

Zemin Kar Yüğü Değerinin Meteorolojik Veriler Kullanılarak Bulunması, Aksaray Örneği

Hatice Kübra ALTUNOK¹, Fatih Kursat FIRAT^{2*}

¹Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 68240, Aksaray

²Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 68240, Aksaray

¹<https://orcid.org/0000-0001-5493-8975>

²<https://orcid.org/0000-0003-0508-2845>

*Sorumlu yazar: fkfirat@aksaray.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihçesi:

Geliş tarihi: 04.03.2025

Kabul tarihi:28.05.2025

Online Yayınlanma:16.09.2025

Anahtar Kelimeler:

Çatı, kar yükü

İstatistiksel analiz

TS 498

ÖZ

Bu çalışmada bir bölgedeki zemin kar yükünün istatistiksel yöntemler kullanılarak nasıl hesaplanacağı anlatılmıştır. Örnek olarak Aksaray ili seçilmiş, bulunan zemin kar yükü değeri TS 498’de bu bölge için önerilen değer ile karşılaştırılmıştır. T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü meteoroloji istasyonlarına ait veriler kullanılarak istatistiksel analizler gerçekleştirilmiştir. Uygulanan analiz sonucunda uygun olasılık dağılım fonksiyonu seçilerek belirli bir tekrerrür süresi için yeni zemin kar yükü değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan yeni değer, TS 498 standardında verilen nominal değer ile karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda TS 498 standardında yer alan Aksaray ili zemin kar yükü değerinin, kar yağışlarının nispeten yoğun bir şekilde görülmediği Aksaray ili için yüksek bir değer önerdiği, geçerli kar yükü standartlarından alınan değerlere göre yapılan tasarımların ekonomik olmadığı kanaati oluşmuştur.

Determination Ground Snow Load Value Using Meteorological Data, Aksaray Example Case

Research Article

Article History:

Received: 04.03.2025

Accepted: 28.05.2025

Published online:16.09.2025

Keywords:

Roof snow load

Statistical analysis

TS 498

ABSTRACT

In this study, it is explained how to calculate the ground snow load in a region using statistical methods. Aksaray province was selected as an example case and the obtained ground snow load value was compared with the value recommended for this region in TS 498. Statistical analyzes were performed using data from snow observation stations concerning the General Directorate of Meteorology of the Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change of the Republic of Turkey. As a result of the applied analyses, new ground snow load values were calculated by selecting the appropriate probability distribution function. The new calculated value was compared with the nominal value given in the TS 498 standard. As a conclude of the work, it was resulted that the ground snow load value for Aksaray province in the TS 498 standard suggested a high value for Aksaray province, where snowfall is relatively not seen intensively, and that designs made according to the values taken from the valid snow load standards were not economical.

To Cite: Altunok HK., Fırat FK. Zemin Kar Yüğü Değerinin Meteorolojik Veriler Kullanılarak Bulunması, Aksaray Örneği. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2025; 8(4):1829-1844.

1. Giriş

Kar yağışı, özellikle yoğun yağış olan bölgelerde çatı üzerinde kar birikmelerine ve bunun sonucu olarak yapıya etkiyen kar yüklerinden dolayı yapısal göçmelere neden olmaktadır. Bu durumun meydana gelmesindeki en önemli etkenlerden biri, yapılar için kullanılan tasarım kar yüklerinin olması gereken

gerçek diye nitelendirilebilecek kar yüklerinden düşük olmasıdır. Ülkemizde çatılardaki kar birikmelerinin nasıl olacağı ve bunun sonucunda meydana gelecek çökmelerin ne tür olacağına ait verilerin az olması konunun detaylıca incelenmesi ve çözüme ulaştırılması açısından eksiklik oluşturmaktadır. Ayrıca çatı imalatında görülen malzeme yetersizliklerinin, işçilik hatalarının ve ilgili standart ve yönetmeliklere uygunluğunun kontrol edilmesi ve etkin bir denetim mekanizması çalıştırılması gerekmektedir. Çatıların kar yüklerine karşı ekonomik ve güvenli bir şekilde tasarlanması, zeminde meydana gelen kar yükünün yanında çatı kar birikmesine sebep olan rüzgar gibi tüm etkenlerle birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir (Firat ve Yüçemen, 2012). Yapının ısıtılması, çatının şekli, bitişik bir çatıdan kar düşmelerinin yaşanması gibi birçok faktör çatı üzerindeki kar miktarını dolayısı ile meydana gelecek kar yüklerini etkilemekle birlikte en önemli parametre çatının bulunduğu bölgenin maruz kaldığı kar yağışı ve bunun sonucunda ortaya çıkacak zemin kar yükleridir. Dolayısı ile zemin kar yüklerinin doğru belirlenebilmesi, çatı üzerine gelecek kar yükünün bina üzerine etkisinin bilinmesi ve tasarımın yapılmasında en kritik faktördür. Zira yapılan birçok çalışmada güncel standartlar ve yönetmeliklerde önerilen zemin kar yüklerinin doğruyu yansıtmadığı ifade edilmektedir. Bir yapıya etkiyen sabit (ölü) ve hareketli yükler yapının coğrafi konumundan bağımsız olsa da, deprem ve kar yükleri gibi çevresel yükler yapının konumuna büyük ölçüde bağlıdır. (Firat ve Yüçemen, 2015; Ural ve ark., 2022) Bu çalışmada, meteorolojik kar verileri kullanılarak bir yerdeki zemin kar yükünün nasıl hesaplanacağı anlatılmıştır. Bunun içinde örnek olarak Aksaray ilindeki meteoroloji istasyonundan aylık maksimum kar su miktarı (mm) değerleri alınarak zemin kar yükü değerlerine dönüştürülmüş, istatistiksel yöntemler kullanılarak proje tasarımıda kullanılacak Aksaray zemin kar yükü değeri bulunmuştur.

Zemin kar yüklerinin tespiti üzerine bölgesel bir takım çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalarda genellikle kar istasyonlarından elde edilen meteorolojik verilerin istatistiksel olarak incelenmeleri sonucunda elde edilen zemin kar yükleri ile ilgili bir takım önerilerde bulunulmuştur. Ellingwood ve O'Rourke (1985), çalışmalarında yapısal kar yüklerini olasılıksal yöntemlerle tasarlamışlardır. Newark ve ark. (1989) yaptıkları çalışmada Kanada'da 1975 yılına kadar olan kar verilerini kullanmışlardır. Bu kar verileri ile birlikte Kanada standardındaki kar verilerini yeniden hesaplamışlardır. Sack (1989) yaptığı çalışmada Kuzey Amerika'da bulunan kar verileri üzerinde incelemeler yapmıştır. Çalışmasında zemin-çatı kar yükü dönüşümleri ile Kanada ve Amerikan standartlarında yer alan değerleri yeniden ilişkilendirmiştir. Durmaz ve Daloğlu (2005), yaptıkları çalışmada Doğu Karadeniz bölgesinde yer alan tasarım zemin kar yükü değerlerini veren bir harita oluşturmuş ve Türk standartlarından TS 7046 ve TS 498'in konuya yaklaşımlarını irdelemişlerdir. Firat (2009), yaptığı çalışmada meteorolojik verilerden elde ettiği çatı kar yüklerini Türkiye'deki farklı şehirler için incelemiş ve incelenen bu iller için TS 498'de verilen kar yükleri ile karşılaştırmıştır. Croce ve ark. (2018), yaptıkları çalışmalarında Avrupa'daki iklim değişikliğinden kaynaklı kar yüklerinin İtalya üzerinden yeniden analizini yapmışlardır. Meehleis ve ark. (2020), yaptıkları çalışmalarında Global Historical Climatology Network (GHCN)'den elde ettikleri 1950'den 2017'ye kadar olan kar derinliği ve kar suyu eşdeğeri ölçümlerini kullanarak Alaska'daki kar

yükü değerlerini hesaplamışlardır. Kumar ve ark. (2022), çalışmalarında Himalaya'nın bazı bölgeleri için yeni bir yöntemle dayalı olarak elde ettikleri verileri kullanarak zemin kar yükleri için yeni bir yaklaşım benimsemişlerdir. Ivanov ve ark. (2022), yaptıkları çalışmalarında Kuzey Avrupa'da iklim değişikliğinin kar yükleri üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Gu ve ark. (2022), yaptıkları çalışmalarında Çin'in belirli bir bölgesinde rüzgar etkisini göz önüne alarak çatılardaki kar yükleri üzerinde istatistiksel değerlendirmeler yapmışlardır.

Kar yükleri aşağıda gösterilen başlıca sebeplerden dolayı önemli bir yapısal faktördür. Bunlar;

- Yapının soğuk ve karlı bölgelerde inşa edilmiş olması
- Kendisine bitişik daha yüksek bir yapının olması
- Yapının çatısının normal tasarımlardan farklı ve kar birikmesine sebep olacak bir geometriye sahip şekilde tasarlanması olarak sıralanabilir.

Her ne kadar kar miktarından kaynaklı çatı hasarlarına ait istatistiksel veri ve bilgilerin yetersizliği konunun açık bir şekilde incelenmesi açısından bir handikap oluştursa da basın-yayın organlarından elde edilen bilgiler ışığında çok önemli düzeyde hasarlar meydana geldiği ve bunun sonucunda ciddi mal ve can kayıplarının olduğu görülmektedir. Bu kayıpların oluşmasındaki en belirleyici nedenlerin başında standart ve yönetmeliklerde verilen tasarım kar yüklerinin (nominal) o bölgede meydana gelen kar yağışı nedeniyle oluşan kar yüklerinden daha düşük olmasıdır (Durmaz ve Daloğlu, 2005; Firat 2007). İlaveten standart ve yönetmeliklerde önerilen kar yükleri, gerçek kar yüklerinden fazla ise çatı tasarımları ekonomik olmayacaktır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Zemin Kar Yükleri

2007 basımlı TS EN 1991.1.3'de zemin kar yükleri doğrudan 1997 basımlı TS 498'den alınmıştır. Fakat TS 498'deki zemin kar yükü değerleri 2021 yılında yenilenmiştir. 1997 basımlı TS 498'de dört kar bölgesi var iken 2021 basımlı TS 498'de kar bölgesi sayısı dokuza çıkarılmıştır. Ayrıca il ve ilçe merkezlerindeki zemin kar yükü değerleri revize edilmiştir. Buna rağmen 2007 basımlı TS EN 1991.1.3'de hala 1997 basımlı TS 498'de verilen zemin kar yükü değerleri kullanılmaktadır. Böyle olunca 2021 yılında basılan TS 498-2021 ile 2007 yılında basılan TS EN 1991.1.3 arasında farklı değerler ortaya çıkmaktadır. Ayrıca 2025 yılı Mart ayında TS EN 1991.1.3 yeniden güncellenmiştir fakat standartta Türkiye için zemin kar yükü değerleri önerilmemiştir.

Tüm dünyada genellikle zemin kar yüküne ait meteorolojik değerler kar-su eşdeğeri ve kar derinliği ölçümü yapan iki farklı tipteki istasyonlardan elde edilir. Ülkemizde de kar yağış verileri, kar-su eşdeğeri ile kar derinliği ölçümü yapan istasyonlar veya sadece kar derinliği ölçümü yapan istasyonlardan alınmaktadır. Aksaray ilinde yer alan meteoroloji istasyonu kar-su eşdeğeri ölçümü de yapan bir istasyondur. Bu çalışmada hesaplanan zemin kar yükü değerleri, birçok akademik makalede kar su eşdeğeri olarak da ifade edilen kar-su miktarı ($\text{mm}=\text{kg/m}^2$) verileri kullanılarak hesaplanmıştır. İlaveten, Aksaray istasyonu için kar derinliği değerleri de kontrol maksadıyla analiz edilmiştir. Kar-su

eşdeğerliği cinsinden elde edilen veriler, kar yükü hesaplamalarında daha gerçekçi sonuçlar vermektedir. Kar-su eşdeğeri, kar yağış miktarının yanında karlı dönem aralığında yağan yağmur miktarını da dikkate alır. Bu veriler, zemin kar yüklerinin belirlenmesinde nispeten daha güvenilirlerdir. Fakat dünyadaki çoğu meteoroloji istasyonu, kar derinliğini ölçmektedirler. Bu kar derinliklerinden faydalanılarak, kar yoğunluğu ve derinliği arasında formülüzasyon oluşturulması yoluyla zeminde meydana gelen kar yükleri de elde edilmektedir.

Zemin kar yükü verilerinin elde edilmesinde kar-su eşdeğeri verilerinin kullanılması nispeten daha hassas değerler sunmasına rağmen verilerin toplandığı istasyonların bulundukları konum ve ölçüm yapma sıklığı da verilerin güvenilir olmasına etki etmektedir. Çok genel anlamda üzerinde yerleşim yerlerinin yakınında bulunan günlük ölçüm yapan kar rasat istasyonlarının verilerine, çoğunlukla günlük alanlarda ölçüm yapan ve 15 günlük veya aylık ölçüm yapan kar istasyonlarının verileri daha çok önemsenmektedir.

2.1.1 2.1.1. Zemin Kar Yüklerinin Olasılık Dağılım Fonksiyonlarının Belirlenmesi

Zemin kar yükü karakteristik değerlerin hassasiyetle belirlenebilmesi, kar yağışı istatistiksel verilerin hangi olasılık dağılım fonksiyonuna (ODF) uyduğunun doğru bir şekilde belirlenmesine bağlıdır. Verilerin hangi ODF'ye uygun olduğunun belirlenmesi ölçüm yapan istasyonun coğrafi ve iklim şartlarına göre ortaya çıkan kar yağış miktarlarına bağlıdır (Soukhov, 2002; Durmaz ve Daloğlu, 2005). Zemin kar yüklerinin belirlenmesinde çeşitli dağılımlar tercih edilmesine rağmen genellikle Lognormal, Ekstrem Değer Dağılımı Tip I (Gumbel) ve Weibull dağılımları daha fazla tercih edilmektedir.

2.1.2 2.1.2. Olasılık Dağılım Fonksiyonları

Veriler için en uygun dağılımın belirlenmesinde başvuru çok çeşitli testler mevcuttur. Bu çalışma kapsamında Easyfit programından faydalanılarak verilerin Gamma, Gen. Extrem Value, Gen. Gamma, Gumbel max, Gumbel min, Lognormal, Normal ve Weibull olasılık dağılım fonksiyonlarından hangisine uygun olduğu Kolmogorov-Smirnov, Anderson-Darling ve Ki-Kare testlerine göre belirlenmiştir. İlaveten farklı bir yöntem olarak Maksimum Olasılık Çizgisi Korelasyon Katsayısı (MOÇKK) testi uygulanmıştır. MOÇKK testine göre verilerin Lognormal, Gumbel ve Weibull dağılımlardan hangisine uygunluk gösterdiğine bakılmıştır.

Lognormal dağılım da standart sapma değeri σ ve aritmetik ortalama değeri; μ aşağıda verilen denklem (1) ve denklem (2) uygulanarak bulunur:

$$\ln \left[\frac{\mu_x}{\left(\frac{\sigma_x^2}{\mu_x^2} + 1 \right)^{1/2}} \right] \quad (1)$$

$$\sigma_y = \left[\ln \left(\frac{\sigma_x^2}{\mu_x^2} + 1 \right) \right]^{1/2} \quad (2)$$

Log-normal dağılımda bulunan x değeri olasılık yoğunluk fonksiyonu denklem (3)'te olduğu gibi şu şekilde yazılır:

$$f(x) = \frac{1}{x\sigma_y\sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(\ln x - \mu_y)^2}{2\sigma_y^2} \right] x > 0 \quad (3)$$

Gamma istatistiksel dağılımı ise iki parametreden oluşan sürekli dağılımdır. Olasılık yoğunluk fonksiyonu denklem (4)'te gösterilmiştir;

$$f(x) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x} \quad x > 0 \quad (4)$$

formülü yardımı ile bulunmaktadır. $\Gamma(\alpha)$ gamma fonksiyonu denklem (5) kullanılarak bulunur;

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} x^{\alpha-1} e^{-x} dx \quad (5)$$

α : Biçim parametresi olarak ifade edilir. Gamma fonksiyonundaki α önemli bir belirleyicidir. α arttıkça gamma dağılım fonksiyonu normal dağılım fonksiyonuna yaklaşır. Gamma dağılımı, lognormal dağılımda olduğu gibi pozitif değerlerde tanımlıdır. İki parametrelili bir dağılımdır. İki parametrelili gamma dağılım fonksiyonu denklem (6) gibidir;

$$F(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} \quad x > 0, \beta > 0 \quad (6)$$

β ; Ölçek parametresi

Bu fonksiyonda aritmetik ortalama $\mu_x = \alpha\beta$ ve $\text{Var}(X) = \alpha\beta^2$ şeklindedir.

Gumbel dağılım dikkate alınacak olursa eklenik dağılım fonksiyonu denklem (7) ile ifade edilir:

$$F(x) = P(X \leq x) = \exp\{-\exp[-\alpha(x - \beta)]\} \quad (7)$$

Momentler yönteminde Gumbel katsayıları denklem (8) kullanılarak bulunur;

$$\mu_x = \beta + \frac{0,577}{\alpha}, \mu_x = \frac{1,282}{\alpha} \quad (8)$$

2.2. Olasılık dağılım testleri

2.2.1 Kolmogorov Smirnov Testi

Bu testi ilk olarak 1933 senesinde Kolmogorov tek örnek için uyum iyiliği testi şeklinde önermiştir. Daha sonra 1939 yılında Rus bilim insanı Smirnov iki bağımsız örnek için uyum iyiliği testi olarak geliştirmiştir. Benzer oldukları için test, Kolmogorov-Smirnov testi diye isimlendirilir. Burada uygulanan istatistik denklem (9) ile hesaplanır;

$$\Delta = \max_i |F(x_i) - Q(x_i)| \quad (9)$$

$Q(x_i)$ teorik dağılım için eklenik olasılık fonksiyonu, $F(x_i)$ Eklenik olasılık fonksiyonu olarak ifade edilir. $Q(x_i) = i/N$ ($i=1,2,3,..., N$) bağıntısı kullanılarak belirlenir. Hesaplanan Δ ve kritik Δ karşılaştırılır. Elde edilen Δ , kritik Δ 'dan düşükse teste uygun olduğuna karar verilir, büyük bir değer alırsa teste uygun olmadığı düşünülür. Tablo 1'de Kolmogorov-Smirnov testi yapılırken kullanılan kritik Δ_α 'lar gösterilmiştir.

Tablo 1. Kolmogorov-Smirnov testi için Δ_α kritik değerleri.

N	A			
	0,01	0,05	0,10	0,20
5	0,67	0,56	0,51	0,45
10	0,49	0,41	0,37	0,32
15	0,40	0,34	0,30	0,27
20	0,36	0,29	0,26	0,23
25	0,32	0,27	0,24	0,21
30	0,29	0,24	0,22	0,19
35	0,27	0,23	0,20	0,18
40	0,25	0,21	0,19	0,17
45	0,24	0,20	0,18	0,16
50	0,23	0,19	0,17	0,15
>50	1,63	1,36	1,22	1,07
	$\frac{1}{\sqrt{N}}$	$\frac{1}{\sqrt{N}}$	$\frac{1}{\sqrt{N}}$	$\frac{1}{\sqrt{N}}$

2.2.2 Ki-Kare Testi

Bu testte, gözlenen değer ile beklenen değer kıyaslanmaktadır. Gözlenen değer beklenen değer ile uygunluğuna bakılmaktadır. Ki-Kare testi için yapılan hesaplamalarda, bir değişkendeki K elemanlı örnek n adet grupta yer alır ve her bir gruptaki bulunan ($i= 1,2,3...k$) eleman sayısı için hesaplama yapılmaktadır. Aynı grup içerisinde yer alma olasılıkları p_i olarak verilirse denklem (10) kullanılarak hesaplanır;

$$X^2 = \sum_{i=1}^m \frac{(N_i - N_{pi})^2}{N_{pi}} \quad (10)$$

Teorik dağılımda gözlenen değer; N_i , beklenen değer; N_{pi} olarak gösterilmektedir. Dağılım serbestlik derecesi $n-1$ 'dir. Bu testte, beklenen ve gözlenen değerlerin birbirine yaklaşması halinde χ^2 istatistik değeri de sıfır değerine yaklaşır. Bulunan χ^2 için, $n-1$ serbestlik derecesinde aşılma olasılığı α ile tanımlanmış χ^2_{α} 'dan düşük bir değerde dağılım için uygun olduğu, büyük bir değer ise dağılım için uygunluk göstermediği sonucu çıkar.

2.3. Çatı kar yükleri

Çatı kar yükleri tasarım değerleri bir takım etkenlere bağlıdır. Bu etkenler;

Çatı şekli,

Termal özellikleri,

Satış pürüzü,

Çatı altındaki ısıнын miktarı,

Yan binaya ait uzaklık,

Çevredeki arazilerin yapısı,

Bölgesel meteorolojik iklim yapısı,

Özellikle rüzgar, sıcaklık değişkenliği

Bunlara ilave olarak yapının bulunduğu alandaki kar yağışı miktarı, karın çatı üzerinde belirli bir bölgede birikmesi, düzensiz kar yüklemeleri, coğrafi bölgesel etkenler ve çatı üzerinden kayan kar kütlesi çatı kar yükü hesaplamalarında dikkat edilmesi gereken etkenler olarak değerlendirilmelidir. Bu parametrelerin çatı kar yükü üzerindeki etkilerinin dikkate alınması, belirli bir bölgede inşa edilecek yapı için kullanılacak karakteristik çatı kar yüklerinin hesaplanmasında önemlidir.

Bu parametreler arasında çatı kar yükü üzerinde en önemli etkiye sahip olan parametre rüzgar etkisidir. Çünkü rüzgar etkisi çatı üzerinde kar birikmesinin birincil sebebidir. Bitişik nizam yapılarda daha düşük kota sahip yapı kar yükünden daha fazla etkilenmektedir. Bunun yanında yüksek kottaki çatı üzerinden ani kaymalar ile düşük kotlu çatı üzerine düşecek olan kar kütleleri daha büyük kar yükü oluşturacaktır. Ayrıca yapıya ilave yapılacak yeni bölüm ya da yapılar kar yükünü değiştirecektir.

Ülkemizde çatı kar yükleri hesabında TS EN 1991-1-3 yönetmeliği kullanılmaktadır. TS 498 standardında il ve ilçelere göre zemin kar yükleri tanımlanmıştır. Tanımlanan yükler, TS EN 1991-1-3 yönetmeliğinde belirtilen dönüştürme katsayıları kullanılarak çatı kar yüklerine dönüştürülmektedir. TS 498 standardında ülke genelinde bulunan tüm istasyonlar haritalandırılmıştır. Harita üzerinde istasyonlar 1'den 9'a kadar numaralandırılarak bölgelere ayrılmıştır. Her bir istasyon için zemin kar yükü değeri bulunduğu bölge numarasına ve rakıma bağlı olarak değer almaktadır. Elde edilen zemin kar yükleri TS EN 1991-1-3 standardında tanımlanan aşağıdaki denklem (11)'e göre çatı kar yükü olarak hesaplanmaktadır.

$$S = \mu_i C_e C_t S_k \quad (11)$$

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Zemin kar yükünün belirlenmesi

Aksaray ilinde bulunan Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne bağlı ölçüm yapan istasyondan elde edilen verilerden yararlanılmıştır. İstasyondan elde edilen aylık maksimum kar verileri kullanılarak değerlendirmeler yapılmıştır.

Bu çalışmada kar-su eşdeğeri türünden ölçüm yapan istasyondan elde edilen kar verileri değerlerinin zemin kar yüküne çevrilmesi aşağıda verilen denklem (12) ile yapılabilir (Durmaz ve Daloğlu, 2004; Durmaz ve Daloğlu, 2005).

$$X = \rho_w g h_w / 10^6 \quad (12)$$

Burada X, zemin kar yükü (kN/m²)

ρ_w , suyun özgül ağırlığı (1000 kg/m³)

g, yerçekimi ivmesi (9,807 m/s²)

h_w , kar-su eşdeğeri (mm).

Tablo 2. Aksaray ili yıllık kar yükü değerleri

Yıl	h_w (mm)	X(kN/m ²)	Yıl	h_w (mm)	X(kN/m ²)
1972	45,7	0,448	2001	6,3	0,062
1973	14	0,137	2002	29,2	0,286
1974	48	0,471	2003	21	0,206
1976	36,8	0,361	2004	14,3	0,140
1977	31,5	0,309	2005	9	0,088
1978	7,8	0,076	2006	26,7	0,262
1981	15,8	0,154	2007	17,2	0,169
1982	11,1	0,109	2008	16,6	0,163
1983	18,2	0,178	2009	6,2	0,061
1985	32	0,314	2011	9,7	0,095
1987	56,3	0,552	2012	19,3	0,189
1988	27,4	0,269	2013	10,6	0,104
1989	12,3	0,121	2015	6,2	0,061
1990	8,7	0,085	2016	33	0,324
1991	37,6	0,369	2017	34	0,333
1992	18,3	0,179	2018	18	0,176
1993	21	0,206	2019	28	0,275
1994	17	0,167	2020	12,8	0,126
1995	19,4	0,190	2021	7	0,069
1996	9,8	0,096	2022	150	1,471
1997	15,2	0,1491	2023	7,2	0,071
1998	11,5	0,113	2024	18	0,177
2000	40,5	0,397	2025	12,8	0,126

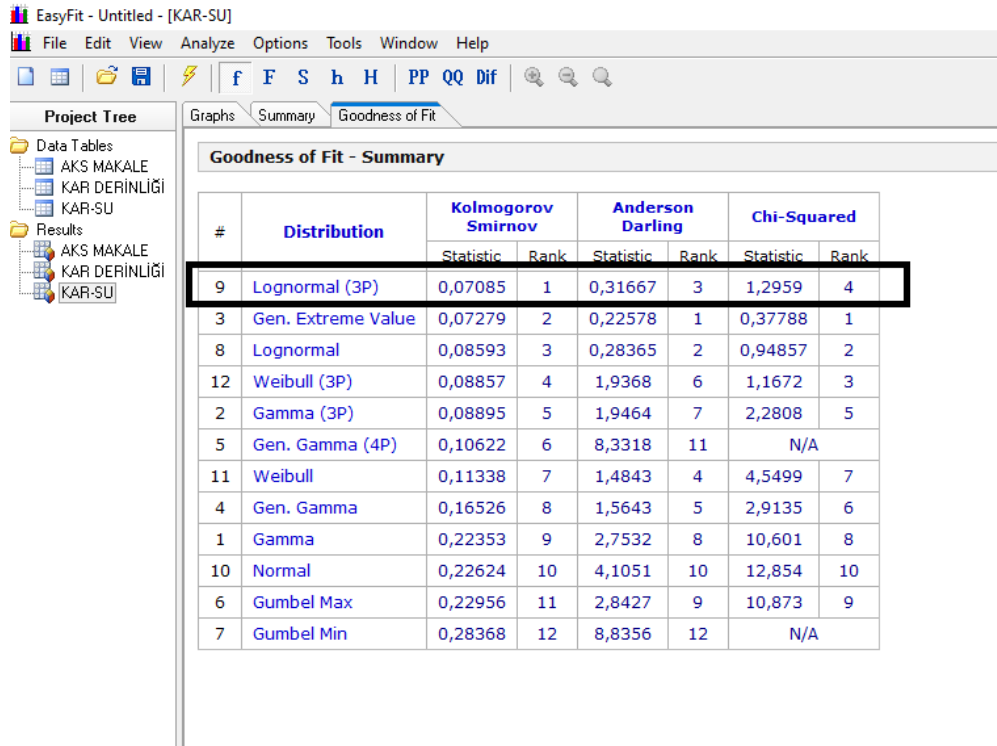
10⁶ katsayısı mm ve N birimlerini m ve kN çevirmek için kullanılmaktadır.

Aksaray ilindeki istasyonlarda 1972-2025 yılları arasında yapılan ölçümler sonucu elde edilen yıllık maksimum kar-su eşdeğerliği verileri Tablo 2’de gösterildiği gibi yıllara göre sıralanarak denklem (12) ile zemin kar yüklerine dönüştürülmüştür.

3.2. Olasılık Dağılımının Seçimi

Veriler için en uygun dağılımın belirlenmesinde başvuru çok çeşitli testler mevcuttur. Bu çalışma kapsamında Easyfit programından faydalanılarak verilerin, Gamma, Gen. Gamma, General Extrem Value, Gumbel Max, Gumbel Min, Normal, Lognormal, ve Weibull olasılık dağılım fonksiyonlarından hangisine uygun olduğu Kolmogorov-Smirnov, Anderson-Darling ve Ki-Kare testine göre belirlenmiştir.

Aksaray ili zemin kar yükü verilerinin hangi ODF’ler için uygunluklarının analiz edileceği belirlenmiştir. Tablo 2’de verilen Aksaray ili kar yükü değerleri programa yüklenmiştir. Daha sonra hangi dağılımlar için uygunluklarına bakılacağı seçilmiştir. Şekil 1’de verildiği gibi bu dağılımlar arasından, Gamma, Gen. Gamma, General Extrem Value, Gumbel Max, Gumbel Min, Normal, Lognormal, Lognormal (3P) ve Weibull dağılımları seçilerek verilerin hangisine uygun oluğuna karar verilmiştir. Uygunluk için testler belirlendikten sonra veriler analiz edilmiştir. Kolmogorov Smirnov, Anderson-Darling ve Ki-Kare testlerine göre verilerin Lognormal (3P) dağılıma uygun oldukları görülmüştür.



#	Distribution	Kolmogorov Smirnov		Anderson Darling		Chi-Squared	
		Statistic	Rank	Statistic	Rank	Statistic	Rank
9	Lognormal (3P)	0,07085	1	0,31667	3	1,2959	4
3	Gen. Extreme Value	0,07279	2	0,22578	1	0,37788	1
8	Lognormal	0,08593	3	0,28365	2	0,94857	2
12	Weibull (3P)	0,08857	4	1,9368	6	1,1672	3
2	Gamma (3P)	0,08895	5	1,9464	7	2,2808	5
5	Gen. Gamma (4P)	0,10622	6	8,3318	11	N/A	
11	Weibull	0,11338	7	1,4843	4	4,5499	7
4	Gen. Gamma	0,16526	8	1,5643	5	2,9135	6
1	Gamma	0,22353	9	2,7532	8	10,601	8
10	Normal	0,22624	10	4,1051	10	12,854	10
6	Gumbel Max	0,22956	11	2,8427	9	10,873	9
7	Gumbel Min	0,28368	12	8,8356	12	N/A	

Şekil 1. Verilerin test edileceği olasılık dağılım fonksiyonunun belirlenmesi

Analiz sonucunda Şekil 2’de verilen sıralamalara göre dağılımlarının Anderson Darling, Kolmogorov Smirnov ve Ki-Kare testlerine göre kritik ve hesaplanan değerleri verilmiştir. Kritik değerler $\alpha = 0,05$

anlamlılık düzeyinde belirlenmiştir. Kolmogorov Smirnov testi için hesaplanan Δ ve kritik Δ değeri sırası ile 0,07085 ve 0,19625 olarak bulunmuştur. Anderson Darling testi için hesaplanan ve kritik değerler sırasıyla 0,31667 ve 2,5018 olarak belirlenmiştir. Ki-Kare testi için ise hesaplanan X^2 ve kritik X^2_{α} değerleri 1,2959 ve 11,07 olarak hesaplanmıştır.

Bir diğer yöntem olarak seçilen MOÇKK testi için de yeniden hesaplamalar yapılmıştır. Aksaray ili örneği üzerinden verilerin Lognormal, Gumbel ve Weibull dağılımları arasından hangisine uygun olduğu SPSS programı kullanılarak karar verilmiştir. Öncelik olarak yıllık maksimum kar-su eşdeğerliği değerleri küçükten büyüğe doğru sıralanmıştır. Bu sıra numaraları dikkate alınarak her bir ekstrem değere ait ilk olarak test edilen dağılım için aşılma olasılığı P_i ve sonra bu aşılma olasılığından dağılımın olasılık kağıdına göre azaltılmış değişken değeri Z_i hesaplanmıştır.

Goodness of Fit - Details [hide]					
Lognormal (3P) [#9]					
Kolmogorov-Smirnov					
Sample Size	46				
Statistic	0,07085				
P-Value	0,96241				
Rank	1				
α	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01
Critical Value	0,15457	0,17665	0,19625	0,21944	0,23544
Reject?	No	No	No	No	No
Anderson-Darling					
Sample Size	46				
Statistic	0,31667				
Rank	3				
α	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01
Critical Value	1,3749	1,9286	2,5018	3,2892	3,9074
Reject?	No	No	No	No	No
Chi-Squared					
Deg. of freedom	5				
Statistic	1,2959				
P-Value	0,93535				
Rank	4				
α	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01
Critical Value	7,2893	9,2364	11,07	13,388	15,086
Reject?	No	No	No	No	No

Şekil 2. Verilerin dağılımlar için uygunluklarının belirlenmesi

Dikkate alınan dağılımda her veri seti için yıllık ekstremler veya bu değerlerin e tabanına göre alınmış logaritmaları ile dağılımın olasılık kâğıdındaki azaltılmış değerler arasındaki korelasyon katsayı değeri

hesaplanmaktadır. Hesaplanan bu korelasyon katsayı değeri için de dikkate alınan dağılım türleri için ayrı olarak bulunan 0,01 anlamlılık düzeyindeki katsayılara bakılır. Bu çalışma kapsamında uygunluk testi yapılan dağılımlar Weibull, Lognormal ve Gumbel dağılımlarıdır. Bu yüzden korelasyon katsayıları, Lognormal dağılım testi için yıllık ekstremlerin e tabandaki logaritmik değerleri ile Lognormal dağılıma ait olasılık kâğıdındaki azaltılan değişken değerleri arasında, Gumbel dağılım testi için ise yıllık ekstrem değerlerle Gumbel dağılımına olasılık kâğıdına bağlı azaltılmış değişken değerleri arasında son olarak Weibull dağılım testinde ise yıllık ekstrem değerlerin e tabanına bağlı olarak hesaplanan logaritma değerleri ve Weibull dağılıma ait olasılık kâğıdına göre azaltılmış değişken değerleri arasında hesaplanmaktadır. Her ekstrem değer için aşılmama olasılığı P_i , Lognormal dağılımda denklem (13) ile hesaplanır (Durmaz ve Daloğlu, 2005);

$$P_i = (i - 0,4)/(N + 0,2) \quad i = 1,2, \dots, N \quad (13)$$

Formülü ile bulunurken Weibull ve Gumbel dağılımlar için denklem (14);

$$P_i = i/(N + 1) \quad i = 1,2, \dots, N \quad (14)$$

kullanılarak bulunur. Her bir ekstrem değer için azaltılmış değişken değeri Z_i , Lognormal dağılımda denklem (15);

$$Z_i = \Phi^{-1}(P_i) \quad (15)$$

ile, Gumbel dağılımda denklem (16);

$$Z_i = -\ln(-\ln P_i) \quad (16)$$

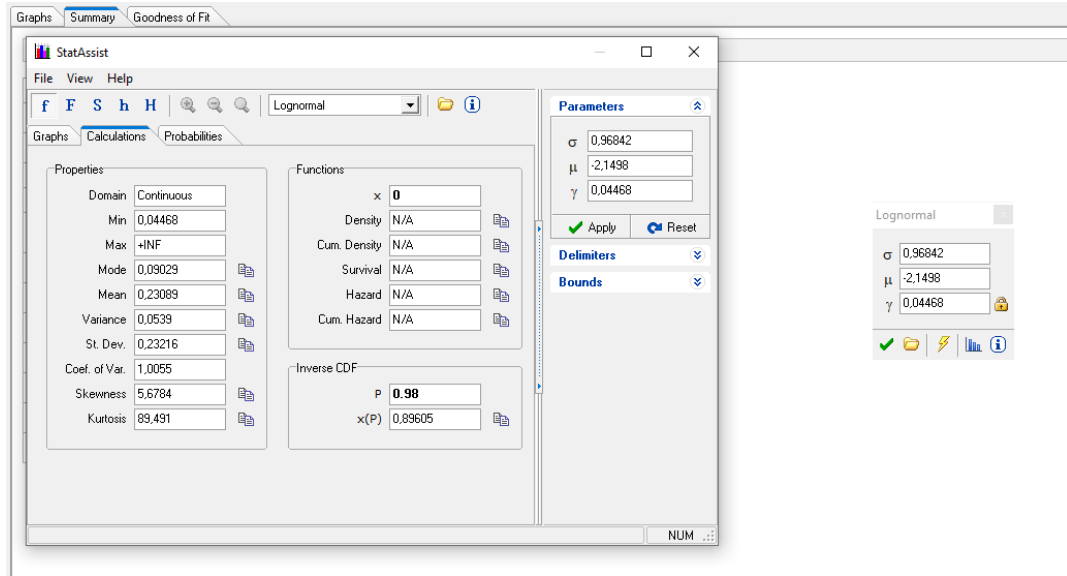
ile bulunur. Weibull dağılımda ise denklem (17);

$$Z_i = \ln[-\ln(1 - P_i)] \quad (17)$$

ile bulunur.

Gumbel dağılımda $r = 0,986$, Lognormal dağılımda korelasyon katsayısı $r = 0,982$ ve Weibull dağılımda ise $r = 0,941$ olarak hesaplanmıştır. Buna göre Aksaray istasyonuna ait zemin kar yükleri için bulunan en uygun dağılım, r oranının en büyük değer aldığı, Gumbel dağılımıdır. Fakat hem uygunluk değerleri arasında anlamlı bir fark olmadığından hem de Easyfit programında yaptığımız analizler de her bir test için Lognormal dağılıma uygun olmasından kaynaklı hesaplamalarda Lognormal dağılım tercih edilmiştir.

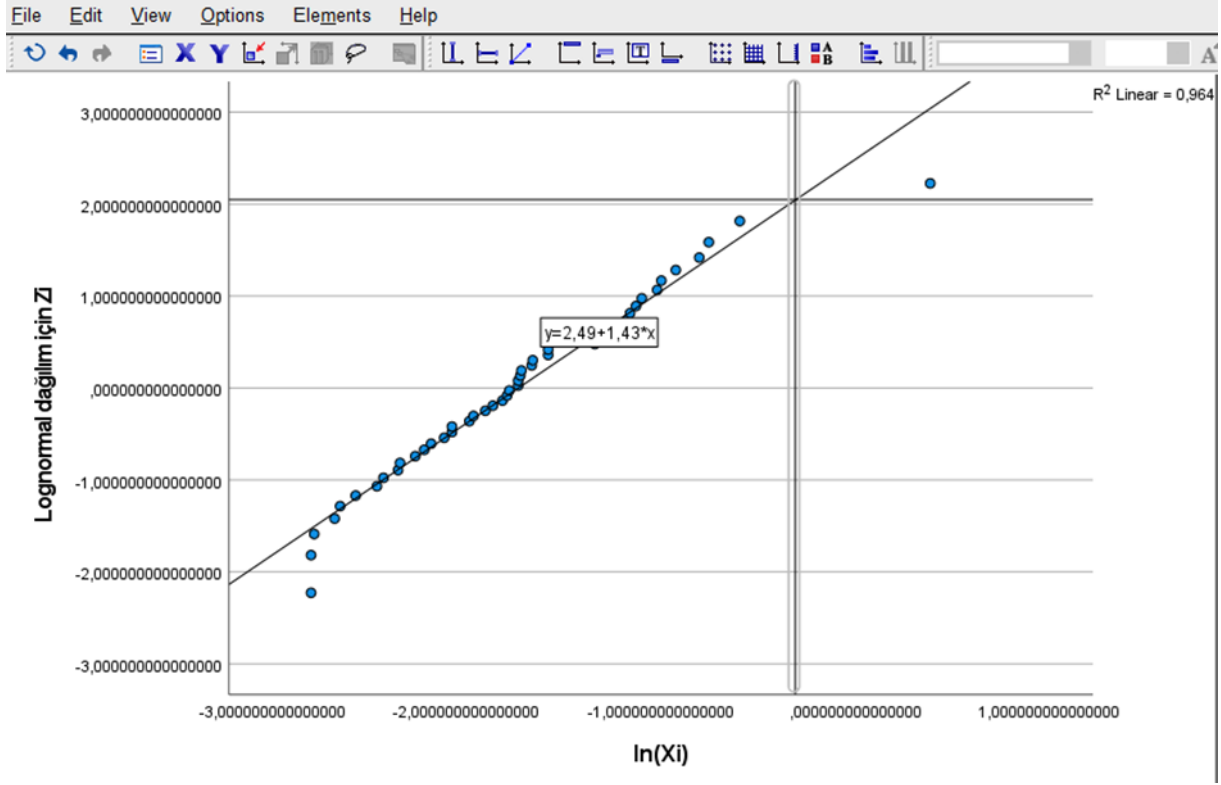
Çalışmanın amacı doğrultusunda, veriler için en uygun dağılım belirlendikten sonra Aksaray ili için belli bir ortalama tekerrür süresi (OTS) dikkate alınmıştır. Bu OTS'ye bağlı olarak zemin kar yükü hesaplanmıştır. Herhangi bir bölge için 25, 50 ve 100 yıllık dönemlerde beklenen maksimum kar yükü değeri belirli bir olasılıkla belirlenir. Kar yükü hesaplamalarında çoğunlukla 50 yıllık dönem dikkate alınır. Bu çalışmada da kar yükleri hesaplamalarında aşılma OTS'si 50 yıl olan değerler hesaplanmıştır. 50 yıl OTS için aşılma olasılığı $1/50 = 0,02$, aşılma olasılık değeri $P = 0,98$ olarak hesaplanmıştır. Easyfit program üzerinde Lognormal (3P) dağılım için $P = 0,98$ değerine karşılık gelen zemin kar yükü değeri elde edilmiştir. Programda Lognormal (3P) analiz tablosunda dağılım parametre değerleri olan μ , σ , γ hesaplanarak eklenmiştir. Aksaray ili için Easyfit programında hesaplanan $\mu = -2,1498$, $\sigma = 0,96842$ ve $\gamma = 0,04468$ olarak bulunmuştur. Şekil 3'te verilen tabloda Aksaray istasyonuna ait verilerin parametre değerleri ve aşılma olasılığı $P = 0,98$ değeri için hesaplanan yeni zemin kar yükü $X(P) = 0,89 \text{ kN/m}^2$ olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3. Aksaray ili zemin kar yükü değerinin hesaplanması

Diğer bir yöntem olan MOÇKK testinde ise bu çalışmada amaçlanan sonuç doğrultusunda, Aksaray istasyonuna ait verilere en uygun olacak olasılık dağılım fonksiyonları belirlenmiştir. Aksaray istasyonuna ait belirli bir OTS'li zemin kar yükü değeri bulunmuştur. Buna bağlı olarak zemin kar yüklerinin aşılma olasılığı $1/50$ olan veya OTS'si 50 yıl olan değerler hesaplanmıştır. X_{50} , 50 yıl OTS'ne sahip zemin kar yükü değerini göstermektedir. X_{50} değeri uygun dağılıma bağlı olarak hesaplanmaktadır. Aksaray istasyonu zemin kar yükü verileri bu istasyon için seçilen en uygun dağılım olan Lognormal dağılımın olasılık kâğıdına eklenir ve en küçük kareler yöntemi uygulanarak verilerin arasından geçecek doğru bulunur. Dağılıma ait olasılık kâğıdı üzerindeki aşılma olasılığı $P=0,98$ değerine bağlı olarak hesaplanan Z_i değerinin doğruyla çakıştığı noktadan indirilen dikmeyle X_{50} hesaplanır. Aşılma olasılığı $P=0,98$ değerine göre Lognormal dağılım için Z_i değeri 2,05, Gumbel dağılım için Z_i değeri 3,90 ve Weibull dağılım için Z_i değeri 1,36'dır.

Şekil 4'te Aksaray istasyonunu zemin kar yük değerleri için alınan Lognormal dağılımın olasılık kâğıdına değerlerin yerleştirilmesi ve X_{50} 'nin en küçük kareler metoduyla verilerin arasından geçirilen doğru yardımıyla belirlenmesi görülmektedir. Doğrudan inilen dikmenin gösterdiği -0,308 değeri $\ln(X_{50})$ 'yi göstermektedir. Buradan kolayca $X_{50}=0,73 \text{ kN/m}^2$ bulunur.



Şekil 4. Aksaray ili zemin kar yükünün MOÇKK testi ile hesaplanması

Aksaray ili için zemin kar yükü değerinin belirlenmesinde iki farklı yöntem tercih edilmiştir. İki yöntemde hesaplama adımları uygulanarak zemin kar yükü değerleri bulunmuştur. Hesaplamalar sonucunda her iki yöntem için Aksaray ili verilerinin Lognormal dağılıma uygunluk gösterdiği belirlenmiştir. İki yöntem için Lognormal dağılım dikkate alınarak zemin kar yükü değeri elde edilmiştir. İlk yöntemden elde edilen değer $0,89 \text{ kN/m}^2$ olarak bulunmuştur. İkinci yöntem olan MOÇKK testine göre ise Aksaray ili zemin kar yükü $0,73 \text{ kN/m}^2$ hesaplanmıştır. Güvenli bölgede kalmak için Aksaray ili zemin kar yükü değeri $X_{50}=0,90 \text{ kN/m}^2$ olarak alınmıştır.

3.3. Çatı kar yükünün belirlenmesi

Aksaray ili için elde edilen zemin kar yüklerinin çatı kar yüklerine dönüştürülmesinde denklem (11)'den faydalanılarak hesaplamalar yapılmıştır. Bu denklemde Maruz kalma katsayısı, C_e , TS EN 1991-1-3 Çizelge 5.1'e göre topografik bölge sınıfı rüzgara açık olması durumunda 0,8, normal olması durumunda 1,0, korunmuş duruma göre 1,2 olarak tanımlanmıştır. Bu çalışmada normal topografik durumu dikkate alarak $C_e = 1,0$ alınmıştır.

Isı katsayısı, C_t , TS EN 1991-1-3 bölüm 5.2 (8)'de yüksek sıcaklık iletiminden dolayı ($>1 \text{ W/m}^2\text{K}$) dolayı, özellikle bina çatı altında oluşacak termal kaybın çatı yüzeyi üzerinde oluşturacağı etki nedeniyle erimelerin oluştuğu bazı cam kaplamalı çatılarda çatı kar yükü değerindeki azalmaların hesaba dâhil edilmesi için kullanılmasını bunun dışındaki tüm durumlarda ise: $C_t = 1,0$ alınmasını belirtmiştir. Bu çalışmada ısı katsayısı $C_t = 1,0$ alınmıştır.

Şekil katsayısı μ_i , TS EN 1991-1-3 bölüm 5.3'te bütün çatı tipleri için birikmiş ve birikmemiş kar yükleri için ayrı ayrı düzenlenmiştir. Çalışmada tek eğimli çatılar için TS EN 1991-1-3 bölüm 5.3.2'de verilmiş olan $\mu_i = 0,8$ değeri kullanılmıştır.

Aksaray ili için seçilen değer ($0,90 \text{ kN/m}^2$) denklem (11) kullanılarak yukarıda ilgili parametreleri verilen bir çatı için $0,72 \text{ kN/m}^2$ olarak hesaplanmıştır. Burada verilen değer sadece basit tek eğimli bir çatı için örnek olarak verilmiştir.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, OTS 50 yıl için zemin kar yükü istatistiksel analizlerle hesaplanmıştır. Aksaray ilinde bulunan ve kar-su eşdeğerliği ölçümü yapan Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne ait meteoroloji istasyonundan 1972 yılından günümüze yıllık maksimum kar-su miktarı ($\text{mm}=\text{kg/m}^2$) verileri alınarak zemin kar yüküne çevrilmiştir. Bu değerlerin hangi istatistiksel dağılıma uyduğunun belirlenmesi için iki farklı yaklaşım tercih edilmiştir. İlk olarak istatistiksel uygunluk testleri (Kolmogorov-Smirnov, Anderson-Darling ve Ki-Kare) yardımıyla en uygun dağılımın ne olacağına karar verilmiştir. Literatürde en çok kullanılan Gamma, Gen. Extrem Value, Gamma, Gumbel Max, Gumbel Min, Lognormal, Lognormal (3P), Normal ve Weibull dağılımları incelenmiştir. Bir diğer yaklaşım olarak MOÇKK testi dikkate alınmıştır. Aksaray istasyonu verilerinin bu yöntemde Lognormal, Gumbel ve Weibull dağılımlarından hangisine uygun olduğu belirlenmiştir. Uygulanan testler sonucunda Aksaray ili verilerinin Lognormal dağılıma uygunluk gösterdiği belirlenmiştir. İlk yöntemde Lognormal (3P) dağılıma uygunluk gösteren verilerden 50 yıllık ortalama tekerrür süreli yeni zemin kar yükü değeri belirlenmiştir. İkinci yöntemde ise Lognormal dağılıma bağlı olarak X_{50} değeri hesaplanmıştır. Hesaplamalar sonucunda Aksaray ili için aşılma olasılığı 0,02 olan zemin kar yükü değeri $0,90 \text{ kN/m}^2$ olarak hesaplanmıştır.

TS 498 standardında Aksaray ili haritada altıncı bölgede yer almakta olup zemin kar yükü değeri $1,30 \text{ kN/m}^2$ olarak verilmektedir. Standarttan alınan değer ile istatistiksel analiz sonucunda elde ettiğimiz $0,90 \text{ kN/m}^2$ değeri kıyaslandığında TS 498 standardında Aksaray için verilen değer Aksaray ili için ekonomik olmayan çatı tasarımlarına neden olacağı kanaati oluşmuştur.

Bu çalışma sonucunda TS 498'den elde edilen değerler ile meteorolojik veriler kullanılarak bulunan zemin kar yükü değerleri arasında fark olabileceği görülmüş; bu nedenle kar derinliklerini dikkate alarak zemin kar yükü değeri öneren TS 498'in güncellenmesi gerektiği gerçeği ortaya çıkmıştır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

Kaynakça

- Croce P., Formichi P., Landi F., Mercogliana P., Bucchignani E., Dosio A., Dimova S. The snow load in Europe and the climate change. *Climate Risk Management* 2018; 20: 138-154.
- Durmaz M., Daloğlu A. Doğu Karadeniz bölgesindeki çatıların optimum kar yüklerinin belirlenmesi. *Türkiye İnşaat Mühendisliği XVII. Teknik Kongre ve Sergisi*, 15-17 Nisan 2004, sayfa no:97-99, İstanbul.
- Durmaz M., Daloğlu A. Kar verilerinin istatistiksel analizi ve Doğu Karadeniz bölgesinin zemin kar yükü haritasının oluşturulması. *İMO Teknik Dergi* 2005; 16(3): 3619-3642.
- Ellingwood B., O'Rourke MJ. Probabilistic models of snow load on structures, *Structural Safety* 1985; 2(4): 291-299.
- Firat FK. Development of load and resistance factors for reinforced concrete structures in Turkey. A Thesis Submitted to the Graduate School of Natural and Applied Sciences of Middle East Technical University, Ankara, Türkiye, 2007.
- Firat FK. TS 498'de önerilen çatı kar yüklerinin istatistiksel yöntemlerle hesaplanan çatı kar yükleriyle karşılaştırılması. *Firat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 2009; 21(2): 115-123.
- Firat FK. Yücemen S. Türk standardı TS 498'de önerilen rüzgar yüklerinin istatistiksel olarak değerlendirilmesi. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2012; 28(2): 146-152.
- Firat FK., Yücemen S. Comparison of loads in Turkish earthquake code with those computed statistically. *Earthquakes and Structures* 2015; 8(5): 977-994. <https://doi.org/10.12989/EAS.2015.8.5.977>
- Gu M., Qiang S., Xin L., Zhou X. Probabilistic study of snow loads on flat roofs considering the effect of wind at representative sites in China, *Structural Safety* 2022; 99: 102244.
- Ivanov OL., Barring L., Wilcke RAI. Climate change impact on snow loads in northern Europe, *Structural Safety* 2022; 97: 102231.
- Kumar S., Narayan A., Mehta D., Sinehmani S. Snow cover characterization using C-band polarimetric sar in parts of the Himalaya. *Advances in Space Research* 2022; 70(12): 3959-3974.
- Mathwave EasyFit 5.6 Pro. Deneme sürümü. <https://easyfit.informer.com/5.6/>, 2019.
- Meehleis K., Folan T., Scott H., Lang R., Gienko G. Snow load calculations for Alaska using GHCN data (1950–2017), *Journal of Cold Regions Engineering* 2020; 34(3): 2020.
- Newark MJ., Welsh E., Morris RJ., Dnes WV. Revised ground snow loads for the 1990 National Building Code of Canada. *Canadian Journal of Civil Engineering* 1989; 16(3): 267-278.

- Sack RL. Designing structures for snow loads. *Journal of Structural Engineering*, 1989; 115(2): 303-315.
- Soukhov D. The probability distribution function for snow load in Germany. *Snow Engineering* 2002; 1: 6-7.
- TS 498. Yapı elemanlarının boyutlandırılmasında alınacak yüklerin hesap değerleri. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2021.
- TS EN 1991-1-3. Yapılar üzerindeki etkiler - Bölüm 1-3: Genel etkiler - Kar yükleri (Eurocode 1). Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2007.
- TS EN 1991-1-3. Yapılar üzerindeki etkiler - Bölüm 1-3: Genel etkiler - Kar yükleri (Eurocode 1). Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2025.
- Ural A., Firat FK., Kara ME., Celik T., Tanriverdi S. Damages to rubble stone masonry structures during the January 24, 2020, Sivrice (Elazığ) Earthquake in Turkey. *Earthquakes and Structures* 2022; 23(3): 231–243. <https://doi.org/10.12989/EAS.2022.23.3.231>