



## Diversification of rebar standard lengths and optimization to reduce rebar waste rate

Şahin Tolga Güvel\*<sup>ID</sup>, İbrahim Karataş<sup>ID</sup>

Osmaniye Korkut Ata University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, 80000, Osmaniye, Turkey

### Highlights:

- Reducing rebar waste rate
- Diversification of rebar production lengths
- Based on genetic algorithm and combined with a fuzzy logic system optimization

### Keywords:

- Rebar Waste
- Optimization
- Genetic Algorithm
- Fuzzy Logic System
- Construction Management

### Article Info:

Research Article  
Received: 27.08.2020  
Accepted: 18.04.2021

### DOI:

10.17341/gazimmfd.786198

### Correspondence:

Author: Şahin Tolga Güvel  
e-mail: sahintolgaguvel@osmaniye.edu.tr  
phone: +90 0532 657 7489

### Graphical/Tabular Abstract

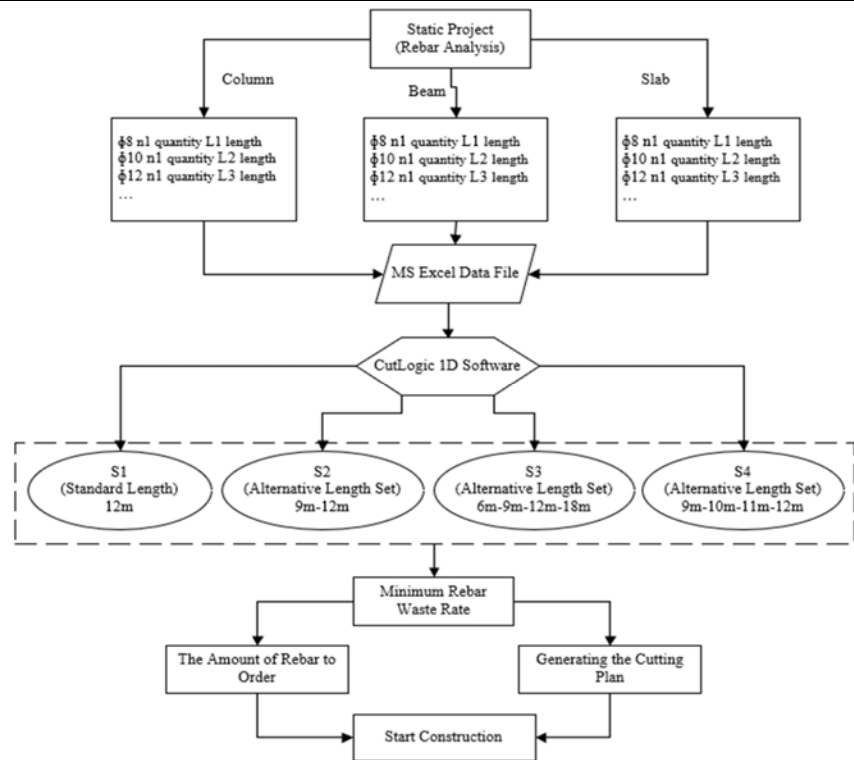


Figure A. Proposed optimization method flowchart

**Purpose:** This paper, an optimization method is offered to minimize the reinforced concrete rebar waste before the construction phase of the building. Using this method, it is aimed to further reduce the amount of waste if the rebar production lengths are produced at different lengths.

### Theory and Methods:

The optimization method used in the study was made with CutLogic1D software which based on genetic algorithm and combined with a fuzzy logic system. Optimization was performed with rebar quantities calculated on 3 different projects on a small, medium and large scale. Also, in addition to the standard 12-meter production length, the most optimum rebar waste rates were determined in the direction of the analysis made with alternative different production lengths and sets of these lengths.

### Results:

It is observed that these waste rates are greatly reduced by the analysis. Especially in small, medium and large-scale constructions, trim loss in S3 and S4 alternative production length sets reach minimum values with approximately 1%. According to the proposed optimization methods and production alternatives in this study, Turkey's yields from rebar will be approximately 120597,585 tons, considering the optimum rebar waste rates.

### Conclusion:

The production of 9m, 10m, 11m and 12m length rebars analyzed with the S4 alternative by diversifying the production of rebar instead of the current standard production of 12 meters will contribute to the reduction of construction costs by reducing the amount of rebar waste and will also contribute to the country's economy.



## İnşaat demiri atık oranının azaltılması için inşaat demiri standart uzunluklarının çeşitlendirilmesi ve optimizasyon uygulaması

Şahin Tolga Güvel\*<sup>ID</sup>, İbrahim Karataş<sup>ID</sup>

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 80000 Merkez Osmaniye, Türkiye

### Ö N E Ç İ K A N L A R

- İnşaat demiri atık oranının azaltılması
- İnşaat demiri üretim uzunluklarının çeşitlendirilmesi
- Genetik algoritma ve bulanık mantık sisteminin birleştirilmesi ile optimizasyon

#### Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş: 27.08.2020

Kabul: 18.04.2021

#### DOI:

10.17341/gazimmfd.786198

#### Anahtar Kelimeler:

İnşaat demiri atığı,  
optimizasyon,  
genetik algoritma,  
bulanık mantık sistemi,  
inşaat yönetimi

#### ÖZ

İnşaat projelerinde şantiyede yapılan plansız inşaat demiri kesimlerinde oldukça fazla demir atıkları meydana gelmektedir. Bu yüzden çalışmada yapının inşaat aşaması başlamadan önce betonarme inşaat demiri atığının minimize edilmesini sağlamak için bir optimizasyon yöntemi sunulmaktadır. Bu yöntem kullanılarak inşaat demiri üretim boylarının farklı uzunluklarda üretilmesi durumunda atık miktarının daha da azaltılması amaçlanmaktadır. Çalışmada kullanılan optimizasyon yöntemi genetik algoritma ve bulanık mantık sisteminin birlikte çalışmasına dayanan CutLogic1D yazılımı ile yapıldı. Küçük, orta ve büyük ölçekli 3 farklı proje üzerinden hesaplanan inşaat demiri miktarları ile optimizasyon işlemi yapıldı. Aynı zamanda standart 12 metre üretim uzunluğunun yanı sıra alternatif farklı üretim uzunlukları ve bu uzunluklardan oluşan setler ile yapılan analizler doğrultusunda en optimum inşaat demiri atık oranları belirlendi. Yapılan analizler ile bu atık oranlarının büyük ölçüde azaltıldığı görülmektedir. Özellikle küçük, orta ve büyük ölçekli inşaatlarda S3 ve S4 alternatif üretim uzunluk setlerinde kesme kayıpları yaklaşık %1 ile minimum değerlere ulaşmaktadır. Bu çalışmada önerilen optimizasyon yöntemi ve üretim alternatiflerine göre optimum inşaat demiri atık oranlarına göre Türkiye'nin inşaat demirinden sağladığı kazanç 120597,585 ton seviyelerinde olacaktır. Bu da inşaat maliyetlerinin azaltılmasına katkı sağlayacağı gibi, ülke ekonomisine de katkı sağlayacaktır.

## Diversification of rebar standard lengths and optimization to reduce rebar waste rate

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

- Reducing rebar waste rate
- Diversification of rebar production lengths
- Based on genetic algorithm and combined with a fuzzy logic system optimization

#### Article Info

Research Article

Received: 27.08.2020

Accepted: 18.04.2021

#### DOI:

10.17341/gazimmfd.786198

#### Keywords:

Rebar waste,  
optimization,  
genetic algorithm,  
fuzzy logic system,  
construction management

#### ABSTRACT

In construction projects, highly rebar waste occurs in the unplanned construction rebar cutting made on the construction site. Therefore, in this study, an optimization method is offered to minimize the reinforced concrete rebar waste before the construction phase of the building. Using this method, it is aimed to further reduce the amount of waste if the rebar production lengths are produced at different lengths. The optimization method used in the study was made with CutLogic1D software which based on genetic algorithm and combined with a fuzzy logic system. Optimization was performed with rebar quantities calculated on 3 different projects on a small, medium and large scale. Also, in addition to the standard 12-meter production length, the most optimum rebar waste rates were determined in the direction of the analysis made with alternative different production lengths and sets of these lengths. It is observed that these waste rates are greatly reduced by the analysis. Especially in small, medium and large-scale constructions, trim loss in S3 and S4 alternative production length sets reach minimum values with approximately 1%. According to the proposed optimization methods and production alternatives in this study, Turkey's yields from rebar will be approximately 120597.585 tons, taking into account the optimum rebar waste rates. This will contribute to reducing construction costs as well as contribute to the country's economy.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Malzeme yönetimi, inşaat yönetiminin en önemli bileşenlerinden biridir. Malzeme yönetiminde başlıca gereklilik malzemelerin ekonomik ve sürdürülebilir bir şekilde tedarik edilip edilmemesidir. Malzemelerin ekonomik ve sürdürülebilir olması malzeme atığının minimum düzeye indirilmesi ile gerçekleşir. İnşaat sektöründe bir yapı, yaşam döngüsü boyunca çok sayıda atığa sebep olur. İnşaat sektöründe, diğer birçok sektöre oranla daha fazla israfı karşılanmaktadır. Bu israfı, doğru bir şekilde yöneterek ortadan kaldırmak ya da minimize etmek önemlidir [1]. Government Statistical Services 2020 yılında hazırladığı “UK Statistics on Waste” raporuna göre UK’de 2016 yılında meydana gelen atıkların %62’si inşaat atığı olarak belirlenmiştir. Amerika’da ise inşaat atığı toplam katı atık miktarının %23’ ünü oluşturduğu hesaplanmıştır [2]. Yapılan araştırmalar sonucunda şantiyelerdeki atık miktarı ise bir şantiyeye teslim edilen yapı malzemelerinin toplam ağırlığının %4 ila %30’unun atık haline geldiği tahmin edilmiştir [3, 4]. Şantiyede meydana gelen bu atıkların önemli bir kısmı bir boyutlu inşaat malzeme atığıdır. Gavilan [5] yaptığı çalışmada “Toronto Home Builders Association” konut inşaatından kaynaklanan atık miktarını hesapladı ve yaklaşık %25 oranında bir boyutlu inşaat malzeme atığı belirlemiştir. Bunun sonucunda şantiyede bir boyutlu inşaat malzeme atığının azaltılması durumunda toplam inşaat atığının da büyük oranda azaltılabileceği öngörülmektedir. Bu yüzden bu çalışmada bir boyutlu bir malzeme olan betonarme (BA) inşaat demiri atığının durumu incelenmiştir. Aynı zamanda bir inşaat projesinde BA inşaat demiri atığının fazla olması maliyet açısından da oldukça önem arz etmektedir. Bundan dolayı inşaat projelerinde BA inşaat demiri atığının azaltılması hem projenin ekonomisi için hem de ülkenin atık seviyesinin azaltılması için oldukça önemlidir.

Bu çalışmanın amacı inşaat projelerinde BA inşaat demiri atığının azaltılması için statik projesi çizilen yapının inşaat aşaması başlamadan önce BA inşaat demiri atığının minimize edilmesini sağlamaktır. Yani inşaat demirinin montajından önce bu işlemin planlanması ve inşaat demiri stoklarının tedarik edilmesinde asgari malzeme maliyetiyle sonuçlanacak şekilde optimizasyonun yapılması ile inşaat demiri atığının azaltılması amaçlanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda fabrikalarda üretilen standart 12 metre uzunluğundaki inşaat demirinin yanı sıra farklı alternatif uzunluklarda da üretim yapılması durumunda inşaat demiri atığının daha da azaltılması amaçlanmaktadır. Bu amaç için örnek 3 tip projelerden BA inşaat demiri miktarları hesaplanarak genetik algoritma ve bulanık mantık yöntemi birleşimine dayanan bir bilgisayar yazılımı ile optimizasyon yapılarak inşaat demiri atık oranları ve kesim planları oluşturulmuştur. Yapılan bu analizler ile bir boyutlu BA inşaat demiri atığının standart 12m ve farklı alternatif üretim uzunluklarındaki atık oranları ve miktarları hesaplanmıştır. BA inşaat demiri atığının oranları ve miktarına bakılarak öneriler sunulmuştur.

Bu makale, problemi ve çalışmanın amaçlarını ortaya koyan bu giriş de dahil olmak üzere 5 bölüm halinde düzenlenmiştir. 2. Bölümde bir boyutlu malzeme kesme problemi ve bu problemin çözümünde uygulanan bazı algoritmaların kullanıldığı çalışmaları içeren literatür taraması tartışılmaktadır. 3. Bölümde bu çalışmada kullanılan bilgisayar yazılımının dayandığı genetik algoritma, bulanık mantık sistemi ve bu iki sistemin birleşimi ile oluşan yeni algoritma metotları irdelenmiştir. 4 bölümde, yapılan analizler ile oluşan sonuçlar ve tartışmalar açıklanmıştır. 5. Bölümde ise elde edilen sonuçlara göre değerlendirmeler yapılmış ve öneriler sunulmuştur.

## 2. LİTERATÜR İNCELEMESİ (LITERATURE REVIEW)

İnşaat projelerinde malzeme yönetiminin en önemli işlevlerinden biri verimliliği arttırmaktır. Verimliliğin artırılması için en etkili yöntemlerden biri ise atık malzeme miktarının azaltılmasıdır. İnşaat demiri kullanımı, inşaat projelerinde büyük bir paya sahiptir. Bu nedenle inşaat demirindeki atık miktarının azaltılması, malzeme yönetimi için oldukça önemlidir. Bu konu birçok araştırmacının ilgi odağı olmuştur. İnşaat (malzemelerinin) atıkları arasında BA inşaat demiri atığının ortalama oranı ABD’de %5, Çin’de %3, Brezilya’da %21 ve Hong Kong’da ise %8 olarak belirlenmiştir [6]. BA inşaat demirinde meydana gelen atık, genellikle kesme probleminden kaynaklanmaktadır. Bu kesme problemine bir boyutlu malzeme kesme optimizasyon problemi (one-dimensional material cutting optimization problem) denmektedir [7, 8]. İnşaat demirinde kesme optimizasyonunun amacı statik hesap ile projede belirlenen inşaat demirinin boyutu ve uzunluğuna göre kesim boylarını optimize etmek [9-11] ve sipariş verilen malzemenin israfını minimize etmektir [7, 12]. Malzeme kesme problemine çözüm üretmek için birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar genellikle iki tür yaklaşıma odaklanmıştır. Bunlar analitik yaklaşımlar ve sezgisel yaklaşımlar olarak gruplanabilir [13]. Analitik yaklaşım çözümlerinde, bu tür problemler için üretilen en önemli çözümlerden biri Gilmore ve Gomory [15] tarafından oluşturulan yaklaşımdır. Bu yaklaşıma göre kesme kalıplarını (cutting patterns) oluşturmak için sütun oluşturma tekniği (column generation technique) kullanılmıştır. Lineer programlama kullanılarak oluşturulan bu yaklaşım bir tamsayı (integer) yaklaşımı değildir. Bu yüzden kesirli sayıların tam sayı değerlerine yuvarlanması gerektiğinden ek israfa neden olabilir [5]. Tamsayı (integer) programlama teknikleri optimum tamsayı çözümlerine ulaşmayı hedefler. Ancak bu optimizasyon tekniğinde kesme düzeni sayısı (number of cutting patterns) fazla olduğundan çok fazla hesaplama ihtiyacı [12, 17] ve karmaşıklık olabilir [7, 16]. Çok fazla hesaplama ve karmaşıklıklardan dolayı malzeme kesme probleminin çözümünün zorlaşması sezgisel tarama (heuristics) yönteminin üzerine odaklanılmasını sağlamıştır [18, 19]. Sezgisel yaklaşım çözümlerinde, “sequential heuristic procedure” adı altında ilk olarak Haessler [20] tarafından kesme kayıplarını potansiyel olarak kontrol edebilecek bir

sezgisel prosedür geliştirilerek uygulanmıştır. Bu yöntem ile öncelikle birer birer kesme kalıpları (cutting patterns) seçilir. Bir sonraki kalıp bir veya daha fazla hedefe göre seçilir. Sıralı bir şekilde değerlendirilen kesme kalıpları içinde seçilen ilk kalıplar normal olarak kesme kayıplarını en aza indirmek ve talebi karşılamak açısından etkili olacaktır, ancak geri kalan talebi karşılayacak desenler muhtemelen daha yüksek kesme kayıplarına sahip olacaktır [13, 16, 21]. Gradišar, Resinovič, & Kljajić [22] ise sıralı sezgisel prosedür ve Lineer programlama metodlarının kombinasyonu ile hibrit bir çözüm ileri sürmüştür. Bu çözüm kesilecek farklı girdi uzunluklarının (input lengths) temini ile kesme kaybını en aza indirmeyi amaçlamaktadır. Yapılan araştırmalar sonucu bir boyutlu malzeme kesme problemlerinin bir kombinatoriyal problem (combinatorial problem) olduğu anlaşılmaktadır. Bu yüzden genellikle çok sayıda parçalardan seçim yaparak oluşturacağımız kombinatoriyal problemleri çözmek için genetik algoritmalar önerilmektedir [10, 23, 24]. Ancak daha karmaşık durumlarda genetik algoritma çözümlerinin bulanık mantık sistemleri ile birleşiminin daha doğru sonuç verdiği görülmüştür [25]. Bundan dolayı bu çalışmada genetik algoritma ile bulanık mantık sistemlerinin birleşimine dayanan yeni bir algoritmaya dayanarak hazırlanan bir yazılım programı kullanılmıştır.

### 3. METOT (METHOD)

#### 3.1. Genetik Algoritma (Genetic Algorithm)

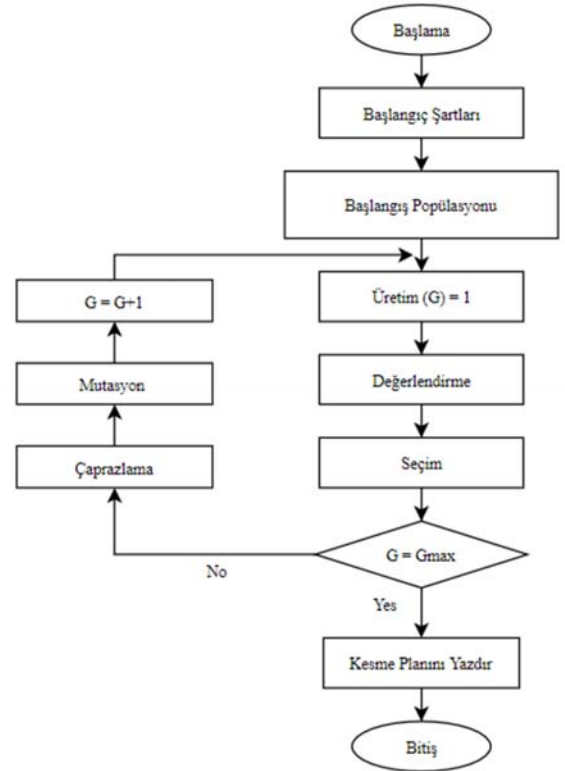
1970 yılında John Holland tarafından geliştirilen Genetik algoritma (GA), genetik ve doğal seleksiyon teorilerine ve doğal çözümlerin mekaniğine dayanan bir optimizasyon algoritmasıdır [7, 16, 26]. Genetik algoritmalar genel olarak problem için tek bir çözüm üretmek yerine birden fazla çözüm üretmek daha geniş bir çözüm havuzu oluşturarak ve daha etkin bir arama yaparak çalışır [27]. GA'lar, kromozom adı verilen bir aday çözüm popülasyonu üzerinde çalışır. Çözümdeki her bir parametre kromozomda belirli bir konuma sahip olacaktır. Her kromozom, arama alanındaki bir arama noktasını temsil eder ve daha iyi bir çözüm aramak için bilgi alışverişinde bulunur [28]. GA'ya kromozomlar olarak işlenen optimize edilecek değişkenler algoritmanın başlangıç popülasyonunu oluşturur ve bu kromozomlar bir uyumluluk değerine sahiptir [29]. Uyumluluk değeri en yüksek kromozom seçilerek kopyalama, çaprazlama ve mutasyon adı verilen genetik işlemler sonucunda daha yüksek uyumluluk değerine sahip yeni bir popülasyon oluşturulur [30]. Bu süreç, belirlenen bir durma kriteri sağlanana kadar devam ettirilmekte ve sonunda en iyi birey çözüm olarak kabul edilmektedir. Genetik algoritmanın bu akış şeması (flowcharts) Şekil 1'de gösterilmiştir [7].

#### 3.2. Bulanık Mantık Sistemi (Fuzzy Logic System)

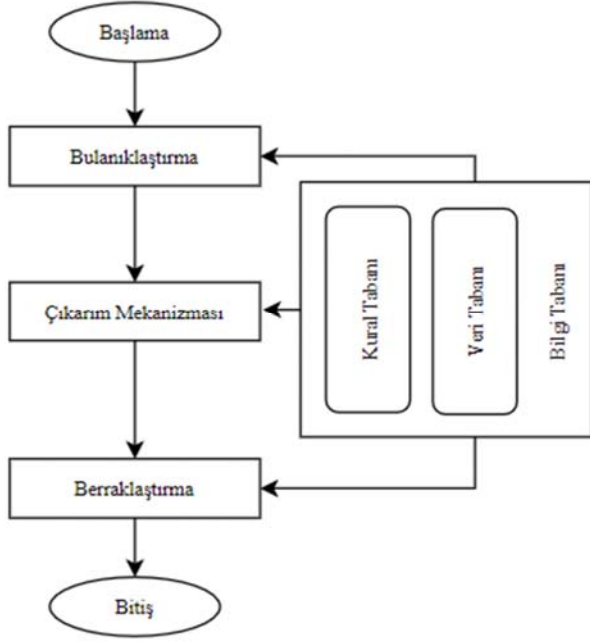
1965 yılında Profesör Lofti Zadeh tarafından geliştirilen bulanık mantık kavramı programcının sıcak, ılık, hızlı, küçük vb. gibi günlük hayattaki terimleri bilgisayar 2200

sistemlerinde ve algoritmalarında kullanılmaya olanak sağlamaktadır [31]. Yani bulanık mantık gerçek dünya verilerini alarak bunları bulanık bir girdiye dönüştürmeyi sağlar [28]. Bulanık küme teorisine dayanan bulanık mantıkta üyelik değeri (membership value) 0 ile 1 arasında değişen farklı değerler almaktadır. Bulanık küme mantığında eğer bir elemanın üyelik değeri 1'e yakın bir değer ise o kümeyle daha fazla ait, 0'a yakınsa o kümeyle daha az ait olmaktadır. Üyelik fonksiyonu ile bulanık değerlere dönüştürülen giriş parametreleri bulanık kurallara doğrultusunda tek bir bulanık çıkış değerlerine dönüştürülür. Sistemin çıkış değeri de elde edilen bu bulanık çıkış değerinin gerçek değere dönüştürülmesi ile üretilir. Bu tür sistemlere "Bulanık kural tabanlı sistemler" denir [32]. Bulanık kural tabanlı sistemler Şekil 2'de gösterildiği gibi 4 bileşenden oluşur [25, 28, 33];

1. Uzmanın iyi bir kontrole ulaşmak için gerçek değerlerin bulanık mantıksal değere dönüştürülmesini içeren If-Then kuralını ve veri tabanını içeren bilgi tabanıdır.
2. Çıkarım Mekanizması (The inference mechanism), uzmanın uygun kuralları uygulamasını sağlayarak kurallardan üzerinden sonuç çıkarımını sağlayan mekanizmadır.
3. Bulanıklaştırma arayüzü, çıkarım mekanizmasının kuralları etkinleştirmek ve uygulamak için girdi değişkenlerinin bulanıklaştırılmasıdır.
4. Berraklaştırma arayüzü, çıkarım mekanizması sonuçlarının süreç için gerçek girdilere dönüştürülmesidir.



Şekil 1. Genetik algoritma akış şeması (Genetic algorithm flowchart)



**Şekil 2.** Bulanık mantık sistemi akış şeması  
(Fuzzy logic system flowchart)

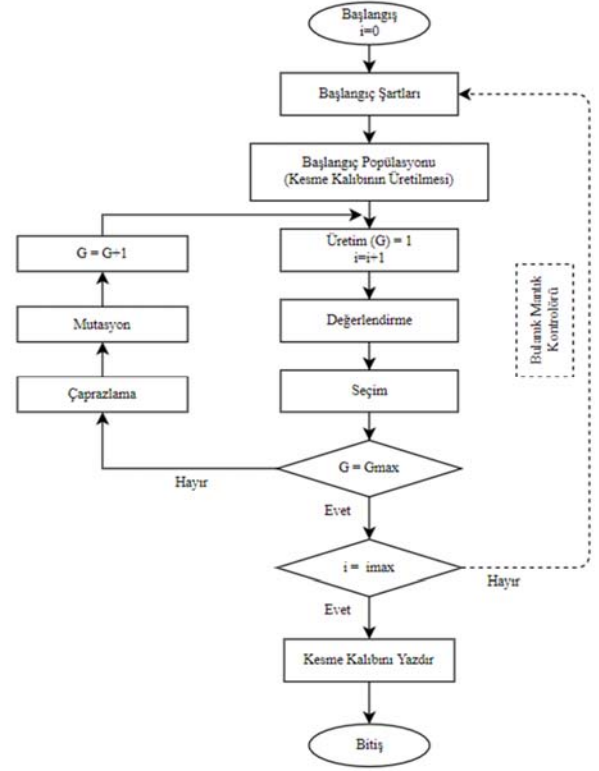
### 3.3. Genetik Algoritma ve Bulanık Mantık Sisteminin Birleşimine Dayalı Algoritma (Based on Genetic Algorithms and Combined with a Fuzzy Logic System)

Küçük ve orta büyüklükteki boyutlarda genetik algoritma çözümleri büyük oranda doğru olarak hesaplanmıştır. Ancak daha büyük boyutlarda genetik algoritma çözümlerinin daha az doğru olduğu görülmüştür. Bu yüzden Laribi vd. [25] yaptıkları çalışmada genetik algoritma ve bulanık mantık sistemlerinin birleşimini önererek hibrit bir yaklaşım sunmuştur. Bu yaklaşım ile bulanık mantık sistemleri, genetik algoritma ile oluşturulan sistemin başlangıç koşullarının sınır değerlerini optimize ederek kullanılması önerilmiştir. Bu işlem her değişkenin gelişim yolundan (the way each variable evolves) yararlanılarak bir sonraki optimizasyon için daha iyi sonuç vermesi istenmektedir [25, 28]. Yani klasik genetik algoritma işleminde başlangıç değerleri rastgele belirlenecekken, genetik algoritma bulanık sistem ile birleştirildiğinde işlem sırasındaki değişkenlerin gelişimi izlenerek bu başlangıç değerlerinin en uygun sınırlarının ayarlanması sağlanır. Hesaplanan bu sınır değerleri ile ikinci optimizasyon başlar ve algoritma en iyi sonucu bulana kadar Şekil 3'te gösterildiği gibi bu döngü ile çalışmaya devam eder. Her optimizasyon adımının sonucunda bir c parametresi elde edilir ve bir sonraki optimizasyon adımı için belirlenecek sınır değerler Eş. 1 ve Eş. 2 denklemleri ile düzeltilir [25].

$$x_{min}^* = x_{ave} - c/2(x_{max} - x_{min}) \quad (1)$$

$$x_{max}^* = x_{ave} + c/2(x_{max} - x_{min}) \quad (2)$$

Burada  $x_{ave}$  son optimizasyonun ve optimizasyon sonucundaki sınır değerlerin ortalamasıdır.



**Şekil 3.** Genetik algoritma ve bulanık mantık sisteminin birleşimine dayalı algoritma akış şeması  
(Based on genetic algorithm and combined with a fuzzy logic system flowchart)

Yapılan araştırmalar sonucunda bir inşaat projesinde BA inşaat demiri atığını en aza indirmek için optimum kesme durumunu belirlenmesi optimizasyon algoritmaları ile mümkündür. Önceki makalelere bakıldığında bu sorunu çözmek için lineer programlama, tamsayı programlama yaklaşımı, sıralı sezgisel prosedür, genetik algoritma ve bunların hibrit birleşimleri denenmiştir. Bu çalışmada ise genetik algoritma ve bulanık mantık sistemlerinin hibrit bileşimi ile oluşturulan bir bilgisayar yazılımı yardımıyla bir inşaat projesinde BA inşaat demiri atığının ne kadar azaltılabileceği amaçlanmaktadır.

### 3.4. Vaka Çalışmaları (Case Studies)

İnşaat projelerinde BA inşaat demiri atığını azaltmak için literatürde kullanılan yöntemlere bakıldığında bu çalışmada genetik algoritma ve bulanık mantık sistemlerinin birlikte kullanılmasıyla oluşturulan yeni bir algoritma ile optimizasyon işleminin yapılması önerilmiştir. Bundan dolayı çalışmada bu algoritmaya dayanan CutLogic1D yazılımı kullanılmıştır. Bu yazılım ile bir inşaat projesinin statik projede hesaplanan inşaat demiri boyutları ve inşaat demirinin standart üretim uzunluğu yazılıma girilerek BA inşaat demirlerinin kesim planlaması belirlenerek BA inşaat demirlerinin kesme kaybının azaltılması sağlanmaktadır. Benzer büyüklükteki yapı projelerinde inşaat demiri imalat boyutlarının benzerlik göstereceği düşüncesiyle farklı büyüklükteki yapı projeleri incelenmiştir ve büyüklüğe bağlı

atık oranları karşılaştırılmıştır. Bu amaçla çalışmada inşaat demir atığının belirlenmesi için küçük, orta ve büyük ölçekli 3 farklı vaka çalışması değerlendirilmiştir. Proje büyüklükleri inşaat için gerekli demir ağırlıklarına göre sınıflandırılmıştır. Buna göre;

- 0-100 ton arası küçük ölçekli inşaat
- 101-1000 ton orta ölçekli inşaat
- 1001 ton ve üzeri ise büyük ölçekli inşaat olarak değerlendirilmiştir.

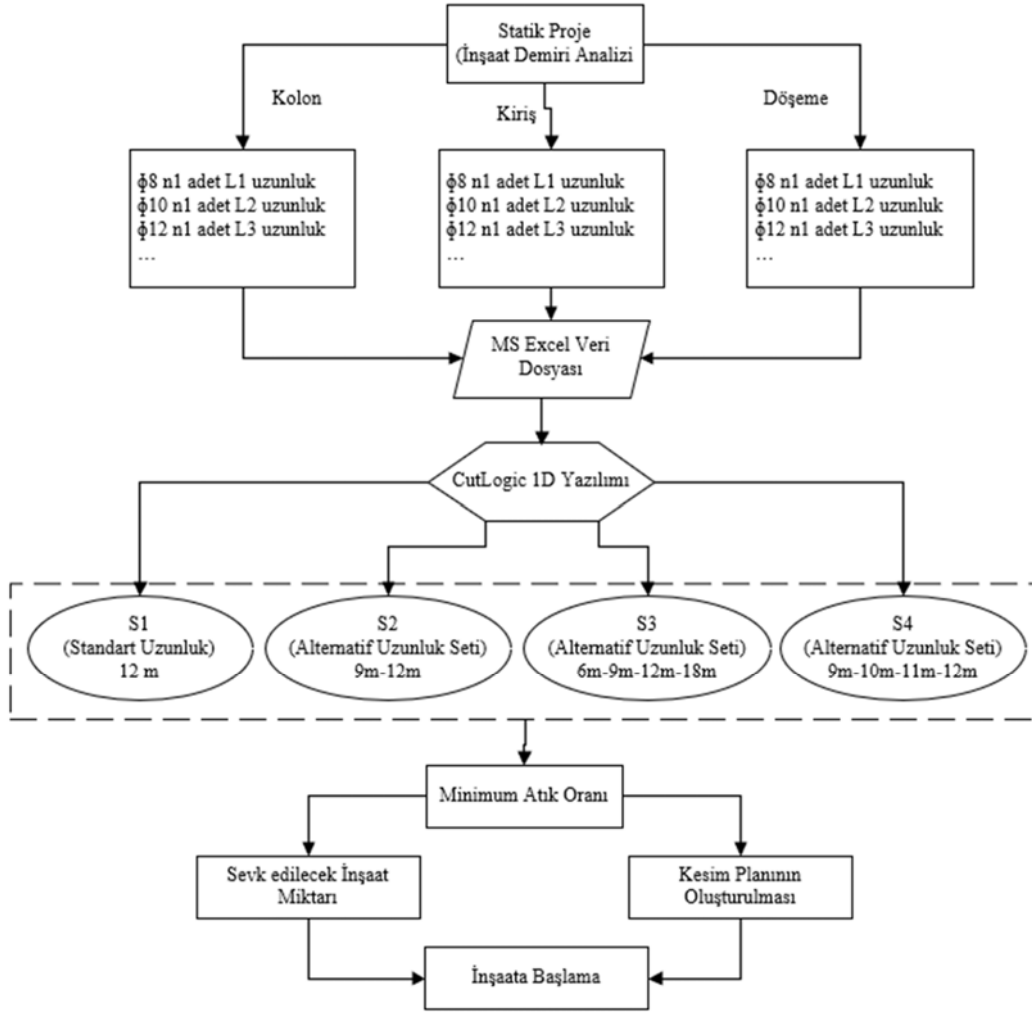
Diğer taraftan yapılan inşaat demiri atık optimizasyonu sonucu hesaplanan atık miktarı standart üretim uzunluğuna göre değişmektedir. Tüm Dünya’da üretilen standart inşaat demiri uzunluğu 12 metre (m) olarak bilinmektedir. Ancak bu çalışmada alternatif olarak üretilen farklı uzunluklardaki inşaat demiri boyları da hesaba katılarak minimum atık oranının belirlenmesi amaçlanmaktadır. Üretilmesi gereken standart inşaat demiri boylarının belirlenmesinde Türkiye’de ve Dünya’da inşaat demiri üreten fabrikalara göre standart 12m’nin yanında özel (sipariş) olarak 6m, 9m ve 18m de inşaat demiri üretilmektedir. Bu çalışma kapsamında 18

m’lik inşaat demirinin karayolu taşımasındaki zorluğu göz önüne alınarak 10m ve 11m uzunluklarında yeni alternatifler önerilmiştir. Bundan dolayı projenin büyüklüğüne göre projedeki inşaat demiri atık oranını ve miktarını azaltmak için farklı alternatifler denenerek en uygun atık oranında optimum üretilen inşaat demiri boyları belirlenmiştir. İnşaat demiri atık optimizasyonunda kullanılacak standart üretim boyunun yanı sıra üretilmesi önerilebilecek demir uzunlukları ve bu uzunluklara göre oluşturulan alternatif üretim setleri aşağıdaki gibidir.

- S1 (Standart Üretim Uzunluğu) = 12m
- S2 (Alternatif Üretim Uzunluk Seti) = 9m-12m
- S3 (Alternatif Üretim Uzunluk Seti) = 6m-9m-12m-18m
- S4 (Alternatif Üretim Uzunluk Seti) = 9m-10m-11m-12m

#### 4. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (RESULT AND DISCUSSION)

Bu çalışmada inşaat projelerindeki kesme kayıplarından kaynaklı inşaat demir atığı miktarını en aza indirmek için;



Şekil 4. Önerilen optimizasyon yöntemi akış şeması (Proposed optimization method flowchart)



inşaat demirinin standart ve alternatif üretim uzunlukları kullanılarak, genetik algoritma ve bulanık mantık sisteminin birleşimine dayanan bir yazılım ile optimizasyonun işlemi yapılmıştır. Optimizasyon işlemi Şekil 4'te gösterilen akış şemasına göre uygulanmıştır. Buna göre ilk olarak statik projesi çizilmiş yapının betonarme sisteminde yer alan inşaat demirleri çaplarına göre sınıflandırılmıştır. Daha sonra inşaat demirleri, projedeki uzunluklarına ve sayılarına göre her çap için ayrı ayrı listelenerek toplam inşaat demiri ihtiyacı belirlenmiştir. Hazırlanan ihtiyaç listesi her çap için ayrı ayrı CutLogic1D yazılımına aktarılarak optimizasyon işlemi uygulanmıştır. Optimizasyon işleminde farklı ölçekteki 3 vaka çalışmasında kullanılan inşaat demirleri; 12 metre uzunluğundaki mevcut standart üretime ilave olarak,

alternatif olabilecek farklı üretim boylarından oluşanlarla birlikte toplam 4 ayrı üretim seti ile analiz edilmiştir.

Optimizasyon analizleri sonrasında her 3 vaka çalışmasındaki ve her çaptaki inşaat demirleri için ayrı ayrı Şekil 5'teki gibi kesim planları oluşturulmuştur. Aynı zamanda sipariş edilecek inşaat demiri miktarları ve kesme kaybindan kaynaklanan atık miktarları hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler, ağırlık miktarları ve porsantaj şeklinde ince demir (ø8-ø12), kalın demir (ø14-ø32) ve toplam demir atığı olarak gruplandırılmıştır.

1 nolu vaka çalışmasında, imalata giren toplam inşaat demiri miktarı 20,618 ton olan küçük ölçekli inşaat projesi için

Cutting layouts						
Plan #79 - Default - Case Study 3						19.02.62331
Note 1	Large-scale 9-10-11-12			Cost		
Note 2	ø18 mm diameter			Yield	96.20%	38.547,00 m
Note 3				Gross yield	96.20%	38.547,00 m
Name				Stocks	3.441	38.547,00 m
				Parts	3.625	37.083,24 m
				Layouts	19	
				Uncut parts		
Kerf	Left trim		Min remnant length			
Part increase	Right trim		Rem. storage - Default			
Layout	Stock #	Length	Rest	Repeat	Parts	
1	1	12,00 m		896x	12,00 m	
0.00 m						
2	1	12,00 m		97x	2 x 6,00 m	
0.00 m						
3	1	12,00 m	0,03 m	3x	6,56 m + 5,41 m	
0.00 m						
4	5	10,00 m	0,03 m	3x	6,77 m + 3,20 m	
0.00 m						
5	3	11,00 m	0,10 m	65x	10,90 m	
0.00 m						
6	5	10,00 m	0,15 m	1x	6,75 m + 3,10 m	
0.00 m						
7	5	10,00 m	0,24 m	15x	6,56 m + 3,20 m	
0.00 m						
8	1	12,00 m	0,35 m	3x	11,65 m	
0.00 m						
9	5	10,00 m	0,44 m	62x	6,56 m + 3,00 m	
0.00 m						

Şekil 5. İnşaat demiri kesim planı örneği (Rebar cutting plan example)

inşaat demiri optimizasyon analizi sonucu Tablo 1’de gösterilmiştir. Analiz sonuçlarına göre;

- İnşaat demirinin standart uzunluk olan 12m’lik boylar halinde temini durumunda (S1) atık oranları ince demir için %1,85, kalın demir için %9,95 ve toplam zayıf oranı %5,77 olarak hesaplanmıştır.
- İnşaat demirinin 9m ve 12m’lik boylar halinde temini durumunda (S2) atık oranları ince demir için %1,82, kalın demir için %3,57 ve toplam zayıf oranı %2,64 olarak hesaplanmıştır.
- İnşaat demirinin 6m, 9m, 12m ve 18m’lik boylar halinde temini durumunda (S3) atık oranları ince demir için %0,03, kalın demir için %1,20 ve toplam atık oranı %0,58 olarak hesaplanmıştır.
- İnşaat demirinin 9m, 10m, 11m ve 12m’lik boylar halinde temini durumunda (S4) atık oranları ince demir için %0,24, kalın demir için %2,53 ve toplam atık oranı %1,31 olarak hesaplanmıştır.

Kesme kaybı optimizasyon analizi sonucu belirlenen sipariş edilecek BA demiri ile kullanılan BA demiri arasındaki fark atık miktarını vermektedir. S1’e göre yapılan analizde 1,262 ton, S2’ye göre 0,559 ton, S3’e göre 0,120 ton ve S4’e göre 0,274 ton atık oluşacağı belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre farklı üretim standart uzunluklarına göre küçük ölçekli inşaatlarda; alternatif üretim uzunlukları kullanılması halinde atık miktarının yaklaşık 1 ton azaltılabileceği görülmektedir. Ancak şantiyede bir kesim planı olmadan kesilen BA demirlerin kesme kayıplarının daha fazla olacağı ve daha büyük oranda atık oluşacağı tahmin edilmektedir. Bundan dolayı küçük ölçekli inşaatlarda standart üretim uzunluğu olan S1 (12m)’e göre sipariş verilmesi atık miktarını önemli derecede etkilemeyeceği görülmektedir. Ancak bir kesim planına göre şantiyede BA demirlerin hazırlanması önem arz etmektedir.

2 nolu vaka çalışmasında, imalata giren toplam inşaat demiri miktarı 246,662 ton olan orta ölçekli inşaat projesi için inşaat demiri optimizasyon analizi sonucu Tablo 2’de gösterilmiştir. Analiz sonuçlarına göre;

- İnşaat demirinin standart uzunluk olan 12m’lik boylar halinde temini durumunda (S1) atık oranları ince demir için %0,53, kalın demir için %5,92 ve toplam atık oranı %4,87 olarak hesaplanmıştır.
- İnşaat demirinin 9m ve 12m’lik boylar halinde temini durumunda (S2) atık oranları ince demir için %0,38, kalın demir için %3,49 ve toplam atık oranı %2,88 olarak hesaplanmıştır.
- İnşaat demirinin 6m, 9m, 12m ve 18m’lik boylar halinde temini durumunda (S3) atık oranları ince demir için %0,22, kalın demir için %1,19 ve toplam atık oranı %0,99 olarak hesaplanmıştır.
- İnşaat demirinin 9m, 10m, 11m ve 12m’lik boylar halinde temini durumunda (S4) atık oranları ince demir için %0,27, kalın demir için %1,57 ve toplam atık oranı %1,31 olarak hesaplanmıştır.

Analiz sonucunda meydana gelen inşaat demiri atık miktarlarının ağırlıkları ise S1’e göre yapılan analizde 12,628 ton, S2’ye göre 7,304 ton, S3’e göre 2,477 ton ve S4’e göre 3,278 ton olarak belirlenmiştir. Buna sonuçlara göre en yüksek atık standart üretim uzunluğu olan 12m’de oluşmuştur. En düşük atık miktarları ise alternatif üretim uzunlukları olan S3 ve S4 ‘göre yapılan analizlerde meydana gelmektedir ve S1 ile olan arasındaki fark ise yaklaşık 10 ton civarındadır. Bu yüzden orta ölçekli inşaatlarda S1 standart üretim uzunluğu 12m yerine S3 ve S4 standart üretim uzunlukları tercih edilmesi gerekmektedir. Bu sayede yaklaşık 10 ton inşaat demirinden tasarruf edilerek önemli bir kazanç sağlanabilir.

3 nolu vaka çalışmasında, imalata giren toplam inşaat demiri miktarı 4267,113 ton olan büyük ölçekli inşaat projesi için inşaat demiri optimizasyon analizi sonucu Tablo 3’de gösterilmiştir. Analiz sonuçlarına göre;

- İnşaat demirinin standart uzunluk olan 12m’lik boylar halinde temini durumunda (S1) atık oranları ince demir için %0,19, kalın demir için %5,67 ve toplam atık oranı %3,86 olarak hesaplanmıştır.
- İnşaat demirinin 9m ve 12m’lik boylar halinde temini durumunda (S2) atık oranları ince demir için %0,17, kalın

**Tablo 1.** Küçük ölçekli inşaatta yapılan optimizasyon analizi sonuçları  
(Optimization analysis results in small-scale construction)

Üretim Uzunluk Sepleri	Vaka Çalışması 1 – Küçük Ölçekli İnşaat								
	İnce Betonarme Demiri			Kalın Betonarme Demiri			Toplam Betonarme Demiri		
	Sipariş Edil. BA demiri (ton)	Kull. BA demiri (ton)	BA demiri atığı (ton)/(%)	Sipariş Edil. BA demiri (ton)	Kull. BA demiri (ton)	BA demiri atığı (ton)/(%)	Sipariş Edil. BA demiri (ton)	Kull. BA demiri (ton)	BA demiri atığı (ton)/(%)
S1	11,307	11,097	0,210/1,85%	10,573	9,520	1,052/9,95%	21,880	20,618	1,262/5,77%
S2	11,303	11,097	0,206/1,82%	9,873	9,520	0,353/3,57%	21,176	20,618	0,559/2,64%
S3	11,101	11,097	0,0036/0,03%	9,636	9,520	0,116/1,20%	20,737	20,618	0,120/0,58%
S4	11,123	11,097	0,0263/0,24%	9,768	9,520	0,248/2,53%	20,892	20,618	0,274/1,31%



demir için %4,54 ve toplam atık oranı %3,08 olarak hesaplanmıştır.

- İnşaat demirinin 6m, 9m, 12m ve 18m'lik boylar halinde temini durumunda (S3) atık oranları ince demir için %0,02, kalın demir için %1,48 ve toplam atık oranı %0,98 olarak hesaplanmıştır.
- İnşaat demirinin 9m, 10m, 11m ve 12m'lik boylar halinde temini durumunda (S4) atık oranları ince demir için %0,13, kalın demir için %1,18 ve toplam atık oranı %0,82 olarak hesaplanmıştır.

Bu sonuçlara göre atık miktarlarının oranı düşmesine rağmen büyük ölçekli bir inşaat olduğu için küçük ve orta ölçekli inşaatlara göre daha fazla inşaat demiri atığı oluşmuştur. Bunun için kesme kaybı optimizasyon işlemi bu projelerden büyük önem arz etmektedir. S1'e göre yapılan analizde 171,11 ton, S2'ye göre 135,73 ton, S3'e göre 42,254 ton ve S4'e göre 35,377 ton inşaat demiri atığı meydana gelmiştir. En yüksek atık miktarı S1 standart üretim uzunluğu 12m'de meydana gelmiştir ve en düşük atık miktarı S4 ile arasında yaklaşık 136 ton atık miktarı fark bulunmaktadır. Bu sonuçlara göre özellikle büyük ölçekli inşaatlarda inşaat demiri atıkları çok fazla olduğundan optimizasyon ile önceden kesme kayıpları en aza indirilerek kesme planlaması yapılması gerektiği anlaşılmaktadır.

Bir inşaatın yapımına başlamadan önce optimizasyon ile inşaat demiri kesme planlanmasının yapılması kesme kayıplarını azalttığı görülmektedir. Bu kesme kayıpları projenin büyüklüğüne göre değişmektedir. Ancak önceden planlama yapılırken bu atık oranları için ortalama bir değer belirlenir. Örneğin Türkiye'de Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (ÇŞB) tarafından hazırlanan birim fiyat analizlerinde bu atık

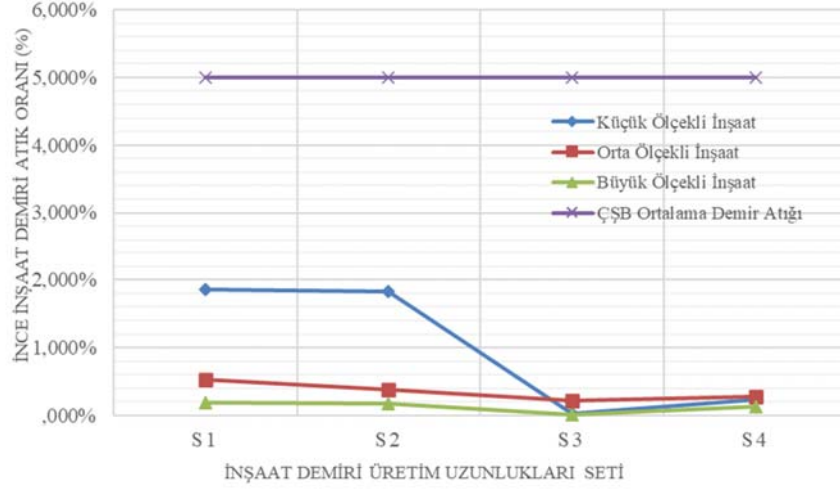
oranları ince inşaat demiri (ø8-ø12) için %5 ve kalın inşaat demiri (ø14-ø32) için ise %7 olarak belirlenmiştir. Bu değerler diğer ülkelerde farklılık gösterebilmektedir. İnşaat demiri için yapılan kesme planlaması oluşacak atığın bu ortalama değerlerin altına düşürerek projelerin daha az maliyetle tamamlanması açısından önemlidir. Ayrıca bu kesme kayıplarını daha da minimuma indirmek için bu çalışma kapsamında farklı standart üretim uzunluk setlerine göre analizler yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda ince inşaat demirlerinin (ø8-ø12) atık oranı küçük, orta ve büyük ölçekli inşaatlarda tüm standart üretim uzunluklarında ÇŞB tarafından belirlenen ortalama %5 atık değerinden daha az olduğu Şekil 6'da gösterilmektedir. Ayrıca orta ve büyük ölçekli inşaatlarda tüm standart üretim uzunluklarında kesme kayıplarının %1'in altında ve küçük ölçekli inşaatlarda ise sadece S3 ve S4 standart üretim uzunluklarında %1'in altında olduğu görülmektedir. Aynı zamanda büyük ölçekli inşaatlarda ince inşaat demiri atık oranı genellikle daha az olduğu belirlenmiştir. Kalın inşaat demirlerinin (ø14-ø32) atık oranı ise küçük ölçekli inşaatlarda sadece S1 standart üretim uzunluğunda ÇŞB tarafından belirlenen ortalama %7 atık değerinden daha fazla olduğu Şekil 7'de gösterilmektedir. Diğer taraftan orta ve büyük ölçekli inşaatlarda kesme kayıpları tüm standart üretim uzunluklarında ÇŞB tarafından belirlenen ortalama %7 atık değerinden daha düşüktür. Bununla birlikte sadece S3 ve S4 standart üretim uzunluklarında kesme kayıplarının minimum değerlere ulaştığı görülmektedir. Buna ek olarak kalın ve ince inşaat demirlerinin atık oranlarına bakıldığında tüm üretim uzunluklarında orta ve büyük ölçekli inşaatlardaki atık oranları yaklaşık olarak birbirine benzer oranlarda seyrettiği anlaşılmaktadır.

**Tablo 2.** Orta ölçekli inşaat yapılan optimizasyon analizi sonuçları  
(Optimization analysis results in medium-scale construction)

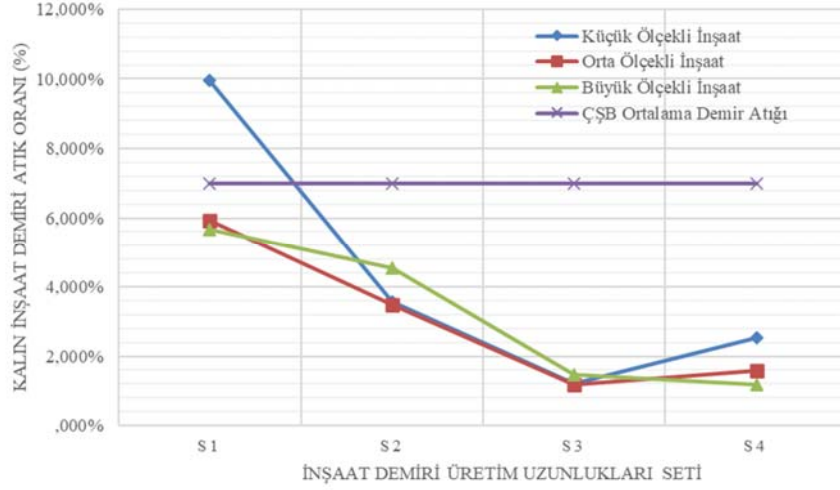
Vaka Çalışması 2 – Orta Ölçekli İnşaat									
Üretim Uzunluk Setleri	İnce Betonarme Demiri			Kalın Betonarme Demiri			Toplam Betonarme Demiri		
	Sipariş Edil. BA demiri (ton)	Kull. BA demiri (ton)	BA demiri atığı (ton)/(%)	Sipariş Edil. BA demiri (ton)	Kull. BA demiri (ton)	BA demiri atığı (ton)/(%)	Sipariş Edil. BA demiri (ton)	Kull. BA demiri (ton)	BA demiri atığı (ton)/(%)
	S1	50,527	50,259	0,268/0,53%	208,763	196,403	12,361/5,92%	259,290	246,662
S2	50,452	50,259	0,193/0,38%	203,515	196,403	7,112/3,49%	253,966	246,662	7,304/2,88%
S3	50,369	50,259	0,110/0,22%	198,770	196,403	2,367/1,19%	249,139	246,662	2,477/0,99%
S4	50,397	50,259	0,138/0,27%	199,543	196,403	3,141/1,57%	249,940	246,662	3,278/1,31%

**Tablo 3.** Büyük ölçekli inşaat yapılan optimizasyon analizi sonuçları  
(Optimization analysis results in large-scale construction)

Vaka Çalışması 3 – Büyük Ölçekli İnşaat									
Üretim Uzunluk Setleri	İnce Betonarme Demiri			Kalın Betonarme Demiri			Toplam Betonarme Demiri		
	Sipariş Edil. BA demiri (ton)	Kull. BA demiri (ton)	BA demiri atığı (ton)/(%)	Sipariş Edil. BA demiri (ton)	Kull. BA demiri (ton)	BA demiri atığı (ton)/(%)	Sipariş Edil. BA demiri (ton)	Kull. BA demiri (ton)	BA demiri atığı (ton)/(%)
	S1	1471,776	1469,015	2,761/0,19%	2966,431	2798,098	168,333/5,67%	4438,207	4267,113
S2	1471,575	1469,015	2,559/0,17%	2931,268	2798,098	133,174/4,54%	4402,843	4267,113	135,733/3,08%
S3	1469,258	1469,015	0,243/0,02%	2840,109	2798,098	42,012/1,48%	4309,367	4267,113	42,254/0,98%
S4	1470,936	1469,015	1,921/0,13%	2831,554	2798,098	33,456/1,18%	4302,490	4267,113	35,380/0,82%



Şekil 6. İnce inşaat demirinin atık oranları (Waste rates of thin rebar)

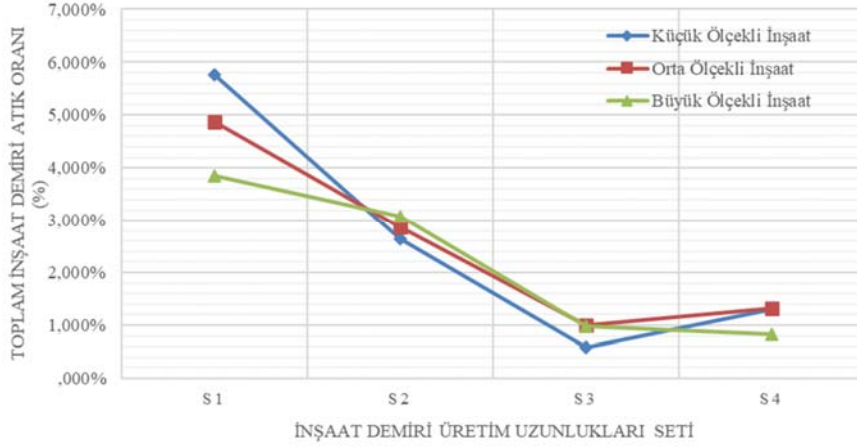


Şekil 7. Kalın inşaat demirinin atık oranları (Waste rates of thick rebar)

Toplam inşaat demiri atığına bakılacak olursa kesme kaybı optimizasyonu ile küçük, orta ve büyük ölçekli inşaatlarda demir atığı %6'dan daha düşük olduğu Şekil 8'de görülmektedir. Şantiyede plansız yapılan kesimler sonucu oluşan kesme kayıpları optimizasyon ile büyük ölçüde azalmıştır. Ancak inşaat demiri atığını bu çalışma kapsamında önerilen farklı alternatif üretim uzunlukları ile daha da azaltılabileceği düşünülmektedir. Yapılan analizler sonucunda S2, S3 ve S4 alternatif üretim uzunlukları ile yapılan analizlerde kesme kayıpları S1 standart üretim uzunluğuna (12m) göre daha da azaldığı şekilde görülmektedir. Küçük, orta ve büyük ölçekli inşaatlarda özellikle S3 ve S4 alternatif üretim uzunluklarında kesme kayıpları minimum değerlere ulaşmaktadır. İnşaat demiri atıklarının ağırlıklarına da bakıldığında küçük ölçekli inşaatlarda S1 standart üretim uzunluğu ve diğer alternatif üretim uzunlukları arasında çok fazla ağırlık farkı olmadığı için sadece standart uzunluk 12m de üretim yapılarak kesme planlanması ile şantiyede uygulanabileceği önerilmektedir.

Ancak orta ölçekli inşaatlarda S3 alternatif üretim uzunlukları, büyük ölçekli inşaatlarda S4 alternatif üretim uzunluklarına göre yapılan analizlerde en düşük atık oranlarına ulaşılmıştır. Ancak S3 alternatif üretim uzunluğu içerisinde yer alan 18m'lik demir boyu için karayolu taşımasında özel izin ve önlem alınması gerektiğinden orta ve büyük ölçekli inşaatların her ikisi de S4 alternatif üretim uzunluğuna göre kesme kaybı optimizasyonu ile kesme planlamasının yapılması en optimum çözüm olarak görülmektedir.

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı birim fiyat analizlerinde inşaat demiri atık oranı ince demirler için %5, kalın demirler için %7 olarak yer almaktadır. TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu) verilerine göre Türkiye'de son 5 yıla ait inşaat demiri tüketimi Tablo 4'te gösterilmiş olup, ortalama yıllık tüketim 2328138,707 ton olarak hesaplanmıştır. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı birim fiyat analizlerindeki aritmetik ortalamaya göre inşaat demiri atık oranı %6 seviyesinde kabul edilirse;



Şekil 8. Toplam inşaat demirinin atık oranları (Waste rates of total rebar)

TUİK verilerine göre 2015-2019 yılları arasındaki ortalama yıllık demir atığı miktarı 139688,322 ton 'dur. İnşaat demiri atık oranı %0,82 olarak hesaplanan S4 alternatifine uygun olarak üretim yapılması halinde, ortalama yıllık atık miktarı 19090,737 ton'a düşecektir. Bu durumda ortalama yıllık kazanç (139688,322-19090,737) 120597,585 ton seviyesinde hesaplanmıştır.

Tablo 4. TUİK verilerine göre yıllık inşaat demiri tüketim miktarları (Rebar annual consumption amounts to TUİK data)

Yıl	İnşaat Demir Tüketim Miktarı (Ton)
2015	2319071,034
2016	2363896,990
2017	2086531,122
2018	2507587,910
2019	2363606,480

## 5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

İnşaat demiri maliyeti, inşaat üretimindeki en önemli harcama kalemlerinden birisidir. Temin edilen inşaat demirinin işlenerek imalata dönüştürülmesi sırasında bir miktar atık oluşmaktadır. İnşaat demirindeki atık oranının azaltılması proje maliyetinin azaltılmasında doğrudan etken olmasının yanı sıra, ülke ekonomisine katkı, fazla atık için harcanan enerji maliyetinden tasarruf ve çevre kirliliğinin azalması gibi dolaylı faydaları da bulunmaktadır. Bu amaçla yapılan uygulamalardan birisi, yapay zekâ programları kullanılarak, kesim boylarının optimizasyonu ile atık oranının azaltılmasıdır. Aynı zamanda bu yapay zekâ programları, optimizasyon sonucunda kesim planlarını oluşturmaktadır. Farklı uzunluktaki inşaat demirleriyle ilgili saha uygulamasında sorun yaşanmaması için inşaat demiri kesimlerinin, bu kesim planlarına uygun yapılmasının takibi önem arz etmektedir.

Bu çalışmada inşaat projelerinde inşaat demiri atık oranını azaltmak için demir kesim boylarının optimizasyonuna ilave olarak, mevcutta 12 metre olan inşaat demiri standart üretim boyunun çeşitlendirilmesi alternatiflerinin de analizleri

yapılarak kesme kayıplarının daha da düşük bir seviyeye indirilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla farklı ölçekteki inşaat projeleri analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre yapılan tespitler aşağıda listelenmiştir:

- Projede kullanılan inşaat demiri miktarı arttıkça; demir kesiminden artan parçaların kullanılabilceği farklı uzunluk alternatifleri ortaya çıktığı için, inşaat demiri atık oranı azalmaktadır.
- İnce demir atık oranı; tüm alternatiflerde kalın demirden daha düşük çıkmaktadır.
- İnşaat demiri üretimindeki standart uzunluk olan 12 metre dışındaki boylarda üretim yapılması atık oranını, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı birim fiyat analizlerindeki kabulün altına düşürmektedir.
- İnşaat demiri atık oranının en düşük olduğu üretim uzunlukları; küçük ve orta ölçekli inşaat projelerinde S3 (6m, 9m, 12m ve 18m'lik boylar halinde temini) durumunda, büyük ölçekli inşaat projelerinde S4 (9m, 10m, 11m ve 12m'lik boylar halinde temini) durumunda tespit edilmiştir.

Yapılan tespitler neticesinde S3 üretim uzunluğu ile yapılan analizler sonucunda oluşan atık oranı, küçük ve orta ölçekli inşaat projelerinde daha düşük olsa da karayolları trafik yönetmeliğine göre römork uzunluğunun azami 12 m ve yarı römorklu araçlarda römork dahil azami uzunluğun 16,5m olması ve daha uzun araçlar için özel izin ve önlem alınması gerektiği göz önüne alındığında, 18m'lik inşaat demirinin karayolu ile nakli; özel projeler dışında, uygun görünmemektedir.

Sonuç olarak, inşaat demiri atık oranını düşürerek inşaat maliyetlerinin azaltılmasına katkı sağlamak için mevcutta 12 metre olan standart üretim yerine inşaat demiri üretiminin çeşitlendirilerek, S4 alternatifi ile analiz edilen 9m, 10m, 11m ve 12m uzunluğunda inşaat demirlerinin standart olarak üretiminin yapılması önerilmektedir. Önerilen uygulama atık oranını azaltacağı için dolaylı olarak ülke ekonomisine de katkı sağlayacaktır.

**KAYNAKLAR (REFERENCES)**

1. Can G., Taş E.F., Analysis of non-physical waste causes affecting the construction process, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 36 (2), 655–668, 2021.
2. Mills T., Showalter E., Jarman D., A cost-effective waste management plan, *Cost Eng.*, 41 (3), 35–43, 1999.
3. Fishbein B., *Building for the future: Strategies to reduce construction and demolition waste in municipal projects*, INFORM, Inc., 1998.
4. Mercader-Moyano P., Ramirez-de-Arellano-Agudo A., Selective classification and quantification model of C&D waste from material resources consumed in residential building construction., *Waste Manag. Res.*, 31 (5), 458–474, 2013.
5. Gavilan R.M., *An analysis of construction solid wastes*. North Carolina State University, 1992.
6. Chen Z., Li H., Wong C.T.C., An application of bar-code system for reducing construction wastes, *Autom. Constr.*, 11 (5), 521–533, 2002.
7. Salem O., Shahin A., Khalifa Y., Minimizing cutting wastes of reinforcement steel bars using genetic algorithms and integer programming models, *J. Constr. Eng. Manag.*, 133 (12), 982–992, 2007.
8. Melega G.M., de Araujo S.A., Jans R., Classification and literature review of integrated lot-sizing and cutting stock problems, *Eur. J. Oper. Res.*, 271 (1), 1–19, 2018.
9. Benjaoran V., Sooksil N., Metham M., Effect of demand variations on steel bars cutting loss, *Int. J. Constr. Manag.*, 19 (2), 137–148, 2019.
10. Khalifa Y., Salem O., Shahin A., Cutting stock waste reduction using genetic algorithms, *GECCO 2006 - Genet. Evol. Comput. Conf.*, 2 (JANUARY 2006), 1675–1680, 2006.
11. Kim S.K., Hong W.K., Joo J.K., Algorithms for Reducing the Waste Rate of Reinforcement Bars, *J. Asian Archit. Build. Eng.*, 3 (1), 17–23, 2004.
12. Zheng C., Lu M., *Optimized Reinforcement Detailing Design for Sustainable Construction: Slab Case Study*, *Procedia Eng.*, 145 1478–1485, 2016.
13. Zheng C., Yi C., Lu M., Integrated optimization of rebar detailing design and installation planning for waste reduction and productivity improvement, *Autom. Constr.*, 101 (June 2018), 32–47, 2019.
14. Gilmore P.C., Gomory R.E., A Linear Programming Approach to the Cutting-Stock Problem, *Oper. Res.*, 9 (6), 849–859, 1961.
15. Gilmore P.C., Gomory R.E., A Linear Programming Approach to the Cutting Stock Problem-Part II, *Oper. Res.*, 11 (6), 863–888, 1963.
16. Shahin A.A., Salem O.M., Using genetic algorithms in solving the one-dimensional cutting stock problem in the construction industry, *Can. J. Civ. Eng.*, 31 (2), 321–332, 2004.
17. Arbib C., Marinelli F., Ventura P., One-dimensional cutting stock with a limited number of open stacks: Bounds and solutions from a new integer linear programming model, *Int. Trans. Oper. Res.*, 23 (1–2), 47–63, 2016.
18. Goulimis C., Optimal solutions for the cutting stock problem, *Eur. J. Oper. Res.*, 44 (2), 197–208, 1990.
19. Poldi K.C., de Araujo S.A., Mathematical models and a heuristic method for the multiperiod one-dimensional cutting stock problem, *Ann. Oper. Res.*, 238 (1–2), 497–520, 2016.
20. Haessler R.W., Controlling Cutting Pattern Changes in One-Dimensional Trim Problems, *Oper. Res.*, 23 (3), 483–493, 1975.
21. Lemos F.K., Cherri A.C., de Araujo S.A., The cutting stock problem with multiple manufacturing modes applied to a construction industry, *Int. J. Prod. Res.*, 1–19, 2020.
22. Gradišar M., Resinovič G., Kljajić M., Hybrid approach for optimization of one-dimensional cutting, *Eur. J. Oper. Res.*, 119 (3), 719–728, 1999.
23. Lu H.C., Huang Y.H., An efficient genetic algorithm with a corner space algorithm for a cutting stock problem in the TFT-LCD industry, *Eur. J. Oper. Res.*, 246 (1), 51–65, 2015.
24. Braga N., Alves C., Macedo R., Carvalho J.V. de, A model-based heuristic for the combined cutting stock and scheduling problem, *Int. Conf. Comput. Sci. Its Appl.* Springer, Cham, 490–505, 2015.
25. Laribi M.A., Mlika A., Romdhane L., Zeghloul S., A combined genetic algorithm-fuzzy logic method (GA-FL) in mechanisms synthesis, *Mech. Mach. Theory*, 39 (7), 717–735, 2004.
26. Porwal A., Hewage K.N., Building information modeling-based analysis to minimize waste rate of structural reinforcement, *J. Constr. Eng. Manag.*, 138 (8), 943–954, 2012.
27. Li Y., Yang Y., Zhou L., Zhu R., Observations on Using Problem-Specific Genetic Algorithm for Multiprocessor Real-Time Task Scheduling, *Int. J. Innov. Comput. Inf. Control*, 5 (9), 2531–2540, 2009.
28. Osman M.S., Abo-Sinna M.A., Mousa A.A., A combined genetic algorithm-fuzzy logic controller (GA-FLC) in nonlinear programming, *Appl. Math. Comput.*, 170 (2), 821–840, 2005.
29. Ustun S.V., Demirtas M., Optimal tuning of PI coefficients by using fuzzy-genetic for V/f controlled induction motor, *Expert Syst. Appl.*, 34 (4), 2714–2720, 2008.
30. Chu B., Kim D., Hong D., Park J., Chung J.T., Chung J.H., Kim T.H., GA-based fuzzy controller design for tunnel ventilation systems, *Autom. Constr.*, 17 (2), 130–136, 2008.
31. Zadeh L.A., Fuzzy Sets, *Inf. Control*, 8 (3), 338–353, 1965.
32. Cordon O., Jose Del Jesus M., Herrera F., Genetic Learning of Fuzzy Rule-Based Classification Systems Cooperating with Fuzzy Reasoning Methods, *Int. J. Intell. Syst.*, 13 1025–1053, 1998.
33. Tahmasebi P., Hezarkhani A., A hybrid neural networks-fuzzy logic-genetic algorithm for grade estimation, *Comput. Geosci.*, 42 18–27, 2012.