

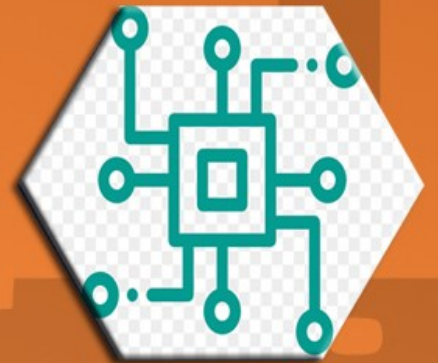


BİNGÖL
ÜNİVERSİTESİ



Bingöl Üniversitesi Teknik Bilimler Dergisi

Bingol University Journal of Technical Science



Cilt 4, Sayı 1, Haziran 2023

Volume 4, Number 1, June 2023

*Bingöl Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu
tarafından yayımlanmaktadır*

EDİTÖRÜN NOTU

Ülkemizde bilimsel yayıncılık hızla gelişmekte ve bu bağlamda süreli yayınların sayısı önemli ölçüde artmaktadır. Akademik süreli yayıncılık da bu artışın doğal sonuçlarından. 8 Eylül 2020 tarihinde yayınlanan ilk sayısı ile yayın hayatına başlayan dergimizle (*Bingöl Üniversitesi Teknik Bilimler Dergisi*) çok değerli araştırmacıların, bilim insanlarının ve okurların karşısına çıkmanın heyecanını ve mutluluğunu yaşamaktayız. Yayın hayatına başladığı bu tarihten itibaren bilimsel bir disiplin içerisinde hareket eden dergimiz, [Google Scholar](#) üzerinde taranmakta ve diğer indekslerde taranmak için başvurularını sürdürmektedir.

Türkiye’de yayın yapan birçok üniversite akademik dergileri gibi dergimiz de çok-disiplinli ve disiplinlerarası anlayışla hareket etmektedir. Bu anlayışla dergimizin yayın kurulu, bilimin bütün sahalarından ve alt disiplinlerinden bilimsel nitelikli yazıları İngilizce veya Türkçe olarak yayınlamak üzere her iki dilde de kabul etmektedir. Dergimizde hakemlik süreci titizlikle yürütülmekte, çift taraflı körleme sistemiyle makaleler değerlendirilmekte, etik ve bilimsel ölçütlere sonuna kadar bağlı kalınmaktadır.

İlk sayıdan itibaren dergimizin [DergiPark](#) üzerinden erişimi sağlanmış ve yayınlanan makalelerin tamamı okuyucuların ve araştırmacıların hizmetine sunulmuştur. Dergimizin bu sayısında iki adet bilimsel araştırma ve bir adet derleme makalesine yer verilmiştir.

Dergimize bilimsel araştırmaları ve yazılarıyla destek veren değerli bilim insanlarına, bu çalışmalarını titizlikle değerlendiren hakemlere ve yayın sürecini yöneten ve yürüten yayın kurulu ve sekreteryaya teşekkür ederim.

Dergi Editörü

Doç. Dr. Mehmet Akif AKYOL

(Bingöl Üniversitesi Teknik Bilimler MYO Müdürü)

Editör Kurulu / Editorial Board

Sahibi / Owner

Bingöl Üniversitesi Teknik Bilimler MYO Müdürlüğü
Vocational School of Technical Sciences of Bingol university Directorate

Baş Editör / Editors-in-Chief

Doç. Dr. Mehmet Akif AKYOL

Editör Yardımcıları / Associate Editors

Dr. Öğr. Üyesi Müslüm EROL
Dr. Öğr. Üyesi Ünal Değirmenci

Dergi Sekreteryası / Secretariat

Öğretim Görevlisi Dr. Müge YURTCAN

Teknik Editör/ Technical Editor

Doç. Dr. Mehmet Akif AKYOL
Öğr. Gör. Ebubekir BOZKURT

İngilizce Editörü/ Language Editors

Öğr. Gör. Ahmet KESMEZ

Grafik Tasarımcı/ Graphic Designer

Öğr. Gör. Habib BİNGÖL

Alan Editörü / Section Editor

Doç. Dr. Mehmet Akif AKYOL
Doç. Dr. Bilal TÜTÜNCÜ
Doç. Dr. Kadir EJDERHA
Dr. Öğr. Üyesi Ünal DEĞİRMENCİ
Dr. Öğr. Üyesi Müslüm EROL
Dr. Öğr. Üyesi Anıl İMAK
Öğr. Gör. Dr. Müge YURTCAN
Öğr. Gör. Dr. İbrahim ÇELİK
Öğr. Gör. Dr. Uğur Eren YURTCAN
Öğr. Gör. Ebubekir BOZKURT

Yayın Danışma Kurulu / Editorial Advisory Board

Prof. Dr. Rajendra PRASAD – University of Lucknow
Prof. Dr. Victor NEDZVETSKY - Dniepropetrovsk National University
Prof. Dr. Mykola Mikhailovich DRON - Oles Honchar Dnipro National University
Assistant Prof. Dr. Tanveer FATİMA – Taibah University
Dr. Hicham HELAL - Djillali Liabes University

Prof. Dr. Hasan KURTARAN – Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi
Prof. Dr. Ayşegül UÇAR – Fırat Üniversitesi
Doç. Dr. İhsan KIRIK – Bingöl Üniversitesi
Doç. Dr. Burak YILDIRIM – Bingöl Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Müslüm EROL – Bingöl Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Yunus Onur YILDIZ – Sinop Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Mehmet POLAT – Fırat Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Erdiñ İKİNCİOĞLU – Bingöl Üniversitesi
Öğr. Gör. Dr. İbrahim ÇELİK – Kahramanmaraş İstiklal Üniversitesi



İÇİNDEKİLER/CONTENTS

Betonarme Yapılarda Oluşabilecek A1 Yapı Düzensizliğinin 2018 Deprem Yönetmeliğine Göre İncelenmesi

Emrah BAĞIŞ^{1*}

1

^{1*}Kocaeli University, Department of Civil Engineering, Kocaeli/Türkiye
ORCID No: 0000-0003-0375-3289, e-mail: emrahbagis12@gmail.com

(Alınış/Arrival: 16.01.2023, Kabul/Acceptance: 10.04.2023, Yayınlanma/Published: 15.06.2023)

Beton Dökümü İşleminde İş Kazası Risklerinin Çeşitli Metotlarla Karşılaştırılması

Aykut SEMERCİ^{1*}

17

^{1*}Pamukkale Üniversitesi, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, Denizli, Türkiye
ORCID No: 0000-0002-2532-8868, e-mail: asemerci@pau.edu.tr

(Alınış/Arrival: 14.02.2023, Kabul/Acceptance: 18.05.2023, Yayınlanma/Published: 15.06.2023)

A Special Type of Time-Dependent Deformation in Clays: Osmotic Compression

Uğur Eren YURTCAN^{1*}

28

^{1*} Bingöl Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, Bingöl, Türkiye.
ORCID No: 0000-0001-5040-2786, e-mail: ueyurtcan@bingol.edu.tr

(Alınış/Arrival: 08.02.2023, Kabul/Acceptance: 14.06.2023, Yayınlanma/Published: 15.06.2023)



BETONARME YAPILARDA OLUŞABİLECEK A1 YAPI DÜZENSİZLİĞİNİN 2018 DEPREM YÖNETMELİĞİNE GÖRE İNCELENMESİ

Emrah BAĞIŞ^{1*}

^{1*}Kocaeli University, Department of Civil Engineering, Kocaeli/Türkiye
ORCID No: 0000-0003-0375-3289, e-mail: emrahbagis12@gmail.com

(Alınış/Arrival: 16.01.2023, Kabul/Acceptance: 10.04.2023, Yayınlanma/Published: 15.06.2023)

Özet

Türkiye aktif fay hatlarının yoğun olduğu bir coğrafik konuma sahiptir. Bu yüzden de sık sık depremlerle karşı karşıya kalmaktadır. Bu depremler yapılarda ciddi hasarlara sebebiyet vermektedir. Oluşan hasarların sebepleri incelendiğinde, taşıyıcı elemanların gerekli moment ve kesme kuvvetlerini karşılamada yetersiz kalmasının yanı sıra; bir diğer faktörün de yapı düzensizliğine sahip taşıyıcı sistem seçilmesinden kaynaklı olduğu görülmektedir. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018’de yapı düzensizlikleri A ve B grubu olarak ikiye ayrılmaktadır. A grubunda planda düzensizlik, B grubunda ise düşeyde düzensizlik durumları belirtilmiştir.

Yapılan bu çalışmada planda düzensizlik durumlarından A1 burulma düzensizliği üzerinde durulmuştur. Çalışmada amaç, burulma düzensizliğine yapının geometrik şeklinin etkisini incelemektir. Bu kapsamda yapı konumu ve malzeme kesitleri aynı olan iki yapıdan, kare ve farklı geometrik şekle sahip L tipi betonarme yapının analizi yapılmıştır. Analiz sonucu meydana gelen A1 burulma düzensizliği durumları incelenmiştir. Yapılan çalışmada elde edilen bulgular incelendiğinde ideal taşıyıcı sistem olarak kabul edilen kare tipi yapıda burulma düzensizliği katsayısı 1,2 değerinden küçük çıktığı görülürken, geometrisi kare yapıya göre düzgün olmayan L tipi yapıda ise A1 burulma düzensizliği katsayısı 1,2’den büyük çıktığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Burulma düzensizliği, Yapı geometrik şekli, Rijitlik merkezi, Kütle merkezi.

INVESTIGATION OF A1 STRUCTURAL IRREGULARITY IN REINFORCED CONCRETE STRUCTURES ACCORDING TO THE 2018 TURKISH SEISMIC CODE

Abstract

Turkey has a geographical location with active and intense fault lines. It therefore frequently faces with earthquakes. These earthquakes cause serious damage to the structures. When the causes of the damage are examined, it is observed that the structural elements are not strong enough to meet the required moment and shear forces. Another weakness factor is selection of the structural system with structural irregularity. In the Turkish Seismic Code 2018, structural irregularities are divided into two groups: Group A and group B. Group A irregularities are in the plan, while group B represents vertical irregularities.

In this study, the A1 torsional irregularity, an irregularity in the plan, is emphasized. The aim of the study is to examine the effect of the geometric shape of the structure on the torsional irregularity. In this context, the analysis of the L-type reinforced concrete structure, which has a square and different geometric shape, was made from two structures with the same structure location and material sections. The cases of A1 torsional irregularity occurring as a result of the analysis were examined here. Analysis of the findings reveal that torsional irregularity coefficient is less than 1,2 in the square type structure, which is accepted as the ideal structural system, while the A1 torsional irregularity coefficient is found to be greater than 1,2 in the L-type structure, whose geometry is not smooth compared to the square structure.

Keywords: Torsional irregularity, Structural geometrical form, Center of rigidity, Center of gravity.

1. GİRİŞ

Türkiye coğrafyasında en fazla etkili olan ve sık sık görülen afetlerden biride depremdir. Depremler dünyanın oluşumundan beri kıtasal levhaların hareketleri sebebiyle meydana gelmektedir. Kalıcı yerleşimlerin başlangıç süreciyle birlikte depremler can ve mal kayıplarına sebebiyet vermeye başlamıştır. Özellikle 1700 yılından sonra yapılan bilimsel araştırmalarla depremin doğal bir afet olduğu belirtilmiştir ve bu afete karşı alınacak önlemler üzerinde durulmuştur. Türkiye’de yer yüzü şekilleri 3. ve 4. jeolojik zamanlarda oluştuğu için genç oluşumludur ve halen tam olarak oturumunu sağlamamıştır. Kıtasal levhalarda yükselme devam etmektedir bununla birlikte yeryüzünün sürekli hareket halinde olması, kırıklı fay hatlarının oluşmasına neden olur. Kuzey Anadolu, Batı Anadolu ve Doğu Anadolu fay hatları ve bunlara bağlı daha birçok küçük fay hatları bulunduğundan ülkemizin %90’lık kısmı deprem tehdidi altındadır. Mevcut bilimsel veriler ve çalışmalar sonucu elde edilen teknolojik aletler ve veriler depremin ne zaman, nerede meydana geleceği konusunda bilgi vermemektedir [1]. Bu sebeple anlık tedbirler almak mümkün olmadığından yapıların deprem tehlikelerine karşı depreme dayanıklı yapı tasarımı ülkemiz için büyük önem arz etmektedir. Ülkemizdeki mevcut yapı stokları incelendiğinde 2000 yılından önceki yapıların çoğunlukla mühendislik hizmeti almadığından deprem davranışı kötü olarak nitelendirilmektedir. Bu yapıların kötü deprem davranışı göstermesinde malzeme kalitesizliğinin yanı sıra yapılardaki düzensizlik durumları da etkili olmaktadır

Yapıların taşıyıcı sistemi planlanırken deprem etkisiyle yapıya etkiyecek yatay yüklere karşın düşey doğrultudaki taşıyıcı sistem elemanlarının boyutlandırılması, taşıyıcı elemanın ağır hasarlar almaması için yapının güvenliği açısından önemlidir. Kat yüksekliği veya kat sayısının artması durumunda yapıların moment ileten çerçeve sistemlerinde yatay doğrultudaki rijitlik, gelen momenti karşılamada yetersiz kalabilmektedir [5]. Deprem kuvvetlerinin perdeli ve çerçeve taşıyıcı sistemlerle taşındığı yapılarda düşey taşıyıcı elemanlardan perdeler, yüksek eğilme rijitlikleri ve en kesit alanlarıyla gelen yatay kuvvetlerin büyük oranda karşılayıp ikinci mertebeyi etkiler ve görelî kat ötelemelerini sınırlandırır [7]. Burada önem arz eden bir başka konuda düşey taşıyıcı elemanların taşıyıcı sistem planındaki konumu, doğrultusu ve boyutudur bu etkenler yük aktarımı dağılımını etkiler. Yapının taşıyıcı sistem modelinin belirlenmesinde birkaç özellik etkilidir. Bunlar; binanın zemin durumu, yapıya etkiyen yatay yükler, yapı rijitlik durumu, narınlığı, ekonomisi, kalıp ve diğer işçilikler, bina yüksekliği, yapının ne amaçla kullanılacağı, hangi teknolojinin kullanılacağı gibi faktörler etkilidir [10]. Taşıyıcı sistemlerde sabit yüklerden dolayı oluşan kuvvet etkileri düşey yöndeki taşıyıcı sistem elemanlarına aktarılır. En ideal yapı tipi kare tipi yapılardır bu yapılarda perde, kolon gibi taşıyıcı elemanların eşit sayı ve doğrultuda karşılıklı olması rijitlik

ve kütle merkezini çakıştırılarak dış merkezlik kuvvetlerin önüne geçmesi bakımından yapının öngörülebilir deprem davranışı göstermesini sağlar [12]. Konuyla ilgili yapılan çalışmalarda yapının geometrik şekline nazaran rijitlik dağılımının daha önemli olduğu görülmüştür [8]. Salt perde duvarlı taşıyıcı sistemlerde üst katlara doğru öteleme miktarı artarken kolon ve perdenin birlikte kullanıldığı perde + çerçeve sistemlerde öteleme miktarlarının ciddi oranda azaldığı görülmektedir. Ayrıca az katlı binalarda perde duvarlı sistemlerin, çerçeve sisteme sahip yapıyla karşılaştırıldığında çerçeve sistemlere göre sünekliğinin az olması ve beton donatı gibi maliyetlerin daha fazla olması nedeniyle pek tercih edilmemektedir. [6]. Uluslararası deprem yönetmelikleri incelendiğinde yapının düzensizlik durumları üzerinde durulduğu görülmektedir. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) 2018’de de düzensizlikler A planda düzensizlikler ve B düşeyde düzensizlikler olarak iki gruba ayrılmıştır. A grubunda bulunan düzensizlikler A1 Burulma düzensizliği, A2 Döşeme süreksizliği, A3 Planda çıkıntı düzensizliği iken B grubunda bulunan düzensizlikler B1 Komşu katlar arası dayanım düzensizliği (zayıf kat), B2 Komşu katlar arası rijitlik düzensizliği (yumuşak kat) ve B3 Taşıyıcı sistem elemanlarının düşeyde süreksizliğidir. Bu düzensizlik durumlarından en çok üzerinde durulandan biri de A1 burulma düzensizliğidir. Burulma düzensizliği; herhangi bir kattaki maksimum görelî kat yer değıştirmesinin, ortalama görelî kat yer değıştirmesine oranı olarak tanımlanan katsayısına bağıdır [13]. Burulma düzensizliğini etkileyen faktörlerin başında rijitlik dağılımı ve plan geometrisi gelmektedir. Tasarımlarda ideal olan en boy oranları birbirine yakın kare tipi binalar ideal yapılardır ancak yapının arsa durumu çoğı zaman bu tür tasarımların yapılmasını elvermediğı için farklı geometrik şekillere sahip yapılar inşa edilmektedir. Farklı plan geometrisine sahip bu yapılar burulma etkilerine maruz kalır ve bunun sonucunda yapıda ilave kesme kuvvetleri oluşmaktadır. Bu oluşan ilave kesme kuvvetlerini karşılamak için plan geometrisinin yanı sıra yapının rijitlik dağılımı da önem arz etmektedir.

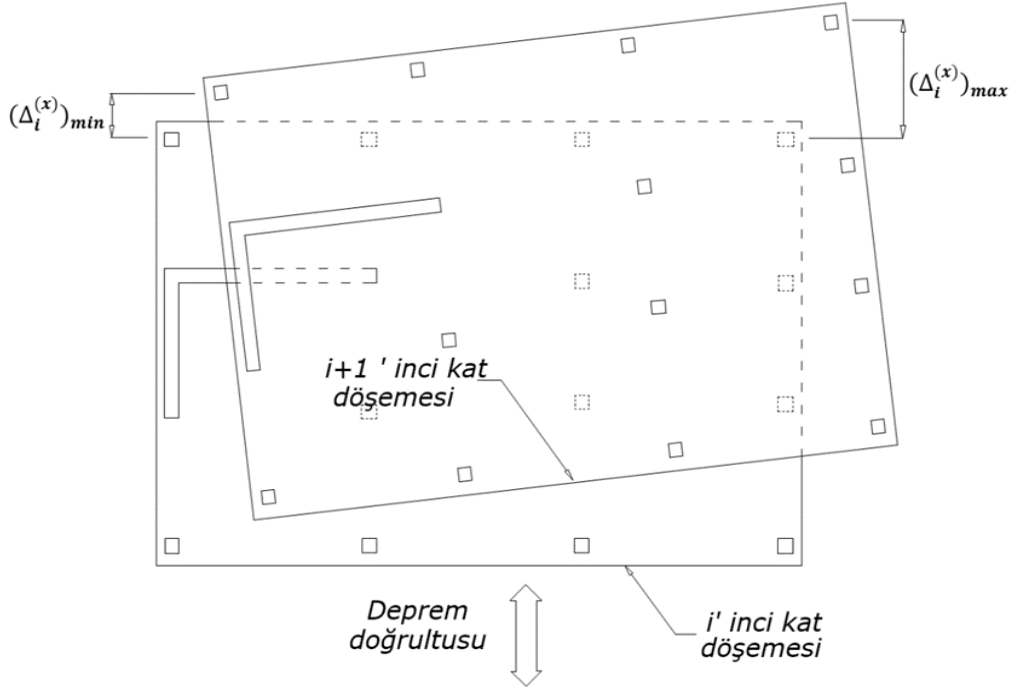
Yapı ne kadar kalitesizde olsa basit ve sade kare tipi olduğunda deprem etkilerine karşı tahmin edilebilir bir burulma davranışı gösterir [11]. Yapılan çalışmada da bu durum görülmektedir ancak yapılarının geometrik şekillerinde farklılıklar olduğunda yani basit ve simetrik olmadığı durumlarda kütle ve rijitlik merkezleri çakışmadığı için yapıda burulmalar meydana gelebilmektedir. Burulma yapının deprem kuvveti altında dönme hareketi göstermesidir [3]. Bu etki karşısında taşıyıcı sistemde deprem sırasında çok ağır hasarlar almaktadır. Yapılarda meydana gelebilecek burulma etkilerini önlemek için tasarım yapılırken yapının daha sade ve düzgün şekillerde tasarlanması gerekmektedir bu mümkün değilse seçilecek taşıyıcı sistem elemanlarının x ve y doğrultusunda birbirini dengeleyecek şekilde olmasına özen gösterilmeli yapıda düşey taşıyıcı elemanlardan perde kullanılmalı ve bu perdelerin yapının köşe noktalarına yerleştirilmesi yapının daha sağlıklı bir davranış göstermesi konusunda yapılan çalışmalarda büyük önem gösterdiği görülmektedir.

Farklı geometriye sahip betonarme taşıyıcı sistemlerin deprem yükleri altındaki burulma davranışının incelendiğı bu çalışmada, 2018 deprem yönetmeliğindeki A1 yapı düzensizliği ile ilgili koşullarla karşılaştırılıp farklı geometrik sisteme sahip yapıların davranışları incelenmiştir. İyi bir taşıyıcı sistemde düşey ve yatay yükleri yapı içerisinde dolandırılmadan en kısa yoldan temele iletilmesi gerekmektedir. Yani döşeme kiriş oturmalı ve kirişler aks boyunca süreklı olmalıdır. Süreksiz kirişler yapının deprem altındaki davranışını olumsuz etkilemektedir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. A1 Tipi Burulma Düzensizliği

TBDY-2018 yönetmeliğinde incelen düzensizliklerden biri olan A1 burulma düzensizliği X ve Y yönünden gelen deprem kuvvetlerinin, her bir katta en büyük görelî kat ötelemesinin hesaplanan kattaki aynı doğrultudaki ortalama görelî kat ötelemeye oranının 1,2'den daha büyük çıkması durumunda ortaya çıkmaktadır [2]. A1 burulma düzensizliğini temsil eden durum Şekil 2.1'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. A1 Burulma düzensizliği şematik gösterimi [9]

η_{bi} =Burulma düzensizliği katsayısı,
 Δ_i = Görelî kat ötelemesi olmak üzere,

$$\eta_{bi} = \frac{(\Delta_i)_{max}}{(\Delta_i)_{ort}} < 1,2 \quad (2.1)$$

Denklem (2.1) de belirtildiği gibi η_{bi} değeri 1,2 sınır koşulunu geçtiği durumlar için burulma düzensizliği söz konusu olmaktadır.

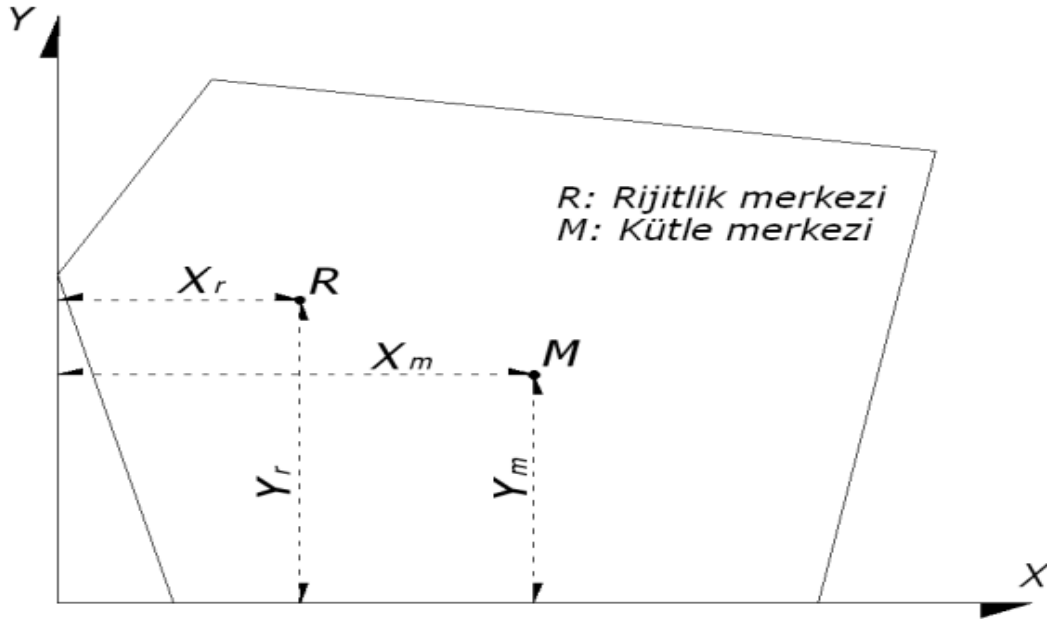
Yapının bir katında burulma düzensizliği bulunması durumundaki koşulu ile $\pm\%5$ ek dış merkezlik, her iki deprem doğrultusu için db_i değeri) ek dış merkezlik katsayısı ile çarpılarak büyütülecektir Denklem (2.2).

$$db_i = \frac{\eta_{bi}}{1.2} \times 2 \quad (2.2.)$$

A1 burulma düzensizliği ve diğer düzensizliklerin formüllerinde kullanılan görelî öteleme, bir kolon ve perde elemanın (düşey elemanların) bir üst ya da bir alt kattaki perde ve kolona göre yer değiştirme miktarıyla ilişkilidir.

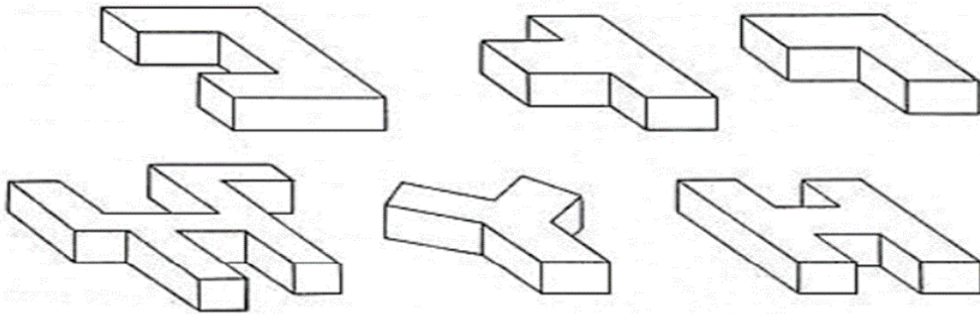
A1 burulma düzensizliğini önlemek için rijit taşıyıcı sistem elemanları binanın burulma rijitliğini artıracak şekilde yerleştirilmelidir. Yani küçük ve çok sayıda perde duvar seçimi büyük ve az sayıda perde duvar seçiminden daha iyidir. Bunun sebebi az sayıda ve büyük olan perde duvarlardan biri deprem etkisiyle hasar aldığında yapıda büyük burulmalar meydana

gelecektir. Bunun yerine çok sayıda küçük perde elemanları yapıldığı takdirde birinde meydana gelen burulmayı diğer elemanlar tarafından mümkün olduğunca engellenir.



Şekil 2.2. Yapı kütle ve rijitlik merkezleri şematik gösterimi [15]

Taşıyıcı sistem tasarımı esnasında dikkat edilmesi gereken önemli noktalardan biri de yapının ağırlık ve kütle merkezlerini birbirine yakın olmasına özen gösterilmelidir. Şekil 2.2’de kütle ve rijitlik merkezinin şematik gösterimine yer verilmiştir. Kütle merkezi, yapının katlardaki kütlelerinin toplandığı düşünülen merkezi bir noktadır. Rijitlik merkezi ise düşey taşıyıcı elemanların deprem etkisiyle oluşacak kesme kuvvetlerinin bileşkesinin geçtiği yer olarak kabul edilir.

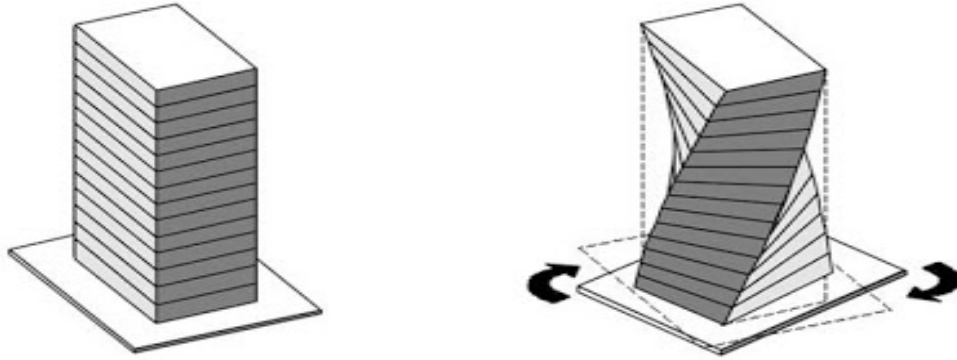


Şekil 2.3. Farklı plan geometrisine sahip tipik yapılar [13]

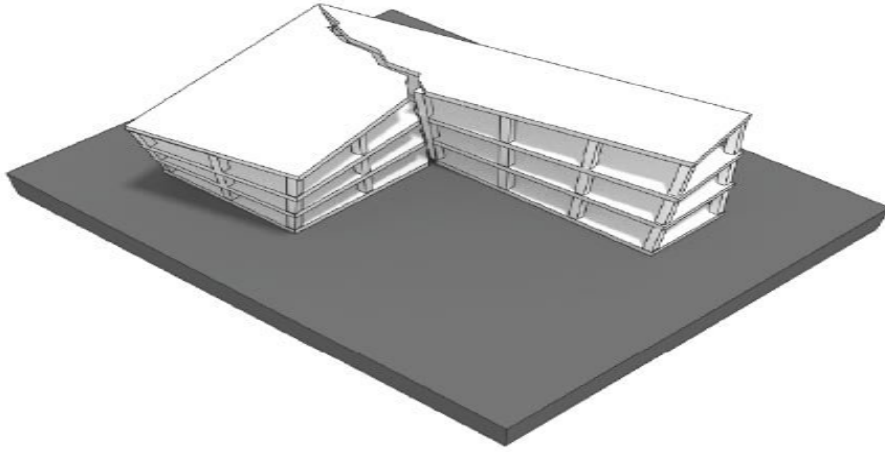
Şekil 2.3’ de gösterilen farklı plan geometrisine sahip L, H vb. şekillere sahip bina tasarımlarında yapının rijitlik ve kütle merkezi arasındaki uzaklık sebebiyle oluşacak eksantrisitenin sebep olacağı ikinci derece kuvvet etkileri deprem esnasında yapının burulmaya uğramasına sebep olmaktadır [13].

Yapılar düzgün geometrik şekilde değilse ve taşıyıcı elemanlardan kolon ve perdeler simetrik yerleştirilmemişse, yapının kütle ve rijitlik merkezleri çakışmaz ve deprem esnasında yapı

rijitlik merkezi etrafında dönmeye başlar ve yapıda burulmalar görülür [14]. Bu yapının depremde ağır hasarlar almasına sebep olabilmektedir. Şekil 2.4 ve şekil 2.5’de burulma etkisinin yapıda oluşturduğu etkileri gösterilmektedir.



Şekil 2.4. A1 Türü burulma düzensizliğine örnek yapı davranışı [12]



Şekil 2.5. L Tipi yapının burulma sonrası oluşan görüntüsü [12]

2.2. Burulma Düzensizliğini Etkileyen Faktörler

Yapılan literatür çalışmalarında yapıların kat adetleri, perde ve kolon gibi düşey taşıyıcı elemanların yapıdaki konumu, yapının plan geometrisi ve rijitlik dağılımının burulma düzensizliğine etki ettiği görülmüştür.

Burulma düzensizliğine karşı literatür çalışmalarında şu öneriler verilmektedir;

- Basit ve sade geometrik şekillere sahip yapıların karmaşık yapılara göre burulmaya karşı daha iyi davranış gösterdiği görülmüştür. Karmaşık geometriye sahip yapıların derzlerle ayrılarak analizin yapılması tavsiye edilmiştir [13].
- Tasarım esnasında gelişigüzel planda konumlanan düşey taşıyıcı elemanlar süreksiz ve saplama kirişler iyi bir davranış sergilemeyip burulmalara sebebiyet vermektedir ve bu durumdan kaçınılmaya çalışılmalıdır.
- Düşey taşıyıcı elemanlardan olan perdelerin yapı köşe noktalarına yerleştirilmesi burulma düzensizliğine karşı yapıya olumlu bir avantaj sağlamaktadır. Bu şekilde deprem kuvveti x ve y doğrultusundan hangisinden etki edecek olursa olsun, yapının hem köşede hem de düşey taşıyıcı elemanlar simetrik yerleştirilmişse gelen yatay kuvvetleri karşılamada iyi bir davranış gösterir.
- Dikkat edilmesi gereken önemli bir hususta perdelerin gerektiğinden fazla kullanıldığı durumlardır. Az katlı yapılarda çok fazla sayıda perde kullanımı burulmalara sebebiyet

vermektedir. Perdelerin hem gereksiz yere fazla kullanımı hem de konum olarak yanlış yerde kullanımı burulma davranışını olumsuz etkiler.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

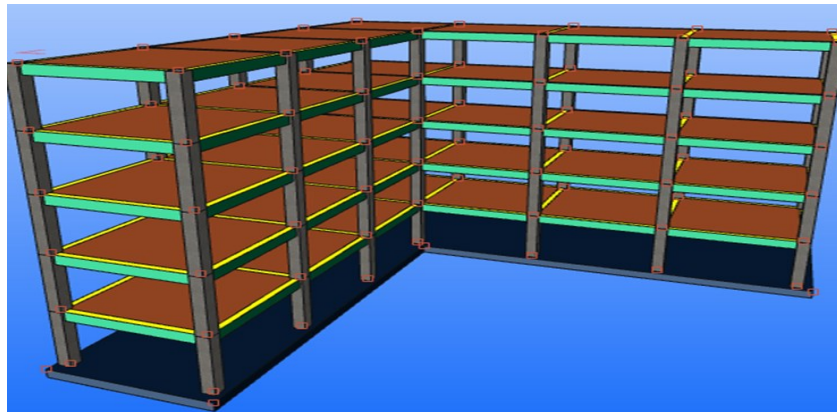
Yapılan çalışmada incelenen kare ve L tipi yapıların analizi için İde-Statik programı kullanılmıştır. İde-Statik betonarme, çelik, prefabrik, kompozit yapı elemanlarını tek model bir model üzerinde birlikte kullanarak, tasarlamak istenen yapı modellerini tasarlanıp, İde-Statik programıyla katları olsun ya da olmasın, rijit diyaframsız, kısmi rijit diyaframa sahip olan ya da rijit diyaframlı binaların analizi yapılmaktadır. Çelik, karma-kompozit, fabrika, betonarme ya da bina olarak kullanılmayan karmaşık yapıların TBDY 2018’de belirtilen şartları dikkate alarak modellemeler yapıla bilinmektedir. Yapılar modal analiz yöntemiyle analiz edilmiştir. Yapıların tasarım konumu olarak Erzincan seçilmiştir, deprem yer hareket düzeyi DD2, zemin sınıfı ise ZC seçilmiştir. Bu verilerle birlikte seçilen yapı konuma göre AFAD deprem tehlike haritasından yapı analizinde kullanılacak değerler elde edilmiştir. Elde edilen veriler İde-Statik programına tanımlanmıştır. Programda modellenen yapılardan biri olan düzgün kare tipi şekle sahipken diğer model L tipi düzgün olmayan bir geometriye sahiptir. Tasarlanan yapı modellerinin taşıyıcı sistemi sadece kolonlardan oluşan salt çerçeve sistem seçilmiştir. Yapılarda kullanılan beton sınıfı C30 iken donatı sınıfı B420C seçilmiştir. Ayrıca modellerde kiriş boyutları 25*50 cm, kolonlar 45*45 cm, döşeme kalınlığı 15 cm ve radye temel kalınlığı ise 45 cm seçilmiştir. Yapılar zemin + 4 normal kattan oluşmaktadır. Her katın kat yüksekliği sabit olup 3 metredir. Toplam yapı yüksekliği ise 15 metredir. İde- Statik programında modal analiz yöntemiyle aynı konum ve malzeme özelliklerine sahip yapıların geometrik şeklindeki farklılığın burulma düzensizliğini nasıl etkilediği çalışma kapsamında incelenmiştir. Analizde Türkiye Bina deprem yönetmeliği 2018’ de belirtilen yapı düzensizlikleri ve diğer tasarım kuralları dikkate alınmıştır. Çalışmanın bulgular kısmında elde edilen veriler tartışma kısmında grafiklerle karşılaştırılmıştır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Nümerik Sistemler

4.1.1. L Tipi Yapı Genel Bilgileri

Çalışma kapsamında ilk olarak L geometrik şekline sahip yapının deprem kuvvetleri etkisinde göstereceği A1 düzensizlik durumu incelenmiştir. Şekil 4.1’de yapının katı model görünüşleri gösterilmiştir. Şekil 4.2’de ise yapının kalıp planına yer verilmiştir.

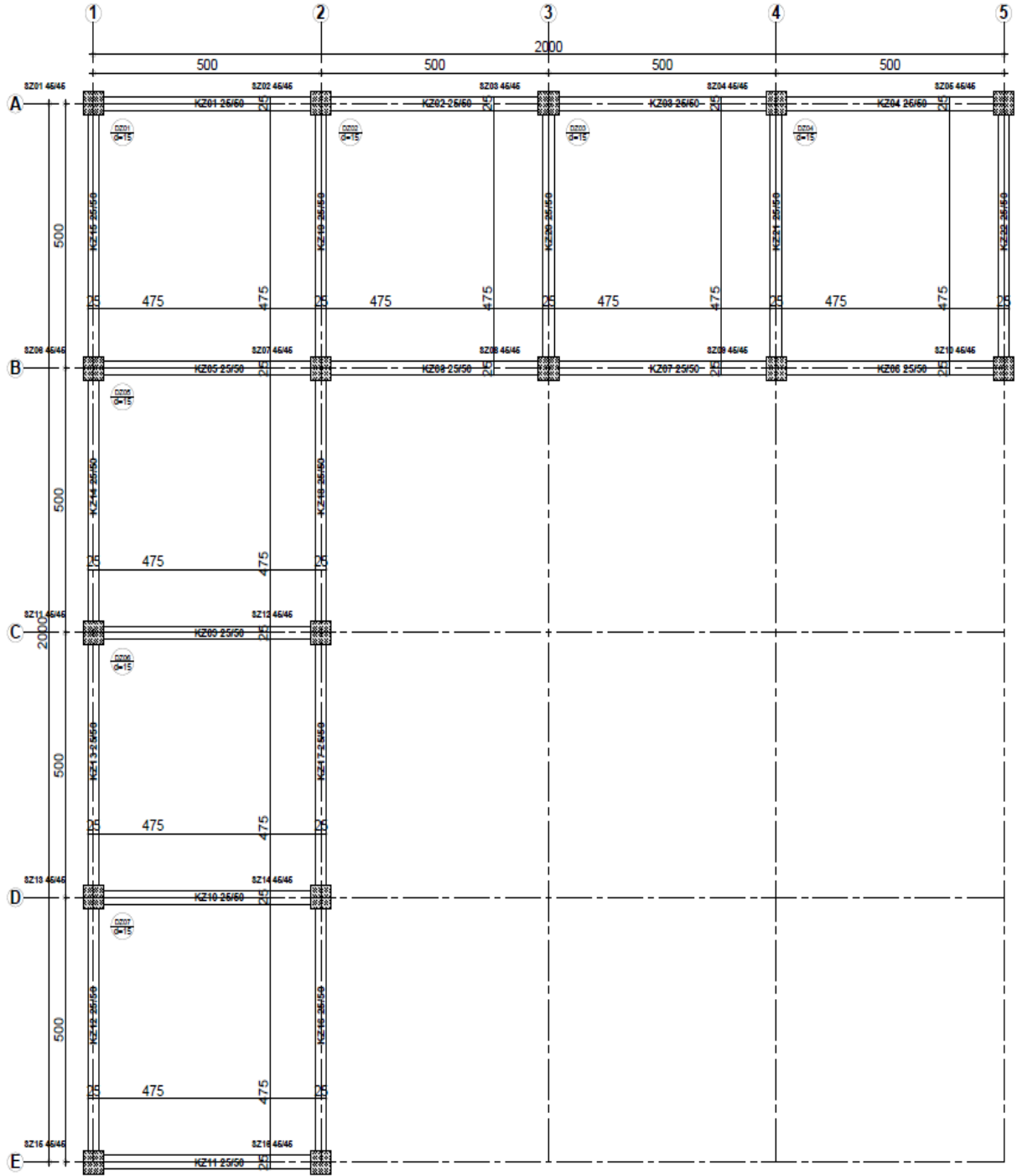


Şekil 4.1. L tipi yapının üç boyut görünüşü

Tablo 4.1. L tipi yapının bilgileri

Yapı Genel Bilgileri	
Yapı Konumu	Erzincan
Yapı Beton Sınıfı	C30
Yapı Donatı Sınıfı	B420C
Enlem	39,773133
Boylam	39,456948
Kat Sayısı	5
Yapı Yüksekliği (m)	15,00
Rijit Diyafram Sayısı	5
Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (X/Y)	8/8
Dayanım Fazlalığı Katsayısı (X/Y)	3/3
Eksantrisite Oranı	0,05
Süneklik Düzeyi	Yüksek
Deprem Yer Hareket Düzeyi	DD2
Bina Önem Katsayısı (I)	1
Bina Kullanım Sınıfı (BKS)	3
Deprem Tasarım Sınıfı (DTS)	1
Bina Yükseklik Sınıfı (BYS)	6
Performans Hedefi	Kontrollü Hasar
Tasarım Yaklaşımı	Dayanıma göre tasarım
Zemin Tipi	ZC
Spektrum Karakteristik Periyotları	T _a =0,071 T _b =0,356
Zemin Taşıma Gücü	40.00[tf/m ²]
Yatak Katsayısı	1800.00[tf/m ²]
Kısa Periyod Harita Spektral İvme Katsayısı (SS)	1,453
1.0 Saniye Periyod İçin Harita Spektral İvme Katsayısı (S1)	0,414
Kısa Periyod Tasarım Spektral İvme Katsayısı (SDS)	1,7436
1.0 Saniye Periyod İçin Tasarım Spektral İvme Katsayısı (SD1)	0,621
En Büyük Yer İvmesi (g)	0,607
En Büyük Yer Hızı (PGV)	40,014

L tipi yapıya ait genel yapı bilgileri tablo 4.1’de verilmiştir. Yapının konumu olarak Erzincan bölgesi seçilmiş bu konum bilgilerine göre AFAD tehlike haritasından alınan veriler analizde kullanılacak diğer verilerle birlikte tabloda paylaşılmıştır.



Şekil 4.2. L tipi yapının kalıp planı

4.1.1.1. L Tipi Yapı A1 Düzensizliği Kontrolü

Tablo 4.2. X deprem yönü +5 eksantrisite için A1 düzensizliği kontrolü

Katlar	h(m)	Δi max (mm)	Δi min (mm)	Δi ort (mm)	η_{bi}	$\eta_{bi} < 1,2$
4. Kat	3,00	6,41-S415	3,58-S403	4,99	1,283	var
3. Kat	3,00	8,67-S315	5,29-S305	6,98	1,242	var
2. Kat	3,00	10,79-S215	6,61-S204	8,50	1,223	var
1. Kat	3,00	10,75-S115	6,96-S105	8,87	1,212	var
Zemin Kat	3,00	7,52-SZ15	4,72-SZ01	6,12	1,229	var

Tablo 4.3. X deprem yönü -5 eksantrisite için A1 düzensizliği kontrolü

Katlar	h(m)	Δi max (mm)	Δi min (mm)	Δi ort (mm)	η_{bi}	$\eta_{bi}<1,2$
4. Kat	3,00	4,49-S403	3,79-S403	4,14	1,084	yok
3. Kat	3,00	6,05-S315	5,63-S305	5,84	1,037	yok
2. Kat	3,00	7,24-S215	7,04-S203	7,14	1,015	yok
1. Kat	3,00	7,49-S116	7,44-S105	7,47	1,003	yok
Zemin Kat	3,00	5,26-SZ16	5,03-SZ01	5,14	1,023	yok

Tablo 4.4. Y deprem yönü +5 eksantrisite için A1 düzensizliği kontrolü

Katlar	h(m)	Δi max (mm)	Δi min (mm)	Δi ort (mm)	η_{bi}	$\eta_{bi}<1,2$
4. Kat	3,00	5,80-S405	3,26-S411	4,53	1,281	var
3. Kat	3,00	7,89-S305	4,84-S301	6,36	1,240	var
2. Kat	3,00	9,48-S210	6,05-S206	7,76	1,221	var
1. Kat	3,00	9,80-S105	6,40-S115	8,10	1,210	var
Zemin Kat	3,00	6,82-SZ05	4,30-SZ15	5,56	1,226	var

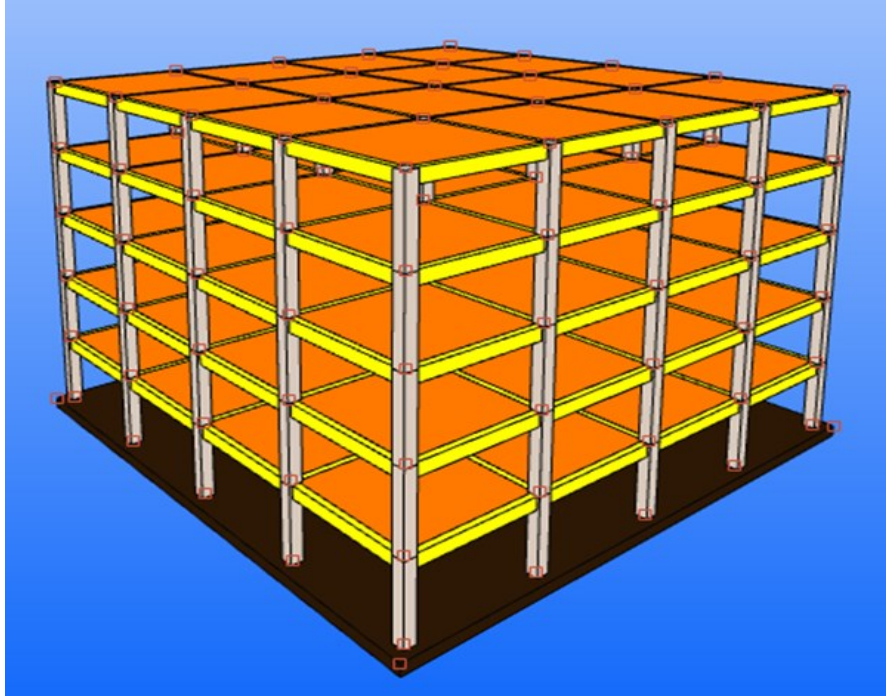
Tablo 4.5. Y deprem yönü -5 eksantrisite için A1 düzensizliği kontrolü

Katlar	h(m)	Δi max (mm)	Δi min (mm)	Δi ort (mm)	η_{bi}	$\eta_{bi}<1,2$
4. Kat	3,00	4,78-S405	4,09-S411	4,44	1,078	yok
3. Kat	3,00	6,49-S305	6,09-S301	6,29	1,032	yok
2. Kat	3,00	7,79-S210	7,63-S211	7,71	1,010	yok
1. Kat	3,00	8,07-S113	8,05-S110	8,06	1,001	yok
Zemin Kat	3,00	5,62-SZ12	5,43-SZ01	5,53	1,017	yok

L tipi yapının A1 burulma düzensizliği kontrolü TBDY-2018’de verilen sınır koşullarına göre yapılmıştır. Elde edilen veriler şunlardır; tablo 4.2 ve tablo 4.4’de x ve y deprem doğrultusu için +5 eksantrisite etkisinde tüm katlarda burulma düzensizliği katsayısının 1,2 değerini aştığı görülmektedir. Tablo 4.3’ de maksimum burulma katsayısı 1,084 iken, tablo 4.4’de ise maksimum burulma katsayısının 1,078 çıktığı görülmektedir. Bu değerleri yönetmelikte belirtilen maksimum η_{bi} katsayı sınırını geçmediği için -5 eksantrisite etkisinde x ve y deprem doğrultusunda burulma düzensizliği görülmemektedir.

4.1.2. Kare Tipi Yapı Genel Bilgileri

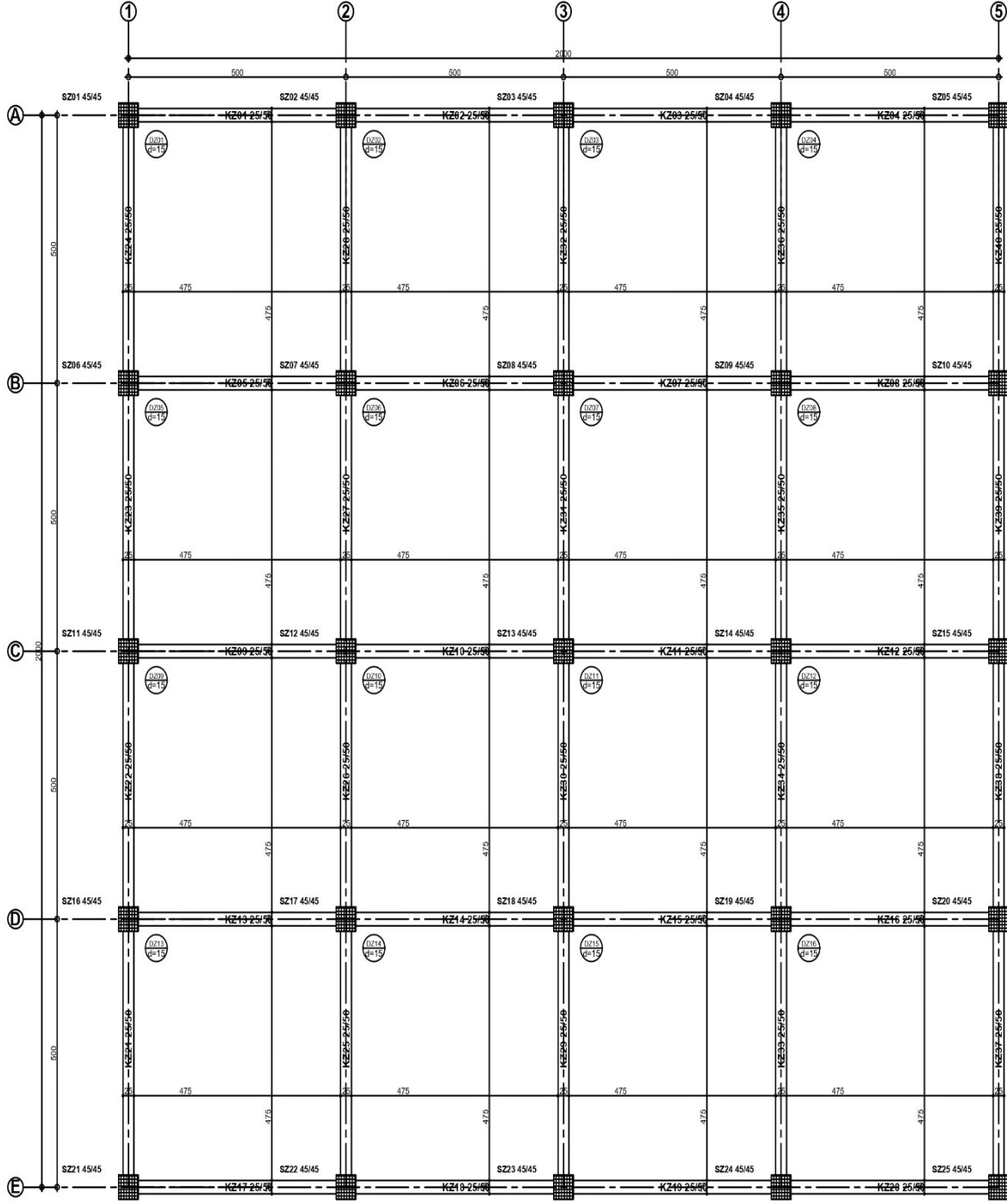
Çalışma kapsamında kare geometrik şekline sahip yapının deprem kuvvetleri etkisinde göstereceği A1 düzensizlik durumu incelenmiştir. Şekil 4.3’de yapının katı model görünüşü verilmiştir. Şekil 4.4’de ise yapının kalıp planına yer verilmiştir.



Şekil 4.3. Kare tipi yapının üç boyutlu görünüşü

Tablo 4.6. Kare tipi yapının bilgileri

Yapı Genel Bilgileri	
Yapı Konumu	Erzincan
Yapı Beton Sınıfı	C30
Yapı Donatı Sınıfı	B420C
Enlem	39,773133
Boylam	39,456948
Kat Sayısı	5
Yapı Yüksekliği (m)	15,00
Rijit Diyafram Sayısı	5
Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (X/Y)	8/8
Dayanım Fazlalığı Katsayısı (X/Y)	3/3
Eksantrisite Oranı	0,05
Süneklik Düzeyi	Yüksek
Deprem Yer Hareket Düzeyi	DD2
Bina Önem Katsayısı (I)	1
Bina Kullanım Sınıfı (BKS)	3
Deprem Tasarım Sınıfı (DTS)	1
Bina Yükseklik Sınıfı (BYS)	6
Performans Hedefi	Kontrollü Hasar
Tasarım Yaklaşımı	Dayanıma göre tasarım
Zemin Tipi	ZC
Spektrum Karakteristik Periyotları	Ta=0,071 Tb=0,356
Zemin Taşıma Gücü	40.00[tf/m ²]
Yatak Katsayısı	1800.00[tf/m ²]
Kısa Periyod Harita Spektral İvme Katsayısı (SS)	1,453
1.0 Saniye Periyod İçin Harita Spektral İvme Katsayısı (S1)	0,414
Kısa Periyod Tasarım Spektral İvme Katsayısı (SDS)	1,7436
1.0 Saniye Periyod İçin Tasarım Spektral İvme Katsayısı (SD1)	0,621
En Büyük Yer İvmesi (g)	0,607
En Büyük Yer Hızı (PGV)	40,014



Şekil 4.4. Kare tipi yapının kalıp planı

4.1.2.1. Kare Tipi Yapı A1 Düzensizliği Kontrolü

Tablo 4.7. X deprem yönü +5 eksantrisite için A1 düzensizliği kontrolü

Katlar	h(m)	Δ_i max (mm)	Δ_i min (mm)	Δ_i ort (mm)	η_{bi}	$\eta_{bi} < 1,2$
4. Kat	3,00	4,33-S425	3,61-S403	3,97	1,090	yok
3. Kat	3,00	6,65-S324	5,51-S305	6,08	1,094	yok
2. Kat	3,00	8,43-S225	6,97-S204	7,70	1,095	yok
1. Kat	3,00	9,00-S123	7,43-S105	8,21	1,096	yok
Zemin Kat	3,00	6,15-SZ23	4,97-SZ01	5,56	1,106	yok

Tablo 4.8. X deprem yönü -5 eksantrisite için A1 düzensizliği kontrolü

Katlar	h(m)	Δi max (mm)	Δi min (mm)	Δi ort (mm)	η_{bi}	$\eta_{bi}<1,2$
4. Kat	3,00	4,33-S405	3,62-S423	3,97	1,090	yok
3. Kat	3,00	6,65-S303	5,51-S325	6,08	1,094	yok
2. Kat	3,00	8,43-S205	6,97-S224	7,70	1,095	yok
1. Kat	3,00	7,36-S102	7,43-S121	8,21	1,096	yok
Zemin Kat	3,00	6,15-SZ03	4,97-SZ21	5,56	1,106	yok

Tablo 4.9. Y deprem yönü +5 eksantrisite için A1 düzensizliği kontrolü

Katlar	h(m)	Δi max (mm)	Δi min (mm)	Δi ort (mm)	η_{bi}	$\eta_{bi}<1,2$
4. Kat	3,00	4,31-S405	3,60-S411	3,96	1,091	yok
3. Kat	3,00	6,64-S315	5,50-S321	6,07	1,094	yok
2. Kat	3,00	8,42-S205	6,96-S216	7,69	1,095	yok
1. Kat	3,00	8,99-S115	7,42-S121	8,20	1,096	yok
Zemin Kat	3,00	6,12-SZ15	4,99-SZ01	5,53	1,105	yok

Tablo 4.10. Y deprem yönü -5 eksantrisite için A1 düzensizliği kontrolü

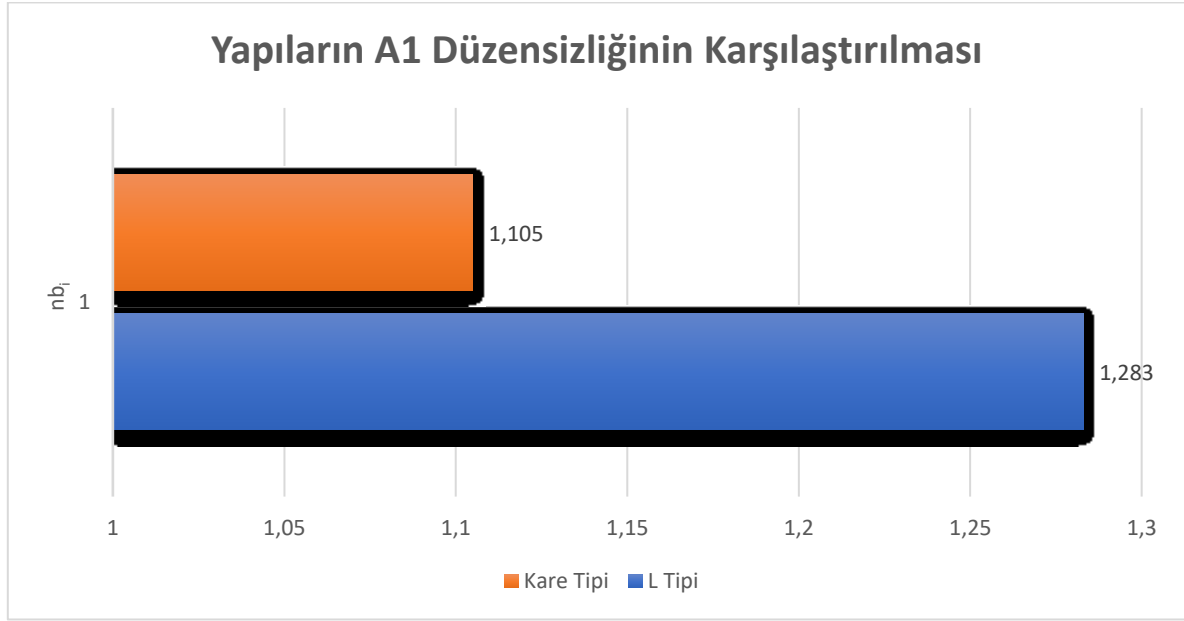
Katlar	h(m)	Δi max (mm)	Δi min (mm)	Δi ort (mm)	η_{bi}	$\eta_{bi}<1,2$
4. Kat	3,00	4,31-S421	3,60-S415	3,95	1,091	yok
3. Kat	3,00	6,63-S316	5,50-S305	6,07	1,094	yok
2. Kat	3,00	8,42-S221	6,96-S210	7,69	1,095	yok
1. Kat	3,00	8,99-S111	7,41-S105	8,20	1,096	yok
Zemin Kat	3,00	6,12-SZ11	4,95-SZ05	5,54	1,105	yok

Kare tipi yapının A1 burulma düzensizliği kontrolü TBDY-2018 de verilen sınır koşullarına göre yapıldığında tablo 4.7, 4.8, 4.9 ve 4.10'da x ve y deprem yönü ± 5 eksantrisite etkisinde burulma sınır değeri olan koşulunu aşmamıştır ve kare tipi yapıda A1 düzensizliği bulunmamaktadır.

4.1.3. Yapıların A1 Düzensizliklerinin Karşılaştırılması

Araştırmacılar tarafından üzerinde fazlaca çalışmaların yapıldığı burulma düzensizliği yapı düzensizlikleri arasında çok büyük önem arz eder. Burulma düzensizliğini birkaç faktör etkiler. Bunlardan biri de yapının kütle ve rijitlik merkezinin çakışmaması sorunudur [4]. Ayrıca farklı geometrik şekillerde tasarlanan yapılarda A1 burulma düzensizliği görülmektedir. Yapı farklı geometrik şekillerde tasarlandığında, düşey taşıyıcı elemanların simetrik ve aynı aks boyunca yerleştirilmesi pek mümkün olmamaktadır, yapının düşey taşıyıcı elemanlarının yoğunlukta olduğu noktada, rijitlik merkezinin bileşkesi toplanır ve bu rijitlik merkeziyle yapının tüm yükünün bileşkesinin geçtiği nokta olarak kabul edilen kütle merkezi arasında çok büyük farklar olması durumunda, oluşan bu farklardan kaynaklı eksantrisite ikinci derece kuvvet etkileri sebebiyle burulmalara sebep olur. Literatür taramasından elde edilen veriler doğrultusunda yapılan çalışmada, bulgular kısmında modal yöntemle analizi yapılan 2 farklı geometriye sahip yapının analiz sonucunda elde edilen verileri şekil 4.5'de karşılaştırılmıştır. Farklı geometrilerde tasarlanan L tipi yapıda burulma düzensizliği katsayısının 1,283 çıktığı görülmektedir. Diğer incelenen kare tipi düz ve sade olarak tasarlanan yapıda ise deprem kuvvetleri etkisinde burulma düzensizliği katsayısının 1,105 çıktığı görülmüştür. Grafik incelendiğinde ideal taşıyıcı sistem olarak bilinen kare tipi yapıda burulma düzensizliği görülmezken, yapı geometrisi L tipi seçildiğinde ise burulma düzensizliği katsayısının 1,2'den büyük çıktığı görülmüştür. Bu grafikte şu sonuç çıkarılabilir

yapılar düzgün geometrik formlarda değil de estetik kaygılarla farklı geometrik şekillerde tasarlandığında yapının x ve y doğrultusunda eşit sayıda taşıyıcı eleman bulunmaz. Bu durumda yapı bir doğrultuda güçlü olur ve o doğrultuda etkileyecek deprem kuvvetlerine karşı iyi bir davranış gösterebilirken zayıf olduğu doğrultuda gelebilecek bir deprem kuvvetine karşın büyük hasarlar alabilmektedir. Deprem kuvvetinin deprem esnasında yapıya hangi yönden etkileyeceğini bilinmediği için yapıyı hem x hem de y doğrultusunda gelebilecek deprem kuvvetlerine karşın yeterli rijitliği sağlayabilecek şekilde taşıyıcı elemanları yerleştirmek gerekmektedir.



Şekil 4.5. Yapıların A1 düzensizliğinin karşılaştırılması

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapıların taşıyıcı sistemi belirlenirken dikkat edilmesi gereken hususlardan biri de Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018’de belirtilen yapının düzensizlik durumlarıdır. Düzensizlik durumları A planda düzensizlik ve B düşeyde düzensizlik durumları olarak 2’ye ayrılmaktadır. Çalışmada yapıların geometrik şekillerindeki farklılığın A1 burulma düzensizliğine etkisi incelenmiştir. Bu kapsamda ideal düzgün kare geometrisine sahip kare tipi yapı ile geometrik şekli düzgün olmayan L tipi yapının analizi yapılar x ve y doğrultusunda +5,-5 eksantrisine etkisinde burulma düzensizlik katsayıları bulunmuş ve 2018 deprem yönetmeliğinde belirtilen burulma katsayısı koşulunu sağlayıp sağlamadığı kontrol edilmiştir. Analiz sonucunda kare tipi yapının maksimum burulma katsayısı 1,105 bulundu, elde edilen bu değerin sınır değerini geçmediği görülmüştür. L tipi yapının ise burulma katsayısı nb₁ değerinin 1,283 çıkmıştır bu sonuç yapının geometrik şeklindeki farklılığın, burulma düzensizliği katsayısını artırdığı analiz sonucunda saptanmıştır.

Yapılan çalışmadan çıkan sonuç şudur; Yapı aynı konum ve malzeme özelliklerine sahip olarak tasarlanmış olsa bile yapının plan geometrisi çok önemlidir. Çalışmada incelenen kare ve L tipi yapının konum ve malzeme özelliklerinin hepsi aynıdır, farklı olan tek noktaları plan geometrileridir. İdeal kare tipi olarak tasarlanan yapıda herhangi burulma düzensizliği katsayısı, ideal olmayan bir geometriye sahip L tipi yapının deprem kuvveti etkisinde burulma katsayısının daha düşük çıktığı görülmüştür. Literatürde yapılan çalışmalar ve bu çalışma kapsamında incelenen yapılar dikkate alındığında düzgün geometrik şekillere sahip yapıların deprem kuvvetleri etkisinde kütle ve rijitlik merkezlerinin de birbirine yakın olması sebebiyle yapılarda burulma görülmez ve deprem etkileri karşısında istenilen bir performans sergilerler.

KAYNAKLAR

- [1] Çavdar, Ö. ve Yolcu, A. Mevcut Bir Okul Binasının Tür Bina Deprem Yönetmeliği 2018'e göre Yapısal Düzensizliklerinin İncelenmesi. Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi. 2018;8(2):153-164.
- [2] Çırpan, B. Çok katlı Çelik Yapılarda Yapı Geometrisinin Taşıyıcı Sistem Davranışına Etkisi ve İdeal Geometrik Formun Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, 2017.
- [3] Döndüren, M.S., Karaduman, A., Çöğürçü, M.T. ve Altın, M. Yapılarda Burulma Düzensizliği. Selcuk University Journal of Engineering Sciences, 2007;6(1):45-52.
- [4] Erol, O. Planda Düzensiz Yapıların Deprem Yönetmeliğine Göre İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1999.
- [5] İnan, T. ve Korkmaz, K. Düşey Doğrultudaki Yapı Düzensizliklerinin İncelenmesi. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 2012;28(3):240-248.
- [6] Kaya, G., Özbay ve Özsoy, A.E. Perde ve Çerçeveli Betonarme Yapılarda Perde Konumunun Planda Düzenlenmesi ve Yapısal Davranışa Etkisi. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 2019;7(1):7-17.
- [7] Kutlu, K.E. Betonarme Binaların Taşıyıcı Sistem Seçiminde Perde Yerleşiminin Davranışa Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2019.
- [8] Özmen, G. Plan Geometrisinin Burulma Düzensizliğine Etkisi, Mühendislik Haberleri, Türkiye, 2000.
- [9] Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018. T.C. Resmî Gazete (30364, 18 Mart 2018). ÇŞB (T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı).
- [10] Aydoğan, M. Bir Su Deposunun Taşıyıcı Sisteminin Karbon Fiber Malzeme İle Güçlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Aydın Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul, 2020.
- [11] Varol, K. Mevcut Binalarda Taşıyıcı Sistem Düzensizliklerinin Belirlenmesine Yönelik Bir Çalışma. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, 2021;(33):32-39.
- [12] Yorulmaz, M. Betonarme Yapılarda A1 Düzensizlik Durumunun Değişik Deprem Bölgelerinde Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, KTO Karatay Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2018.
- [13] Kurt, C. Çerçeveli ve Perdeli Çerçeveli Binalarda A1 Türü Düzensizliklerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2010.

- [14] Ulusoy, Ö. ve Güven, S.S. Betonarme Yüksek Yapıların TDY'ne Göre Plan Düzensizliklerinin Örnek Yapılarla. Çukurova Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 2019;38-2.
- [15] İde-CAD Statik (V10.94) yapı analiz programı, İde-YAPI Bilgisayar Destekli Tasarım Mühendislik Danışmanlık ve Taahhüt Limited Şirketi.



Beton Dökümü İşleminde İş Kazası Risklerinin Çeşitli Metotlarla Karşılaştırılması

Aykut SEMERCİ

Pamukkale Üniversitesi, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, Denizli, Türkiye
ORCID No: 0000-0002-2532-8868, e-mail: asemerci@pau.edu.tr

(Alınış/Arrival: 14.02.2023, Kabul/Acceptance: 18.05.2023, Yayınlanma/Published: 15.06.2023)

Özet

İnşaat sektörü iş sağlığı ve güvenliği açısından çok tehlikeli risk grubundadır ve işletmelerde tehlikeleri değerlendirme ve risk analizlerini uzmanlar tarafından yapılması gerekir. Bu sektörde meydana gelen iş kazaları diğer sektörler göre oldukça fazladır. Beton sektörü, kullanılan ekipman ve üretim süreçleri yönüyle en tehlikeli ve riskli sektörlerin başında gelmektedir. Türkiye’de sektörler bağli olarak kullanılan risk değerlendirme yöntemleri, risk seviyeleri, tahmin dereceleri bakımından farklılıklar gösterebilmektedir. Bu çalışmada risk analizleri bir yüksek inşaat mühendisi ve aynı zamanda iş sağlığı ve güvenliği uzmanı tarafından yapılmış olup; beton dökümü işleminde iş kazası risklerinin en çok tercih edilen geleneksel 5x5 Matris (L Matris) ve çimento sektöründe sıklıkla kullanılan Fine-Kinney yöntemi kullanarak risk durumları karşılaştırılmıştır. Bu risk analizleri sonucunda risk sayıları ve seviyeleri tespit edilmiştir. Toplamda 20 riskin L matrisinde 17 ‘i, Fine-Kinney’de ise 7’si dikkate değer risk olarak kabul edilmiştir. L matrisinde 20 maddede 5 madde yüksek ve 12 madde orta risk verdiği için bu kritik analiz daha çok dikkate alınmalıdır. Geleneksel 5x5 Matris (L Matris) ile Fine-Kinney risk analizini karşılaştırdığımızda L Matrisi yöntemi risk analizi sonuçlarındaki seviyeler daha riskli, Fine-Kinney ise daha güvenilir bir tablo sergilemiştir.

Anahtar Kelimeler: Beton Dökümü, 5x5 Matris (L Matris) Yöntemi, Risk, Tehlike, Fine-Kinney Yöntemi

Comparison of Occupational Risks with Various Methods in Concrete Casting Process

Abstract

The construction sector is in a very dangerous risk group from the point of occupational health and safety, and hazard assessment and risk analysis in enterprises should be carried out by experts. The number of occupational accidents occurring in this sector is quite high compared to other sectors. The concrete sector is one of the most dangerous and risky sectors in terms of the equipment and production processes used. The risk assessment methods used in Turkey depending on the sectors may differ in terms of risk levels, degrees of prediction. In this study, risk analyses were performed by a high civil engineer and also an occupational health and safety specialist; the risk situations were compared using the traditional 5x5 Matrix (L Matrix), which is the most preferred work accident risks in the concrete pouring process, and the Fine-Kinney method, which is often used in the cement sector. As a result of these risk analyses, the numbers and levels of risk have been determined. In total, 17 of the 20 risks in the L matrix and 7 in Fine-Kinney were considered as significant risks. Since 5 items out of 20 items in the L matrix give high and 12 items give medium risk, this critical analysis should be taken into account more. When we compared the traditional 5x5 Matrix (L Matrix) with the Fine-Kinney risk analysis, the levels in the risk analysis results of the L Matrix method were more risky, while the Fine-Kinney showed a more reliable picture.

Keywords: Concrete Casting, 5x5 Matrix (L Matrix) Method, Risk, Hazard, Fine-Kinney Method

1. GİRİŞ

Son yıllarda teknolojinin gelişmesiyle birlikte sektörler üzerinde yaşanan değişim sonucu meydana gelen iş kazaları iş sağlığı ve güvenlik tedbirlerini de artırmaktadır. İnsan sağlığını olumsuz etkileyen iş kazaları sonucu meydana gelen riskleri minimum düzeye indirmek için iş sağlığı ve güvenliği adına birçok çalışma yapılmaktadır. Sektörler olarak bakıldığında iş kazası ve buna bağlı olarak Türkiye'de iş kazalarının en çok görüldüğü alanlar arasında madencilik, imalat ve inşaat sektörü gelmektedir. Ölümle sonuçlanan iş kazalarının başını ise inşaat sektörü oluşturmaktadır. Sektör, ekonomik güç olarak işgücü imkânlarıyla ülkemiz ekonomisinin yaklaşık %35'lik payını oluşturur [10]. İnşaat sektörü büyük payının en başında olmasına rağmen bunun yanı sıra, çokça diğer sektörleri de destekler ve bu sektörleri de ayakta tutar. İnşaat sektörü gibi diğer önemli sektörlerin başında; çimento, kimya, beton, ahşap, imalat, madencilik, gibi sektörler gelmektedir [4].

2021 yılı Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) ve Sosyal Güvenlik Kurumu (SGK) iş kazası istatistiklerine göre toplamda 31 bin 906'sı erkek toplam 32 bin 131 çalışan işçi bina inşaat sektöründe çalışırken iş kazasına maruz kaldı [6]. Bina dışı yapılarda; karayolu, demiryolu, tünel, su yapıları gibi yapılarda çalışanlarda ise 18 bin 318 çalışan iş kazası geçirdi [6]. Bu sektörde iş kazalarına baktığımızda bina inşaatında çalışan 214 çalışan, bina dışı inşaatlarında çalışan 106 çalışan hayatını kaybetti [6]. Sektörel olarak baktığımızda inşaat işinde yaşanan iş kazaları ve çalışanların ölümü %88'i tehlikeli hareketler, %10'u tehlikeli koşullar sebebiyle gerçekleşiyor [6]. Kazaların temel nedenlerine baktığımızda çalışanlar çoğunluklu olarak yüksekte düşme sonucunda hayatını kaybediyor. İnşaat sektörü dışında çalışanların en çok iş kazası geçirdiği alanlar ise şu şekildedir [6]:

- Fabrikasyon metal imalatı (30 bin 599 iş kazası)
- Tekstil imalatı (28 bin 816 iş kazası)
- Gıda ürün imalatı (27 bin 962 iş kazası)
- Yiyecek ve içecek hizmetleri faaliyetleri (27 bin 020 iş kazası)

Beton sektörü, kullanılan ekipman ve üretim süreçleri yönüyle en tehlikeli ve riskli sektörlerin başında gelmektedir. Şantiyede gerekli üretimi sürdürmek için büyük bir insan gücüne ihtiyacın olunması ve tehlikeli ekipmanlarını kullanacak çalışanların gerekli iş sağlığı ve güvenliği önlemleri alması şarttır [4]. İnşaat, çok sayıda karmaşık bileşeni olan faaliyetleri oluşturur. Bu karmaşık işlerin aynı anda yapılması gerektiği anlamını taşır [4].

Riskleri sayısal büyüklük olarak tanımladığımızda ve risklerin analiz edilmesi aşamasında kullanılacak birçok teknik metotlar vardır; X Tipi Matris, Hata Türleri ve Etkileri Analizi, Fine-Kinney Tekniği, Tehlike Derecelendirme Tekniği, Papyon Modeli ya da Ridley Tekniği örnek olarak gösterilebilir [18]. Bu tekniklerin her birinin kendine özgü özellikleri vardır. L tipi matris İSG bilgi seviyesi ile diğer tekniklerden ayrılırken, riskin sayısal değerini oluşturma aşamasında riske ait olasılık ve şiddet değerlerini kullanır [13,14]. Öte yandan Fine-Kinney tekniği risk skorunu belirlerken, olasılık, şiddet ve frekans değişkenlerini ele alır ve risk değerlerini 5 seviyede inceler [15]. X tipi matris ise, riski sayısal bir değer olarak oluştururken; etkilenecek personel sayısı, geçmiş kaza istatistikleri, olasılık ve şiddet değişkenlerini dikkate alır ve tecrübeli bir personele ihtiyaç duymaktadır [16]. Hata türü ve etkileri analizi ise, riskleri öncelikli olarak sayısal bir değer olarak oluşturur, sonrasında olasılık, şiddet ve tespit edilebilirlik değişkenlerini kullanır [13,17].

Bu çalışmada günümüz koşulları ve teknolojisinde beton dökümü işleminde iş kazası risklerinin en çok tercih edilen geleneksel 5x5 Matris (L Matris) ve çimento sektöründe sıklıkla kullanılan Fine-Kinney yöntemi kullanarak risk durumları karşılaştırılmak istenmiştir. Böylece farklı risk analizleri metotları ile birbiri arasında benzerlik, farklılık ve uygulanabilirliğini incelemiştir.

2. MATERYAL VE METOT

İnşaat sektörlerinin çimento ve beton üretiminde olduğu gibi iş güvenliği mevzuatları ve yönetmeliklerinde de risk analizinin önemi vurgulanmaktadır. Bu sektörlerin çeşitli kollarında tehlike ve riskleri belirlemeden önce tehlike ve risk kavramlarını içeren tanımlamaları yapmak gerekir. Riskler kişiye bağlı, çevresel, ya da işten kaynaklı olmaktadır. Tehlikeyi tanımlayacak olursak, sonucunda zarara veya yaralanmaya neden olma potansiyeli olan her şeydir. Risk ise bir tehlikeden meydana gelecek yaralanma veya zarar meydana getirme olasılığıdır. Risk analizi yapmak için çok çeşitli teknikler geliştirilmiştir. Bu teknikler bazen sektörden sektöre değişmektedir bazen ise sıklıkla kullanılan yöntemler olmaktadır. İnşaat sektörü olarak düşündüğümüzde en çok kullanılan yöntem matris tipi risk değerlendirmesi metodudur. Ülkemizde 2012 yılında 6331 sayılı iş sağlığı ve güvenliği kanununda yayımlanan bilgiye göre bütün iş yerlerinde risk değerlemesi yapılmasını zorunlu kılmıştır ve işverenin gerekli tüm önlemleri alması, çalışanlarında işverenin almış olduğu önlemlere uyulması açısından her iki tarafa bu kanun önemli yükümlülükler getirmiştir. Bu sebeple tüm işletmeler işyerini ve çalışanlarını olumsuz yönde etkileyebilecek kaza risk faktörlerini önce tespit etmeli sonrasında analiz etmelidirler. İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirmesi Yönetmeliği'nin 8. maddesinin, 1. fıkrasında tehlikelerin tanımlanmasına yönelik bilgi toplanması gereken bilgi kaynakları asgari ve genel olarak belirtilmiştir [12,19].

Çalışma kapsamında büyük ölçekli ve küçük ölçekli inşaat şantiyeleri ziyareti gerçekleştirilmiştir. Risk analizleri bir yüksek inşaat mühendisi ve aynı zamanda iş sağlığı ve güvenliği uzmanı tarafından yapılmış olup piyasada en çok kullanılan en kolay analiz yöntemi olan L Tipi Matris yöntemi ile çimento sanayisi uygunluğu sebebiyle Fine-Kinney Metodu tercih edilmiştir. Risk analizi için kullanılan çok çeşitli metotlar vardır ve bu çalışma kapsamında Fine-Kinney risk analizi yöntemi ve L tipi matris yöntemi karşılaştırılmıştır [3]. Fine yöntemi ilk olarak 1971 yılında önermiştir [5]. Kinney ve Wiruth tarafından 1976 yılında bu yöntemi detaylı olarak bir risk analizi haline getirmişlerdir [5]. Fine- Kinney risk analizi İş Sağlığı ve Güvenliği (İSG) risk değerlendirmesinde Avrupa'da yaygın olarak kullanılmaktadır [5]. Türkiye de ise bu yöntem 2012 yılından sonra yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Çimento sektörü başta olmak üzere, çeşitli inşaat ve sanayi firmalarında sıklıkla kullanıldığı gözlenmektedir. Bu yöntemde risk puanını elde etmek için üç risk faktörü çarpılır; bunlar Frekans (F), Olasılık (O) ve Şiddet (S)'tir.

$$\text{Risk Puanı} = \text{Frekans} \cdot \text{Olasılık} \cdot \text{Şiddet} \quad (1)$$

Tablo 1. Frekans Tablosu [8]

Frekans	F Değeri
Sürekli	10
Sık sık (Günde 1 defa)	6
Ara Sıra (Haftada bir defa)	3
Sık Değil (Ayda bir defa)	2
Nadiren (Yılda birkaç defa)	1
Çok Nadir (Yılda bir veya daha seyrek)	0.5

Tablo 2. Olasılık Tablosu [3]

Olasılık	O Değeri
Kesin Beklenir	10
Oldukça Mümkün	6
Mümkün	3
Mümkün ama Düşük İhtimal	1
Mümkün ancak Beklenmeyen	0.5
Pratik Olarak İmkânsız	0.2
Neredeyse İmkânsız	0.1

Tablo 3. Şiddet Tablosu [9]

Şiddet	Ş Değeri
Ramak Kala	1
Küçük hasar, Yaralanma, Basit tedavi	3
Önemli Hasar, Yaralanma, Tıbbi Tedavi	7
Kalıcı Hasar, Sakatlık, Uzun süreli tedavi	15
Ölüm	40
Birden fazla ölüm	100

Tablo 4 'de frekans, olasılık ve şiddetin çarpımıyla elde edilen risk düzeyinin sınıflandırılması ve önlem seviyesi yer almaktadır.

Tablo 4. Risk Sınıflandırması [2]

Şiddet	R Değeri
$R > 400$	Çok Büyük Risk: Hemen gerekli önlemler alınmalı sürecin durdurulması düşünülmelidir.
$200 \leq R \leq 400$	Esaslı Risk: Hemen önlem alınmalıdır.
$70 \leq R < 200$	Önemli risk: Önlem almaya ihtiyaç vardır.
$20 \leq R < 70$	Olası risk: Süreç gözetim altına alınmalıdır.
$R < 20$	Önemsiz risk: Önlem öncelikli değildir.

Risk değerlendirme analizlerinde L Tipi Matris yöntemi (5x5 matris diyagramı), Amerika Birleşik Devletleri Savunma Bakanlığı tarafından 2000 yılında çıkarılan MIL_STD_882D standardında askeriye'nin standart uygulamaları kapsamında sistem güvenliğinin kontrolden geçirilerek "sıfır kaza" hedefini gerçekleştirmek amacıyla ilişkili olduğu değerlendirmelerde sebep kaynağı ve göstereceği sonuç arasında bağlantıyı gösteren bir metottur [1]. L Tipi Matris endüstriyel balıkçı gemilerinde, işçi sağlığının uygunluğunun değerlendirilmesinde, balıkçı gemilerinde iş sağlığı ve güvenliğinin değerlendirilmesinde, bilişim sistemleri gibi alanlarında risk değerlendirmesi yapılması amacıyla kullanılmaktadır [1]. L Tipi Matris de risk değeri aşağıdaki formülde gösterilmektedir.

Risk değeri = Şiddet . Olasılık formülüyle ifade edilmektedir. (2)

L tipi matris yönteminde, risk değerlendirmesi analizinde elemanların zarar potansiyel seviyeleri; olasılık değerlendirme (Tablo 5) ve şiddet derecelendirme (Tablo 6) tanımlanmaktadır. Risk seviyelerinin sınıflandırıldığı risk değerlendirme matris tablosu da (Tablo 7) olasılık değerlendirme ve şiddet derecelendirme bir tabloda karşılaştırılarak bulunur [1]. İncelenen elemanın zarara yönelik olasılığı ve şiddet arasında ilişki kurularak Tablo 8'de önemli risk, orta düzey risk, kabul edilebilir risk ve kabul edilmez risk seviyesi olarak gruplanmıştır [1].

Tablo 5. Olasılık Değerlendirme [7]

Puan	Olasılık	Derecelendirme
1	Çok küçük	1 Çok küçük Hemen hemen hiç
2	Küçük Hemen hemen hiç	Çok az (Yılda bir kez)
3	Orta Az	Az (yılda birkaç kez)
4	Yüksek	Sıklıkla (ayda bir)
5	Çok Yüksek	Çok sıklıkla (haftada bir, her gün)

Tablo 6. Şiddet Derecelendirme [7]

Puan	Olasılık	Derecelendirme
1	Çok hafif	İş saati kaybı yok, ilkyardım gerektiren
2	Hafif	İşgünü kaybı yok, kalıcı etkisi olmayan, ayakta tedavi ilkyardım gerektiren
3	Orta	Hafif yaralanma, yatarak tedavi gerekir
4	Ciddi	Ciddi yaralanma, uzun süreli tedavi, meslek hastalığı
5	Çok ciddi	Ölüm, sürekli iş göremezlik

Tablo 7. Risk Skor Matrisi Tablosu [9]

Risk Skoru = Olasılık . Şiddet	Şiddet				
OLASILIK	1- Çok hafif	2-Hafif	3- Orta	4-Ciddi	5- Çok ciddi
1- Çok küçük	Önemsiz 1	Düşük 2	Düşük 3	Düşük 4	Düşük 5
2- Küçük	Düşük 2	Düşük 4	Düşük 6	Orta 8	Orta 10
3- Orta	Düşük 3	Düşük 6	Orta 9	Orta 12	Yüksek 15
4- Yüksek	Düşük 4	Orta 8	Orta 12	Yüksek 16	Yüksek 20
5- Çok yüksek	Düşük 5	Orta 10	Yüksek 15	Yüksek 20	Kabul Edilemez 25

Tablo 8. Sonucun kabul edilebilirlik değerleri [9]

SONUÇ	EYLEM
Kabul Edilemez Riskler (25)	Riskler kabul edilebilir bir seviyeye düşürülmelidir bu sebeple işler durdurulmalı risk seviyesi kabul edilebilir seviyeye gelene kadar faaliyetler devam etmemelidir.
Önemli Riskler (15,16,20)	Riskler azaltılıncaya kadar işler devam etmemelidir ve acil önlemler alınmalıdır. Bu alınan önlemler sonucunda faaliyetlerin devamına karar verilmelidir.
Orta Düzeydeki Riskler (8,9,10,12)	Riskleri düşürmek için önlemler alınmalıdır ve bu önlemler zaman alabilir.
Kabul Edilebilir Riskler (2,3,4,5,6)	Riskleri ortadan kaldırmak için ilave tedbirlere ihtiyaç olmayabilir. Ancak mevcut kontroller devam etmeli ve bu kontrollerin devamlılığı denetlenmelidir.
Önemsiz Riskler (1)	Riskleri ortadan kaldırmak için kontrol tedbirlerini planlamaya ve gerçekleştirilecek faaliyetleri kayıt altına almaya gerek olmayabilir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Beton dökümü işleminde meydana gelebilecek tehlikeler aşağıda verilmiştir ve L matris ve Fine-Kinney metot kullanarak risk analizleri Tablo 9 ve 10 da gösterilmiştir. Olasılıklar, iş sağlığı ve

güvenliği uzmanı aynı zamanda inşaat mühendisi olan kişi tarafından yapılmış olup ve beton dökümü esnasında yaşamış olduğu tecrübeler çerçevesinde risk analizleri yapılmıştır. Beton döküm işleminde potansiyel tehlikeden etkilenebilecek elemanlar saha personelleri ve operatörlerdir. Bu kapsamda beton döküm işlemi öncesinde ve sırasındaki tehlikeli durumlar şunlardır:

- Beton pompasının devrilmesi,
- Saha personeline veya operatöre mikser çarpması,
- Mikserle beton pompası arasına saha personelinin sıkışma,
- Boruların Çıkması,
- Fil hortumunun çalışanların üzerine düşmesi,
- Beton kimyasallarının çalışanların el ve yüze direkt temas etmesi,
- Şoför, operatör, fil hortumu ustasının iş bilgisi yetersizliği ve deneyimsizliği,
- Araçlarda donanım ve bakım eksikleri,
- Araç sürüş kullanım usuller,
- Boru hattı tıkanıkları,
- Beton dökümünde çok uzun yatay ve dikey hatlar için yapılacak uzantılar,
- Meteorolojik koşullar,
- Yangın,
- Fil hortumundan çalışanların elektrik çarpması,
- Çalışanların kişisel koruyucu ekipmanlarının kullanılmaması,
- Çalışanların yüksekte düşme,
- Düzensiz malzeme dizilimi, dağınık eşyaya takılıp düşme,
- Uygun olmayan duruş ve çalışma şekilleri,
- Yalnız çalışma,
- Gürültü

Tablo 9. L Matrisi Risk Analizi

Risk No	Potansiyel Tehlike Eleman	Tehlikeli Durum	Tespit Edilen Risk	Riskin Değerlendirilmesi			Sonuç
				Olasılık (1-5)	Şiddet (1-5)	Risk Skoru	
1	Saha Personeli-Operatör	Beton pompasının çalışanların üzerine devrilmesi	Yaralanma veya Ölüm	2	5	10	Orta Düzeydeki Risk
2	Saha Personeli-Operatör	Transmikserin Çalışan/Operatöre Çarpması	Yaralanma veya Ölüm	2	5	10	Orta Düzeydeki Risk
3	Saha Personeli-Operatör	Transmikser ile Beton Pompası Arasına Sıkışma	Yaralanma veya Ölüm	3	5	15	Önemli Riskler
4	Saha Personeli-Operatör	Boruların Çıkması	Yaralanma veya Ölüm	2	5	10	Orta Düzeydeki Risk

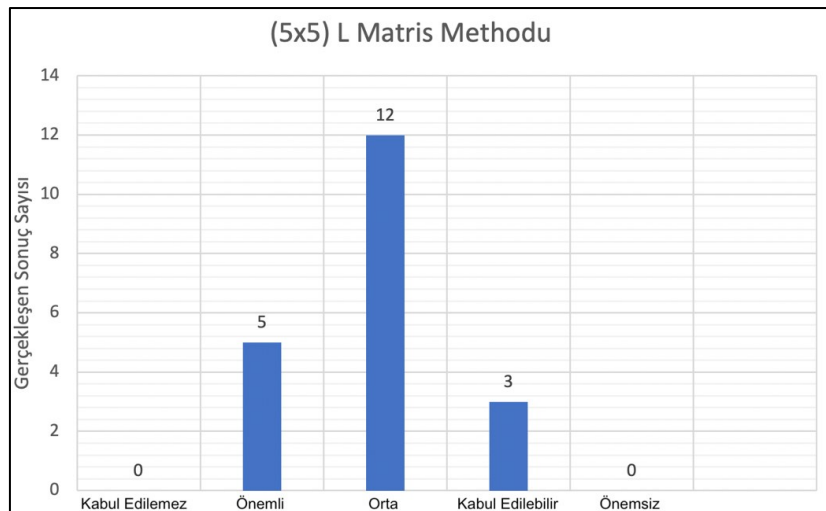
5	Saha Personeli-Operatör	Fil Hortumunun Düşmesi	Yaralanma veya Ölüm	2	5	10	Orta Düzeydeki Risk
6	Saha Personeli-Operatör	Beton Kimyasallarının El ve Yüze Direkt Temas Etmesi	Yaralanma ve Zehirlenme	4	4	16	Önemli Riskler
7	Saha Personeli-Operatör	Şoför, Operatör, Fil Hortumu Ustasının İş Bilgisi Yetersizliği ve Deneyimsizliği	Dikkatsizlik Sonucu Yaralanma	3	4	12	Orta Düzeydeki Risk
8	Saha Personeli-Operatör	Araçlarda Donanım ve Bakım Eksikleri	Yaralanma veya Ölüm	3	5	15	Önemli Riskler
9	Saha Personeli-Operatör	Araç Sürüş Kullanım Usuller	Yaralanma veya Ölüm	3	5	15	Önemli Riskler
10	Saha Personeli-Operatör	Boru Hattı Tıkanıkları	Yaralanma	2	4	8	Orta Düzeydeki Risk
11	Saha Personeli-Operatör	Beton Dökümünde Çok Uzun Yatay ve Dikey Hatlar İçin Yapılacak Uzantılar	Yaralanma veya Ölüm	3	5	15	Önemli Riskler
12	Saha Personeli-Operatör	Meteorolojik Koşullar	Yaralanma	2	4	8	Orta Düzeydeki Risk
13	Saha Personeli-Operatör	Yangın	Yaralanma veya Ölüm	2	5	10	Orta Düzeydeki Risk
14	Saha Personeli-Operatör	Fil Hortumundan Elektrik Çarpması	Yaralanma veya Ölüm	1	5	5	Kabul Edilebilir Risk
15	Saha Personeli-Operatör	Kişisel Koruyucu Ekipmanlarının Kullanılmaması	Yaralanma	4	3	12	Orta Düzeydeki Risk
16	Saha Personeli-Operatör	Yüksekten Düşme	Yaralanma	3	4	12	Orta Düzeydeki Risk
17	Saha Personeli-Operatör	Düzensiz Malzeme Dizilimi, Dağınık Eşyaya Takılıp Düşme	Yaralanma Ezilme ve Burkulma	2	3	6	Kabul Edilebilir Risk
18	Saha Personeli-Operatör	Uygunsuz Duruş ve Çalışma Şekilleri	Kas iskelet sistemi Ağrısı Oluşma	4	3	12	Orta Düzeydeki Risk
19	Saha Personeli-Operatör	Yalnız Çalışma	Dikkatsizlik Sonucu Yaralanma	1	4	4	Kabul Edilebilir Risk
20	Saha Personeli-Operatör	Gürültü	İşitme Kaybı	3	4	12	Orta Düzeydeki Risk

Tablo 10. Fine-Kinney Risk Analizi

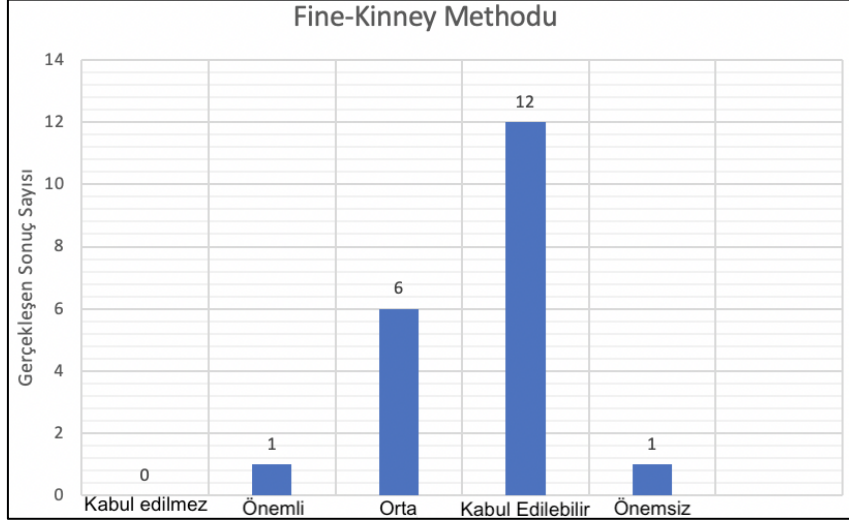
Risk No	Potansiyel Tehlike Eleman	Tehlikeli Durum	Tespit Edilen Risk	Riskin Değerlendirilmesi				Sonuç
				Olasılık (0,2-10)	Frekans (0,5-10)	Sonuç Skalası = (1-100)	Risk Skoru = O X F X S	
1	Saha Personeli-Operatör	Beton pompasının çalışanların üzerine devrilmesi	Yaralanma veya Ölüm	1	1	40	40	Olası Risk
2	Saha Personeli-Operatör	Transmikserin Çalışan/Operatöre Çarpması	Yaralanma veya Ölüm	1	1	40	40	Olası Risk
3	Saha Personeli-Operatör	Çalışanların transmikser ile beton pompası arasına sıkışma	Yaralanma veya Ölüm	3	1	40	120	Önemli Risk
4	Saha Personeli-Operatör	Boruların Çıkması	Yaralanma veya Ölüm	3	1	40	120	Önemli Risk
5	Saha Personeli-Operatör	Fil Hortumunun Düşmesi	Yaralanma veya Ölüm	3	1	40	120	Önemli Risk
6	Saha Personeli-Operatör	Beton Kimyasallarının El ve Yüze Direkt Temas Etmesi	Yaralanma ve Zehirlenme	6	2	7	84	Önemli Risk
7	Saha Personeli-Operatör	Şoför, Operatör, Fil Hortumu Ustasının İş Bilgisi Yetersizliği ve Deneyimsizliği	Dikkatsizlik Sonucu Yaralanma	3	1	7	21	Olası Risk
8	Saha Personeli-Operatör	Araçlarda Donanım ve Bakım Eksikleri	Yaralanma veya Ölüm	3	1	15	45	Olası Risk
9	Saha Personeli-Operatör	Araç Sürüş Kullanım Usuller	Yaralanma veya Ölüm	3	1	15	45	Olası Risk
10	Saha Personeli-Operatör	Boru Hattı Tıkanıkları	Yaralanma	3	1	7	21	Olası Risk
11	Saha Personeli-Operatör	Beton Dökümünde Çok Uzun Yatay ve Dikey Hatlar İçin Yapılacak Uzantılar	Yaralanma veya Ölüm	3	1	15	45	Olası Risk

12	Saha Personeli-Operatör	Meteorolojik Koşullar	Yaralanma	1	1	7	7	Önemsiz Risk
13	Saha Personeli-Operatör	Yangın	Yaralanma veya Ölüm	3	1	40	120	Önemli Risk
14	Saha Personeli-Operatör	Fil Hortumundan Elektrik Çarpması	Yaralanma veya Ölüm	3	1	40	120	Önemli Risk
15	Saha Personeli-Operatör	Kişisel Koruyucu Ekipmanlarının Kullanılmaması	Yaralanma	6	3	15	270	Esaslı Risk
16	Saha Personeli-Operatör	Yüksekten Düşme	Yaralanma	3	1	15	45	Olası Risk
17	Saha Personeli-Operatör	Düzensiz Malzeme Dizilimi, Dağınık Eşyaya Takılıp Düşme	Yaralanma Ezilme ve Burkulma	3	2	7	42	Olası Risk
18	Saha Personeli-Operatör	Uygunsuz Duruş ve Çalışma Şekilleri	Kas iskelet sistemi Ağrısı Oluşma	3	1	7	21	Olası Risk
19	Saha Personeli-Operatör	Yalnız Çalışma	Dikkatsizlik Sonucu Yaralanma	3	2	7	42	Olası Risk
20	Saha Personeli-Operatör	Gürültü	İşitme Kaybı	3	1	7	21	Olası Risk

Şekil 1’de L Matrisini incelediğimizde 5 madde yüksek, 12 madde orta, 3 madde risk seviyesi düşük çıkmıştır. Risk seviyesi yüksek çıkan 5 madde mevcuttur ve risk kabul edilebilir seviyeye düşürülünceye kadar da işin durdurulması gerekmektedir. Düşünülen önlem eğer riski düşürmeye yetmiyorsa faaliyet engellenmelidir. Şekil 2’de Fine-Kinney incelediğimizde 1 madde yüksek, 6 madde orta, 12 madde düşük, 1 madde risk seviyesi çok düşük çıkmıştır. Yüksek risk seviyesinde çıkan 1 madde hemen önlem alınması gerektiği söylenmektedir.



Şekil 1. L Matris Risk Değerlendirme Seviyeleri



Şekil 2. Fine-Kinney Risk Değerlendirme Seviyeleri

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında (5x5) L tipi matris yöntemi ile Fine-Kinney yöntemi beton dökümü işleminde risk analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu risk analizi sonucunda risk sayıları ve seviyeleri tespit edilmiştir. L Matrisini incelediğimizde 5 madde yüksek, 12 madde orta, 3 madde düşük risk seviyesinde çıkmıştır. Fine-Kinney incelediğimizde 1 madde yüksek, 6 madde orta, 12 madde düşük, 1 madde çok düşük risk seviyesinde çıkmıştır. L Matrisi ile Fine-Kinney risk analizini karşılaştırdığımızda L Matrisi yöntemi risk analizi sonuçlarındaki seviyeler daha riskli, Fine-Kinney ise daha iyimser bir tablo sergilemektedir. Toplamda 20 riskin L matrisinde 17 'i, Fine-Kinney'de ise 7'si dikkate değer risk olarak kabul edilmiştir. L matrisinde 20 maddede 5 madde yüksek ve 12 madde orta risk verdiği için bu kritik analiz daha çok dikkate alınmalıdır. Kabul edilemezler riskler ise öncelikli olarak kaynağında yok edilmeli, azaltılmalı ve gerekli korunma önlemleri alınmalıdır. Sonuç olarak beton dökümü esnasında iş kazalarının önlemek için güvenli çalışma ortamı oluşturulmalıdır. Tehlike oluşturacak kaynaklar belirlenmeli ve risk analizi oluşturulmalıdır. İş sağlığı ve güvenliği hizmetleri yönetmeliği esaslarına göre güvenlik önlemlerinin uygulanabilmesi için sorumlular üzerine düşen görevleri yerine getirmelidir.

5. KAYNAKLAR

- [1] Bayraktar H. Sahtiyancı E. ve Kuru A. (2019). Risk Değerlendirme Matris Yöntemi Kullanarak Okullarda Deprem Kaynaklı Yapısal Olmayan Risklerin Olası Etkilerinin Belirlenmesi. Afet ve Risk Dergisi, 2(2), 128-152.
- [2] Baysan F., (2019). İşletmedeki Hidroelektrik Santrallerde Kaza Risklerinin Değerlendirilmesinde Fine- Kinney ve ISO 31000 Yöntemlerinin Uygulanması, Yüksek Lisans Tezi Fen Bilimleri Enstitüsü Çankaya Üniversitesi
- [3] Birgören B., (2017). Fine-Kinney Risk Analizi Yönteminde Risk Analizi Yönteminde Risk Faktörlerinin Hesaplama Zorlukları ve Çözüm Önerileri, Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi, Cilt/Volume:9 Sayı/Issue:1 Ocak/January 2017.
- [4] Ceylan H., Gözüak M. H., (2021). Türkiye’de inşaat sektöründe meydana gelen iş kazalarının iş sağlığı ve güvenliği bağlamında analizi: Güncel eğilimlere genel bir bakış, Sağlık Akademisyenleri, cilt: 8 sayı: 2.
- [5] Güven B., (2018). Bütünleşik Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi ve Bulanık Vıkor Yöntemleri ile Fine-Kinney Risk Değerlendirme Metodu Uygulaması: Silah Endüstrisinde Örnek Çalışma, Yüksek Lisans Tezi, FBE, Yıldız Teknik Üniversitesi.
- [6] URL-1: <https://isghaber.com.tr/haber/12329503/2021-yilinda-is-kazasi-ve-meslek-hastaliklarinda-tablo-iyiye-gitmedi> (Erişim tarihi 07 Ekim 2022)
- [7] Koltan A., Orhon H. Y., Yılmaz, S., Altay, M., Yılmaz, S., Çay, İ. "Risk Değerlendirmede Kullanılan L Tipi Karar Matrisi Yönteminin İşçi Sağlığına Uygunluğunun Değerlendirilmesi". TTB Mesleki Sağlık ve Güvenlik Dergisi 10 (2010): 38-43.
- [8] Sabuncu, Ö., (2019), Karayolu İnşaatında İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirmesi: Türkiye İçin Risk Abağı Önerisi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [9] Özcan M.S., (2019), İnşaat Alanlarında Kullanılan Kaldırma Araçlarının Risk Değerlendirme Yöntemleri ile İş Sağlığı ve Güvenliği Açısından İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [10] URL-2:<https://www.aa.com.tr/tr/ekonomi/insaatin-etkiledigi-250-sektorun-istihdami-6-milyonu-geciyor/2589163>
- [12] Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, Yapı İşlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliği, Resmi Gazete Sayı: 28786, Resmi Gazete Tarihi: 05/10/2013.
- [13] Ak M.F., “Comparison of Risk Assessment Methods within the Scope of Occupational Safety in the Construction Sector”. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi. (18):272-282 (2020).
- [14] Bayraktar H., Sahtiyancı E., ve Kuru A., “Risk Değerlendirme Matris Yöntemi Kullanarak Okullarda Deprem Kaynaklı Yapısal Olmayan Risklerin Olası Etkilerinin Belirlenmesi”. Afet ve Risk Dergisi. 2(2):128- 152 (2019).
- [15] Erzurumluoğlu K., Köksal K. N., ve Gerek İ. H.,“İnşaat Sektöründe Fine-Kinney Metodu Kullanılarak Risk Analizi Yapılması”, 5. İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Sempozyumu, 137, 146. (2015).
- [16] Pırıl T. ve Erol R., “Risk analizi: Bir otomotiv fabrikasında gerçekleştirilen X tipi karar matrisi Uygulaması”. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi. 19(3):91-98 (2016).
- [17] Feryal C.G., Atalay K.D., ve Eraslan E., “Htea Temelli Critic Yöntemi İle Bir Devlet Hastanesinde Risk Değerlendirme Uygulaması.” Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi 6176-187 (2018).
- [18] Adem A., “İş sağlığı ve güvenliğinde kullanılan risk analizi tekniklerinin değerlendirilmesi için bir rehber önerisi”, Politeknik Dergisi, 25(3): 1319-1328, (2022).
- [19] Korkmaz A.V., Büyük Ölçekli İnşaat Şantiyelerinin İş Sağlığı ve Güvenliği Yönünden Değerlendirilmesi, TÜBAV Bilim, Yıl: 2020, Cilt:13, Sayı:1, Sayfa: 1-16.



A Special Type of Time-Dependent Deformation in Clays: Osmotic Compression

Uğur Eren YURTCAN^{1*}

^{1*} Bingöl Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, Bingöl, Türkiye.
ORCID No: 0000-0001-5040-2786, e-mail: ueyurtcan@bingol.edu.tr

(Alınış/Arrival: 08.02.2023, Kabul/Acceptance: 14.06.2023, Yayınlanma/Published: 15.06.2023)

Abstract

Many studies on the chemical interaction of clay are carried out by ensuring that the clay samples are completely exposed to the chemical effect. However, the contact of clays with pollutants is a gradual process that takes time, including the infiltration process. For example, with tsunamis, it is possible for clay soils, which have been away from the effect of salt water for years, to meet with sea water again, although it is marine clay. Therefore, structures built on clay soils that interact with sea water. may experience additional settlements. For such cases, it is essential to understand the basic concepts of osmotic compression phenomenon which is specific to clay soils. Within the scope of this study, osmotic compression which is a special type of time-dependent deformation and specific to clays, is discussed by considering the water retention mechanisms of the clay, the structure and fabric, the principles of time-dependent deformation behavior, the basic mechanisms of the osmotic effect in clays, the estimation of osmotic compression and the usability of the related theory.

Keywords: Osmotic compression, clay-chemical interaction, consolidation, water adsorption

Killerde Özel Bir Zamana Bağlı Deformasyon Türü: Ozmotik Sıkışma

Öz

Kil kimyasal etkileşimi üzerine yapılan birçok çalışma, kil numunelerin tamamen kimyasal etkisine maruz kalması sağlanarak yürütülmektedir. Ancak killerin kirleticilerle teması, sızma sürecinin de dahil olduğu zaman alan tedrici bir süreçtir. Örneğin tsunamilerle denizel kil olmasına rağmen yıllarca tuzlu su etkisinden uzak olan kil zeminlerin deniz suyuyla buluşması olası hale gelmektedir. Deniz suyu ile etkileşime geçen kil zeminler üzerinde inşa edilmiş yapılarda ilave oturmalar gerçekleşmesi olası hale gelmektedir. Bu nedenle kil zeminlerde görülebilen ozmotik sıkışma olgusunun iyi anlaşılması önem kazanmaktadır. Çalışma kapsamında killere özel bir davranış olan zamana bağlı deformasyonun özel bir türü olan ozmotik sıkışma konu alınmıştır. Kapsamlı bir konu olan kilin ozmotik etkiyle sıkışması, kilin su tutma mekanizmaları, yapı ve doku, zamana bağlı deformasyon davranışının esasları, killerde ozmotik etkinin temel mekanizmaları, ozmotik sıkışmanın tahmini ve ilgili teorinin kullanılabilirliği izah edilmeye çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Ozmotik sıkışma, kil-kimyasal etkileşim, konsolidasyon, su adsorpsiyonu

1. INTRODUCTION

Under geostatic loading conditions, total stress state of any point in the soil medium is in equilibrium with effective stress and hydrostatic porewater pressure ($\sigma = \sigma' + u_{\text{hydrostatic}}$). When soil medium is exposed to additional stress, depending upon the permeability and drainage boundary conditions of the medium, it may not be completely transmitted to the soil skeleton in the first place. In cases when drainage occurs very slowly, the additional stress is first met by the porewater resulting in sudden increase in pore water pressure. This additional porewater pressure in excess of hydrostatic pressure is called excess porewater pressure (Δu_{excess}). As time goes on, drainage occurs and excess pore water pressure decreases. The additional stress once carried by the porewater is then transferred to the soil skeleton as a new internal force balance is formed. When enough time has passed, excess pore water pressure is completely dissipated and the entire load is carried by the soil skeleton. While the excess pore water pressure decreases the void ratio decreases as well and consequently, settlement occurs. However, this settlement takes place depending on the drainage conditions of the pore water and the deformation of the soil structure over time. Due to the low permeability of the soil, the delay between the application of the load and the drainage of the pore water, thus during settlement, corresponds to the time-dependent deformation.

In classical soil mechanics, the time-dependent deformation of clays is basically handled under the headings of consolidation and secondary compression. The axial deformation of cohesive soils under load is described in a time-dependent theoretical expression. Here, the structural load is meant rather than the chemomechanical load effect. The drainage time of porewater is one of the key points in the deformation of clays under load. The soil deforms faster than until the excess pore water pressure is dissipated. Afterwards, a settlement process which can be defined as non-ending begins to take place. During settlement of clay, the pore water drains faster than the adsorbed water which brings about two different processes in the deformation of clay soils; (i) consolidation and (ii) secondary compression (Figure 1). Consolidation occurs when free pore water leaves the environment as it drains. Secondary compression includes deformation in the structure, re-equilibrium of internal forces, drainage of adsorbed water, and different mechanisms that have not yet been clearly explained [1,2]. Therefore, identification of how clay soil adsorbs water and the related mechanisms is of great importance in terms of compression behavior.

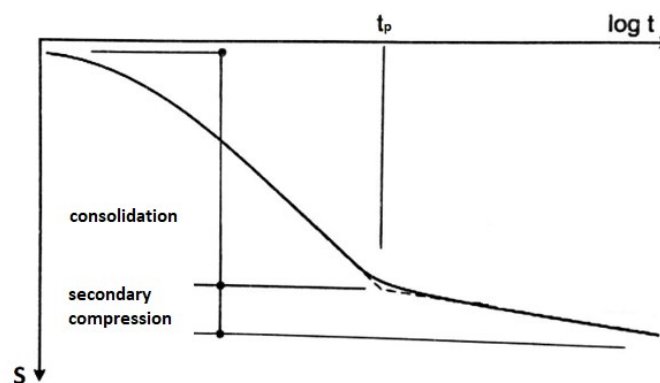


Figure 1. Load-logarithm time graph obtained by uniaxial loading test for clay soils.

In summary, time-dependent deformation of clay soils represents the compression behavior that occurs when free and/or adsorbed water is drained depending on the effect of an external load. On the other hand, osmotic effect caused by the increase in the salt concentration in the pore water creates an external load effect in the clay soil, causing the pore water to drain and creates a compression effect. In many ways, it is very similar to time-dependent deformation. Within the scope of this article, osmotic consolidation, which is specific to clay soils, and which occurs under the effect of hydromechanical load caused by osmotic rather than axial external load will be explained

2. TIME DEPENDENT DEFORMATION

2.1. Free / Adsorbed Pore Water and Double Diffuse Layer Concept

The interaction of clay with water, which includes the intermolecular forces and electromagnetic forces generated by adsorption of water, and water retention mechanisms are fundamental for the mechanical behavior of clay. There are different water retention mechanisms; hydrogen bond, hydration of exchangeable cations, osmosis retention, charged surface – dipole interaction, london dispersion force retention and capillary condensation (Figure 2) [3]. The void water held by clay due to aforementioned mechanisms is called adsorbed water. On the other hand, water unaffected by void water and which can move freely in the ground voids is called free pore water. Clay's affinity for water prevents movement of water easily under load. In particular, the water retention behavior has an important effect on the compression behavior of clay under load.

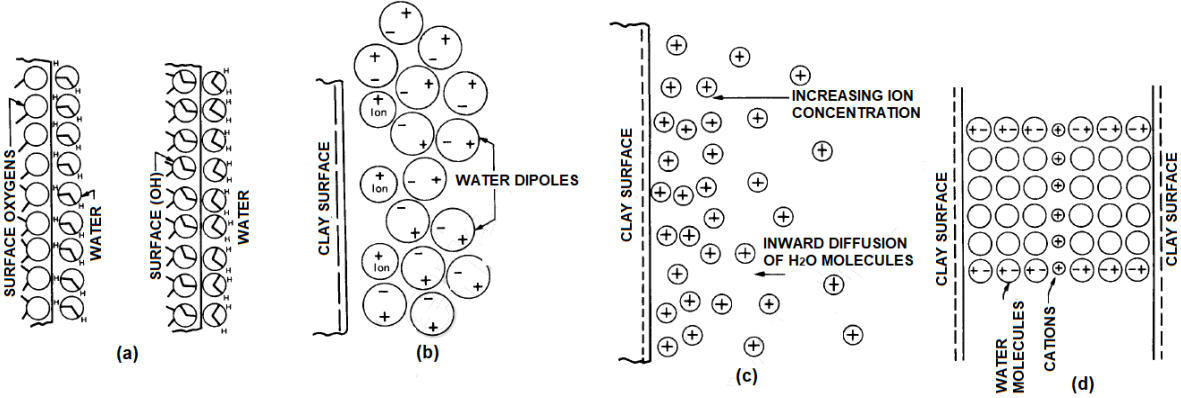


Figure 2. Water retention mechanisms for clay: (a) hydrogen bonding, (b) ion hydration, (c) osmosis retention, (d) dipole attraction [3]

The adsorbed water on the clay surface is in dynamic equilibrium with the effect of the internal forces in equilibrium and is called the double diffuse layer (DDL). The negatively charged clay surface attracts the oppositely charged ions due to Couloumb attractive forces, while the osmotic pressure forces push the oppositely charged ions away from the surface. The dynamic balance created by these two opposing forces creates the double diffuse layer (DDL). The general view of double diffusion layers is shown in Figure 3. The density of oppositely charged ions increase as they approach the surface. The density of the positively charged ions is less

compared to oppositely charged ions. When moving away from the double layer boundary, the ion density reaches the ion concentration (C^∞) in the free solution (not absorbed) (Figure 3)

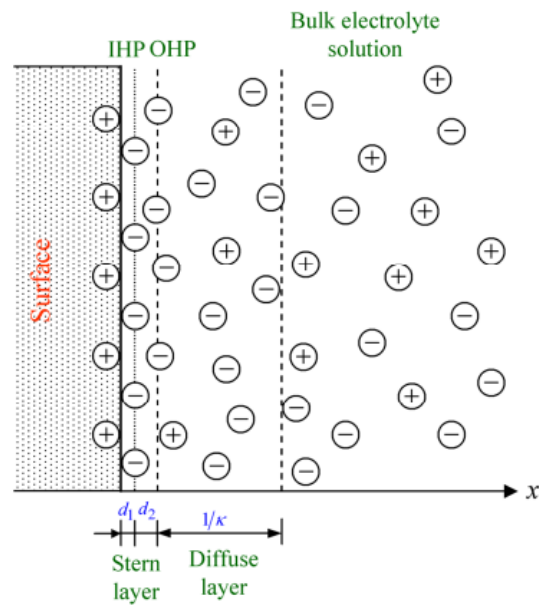


Figure 3. Stern and Gouy – Chapman Layers [4]

The double diffused layer thickness is highly affected by the electrolyte density in the solvent. With the increase in the electrolyte density, the area affected by the double layer (thickness of DDL), will decrease due to the charge increasing on the liquid-solid contact surface on the surface (Figure). The reduction of the double diffused layer thickness due to electrolytes can be listed as follows according to their composition: 1:1<1:2=2:1<2:2<1:3=3:1. Divalent and trivalent ions are more effective for lowering the surface potential [4,5].

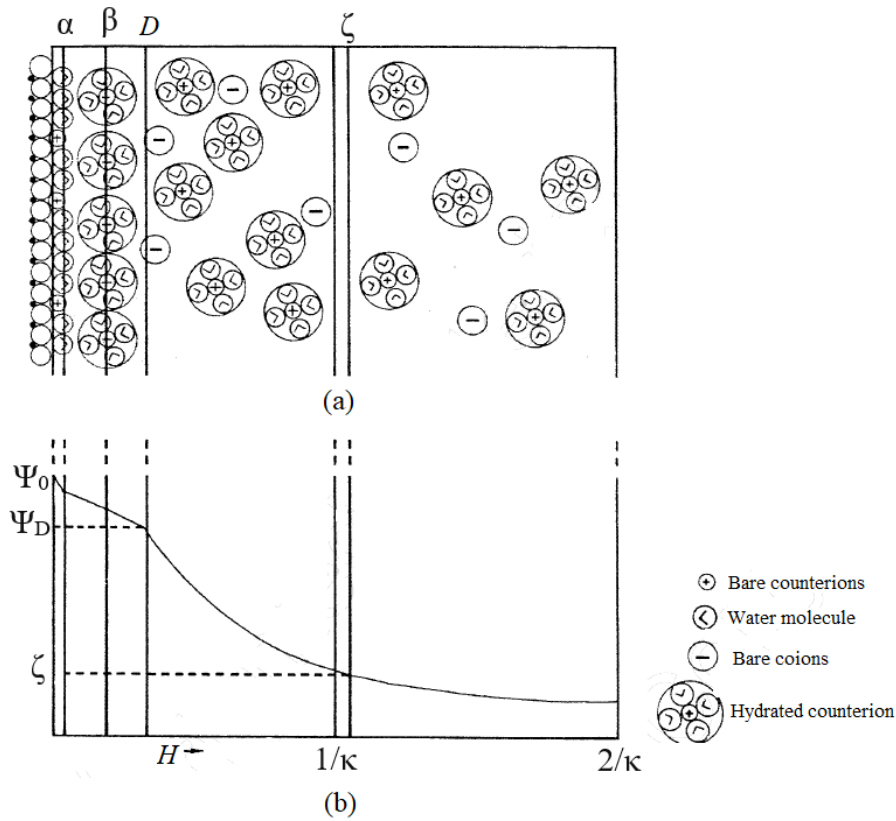


Figure 4. (a) Multilayer arrangement of water and ions near the clay surface (b) Damping of the surface potential with distance [3]

It shows the distribution of water and ions adjacent to the clay surface according to the hypothetical model proposed in Figure 4. In this way, the α plane is formed by the water molecule dipoles on the clay surface. Inner surface cations are already in this plane on this surface. The β plane is the plane of the hydrated ions closest to the surface. The D plane is the beginning of the diffuse layer. The $1/\kappa$ (debye length) plane is within the diffuse zone. The ζ plane is the shear plane that moves with the bound water and cations and particles and separates the remaining water and cations from the pore water in the electrokinetic flow [3]. The Debye length can be calculated with the help of the following equation:

$$\frac{1}{\kappa} = \left(\frac{DkT}{8\pi n_o \epsilon^2 v^2} \right)^{1/2} \quad (1)$$

- $1/\kappa$: double diffuse layer thickness (debye length) k : Boltzmann constant
 T : absolute temperature ($^{\circ}\text{K}$)
 n_o : solution electrolyte concentration (ion/cm^3)
 v : cation valence

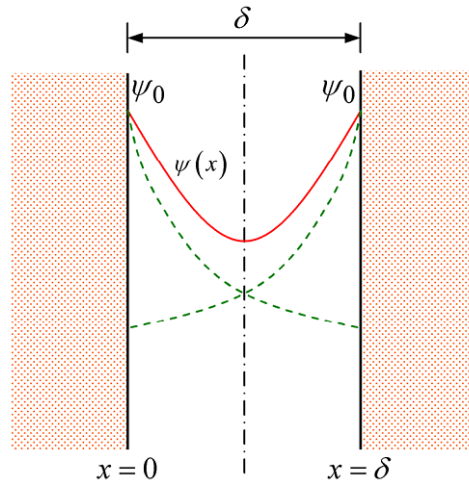


Figure 5. Double diffused layer overlap formed by the convergence of two charged surfaces. [4]

When two double diffuse layers get close enough to overlap, a repulsive force occurs between the two surfaces (Figure 5). This repulsion effect prevents surfaces from approaching. However, the adhesion of oppositely charged ions to the surface will decrease the surface potential, the repulsion between the particles will decrease significantly and it will be possible for the particles to come closer. This will also have a beneficial effect on the flocculation of the grains. [3,4]

2.2.Change in Structure and Texture with Salt Effect

Clays with a very high specific surface and typical mineral crystal thickness of around 3 nm, in which montmorillonite (2:1 smectite group) is the dominant mineral, have a very high water holding capacity, while kaolinite with a relatively small specific surface and typical mineral crystal thickness around 50-2000 nm (1 :1 kaolinite group) is the dominant mineral and the water holding capacity of the clays is relatively low [2]. Due to this difference in water retention behavior, the dominant mineral type in the clayey soil will also create differences in its mechanical behavior.

In the study carried out with bentonite (montmorillonite), which is used to represent smectite group clays in many publications, it is stated that the double diffused layer (DDL) thickness is important in fabric formation. Especially after 0.5-1M NaCl concentration, the grains converge at a level that can lead to flocculation, and there is no big difference in the decrease of water holding capacity at densities above [6–8].

In the studies carried out with kaolin, which is also used to represent the kaolinite group clays, even though it is not as effective as the smectite group clays, the double diffused layer is effective in fabric formation. However, since the specific surface of the kaolin mineral is low and has a very short double diffused layer (DDL) thickness compared to the mineral thickness, the double diffused layer (DDL) that shortens rapidly under the influence of salt causes the particles to approach each other rapidly. Approaching grains are aggregated by forming face-edge (E-F) type at low salt density (below 0.2M) and face- face (F-F) type fabric at high salt density (above 0.2M). As a result of face-edge type agglomeration formed at low salt density,

an increase in void ratio and an increase in water holding capacity are observed. At high salt density, the DDL becomes very shortened, causing a decrease in water holding capacity as a result of F-F aggregation

3. OSMOTIC COMPRESSION BEHAVIOR

The consolidation of saturated clays is the volume change with the removal of the adsorbed and/or free water in the soil with the flow depending on time. In this process, soil voids resisting fluid flow and deformation in the soil structure are effective. In the consolidation theory, the flow of water through the clay is expressed by Darcy's law and the deformation of the soil structure is expressed by a basic equation. The basic deformation equation is related to the effective stress [9]. If the interaction between the solid and liquid phase has not changed with the physiochemical effect, the effective stress provides a suitable explanation for the soil compression behavior. On the other hand, the presence of salts in the environment will change the pore water pressure distribution in the soil with the physicochemical interaction between the solid and liquid phases. This pore water pressure change will lead to a change in the mechanical behavior of the system.

3.1. The Concept of Osmotic Pressure

Osmotic pressure is the force applied to prevent movement of water into or out of clay. It is obtained by expressing the interparticle distance as a function of void ratio and water content. Osmotic pressure can be explained by an analogy in Figure 6 showing the interaction of liquids of different densities separated by a semipermeable membrane [3].

Here, the two sides of the cell are separated by a semipermeable membrane. While the membrane prevents ions from passing, it allows water to pass. Since the ion concentration on the left side is higher than on the right side, the free energy of the left side and the chemical potential of water are less than the right side. It cannot move to the right side to balance the solute concentration. However, the solvent can move to the left.

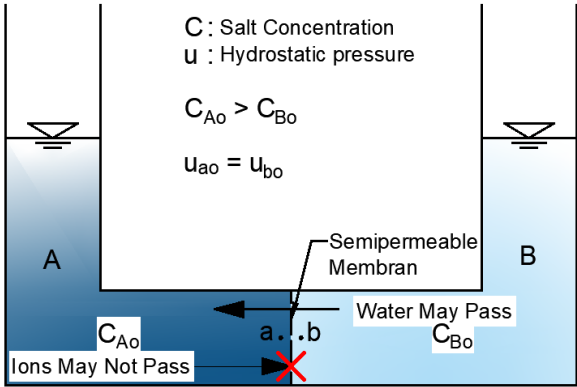


Figure 6. Osmotic pressure: Initial conditions: before equilibrium is established [3]

In the process of establishing the equilibrium, the solute concentration on the left side decreases and that on the right-side increases. which in turn balances the concentration of both sides.

Secondly, a hydrostatic pressure difference occurs between the two sides. The free energy of water varies directly with the difference in pressure and oppositely with the concentration difference. These two effects reduce the balance between the two sides. The flow continues until the free energy of water becomes equal on both sides. (Figure 7).

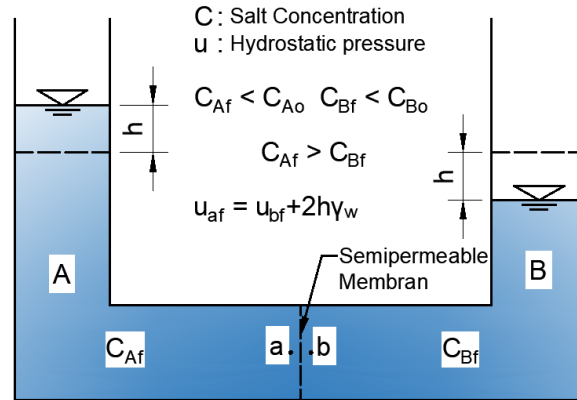


Figure 7. Osmotic pressure: Final conditions: equilibrium state [3]

The pressure to be applied to the left side to completely block the flow is called osmotic pressure (π). And for salt solutions it can be calculated by the Van't Hoff equation. As can be seen from the equation, the osmotic pressure is directly proportional to the concentration difference on both sides of the membrane (Figure 8).

$$\pi = kT \sum (n_{iA} - n_{iB}) = RT \sum (c_{iA} - c_{iB}) \quad (2)$$

$$k = R/N_A \quad (3)$$

- π : ozmotic pressure (kPa)
- k : Boltzmann constant
- T : absolute temperature ($^{\circ}$ K)
- R : universal gas constant (8,32 kPa*lt/K*mol)
- N_A : Avagadro sayısı ($6,12 \times 10^{23}$)
- n : concentration (number of particles per unit volume)
- c : molar concentration (mol/lt)

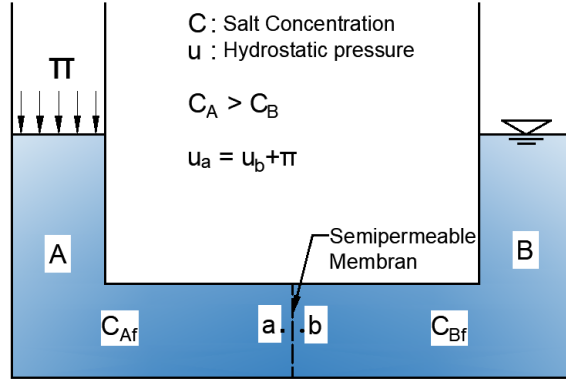


Figure 8. Osmotic pressure balance and definition of osmotic pressure [3]

3.2. Semipermeable Behavior Mechanism of Clay, Osmotic Flow and Osmotic Pressure

When a clay is exposed to a concentrated salt solution, its volume changes due to the combined effect of osmotic flow and osmotic compressibility. When the clay exhibits semi-permeable membrane behavior, osmotic flow occurs with the concentration difference. There is no semi-permeable membrane separating high and low salt concentration regions on the clay soil. The limiting membrane effect is caused by the effect of cations absorbed on the negatively charged clay surface. Due to the interaction of the absorbed cations on the clay particle surface, the cations cannot diffuse freely and as long as the double diffused layer of the adjacent clay particle overlaps, the concentration differences are effective in the formation of osmotic pressure [3,10].

The difference in the osmotic pressure in the middle of the clay particles and in the equilibrium solution surrounding the clay is the inter-particle repulsive pressure or swelling pressure (P_S). And can be expressed in terms of midplane potentials [11].

$$P_S = \pi = RT \sum (c_{ic} - c_{i0}) \quad (4)$$

For single cation and anion species of the same valence

$$P_S = RT c_0 \sum \left(\frac{c_c}{c_0} + \frac{c_0}{c_c} - 2 \right) \quad (5)$$

c_0 and c_c : equilibrium solution concentration and midplane solution concentrations

The osmotic flow in the soil can be found with the help of the following equation:

$$q_\pi = k_\pi \frac{\Delta\pi}{\Delta x} = \sigma k_h \frac{\Delta\pi}{\Delta x} \quad (6)$$

- q : water flow (m/s)
- k_π : osmotic permeability coefficient (m/s)
- k_h : hydrolic permeability coefficient (m/s)
- σ : osmotic efficiency
- x : distance (m)
- π : osmotic pressure ($\pi/\rho_f g$)

ρ_f : pore water density (kg/m^3)
 g : gravitational acceleration

If the soil behaves like a perfect semi-permeable membrane, the osmotic conductivity coefficient will be equal to the hydraulic conductivity coefficient. Under these conditions, only pure water can pass against the osmotic gradient. In imperfect conditions, the osmotic permeability coefficient will be equal to the hydraulic conductivity coefficient multiplied by the osmotic efficiency coefficient. The osmotic efficiency coefficient was defined by Staverman [12] and is expressed as the ratio of the osmotic permeability coefficient to the permeability coefficient ($\sigma = k_\pi/k_h$). So osmotic efficiency is the rate at which clay behaves like a perfect semipermeable membrane. [3,12].

3.3. Osmotic Volume Change

It has been mentioned that volume change with chemo-osmotic effect in clayey soils can be identified with two theoretical definitions: *osmotic-induced consolidation* and *osmotic consolidation* [13].

Osmotic-induced consolidation occurs with the flow of water out of the soil by osmotic gradient. With this flow, a decrease in pore water pressure occurs within the soil and consolidation occurs in the soil with an increase in effective stress. Compression with effective stress increase is similar to the known consolidation, but effective stress increase occurs by osmotic process.

Osmotic consolidation, occurs with the change of pore water chemistry and electrostatic interactions between clay particles. These interactions are also affected by the distribution of charged ions in the pore water adjacent to the clay particles. Since the particle-particle interaction in clays is largely controlled by long-range forces, the magnitude of these forces is affected by the absorbed cations and the double diffused layer. Osmotic consolidation in clays, occurs with long-range forces altered by pore water concentrations and changes in double diffused layer thickness. The overlapping double diffused layers act as a semipermeable membrane. A charge contrast occurs between the free solution in the pore and the solution in the middle of the clay plates. The osmotic pressure between the solution in the cavity and the solution between the clay plates is then equalized to the swelling pressure by the repulsive forces. The change of external forces changes the intergranular distance until a new osmotic pressure differential equilibrium is established. Similarly, the change in the concentration of the pore solution, that is, the osmotic pressure, also changes the void ratio and compression occurs in the clay (Figure 9).

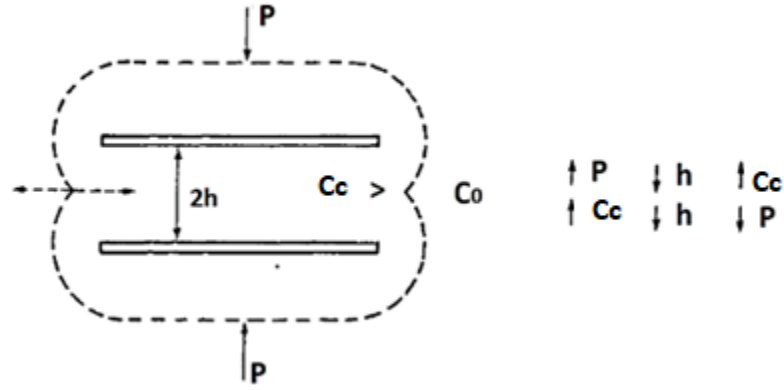


Figure 9. Explanation of osmotic consolidation with the concept of osmotic pressure [10]

- P** : Applied stress
C_C : Inter-particle pore water concentration
C_O : Free pore water solution concentration
h : Half distance between particles

Bolt [11] proposed a three-step approach for estimating the osmotic consolidation or swelling-induced deformation-pressure relationship:

For the calculation of the void ratio in the system, he first proposed an equation depending upon the double diffused layer theory. The relationship between the inter-particle distance and the cation concentrations in the midplane is expressed as:

$$v\sqrt{\beta c_o}(x_o + d) = 2\sqrt{\frac{c_o}{c_c}} \int_{\phi=0}^{\pi/2} \frac{d\phi}{\sqrt{1-(c_o/c_c)^2 \sin^2 \phi}} \quad (7)$$

- v** : exchangeable cation valence
C_C : Inter-particle pore water concentration
C_O : Free pore water solution concentration
d : Half distance between particles
x_o : a constant that depends on the surface charge density of the clay. (for illite 0,1/v nm, for kaolinite 0,2/v nm, for montmorillonite 0,4/v nm)
φ : surface charge density. (a variable depending on the central charge density and the variable, independent of its current value for the solution of the elliptic integral)

The equation for the osmotic swelling pressure is as follows.. This equation evaluates the swelling pressure as the difference between the osmotic pressure in the central plane and the osmotic pressure of the free pore water:

$$P_s = RTc_o \sum \left(\frac{c_c}{c_o} + \frac{c_o}{c_c} - 2 \right) \quad (8)$$

- c_o** and **c_C** : equilibrium solution concentration and midplane solution concentrations

In saturated clays, the distance between clay particles can be expressed as follows, based on the system void ratio:

$$d = \frac{e}{G_S \gamma_w A_s} \quad (9)$$

- e : void ratio
 G_S : Clay specific gravity
 A_s : Specific surface area
 d : Half distance between particles
 γ_w : Unit weight of water

The $k v \sqrt{\beta c_0} (x_0 + d) - \log(P_S/RTc_0)$ relationship can be obtained with the combination of (7) and (9). These values can be used to theoretically calculate the void ratio (e) – consolidation or swelling pressure graph. For any value of $\log(P_S/RTc_0)$ consolidation or swelling pressure values and for corresponding value of $v \sqrt{\beta c_0} (x_0 + d)$ void ratio can be calculated.

Figure 10 shows the theoretical void ratio pressure graph obtained by Bolt [11] in his study. In the study conducted with Na-montmorillonite and Ca-montmorillonite, it is seen that the theory is quite compatible with the actual results. The biggest reason for this harmony is that the clay used in the experiment is in the smectite group and with pure structure, and the mono-ionic (solution prepared with a single type of salt) solution is used. When the clay type or solution properties change, the agreement between theory and experimental results decreases.

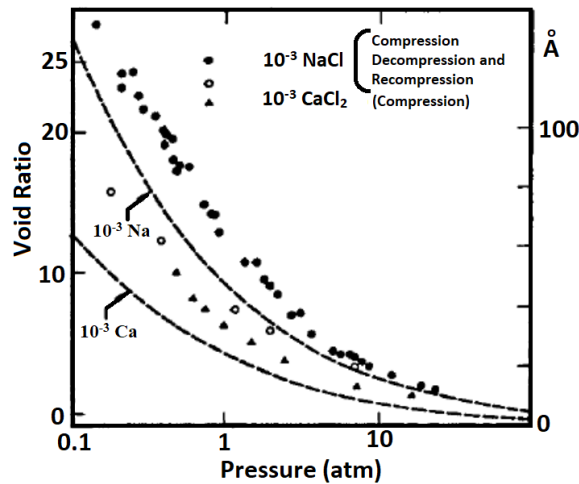


Figure 10. Compression curve of Na-Montmorillonite and Ca-montmorillonite (<2 μ m grain size, balanced with 10⁻³M NaCl and CaCl₂. Theoretical curves for dotted curves $A_s=800\text{m}^2/\text{g}$.) [11]

3.4. Limits and Applicability of the Osmotic Pressure Concept

The concept of osmotic pressure can be applied in the presence of the following conditions [3,11,13]:

- (i). The clay structure should consist of parallel grains. Thus, the applicability of the double diffused layer theory increases and the theory gives more consistent results. In studies carried out with clay suspensions or kneaded clay samples, results that consistent with theory were obtained.

- (ii). Osmotic pressure should be calculated with the van't Hoff equation. In this case, the structure of the clay should support the semi-permeable membrane behavior of the clay. In other words, the clay structure consisting of parallel particles will increase the efficiency of the osmotic pressure calculation.
- (iii). The void ratio should be calculated from the half distance between the clay particles. For this, the void ratio can also be calculated by calculating the debye length (double diffused layer thickness). Again, the structure of the clay should be in an ideal structure consisting of parallel parallel.

Considering the aforementioned basic conditions, the theory will give reliable results in smectite group clays prepared by kneading and in which the double diffuse layer thickness is decisive in shaping the chemomechanical behavior and structure. On the other hand, factors such as the presence of different clay minerals in the environment, the presence of different types of cations, the natural structure of the clay, and the magnitude of external loads will reduce the usability of the theory.

4. CONCLUSION

The current consolidation theory, which is used in the estimation of time-dependent deformation and proposed by Terzaghi [14], indiscriminately evaluates osmotic compression within the total consolidation compression. The estimation difference caused by osmotic compression is evaluated within the margin of error of the theory. It is known that consolidation experiments are carried out using distilled water in accordance with current international and national regulations. In soils with pore water with high solution density, the margin of error will increase due to osmotic reasons. Therefore, the estimation of the osmotic effect is important. In its current form, the proposed theory for osmotic compression prediction is capable of addressing the solution of a very limited number of cases, considering the total case. The theory needs to be developed to include different types of structures and different pore water properties. Since the theory was introduced, many studies have been carried out by many academics to fully understand the phenomenon and develop the theory. [3,6,11–23].

Considering the studies as a whole, the basic behavior was investigated by using mostly solutions containing only one type of ion of materials consisting of a single type of mineral such as pure montmorillonite or pure kaolinite. However, clay soils in nature consist of different minerals and many different organic/inorganic components as well as the clay part containing many clay mineral types. On the other hand, natural pore water components can also be composed of many dissolved components such as salts and organic solutions. The positioning of so many variables as parameters in a theory brings with it many complications and makes it almost impossible for the theory to mature. On the other hand, the consolidation theory put forward by Karl Von Terzaghi is simple, but an approach that accepts many unknowns in natural conditions is exhibited. For the estimation of osmotic consolidation, as all soil mechanics experiments do, it is best to focus on estimating the actual behavior of the soil by modeling the natural conditions as best as possible. To begin with, in the analysis of soil behavior in experiments, it would be wise to abandon the use of pure water and add a procedure that includes the analysis of pore water in the natural environment. In the next step, it should

focus on making the existing test devices and experimental procedure more representative of natural conditions with technological possibilities.[3,6,11–23]

REFERENCES

- [1] Das BM. *Advanced Soil Mechanics* (1983). Mc-GrawHill, New York 1983.
- [2] Holtz RD, Kovacs WD, Sheahan TC. *An introduction to geotechnical engineering* 2011.
- [3] Mitchell JK, Soga K. *Fundamentals of soil Behavior*. John Wiley& Sons, Hoboken, New Jersey, USA 2005.
- [4] Ghosh P. *Chemical Engineering - Interfacial Engineering . Intermolecular and Surface Forces* 2012.
- [5] Koper GJM. *An Introduction to Interfacial Engineering*. VSSD Delft; 2007.
- [6] di Maio C. Exposure of bentonite to salt solution: Osmotic and mechanical effects. *Geotechnique* 1996;46:695–707. <https://doi.org/10.1680/geot.1996.46.4.695>.
- [7] Calvello M, Lasco M, Vassallo R, di Maio C. Compressibility and residual shear strength of smectitic clays: influence of pore aqueous solutions and organic solvents 2005.
- [8] Jang J, Cao SC, Stern LA, Jung J, Waite WF. Impact of Pore Fluid Chemistry on Fine-Grained Sediment Fabric and Compressibility. *J Geophys Res Solid Earth* 2018;123:5495–514.
- [9] Terzaghi K, Peck RB, Mesri G. *Soil mechanics in engineering practice*. John Wiley & Sons; 1996.
- [10] Barbour SL. *Osmotic Flow and Volume Change in Clay Soils*. Dissertation. University of Saskatchewan, 1986.
- [11] Bolt GH. Physico-Chemical Analysis of the Compressibility of Pure Clays. *Géotechnique* 1956;6:86–93. <https://doi.org/10.1680/geot.1956.6.2.86>.
- [12] Staverman AJ. The theory of measurement of osmotic pressure. *Recueil Des Travaux Chimiques Des Pays-Bas* 1951;70:344–52. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/recl.19510700409>.
- [13] Barbour SL, Fredlund DG. Mechanisms of osmotic flow and volume change in clay soils. *Canadian Geotechnical Journal* 1989;26:551–62.
- [14] Thyagaraj T, Rao SM. Osmotic swelling and osmotic consolidation behaviour of compacted expansive clay. *Geotechnical and Geological Engineering* 2013;31:435–45.

- [15] Nguyen XP, Cui YJ, Tang AM, Deng YF, Li XL, Wouters L. Effects of pore water chemical composition on the hydro-mechanical behavior of natural stiff clays. *Eng Geol* 2013;166:52–64. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2013.08.009>.
- [16] Kaczmarek M, Hueckel T. Chemo-mechanical consolidation of clays: analytical solutions for a linearized one-dimensional problem. *Transp Porous Media* 1998;32:49–74.
- [17] Zhang T, Deng Y, Zhang D, Liu S. Preliminary Study of Pore Water Salinity Effects on the Swelling Behavior of Ca-Bentonite. *Soil Behavior and Geomechanics*, 2014, p. 54–64. <https://doi.org/doi:10.1061/9780784413388.006>.
- [18] Zhang T, Wang S. Explanation of the influence of sodium chloride solution on volume deformation and permeability of normally consolidated clays. *Materials* 2019;12:1671.
- [19] Rao SM, Thyagaraj T. Swell–compression behaviour of compacted clays under chemical gradients. *Canadian Geotechnical Journal* 2007;44:520–32.
- [20] Rao SM, Thyagaraj T, Thomas HR. Swelling of compacted clay under osmotic gradients. *Geotechnique* 2006;56:707–13.
- [21] Yang D, Yan R, Ma T, Wei C. Compressive behavior of kaolinitic clay under chemo-mechanical loadings. *Acta Geotech* 2023;18:77–94. <https://doi.org/10.1007/s11440-022-01554-0>.
- [22] Scelsi G, Della Vecchia G, Musso G. An Elasto-Plastic Framework for the Chemo-Mechanical Behavior of Low to Medium Activity Clays. In: Barla M, Di Donna A, Sterpi D, editors. *Challenges and Innovations in Geomechanics*, Cham: Springer International Publishing; 2021, p. 648–55.
- [23] Pubudu J, Buddhima I, Ana H. Influence of Salinity-Based Osmotic Suction on the Shear Strength of a Compacted Clay. *International Journal of Geomechanics* 2021;21:04021041. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)GM.1943-5622.0001988](https://doi.org/10.1061/(ASCE)GM.1943-5622.0001988).