

JOURNAL OF ICIVILTECH

INNOVATIONS IN CIVIL ENGINEERING AND TECHNOLOGY

YEAR: **2024** VOLUME: **6** ISSUE: **1**

EARTHQUAKE **ENGINEERING**

BUILDING MATERIALS **ENGINEERING**

CONSTRUCTION MANAGEMENT **ENGINEERING**

TRANSPORTATION **ENGINEERING**

STRUCTURAL **ENGINEERING**

GEOTECHNICAL **ENGINEERING**

e-ISSN: 2687-2129

HYDRAULIC AND WATER RESOURCES **ENGINEERING**

Journal of Innovations in Civil Engineering and Technology

(JICIVILTECH)

2024, Volume 6, Issue 1

The Journal Information

Publisher: Hüseyin AKBULUT

Editor-in-Chief: Hüseyin AKBULUT

Editors: Cahit GÜNER, Murat HİÇYILMAZ

Field Editor: Ahmet Raif BOĞA

Secretary of Publication: Ayfer ELMACI, Burak Enis KORKMAZ, Şule YARCI

Access: Open Access

Language of Publication: English and Turkish

Publication Frequency: Twice a year (in December and June)

Type of Publication: Peer-reviewed and periodical

e-ISSN: 2687-2129

Telephone: +90 272 2182 30 00 (2324)

E-mail: j.civiltech@gmail.com

Webpage: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/jiciviltech>

Correspondence Address: Afyon Kocatepe University, Engineering Faculty, Civil Engineering Department, Ahmet Necdet Sezer Campus, 03200, Afyonkarahisar, TURKEY.

Advisory Board of the 1st Issue

Reviewer List of the 1st Issue

Ahmet Raif BOĞA, *Afyon Kocatepe University, Turkey*
Ahmet YILDIZ, *Afyon Kocatepe University, Turkey*
Alan WOODSIDE, *Brunel University, United Kingdom*
Bojan ZLENDER, *University of Maribor, Slovenia*
Dunja PERIC, *Kansas State University, United States*
Erol TUTUMLUER, *University Of Illinois At Urbana-Champaign, United States*
Gözde KIRLI ÖZER, *Bursa Uludağ University, Turkey*
Hasan ÖZKAYNAK, *İstanbul Beykent University, Turkey*
Hashem R. AL-MASAEID, *Jordan University of Science and Technology, Jordan*
Hüseyin Yılmaz ARUNTAŞ, *Gazi University, Turkey*
Imad L. AL-QADI, *University Of Illinois At Urbana-Champaign, United States*
Iqbal KHAN, *King Saud University, Saudi Arabia*
Ivanka NETINGER GRUBEŠA, *University of Osijek, Croatia*
İlhami DEMİR, *Kırıkkale University, Turkey*
İsmail DEMİR, *Afyon Kocatepe University, Turkey*
João Pedro SILVA, *Polytechnic Institute of Leiria, Portugal*
Masayasu OHTSU, *Kyoto University, Japan*
Mehmet SALTAN, *Süleyman Demirel University, Turkey*
Mujib RAHMAN, *Brunel University, United Kingdom*
Murat KANKAL, *Uludağ University, Turkey*
Paula FOLINO, *University of Buenos Aires, Argentina*
Roumiana ZAHARIEVA, *University of Architecture, Bulgaria*
Serdal TERZİ, *Süleyman Demirel University, Turkey*
Sri Atmaja P. ROSYIDI, *Muhammadiyah University of Yogyakarta, Indonesia*
Şerife Ebru OKUYUCU, *Afyon Kocatepe University, Turkey*
Tamer BAYBURA, *Afyon Kocatepe University, Turkey*
Veli BAŞARAN, *Afyon Kocatepe University, Turkey*

Aydın KICI, *Süleyman Demirel University, Türkiye*
Azadeh REZAFAR, *İstanbul Arel University, Türkiye*
Erdem ÇOBAN, *Haliç University, Türkiye*
Mehmet CANBAZ, *Eskişehir Osmangazi University, Türkiye*
Murat KİLİT, *Afyon Kocatepe University, Türkiye*
Murat Vergi TACİROĞLU, *Mersin University, Türkiye*
Polat ÖZYİĞİT, *Yozgat Bozok University, Türkiye*
Ramazan ACAR, *Munzur University, Türkiye*
Veli BAŞARAN, *Afyon Kocatepe University, Türkiye*
Zuhal ÖZÇETİN, *Uşak University, Türkiye*

Contents / İçindekiler

Articles / Makaleler	Sayfa
Kemal SAPLIOĞLU Mann-Kendall Trend Testi ile Yenilikçi Yöntemlerin Kıyaslanması: Beşkonak Aylık Akım Verileri Örneği <i>Comparison of Mann-Kendall Trend Test and Innovative Methods: Beşkonak Monthly Flow Data Example</i>	1-12
Kanat Burak BOZDOĞAN, Selen AKTAN Hasar Görebilirliğin Hakim Periyoda Bağlı Belirlenmesi İçin Bir Yaklaşım: Çanakkale İl Merkezi Örneği <i>An Approach for Determining Damage Vulnerability Depending on the Fundamental Period: The Case of Çanakkale City Center</i>	13-27
Lale ATILGAN GEVREK The Effect of Asphalt Surface Layer Thickness on the Stress Distribution in the Flexible Pavements <i>Esnek Üstyapılarda Asfalt Kaplama Kalınlığının Gerilme Dağılımına Etkisi</i>	29-40
Fatih SEYHAN, Emir MİLLETSEVER, Tülay Suğra KÜÇÜKERDEM ÖZTÜRK Meteorological and Hydrological Drought Assessment in Ankara Province <i>Ankara İlinde Meteorolojik ve Hidrolojik Kuraklık Değerlendirmesi</i>	41-55
Kemal Ferit ÇETİNTAŞ An Overview to Reducing Environmental Impacts with Material Selection in Building Vertical Envelope and Discussion Material Selection Guidelines for Turkey <i>Çevresel Etkilerin Azaltılması için Bina Düşey Kabuğundaki Malzemelerin Seçim Ölçütlerine Genel Bir Bakış ve Malzeme Seçim Ölçütlerinin Türkiye’de Uygulanabilirliğinin Tartışılması</i>	57-71

Araştırma Makalesi / Research Article

**Mann-Kendall Trend Testi ile Yenilikçi Yöntemlerin
Kıyaslanması: Beşkonak Aylık Akım Verileri Örneği**

*¹Kemal SAPLIOĞLU

¹Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta,
Türkiye, kemalsaplioglu@sdu.edu.tr, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-0016-8690>

Geliş / Recieved: 20.05.2024;

Kabul / Accepted: 01.06.2024

Öz

Günümüzde farklı veri setleri ile trendlerin belirlenmesi için pek çok yöntem mevcuttur. Bu çalışmada trend analizi çalışmalarında sıklıkla kullanılan Mann-Kendall (MK) trend analizi ile son yıllarda popüler hale gelmiş olan Yenilikçi Eğilim Çözümlemesi (YEÇ), Yenilikçi Eğilim Çözümlemesi için Geliştirilmiş Görselleştirme (GG-YEÇ) kıyaslaması yapılmıştır. Ayrıca son yıllarda önerilen Saçılım Diyagramı ile Kombinasyonlu Wilcoxon Trend Testide (SDKWTT) bu karşılaştırmaya dahil edilmiştir. Bu amaçla Türkiye'nin Akdeniz Bölgesinde yer alan Köprüçay nehrine ait Beşkonak akım gözlem istasyonundan alınan 1942-2015 su yıllarına ait 74 yıllık aylık akım verisi kullanılmıştır. Her ay kendi içinde ve yıllık ortalama değerlerin trendleri karşılaştırılmıştır. Bu nedenle 13 farklı trend testinin kıyaslaması yapılmıştır. Ancak homojenlik testi yapıldığında Ağustos ve Ekim ayları verilerinin % 95güven aralığında homojen olmadığı tespit edilmiş ve bu aylara ait veriler kıyaslamada kullanılmamıştır. Çalışma sonucunda yöntemler arasında çok büyük farklar olmadığı testlerin tamamının kullanımının uygun olduğu, ancak birlikte kullanılmalarının güvenilirliği arttırdığı tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Trend Analizi, Mann-Kendall, Yenilikçi Trend Testi, Saçılım Diyagramı ile Kombinasyonlu Wilcoxon Trend Testi, Beşkonak

*¹Sorumlu yazar / Corresponding author

Bu makaleye atıf yapmak için

Saplıoğlu, K. (2024). Mann-Kendall Trend Testi ile Yenilikçi Yöntemlerin Kıyaslanması: Beşkonak Aylık Akım Verileri Örneği. *Journal of Innovations in Civil Engineering and Technology (JICIVILTECH)*, 6(1), 1-12.
<https://doi.org/10.60093/jiciviltech.1487245>

Comparison of Mann-Kendall Trend Test and Innovative Methods: Beşkonak Monthly Flow Data Example

Abstract

Today, there are many methods available to determine trends with different data sets. In this study, a comparison was made between Mann-Kendall (MK) trend analysis, which is frequently used in trend analysis studies, and Innovative Trend Analysis (YEÇ), which has become popular in recent years, and Enhanced Visualization for Innovative Trend Analysis (GG-YEÇ). Additionally, the Wilcoxon Trend Test in Combination with Scatter Diagram (SDKWTT), which has been proposed in recent years, is included in this comparison. For this purpose, 74-year monthly flow data for the water years 1942–2015, taken from the Beşkonak flow observation station of the Köprüçay River in the Mediterranean Region of Turkey, was used. The trends of each month and annual average values were compared. Thus, a comparison of 13 different trend tests was made. However, when the homogeneity test was performed, it was determined that the data for August and October were not homogeneous within the 95% confidence interval, and the data for these months were not used in comparison. As a result of the study, it was determined that there were no major differences between the methods; all tests were appropriate to use, but using them together increased reliability.

Keywords: *Trend Analysis, Mann-Kendall, Innovative Trend Test, Wilcoxon Trend Test in Combination with Scatter Diagram, Beşkonak*

1. Giriş

Trend analizi çalışmaları birçok alanda oldukça önemlidir. Örneğin su kaynakları yapılarının projelendirilmesi ve planlaması gibi pek çok safhasında güvenilir bir trend testi optimum fayda sağlamak için gereklidir. Literatürde pek çok trend testi geliştirilmiştir. İstatistiksel analizler bunların başında gelmektedir. Özellikle trend analizi çalışmalarında sıklıkla kullanılan MK trend testleri bunların başında gelmektedir. Pek çok çalışan tarafından (Güçlü, 2018; Koycegiz ve Buyukyildiz, 2022; Acar, 2024a) kullanılan MK çok farklı büyüklüklerin trend analizinde de kullanılmıştır. Su kalitesi (Fattah vd, 2024), yeraltı suyu (Adombi vd, 2024), akarsu akımı (Acar, 2024 b) ve yağış (Suryanto ve Krisbiyantor, 2018) gibi pek çok alanda trend analizi tespitinde kullanılmıştır. Saplıoğlu ve arkadaşları (2019) yaptıkları çalışmada farklı zaman aralıkları için MK'nın farklı sonuç verebileceğini ortaya koymuşlardır.

İstatistiksel yöntemin yanı sıra grafiksel olarak karar vermeyi kolaylaştıran ve literatürde sıklıkla kullanılmaya başlanan yöntemler teklif edilmiştir. Şen (2014) YEÇ metodunu teklif etmiştir. Bu metot zaman serisinin ikiye bölünmesi ve ikiye bölünen zaman serilerinin sıralı bir şekilde saçılım diyagramında karşılaştırılması üzerine dayanır. Bu çalışma pek çok çalışan tarafından trend analizi çalışmalarında kullanılmıştır (Güçlü, 2018; Dabanlı, 2019; Şen ve Şişman, 2023). Sonraki yıllarda bu yöntemin baz alındığı yeni çalışmalar sunulmuştur. Güçlü (2020) yaptığı çalışmada ikiye ayrılmış ve sıralanmış

verilerin yatay ekseninde gösterildiği ve aralarındaki farkında yatay ekseninde gösterilerek kıyaslandığı bir yöntem GG-YEÇ teklif etmiştir. Sonraki yıllarda Saplıoğlu ve Güçlü (2022) tarafından yapılan bir çalışmada ise YEÇ benzeri bir grafik kullanıldığı ancak verilerin sıralanmadığı bir yöntem (SDKWTT) teklif edilmiştir. Bu çalışmada grafik yöntemin istatistiksel olarak desteklenmesi işleminin Wilcoxon ile yapılması teklif edilmiştir. Böylelikle MK ile elde edilen Z değerinin kıyaslanabildiği bir yöntem sunulmuştur. Bu yöntem farklı çalışanlar (Jiang vd., 2023; Buyukyildiz, 2023; Acar, 2024a) tarafından da test edilmiştir.

Bu çalışmada literatürde sıklıkla kullanılan MK trend testi ile son yıllarda grafik olarak karar vermeyi teklif eden ve temelini Şen (2012) tarafından ortaya atılan YEÇ'in oluşturduğu modellerin kıyaslaması yapılmıştır. Ayrıca GG-YEÇ ve SDKWTT yöntemlerinin de MK ile kıyaslanmıştır. Bu yöntemlerden YEÇ ve GG-YEÇ ikiye bölünmüş veri setini kıyaslar. İki yöntemde de veriler küçükten büyüğe sıralanır. SDKWTT da ise ikiye bölünmüş verilerin grafiksel görünümünü baz alır. Ancak bu veriler sıralama yapılmaksızın kullanılır. Ayrıca SDKWTT Wilcoxon test istatistiği ile kullanıldığı için istatistiksel olarak ta MK dan elde edilen Z değeri ile de kıyaslanabilir. Bu amaçla çalışmada 1942-2015 yılları arasında Devlet Su İşleri (DSİ)'den alınan aylık akım ortalamaları kullanılmıştır. Ayrıca yıllık olarak da ortalama değerlerin trendi incelenerek kıyaslama yapılmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1 Veriler

Makalede karşılaştırma yapılabilmesi için Türkiye'nin Akdeniz Bölgesinde yer alan Köprüçay nehrine ait Beşkonak ölçüm istasyonunun (Şekil 1) 1942-2015 yılları arasındaki 74 yıllık aylık ortalama akım değerleri ile yıllık ortalama akım değerleri kullanılmıştır. Bu istasyona ait tanımlayıcı istatistik değerleri Tablo 1'de verilmiştir. Ayrıca zaman serisi verilerinin aynı kümeden olup olmadığının incelenmesi gerekmektedir. Herhangi bir zaman serisinin homojenliğini test eden çeşitli yöntemler vardır. En çok kullanılanlardan biri Runs (Swed-Eisenhart) testidir. Bu testteki hipotez, aynı zaman serisindeki verilerin aynı kümeden geldiği ve homojen olduğudur. Testin uygulanabilmesi için öncelikle medyan değeri bulunur. Daha sonra zaman serisindeki verilerin medyanın üstünde veya altında olup olmadığına bakılır. Bu hesaplamalar sonrasında Denklem 1'den test değeri hesaplanır. Bu test sonuçlarına göre % 95

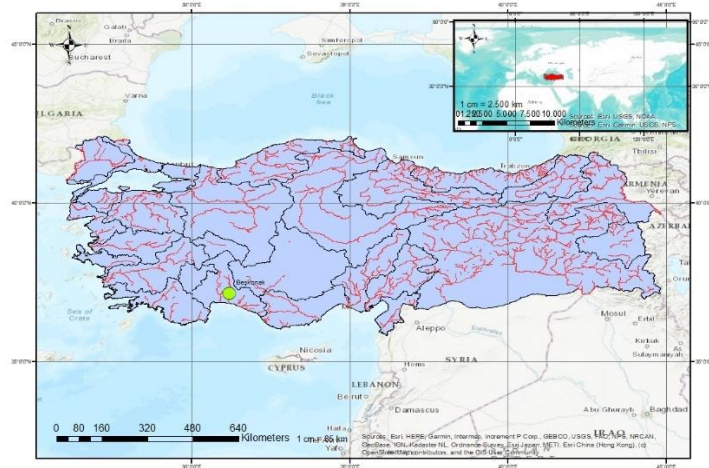
güven aralığı dışında kalan Ağustos ve Ekim aylarına ait verilerin kıyaslamada kullanılmamasına karar verilmiştir. Homojenlik ve otokorelasyon testi sonucunda bir veri istenilen sınırların dışında kalıyorsa bu durumda bu meriler üzerinde trend analizi yapılması uygun değildir (Saphioğlu ve Güçlü, 2022). Bu nedenle trend analizi yapılmadan önce korelasyon testide yapılmıştır. Otokorelasyon testi değerinin güvenilir bir trend analizi için 0.30 değerinin altında olması gerekmektedir. Üstünde olması durumunda Prewhitening yapılmalıdır. Çalışmada elde edilen otokorelasyon sonuçları Tablo 3'de sunulmuştur. Bu tabloya göre tüm sonuçlar trend analizi için uygundur.

$$Z_R = \frac{R - \frac{2N_a N_u + 1}{N_a + N_u}}{\sqrt{\frac{2N_a N_u (2N_a N_u - N)}{N^2 (N - 1)}}} \quad (1)$$

Burada R, Runs sayısıdır, N_a , medyanın altındaki değerlerin sayısıdır, N_u , medyanın üstündeki değerlerin sayısıdır ve N , veri sayısıdır.

Tablo 1. Beşkonak akım gözlem istasyonu aylık ortalama verilerin tanımlayıcı istatistiği

	Ek.	Kas.	Ar.	Oc.	Şub.	Mar	Nis.	May	Haz.	Tem.	Ağ.	Ey.	YOrt.
Ort.	40	55	112	137	135	119	115	95	66	48	39	36	83
S Hata	2	3	8	9	7	4	3	3	2	1	1	1	2
Medyan	37	44	98	125	125	117	114	95	64	48	40	36	83
Std Sap.	14	29	73	74	56	33	29	23	15	9	7	7	19
Basıklık	12.7	5.4	5.2	1.1	-0.4	-0.4	-0.9	-0.4	0.2	2.1	2.8	2.9	0.3
Çarpıklık	3.0	2.0	1.9	1.0	0.6	0.3	0.0	0.2	0.6	1.0	1.0	0.9	0.5
Aralık	90	166	390	343	238	144	112	101	68	46	40	41	96
En Küçük	23	23	34	38	45	56	61	51	40	33	27	22	50
En Büyük	113	189	425	380	283	200	172	152	108	80	67	63	146
G.Düz95%	3.1	6.7	16.9	17.2	13.0	7.6	6.7	5.3	3.4	2.1	1.6	1.5	4.4



Şekil 1. Beşkonak akım ölçüm istasyonu lokasyon haritası

Tablo 2. Beşkonak Akım Gözlem İstasyonu Aylık Ortalama Verilerin Runs Test Sonuçları

	Ek.	Kas.	Ar.	Oc.	Şub.	Mar.	Nis.	May.	Haz.	Tem.	Ağ.	Ey.	Y Ort.
T.D.Med	37	44	98	125	125	117	114	95	64	48	40	36	83
D < T.D	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	36	37	37
D ≥ TD	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	38	37	37
Top. D	74	74	74	74	74	74	74	74	74	74	74	74	74
Runs	32	34	39	31	33	43	33	32	32	33	27	29	31
Z	-1,4	-0,9	0,2	-1,6	-1,2	1,2	-1,2	-1,4	-1,4	-1,2	-2,6	-2,1	-1,6
T.Ö.D	0,16	0,35	0,81	0,10	0,24	0,24	0,24	0,16	0,16	0,24	0,01	0,04	0,10

T.Ö.D -Testin Önem Derecesi, T.D-Test Değeri, D-Durumlar, T.D.Med.-Test Değeri Medyan

Tablo 3. Beşkonak akım gözlem istasyonu aylık ortalama verilerin otokorelasyon test sonuçları

	Ek.	Kas.	Ar.	Oc.	Şub.	Mar.	Nis.	May.	Haz.	Tem.	Ağ.	Ey.	Y Ort.
Otokorelasyon	0,06	0,07	-0,14	0,13	0,01	-0,16	0,06	0,13	0,21	0,15	0,21	0,14	0,14

2.2 Yöntemler

Parametrik olmayan MK eğilim testi, zaman serilerindeki monotonik eğilimlerin önemini değerlendirmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Zaman serisindeki artış veya azalışın ifade edilebilmesi için Denklem 2 ile ifade edilen Z_{MK} değerine bakılır. Z_{MK}

değerindeki pozitif değerler artış, negatif değerler ise azalma olarak ifade edilmiştir. Eğer $|Z_{MK}| > |Z_{\alpha/2}|$ ise bir trend oluşumu vardır. $Z_{\alpha/2} = \pm 1.96$ güçlü eğilim (%95 güven aralığı) olduğu düşünülür (Saphloğlu ve Güçlü, 2022).

$$Z_{MK} = \begin{cases} \frac{S-1}{V(S)} & \text{for } S > 0 \\ 0 & \text{for } S = 0 \\ \frac{S+1}{V(S)} & \text{for } S < 0 \end{cases} \quad (2)$$

$$V(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad (3)$$

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (4)$$

$$(x_j - x_k) = \begin{cases} +1 & \text{if } (x_j - x_k) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_j - x_k) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_j - x_k) < 0 \end{cases} \quad (5)$$

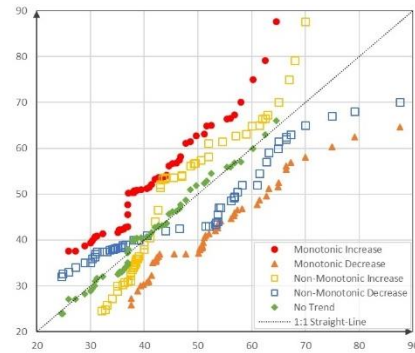
$V(S)$ varyans, S MK toplam istatistik, k serisi $\{x_1, x_2, x_3 \dots x_{n-1}\}$, j serisi $\{x_{k+1} \dots x_{n-2}, x_{n-1}, x_n\}$ zaman serisinin uzunluğudur. İki seri Denklem 5 ile karşılaştırılır.

YEÇ yöntemi (Şen, 2012), monotonik veya monotonik olmayan trend tanımlamasını görsel olarak tanımlayarak büyük avantajlar sağlar ve uygulama açısından oldukça kolaydır. N ögeli herhangi bir zaman serisi, $y_{1,n/2} = \{x_1, x_2, \dots x_{n/2}\}$ ve $y_{2,n/2} = \{x_{n/2+1}, x_{n/2+2}, \dots x_n\}$ şeklinde yarıya bölünür. +1), Daha sonra her iki seri de Denklem (2)'de notasyonel olarak belirtildiği gibi küçükten büyüğe veya büyüktan küçüğe doğru sıralanır Denklem 6 (Şen, 2012).

$$\left\{ \begin{aligned} \{r_1\} &= \{\min(y_{1,n/2}), y_i, \max(y_{1,n/2})\} \quad (1 < i < n/2) \\ \{r_2\} &= \{\min(y_{2,n/2}), y_j, \max(y_{2,n/2})\} \quad (1 < j < n/2) \\ &\text{or} \\ \{r_1\} &= \{\max(y_{1,n/2}), y_i, \min(y_{1,n/2})\} \quad (1 < i < n/2) \\ \{r_2\} &= \{\max(y_{2,n/2}), y_j, \min(y_{2,n/2})\} \quad (1 < j < n/2) \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

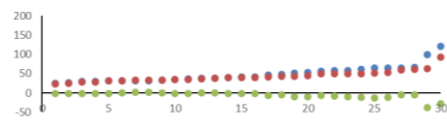
Yarıya bölünmüş verilere dayalı olarak, $\{r_1\}$ 'e karşı $\{r_2\}$ 'ye karşı bir dağılım diyagramı çizilir. Son olarak aynı grafik diyagram üzerinde eğimi 1:1 olan bir doğru çizilir. Eğer veriler bu düz

çizginin üzerindeyse trendin olmadığına karar verilebilir. Aksi takdirde verilerin tamamı 1:1 çizgisinin üzerinde (altında) ise monoton bir artan (azalan) trend söz konusudur. Bu alternatiflerin dışında azalan (artan) bölgeden artan (azalan) bölgeye geçiş de vardır ki buna kısmi artan (azalan) monotonik olmayan trend denir. Tüm bu alternatifler Şekil 2'de sunulmaktadır.



Şekil 2. 1:1 doğrusuna göre trend durumları (Şen, 2012)

Güçlü (2020) tarafından önerilen GG-YEÇ yönteminde YEÇ'te olduğu gibi zaman serisi iki eşit parçaya bölünür ve seriler küçükten büyüğe doğru sıralanır. Fark serisi, ikinci yarı serisinden ilk yarı serisi çıkarılarak elde edilir. Böylece aynı sayıda veriye sahip üç seri elde edilir. Bu üç seri için seri değerleri y eksenine, bu değerlere karşılık gelen veri numaraları ise x eksenine yerleştirilir. Fark serisi yatay ekseninde ise trend yoktur. Yatay eksenin üstünde artan bir trend, yatay eksenin altında ise azalan bir trend vardır (Şekil 3).



Şekil 3. GG-YEÇ yönteminin uygulaması

SDKWTT, MK trend testi gibi sayısal bir analiz sağlar. Aynı zamanda Şen'in YEÇ yöntemi gibi grafiksel bir temsili de hedeflemektedir. Öncelikle veriler YEÇ yönteminde olduğu gibi ikiye bölünür ancak sıralanmaz. İstatistiksel analiz sağlamak amacıyla sırasız yarımlara ait verilerin farklılıklarını dikkate alan Wilcoxon testi kullanılır. Bu testte trend oluşumu hem grafiksel hemde Z testi ile istatistiksel olarak sunulur.

Wilcoxon testi, iki yarı verilerdeki farklılıkları dikkate alarak iki değişkenin dağılımının aynı olup olmadığını test etmeye çalışır. Bu amaçla yarılardaki gözlemler arasındaki farklar Denklem 7'ye göre hesaplanır. Denklem 8'deki gibi mutlak değerler alınarak. Hesaplanan bu değerler sıralanır. Denklem 9 ile sayıların toplamı $T^+ + T^-$ olarak bulunur. Denklem 10 ve 11 yardımı ile de Z_W değeri hesaplanır.

$$D_i = X_i - Y_i \quad (7)$$

$$|D_i| = |X_i - Y_i| \quad (8)$$

$$T = T^+ + T^- \quad (9)$$

$$Z_W = \frac{T - \mu_T}{\sigma_T} = \frac{T}{\sigma_T} \quad (10)$$

$$\sigma_T = \sqrt{\frac{n(n+1)(2n+1)}{6}} \quad (11)$$

Burada, D_i ilk yarı ve ikinci yarı arasındaki verilerin farkıdır. T bu değerleri toplamı, Z_W Wilcoxon Z değeridir.

3. Bulgular

Beşkonak ölçüm istasyonunun 1942-2015 yılları arasına uygulanan testlerin sonuçları bu bölümde irdelenmiştir. YEÇ ile SDKWTT'nin grafiksel gösterimi birlikte yapılırken GG-YEÇ ayrı grafikte gösterilmiştir. Ayrıca MK'ya ait Z değeri ile SDKWTT'ye ait Wilcoxon Z değeri Tablo 4'de kıyaslamalı olarak gösterilmiştir. Grafiklerin sayısı fazla olduğu için kıyaslama için farklılıkların olduğu grafikler seçilip verilmiştir.

Tablo 4'de görülen Temmuz ve Ağustos ayı verilerinin kıyaslamada kullanılması istatistiksel açıdan anlamsızdır. Çünkü bu veriler Tablo 2'de ifade edildiği gibi homojen bir veri seti değildir. Homojen olmayan verilerin istatistiksel olarak değerlendirilmesi testin doğruluğunu sorgular. Bu nedenle bu veri seti için Z değerleri tabloda verilmesine rağmen kıyaslama açısından yorumlara katılmamıştır. Tablo 4'de MK Z değeri ile Wilcoxon Z değerleri arasında anlamlılık ayrıışan Mayıs ve Haziran aylarıdır. Bu aylarda MK Z değeri % 95 güven aralığında azalan trend gösterirken Wilcoxon Z değerinin anlamlılık düzeyi % 90 lar civarında kalmıştır. Fark olan aylardan Mayıs ayı YEÇ ve SDKWTT grafik gösterimlerin Şekil 4'de GG-YEÇ gösterimi ise Şekil 5'de verilmiştir. YEÇ'e göre tüm veriler eğrinin altında kaldığı için bir trendden bahsedilebilir ama bu verilerin büyük çoğunluğu çizgiye yakın olduğu için anlamlı bir trendden bahsetmek zordur. Aynı şekilde SDKWTT'nin gösterimine bakıldığında negatif yöndeki değer sayısının pozitif orana biraz fazla olduğu söylenebilir ancak bu

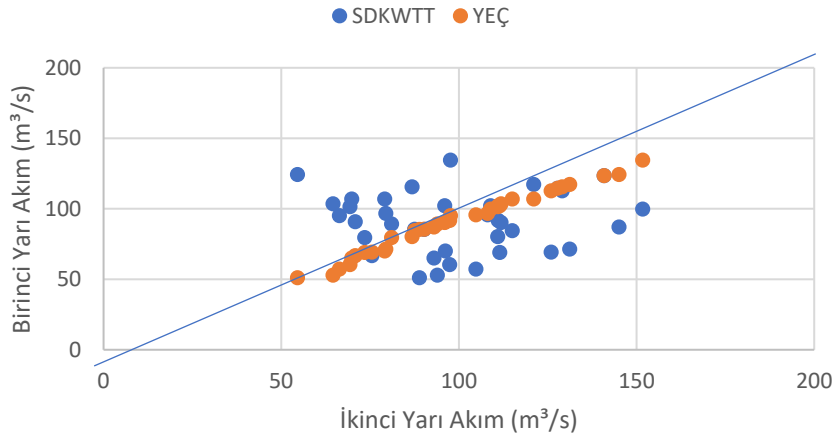
gösterimde kuvvetli trendi desteklemez. Bu grafiğin istatistiksel olarak gösterildiği Wilcoxon Z değerini destekler niteliktedir. Son olarak Şekil 5 incelendiğinde YEÇ’de olduğu gibi tüm değerler x eksenini altındadır ve negatif trend vardır. Ancak farkların az olması bu trendin kuvvetli olmadığını göstermektedir. Bu nedenledir ki Wilcoxon Z değeri MK Z değerinden küçük çıkmıştır.

Tablo 4. Z değerleri kıyaslama tablosu

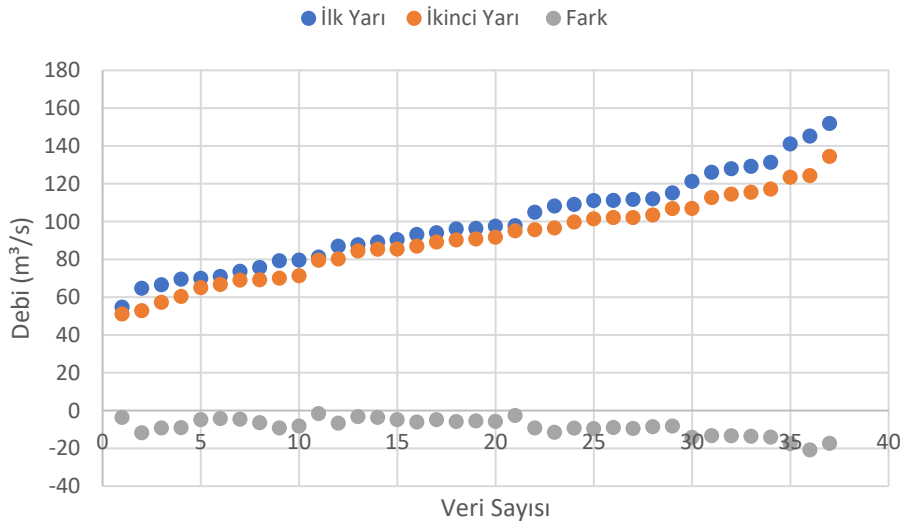
	Z_{MK}	Z_W
Ekim	0.756	0.415
Kasım	1.414	1.712
Aralık	-0.075	0.294
Ocak	-1.176	-0.732
Şubat	-1.157	-1.365
Mart	-1.055	-1.592
Nisan	-1.433	-1.441
Mayıs	-2.203	-1.637
Haziran	-2.725	-1.773
Temmuz	-1.507	-0.898
Ağustos	-0.047	-0.038
Eylül	0.532	0.49
Yıllık	-1.344	-0.626

Yıllık olarak bakıldığında testlerin tamamında %95 güven aralığında bir trend oluşumu olmadığı görülmüştür (Şekil 6-7). Ayrıca trend testlerinin çoğunda % 95 güven aralığında bir trend tespit edilmemesine rağmen genel olarak azalan yönünde bir eğilim olduğu da görülebilmektedir.

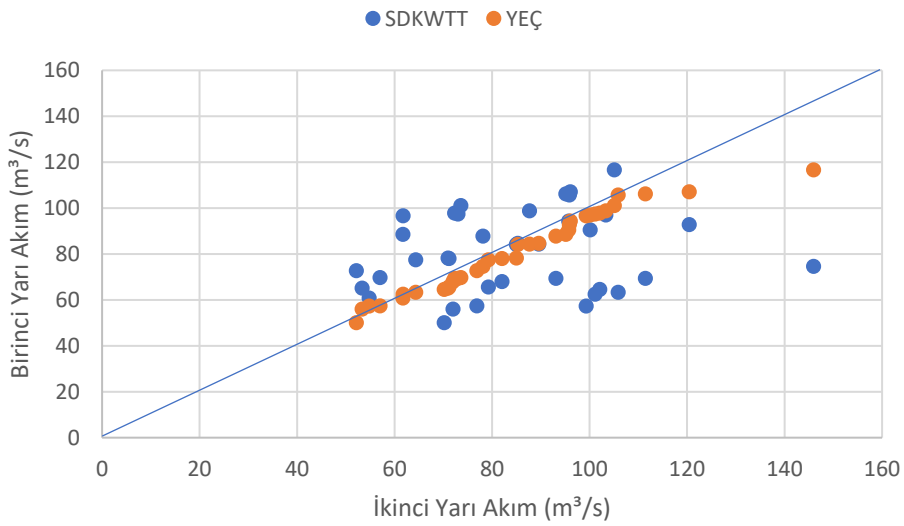
Trend analizleri kıyaslandığında birbirlerine üstün taraflarının olduğu kadar eksik taraflarının da olduğu görülmektedir. Örneğin MK trend testi sayısal olarak ifade vermesine karşın görsel olarak bir sunum gerçekleştirmediği için trend oluşumu konusunda bir soru işareti bırakabilmektedir. MK trend testinde bir değer kendinden önceki değerler arasındaki fark çok küçükte olsa çok büyükte olsa sayısal olarak aynı oranda trende katkı sağladığını göstermektedir. Wilcoxon testinde ise Z değeri elde edilirken veriler arasındaki büyüklük farkı ön plama çıkmaktadır.



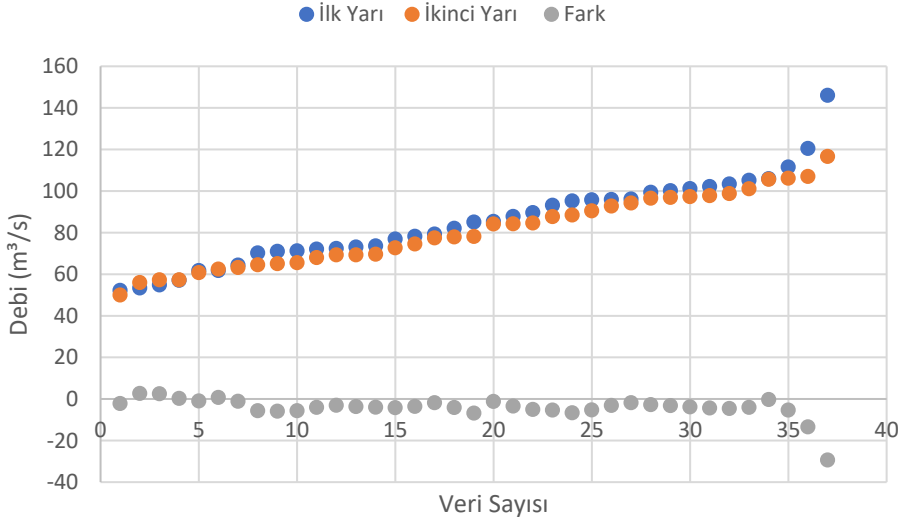
Şekil 4. Mayıs ayı YEÇ ve SDKWTT’nin grafik gösterimi



Şekil 5. Mayıs ayı GG-YEÇ 'in grafik gösterimi



Şekil 6. Yıllık ortalama akım değerleri YEÇ ve SDKWTT'nın grafik gösterimi



Şekil 7. Yıllık ortalama akım değerleri GG-YEÇ 'in grafik gösterimi

4. Sonuçlar

Yapılan çalışmada MK testi ile son yıllarda literatüre dahil olan yenilikçi testler kıyaslanmıştır. Bu amaçla Türkiye'nin Akdeniz Bölgesinde yeralan Köprüçay nehri üzerindeki Beşkonak ölçüm istasyonundan alınan 1942-2015 yılları arasındaki aylık ortalama akım verileri ile yıllık ortalama akım verisi çalışılmıştır. Çalışmada elde edilen sonuçları güvenilirliğinin test edilmesi amaçlı ilk olarak homojenlik testi yapılmıştır.

İki veri setinin homojen olmadığı dolayısıyla bundan elde edilen sonuçların kıyaslamada kullanılamayacağına karar verilmiştir. İkinci aşamada ise korelasyon testi yapılmış ve bu teste göre tüm verilerin istenilen değer aralığında olduğu görülmüştür. Yapılan testler bu doğrulamalardan sonra yapıldığı için güvenilirliği artmıştır. Yapılan testler

sonucunda MK 'nın iki testi dışında hiçbir testte trend oluşumuna %95 güven aralığında trend olmadığı görülmüştür. % 95 güven aralığında olmasa da genel eğilimin azalma yönünde olduğu da söylenebilir. Test sonuçları irdelendiğinde yöntemler arası çok büyük farklar olmadığı görülmüştür. MK 'da trend oluşumu bulunmuş olmasına rağmen diğer testlerde bu oluşumun güçlü derecede gözükmemesi ise MK'nın farkların küçük veya büyük olmasına bakmaksızın aynı oranda etki ettirmesidir.

Kullanılan tüm yöntemler trend analizi için uygundur. Ancak bir hidrolojik olayda trend belirlenirken bu yöntemlerin beraber kullanılması güvenilirliği arttıracaktır.

Makalede elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde farklı analizlerin

birlikte yapılarak kullanılması testlerdeki yanlışma payını azaltacaktır.

Etik Standartlar Bildirgesi

Yazarlar tüm etik standartlara uyduklarını beyan ederler.

Yazarlık Katkı Beyanı

Kavramsallaştırma, Metodoloji, Doğrulama, Analiz ve yorumlama, Araştırma, Yazma/orijinal taslak, Yazma/inceleme ve düzenleme, Görselleştirme

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarların bu makalenin içeriğiyle ilgili olarak beyan edecekleri hiçbir çıkar çatışması yoktur.

Verilerin Kullanılabilirliği

Bu çalışma sırasında oluşturulan veya analiz edilen tüm veriler, yayınlanan bu makaleye dahil edilmiştir.

5. Kaynaklar

Acar, R. (2024 a). A comparison of the performance of different innovative trend assessment approaches for air temperature and precipitation data: an application to Elazığ Province (Turkey). *Journal of Water and Climate Change*, 15(3), 1417–1437.

<https://doi.org/10.2166/wcc.2024.685>

Acar, R. (2024 b). Susurluk Havzası Akımlarının Trend Analiz Yöntemleri Kullanılarak Değerlendirilmesi. *Firat University Journal of Experimental and Computational Engineering*, 3(1), 65–74.

<https://doi.org/10.62520/fujece.1421090>

Adombi, A. V. D. P., Chesnaux, R., & Boucher, M. A. (2024). Toward a methodology to explore historical groundwater level trends and their origin: the case of Quebec, Canada. *Environmental Earth Sciences*, 83(6).

<https://doi.org/10.1007/s12665-024-11466-9>

Buyukyildiz, M. (2023). Evaluation of annual total precipitation in the transboundary Euphrates–Tigris River Basin of Türkiye using innovative graphical and statistical trend approaches. *Applied Water Science*, 13(2), 38. <https://doi.org/10.1007/s13201-022-01845-7>

Dabanlı, S. (2019). A Climate Change Impact: Variation In Precipitation Patterns, And Increased Drought Risk In Turkey. *Sakarya University Journal of Science*, 23(2), 193–202.

<https://doi.org/10.16984/saufenbilder.467119>

Fattah, M. A., Hasan, M. M., Dola, I. A., Morshed, S. R., Chakraborty, T., Kafy, A. A., Shohan, A. A. A. (2024). Implications of rainfall variability on groundwater recharge and sustainable management in South Asian capitals: An in-depth analysis using Mann Kendall tests, continuous wavelet coherence, and innovative trend analysis. *Groundwater for Sustainable Development*, 24, 101060.

<https://doi.org/10.1016/j.gsd.2023.101060>

Güçlü, Y. S. (2018). Multiple Şen-innovative trend analyses and partial Mann-Kendall test. *Journal of Hydrology*, 566, 685–704.

<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.09.034>

Güçlü, Y. S. (2018). Multiple Şen-innovative trend analyses and partial Mann-Kendall test. *Journal of Hydrology*, 566, 685–704.

<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.09.034>

Güçlü, Y. S. (2020). Improved visualization for trend analysis by comparing with classical Mann-Kendall test and ITA. *Journal of Hydrology*, 584, 124674.

<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124674>

Jiang, S., Shang, J., Guo, J., & Zhang, Y. (2023). Multi-Strategy Improved Flamingo Search Algorithm for Global Optimization. *Applied Sciences*, 13(9), 5612.

<https://doi.org/10.3390/app13095612>

Koycegiz, C., & Buyukyildiz, M. (2022). Investigation of precipitation and

- extreme indices spatiotemporal variability in Seyhan Basin, Turkey. *Water Supply*, 22(12), 8603–8624. <https://doi.org/10.2166/ws.2022.391>
- Saplıoğlu, K., Kilit, M., & Şenel, F. A. (2019). Investigation of changes in climate data using checkerboard: the case of Akarçay basin. *Applied Ecology & Environmental Research*, 17(2). http://dx.doi.org/10.15666/aeer/1702_23732384
- Suryanto, J., & Krisbiyantoro, J. (2018). Trend Analysis of Rainfall Data in Magelang District Using Mann-Kendall Test and Modification Mann-Kendall Variation. *AGRIFOR*, 17(2), 293. <https://doi.org/10.31293/af.v17i2.3616>
- Şen, Z. (2012). Innovative Trend Analysis Methodology. *Journal of Hydrologic Engineering*, 17(9), 1042–1046. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)he.1943-5584.0000556](https://doi.org/10.1061/(asce)he.1943-5584.0000556)
- Şen, Z. (2014). Trend Identification Simulation and Application. *Journal of Hydrologic Engineering*, 19(3), 635–642. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)he.1943-5584.0000811](https://doi.org/10.1061/(asce)he.1943-5584.0000811)
- Şen, Z., & Şişman, E. (2023). Risk attachment Sen's Slope calculation in hydrometeorological trend analysis. *Natural Hazards*, 120(4), 3239–3252. <https://doi.org/10.1007/s11069-023-06329-8>

Araştırma Makalesi / Research Article

Hasar Görebilirliğin Hakim Periyoda Bağlı Belirlenmesi İçin Bir Yaklaşım: Çanakkale İl Merkezi Örneği

¹Kanat Burak BOZDOĞAN, ²Selen AKTAN

¹Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Çanakkale, Türkiye,
kbbozdogan@comu.edu.tr, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-7528-2418>

²Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Çanakkale, Türkiye,
saktan@comu.edu.tr, ORCID ID <http://orcid.org/0000-0003-4927-4187>

Geliş / Recieved: 16.05.2024;

Kabul / Accepted: 05.06.2024

Öz

Hasar görebilirliğin önemli bir göstergesi görel kat ötelemesi değeridir. 0.01 görel kat ötelemesi sınırı ATC-40'a göre hemen kullanım performans seviyesine karşılık gelmekte olup, bu görel kat ötelemesi sınır değerinin altında binalar elastik davranış göstermektedirler. Bu çalışmada, Çanakkale il merkezindeki düzenli betonarme binaların hasar görmemeleri için hakim periyot değerlerinin hangi aralıklarda olması gerektiği belirlenmiştir. Çalışma; ZC, ZD ve ZE zemin sınıflarında ve DD-1 ve DD-2 deprem düzeyleri için gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, maksimum görel kat ötelemesi oranının belirlenmesi için salt perdeli yapılar için eğilme kirişi kabulü yapılırken, salt çerçeveli yapılar için kayma kirişi kabulü yapılmıştır. Çalışmada literatürden farklı olarak daha gerçekçi sonuçlar elde etmek için eğilme kirişi ve kayma kirişi modelinde kütleler ayrı ayrı olarak kat hizalarında dikkate alınmıştır. Bu modelden yararlanılarak maksimum görel kat ötelemesi oranı için hakim periyoda bağlı bir bağıntı SAP2000 programı yardımıyla elde edilmiştir. Elde edilen bağıntı 0.01 görel kat ötelemesi değerine eşitlenerek binaların hasar görmemesi için gereken minimum hakim periyot değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar grafik ve tablolar üzerinde gösterilerek sonuçlar yorumlanmıştır.

Anahtar kelimeler: Hakim Periyot, Görel Kat Ötelemesi Oranı, Hasar Görebilirlik

*Sorumlu yazar / Corresponding author

Bu makaleye atıf yapmak için

Bozdoğan, K.B., & Aktan, S. (2024). Hasar Görebilirliğin Hakim Periyoda Bağlı Belirlenmesi İçin Bir Yaklaşım: Çanakkale İl Merkezi Örneği. *Journal of Innovations in Civil Engineering and Technology (JICIVILTECH)*, 6(1), 13-27. <https://doi.org/10.60093/jiciviltech.1485402>

An Approach for Determining Damage Vulnerability Depending on the Fundamental Period: The Case of Çanakkale City Center

Abstract

An important indicator of damage vulnerability is the interstory drift ratio (IDR). 0.01 IDR limit corresponds to the immediate use performance level according to ATC-40 and buildings show elastic behaviour below this IDR. In this study, it was determined in which ranges the fundamental period values should be in order to prevent damage to regular reinforced concrete buildings in the city center of Çanakkale. The study was carried out for soil classes ZC, ZD and ZE and for earthquake levels DD-1 and DD-2. In this context, as a novelty for the determination of the maximum IDR, flexural beams were assumed for pure shear wall structures, while shear beams were assumed for pure frame structures. In the study, as a difference from the literature, in order to obtain more realistic results, the masses are considered lumped at the storey levels in the flexural beam and shear beam model. Using this model, a fundamental period related to the maximum IDR was obtained using SAP2000. The relation obtained was equalized to 0.01 IDR and the minimum fundamental period values required for the buildings not to be damaged were calculated. The results obtained were shown on graphs and tables and the outcomes were evaluated.

Keywords: *Fundamental Period, Interstory Drift Ratio, Damage Vulnerability.*

1. Giriş

Yapıların depreme karşı dayanımlarının belirlenmesi için pratik yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu konuyla ilgili yapılmış çeşitli çalışmalar bulunmaktadır (Gülkan & Utkuğ, 2003; Akbulut & Aytuğ, 2005; Karaca 2017; Hancılar, Şeşetyan & Çaktı, 2019; Karaşin, 2023). Akbulut ve Aytuğ (2005), mevcut betonarme yapıların deprem hasar görebilirliklerini belirlemeye yönelik bir değerlendirme yöntemi önermişlerdir. Yöntem, yapıların mimari ve yapısal özelliklerinin pratik bir şekilde gözden geçirilmesi ve yapının deprem davranışını olumsuz yönde etkileyecek özelliklerin belirlenmesi esasına dayanmaktadır. Karaca (2017), yapının kat sayısı ile hasar görebilirliği arasında bir bağıntının yanı sıra, hasar ile hakim periyot, yanal rijitlik katsayısı ve süneklik arasında bir bağıntı olup olmadığını araştırmıştır. Bu parametrelerin hasar görebilirlik ile ilişkisi için çok sayıda bina kullanarak değerlendirme yapmanın uygun olacağı sonucuna varmıştır. Hancılar vd. (2019), 2000 yılından sonra inşa edilen ve 1998 Deprem Yönetmeliği'ne uygun yapıldıkları varsayılan binalar için, tasarıma esas deprem düzeyinde yapısal hasar tahminleri sunmuşlardır. Bu kapsamda, ELER yazılımında kapasite spektrumu yöntemini temel alan Kentsel Deprem Kayıpları Tahmin Modülünü kullanmışlardır. Karaşin (2023), spektral ivme değerini değişken olarak seçerek 7 farklı bölgede ve 7 farklı ilde 2018 ve 2007 Deprem Yönetmelikleri kapsamında 7 katlı bir binayı Kocaeli 1999 deprem kaydı altında analiz ederek

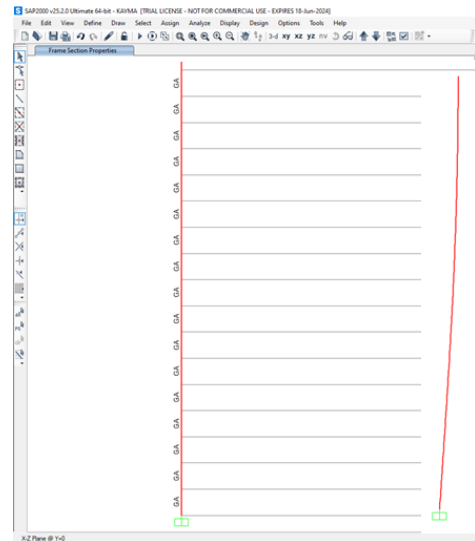
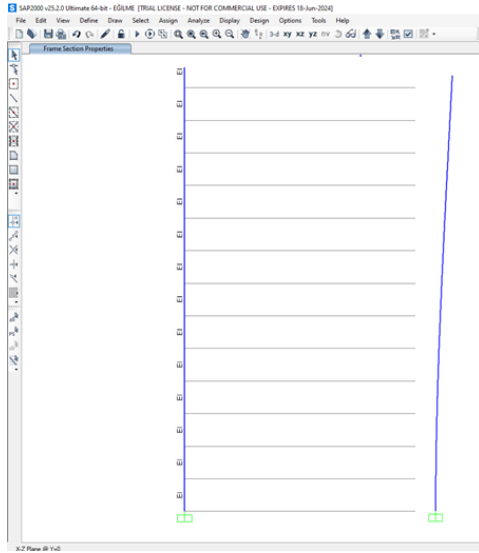
dirençlilik indeksinin bulunması için gerekli parametreleri elde etmiştir.

Gülkan ve Utkuğ (2003), okul binalarının depremlerde elastik bölgede kalarak hasar görmemeleri için gerekli olan minimum perde oranını hesaplamak için bir yaklaşım önermişlerdir. Bu yaklaşımda okul binasına etkiyen deprem yüklerinin tamamının perdeler tarafından karşılandığı ve çerçevelerin hiçbir yük almadığı kabul edilmiştir. Çalışmada okul binası eşdeğer bir eğilme kirişi olarak modellenmiş olup, güvenli tarafta kalmak için bina kütlesi sisteme yayılı olarak etkililmiş ve farklı görel kat ötelenme oranları için gerekli olan perde yüzdesi hesaplanmıştır.

Bu çalışmada ise, Çanakkale il merkezi özelinde en çok bulunan zemin sınıfları olan ZC, ZD ve ZE zemin sınıflarında salt perdeli ve salt çerçeveli taşıyıcı sisteme sahip binaların 0.01 görel kat öteleme oranını aşmaması için gerekli olan hakim periyot değerleri aralığı 1'den 20'ye kadar 20 farklı kat sayısı için hesaplanmıştır. 0.01 maksimum görel kat öteleme (MGKÖ) sınırı hemen kullanım performans seviyesine karşı gelmekte olup (İbrahim & El-Shami, 2011; Teguh, Mahlisani & Saleh, 2019) bu değer altında binalar elastik davranış göstermektedirler.

Çalışmada, salt perdeli yapılar eğilme kirişi olarak, salt çerçeveli yapılar ise kayma kirişi olarak SAP2000'de modellenmiş (Şekil 1), yapılan hesaplar sonucunda görel kat öteleme oranı için periyodun fonksiyonu olan bir bağıntı elde edilmiştir. Bu makalede,

binaların taşıyıcı sistemlerinin simetrik olduğu ve binadaki kolon, perde ve kiriş boyutlarının yapı yüksekliği boyunca değişmediği kabulleri yapılmıştır. Simetrik yapılarda yer değiştirmelerin hesaplanmasında birinci mod baskın olduğundan analizlerde yalnızca birinci mod dikkate alınmıştır.



Şekil 1. SAP2000 modelleri ve şekil değiştirmeleri a. eğilme kirişi b. kayma kirişi

Kayma kiriş modelinde eğilme yer değiştirmelerini ihmal etmek adına eğilme rijitliği için yüksek bir değer girilirken, eğilme kirişi modelinde ise kayma yer değiştirmelerini ihmal etmek adına kayma rijitliği için yüksek bir değer girilmiştir.

Hesaplamalarda, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) 2018'deki Deprem Düzeyi -2 (tasarım deprem yer hareketi) ve Deprem Düzeyi -1 (göz önüne alınan en büyük deprem yer hareketi) için tanımlanmış olan yatay elastik tasarım spektrumları kullanılmıştır.

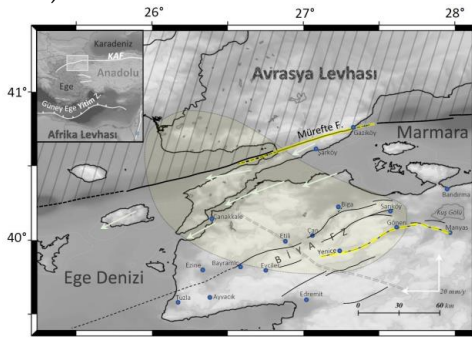
Çalışmada orijinal olarak, yalnızca eğilme kirişi değil aynı zamanda salt çerçevesel yapıları temsil eden kayma kirişi davranışı esas alınarak 0.01 göreceli kat ötelemesi oranı için gereken periyotlar hesaplanmıştır. Gülkan ve Utku (2003)'ün kullanmış olduğu sürekli sistem hesap modelinde 7 kat ve üzeri için sonuçlar klasik sonlu elemanlar yöntemiyle uyumludur. Sözü edilen çalışmada yayılı olarak dikkate alınan kütle bu çalışmada ayırık olarak kat hizalarında dikkate alınmıştır. Kütlelerin ayırık olarak dikkate alınmasının sebebi 7 ve daha düşük katlı binalarda sürekli sistem hesap modelinin ayırık kütle hesap modelinden daha uzak sonuçlar vermesidir (Baikov & Sigalov, 1981). Bilindiği üzere kütleler döşeme hizalarında yoğunlaşmakta olup bu nedenle kütlelerin ayırık olarak kat hizalarında dikkate alınması daha gerçekçidir. 7 ve daha düşük kat sayısına sahip binalarda kütlelerin ayırık olarak dikkate alınmasıyla klasik sonlu elemanlar yöntemine daha uyumlu sonuçlar elde edilmektedir.

2. Materyal ve Yöntem

Bu kısımda öncelikle çalışma alanı olan Çanakkale bölgesindeki aktif faylar ve bölgeyi etkileyen geçmiş depremlerden bahsedilmiştir. Daha sonra Çanakkale il merkezi için DD-1 ve DD-2 deprem düzeylerindeki spektrum eğrileri AFAD Türkiye Deprem Tehlikeleri Haritaları İnteraktif Web Uygulamasından elde edilerek ZC, ZD ve ZE zemin sınıfları için verilmiştir. Sonrasında ise periyot ile hasar görebilirlik arasındaki ilişki denklemler yardımıyla açıklanmıştır.

2.1 Çanakkale'nin Depremselliği

Çanakkale, Türkiye'nin en aktif 2 fayından biri olan Kuzey Anadolu Fay Hattı'nın kuzey ve güney kolları arasında konumlanmaktadır (Şekil 2). Bölgeyi tehdit eden aktif faylar; Saros-Gaziköy Fayı, Yenice-Gönen Fayı, Çan-Biga Fayı, Etili Fayı ve Sarıköy Fayı olarak sayılabilir (Erginal & Erginal, 2003).



Şekil 2. Çanakkale ve çevresinin aktif tektoniği (Komut, Önder & Özcan, 2023)

Saros-Gaziköy Fayı'nın bulunduğu bölgede farklı büyüklükte çok sayıda deprem kaydedilmiştir. Bu depremler arasında en yıkıcı olanı 09.08.1912

tarihinde gerçekleşen $M_s=7.4$ büyüklüğündeki Şarköy-Mürefte depremidir. 10.08.1912 günü ise aynı bölgede $M_s=6.2$ ve $M_s=5.3$ büyüklüklerinde depremler yaşanmıştır. Yenice-Gönen Fayı Biga Yarımadası'nın en önemli aktif tektonik yapılarından biridir. Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun güney kolunun bir parçası olduğu değerlendirilen bu fay üzerinde 18.03.1953 tarihinde yıkıcı bir deprem ($M_w=7.2$) meydana gelmiştir (Kürçer, Chatzipetros, Tutkun, Pavlides, Ateş & Valkaniotis, 2008). Yaklaşık 55 km uzunluğundaki bu fayda 03.03.1969 yılında $M_s=5.7$ büyüklüğünde deprem olmuştur. Çan-Biga fay zonu, 2 - 25 km arasında değişen uzunluklarda bir çok fay parçasından oluşmuştur. Bu bölgede 04.01.1935'te $M_s=6.4$ büyüklüğünde, 05.07.1983 tarihinde ise $M_s=6.1$ büyüklüğünde deprem olmuştur. Yaklaşık 40 km uzunluktaki Etili Fayında 26.04.1972 tarihinde $M=5.0$ büyüklüğünde deprem olmuştur (Demirci, 2007).

Çanakkale ilinin Ayvacık ilçesi 06.02.2017 $M_w=5.2$ ve $M_w=5.1$, 07.02.2017 $M_w=5.2$, 12.02.2017 $M_w=5.3$ tarihlerinde orta büyüklükte dört depremle sarsılmıştır (Görgün, Kalafat & Kekovalı, 2020). Ayrıca 24.05.2014 tarihinde Ege Denizi'nin kuzeyindeki Gökçeada Adası'nın batısında meydana gelen $M_w=6.9$ büyüklüğündeki deprem, 50'si Çanakkale ilinde ve 200'ü Gökçeada'da olmak üzere yaklaşık 300 binada orta derecede hasara yol açmıştır (Karagöz, Chimoto, Yamanaka, Özel & Citak, 2018).

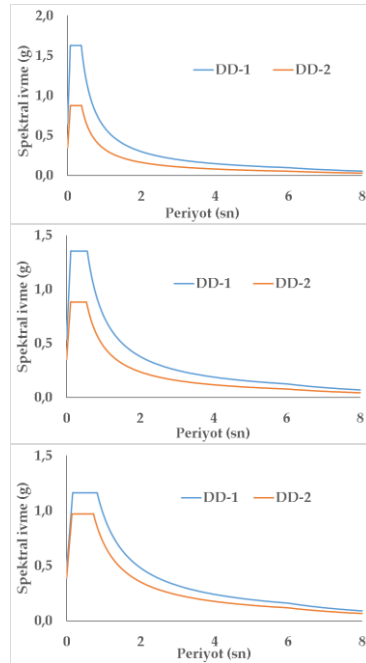
08.01.2013 tarihinde meydana gelen $M_w=5.7$ büyüklüğündeki Kuzey Ege Denizi ve 30.07.2013 tarihinde meydana gelen $M_L=5.3$ büyüklüğündeki Kuzey Ege Depremi Çanakkale'de hissedilen depremler olmuştur. Son olarak 20.02.2019'daki $M_w=5.0$ büyüklüğündeki Tartışık-Ayvacak depremi, 27.02.2024'te $M_L=4.5$ büyüklüğündeki Beypınar-Lapseki depremi ve 04.03.2024'te $M_L=4.9$ büyüklüğündeki Karasu-Yenice depremi, bu bölgede depremlerin sıklıkla meydana geldiğini göstermektedir. Bölgede meydana gelen depremler özet olarak Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Bölgede meydana gelmiş önemli depremler

Tarih	Moment Büyüklüğü	Deprem Yeri
09.08.1912	$M_s=7.4$	Şarköy-Mürefte
10.08.1912	$M_s=6.2$	Şarköy-Mürefte
10.08.1912	$M_s=5.3$	Şarköy-Mürefte
04.01.1935	$M_s=6.4$	Çan -Biga fay zonu
18.03.1953	$M_w=7.2$	Yenice-Gönen
03.03.1969	$M_s=5.7$	Gönen
26.04.1972	$M=5.0$	Etili
05.07.1983	$M_s=6.1$	Çan -Biga fay zonu
08.01.2013	$M_w=5.7$	Kuzey Ege Denizi
30.07.2013	$M_L=5.3$	Kuzey Ege Depremi
24.05.2014	$M_w=6.9$	Ege Denizi
06.02.2017	$M_w=5.2$	Ayvacak
06.02.2017	$M_w=5.1$	Ayvacak
07.02.2017	$M_w=5.2$	Ayvacak
12.02.2017	$M_w=5.3$	Ayvacak
20.02.2019	$M_w=5.0$	Tartışık-Ayvacak
27.02.2024	$M_L=4.5$	Beypınar-Lapseki
04.03.2024	$M_L=4.9$	Karasu-Yenice

2.2 Çanakkale İl Merkezi için TBDY2018'e Göre DD-1 ve DD-2 Deprem Düzeyleri için Tasarım Spektrumları

Çanakkale il merkezini temsil eden enlem: 40.1470045 ve boylam: 26.4075808 lokasyonu alınarak farklı zemin sınıfları ile DD-1 ve DD-2 deprem düzeyleri için AFAD Türkiye Deprem Haritaları İnteraktif Web Uygulamasından elde edilmiş olan tasarım spektrumları aşağıda verilmiştir. Şekil 3a,b,c'de sırasıyla ZC, ZD ve ZE zemin sınıflarına ait yatay elastik tasarım spektrum eğrileri görülmektedir. Tablo 2'de ise S_{DS} (Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı) ve S_{D1} (1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı) değerleri verilmiştir.



Şekil 3. Çanakkale il merkezi DD-1 ve DD-2 deprem düzeyleri için yatay elastik tasarım spektrumları a. ZC, b. ZD, c. ZE

Tablo 2. DD-1 ve DD-2 deprem düzeylerine göre S_{DS} ve S_{D1} değerleri

	DD-1		DD-2	
	S_{DS}	S_{D1}	S_{DS}	S_{D1}
ZC	1.627	0.621	0.876	0.331
ZD	1.356	0.761	0.884	0.477
ZE	1.163	0.962	0.971	0.706

2.3 Periyodun Hasar Görebilirlikle İlişkisi

Hasar gören yapılarda yapılan ölçümlerde rijitliğin azaldığı, dolayısıyla periyodun uzadığı ve yer değiştirmelerin arttığı gözlemlenmiştir (Bayülke, 2021). Yer değiştirmelerin artmasıyla birlikte görel kat ötelemesi oranları da artmaktadır.

Tespit edilen periyot uzaması ile yapının ne derece hasar gördüğünü belirlemek mümkün olmaktadır (Masi & Vona, 2010; Mucciarelli, Vona, Ditommaso & Gallipoli, 2012; Ditommaso, Vona, Gallipoli & Mucciarelli, 2013; Socarrás-Cordoví, Álvarez-Deulofeu & Lora-Alonso, 2021; Wang, Gao & Yang, 2022). Tepki spektrumları farklı periyota sahip tek serbestlik dereceli sistemlerin aynı deprem kaydı altında aynı sönüm oranı için maksimum ivme, hız ve yer değiştirmeleri içermektedir. Bu spektrumlardan görüleceği üzere yer değiştirmeler ve dolayısıyla görel kat ötelemesi oranları periyotla değişmektedir. Eğer mevcut bir binanın depremden önceki ve depremden sonraki periyodu ölçülmüşse bu binanın depremde nasıl bir performans sergilediği ve ne kadar hasar gördüğünü belirlemek mümkündür.

2.4 Çalışmada Kullanılan Yöntem

Maksimum görel kat ötelemesi oranı (MGKÖO) yapı dinamiğinden bilindiği üzere Denklem 1’de verilen bağıntıyla hesaplanabilir (Chopra, 2023).

$$MGKÖO = \frac{\Gamma_1}{H} \frac{d\phi(z)}{dz}_{max} \cdot S_d(T_1) \quad (1)$$

(1) No.lu bağıntıda Γ_1 1. moddaki katılım faktörünü, $\phi(z)$ 1. mod şeklini, z bina yüksekliği boyunca uzanan eksenini, H toplam bina yüksekliğini, $S_d(T_1)$ hakim periyoduna karşı gelen elastik spektral yer değiştirme değerini göstermektedir. Spektral yer değiştirmeye spektral ivme arasında (2) No.lu bağıntıyla verilen ilişki bulunmaktadır (Chopra, 2023).

$$S_d(T_1) = \frac{S_a(T_1)}{\omega_1^2} \quad (2)$$

(2) No.lu bağıntıda $S_a(T_1)$ birinci periyoda karşılık gelen elastik spektral ivme değerini ve ω_1 ise birinci modun açısal frekansını göstermektedir. (3) No.lu bağıntıda verilen periyotla açısal frekans bağıntısı (2) No.lu denklemde yerine yazılırsa (4) No.lu denklem elde edilir.

$$\omega_1 = \frac{2\pi}{T_1} \quad (3)$$

$$S_d(T_1) = \frac{S_a(T_1) \cdot T_1^2}{4\pi^2} \quad (4)$$

Yukarıda verilen (4) No.lu bağıntı (1) No.lu denklemde yerine yazılırsa (5) No.lu bağıntı elde edilir.

$$MGKÖO = \frac{\Gamma_1}{H} \frac{d\phi_1}{dz}_{max} \cdot \frac{S_a(T_1) \cdot T_1^2}{4\pi^2} \quad (5)$$

(5) No.lu bağıntı daha kısa olarak (6) No.lu bağıntı şeklinde yazılabilir.

$$MGKÖO = \frac{\beta \cdot S_d(T_1) \cdot T_1^2}{H} \quad (6)$$

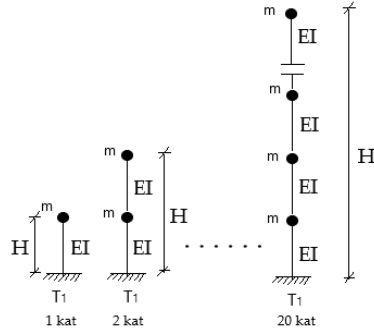
(6) No.lu bağıntıda geçen β katsayısı, MGKÖO katsayısı olarak (7) No.lu bağıntı ile tanımlanmıştır.

$$\beta = \frac{r_1}{4\pi^2} \frac{d\phi_1}{dz_{max}} \quad (7)$$

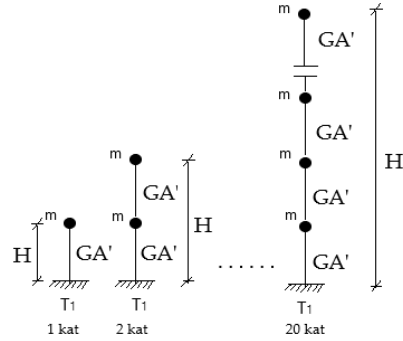
(7) No.lu bağıntıdaki r_1 , birinci modun katılım faktörü, $\frac{d\phi_1}{dz}$ ise birinci mod şeklinin konuma göre türevi olarak tanımlanmaktadır.

3. Bulgular ve Tartışma

Salt perde duvarlı binalar genellikle yatay yükler altında bir eğilme kirişi gibi davranırlar (Atımtay, 2000). Buna karşı salt çerçevelerden oluşan binalar yatay yükler altında hakim davranış olarak bir kayma kirişi davranışı gösterirler. Perde-çerçeve (karma) binalar ise eğilme+kayma davranışı gösterirler. Bu çalışmada (7) No.lu bağıntıda tanımlı olan β katsayısının bulunması için SAP 2000 programından yararlanılmıştır. Şekil 4'te görüldüğü üzere salt perde duvarlardan oluşan binalar için duvar davranışını temsil etmek üzere 1'den 20 kata kadar değişen eğilme kirişleri SAP2000 ortamında çözümlenerek β değerleri hesaplanmıştır. Benzer olarak salt çerçevelerden oluşan binaları temsil eden ve Şekil 5'te görüldüğü üzere 1'den 20 kata kadar kayma kirişleri çözülerek bu tür binalar için de β katsayıları elde edilmiştir. Elde edilen β katsayılarının kat adetine ve taşıyıcı sistem türüne bağlı değişimi Tablo 3'te verilmiştir.



Şekil 4. Eğilme kirişi



Şekil 5. Kayma kirişi

Tablo 3'ten görüldüğü üzere β katsayısı salt perdeli binalar için 0.025 ile 0.053 arasında değişirken salt çerçevelerden oluşan binalar için ise 0.025 ile 0.050 arasında değişmekte olup perde-çerçeve binalarda ise β katsayıları salt perde duvar ve salt çerçevelerden oluşan binalar için verilen değerler arasında olacaktır. Örneğin beş katlı perde-çerçeve taşıyıcı sisteme sahip bir binada β katsayısı 0.045 ile 0.049 arasında olacaktır. β katsayıları en büyük değerleri salt perdelerden oluşan binalarda almaktadır. Bu nedenle güvenli tarafta kalmak amacıyla bu çalışmada sınır değer olarak seçilen 0.01 MGKÖO'nı sağlayacak olan hakim periyotların bulunması için salt perdeli binalar için elde edilmiş β katsayıları kullanılmıştır.

Tablo 3. β katsayısının kat adedi ve taşıyıcı sistem türüne bağlı olarak değişimi

Kat Adedi	Salt Perdeli	Salt Çerçevesi
1	0.025	0.025
2	0.041	0.037
3	0.046	0.041
4	0.048	0.044
5	0.049	0.045
6	0.050	0.046
7	0.051	0.047
8	0.051	0.047
9	0.052	0.048
10	0.052	0.048
11	0.052	0.048
12	0.052	0.048
13	0.053	0.049
14	0.053	0.049
15	0.053	0.049
16	0.053	0.049
17	0.053	0.049
18	0.053	0.049
19	0.053	0.049
20	0.053	0.050

Çalışmada (6) No.lu bağıntıdan yararlanılarak TBDY2018'e göre Çanakkale il merkezinde ZC, ZD ve ZE zemin sınıfları için DD-1 ve DD-2 deprem düzeylerine göre 0.01 maksimum görel kat ötelemesi sınırını aşmayan hakim periyot değerleri (8) No.lu eşitsizlik yardımıyla hesaplanmıştır. 8 No.lu eşitsizliğin çözümü için Scilab ortamında bir program yazılmıştır. Eşitsizlikte yer alan $S_a(T_1)$ değerleri için TBDY2018'deki yatay elastik spektrumlar kullanılmıştır.

$$T_1 \leq \sqrt{\frac{0.01.H}{\beta.S_a(T_1)}} \quad (8)$$

TBDY2018'e göre yatay elastik tasarım spektrumunu tanımlayan 4 bölge bulunmaktadır. 4. bölge (sabit yer değiştirme bölgesi) 6 saniye ve üzeri periyoda karşılık gelmektedir. Bu çalışmada 20 ve daha az katlı binalar göz önüne alındığından ve bu binaların periyotlarının 6 saniyeden daha kısa olması nedeniyle 4. bölge çözümlemelerde göz önüne alınmamıştır.

1. bölge Denklem 9'daki gibi tanımlıdır.

$$S_{ae}(T_1) = \left(0.4 + 0.6 \frac{T_1}{T_A}\right) S_{DS} \quad (0 \leq T_1 \leq T_A) \quad (9)$$

Bina periyodunun bu bölgede kalması durumunda (9) bağıntısı (8) No.lu denklemde yerine yazılırsa aşağıda verilen ve T_1 hakim periyodunun bilinmeyen olduğu 3. dereceden bir eşitsizlik elde edilir (Denklem 10).

$$\frac{\beta x g x 0.6 x S_{DS}}{T_A} T_1^3 + 0.4 x S_{DS} x \beta x g x T_1^2 - 0.01 H \leq 0 \quad (10)$$

(10) No.lu eşitsizlik kısaltılmış olarak aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$aT_1^3 + bT_1^2 - c \leq 0 \quad (11)$$

Burada a, b ve c ifadeleri (12) No.lu denklemde tanımlanmıştır.

$$a = \frac{\beta x g x 0.6 x S_{DS}}{T_A}, \quad b = 0.4 x S_{DS} x \beta x g, \quad c = 0.01 H \quad (12)$$

(11) No.lu denklemde verilen 3. dereceden denklemin $0 \leq T_1 \leq T_A$ koşulunu sağlayan kökü hakim periyot değerini verir.

TBDY2018’de 2. bölge (sabit ivme bölgesi) ise Denklem 13’teki gibi tanımlıdır.

$$S_{ae}(T) = S_{DS} \quad (T_A \leq T \leq T_B) \quad (13)$$

Hakim periyodun bu bölgede yer alması durumunda ise (13) ve (8) No.lu bağıntılardan yararlanılarak (14) No.lu eşitsizlik elde edilir.

$$T_1 \leq \sqrt{\frac{0.01xH}{S_{DS}xgx\beta}} \quad (14)$$

(14) No.lu eşitsizliğin çözümünden MGKÖÖ’nün 0.01’den küçük olması için T_1 hakim periyodunun alabileceği en büyük değeri hesaplanır.

TBDY2018’de ivme spektrumunda sabit hız bölgesi olan 3. bölge için aşağıdaki gibi tanımlıdır (Denklem 15).

$$S_{ae}(T) = \frac{S_{D1}}{T} \quad (T_B \leq T \leq T_L) \quad (15)$$

(15) No.lu bağıntının (8) No.lu denklemde yerine yazılmasıyla (16) No.lu eşitsizlik elde edilir.

$$T_1 \leq \frac{0.01xH}{S_{D1}xgx\beta} \quad (16)$$

(11), (14) ve (16) No.lu bağıntılardan yararlanılarak Çanakkale il merkezinde DD-1 ve DD-2 deprem düzeylerinde ZC, ZD ve ZE zemin sınıfları için MGKÖÖ’nün 0.01’den daha düşük olması için hakim periyotların sınır değerleri hesaplanarak Tablo 4 ve 5’te verilmiştir.

Tablo 4 ve 5’te görüldüğü üzere, hakim periyotların üst sınır değerleri

TBDY2018’de tanımlı 2. ve 3. bölgeye denk gelmektedir.

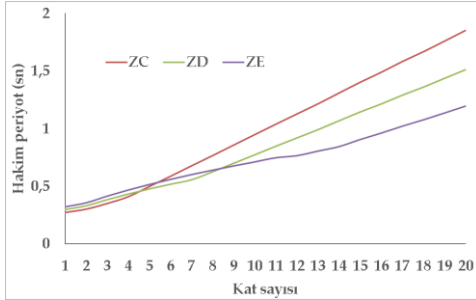
Tablo 4. DD-1 için hakim periyotların üst sınır değerleri (sn)

Kat Sayısı	ZC	ZD	ZE
1	0.273	0.299	0.322
2	0.302	0.331	0.357
3	0.351	0.384	0.415
4	0.410	0.433	0.468
5	0.499	0.478	0.516
6	0.587	0.518	0.560
7	0.678	0.557	0.602
8	0.767	0.626	0.640
9	0.858	0.700	0.677
10	0.949	0.774	0.712
11	1.039	0.848	0.748
12	1.128	0.920	0.766
13	1.216	0.992	0.806
14	1.310	1.069	0.845
15	1.403	1.145	0.906
16	1.490	1.215	0.962
17	1.583	1.291	1.022
18	1.668	1.361	1.077
19	1.760	1.437	1.136
20	1.853	1.512	1.196

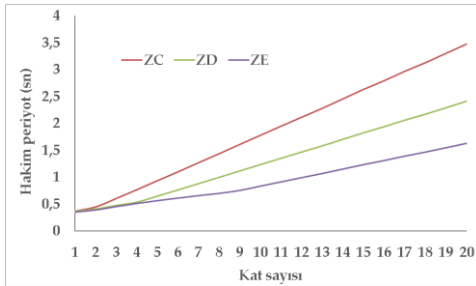
Tablo 5. DD-2 için hakim periyotların üst sınır değerleri (sn)

Kat Sayısı	ZC	ZD	ZE
1	0.371	0.370	0.353
2	0.448	0.410	0.391
3	0.605	0.476	0.454
4	0.768	0.536	0.512
5	0.936	0.649	0.565
6	1.101	0.764	0.613
7	1.271	0.882	0.658
8	1.439	0.998	0.700
9	1.610	1.118	0.755
10	1.781	1.236	0.835
11	1.949	1.353	0.914
12	2.116	1.468	0.992
13	2.281	1.583	1.070
14	2.457	1.705	1.152
15	2.632	1.827	1.234
16	2.795	1.939	1.310
17	2.969	2.060	1.392
18	3.129	2.171	1.467
19	3.303	2.292	1.548
20	3.477	2.412	1.630

Tablo 4 ve 5'ten elde edilen değerler Şekil 6 ve 7'de DD-1 ve DD-2 için ayrı ayrı grafikler halinde verilmiştir.



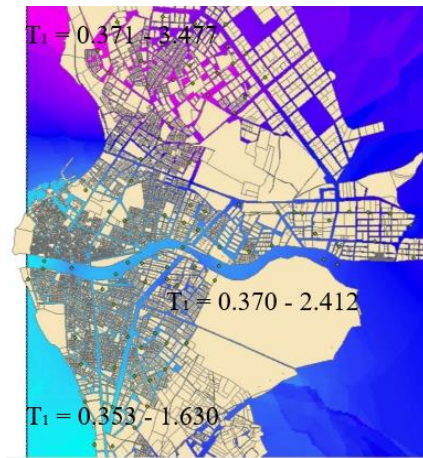
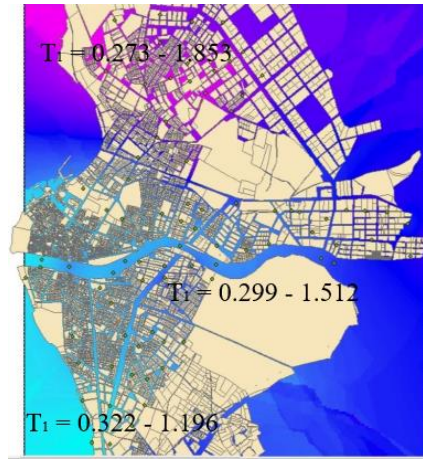
Şekil 6. DD-1 için ZC, ZD ve ZE zemin sınıflarında hakim periyotların dağılımı



Şekil 7. DD-2 için ZC, ZD ve ZE zemin sınıflarında hakim periyotların dağılımı

Çanakkale il merkezindeki zemin sınıflarını elde etmek amacıyla Çanakkale Belediyesi'nden temin edilen veriler (V_{s30} değerleri), çevrimiçi coğrafi bilgi sistemi hizmetleri yazılımı olan ArcGIS programına aktararak her bir parsel için grid code elde edilmiştir. (V_s)₃₀ değerlerine bağlı olarak TBDY2018'de yer alan yerel zemin sınıfları Çanakkale il merkezi haritasına işlenmiştir. Harita üzerinde ZC zemin sınıfı pembe renkte, ZD zemin sınıfı koyu mavi renkte ve ZE zemin sınıfı ise açık mavi renkte görülmektedir. Farklı zemin sınıfları için elde edilen hakim

periyot aralıkları temsili olarak Şekil 8 üzerinde gösterilmiştir.

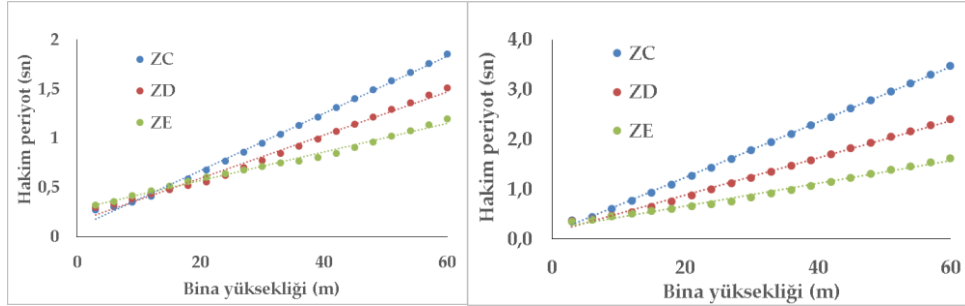


Şekil 8. ZC, ZD ve ZE için hakim periyot değer aralıkları a. DD-1 b. DD-2

Bu çalışmada ayrıca, DD-1 ve DD-2 deprem yer hareketi düzeyleri için ZC, ZD, ZE zemin sınıflarında hakim periyot ile bina yüksekliği ilişkileri doğrusal kabul edilerek eğilim eğrileri elde edilmiş ve Şekil 9'da verilmiştir. Eğilim eğrileri incelendiğinde R^2 değerlerinin ZC zemin sınıfları için en yüksek değerleri aldığı görülmektedir. Buna karşın, R^2 değerlerine bağlı olarak oluşturulan eğrilerle veriler arasında iyi

bir korelasyon ilişkisi bulunduğu söylenebilir. Elde edilen eğilim eğrilerini tanımlayan denklemler ve

determinasyon katsayısı R-kare değerleri Tablo 6 'da verilmiştir.



Şekil 9. Zemin sınıfları ve deprem düzeylerine göre periyot-bina yüksekliği ilişkisi a. DD-1 b. DD-2

Tablo 6. DD-1 ve DD-2 deprem düzeyleri için periyot-bina yüksekliği ilişkilerini tanımlayan parametreler

Deprem Düzeyi		ZC	ZD	ZE
DD-1	Hakim periyot (T_1)	$0.029H+0.0934$	$0.0219H+0.1533$	$0.145H+0.2801$
	R-kare (R^2)	0.9970	0.9910	0.9917
DD-2	Hakim periyot (T_1)	$0.0557H+0.1158$	$0.0375H+0.131$	$0.227H+0.213$
	R-kare (R^2)	0.9995	0.9964	0.9895

4. Sonuçlar

Bu çalışmada Çanakkale il merkezinde DD-1 ve DD-2 deprem düzeylerinde ZC, ZD ve ZE zemin sınıfları için MGKÖO'nun 0.01'den küçük olması için 1'den 20'ye farklı kat sayıları için hakim periyodun alabileceği en büyük değerler hesaplanmıştır. Bunun için salt perdeli binaları temsil eden eğilme kirişi ve salt çerçevelerden oluşan binaları temsil eden kayma kirişi modelleri SAP2000 ortamında oluşturulmuştur. Daha gerçekçi sonuçlar elde etmek amacıyla literatürden farklı olarak eğilme kirişi ve kayma kirişi modelinde kütleler ayrık olarak kat hizalarında dikkate alınmıştır. SAP2000 ortamında oluşturulan

modeller yardımıyla MGKÖO için bir bağıntı elde edilmiştir. Elde edilen bağıntıda görelî kat ötelemesi oranının hakim periyodun karesi ile orantılı olduğu görülmektedir. TBDY2018'de tanımlanan yatay elastik tasarım spektrumlarından yararlanılarak farklı zemin sınıfları için yapının hasar görmeyeceği hakim periyodun alabileceği değer aralıkları hesaplanmıştır.

Tablolardaki sonuçların pratik kullanımı açısından periyot ile bina yüksekliği arasındaki ilişkiyi gösteren eğriler ve denklemleri oluşturulmuştur. Elde edilen tablodan Çanakkale'de yapı stoğunun önemli bir kısmını oluşturan

üç katlı ve dört katlı binalarda DD-2 zemin sınıfında 0.01 göreceli kat ötelemesi oranı için izin verilebilecek periyotların üst sınır değerleri ZE zemin sınıfı için 0.454 ve 0.512 sn olarak elde edilmiştir. DD-1 deprem düzeyi için ise ZC zemin sınıfı için daha kritik değerler elde edilmiş olup bu değerler 0.351 ve 0.410 sn olarak elde edilmiştir.

Bu çalışma simetrik ve düzenli binalarla sınırlı olup ileride yapılacak çalışmalarda asimetrik ve düzensiz binalar için de geliştirilebilir.

Yalnızca hemen kullanım performans seviyesi için yapılan analizler diğer performans seviyeleri için de gerçekleştirilebilir. Ayrıca bu çalışmada dikkate alınmayan zemin-yapı etkileşimi de ileriki çalışmalarda dikkate alınabilir.

Etik Standartlar Bildirgesi

Yazarlar tüm etik standartlara uyduklarını beyan ederler.

Yazarlık Katkı Beyanı

Yazar 1: Araştırma, Fikir Sahibi, Görselleştirme, Yazma – orijinal taslak, Kaynaklar, Metodoloji, Analiz ve yorumlama.

Yazar 2: Kaynaklar, Görselleştirme, Doğrulama, Yazma – orijinal taslak, Analiz ve yorumlama.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarların bu makalenin içeriğiyle ilgili olarak beyan edecekleri hiçbir çıkar çatışması yoktur.

Verilerin Kullanılabilirliği

Bu çalışma sırasında oluşturulan veya analiz edilen tüm veriler, yayınlanan bu makaleye dahil edilmiştir.

5. Kaynaklar

- ABYYHY1998 (1998). Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı. Ankara.
- AFAD Türkiye Deprem Tehlikeleri Haritaları İnteraktif Web Uygulaması. (2024). <https://tdth.afad.gov.tr/TDTH/>
- Akbulut, M.T., Aytaç, A. (2005). Deprem hasar görebilirlik riskinin gözleme dayalı belirlenmesine yönelik öneri değerlendirme yaklaşımı. *Megaron YTÜ Mimarlık Fakültesi e-Dergisi*, 1(1). 88-98.
- ArcGIS, (2022). Enterprise GIS Mapping Platform, Environmental Systems Research Institute.
- ATC-40 (1996). Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings. Applied Technology Council. California.
- Atımtay, E. (2000). *Çerçevesi ve perdeli betonarme sistemlerinin tasarımı-Temel kavramlar ve hesap yöntemleri*. Cilt II. Bizimbüro Basımevi.
- Baikov, V., Sigalov, E. (1981). *Reinforced concrete structures. Design of buildings and structures*. Volume 2. Published by MIR.
- Bayülke, N. (2021). *Deprem ve yapı*. Yazardan Direkt Yayınevi. 1. Baskı. Ankara.
- Chopra, A. K. (2023). *Dynamics of structures paperback – Theory and applications to earthquake engineering*. 6th Edition.
- DBYBHY2007 (2007). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı. Ankara.
- Demirci, A. (2007). *Çanakkale şehir merkezi sismik mikrobölgelendirmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çanakkale, Türkiye.
- Ditommaso, R., Vona, M., Gallipoli, M. R., Mucciarelli, M. (2013). Evaluation and considerations about fundamental periods of damaged reinforced concrete buildings. *Natural Hazards Earth System Sciences*, 13, 1903–1912.

- <https://doi.org/10.5194/nhess-13-1903-2013>.
- ELER v3.1 (2010). Earthquake Loss Estimation Routine, Technical Manual and Users Guide, Boğaziçi University, Department of Earthquake Engineering, İstanbul.
- Erginal, A.E., Erginal, G. (2003). Çanakkale şehrinde yer seçiminin jeomorfolojik açıdan değerlendirilmesi. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 8(9). 95-116.
- Görgün, E., Kalafat, D., Kekovalı, K. (2020). Source mechanisms and stress field of the 2017 Ayvacık/Çanakkale earthquake sequence in NW Turkey, *Annals of Geophysics*, 63 (3), SE332, 23 pages. <https://doi.org/10.4401/ag-8194>.
- Gülkan, P., Utkuğu, D. (2003). Okul Binalarının Deprem Güvenliği İçin Minimum Dizayn Kriterleri. *TMH - Türkiye Mühendislik Haberleri*, 425 (3). 13-22.
- Hancılar, U. Şeşetyan, K., Çaktı, E. (2019). İstanbul'daki 2000 yılı sonrası binalar için tasarıma esas deprem seviyesi altında karşılaştırmalı yapısal hasar ve mali kayıp tahminleri. *Teknik Dergi*, 536, 9107-9123. <https://doi.org/10.18400/tekderg.326939>.
- Ibrahim, Y.E., El-Shami, M.M. (2011). Seismic fragility curves for mid-rise reinforced concrete frames in Kingdom of Saudi Arabia. *The IES Journal Part A: Civil & Structural Engineering*, 4(4). 213-223. <https://doi.org/10.1080/19373260.2011.609325>.
- Karaca, H. (2017). Investigation of the relationship between the various structural parameters and performance displacement by using improved displacement coefficient method. *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6(2), 619-632. <https://doi.org/10.17100/nevbiltek.263972>.
- Karagöz, Ö., Chimoto, K., Yamanaka, H., Özel, O., Citak, S. (2018). Broadband ground-motion simulation of the 24 May 2014 Gökçeada (North Aegean Sea) earthquake (Mw 6.9) in NW Turkey considering local soil effects, *Bulletin of Earthquake Engineering*, 16(1), 23-43. <https://doi.org/10.1007/s10518-017-0207-6>.
- Karaşın, İ.B. (2023). Sismik dirençlilik ve spektral parametrelerin etkisi. *Dicle University Journal of Engineering*, 14(3), 519-526. <https://doi.org/10.24012/dumf.1334343>.
- Komut, T., Önder, Ş., Özcan, E. (2023). Aktif tektonik rejim içerisinde, Çanakkale Boğazı: Tenkit ve derleme. *Çanakkale Onsekiz Mart University Journal of Advanced Research in Natural and Applied Sciences*, 9(3). 748-774. <https://doi.org/10.28979/jarnas.1193877>.
- Kürçer, A., Chatzipetros, A., Tutkun, S. Z., Pavlides, S., Ateş, Ö., Valkaniotis, S. (2008). The Yenice-Gönen active fault (NW Turkey): Active tectonics and palaeoseismology. *Tectonophysics*, 453. 263-275. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2007.07.010>.
- Masi, A., Vona, M. (2010). Experimental and numerical evaluation of the fundamental period of undamaged and damaged RC framed buildings. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 8, 643-656. <https://doi.org/10.1007/s10518-009-9136-3>.
- Mucciarelli, M. Vona, M., Ditommaso, R., Gallipoli, M. R. (2012). Experimental measurement of fundamental periods of damaged R.C. buildings. *15th World Conference on Earthquake Engineering (15WCEE)*. Lisbon, Portugal 24-28 September 2012.
- SAP2000. (2024). Structural Analysis and Design. CSI Analysis Reference Manual.
- Scilab, (2021). version 6.1.0: INRIA, ESI Group, Erişim adresi: <https://www.scilab.org>
- Socarrás- Cordoví, Y.C., Álvarez- Deulofeu, E.R., Lora- Alonso, F. (2021). Changes in the fundamental periods of buildings constructed with the great soviet panel. *Estoa*, 19 (10).

<https://doi.org/10.18537/est.v010.n019.a12>.

TBDY2018 (2018). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, T.C Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara.

Teguh, M., Mahlisani, N., Saleh, F. (2019). Pushover analysis of partially strengthened column structures on an existing multi-story building. *MATEC Web Conf. Volume 280. The 5th International Conference on Sustainable Built Environment (ICSBE 2018)*. Banjarmasin, Indonesia. 01003. 1-14.

Wang, M., Gao, L., Yang Z. (2022). Overall structural seismic damage rapid assessment method based on period and displacement response characteristics. *Scientific Reports*, 12, 19322. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-23927-x>.

Araştırma Makalesi /Research Article

The Effect of Asphalt Surface Layer Thickness on the Stress Distribution in the Flexible Pavements

*¹Lale ATILGAN GEVREK

¹Yozgat Bozok University, Yozgat Vocational High School, Department of Construction, Yozgat, Turkey
lale.gevrek@bozok.edu.tr, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2015-9679>

Geliş / Recieved: 29.05.2024;

Kabul / Accepted: 19.06.2024

Abstract

Heavy vehicles used for freight transportation cause deformation in road pavements, which are constructed at high cost. To prevent these damages, increasing the thickness of the pavement is one of the factors considered in design criteria. For this reason, using the finite element method to determine the pavement thicknesses and evaluating the data obtained before the road construction in the project design process can provide positive economic contributions. In this study, ANSYS, a finite element software, was used to determine the stresses occurring in the road layers as a result of heavy vehicle loads the flexible pavement according to the pavement thickness change. For 4 different pavement thicknesses, analyses were performed for flexible pavement with 30mm, 50mm, 70mm and 100mm pavement thickness for pavement stress analysis. According to the results of the study; it was observed that the stresses occurring in the loading condition decreased as the pavement thickness increased. It was concluded that flexible pavements with low pavement thickness can be deformed more quickly with the effect of heavy vehicles. Additionally, the study suggests that the most suitable pavement thickness for cost calculations can be determined using the finite element method, thereby allowing for more effective cost-benefit analyses.

Keywords: Asphalt Pavement, Stress Distribution, Finite Element Analysis

*¹Corresponding author

Bu makaleye atıf yapmak için

Atılğan Gevrek, L. (2024). The Effect of Asphalt Surface Layer Thickness on the Stress Distribution in the Flexible Pavements. *Journal of Innovations in Civil Engineering and Technology (JICIVILTECH)*, 6(1), 29-40.
<https://doi.org/10.60093/jiciviltech.1491851>

Esnek Üstyapılarda Asfalt Kaplama Kalınlığının Gerilme Dağılımına Etkisi

Öz

Yük taşımacılığı amacıyla karayollarını kullanan ağır araçların, yüksek maliyetlerle inşa edilen yol kaplamalarında deformasyona neden olduğu bilinmektedir. Bu zararları önlemek için kaplama kalınlığının artırılması tasarım kriterlerinde dikkate alınan faktörlerden biridir. Fakat kaplama kalınlıklarının artırılması ile yüksek ekonomik maliyetler ortaya çıkmaktadır. Bu sebeple kaplama kalınlıklarının tayininde sonlu elemanlar yöntemini kullanarak yol yapımı öncesi elde edilen verilerin projelendirme sürecinde değerlendirilmesi ekonomik açıdan olumlu katkılar sağlayabilir. Bu çalışmada; esnek yol üstyapısına uygulanan yükleme sonucu yol katmanlarında meydana gelen gerilmelerin kaplama kalınlığı değişimine göre tespiti için sonlu elemanlar yazılımı olan ANSYS bilgisayar programı kullanılmıştır. 30mm, 50mm, 70mm ve 100mm olmak üzere dört farklı kaplama kalınlığına göre üstyapı gerilme analizleri yapılmıştır. Çalışma sonucuna göre; kaplama kalınlığı arttıkça yükleme durumunda meydana gelen gerilmelerin azaldığı gözlemlenmiştir. Düşük kaplama kalınlığına sahip esnek üstyapıların ağır taşıtların etkisi ile daha fazla deformasyona uğrayabileceği ortaya konulmuştur. Ayrıca yapılan çalışma ile maliyet hesapları için, ihtiyaç duyulacak en uygun kaplama kalınlığının sonlu elemanlar yöntemi ile belirlenebileceği ve böylece fayda-maliyet analizlerinin daha etkili bir şekilde gerçekleştirilebileceği öngörülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Asfalt Kaplama, Gerilme Dağılımı, Sonlu Elemanlar Analiz

1. Introduction

Flexible pavements are a multi-layered composite system that effectively transfers and distributes traffic loads to the subgrade (Chun et al., 2015). Compressive and tensile stresses occurring in the flexible pavement as a result of traffic loads cause fatigue cracks and rutting on the pavement (Bostancıoğlu, 2019; Mulungye et al., 2007; Abejide and Mostafa 2017; Walubita and Ven, 2000). Overloaded vehicles significantly impact the service life of pavements, necessitating the use of thicker pavement layers (Alwan et al., 2024). But it is known that road construction costs require serious amounts for national economies. For this reason, optimizing the pavement design to achieve the most suitable design at the lowest possible cost can lead to more efficient management of financial resources and contribute to the economy by being utilized in future road construction planning (Tohidi et al., 2023).

The stresses in flexible pavements due to the increasing number of vehicles and heavy traffic loads cause the pavement to deform in a short time; therefore, the effect of pavement thickness on these deformations is an important criterion. Increasing pavement thickness generally provides higher resistance to cracking and fatigue, while thinner pavements are subject to deformation more rapidly (Zhang, 2015; Valle and Thom 2020). However, considering that the economic costs will increase with the increase in pavement thickness, it is of great importance to determine the optimum

pavement thickness during the project design process. İskender et al., 2022 investigated the effects of pavement thickness on pavement performance by repeated-load-controlled and deformation-controlled bending test on beam specimens and also by Hamburg rutting test. In the flexural test, it was revealed that the load causing fracture increased with increasing pavement thickness and the cracking resistance increased accordingly. In another study investigating the effect of base course and asphalt pavement thickness on road deformation, test road sections with different thicknesses were constructed and data were obtained from these sections. As a result of the study, it was determined that the amount of deformation decreased with increasing pavement thickness (Gevrek, 2008; He and Yang, 2018).

In this study, dynamic loading was applied to the flexible coating with different coating thicknesses and the stresses resulting from the loading were examined. As a result of the study, the most appropriate coating thickness was tried to be determined by examining the stresses that occurred according to the change in coating thickness.

2. Material and Methods

In this study, the finite element method was used to obtain the stress and strain in the road layers. ANSYS computer software was selected for the application of the finite element method. The flexible pavement was modelled in two dimensions. In the created model, a flexible pavement with 4 layers was

designed. The geometric model was created according to the values of 30mm, 50mm, 70mm, 100mm for the pavement layer, 200mm for the base layer, 400mm for the sub-base layer and 2000mm for the sub-base layer. Figure 1 shows the cross section of the flexible pavement.

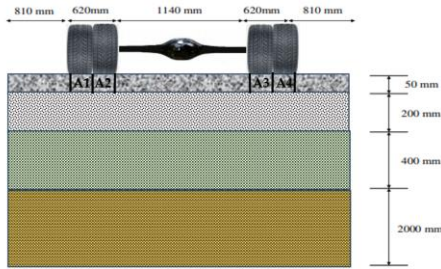


Figure 1. Flexible pavement cross section

Viscoelastic material, which depends on loading and temperature, was used for the pavement layer and elastic material was used for the other 3 layers (Özcanan and Akpınar, 2014). The physical properties (Modules of elasticity, Poisson's ratios and densities) required for these layers are given in Table 1.

Shear modulus and volume modulus values are additionally needed for the definition of viscoelastic material. Shear modulus and volume modulus values are given in Table 2. These values are transferred to the programme during

material definition. Operating temperature is entered as 20 °C.

Table 2. Shear and volume modulus values (Mulungye et al., 2007)

Time (s.)	Shear Modulus (MPa)	Volume Modulus (MPa)
2.5	975	2536
5	917	2383
7.5	938	2440
10	937	2437
12.5	950	2469
15	960	2495
17.5	985	2561
20	972	2528
22.5	952	2475
25	920	2392
50	596	1550
75	585	1521
100	597	1551
125	601	1563
137.5	616	1601
237.5	539	1402
262.5	535	1390
287.5	542	1408
312.5	546	1420
337.5	562	1462
362.5	570	1481
387.5	567	1474
637.5	499	1298
887.5	401	1043
1137.5	227	589
1147.5	212	551

Table 1. Material properties (Al-Azzawi, 2012)

Material	Modulus of Elasticity (MPa)	Poisson Ratio	Density (kg/mm ³)
Pavement Layer	2100,2500,3000,3500	0.40	2.4e ⁻⁰⁰⁹
Foundation Layer	600	0.40	2.2 e ⁻⁰⁰⁹
Subbase Layer	100	0.30	2.2 e ⁻⁰⁰⁹
Subgrade	30	0.40	2.2 e ⁻⁰⁰⁹

The model was divided into elements for analysis by finite element method. Its appearance after being divided into elements is as shown in Figure 2. At the nodes at the bottom of the finite element mesh, movement in both vertical and horizontal directions is not allowed. At the lateral boundaries of the finite element mesh, vertical movement is allowed but lateral movement is not allowed (Ong et al., 1991; Siddharthan et al., 1991; Saltan 1999). In this analysis, these conditions were provided and analysed. The boundary conditions of the model are as shown in Figure 2.

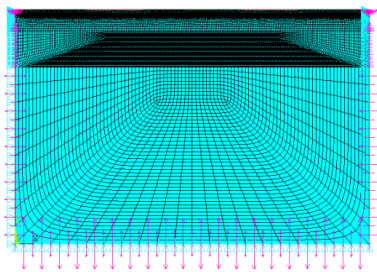


Figure 2. Finite element mesh

The load applied to the flexible pavement is a dynamic loading and an attempt has been made to apply a load equivalent to a moving axle load in real life.

A dynamic loading was applied to the areas with 3 different loading steps by applying a heavy vehicle, whose axle plan is given in Figure 3, to the model of the pavement in Figure 1.

Dynamic load application was also applied with the transient analysis module in the ANSYS programme. 3 different loading steps were applied to the front, middle and rear wheels. According to Figure 1, the first loading was applied for the front tyres. The front wheels were applied to areas A1 and A4. The middle and rear dual wheels were applied to A1, A2, A3 and A4 areas. The numerical data about the force and areas required for loading are given in Table 3.

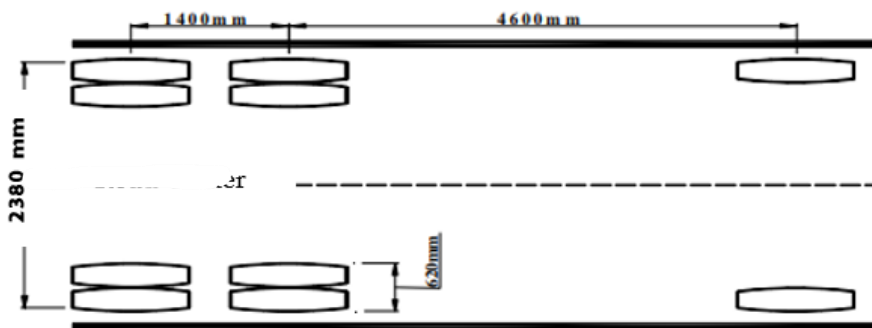


Figure 3. Heavy vehicle axle plan (Mulungye et al., 2007)

Table 3. Installation steps

Time (s)	A1	A2	A3	A4	1. Loading (Mpa)	2. Loading (Mpa)	3. Loading (Mpa)
0,000-0,001							
0,001-0,0015	x			x	0,660		
0,0015-0,252							
0,252-0,266	x	x	x	x		0,637	
0,266-0,338							
0,338-0,352	x	x	x	x			0,630
0,352-0,450							

3. Findings

As a result of the analyses, pavement layers with 4 different pavement thicknesses on the flexible pavement were analysed separately and the stress values occurring in the pavement as a result of these analyses were shown graphically.

3.1. Pavement Stress Analysis

The top layer of the flexible pavement is the surfacing layer. Therefore, since it is located at the top of the pavement, it is the layer most exposed to stresses, deformations and environmental effects. For this reason, the stability of this layer is important for road life. Inaccuracies in the determination of the pavement layer thickness are design errors and some negative consequences may arise as a result of these errors. For example, low pavement thickness leads to excessive reduction of flexibility, excessive shearing between layers and low inertia resistance (displacement resistance of aggregates) of asphalt layers (Tunç 2004). In this study, the

same cross-sectional line of the pavement in Figure 1 was influenced by the heavy vehicle whose axle plan is given in Figure 3, and the stress changes in the X direction in those parts were shown.

The graph shown in Figure 4 shows the stress graph of the flexible pavement with 4 different pavement layer thicknesses. This graph shows the stress values at the first loading moment, i.e. when the front tyres contact the areas. In this graph, it is seen that the road with low pavement layer thickness is exposed to more compressive and tensile stresses. As the pavement thickness increases, stress values decrease. (Cao et al., 2022; He and Yang 2018; Özcanan and Akpınar, 2014; Walubita and Ven, 2000).

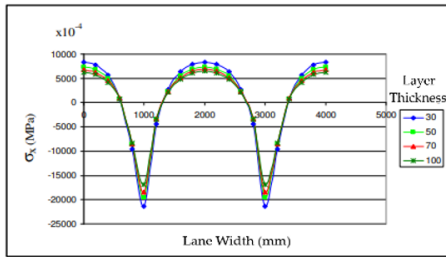


Figure 4. X direction stress graph at the first loading (front single wheel)

Figure 5 shows the stress values of the centre double axles at the second loading moment of the vehicle. Although the values are very close to each other in this graph, the lowest stress value is seen in the pavement layer with a thickness of 100 mm.

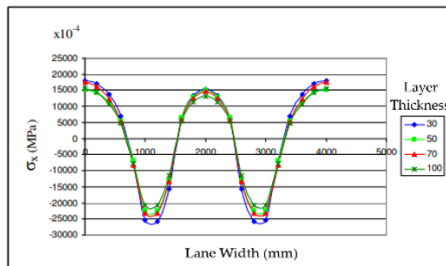


Figure 5. X-directional stress graph at the second loading (middle double wheels)

The stress graph at the moment of final loading, that is, when the rear double wheels contact the areas, is as shown in Figure 6. Here, the high stress value occurring in the pavement with a thickness of 30 mm stands out with a big difference. Again, as in the other loadings, the lowest stress value in this loading was observed in the road with a pavement thickness of 100 mm. In general, what stands out in all 3 loads

is that less stress occurs in the layer with higher thickness.

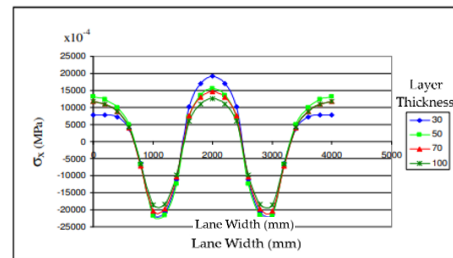


Figure 6. X-directional stress graph at final loading (rear double wheels)

The graphs in Figure 7, Figure 8 and Figure 9 show the y-direction stress values occurring in the pavement after the load applied to the flexible pavement with different pavement thicknesses. In Figure 7, the y-directional stress values occurring at the moment when the front tyres of the vehicle contact the areas are given in the graph. In this graph, it is seen that the flexible pavement with low pavement thickness reaches high compressive and tensile stresses.

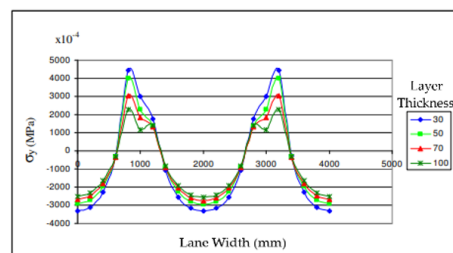


Figure 7. Y direction stress graph at the first loading (front single wheel)

It is seen in the graph in Figure 8 that the highest values of compressive and tensile stresses are reached in the

pavement layer with a thickness of 30 mm during the passage of the middle two-wheeled axle of the heavy vehicle. It is seen that 50- and 70-mm thick pavements are close to each other. In the 100 mm thick flexible road structure, it is seen that both compressive and tensile stresses are at low values.

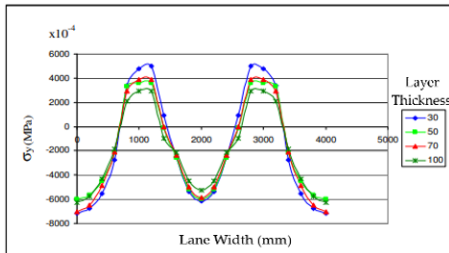


Figure 8. Y direction stress graph at the second loading (middle double wheels)

Figure 9 shows the stress graph during the passage of the last double axle of the vehicle. In this graph, the highest tensile stress value occurred in the layer with a thickness of 30 mm. However, in compression, the stress values of the 30- and 50-mm thick pavements are very close to each other and are higher than the others. The flexible pavement subjected to the lowest compressive and tensile stresses is the flexible pavement with pavement layer having a thickness of 100 mm.

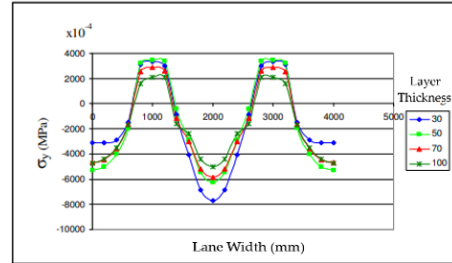


Figure 9. Y direction stress graphic at final loading (rear double wheels)

3.2 Strain for Different Pavement Thicknesses

In the deformation graphs shown in Figures 10, 11, 12 and 13, which were obtained as a result of the analyses made according to different pavement thicknesses; as the pavement thickness increases, the amount of deformation between the foundation and subbase, where the maximum deformation occurs under the areas where the wheels contact, decreases. Figures 14, 15, 16 and 17 show the y-directional deformations of the flexible pavement with different pavement thicknesses. When these graphs are considered, it is seen that the y-directional deformations are less deformed in the flexible pavement with 100 mm pavement layer. However, when y-directional deformations are compared with x-directional deformations, it is seen that the effect of y-directional deformations on the flexible pavement is not as different as x-directional deformations.

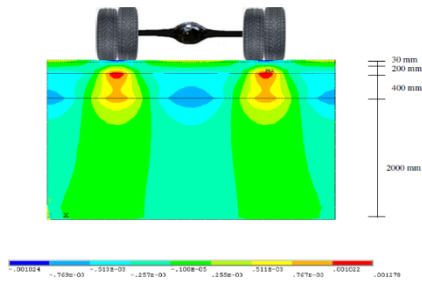


Figure 10. X-directional strain of flexible pavement with 30 mm asphalt pavement thickness

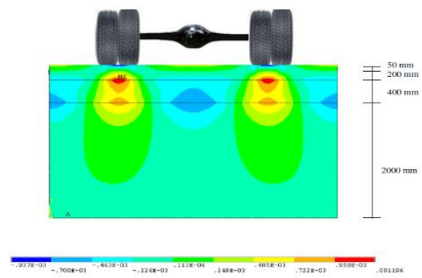


Figure 11. X-directional strain of flexible pavement with 50 mm asphalt pavement thickness

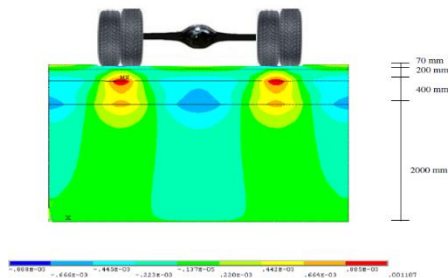


Figure 12. X-directional strain of flexible pavement with 70 mm asphalt pavement thickness

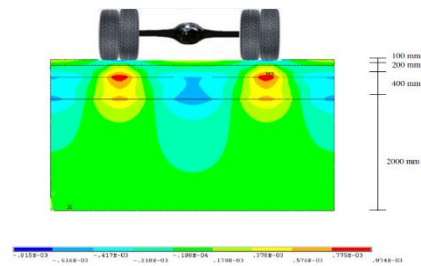


Figure 13. X-directional strain of flexible pavement with 100 mm asphalt pavement thickness

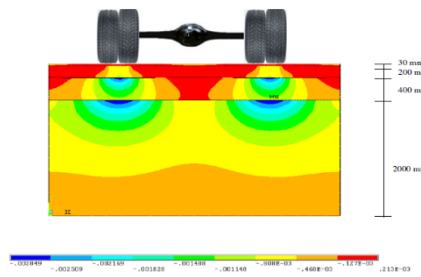


Figure 14. Y-directional strain of flexible pavement with 30 mm asphalt pavement thickness

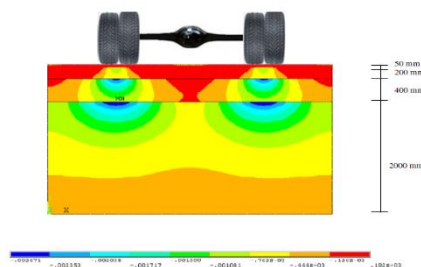


Figure 15. Y-directional strain of flexible pavement with 50 mm asphalt pavement thickness

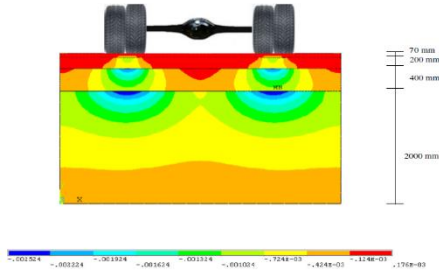


Figure 16. Y-directional strain of flexible pavement with 70mm asphalt pavement thickness

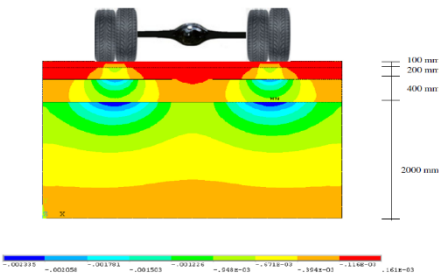


Figure 17. Y-directional strain of flexible pavement with 100 mm asphalt pavement thickness

4. Conclusion

As can be seen in the stress graphs resulting from the analyses performed with four different pavement thicknesses, there is a decrease in compressive and tensile stress values as the pavement thickness increases. In addition, in the x-directional stress graphs in the analysis, it is seen that the compressive stresses caused by the axle load at the front single wheel, middle double wheel and rear double wheel transitions are not very far from each other. According to the analysis, when the y-directional stress graphs are analysed, it is seen that the stresses caused by the double wheel passages

are 2 times higher than the single wheel passage at all pavement thicknesses. It is observed that the maximum strain between the base and subbase layers decreases with increasing pavement thickness. At the same time, when y-directional deformations were compared with x-directional deformations, it was observed that the effect of y-directional deformations on the flexible pavement was not as different as x-directional deformations. By increasing the pavement thickness, the stress sensitivity of the asphalt pavement can be reduced and the amount of strain can be reduced. As a result, it is seen that the probability of deformation of the pavement layer with high thickness can be reduced. Of course, at this point, the idea that the thicker we make it, the longer it will last is not very appropriate. At this point, it is also necessary to consider the economic dimension of the work. Increasing the thickness of the pavement layer too much can be a burden in terms of cost. For this, it is necessary to design the pavement layer with the optimum thickness and cost. Although the optimum asphalt thickness is determined to be in the range of 50-70 mm based on the conditions considered in the article (Gevrek, 2008), future studies should incorporate factors such as cyclic loads. It is recommended to conduct various modeling studies with these considerations. It is believed that incorporating cost analyses into future

studies on this topic will yield more comprehensive results.

Declaration of Ethical Standards

In this article, the principles of scientific research and publication ethics were followed.

Credit Authorship Contribution Statement

Author-1: Conceptualization, investigation, methodology and software, visualization and writing – original draft, supervision and writing – review and editing.

Declaration of Competing Interest

There is no conflict of interest with any person/institution in the prepared article.

Data Availability

All data generated or analyzed during this study are included in this published article.

5. References

- Abejide, O. S., Mostafa, M. M. H. (2017). Moisture content numerical simulation on structural damage of hot mix asphaltic pavement, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 216(2017) 012048. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/216/1/012048>.
- Al-Azzawi, A.A. (2012). Finite element analysis of flexible pavements strengthened with geogrid, *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*, Vol:7, No:10, 1295-1299p.
- Alwan, D.S., Joni, H. H., Hilal, M.M. (2024). Determination of flexible pavement thickness: A case study, *AIP Conference Proceedings*. Vol:3091, No:1 AIP Publishing. <https://doi.org/10.1063/5.0207088>.
- Bostancıoğlu, M. (2019). A finite element investigation of the superelevated horizontal curve, *Cumhuriyet Science Journal*, Vol:40-2, 536-543p. <http://dx.doi.org/10.17776/csj.414347>.
- Cao, M., Huang, W., Wu, Z.(2022). Influence of axle load and asphalt layer thickness on dynamic response of asphalt pavement, *Hindawi Geofluids Volume 2022*, Article ID9592960, 16p. <https://doi.org/10.1155/2022/9592960>.
- Chun, S, Kim, K., Greene, J., Choubane, B.(2015). Evaluation of interlayer bonding condition on structural response characteristics of asphalt pavement using finite element analysis and full-scale field tests, *Construction and Building Materials*, Vol:96, 307-318p. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.08.031>.
- Gevrek, L. (2008). Yol Katmanlarında Meydana Gelen Gerilmelerin ANSYS Bilgisayar Programı ile Nonlineer Sonlu Eleman Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon, Türkiye.
- He, D., ve Yang, W. (2018). Effect of thickness of gravel base and asphalt pavement on road deformation, *Advances in Civil Engineering*, Vol 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/2076597>.
- İskender, E., Seymen, A., Aksoy, A. (2022). Asfalt kaplamalarda tabaka kalınlığının etkisinin araştırılması. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, Vol.10, no.1, 61-73. <https://doi.org/10.21923/jesd.930124>.
- Mulungye, R.M., Owende, P.M.O., Mellon, K. (2007). Finite element modelling of flexible pavements on soft soil subgrades, *Materials and Design*, Vol:28, Issue:3, 739-756p. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2005.12.006>.
- Ong, C.L., Newcomb, D.E., Siddharthan, R. (1991). Comparison of dynamic and static backcalculation modulus for three layer pavements, *Transportation Research Board 1293*, 86-92p.

- Özcanan S., Akpınar, M. V. (2014). Esnek üstyapılarda kritik tekerlek ve aks konfigürasyonların mekanistik analizlere göre tespit edilmesi, *İMO Teknik Dergi*, Vol:25, Issue:121, 6625-6654p.
- Saltan, M. (1999). *Esnek üstyapıların analitik değerlendirilmesi*, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi.Isparta, Türkiye.
- Siddharthan, R., Norris, G.M., Epps, J.A. (1991). Use of FWD data for pavement material characterization and performance, *Journal of Transportation Engineering, ASCE*, 117 (6), 660-678p. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-947X\(1991\)117:6\(660\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-947X(1991)117:6(660)).
- Tohidi, M., Khayat, N., Telvari, A. (2023). Cost optimization of pavement thickness design using intelligent search versus linear programming algorithms, *Ain Shams Engineering Journal*, Volum:14 Issue:12, 102256. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2023.102256>.
- Valle, P. D., Thom, N. (2018). Pavement layer thickness variability evaluation and effect on performance life, *International Journal of Pavement Engineering*, Vol:21, Issue:7, 930-938p. <https://doi.org/10.1080/10298436.2018.1517873>.
- Walubita, L. F., Ven, M. F. C. (2000). Stresses and strains in asphalt-surfacing pavements, *South African Transport Conference*, 312 (2000), South Africa, 17–20 July (2000), pp. 17-20p.
- Zhang, W. (2015). *Evaluation of Field Transverse Cracking of Asphalt Pavements*. Doctor of philosophy, Washington State University. ABD.

Araştırma Makalesi / Research Article

Meteorological and Hydrological Drought Assessment in Ankara Province

¹Fatih SEYHAN, ²Emir MİLLETSEVER, ^{*3}Tülay Suğra KÜÇÜKERDEM ÖZTÜRK

¹Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye, seyhanfatih68@gmail.com, ORCID ID: <http://orcid.org/0009-0003-1281-7317>

²Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye, milletseveremir2001@gmail.com, ORCID ID: <http://orcid.org/0009-0007-8124-892X>

³Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye, tulaykucukerdem@sdu.edu.tr, ORCID ID <http://orcid.org/0000-0002-1102-1718>

Geliş / Recieved: 06.05.2024;

Kabul / Accepted: 21.06.2024

Abstract

In recent years, the effects of global warming have been felt more and more each day. Considering the climate zone in which our country is located, the issue of drought becomes critical. Therefore, it is important to be able to analyze the components of drought and determine their effects on water resources. In this study, it was aimed to determine the relationship between the two drought types by determining meteorological and hydrological droughts for Ankara province. For this purpose, meteorological droughts of 1, 3, 6 and 12 months were determined using the Standard Precipitation Index (SPI) and precipitation data. Then, hydrological drought was determined by the Streamflow Drought Index (SDI) using the total flow rates coming to the dams in Ankara province. The relationship between meteorological and hydrological droughts was both interpreted by examining the analysis results and determined by determining the correlation coefficients. It has been determined that hydrological drought follows meteorological drought by an average of 1-3 months. For both types of drought, a severe drought danger is not expected in the studied region.

Anahtar kelimeler: Drought Analysis, Hydrological Drought, Meteorological Drought

^{*3}Sorumlu yazar / Corresponding author

Bu makaleye atıf yapmak için

Seyhan, F., Milletsever, E. & Küçükerdem Öztürk, T.S. (2024). Meteorological and Hydrological Drought Assessment in Ankara Province. *Journal of Innovations in Civil Engineering and Technology (JICIVILTECH)*, 6(1), 41-55. <https://doi.org/10.60093/jiciviltech.1497113>

Ankara İlinde Meteorolojik ve Hidrolojik Kuraklık Değerlendirmesi

Öz

Son yıllarda küresel ısınmanın etkileri gün geçtikçe daha fazla hissedilmektedir. Ülkemizin yer aldığı iklim kuşağı da düşünüldüğünde kuraklık konusu kritik hale gelmektedir. Bu nedenle kuraklığın bileşenlerini analiz edebilmek ve su kaynakları üzerindeki etkilerini belirleyebilmek önemlidir. Bu çalışmada Ankara ili için meteorolojik ve hidrolojik kuraklıklar tespit edilerek iki kuraklık türü arasındaki ilişkinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bunun için, Standart Yağış İndeksi (SYİ) ile yağış verileri kullanılarak 1, 3, 6 ve 12 aylık meteorolojik kuraklıklar tespit edilmiştir. Daha sonra Ankara ilindeki barajlara gelen toplam debiler kullanılarak Akım Kuraklık İndeksi (AKİ) ile de hidrolojik kuraklık belirlenmiştir. Meteorolojik ve hidrolojik kuraklıklar arasındaki ilişki hem analiz sonuçları incelenerek yorumlanmış hem de korelasyon katsayıları belirlenerek tespit edilmiştir. Hidrolojik kuraklığın meteorolojik kuraklığı ortalama 1-3 ay kadar geriden takip ettiği tespit edilmiştir. Her iki kuraklık türü için de çalışılan bölgede şiddetli bir kuraklık tehlikesi beklenmemektedir.

Keywords: Kuraklık Analizi, Hidrolojik Kuraklık, Meteorolojik Kuraklık

1. Introduction

In recent years, the negative effects of climate change are one of the major problems faced by our world and our country. Drought is one of the most important events caused by global climate change. In its most general definition, drought; It is the presence of less water than needed in a region or less than the average amount of water in the region. The emergence of extreme temperatures and decreasing precipitation, population growth and increased water use pose a major problem for living things, regardless of the severity and duration of the drought (Menteşe & Akbulut, 2023). Since Turkey is located in a semi-arid region in the world, the danger of drought is one of the important problems of our country. For this reason, basic parameters such as severity, time and duration of drought need to be known. For this purpose, many researchers in our country and around the world have conducted studies on drought (Deniz Öztürk & Ünlü, 2022; Wable et al., 2019; Wu et al., 2021).

Although there are many parameters related to drought, the most basic factor affecting drought is lack of precipitation. Drought types are classified according to the nature of the data used in drought analysis. According to current drought classifications, the most general types of drought are meteorological, hydrological and agricultural drought. The majority of research has concentrated on examining only meteorological or hydrological droughts among drought types (Moccia et al.,

2022; Wang et al., 2022). Varol and Ulusoy (2023) determined meteorological droughts by calculating the precipitation data and SPI values of Isparta and Antalya stations for the Karacaören dams in the Antalya basin. They found that the drought analysis results of the two stations were similar to each other. Additionally, by examining the SPI data and the volume and level changes of the dam lake, they stated that the drought analysis results were compatible with the level and volume values of the dam lake. Evci and Kuş Şahin (2021) conducted SPI analysis for 1, 3, 6, 12 and 24 month time intervals in the Salda lake basin for the years 1981-2019. When SPI values were examined, it was determined that the longest droughts, in which mild drought prevailed in the region, occurred between 1989 and 1995. Menteşe and Akbulut (2023) applied drought analysis to the precipitation data of Bilecik and Bozüyük stations between 1964 and 2021. It has been determined that droughts occur in both summer and winter seasons at both stations, but there is no serious danger of drought. Turhan et al. (2022) interpreted the drought by determining SDI values at 3 different stations in the Arsuz Plain for the years 1990-2015. Tuğrul and Hınıs (2022) determined NYI values to determine hydrological drought around Konya Apa Dam for the years 1955-2020 and found evidence of extreme drought in the results. Keskiner and Şimşek (2023) made meteorological drought analysis for Isparta, Eğirdir and Seydişehir stations. It is predicted that Seydişehir station may be exposed to severe droughts compared to other stations.

Since meteorological drought directly affects hydrological and agricultural drought, it is also important to determine the relationship between them. For this reason, many researchers have carried out studies that consider drought types together and examine the relationship between them (Li et al., 2022; Lin et al., 2023; Minh et al., 2024; Sarwar et al., 2022). Aktürk and Yıldız (2018) examined the effects of droughts caused by lack of rainfall in the Çatalan dam basin on river flow, reservoir volume and ground moisture. Özgün et al. (2020) analyzed the precipitation data of Bursa province for the years 1982-2013 with SPI and compared the drought with the flow rate data of Doğancı Dam. In their results, correlation analysis of drought analysis and dam discharge was performed and it was seen that the relationship was positive. As a result of the correlation analysis, they determined that the effect of precipitation in one month is greatest in the next two months. Yılmaz and Yılmaz (2022) made drought analysis for Kırklareli province with the Multivariate Drought Index Method (ÇDKİ). In their studies, they used the variables of monthly total precipitation, monthly average flow, monthly average temperature, monthly average relative humidity and monthly number of rainy days. They compared the ÇDKİ results with SPI and SDI and determined that the ÇDKİ results provide a more comprehensive analysis. Çetin and Kumanlıoğlu (2023) analyzed meteorological drought with SPI and SPEI and hydrological drought with SRI in the Medar basin. They predicted that there would be a severe drought in the basin in the future.

In this study, firstly, hydrological drought analysis was carried out with SPI using precipitation data from Ankara province. Then, the total flow amounts to 8 dams in Ankara were calculated. Using these data, hydrological drought analysis was performed with SDI. Time scales of 1, 3, 6 and 12 months were used in both SPI and SDI analyses. The study also aimed to reveal the relationship between hydrological and meteorological droughts. For this purpose, whether the index values affect each other on the same time scales was examined with the help of correlation analysis. According to the results obtained, it has been determined that droughts are observed from time to time in Ankara province, but there is no danger of severe drought hydrologically and meteorologically. It was determined that the relationship between meteorological and hydrological droughts was positive and moderate.

2. Data and Methods

2.1 Study area and data

Ankara, located in the center of Turkey, was chosen as the study area. For SPI, General Directorate of Meteorology Ankara station number 17130 data was used. The location information of the station is 39°58'21" N and 32°51'49" E. 1991-2023 water year data was used. The data provided for SDI was obtained from the tables of water amounts coming to the dams published by the General Directorate of Ankara Water and Sewerage Administration. The dams in question are Çubuk II, Kızılırmak-

Kesikköprü, Kurtboğazi, Çamlidere, Eğrekkaya, Akyar, Kavşakkaya and Elmadag-Kargali dams. The dam locations and the location of the rainfall station are shown in Figure 1. The graph

of the annual total precipitation and the amount of water coming to the dams is given in Figure 2. Statistical parameter information for the data used in the study is available in Table 1.

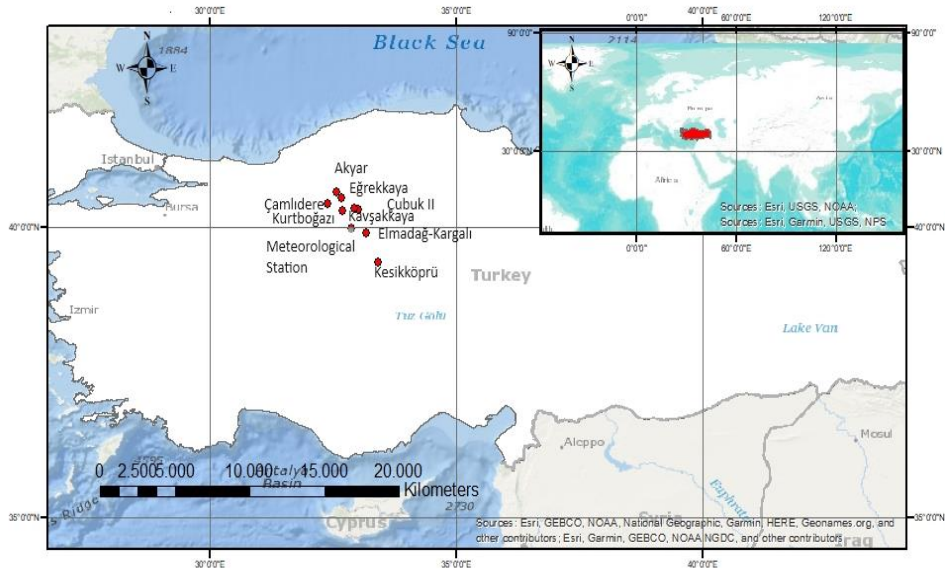


Figure 1. Map of meteorological stations and dams

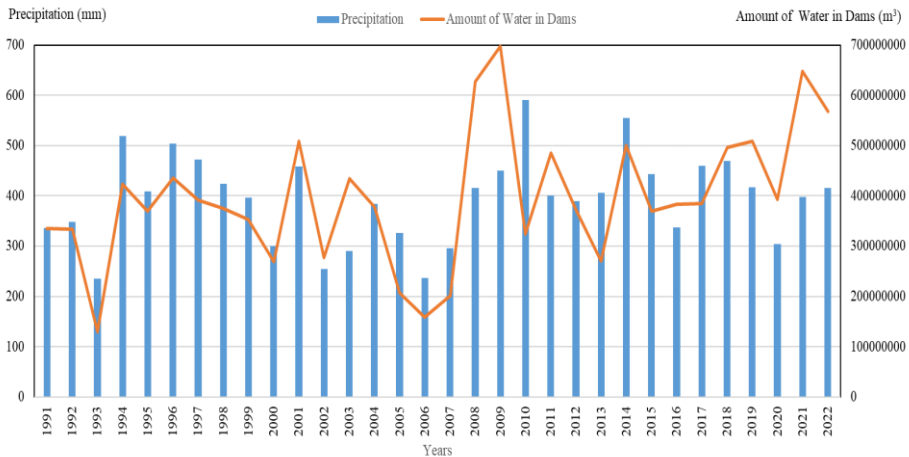


Figure 2. Graph of rainfall and water amount in dams

Table 1. Statistical parameters of the data used in the study

		Aut	Win	Spr	Sum	Yearly
Precipitation Data	Min	0,00	1,30	1,60	0,00	237,40
	Max	167,60	116,90	110,00	133,70	604,60
	Mean	27,87	38,87	47,05	24,58	415,11
	Standart Deviation	25,20	23,02	26,26	28,89	90,23
	Skewness	2,10	0,67	0,40	1,94	-0,18
	Kurtosis	8,70	0,49	-0,72	3,91	-0,34
Streamflow Data	Min(10 ⁶)	1,00	1,32	8,57	0,88	128,86
	Max(10 ⁶)	70,75	260,87	249,10	100,52	697,06
	Mean(10 ⁶)	5,89	35,39	78,32	11,78	390,38
	Standart Deviation	7,67	39,06	53,36	16,91	134,65
	Skewness	6,70	2,63	0,76	3,24	0,26

2.2 Standart precipitation index

Although there are many factors in determining drought in a region, the most basic factor affecting drought is rainfall. For this reason, the majority of the many methods used to determine drought are based on rainfall conditions. The standard precipitation index was developed by McKee and colleagues (1993) to define and track drought. The standard precipitation index method is one of the most frequently used methods in examining meteorological drought events (Türkeş, 2012). DPI is calculated by dividing the difference of precipitation from the average within the specified time period by the standard deviation (Equation 1).

$$SPI = \frac{X_i - X_i^-}{\sigma} \quad (1)$$

SPI is the standard precipitation index, X_i is the precipitation amount, X_i^- is the precipitation average and σ is the standard deviation. SPI evaluates the rainfall data based on the probability

distribution using the gamma function. Since the precipitation data does not follow a normal distribution on a small scale, its statistical distribution is converted to a normal distribution and then the normalized data is used. (Thom, 1958; McKee et al., 1995). The gamma function is calculated with equation (2).

$$g(x) = \frac{1}{\beta^a \Gamma(a)} x^{a-1} e^{-\frac{x}{\beta}} \quad (2)$$

a defines the shape variable ($a > 0$), β the scale variable ($\beta > 0$), x defines the amount of precipitation ($x > 0$) and $\Gamma(a)$ defines the gamma function. Maximum likelihood solutions are used to estimate a and β (Equation 3), (Equation 4) and (Equation 5).

$$\alpha = \frac{1}{4A} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right) \quad (3)$$

$$\beta = \frac{\bar{x}}{\alpha} \quad (4)$$

$$A = \ln(\bar{x}) - \frac{\sum \ln(x)}{n} \quad (5)$$

is the number of precipitation observations. These parameters obtained using the observed time series are then used to find the total probability density function of an observed value in any month. In this case, the cumulative probability distribution function is defined by Equation 6.

$$G(x) = \int_0^x g(x)dx = \frac{1}{\beta^a \Gamma(a)} \int_0^x x^{a-1} e^{-\frac{x}{\beta}} dx \quad (6)$$

The gamma function is undefined for $x = 0$ and the precipitation distribution may contain zero (0) values. In this case, the cumulative probability distribution is calculated with Equation 7 and Equation 8.

$$H(x) = q + (1 - q)G(x) \quad (7)$$

$$q = m * n \quad (8)$$

q refers to the probability for a zero value. If m is the number of days without rain in a rainfall series, this percentage is found with Equation (8). The total probability value $H(x)$ is converted into a standard normal random variable Z , which has a mean of zero (0) and a variance of one (1), representing the SYI value. $H(x)$ is the value of SYI. The drought classification of the values obtained with SYI is as shown in Figure 3 (Guttman, 1999; Özfidaner and Topaloğlu, 2020).

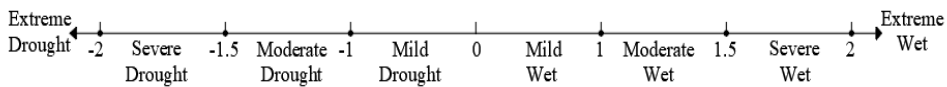


Figure 3. Classification values of SPI

2.3 Streamflow drought index

The method that allows examining hydrological drought using monthly flow data was developed by Nalbantis

(2008). The index value, which is an indicator of hydrological drought, is calculated with the cumulative flow totals as stated in Equation 9.

$$V_{i,k} = \sum_{j=1}^{3k} Q_{i,j} \quad i = 1,2, \dots \quad j = 1,2, \dots, 12 \quad k = 1,2,3,4 \quad (9)$$

$Q_{i,j}$ is the flow data, i is the year, j is the month, and k is the 3-month periods within the water year. According to this; $k = 1$ October-December, $k = 2$ October-March, $k = 3$ October-June, $k =$

4 October-September. After the cumulative flow total is determined, the flow drought index is calculated with Equation 10.

$$SDI_{i,k} = \frac{V_{i,k} - V_k^-}{\sigma_k} \quad k = 1,2,3,4 \quad (10)$$

V_k represents the mean value of cumulative volumes, σ_k represents the standard deviation of cumulative volumes. The drought classification of

the calculated SDI values is expressed with the graph given in Figure 4.

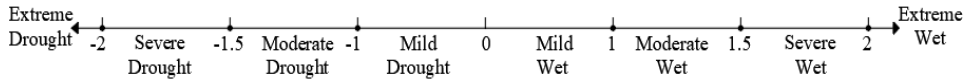


Figure 4. Classification values of SDI

2.4 Pearson correlation coefficient

The correlation coefficient (r), which provides information about the relationship between two variables, is calculated with Equation 11. The

correlation coefficient takes values between 0 and 1. While its numerical value expresses the strength of the relationship between two variables, its sign indicates that the variables increase or decrease in the same direction.

$$r = \frac{n \sum XY - \sum X \sum Y}{\sqrt{[n \sum X^2 - (\sum X)^2][n \sum Y^2 - (\sum Y)^2]}} \quad (11)$$

If the calculated r value is in the range of (0-0.2), there is a very weak relationship, in the range of (0.2-0.39), there is a weak relationship, in the range of (0.4-0.59), there is a moderate relationship, in the range of (0.6 -0.79) is interpreted as a high level of relationship, and a range of (0.8-1) is interpreted as a very high level of relationship.

3. Results

All meteorological drought (SPI) index values can be found in Figure 5, and all hydrological drought (SDI) index values can be found in Figure 6. In the graphs presented, it can be determined which drought class the index values belong to. The incidence of extreme droughts decreases as the time scale increases.

It is seen in the graphs that both meteorological and hydrological

drought index values sometimes reach the extreme drought level. However, when examined in whole time interval, it is possible to say that there is no danger of extreme drought for Ankara province.

In determining hydrological and meteorological droughts in Ankara province; SPI and SDI values were calculated for time scales of 1, 3, 6 and 12 months. SPI and SDI values in terms of severity, duration and frequency, as well as the formation dates of the minimum index values, are given in Table 2. When this table is examined; Both SPI and SDI analyzes showed that there was an inverse relationship between drought severity and duration and frequency. However, although the years in which minimum index values occur vary, they are predominantly seen between 2000 and 2010.

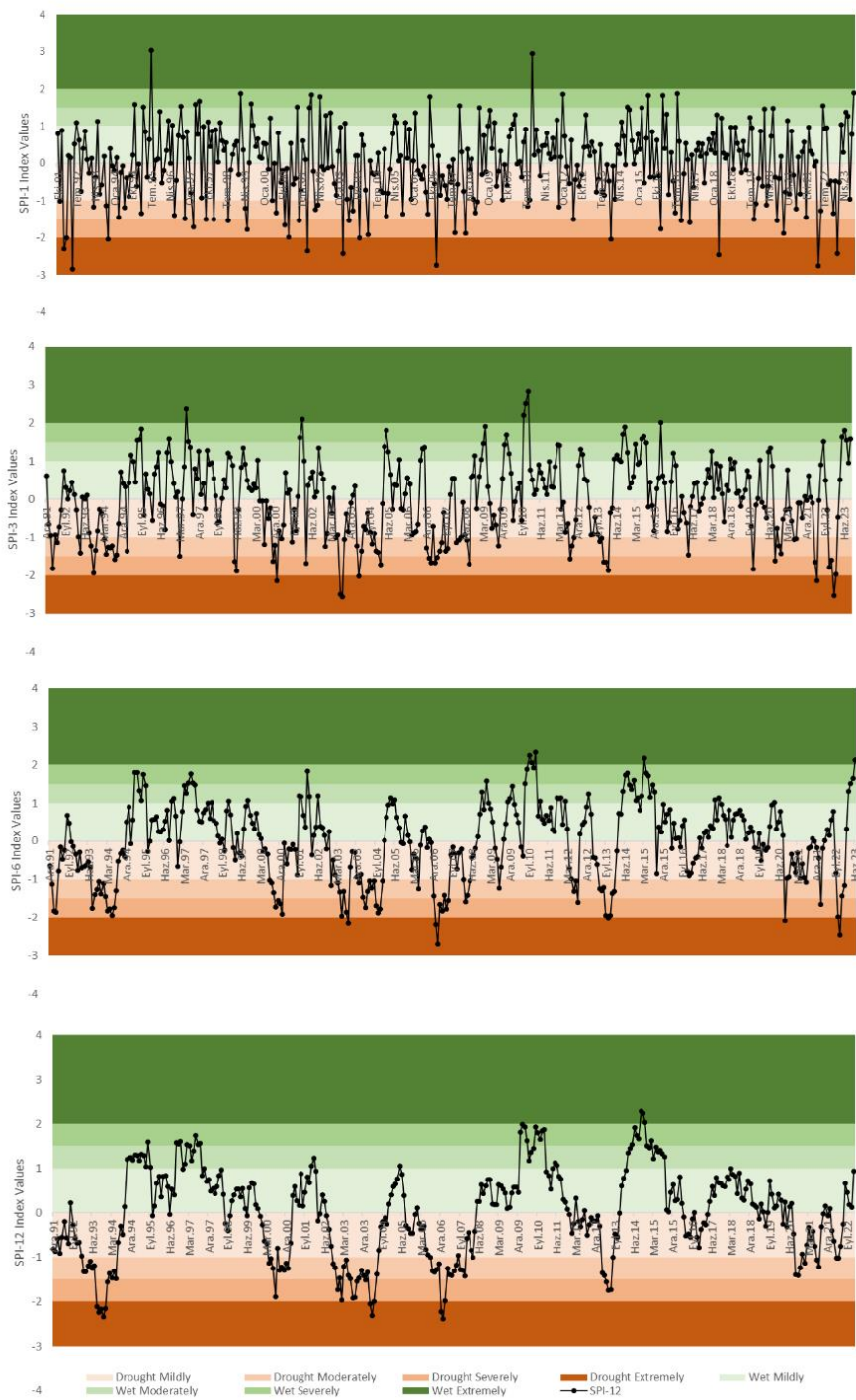


Figure 5. SPI values for 1, 3, 6 and 12 months

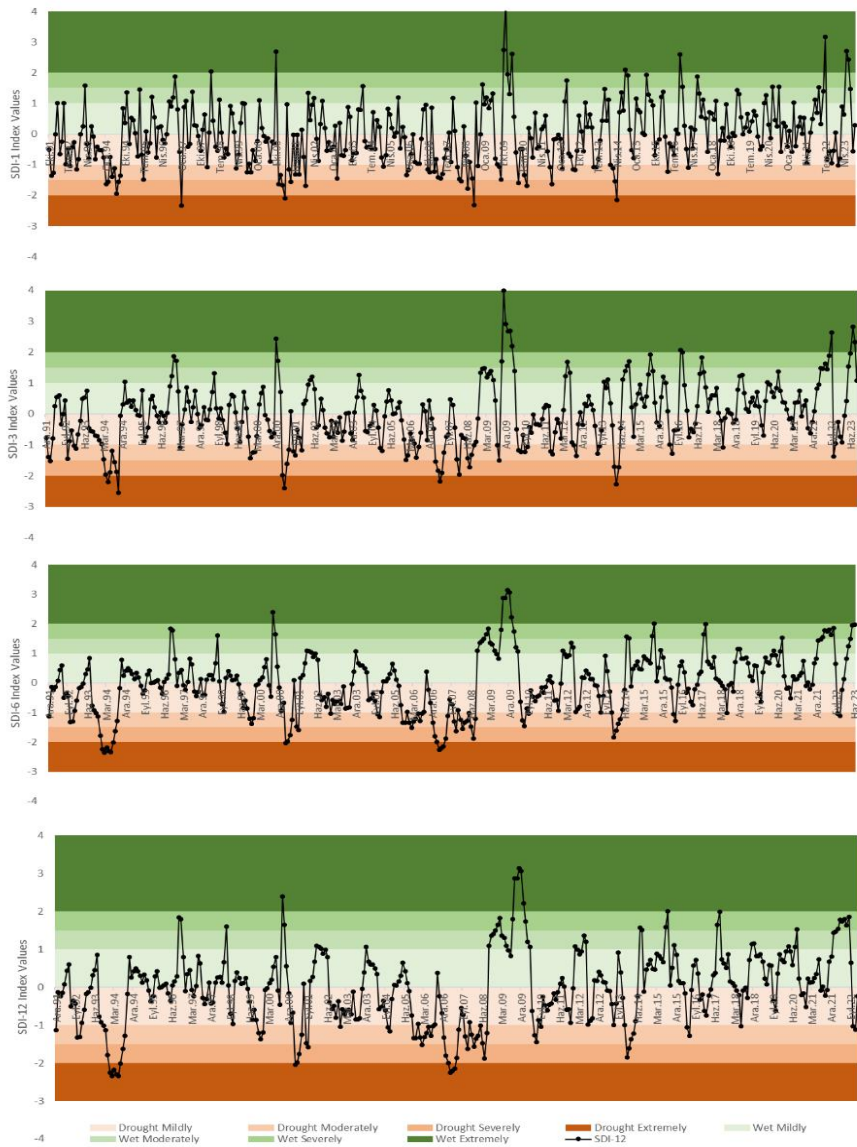


Figure 6. SDI values for 1, 3, 6 and 12 months

Considering the index values of the same time scales, the drought and humidity occurrence percentages are shown in Table 3. It was determined that the percentages of total drought and total humidity occurrence for the 1991-

2023 year period were half. While extreme drought or extreme humidity occurrences were observed at levels of 1%-5%, mild drought and mild humidity occurrences were observed at levels of 30%-40%.

Table 2. Severity, duration, frequency of occurrence and minimum index values for SPI and SDI

	Severity	Duration	Frequency	Minimum Index Value	Date of Occurrence
SPI-1	Drought Mildly	121	64	-0,99	08/2009
	Drought Moderately	28	17	-1,49	11/1996
	Drought Severely	19	5	-1,99	01/2001
	Drought Extremely	12	7	-2,84	05/1992
SPI-3	Drought Mildly	110	34	-0,99	05/2003
	Drought Moderately	42	10	-1,49	03/1997
	Drought Severely	23	1	-1,97	02/2023
	Drought Extremely	6	-	-2,56	06/2003
SPI-6	Drought Mildly	111	27	-0,99	08/2012
	Drought Moderately	39	4	-1,47	06/2004
	Drought Severely	27	1	-1,97	01/2023
	Drought Extremely	6	-	-2,71	05/2007
SPI-12	Drought Mildly	98	20	-0,97	11/1992
	Drought Moderately	56	3	-1,49	03/1994-04/2003
	Drought Severely	12	-	-1,99	03/2004
	Drought Extremely	9	-	-2,38	11/2006
SDI-1	Drought Mildly	143	55	-0,99	08/1992-07/2009
	Drought Moderately	45	15	-1,49	09/1995-09/2009
	Drought Severely	14	1	-1,95	08/1994
	Drought Extremely	4	-	-2,34	05/1997
SDI-3	Drought Mildly	135	38	-0,98	02/1994
	Drought Moderately	40	8	-1,49	01/2006
	Drought Severely	15	1	-1,98	03/2001
	Drought Extremely	5	-	-2,55	08/1994
SDI-6	Drought Mildly	140	27	-0,99	05/2013
	Drought Moderately	25	4	-1,47	06/2001-04/2008
	Drought Severely	22	2	-1,99	12/2006
	Drought Extremely	7	-	-2,35	12/1993
SDI-12	Drought Mildly	121	14	-0,98	08/2013
	Drought Moderately	15	3	-1,49	03/1994
	Drought Severely	23	1	-1,98	05/2006
	Drought Extremely	18	-	-2,7	03/2007

Table 4 shows the correlation analysis results of SPI and SDI index values by month. The relationship type was determined to be positive in all calculated months and time intervals. To evaluate in terms of relationship level; A

mostly moderate relationship was determined between SPI and SDI values. As the time interval in the index results increases, the correlation analysis results provide significantly better results.

Table 3. Drought and humidity occurrence percentages

	SPI-1	SPI-3	SPI-6	SPI-12	SDI-1	SDI-3	SDI-6	SDI-12
Drought Extremely	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,03	0,05
Drought Severely	0,05	0,06	0,07	0,03	0,04	0,04	0,04	0,06
Drought Moderately	0,07	0,11	0,10	0,15	0,12	0,10	0,11	0,04
Drought Mildly	0,32	0,29	0,29	0,26	0,37	0,35	0,31	0,32
Wet Mildly	0,38	0,36	0,35	0,38	0,29	0,34	0,37	0,40
Wet Moderately	0,10	0,10	0,10	0,09	0,11	0,09	0,07	0,05
Wet Severely	0,05	0,05	0,05	0,06	0,03	0,04	0,06	0,06
Wet Extremely	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,03	0,02	0,01

This is due to the fact that it takes time for the precipitation to flow. In the correlation analysis results, it was

determined that the periods with the highest correlation came after the periods when rainfall was abundant.

Table 4. SPI and SDI correlation analysis by months

SPI/SDI	1-month	3-month	6-month	12-month	SPI/SDI	1-month	3-month	6-month	12-month
October	0,19	0,23	0,48	0,56	April	0,28	0,43	0,37	0,32
November	0,06	0,21	0,64	0,58	May	0,46	0,66	0,43	0,45
December	0,18	0,52	0,55	0,54	June	0,68	0,67	0,32	0,45
January	0,54	0,51	0,50	0,28	July	0,50	0,44	0,22	0,57
February	0,53	0,33	0,44	0,22	August	0,32	0,11	0,23	0,62
March	0,27	0,07	0,38	0,31	September	0,34	0,08	0,37	0,61

4. Conclusions

In recent years, the effects of global warming have been felt more and more. The issue of drought is becoming more important day by day due to global warming, extreme temperatures and decrease in precipitation. Especially considering the climate zone in which our country is located, the issue of drought becomes even more critical. It is important to be able to analyze the components of drought and determine their effects on water resources.

In this study, meteorological droughts were determined with SPI using the rainfall data of Ankara province located in the center of Turkey, and hydrological droughts were determined with SDI using the data on the amount of water coming to the dams in Ankara. In calculating SPI and SDI values for Ankara province, time intervals of 1, 3, 6 and 12 months were taken into account. Although severe droughts occur from time to time in both types of drought, it is possible to say that there is no danger of severe drought for Ankara province. The most common drought classes for

both precipitation and runoff data are slightly dry and slightly wet. Although the drought and humidity percentages are approximately equal; The number of dry years is less than the number of wet years. It has been observed that the driest years at different time scales occurred in the period between 2000 and 2010.

According to the results of the correlation analysis between meteorological and hydrological droughts, a mostly moderate relationship was detected. One of the reasons why higher correlation coefficients cannot be obtained is that precipitation data is limited to a single meteorological station and flow data consists of the total amount of water arriving at 8 dams. Other reasons are related to climate variability, human activities, land use status and land characteristics.

When the occurrence dates of hydrological and meteorological droughts are examined, they generally occur 1-3 months after meteorological droughts, depending on the calculated time scale and stations.

Conducting studies on drought in a specific region provides the opportunity to be prepared for possible risks. It is especially important to take precautions against dry seasons that are expected to be rainy. Apart from drought analyzes made with existing data, it will also be useful to predict droughts that may occur in the coming years. The results obtained from the study can be used for water resources management.

Declaration of Ethical Standards

The authors declare that they comply with all ethical standards.

Credit Authorship Contribution Statement

Author 1: Resources, Research, Writing – original draft, Visualization, Arrangement

Author 2: Resources, Research, Writing – original draft, Visualization, Arrangement

Author 3: Research, Visualization, Writing – original draft, Analysis and interpretation

Declaration of Competing Interest

The authors have no conflicts of interest to declare regarding the content of this article.

Data Availability

All data generated or analyzed during this study are included in this published article. Data will be made available if deemed necessary.

Acknowledgement

We would like to thank the Turkish State Meteorological Service and Ankara Water and Sewerage Administration General Directorate for providing data.

5. References

- Aktürk, G., & Yıldız, O. (2018). The effect of precipitation deficits on hydrological systems in the Çatalan Dam Basin, Turkey. *International Journal of Engineering Research and Development*, 10(2), 10-28. <https://doi.org/10.29137/umagd.441389>
- Çetin, B., & Kumanlıoğlu, A.A. (2023). Meteorological and hydrological drought analysis of Medar Basin. *Dokuz Eylül University Faculty of Engineering Journal of Science and Engineering*, 25(73), 167-180. <https://doi.org/10.21205/deufmd.2023257314>
- Deniz Öztürk, Y., & Ünlü, R. (2022). A review on drought analysis studies in Turkey.

- Journal of Disaster and Risk*, 5(2), 669-680.
<https://doi.org/10.35341/afet.1124880>
- Evci, A., & Kuş Şahin, C. (2021). A study on the drought analysis of the Salda Lake Basin using the standardized precipitation index method. *The Journal of Graduate School of Natural and Applied Sciences of Mehmet Akif Ersoy University* 12(Supplementary Issue 1), 392-403.
<https://doi.org/10.29048/makufebd.939139>
- Guttman, N.B., (1999). Accepting the standardized precipitation index: a calculation algorithm. *Journal of the American Water Resources Association*, 35(2), 311-322.
- Keskiner, A.D., & Şimşek, O. (2023). Probabilistic meteorological drought analysis: an application in the Lake District. *Suleyman Demirel University Journal of Natural and Applied Sciences*, 27(1), 160-169.
<https://doi.org/10.19113/sdufenbed.1213855>
- Li, J., Wang, Y., Li, Y., Ming, W., Long, Y., & Zhang, M. (2022). Relationship between meteorological and hydrological droughts in the upstream regions of the Lancang–Mekong River. *Journal of Water & Climate Change*. 13(2), 421.
<https://doi.org/10.2166/wcc.2021.445>
- Lin, Q., Wu, Z., Zhang, Y., Peng, T., Chang, W., & Guo, J. (2023). Propagation from meteorological to hydrological drought and its application to drought prediction in the Xijiang River basin, South China. *Journal of Hydrology*, 617, 128889.
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128889>
- McKee, T. B., Doesken, N. J., & Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. 8th Conference on Applied Climatology, American Meteorological Society, Anaheim, California.
- McKee, T.B., Doesken, N.J., Kleist, J., (1995). Drought monitoring with multiple time scales. 9th Conference on Applied Climatology, Boston, Massachusetts.
- Menteşe, S., & Akbulut, S. (2023). determination of the drought status of Bilecik Central District and Bozüyük District with standardized precipitation index. *Eastern Geographical Review*, 28(49), 40-51.
<https://doi.org/10.5152/EGJ.2023.22028>
- Minh, H.V.T., Kumar, P., Toan, N.V., Nguyen, P.C., Ty, T.V., Lavane, K., Tam, N.T., & Downes, N.K. (2024). Deciphering the relationship between meteorological and hydrological drought in Ben Tre Province, Vietnam. *Natural Hazard*, 120, 5869-5894.
<https://doi.org/10.1007/s11069-024-06437-z>
- Moccia, B., Mineo, C., Ridolfi, E., Russo, F., & Napolitano, F. (2022). SPI-based drought classification in Italy: Influence of different probability distribution functions. *Water*, 14(22), 3668.
<https://doi.org/10.3390/w14223668>
- Nalbantis, I., (2008). Evaluation of a hydrological drought index. *European Water*, 23(24): 67-77.
- Özfidaner, M., Topaloğlu, F. (2020). Drought analysis in Southeast Anatolia with standart precipitation index method. *Soil Water Journal*, 9(2):130-136.
<https://doi.org/10.21657/topraksu.767002>
- Özgün, G., Vaheddooost, B., & Aras, E. (2020). Drought analysis using standard precipitation index (SPI) method and associating with Bursa Doganci dam. 4th International Symposium on Natural Hazards and Disaster Management, Bursa, Turkey.
<https://doi.org/10.33793/acperpro.03.02.23>
- Sarwar, A.N., Waseem, M., Azam, M., Abbas, A., Ahmad, I., Lee, J.E., & Haq, F. (2022). Shifting of meteorological to hydrological drought risk at regional scale. *Applied Sciences*, 12, 5560.
<https://doi.org/10.3390/app12115560>

- Thom, H. C. S. (1958). A note on the gamma distribution. *Monthly Weather Review*, 86(4), 117–122.
- Tuğrul, T., & Hınıs, M.A. (2022). Drought analysis at Apa Dam. *Karamanoğlu Mehmetbey University Journal of Engineering and Natural Sciences*, 4(1), 89-102.
<https://doi.org/10.55213/kmujens.1210753>
- Turhan, E., Çulha, B. D., & Değerli, S. (2022). Hydrological evaluation of streamflow drought index method for different time scales: a case study of Arsuz Plain, Turkey. *Journal of Natural Hazards and Environment*, 8(1), 25–36.
<https://doi.org/10.21324/dacd.903655>
- Türkeş, M. (2012). Türkiye’de gözlenen ve öngörülen iklim değişikliği, kuraklık ve çölleşme. *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 4(2), 1-32.
<https://doi.org/10.1501/Csaum.0000000063>
- Varol, S., & Ulusoy, M. (2023). Drought classification and determination of its effect by standardized precipitation index (SPI) method for Karacaören Dam Lakes of its surroundings. *Journal of Engineering Sciences and Design*, 11(3), 1142-1153.
<https://doi.org/10.21923/jesd.1291016>
- Wable, P.S., Jha, M.K., & Shekhar, A. (2019). Comparison of drought indices a semi-arid river basin of India. *Water Resources Management*, 33, 75–102.
<https://doi.org/10.1007/s11269-018-2089-z>
- Wang, Q., Zhang, R., Qi, J., Zeng, J., Wu, J., Shui, W., Wu, X., & Li, J. (2022). An improved daily standardized precipitation index dataset for mainland China from 1961 to 2018. *Nature*, 9, 124.
<https://doi.org/10.1038/s41597-022-01201-z>
- Wu, J., Chen, X., Yuan, X., Yao, X., Zhao, Y., & Aghakouchak, A. (2021). The interactions between hydrological drought evolution and precipitation-streamflow relationship. *Journal of Hydrology*, 597, 126210.
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126210>
- Yılmaz, M.U., & Yılmaz, H. (2022). Çok değişkenli kuraklık indeksi kullanılarak kuraklık değerlendirmesi: Kırklareli İli Örneği. 11. *Ulusal Hidroloji Kongresi*, Gaziantep, Türkiye.

Araştırma Makalesi / Research Article

**An Overview to Reducing Environmental Impacts with
Material Selection in Building Vertical Envelope and
Discussion Material Selection Guidelines for Turkey**

*Kemal Ferit ÇETİNTAŞ

¹Haliç Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, İstanbul, Türkiye, kemalferitcetintas@halic.edu.tr,
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9724-7864>

Geliş / Recieved: 06.06.2024;

Kabul / Accepted: 22.06.2024

Abstract

The inefficient use of resources, increased consumption of fossil fuels, urbanization, and the resultant rise in building production have significantly escalated the environmental impacts of buildings in recent years. Material selection and the consideration of the life-cycle performance of materials are fundamental to ensuring sustainability. A substantial portion of a building's environmental impact is attributed to the materials utilized in its construction. Numerous studies indicate that material selection profoundly affects energy consumption and environmental impacts. Various methods and models exist for material selection. This study systematically summarizes material selection approaches from different research studies and discusses their applicability in Turkey. The findings reveal that material selection is a complex issue that should be considered from a life-cycle perspective. Although developing a comprehensive material selection method is challenging, its implementation is constrained by factors such as lack of data and standards. Consequently, considering material selection criteria is not yet feasible for Turkey. Nonetheless, research in this field is ongoing.

Keywords: Building Material Selection, Life Cycle Assesment, Environmental Impact

*¹Sorumlu yazar / Corresponding author

Bu makaleye atıf yapmak için

Çetintaş, K. F. (2024). An Overview to Reducing Environmental Impacts with Material Selection In Building Vertical Envelope and Discussion Material Selection Guidelines for Turkey. *Journal of Innovations in Civil Engineering and Technology (JICIVILTECH)*, 6(1), 57-71. <https://doi.org/10.60093/jiciviltech.1497097>

Çevresel Etkilerin Azaltılması için Bina Düşey Kabuğundaki Malzemelerin Seçim Ölçütlerine Genel Bir Bakış ve Malzeme Seçim Ölçütlerinin Türkiye’de Uygulanabilirliğinin Tartışılması

Öz

Kaynakların verimsiz kullanılması, fosil yakıt tüketimindeki artış, kentleşme ve buna bağlı gerçekleşen bina üretimi binalardan kaynaklı çevresel etkilerin son yıllarda hızla artmasına neden olmuştur. Malzeme seçimi ve malzemelerin yaşam dönemi performansının dikkate alınması sürdürülebilirliği sağlamanın temel unsurlarından biridir. Binaların çevre üzerindeki büyük miktardaki etkisi, binada kullanılan yapı malzemelerine dayanmaktadır. Birçok çalışma malzeme seçiminin enerji tüketimi ve çevresel etkiler üzerinde büyük etkisi olduğunu göstermektedir. Farklı malzeme seçim yöntemleri ve modelleri bulunmaktadır. Bu çalışmada, farklı çalışmalardan sistematik bir yaklaşımla materyal seçim yaklaşımları özetlenmiş ve yaklaşımların Türkiye’de uygulanabilirliği ele alınmıştır. Çalışma, malzeme seçiminin karmaşık bir problem olduğunu ve malzeme seçiminin yaşam döngüsü perspektifinden ele alınması gerektiğini ortaya koymaktadır. Malzeme seçim yönteminin geliştirilmesi karmaşık bir sorun olmasıyla birlikte, uygulanması da bazı kısıtlardan dolayı sınırlı olarak gerçekleşebilmektedir. Malzeme seçim ölçütlerinin dikkate alınarak uygulanması Türkiye açısından veri veya standart eksikliği gibi nedenlerden dolayı henüz uygulanabilir değildir. Ancak bu alandaki çalışmaların devam ettiği bilinmektedir.

Anahtar Kelimeler: Yapı Malzemesi Seçimi, Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi, Çevresel Etki

1. Introduction

Materials, energy and water are the three main resources required to construct and run buildings. Materials and energy are consumed at a faster rate than they are being produced. High level of consumption in today's world brings some serious problems which are caused by consumption. According to World Watch Institute report construction industry has consumed % 50 of resources, % 16 of water resources and % 40 of energy (Roodman and Nessen, 1995). In addition, half of the world's waste generation belongs to construction industry. In a building's life cycle %10-20 of environmental impact is formed by building materials. Therefore, materials selection' importance has risen in construction sector. In energy efficient building design, material and energy consumption are the key factors. Especially in built environment, material selection for building vertical envelope can be the most important factor. Some factors such as building shape, form and orientation sometimes are limited to design in built environment. In a building, vertical envelope materials have the largest volume in whole building materials. Building vertical envelope has also largest surface than other building components.

Material selection is an important problem, which affect buildings comfort level, environmental impact and energy consumption directly. The study has three major aims. Firstly, have an overview on reducing environmental impacts with material selection in

building vertical envelope. Building material selection is a huge and complex subject. The building envelope, due to its extensive surface area, constitutes the component that consumes the greatest amount of materials within a building. Consequently, the selection of materials for the building envelope significantly influences the environmental impact associated with the utilization of building materials. Therefore, study is limited with building vertical envelope because of its effects on buildings energy consumption and environmental impact. Secondly, summarizing criteria for material selection in building vertical envelope to reducing environmental impacts. The last aim is to discuss criteria from point of applicability view and applicability for Turkey. An introductory study try to be done for building vertical envelope material selection which reduce environmental impact from life cycle view.

2. Material and Methods

In the study, building material selection criteria were taken from a life cycle perspective in order to have a comprehensive perspective. Energy consumption and environmental impacts caused by building materials during the production, use and disposal stages are explained in this section. Literature review was used to determine building material selection criteria.

2.1 Material selection for building vertical envelope impact's on energy consumption and environment

Reducing environmental impacts from building depends on reducing three main flows, which are material, energy and water, in building (Yeang, 2008, Kibert, 2013, Mehta and Prowal, 2013). According to US Green Building Council (USGBC) building materials choices are fundamental to achieving success in sustainable design (LEED, 2024). As I stated before material selection for building vertical envelope is a key factor in built environment to reducing energy consumption. Material's thermal properties in building vertical envelope affect building's operational energy consumption widely. Moreover, amount of materials in vertical envelope is more than other components so; embodied energy of building envelope is higher than other building components. A small literature overview has done for understanding relationship between material selection, energy consumption and their effects on environment. In this context master thesis, articles and proceedings, which are given in the references, were examined.

Zhou et al., (2023) have made a research which conducts a critical review to identify design variables affecting the environmental impacts of buildings at three design stages during the design processes. The study show that reveal that eight design variables in early design stages... have an impact on a building's life-cycle environmental impacts (Zhou, et al., 2023). In detailed design stages, there are four kinds of design variables such as finishing materials linked with the environmental impacts of a building (Zhou et al., 2023).

2.2 Material selection impact on energy consumption

In Carol Monticelli and others study, a single family house and a residential block with different vertical envelope alternatives has compared in building life cycle term according to energy consumption (Monicelli et al., 2011). All vertical envelope alternatives are in different thickness and materials but all have same thermal resistance. Alternatives are a) external thermal insulation render system on single leaf brickwork cavity wall, b) cement rendered lightweight brickwork outer leaf, insulation, gypsum rendered brickwork inner leaf; c) dense solid brickwork outer leaf, insulation, gypsum rendered brickwork inner leaf; d) ventilated wall, an external thermal insulation brick masonry wall externally covered in brick hollow flat blocks, and assembled by means of suspension devices and mechanical style fixings; e) single leaf brickwork cavity wall with cement rendering; f) Aluminum cladding and insulation layer indoor side. Envelope alternatives has compared according to embodied energy and operational energy consumption. Energy calculations have done according to ISO 13.790 standards and English data has used for embodied energy calculations (ISO, 13790). Material's effects on energy consumption can be seen from table clearly. Envelope alternative 'b' has lowest embodied energy amount but it has highest operational energy consumption amount. On the contrary, alternative 'f' has the highest embodied energy amount but it has lowest

operational energy consumption amount. Alternative 'f' has aluminum cladding, as far as we know from literature aluminum is one of the highest embodied energy need materials. Therefore alternative 'f' has the highest embodied energy need even if it has lowest operational energy consumption amount. Another result taken from the table which is quite important is about maintenance energy need. There is a direct relationship between embodied energy and maintenance energy need. Alternative which has lowest embodied energy amount (b) has also lowest maintenance energy need. Aluminum cladding envelope alternative has the highest maintenance energy need. In the study material selection affect on embodied energy and operational energy can be seen clearly.

In another study from C.Thormak, building material replacement alternatives have compared in passive solar house (Thormak, 2006). Existing building components redesign with minimum material replacement but same thermal resistance conditions. Study has focused on embodied energy and recycling potential of components. Three alternatives of building components, which are existing component, minimum embodied energy alternatives and maximum alternative, have compared. According to study, embodied energy of minimum alternative is %17 lower than existing components and maximum redesign alternative embodied energy amount is %6 higher than existing alternative.

K. Ferit Çetintaş, compare different building envelope alternatives effect on embodied energy and carbon emission in related study (Çetintaş 2019). According to the results of the study, different thermal insulation materials with the same thermal conduction coefficient have a high effect on the embodied energy and carbon emission of the building envelope. The study revealed that the embodied energy savings achieved by using glass wool thermal insulation material instead of XPS is approximately equal to the annual heating energy consumption of the reference building (Çetintaş, 2019).

Smart materials' applications to building envelope has been researched by Francesco Sommese and others. The study remarked that the building envelope should be adative to the environment for reducing energy consumpition. Therefore smart materials such as hydrogel, photocromic and thermoresponsive polymers have energy saving potential (Sommese et al., 2023). When the application of smart materials is suitable, their capacity to leverage environmental factors as passive triggers for adaptation, coupled with the relative reduction in energy consumption, qualifies the solution as a resilient approach (Sommese et al., 2023).

The last example which show the material selection's impact on the embodied energy and operational energy in Indonesia. Agya Utama and Shabbir H. Gheewala focused on 'embodied energy of building envelopes

and its influence on cooling load in typical Indonesian middle class houses ' (Utama and Ghewala, 2006). In this study a typical single family house has compared with different material selection for building components according to embodied energy and operational energy for cooling loads. Alternatives are brick wall with a clay roof and concrete block wall with concrete roof. Alternative 1, which has concrete block, embodied energy amount is %30 higher than alternative 2 (brick wall and clay roof). In addition alternative 2 cooling load is %30 lower than alternative 1 (Utama and Ghewala, 2006). Results shows that material selection gives about %30 energy efficiency in embodied energy and operational energy in a conventional house unit in Indonesia. As it is stated in the examples material selection in building envelope has great impact embodied energy and operational energy consumption of building. In addition material selection has great impact on environment too.

2.3 Material selection impact on environment

Each building material has different origin so each material has different impact on environment. Environmental impacts of building material are an important as well as their embodied energy. Environmental impacts of buildings are related with their component's materials. Nowadays building material's environmental impacts is formed of building's sustainability. There are some studies on building's impact on the environment.

Life cycle assessment method is used to evaluate building's impact on environment mostly.

Different construction types such as mass timber, reinforce concrete and structural steel has been compared according to environmental impact by Vabihav Kumar and others. The study remarked that structural material of the building has affect its environmental impact widely (Kumar et al., 2024). Building which has a mass timber structure reduce global warming potential in range of %39 to %51 (Kumar et al., 2024).

Canay Çamur was compared EPS and rock wool insulation materials with a life cycle assessment method in her master thesis (Çamur, 2010). GABI life cycle assessment software was used for evaluation in the study. As a result of the study EPS insulation material give better results than rock wool from view waste generation, environmental impacts and energy use. For instance SO₂ emission of rock wool nearly as twice as EPS (Çamur, 2010). Appu Haapio and Pertti Viitaniemi have investigated that how does affect different structural solutions and materials building's impact on environment (Haapio and Viitainmei, 2008). Environmental impacts of 78 single family houses were calculated in the study. The buildings have different material layers and different length of service life varies from 60 years to 160 years. Environmental impact calculations were made with ATHENA impact estimator software. For instance, rock wool, cellulose and fiberglass insulation materials were compared

according to some environmental impact indicators such as global warming potential, air pollution index, and water pollution index and energy consumption. According to calculation results, cellulose has lowest and rock wool has highest impact on environment. Each building component such as windows, envelope, roof and structure were evaluated according to their environmental impacts. As a result of the study from an environmental view best environmental options for building components were determined under identified conditions. The building components which have low resource consumption and low pollution to environment are identified as 'environmental friendly material' in the study. Moreover, wall insulation: cellulose (exterior), fiberglass (interior), cladding: wood tongue-and-siding, window frame: wood frame window, and roof material: steel or concrete tile options are found as environmental friendly material options for building components for this study.

Houda Ajabli, et al., focus on eco friendly thermal insulation materials' impact on indoor comfort. The study remarks that Eco-friendly insulation materials generate minimal waste during installation and can be recycled at the end of their lifecycle. In addition their impact on indoor comfort more extensively. Therefore environmental effects which is caused by XPS insulation material using could be reduced (Ajabli et al., 2023).

Liang et al., (2023) have studied on decarbonization potential of buildings from life cycle perspective (Liang et al., 2023). The study suggested that prefabrication in construction industry helps the decarbonization with using raw materials effective and recycling waste materials has various environmental benefits.

Kim., et al have studied on low carbon durability design for green apartment buildings in South Korea (Kim et al., 2017). Achieving high durability in apartment building structures can be accomplished by selecting materials with superior durability, thereby reducing CO₂ emissions through a decrease in the quantity of materials used. This study focuses on concrete, as most apartment buildings in South Korea are constructed with reinforced concrete structures, making the service life of structural members reliant on concrete durability (Kim et al., 2017).

3. Findings

In this section, information obtained from studies in the literature has been compiled and building material selection criteria have been compiled to minimize environmental impacts from a life cycle perspective. Material selection criteria will be explained under separate headings by dividing the life cycle process into periods.

3.1 Material selection guidelines for reducing environmental impacts

Building material selection is a complex problem not only in construction industry but also in other industries. There are some guidelines and environmental friendly material selection methods to solve material selection problem in industries. But most of these guidelines are identified clearly; most of them just give fundamental items for the selection.

The Environmental Preference Method (EPM), which was developed by Woon and Energie in 1991, has been first attempt to developed a decision making tool for environmental friendly material selection (Anik et al., 1996). EPM method based on Life Cycle Assessment method from simple way. EPM is a very well known method which has used in many studies. David Anik and others used EPM method for building material selection (Anik et al., 1996). They studied on a hand book of sustainable building which was formed with EPM method. Building material suggestions for each building component are found in the study. Moreover, there is a list of materials, which should be avoided because of its environmental pollution, for each building component in the study. But these kinds of selection methods cannot be applied in all countries. Material production technology, production energy source, transportation type, distance and effects of geographic conditions on environmental pollution change country to country. For instance according to David Anik and others study timber window frame identified as 'preference material' from view of environmental performance (Anik et al., 1996). But in

some Middle East countries timber provides from another country with long distance. Because of that timber frame cannot be best solution in these countries.

Each study on material selection focus subject in a same frame but from a different angle. This situation makes confusion for material selection. In this paper some studies on reducing environmental impacts with material selection researches and guidelines try to be summarized with a systematic approach (Anik et al., 1996; Sam, 2012; John and Brenda, 1998a; John and Brenda, 1998b; Bjorn, 2009).

3.2 Material selection guidelines for building vertical envelope for Turkey and its applicability

Major aim of the paper is to summarize material selection in building vertical envelope for Turkey and discussion applicability of guidelines to Turkey. Material selection is limited with building vertical envelope for this study but it can apply to all building components. It is an introductory study to develop guidelines for Turkey. Guidelines summarized with a systematic approach and they are based on phases which are parts of the material' life cycle. Guidelines divided into three phase which were pre use, use and post use phase.

Preuse phase guidelines: Preuse phase includes from raw material extraction to transportation to construction site. Guidelines summarized from studies (Anik et al., 1996; Sam, 2012; John and

Brenda, 1998a; John and Brenda, 1998b) in a table 1. But some of these guidelines and their application to countries such as Turkey/Istanbul should be discussed.

Raw material section: Material's origin and source have great impact on environment. Material has natural origin and from renewable sources should be preferred. But this item cannot be applied well for Istanbul. For instance in LEED green building certificate system, non using timber products from non renewable forests is an obligatory criteria and all timber products should have label about their source (LEED, 2023) . In Turkey there is no any labeling system about timber products origin. Construcuter and architects doesn't know material exact source and origin in Turkey because lack of data. Another important point in raw material section is about its origin. Material has natural origin from polluted lands has harmful effect on indoor air quality. But it is difficult to find data about material's source and land's quality in Turkey.

Transportation: Transportation is another complex problem for evaluation. In most of studies material should preferred from 'short' distances but there is no any identification about short distance. For instance, a distance which is identified as short for United States can be very long distance for small countries such as Holland. Transportation type is another issue for this section. Type of transportation affects emissions to environment directly. Truck type is very important for emissions. In Europe Union trucks

should provide carbon emission standards. In Turkey, regulatory standards have been established to limit carbon emissions produced by motor vehicles. Nonetheless, it has been documented that certain vehicles employed in road freight transportation fail to adhere to these regulations.

Production: Production technology is another important issue for environmental impacts. Each factory's energy and raw material consumption are different because of production technology and production effectiveness. Difference in effectiveness and production technology affects environmental performance of materials. Embodied energy of a building material related with its environmental performance. High embodied energy materials have great impact on environment. Calculation of embodied energy and raw material usage can be a complex problem for countries which has any database. In Turkey there is not any database about building materials embodied energy and environmental impacts. In Turkey LCA studies in construction sector use database from abroad. That is why all studies have discussed because of lack of data. A questionnaire has done to evaluate environmental performance of building materials by Uğur Kaya (Kaya, 2010). He stated that it is difficult to measure environmental impacts of building materials because of lack or inadequate data in Turkey. Productions of some building materials are done by different contractors and final mounting is done in another factory. Therefore,

data about embodied energy and environmental impacts cannot be find or measure easily. In Turkey some factories use high technology energy, water recovery systems and filters for pollution reducing but most of the factories do not use these technologies. That is why emissions and energy consumption amounts can change hugely from factory to factory.

Use phase guidelines: Use phase guidelines include construction, use and maintenance phase. The guidlines can be seen in Table 2.

Construction: Construction phase is another complex part because of workmanship and use conditions have to be taken into account. Workmanship quality affects a material's performance directly. In some countries there are some standards for mounting of building components but in some countries such as Turkey there isn't any standard for workmanship in detail.

Use and maintenance: Use conditions have great impact on a material performance. Use conditions effects material's durability and maintenance need. Use conditions cannot be predicted so performance failure due to use conditions is unpredictable area of material selection. Service life of a building material has different value in each country. The difference in service life affects material maintenance or replacement needs which affect materials environmental impacts directly. Countries such as England has their own material's service life

standards. In Turkey, service life of building materials standards are interpretation of international standards. Related standards have to be developed according to Turkey's conditions to get adequate results. Another issue in this phase about maintenance. In some countries such as England (BS 8210 or SFG20) and Sweden maintenance of materials are clearly defined with standards but in Turkey there is not related standards about maintenance of building materials or elements.

Post use phase guidelines: Post use phase guidelines include demolition phase. The guidlines can be seen in Table 3.

Demolition: Demolition is the last phase of a material in its life cycle. From an environmental approach material should be re use or re cycle after its life end. In LEED green building certificate system, some amount of the whole building material should be reusable and recyclable is a necessity (LEED, 2024). Recycling of some building materials is based on technology availability. For instance in Turkey some building materials cannot be recycled because of lack of technology. Moreover some manufacturers have any idea about reusing (Kaya, 2010). Therefore, serious amount of building materials which can be reuse or recycle, turn into waste without any processing. Demolition techniques, which affect environment

Table 1. Preuse phase guidelines for building vertical envelope material selection.

PHASE		CRITERIA	PREFERENCE	NOT RECOMENDED
PRE USE PHASE	RAW MATERIALS	Materials origin: Natural, Artificial, Recycled	Natural, Recycled	Artificial
		Materials source: Renewable, non renewable	Renewable	Non renewable
		Content: Harmful substance or not	Presence without harmful substances	Content harmful substances such as radon gas
		Availability	Available and wide spread sources	Lack of sources
		Energy consumption during extraction	Low energy need for ext and from renewable sources	High energy need for ext. And use of fossil fuels
		Environmental impacts during extraction soil, water, air, human, habitat etc.	Have low environmental impact mat. Such as timber, stone	Have high environmental impact mat. Such as aluminum, steel, zinc
	TRANSPORT	Transportation type: Truck, Railway, Air, Sea	Materials provide from local sources in short distance with effective transport type	Materials should not be provided from long distance companies
		Distance		
	PRODUCTION	Energy consumption during production	Low production energy need material (natural)	Highly energy need mat. For production such as steel, aluminum
		Production technology	Minimum level of production loss	In efficient production technology
		Water consumption during production	Minimum water consumption	High level of water consumption
		Environmental impact during production to air, water, soil, human and habitat	Minimum impact to environment during production	High level of impact to environment
		Waste generation during production	Minimum waste generation	Genrate huge amount of waste during production
	TRANSPORT	Transportation type: Truck, Railway, Air, Sea	Materials provide from local sources in short distance with effective transport type	Materials should not be provided from long distance companies
		Distance		

Table 2. Use phase guidelines for building vertical envelope material selection.

PHASE		CRITERIA	PREFERENCE	NOT RECOMENDED
USE PHASE	CONSTRUCTION	Energy consumption during production	Low energy need for production and from renewable sources	High energy need for prod. And use of fossil fuels
		Water consumption during production	Minimum water consumption	High level of water consumption
		Environmental impact during production to air,water,soil,human and habitat	Minimum impact to environment during production	High level of impact to environment
		Waste generation during production	Minimum waste generation	Cause huge amount of waste
	USE AND MAINTENANCE	Durability	High level of durability and materials have long service life	Low level of durability and materials have long service life
		Maintenance	Low maintenance need materials	High maintenance need maintenance
		Impacts on indoor environment	Low impact on indoor high quality	High impact on IAQ materials such as solvents, paints etc.
		Energy consumption during production and impact on env.	Low energy consumption and low environmental impact	High level of energy consumption and environmental impact

low, are not known by demolishing companies.

4. Results

Material selection is a process which affects building's performance and its sustainability. Reducing energy consumption and environmental impacts can be achieved through appropriate material selection. Although there are several material selection methods most of them does not include life cycle approach. Buildings and materials have different impacts on

environment in life cycle stages. Therefore, life cycle performance of materials should be taken into account during material selection. Importance of considering the life cycle of building materials, including the embodied energy and carbon emissions associated with their production and disposal. But cosidering life cycle performance need comprihensive data about materials' and their origin. Lack of information and data is a critical problem in material selection. C. Thormak and U. Kaya highlighted same problem in their studies.

Table 3. Post use phase guidelines for building vertical envelope material selection.

PHASE		CRITERIA	PREFERENCE	NOT RECOMENDED
POST USE PHASE	DEMOLITION	Energy needs for demolition	Low energy needs for demolition and from renewable sources	high energy needs for demolition and use of fossil fuels
		Environmental impact during demolition to air, soil, water,human and habitat.	Minimum impact to environment during demolition	High level of impact to environment (explosives)
		Transportation type: Truck, Railway,Air,Sea	Materials dispose in short distance facilities.	Materials should not be disposed in facilities which is far way from site
		Distance		
		Re use ability	Materials which have a potential of re use	non re useable materials
		Re cycle ability	Materials that can be re cycled	non re cycle materials
		Disposal and degradation	Materials with the possibility of biological degradation	non-degradable material

It is stated before this is an introductory study for summarizing material selection guidelines and discussion of its applicability for Istanbul. A material selection method should take into account some parameters such as country's standards on building materials, laws, regulations, available information on material properties. Different material selection method should be developed according to building type, available data about material and expected environmental performance. The increasing number of criteria for material selection complicates the decision-making process. Considering both energy consumption and environmental impacts from a life cycle perspective further exacerbates this complexity. Therefore, it is recommended that future

research focus on developing new material selection methods and tools employing optimization and decision-making techniques. It is anticipated that methods such as machine learning and deep learning will be utilized in future studies to predict environmental impacts, particularly in long and complex processes such as the life cycle of buildings, at the design stage. Considering material selection from a life cycle perspective requires comprehensive and high-quality data. However, there is limited data on the energy consumption and environmental impacts of building materials produced in Turkey during the production processes. Consequently, data produced abroad is often used for material selection processes in Turkey. Additionally, there are no standards or

data available for a significant portion of the material selection criteria identified in this study. Therefore, many of the criteria determined within the scope of the study cannot be implemented in Turkey in the near future. Nonetheless, relevant institutions and organizations continue their efforts to address these data and standard deficiencies. It is recommended to develop methods that provide interim solutions until these improvements are made, or to use data from countries with similar conditions to Turkey for the material selection process.

Declaration of Ethical Standards

All ethical standards were followed in this study.

Credit Authorship Contribution Statement

Conceptualization, Methodology / Study design, Formal analysis, Investigation, Resources, Writing – original draft, Writing – review and editing, Visualization has done by author.

Declaration of Competing Interest

The author has no conflicts of interest to declare regarding the content of this article.

Data Availability

All data generated or analyzed during this study are included in this published article.

5. References

- Ajabli, H., Zoubir, A., Elotmani, R., Louzazni, M., Kandoussi, K., Daya, A. (2023). Review on Eco-friendly insulation material used for indoor comfort in building. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 185, 2-12. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113609>
- Anik D., Boonstra, C., Mak, J. (1996) *Handbook of Sustainable Building An Environmental Preference Method for Selection of Materials for Use in Construction and Refurbishment*. USA: James & James Publishing
- Bjorn, B. (2009) *The Ecology of Building Materials* USA: Architectural Press Second Edition.
- British Standards. (2020). BS8210: Facilities maintenance management. Code of practice. England.
- Building Engineering Services Association (BESA) Standards. (2020). SFG20: Industry Standard for Building Maintenance. England
- Çamur, C. (2010). *Environmental Evaluation of Thermal Insulation Materials By Life Cycle Assessment Methodology* 'in Turkish. Msc Thesis Gazi University Institute of Science and Technology, Ankara, Türkiye.
- Çetintaş, K. F. (2019). Bina Kabuğunda Form ve Malzeme Seçiminin Kabuğun Oluşum Enerjisi, Karbon Salımı Ve Maliyetine Etkisinin İncelenmesi. 14. *Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, İzmir, Türkiye.
- Haapio, A., Viitainemi, P. (2008) Environmental Effect of Structural Solutions and Building Materials to a Building. *Environmental Impact Assessment Review*, 28, 587-600. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2008.02.002>
- International Organization for Standardization. (2008). ISO 13790: Energy performance of buildings – Calculation of energy use for space heating and cooling. England
- Kaya. U. (2010) *Development of Design Alternatives For Sustainable External Wall System* ' in Turkish Msc. Thesis I.T.U Institute of Science; Istanbul, Türkiye.
- Kibert, C.J., (2013) *Sustainable Construction: Green Building Design and Delivery*, 3rd ed., Netherland: John Wiley.
- Kim, R., Tae, S., Roh, S. (2017) Development of low carbon durability design for green apartment buildings in South Korea. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 77, 263-272. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.120>

- Kim., J.J., Brenda, R. (1998a) *Introduction to sustainable design*, USA, National Pollution Prevention Center for Higher Education Publishing
- Kim., J.J., Brenda, R. (1998b) *Qualities, use and examples of sustainable building material*. USA, National Pollution Prevention Center for Higher Education Publishing.
- Kumar, V., Rico, M.L., Bergman, R.D., Nepal P., Poudyal, N.C. (2024). Environmental impact assessment of mass timber, structural steel, and reinforced concrete buildings based on the 2021 international building code provisions. *Building and Environment*, 251, 2-14. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2024.111195>
- Leadership in Energy and Environmental Design (LEED) (2009) *Material multi-attribute assessment*, Retrived March, 2024 from <https://www.usgbc.org/credits>
- Leadership in Energy and Environmental Design (LEED) (2018) *Low emitting materials* Retrived December 2023 from <https://www.usgbc.org/leedaddenda/10466>
- Leadership in Energy and Environmental Design (LEED) (2019) *Building materials and reuse* Retrived, December 2023, from <https://www.usgbc.org/credits/>
- Liang, Y., Li, C., Liu, Z., Wang, X., Zeng, F., Yuan, X., Pan, Y. (2023). Decarbonization potentials of the embodied energy use and operational process in buildings: A review from the life-cycle perspective. *Heliyo*, 9, 2-21. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e20190>
- Mehta, H.S., Porwal, V. (2013), Green Building Construction for Sustainable Future. *Civil and Environmental Research*, 3(6), pp. 7-13, ISSN 2225-0514
- Monticelli, C., Ceconni, F.R., Pansa, G., Mainni, A.G. (2011). Influence of degradation and service life of construction materials on the embodied energy and the energy requirements of buildings. *12th International Conference on Durability of Building Materials and Components April 12-15 2011 Porto – Portugal*.
- Roodman D. M., Lessen, N. (1995) *A Building revolution : how ecology and health concerns are transforming construction* . World Watch Paper 124 World Watch Institute Report.
- Sam, K. (2012). *Handbook of Green Building Design and Construction*. Netherlands: Elsevier Publishing.
- Sommese, F., Badarnah, L., Ausiello, G. (2023). Smart materials for biomimetic building envelopes: current trends and potential applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 188, 113-130. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113847>
- Thormark, C. (2006) The Effect of Material Choice on the Total Energy Need and Recycling Potential of a Building. *Building and Environment*, 41, 1019-1026. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.04.026>
- Utama, A., Gheewala, S.H. (2006) Embodied energy of building envelopes and its influence on cooling load in typical indonesian middle class houses. *The 2nd Joint International Conference on 'Sustainable Energy and Environment (SEE2006) 21-23 November 2006 Bangkok, Thailand*
- Yeang, K. (2008) *Ecodesign: A Manual for Ecological Design*. USA: Wiley Press
- Zhou, Y., Ma, M., Tam, V., Le, K. N. (2023). Design variables affecting the environmental impacts of buildings: A critical review. *Journal of Cleaner Production*, 38, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.135921>