem ve elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

4.1. Zemin Kar Yükünün Belirlenmesi

Sivas ve çevresinin zemin kar yükü dağılımının belirlenmesi amacıyla yapılan uygulamada, zemin kar yükü rasgele bir değişken kabul edilmiş ve bölgede DMİ ve DSİ tarafından çalıştırılan 17 adet meteoroloji istasyonuna/kar kursuna ait uzun dönem kar verilerinden yararlanılarak, aşağıda belirtilen aşamalar içinde, istatistiksel olarak tahmin edilmiştir.

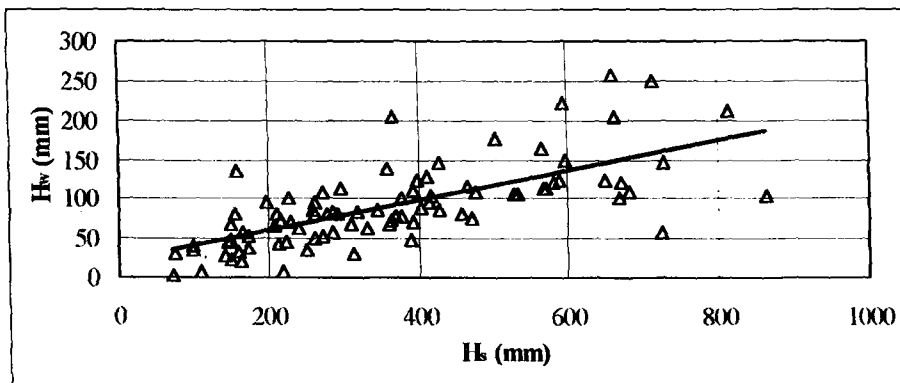
- Kar derinliğinin diğer parametrelerle (kar yoğunluğu, kar-su eşdeğeri) ilişkisinin araştırılması (Korelasyon Analizi)
- Korelasyon analizine bağlı olarak uygun tahmin modelinin (Regresyon Analizi) oluşturulması
- Zemin kar yükünün tahmini

4.1.1. Korelasyon analizi

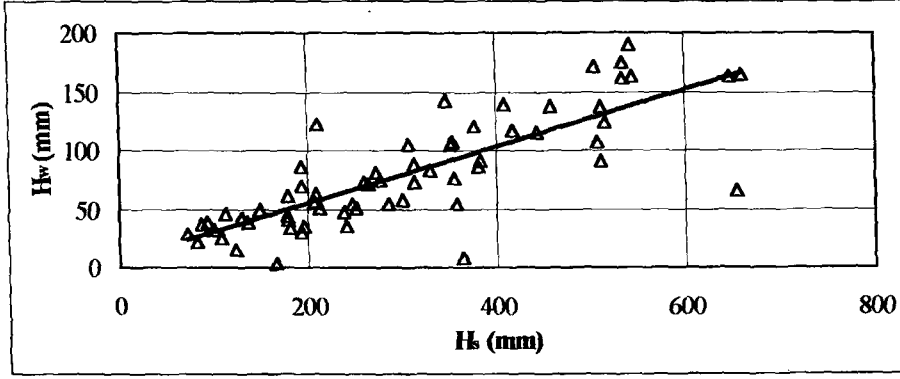
Bölgede kar derinliği DMİ istasyonları tarafından günlük, DSİ tarafından kar kurslarında genelde aylık olarak yapılmaktadır (Şekil 4.1). Kar yoğunluğu ve kar-su eşdeğeri ise kar derinliği ile birlikte yalnızca DSİ tarafından

Analiz sonucunda korelasyon katsayısı (pearson tip) kar derinliği ile kar yoğunluğu arasında Arapca, Çatpınar, Kayakevi, Kızıldağ, Ortaköy, Şerefiye kar kursları için sırasıyla -0,180; -0,161; -0,00135; 0,0495; 0,196; 0,033; kar derinliği ile kar-su eşdeğeri arasında ise yine sırasıyla 0,716; 0,807; 0,822; 0,867; 0,871; 0,827 olarak elde edilmiştir (Şekil 4.2-4.7). Dolayısıyla, kar derinliği ile kar yoğunluğu arasında anlamlı bir ilişki saptanmazken, kar derinliği ile kar-su eşdeğeri arasında anlamlı bir ilişki olduğuna karar verilmiştir.

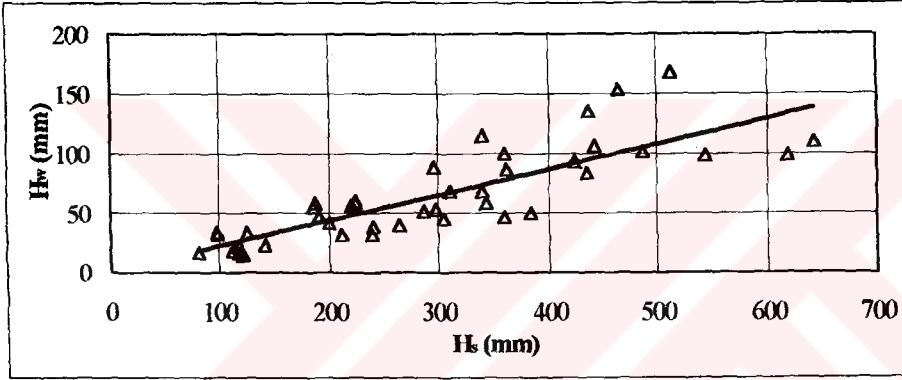
Kar derinliğinin istasyon/kar kursu kotu ile değişimi de (sıcaklık değişiminin etkisi olarak) araştırılmış korelasyon katsayıları sırasıyla 0,0620; -0,152; 0; 0,0197; 0,0114; -0,0414 olarak belirlenmiştir. Ölçüm yapılan kotlar arasındaki farkların büyük olmaması, kayakevi kar kursunda ise sabit olması, nedeniyle ilişkinin anlamlı olup olmadığına karar verilememiştir. Bu sonuçlar doğrultusunda, zemin kar yükünün tahmininde kullanılacak tahmin modelinin kar derinliği ile kar-su eşdeğerine bağlı olarak kurulması uygun bulunmuştur.



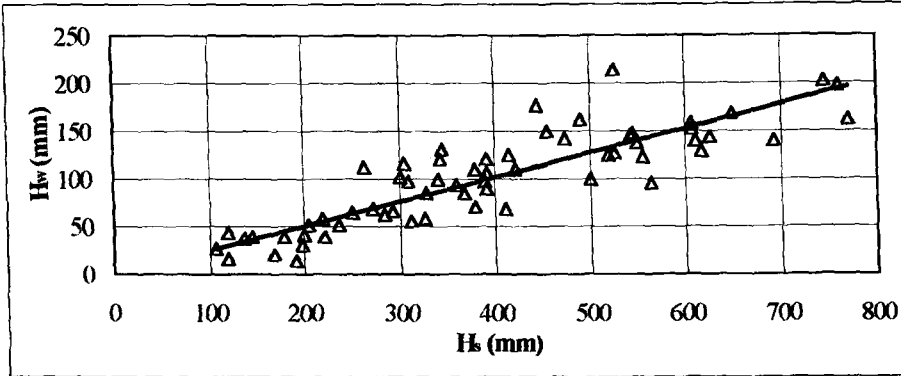
Şekil 4.2: Arapca kar kursu için kar derinliği-kar-su eşdeğeri ilişkisi



Şekil 4.3: Çatpınar kar kursu için kar derinliği-kar-su eşdeğeri ilişkisi



Şekil 4.4: Kayakevi kar kursu için kar derinliği-kar-su eşdeğeri ilişkisi



Şekil 4.5: Kızıldağ kar kursu için kar derinliği-kar-su eşdeğeri ilişkisi

2.bağımsız değişken için regresyon katsayısı ve Z: istasyon kotu olmak üzere

1. ve 2. Model için sırasıyla:

$$H_w = K_1 H_s \quad (4.1)$$

$$H_w = K_1 H_s + K_2 Z \quad (4.2)$$

olarak verilmiştir. Çizelge 4.1-4.6'da tüm kar kursları için regresyon analizinin sonuçları (1. ve 2. tahmin modeli) verilmiştir. Burada, 2.sütunda korelasyon katsayısı (R), 3.sütunlarda düzeltilmiş (adjusted) korelasyon katsayısı (R^2), 4. sütunda tahminin standart hatası (SH), 5. sütunda bağımsız değişkenler (H_s ve Z), 6. sütunda regresyon katsayıları (K_1 ve K_2), 7. sütunda regresyon katsayıları için standart hata değerleri, 8. sütunda t istatistik değerleri (% 95 güven düzeyinde), 9 ve 10. sütunlarda, % 95 güven düzeyinde, regresyon katsayılarının alt ve üst sınır değerleri ($t_{üst}$ ve t_{alt}), 11. sütunda serbestlik derecesi (SD), 12. sütunda t istatistiğinin kritik değerleri (t_c), 0,05 anlamlılık seviyesinde, verilmiştir. Bağımsız değişkenlerin anlamlılık testi, t dağılımı kullanılarak (bir uçlu), sıfır hipotezinin ($H_0: K=0$), karşıt hipoteze ($H_1: K \neq 0$) göre kontrol edilmesiyle yapılmıştır.

Tüm kar kursları için, kar-su eşdeğerlerinin tahmininde kar derinlikleri anlamlı bulunurken ($t > t_c$); deniz seviyesinden yükseklik anlamlı bulunmamıştır ($t < t_c$). Ancak, deniz seviyesinden yükseklik, kar-su eşdeğerinin tahmininde yetersiz kalmasına karşın, sıcaklık değişimlerinin yansıtılabilmesi amacıyla kar-su eşdeğerlerinin tahmininde 2. tahmin modeli tercih edilmiştir. Şekil 4.8-4.13'de ise kurulan tüm tahmin modelleri için (2. tahmin modeli) gözlenen ve tahmin edilen değerler arasındaki farklar verilmiştir

Çizelge 4.1: Arapça kar kursu için regresyon analizi sonuçları

Model (1)	R (2)	R ² (3)	SH (4)	BD (5)	K ₁ -K ₂ (6)	SH _c (7)	t (8)	t _{üst} (9)	t _{alt} (10)	SD (11)	t _c (12)
1	0,675	0,458	38,370	H _s (mm)	0,237	0,0010	23,619	0,217	0,257	85	1,98
2	0,707	0,500	37,310	H _s (mm)	0,192	0,0212	9,030	0,149	0,234	84	1,98
				Z (m)	0,013	0,0057	2,426	0,0251	0,025		

Çizelge 4.2: Çatpınar kar kursu için regresyon analizi sonuçları

Model (1)	R (2)	R ² (3)	SH (4)	BD (5)	K ₁ -K ₂ (6)	SH _c (7)	t (8)	t _{üst} (9)	t _{alt} (10)	SD (11)	t _c (12)
1	0,805	0,650	27,623	H _s (mm)	0,257	0,0101	25,320	0,196	0,28	61	1,99
2	0,807	0,652	27,707	H _s (mm)	0,241	0,022	10,740	0,196	0,28	63	1,99
				Z (m)	0,043	0,0540	0,791	-0,006	0,01		

Çizelge 4.3: Kayakevi kar kursu için regresyon analizinin sonuçları

Model (1)	R (2)	R ² (3)	SH (4)	BD (5)	K ₁ -K ₂ (6)	SH _c (7)	t (8)	t _{üst} (9)	t _{alt} (10)	SD (11)	t _c (12)
1	0,961	0,924	23,895	H _s (mm)	0,239	0,0078	30,57	0,223	0,255	41	2,01
2	0,965	0,931	22,951	H _s (mm)	0,256	0,0109	23,404	0,233	0,278	40	2,02
				Z (m)	-0,006	0,0032	-2,107	-0,013	0,002		

Çizelge 4.4: Kızıldağ kar kursu için regresyon analizinin sonuçları

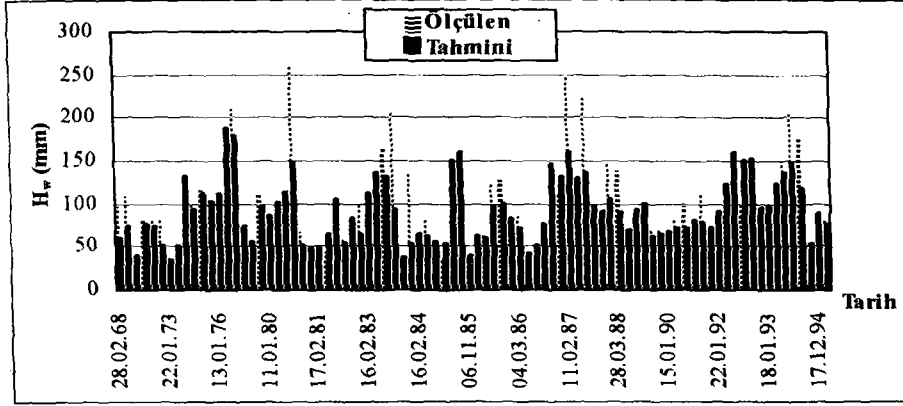
Model (1)	R (2)	R ² (3)	SH (4)	BD (5)	K ₁ -K ₂ (6)	SH _c (7)	t (8)	t _{üst} (9)	t _{alt} (10)	SD (11)	t _c (12)
1	0,867	0,752	24,392	H _s (mm)	0,255	0,0007	35,392	0,241	0,269	61	1,99
2	0,868	0,754	24,514	H _s (mm)	0,245	0,0179	13,647	0,209	0,281	60	2,00
				Z (m)	0,002	0,004	0,628	-0,006	0,011		

Çizelge 4.5: Ortaköy kar kursu için regresyon analizi sonuçları

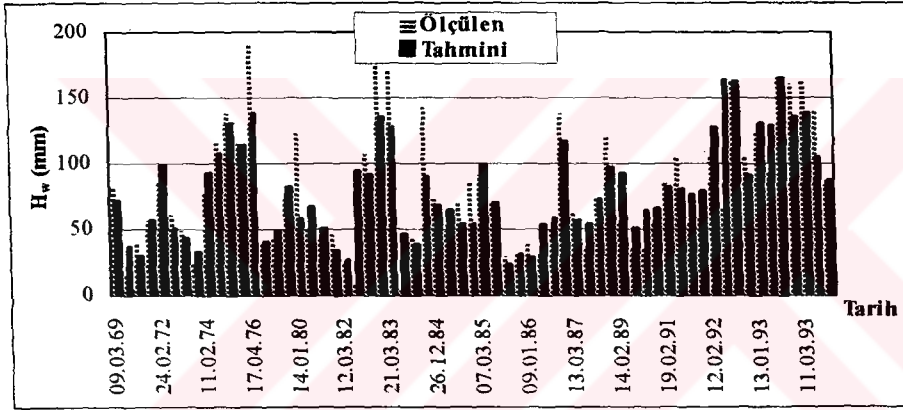
Model (1)	R (2)	R ² (3)	SH (4)	BD (5)	K ₁ -K ₂ (6)	SH _c (7)	t (8)	t _{üst} (9)	t _{alt} (10)	SD (11)	t _c (12)
1	0,867	0,752	24,680	H _s (mm)	0,280	0,0094	29,617	0,261	0,298	67	1,99
2	0,871	0,759	24,553	H _s (mm)	0,304	0,0210	14,428	0,262	0,347	66	1,99
				Z (m)	-0,006	0,0040	-1,315	-0,015	0,031		

Çizelge 4.6: Şerefiye kar kursu için regresyon analizi sonuçları

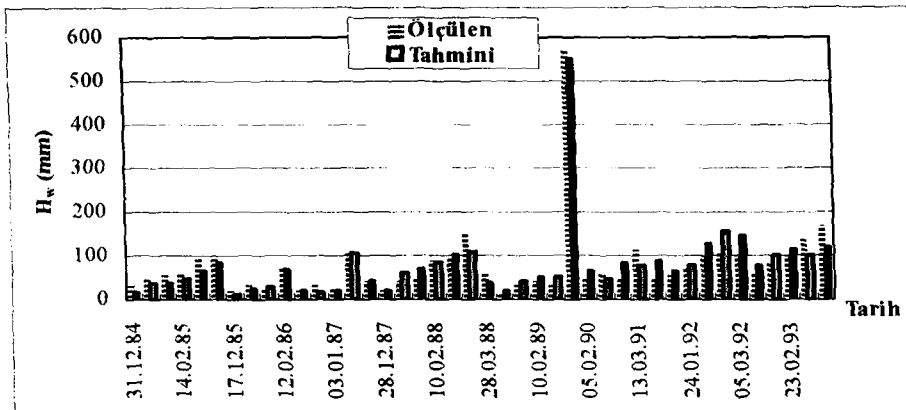
Model (1)	R (2)	R ² (3)	SH (4)	BD (5)	K ₁ -K ₂ (6)	SH _c (7)	t (8)	t _{üst} (9)	t _{alt} (10)	SD (11)	t _c (12)
1	0,827	0,685	32,628	H _s (mm)	0,255	0,0087	29,33 9	0,238	0,273	80	1,99
2	0,827	0,685	32,833	H _s (mm)	0,254	0,0194	13,10 2	0,216	0,293	81	1,99
				Z (m)	0,003	0,005	0,073 8	-0,009	0,010		



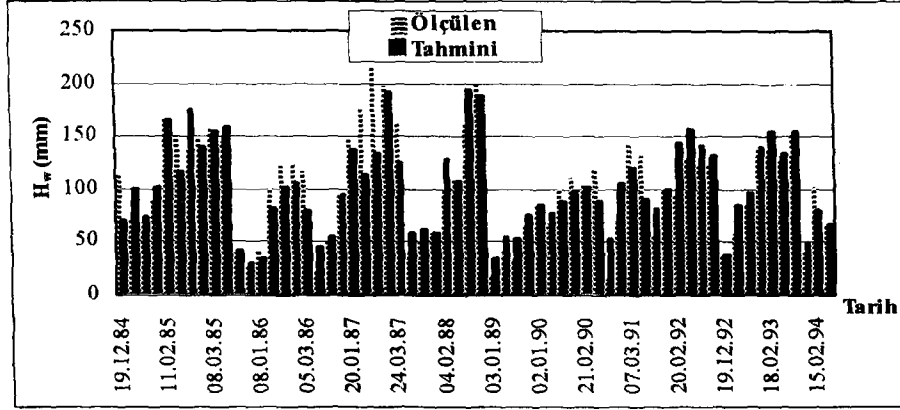
Şekil 4.8: Arapça kar kursu için tahmini ve ölçülen kar-su eşdeğerleri arasındaki farklar



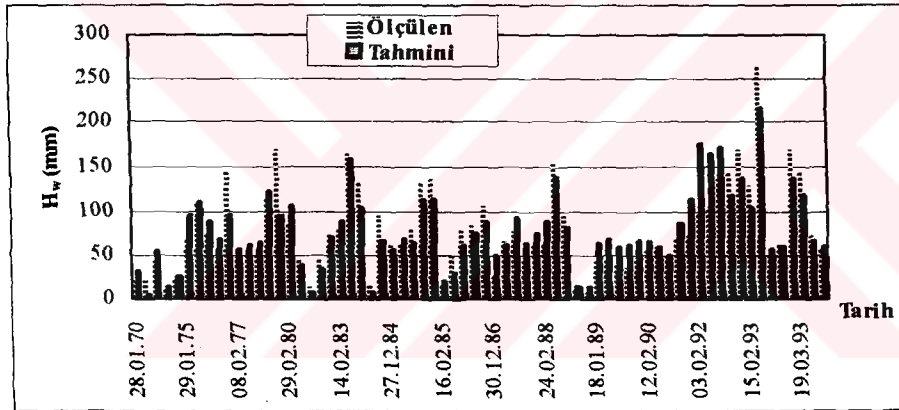
Şekil 4.9: Çatpınar kar kursu için tahmini ve ölçülen kar-su eşdeğerleri arasındaki farklar



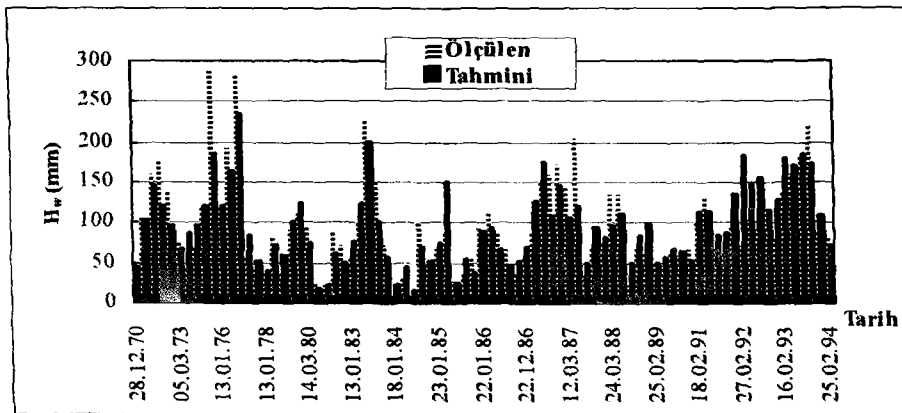
Şekil 4.10: Kayakevi kar kursu için tahmini ve ölçülen kar-su eşdeğerleri arasındaki farklar



Şekil 4.11: Kızıldağ kar kursu için tahmini ve ölçülen kar-su eşdeğerleri arasındaki farklar



Şekil 4.12: Ortaköy kar kursu için tahmini ve ölçülen kar-su eşdeğerleri arasındaki farklar



Şekil 4.13: Şerefiye kar kursu için tahmini ve ölçülen kar-su eşdeğerleri arasındaki farklar

4.1.3. Zemin kar yükünün tahmini

Bölgede 11 adet DMİ (Suşehri, Gemerek, Şarkışla, Divriği, Hafik, Ulaş, Sivas, Zara, Yıldızeli, Kangal, İmranlı) istasyonu tarafından günlük kar derinlikleri ölçülmekte; 6 adet DSİ kar kursunda (Arapca, Çatpınar, Kayakevi, Kızıldağ, Ortaköy, Şerefiye) ise aylık olarak kar derinliği, kar yoğunluğu ve kar-su eşdeğeri ölçülmektedir (Ek. 2); DSİ tarafından yapılan ölçümler zaman zaman birkaç hafta ara ile de yapılabilmektedir.

Korelasyon ve regresyon analizine bağlı olarak, zemin kar yükü uzun dönem kar-su eşdeğerlerinin istatistiksel analizi ile tahmin edilmiştir. Bölgede Susehri ve Koyulhisar hariç, il merkezi ve ilçelerin aynı iklim bölgesinde yer aldığı; bölgenin “rüzgarsız” olduğu kabul edilmektedir (Özer,1974). DMİ istasyonları için kış mevsimine (Kasım, Aralık, Ocak, Şubat, Mart) ait yıllık ortalama sıcaklık verileri arasında korelasyon analizi sonucunda Sivas istasyonu ile Divriği, Gemerek, Hafik, İmranlı, Kangal, Şarkışla, Susehri, ulaş, Yıldızeli, Zara istasyonları arasında korelasyon katsayıları sırasıyla 0,907; 0,909; 0,851; -0,111; 0,907; 0,874; 0,789; 0,563; 0,849; 0,927 olarak elde edilmiştir.

Sivas istasyonu verilerine göre hakim rüzgar yönü kuzey olup, 50 yıllık gözlem süresi için ortalama rüzgar hızı 1,8 m/sn, ölçülen en yüksek hız ise 34,1 m/sn'dir. Kış mevsimi için, hakim rüzgar yönü kuzeydir ve kış dönemleri için aylık rüzgar hızı ortalamaları 1-1,3 m/sn arasında değişmektedir (Everest 1993). Buna göre, DMİ ve DSİ istasyonlarının/kar kurslarının kar yağışı açısından aynı iklimsel özellikler içinde yer aldığı ve bölgede karın dağılımında rüzgarın önemli etkisi olmadığı kabul edilmiştir. DMİ istasyonlarına ait maksimum kar derinliklerinin kar-su eşdeğerlerine çevrilmesinde DSİ kar kursları için kurulan tahmin modellerinden yararlanılmıştır.

DSİ kar kursları ve DMİ istasyon verileri (yıllık maksimum kar derinlikleri) arasında korelasyon analizi yapılmış ve en yüksek korelasyon katsayılarının Arapca-Suşehri, Çatpınar-Gemerek, Çatpınar-Sivas, Kayakevi-Divriği, Kızıldağ-İmranlı, Kızıldağ-Zara, Ortaköy-Ulaş, Şerefiye-Yıldızeli, Şerefiye-Hafik, Şerefiye-Şarkışla, Şerefiye-Kangal istasyonları-kar kursları arasında sırasıyla 0,603; 0,419; 0,750; 0,807; 0,826; 0,693; 0,943; 0,734; 0,770; 0,365; 0,768 olarak elde edilmesiyle, bu istasyonlara-kar kurslarına ait kar derinlikleri arasında doğrusal bir ilişki olduğu kabul edilmiştir. DMİ istasyonlarına ait yıllık maksimum kar derinlikleri 2.tahmin modeli kullanılarak, sözkonusu istasyon ile en yüksek korelasyona sahip DSİ kar kursuna ait (4.2) no'lu regresyon denklemi yardımıyla, kar-su eşdeğerlerine çevrilmiştir. Böylece, DMİ istasyonlarına ait uzun dönem yıllık maksimum kar-su eşdeğerleri tahmin edilmiştir.

Zemin kar yükünün tahmininde kullanılan uygun olasılık dağılımları, Lognormal ve Gumbel dağılımları için Kolmogrov-Smirnov testi ile belirlenmiştir. Tüm istasyonlara ve kar kurslarına ait veriler için (yıllık maksimum kar-su eşdeğerleri) yapılan testlerin sonuçları Çizelge 4.7-4.23'te verilmiştir. Burada, 1. sütunda test edilen dağılımın adı, 2. sütunda gözlem süresi (yıl), 3. sütunda örneğin aritmetik ortalaması (μ), 4.sütunda örneğin standart sapması (σ), 5. ve 6. sütunlarda gumbel dağılımına ait parametreler (1u ve $^2\infty$), 7. sütunda Kolmogorov-Smirnov testi istatistiği ($\Delta_{\max}$), 8. sütunda, 0,05 anlamlılık seviyesi için test istatistikleri (Δ) verilmiştir (Δ değerleri gözlem sayısına ve anlamlılık seviyesine bağlı olarak Beyazıt ve Oğuz (1987) tarafından verildiği şekliyle alınmıştır). Test edilen dağılımın uygunluğu $^3\Delta_{\max} < \Delta$ olması halinde

¹ $\infty = [(\sqrt{6} \sigma) / \pi]$

² $u = [\mu - 0,5772 \infty]$

³ $\Delta_{\max} = \max |F(x_i) - F^*(x_i)|$ olup; $F(x_i)$: gözlenen düzenlenmiş örnekten eklenik frekans dağılımı formülüyle $[F(x_i) = (i/N)]$ hesaplanan eklenik frekans ordinatları; $F(x_i)^*$: seçilen teorik eklenik dağılım fonksiyonunun aynı x_i değerlerine karşı gelen ordinatlarıdır (Beyazıt ve Oğuz, 1987)

kabul edilmiştir, verilerin birden fazla dağılıma uyması halinde en küçük Δ değerini veren dağılım uygun dağılım olarak kabul edilmiştir. Elde edilen test sonuçlarına göre Kangal ve Şarkışla istasyonuna ait veriler hariç, tüm istasyon ve kar kurslarına ait veriler her iki dağılıma da uygun bulunmuştur.

Çizelge 4.7: Sivas istasyonunu için kolmogorov-smirnov testinin sonuçları ve dağılım parametreleri

Dağılımın adı	N	μ	σ	α	u	Δ_{max}	Δ
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
Lognormal	66	4,285	0,593	-	-	0,061	0,167
Gumbel	66	86,289	54,289	0,023	61,86	0,106	0,167

Çizelge 4.8: Süşehri istasyonunu için kolmogorov-smirnov testinin sonuçları ve dağılım parametreleri

Dağılımın adı	N	μ	σ	α	u	Δ_{max}	Δ
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
Lognormal	40	4,170	0,472	-	-	0,074	0,210
Gumbel	40	72,341	32,272	0,039	57,819	0,092	0,210

Çizelge 4.9: Divriği istasyonunu için kolmogorov-smirnov testinin sonuçları ve dağılım parametreleri

Dağılımın adı	N	μ	σ	α	u	Δ_{max}	Δ
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
Lognormal	45	3,484	1,180	-	-	0,154	0,200
Gumbel	45	50,660	41,720	0,036	31,860	0,070	0,200

Çizelge 10: Gemerek istasyonunu için kolmogorov-smirnov testinin sonuçları ve dağılım parametreleri

Dağılımın adı (1)	N (2)	μ (3)	σ (4)	α (5)	u (6)	Δ_{max} (7)	Δ (8)
Lognormal	40	3,93	0,460	-	-	0,072	0,210
Gumbel	40	57,01	28,046	0,045	44,380	0,079	0,210

Çizelge 4.11: Hafık istasyonunu için kolmogorov-smirnov testinin sonuçları ve dağılım parametreleri

Dağılımın adı (1)	N (2)	μ (3)	σ (4)	α (5)	u (6)	Δ_{max} (7)	Δ (8)
Lognormal	34	4,183	0,541	-	-	0,078	0,245
Gumbel	34	74,953	38,873	0,032	57,460	0,140	0,245

Çizelge 4.12: İmranlı istasyonunu için kolmogorov-smirnov testinin sonuçları ve dağılım parametreleri

Dağılımın adı (1)	N (2)	μ (3)	σ (4)	α (5)	u (6)	Δ_{max} (7)	Δ (8)
Lognormal	34	4,799	0,754	-	-	0,156	0,245
Gumbel	34	151,76	99,135	0,0129	107,14	0,100	0,245

Çizelge 4.13: Kangal istasyonunu için kolmogorov-smirnov testinin sonuçları ve dağılım parametreleri

Dağılımın adı (1)	N (2)	μ (3)	σ (4)	α (5)	u (6)	Δ_{max} (7)	Δ (8)
Lognormal	50	4,610	0,693	-	-	0,088	0,190
Gumbel	50	127,11	91,750	0,0139	85,822	0,191	0,190

Çizelge 4.14: Şarkışla istasyonunu için kolmogorov-smirnov testinin sonuçları ve dağılım parametreleri

Dağılımın adı (1)	N (2)	μ (3)	σ (4)	α (5)	u (6)	Δ_{max} (7)	Δ (8)
Lognormal	56	4,140	0,530	-	-	0,167	0,180
Gumbel	56	70,468	40,283	0,0317	69,892	0,250	0,180

Çizelge 4.15: Ulaş istasyonunu için kolmogorov-smirnov testinin sonuçları ve dağılım parametreleri

Dağılımın adı (1)	N (2)	μ (3)	σ (4)	α (5)	u (6)	Δ_{max} (7)	Δ (8)
Lognormal	19	4,044	0,759	-	-	0,117	0,270
Gumbel	19	76,00	58,231	0,0219	49,796	0,121	0,270

Çizelge 4.16: Yıldızeli istasyonunu için kolmogorov-smirnov testinin sonuçları ve dağılım parametreleri

Dağılımın adı (1)	N (2)	μ (3)	σ (4)	α (5)	u (6)	Δ_{max} (7)	Δ (8)
Lognormal	30	3,910	0,930	-	-	0,112	0,240
Gumbel	30	67,494	44,902	0,0285	47,289	0,068	0,240

Çizelge 4.17: Zara istasyonunu için kolmogorov-smirnov testinin sonuçları ve dağılım parametreleri

Dağılımın adı (1)	N (2)	μ (3)	σ (4)	α (5)	u (6)	Δ_{max} (7)	Δ (8)
Lognormal	40	89,114	45,020	-	-	0,108	0,210
Gumbel	40	89,144	45,020	0,028	68,885	0,0284	0,210

Çizelge 4.18: Kayakevi kar kursu için kolmogorov-smirnov testinin sonuçları ve dağılım parametreleri

Dağılımın adı (1)	N (2)	μ (3)	σ (4)	α (5)	u (6)	$\Delta_{\max}$ (7)	Δ (8)
Lognormal	9	98,279	47,308	-	-	0,162	0,42
Gumbel	9	98,279	47,308	0,0270	76,990	0,160	0,42

Çizelge 4.19: Kızıldağ kar kursu için kolmogorov-smirnov testinin sonuçları ve dağılım parametreleri

Dağılımın adı (1)	N (2)	μ (3)	σ (4)	α (5)	u (6)	$\Delta_{\max}$ (7)	Δ (8)
Lognormal	10	4,902	0,353	-	-	0,090	0,41
Gumbel	10	141,80	45,369	0,282	121,38	0,094	0,41

Çizelge 4.20: Ortaköy kar kursu için kolmogorov-smirnov testinin sonuçları ve dağılım parametreleri

Dağılımın adı (1)	N (2)	μ (3)	σ (4)	α (5)	u (6)	$\Delta_{\max}$ (7)	Δ (8)
Lognormal	22	4,306	0,783	-	-	0,099	0,280
Gumbel	22	94,954	62,376	0,020	66,883	0,113	0,280

Çizelge 4.21: Şerefîye kar kursu için kolmogorov-smirnov testinin sonuçları ve dağılım parametreleri

Dağılımın adı (1)	N (2)	μ (3)	σ (4)	α (5)	u (6)	$\Delta_{\max}$ (7)	Δ (8)
Lognormal	21	4,678	0,486	-	-	0,136	0,285
Gumbel	21	121,19	65,081	0,0196	91,904	0,156	0,285

Çizelge 4.22: Arapça kar kursu için kolmogorov-smirnov testinin sonuçları ve dağılım parametreleri

Dağılımın adı (1)	N (2)	μ (3)	σ (4)	α (5)	u (6)	Δ_{max} (7)	Δ (8)
Lognormal	25	4,659	0,547	-	-	0,0801	0,270
Gumbel	25	120,74	62,435	0,0205	92,646	0,087	0,270

Çizelge 4.23: Çatpınar kar kursu için kolmogorov-smirnov testinin sonuçları ve dağılım parametreleri

Dağılımın adı (1)	N (2)	μ (3)	σ (4)	α (5)	u (6)	Δ_{max} (7)	Δ (8)
Lognormal	25	4,361	0,647	-	-	0,085	0,270
Gumbel	25	93,080	50,054	0,025	70,557	0,102	0,270

Zemin kar yükü, yıllık maksimum kar-su eşdeğerlerinin uygun olasılık dağılımları ile belirli bir yineleme periyodu için tahmin edilen değerinin suyun özgül ağırlığı ile çarpılması sonucu elde edilmiştir. Tüm istasyonlar ve kar kursları için yineleme periyodu 30 ve 50 yıl olan tahmini kar-su eşdeğerleri, zemin kar yükü değerleri Çizelge 4.24-4.25'te özetlenmiştir. Burada, 2. sütunda istasyon ve kar kurslarının kotları (ölçüm yapılan kotların ortalaması kar kursu kotu olarak alınmıştır), 3. sütunda kullanılan olasılık dağılımı, 4. sütunda toplam gözlem süresi (N), 5. sütunda yapılan ölçümlerin sıfır olarak (ölçülemeyecek kadar küçük) elde edildiği yılların sayısı (N_0), 6. sütunda T yıllık yineleme periyodu için tahmin edilen kar-su eşdeğeri, 7. sütunda hesaplanan zemin kar yükü ve 8. sütunda normalize yük (P_n) değerleri verilmiştir.

Normalize yükler zemin kar yükünün istasyon veya kar kursu kotuna bölünmesi ile elde edilmiştir. Kullanılan yineleme periyodları, N: toplam

gözlem süresi, N_n : gözlemin sıfırdan farklı olduğu yılların sayısı ve T_a : düzeltilmiş yineleme periyodu olmak üzere:

$$T_a = T (N_n / N) \quad (4.3)$$

bağıntısı ile düzeltilmiş; tahmin için minimum gözlem süresi 7 yıl olarak alınmıştır (Kenneth et al., 1994). Bölge için kar-su eşdeğerinin ve zemin kar yükünün derinliğine bağlı değişimi, 30 ve 50 yıllık yineleme periyodları için Şekil. 4.14-15’de verilmiştir.

Kar-su eşdeğerlerinin (zemin kar yüklerinin) tahmininde $H_w(T)$: T yıllık yineleme periyodu için tahmini kar-su eşdeğeri (mm), $K(T)$: T yıllık yineleme periyodu için frekans faktörü olmak, $H_{wy}(T)$: dönüştürülmüş ($y=\ln x$) değerler için T yıllık yineleme periyoduna ait tahmini kar-su eşdeğeri (mm), μ_y : dönüştürülmüş değişkenin ortalaması, σ_y : dönüştürülmüş değişkenin standart sapması olmak üzere Gumbel ve Lognormal dağılımları için sırasıyla:

$$H_w(T) = \mu + K(T) \sigma \quad (4.4)$$

$$H_{wy}(T) = \mu_y + K(T) \sigma_y \quad (4.5)$$

ifadeleri ile hesaplanmıştır. Frekans faktörü ise, z: standart değişken olmak üzere Gumbel ve Lognormal dağılımlar için sırasıyla aşağıdaki şekillerde alınmıştır (Chow et al., 1988):

$$K(T) = -\sqrt{6/\pi} [0,5772 + \ln[\ln(T/(T-1))]] \quad (4.6)$$

$$K(T) = z \quad (4.7)$$

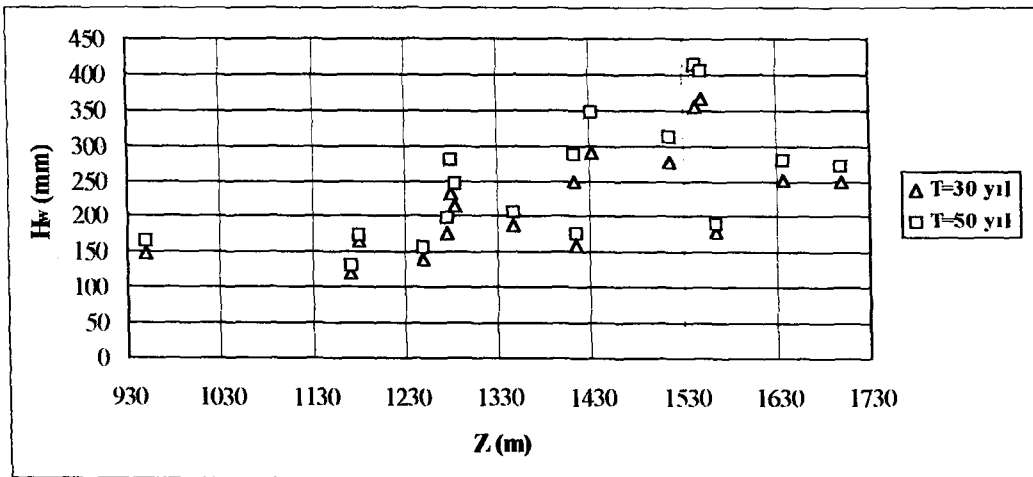
Çizelge 4.24: Sivas bölgesi için (T=30 yıl) hesaplanan zemin kar yükleri

İst.Adı (1)	İst.K. (m) (2)	Olasılık Dağılımı (3)	N (yıl) (4)	N _o (yıl) (5)	H _w (T) (mm) (6)	P _g (kN/m ²) (7)	P _n (10 ⁻³ KPa/m) (8)
Suşehri	950	Lognormal	46	6	149,248	1,464	1,541
Gemerek	1173	Lognormal	40	0	119,654	1,173	1,00
Şarkışla	1180	Lognormal	58	1	165,300	1,620	1,372
Divriği	1250	Gumbel	47	2	140,578	1,379	1,103
Hafik	1275	Lognormal	34	0	176,616	1,732	1,358
Ulaş	1280	Lognormal	22	3	232,510	2,280	1,781
Sivas	1285	Lognormal	66	0	215,403	2,113	1,644
Zara	1348	Gumbel	40	0	187,726	1,841	1,153
Çatpınar	1412	Lognormal	27	3	248,212	2,434	1,723
Yıldızeli	1415	Gumbel	37	7	158,333	1,555	1,098
Ortaköy	1432	Lognormal	28	5	289,629	2,841	1,980
Arapca	1515	Lognormal	29	4	277,392	2,720	1,795
Kangal	1545	Lognormal	51	1	355,928	3,49	2,258
İmranlı	1550	Gumbel	35	1	366,533	3,59	2,316
Kayakevi	1565	Lognormal	12	3	178,763	1,771	1,131
Şerefiye	1637	Lognormal	27	6	250,162	2,454	1,499
Kızıldağ	1700	Lognormal	12	2	249,184	2,444	1,437

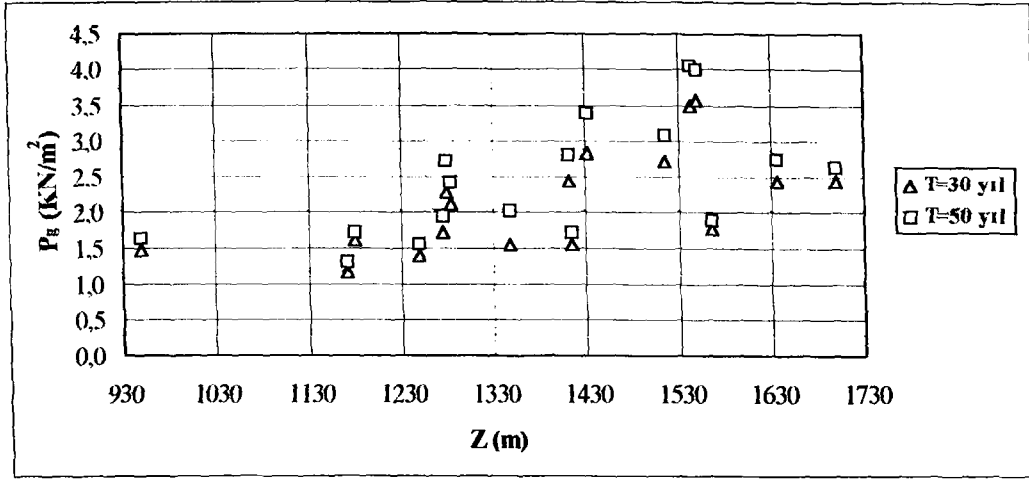
Tahmini kar-su eşdeğerlerine bağlı olarak tahmin edilen zemin kar yükleri, bölge için Gürer ve Koç (1996) tarafından DMİ istasyonları için tahmini kar derinliklerine (Gumbel dağılımı kullanılarak, 30 ve 50 yıllık yineleme periyodlarına göre) bağlı olarak hesaplanmış zemin kar yükleri (Çizelge 4.26) ile karşılaştırılmıştır (Şekil 4.16). Her iki yöntemle, tahmin edilen ve hesaplanan zemin kar yükleri arasındaki maksimum ve minimum farklar 30 yıllık yineleme periyodu için 0,915 (Ulaş), 0,094 (Zara), 50 yıllık yineleme periyodu için 1,549 (Yıldızeli), 0,38 (Gemerek) kN/m² olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.25: Sivas bölgesi için (T=50 yıl) hesaplanan zemin kar yükleri

İst. Adı (1)	İst. K. (m) (2)	Olasılık Dağılımı (3)	N (yıl) (4)	N _o (yıl) (5)	H _w (T) (mm) (6)	P _g (kN/m ²) (7)	P _n (10 ⁻³ KPa/m) (8)
Suşehri	950	Lognormal	46	6	165.973	1,628	1,713
Gemerek	1173	Lognormal	40	0	132.561	1,300	1,108
Şarkışla	1180	Lognormal	58	1	174.200	1,710	1,449
Divriği	1250	Gumbel	47	2	157.435	1,544	1,235
Hafik	1275	Lognormal	34	0	198.965	1,951	1,530
Ulaş	1280	Lognormal	22	3	278.116	2,728	2,131
Sivas	1285	Lognormal	66	0	245.290	2,407	1,873
Zara	1348	Gumbel	40	0	205.906	2,019	1,497
Çatpınar	1412	Lognormal	28	3	286.925	2,814	1,992
Yıldızeli	1415	Gumbel	37	7	176.522	1,731	1,223
Ortaköy	1432	Lognormal	27	5	346.120	3,395	2,370
Arapca	1515	lognormal	29	4	313.713	3,077	2,031
Kangal	1545	Lognormal	51	1	414.705	4,068	2,633
İmranlı	1550	Gumbel	35	1	406.599	3,988	2,572
Kayakevi	1565	Lognormal	12	3	189.688	1,879	1,200
Şerefıye	1637	Lognormal	27	6	279.477	2,741	1,674
Kızıladağ	1700	Lognormal	12	2	269.943	2,648	1,557



Şekil 4.14: Sivas bölgesinde kar-su eşdeğerinin yüksekliğe bağlı değişimi



Şekil 4.15: Sivas bölgesinde zemin kar yükünün yüksekliğe bağlı değişimi

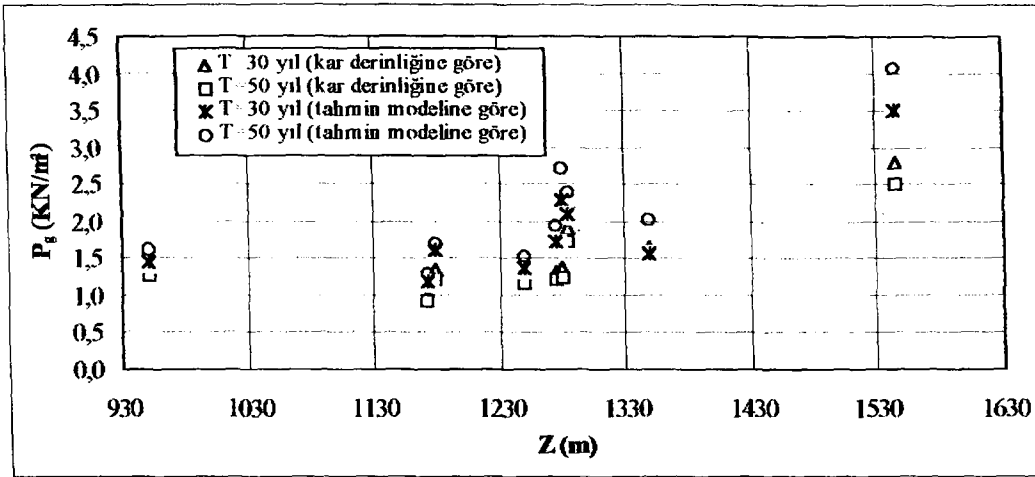
Çizelge 4.26: Sivas bölgesi için kar derinliklerine göre hesaplanan zemin kar yükleri

İstasyon Adı	İst. Kotu (m)	N (yıl)	μ	σ	$^4 H_{sm}$ (cm)	T=30 yıl		T=50 yıl	
						$^5 H_s(T)$ (mm)	$^6 P_g$ (kN/m²)	$^5 H_s(T)$ (mm)	P_g (kN/m²)
Suşçri	950	41	28,95	15,98	73	640,00	1,254	704,70	1,381
Gemerek	1173	38	22,05	11,34	52	469,20	0,920	515,10	1,010
Şarkışla	1180	53	27,50	15,88	66	623,40	1,222	687,60	1,348
Divriği	1250	44	24,79	15,70	95	592,30	1,161	655,80	1,285
Hafik	1275	33	30,03	14,52	76	618,80	1,213	677,50	1,328
Ulaş	1280	23	23,56	17,60	54	627,30	1,230	696,50	1,365
Sivas	1285	60	34,93	24,23	110	880,90	1,727	978,80	1,918
Zara	1348	34	36,70	18,26	73	767,60	1,504	841,40	1,649
Yıldızeli	1415	38	26,18	15,74	68	607,10	1,190	670,70	1,315
Kangal	1545	45	51,91	34,91	165	1285,00	2,519	1426,10	2,795
İmranlı	1550	35	48,17	75,82	215	1815,00	3,557	2009,80	3,939

⁴ H_{sm} : İstasyonda ölçülen maksimum kar derinliği

⁵ $H_s(T)$: Gürer ve Koç (1996) tarafından verilen tahminin kar derinlikleri

⁶ $P_g = \gamma_s H_{sm}(T)$ olup, kar yoğunluğu (γ_s) sabit ve 200 kg/m³ alınmıştır.



Şekil 4.16: Kar derinliklerine ve kar-su eşdeğerlerine göre hesaplanan zemin kar yükleri arasındaki farklar

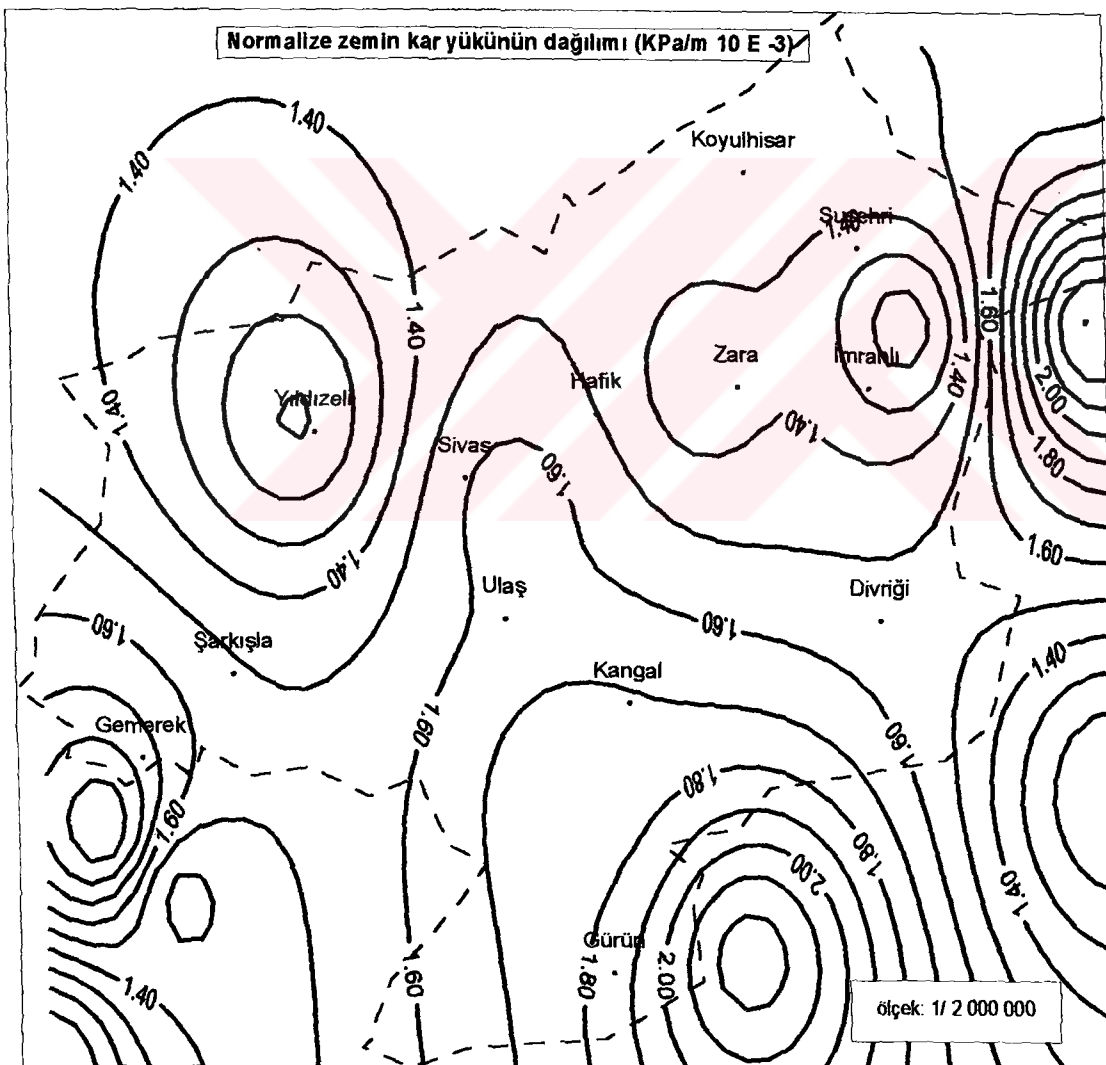
Sivas bölgesi için, zemin kar yükünün (normalize edilmiş yük) alansal dağılımı uzaklığın üssel tersi (inverse distance to a power) yönteminden yararlanılarak belirlenmiştir. Bölge, 50x50 birimlik bir grid içine yerleştirilmiş ve üs parametresi (power parameter) 2; düzeltme parametresi (smooth parameter) sıfır olarak alınmıştır. 30 ve 50 yıllık yinelenme periyodları için normalize zemin kar yükünün alansal dağılımı Şekil 4.17-18’de verilmiştir

4.2. Çatı Kar Yükünün Belirlenmesi

Bölge için, tahmini zemin kar yüklerine göre hesaplanan çatı kar yükleri ile TS.498/1987’de verilen “kar yükü hesap” değerlerinin karşılaştırılabilmesi amacıyla, karın çatı üzerinde düzgün yayıldığı, çatı üzerindeki karın esas yük faktörü dışında herhangi bir azaltma değeri/dönüştürme katsayısı ile azaltılmadığı; bölgenin “rüzgarsız” olduğu, çatı üzerinde kar kaymasının olmayacağı, yapıdan kaynaklanabilecek ısı geçişlerin dikkate alınmadığı (soğuk çatı) kabulleri çerçevesinde basit şekilli bir çatı (sundurma ve beşik çatı) için çatı kar yükü, iki farklı şekilde, tahmini yüklere ve TS.498/1987’ye

göre, tüm istasyonlar ve kar kursları için ayrı ayrı hesaplanmış elde edilen sonuçlar Çizelge. 4.27’de özetlenmiştir.

Tahmin edilen yükler ile TS.498/1987’de önerilen yükler arasındaki maksimum ve minimum farklar 30 yıllık yineleme periyoduna göre 1,32 (İmranlı) ve -0,657 (Gemerek) kN/m²; 50 yıllık yineleme periyoduna göre 1,638 (İmranlı) ve -0,525 (Divriği) kN/m² olarak elde edilmiştir (Şekil 4.19).

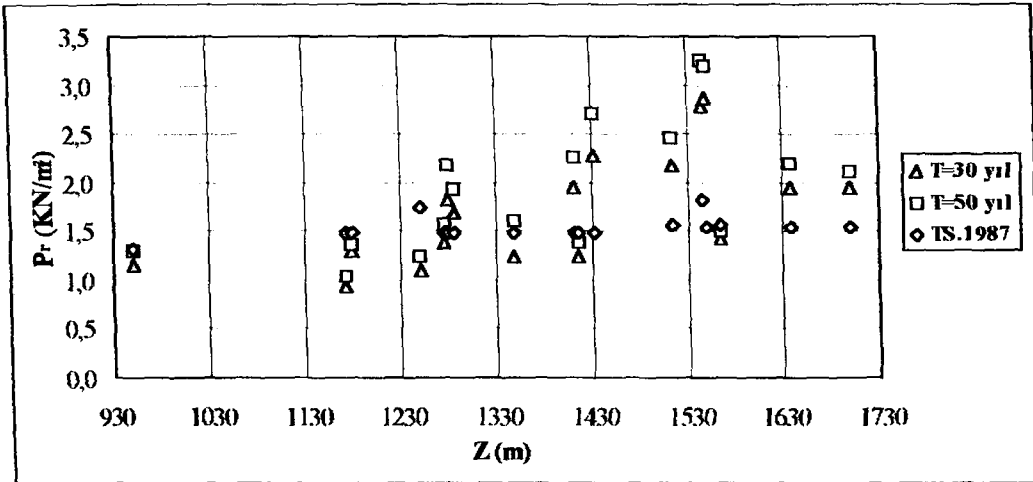


Şekil 4.17: Sivas bölgesinde normalize edilmiş zemin kar yükünün (T=30 yıl) dağılımı

hesaplanmıştır. Çatı kar yükü tahmin edilen zemin kar yükünün %20 oranında azaltılması ($C=0,8$) ile elde edilmiştir.

Çizelge 4.27: Sivas bölgesi için hesaplanan ($C=0,8$) çatı kar yükleri

İstasyon adı	İstasyon/kar kursu kotu (m)	T=30 yıl	T=50 yıl	TS.498/1987
		P_r (kN/m ²)	P_r (kN/m ²)	P_r (kN/m ²)
Suşehri	950	1,170	1,302	1,325
Gemerek	1173	0,934	1,040	1,485
Şarkışla	1180	1,296	1,368	1,485
Divriği	1250	1,103	1,235	1,760
Hafik	1275	1,385	1,560	1,485
Ulaş	1280	1,824	2,182	1,485
Sivas	1285	1,690	1,925	1,485
Zara	1348	1,244	1,615	1,485
Çatpınar	1412	1,947	2,251	1,485
Yıldızeli	1415	1,244	1,384	1,485
Ortaköy	1432	2,272	2,716	1,485
Arapca	1515	2,176	2,461	1,559
Kangal	1545	2,792	3,254	1,840
İmranlı	1550	2,872	3,190	1,552
Kayakevi	1565	1,416	1,503	1,559
Şerefiye	1637	1,963	2,192	1,552
Kızılbaş	1700	1,955	2,118	1,552



Şekil 4.19: Sivas bölgesinde çatı kar yükünün ($C=0,8$) yüksekliğe bağlı değişimi

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Birçok ülkede yaygın olarak kullanılan yöntemler ve yapılan uygulama çerçevesinde, yapılarda çatı kar yükünün aşağıda belirtilen esaslar doğrultusunda belirlenmesi gerektiği söylenebilir:

Çatı kar yükünün esas bileşeni zemin kar yükü olmakla birlikte; çatı şekli, çatı eğimi, çatı malzemesinin türü, rüzgarın ve güneş ışıının çatı üzerindeki dağılımı, yapı-çatı arasında ortaya çıkacak ısı geçişler gibi her çatı için farklılıklar gösterebilecek faktörler de çatı kar yükünü önemli miktarlarda değiştirebilmektedir. Çatı elemanın, kar yüküne karşı güvenli ve ekonomik olarak projelendirilmesi, yapının tasarlanan ömrü boyunca karşılaşılabileceği maksimum kar yüküne karşı gerekli dayanımı sağlamasını, dolayısıyla, zemin kar yükü ile birlikte karın çatı üzerindeki birikimini etkileyen tüm faktörlerin de dikkate alınmasını gerektirir.

Zemin kar yükü bölgesel değişimler gösterebilen rasgele bir değişken olup, yıllık maksimum kar verilerinin istatistiksel analizi ile tahmin edilebilir. Çatı kar yükü hesabında kullanılacak dönüştürme katsayı veya katsayıları, daha önce de örneklerle verildiği şekilde, arazi gözlemlerine/model deneylerine bağlı olarak elde edildiğinden birbirine yakın değerler alabilmektedir. Bu nedenle, birçok yapı standardında verilen esasların-dönüştürme katsayılarının, benzer koşullarda kullanılabileceği söylenebilir. Ancak, kullanılan dönüştürme katsayılarının arazi gözlemleri ile denetlenmesi proje yükünün güvenilirliği açısından gereklidir.

TS.1987 önerilen çatı kar yükleri, belirtilmemesine karşın, minimum kar yükünün ($0,75 \text{ KN/m}^2$) 4 farklı bölge için belirli oranlarda artırılması ile elde edilen; zemin kar yükünden bağımsız yüklerdir. Bu minimum yük değeri BSI.1988’de “küçük çatılar” için verilen minimum düzgün yayılı yük

durumuna karşılık gelmekte olup belirli koşullar altında kullanılması önerilmiştir.

Gözlem istasyonlarınca kar derinliği ile birlikte, kar yoğunluğu ve kar-su eşdeğerinin de ölçülmesi kar yükünün, özellikle gözönüne alınan bölgeleri temsil edebilecek ortalama kar yoğunluklarının belirlenmesinde önemlidir. Ancak, Türkiye’de DMİ istasyonları tarafından kar derinliği; DSİ ve EİEİ istasyonlarında-kar kurslarında ise kar derinliği ile birlikte kar-su eşdeğeri ve kar yoğunluğu ölçülmektedir. Bu durum çalışma amaçlarının farklı olmasına karşın tüm istasyonlara ait verilerin ortak kullanımını gerektirmektedir. Kar-su eşdeğerleri ve kar derinlikleri arasında kurulacak tahmin modellerinin DMİ istasyonlarına ait verilerin kullanımını kolaylaştıracağı söylenebilir.

Tahmini kar-su eşdeğerlerine bağlı olarak tahmin edilen zemin kar yükleri, DMİ istasyonları için tahmini kar derinliklerine bağlı olarak hesaplanmış zemin kar yükleri ile karşılaştırılmış; her iki yöntemle, tahmin edilen ve hesaplanan zemin kar yükleri arasındaki maksimum ve minimum farklar 30 yıllık yineleme periyodu için 0,915 (Ulaş), 0,094 (Zara), 50 yıllık yineleme periyodu için 1,549 (Yıldızeli), 0,38 (Gemerek) KN/m² olarak bulunmuştur.

Bölge için, tahmini zemin kar yüklerine göre hesaplanan çatı kar yükleri ile TS.1987’de verilen “kar yükü hesap” değerlerinin karşılaştırılabilmesi amacıyla, karın çatı üzerinde düzgün yayıldığı, çatı üzerindeki karın esas yük faktörü dışında herhangi bir azaltma değeri/dönüştürme katsayısı ile azaltılmadığı; bölgenin “rüzgarsız” olduğu, çatı üzerinde kar kaymasının olmayacağı, yapıdan kaynaklanabilecek ısı geçişlerin dikkate alınmadığı (soğuk çatı) kabulleri çerçevesinde basit şekilli bir çatı (sundurma veya beşik çatı) için çatı kar yükü, iki farklı şekilde, tahmini yüklere ve TS.1987’ye göre, tüm istasyonlar ve kar kursları için ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Elde edilen sonuçlara göre, TS.1987’de verilen yük değerleri 950-1250 m kotları arasında daha yüksek değerler almasına karşın; 1275-1700 m kotları arasında daha küçük değerler almıştır. Bu yük değerleri arasında en büyük fark 950-1250 m kotları arasında 30 ve 50 yıllık yıllık yineleme periyodları için sırasıyla 0,657KN/ m² (Divriği), 0,525 KN/m² (Divriği) olup; 1280-1700 m kotları arasında 30 ve 50 yıllık yineleme periyodları için sırasıyla 1,320 KN/m² (İmranlı), 1,638 KN/m² (İmranlı) değerine kadar çıkmaktadır.

Türkiye’de, kar birikmesinin neden olduğu çatı hasarlarına-çökmelerine ait istatistiki bilgilerin (çatı şekli, çökme sırasındaki kar yükünün değeri, yapısal özellikler, çökmenin neden olduğu zararın miktarı vb) yetersiz olması konunun ekonomik ve güvenilirlik açısından değerlendirilmesinde bir eksikliktir.

KAYNAKLAR

- Auld, H., 1995, Dependence of ground snow loads on elevation in Western Canada, **Western Snow Conference**, Canada
- BSI, 1988., Loading for Buildings, **British Standard Institution**, Part:3, BS 6399.
- Beyazıt, M., Oğuz, B., 1987, Mühendisler için istatistik, **Birsen Yayınevi**, İstanbul
- Beyazıt, N., Bali, U., 1996, Sivas'ta hava kirliliği ve meteorolojik parametrelerle ilişkisinin araştırılması, **I. Uludağ Çevre Mühendisliği Sempozyumu**, 24-26 Haziran, Bursa
- Castelle, T., 1995, Snow tranport by the wind in mountain regions, **Snow and Avalanches**, Cemagref Editions, pp.227-236
- Chow, V.T., David, R.M., 1988, Applied Hydrology, **Mc Graw Hill Publishing Company**, USA
- DMİ, 1989, **Türkiye Klima Atlası**, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara
- Ellingwood, B., Redfield, R., 1983, Ground snow loads for structural design, **Journal of Structural Engineering**, Vol:109, No.4, pp.950-964.
- Ellingwood, B., O' Rourke, M., 1985, Probabilistic models of snow loads on structures, **Structural Safety**, Vol: 2, No.4, pp.291-299.
- Everest, N., 1993, Sivas kentinde hava kirliliğinin İncelenmesi, **Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü**, Yüksek Lisans Tezi, Sivas.
- Fridley, K.J., Roberts, K.A., Mitchel, J.B., 1994, Estimating ground snow loads using local climatological data, **Journal of Structural Engineering**, Vol:120, No.12, pp.3567-3576.
- Föhn, P. M. B., 1995, Mountain Meteorology, **Snow and Avalanches**, Cemagref Editions, pp.39-50.

Gubler, H., 1995, Energy and mass balance, snow metemorphism, **Snow and Avalanches**, Cemagref Editions, pp.51-67

Gürer, İ., 1977, Kar meteorunun evrimi ve ilkbahar taşkın tahminlerinde kullanılması, **Devlet meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü**, yayın no:13, Araştırma-eğitim ve yaygın Dairesi başkanlığı araştırma Şubesi, yayın no:13, Ankara

Gürer, İ., 1980, Kar ve ölçümü, **DSİ Teknik Bülteni**, sayı:40, sayfa:34-41, Ankara

Gürer, İ., 1981, Kar örtüsünün ormanlık ve açık alanda değişimi, **1. Ulusal Meteoroloji Kongresi**, sayfa: 667-675, Cilt.2, 23-25 Mart, İTÜ, İstanbul.

Gürer, İ., Türksoy, M., 1981, Seyhan barajı yağış alanının aralık-nisan periyoduna ait aylık yağışlarının alansal dağılımı-temsili yağış istasyonlarının seçimi, **1. Ulusal Meteoroloji Kongresi**, sayfa: 571-583, 23-25 Mart, Cilt.2, İTÜ, İstanbul

Gürer, İ., 1992, Kar hidrolojisi, **Coğrafya Haftası**, Kasım 1992, İzmir

Gürer, İ., Koç, M.L., 1996, Yapılarda kar yükünün belirlenmesi, **Türkiye Coğrafyası Araştırma ve Uygulama Merkezi III. Coğrafya Sempozyumu**, Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih coğrafya Fakültesi, 15-19 Nisan, Ankara.

Irwin, P.A., Gamble, S.L., Taylor, D.A., 1995, Effects of roof size, heat transfer, and climate on snow loads: studies for the 1995 NBC, **Canadian Journal of Civil Engineering**, Vol:22, pp.770-784.

Kennedy, T.H.R., Kennedy, D.J.L., Taylor, D.A., Mc Gregor, J.G., 1985, Snow loads in the 1985 national building code of Canada-curved roofs, **Canadian Journal of Civil Engineering**, Vol:12, No.3, pp.427-438.

Kenneth, J.F., Roberts, K.A., Mitchell, B.J., 1994, Estimating ground snow loads using local climatological data, **Journal of Structural Engineering**, Vol: 120, No: 12, pp: 3567-3576.

- Linsley, R. K., Franzini, J.B., 1972, Water-Resources Engineering, **Mc Graw Hill Kogahuska Ltd.**, Tokyo, Japan.
- Linsley, R. K., Kohler, M. A., Paulhus, J. L. H., H, 1988, Hydrology for Engineers, **Mc Graw Hill International Book Company**, Singapore.
- Michael, J., O'Rourke, M., Robert, S.S., Speck, J.R., Stiefel, U., 1985, Drift snow loads on multi-level roofs, **Journal of Structural Engineering**, Vol:111, No.2, pp.501-517.
- Martinec, J., 1977, Expected snow loads on structures from incomplete hydrological data, **Journal of Glaciology**, Vol:19, No.8, pp. 185-195.
- Meister, R., 1995, Properties of the seasonal snowcover, **Snow and Avalanches**, Cemagref Editions, pp.67-74
- Navarre, J.P., 1995, The principles of snow mechanics: the mechanical properties of snow, **Snow and Avalanches**, Cemagref Editions, pp.74-86
- Newark, M.J., Morris, R.J., Dnes, W.V., Welsh, L.E., 1989, Revised ground snow loads for the 1990 national building code of canada, **Canadian Journal of Civil Engineering**, Vol:16, No.3, pp.267-278.
- Onur, A., 1964, Türkiye'de kar yağışları ve yerde kalma müddeti üzerine bir etüd, **AÜ DTCF**, yayın no: 152, Ankara.
- O' Rourke, M., Redfield, R., Bradsky, P.V., 1982, Uniform snow loads on structures, **Journal of the Structural Division**, vol: 108, No: ST 12, pp. 2781-2798.
- O' Rourke, M., El Hmadi, K., 1987, Roof snow loads; drifting against a higher wall, **Western Snow Conference**, Vancouver, B.C.
- O' Rourke, M., Galanakis, I., 1990, Roof snow drifts due to blizzards, **Journal of Structural Engineering**, Vol:116, No.3, pp.641-658.

- Özer, M., 1974, Yapıların ısı ve buhar yalıtımları, **Haşmet Basımevi**, İstanbul.
- Pugh, H.L.D., 1953, Kar siperleri, çeviri: Halit Ziya Sarman, **Karayolları Genel Müdürlüğü**, yayın no:17, Akın matbaacılık Ltd., Ankara
- Rusten,A., Molnau, M., Sack,R.L., 1980, Snow load analysis for structures, **Journal of the Structural Division**,Vol:106,No.1,pp.11-12
- Sack,R.L., Inverso,G., 1983, Structural snow loads, **Western Snow Conference**, April 19-21, Vancouver, Washington.
- Sack,R.L., Taheri,A.S., 1985, Methodology for establishing ground snow loads, **53 rd Annual Western Snow Conference**, April 1985, Boulder, C.O.
- Sack,R.L., Arnholtz, D.A., Haldeman, J.S., 1987, Sloped roof snow loads using simulation, **Journal of Structural Engineering**, Vol:113, No.8, pp.1820- 1833.
- Sack,R.L., 1988, Snow loads on sloped Roofs, **Journal of Structural Engineering**,Vol:114, No.3, pp.501-517.
- Sack,R.L., 1989^a, Designing structures for snow loads, **Journal of Structural Engineering**, Vol:115, No.2, pp.303-315.
- Sack,R.L., 1989^b, Snow loads on sloped roofs, **Journal of Structural Engineering**, Vol: 115, No.6, pp.1559-1560.
- Santanna, F. Da Matha, Taylor, D.A., 1990, Snow drifts on flat roofs: wind tunnel tests and field measurements, **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, Vol: 34, pp. 223-250.
- Sergent, C.,1995, Effects of meteorological parameters on the snow stability, **Snow and Avalanches**, Cemagref Editions, pp.111-118.
- Taylor, D., 1979, A survey of snow loads on roofs of the arena-type buildings in canada, **Canadian Journal of Civil Engineering**, Vol:6, No:1, pp:85-96.

- Taylor, D.A., 1980, Roof snow loads in Canada, **Canadian Journal of Civil Engineering**, Vol:7, No:1, pp:1-18.
- Taylor, D.A., 1981, Snow loads for the design of cylindrical curved roofs in Canada, 1953-1980, **Canadian Journal of Civil Engineering**, Vol:8, No:1, pp:63-76, March
- Taylor, D.A., 1983, Sliding snow on sloping roofs, **National Research Council, Division of Building Research**, CBD 228, November 1983, pp:1-4, Canada.
- Taylor, D.A., 1984, Snow loads on two-level flat roofs, Proceedings, Eastern Snow Conference V.29, 4th Annual Meetings, Washington, D.C. June 7-8, pp: 3-13
- Taylor, D.A., 1985, Snow loads on sloping roofs -2 pilot studies- in the ottawa area, **Canadian Journal of Civil Engineering**, Vol:12, No.2, pp.334-343.
- Taylor, D.A., 1987, Snow on multi-level flat roofs in Canada, **55th Western Snow Conference Vancouver**, B.C., April 1987, pp: 133-141, Canada.
- Taylor, D.A., 1992, Snow on two level flat roofs- measured vs. 1990 NBC loads, **Canadian Journal of Civil Engineering**, Vol:19, No.1, pp.59-67.
- Taymaz, H., 1978, Yapı Bilgisi, cilt.2, **MEB Basımevi**, İstanbul.
- Templin, J.T., Schriever, W.R., 1982, Loads due to drifted snow, **Journal of the Structural Division, ASCE**, Vol: 108, No: ST8, p:1916-1925
- TSE.,1987, Design Loads for Buildings, **Türk Standartları Enstitüsü**, Ankara.





EK 1

İİ VE İLÇELERE GÖRE ZATİ KAR YÜKÜ BÖLGELERİ (TSE; 1987)

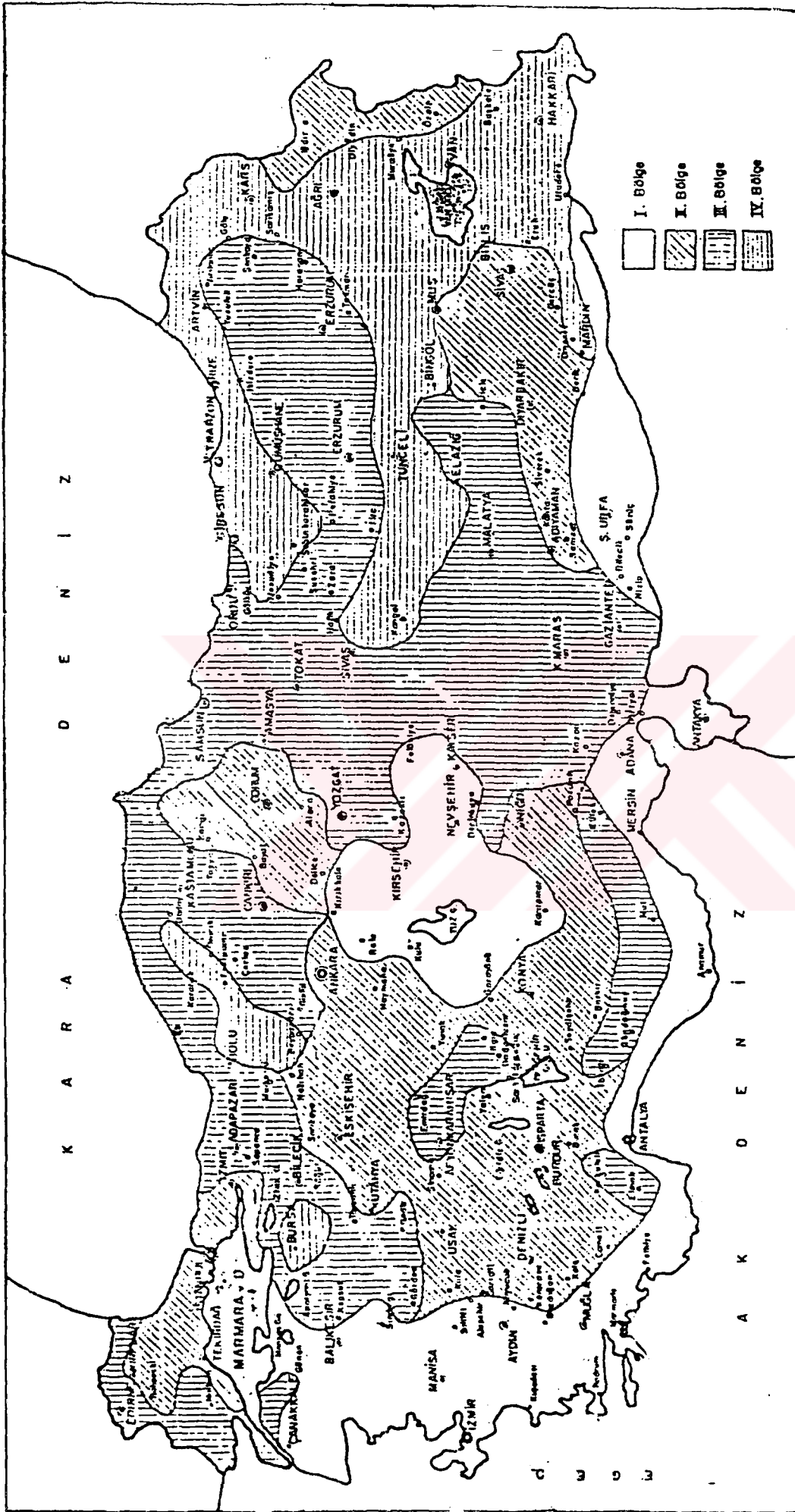
İL/İLÇE	BÖLGE NO.	İL/İLÇE	BÖLGE NO.	İL/İLÇE	BÖLGE NO.
ADANA	I	AMASYA	III	Reyhanlı	I
Bahçe	III	Göynücek	II	Samandağı	I
Ceyhan	I	Gümüşhacıköy	II	Yayladağı	I
Düziçi	III	Merzifon	II	ARTVİN	IV
Feke	III	Sulovaarı	II	Ardanuç	III
Kadirli	III	Taşova	III	Archavi	IV
Karaisali	III	ANKARA	II	Borçka	IV
Karataş	I	Altındağ	I	Hopa	IV
Kozan	III	Ayaş	III	Sarp	IV
Mağara	III	Bala	I	Şavşat	IV
Osmaniye	III	Beypazarı	IV	Yusufeli	III
Pozantı	II	Çamlıdere	III	AYDIN	I
Saimbeyli	III	Çankaya	II	Bozdoğan	I
Yumurtalık	I	Çubuk	III	Çine	I
ADAPAZARI		Delice	II	Germencik	I
Sakarya	III	Elmadağı	IV	Karacasu	II
Akyazı	III	Etimesgut	I	Koçanlı	I
Geyve	III	Güdül	III	Kuşadası	I
Hendek	III	Haymana	II	Kuyucak	I
Karasu	III	Kalecik	III	Nazilli	I
Pamukova	III	Keskin	I	Söke	I
Sapanca	III	Kırıkkale	II	Sultanhisar	I
ADİYAMAN	II	Kızılcihamam	III	Yenipazar	I
Besni	IV	Nallıhan	II	BALIKESİR	I
Çelikhhan	III	Polatlı	II	Ayvalık	I
Gerger	III	Yenimahalle	I	Balya	I
Gölbaşı	IV	ANTALYA	I	Bandırma	I
Rahtaag	II	Akseki	III	Bigadiç	I
Samsat	II	Alanya	I	Burhaniye	I
AFYON	III	Elmalı	III	Dursunbey	III
Bolvadin	III	Finike	I	Edremit	I
Çay	II	Gazipaşa	I	Erdek	I
Dazkırı	II	Gündoğmuş	III	Gönen	I
Dinar	II	İbradi	III	Havran	I
Emirdağ	III	Kaş	I	İvrindi	I
İhsaniye	III	Korkuteli	III	Kepsun	III
Sandıklı	II	Kumluca	I	Manyas	I
Sincanlı	II	Manavgat	I	Savaştepe	I
Şuhut	II	Serik	I	Sindirgi	III
Sultandağı	II	ANTAKYA		Susurluk	III
AĞRI	IV	(Hatay)	I		
(Karaköse)		Altınözü	I		
Diyadin	II	Arsuz	I		
Doğubayazıt	II	Belen	I		
Eleskirt	IV	Dört Yol	I		
Hamur	IV	Erzin	III		
Patnos	IV	Hassa	III		
Taşlıçay	IV	İskenderun	I		
Tutak	IV	Kırıkhan	I		

İL/İLÇE	BÖLGE NO.	İL/İLÇE	BÖLGE NO.	İL/İLÇE	BÖLGE NO.
BİLECİK	III	Biga	III	Lice	II
Bozüyük	III	Çan	I	Silvan	II
Gölpazarı	III	Eceabat	III	EDİRNE	III
Osmaneli	III	Ezine	I	Enez	III
Pazaryeri	III	Gelibolu	III	Havşa	III
Söğüt	III	Lapseki	III	İpsala	III
BİNGÖL	IV	Yenice	I	Keşan	III
Genç	II	ÇANKIRI	III	Lalapasa	III
Karlıova	IV	Çerkeş	III	Meriç	III
Kiğı	IV	Eldivan	III	Uzunköprü	III
Solhon	IV	Eskipazar	IV	ELAZIĞ	III
BİTLİS	IV	İlgaz	III	Ağın	IV
Adilcevaz	IV	Kurşunlu	III	Başkil	III
Ahlat	IV	Orta	III	Karakoçan	III
Hizan	IV	Ovacık	IV	Keban	IV
Kotum	IV	Şabanözü	III	Maden	III
Mutki	II	Yapraklı	III	Palu	III
Tatvan	IV	ÇORUM	II	Sivrice	III
BOLU	III	Alaca	II	ERZİNCAN	III
Akçakoca	III	Bayat	II	Çayırlı	III
Düzce	III	İskilip	II	İliç	III
Gerede	IV	Kargı	II	Kemah	III
Göynük	III	Mecitözü	II	Kemaliye	IV
Kıbrısçık	IV	Ortaköy	II	Refahiye	III
Menyen	IV	Osmancık	II	Tercan	III
Mudurnu	III	Sungurlu	II	ERZURUM	III
Seben	IV	DENİZLİ	II	Aşkale	III
Yığılca	III	Acıpayam	II	Çat	III
BURDUR	II	Babadağ	II	İspir	III
Ağlasun	II	Buldan	II	Hınıs	IV
Bucak	II	Çal	II	Horasan	III
Göhlhisar	II	Çameli	II	Karayazı	IV
Tefenni	II	Çardak	II	Narman	III
Yeşilova	II	Çivril	II	Olur	III
BURSA	IV	Güney	II	Oltu	III
Armutlu	III	Kale	II	Pasinler	III
Gemlik	III	Sarayköy	II	Şenkaya	III
İnegöl	IV	Tavas	II	Tekman	III
İznik	III	DİYARBAKIR	II	Tortum	III
Karacabey	III	Bismil	II	ESKİŞEHİR	II
Keles	IV	Çermik	III	Çifteler	II
Mudanya	III	Çınar	II	Mahmudiye	II
M. Kemalpaşa	III	Çüngüş	III	Mihalıççık	II
Orhaneli	IV	Dicle	III	Sarıkaya	II
Orhangazi	III	Eğil	III	Seyitgazi	II
Yalova	III	Ergani	III	Sivrihisar	II
Yenişehir	III	Hani	II	GAZİANTEP	III
ÇANAKKALE	I	Hazro	II	Araban	IV
Ayvacık	I	Kulp	II	Barak	III
Bayramiç	I				

İL/İLÇE	BÖLGE NO.	İL/İLÇE	BÖLGE NO.	İL/İLÇE	BÖLGE NO.
Çobanbeyi	II	Kadıköy	II	Selim	IV
Fevzipaşa	III	Kartal	II	Susuz	IV
Islahiye	III	Sarıyer	II	Tuzluca	II
Kilis	II	Silivri	II	<u>KASTAMONU</u>	III
Nizip	III	Şile	II	Abana	III
Oğuzeli	III	Şişli	II	Araç	III
Yavuzeli	III	Üsküdar	II	Azdavay	III
<u>GİRESUN</u>	IV	Yalova	II	Bozkurt	III
Alucra	IV	Zeytinburnu	II	Çatalzeytin	III
Bulancak	III	<u>İZMİR</u>	I	Cide	III
Dereli	IV	Aliağa	I	Daday	III
Esbiye	IV	Bayındır	I	Devrekani	III
Eynesil	IV	Bergama	I	İnebolu	III
Görele	IV	Bornova	I	Taşköprü	III
Keşap	IV	Buca	I	Tosya	III
Şebinkarahisar	IV	Çeşme	I	<u>KAYSERİ</u>	I
Tirebolu	IV	Dikili	I	Bünyan	I
<u>GÜMÜŞHANE</u>	III	Foça	I	Develi	III
Bayburt	III	Karaburun	I	Felahiye	I
Kelkit	III	Karşıyaka	I	Hacılar	III
Şiran	III	Kemalpaşa	I	İncesu	I
Torul	IV	Kınık	I	Pınarbaşı	III
<u>HAKKARİ</u>		Kozak	I	Sarıoğlu	III
(Çölemerik)	IV	Menemen	I	Sarız	III
Beytüşşebap	IV	Ödemiş	I	Talas	III
Bacırge	IV	Seferihisar	I	Tomarza	III
Çukurca	IV	Selçuk	I	Viranşehir	III
Şemdinli	IV	Tire	I	Yahyalı	III
Şirelan	IV	Torbalı	I	Yeşilhisar	III
Uludere	IV	Urla	I	<u>KIRKLARELİ</u>	II
Yüksekova	IV	<u>İZMİR</u>		Babaeski	II
<u>ISPARTA</u>	II	(Kocaeli)	II	Demirköy	III
Atabey	II	Gebze	II	Kofcaz	III
Eğridir	II	Gölcük	II	Lüleburgaz	II
Gelendost	II	Hereke	II	Midye	II
Keçiborlu	II	Kandıra	III	Pehlivanköy	II
Senirkent	II	Karamürsel	II	Pınarhisar	III
Sütçüler	II	Kaynarca	III	<u>KIRŞEHİR</u>	I
Şarkikaraağaç	III	<u>KARS</u>	IV	Çiçekdağı	I
Uluborlu	II	Aralık	II	Kaman	I
Yalvaç	II	Ardahan	IV	Kozaklı	III
<u>İSTANBUL</u>	II	Arpaçay	IV	Mucur	I
Bakırköy	II	Çıldır	IV	<u>KONYA</u>	II
Beşiktaş	II	Digar	IV	Akşehir	II
Beykoz	II	Göle	IV	Beyşehir	II
Beyoğlu	II	Hanak	IV	Bozkır	II
Çatalca	II	İğdir	II	Cihanbeyli	I
Eminönü	II	Kağızman	II	Çumra	II
Eyüp	II	Posof	IV	Doğanhisar	II
Gaziosmanpaşa	II	Sarıkamış	IV	Ereğli	II

İL/İLÇE	BÖLGE NO.	İL/İLÇE	BÖLGE NO.	İL/İLÇE	BÖLGE NO.
Ermenek	II	<u>MARDİN</u>	II	Ünye	III
Hadım	II	Cizre	I	<u>RİZE</u>	IV
Ilgın	II	Derbesiye	I	Ardeşen	IV
Kadınhanı	II	Derik	I	Çamlıhemşin	IV
Karaman	II	Gercüş	II	Çayeli	IV
Karapınar	I	Hasankeyf	II	Fındıklı	IV
Kulu	I	İdil	I	İkizdere	III
Sarayönü	II	Kızıltepe	I	Pazar	IV
Seydişehir	II	Mazıdağı	I	<u>SAMSUN</u>	III
Yunak	II	Midyat	IV	Alaçam	III
Zıvarık	I	Nusaybin	I	Bafra	III
<u>KÜTAHYA</u>	III	Ömerli	IV	Çarşamba	III
Altıntaş	II	Savur	II	Havza	II
Dağardı	III	Silopi	I	Kavak	III
Domaniç	III	<u>MUĞLA</u>	I	Ladik	III
Dumlupınar	II	Bodrum	I	Terme	III
Emet	III	Dalaman	I	Vezirköprü	III
Gediz	III	Datça	I	<u>SİİRT</u>	II
Simav	III	Fethiye	I	Batman	II
Tavşanlı	III	Güllük	I	Baykan	II
<u>MALATYA</u>	III	Köyceğiz	I	Beşiri	II
Ağın	IV	Marmaris	I	Eruh	IV
Akçadağ	III	Milas	I	Kozluk	II
Arapkir	IV	Ula	I	Kurtalan	II
Arguvan	IV	Yatağan	I	Pervari	IV
Darende	III	<u>MUŞ</u>	III	Sason	II
Doğanşehir	III	Bulanık	IV	Şirnak	IV
Hekimhan	III	Malazgirt	IV	Şirvan	II
Pötürge	III	Varto	IV	<u>SİNOP</u>	III
Yeşilyurt	III	<u>NEVŞEHİR</u>	I	Ayancık	III
<u>MANİSA</u>	I	Avanos	I	Boyabat	III
Akhisar	I	Derinkuyu	I	Durağan	III
Alaşehir	I	Gülşehir	I	Gerze	III
Demirci	III	Hacıbektaş	I	Türkeli	III
Gölmarmara	I	Ürgüp	I	<u>SİVAS</u>	III
Gördes	III	<u>NİĞDE</u>	II	Divriği	IV
Kırkağaç	I	Aksaray	I	Gemerek	III
Kula	II	Bor	II	Gürün	III
Salihli	I	Çamardı	II	Hafik	III
Sarıgöl	II	Ortaköy	II	İmranlı	III
Saruhanlı	I	Ulukışla	II	Kangal	IV
Selendi	II	<u>ORDU</u>	III	Koyulhisar	III
Soma	I	Akkuş	III	Suşehri	III
Turgutlu	I	Aybastı	III	Şarkışla	III
<u>K.MARAŞ</u>	III	Fatsa	III	Yıldızeli	III
Afşin	III	Gölköy	III	Zara	III
Andırın	III	Korgan	III	<u>TEKİRDAĞ</u>	II
Elbistan	III	Kumru	III	Alpullu	II
Göksun	III	Mesudiye	III	Çorlu	II
Pazarcık	III	Perşembe	III	Ganos	II
Türkoğlu	III	Ulubey	III	Hayrabolu	III

İL/İLÇE	BÖLGE NO.	İL/İLÇE	BÖLGE NO.
Malkara	III	<u>VAN</u>	IV
Muratlı	II	Başkale	IV
Mürefte	II	Çatak	IV
Saray	II	Gevaş	IV
Şarköy	II	Gürpınar	IV
<u>TOKAT</u>	III	Muradiye	II
Almus	III	Özalp	II
Artova	III	<u>YOZGAT</u>	III
Erbaa	III	Akdağmadeni	III
Niksar	III	Boğazköy	I
Reşadiye	III	Boğazlıyan	III
Turhal	III	Çayıralan	III
Zile	III	Çekerek	III
<u>TRABZON</u>	IV	Sarıkaya	III
Akçaaabat	IV	Sorgun	III
Araklı	IV	Şefaatli	III
Arsin	IV	Yerköy	III
Çaykara	III	<u>ZONGULDAK</u>	III
Maçka	IV	Amasra	III
Of	IV	Bartın	III
Sürmene	IV	Çaycuma	III
Tonya	IV	Devrek	III
Vakfıkebir	IV	Eflani	IV
Yomra	IV	Ereğli	III
<u>TUNCELİ</u>	IV	Karabük	III
Çemişgezek	IV	Kilimli	III
Hozat	IV	Kozlu	III
Kalan	IV	Kurucasıle	III
Mazgirt	IV	Safranbolu	IV
Nazimiye	IV	Ulus	III
Ovacık	IV		
Pertek	IV		
Pülümür	IV		
<u>Ş. URFA</u>	I		
Akçakale	I		
Birecik	I		
Bozova	I		
Ceylanpınar	I		
Hilvan	II		
Siverek	II		
Sürüç	I		
Viranşehir	I		
<u>UŞAK</u>	II		
Banaz	II		
Eşme	II		
Karahallı	II		
Sivaslı	II		
Ulubey	II		



EK 2

İstasyon Adı: Divriği

yıl	ist. Kot (m)	¹ H _s (mm)	² H _w (mm)	³ H _w (mm)
1950	1250	250	59,750	55,325
1951	1250	40	9,560	1,565
1952	1250	0	0	0
1953	1250	0	0	0
1954	1250	410	97,990	96,285
1955	1250	40	9,560	1,565
1956	1250	110	26,290	19,485
1957	1250	550	131,450	132,125
1958	1250	40	9,560	1,565
1959	1250	150	35,850	29,725
1960	1250	110	26,290	19,485
1961	1250	170	40,630	34,845
1962	1250	110	26,290	19,485
1963	1250	50	11,950	4,125
1964	1250	190	45,410	39,965
1965	1250	190	45,410	39,965
1966	1250	230	54,970	50,205
1967	1250	190	45,410	39,965
1968	1250	340	81,260	78,365
1969	1250	250	59,750	55,325
1970	1250	230	54,970	50,205
1971	1250	40	9,560	1,565
1972	1250	210	50,190	45,085
1973	1250	260	62,140	57,885
1974	1250	320	76,480	73,245
1975	1250	310	74,090	70,685
1976	1250	950	227,050	234,525
1977	1250	180	43,020	37,405
1978	1250	140	33,460	27,165
1979	1250	110	26,290	19,485
1980	1250	170	40,630	34,845
1981	1250	150	35,850	29,725
1982	1250	120	28,680	22,045
1983	1250	270	64,530	60,445
1984	1250	80	19,120	11,805
1985	1250	280	66,920	63,005
1986	1250	270	64,530	60,445
1987	1250	380	90,820	88,605
1988	1250	360	86,040	83,485
1989	1250	100	23,90	16,925

¹ Yıllık maksimum kar derinliği² 1. Tahmin modeline göre tahmini kar-su eşdeğeri³ 2. Tahmin modeline göre tahmini kar-su eşdeğeri

yıl	ist. Kot (m)	⁴ H _s (mm)	⁵ H _w (mm)	⁶ H _w (mm)
1990	1250	340	81,260	78,365
1991	1250	310	74,090	70,685
1992	1250	490	117,110	116,765
1993	1250	370	88,430	86,045
1994	1250	110	26,290	19,485
1995	1250	250	59,750	55,325
1996	1250	210	50,190	45,085

⁴ Yıllık maksimum kar derinliği

⁵ 1. Tahmin modeline göre tahmini kar-su eşdeğeri

⁶ 2. Tahmin modeline göre tahmini kar-su eşdeğeri

İstasyon Adı: Yıldızeli

yıl	ist. kotu (m)	¹ Hs (mm)	² Hw (mm)	³ Hw (mm)
1954	1415	670	170,850	170,703
1955	1415	200	51,000	51,323
1956	1415	0	0	0,523
1957	1415	0	0	0,523
1958	1415	250	63,750	64,023
1959	1415	50	12,750	13,223
1960	1415	120	30,600	31,003
1961	1415	200	51,000	51,323
1962	1415	90	22,950	23,383
1963	1415	150	38,250	38,623
1964	1415	90	22,950	23,383
1965	1415	150	38,250	38,623
1966	1415	210	53,550	53,863
1967	1415	0	0	0
1968	1415	540	137,700	137,683
1969	1415	20	5,100	5,603
1970	1415	0	0	0
1971	1415	90	22,950	23,383
1972	1415	0	0	0
1973	1415	100	25,500	25,923
1974	1415	290	73,950	74,183
1975	1415	0	0	0
1976	1415	680	173,400	173,243
1977	1415	350	89,250	89,423
1978	1415	360	91,800	91,963
1979	1415	250	63,750	64,023
1980	1415	480	122,400	122,443
1981	1415	320	81,600	81,803
1982	1415	340	86,700	86,883
1983	1415	410	104,550	104,660
1984	1415	10	2,550	3,063
1985	1415	0	0	0
1986	1415	240	61,200	61,483
1987	1415	440	112,200	112,283
1988	1415	290	73,950	74,183
1989	1415	360	91,800	91,963
1990	1415	160	40,800	41,163

¹ Yıllık maksimum kar derinliği² 1. Tahmin modeline göre tahmini kar-su eşdeğeri³ 2. Tahmin modeline göre tahmini kar-su eşdeğeri

İstasyon Adı: Zara

yıl	ist. kotu (m)	¹ Hs (mm)	² Hw (mm)	³ Hw (mm)
1957	1348	450	114,750	113,889
1958	1348	310	79,050	79,589
1959	1348	560	142,800	140,839
1960	1348	720	183,600	180,039
1961	1348	680	173,400	170,239
1962	1348	430	109,650	108,989
1963	1348	120	30,600	33,039
1964	1348	130	33,150	35,489
1965	1348	340	86,700	86,939
1966	1348	220	56,100	57,539
1967	1348	350	89,250	89,389
1968	1348	680	173,400	170,239
1969	1348	320	81,600	82,039
1970	1348	210	53,550	55,089
1971	1348	110	28,050	30,589
1972	1348	360	91,800	91,839
1973	1348	140	35,700	37,939
1974	1348	270	68,850	69,789
1975	1348	240	61,200	62,439
1976	1348	570	145,350	143,289
1977	1348	180	45,900	47,739
1978	1348	290	73,950	74,689
1979	1348	200	51,000	52,639
1980	1348	590	150,450	148,189
1981	1348	120	30,600	33,039
1982	1348	370	94,350	94,289
1983	1348	300	76,500	77,139
1984	1348	130	33,150	35,489
1985	1348	570	145,350	143,289
1986	1348	330	84,150	84,489
1987	1348	490	124,950	123,689
1988	1348	730	186,150	182,489
1989	1348	490	124,950	123,689
1990	1348	210	53,550	55,089
1991	1348	170	43,350	45,289
1992	1348	540	137,700	135,939
1993	1348	380	96,900	96,739
1994	1348	190	48,450	50,189
1995	1348	270	68,850	69,789
1996	1348	200	51,000	52,639

¹ Yıllık maksimum kar derinliği² 1. Tahmin modeline göre tahmini kar-su eşdeğeri³ 2. Tahmin modeline göre tahmini kar-su eşdeğeri

İstasyon Adı: Gemerek

yıl	ist.kotu (m)	¹ Hs (mm)	² Hw (mm)	³ Hw (mm)
1957	1173	520	133,640	130,39
1958	1173	100	25,70	29,179
1959	1173	160	41,120	43,639
1960	1173	170	43,690	46,049
1961	1173	100	25,700	29,179
1962	1173	330	84,810	84,609
1963	1173	140	35,980	38,819
1964	1173	110	28,270	31,589
1965	1173	60	15,420	19,539
1966	1173	160	41,120	43,639
1967	1173	200	51,400	53,279
1968	1173	300	77,100	77,379
1969	1173	100	25,700	29,179
1970	1173	190	48,830	50,869
1971	1173	90	23,130	26,769
1972	1173	230	59,110	60,509
1973	1173	100	25,700	29,179
1974	1173	510	131,00	127,980
1975	1173	280	71,960	72,559
1976	1173	420	107,940	106,29
1977	1173	230	59,110	60,509
1978	1173	310	79,670	79,789
1979	1173	150	38,550	41,229
1980	1173	260	66,820	67,739
1981	1173	120	30,840	33,999
1982	1173	140	35,980	38,819
1983	1173	190	48,830	50,869
1984	1173	100	25,700	29,179
1985	1173	230	59,110	60,509
1986	1173	150	38,550	41,229
1987	1173	220	56,540	58,099
1988	1173	320	82,240	82,199
1989	1173	280	71,960	72,559
1990	1173	180	46,260	48,459
1991	1173	250	64,250	65,329
1992	1173	330	84,810	84,609
1993	1173	170	43,690	46,049
1994	1173	110	28,270	31,589
1995	1173	470	120,790	118,341
1996	1173	140	35,980	38,8190

¹ Yıllık maksimum kar derinliği² 1. Tahmin modeline göre tahmini kar-su eşdeğeri³ 2. Tahmin modeline göre tahmini kar-su eşdeğeri

İstasyon Adı: Hafik

yıl	ist. kotu (m)	¹ Hs (mm)	² Hw (mm)	³ Hw (mm)
1958	1275	80	19,280	24,762
1959	1275	330	79,530	85,012
1960	1275	220	53,020	58,502
1961	1275	90	21,690	27,172
1962	1275	230	55,430	60,912
1963	1275	140	33,740	39,222
1964	1275	320	77,120	82,602
1965	1275	220	53,020	58,502
1966	1275	210	50,610	56,092
1967	1275	350	84,350	89,832
1968	1275	460	110,860	116,342
1969	1275	270	65,070	70,552
1970	1275	200	48,200	53,682
1971	1275	80	19,280	24,762
1972	1275	600	144,600	150,082
1973	1275	200	48,200	53,682
1974	1275	420	101,220	106,702
1975	1275	350	84,350	89,832
1976	1275	760	183,160	188,642
1977	1275	230	55,430	60,9125
1978	1275	340	81,940	87,422
1979	1275	200	48,200	53,682
1980	1275	450	108,450	113,932
1981	1275	180	43,380	48,862
1982	1275	270	65,070	70,552
1983	1275	500	120,500	125,982
1984	1275	140	33,740	39,222
1985	1275	480	115,680	121,162
1986	1275	180	43,380	48,862
1987	1275	350	84,350	89,832
1988	1275	360	86,760	92,242
1989	1275	400	96,400	101,885
1990	1275	210	50,610	56,092
1991	1275	150	36,150	41,632

¹ Yıllık maksimum kar derinliği² 1. Tahmin modeline göre tahmini kar-su eşdeğeri³ 2. Tahmin modeline göre tahmini kar-su eşdeğeri

İstasyon Adı: İmranlı

yıl	ist. kotu (m)	¹ Hs	² Hw (mm)	³ Hw (mm)
1960	1550	250	63,75	65,435
1961	1550	60	15,3	18,885
1962	1550	0	0	0
1963	1550	230	58,65	60,535
1964	1550	1080	275,4	268,785
1965	1550	1420	362,1	352,085
1966	1550	610	155,55	153,635
1967	1550	810	206,55	202,635
1968	1550	2150	548,25	530,935
1969	1550	480	122,4	121,785
1970	1550	100	25,5	28,685
1971	1550	180	45,9	48,285
1972	1550	560	142,8	141,385
1973	1550	370	94,35	94,835
1974	1550	490	124,95	124,235
1975	1550	670	170,85	168,335
1976	1550	850	216,75	212,435
1977	1550	380	96,9	97,285
1978	1550	650	165,75	163,435
1979	1550	290	73,95	75,235
1980	1550	590	150,45	148,735
1981	1550	460	117,3	116,885
1982	1550	470	119,85	119,335
1983	1550	590	150,45	148,735
1984	1550	40	10,2	13,985
1985	1550	1080	275,4	268,785
1986	1550	640	163,2	160,985
1987	1550	870	221,85	217,335
1988	1550	760	193,8	190,385
1989	1550	530	135,15	134,035
1990	1550	500	127,5	126,685
1991	1550	530	135,15	134,035
1992	1550	750	191,25	187,935
1993	1550	670	170,85	168,335
1994	1550	370	94,35	94,835

¹ Yıllık maksimum kar derinliği² 1. Tahmin modeline göre tahmini kar-su eşdeğeri³ 2. Tahmin modeline göre tahmini kar-su eşdeğeri

İstasyon Adı: Kangal

yıl	ist. kot (m)	¹ Hs (mm)	² Hw (mm)	³ Hw (mm)
1946	1545	320	81,600	81,85165
1947	1545	1260	321,300	320,6117
1948	1545	670	170,850	170,7517
1949	1545	1650	420,750	419,6717
1950	1545	650	165,750	165,6717
1951	1545	440	112,200	112,3317
1952	1545	540	137,700	137,7317
1953	1545	630	160,650	160,5917
1954	1545	1040	265,200	264,7317
1955	1545	180	45,900	46,29165
1956	1545	310	79,050	79,31165
1957	1545	570	145,350	145,3517
1958	1545	210	53,550	53,91165
1959	1545	300	76,500	76,77165
1960	1545	110	28,050	28,51165
1961	1545	360	91,800	92,01165
1962	1545	260	66,300	66,61165
1963	1545	170	43,350	43,75165
1964	1545	370	94,350	94,55165
1965	1545	230	58,650	58,99165
1966	1545	300	76,500	76,77165
1967	1545	810	206,550	206,3117
1968	1545	720	183,600	183,4517
1969	1545	700	178,500	178,3717
1970	1545	150	38,250	38,67165
1971	1545	140	35,700	36,13165
1972	1545	500	127,500	127,5717
1973	1545	160	40,800	41,21165
1974	1545	360	91,800	92,01165
1975	1545	540	137,700	137,7317
1976	1545	1450	369,750	368,8717
1977	1545	320	81,600	81,85165
1978	1545	390	99,450	99,63165
1979	1545	160	40,800	41,21165
1980	1545	0	0	0
1981	1545	170	43,350	43,75165
1982	1545	280	71,400	71,69165
1983	1545	700	178,500	178,3717
1984	1545	130	33,150	33,59165
1985	1545	1100	280,500	279,9717
1986	1545	770	196,350	196,1517

¹ Yıllık maksimum kar derinliği² 1. Tahmin modeline göre tahmini kar-su eşdeğeri³ 2. Tahmin modeline göre tahmini kar-su eşdeğeri

İstasyon Adı: Şarkışla

yıl	ist.kot(m)	¹ Hs (mm)	² Hw (mm)	³ Hw (mm)
1939	1180	280	71,400	71,556
1940	1180	440	112,200	112,196
1941	1180	190	48,450	48,696
1942	1180	300	76,500	76,636
1943	1180	370	94,350	94,416
1944	1180	60	15,300	15,676
1945	1180	300	76,500	76,636
1946	1180	10	2,550	2,976
1947	1180	250	63,750	63,936
1948	1180	50	12,750	13,136
1949	1180	200	510,000	51,236
1950	1180	450	114,750	114,736
1951	1180	120	30,600	30,916
1952	1180	280	71,400	71,556
1953	1180	300	76,500	76,636
1954	1180	600	153,000	152,836
1955	1180	200	51,000	51,236
1956	1180	310	79,050	79,176
1957	1180	500	127,500	127,436
1958	1180	30	7,650	8,056
1959	1180	260	66,300	66,476
1960	1180	180	45,900	46,156
1961	1180	240	61,200	61,396
1962	1180	630	160,650	160,456
1963	1180	220	56,100	56,316
1964	1180	580	147,900	147,756
1965	1180	210	53,550	53,776
1966	1180	210	53,550	53,776
1967	1180	450	114,750	114,736
1968	1180	620	158,100	157,916
1969	1180	660	168,300	168,076
1970	1180	340	86,700	86,796
1971	1180	280	71,400	71,556
1972	1180	540	137,700	137,596
1973	1180	120	30,600	30,916
1974	1180	0	0	0
1975	1180	340	86,700	86,796
1976	1180	410	104,550	104,576
1977	1180	280	71,400	71,556
1978	1180	260	66,300	66,476
1979	1180	160	40,800	41,076

¹ Yıllık maksimum kar derinliği² 1. Tahmin modeline göre tahmini kar-su eşdeğeri³ 2. Tahmin modeline göre tahmini kar-su eşdeğeri

1980	1180	330	84,150	84,256
yıl	ist.kot(m)	⁴ Hs (mm)	⁵ Hw (mm)	⁶ Hw (mm)
1981	1180	140	35,700	35,996
1982	1180	260	66,300	66,476
1983	1180	190	48,450	48,696
1984	1180	10	2,550	2,976
1985	1180	260	66,300	66,476
1986	1180	90	22,950	23,296
1987	1180	240	61,200	61,396
1988	1180	120	30,600	30,916
1989	1180	320	81,600	81,716
1990	1180	140	35,700	35,996
1991	1180	190	48,450	48,696
1992	1180	290	73,950	74,096
1993	1180	300	76,500	76,636
1994	1180	130	33,150	33,456
1995	1180	200	51,000	51,236

⁴ Yıllık maksimum kar derinliği

⁵ 1. Tahmin modeline göre tahmini kar-su eşdeğeri

⁶ 2. Tahmin modeline göre tahmini kar-su eşdeğeri

İstasyon Adı: Sivas

yıl	ist. kotu (m)	¹ Hs (mm)	² Hw (mm)	³ Hw (mm)
1931	1285	250	64,250	65,775
1932	1285	430	110,510	109,155
1933	1285	350	89,950	89,875
1934	1285	370	95,090	94,695
1935	1285	320	82,240	82,645
1936	1285	210	53,970	56,135
1937	1285	1020	262,140	251,345
1938	1285	270	69,390	70,595
1939	1285	530	136,210	133,255
1940	1285	540	138,780	135,665
1941	1285	270	69,390	70,595
1942	1285	830	213,310	205,555
1943	1285	490	125,930	123,615
1944	1285	180	46,260	48,905
1945	1285	320	82,240	82,645
1946	1285	80	20,560	24,805
1947	1285	480	123,360	121,205
1948	1285	130	33,410	36,855
1949	1285	810	208,170	200,735
1950	1285	1100	282,700	270,625
1951	1285	140	35,980	39,265
1952	1285	330	84,810	85,055
1953	1285	260	66,820	68,185
1954	1285	970	249,290	239,295
1955	1285	270	69,390	70,595
1956	1285	400	102,800	101,9255
1957	1285	300	77,100	77,825
1958	1285	240	61,680	63,365
1959	1285	170	43,690	46,495
1960	1285	210	53,970	56,135
1961	1285	270	69,390	70,595
1962	1285	90	23,130	27,215
1963	1285	90	23,130	27,215
1964	1285	130	33,410	36,855
1965	1285	180	46,260	48,905
1966	1285	200	51,400	53,725
1967	1285	330	84,810	85,055
1968	1285	300	77,100	77,825
1969	1285	300	77,100	77,825
1970	1285	110	28,270	32,035
1971	1285	90	23,130	27,215

¹ Yıllık maksimum kar derinliği² 1. Tahmin modeline göre tahmini kar-su eşdeğeri³ 2. Tahmin modeline göre tahmini kar-su eşdeğeri

1972	1285	450	115,650	113,975
1973	1285	40	10,280	15,165
1974	1285	310	79,670	80,235
yıl	ist. kotu (m)	⁴ Hs (mm)	⁵ Hw (mm)	⁶ Hw (mm)
1975	1285	440	113,080	111,565
1976	1285	670	172,190	166,995
1977	1285	220	56,540	58,545
1978	1285	250	64,250	65,775
1979	1285	170	43,690	46,495
1980	1285	400	102,800	101,925
1981	1285	150	38,550	41,675
1982	1285	190	48,830	51,315
1983	1285	220	56,540	58,545
1984	1285	120	30,840	34,445
1985	1285	410	105,370	104,335
1986	1285	180	46,260	48,905
1987	1285	440	113,080	111,565
1988	1285	320	82,240	82,645
1989	1285	480	123,360	121,205
1990	1285	250	64,250	65,775
1991	1285	330	84,810	85,055
1992	1285	520	133,640	130,845
1993	1285	600	154,200	150,125
1994	1285	150	38,550	41,675
1995	1285	330	84,810	85,055
1996	1285	120	30,084	34,445

⁴ Yıllık maksimum kar derinliği

⁵ 1. Tahmin modeline göre hesaplanan kar-su eşdeğeri

⁶ 2. Tahmin modeline göre hesaplanan kar-su eşdeğeri

İstasyon Adı: Suşehri

yıl	ist kotu (m)	¹ Hs (mm)	² Hw (mm)	³ Hw (mm)
1951	950	140	33,180	40,085
1952	950	260	61,620	63,125
1953	950	0	0	0
1954	950	0	0	0
1955	950	0	0	0
1956	950	0	0	0
1957	950	0	0	0
1958	950	330	78,210	76,565
1959	950	280	66,360	66,965
1960	950	260	61,620	63,125
1961	950	350	82,950	80,405
1962	950	100	23,700	32,405
1963	950	0	0	0
1964	950	130	30,810	38,165
1965	950	200	47,400	51,605
1966	950	120	28,440	36,245
1967	950	430	101,910	95,765
1968	950	250	59,250	61,205
1969	950	200	47,400	51,605
1970	950	60	14,220	24,725
1971	950	280	66,360	66,965
1972	950	200	47,400	51,605
1973	950	120	28,440	36,245
1974	950	390	92,430	88,085
1975	950	590	139,830	126,485
1976	950	730	173,010	153,365
1977	950	230	54,510	57,365
1978	950	360	85,320	82,325
1979	950	60	14,220	24,725
1980	950	240	56,880	59,285
1981	950	330	78,210	76,565
1982	950	130	30,810	38,165
1983	950	390	92,430	88,085
1984	950	90	21,330	30,485
1985	950	520	123,240	113,045
1986	950	170	40,290	45,845
1987	950	380	90,060	86,165
1988	950	590	139,830	126,485
1989	950	250	59,250	61,205
1990	950	320	75,840	74,645

¹ Yıllık maksimum kar derinliği² 1. Tahmin modeline göre tahmini kar-su eşdeğeri³ 2. Tahmin modeline göre tahmini kar-su eşdeğeri

yıl	ist kotu (m)	⁴ Hs (mm)	⁵ Hw (mm)	⁶ Hw (mm)
1991	950	560	132,720	120,725
1992	950	620	146,940	132,245
1993	950	320	75,840	74,645
1994	950	420	99,540	93,845
1995	950	520	123,240	113,045
1996	950	400	94,800	90,005

⁴ Yıllık maksimum kar derinliği

⁵ 1. Tahmin modeline göre tahmini kar-su eşdeğeri

⁶ 2. Tahmin modeline göre tahmini kar-su eşdeğeri

İstasyon Adı: Ulaş

yıl	ist. kotu (m)	¹ Hs	² Hw	³ Hw
1957	1280	540	151,200	172,006
1958	1280	150	42,000	53,446
1959	1280	0	0	0
1960	1280	30	8,400	16,966
1961	1280	260	72,800	86,886
1962	1280	0	0	0
1963	1280	60	16,800	26,086
1964	1280	60	16,800	26,086
1965	1280	90	25,200	35,206
1966	1280	200	56,000	68,646
1967	1280	450	126,000	144,646
1968	1280	700	196,000	220,646
1969	1280	40	11,200	20,006
1970	1280	110	30,800	41,286
1971	1280	70	19,600	29,126
1972	1280	250	70,000	83,846
1973	1280	40	11,200	20,006
1974	1280	170	47,600	59,526
1975	1280	420	117,600	135,526
1976	1280	0	0	0
1977	1280	260	72,800	86,886
1978	1280	360	100,800	117,286

¹ Yıllık maksimum kar derinliği² 1. Tahmin modeline göre tahmini kar-su eşdeğeri³ 2. Tahmin modeline göre tahmini kar-su eşdeğeri

Kar Kursu Adı: Arapça

Tarih	Hs (mm)	ρ_s (kg/m ³)	Hw (mm)	Kot (m)
28.02.1968	197	0,49	96	1550
07.03.1969	272	0,40	109	1570
28.12.1970	99	0,40	40	1450
03.01.1972	291	0,28	81	1450
09.02.1972	279	0,27	81	1450
16.03.1972	154	0,52	81	1450
22.01.1973	75	0,41	31	1450
07.03.1974	150	0,31	47	1513
08.01.1975	579	0,21	122	1513
30.01.1975	376	0,27	101	1513
11.01.1975	464	0,25	116	1513
21.02.1975	418	0,25	104	1513
13.01.1976	470	0,16	75	1513
28.01.1976	864	0,12	104	1513
18.02.1976	813	0,26	211	1513
13.01.1977	274	0,19	52	1513
09.02.1977	175	0,31	54	1513
22.02.1978	394	0,28	110	1513
11.01.1980	331	0,19	63	1513
21.02.1980	415	0,23	96	1513
04.03.1980	475	0,23	109	1513
30.12.1980	660	0,39	258	1513
26.01.1981	151	0,45	68	1513
05.02.1981	141	0,19	27	1513
17.02.1981	146	0,31	45	1513
27.01.1982	224	0,20	45	1600
23.02.1982	429	0,20	86	1513
29.03.1982	165	0,35	57	1600
13.01.1983	312	0,10	31	1600
02.02.1983	226	0,44	100	1600
16.02.1983	457	0,18	80	1600
09.03.1983	587	0,21	123	1600
14.03.1983	565	0,29	164	1600
23.03.1983	367	0,56	205	1600
18.01.1984	71	0,04	3	1600
02.02.1984	159	0,86	137	1600
16.02.1984	218	0,03	7	1600
18.12.1984	210	0,39	81	1600
25.12.1984	175	0,22	39	1600
02.01.1985	161	0,21	34	1513
22.01.1985	672	0,18	121	1513

05.03.1985	726	0,20	145	1500
Tarih	Hs (mm)	ρ_s (kg/m ³)	Hw (mm)	Kot (m)
06.11.1985	98	0,36	35	1500
19.12.1985	215	0,20	43	1500
13.01.1986	208	0,31	65	1500
22.01.1986	399	0,31	124	1500
17.02.1986	411	0,31	128	1500
24.02.1986	319	0,26	83	1500
04.03.1986	260	0,33	86	1500
13.01.1986	109	0,07	8	1513
22.12.1986	149	0,15	22	1513
31.12.1986	287	0,20	57	1513
07.01.1987	649	0,19	123	1513
22.01.1987	570	0,20	114	1513
11.02.1987	715	0,35	250	1513
12.03.1987	566	0,20	113	1513
25.03.1987	594	0,37	222	1513
01.02.1988	394	0,18	71	1513
18.02.1988	364	0,20	73	1513
24.03.1988	427	0,34	145	1513
28.03.1988	357	0,39	139	1513
04.01.1989	250	0,14	35	1513
30.01.1989	369	0,21	78	1513
09.02.1989	404	0,22	89	1513
25.12.1989	217	0,33	72	1513
03.01.1990	230	0,31	71	1513
15.01.1990	241	0,26	63	1513
08.02.1990	262	0,31	81	1513
26.02.1990	262	0,37	97	1513
18.02.1991	309	0,22	68	1513
11.03.1991	297	0,38	113	1513
07.01.1992	262	0,19	50	1513
22.01.1992	361	0,19	69	1513
11.02.1992	531	0,20	106	1513
27.02.1992	725	0,08	58	1513
04.03.1992	668	0,15	100	1513
13.03.1992	681	0,16	109	1513
06.01.1993	378	0,21	79	1513
18.01.1993	390	0,12	47	1513
16.02.1993	526	0,20	105	1513
24.02.1993	596	0,25	149	1513
12.03.1993	662	0,31	205	1513
16.03.1993	504	0,35	176	1513
02.12.1993	163	0,13	21	1513

17.12.1994	345	0,25	86	1513
Tarih	Hs (mm)	ρ_s (kg/m ³)	Hw (mm)	Kot (m)
25.02.1994	286	0,29	83	1513
1995	0	0	0	0
1996	0	0	0	0

Kar Kursu Adı: Çatpınar

Tarih	Hs (mm)	ρ_s (kg/m ³)	Hw (mm)	Kot (m)
09.03.1969	272	0,30	82	1450
27.01.1970	124	0,12	15	1450
24.12.1970	94	0,42	39	1450
07.01.1972	207	0,27	56	1450
24.02.1972	380	0,23	86	1450
04.03.1973	178	0,34	61	1450
23.01.1973	149	0,33	49	1430
19.12.1973	109	0,23	25	1430
11.02.1974	356	0,22	77	1430
17.02.1975	418	0,28	117	1430
21.02.1975	511	0,27	138	1430
11.03.1975	442	0,26	115	1430
17.04.1976	544	0,35	190	1430
17.01.1977	136	0,29	39	1430
11.01.1978	178	0,25	44	1430
05.02.1979	314	0,23	72	1430
14.01.1980	211	0,58	122	1395
22.02.1980	250	0,20	50	1395
25.03.1980	179	0,23	41	1395
22.12.1980	112	0,41	46	1395
12.03.1982	84	0,27	23	1395
01.02.1983	364	0,02	9	1395
15.02.1983	353	0,30	107	1395
11.03.1983	533	0,33	174	1395
21.03.1983	504	0,34	171	1395
20.01.1984	166	0,02	3	1395
03.02.1984	131	0,32	42	1395
17.12.1984	347	0,41	142	1395
26.12.1984	259	0,28	73	1395
03.01.1985	239	0,20	48	1395
23.01.1985	194	0,36	70	1395
13.02.1985	193	0,45	86	1395
07.03.1985	384	0,24	91	1395
13.03.1985	264	0,27	71	1395
09.12.1985	72	0,40	29	1395
23.12.1985	99	0,32	32	1395
09.01.1986	88	0,43	38	1395
23.01.1986	194	0,16	31	1395
14.02.1986	212	0,24	51	1395
21.01.1987	458	0,30	138	1395
13.03.1987	208	0,30	62	1395

06.01.1988	196	0,18	35	1395
Tarih	Hs (mm)	ρ_s (kg/m ³)	Hw (mm)	Kot (m)
11.03.1988	377	0,32	121	1395
14.02.1989	358	0,15	54	1395
04.01.1990	182	0,19	35	1395
18.01.1990	241	0,15	36	1395
07.02.1990	246	0,22	54	1395
19.02.1991	312	0,28	87	1395
12.03.1991	307	0,34	104	1395
06.01.1992	286	0,19	54	1395
23.01.1992	301	0,19	57	1395
12.02.1992	505	0,21	106	1395
28.02.1992	653	0,10	65	1395
06.03.1992	648	0,25	162	1395
18.03.1992	352	0,30	106	1395
13.01.1993	514	0,24	123	1395
19.01.1993	511	0,18	92	1395
17.02.1993	659	0,25	165	1395
25.02.1993	535	0,30	160	1395
11.03.1993	545	0,30	163	1395
17.03.1993	409	0,34	139	1395
18.02.1994	330	0,25	83	1395
1995	0	0	0	0
1996	0	0	0	0

Kar Kursu Adı: Kayakevi

Tarih	Hs (mm)	ρ_s (kg/m ³)	Hw (mm)	Kot (m)
31.12.1984	98	0,33	32	1565
14.01.1985	192	0,24	46	1565
29.01.1985	185	0,30	56	1565
14.02.1985	224	0,27	60	1565
04.03.1985	260	0,30	89	1565
15.03.1985	359	0,28	101	1565
17.12.1985	80	0,21	17	1565
20.12.1985	125	0,26	33	1565
20.01.1986	140	0,16	23	1565
12.02.1986	311	0,22	68	1565
14.11.1986	112	0,16	18	1565
22.12.1986	98	0,34	33	1565
03.01.1987	118	0,18	21	1565
23.01.1987	443	0,24	106	1565
20.03.1987	201	0,21	42	1565
28.12.1987	117	0,14	16	1565
26.01.1988	265	0,15	39	1565
28.01.1988	305	0,15	46	1565
10.02.1988	362	0,24	87	1565
29.02.1988	424	0,22	93	1565
14.03.1988	465	0,33	154	1565
28.03.1988	187	0,31	58	1565
05.01.1989	122	0,12	15	1565
26.01.1989	211	0,15	32	1565
10.02.1989	241	0,16	39	1565
05.01.1990	239	0,13	31	1565
19.01.1990	220	0,26	57	1565
05.02.1990	287	0,18	52	1565
23.02.1990	225	0,26	58	1565
01.02.1991	359	0,13	47	1565
13.03.1991	339	0,34	115	1565
02.01.1992	384	0,13	50	1565
10.01.1992	298	0,18	54	1565
24.01.1992	340	0,2	68	1565
13.02.1992	544	0,18	98	1565
25.02.1992	644	0,17	109	1565
05.03.1992	618	0,16	99	1565
04.01.1993	344	0,17	59	1565
25.01.1993	435	0,19	83	1565
23.02.1993	486	0,21	102	1565
05.03.1993	437	0,31	135	1565

19.03.1993	512	0.33	169	1565
Tarih	Hs (mm)	ρ_s (kg/m ³)	Hw (mm)	Kot (m)
1995	0	0	0	0
1996	0	0	0	0

Kar Kursu Adı: Kızıldağ

Tarih	Hs (mm)	ρ_s (kg/m ³)	Hw (mm)	kot (m)
19.12.1984	263	0,43	113	2160
28.12.1984	380	0,19	70	2160
07.01.1985	272	0,25	68	2160
17.01.1985	391	0,23	90	2100
11.02.1985	648	0,26	168	2100
15.02.1985	455	0,33	150	2100
25.02.1985	693	0,20	139	1750
27.02.1985	545	0,27	147	1675
08.03.1985	606	0,26	158	1675
14.03.1985	626	0,23	144	1675
05.12.1985	146	0,27	39	1675
18.12.1985	107	0,26	28	1675
08.01.1986	119	0,36	43	1675
16.01.1986	309	0,32	99	1675
13.02.1986	392	0,31	122	1675
20.02.1986	414	0,30	124	1675
05.03.1986	306	0,38	116	1675
11.11.1986	168	0,13	22	1700
25.12.1986	204	0,25	51	1700
05.01.1987	361	0,26	94	1700
20.01.1987	542	0,27	146	1700
04.02.1987	443	0,40	177	1700
17.02.1987	526	0,41	216	1700
09.03.1987	759	0,26	197	1700
24.03.1987	490	0,33	162	1700
09.12.1987	221	0,18	40	1700
05.01.1988	236	0,22	52	1700
19.01.1988	220	0,26	58	1700
04.02.1988	500	0,20	100	1700
15.02.1988	421	0,26	109	1700
03.03.1988	770	0,21	162	1700
15.03.1988	745	0,27	201	1700
03.01.1989	119	0,14	17	1700
31.01.1989	201	0,21	42	1700
06.02.1989	198	0,16	32	1700
26.12.1989	285	0,22	63	1700
02.01.1990	329	0,26	86	1700
17.01.1990	292	0,23	67	1700
24.01.1990	342	0,29	99	1700
13.02.1990	378	0,29	110	1700
21.02.1990	392	0,27	106	1700

07.03.1990	343	0,35	120	1700
Tarih	Hs (mm)	ρ_s (kg/m ³)	Hw (mm)	kot (m)
28.01.1991	192	0,08	15	1700
06.02.1991	410	0,17	70	1700
07.03.1991	474	0,30	142	1700
18.03.1991	345	0,38	131	1700
20.01.1992	312	0,18	56	1700
10.02.1992	390	0,25	97	1700
20.02.1992	564	0,17	96	1700
11.03.1992	617	0,21	130	1700
02.03.1992	555	0,22	122	1700
16.03.1992	519	0,24	125	1700
19.12.1992	136	0,28	38	1700
25.12.1992	326	0,18	59	1700
20.01.1993	368	0,23	85	1700
01.02.1993	550	0,25	137	1700
18.02.1993	610	0,23	140	1700
04.03.1993	527	0,24	126	1700
18.03.1993	607	0,25	152	1700
20.12.1993	179	0,22	39	1700
15.02.1994	301	0,34	102	1700
24.02.1994	251	0,26	65	1700
1995	0	0	0	0
1996	0	0	0	0

Kar Kursu Adı: Ortaköy

Tarih	Hs (mm)	ρ_s (kg/m ³)	Hw (mm)	Kot (m)
28.01.1970	131	0,16	20	1400
22.12.1970	43	0,50	22	1400
1971	0	0,00	0	1400
05.01.1972	202	0,21	43	1400
21.12.1973	74	0,16	12	1400
1974	0	0,00	0	1400
07.01.1975	109	0,20	22	1432
29.01.1975	339	0,21	71	1432
24.02.1975	394	0,28	110	1432
12.03.1975	320	0,23	74	1432
12.01.1976	249	0,19	47	1432
23.03.1976	340	0,42	143	1432
08.02.1977	216	0,22	48	1432
03.12.1997	228	0,22	51	1430
16.01.1978	235	0,22	51	1430
03.02.1978	425	0,27	116	1430
15.01.1980	341	0,50	169	1430
29.02.1980	375	0,23	86	1430
21.03.1980	154	0,29	45	1430
1981	0	0,00	0	1420
29.01.1982	53	0,25	13	1430
26.02.1982	137	0,34	46	1430
31.01.1983	259	0,29	75	1432
14.02.1983	318	0,25	80	1432
10.03.1983	543	0,30	164	1432
22.03.1983	370	0,36	134	1450
01.02.1984	48	0,34	16	1450
20.12.1984	241	0,39	94	1450
27.12.1984	215	0,29	62	1450
04.01.1985	249	0,25	62	1450
16.01.1985	237	0,33	78	1450
12.02.1985	400	0,33	132	1450
06.03.1985	400	0,34	136	1450
16.02.1985	93	0,19	18	1450
06.01.1986	126	0,41	52	1450
21.01.1986	229	0,34	78	1450
05.02.1986	276	0,30	83	1450
19.02.1986	319	0,33	105	1450
30.12.1986	189	0,13	25	1450
08.01.1987	232	0,28	65	1450
26.01.1987	334	0,23	77	1450

17.03.1987	239	0,20	48	1450
Tarih	Hs (mm)	ρ_s (kg/m ³)	Hw (mm)	Kot (m)
12.02.1988	276	0,22	61	1450
24.02.1988	320	0,20	64	1450
07.03.1988	484	0,32	155	1450
17.03.1988	295	0,32	95	1450
07.12.1988	76	0,10	8	1450
05.01.1989	70	0,10	7	1450
18.01.1989	237	0,18	43	1450
08.02.1989	251	0,17	43	1450
22.02.1989	220	0,18	40	1450
07.01.1990	229	0,16	37	1450
16.01.1990	240	0,20	48	1450
12.02.1990	240	0,23	55	1430
28.02.1990	220	0,27	59	1430
28.02.1991	188	0,26	49	1430
29.01.1992	310	0,23	71	1430
05.02.1992	399	0,18	72	1430
03.02.1992	605	0,16	97	1430
26.02.1992	566	0,18	102	1430
10.03.1992	589	0,23	136	1430
19.03.1993	414	0,35	145	1430
15.03.1993	472	0,36	170	1430
15.02.1993	368	0,35	129	1430
26.02.1993	740	0,36	267	1430
05.01.1993	215	0,24	52	1430
21.01.1993	224	0,27	60	1430
15.03.1993	472	0,36	170	1430
19.03.1993	414	0,35	145	1430
14.02.1994	240	0,30	72	1430
21.02.1994	224	0,25	56	1430
1995	0	0	0	1430
1996	0	0	0	1430

Kar Kursu Adı: Şerefiye

Tarih	Hs (mm)	ρ_s (kg/m ³)	Hw (mm)	Kot (m)
28.12.1970	175	0,29	51	1925
03.01.1972	403	0,26	105	1925
09.02.1972	570	0,28	160	1925
16.03.1972	470	0,38	176	1925
30.03.1972	371	0,38	141	1925
05.03.1973	254	0,29	74	1925
11.01.1973	334	0,13	44	1790
06.02.1974	377	0,19	70	1772
13.02.1976	467	0,25	117	1600
18.03.1976	721	0,40	289	1600
13.01.1976	467	0,25	117	1600
18.02.1976	635	0,30	191	1600
08.03.1976	917	0,31	284	1600
13.01.1977	330	0,17	56	1600
09.02.1977	196	0,21	41	1600
13.01.1978	155	0,24	37	1600
02.02.1978	281	0,30	84	1600
1979	0	0,00	0	1600
11.01.1980	234	0,16	37	1600
21.02.1980	391	0,23	90	1600
04.03.1980	483	0,23	111	1600
14.03.1980	292	0,33	96	1600
30.12.1980	66	0,38	25	1600
1981	0	0	0	1600
27.01.1982	81	0,26	21	1600
03.03.1982	243	0,36	87	1600
29.03.1982	187	0,38	71	1600
13.01.1983	293	0,18	53	1600
02.02.1983	480	0,21	100	1600
14.03.1983	779	0,29	226	1600
23.03.1983	390	0,38	150	1600
16.12.1983	221	0,32	71	1600
18.01.1984	81	0,05	4	1600
02.02.1984	170	0,17	29	1600
16.02.1984	60	0,10	6	1600
17.12.1984	269	0,38	102	1600
25.12.1984	203	0,24	49	1600
23.01.1985	287	0,23	66	1600
05.03.1985	585	0,15	88	1590
06.12.1985	90	0,29	26	1590
19.12.1985	211	0,18	38	1590

13.01.1986	146	0,37	54	1590
Tarih	Hs (mm)	ρ_s (kg/m ³)	Hw (mm)	Kot (m)
17.02.1986	361	0,31	112	1590
24.02.1986	255	0,34	87	1590
04.03.1986	184	0,36	66	1590
13.11.1986	203	0,18	37	1565
22.12.1986	269	0,22	59	1565
31.12.1986	489	0,18	88	1565
07.01.1987	688	0,22	151	1565
22.01.1987	420	0,38	160	1565
22.01.1987	570	0,30	171	1565
12.03.1987	413	0,35	144	1565
25.03.1987	471	0,43	203	1565
07.01.1988	193	0,18	35	1565
01.02.1988	366	0,19	69	1565
18.02.1988	316	0,23	73	1565
24.03.1988	374	0,36	135	1565
28.03.1988	434	0,31	135	1565
04.01.1989	187	0,12	22	1565
30.01.1989	329	0,21	69	1565
09.02.1989	382	0,17	65	1565
25.02.1989	193	0,25	48	1565
03.01.1990	216	0,22	47	1565
15.01.1990	262	0,24	63	1565
08.02.1990	246	0,24	59	1565
26.02.1990	201	0,33	66	1565
18.02.1991	439	0,23	101	1565
11.03.1991	439	0,30	132	1565
07.01.1992	328	0,20	66	1565
22.01.1992	331	0,19	63	1565
11.02.1992	531	0,18	96	1565
27.02.1992	716	0,10	72	1565
04.03.1992	579	0,18	104	1565
13.03.1992	608	0,15	91	1565
06.01.1993	451	0,26	117	1565
18.01.1993	500	0,16	80	1565
16.02.1993	707	0,20	141	1565
24.02.1993	664	0,24	159	1565
12.03.1993	723	0,25	181	1565
16.03.1993	672	0,33	222	1565
17.02.1994	419	0,21	88	1565
25.02.1994	277	0,30	83	1565
1995	0	0	0	0
1996	0	0	0	0

ÖZGEÇMİŞ

Anadolu Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünden mezun oldu (1992). Halen Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesinde araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır.

