



## Genetic Algorithm approach in the prevention of torsional irregularity in reinforced concrete structures

Zakia Sadat\*<sup>ID</sup>, A. Samet Arslan<sup>ID</sup>

Gazi University, Engineering Faculty, Department of Civil Engineering, 06570, Ankara, Türkiye

### Highlights:

- Design optimization of structures with A2 type plan irregularity.
- Considering the responses of the structure under static and dynamic loads.
- Comparing the optimization results with initial studies.

### Keywords:

- Genetic algorithm
- structure optimization
- torsional irregularity ratio

### Article Info:

Research Article  
Received: 13.07.2021  
Accepted: 07.10.2021

### DOI:

10.17341/gazimmfd.971104

### Acknowledgement:

The authors would like to thank everyone who has contributed to the progress of the research.

### Correspondence:

Author: Zakia Sadat  
e-mail: engzakia@gmail.com  
phone: +90 506 096 9092

### Abstract

The main purpose of this study is to obtain the optimum design of plan irregularity RC buildings in terms of their performance under static and dynamic loading. Torsional irregularity in RC structures is usually caused by the unsymmetrical form of the plan geometry or the stiffness distribution of the vertical elements. Structural optimization techniques should solve the problem to efficiently distribute materials throughout the structure in order to limit the torsional irregularity ratio at each storey layout. Different discrete mathematical models of 3D multi storey buildings were used for this study which is computationally efficient in solving such type of optimization problems. It is clearly seen that the results are changed considerably with the applying sizing optimization. The Turkish Earthquake Code TEC-2007 is used to analyse buildings and as constraint. ETABS program is used for analysis of 3D structural. The sizing optimization problem was formulated and implemented using MATLAB by employing Genetic Algorithm method. The design variables are constituted by the columns and shear walls of the structure which located at each storey layout.

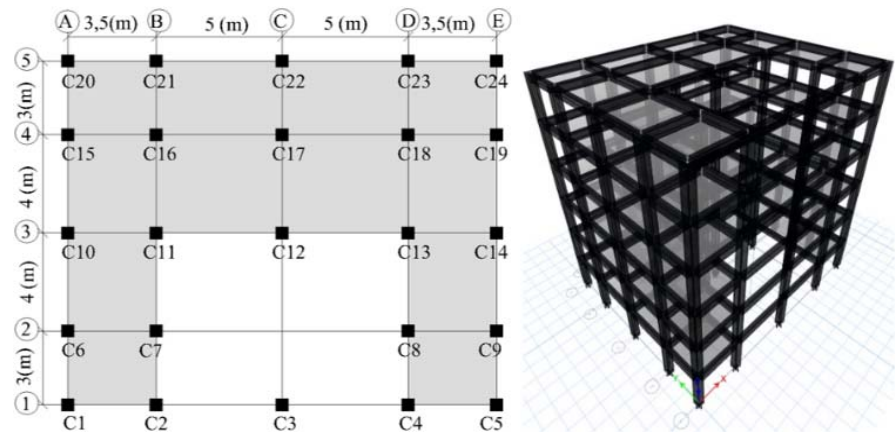


Figure A. Typical floor plan view and 3D view of A2 type irregularity

**Purpose:** The purpose of this study is to obtain the optimum design of plan irregularity reinforced concrete buildings in terms of their performance under static and dynamic loading.

### Theory and Methods:

This study presents the application of Genetic Algorithms for the optimum seismic drift performance design of 3D reinforced concrete buildings. Attempts have been made to develop an automatic optimum storey drift design of concrete buildings with plane irregularities to produce torsional balanced structures.

### Results:

The results confirm the ability of the proposed Genetic Algorithm to efficiently find optimal solutions for 3D structure optimization problems.

### Conclusion:

The above analysis shows that in the sizing optimization problem; optimal cross-sections of vertical member are generated considering initial sizes, and optimal storey drift of the structure is obtained for all steps of optimization.



## Betonarme yapılarda burulma düzensizliğinin önlenmesinde Genetik Algoritma yaklaşımı

Zakia Sadat\*<sup>ID</sup>, A. Samet Arslan<sup>ID</sup>

Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 06570 Maltepe Ankara, Türkiye

### Ö N E Ç İ K A N L A R

- A2 tipi plan düzensizliğine sahip yapıların tasarım optimizasyonu
- Yapının statik ve dinamik yükler altındaki tepkilerinin dikkate alınması
- Optimizasyon sonuçlarının ilk çalışmalarla karşılaştırılması

### Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi  
Geliş: 13.07.2021  
Kabul: 07.10.2021

### DOI:

10.17341/gazimmfd.971104

### Anahtar Kelimeler:

Burulma düzensizliği,  
genetik algoritma,  
yapısal optimizasyon

### ÖZ

Betonarme binaların deprem yükleri altındaki performansı açısından optimum tasarımı, yapı mühendisliğinin temel konuları arasında yer almaktadır. Bu çalışmanın temel amacı, planda düzensiz olan betonarme binaların statik ve dinamik yükler etkisi altındaki performansı açısından optimum tasarımı elde etmektir. Betonarme yapılara her kat düzenindeki burulma düzensizliği katsayısına belirli bir sınır getirilmesi amacıyla optimizasyon uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Plan geometrisi veya düşey taşıyıcı elemanların rijitlik dağılımının simetrik olmamasından dolayı betonarme yapılarda burulma düzensizliği meydana gelmektedir. Yapısal optimizasyon teknikleri, her kat düzeninde burulma düzensizliği sınırlandırmak için yapısal elemanları yapı boyunca verimli bir şekilde dağıtarak bu problemi çözer. Bu çalışmada farklı ayrıntı matematiksel yapı modellerine örnek olarak 3B çok katlı binalar kullanılmıştır. Uygulanan boyutlandırma optimizasyonu ile sonuçların önemli ölçüde değiştiği açıkça görülmektedir. Türk Deprem Yönetmeliği TDY-2007, binaları analiz etmek için ve bir kısıtlama olarak kullanılmıştır. Yapının analizinde, taşıyıcı sistem 3 boyutlu olarak modellemede ETABS® programı kullanılmıştır. MATLAB® programı kullanılarak Genetik Algoritma Yöntemi ile betonarme yapılarda boyut optimizasyon uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Tasarım değişkenleri, her kat düzeninde yer alan yapının kolonları ve perdelerinden oluşmaktadır.

## Genetic Algorithm approach in the prevention of torsional irregularity in reinforced concrete structures

### H I G H L I G H T S

- Design optimization of structures with A2 type plan irregularity
- Considering the responses of the structure under static and dynamic loads
- Comparing the optimization results with initial studies

### Article Info

Research Article  
Received: 13.07.2021  
Accepted: 07.10.2021

### DOI:

10.17341/gazimmfd.971104

### Keywords:

Genetic algorithm,  
structure optimization,  
torsional irregularity ratio

### ABSTRACT

Optimum design of reinforced concrete buildings in terms of performance under earthquake loads is among the fundamental issues of structural engineering. The main purpose of this study is to obtain the optimum design of plan irregularity RC buildings in terms of their performance under static and dynamic loading. Torsional irregularity in RC structures is usually caused by the unsymmetrical form of the plan geometry or the stiffness distribution of the vertical elements. Structural optimization techniques solve this problem by efficiently distributing structural elements throughout the structure to eliminate torsional irregularity in each floor layout. Different discrete mathematical models of 3D multi storey buildings were used for this study which is computationally efficient in solving such type of optimization problems. It is clearly observed that the results are changed considerably with the applying sizing optimization. The Turkish Earthquake Code TEC-2007 is used to analyse buildings and as constraint. ETABS® program is used for analysis of 3D structural. The sizing optimization problem was formulated and implemented using MATLAB® by employing Genetic Algorithm method. The design variables consist of the columns and shear walls of the building in each storey layout.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTIONS)

Genetik Algoritmalar son senelerde mühendislik optimizasyon problemlerini çözmek için popüler ve güçlü yöntemler olarak öne çıkmışlardır. Düzensiz binaların sismik yük altındaki performansları açısından optimum tasarımı yapı mühendisliğinin başlıca araştırma alanlarından biridir. Bu hedef yapı optimizasyon teknikleri kullanılarak gerçekleştirilebilir. Optimizasyon, Genetik Algoritma (GA) yaklaşımı ile gerçekleştirilirken çağdaş deprem yönetmeliklerinde betonarme yapılar için bina kodu gereksinimlerinin dayanım ve hizmete elverişlilik kısıtlamalarını da karşılamaktadır. Mimari tasarımlardaki düzensizlikler, düzenli olmayan geometri özellikler, estetik kaygılardan dolayı yapılan hatalar binanın sismik yüklerle karşı ciddi şekilde hasar görmesine veya çökmesine neden olur. Statik ve dinamik yükleme koşulları altında böyle bir yapısal sistemin tepkisi ve davranışı esas olarak kesit boyutuna ve kolonların ve perdelerinin topolojik düzenine bağlıdır. Bu düzensizliklerden bazılarının yapı elemanlarının enkesitlerini boyutlandırılması sırasında giderilebilmesine rağmen ekonomik olmamakta ve hatta bazılarının ise giderilmesi mümkün olamamaktadır. Optimizasyon yöntemiyle yapılan hesaplamalarda genellikle mukavemeti yeterli en uygun tasarım tasarlanırken, yapı ekonomisinin de göz önüne alınmasının gerekliliği vurgulanmaktadır.

Uluslararası alanda betonarme yapılarda burulma düzensizliği optimizasyon uygulamaları konusunda yapılmış çalışma bulunmamaktadır. Goldberg [1] mühendislik optimizasyonu problemlerini çözmek için GA kullanan ilk araştırmacılarından biridir. Goldberg'in çalışmasına dayanarak diğer birçok araştırmacı Genetik Algoritmaları çeşitli yapısal tasarım problemlerine uygulamıştır. Betonarme yapıların yapısal optimizasyonu konusunda pek çok çalışma yapılmış ve bu çalışmaların çoğu yapıların maliyetine tahsis edilmiştir. Bu çalışmanın kapsamı dışında olsa da konuyla ilgili kapsamlı bir literatür taraması ve bazı önemli yapısal optimizasyon çalışmaları burada kısaca belirtilmiştir. Örneğin, Turgut ve Arslan [2] çalışmalarında sürekli ve altı açıklıklı bir girişin maksimum açıklık ve mesnet momentlerini veren hareketli yük kombinezonlarının otomatik bir şekilde Genetik Algoritmalar ile düzenlenmesini incelemişlerdir. Lee ve Ahn [3] çalışmalarında GA, ayrık bir optimizasyon problemi çerçevesinde evrimsel bir algoritma olarak kullanılmıştır. Ayrıca basit ve ideal P-M etkileşim eğrisi, uygulanan yükler altında kolon kapasitesinin kontrolüne sunulmuştur. Camp, Pezeshk ve Hansson [4] tarafından betonarme çerçevelerin ayrık optimizasyonu için genetik algoritma uygulayan bir tasarım prosedürü geliştirilmiştir. Guerra ve Kioussis [5] betonarme yapıların optimal tasarımını sağlamayı amaçlayan yeni bir formülasyon sunmuşlardır. Çok açıklıklı ve çok katlı betonarme yapılarında giriş ve kolon elemanları için en uygun boyutlandırma ve güçlendirme, tüm yapısal elemanlar arasında optimum rijitlik korelasyonu içerir ve tipik pratik tasarım çözümlerine göre maliyet tasarrufu sağlamıştır. Hatindera vd. [6] çalışmasında Genetik

Algoritma ile tek yönlü döşemenin ayrık optimizasyonun uygulandığını gösterilmektedir. Alex ve Kottalil [7] çalışmasında, Genetik Algoritmanın betonarme sürekli giriş tasarımına uygulandığı gösterilmektedir. Samruddha ve Patel [8] çalışmasında, Genetik Algoritma kullanarak düz levha optimizasyonu, çeşitli deneme hatalarına dayalı kalınlık kriterleri kullanılarak yapıldı. Fayaz Basha vd. [9] makalesinde optimizasyon, doğal seleksiyon teorisine ve evrimsel biyolojiye dayanan yinelemeli bir prosedür olan Genetik Algoritmalar (GA) kullanan betonarme levhalar için gerçekleştirilmiştir. Sadat ve Arslan'ın [10] çalışmasında planda L şekline sahip düzensiz betonarme yapılarda kütle merkezi ile rijitlik merkezleri arasında eksantrisitenin azalması ve burulma düzensizliği katsayısına bir alt sınır getirilmesi amacıyla Genetik Algoritma yöntemi kullanarak boyutlandırma optimizasyon uygulamaları gerçekleştirilmiştir.

Deprem yönetmelikleri incelendiğinde yapısal düzensizlik durumlarından en çok göze çarpan düzensizlik durumu burulma düzensizliğidir. Aşağıdakiler de dahil olmak üzere burulma düzensizliğinin çeşitli yönlerini araştıran çok sayıda çalışma vardır. Demir ve Dönmez [11], TSC'e göre çok katlı perde çerçeve sistemlerini etkileyen burulma düzensizlik faktörlerini araştırmışlardır. Çalışmada altı tip betonarme bina farklı plan geometrisi, kat sayısı ve perde yerleşimi ile kullanılmıştır. Özmen vd. [12] çok katlı yapılarda burulma düzensizliğini araştırmıştır. Yayınladığı makalede farklı perde konumları, kat ve eksen numaralarına sahip altı tipik yapı grubu üzerinde parametrik bir inceleme yapılmıştır. Çalışmasında, burulma düzensizliği kat sayıları azaldıkça arttığı, tek kat yapıları için maksimum düzensizlik katsayılarının ortaya çıktığı bulunmuştur. Rudhra ve Lipika, [13] planda düzensiz binaların sismik davranışlarını araştırmak için analitik bir çalışma yapmıştır.

Bu çalışmada, planda döşeme süreksizliği A2 düzensizliği olan betonarme yapılarının deprem etkisi altında meydana gelen burulma düzensizlikleri incelenmiş, Türk Yönetmeliklerine (TDY-2007) [14] uygun olarak tasarım ve analizi yapılmıştır. Yapay zekâ sistemleriyle MATLAB® programı kullanılarak Genetik Algoritma yöntemi ile betonarme yapılarda burulma düzensizliği katsayısını belirli bir sınıra getirilmesi amacıyla düşey taşıyıcıların boyutlarının optimum tasarımı gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla 3B 6 katlı çerçeve ve perde çerçeve taşıyıcı sistem olmak üzere iki farklı yapı sistemi; statik ve dinamik yüklerin etkisi altında sonlu elemanlar yöntemi ile modellenmiş, meydana gelen düzensizlik durumları incelenmiştir. Burulma düzensizliği katsayısına bir alt sınır getirilmesi için görel kat öteleminin optimum tasarımı genetik algoritma uygulamaları ile gerçekleştirilmiştir.

Çalışma TDY-2007 yönetmeliğine göre yapılmıştır ancak belirtilen yönetmelik TBDY-2018 [15]'den sonra yayından kaldırılmıştır. Bu durumda, sunulan çalışmanın TBDY-2018'den önce yapıldığı sonucu ortaya çıkmaktadır. Bir Genetik Algoritma uygulaması olduğundan eski veya yeni

yönetmeliğin kullanılması önemsizdir. Ancak makale içerisinde eski yönetmeliğin kullanıldığı belirtilmiştir.

## 2. OPTİMİZASYON PROBLEMİ (OPTIMIZATION PROBLEM)

Optimizasyon, belirli koşullar altında en iyi sonucu alma eylemidir. Herhangi bir mühendislik sisteminin tasarım, yapım ve bakımında mühendisler birkaç aşamada birçok teknolojik ve yönetimsel karar almak zorundadır. Tüm bu kararların nihai amacı gereken çabayı en aza indirmek ya da istenen faydayı en üst seviyeye çıkarmaktır. Ayrık bir yapısal optimizasyon problemi Eş. 1 ile ifade edilebilir [16].

$$\text{Amaç (minimize) } f(X), \quad X = [x_1, x_2, \dots, x_n] \quad (1)$$

$$\text{Sınırlayıcılar } g_j(X) \leq 0, \quad j=1, 2, \dots, m; \quad x^L \leq x \leq x^U$$

Burada;  $f(X)$  amaç fonksiyonunu temsil eder ve problemin gereksinimlerine bağlı olarak maksimize edilmesi veya en aza indirilmesi gerekir,  $g_j(X)$  eşitsizlik kısıtlamaları temsil eder,  $m$  sınırlarının sayısı ve  $n$  değişkenlerinin sayısı hiçbir şekilde ilişkilendirilmemelidir,  $x_j$  tasarım değişkeni olarak adlandırılan  $n$  boyutlu bir vektördür.  $x^L$  ve  $x^U$  sırasıyla alt ve üst sınırlarını temsil eder ve geometrik veya yan kısıtlama olarak adlandırılır. Yukarıdaki matematiksel formülasyon sadece eşitsizlik kısıtlamaları içerir çünkü eşitlik kısıtlamaları genellikle yapısal optimizasyonlarda bulunmaz.

### 2.1. Boyutlandırma Optimizasyonu (Size Optimization)

Boyutlandırma optimizasyon problemlerinde yapı sistem elemanların enkesit boyutları, alanı veya levhanın kalınlığı tasarım değişkenleridir. Değişik elemanlar arasındaki bağlantılar ve koordinatlarının düğüm noktaları değişmemektedir [16]. Amaç fonksiyonu genellikle yapının kütlesi, rijitlik veya maliyet örneği olarak verilebilir. Geometri ve sınır koşulları (yükler ve kısıtlamalar gibi) zaten bilindiğinden, bunlar geometri, mukavemet, deformasyon vb. açısından kolon, giriş ve perde kısıtlamalarını tanımlamak için kullanılabilir. Boyutlandırma optimizasyonu probleminde tasarım değişkenlerinin alabileceği değerler ayrık veya sürekli olabilir. Boyut optimizasyonu sırasında yapı sistem elemanların hiçbir öge eklenmez veya kaldırılmaz. Bu nedenle, elemanların boyutu ve sayısı genellikle tasarımcılar tarafından deneyimlerine ve yapısal tasarım sınırlamalarına göre tanımlanır.

### 2.2. Amaç Fonksiyonu (Objective Function)

Tasarım değişkenlerinin bir fonksiyonu olarak ifade edildiğinde tasarımın optimize edildiği kriter, kriter veya amaç fonksiyonu olarak bilinir [17]. İdeal bir çözüm için amaç fonksiyonu bazen minimum bazen de maksimum değerde olabilmelidir. Amaç fonksiyonu seçimi problemin doğası tarafından yönetilir. İnşaat mühendisliğinde amaç fonksiyonu binanın ağırlığı, maliyeti, deplasmanı veya başka hedefler ile kolayca tanımlanabilir.

### 2.3. Tasarım Değişkenleri (Design Variables)

Problemin matematiksel bir formülasyonunu geliştirmek için ilk olarak yapı sistemini oluşturan bazı parametreler belirlenmelidir. Bu parametreler optimizasyon algoritmasıyla değişmezler ve sistem düzenlenirken *önceden belirlenen parametreler* olarak adlandırılırlar. Önceden belirlenemeyen parametrelere ise *tasarım değişkenleri* olarak adlandırılır [17]. Matematiksel açıdan tasarım değişkenleri *Sürekli ve Ayrık* olabilir. Yapısal optimizasyon problemlerinde çözümü ifade eden tasarım değişkenleri ayrık değerler alabilirler. Örneğin donatı ağırlığı, alanı, yapıyı oluşturan elemanların enkesit boyutları gibi değişkenler ayrık değerler alabilirler.

### 2.4. Tasarım Kısıtlamaları (Design Constraints)

Yapı elemanların enkesit boyutları ile ilgili olan sınırlamalarına *tasarım kısıtlamaları* olarak adlandırılır [18]. Kabul edilebilir bir tasarım üretmek için karşılanması gereken kısıtlamalardır. Bir girişin minimum boyutları veya bir döşemenin minimum kalınlığı, tasarım kısıtlamalarının önemli örneklerindedir. Önceden belli olan bu kısıtlamalar, yönetmelik şartları veya mimari gereksinimler gibi pek çok farklı durumdan kaynaklanmaktadır. Kısıtlamalar iki farklı tanım ile ifade edilebilir [18].

- Sistemin davranışındaki veya performansındaki kısıtlamaları temsil eden kısıtlamalar davranış veya işlevsel kısıtlamalar olarak adlandırılır. Örneğin, maksimum deplasman veya burulma davranış
- Kullanılabilirlik, üretilebilirlik ve taşınabilirlik gibi tasarım değişkenleri üzerindeki fiziksel sınırlamaları temsil eden kısıtlamalar geometrik sınırlamalar olarak bilinir.

## 3. GENETİK ALGORİTMALAR VE ÇALIŞMA PRENSİPLERİ (WORKING PRINCIPLE OF GENETIC ALGORITHMS)

Genetik Algoritma bir Adaptif Stratejidir ve Global Optimizasyon tekniğidir [16, 17]. Genetik Algoritma diğer bir deyişle evrimsel algoritmalar, mühendislik optimizasyon problemlerini çözmek için son yıllarda etkili yöntemler olarak ortaya çıkmıştır. “Genetik algoritmaların diğer optimizasyon yöntemlerinden en önemli farklarından birisi amaç fonksiyonun türevlerinin değil kendisini kullanılmasıdır” [18]. Ayrıca Genetik Algoritmalar iteratif optimizasyon yöntemi olmakla beraber her bir iterasyonda yalnızca tek bir çözümler değil, optimum tasarım değişkenlerinin seti ile çalışır. Genetik Algoritmaların yeniden üretme, mutasyon ve çaprazlama gibi üç temel operatörü için çeşitli operatörler önerilmiştir. Bu operatörlerin doğru bir şekilde seçilmesiyle popülasyon çeşitliliği ve seçim baskısı arasında denge meydana getirerek yüksek kaliteli bir optimizasyon algoritması oluşturulabilir. Holland, GA’yı “*en güçlü olanın hayatta kalmasına*” dayanan sezgisel bir yöntem olarak önerdi. David Edward Goldberg 1989 yılında, Genetik Algoritma

Uygulamaları sahasında klasik eser olarak kabul edilen kitabını yayımlanmıştır [1]. Goldberg mühendislik sistemlerinin boyut optimizasyonunda genetik algoritma metodunun nasıl kullanılabileceğini temel prensipleriyle göstermiştir. Son yıllarda PC'lerin hızlarındaki artışın bu algoritmaların uygulama sahasında sıkça görülmesine sebep olmuştur.

Genetik Algoritma süreci aşağıdaki aşamalara ayrılabilir;

- İlk adım, herhangi bir genetik algoritmanın uygulanmasında bir başlangıç popülasyonunun rasgele üretilmesidir.
- Popülasyondaki her tasarım değişkeni uygunluk fonksiyonu ile değerlendirilir.
- Yeni popülasyon için yeni tasarım değişkenleri oluşturulur (Reproduksiyon, Seçilim, Mutasyon, Çaprazlama).
- Adım 2 ve 3'ü belirlenen iterasyona erişilinceye kadar veya optimum bir çözüm bulununcaya kadar tekrarlanır.
- En iyi tasarım değişkeni optimum çözüm olarak alınır.

### 3.1. Optimal Göreli Kat Öteleme Performansı için Algoritma (Algorithm for Optimal Drift Performance)

#### 3.1.1. Başlangıç popülasyonu (Initial population)

Başlangıçta belirli kriterlere göre rastgele tasarım değişkenlerden oluşan bir popülasyon oluşturulur. Popülasyon başlatılmadan önce tasarımcı her popülasyondaki tasarım değişken sayısını ve kodlama işlemindeki bit sayısını seçmelidir. Bu kararların her ikisi de GA tabanlı optimizasyonun başarısını artırmada son derece önemlidir.

#### 3.1.2. Uygunluk (Fitness)

Uygunluk fonksiyonu, tasarımın göreceli önemini tanımlar. Bir tasarım vektörüne (tasarım değişkeni) karşılık gelen amaç fonksiyonu değeri, GA'da uygunluk için önemli rolü oynar. Her tasarım vektörü, uygunluk değerini bulmak için değerlendirilir. Daha yüksek bir uygunluk değeri daha iyi bir tasarım anlamına gelir. Tasarım değişkeninin kalitesi uygunluk değerlerine göre ölçülür. Tasarım değişkenlerinin uygunluk değerlerine göre reproduksiyon, çaprazlama ya da mutasyon işlemleri uygulanmaktadır [16, 17].

#### 3.1.3. Genetik operatörler (Genetic operators)

##### Seçilim/Reproduksiyon (Selection/Reproduction)

Reproduksiyon operatörü, mevcut popülasyondan uygun olan tasarım değişkenlerin seçilmesi ve bunların sonraki popülasyona kopyalanarak hayatta kalabilmesi ile ilişkilidir. En iyi tasarım değişkenlerinden daha çok kopya alınır iken en kötü tasarım değişkenlerinden kopya alınmaz.

*Turnuva seçilimi (Tournament selection):* Popülasyondan belirli sayıda tasarım değişken rastgele seçilir. Turnuva genelde iki tasarım değişkeni arasında yapılır. Bu iki tasarım

değişkeninden dinçlik derecesi küçük olan tasarım değişkeni mutasyon ve çaprazlama işlemleri için gizlenir. Bu tasarım değişkenlerin içerisinde uygunluk değeri en iyi olan tasarım değişkeni seçilir.

##### Çaprazlama (Crossover)

Çaprazlama, seçilen bireylerin çiftleşerek popülasyona yeni olası problem çözümleri katması işlemidir. Problem türü doğrultusunda çaprazlama operatörleri seçilen farklı kodlama sistemleriyle uyumlu olacak şekilde geliştirilmiştir.

*Dağılık çaprazlama (Crossover scattered):* kısıtlamaları lineer olmayan problemler için varsayılan çaprazlama fonksiyonu rastgele bir ikili vektör oluşturur ve vektörün ilk ebeveyninden 1 olduğu genleri ve vektörün ikinci ebeveyninden 0 olduğu genleri seçer ve çocuğu oluşturmak için genleri birleştirir. Bu çalışmada seçilmiştir.

##### Mutasyon operatörü (Mutation Options)

Mutasyon, bir tasarım değişkeni seti üyelerinin bir ya da birkaçının konumlarını değiştirerek yeni bir tasarım değişkeni oluşturmaktır. Mutasyon ile kromozomdaki bitler "1" ise "0", "0" ise "1" yapılırlar

*Adaptif fizibil (Adaptive feasible):* Adaptif fizibil, kısıtlamalar olduğunda varsayılan mutasyon fonksiyonu, son başarılı veya başarısız nesle göre uyarlanabilir yönleri rastgele oluşturur.

#### 3.1.4. Göçmenlik (Migration)

Çeşitliliği artırmak için topluma tamamen yeni tasarımlar getirmek faydalı olabilir. Buna, çözüm noktasına doğru ilerleme yavaş olduğu zaman 'çözüm işlemi sırasında birkaç yinelemede yapılabilecek olan göç' denir [18].

#### 3.1.5. Bir problem için birden çok çalışma (Multiple runs for a problem)

Genetik Algoritmaların rastgele sayı jenerasyonuna dayanarak birçok yerde karar aldığı görülmektedir. Bu nedenle aynı problem farklı zamanlarda çalıştırıldığında farklı nihai tasarımlar verebilir [16, 17]. Mümkün olan en iyi çözümün elde edilmesini sağlamak için problemin birkaç kez çalıştırılması önerilir.

## 4. BETONARME YAPILARDA BURULMA DÜZENSİZLİĞİ

### (TORSIONAL IRREGULARITY IN REINFORCED CONCRETE STRUCTURES)

Deprem yönetmelikleri incelendiğinde yapısal düzensizlik durumlarından en çok göze çarpan düzensizlik durumu burulma düzensizliğidir. Burulma etkileri, betonarme elemanlarda eğilme ve ek kesme kuvvetleri oluşturmaktadır. Bu durumun düzgün bir şekilde değerlendirilmesi zordur ve yıkıcı olabilmektedir. Burulma düzensizliği katsayısının 1,2' den küçük çıkması durumunda burulma düzensizliğinin yapı

davranışına önemli bir etkisinin olmadığı varsayılarak herhangi bir ilave işleme gerek duyulmamaktadır [14].

#### 4.1. A1-Burulma Düzensizliği (A1 – Torsional Irregularity)

İki ortogonal deprem yönünden herhangi biri için herhangi bir kattaki maksimum bağıl kat ötelemesinin aynı yönde aynı kattaki ortalama bağıl kat ötelemesine oranı olarak tanımlanan Burulma Düzensizlik Faktörü  $\eta_{bi}$ 'nin 1,2'den büyük olması durumunda burulma düzensizliğinin var olduğu kabul edilir [14].

$$\eta_{bi} = (\Delta_i)_{\max} / (\Delta_i)_{\text{ort}} > 1,2 \quad (2)$$

Burada;  $\eta_{bi}$  burulma düzensizliği katsayısını,  $(\Delta_i)_{\text{ort}}$ , i. katta aynı yöndeki ortalama görelî ötelemesini ve  $(\Delta_i)_{\max}$ , herhangi bir i. kattaki en büyük görelî kat ötelemeyi göstermektedir.

#### 4.2. A2- Döşeme Süreksizlikleri (A2 – Floor Discontinuities)

Döşemelerde büyük boşlukların olması halinde rijit diyafram davranışı engellenir ve böylece yönetmelikte öngörülen sistem rijitliğinin temin edilmesine mâni olur. Döşeme süreksizlikleri herhangi bir kattaki döşemede;

- Merdiven ve asansör boşlukları dahil, boşluk alanları toplamının kat brüt alanının 1/3'ünden fazla olması durumu,

$$A_b = A_{b1} + A_{b2} A_b / A > 1/3 \quad (3)$$

Eş. 3' te;  $A_b$ , boşluk alanları toplamı ve A, brüt kat alanını gösterir.

- Yerel döşeme boşlukların, sismik yüklerin düşey yapı elemanlarına güvenli bir şekilde aktarılmasını zorlaştırdığı durumlar,
- Döşemenin düzlem içi rijitlik ve mukavemetinde ani düşüşlerin ortaya çıkması durumu, yapıda döşeme süreksizliğine neden olduğu açıklanmıştır.

Simetrik olmayan döşeme boşluklarının ve bu bölgelerde kirişlerin sürekliliğinin sağlanmadığı yapılarda en büyük burulma etkileri meydana gelmekte ve yatay deplasmanlar artmaktadır. Bu tür düzensizliklerin oluşmasından kaçınılması önerilmektedir [14].

#### 4.3. Deprem Hesabında Kullanılan Yöntemler (Methods Using in Earthquake Design)

##### 4.3.1. Eşdeğer deprem yükü yöntemi (Equivalent static load analysis)

Eşdeğer statik analiz yönteminde yapının tepkisi lineer elastik bir biçimde kabul edilmiştir. Dikkate alınan deprem yönünde yapının tamamına etki eden toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti), Eş. 4 ile belirlenir [14].

$$V_t = (W A (T_1) / R_a (T_1)) \geq 0,1 A_0 I W \quad (4)$$

Eş. 4'te; W yapı toplam ağırlığı,  $A(T_1)$  deprem yüklerinin belirlenmesi için dikkate alınan spektral ivme katsayısı,  $A_0$  etkin yer ivmesi katsayısı,  $R_a (T_1)$  deprem yükü azaltma katsayısı, I ise yapı önem katsayısıdır.

Yönetmeliklerde bu yükün yükseklik boyunca çoğunlukla lineer dağılımı tercih edilir ve buna uygun olarak i. kata dinamik serbestlik derecesi yönünde etki eden yatay yük ( $F_i$ ) Eş. 5 ile hesaplanır. Eş. 5'te  $w_i$  yapının i. katının ağırlığı ve  $H_i$  ise yapının i. katının temel üstünden itibaren ölçülen yüksekliğidir. Eş. 5'te  $\Delta_{FN}$ , yapının tepe katına etkiyen ek eşdeğer deprem yükü değeridir [14].

$$F_i = (V_t - \Delta_{FN}) \frac{w_i H_i}{\sum_{j=1}^n w_j H_j}; \Delta_{FN} = 0,0075 N V_t \quad (5)$$

##### 4.3.2. Mod birleştirme yöntemi (Mode combination method)

Mod birleştirme yönteminde toplam deprem yükünün bulunması için diğer titreşim periyotları ve mod şekilleri de hesaba katılır ve bu toplam yükün bina katlarına dağıtılması için ilgili mod şekilleri esas alınır. Eş. 6'a göre herhangi bir n'inci titreşim modunda dikkate alınacak azaltılmış ivme spektrumu ordinatı belirlenir [14].

$$S_{ar} (T_n) = S_{ac}(T_n) g / R_a(T_n) \quad (6)$$

Eş. 6'te ;  $S_{ar}(T_n)$  n' inci doğal titreşim modu için azaltılmış ivme spektrumu ordinatını,  $S_{ac}(T_n)$  bu mod için elastik spektral ivmeyi, g yerçekimi ivmesini,  $R_a(T_n)$  ise n' inci doğal titreşim moduna ait sismik yükü azaltma katsayısını gösterir.

Hesaba katılacak yeterli titreşim modu sayısı, Y, göz önüne alınan birbirine dik iki yatay sismik yönlerinin her birinde, her bir mod için hesaplanan etkin kütlelerin toplamının hiçbir zaman bina toplam kütlelerinin %90'ından daha az olmaması kuralına göre belirlenecektir [14].

$$\sum_{n=1}^Y M_{xn} = \sum_{n=1}^Y \frac{L_{xn}^2}{M_n} \geq 0,90 \sum_{i=1}^N m_i \quad (7)$$

$$\sum_{n=1}^Y M_{yn} = \sum_{n=1}^Y \frac{L_{yn}^2}{M_n} \geq 0,90 \sum_{i=1}^N m_i \quad (8)$$

Eş. 7 ve Eş. 8'daki  $L_{xn}$ ,  $L_{yn}$  ve modal kütle  $M_n$ , kat döşemelerinin rijit diyafram olarak davrandığı yapılar için Eş. 9 ve Eş. 10'da verilmiştir. Eş. 9 ve Eş. 10' da  $\Phi$  modal matrisi ve  $m_i$  i' inci katın kütlelerini göstermektedir.

$$L_{xn} = \sum_{i=1}^N m_i \Phi_{xin}; L_{yn} = \sum_{i=1}^N m_i \Phi_{yin} \quad (9)$$

$$M_n = \sum_{i=1}^N (m_i \Phi_{xin}^2 + m_i \Phi_{yin}^2 + m_{0i} \Phi_{0in}^2) \quad (10)$$

Mod katlarının birleştirilmesinde yapıya etki eden toplam deprem kuvveti, iç kuvvet bileşenleri, kat kesme kuvveti, deplasman ve görelî kat ötelemesi gibi büyüklükler, her titreşim modu için hesaplanan ve eşzamanlı olmayan maksimum katlarının istatistiksel olarak birleştirilmesi için kurallar belirtilmiştir. Bu kurallar şu şekildedir;  $T_m < T_n$

olmak üzere, göz önüne alınan herhangi iki titreşim moduna ait doğal periyotların daima  $T_m/T_n < 0,80$  şartını temin etmesi halinde maksimum mod katkılarının birleştirilmesi için Karelerin Toplamının Kare Kökü Kuralı (SRSS) uygulanabilir. Şartın temin etmemesi halinde maksimum mod katkılarının birleştirilmesi için Tam Karesel Birleştirme (CQC) Kuralı uygulanacaktır. Bu kuralın uygulanması için çapraz korelasyon katsayılarının hesabında modal sönüm oranları bütün titreşim modlarında %5 olarak alınacaktır.

Dikkate alınan deprem yönünde, mod katkılarının birleştirilmesi ile bulunan bina toplam deprem yükü  $V_{TB}$ 'nin Eşdeğer Deprem Yüğü Yönteminde hesaplanan bina toplam deprem yükü  $V_t$ 'ye oranının aşağıda tanımlanan  $\beta$  değerinden küçük olması halinde ( $V_{TB} < \beta V_t$ ) Mod Birleştirme Yöntemine göre bulunan tüm iç kuvvet ve yerdeğiştirme büyüklükleri Eş. 11'e göre büyütülecektir [14].

$$B_D = (\beta V_t / V_{TB}) B_B \quad (11)$$

#### 4.3.3. Göreli kat ötelemelerinin sınırlandırılması (Limitation of effective relative storey drifts)

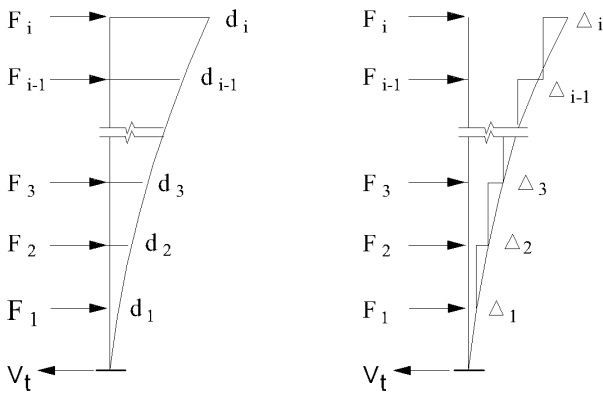
Herhangi bir kolon veya perdede ardışık iki kat arasındaki deplasman farkını gösteren azaltılmış göreli kat ötelemesi,  $\Delta_i$ , Eş. 12 ile elde edilecektir.

$$\Delta_i = d_i - d_{i-1} \quad (12)$$

Eş. 12'de  $d_i$  ve  $d_{i-1}$ , yapının  $i$ 'inci ve  $(i - 1)$ 'inci katlarında herhangi bir kolon veya perdenin uçlarında, hesaptan elde edilen yatay deplasmanları göstermektedir.

Görelî kat ötelemesinin taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R) ile çarpılmasıyla azaltılmış göreli kat ötelemesi bulunur. Her bir deprem yönünde yapının herhangi bir  $i$ 'inci katındaki kolon veya perdelerde Eş. 12 ile hesaplanan göreli kat ötelemelerinin kat içindeki en büyük değeri  $(\Delta_i)_{\max}$ , Eş. 13'te verilen şartların elverişsiz olanını temin edecektir. Eş. 13'te verilen şartın yapının herhangi bir katında temin edilmemesi halinde taşıyıcı sistemin rijitliği artırılarak deprem hesabı tekrarlanacaktır [14].

$$\delta_i = R \Delta_i, (\delta_i)_{\max} / h_i \leq 0,02 \quad (13)$$



**Şekil 1.** Katlar arası göreli öteleme oranı hesaplaması için grafiksel temsili  
(Graphical representation for calculating the relative storey drift ratio)

## 5. GENETİK ALGORİTMALARIN BURULMA DÜZENSİZLİĞİ PROBLEMİNE UYGULANMASI (APPLICATION OF GENETIC ALGORITHMS TO THE PROBLEM OF TORSIONAL IRREGULARITY)

### 5.1. Amaç Fonksiyonu (Objective Function)

Görelî Kat Ötelemeye yapılan optimizasyon probleminin amaç fonksiyonu Eş. 14'te verilmiştir:

$$\text{Amaç (minimize) drift} = (\text{Drift}(X)^2 + \text{Drift}(Y)^2)^{0,5} \quad (14)$$

$$\text{Sınırlayıcılar } g_j(x) \leq 0 \quad j=1,2,\dots,m(\text{davranış})$$

$$x^{iL} \leq x \leq x^{iU} \quad i = 1, 2, \dots, n$$

Burada:  $(\text{Drift}(X)^2)$ ,  $(\text{Drift}(Y)^2)$  sırasıyla  $x$  ve  $y$  deprem doğrultusu için görelî kat ötelemesi,  $g(x)$  eşitsizlik ve sınırlayıcılar,  $n$  uzunluğunda bir vektör döndürür,  $g$  davranışsal kısıtlamalardır.  $x^{iL}$ ,  $x^{iU}$ , tasarım kodu tarafından belirlenen boyutlandırma tasarım değişkenlerinin alt ve üst sınırlarını oluşturur.

### 5.2. Tasarım Değişkenleri (Design Variables)

Değişkenlerin sayısı kolonlar ve perdeler dahil olmak üzere üye sayısına eşittir. Bunlar, (TDY-2007) [14] gereksinimlerine göre değişkenlerin minimum ve maksimum boyutlarını içerir. Uygulamada, perde uzunlukları sabit ve sadece kalınlıklar tasarım değişkenidir.

### 5.3. Tasarım Kısıtlamaları (Design Constraints)

Kapasite kısıtlaması: Standartlarda izin verilen dikdörtgen kesitli kolonların en küçük boyutu 250x300 mm'den ve enkesit alanı 75000 mm<sup>2</sup> den daha az olmayacaktır. Kolonun enkesit alanı,  $N_d$  düşey yükler ve deprem yüklerinin ortak etkisi altında hesaplanan eksenel basınç kuvvetlerinin en büyük olmak üzere aşağıdaki koşulunu sağlayacaktır [14].

$$A_{ci} \geq \sum(N_{d \max} / 0,5 \times F_{ck}); \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (15)$$

Burada:  $N_d$ , tasarım eksenel kuvveti;  $A_c$ , kolonlarda tüm kesit beton alanı;  $F_{ck}$ , beton karakteristik basınç dayanımı.

#### 5.3.1. Kolon kısıtlamaları (Column constraints)

- Geometrik kısıtlama: Mevcut formülasyon için kolonlar kare veya dikdörtgen olabilir. Kolon genişliği ( $b_c$ ) ve derinliği ( $h_c$ ) için verilen minimum boyut sınır değerinden az olmamalıdır. Eş. 16 ve Eş. 17 kolon boyutlarının aşağıdakilerle sınırlandırıldığını göstermektedir:

$$(b_{\min,i} / b_i) - 1 \leq 0 \quad i = 1, 2, \dots, n_{\text{kolon}} \quad (16)$$

$$(h_{\min,i} / h_i) - 1 \leq 0 \quad i = 1, 2, \dots, n_{\text{kolon}} \quad (17)$$

Burada;  $i$ , kolon sayısını ve  $n$  toplam kolon sayısını gösteren bir dizidir. Minimum genişlik  $b_{min}$  ve yükseklik  $h_{min}$ , mimari gereksinimlerine göre her problem için ayrı ayrı tanımlanmalıdır.

- Uyumluluk Kısıtlaması: Belirli bir kattaki kolonların genişliği ( $b_c$ ) kiriş donatı çubuklarının kolonlar boyunca devam etmesini sağlamak için karşılıklı gelen kiriş genişliğinden ( $b_w$ ) daha az olmasını sağlamak için uyumluluk kısıtlaması getirilmiştir. Bir binada deprem sırasında deprem kuvvetleri kütlelerin toplandığı birleşim bölgelerinde oluşur. Bu nedenle kolon kiriş birleşim bölgesinin önemli yer olduğu ve dayanımı çok önem kazanmaktadır. Normalleştirilmiş formda bu kısıtlama Eş. 18 gibi yazılabilir:

$$1 - (b_c/b_w) \leq 0 \quad (18)$$

#### 5.4. Sayısal Örnekler (Numerical Examples)

Sayısal örneklerde Planda Döşemede Süreksizlik Düzensizliği olan 3 boyutlu betonarme binaların görelî kat öteleme optimum tasarım gerçekleştirilmiştir. TDY-2007’de, kat brüt alanının 1/3’ünden büyük döşeme boşluklarından kaçınılması öngörülmüştür. A2 Döşemede Süreksizlik Düzensizliğini incelemek için 2 adet model ele alınmıştır. İncelenen yapı modeller 3 boyutlu 6 katlı olmak üzere çerçeve ve çerçeve perde taşıyıcı sistemlerden meydana gelmektedir. Brüt kat alanı,  $A = 17 \times 14 = 238 \text{m}^2$ . Kattaki boşluk alanı,  $A_b = 10 \times 8 = 80 \text{m}^2$ ’dir.

$A_b/A = 0,3361 > 1/3 = 0,333$  yapıda A2 düzensizlik durumu mevcuttur.

Binaların analizi sırasında ETABS paket programında statik ve dinamik yüklerin etkisi için 65 adet değişik yük kombinasyonu kullanılmıştır. Bu yük kombinasyonlarından seçilen belirli yüklemeler etkisindeki burulma düzensizliği durumu incelemiştir. Kolaylık sağlamak için her yönden ankastre mesnet kullanılmıştır. Her bir bina modelin düşey taşıyıcı eleman kesitleri bina yüksekliği boyunca sabit olarak kabul edilmiştir. Duvarlar, sistemde taşıyıcı eleman olarak kabul edilmemiş ve duvarların kütleleri hesap modelinde düğüm noktalarında toplanmış olarak göz önüne alınmıştır. Bu kütleler belirlenirken kat ortasında bir bölme işlemi

uygulanacak, öyle ki katın üst yarısında kalan bölüm üst katın külesine katılırken; alt yarısı alt katın külesine katılacaktır. Döşeme yüklerini ölü yük ve %30 hareketli yük oluşturmaktadır. Mod birleştirme metodundan elde edilen tüm iç kuvvetler ve deplasmanlar, TDY-2007 “2.8.5. Hesaplanan Büyüklüklere İlişkin Alt Sınır Değerleri” [14] maddesi şartına uygun olarak büyütülmüştür. Her iki deprem yönünde de  $\pm 5\%$  eksantrisine ile yüklemeler yapılarak deprem analizi gerçekleştirilmiştir. Ele alınan modellerde kat döşemeleri esnek diyafram ve rijit diyafram olarak ayrı ayrı incelenmiş ve sonuçlar kıyaslamıştır. Her iki yöntemden elde edilen sonuçlar büyük bir fark gösterdiğinden esnek diyafram kabulü yapılması kararı alınmıştır. Burulma Düzensizliğinin giderilebilmesi için görelî kat ötelemesinin optimum tasarımı, optimum boyutlandırma Genetik Algoritma uygulamaları ile gerçekleştirilmiştir. Her iki yapıya ait yapısal bilgiler ve karakteristikler Tablo 1’de verilmiştir.

Gerçek sayılı kısıtlamalarla lineer olmayan bir fonksiyonu en aza indirmek amacıyla GA kullanılmıştır. Elit sayının varsayılan değeri yuvarlanmış popülasyon büyüklüğünün %5’i seçilmiştir. Değişkenlerin sayısı perdelerin kalınlığı ve kolonlar dahil olmak üzere üye sayısına eşittir. Program başlatıldığında seçilen tasarım değişken değerleri daha önce hazırlanmış olan sistemde bulunan kolon kesit boyutlarını atanmakta, sistemde çözülerek görelî kat öteleme hesabı yapılmakta, buna bağlı olarak amaç fonksiyonu hesaplanmaktadır. Çerçeveler üç kez çözüldü ve her set için elde edilen optimum çözümler arasında en iyisi optimum tasarım olarak alınmıştır. Hiçbir ihlal tespit edilmediği sürece  $f(x)$  amaç fonksiyonuna hiçbir penaltı uygulanmamıştır. Başlangıç verileri girildikten sonra GA farklı jenerasyondan oluşacak olan evrim sürecine başlamaktadır. Topluluk içerisindeki değişkenler başarı sırasına göre sıralanmakta ve topluluktaki başarı düzeyini artırmak için başarılı olan değişkenler başarısız olan değişkenlerin yerine kopya edilmektedir. Popülasyondaki değişkenlerin başarıları her bir jenerasyonda artmaktadır. Evrim önceden belirlenmiş olan jenerasyon sayısı tamamlanmaya kadar devam edecektir. Genetik algoritma işlemleri, her jenerasyon tamamlandığında uygulanmaktadır. Jenerasyondaki değişkenlerin en az %90-95 oranında benzer olması durumunda dönüş işlemlerine son verilebilir. Bu değişkenlerin benzerliği en uygun çözümü göstermektedir.

**Tablo 1.** Proje ve TDY-2007 parametreleri (Project and TEC-2007 parameters)

Seçilen binaların bazı yapısal ve analiz özellikleri	
Kat yüksekliği: 3,0 m; Döşeme kalınlığı: 15 cm	Deprem bölgesi: 1.derece; Zemin sınıfı: Z2
Beton sınıfı: C25;	Spektrum karakteristik periyotları:
Karakteristik basınç dayanımı: $f_{ck} = 25 \text{MPa}$	$T_A = 0,15$ ; $T_B = 0,4$
Betonarme betonu, yoğunluk: $2500 \text{kg/m}^3$	Etkin yer ivme katsayısı, $A_0$ : 0,4
Beton elastisite modülü: $E_c = 30000 \text{MPa}$	Bina önem katsayısı, $I$ : 1
Çelik sınıfı: S420	Taşıyıcı sistem davranış katsayısı: R
Çelik elastisite modülü: $E_s = 200000 \text{MPa}$	Çerçeve Model’de, $R=8$
Akma dayanımı $f_{yk} = 420 \text{MPa}$	Perde Çerçeve Model’de, $R=7$
Çekme dayanımı $f_{su} = 500 \text{MPa}$	Sönüm oranı = 5%,
Hareketli yük değeri: $q = 2 \text{kN/m}^2$	Süneklik düzeyi: yüksek
Duvarlar: Tam tuğla duvar birim ağırlığı: $4,2 \text{kN/m}^2$	Hareketli yük katılım katsayısı: $n=0,3$



Analiz neticesinde sonuçlar kıyaslanarak incelenmiş ve tablolarda sunulmuştur. Tablo 2’de problemlerini çözmek için seçilen GA parametre setini verilmiştir.

#### 5.4.1. Tasarımda kullanılan yük kombinasyonları (Load combinations used in the design)

Her kat için döşeme üzerindeki varsayılan sabit ve hareketli yükler sırasıyla 1,56 kN/m<sup>2</sup> ve 2 kN/m<sup>2</sup>’dir. Türk yönetmeliklerine [14]’e göre tasarımda ETABS® programı kullanılırken aşağıdaki 65 Adet yük kombinasyonları kullanılmıştır. Eş.19’da: G ölü yük, Q hareketli yük ve E yatay yükü gösterilmektedir.

$$F_d = 1,4G + 1,6Q; F_d = G + Q \pm E; F_d = 0,9G \pm E \quad (19)$$

#### 5.4.2. Hazırlanan bilgisayar programı (Prepared computer program)

Üç boyutlu betonarme yapıların statik ve dinamik analizlerinin yapılması ve düzensizlik durumlarının incelemesi için ETABS ver. 17 yapı analiz programı kullanılmıştır. MATLAB® programı ve ETABS® programını birbirine bağlayarak Uygulama Programlama Arayüzü (Application Programming Interface-API) aracılığıyla

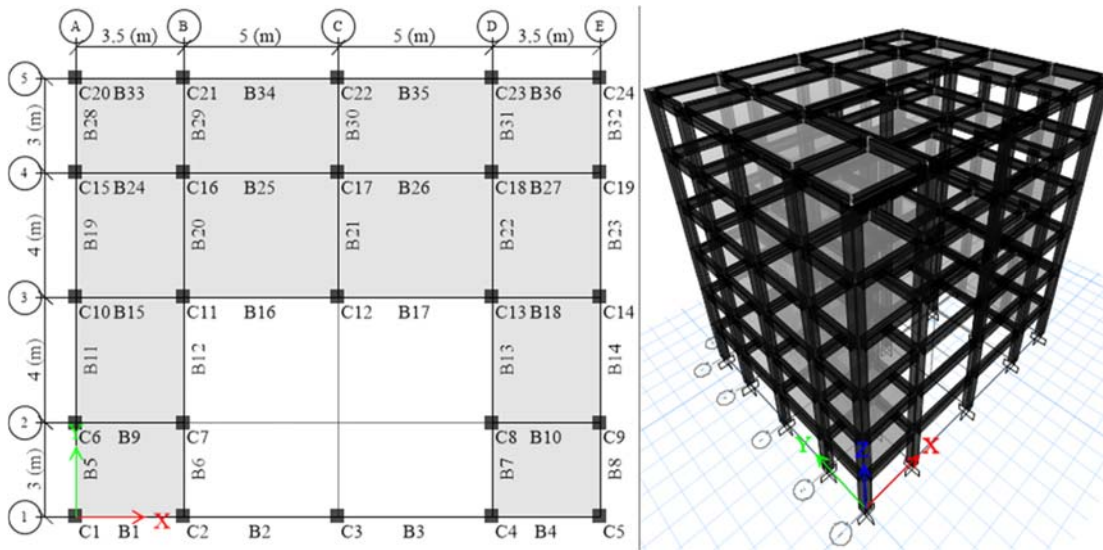
optimum boyutlandırma genetik algoritma uygulamaları ile gerçekleştirilmiştir. Yapıların optimum boyutlandırması için kullanılan (ASUS i5-8250U CPU, 1.80 GHz, RAM 8 GB, 64 bit SSD, Windows 10) standart özelliklerine sahip bilgisayar her bir örnek için her bir jenerasyonu yaklaşık 1,5 saat içinde tamamlamıştır.

#### 1. Örnek (1. Example)

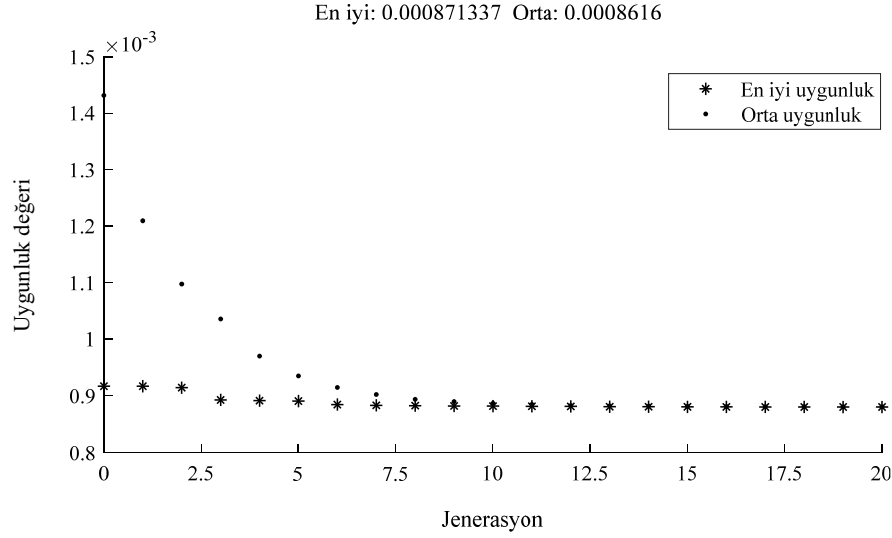
Kolonlar plan düzeninde tüm katlarda aynı olduğu için sadece tek kat grubu vardır ve değişkenler 24 kolon grubuna ayrılmıştır. Her popülasyonda toplam 48 değişken vardır. Bu uygulamada kolonlar için 144 değişken olmak üzere toplam 288 tasarım değişkeni bulunmaktadır. Kolonlar için genişlik-yükseklik ve alt-üst sınırları sırasıyla 300mm ve 600mm olarak ayarlanmıştır. Bu modelde tüm kirişler 300/500mm boyutlarında ve tüm kolonlar 500x500mm ön boyutlandırmada hesaplanmıştır. Optimizasyon uygulamaları için kullanılan modelin tipik kat planı ve çerçeve modelinin 3 boyutlu görüntüsü şekil 2’de verilmiştir. Optimizasyon sonuçları aşağıda detaylı şekilde açıklanmıştır; Şekil 3’teki akış diyagramında açıkça görüldüğü gibi başlangıç verileri girildikten sonra Genetik Algoritma 20 jenerasyonda evrim sürecini tamamlamaktadır. Sonlandırma kriteri olarak tanımlanan 20 iterasyondan sonra

**Tablo 2.** GA’yı çözmek için seçilen çözücü parametre seti (Selected solver parameter set for solving the GA)

Genetik Algoritma parametre seti	
Popülasyon Tipi (Population Type)	İkili vektör (Double vector)
Göç Yönü (Migration Direction)	İleri (Forward)
Popülasyon Büyüklüğü (Population Size)	200
Uygunluk Ölçekleme Fonksiyonu (Fitness Scaling Function)	Sıralama ölçekleme (Rank scaling)
Seçilim Fonksiyonu (Selection Function)	Turnuva (Tournament)
Elit Sayısı (Elite count)	10
Çaprazlama Oranı (Crossover fraction)	0,8
Çaprazlama Fonksiyonu (Crossover Function)	Dağılık çaprazlama (Crossover scattered)
Mutasyon Fonksiyonu (Mutation Function)	Adaptif Fizibil (Adaptive Feasible)
Hibrit Fonksiyonu (Hybrid function)	Yok (None)



**Şekil 2.** A2 tipi düzensizliğin tipik kat planı ve 3D görünümü (Typical floor plan and 3D view of A2 type irregularity)



**Şekil 3.** Genetik algoritma yakınsama grafiği (Genetic algorithm convergence graph)

**Tablo 3.** İlk ve optimal ( $\eta_{bi}$ ) karşılaştırılması (Comparison of the initial and optimal solution of  $\eta_{bi}$ )

Kat Sayısı	İlk çözüm		Optimum çözüm	
	Burulma katsayısı değeri ( $\eta_{bi}$ )		Burulma katsayısı değeri ( $\eta_{bi}$ )	
	X-Deprem Yönü	Y- Deprem Yönü	X-Deprem Yönü	Y-Deprem Yönü
6	1,08	1,30	1,03	1,20
5	1,09	1,17	1,04	1,09
4	1,09	1,13	1,05	1,08
3	1,10	1,11	1,05	1,09
2	1,11	1,10	1,05	1,08
1	1,11	1,12	1,06	1,13

ve yaklaşık 30 saatlik bir CPU süresi 4000 fonksiyon değerlendirme sayısı ile optimum çözüm elde edilmiştir.

Tablo 3 incelenirse optimum çözümde burulma düzensizliği katsayısının sınır değere oldukça yaklaştığı görülmektedir. Tablo 4'te kolonların boyutları sırasıyla x ve y eksenine karşılık gelen genişlik ve derinlik olarak gösterilmiştir. Genetik Algoritma ile çözüm neticesinde (Tablo 4) optimize edilmiş kolonların boyutları ve yönleri optimizasyon öncesi çözümünden çok büyük bir fark göstermiştir. Tablo 3, optimum çözümde, y doğrultusunda burulma düzensizliği katsayılarının sınır değeri (1,2) geçmediği için burulma düzensizliği yaratmamaktadır.

## 2. Örnek (2. Example)

İkinci örnekte optimum boyutlandırma genetik algoritma (GA) uygulamaları ile perde + çerçeve taşıyıcı sistem üzerine gerçekleştirilmiştir. Kolonlar ve perdeler plan düzeni tüm katlarda aynı olduğu için sadece tek kat grubu vardır ve değişkenler 23 kolon ve bir perde grubuna ayrılmıştır. Bu uygulamada kolonlar için 138 ve perdeler için 6 tasarım değişkeni olmak üzere toplam 282 tasarım değişkeni bulunmaktadır. Kolonlar için genişlik-yükseklik ve alt-üst sınırları sırasıyla 300mm ve 600mm olarak ayarlanmıştır. Bu modelde tüm kirişler 300/500mm boyutlarında ve tüm kolonlar 450x450mm ön boyutlandırmada elde edilmiştir.

Perde uzunlukları 2500mm olmak üzere sabittir ve yalnızca kalınlıkları tasarım değişkeni olup alt-üst sınırları sırasıyla 200mm ve 300mm olarak ayarlanmıştır. Optimizasyon uygulamaları için kullanılan modelin tipik kat planı ve çerçeve modelinin 3 boyutlu görüntüsü Şekil 4'te verilmiştir. Optimizasyon sonuçları aşağıda detaylı şekilde açıklanmıştır;

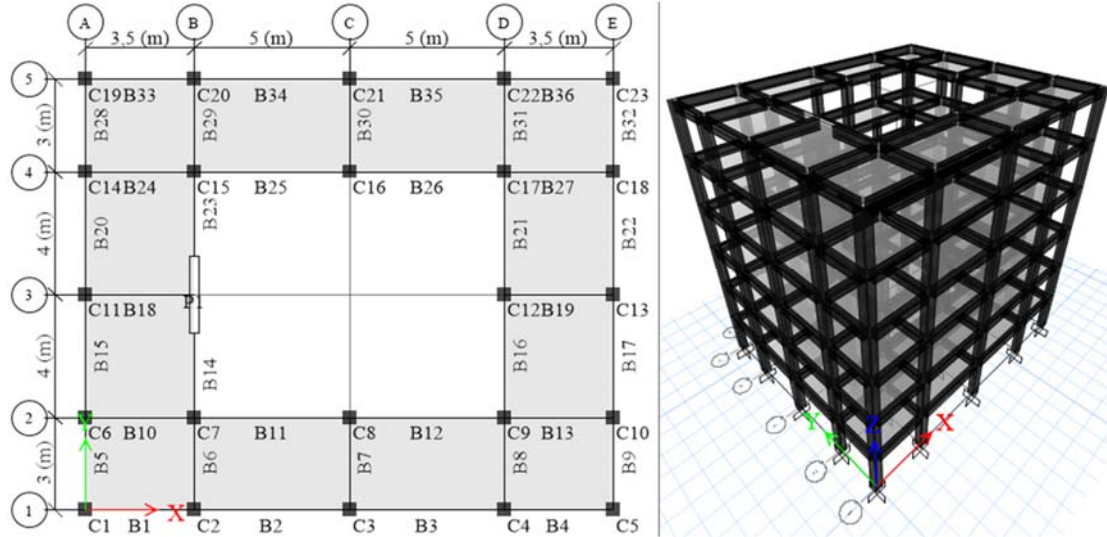
İkinci çözümde sonlandırma kriteri olarak tanımlanan 40 iterasyondan sonra ve yaklaşık 40 saatlik bir CPU süresi 8000 fonksiyon değerlendirme sayısı ile optimum çözüm elde edilmiştir (Şekil 5). Tablo 5'ten de anlaşılacağı üzere Genetik Algoritma ile çözüm sonucunda optimize edilmiş kolonların boyutları ve yönleri optimizasyon öncesi çözümünden büyük bir fark göstermiştir. Tablo 5'te kolonların boyutları sırasıyla x ve y eksenine karşılık gelen genişlik ve derinlik olarak gösterilmiştir. Tablo 6 incelenirse optimum çözümde burulma düzensizliği katsayısının sınır değere oldukça yaklaştığı görülmektedir.

## 6. TARTIŞMALAR (DISCUSSIONS)

Yapılardaki tüm katların burulma düzensizliği katsayısı boyutlandırma optimizasyon uygulamalarından önce ve sonra kıyaslanmış, elde edilen sonuçlar grafikler ve tablolar ile desteklenmiş ve bunun sonucunda belirgin farklar verdiği gözlemlenmiştir (Tablo 3-6 ve Şekil 6). Şekil 6'da her iki

**Tablo 4.** İlk ve optimum kolon boyutlarının karşılaştırılması (Comparison of initial and optimal column sizes)

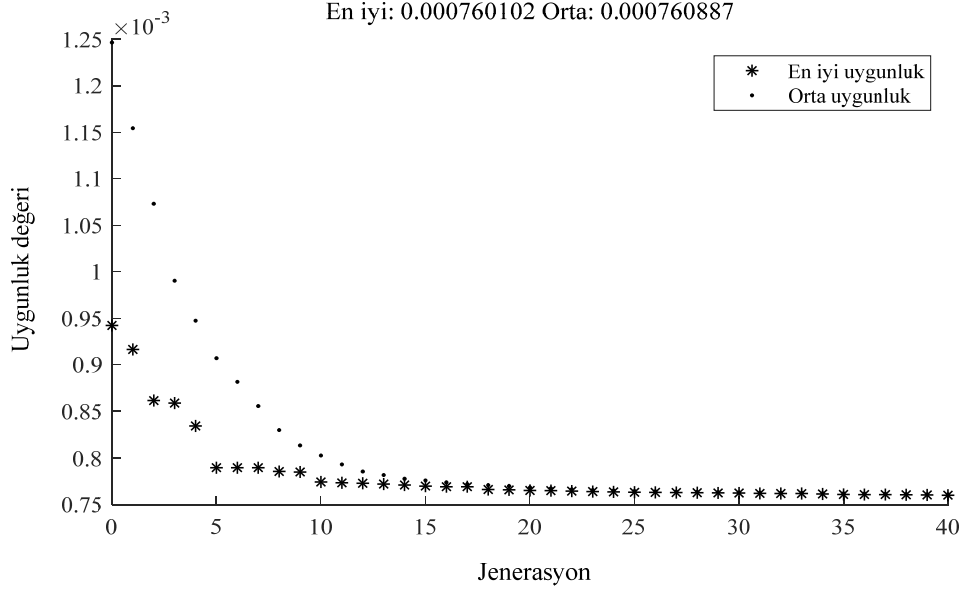
Kolon Sayısı	İlk çözümü (mm)		Optimum çözüm (mm)	
	Derinlik (bc)	Genişlik (hc)	Derinlik (bc)	Genişlik (hc)
C1	500	500	557	356
C2	500	500	472	399
C3	500	500	514	412
C4	500	500	463	408
C5	500	500	594	316
C6	500	500	502	391
C7	500	500	462	410
C8	500	500	549	350
C9	500	500	489	407
C10	500	500	473	418
C11	500	500	562	365
C12	500	500	591	352
C13	500	500	451	400
C14	500	500	494	391
C15	500	500	528	349
C16	500	500	592	344
C17	500	500	591	415
C18	500	500	575	365
C19	500	500	523	358
C20	500	500	457	403
C21	500	500	591	316
C22	500	500	594	308
C23	500	500	509	391
C24	500	500	498	351

**Şekil 4.** A2 tipi düzensizliğin tipik kat planı ve 3D görünümü (Typical floor plan and 3D view of A2 type irregularity)

model için y doğrultusunda ‘Optimum Çözümü’ ile ‘İlk Çözümü’ kıyaslanarak incelenmiştir ve akış diyagramından görüleceği üzere boyutlandırma optimizasyon neticesinde her iki modelin her kat düzeyinde burulma düzensizliği bakımından yönetmeliğin öngördüğü sınırlar aşılmamaktadır. Ayrıca her kat düzeyinde optimum çözümde, her iki doğrultusunda burulma düzensizliği

katsayılarının sınır değeri (1,2) geçmediği için burulma düzensizliği yaratmamaktadır (Tablo 3-6).

Elde edilen sonuçlarda, burulma düzensizliği katsayısının görelî kat ötelenmelerinden ötelenmelere bağlı olarak tanımlanmasının daha doğru sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.



**Şekil 5.** Genetik algoritma yakınsama grafiği (Genetic algorithm convergence graph)

**Tablo 5.** İlk ve optimum kolon boyutlarının karşılaştırılması (Comparison of initial and optimal column sizes)

Kolon Sayısı	İlk çözümü (mm)		Optimum çözüm (mm)	
	Derinlik (bc)	Genişlik (hc)	Derinlik (bc)	Genişlik (hc)
C1	450	450	419	488
C2	450	450	415	550
C3	450	450	508	452
C4	450	450	448	555
C5	450	450	500	567
C6	450	450	587	333
C7	450	450	600	466
C8	450	450	419	549
C9	450	450	470	594
C10	450	450	460	594
C11	450	450	577	444
C12	450	450	550	518
C13	450	450	465	556
C14	450	450	398	464
C15	450	450	345	569
C16	450	450	556	577
C17	450	450	474	593
C18	450	450	491	578
C19	450	450	582	473
C20	450	450	397	440
C21	450	450	342	585
C22	450	450	342	541
C23	450	450	490	503
P1	300	2500	250	2500



- International Journal of Engineering, Business and Enterprise Applications, 9 (2), 116-121, 2014.
7. Alex D. M., ve Kottalil L., Genetic algorithm based design of a reinforced concrete continuous beam, International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), 4 (09), 224-227, 2015.
  8. Samruddha S. R., ve Patel R. B., Column capital and drop panel optimization of flat slab using genetic algorithm, Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology, 6(4), 2017.
  9. Fayaz Basha S. B., Madhavi Latha K., Design optimization of reinforced concrete slabs using genetic algorithms, International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET), 9 (4), 1370–1386, 2018.
  10. Sadat Z., ve Arslan A., Optimal design of eccentricity for seismic applications using genetic algorithm, International Journal of Civil & Environmental Engineering IJCEE-IJENS, 21 (01), 16-28, 2021.
  11. Demir A., ve Dönmez D., Çok katlı yapılarda burulma düzensizliğine etki eden faktörler, C.B.Ü. Fen Bilimleri Dergisi, 4 (1), 31-36, 2008.
  12. Özmen G., Girgin K., Durgun Y., Torsional irregularity in multi-story structures, International Journal of Advanced Structural Engineering, 6, 121–131, 2014.
  13. Rudhra H., Lipika H., Seismic Behaviour Of Plan Irregular Building –An Analytical Study, International Journal of Research in Engineering and Technology. <http://www.ijret.org>, 4 (13), 2321-7308, 2015.
  14. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Esaslar, (DBYBHY), T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi, 2007.
  15. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY), Afet ve Acil Durum Başkanlığı, Ankara, 2018.
  16. Singiresu S. R., Engineering Optimization; Theory and Practice (Fourth edition), USA, Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2009.
  17. Arora J. S., Introduction to optimum design (3rd edition), USA, Iowa: Academic Press, 2012.
  18. Messac A., Optimization in Practice with MATLAB®for Engineering Students and Professionals, New York, USA, Cambridge University, 2015.