



ELVERİŞSİZ YÜKLEME DURUMLARINDA TEKİL TEMELLERDE MEYDANA GELEN FARKLI OTURMALARIN ÜST YAPIYA ETKİLERİ

Burak KAYMAK^{1*}, Mehtap ÖĞE¹, Uğur DAĞDEVİREN¹

¹ Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kütahya, Türkiye

Anahtar Kelimeler

*Eğilme Momenti,
Elverişsiz Yükleme,
Farklı Oturma,
Tekil Temel.*

Öz

Mühendislik yapılarında, üst yapıdan gelen yükler temeller aracılığıyla zemine aktarılmaktadır. Diğer mühendislik yapılarında olduğu gibi temellerin tasarımında da güvenlik ve ekonomi en önemli tasarım kriterleridir. Günümüzde özellikle sanayi tipi yapıların temel sistemi olarak tekil temeller tercih edilebilmektedir. Tekil temellerin en önemli dezavantajı olan farklı oturmalar, üst yapıda ilave zorlamalara neden olmaktadır. Üst yapı tasarımlarının en elverişsiz yükleme koşullarına göre yapıyor olmasına rağmen, uygulamada kullanılan yük birleşimlerinde farklı oturmalarından kaynaklanan yük etkilerinin genellikle dikkate alınmadığı gözlenmektedir. Bu çalışmada, iki örnek sanayi yapısı modeli oluşturulmuş ve kirişler üzerindeki elverişsiz hareketli yükleme durumları için tekil temellerde oluşan en büyük ve farklı oturmalar belirlenmiştir. Farklı yük birleşimlerine ilave olarak bu farklı oturmaların da kirişlerde kritik eğilme momentlerine etkisi deplasman metodu kullanılarak incelenmiştir. Çalışma sonunda, farklı oturmaların üst yapıda ihmal edilemeyecek büyüklükte eğilme momentlerine sebep olabileceği tespit edilmiştir. Tekil temeller gibi farklı oturmaları kendi içinde tolere edemeyen yapıların tasarımında, oluşacak farklı oturmaların da yük birleşimlerinde mutlaka dikkate alınması gerektiği anlaşılmaktadır.

THE EFFECTS OF DIFFERENTIAL SETTLEMENTS OCCURRING ON SINGLE FOUNDATIONS UNDER UNFAVORABLE LOADING CONDITIONS ON THE SUPERSTRUCTURE

Keywords

*Bending Moment,
Unfavorable Loading,
Differential Settlement,
Single Foundation.*

Abstract

In engineering structures, superstructure loads are transferred to the ground through foundations. Like in other engineering structures, safety and economy are the most important design criteria in the design of foundations. Today, single foundations can be preferred, especially as the foundation system of industrial-type structures. Differential settlements, the most significant disadvantage of single foundations, cause additional stresses on the superstructure. Although the superstructure designs are made according to the most unfavorable loading conditions, it is observed that the load effects caused by differential settlements are generally not taken into account in the load combinations used in practice. In this study, two sample industrial structure models were created, and maximum and differential settlements in single foundations were determined for unfavorable live loading conditions on beams. In addition to different load combinations, the effect of these differential settlements on the critical bending moments in beams was investigated using the displacement method. At the end of the study, it has been determined that differential settlements can cause bending moments in the superstructure that cannot be neglected. It is understood that in designing structures that cannot tolerate differential settlements, such as single foundations, differential settlements must also be considered in load combinations.

* İlgili yazar / Corresponding author: burak.kaymak@dpu.edu.tr, +90-274-443-4144

Alıntı / Cite

Kaymak, B., Öge, M., Dağdeviren, U., (2023). Elverişsiz Yükleme Durumlarında Tekil Temellerde Meydana Gelen Farklı Oturmaların Üst Yapıya Etkileri, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(2), 794-806.

| Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number) | Makale Süreci / Article Process | |
|-------------------------------------------------|-----------------------------------------|------------|
| B. Kaymak, 0000-0002-1318-0456 | Başvuru Tarihi / Submission Date | 02.11.2022 |
| M. Öge, 0000-0003-0820-238X | Revizyon Tarihi / Revision Date | 23.02.2023 |
| U. Dağdeviren, 0000-0002-4760-6574 | Kabul Tarihi / Accepted Date | 23.03.2023 |
| | Yayın Tarihi / Published Date | 28.06.2023 |

ELVERİŞSİZ YÜKLEME DURUMLARINDA TEKİL TEMELLERDE MEYDANA GELEN FARKLI OTURMALARIN ÜST YAPIYA ETKİLERİ

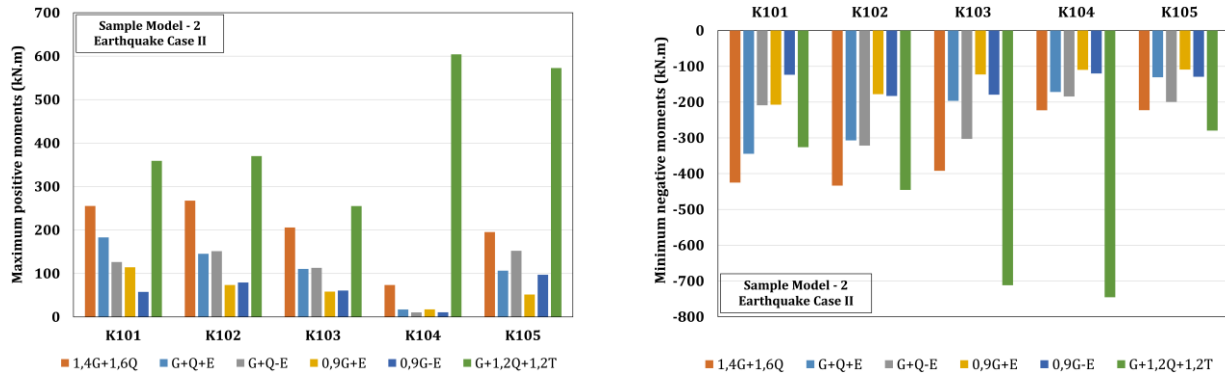
Burak KAYMAK^{1†}, Mehtap ÖĞE¹, Uğur DAĞDEVİREN¹

¹ Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kütahya, Türkiye

Highlights

- Single foundation settlements for unfavorable live loading conditions on beams
- Effect of differential settlements in single foundations on bending moments in beams
- Consideration of load effects due to differential settlements in load combinations

Graphical Abstract



Purpose and Scope

This study aims to determine the maximum and differential settlements in single foundations due to unfavorable live loading combinations on beams and to investigate the variation of critical bending moments in beams considering the load effects due to differential settlements.

Design/methodology/approach

To determine the effect of differential settlements on the superstructure, the effects of support settlements were added to the nodal equilibrium equations, and structural analyses were carried out by the displacement method. The settlements were calculated based on the theory of elasticity. The beams' maximum and minimum design moments were determined by considering dead, live, earthquake and differential settlement load combinations.

Findings

The results show that although the differential settlements in the foundations remain within the allowable limits, the design bending moments in load combinations including support settlements in the single foundation can be up to 8 times higher than the moments in dead and live load combinations. It is understood that the T-loading effect should be considered in structures with a single foundation.

Research limitations/implications

The effects of differential settlements on the superstructure of single-story and multi-span industrial buildings having single foundations are discussed. The study should be developed for structures that can tolerate settlements within themselves.

Practical implications

It is thought that the T-loading effect will not be dominant in the load combinations in the structures whose differential settlement values are within the allowable limits. However, it is seen that this load combination must also be considered, especially in the design of single-foundation structures.

Originality

The importance of considering differential settlements in the design of single-foundation structures is concretely demonstrated.

[†] İlgili yazar / Corresponding author: burak.kaymak@dpu.edu.tr, +90-274-443-4144

1. Giriş (Introduction)

Temeller, üst yapıdan gelen yüklerin emniyetli olarak zemine aktarılmasını sağlayan yapı elemanlarıdır. Temellerin tasarımı genel olarak iki temel esas göz önüne alınarak gerçekleştirilmektedir. Bunlardan ilki, üst yapıdan zemine aktarılan gerilmelerin zeminde taşıma gücü yenilmelerine sebep olmaması, diğeri ise temel altında oluşacak oturmaların yapı için tolere edilebilir sınırlar içerisinde kalmasıdır. Burada ifade edilen oturma kavramı, yapı altındaki en büyük toplam oturma, farklı oturma, açısız çarpılma, eğilme, kolon eksenlerinde dönme gibi birçok durumu kapsamaktadır (EN 1997-1, 2004; Önalp ve Sert, 2010). Özellikle toplam oturma, farklı oturma ve açısız çarpılma için farklı zemin koşulları ve yapı türlerine ait izin verilebilir oturma sınırlarının sunulduğu çok sayıda ulusal ve uluslararası referanslara ulaşmak mümkündür (Bowles, 1997; Uzuner, 2006; Yıldırım, 2009). Bu sınırlar incelendiğinde, genel olarak tekil ve şerit temellerde toplam oturmanın kil zeminlerde 65 mm, kumlarda ise 40 mm ile sınırlı kalması istenmektedir. Radye temeller için bu sınırlar sırasıyla 100 mm ve 65 mm'ye kadar artırılabilir. Farklı oturmaların kil ve kum zeminlerde sırasıyla 40 mm ve 25 mm'den düşük olması önerilmektedir. İzin verilebilir oturma değerlerinin kil zeminlerde daha büyük olmasının nedeni, bu zeminlerde oturmanın zamana bağlı olarak gerçekleşmesi sebebiyle yapının oturmalarına daha iyi uyum sağlaması şeklinde açıklanmaktadır (Uzuner, 2006). Açısız çarpılma için izin verilebilir sınır değer 1/300 olarak kabul edilmektedir (Skempton ve MacDonald, 1956; Grant vd., 1974). Çerçevesiz yapılar için açısız çarpılmanın 1/150'ye ulaşılması halinde kolon ve kirişlerde ağır hasarların oluşmasının muhtemel olduğu bildirilmektedir (Akbaş, 2008).

Yapı elemanlarının tasarımları gerçekleştirilirken, üst yapıda farklı yükleme durumlarının oluşturduğu çeşitli yük birleşimleri ile elde edilen tasarım yük etkileri kullanılır. Bunlar; sabit yük (G), hareketli yük (Q), deprem yükü (E), rüzgâr yükü (W), farklı oturma, sıcaklık değişimi, büzülme gibi şekil ve yer değiştirmelerden kaynaklanan yük (T) etkileridir. Uygulamada sabit, hareketli, deprem ve rüzgâr yükleri gibi etkilerin tüm kombinasyonları ile yük birleşimlerinde kullanılıyor olmasına rağmen, farklı oturmalarından kaynaklanan yük etkilerinin genellikle dikkate alınmadığı gözlenmektedir. Özellikle tekil temel sistemine sahip ve geniş açıklıklı yapılarda, zemin koşullarındaki değişkenlikler, üst yapıdan temele aktarılan yüklerin değişkenliği, temellerin yük-deformasyon tepkisi ve yapının rijitliği gibi faktörler (Shibiru, 2019) yapı altında uniform olmayan oturmaların oluşmasına neden olmaktadır. Temellerde gerçekleşen farklı oturmalar yapıda önemli eğilmeler, temel ve iç duvarlarda çatlaklar, kapı ve pencerelerde düzensiz oturmalar, bacalarda çökmeler, duvarlarda ise kabarmalar gibi olumsuz etkiler oluşturabilmektedir (Lahri ve Garg, 2015). Ancak, üst yapı analizleri genellikle temellerin rijit bir tabakaya oturduğu kabulüne göre yapıldığı için, yapıda gerçekleşen farklı oturmalar taşıyıcı yapı elemanlarında hesaba katılmamış olan ilave zorlamaların oluşmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle, farklı oturmalarından kaynaklanan yük etkilerinin ihmal edilemeyecek düzeylerde olması halinde, bu etkilerin de yük birleşimlerinde dikkate alınması gerekmektedir (TS 500, 2000; Ersoy ve Özcebe, 2015; Lahri ve Garg, 2015).

Son yıllarda, yağma yapıların ve tarihi yapıların hasar ve göçme davranışı üzerinde farklı oturmaların etkileri (Alessandri vd., 2015; Portioli vd., 2016; Giardina vd., 2020; Pepe vd., 2020; Chen vd., 2021; Ou vd., 2022) ile çerçevesiz yapılarda farklı oturmaların kolon ve kirişlerde oluşturduğu ilave kesit tesirlerini etkileyen parametreler (Lahri ve Garg, 2015; Lin vd., 2015; Shibiru, 2019; Huang, 2021) üzerine birçok çalışma gerçekleştirilmiştir. Lahri ve Garg (2015), sabit olarak alınan 10 mm'lik farklı oturmalara maruz kalan çerçevelerde gelişen iç kuvvetler üzerinde kiriş uzunluğu, kolon yüksekliği, kirişin ve kolonun atalet momenti, kat sayısı ve açıklık sayısı gibi parametrelerin etkilerini incelemişlerdir. Bulgular, kiriş uzunlukları ve kolon yükseklikleri azaldıkça çerçevelerde farklı oturmanın etkisinin daha belirgin hale geldiğini göstermektedir. Benzer bir çalışma, Shibiru (2019) tarafından 75 mm'lik mesnet çökmesi için gerçekleştirilmiş ve benzer bulgular ortaya konulmuştur. Lin vd. (2015), 10 katlı bir bina için yapının köşe, kenar ve orta kolonları altındaki temeller 25 mm'lik oturmalara maruz bırakılarak, kolonlarda düşey yer değiştirme ve eksenel kuvvet, kirişlerde ise kesme kuvvetleri ve eğilme momentleri üzerinde oluşan etkileri incelemişlerdir. Çalışmada, oturmaya maruz bırakılan kolonun bitişik kirişlerinde önemli eğilme momentleri oluşurken, nispeten daha küçük kesme kuvvetleri gerçekleştiği belirlenmiştir. Bu durum, farklı oturmaların, eğilme momenti üzerindeki etkisinin kesme kuvvetine göre daha önemli olduğunu göstermektedir. Bu çalışmalar sabit oturma değerlerinin tanımlanarak üst yapıdaki etkilerin incelenmesi üzerine yoğunlaşmıştır. Ancak üst yapıdaki yük birleşimleri etkisi altında her bir temelde oluşacak oturmaların hesaplanmadığı ve bu oturmalara dayalı olarak üst yapıdaki etkilerin incelenmediği görülmektedir. Öte yandan, yapı elemanlarının kesit tasarımının, kirişler üzerinde farklı konumlarda bulunabilen hareketli yüklerin en elverişsiz durumda oluşturacağı kritik eğilme momentlerine göre yapılması gerekmektedir. Kritik eğilme momentleri, her zaman tüm kirişlerin yüklü olduğu durumda oluşmadığı için her bir hareketli yükleme kombinasyonu ayrı ayrı ele alınmalıdır. Elverişsiz kesit tesirlerini ortaya koymak amacıyla literatürde hareketli yük düzenlemesi ile ilgili çeşitli çalışmalar bulunmaktadır (Furlong, 1981; Ersoy, 1992; Arslan vd., 1996; Döven vd., 2011; Celik ve Sakar, 2022). Ancak, bu çalışmalar kirişlerdeki hareketli yük düzenlemeleri üzerine olup, temellerde oluşacak elverişsiz yükleme durumlarını ve farklı oturmaları dikkate almamaktadırlar.

Ekonomik temel tasarımları açısından düşünüldüğünde, yüzeysel temellerin en basit hali olan tekil temeller günümüzde uygulama kolaylığının da etkisi ile büyük açıklıklı, az katlı ve özellikle sanayi tipi yapılarda tercih edilebilmektedir. Bu çalışmada, iki örnek sanayi yapısı için kirişler üzerindeki elverişsiz hareketli yüklem kombinasyonları göz önüne alınarak her bir yapı temelinde en elverişsiz normal kuvvetleri meydana getirecek olan yüklem kombinasyonları belirlenmiş ve tanımlanmış olan örnek bir zemin profili için her bir mesnet altında oluşacak en büyük oturmalar elastisite teorisine dayalı oturma analizleri ile hesaplanmıştır. Her bir tekil temel altında oluşan oturmaların etkisinin de hesaba katıldığı T yüklemesi ile birlikte, kirişlerde kritik eğilme momentlerini oluşturacak yük birleşimleri ayrı ayrı belirlenmiştir. Çalışma sonunda elde edilen bulgular neticesinde, temeller altında ortaya çıkan oturma değerlerinin literatürde tanımlanmış olan izin verilebilir farklı oturma sınırları içerisinde kalmasına rağmen, T yüklemesinin etkisiyle üst yapıda ihmal edilemeyecek büyüklükte eğilme momentlerinin meydana gelebileceği saptanmıştır. Bu tespit, üst yapı tasarımında mesnetlerde meydana gelen farklı oturmaların dikkate alınmaması halinde, yapılan boyutlandırmaların güvensiz bölgede kalabileceği anlamına gelmektedir. Hâlbuki, tasarımcıların zihnindeki yaygın kanı, oturma değerlerinin izin verilen sınırlar içinde kalması halinde, T yüklemesi etkisinin yük birleşimlerinde baskın olmayacağı yönündedir. Bu durum, T yüklemesinin dikkate alındığı yük birleşiminin genellikle göz ardı edilmesine neden olmaktadır. Bu nedenle, özellikle tekil temeller gibi farklı oturmaları kendi içinde tolere edemeyen yapıların tasarımında, üst yapıdan gelen en elverişsiz yüklem koşullarına göre yapı analizlerinin gerçekleştirilmesi, bu yüklem durumunda gerçekleşecek oturmaların da yük birleşimlerinde hesaba katılması gerektiği anlaşılmaktadır.

2. Yapı Analizinde Mesnet Çökmelerinin Hesabı (Calculation of Support Settlements in Structural Analysis)

Mesnet çökmelerinin (temel oturmalarının) üst yapı üzerindeki etkilerinin incelendiği bu çalışmada gerçekleştirilen yapı analizlerinde deplasman metodu kullanılmıştır. Deplasman metoduna mesnet çökmelerinin eklenmesi Eşitlik (1)'de tanımlandığı üzere, düğüm noktası denge denklemlerinin deplasmanlar cinsinden yazılması ile mümkündür.

$$(S)\tilde{x} = \tilde{P} - \tilde{Q} - \tilde{Q}^m \quad (1)$$

Burada; (S), düğüm serbestlikleri doğrultusunda yazılan denge denklemlerinin katsayılar matrisi, başka bir ifade ile yapı rijitlik matrisidir. \tilde{x} , düğüm serbestlikleri doğrultusundaki deplasmanları; \tilde{P} , düğüm serbestlikleri doğrultusunda yapıya etki eden kuvvetleri göstermektedir. \tilde{Q} , çubuk üstündeki yüklerden kaynaklanan düğüm kuvvetleridir. Mesnet çökmelerinin düğüm noktası başlangıç deplasmanları olarak tanımlanması sonucunda ortaya çıkan düğüm kuvvetleri ise \tilde{Q}^m ile ifade edilmektedir.

Yapıda yer alan çubukların her biri iki ucu ankastre çubuk olarak modellenebilir. Bu modelin uç kuvvetleri deplasmanlar ve çubuk üzerindeki yükler cinsinden Eşitlik (2)'de verilen ifade ile hesaplanır.

$$\tilde{q}_j = (S_j)\tilde{d}_j + \tilde{q}_j \quad (2)$$

Burada; \tilde{q}_j , j çubuğunun düğüm eksen takımına göre uç kuvvetleri; (S_j) , j çubuğunun rijitlik matrisidir. \tilde{d}_j , ise j çubuğunun düğüm eksen takımına göre uç deplasmanları, \tilde{q}_j , çubuk üzerindeki yüklerden kaynaklanan uç kuvvetleridir. Bu deplasmanlar doğrusal denklem takımının çözümünden elde edilen düğüm deplasmanlarının çubuk ucundaki karşılıkları (\tilde{d}_j^f) ile düğüm noktalarındaki başlangıç deplasmanlarının (\tilde{d}_j^m) toplanmasıyla elde edilir. Bu durumda uç kuvvetlerinin tarifi Eşitlik (3)'teki gibi olacaktır.

$$\tilde{q}_j = (S_j)[\tilde{d}_j^f + \tilde{d}_j^m] + \tilde{q}_j \quad (3)$$

Eşitlik (3)'de yer alan ifade açılacak olursa; $\tilde{q}_j = (S_j)\tilde{d}_j^f + (S_j)\tilde{d}_j^m + \tilde{q}_j$ uç kuvvetleri, $\tilde{q}_j = \tilde{q}_j^f + \tilde{q}_j^m + \tilde{q}_j$ olarak tarif edilir. Çubuk ucu deplasmanlarından kaynaklanan uç kuvvetleri \tilde{q}_j^f , çubuk ucu başlangıç deplasmanlarından kaynaklanan uç kuvvetleri \tilde{q}_j^m olarak ifade edilmiştir. \tilde{q}_j^m ve \tilde{q}_j vektörlerinin toplama metodu ile birleştirilmesinden de sırasıyla \tilde{Q}^m ve \tilde{Q} yük vektörleri elde edilir. Çubuk rijitlik matrislerinin (S_j) toplama metodu ile bir araya getirilmesinden yapı rijitlik matrisi (S) oluşturulur.

Eşitlik (1)'de yer alan doğrusal denklem takımının çözümünden düğüm deplasmanları elde edilir. Bu deplasmanlar cinsinden çubuk eksen takımına göre uç kuvvetlerinin tarifi Eşitlik (4)'te verilmiştir.

$$\tilde{q}_j^f = (S_j)\tilde{d}_j^f \quad (4)$$

Başlangıç deplasmanlarından kaynaklanan uç kuvvetlerinin tarifi ise Eşitlik (5)'te verildiği gibidir.

$$\widetilde{q}_j^m = (\overline{S}_j) \widetilde{q}_j^m \quad (5)$$

Çubuk eksen takımına göre toplam çubuk ucu kuvvetlerinin tarifi ise Eşitlik (6)'daki gibi olur.

$$\widetilde{q}_j = \widetilde{q}_j^f + \widetilde{q}_j^c + \widetilde{q}_j^m \quad (6)$$

Burada tanımlanan yapı analizi sonunda, mesnetlerde elde edilen normal kuvvetler kullanılarak temel altındaki zeminde meydana gelecek oturma analizleri Bölüm 3'te açıklanan geoteknik mühendisliği esaslarına dayalı olarak gerçekleştirilmektedir.

3. Elastisite Teorisine Dayalı Oturma Analizi (Settlement Analysis based on the Theory of Elasticity)

Üst yapıdan aktarılan yüklerin etkisiyle zeminlerde oluşacak oturmalar, elastik (anı) oturma ve konsolidasyon (zamana bağlı) oturması olmak üzere iki şekilde gerçekleşebilmektedir. Geçirimliliği yüksek granüler zeminlerde, ani oturmalar hâkim olup konsolidasyon oturmaları ihmal edilebilir düzeydedir. İnce daneli ve geçirimsizliği düşük suya doygun zeminlerde ise ani oturmalar ilave olarak önemli ölçüde konsolidasyon oturmaları da devreye girmektedir.

Çalışma kapsamında, kum zemin üzerinde inşa edilecek yapı modellerinde farklı oturmaların etkisinin incelenmesi hedeflendiğinden, temel zemininde sadece ani oturmaların gerçekleşeceği kabul edilmiştir. Ortalama net taban basıncı için esnek bir temel altında gerçekleşecek elastik oturma değeri, elastisite teorisine dayalı olarak Eşitlik (7)'de verilen ifade ile hesaplanabilmektedir (Bowles, 1997). Ancak, yapı temelinin rijit olması halinde, temel altında oluşacak oturmalar esnek temel için hesaplanan oturmalarından daha az olacaktır. Bunun için, rijit bir temel altındaki elastik oturma değeri belirlenirken, öncelikle Eşitlik (7)'ye göre esnek temelin merkezi altındaki oturma değerinin ($s_{e,merkez}$) hesaplanması ve daha sonra bu değer %7 oranında azaltılması ($s_{e,rijit} = 0,93s_{e,merkez}$) önerilmektedir (Bowles, 1997).

$$s_e = q_0(\alpha B') \frac{1 - \mu_s^2}{E_s} I_s I_f \quad (7)$$

Burada; s_e , elastik oturma miktarı; q_0 , net taban basıncı; α ve B' sırasıyla temeldeki oturmanın hesaplandığı konuma bağlı bir faktör ve temel genişliğidir. Temelin köşe noktası altında hesaplanacak oturmalar için $\alpha = 1$ ve $B' = B$; temelin merkezi altında hesaplanacak oturmalar için $\alpha = 4$ ve $B' = B/2$ 'dir. μ_s , zeminin poisson oranını; E_s , temel tabanı altındaki zeminin Eşitlik (8)'de tanımlandığı üzere ortalama elastisite modülünü; I_s ve I_f ise sırasıyla şekil ve derinlik faktörünü ifade etmektedir (Bowles, 1997).

$$E_s = \frac{\sum E_{s(i)} \cdot \Delta z_i}{\bar{z}} \quad (8)$$

Burada, $E_{s(i)}$, temel seviyesi altındaki Δz_i kalınlığındaki "i" numaralı zemin tabakasına ait elastisite modülünü göstermektedir. \bar{z} ise temel tabanı altındaki etkili derinliği tarif etmektedir. Etkili derinlik, temel genişliğinin beş katı (5B) olarak veya temel alt kotundan itibaren 5B'den daha yakın derinlikte rijit bir zemin tabakasının olması halinde ise rijit tabakaya kadar olan mesafe olarak tanımlanmaktadır.

4. Elverişsiz Kesit Tesirlerinin Belirlenmesi İçin Hesap Yöntemi (Calculation Method for Determination of Unfavorable Internal Forces)

Deprem titreşim hareketini yansıtan yük birleşimleri dışındaki yük birleşimlerinde, hareketli yük düzenlemelerinin yapı elemanlarında en elverişsiz kesit zorlamalarını meydana getirecek biçimde oluşturulması gerekmektedir (TS 500, 2000). Elverişsiz kesit tesirlerinin belirlenmesi iki ana aşamada yapılır. Birinci aşamada yapı üzerinde yalnızca sabit yük bulunması durumunda yapı analizi gerçekleştirilir. Buradan elde edilen kritik eğilme momentleri M^G olarak gösterilmiştir. İkinci aşamada ise her seferinde yalnızca bir giriş üzerinde hareketli yük olması halinde giriş sayısı kadar yapı analizi yapılır. Buradan elde edilen kritik eğilme momentleri ise M^{Qi} olarak gösterilmiştir. Burada i indisi, hareketli yük durumları için kombinasyon sayısını ifade etmektedir.

Daha sonrasında, elverişsiz yükleme koşullarının farklı oturmalara etkisinin incelenmesi hedeflendiği için, her mesnette $1,4G + 1,6Q$ yük birleşiminden elde edilen en büyük normal kuvveti veren hareketli yük kombinasyonları belirlenmiştir. Buradan elde edilen kombinasyon desenine göre her bir tekil temelde ortaya çıkan en elverişsiz eksenel yük değerine göre oturma analizleri ayrı ayrı gerçekleştirilir. Oturma analizi sonunda ortaya çıkan deplasmanlar Bölüm 2'de değinildiği üzere, ilgili mesnetlerde düğüm noktası başlangıç deplasmanları olarak verilerek yapı analizi gerçekleştirilmiştir. Buradan elde edilen kritik eğilme momentleri M^{Ti} olarak temsil edilmiştir.

Deprem yükleri TBDY-2018'de verilen kısıtlamalar içinde kaldığından dolayı eşdeğer deprem yükü yöntemi ile hesaplanmıştır. Elde edilen yük değerlerine dayalı olarak gerçekleştirilen yapı analizleri sonunda ortaya çıkan kritik eğilme momentleri M^E olarak gösterilmiştir.

Ele alınan örneklerde yapı yüksekliği oldukça az olduğundan rüzgâr yükünün deprem yüküne baskın olmayacağı kabul edilmiştir. Bu nedenle, rüzgâr yükü yük birleşimlerinde dikkate alınmamıştır. TS 500-2000'de "Tasarımda, yapıya etkimesi olasılığı bulunan tüm yük birleşimlerinin dikkate alınması" gerektiği ifade edilmekte olup, bu çalışmada aşağıda belirtilen altı yük birleşimi kullanılmıştır.

$$\begin{aligned} M_d &= 1,4M^G + 1,6M^Q & (9.a) \\ M_d &= M^G + M^Q + M^E & (9.b) \\ M_d &= M^G + M^Q - M^E & (9.c) \\ M_d &= 0,9M^G + M^E & (9.d) \\ M_d &= 0,9M^G - M^E & (9.e) \\ M_d &= M^G + 1,2M^Q + 1,2M^T & (9.f) \end{aligned}$$

Karakteristik yük durumlarına (G, Qi, E, Ti) göre gerçekleştirilen yapı analizleri sonunda elde edilen çubuk ucu kuvvetleri kullanılarak, kiriş boyunca oluşacak olan eğilme momenti değerleri aşağıda tarif edildiği şekliyle hesaplanmıştır. İlk olarak, her kiriş 100 eş parçaya bölünerek i ve k ucu dahil olmak üzere toplam 101 istasyon (nokta) (istasyon numarası, $j = 1, 2, \dots, 101$) oluşturulmuştur. Sabit yükten kaynaklanan eğilme momentleri (M_j^G) her istasyon için elde edilmiştir. Hareketli yük kombinasyonlarının her bir kiriş üzerinde oluşturacağı eğilme momentleri yine kirişler üzerindeki istasyonlarda ayrı ayrı (M_j^{Qi}) hesaplanmıştır. Hareketli yük kombinasyonlarına dayalı analizler sonunda, her bir istasyonda oluşabilecek en büyük (M_j^{Qmaks}) ve en küçük (M_j^{Qmin}) eğilme momentleri belirlenmiştir. Deprem yükünden kaynaklanan eğilme momentleri (M_j^E) de kirişler üzerindeki her istasyon için hesaplanmıştır. Mesnetlerde en büyük oturma değerlerini veren yükleme koşulları neticesinde, mesnet sayısı kadar gerçekleştirilen yapı analizleriyle eğilme momentleri (M_j^{Ti}) her istasyon için hesaplanmıştır. Hareketli yük kombinasyonlarında olduğu gibi mesnet çökmesinden kaynaklanan yükleme durumu için de istasyonlardaki en büyük (M_j^{Tmaks}) ve en küçük (M_j^{Tmin}) eğilme momentleri saptanmıştır. Böylelikle, Denklem 9'da verilen altı farklı yük birleşimlerinde oluşacak olan tasarım eğilme momentleri ($M_{d,j}$) her bir istasyon için bulunmuştur. Buradan belirlenmiş olan ilgili yük birleşimindeki tasarım eğilme momentlerinin kiriş boyunca pozitif momentlerin en büyük (M_d^{maks}) ve negatif momentlerin en küçük (M_d^{min}) değerleri belirlenerek, çalışma kapsamındaki değerlendirmeler bu büyüklükler üzerinden yapılmıştır.

Çalışmada ihtiyaç duyulan deplasman metoduna dayalı yapı analizleri, eşdeğer deprem yükü hesapları, oturma analizleri ve temel kontrolleri için GNU Octave (Eaton vd., 2021) ortamında yazarlar tarafından geliştirilen program kodları kullanılmıştır. Elverişsiz kesit tesirlerinin belirlenmesi için kullanılan algoritmanın adımları aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1. Adım: Sabit yük (G) için yapının analizi. Kirişler üzerinde belirlenen istasyonlardaki eğilme momentlerinin (M_j^G) hesaplanması.
2. Adım: Yalnızca bir kiriş üzerinde hareketli yük (Qi) olması durumları için yapının kiriş sayısı kadar ayrı ayrı analizi. Kirişler üzerinde belirlenen istasyonlardaki eğilme momentlerinin (M_j^{Qi}) hesaplanması.
3. Adım: Her bir mesnette en büyük normal kuvveti veren hareketli yük kombinasyonunun belirlenmesi.
4. Adım: İlgili mesnette en büyük oturmaya neden olan hareketli yük kombinasyonu için temeller altında meydana gelen oturmaların (Ti) hesabı.
5. Adım: Hesaplanan oturmaların başlangıç deplasmanları olarak verilmesi durumu için yapının analizi. Kirişler üzerinde belirlenen istasyonlardaki eğilme momentlerinin (M_j^{Ti}) hesaplanması.

6. Adım: Eşdeğer deprem yükünün hesabı. Yalnızca deprem yükü için yapının analiz edilmesi. Kirişler üzerinde belirlenen istasyonlardaki eğilme momentlerinin (M_j^E) hesaplanması.
7. Adım: Eşitlik 9'daki her bir yük birleşimi için kirişler üzerinde belirlenen istasyonlardaki tasarım eğilme momentlerinin (M_d) hesaplanması.
- i) Her bir j istasyonu için o noktadaki sabit yükten kaynaklanan momente ilave olarak ilgili yük birleşiminde yer alan diğer yük etkilerinden gelen pozitif değerdeki momentlerin toplanması.
- ii) Her bir j istasyonu için o noktadaki sabit yükten kaynaklanan momente ilave olarak ilgili yük birleşiminde yer alan diğer yük etkilerinden gelen negatif değerdeki momentlerin toplanması.
8. Adım: İlgili kirişte hesaplanan en büyük tasarım momentinin (M_d^{maks}) ve en küçük tasarım momentinin (M_d^{min}) belirlenmesi.

5. Örnek Modeller ve Analiz Sonuçları (Sample Models and Analysis Results)

Çalışma kapsamında, biri simetrik diğeri simetrik olmayan iki sanayi yapısı örneği ele alınmıştır. İncelenen yapıların kolonları $0,5 \times 0,5$ m, kirişleri $0,4 \times 0,8$ m olup, temel boyutları taşıma gücü ve temel altı eksantrisine açısından sorun oluşturmadığı tespit edilen boyutlar olan $2,0 \times 3,5$ m olarak seçilmiştir. Betonun elastisite modülü 30000 MPa olarak alınmıştır. Yapı temelleri altındaki zemin profili (Şekil 1 ve 2), tabakalanmaya bağlı elastisite modülü değişimini de göz önüne alabilmek için üç tabakalı gevşek kum zemin olarak modellenmiştir. Zemin tabakaları için elastisite modülleri, gevşek kumlar için literatürde tanımlanmış olan aralıklar içerisinde kalacak şekilde belirlenmiş, ortalama poisson oranı 0,35, içsel sürtünme açısı ise 30° olarak seçilmiştir (Bowles, 1997). Temel zemini birim hacim ağırlığı tüm tabakalarda ortalama 18 kN/m^3 olarak alınmıştır. Oturma analizinde, temel altındaki kum zeminde sadece elastik oturmaların gerçekleştiği ve temelin rijit temel olduğu kabul edilmiştir. Çalışmada ele alınan yapılardan ilkinde (Şekil 1), dört açıklıklı tek katlı simetrik bir sanayi yapısı modeli kurulmuştur. Bu yapıda kolon açıklıkları 8 m, kat yüksekliği ise 5 m olarak tanımlanmıştır. Bu yapının titreşim periyodu Rayleigh yöntemi kullanılarak $0,323$ s olarak hesaplanmıştır. Şekil 2'deki ikinci örnek modelde ise, kolon açıklıkları 4 m ile 7 m arasında değişen beş açıklıklı tek katlı simetrik olmayan bir sanayi yapısı örneklenmiştir. Bu yapının da kat yüksekliği 5 m olarak seçilmiştir. Bu yapının titreşim periyodu ise $0,274$ s olarak hesaplanmıştır. Her iki yapıda da şekil düzlemine dik yöndeki döşeme genişliği 6 m olarak alınmış ve yapı analizleri orta aks üzerinde yapılmıştır.

Her iki örnek için de kolonlarda eksene paralel, kirişlerde eksene dik doğrultuda kendi ağırlıklarından kaynaklanan yükler sırasıyla $6,25 \text{ kN/m}$ ve $8,0 \text{ kN/m}$ 'dir. Kiriş öz yüklerine ek olarak düzleme dik boyutu 6 m genişliğinde olan döşemeden kirişe aktarılan sabit yük değeri ise kiriş eksenine dik doğrultuda 30 kN/m 'dir. Böylece kiriş üzerindeki sabit yük değeri $38,0 \text{ kN/m}$ olarak alınmıştır. Döşeme üzerindeki hareketli yük büyüklüğü 5 kN/m^2 olup kirişlere aktarılan yayılı hareketli yük değeri $30,0 \text{ kN/m}$ olarak uygulanmıştır.

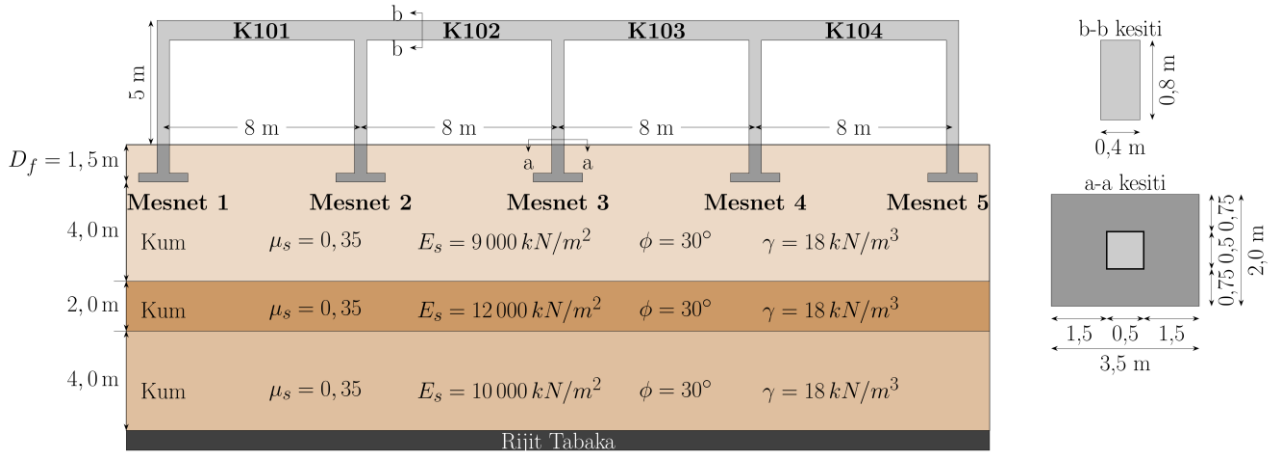
Ele alınan konuya ilişkin olarak oturmaların önemli hale gelebileceği gevşek kum zemin koşulları üzerine inşası modellenen sanayi yapılarında, deprem parametrelerindeki değişimlerin de yük birleşimlerindeki etkilerinin ortaya konulabilmesi için, sismik tehlike haritası üzerinde iki farklı konuma ait deprem parametreleri seçilmiştir. Bu konulardan ilki, Kırşehir Organize Sanayi Bölgesi olarak seçilmiş ve Deprem Durumu I olarak ifade edilmiştir. Harita konumu ve seçilen gevşek kum zemin profili için kabul edilen zemin grubuna (ZD) bağlı olarak tasarım spektral ivme katsayıları, $S_{DS} = 0,304$, $S_{D1} = 0,156$ olarak belirlenmiştir. İkinci konum olarak, yine sanayi yapısının inşa yerini modelleyebilmek için sismik açıdan daha aktif bir bölge olan Kütahya Organize Sanayi Bölgesinde bir konum seçilmiştir. Deprem Durumu II olarak ifade edilen bu konum ve seçilen örnek zemin profiline ait zemin grubu (ZD) için tasarım spektral ivme katsayıları, $S_{DS} = 0,983$, $S_{D1} = 0,465$ olarak belirlenmiştir.

Deprem yükü değerleri TBDY-2018'e göre eşdeğer deprem yükü yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Örnek - 1'de ele alınan eşit açıklıklı sanayi yapısı modelinde sol kolonun üst düğüm noktasında Deprem Durumu I için pozitif x yönünde $82,2 \text{ kN}$, Deprem Durumu II için ise aynı düğüm ve doğrultuda $254,7 \text{ kN}$ 'luk deprem kuvvetleri etki ettirilmiştir. Örnek - 2'de açıklık uzunlukları farklı olan sanayi yapısı modelinde ise Deprem Durumu I ve Deprem Durumu II için pozitif x yönünde sırasıyla $80,7 \text{ kN}$ ve $250,8 \text{ kN}$ 'luk deprem kuvvetleri etki ettirilmiştir. Sabit yükleme (G), hareketli yükleme kombinasyonları (Q_i) ve bunlar neticesinde oluşan oturmaların (T_i) da hesaba katıldığı koşullara ilave olarak iki deprem durumu (E) için de yapı analizleri gerçekleştirilmiş ve bu yüklemelerin kirişlerde ortaya çıkaracağı kritik eğilme momenti değerlerinin çeşitli yük birleşimlerine göre kıyaslaması yapılmıştır.

Örnek Model - 1: Dört Açıklıklı Tek Katlı Simetrik Sanayi Yapısı Modeli

Tek katlı dört açıklıklı bu simetrik sanayi yapısı (Şekil 1), altı farklı yükleme durumu için analiz edilmiştir. İlk grup analizler, sabit ve hareketli yük kombinasyonlarından oluşmaktadır. Bu yük birleşimi ($1,4G + 1,6Q$) ve yük kombinasyonları kullanılarak mesnetlerde oluşan en büyük normal kuvvetler sırasıyla $408,1 \text{ kN}$, $946,0 \text{ kN}$, $879,0 \text{ kN}$, $946,0 \text{ kN}$ ve $408,1 \text{ kN}$ olarak hesaplanmıştır ve bu eksenel yük değerleri kullanılarak elde edilen oturma

değerleri Tablo 1’de verilmiştir. Tablo 1’de yükleme kombinasyonları sütunlarında yer alan 1 değerleri ilgili kirişin hareketli yük ile yüklü olduğunu, 0 değerleri ise kiriş üzerinde hareketli yük bulunmadığını ifade etmektedir.



Şekil 1. Dört Açıklıklı Tek Katlı Yapı Modeli ve Zemin Profili (Four Span Single-Storey Building Model and Soil Profile)

Tablo 1’de ilgili mesnet altında en büyük oturma oluşturan hareketli yük kombinasyonları ve bu durumda tüm mesnetlerde meydana gelen oturma değerleri mm cinsinden verilmiştir. İlgili mesnette en büyük oturma oluşturan hareketli yük düzenlemesi gerçekleştiğinde mesnette ortaya çıkan oturma miktarı koyu renkli olarak gösterilmiştir. Örneğin; Mesnet 1’de oluşabilecek en büyük oturma değerinin (4,93 mm) tüm kirişlerin sabit yük ile ve ikinci kiriş dışındaki diğer kirişlerin hareketli yük ile yüklenmesi durumunda gerçekleştiği anlaşılmaktadır. Diğer hareketli yükleme kombinasyonlarının tamamında, Mesnet 1’de oluşacak olan oturma değerleri, Tablo 1’de verilmiş olan 4,93 mm değerinden daha düşük olacaktır. Benzer şekilde, hareketli yük kombinasyonları diğer mesnetler için de gerçekleştirilmiş ve her bir mesnette oluşması muhtemel en büyük oturma değerlerini veren kombinasyonlar Tablo 1’de gösterilmiştir.

Tablo 1. Simetrik yapı için mesnetlerde en büyük oturmaya veren hareketli yük kombinasyonları (Combinations of live loads giving the maximum settlement at supports for symmetrical structure)

| | Hareketli Yük Kombinasyonları | | | | Oturma Miktarları (mm) | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|------|------|------|------------------------|--------------|--------------|--------------|-------------|
| | K101 | K102 | K103 | K104 | 1. Mesnet | 2. Mesnet | 3. Mesnet | 4. Mesnet | 5. Mesnet |
| 1. mesnette en büyük oturmaya neden olan hareketli yük kombinasyonu ve oluşan oturmalar | 1 | 0 | 1 | 1 | 4,93 | 11,84 | 9,59 | 17,03 | 4,49 |
| 2. mesnette en büyük oturmaya neden olan hareketli yük kombinasyonu ve oluşan oturmalar | 1 | 1 | 0 | 1 | 4,49 | 17,03 | 9,59 | 11,84 | 4,93 |
| 3. mesnette en büyük oturmaya neden olan hareketli yük kombinasyonu ve oluşan oturmalar | 0 | 1 | 1 | 0 | 0,54 | 11,32 | 15,52 | 11,32 | 0,54 |
| 4. mesnette en büyük oturmaya neden olan hareketli yük kombinasyonu ve oluşan oturmalar | 1 | 0 | 1 | 1 | 4,93 | 11,84 | 9,59 | 17,03 | 4,49 |
| 5. mesnette en büyük oturmaya neden olan hareketli yük kombinasyonu ve oluşan oturmalar | 1 | 1 | 0 | 1 | 4,49 | 17,03 | 9,59 | 11,84 | 4,93 |

NOT: Yükleme kombinasyonlarındaki 1 ve 0 sırasıyla ilgili kirişte hareketli yük bulunduğunu ve bulunmadığını ifade eder.

Tablo 2. Simetrik yapıda farklı yük birleşimleri için kirişlerdeki kritik eğilme momentleri (Critical bending moments in beams for different load combinations in symmetrical structure)

| Yük birleşimi: 1,4G+1,6Q | | | | |
|--------------------------|--------|------------------|--------|--------|
| | K101 | K102 | K103 | K104 |
| P | 446,4 | 340,6 | 340,6 | 446,4 |
| N | -670,0 | -647,2 | -647,2 | -670,0 |
| Deprem Durumu I | | Deprem Durumu II | | |
| Yük birleşimi: G+Q+E | | | | |

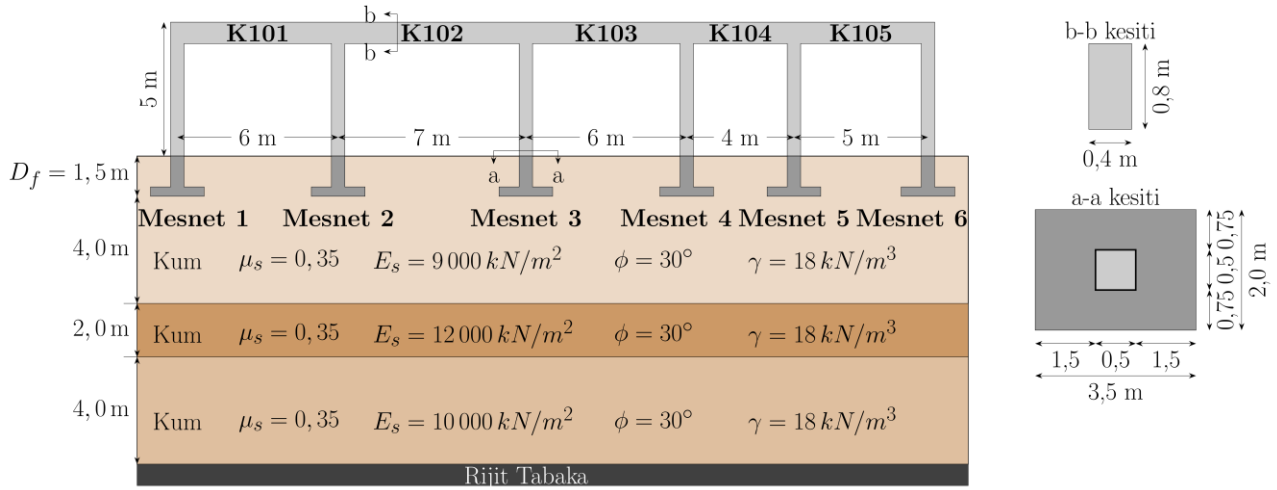
| | K101 | K102 | K103 | K104 | | K101 | K102 | K103 | K104 | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|-------------|---------------|---------------|-------------|------|--------|--------|--------|--------|
| P | 281,9 | 167,9 | 171,3 | 264,1 | | P | 305,5 | 165,8 | 176,4 | 249,7 |
| N | -461,7 | -392,5 | -428,3 | -412,2 | | N | -515,7 | -402,3 | -465,5 | -362,4 |
| Yük birleşimi: G+Q-E | | | | | | | | | | |
| | K101 | K102 | K103 | K104 | | K101 | K102 | K103 | K104 | |
| P | 263,0 | 171,2 | 167,8 | 280,7 | | P | 247,0 | 176,2 | 165,5 | 301,4 |
| N | -410,3 | -428,7 | -392,9 | -459,8 | | N | -356,3 | -466,7 | -401,8 | -509,7 |
| Yük birleşimi: 0,9G+E | | | | | | | | | | |
| | K101 | K102 | K103 | K104 | | K101 | K102 | K103 | K104 | |
| P | 147,1 | 83,8 | 87,3 | 129,2 | | P | 174,4 | 83,2 | 93,8 | 118,0 |
| N | -245,0 | -191,1 | -224,2 | -195,5 | | N | -299,0 | -233,5 | -261,4 | -165,9 |
| Yük birleşimi: 0,9G-E | | | | | | | | | | |
| | K101 | K102 | K103 | K104 | | K101 | K102 | K103 | K104 | |
| P | 128,2 | 87,2 | 83,8 | 145,9 | | P | 115,9 | 93,6 | 82,8 | 169,6 |
| N | -193,6 | -224,6 | -190,9 | -243,1 | | N | -176,4 | -262,6 | -232,9 | -293,0 |
| Yük birleşimi: G+1,2Q+1,2T | | | | | | | | | | |
| | | K101 | K102 | K103 | K104 | | | | | |
| | P | 443,2 | 340,6 | 340,6 | 443,2 | | | | | |
| | N | -490,3 | -744,1 | -744,1 | -490,3 | | | | | |
| Not: Tablodaki moment değerleri kN.m cinsindedir. P: İlgili kiriş üzerindeki oluşabilecek pozitif momentlerin en büyük değerini ifade etmektedir. N: İlgili kiriş üzerindeki oluşabilecek negatif momentlerin mutlak değerce en büyük değerini ifade etmektedir. | | | | | | | | | | |

Yapı simetrik olduğu için ortaya çıkan elverişsiz yükleme kombinasyonları ve oturma miktarları da simetrik olarak tabloda yer almaktadır. Mesnet 1 ve 5'de maksimum oturma 4,93 mm olarak belirlenirken, Mesnet 2 ve 4'de oturmalar 17,03 mm değerine kadar yükselebilmektedir. Mesnet 3'de hesaplanan en büyük oturma ise kenar kirişlerde hareketli yükün yer almadığı kombinasyonda gerçekleşmekte ve oturma değeri ise 15,52 mm olmaktadır. Ele alınan örnek yapıda yan yana iki tekil temel arasındaki farklı oturma değeri 2,25 mm ile 12,54 mm arasında gerçekleşmektedir. Bu bulgular ışığında, gerek toplam oturmaların gerekse komşu iki temel arasındaki farklı oturmaların literatürde kum zeminler için tanımlanmış olan müsaade edilebilir oturma sınırları içerisinde kaldığı anlaşılmaktadır. Bu nedenle, bu temel tasarımının, taşıma gücü ve oturmalar açısından herhangi bir problem içermeyeceği söylenebilmektedir.

Altı farklı yük birleşimleri için, kirişlerde ortaya çıkan kritik eğilme momenti (pozitif momentler için en büyük, negatif momentler için ise en küçük moment) değerleri Tablo 2'de sunulmuştur. Bu tabloda verilen sonuçlar mesnetlerde en büyük oturmaya veren hareketli yük kombinasyonlarından farklı birleşimlerden elde edilmiş değerler olabilir. Kirişlerin tamamında tasarımda esas alınacak pozitif moment değerleri düşey yükler (1,4G + 1,6Q) altında elde edilmiştir. Bu pozitif moment değerleri ile K102 ve K103 numaralı kirişlerde oturma değerlerini içeren yük birleşiminden (G + 1,2Q + 1,2T) elde edilen momentler aynı büyüklüktedir. Diğer taraftan, G + 1,2Q + 1,2T yük birleşiminin K102 ve K103 numaralı kirişlerin negatif eğilme momenti hesabında kritik değere sahip olduğu görülmektedir. K101 ve K104 numaralı kirişlerde kritik negatif eğilme momenti değerlerinin 1,4G + 1,6Q yük birleşimi ile ortaya çıktığı anlaşılmaktadır. Deprem yüklemelerini içeren yük birleşimlerinin ise 1,4G + 1,6Q ve G + 1,2Q + 1,2T yük birleşimlerine göre daha küçük eğilme momenti oluşturdukları gözlenmektedir. Bu tek katlı dört açıklıklı tekil temel sistemli örnek model üzerinde, deprem yüklemelerinden ziyade düşey yüklerden ve farklı oturmalarından kaynaklanan yük birleşimlerinin daha önemli hale geldiği anlaşılmaktadır.

Örnek Model – 2: Beş Açıklıklı Tek Katlı Sanayi Yapısı Modeli

Örnek – 2 için ise mesnetlerde en büyük oturma oluşturan yük kombinasyonları altında yapısal analizler gerçekleştirilmiştir. Bu analizler sonunda mesnetlerde oluşan en büyük normal kuvvetler sırasıyla 310,9 kN, 774,4 kN, 745,2 kN, 573,2 kN, 554,1 kN ve 274,5 kN olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan kolon aksenal yükleri kullanılarak Tablo 3'teki oturma değerleri elde edilmiş olup ilgili mesnettaki en büyük oturma değerleri ise koyu renkli olarak gösterilmiştir.



Şekil 2. Beş Açıklıklı Tek Katlı Yapı Modeli ve Zemin Profili (Five Span Single-Storey Building Model and Soil Profile)

Tablo 3. Simetrik olmayan yapı için mesnetlerde en büyük oturmaya veren hareketli yük kombinasyonları (Combinations of live loads giving the maximum settlement at supports for non-symmetrical structure)

| | Hareketli Yük Kombinasyonları | | | | | Oturma Miktarları (mm) | | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|------|------|------|------|------------------------|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------|
| | K101 | K102 | K103 | K104 | K105 | 1. Mesnet | 2. Mesnet | 3. Mesnet | 4. Mesnet | 5. Mesnet | 6. Mesnet |
| 1. mesnette en büyük oturmaya neden olan hareketli yük kombinasyonu ve oluşan oturmalar | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 2,74 | 8,66 | 7,86 | 5,96 | 5,13 | 1,92 |
| 2. mesnette en büyük oturmaya neden olan hareketli yük kombinasyonu ve oluşan oturmalar | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 2,27 | 13,17 | 8,52 | 4,17 | 4,88 | 0,00* |
| 3. mesnette en büyük oturmaya neden olan hareketli yük kombinasyonu ve oluşan oturmalar | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0,00* | 9,06 | 12,51 | 5,24 | 5,32 | 1,88 |
| 4. mesnette en büyük oturmaya neden olan hareketli yük kombinasyonu ve oluşan oturmalar | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 2,73 | 8,69 | 7,69 | 8,64 | 4,12 | 0,00* |
| 5. mesnette en büyük oturmaya neden olan hareketli yük kombinasyonu ve oluşan oturmalar | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0,00* | 9,39 | 8,94 | 3,67 | 8,21 | 1,70 |
| 6. mesnette en büyük oturmaya neden olan hareketli yük kombinasyonu ve oluşan oturmalar | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 2,74 | 8,66 | 7,86 | 5,96 | 5,13 | 1,92 |

NOT: Yükleme kombinasyonlarındaki 1 ve 0 sırasıyla ilgili kirişte hareketli yük bulunduğunu ve bulunmadığını ifade eder.
*İlgili yüklemde kolon eksenel kuvveti, pozitif net taban basıncı oluşturmadığı için oturma değeri hesaplanmamıştır.

Tablo 3 incelendiğinde, farklı hareketli yük kombinasyonları altında oluşabilecek maksimum oturma değerinin 13,17 mm olabileceği görülmektedir. İki komşu temel arasında gerçekleştirilecek farklı oturma değerlerinin ise 0,08 mm ile 10,9 mm arasında olacağı anlaşılmaktadır. Tablo 3'te 1. ve 6. mesnetlerde bazı hareketli yük kombinasyonlarında oturma miktarının sıfır olduğu değerler yer almaktadır. Birinci kolonda 3. yükleme kombinasyonunda 159,3 kN, 5. yükleme kombinasyonunda ise 156,9 kN; altıncı kolonda ise 2. yükleme kombinasyonunda 155,4 kN ve 4. yükleme kombinasyonunda 158,8 kN eksenel kuvvet hesaplanmıştır. Kolonlar altında gerçekleşen bu eksenel kuvvetlerden kaynaklanan ortalama taban basıncı, temel kazısından kaynaklanan gerilmeden ($\gamma \cdot D_f$) daha az olduğu için, bu temellerde net taban basıncı oluşmamıştır. Bu nedenle, ilgili temeller altında oturma hesabı yapılmamıştır. Bu yapı modelinde de, toplam oturmaların ve komşu iki temel arasındaki farklı oturmaların kum zeminler için tanımlanmış olan müsaade edilebilir oturma sınırları içerisinde kaldığı ve seçilen temel boyutlarının, taşıma gücü ve oturmalar açısından uygun olduğu anlaşılmaktadır.

Tablo 4'de farklı yük birleşimleri için kirişlerde oluşan pozitif ve negatif kritik eğilme momenti değerleri verilmiştir. Bu örnekteki tüm kirişlerin tasarımında esas alınacak pozitif moment değerlerinin, Örnek - 1'den farklı olarak, $G + 1,2Q + 1,2T$ yük birleşiminden elde edildiği görülmektedir. Diğer taraftan, kiriş tasarımında esas alınacak negatif moment değerleri ise K101 kirişi için $1,4G + 1,6Q$, geri kalan tüm kirişler için $G + 1,2Q + 1,2T$ yük birleşimi kullanılarak elde edilmiştir. Farklı açıklık büyüklüklerine sahip ve simetrik olmayan bu örnek modelde farklı oturmaları içeren yük birleşiminden elde edilen kritik eğilme momenti değerlerinin diğer yük birleşimlerine kıyasla daha baskın olduğu saptanmıştır. Özellikle, K104 kirişinde $G + 1,2Q + 1,2T$ yük birleşiminden kaynaklanan

eğilme momentindeki artış miktarının pozitif momentlerde %724, negatif momentlerde %235 olduğu tespit edilmiştir. Bu tespit, tekil temelli yapılarda farklı oturmalarından kaynaklanan ilave kesit tesirlerinin ihmal edilemeyecek mertebelere ulaşabileceğini ortaya koymaktadır.

Tablo 4. Simetrik olmayan yapıda farklı yük birleşimleri için kirişlerdeki kritik eğilme momentleri (Critical bending moments in beams for different load combinations in non-symmetrical structure)

| Yük birleşimi: 1,4G+1,6Q | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | K101 | K102 | K103 | K104 | K105 | | | | | | |
| P | 255,3 | 267,5 | 205,7 | 73,3 | 195,2 | | | | | | |
| N | -425,0 | -433,4 | -392,2 | -222,8 | -222,5 | | | | | | |
| Deprem Durumu I | | | | | | Deprem Durumu II | | | | | |
| Yük birleşimi: G+Q+E | | | | | | | | | | | |
| | K101 | K102 | K103 | K104 | K105 | | K101 | K102 | K103 | K104 | K105 |
| P | 158,9 | 146,2 | 109,4 | 10,6 | 116,4 | P | 182,9 | 145,3 | 110,5 | 17,2 | 106,5 |
| N | -298,6 | -275,0 | -231,2 | -139,7 | -122,4 | N | -344,6 | -307,1 | -196,6 | -171,7 | -130,6 |
| Yük birleşimi: G+Q-E | | | | | | | | | | | |
| | K101 | K102 | K103 | K104 | K105 | | K101 | K102 | K103 | K104 | K105 |
| P | 140,7 | 148,1 | 110,2 | 8,5 | 131,0 | P | 126,3 | 151,2 | 112,9 | 10,5 | 152,1 |
| N | -255,0 | -292,8 | -266,1 | -147,0 | -159,9 | N | -209,0 | -321,6 | -302,9 | -184,2 | -199,5 |
| Yük birleşimi: 0,9G+E | | | | | | | | | | | |
| | K101 | K102 | K103 | K104 | K105 | | K101 | K102 | K103 | K104 | K105 |
| P | 85,3 | 73,3 | 55,1 | 6,6 | 55,8 | P | 114,2 | 73,4 | 58,2 | 17,4 | 51,5 |
| N | -161,0 | -145,9 | -107,6 | -77,8 | -52,2 | N | -207,1 | -178,0 | -122,8 | -109,8 | -109,0 |
| Yük birleşimi: 0,9G-E | | | | | | | | | | | |
| | K101 | K102 | K103 | K104 | K105 | | K101 | K102 | K103 | K104 | K105 |
| P | 67,0 | 75,2 | 55,9 | 4,5 | 70,5 | P | 57,5 | 79,3 | 60,6 | 10,7 | 97,1 |
| N | -117,4 | -154,0 | -142,5 | -82,7 | -89,8 | N | -123,6 | -182,8 | -179,3 | -119,9 | -129,3 |
| Yük birleşimi: G+1,2Q+1,2T | | | | | | | | | | | |
| | K101 | K102 | K103 | K104 | K105 | | | | | | |
| P | 359,2 | 370,1 | 255,2 | 604,3 | 572,7 | | | | | | |
| N | -326,2 | -445,6 | -711,9 | -745,5 | -279,6 | | | | | | |

Not: Tablodaki moment değerleri kN.m cinsindedir.
P: İlgili kiriş üzerindeki oluşabilecek pozitif momentlerin en büyük değerini ifade etmektedir.
N: İlgili kiriş üzerindeki oluşabilecek negatif momentlerin mutlak değerce en büyük değerini ifade etmektedir.

6. Sonuçlar (Conclusions)

Kirişler üzerindeki elverişsiz hareketli yük kombinasyonlarının yapı temellerinde meydana getirebileceği en büyük oturmaların da dikkate alındığı farklı yük birleşimlerinin (düşey, deprem ve oturma yüklemeleri) kirişlerde oluşturabileceği kritik eğilme momentleri iki örnek tek katlı sanayi yapısı üzerinde incelenmiştir. Örnek yapı modellerinde, aynı zemin koşullarına sahip iki tekil temel arasındaki farklı oturma değerlerinin birinci örnekte 2,25 mm ile 12,54 mm, ikinci örnekte 0,08 mm ile 10,90 mm arasında oluşabileceği belirlenmiştir. Bu değerler kum zemin üzerindeki tekil temeller için literatürde genel kabul görmüş izin verilen en büyük farklı oturma değerlerinden oldukça küçüktür. Tasarlanan temeller altında meydana gelen zemin gerilmeleri temel zemini taşıma gücü sınırlarını da aşmamaktadır. Bu iki husus göz önüne alındığında, temel tasarımı açısından, temel sistemi ve temel boyutlarının yeterli olduğu değerlendirilmektedir. Ancak, bu durumda farklı oturmaları içeren yük birleşimi dikkate alınmadan yapılacak elverişsiz kesit tesiri belirlemelerinin yetersiz kalacağı sunulan çalışma bulgularında açıkça yer almaktadır. Kirişlerde oluşacak kritik eğilme momentleri incelendiğinde, yapıların çok katlı olmaması ve kütlelerin de az olması sebebiyle deprem yükünün bulunduğu yük birleşimlerinden elde edilen eğilme momenti değerlerinin kritik olarak ortaya çıkmadığı gözlenmektedir. Birinci örnekte sabit ve hareketli yük

birleşimleri ile birlikte farklı oturma içeren birleşimin de etkin olduğu görülmüştür. Bu örnekte, farklı oturmaları içeren yük birleşiminde daha baskın olan eğilme momentlerinin, sabit ve hareketli yük birleşiminden gelenlerden %15 daha fazla olduğu tespit edilmiştir. İkinci örnekte ise farklı oturma içeren yük birleşiminin bir kritik moment hariç tüm kirişlerde baskın olduğu saptanmıştır. Yapının farklı açıklık genişliklerine sahip olduğu bu simetrik olmayan yapı örneğinde, farklı oturmaları içeren yük birleşimindeki momentler, sabit ve hareketli yük birleşimindeki maksimum momentlerin 8 katına kadar çıkabilmektedir. Bu çalışma, uygulamada genellikle ihmal edilen oturma değerlerini içeren yük birleşiminin tekil temele sahip yapılarda önemli olabileceğini göz önüne sergilemektedir. Bu durum yaygın kullanılan tekil temelli tek katlı çok açıklıklı sanayi tipi yapılarda oturma analizleri içeren yük birleşimlerinin de dikkate alınarak tasarım yapılması gerektiğini göstermektedir. Aksi halde, tasarımların güvenlik sayılarının küçüleceği anlaşılmaktadır.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar (References)

- Akbaş, S.O., 2008. Çeşitli Yapı Tipleri İçin İzin Verilebilir Farklı Oturma Sınırlarının Derin Kiriş Modeli İle Belirlenmesi. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 23 (4), 871-878.
- Alessandri, C., Garutti, M., Mallardo, V., Milani, G., 2015. Crack Patterns Induced by Foundation Settlements: Integrated Analysis on a Renaissance Masonry Palace in Italy. International Journal of Architectural Heritage, 9 (2), 111-129.
- Arslan, A., Turgut, P., Calayır, Y., 1996. A Genetic Search Based Arrangement of Load Combinations in Structural Frames. Advances in Computational Structures Technology, Civil-Comp Press, Edinburgh, 85-91.
- Bowles, J.E., 1997. Foundation Analysis and Design. Civil Engineering Series. The McGraw-Hill Companies, Inc., 5th Ed., New York.
- Chen, X., Wang, X., Wang, H., Agrawal, A.K., Chan, A.H.C., Cheng, Y., 2021. Simulating the Failure of Masonry Walls Subjected to Support Settlement with the Combined Finite-Discrete Element Method. Journal of Building Engineering, 43, 102558, 1-12.
- Celik, H.K., Sakar, G., 2022. A New Study on the Live Load Arrangements in RC Buildings. Journal of Building Pathology and Rehabilitation, 7, Article no. 96, 1-14. <https://doi.org/10.1007/s41024-022-00239-1>.
- Döven, M.S., Saraçoğlu, M.H., Kaymak, B., Bayer, M.T., 2011. Düzlem Çerçeve Yapıların Elverişsiz Yük Dağılımına Göre Analizi. XII. Akademik Bilişim Konferansı, 2-4 Şubat, Malatya, 675-681.
- Eaton, J.W., Bateman, D., Hauberg, S., Wehbring, R., 2021. GNU Octave Version 6.3.0 Manual: A High-Level Interactive Language for Numerical Computations.
- EN 1997-1. 2004. Eurocode 7: Geotechnical Design – Part 1: General Rules, The European Union Per Regulations.
- Ersoy, U., 1992. Çok Katlı Yapıların Çözümünde Hareketli Yük Düzenlenmesi. Teknik Dergi, 3 (13), 555-561.
- Ersoy, U., Özcebe G., 2015. Betonarme. Evrim Yayınevi, 4. Baskı, İstanbul.
- Furlong, R.W., 1981. Rational Analysis of Multistory Concrete Structures. Concrete International. American Concrete Institute (ACI), 3 (6), 29-35.
- Giardina, G., Marini, A., Riva, P., Giuriani, E., 2020. Analysis of a Scaled Stone Masonry Facade Subjected to Differential Settlements. International Journal of Architectural Heritage, 14 (10), 1502-1516.
- Grant, R., Christian, J.T., Vanmarcke, E.H., 1974. Differential Settlement of Buildings. ASCE Journal of Geotechnical Engineering Division, 100 (9), 973-991.
- Huang, J., 2021. Analysis of the Influence of Differential Consolidation Settlement of Foundation on Redistribution of Internal Forces in Superstructure of Buildings. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, 632, 022007, 1-7.
- Lahri, A., Garg, V., 2015. Effect of Differential Settlement on Frame Forces - A Parametric Study. International Journal of Research in Engineering and Technology, 4 (9), 453-464.
- Lin, L., Hanna, A., Sinha, A., Tirca, L., 2015. Structural Response to Differential Settlement of Its Foundations. Journal of Civil Engineering Research, 5 (3), 59-66.
- Ou, W., Chen, X., Chan, A., Cheng, Y., Wang, H., 2022. FDEM Simulation on the Failure Behavior of Historic Masonry Heritages Subjected to Differential Settlement. Buildings, 12 (10), 1592.
- Önalp, A. Sert, S., 2010. Geoteknik Bilgisi III: Bina Temelleri. Birsen Yayınevi, 2. Basım, İstanbul.
- Pepe, M., Sangirardi, M., Reccia, E., Pingaro, M., Trovalusci, P., De Felice, G., 2020. Discrete and Continuous Approaches for the Failure Analysis of Masonry Structures Subjected to Settlements. Frontiers in Built Environment, 6:43, 1-14.
- Portioli, F., Cascini, L., 2016. Assessment of Masonry Structures Subjected to Foundation Settlements using Rigid Block Limit Analysis. Engineering Structures, 113, 347-361.
- Shibiru, A.A., 2019. Effects of Foundation Differential Settlement on RC Framed Buildings. M.Sc. Thesis. Addis Ababa Science and Technology University.
- Skempton, A.W., MacDonald, D.H., 1956. The Allowable Settlements of Buildings. Proceedings of Institution of Civil Engineers, 5, 727-768.
- TS 500-2000. 2000. Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları. Türk Standardları Enstitüsü. Ankara.
- TBDY-2018. 2018. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. Resmi Gazete, Tarih: 18.03.2018, Sayı: 30364.
- Uzuner, B.A., 2006. Temel Mühendisliğine Giriş. Derya Kitabevi, 3. Basım, Trabzon.
- Yıldırım, S., 2009. Zemin İncelemesi ve Temel Tasarımı. Birsen Yayınevi, 3. Basım, İstanbul.