T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KİTLESEL KONUT TASARIMINDA GENETİK ALGORİTMALARIN KULLANIMI

Yadigar Gökçe ŞİMŞEK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mimarlık Anabilim Dalı

Konut Üretimi ve Yapım Yönetimi Programı

Danışman

Doç. Dr. Serhat BAŞDOĞAN

Ocak, 2022

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KİTLESEL KONUT TASARIMINDA GENETİK ALGORİTMALARIN KULLANIMI

Yadigar Gökçe ŞİMŞEK tarafından hazırlanan tez çalışması 31.01.2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı, Konut Üretimi ve Yapım Yönetimi Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Serhat BAŞDOĞAN
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Serhat BAŞDOĞAN, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Doç. Dr. Kunter MANİSA, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Abdurrahman Tuğrul YAZAR, Üye
İstanbul Bilgi Üniversitesi _____

Danışmanım Doç. Dr. Serhat BAŞDOĞAN sorumluluğunda tarafımca hazırlanan Kitlesel Konut Tasarımında Genetik Algoritmaların Kullanımı başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Yadigar Gökçe ŞİMŞEK

İmza

Annem,

Anneannem,

ve

Tüm Ailem'e

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam süresince beni motive eden, yönlendiren ve her zaman destek olan sevgili hocam Doç. Dr. Serhat BAŞDOĞAN'a, tüm eğitim hayatım boyunca desteklerini esirgemeyen aileme, kıymetli babama, eşime ve canım kızıma teşekkürü borç bilirim. Beni büyüten, bu günlere getiren fakat aramızdan çok erken ayrılan Canım Anneme ve Kıymetli Anneanneme ise sonsuz teşekkürler…

Yadigar Gökçe ŞİMŞEK

İÇİNDEKİLER

KISALTMA LİSTESİ vii
ŞEKİL LİSTESİ viii
TABLO LİSTESİ xii
ÖZET xiii
ABSTRACT xv
1 GİRİŞ 1
1.1 Literatür Özeti 1
1.2 Tezin Amacı 6
1.3 Orijinal Katkı 6
1.4 Çalışmanın Kapsamı ve Yöntemi 7
2 KiTLESEL KONUT TASARIMI SÜRECiNDE HESAPLAMALI TASARIM 9
2.1 Özel Üretimden Seri Üretime 9
2.2 Kitlesel Konut- Toplu Konut 12
2.3 Türkiye'de Kitlesel Konut Üretimi 13
2.4 Endüstrileşmiş Kitlesel Konut Tasarımında Hesaplamalı Tasarım Araçlarının Kullanımı 16
3 ÜRETKEN TASARIM YÖNTEMLERİ 18
3.1 Hesaplamalı Tasarım Kavramı 18
3.2 Kitlesel Konut Tasarımı Sürecinde Kullanılan Üretken Tasarım Yöntemleri 19
3.3 Bölüm Değerlendirmesi 62
4 ALAN ÇALIŞMASI; GENETİK ALGORİTMALARLA KİTLESEL KONUT TASARIMI DENEMESİ 65
4.1 Proje Alanı ve Özellikleri 65
4.2 Üretken Modelin Oluşturulması 68
4.2.1 Arazinin Tanımlanması (1. Aşama) 70
4.2.2 Kuralların ve Değişkenlerin Belirlenmesi (2. Aşama) 70
4.2.3 Wallacei X -Genetik Algoritmalar ile Üretim Yapılması(3. Aşama) 79
4.2.4 Üretimlerin Analiz ve Değerlendirmesi (4. Aşama) 86
4.2.5 Seçim (5. Aşama) 90
5 SONUÇ VE ÖNERİLER 98
KAYNAKÇA 101
A MODELDE ÜRETİLEN 200 ADET ÇÖZÜM 108

B TAKS-KAKS SEÇİMİ ÇÖZÜMLERİ (32 ADET) **113**
C PARETO OPTİMAL ÇÖZÜMLER (26 ADET) **117**
D ÜRETKEN MODELİN GRASSHOPPER KODU **120**
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR **121**

KISALTMA LİSTESİ

BG	Biçim Gramerleri
GA	Genetik Algoritmalar
HÖ	Hücresel Özdevinim
LS	L Sistemler
TZ	Toplu Zekâ-Çoklu Etmenler

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 Açık bina tasarım seviyeleri, çalışma kapsamı (Habraken, 1961) 8

Şekil 2.1 Citrohan evi -Le Corbusier (Serenyi, 1965) 10

Şekil 2.2 Törten konutları (İlksoy, 2015) 11

Şekil 2.3 Toki konutları (Koca, 2015) 15

Şekil 2.4 Cumhuriyet sonrası konut üretimi (Koca, 2015) 15

Şekil 3.1 Özelleştirilmiş tasarım amaçları doğrultusunda üretken tasarım araçlarının sınıflandırılması 20

Şekil 3.2 (a) İç içe karelerden oluşan standart biçim grameri , (b) İlk şekil (c) Biçim grameri ile yapılan üretim (Stiny G. , 1980). 21

Şekil 3.3 (a) biçim kuralı, (b) biçim grameri ile üretilen üç boyutlu kompozisyon örneği (Stiny G. , 1980) 22

Şekil 3.4 Duarte'nin biçim grameri çalışmaları: (a) üç boyutlu türetimler, (b) kullanıcı arayüzü (Duarte, 2001) 23

Şekil 3.5 (a) Üretici süreç, (b) yorumlayıcı süreç (Othman, Amavasai, McKibbin, Travis, & Caparrelli, 2006) 24

Şekil 3.6 (a)(yukarıdan aşağıya) sanal şehrin su, yükseklik ve nüfus yoğunluğu haritaları , (b) yol haritası, (c)parselizasyon (Parish & Müller, 2001) ... 25

Şekil 3.7 (a) Değişim kuralları, (b) komutlar, (c) rastgele sayıların oluşturduğu düzensiz bir dallanma yapısı (Hansmeyer, 2003) 26

Şekil 3.8 Modüler L-sistemler ile üretilmiş bir form örneği (Hansmeyer, 2003). .. 26

Şekil 3.9 (a) Artan döngü sayısıyla oluşturulan üretimler, (b) parametrik alternatifler (Cestel, 2008) 27

Şekil 3.10 (a) Gruplanmış etmenlerin yayılımı, (b) kırmızı hat: mevcut metro güzergahı, siyah hat: sürü zekasıyla elde edilen güzergah (Kaynarkaya & Çağdaş, 2020) 29

Şekil 3.11 (a) Sürü zekası ile voronoi cephesinin oluşumu, (b) cephe alternatifleri (Ağırbaş, 2019) 30

Şekil 3.12 (a) Game of life kuralları , (b) kurallar ile üretilmiş mekansal formlar (Devetakovic, Petrusevski, Dabic, & Mitrovic, 2009) 31

Şekil 3.13 Generator projesi (a) plan, (b) HÖ ile yerleşim (c) küplerin farklı birleşimleri 32

Şekil 3.14 Coates ve ekibinin hücresel özdevinim çalışmaları (Coates, Healy, Lamb, & Voon, 1996) 33

Şekil 3.15 H.Ö ile yeniden üretilen modeller (Herr & Kvan, 2007) 34

Şekil 3.16 (a) Çevresel ilişkilerin kurulması, (b) kat planlarının oluşturulması , (c) cephenin oluşturulması (Dinçer, 2014). 35

Şekil 3.17 Evrimsel hesaplama 37
Şekil 3.18 Arama uzayındaki genotipler ile çözüm uzayındaki fenotiplerin eşleştirilmesi (Bentley, 1999) 38
Şekil 3.19 Tek Noktadan Çaprazlama (Bentley, 1999) 39
Şekil 3.20 Çaprazlama yöntemleri ve etkileri (Bolat, Erol, & İmrak, 2004) 39
Şekil 3.21 Kromozoma mutasyon uygulanması (Bentley, 1999) 40
Şekil 3.22 Mutasyon yöntemleri ve etkileri (Bolat, Erol, & İmrak, 2004) 40
Şekil 3.23 Arama uzayında çaprazlama ve mutasyon (Jo & Gero, 1995) 41
Şekil 3.24 Genetik algoritma işleyişi (Chouchoulas, 2003) 42
Şekil 3.25 100 nesil üretimden sonra bir çözümün fenotipi (Jo & Gero, 1995) 44
Şekil 3.26 Kat Planı Örneği (a) buluşsal operatör uygulanma öncesi, (b) buluşsal opertaör uygulama sonrası (Rebaudengo & Reorda, 1996). 44
Şekil 3.27 Hiyerarşik büyüme modeli (Rosenman, 1997) 45
Şekil 3.28 1. Üretim 10. jenerasyon yaşam birimleri (Rosenman, 1997) 45
Şekil 3.29 Elezkurtaj ve Frank 'ın sistem işleyişi (Elezkurtaj & Franck, 1999). 46
Şekil 3.30 Oporto için üretilmiş en iyi 3 çözüm. her bina için güneybatı (GB) ve kuzeydoğu (KD) görünümleri (Caldas, 2001). 47
Şekil 3.31 Silodam cephesi biçim grameri kuralları (Güzelci, 2013) 48
Şekil 3.32 GA'lar ile üretilen cephe alternatifleri (Güzelci, 2013) 48
Şekil 3.33 Biçim grameri ile üretilen bir tasarım örneği (Chouchoulas, 2003). 49
Şekil 3.34 Sirkülasyon ve apartman bloğunun basitleştirilmesi (Chouchoulas, 2003) 49
Şekil 3.35 (a) Küplerin numaralandırılması, (b) dizi genotipleri, (c) sıralı kuralların uygulanması sonucu oluşan örnek apartman bloğu (Chouchoulas, 2003). 50
Şekil 3.36 (a) Shape evolution arayüzü, (b) apartman bloğu tasarımı, (c) yüksek yapı tasarımı (Chouchoulas, 2003) 51
Şekil 3.37 Konut tipolojileri, puanlama sistemi ve GA'lar ile konut üretilen konut bloğu alternatifleri (Narahara & Terzidis, 2006). 52
Şekil 3.38 Tasarım alternatiflerinin soyağacı olarak temsili ve seçilen tasarım (Narahara & Terzidis, 2006). 53
Şekil 3.39 (a) Bir oda oluşumunun fenotipler ve genotiplerle açıklanması, (b) çaprazlama işlemcisinin oda oluşturma örneği (Güngör, 2010). 54
Şekil 3.40 (a) veri girişi arayüzü, (b) oda çeşitlemeleri arayüzü, (c) kat planları arayüzü (Güngör, 2010) 55
Şekil 3.41 Bir aileye ait 3 katlı konut tasarımı(solda), farklı kullanıcılara için çok katlı konut tasarımı (Güngör, 2010) 55
Şekil 3.42 Excel'de kot farkı tanımlamasının yapılması (Aksoy Y. , 2016) 56

Şekil 3.43 (a) Üç blok tipiyle üretilen 15. nesil üyeleri, (b) 15. neslin en yüksek puanlı bireyi (c) modelin algoritması (Aksoy Y. , 2016)..... 57
Şekil 3.44 Geometri oluşumu (Jansen & Piątek, 2020). 58
Şekil 3.45 (a) MOT kodu ile üretilen konutlardan seçilen en iyi dört çözüm, (b) bir çözümün detaylı analizi (Jansen & Piątek, 2020)..... 59
Şekil 4.1 Proje alanının istanbul'daki konumu (üstte), proje alanının Zeytinburnu'ndaki konumu (altta)..... 65
Şekil 4.2 Proje alanı..... 66
Şekil 4.3 İmar durumu bilgileri (Zeytinburnu Belediyesi , 2022)..... 67
Şekil 4.4 Bina programı 68
Şekil 4.5 Modelin oluşum aşamaları..... 69
Şekil 4.6 Arazinin tanımlanması 70
Şekil 4.7 Etki noktasının gridlerin merkezine olan uzaklıkları..... 71
Şekil 4.8 Uzaklıkların değer aralığı olarak tanımlanması 71
Şekil 4.9 Ticari alan işlenmemiş kat planının oluşturulması..... 72
Şekil 4.10 Ticari alan orta boşluğunun oluşturulması 72
Şekil 4.11 Ticari kat blokları alan hesabı ve nihai plan..... 73
Şekil 4.12 Ticari alan oluşumu 74
Şekil 4.13 Konut alanları etki noktası seçimi..... 75
Şekil 4.14 Konut alanları işlenmemiş kat planının oluşturulması..... 76
Şekil 4.15 Orta boşluğun konut alanları boyunca sürdürülmesi, sol: 1. normal kat , sağ: 3. normal kat..... 76
Şekil 4.16 Cephede boşlukların açılması (1. normal kat planı) 77
Şekil 4.17 Alanı 564 m^2 den küçük blokların elenmesi (1. normal kat planı) 77
Şekil 4.18 Konut Alanlarının Oluşumu 78
Şekil 4.19 Wallacei X çekirdek algoritması (NSGA-II) sözde kodu(pseudocode) (Showkatbakhsh, Erdine, & Rodriguez, 2020). 80
Şekil 4.20 Wallacei X girdi ve çıktıları (Makki M. , Showkatbakhsh, Tabony, & Weinstock, 2019)..... 80
Şekil 4.21 Değişkenlerin gen olarak tanımlanması 82
Şekil 4.22 Uygunluk değerlerinin Wallacei X'e tanımlanması..... 83
Şekil 4.23 Üç boyutlu kat planlarının oluşum koşulu..... 83
Şekil 4.24 Fenotiplerin tanımlanması..... 84
Şekil 4.25 Kütlesel tasarım örneği..... 84
Şekil 4.26 Wallacei X ayarlar arayüzü..... 85
Şekil 4.27 Kontrol paneli 86

Şekil 4.28 Wallace X Analiz Arayüzü 87
Şekil 4.29 Standart sapma ve uygunluk değeri grafikleri 88
Şekil 4.30 Paralel koordinat grafiği 89
Şekil 4.31 Her bir uygunluk değeri için en iyi değeri sağlayan 3 çözüm 91
Şekil 4.32 TAKS hesabı 92
Şekil 4.33 Oturum alanı seçimi için değer aralığı belirlenmesi 92
Şekil 4.34 Belirlenen değer aralıklarındaki bireylerin listelenmesi 93
Şekil 4.35 TAKS-KAKS seçimi çözümleri (detaylar için bkz. Ek B) 93
Şekil 4.36 32 Adet pareto optimal çözüm (detaylar için bkz. Ek C) 94
Şekil 4.37 Pareto optimal çözümler (detaylar için bkz. Ek C) 95
Şekil 4.38 Ortak çözümlerin seçimi 95
Şekil 4.39 Seçilen çözümlerin uygunluk fonksiyonu değerleri 96
Şekil 4.40 Son seçim kümesi görselleri ve değerleri 97

TABLO LİSTESİ

Tablo 1.1 Kitlesel konut tasarımında GA'ların kullanıldığı çalışmalar 5
Tablo 3.1 Konut tasarımında üretken tasarım araçlarının kullanıldığı çalışmalar 60
Tablo 3.2 Kitlesel konut tasarımında üretken tasarım araçlarının kullanıldığı çalışmalar (GA'lar hariç) 61
Tablo 4.1 Proje bilgileri 67
Tablo 4.2 Değişken dağılımları 81

ÖZET

Kitlesel Konut Tasarımında Genetik Algoritmaların Kullanımı

Yadigar Gökçe ŞİMŞEK

Mimarlık Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Serhat BAŞDOĞAN

Sanayi Devrimi ile ortaya çıkan hızlı kentleşme ve nüfus artışıyla artan konut talebini karşılamak için geliştirilen hızlı ve seri üretim biçimleri konutun tasarım ve üretim süreçlerinde köklü değişikliklere neden olmuştur. Geleneksel yöntemlerle üretilen tekil konutların yerini, gelişen teknolojiyle büyük ölçekte üretilen kitlesel konut biçimleri almıştır.

Kişi başına düşen gelirin yetersizliği, gelir dağılımı eşitsizliği, artan arsa ve üretim maliyetleri gibi sorunlar rekabetçi koşullar altında konutun tasarım ve üretim sürecinde verimlilik arayışlarını mimarlığın temel çalışma alanı haline gelmiştir. Kamu ve özel sektör aracılığıyla kitlesel konut üretim biçimleri olarak gündeme gelen çözüm arayışları konutu bir ürün olarak standart, modüler, türetilebilir ve çoğaltılabilir tipolojik birimlere geliştirme eğilimi göstermiştir. Tüm dünyada örneklerini gördüğümüz rasyonel ve modernist konut üretim biçimleri her ne kadar üründe ve üretimde verimliliği arttırmış olsa da ortaya çıkan kitlesel konutlar tekdüze plan şemasına sahip, kimliksiz konutlar olma eğilimindedir.

Günümüzde önemi giderek artan, karmaşık verilerin çoklu entegrasyonunu gerektiren büyük ölçekli konut projelerinde ön tasarım aşamasında alternatifler

türetme süreçlerinin karmaşıklığı ve geleneksel yöntemlerle uzun zaman alması hesaplamalı tasarım araçlarına olan ihtiyacı bir kez daha gündeme getirmektedir. Farklı işlev ve farklı türde kullanıcıları içeren kitlesel konut projelerinde hesaplamalı tasarım yöntemlerinin kullanımı daha özgün yapıların oluşmasına imkan sağlarken, kitlesel üretim potansiyellerinin arttırılmasını olumlu yönde etkileyeceği düşünülmektedir.

Çalışmanın amacı kitlesel konutların ön tasarım aşamasında kullanıcı, çevre ve yapılaşma koşulların bağlı olarak, mimarlar tarafından belirlenen öncelikler doğrultusunda analiz edilerek hesaplamalı tasarım aracıyla hızlı ve etkin bir şeklinde oluşturulmasıdır. Çalışmada Zeytinburnu Kazlıçeşme'de seçilen arazide kitlesel konutların, genel yerleşim ve kütle kararlarının alınmasında genetik algoritmalardan yararlanılmıştır. Kullanıcıya bir karar destek sistemi olarak hizmet edecek olan modelde hesaplamalı tasarım aracı olarak Rhino -Grasshopper yazılımı seçilmiştir. Kitlesel konut alternatiflerinin oluşturulmasında seçilen evrimsel hesaplamaların modele entegrasyonu, çoklu veri analizi ve optimizasyonu için Wallacei X eklentisinden yararlanılmıştır. Genetik algoritmalarla üretilen sonuçlar, üç farklı seçim yöntemiyle seçilerek araziye özgü alternatif kitlesel çözümlere kısa sürede ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kitlesel konut tasarımı, hesaplamalı tasarım, üretken tasarım, genetik algoritmalar, evrimsel algoritmalar

ABSTRACT

The Use of Genetic Algorithms in Mass Housing Design

Yadigar Gökçe ŞİMŞEK

Department of Architecture

Master of Science Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Serhat BAŞDOĞAN

Due to the rapid urbanization and population growth that emerged with the Industrial Revolution, increasing demand, rapid and mass production forms have caused radical changes in the design and production processes of the residential areas. The individual houses produced with traditional methods have been replaced by mass housing forms produced on a large scale with the developing technology.

Problems such as insufficient per capita income, inequality of income distribution, increasing land and production costs have made the search for efficiency in the design and production process of the house the main field of study under competitive conditions. The search for solutions, which came to the fore as forms of mass housing production through the public and private sectors, tended to develop the house as a product into standard, modular, derivable and reproducible typological units. Although the rational and modernist forms of housing production, examples of which we see all over the world, have increased efficiency in product and production, resulting mass housing tends to be houses with a uniform plan and without identity.

In large-scale housing projects, which are increasingly important today and require multiple integration of complex data, the complexity of the processes of generating alternatives at the preliminary design stage and the long time consuming traditional methods bring the need for computational design tools to the agenda once again. It is thought that the use of computational design methods in mass housing projects involving different functions and different types of users will allow the creation of more unique structures, while positively affecting the increase of mass production potentials.

This study aims to create the mass housing in a fast and effective way with the computational design tool by analyzing them in line with the priorities determined by the architects, depending on the user, environment and building conditions at the preliminary design stage. In the study, genetic algorithms were used in the decision of mass housing, general settlement and mass in the selected land in Zeytinburnu Kazlıçeşme. Rhino-Grasshopper software was chosen as the computational design tool in the model, which will serve as a decision support system for the user. The Wallacei X plugin was used for the integration of selected evolutionary calculations into the model, multi-data analysis and optimization in the creation of mass housing alternatives. The results produced by genetic algorithms were selected by three different selection methods, and alternative mass solutions specific to the field were reached in a short time.

Keywords: Mass housing design, computational design, generative design, genetic algorithms, evolutionary algorithms

1
GİRİŞ

Sanayi Devrimi ile ortaya çıkan farklı sanayi kollarında çalışmak amacıyla başta Avrupa olmak üzere ülkemizde kırsal alandan büyük şehirlere doğru yaşanan yoğun göç dalgaları sonucunda kentlerde olumsuz yaşam şartları ortaya çıkmış ve mevcut konut stoğu yetersiz kalmıştır. Kente göç edenlerin barınma sorununa çözüm olarak ürettikleri yasadışı yapılaşmalar kamu ve özel sektörü harekete geçirerek konut ihtiyacına çözüm üretmeye yöneltmiştir. Ancak bu süreçte kısa vadede ekonomik kaygılar ile üretilen konutlar modernizm' in etkilerini taşımakla beraber, üretildiği yer ve bağlamdan kopuk olarak tek düze niteliksiz yapılardır. TOKİ'nin birçok şehirdeki aynı tip toplu konut uygulamaları bu tür üretimlerin önünü açmıştır.

Günümüzde artan bilgi akışı ve teknolojideki hızlı değişim mimarlık alanına da yansıyarak "Hesaplamalı Tasarım" yöntemlerini ortaya çıkarmıştır. Mimaride ilk dönemlerde geleneksel yöntemler ile tasarlanan yapıların görselleştirilmesinde ya da yapının mühendislik hesaplamalarında kullanılan hesaplamalı tasarım yöntemleri günümüzde mimari projelerin ön tasarım aşamasından, uygulama ve üretim aşamasında kadar tüm süreçte sıklıkla kullanılmaktadır.

Son dönemlerde kullanıcı ve işlevler çeşitlenmekle beraber üretilen toplu konutların büyük bölümü halen bağlamdan uzaktır. Bu nedenle kitlesel üretim tekniklerini farklı bir yaklaşım ile ele almak gerekir. Çalışma kapsamında kitlesel konutların tasarım ve üretiminde başlangıç noktası olan toplu konutlar ele alınarak birçok işlev ve kullanıcı çeşitliliğine sahip olan tüm büyük ölçekli konut projelerinin tasarımı 'kitlesel konut' tasarımı başlığı altında ele alınmaktadır.

1.1 Literatür Özeti

Bu çalışma kapsamında literatür taraması kitlesel konut tasarımı ve mimaride genetik algoritmaların kullanımı olmak üzere iki başlık altında incelenmiştir. Kitlesel konut tasarımı başlığı altında dijital tasarım yöntemleri kullanılarak kitlesel bireyselleştirme amaçlı yapılan çalışmalar ve hesaplamalı tasarım araçları ile yapılan kitlesel konutlar incelenmiştir. Mimaride genetik algoritmaların kullanımı

bölümünde ise konut ve kitlesel konutlar için vaziyet planları, iki ve üç boyutlu kat planları, cephe ve üç boyutlu bina formaları üreten çalışmalara yer verilmiştir.

Günümüzde kitlesel konutlarda artan standartlaşmanın önlenmesi ve kullanıcı katılımının arttırılması amacıyla kitlesel bireyselleştirme kavramı ön plana çıkmıştır. Joseph Pine, kitlesel bireyselleştirmeyi kişiye özel üretilmiş seri üretimler ve servisler olarak tanımlamaktadır (Pine, 1993). Sarıyar doktora tezi kapsamında yaptığı literatür taraması ve alan çalışmasında elde ettiği sonuçlar doğrultusunda, konut tasarımı sürecinde özgün gelişme gösteren kitlesel bireyselleştirme yaklaşımlarının konut üretiminde de uygulanabilirliği potansiyellerini yüksek olduğunu belirterek kitlesel konutlarda özelleştirmenin önemini vurgulamıştır (Sarıyar, 2008). Ameijde, büyük ölçekli konut projelerinde ve kentsel ölçekteki parsel düzenlemelerinde kullanılan hesaplamalı tasarım yöntemlerinin tekdüze plan çözümlerini engellediğini ve aynı zamanda kullanıcılar arasında işbirliği ve çeşitlenmeyi artırdığı belirtmiştir (Ameijde, 2019). Niemeijer ve diğerleri, kullanıcıların konut tasarımında değişiklik yapmasını sağlayan, yönetmeliklere ve mimari gereksinimlere göre kontrol edebilen bir kitlesel özelleştirme yöntemi oluşturmuşlardır (Niemeijer, Vries, & Beetz, 2010). Benzer şekilde İlksoy, mimarın belirlediği kısıtlılıklar doğrultusunda kullanıcının yaptığı tercihlere bağlı olarak kitlesel konut üretimi yapan bir model geliştirmiştir (İlksoy, 2015). Lo ve diğerleri, mimar ve konut kullanıcısının ortaklığını teşvik ederek kitlesel konutlarda yaşayacak olanların aidiyet duygusunu artırmak ve eşzamanlı olarak mimarlara konut kullanım alanları üzerinde daha esnek yaklaşımlar sunmak amacıyla tasarlanan ModRule adlı platformu sunmuşlardır (Lo, Schnabel, & Gao, 2015). Bianconi ve arkadaşları yaptıkları çalışmada algoritmik tasarım ve hesaplamalı tasarım konularında yeterince bilgi sahibi olmayan konut alıcılarına, tasarımda bilişim alanındaki en son gelişmeleri tanıtarak farklı alternatiflerin üretilmesine zemin hazırlayan sezgisel bir ara yüz ile kitlesel özelleştirmeye dayalı konut üretimi yapan bir karar destek sistemi oluşturmuşlardır (Bianconi, Filippucci, & Buffi, 2019). Brasil ve Franco ise, bilgisayar destekli tasarım, mühendislik ve uygulama süreçlerinin entegrasyonu ve otomasyonu ile Brezilya'daki toplu konutların kişiselleştirilmiş uygulamalarını üretmeyi hedeflemişlerdir (Brasil & Franco, 2019) Uzunoğlu ve Özer ise, toplu konutların ön tasarım sürecinde konutu kullanılıyormuş gibi düşünerek kullanım performansını olumsuz etkileyen etmenleri tespit edip

tasarımlar arasından eleme yapabilen bir yöntem geliştirmişlerdir. (Uzunoğlu & Özer, 2014).

Hesaplamalı tasarım araçları kullanılarak yapılan kitlesel konut tasarımları incelendiğinde ise bu alandaki ilk örneklerden birinin, 1976 yılında Cedric Price ve John Frazer tarafından tasarlanan ve akıllı ev olarak da bilinen 'Generator' Projesi olduğu görülmektedir. Bu proje, hücresel özdevinim yöntemi ile kitlesel konut tasarım alternatifleri sunmanın yanı sıra binanın kullanım sürecindeki değişimleri de öngörebilen bir projedir (Herr & Kvan, 2007). Coates ve diğ. de hücresel özdevinim ile yaptıkları çalışmada kitlesel konut tasarımına çevresel etmenleri ve malzemeyi de entegre ederek farklı formlar oluşturmuşlardır (Coates, Healy, Lamb, & Voon, 1996). Herr ve Kvan 2007 yılında H. Ö ile yaptıkları çalışmada ürettikleri model ile kullanıcıya çok daha esnek tasarımlar sunmuşlardır (Herr & Kvan, 2007). Dinçer, doktora tezi kapsamında toplu konutların ön tasarım aşamasında H.Ö ile form alternatifleri üreten model geliştirmiştir (Dinçer, 2014). Duarte, 2001 yılında yaptığı çalışmada Malagueira Evleri'nin biçim grameri kurallarını çıkarıp, bilgisayara aktararak oluşturduğu uzman sistem aracılığıyla kitlesel konut alternatifleri üretmiştir (Duarte, 2001). Hansmeyer'e L-Sistemlerin üretim mantığının modüler tasarım ve üretim için oldukça uygun olduğunu belirterek oluşturduğu formlar ile esnek kitlesel konut çalışmalarına zemin hazırlamıştır (Hansmeyer, 2003). Cestel, yüksek yapıların kavramsal tasarım sürecinde L-Sistemleri' i kullanarak alternatif bina formları oluşturmuştur (Cestel, 2008). Ağırbaş ise, çoklu etmen tabanlı sürü zekası yöntemiyle yüksek yoğunluklu konutlar için cephe alternatifleri oluşturmuştur (Ağırbaş, 2019).

Genetik algoritmaların mimaride kullanımı ilk dönemlerde iki boyutlu kat planlarının oluşturulmasıyla başlamıştır.1996 yılında Rebaodengo ve Reorda oda boyutlarını ve komşuluk ilişkilerini baz alan genetik algoritma tabanlı kat planı alan optimizasyonu modeli geliştirmişlerdir. (Rebaudengo & Reorda, 1996). Rosenmann, hiyerarşik büyümeyi temel alarak konutlar için GA'lar ile kat planı şemaları üreten model geliştirmiştir (Rosenman, 1997). 1999 'da Elezkurtaj ve Frank Genetik Algoritmalar ve Evrimsel Stratejiyi entegre ederek interaktif kat planları oluşturan modeli geliştirmişlerdir (Elezkurtaj & Franck, 1999). Nilkaew, mimaride kat planı oluşumunda ön tasarım aşamasında bir düşünme sürecine

destek olacak şekilde kavramsal ve şematik tasarım için alternatifler bulan bir model ve ara yüz geliştirmiştir (Nilkaew, 2006). Song ve arkadaşları, kavramsal tasarım sürecindeki problemlerin formülize edilmesi ve konutların ön tasarım aşamasında kullanılması amacıyla evrimsel algoritma tabanlı Örtük Yedekli Temsil Genetik Algoritmasını (IRRGA/ Implicit Redundant Representation Genetic Algorithm) kullanarak bir yöntem geliştirmişlerdir (Song, Ghaboussi, & Kwon, 2016). İlerleyen yıllarda yapılan çalışmalarda iki boyutlu kat planı üretimlerinden, cephe ve üç boyutlu form oluşumlarına kadar gelişerek sürmüştür. Caldas, doktora tezi kapsamında mimari tasarım sürecinde genetik algoritmaların kullanıldığı "The Generative System" adlı üretken bir model oluşturmuştur (Caldas, 2001). Chouchoulas, 2003 yılında, genetik algoritmalar ve biçim gramerlerini birlikte kullandığı modelde çeşitli konut alternatifleri üretmiştir (Chouchoulas, 2003). Narahara ve Terzidis çevresel, işlevsel ve ekonomik kısıtlamalara dayalı kitlesel konut projesini GA'lar ile çözen model üretmişlerdir (Narahara & Terzidis, 2006). Güngör, GA'lar ile kitlesel bireyselleştirme odaklı model ile kitlesel konutlar için alternatif kat planları üretmiştir (Güngör, 2010). Aksoy doktora tezi kapsamında kitlesel konutların üretiminde ön tasarım aşamasında belirlediği arazi yerleşim kriterleri ile evrimsel model geliştirmiştir (Aksoy Y. , 2016). 2020 yılında Jansen & Piątek, bilgi tabanlı karar vermeyi kolaylaştırmak amacıyla arsayı analiz edip en uygun kitlesel konut formunu öneren MOT (Mass Optimization Tool) adlı kodu geliştirmişlerdir.

Kitlesel konut tasarımında genetik algoritmaların kullanıldığı çalışmalar Tablo 1.1 'de detaylı olarak incelenmiştir.

Tablo 1.1 Kitlesel konut tasarımında GA'ların kullanıldığı çalışmalar

Kitlesel Konut Tasarımında Genetik Algortimaların Kullanıldığı Çalışmalar									
Çalışmanın Adı	**Türü**	**Yazarı**	**Yılı**	**Kurum**	**Problem**	**Amaç**	**Metodoloji**	**Araç**	**Bulgular-Sonuç**
Multiple-constraint Genetic Algorithm in Housing Design	Konferans Bildirisi	Taro Narahara Kostas Terzidis	2006	ACADIA 2006: Synthetic Landscapes	Büyük ölçekli konut projerlinde çoklu ver entegrasyonunun güçlüğü	maksimum gün ışığı eldesi ve manzara gereksinimlerini en düşük maliyetle karşılamak	Alan Çalışması-Tasarım optimizasyonu	çoklu kısıtlamalar içeren yöntemler	Hesaplamalı tasarım yöntemleri tasarımcının sezgisel olarak ulaşamayacağı kadar kısa sürede çok sayıda alternatife erişme imkanı sağlamıştır. Genetik algoritmalar çok yönlü sınırlayıcılar içeren arama uzayındaki en verimli tasarım çözümüne ulaşmak için potansiyel bir yöntem olarak görülmüştür.
Genetik Algoritmaya Dayalı Kitlesel Bireyselleştirme Amaçlı Konut Tasarım Modeli	Yüksek Lisans Tezi	Özge Güngör	2010	İstanbul Teknik Üniversitesi	kullanıcıya malzeme seçimi sunan katalog yazılımlarının bireyselleştirmede yetersizliği	uzman tasarımcı olmayan kullanıcının için konut kat planı alternatiflerini üreten bir tasarım aracının geliştirilmesi	Alan Çalışması-Tasarım optimizasyonu	MATLAB yazılımı	Modelde, geleneksel tasarım yöntemleri ile tasarımcının öngöremeyeceği kat planları ve bina formları oluşmaktadır. tasarım süresinin kısalıp,üretim aşamasına geçişi kolaylaştıracağı ön görülmektedir.
SÜRDÜRÜLEBİLİR TOPLU KONUT YERLEŞMESİ TASARIMI İÇİN PARETO GENETİK ALGORİTMAYA DAYALI BİR MODEL ÖNERİSİ: SSPM	Doktora Tezi	Yazgı Aksoy	2016	İstanbul Teknik Üniversitesi	sürdürülebilir bina tasarım modellerinin kullanım zorluğu ve erken tasarım evresinde kullanılamaması	yeşil bina tasarım kriterlerini, yerel yapı yönetmeliklerini ve iklimi değişen kriterler olarak alan sürdürülebilir arazi yerleşim planı üreten modelin oluşturulması	Alan Çalışması-Tasarım optimizasyonu	Excel, Processing 2.1	LEED ve BREAM sertifikaları ve yerel yasal yönetmelikleri göz önüne alan, arazinin topoğrafik verilerinin okunayabilen ve bina yüksekliklerine göre yaklaşma mesafelerinin hesaplanmayan model kitlesel konut alternatifleri yapılabilmektedir.
The Evolutionary-algorithm-based Automation of the Initial Stage of Apartment Building Design	Konferans Bildirisi	Igor Jansen Łukasz Piątek	2020	eCAADe 38	Büyük ölçekli konut projerlinde çoklu veri entegrasyonunun güçlüğü	bakış açısı, gün ışığı eldesi, maksimum oturum alanı ve bina yoğunluğu (bütünlüğü) optimizasyonu	Alan Çalışması-Tasarım optimizasyonu	Rhinoceros, Grasshopper ve Wallacei	Polonya yapı yönetmeliğine uygun olarak en uygun bina formunu öneren MOT adlı bir kod üretilmiştir.
Automated Parametric Building Volume Generation: A Case Study for Urban Blocks	Konferans Bildirisi	Iuliia Osintseva Reinhard Koenig Andreas Bogt	2020	SIMAUD	kitlesel konut tasarımda erken tasarım evresinde karar aşamasının uzun zaman alması	çok sayıda farklı tasarım seçeneği oluşturmak yarı otomatik üretim yöntemini tasarım sürecine dahil etmek	Alan Çalışması-Tasarım optimizasyonu	Rhinoceros, Grasshopper Decoding spaces	tasarım çıktılarının geniş mekansal analiz ve simülasyon kapsamına doğrudan bağlanmasıyla daha verimli bir şekilde çözümlere ulaşılmıştır.
Shape Evolution An Algorithmic Method for Conceptual Architectural Design Combining Shape Grammars and Genetic Algorithms	Doktora Tezi	Orestes Choucholas	2003	University of Bath	Çok yönlü tasarım srounlarının optimizasyonu tek bir hesaplamalı tasarım aracının yetersiz kalması	bilgisayarların tasarım süreciyle daha fazla dahil etmek,tasarım üretimine yardımcı olmak için bir yazılım aracı önermek.	Algortimik Tasarım Yöntemlerinin Entegrasyonu	C++	Biçim evrimi modeli farklı tasarım sorunlarına uyarlanabilme özelliğine sahiptir

1.2 Tezin Amacı

Hesaplamalı tasarım yaklaşımında yapının tasarım ve üretim süreci bütüncül bir yaklaşımla etkileşimli olarak ele alınmaktadır. Modernizm ile gelen kitlesel üretim teknikleri kullanılarak inşa edilen konutlar, kamu ve özel sektörün öngördüğü hızlı ve ekonomik çözümleri karşılarken tasarım çeşitliliği oluşturamamakta ve bölgeye uyum sağlayamamaktadır. Bu nedenle kitlesel konut projelerinde hesaplamalı tasarım araçlarının kullanımı ve bu araçların türetici yapıları, tasarımlarda çeşitliliğin arttırılmasına ve işlevsel olarak daha verimli sonuçların ortaya çıkmasına olanak sağlayabilir.

Çeşitli işlevleri içeren bu konut projelerinde sonucu tasarlamaktan ziyade hedeflenen tasarıma ulaşmak için süreci kurgulamak daha doğru bir yaklaşım olarak değerlendirilmektedir (Coates & Schmid, 1999). Bu süreci kurgulamak için mimari tasarımda çoklu verilerin entegrasyonunu gerektiren, çok sayıda farklı kullanıcı tipi ve işlevlerini karşılayabilecek, nitelikli, özgün ve bağlama duyarlı yapıların üretilmesi için üretken tasarım araçlarına ihtiyaç vardır.

Çalışma kapsamında, üretken tasarım araçlarından çoklu veri entegrasyonu ve optimizasyonuna en uygun yapıda olan Genetik Algoritmaların kullanımı ile kitlesel konutların ön tasarım aşamasında araziye kütle yerleşimi alternatiflerini üretebilen, bir model geliştirilmesi amaçlanmıştır.

1.3 Orijinal Katkı

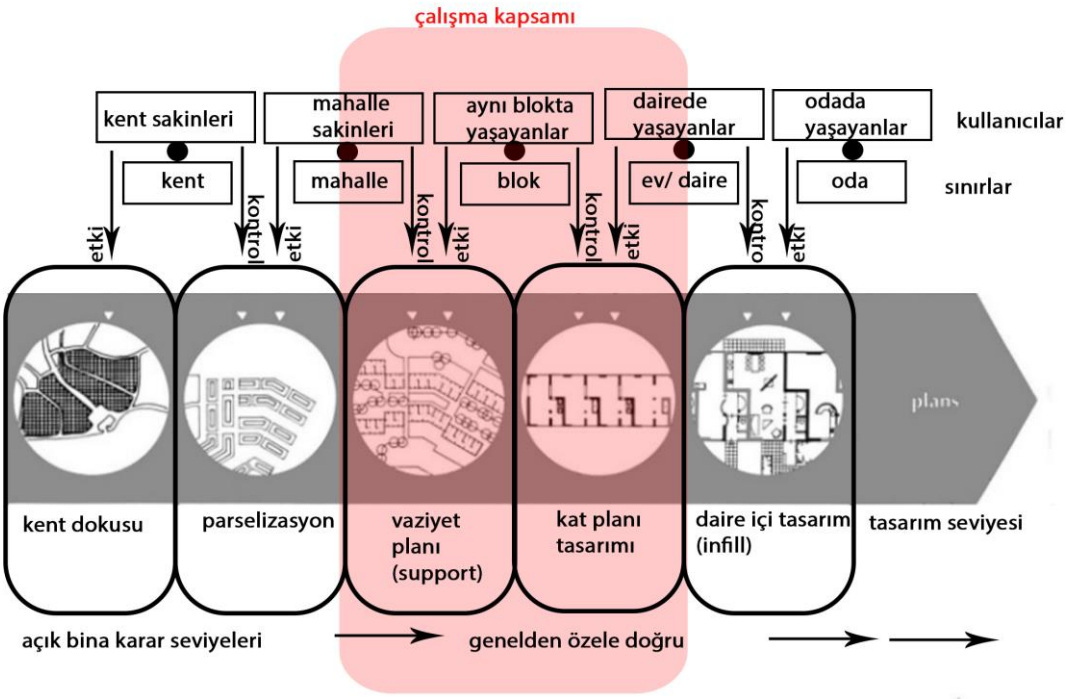
Günümüzde kamu ve özel sektör aracılığıyla üretilen kitlesel konut projelerinin büyük bir kısmı inşa edilen arazinin bölgesel verilerinin kullanımından yoksun, bağlamdan kopuk yapılardır. Literatürdeki kitlesel konut tasarımı çalışmalarının birçoğunda fiziksel çevre koşulları tasarım sürecine entegre edilerek alternatif türetimine gidilmiş, genetik algoritmalarla oluşturulan modellerde ise sıklıkla kat planı ya da kütle optimizasyonuna yer verilmiştir. Tez kapsamında oluşturulan modelin öncelikle kitlesel konut tasarımında kullanıcıya bir karar destek sistemi olarak hizmet etmesi planlanarak araziye uygun tasarım kriterleri ve değişkenleri belirlenmiştir. Ticaret ve konut alanlarının bir arada yer aldığı karma işlevli arazide işlevlerin form oluşuma etki etmesinde çevresel koşullar etki noktaları olarak değerlendirilerek özgün tasarımların oluşmasına imkan sağlanmıştır. Birçok

çalışmada yer alan tek düze kat planı şemasının ve sabit kütle alternatiflerinin arazide çoğaltılmasının aksine modelde her kat planın oluşumunda farklı bir referans alınması ile açık-yarı açık alanlar ve çıkmalar oluşturularak cephede hareketlilik sağlanmıştır.

Disiplinler arası çalışmaya uygun altyapıdaki modelin geliştirilmesi ile farklı arazilerde istenilen yüksekliklerde tasarımlar yapılarak, mimari tasarım sürecinde ön tasarım aşamasında yaklaşık maliyet hesabı yapılabileceği gibi, modüler koordinasyona uygun altyapısı ile seri üretime elverişli sonuçlara ulaşılabilir. Model üretim sayısının arttırılmasına imkan sağlayarak, makina öğrenmesi alanında geliştirilmeye zemin hazırlamaktadır. Çalışmanın mimarlık alanına katkısı kitlesel konutların tasarım ve üretim sürecinde yalnızca sonuç odaklı değil sürece dayalı üretimlerin yapılması amacıyla kullanıcıların belirlediği değişkenler ve uygunluk değerleri doğrultusunda araziye uygun kütlesel formların öntasarım aşamasında oluşturarak özgün kitlesel konutların seri üretime elverişli hale getirilmesidir.

1.4 Tezin Kapsamı ve Yöntemi

Bu çalışma kapsamında kitlesel konutların erken tasarım aşamasında kütlesel form önerileri üreten bir model geliştirilmiştir. Çalışma, açık bina kararlarının orta düzeyde oluğu vaziyet planı ve kat planı tasarımlarının ara kesitinde yer almaktadır. Oluşturulan modelde, kat planlarının çözümlemesine gidilmemiş, açık bina tasarımını desteleyen kat planlarının bir araya gelmesi ile oluşan kütlesel tasarımların araziye yerleşimleri değerlendirilmiştir.



Şekil 1.1 Açık bina tasarım seviyeleri, çalışma kapsamı (Habraken, 1961)

Çalışmanın yöntemi, kitlesel konut tasarımını modelinin alan çalışması ile test edilmesidir. Bu nedenle öncelikle kitlesel konut tasarımı için parametrik tasarım aracı olan Rhino Grasshopper'da değişkenler ve kurallar tanımlanmıştır. Erken tasarım evresinde kullanılmak üzere oluşturulacak kütlesel form alternatiflerinin üretilmesi için NSGA II / (Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm II) Baskılanamayan Sıralı Genetik Algoritmayı temel alan bir evrimsel yaklaşım eklentisi olan Wallacei X kullanılmıştır. Geliştirilen model kullanıcıya bir karar destek sistemi olarak hizmet etmektedir.

Genetik algoritmaların alternatif üretme sürecinde uygulanması için gerekli olan genler (girdiler/ değişkenler) ve uygunluk değerleri (çıktılar) belirlenmiştir. Kullanıcının Wallacei X arayüzünde belirlediği popülasyon büyüklüğü, birey sayısı, çaprazlama ve mutasyon olasılıkları gibi parametrelerle genlerin değişimi ve eşleşmesi yapılarak simülasyon sürdürülür. Bitirme koşulu sağlandığında üretim tamamlanır ve oluşan tasarım alternatiflerine ait veriler listelenir. Modelin bir sonraki aşamasında üretilen formlar analiz edilerek değerlendirilir. En son aşamada ise 3 farklı seçim yöntemi uygulanarak seçim yapılır ve seçilen çözümlerin uygunluk değerleri karşılaştırılır.

2
KİTLESEL KONUT TASARIMI SÜRECİNDE HESAPLAMALI TASARIM

2.1 Özel Üretimden Seri Üretime

19. yy' da zanaatkarlık, toplumun emek dağılımı doğrultusunda biçimlenmesiyle ekonominin temel taşlarından biri olarak görülmekteydi. Kişiye özel olarak üretilen ürünlere sahip olmak toplumda bir ayrıcalıktı. Fakat bu kişiye özel benzersiz üretimler için harcanan çokça zaman ve el işçiliği, ürünlerin yüksek fiyatlı olmasına ve sadece belirli bir gelir grubuna mensup insanlara hitap etmesine neden oluyordu. Bu nedenle ilerleyen süreçte insanlar standartlaşmış ancak uygun fiyatlı ürünleri kolay erişilebilir olduğu için kişiselleştirilmiş ancak pahalı ürünlere tercih etmeye başladılar (İlksoy, 2015).

Üretilen ürünlerde olduğu gibi mimarlık alanında da 19. yy'a kadar genellikle kullanıcıya (sahibine) özel olarak yapılan tekil konutlar tercih edilmekteydi. Bu konutlar genellikle ekonomik olarak üst gelir grubuna hitap etmekteydi. Alt gelir grubuna mensup kişiler ise kendi inşa ettikleri yapılarda yaşamaktaydılar.

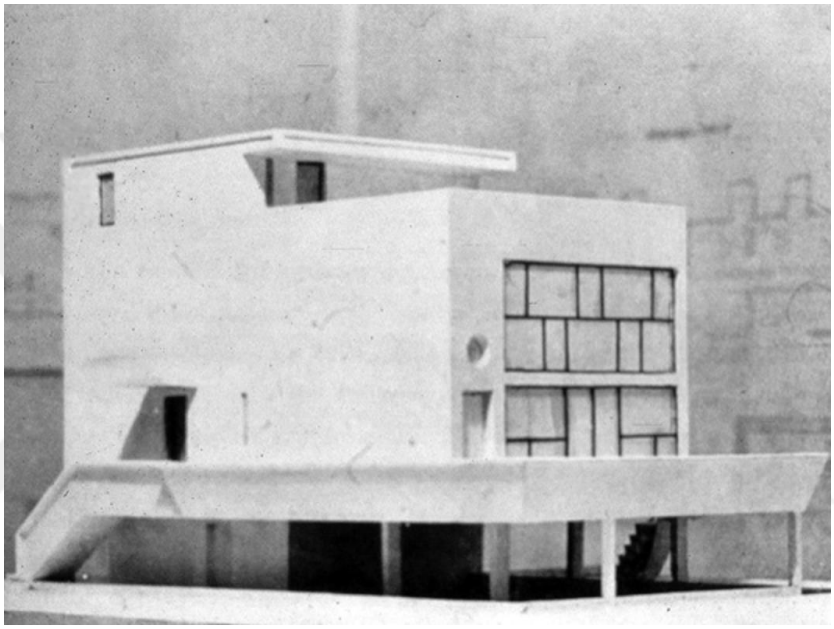
Sanayi Devrimi ile ortaya çıkan seri üretim kavramı ile hızlı ve verimli üretim akımı başlamış oldu. 1913 yılında Henry Ford'un ilk hareketli montaj hattını tanıtması ve Taylor'un (1911) üretimde zaman ve maliyeti azaltmak için önerdiği artan iş bölümü ve görevleri içeren yöntemi ile seri üretimde verimlilik ön plana çıkarıldı (İlksoy, 2015).

Seri üretim ile konutun ele alınış biçiminde de köklü değişiklikler yaşanmıştır. Mimaride 20. yüzyılın başından itibaren ortaya çıkan Modern Hareket, mevcut konut sorunun çözümünü rasyonalist bir yaklaşımla ele almıştır. Bu dönemde Walter Gropius veya Le Corbusier gibi mimarlar tıpkı Ford'un otomobil üretiminde olduğu gibi, standart ve düşük maliyetli konutların seri üretimini talep ederek girişimlerde bulunmuşlardır (Herbert, 1984).

Konutun standartlaşması teknolojinin ve seri üretim tekniklerinin konut üretiminde kullanımıyla başlamıştır. Modern mimari konutların ortak özellikleri temel

geometrik biçimlerin farklı birleşimlerinden oluşmaları ve endüstriyel üretime elverişli rasyonel yapıya sahip olmalarıdır. (Pilgir, 2015)

Seri üretim mantığının mimariye yansımasının ilk örneği 1920-1922 yılları arasında, Le Courbusier' in tasarladığı Citrohan evidir (Şekil 2.1). "Ev içinde yaşanan bir makinedir" düşüncesinden yola çıkarak evi, fabrikasyon ile kolayca üretilip birleştirilecek ve standard modüllerden oluşacak şekilde tasarlamıştır. Ekonomik ve kolay kuruluma sahip olan bu evler herkesin kolayca alıp kullanabileceği bir ürün haline gelmiştir (Ågren & Wing, 2014).



Şekil 2.1 Citrohan evi -Le Corbusier (Serenyi, 1965)

Zaman içerisinde insanların artan konut ihtiyacına çözüm olarak prefabrike sistemle üretilen konutların sayısı artmış fakat bu işleyiş yalnızca bir fabrikanın ürettiği ürünlerin birleşmesine imkan sağlayarak diğer fabrikada üretilen ürünlerin yapıya entegre edilmesi mümkün olmayan kapalı sistemi (closed system) ortaya çıkarmıştır. Ürün varyasyonlarına imkan vermeyen kapalı sistem prefabrike konutlar zaman içerisinde kullanıcılar tarafından tercih edilmemeye başlanmıştır (Güngör, 2010).

Amerika Birleşik Devletleri'nde üreticilerin yalnızca bir tedarikçiye bağlı kalarak üretim yapmak istememeleri sonucunda açık sistemlere (open systems) yönelim başlamıştır (Caputo, 2009). Yapım sürecinde değişimi, endüstriyel üretimi ve kullanıcı tercihlerini göz önünde bulundurabilen açık sistemler ile farklı

fabrikalarda üretilen mimari bileşenler bir araya getirilebilmektedir. Bu sayede firmalar tek bileşen odaklanarak yalnızca o bileşenin standart üretimini yapmaya başlamış ve böylece üretim maliyetleri düşmeye başlamıştır (Caputo, 2009). Güngör'e (2010) göre Zaman içerisinde konut bileşenleri düşük maliyetle, seri üretim ve standartlaşma ile kısa vadede kaliteli olarak üretilse bile tekdüze sonuçların ortaya çıkmıştır. Örneğin; Walter Gropius 1926-1928 yılları Almanya'daki artan nüfusa yönelik düşük maliyetli modern konutlar tasarlamıştır (Şekil 2.2). Taşıyıcı duvarlar prefabrike olarak üretilmiş, ucuz beton bloklar ve betonarme kirişli döşemeler kullanılmıştır (İlksoy, 2015). Üç adet standart konut tipinin çoklu üretiminin gerçekleştirildiği Törten Konutları seri üretimin izlerini taşımaktadır.



Şekil 2.2 Törten konutları (İlksoy, 2015)

Kitlesel üretimle yapılan konutların artan teknolojik ve sosyal değişimlere uyum sağlayamaması zaman içerisinde birçok toplu konut projesinin atıl duruma gelmesine neden olmuştur (Kendall & Teicher, 2002). Bu nedenle tasarımda kullanıcı katılımını destekleyen modeler üzerinde çalışılmıştır. 1972 yılında John Habraken 'destek' (support) ve 'doldurma' (infill) terimleri üzerinde kitlesel konut tasarımında açık sistemleri geliştiren bir yaklaşım sunmuştur. Destek, yapının sabit temel bileşenlerini, doldurma ise değişebilen esnek bileşenleri belirtmektedir (Kendall & Teicher, 2002). Bu yaklaşım ile kullanıcının sürece katılımını destekleyen açık bina modeli ortaya çıkmış, esnek plan şemalarının üretimi artmaya başlamıştır.

2.2 Kitlesel Konut- Toplu Konut

20. yy'ın başında artan sanayileşme sonucunda el ile üretim yapan dükkanların yerini makina ile üretim yapan çok daha büyük ölçekli işletmeler ve fabrikalar almaya başlamıştır. Birçok farklı sanayi kollarında çalışmak için kırsal alandan kent merkezine doğru gelenlerin oluşturduğu yoğun göç dalgaları ile kentsel alanlarda ortaya çıkan olumsuz yaşam şartları ve artan konut ihtiyacı kentin mevcut dokusundaki değişimlere yol açacak olan yeni konut üretim biçimlerini ortaya çıkarmıştır (Niemeijer, Vries, & Beetz, 2010). Bu alanda öncelikle sosyal konut, toplu konut ve kitlesel konut kavramları ele alınacaktır.

Sanayi Devrimi ile 19. yy'ın başına kadar geleneksel yöntemler ile yapılan konutların yerini çok daha büyük ölçekte tasarlanan ve üretilen konutlar almıştır. Bu kitlesel konut üretim biçimi alışılagelmiş olan geleneksel yaşam tarzını da değiştirmeye başlamış, modern yaşam biçimi günlük hayattaki yerini almıştır. Kitlesel üretim ile değişen barınma kültürü de 20. yy mimarlığında sosyal bir mesele olarak ele alınmış, bu sorunun çözümü için yeni alternatifler sunulmuştur. Bunlar arasında en yaygın olanı sosyal konut ve toplu konut uygulamalarıdır (Gülen, 2019).

Sanayileşmenin beraberinde getirdiği teknolojik ve alt yapı değişimlerinin kentleşmeye olan etkilerinin düzenlemek, toplumdaki düzensiz gelir dağılımını dengelemek amacıyla başta Avrupa'da olmak üzere birçok ülkede farklı uygulamalar yapılmıştır. Ülkeler, vatandaşlarının sağlık, güvenlik, refah seviyesi ve mülkiyet haklarını koruma amacıyla konut üretiminde kamunun denetimini zorunlu kılan konut yasalarını (başta 1901 tarihli Hollanda Konut Yasası olmak üzere) uygulamaya geçirmiş ve sosyal konutlara doğru bir eğilim başlamıştır (Kendall & Teicher, 2002). Alt gelir grubu için yapılan standart ve ucuz sosyal konutlar sanayileşmenin temelinde dayanan seri üretim teknikleriyle yapılmakta ve yüksek yoğunluklu toplu konut alanlarını oluşturmaktadır (Niemeijer, Vries, & Beetz, 2010). Bu noktada 'toplu konut' ve 'sosyal konut' kavramlarını birbirinden ayırmak gerekmektedir.

Toplu Konut, Sanayi devrimi ve beraberinde artan kentleşme ile seri üretim teknikleri ve yeni yapım yöntemleri kullanılarak daha kısa sürede çok sayıda düşük maliyetli konutun aynı anda tasarlanıp üretilmesi sürecidir (Tekeli, 2009). Sosyal konut ise en basit tanımıyla devletin ya da bazı kamu kurumlarının dar gelirler için

ürettiği toplu konut biçimleridir. Sosyal konut, kitlesel üretimle yapılan toplu konutların bir alt koludur.

20.yy'ın sonlarına doğru kamu ve özel sektör tarafında desteklenen kitlesel konutlar sosyalist ve kapitalist devletlerde hızlıca yayılmaya başlamış ve geleneksel kent dokusunu oluşturan tekil konutların yerini tekdüze çok katlı konutlar almaya başlamıştır. Birden fazla sayıda konutun tek seferde üretilmesi sadece alt gelir grubuna yönelik değildir. Günümüzde tüketim kültürünün bir sonucu olarak statüsel ayrışma isteyen üst gelir gruplarına yönelik inşa edilen büyük ölçekli konut projeleri de kitlesel konutun önemli bir kısmını oluşturmaktadır (Pilgir, 2015). Kitlesel konut ise daha çok sosyal açıdan kullanıcının kimliksizleşmesi ile aidiyet duygusunun olmadığı konut biçimleri olarak hem toplu hem de sosyal konut kavramlarını kapsamaktadır. Bu nedenle sosyal konut ve toplu konut kavramlarını kitlesel konut başlığı altında daha geniş bir biçimde ele almak mümkündür. Tez kapsamında kullanılan kitlesel konut ifadesi ile kitlesel üretim ile yapılan tüm konutlar kapsanmaktadır.

2.3 Türkiye'de Kitlesel Konut Üretimi

İlhan Tekeli Türkiye'de konut üretim sürecini dört dönemde özetlemektedir.

- Birinci dönem, Cumhuriyetin kuruluşundan II. Dünya Savaşı'na kadar modernleşme süreci
- İkinci Dönem, II. Dünya Savaşı'ndan 1960'lı yıllara kadar popülist modernite
- Üçüncü dönem, 1960-1980 yılları arasında planlı ve hızlı kentleşme
- Son dönem ise, Türkiyenin küreselleşmeye başladığı dönem (Tekeli, 2009).

Birçok gelişmekte olan ülke gibi Türkiye de İkinci Dünya Savaşından sonra hızla kentleşme sürecine girmiştir. 20.yy'ın ikinci yarısında tarımın makineleşmesi, Anadolu'da geçimini tarımdan sağlayan kırsal nüfusun işsiz kalarak büyük şehirlere göç etmesine ve kentlerdeki konut açığının büyümesine neden olmuştur.

1950 yılı kentleşme ve yeni konut biçimlerinin oluşması açısından bir kırılma noktası olarak görülmektedir (Koca, 2015). Göç ile kente gelen ve düzensiz gelire sahip olan nüfus için yetersiz altyapı ve artan barınma sorunu gecekondulaşmayı beraberinde getirmiş ve şehirlerdeki düzensiz büyümeye sebep olmuştur.

Cumhuriyet Döneminde çok sayıda konutun tek seferde üretiminin gerçekleştirildiği lojmanlar ve işçi konutları gibi uygulamalar olsa dahi kitlesel konut kavramının karşılığı olan aidiyet duygusundan uzaklaşan insanların 1950 yılından sonra toplumsal değişimle birlikte ortaya çıktığı görülmektedir (Keleş, 2017).

1965 yılında Kat Mülkiyeti Kanunu ile apartmanların kooperatif ya da özel sektör aracılığıyla üretimi yaygınlaştırılmıştır. Bu süreç beraberinde artan inşaat maliyetlerine çözüm olarak yap-satçı mekanizmayı ortaya çıkarmıştır (Tekeli, 2009). Kent çeperlerindeki arsaları satın alıp kooperatifçilik yaklaşımı ile üreten özel sektör yatırımcısı bu dönemde aynı bloğun çok sayıda üretimini gerçekleştirerek büyük ölçekli konut projelerinin temelini atmıştır.

Cumhuriyetin kuruluşundan Kat Mülkiyeti Kanununa kadar olan zaman diliminde konutun kullanım değeri ön plandayken, 1965'ten sonra değişim değeri ön plana çıkmış ve konut bir ürün olarak görülmeye başlanmıştır (Koca, 2015).

1980'lerde ülke içinde dövizin serbest dolaşımına izin verilmesi,1985'te yürürlüğe giren İmar Kanunu'nu, 1981 ve 1984 yıllarında çıkarılan Toplu Konut Kanunları ve Toplu Konut İdaresi'nin kurulmasıyla hükümet konut açığını kapatmak amacıyla planlı kentleşme modelini öne sürmüş, konut projelerini üretiminde temel aktör olmaya başlamıştır (Koca, 2015)(Şekil 2.3).

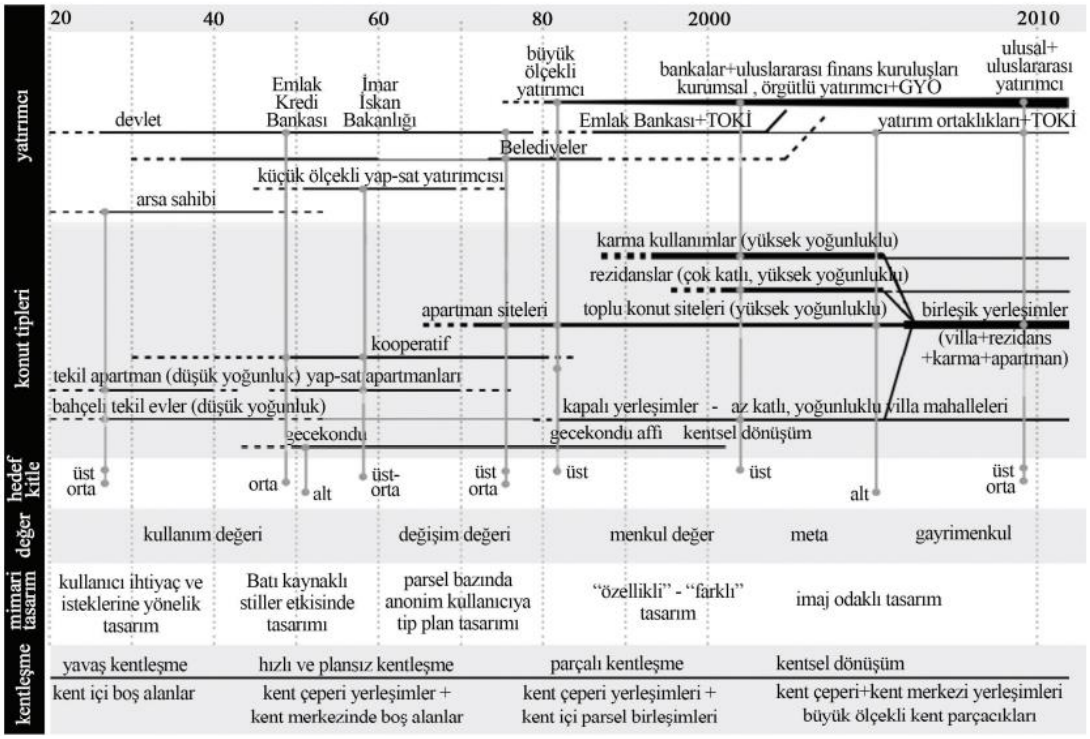
1990'lı yıllarda Gayrimenkul Yatırım Ortaklıkları' nın konut üretiminde yer almaya başlaması ile büyük ölçekli kitlesel konut projeleri ve kapalı site yerleşmeleri en çok görülen konut sunum biçimleri haline gelmiştir. Bu dönemde belki de mimari açıdan konut tasarımında farklı bir yaklaşıma neden olan konutun metalaşması söz konusudur. Önceden kullanıcı talepleri doğrultusunda şekillenen tasarımlarda kullanıcının yerini büyük yatırımcılar almıştır. Konutun piyasa içerinde daha kolay tercih edilebilen bir mal olması mimardan beklenen görev haline gelmiştir (Koca, 2015).

80'lerde büyük ölçekli konut projeleri ve kapalı siteler sıklıkla kent çeperlerine inşa edilirken, 2000 yılı sonrasında Kentsel Dönüşüm Yasası ile yeniden kentin merkezine kaymıştır. 2000 yılı sonrası kitlesel konut üretiminde TOKİ başta olmak üzere yerel yönetimler aktif rol almıştır (Akalın, 2016).



Şekil 2.3 Toki konutları (Koca, 2015)

2000 sonrası dönemde ise birçok kurum, konut ile ticaret veya hizmet birimlerinin bir arada olduğu birleşik (karma) yerleşimleri ada ya da parsel bazında düzenlemelerle kitlesel üretim ile hayata geçirmektedir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4 Cumhuriyet sonrası konut üretimi (Koca, 2015)

2.4 Endüstrileşmiş Kitlesel Konut Tasarımında Hesaplamalı Tasarım Araçlarının Kullanımı

Konut sektöründe endüstrileşmenin amacı daha çok sayıda konutu daha kaliteli bir şekilde, daha kısa sürede ve çok daha ekonomik olarak tasarlayarak üretmektir. Bu nedenle, öncelikle tasarım aşaması olmak üzere üretim aşamasında endüstrileşmiş yöntemlerin kullanımı bu hedefe ulaşmayı kolaylaştıracaktır (Tokgöz & Koçak, 2008).

Endüstrileşmiş üretimde üretimin sürekliliği; talebin sürekliliği, bütünleşik üretim süreci, yüksek örgütlenme, mekanizasyon ve standartlaşmaya dayanmaktadır. Benzer şekilde endüstrileşmiş yapı üretiminde de sürekli talep ve standartlaşma en önemli unsurlardır (Caputo, 2009). Geleneksel yapım sürecinden endüstrileşmiş yapım sürecine geçiş aşamasında yapı üretiminde büyük değişiklikler meydana gelmiştir. Bu süreçte ilk olarak standartlaşma ve modüler koordinasyon kavramları mimaride tasarım ve üretim aşamalarında yerini almıştır. Bu kavramlar ile yapı bileşenlerinde ve yapım tekniklerinde değişimler ortaya çıkmıştır (Gökhan & Baytın, 1979).

Mimari tasarımda öncelikle yapı bileşenleri boyutsal olarak standartlaştırılmaktadır. Standart yapı bileşenlerinin üretim aşamasından sonra monte edilebilmesi için diğer yapı bileşenlerinin de sisteme uygun şekilde tasarlanması gerekmektedir. Bu nedenle yapı üretiminde standartlaşma birimler arası entegrasyonu içeren modüler koordinasyonu gerektirmektedir (Tokgöz & Koçak, 2008).

Modüler koordinasyon, yapıya ait bileşenlerin uygun şekilde bir araya gelmesi için yatay ve düşey boyutlandırmalarının standartlaştırılması yöntemidir (Building and Construction Authority, 2000). Modüler koordinasyonda amaç, bina üretiminin standardizasyonu ile seri üretim yapabilmek ve bu sayede yapım maliyetini düşürmektir. Özellikler ön tasarım aşamasında modül boyutlarının ve özellikle strüktür ızgarasının belirlenmesi ilerleyen tasarım süreçlerinin kısalması ve kolaylaşması açısından önemli bir unsurdur (Tokgöz & Koçak, 2008). Duray ve arkadaşları, modüler üretimin, maliyeti azaltırken, üründe çeşitliliği artırmayı kolaylaştırabileceğini belirtmişlerdir (Duray, Ward, Milligan, & Berry, 2000). Aynı zamanda tasarımda modüler koordinasyonun kullanımıyla seri üretimle üretilecek

olan yapı bileşenlerin standartlaştırılmasının projelerde esnek tasarımlara zemin hazırlaması amaçlanmaktadır (Building and Construction Authority, 2000).

Günümüzde standartlaşma, modüler koordinasyon, türetme ve çoğaltma yaklaşımlarının gelişen teknoloji ile tasarım aşamasında planlaması çok daha kolaylaşmıştır. Kitlesel konut tasarımında modüler bileşenlerle hızlı, ekonomik ve kısa sürede esnek konut tasarımlarının oluşturulabilmesi için hesaplamalı tasarım yöntemlerinin kullanımına ihtiyaç vardır.

3
ÜRETKEN TASARIM YÖNTEMLERİ

3.1 Hesaplamalı Tasarım Kavramı

Bir mimari tasarım probleminin çözümünde genellikle mimar, sürecin başında işlevi belli olan bir yapıya, maliyet, süre ve bulunduğu koşulları dikkate alarak oluşturduğu konsept ile işlevselliği bir araya getirerek tasarım çözümleri üretmeye başlar. Bu sürecin kurgusunda ve optimum işleyişinde mimardan öncelikle tasarım problemini belirleyerek ona uygun biçimde eskizler yapması ve bu eskizleri ilerleyen aşamalarda geliştirerek yasal-yönetsel çerçeveye uygun olacak şekilde iki boyutlu çizimlere ve üç boyutlu ifadelere dönüştürmesi beklenir.(Coyne & Subrahmanian, 1993).

Tarihsel süreçte gelişen teknolojik araçların mimari tasarımda kullanımı ile geleneksel ve dijital mimari tasarım bütünleşik olarak ilerleyiş göstermiştir. Geleneksel mimari tasarım süreci kağıda kalem ile yapılan eskizler ve sözel ifadelerle başlar, tasarım sürecinde zihinde beliren oluşumların dışa aktarılması amacıyla iki veya üç boyutlu çizimlerle-anlatımlarla ve maketlerle soyuttan somuta doğru evrilir (Yıldırım, Yavuz, & İnan, 2010). Geleneksel mimari tasarım sürecindeki değişimler, düzeltmeler ve geliştirmeler olağan kabul edilmekte ve diğer branşlarla koordineli bir süreç olarak istenilen tasarım elde edilene kadar tekrar edilmektedir. Mimarın tasarım fikri, proje bileşenleri ve tasarım alanına ait mevcut veriler baz alınarak proje tasarımı yapılır. Fakat bu süreçte en ufak bir parametre değişiminde dahi tüm sürecin tekrarlanması gerekliliği özellikle büyük ölçekli ve çok değişkenli projelerde oldukça zor olmaktadır. Bu nedenle günümüzde önemi giderek artan, kolay çizim ve revizyonlarla hızlı üretim yapma imkanı sağlayan bilgisayar ortamında tasarım araçları kullanılmaktadır (Eltaweel & Su, 2017). Varyasyonların tekrar çizimini gerektiren geleneksel çizim tekniklere alternatif olarak dijital tasarım araçlarının mimari tasarımda kullanımıyla çizim revizyonlarını kolaylaşmış, süreçte emek ve zaman tasarrufuna zemin hazırlamıştır.(İnan & Yıldırım, 2009).

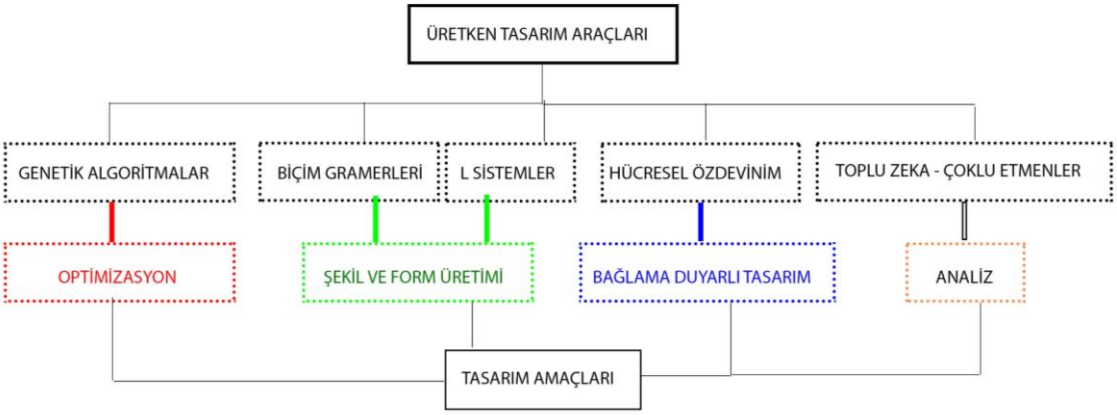
Çizginin dijitalleşmesi sadece çizim sürecini değil, süreçte kullanılan çoğaltma, türetme, veri saklama ve aktarma gibi uygulamaları da kolaylaştırmıştır. Çeşitli ifade teknikleriyle görsel düşünme becerisinin ve temsilinin geliştirildiği geleneksel tasarım sürecinin aksine dijital ortamında yapılan hesaplamalı(sayısal) tasarım sürecinde sayısal ve algoritmik düşünme biçimleri ön plandadır.

Dijital tasarımda süreç kavramsal çerçevede, bilgisayar destekli çizimden (CAD), bilgisayar destekli mimari tasarıma (CAAD) ve hesaplamalı tasarıma (computational design) doğru gelişmektedir. Dijital tasarım sürecinin bir uzantısı olan hesaplamalı tasarımda geleneksel tasarımdan farklı koşullar altında bilgisayarın türetici potansiyelleri kullanılarak üretim yapılmaktadır. Bu nedenle günümüzde bilgisayar, sadece mimari tasarımın görselleştirildiği bir araç olmaktan ziyade tasarımda hesaplamalı (sayısal) araçlarının kullanıldığı bir platforma dönüşmüştür (Akipek & İnceoğlu, 2007).

3.2 Kitlesel Konut Tasarımı Sürecinde Kullanılan Üretken Tasarım Yöntemleri

Hesaplamalı (sayısal) tasarım yaklaşımları, bu alanda geliştirilen çeşitli üretken tasarım yöntemleriyle ve modelleriyle uygulanmaktadır (Şekil 3.1). Bu modeller beş grup altında incelenmektedir: Biçim Gramerleri (BG), Genetik Algoritmalar (GA), L-Sistemler (LS), Hücresel Özdevinim (HÖ) ve Toplu Zekâ-Çoklu Etmenler (TZ) (Singh & Gu, 2012).

Çalışma kapsamında üretken tasarım yöntemi olarak genetik algoritmaların tercih edilmesini açıklamak amacıyla diğer üretken tasarım araçlarının teknik özellikleri, genel kullanım alanları-amaçları ve bu araçlar ile yapılan çalışmalar detaylı olarak incelenmiştir. Bölüm sonunda yapılan değerlendirmede GA'lar ve diğer üretken tasarım araçları teknik, tasarım ve sistem geliştirme açısından kıyaslanarak bu çalışma kapsamında seçilme nedenleri açıklanmıştır.



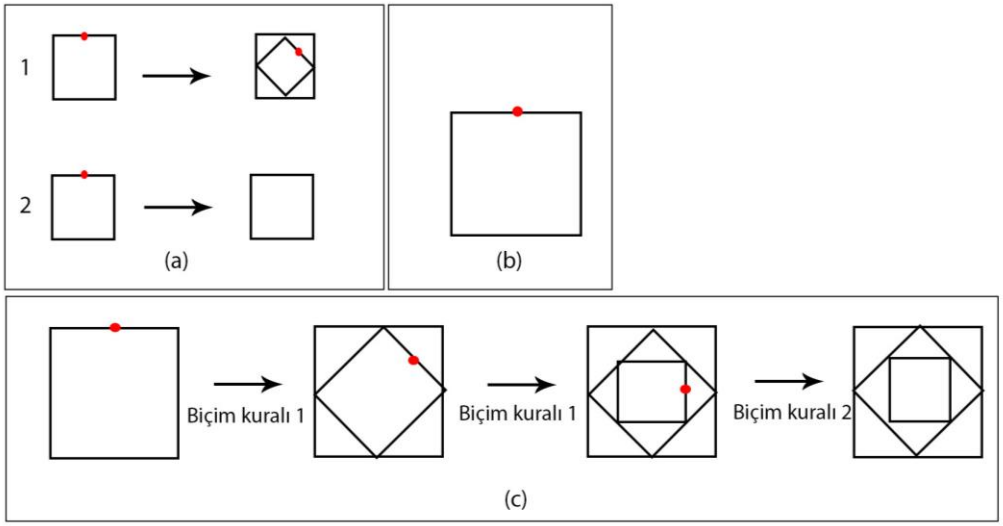
Şekil 3.1 Özelleştirilmiş tasarım amaçları doğrultusunda üretken tasarım araçlarının sınıflandırılması

- **Biçim Gramerleri**

Biçim gramerleri 1970'li yılların başında Stiny ve Gips tarafından algoritmik yapıya sahip, kural tabanlı üretken bir tasarım yöntemi olarak tanımlanmıştır. Bir mimari tasarım dilini oluşturan ilkeler birtakım kurallar ile tanımlanarak dilin grameri oluşturulur (Çağdaş, 1996). Bu süreçte algoritmik tasarımların tekrarlayan özellikleri belirlenerek dilin kuralları tanımlanır, analiz edilir ve ortaya çıkan gramer yapısı ile yeni biçimler üretilir (Stiny G. , 1980), (Aksoy M. , 2001). Tanımlayıcı ve türetici özelliğe sahip bu yöntem ile yeni biçim kompozisyonları üretilerek tasarım yapılmaktadır (Keskin, 2008).

Biçim gramerlerinin; şekiller kümesi, semboller kümesi, biçim kuralları ve başlangıç şekli olmak üzere dört temel bileşeni vardır (Stiny G. , 1980). Her bir biçim gramerinin bileşenleri ve kuralları kendine özgü olduğu için sonuçları da farklı olmaktadır. Bir biçim grameri tasarımların birtakım kurallara bağlı olarak tekrarlanması ile bir başlangıç şeklinin nasıl dönüştürülerek türetileceğini belirtir (Duarte, 2001).

Biçim gramerleri standart ve parametrik olmak üzere ikiye ayrılır. Standart biçim gramerlerinde; başlangıç şekli ve kuralın uygulandığı şekil olmak üzere iki taraflı bir denklem vardır (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 (a) İç içe karelerden oluşan standart biçim grameri , (b) İlk şekil (c) Biçim grameri ile yapılan üretim (Stiny G. , 1980).

Parametrik biçim gramerlerinde ise, şekillere uygulanacak kurallarının tanımlandığı kurallar şeması vardır (Stiny G. , 1980). Standart biçim gramerinde nesneler arası sabit ilişkiler varken parametrik biçim gramerinde biçimler arası ilişkiler değişken ve karmaşık olabilir (Güzelci, 2012).

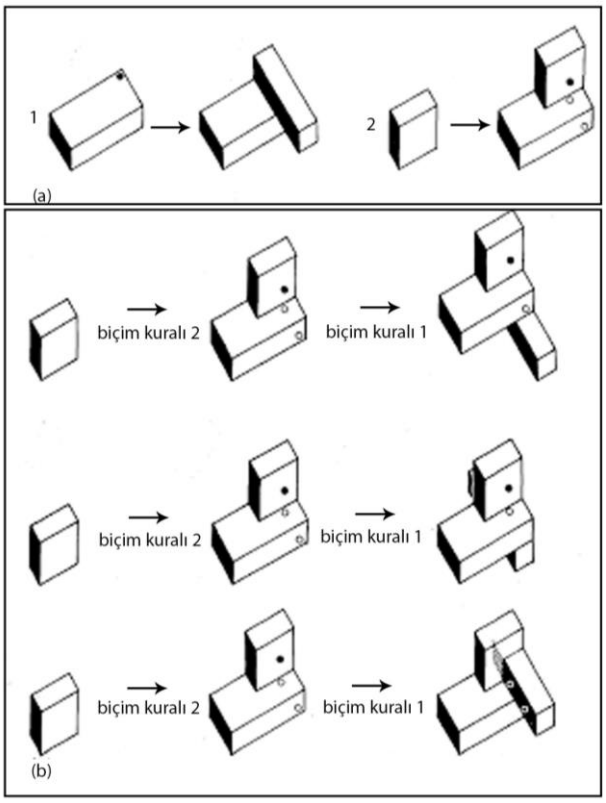
Biçimler türetilirken bir başlangıç biçimine; boolean işlemleri (toplama, çıkarma, kesiştirme), Öklid dönüşümleri (öteleme, ölçeklendirme, döndürme, yansıtma) gibi aritmetik uygulamalar yapılabileceği gibi (Gips, 1975); şekiller üzerinde parametrik düzenlemeler ve değişiklikler ya da başka şeklin yerini alma gibi işlemler de yapılabilir (Keskin, 2008).

Biçim gramerleri güzel sanatlarda, mimarlıkta, arkeoloji ve mühendislik alanlarında kullanılmaktadır. Yapılan çalışmalar şu şekilde sınıflandırılabilir:

Analiz gramerleri: Mevcut bir yapının veya tasarım dilinin analiz edilerek, oluşum kurallarının belirlenmesidir.

Yeni tasarım dilleri yaratmak için yapılan çalışmalar: Yeni belirlenen kurallar doğrultusunda orijinal bir tasarım dilinin oluşturulmasıdır.

Örneğin; Frederic Frobel'in anaokulu ve mimari tasarım stüdyolarında uygulanan yöntemleri sentezleyerek ortaya ürettiği üç boyutlu tasarımlarda yeni biçim kuralları belirlenerek tasarım dili oluşturulmuştur (Şekil 3.3).



Şekil 3.3 (a) biçim kuralı, (b) biçim grameri ile üretilen üç boyutlu kompozisyon örneği (Stiny G. , 1980)

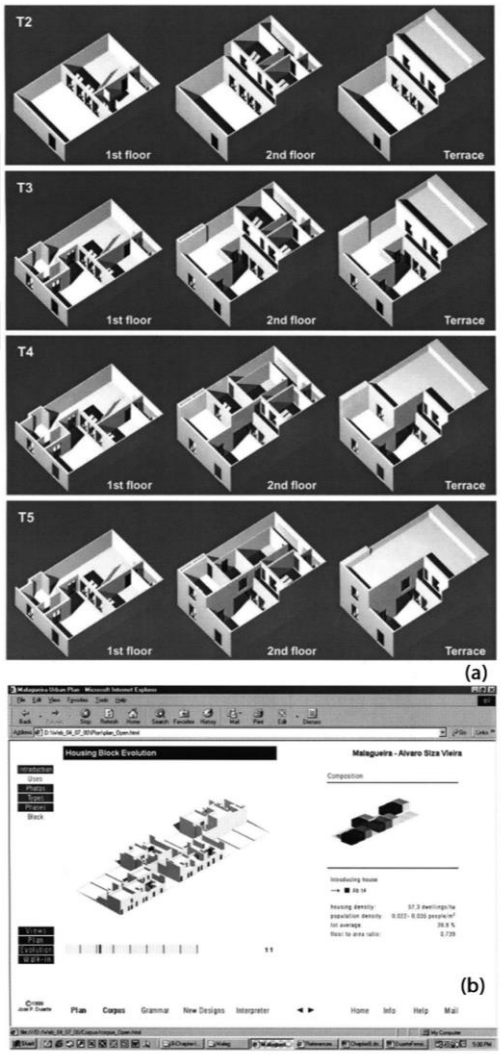
Analiz ve üretimin bir arada yapıldığı çalışmalar: Var olan tasarım dillerinin yapısının analiz edilerek yeni tasarım dilleri türetmek amacıyla kullanılmasıdır (Duarte, 2001).

Bu alanda yapılan ilk çalışmalar önceden üretilen tasarımları analiz ederek geometrik olarak tanımlamayı amaçlamaktadır. Stiny' nin 1977 yılında yazdığı makalede Çin pencere kafes sistemlerinin kompozisyonları beş basit kural içeren gramer ile tanımlanarak ilk biçim grameri çalışması yapılmıştır (Şekil 3.4). Bu kurallar ile mevcut ve aynı tarzda alternatif buz desenleri tasarımları yapılmıştır. Benzer çalışmalar Klasik Osmanlı Camii ve motifleri üzerinde de yapılmıştır (Şener & Görgül, 2008). Moğol bahçeleri (Stiny & Mitchell, 1978), Hepplewhite koltuk arkası tasarımları (Knight, 1980), Japon çay salonu planları (Knight, 1981) analiz gramerleri olarak yapılan çalışmalar arasında gösterilebilir.

Konut tasarımı ve üretimi üzerine yapılan analiz grameri çalışmaları ise Palladian villa planları (Stiny & Mitchell, 1978), Frank Lloyd Wright Kır Evleri (Koning & Eizenberg, 1981), Queen Anne Evleri (Flemming, 1987), Geleneksel Türk Evleri

(Çağdaş, 1996), Amasya Yalıboyu Evleri (Güzelci, 2012) olarak ele alınabilir. Biçim gramerleri yardımıyla birçok araştırma projesinde mimari tasarım dillerini oluşturan kural tabanlı formalizmler incelenmiştir (Çağdaş, 1996).

Kitlesel konut tasarımı üzerine ise; Duarte tarafından 2001 yılında yapılan çalışmada Alvaro Siza'nın Malagueira Evleri'nin tasarım kriterleri biçim ve fonksiyona göre analiz edilerek "Mantıksal Sürece Dayalı Gramer "adlı hesaplamalı tasarım modeliyle bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Oluşturulan uzman sisteme, analiz edilen biçim gramerinin kuralları tanımlanmıştır. Program ara yüzüne girilen veriler ve değişkenler doğrultusunda Malagueira Evleri'nin tasarım dilinde üç boyutlu konut alternatifleri ortaya çıkmaktadır (Duarte, 2001)(Şekil 3.4).

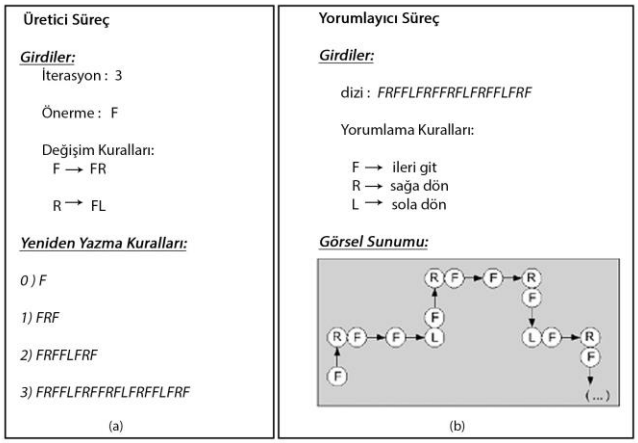


Şekil 3.4 Duarte'nin biçim grameri çalışmaları: (a) üç boyutlu türetimler, (b) kullanıcı arayüzü (Duarte, 2001).

- **L Sistemler**

1968 yılında botanikçi ve teorik biyolog Aristid Lindenmayer, çok hücreli organizmaların gelişimini modellemek amacıyla Chomsky'nin dil gramerine benzer şekilde, Lindenmayer sistemleri (kısaca L-sistemler) adlı bir dizi yeniden yazma algoritmasını üretmiştir (Kari, Rozenberg, & Salomaa, 1997). L-Sistemlerin Chomsky dil gramerlerinden farkı, paralel yeniden yazma kuralı ile her türetimde diziye ait tüm sembollerin eş zamanlı olarak değişmesidir (Manousakis, 2006). 1984 yılında Alvy Ray Smith'in, L-sistemler'e geometriyi entegre etmesi, bitkilerin ve gelişim süreçlerinin gerçekçi görselleştirilmesi için bilgisayar destekli grafiksel tasarımların kullanımına zemin hazırlamıştır.

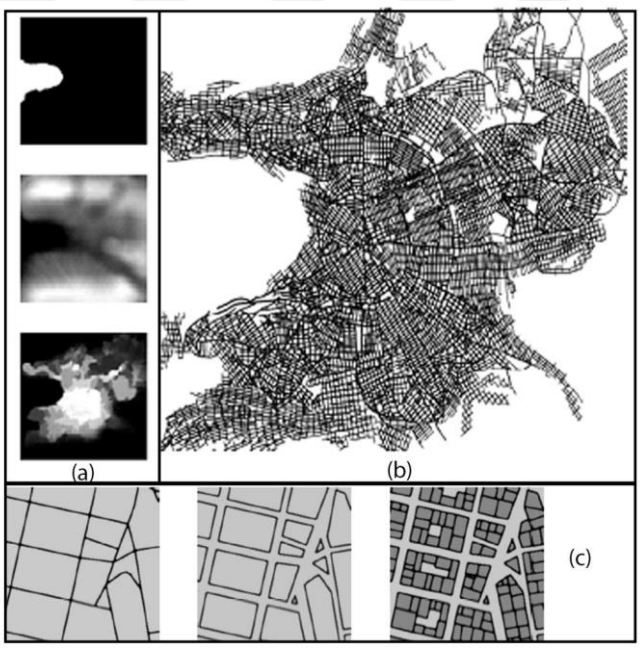
L -Sistemlerde üretim bileşenleri dizilerle temsil edilir. Dizilere uygulanan yeniden yazma kuralları ile yeniden eşleme yapılarak grafiksel tasarım anlatımları oluşturulmaktadır (Singh & Gu, 2012). L-Sistemler, üretici ve yorumlayıcı süreç olmak üzere iki kısımdan oluşur (Şekil 3.5). Üretken süreç, dizeyi oluşturan harflerin tanımlanmış kurallar doğrultusunda yeni harflerle değiştirildiği yeniden yazma sürecidir ve bu süreç ardışık olarak birkaç kere tekrarlanır (Othman, Amavasai, McKibbin, Travis, & Caparrelli, 2006), (Hansmeyer, 2003). Yorumlayıcı süreçte ise üretici sürecin son dizesinin harfleri yorumlanarak geometrik şekillerle temsil edilmektedir. Bu süreçte harfleri geometrik şekillere dönüştürmek için Logo programlama dilinden kaplumbağa grafikleri alınarak yorumlanır (Hansmeyer, 2003).



Şekil 3.5 (a) Üretici süreç, (b) yorumlayıcı süreç (Othman, Amavasai, McKibbin, Travis, & Caparrelli, 2006)

Günümüzde L-Sistemlerin organik oluşumlar ve fraktal üretiminde kullanımı devam etmekle birlikte, bilgisayar oyunu için sanal doğal çevre tasarımında, desen tasarımında, müzik kompozisyonunun oluşturulmasında (Manousakis, 2006), sinir ağlarının modellenmesine, evrimsel algoritmalar ile robotik modellemede (Othman, Amavasai, McKibbin, Travis, & Caparrelli, 2006) kullanılmaktadır. Mimari ve tasarım alanında sınırlı kullanım alanına sahip olan L-sistemler, şehir bölge planlamada ulaşım ağlarının oluşturulmasında kullanılmaktadır.

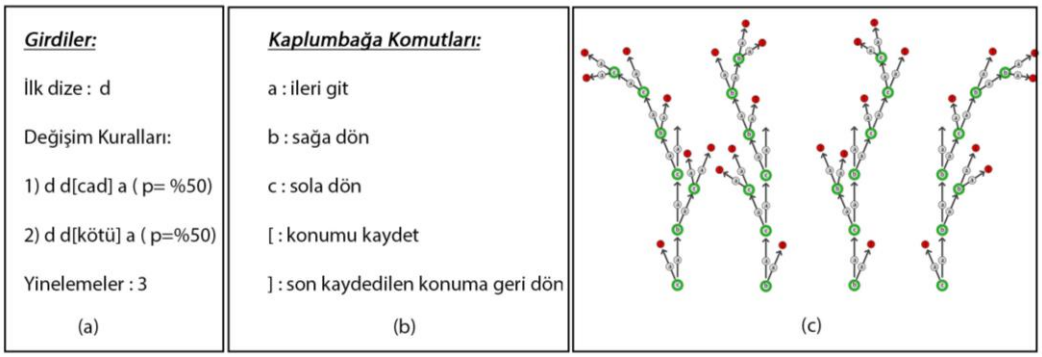
Müller ve Parish 2001 yılında yaptıkları çalışmada, şehir modellemeleri için L-sistemlerin temel alındığı işlemsel yaklaşımları kullanan bir sistem önermişlerdir. Arazi ve su sınırları gibi doğal oluşumların yanında, demografik yoğunlukları da veri olarak işleyen haritalar ile yol ve sokak sistemi oluşturmuş, araziyi parsellere, parselleri de binalara uygun şekillere bölerek şehir planlarını oluşturmuşlardır. Blok geometrileri üreten L-sistem ile, şehir dokusuna uygun biçimde, prosedürelere dayalı sistemle binaları oluşturmuşlarıdır (Parish & Müller, 2001) (Şekil 3.6).



Şekil 3.6 (a)(yukarıdan aşağıya) sanal şehrin su, yükseklik ve nüfus yoğunluğu haritaları , (b) yol haritası, (c) parselizasyon (Parish & Müller, 2001)

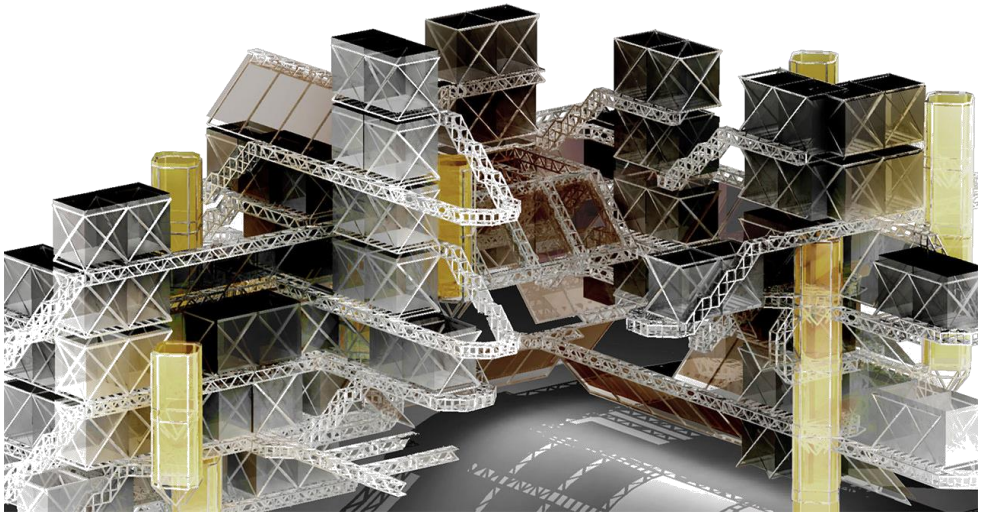
Mimari tasarım alanında form oluşturmak ve üretmek için algoritmik tasarımları kullanan mimar ve bilgisayar programcısı Michael Hansmeyer'in L-sistemler üzerine yaptığı çalışmalar ön plana çıkmaktadır. Üç boyutlu tasarım ortamında hacimsel formlar oluşturmak için kaplumbağa grafikleri değiştirilir. Sonrasında bir

L-sistemden çok daha fazla tasarım alternatifi üretmek amacıyla rastlantısal değişim kuralları (stokastik kurallar) sisteme entegre edilir (Şekil 3.7). Bu sayede kaplumbağa grafiklerine değişimler doğrudan eklenebilir ve özgün formlar üretilebilir. Son aşamada ise kaplumbağa grafiği çevresel etkileşime duyarlı getirilir (Hansmeyer, 2003).



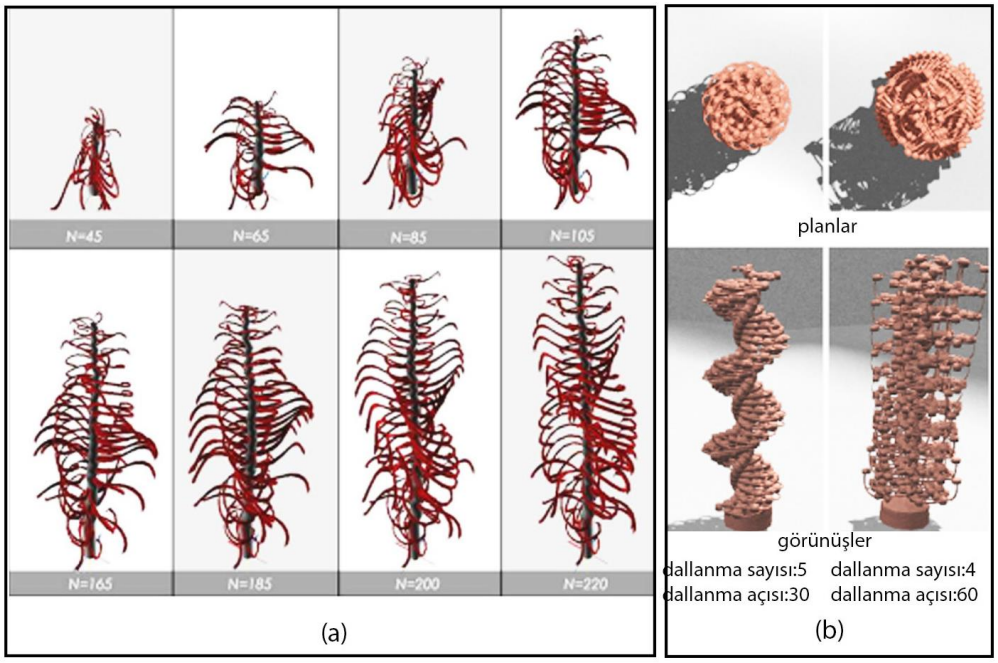
Şekil 3.7 (a) Değişim kuralları, (b) komutlar, (c) rastgele sayıların oluşturduğu düzensiz bir dallanma yapısı (Hansmeyer, 2003)

Hansmeyer'e göre L-Sistemlerin üretim mantığı modüler tasarım ve üretim süreçleri için oldukça uygun olduğundan, tanımlara eklenecek yeni değişkenler ile daha esnek ve uyarlanabilir tasarımlar üretilebilir (Şekil 3.8).



Şekil 3.8 Modüler L-sistemler ile üretilmiş bir form örneği (Hansmeyer, 2003).

2008 yılında Cestel, yüksek yapıların kavramsal tasarım aşamasında L-Sistemleri' i kullanarak parametrik bir model geliştirmiştir. Parametreler ile mevcut kurallar üzerinde yapılan değişiklikler alternatif yüksek yapı formlarının çeşitliliğini arttırmaktadır (Cestel, 2008) (Şekil 3.9).



Şekil 3.9 (a) Artan döngü sayısıyla oluşturulan üretimler, (b) parametrik alternatifler (Cestel, 2008)

- **Sürü Zekası- Çoklu Etmenler**

Çoklu etmenler, içeriğindeki etmenlerin elde ettiği değişken bilgiler doğrultusunda güncel verileri mevcut sisteme entegre ederek aktif veri setlerine dönüştüren, kendi kendini düzenleyen yazılım sistemleridir (Mammen & Taron, 2012).

Sürü zekası ise, genellikle sosyal davranışları veya sürü davranışlarını uygulamak için kullanılan bu çoklu etmen tabanlı yazılım sistemlerden biridir. Bu sistemde, bir topluluktaki etmenler çevreden bağımsız olarak iç güdüleriyle hareket ederler ya da rekabet, iş birliği veya ortak amaç için bir araya gelerek iletişim kurabilirler (Singh & Gu, 2012). Bonabeau ve diğ., sürü Zekâsı'nı, öz örgütlenme ve (etmenler veya eylemler arasında çevre aracılığıyla dolaylı) koordinasyon mekanizması açısından ele almaktadırlar (Bonabeau, Dorigo, & Theraulaz, 1999)

Öz örgütlenmede yapı veya davranışlar arasındaki tutarlık, sadece yerel etkileşimler doğrultusunda gerçekleşir fakat küresel seviyede görünür. Öz örgütlenme geri bildirim, rastgele oluşumlar ve etkileşimlere bağlıdır. Örneğin sosyal yaban arılarında yuva yapım sürecinde yaban arılarının oluşturduğu mimari düzen eşekarısı tarafından da kontrol edilerek nihai halini alır ve bir sonraki yuvalar için

referans özelliği taşıyarak küresel bilgiye dönüşür (Garnier, Gautrais, & Theraulaz, 2007).

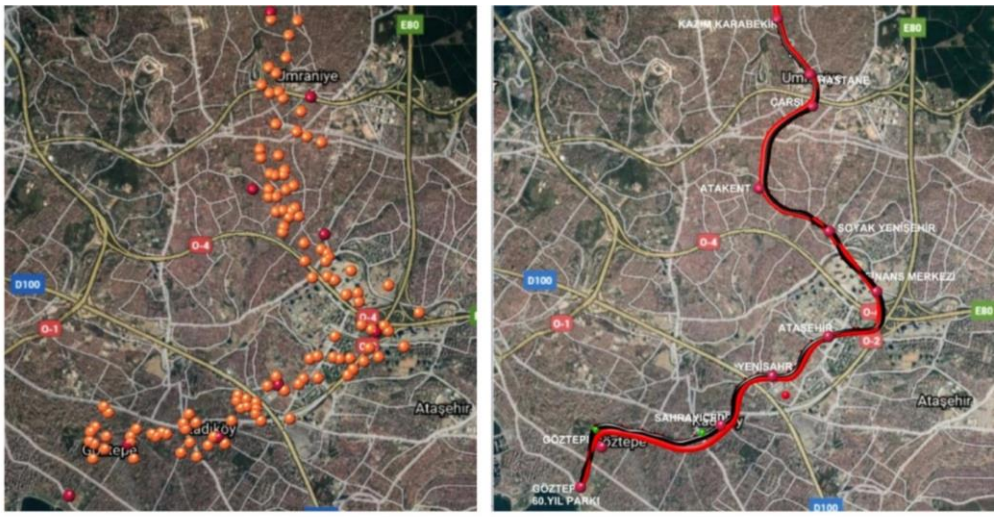
Koordinasyon mekanizması ise, sürüdeki bireyden birinin çevresel değişime verdiği tepkiyi diğer bireylerin de fark ederek değişen ortama uyum sağlamaya çalışmasıdır (Bonabeau, Dorigo, & Theraulaz, 1999). Sürü zekasında temel amaç sistemin iç dengesini sabit tutmaktır. Bu sayede sürü sistemleri yaşamlarının devamlılığı için bireylerin dolaylı etkileşimi ile davranışlarını yeniden biçimlendirir ve kümelenmelerle tekrar organize olurlar.

Optimizasyon için birçok farklı alanda kullanılan sürü zekası mimaride kamusal alan tasarım ve optimizasyonunda, şehircilik alanında, üç boyutlu bina-cephe modellemede ve robotikte kullanılmaktadır (Petrš, 2016).

Kamusal alanlarda doğal veya insan kaynaklı birçok tehlikeyle karşı karşıya olan insanlar için tahliye güzergahlarının ya da çıkış rotalarının planlanmasında davranış simülasyonu sürü zekası yöntemiyle yapılmaktadır.

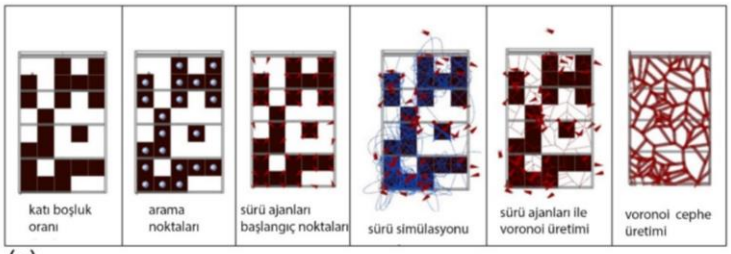
Şehircilik alanında basit canlıların oluşturduğu davranışlarının sürülerin simülasyonu sonucunda ortaya çıkarılan algoritmalar ile sürü zekası yöntemi kullanılmaktadır (Petrš, 2016). Kentsel tasarım alanında yapılan çalışmaların başında Coates ve Schmid'in 1999 yılında da yaptıkları çalışmalar gelmektedir. Bu süreçte şehirdeki farklı kullanım alanları etmenlerin davranışları ile bileştirilerek değişken yön ve etmen sayıları ile kent dokuları ürettikleri çalışmalar gelmektedir (Coates & Schmid, 1999).

Örneğin; Valverde, S. ve Solé, R., 2013 yılında yaptıkları deneyde, harita üzerinde Tokyo'yu çevreleyen şehirlere yiyecek yerleştirilerek balçık sürüsünün 24 saat içinde çevreyi keşfederek oluşturduğu yolların ağ haritası çıkarmışlardır. Ortaya çıkan haritanın Tokyo'nun metro ağına benzerliği dikkat çekici boyuttadır (Cameron, 2018). Benzer şekilde Çağdaş ve Kaynarkaya (2020) yaptıkları çalışmada tek hücreli canlılar olan cıvık mantarların besin kaynaklarına olan en kısa yola ulaşabilme becerilerinden yola çıkarak sayısal ortamda simüle ettikleri sürü davranışları Göztepe-Ümraniye metro hattının tasarım uygunluğunu denetlemek amacıyla kullanmışlardır (Kaynarkaya & Çağdaş, 2020) (Şekil 3.10).

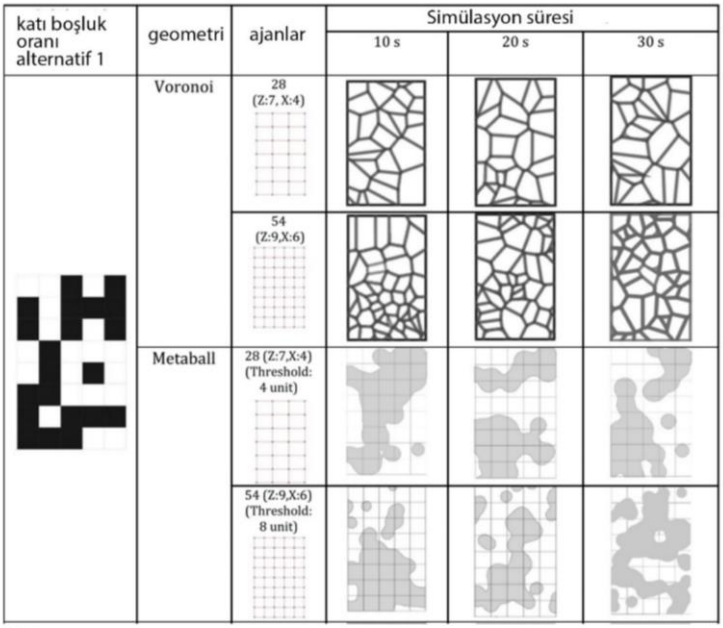


Şekil 3.10 (a) Gruplanmış etmenlerin yayılımı, (b) kırmızı hat: mevcut metro güzergahı, siyah hat: sürü zekasıyla elde edilen güzergah (Kaynarkaya & Çağdaş, 2020)

Ağırbaş, yaptığı çalışmada çoklu etmen tabanlı sürü zekası yöntemine farklı bir açıdan bakarak çevresel etmenleri bina kabuğuna boşluk olacak şekilde tanımlamıştır. Sürü zekasının çalışma prensibi olan bölme, sıralama ve uyum ilkelerine dayanarak morfodinamik ve morfogenetik yaklaşımları sentezlemiş, ürettiği cephe alternatiflerini gün ışığı alımına göre değerlendirmiştir (Ağırbaş, 2019) (Şekil 3.11).



(a)



(b)

Şekil 3.11 (a) Sürü zekası ile voronoi cephesinin oluşumu, (b) cephe alternatifleri (Ağırbaş, 2019)

Son dönemde yapı üretim alanında yapım sürecinin kontrolünü sağlamak; inşaat yapım süresini, maliyetini ve malzemelerin uygulanabilirliğini önceden tespit etmek için de sürü zekası algoritmaları kullanılmaktadır.

- **Hücresel Özdevinim**

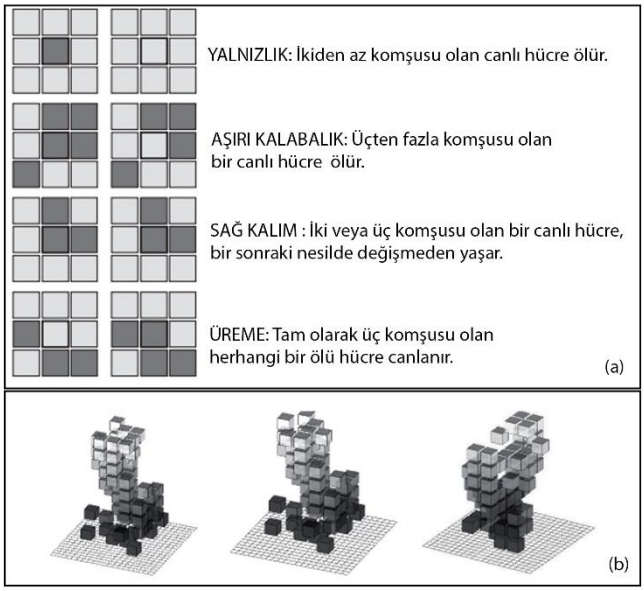
Matematikçi Ulam (1967) ve von Neuman (1953) tarafından geliştirilen hücresel özdevinim, belirli bir ızgara sisteminde yer alan hücrelerin, zaman içerisinde komşu hücreler ile etkileşimiyle önceden tanımlanan kurallar doğrultusunda özelliklerinin değişebildiği bir üretken tasarım aracıdır (Herr & Kvan, 2007).

Hücresel özdevinimde tasarım, hücrelere uygulanan değişim ve dönüşüm işlemleri ile sınırları sabit tutulan bir ızgarada aşağıdan yukarıya doğru gelişen hücre davranışlarıyla gerçekleştirilir. Bu nedenle karmaşık ve tahmini zor sonuçlar ortaya çıkar (Singh & Gu, 2012).

Matematikte istatistiksel hesaplamalarda, trafik modellemede, yapay zeka sistemlerinde, tarihi- mimari dokuların analizi ve yeniden üretimi (Sabetfard & Nadimi, 2020), (Situngkir, 2010) gibi birçok farklı alanda kullanımı olan hücresel özdevinim yöntemi mimaride genellikle büyük ölçekli kentsel tasarım problemlerinin çözümünde kullanılmakla beraber son dönemde bina ölçeğinde kullanımı da yaygınlaşmıştır (D'Autilia & Hetman, 2018).

Son yıllarda hücresel özdevinim gibi tüme varım (aşağıdan yukarıya) yöntemi içeren modeller, kentsel büyümenin mekansal etkilerini (Clarke, 1997), (Tong & Feng, 2019; He, Li, Yao, Hong, & Jinbao, 2018) ve arazi kullanımını simüle etmek amacıyla çok sayıda çalışmada kullanılmıştır (Liu, Batty, Wang, & Corcoran, 2021).

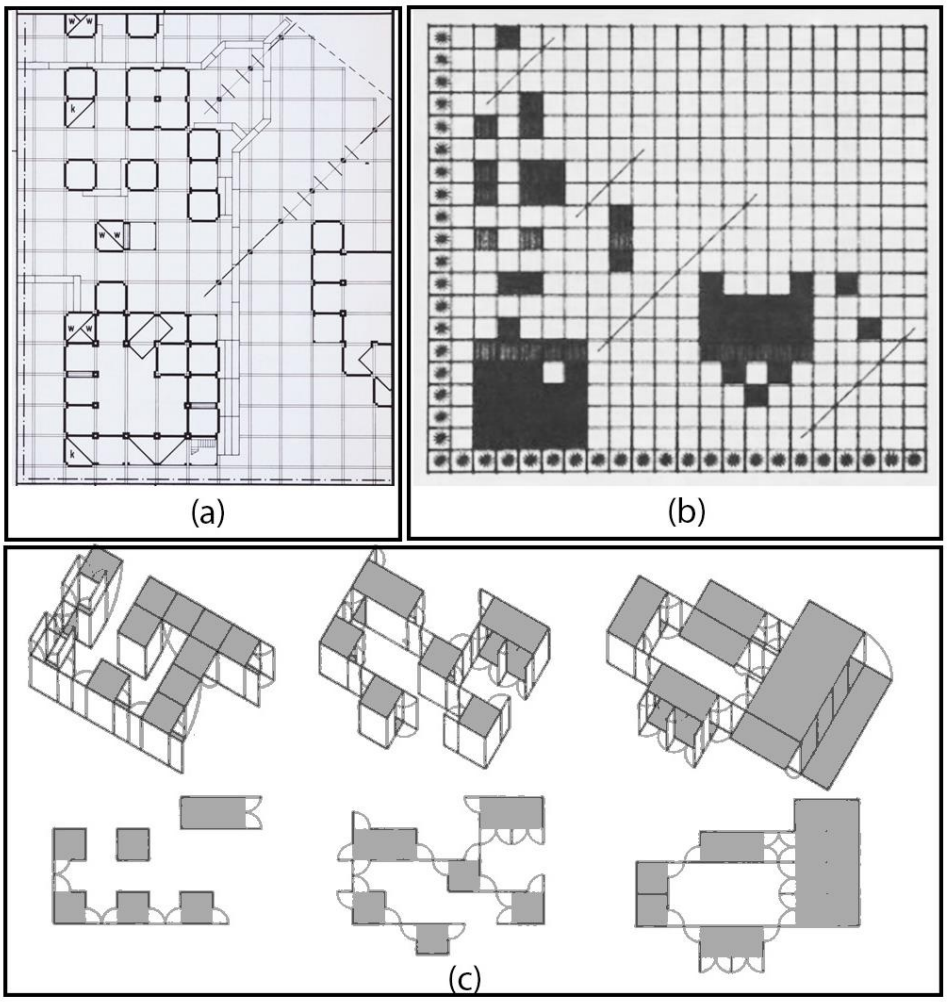
John H. Conway 'in 'Game of Life' adlı çalışması iki boyutlu hücresel özdevinim örneklerinden en bilinenidir (Şekil 3.12). Bu oyunda oyuncunun başlangıç konumu belirlediği hücre yan ve diyagonal hücrelerle etkileşerek gelişir. Komşulukta biri diğerlerini çevreleyen toplam dokuz hücre yer almaktadır (Dinçer, 2014).



Şekil 3.12 (a) Game of life kuralları , (b) kurallar ile üretilmiş mekansal formlar (Devetakovic, Petrusevski, Dabic, & Mitrovic, 2009)

1976 yılında Cedric Price ve John Frazer tarafından tasarlanan 'Generator' Projesi, mimari tasarım alanında hücresel özdevinim yönteminin kullanıldığı ilk çalışmadır. Kendi kendini tanıyabilen mikro denetleyici yapısı ile, kullanıcının talepleri doğrultusunda değişerek yeniden türeme özelliğine sahip akıllı bina projesidir. Proje, mimari alanı hücresel özdevinimin ızgarası olarak tanımlar (Price, 2003).

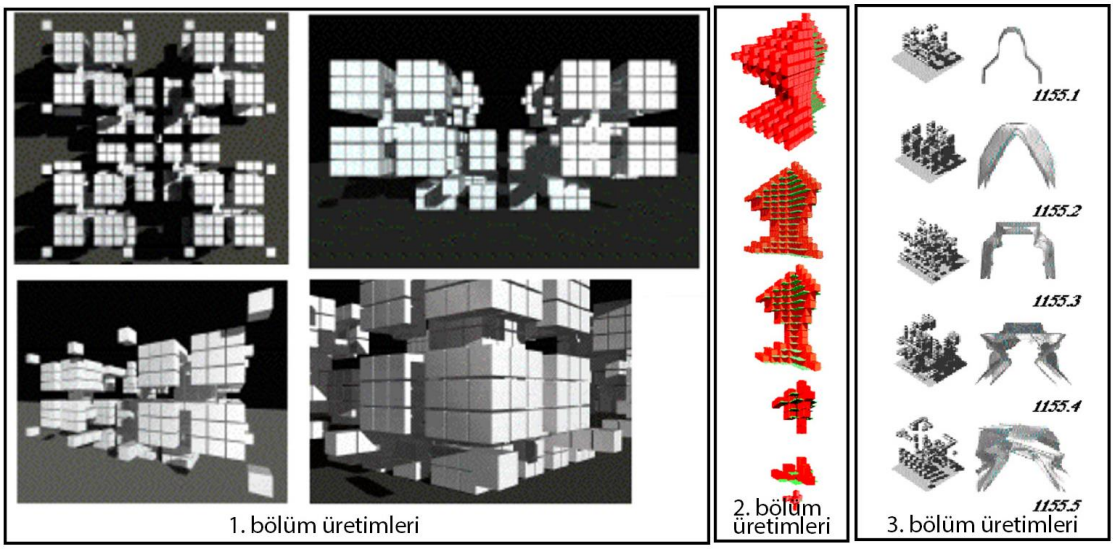
İşlevselliğin ön planda olduğu projede tasarım, estetik yorumlardan uzaktır. Price'ın insanlar arası sosyal etkileşimi ön planda tuttuğu bu esnek tasarım önerisinde, birçok ihtiyacı bünyesinde barındıran, küp benzeri elemanların hareket ettirilmesiyle geçici alanların oluşumu tasarlanmıştır. Generator projesi hücresel özdevinimin kullanıldığı çoğu deneysel çalışmaların aksine sadece tasarım aşamasında alternatif türetme amaçlı olmayıp, kullanım aşamasında bina yapısında meydana gelecek değişiklikleri de forma yansıtacak şekilde planlanmıştır (Dinçer, 2014)(Şekil 3.13).



Şekil 3.13 Generator projesi (a) plan, (b) HÖ ile yerleşim (c) küplerin farklı birleşimleri

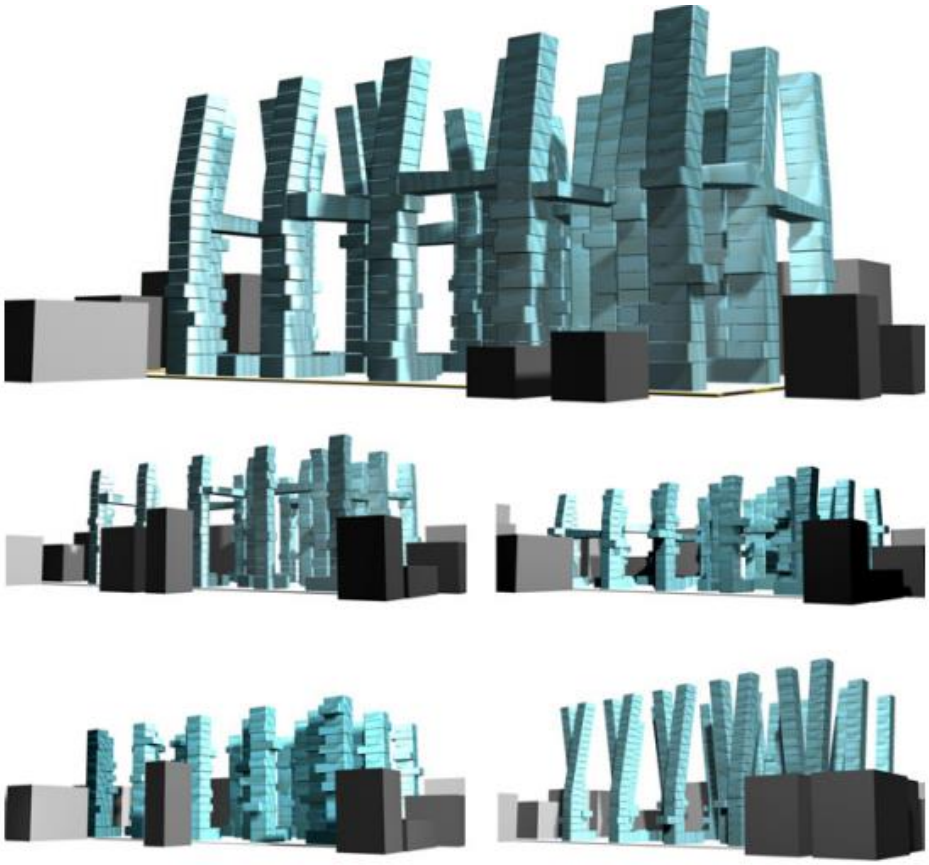
Son dönemlerde hücresel özdevinim üzerine yapılan çalışmalar bilgisayar destekli tasarım araçları ile bütünleşerek çok daha esnek bir yapıya gelmiştir. Bu alanda ilk örnek 1996'da Coates ve ekibinin çalışmalarıdır. Bilgisayar destekli tasarım ile, tanımlanan üç boyutlu kafesteki hücrelerin bulundukları ortamdaki etkileşimlerini

temel alan bu uygulamanın amacı mimari formların çeşitliliğini arttıran hücresel özdevinim tabanlı bir üretken tasarım sistemi oluşturmaktır (Coates, Healy, Lamb, & Voon, 1996). Üç bölümden oluşan bu çalışmada ilk bölümde, tanımlanmış kurallarla oluşturulan hücresel özdevinimin genetik kodlaması yapılarak modele davranış biçimi olarak tanımlanır. İkinci bölümde, ilk bölümden alınan veriler çevresel faktörlerle yeniden değerlendirilir. Üçüncü bölümde ise konumlandırılan hücrelerin son durumu görselleştirilerek malzeme ile bütünleştirilir (Coates, Healy, Lamb, & Voon, 1996) (Şekil 3.14).



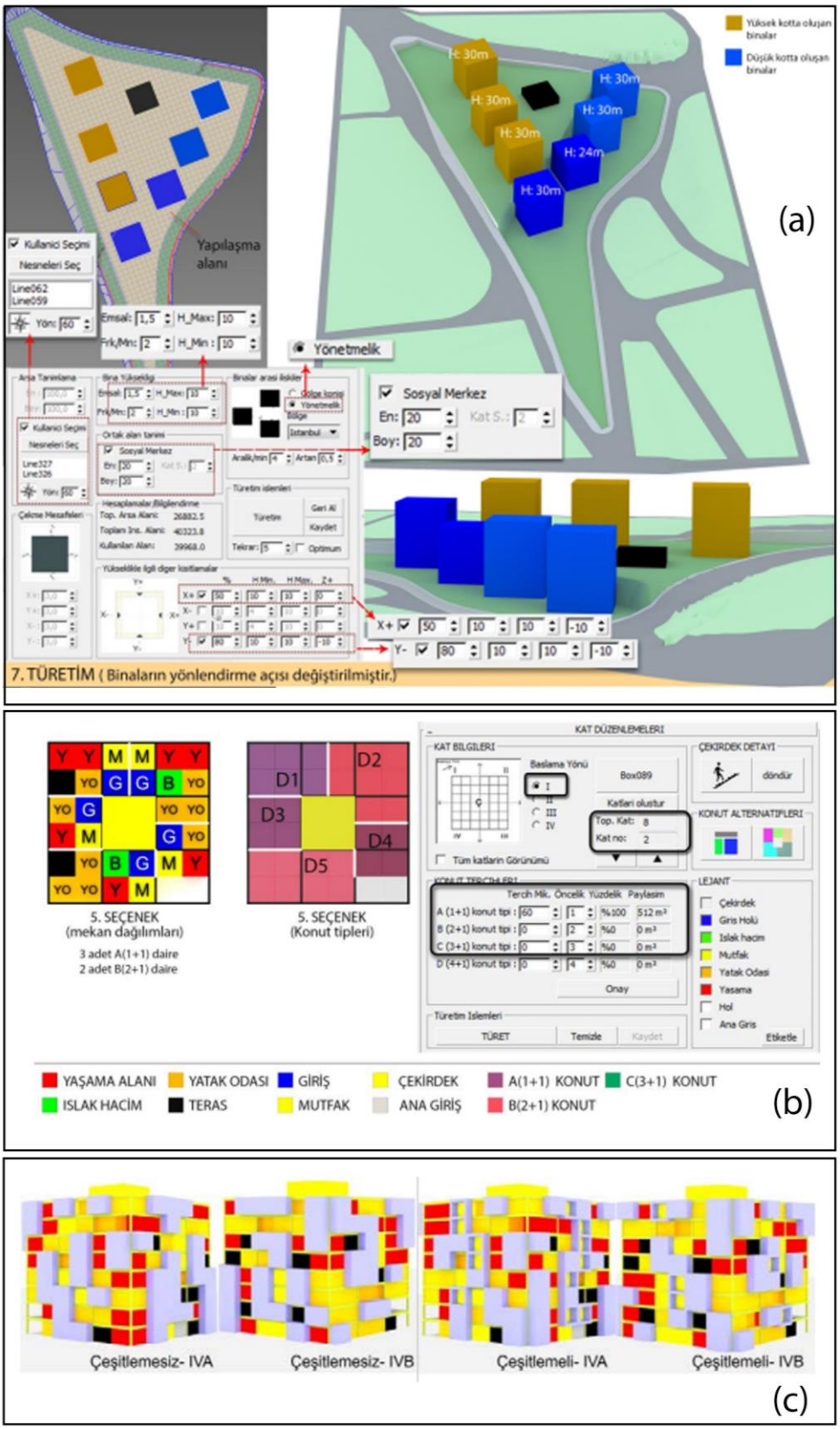
Şekil 3.14 Coates ve ekibinin hücresel özdevinim çalışmaları (Coates, Healy, Lamb, & Voon, 1996)

Herr ve Kvan 2007 yılında yaptıkları çalışmada yüksek yoğunluklu bir konut tasarımı projesini hücresel özdevinim yöntemiyle tekrar modelleyerek denemişlerdir. Ürettikleri model klasik hücresel özdevinim yönteminin aksine kullanıcıya çok daha esnek imkanlar sunarak varyasyonları artırmaktadır (Herr & Kvan, 2007) (Şekil 3.15).



Şekil 3.15 H.Ö ile yeniden üretilen modeller (Herr & Kvan, 2007)

Dinçer (2014) doktora tezi kapsamında geleneksel tasarım yöntemlerine benzer şekilde işleyiş gösterebilen geri beslemeli bir hücresel özdevinim modeli geliştirmiştir. Toplu konutların ön tasarım aşamasında varyasyonlar üreten model, çevresel ilişkilerin kurulması, kat planlarının oluşturulması ve cephenin oluşturulması olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır (Şekil 3.16). Her aşama için belirlenen HÖ kuralları ve kullanıcı etkileşimli ara yüz ile üç boyutlu tasarım alternatifleri üretilmektedir (Dinçer, 2014).



Şekil 3.16 (a) Çevresel ilişkilerin kurulması, (b) kat planlarının oluşturulması, (c) cephenin oluşturulması (Dinçer, 2014).

- **Genetik Algoritmalar**

Mimari tasarım sürecine evrimsel tasarım algoritmalarının kullanımı, doğadaki tüm canlıların üremesini, çeşitliliğini ve dağılımını gerçekleştiren evrimsel süreçlerin insanlar tarafından anlaşılması ve bilgisayar ortamına aktarılması ile başlamıştır. Evrimsel algoritmalar, doğada mevcut olan karmaşık evrimsel sürecin basit bir yapıya indirgenmesi ile oluşturulan, çok yönlü parametre içeren doğrusal olmayan problem çözümlerinde kullanılan yöntemlerdir (Makki, Showkatbakhsh, Tabony, & Weinstock, 2019).

Evrimsel algoritmaların mimari tasarımda kullanımı ve geliştirilmesi yalnızca tasarım probleminin çözümünü içermekle kalmaz, aynı zamanda problemin çözüm sürecinin mantıksal kurgusunun yapılmasını da gerektirir. Geleneksel tasarım yönteminde tek bir tasarım üzerine odaklanarak onu geliştirme yaklaşımı söz konusuyken, evrimsel tasarım sürecinde bağlama özgü çözümlerini içeren popülasyonların geliştirilerek üretilmesi yaklaşımı vardır.

1960'lı yılların sonunda ve 1970 'lerin başında bilim insanları doğanın işleyişini algoritmik bir yapıya oturmaya çalışarak, problem çözümü için arama havzasının oluşturulması konularına odaklanmıştır. Günümüzde Evrimsel Algoritmalar dört alanda incelenmektedir (Bartz-Beielstein, Branke, Mehnen, & Mersmann, 2014):

1. Evrimsel Programlama

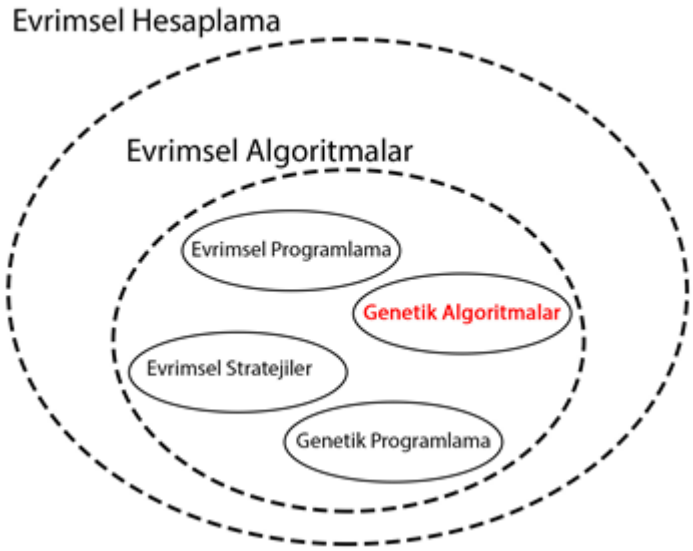
2. Genetik Algoritmalar

3. Evrimsel Stratejiler

4. Genetik Programlama

Bu dört teknik bütün olarak Evrimsel algoritmalar olarak adlandırılır ve Evrimsel hesaplamanın (evolutionary computation) temelini oluşturur (Şekil 3.17).

Makine öğrenmesi konusunda çalışan John Holland tarafından 1975 yılında tanıtılan Genetik Algoritmalar, Darwin'in evrim kuramından yola çıkarak canlılardaki doğal seçilimi bilgisayar ortamına aktaran evrimsel hesaplamaların bir türüdür.



Şekil 3.17 Evrimsel hesaplama

GA'lar, çok sayıda değişken ve parametre içeren en iyileme(optimizasyon) sorunlarının çözümünü sağlayabilmekte ve en verimli sonuçlara ulaşabilmektedir (Goldberg, 1989). Optimizasyon çalışmalarında sıklıkla kullanılan GA'larda sınırlı veri kaynağı ile ortaya çıkabilecek yetersiz sonuçların önlenmesi için sürecin ve yeterlilik koşullarının doğru tanımlanması gerekir.

Holland'a (1992) göre doğal seçilim ile bilgisayar ortamında yapılan eleme işlemleri oldukça benzerlik göstermektedir. GA'larda, problemlerin bileşenleri doğadaki organizmalar gibi evrimleşerek sonuca varmaktadır. Bu nedenle GA'lar evrimsel süreci işleyen bir makine öğrenmesi modeli olarak değerlendirilmektedir (Holland, 1992).

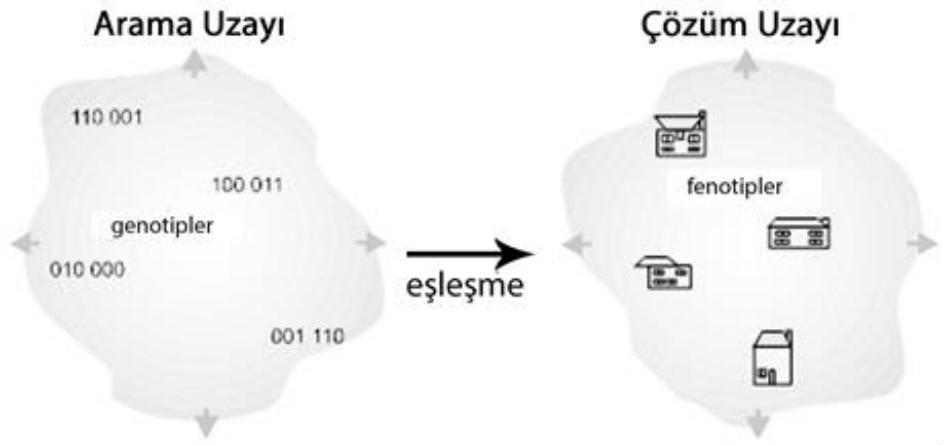
GA'ların temel kavramları kromozom, gen, popülasyon, genotip, fenotip ve uygunluk fonksiyonudur. Bireyler biyolojideki genleri, bireyler topluluğu ise kromozomları oluşturmaktadır. GA'lar ile oluşturulan modelin amacı yeni ve bağımsız bireylerle bir topluluk oluşturmaktır (Güngör, 2010). Topluluktaki bireylerin her birinin bir uygunluk değeri vardır. GA, her nesilde çaprazlama ve mutasyon gibi genetik operatörlerle, yeni bir popülasyon üretir (Emel & Taşkın, 2002). Ortaya çıkan popülâsyonun uygunluğu ise, önceden belirlenen kurallar doğrultusunda maksimize veya minimize edilerek bulunur. Her yeni nesil oluşurken, doğanın yapısına uygun olarak problemin optimizasyonu için olası tüm çözümlerin oluşturduğu ortama uyan bireyler saklanarak yeniden üretilirken, elverişsiz olanlar

ölür (Holland, 1992). Bu sayede kötü üretimler engellenerek, hızlıca optimal sonuca gidilmektedir (Emel & Taşkın, 2002).

Genel olarak birçok farklı probleme kolayca uyarlanabilen yapıdaki GA'larda, tasarım **değişkenlerinin kromozomlar aracılığıyla kodlanması**, neyin tasarım için uygun olduğunu tanımlayan **uygunluk fonksiyonunun tanımlanması** ve **genetik algoritma tipinin tespit edilmesi** ile karmaşık problemler kısa sürede çözülebilmektedir (Goldberg, 1989).

- **Genetik Algoritmanın İşleyişi**

Genetik algoritmalar kodlanmış çözümlerden oluşan arama uzayı ve gerçek çözümlerden oluşan çözüm uzayı olmak üzere iki farklı alan kullanır. Genotipler (kodlanmış çözümler), fenotiplerle eşleştirilerek uygunluk fonksiyonuna göre değerlendirilir (Bentley, 1999) (Şekil 3.18).



Şekil 3.18 Arama uzayındaki genotipler ile çözüm uzayındaki fenotiplerin eşleştirilmesi (Bentley, 1999)

Doğru tanımlanmış bir probleme ait olası tüm çözümlerin kodlandığı dizi verildiğinde basit bir Genetik Algoritma şu şekilde işler (Mitchell, 1999):

1. Rastgele seçilen n adet kromozomun oluşturduğu **başlangıç popülasyonun üretilmesi**

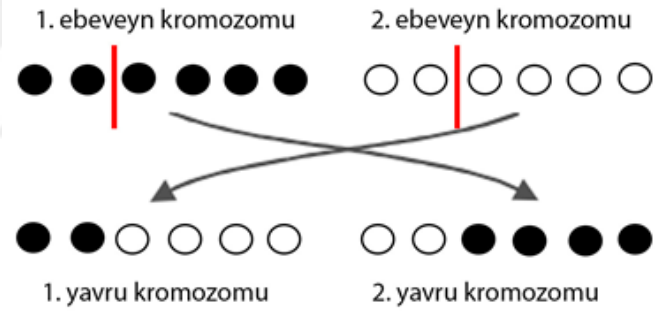
2. Popülasyonda yer alan her bir kromozom için **uygunluk fonksiyonlarının hesaplanması** f(x)

3. Belirlenen sayıda yeni popülasyon oluşana kadar aşağıdaki operatörlerin tekrar edilmesi:

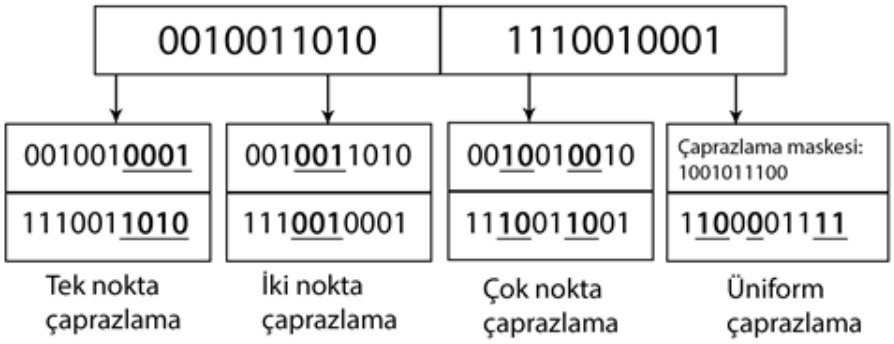
a. Seçim: Mevcut popülasyon içinden iki ebeveyn kromozomun belirlenen uygunluk fonksiyonuna göre seçilmesi işlemidir. Seçilen bireyler çaprazlama havuzuna giderken diğer bireyler ölür. Olasılık içeren bu süreçte daha iyi uyum daha çok seçme şansı anlamına gelmektedir.

Başlangıç popülasyonu üretildikten sonra yeni popülasyonun üretimi için geliştirilen çok sayıda seçim işlemcilerinden biri belirlenmelidir. Seçim sırasında doğal seleksiyon kurallarına benzer şekilde en iyilerin hayatta kalması sağlanır. Seçim yöntemlerinden en sık kullanılanları: *rastgele seçim, rulet çemberi, sıralı seçim, turnuva seçimi, sabit durum seçimi ve elitizmdir* (Jo & Gero, 1995).

b. Çaprazlama(üreme): Yeni bir yavru oluşturmak için rastgele seçilen bir noktadan olasılığa göre ebeveynler çaprazlanır. Çaprazlama yapılmazsa seçilen ebeveynlerin tam kopyası olan iki yavru üretilmiş olur. (Basit genetik algoritmada çaprazlama oranı ebeveynlerin tek bir noktadan kesişme olasılığı (Şekil 3.19) iken çok noktalı GA' larda bu oran sayılarla ifade edilir (Mitchell, 1999) (Şekil 3.20).

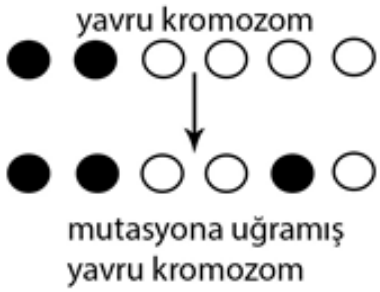


Şekil 3.19 Tek noktadan çaprazlama (Bentley, 1999)



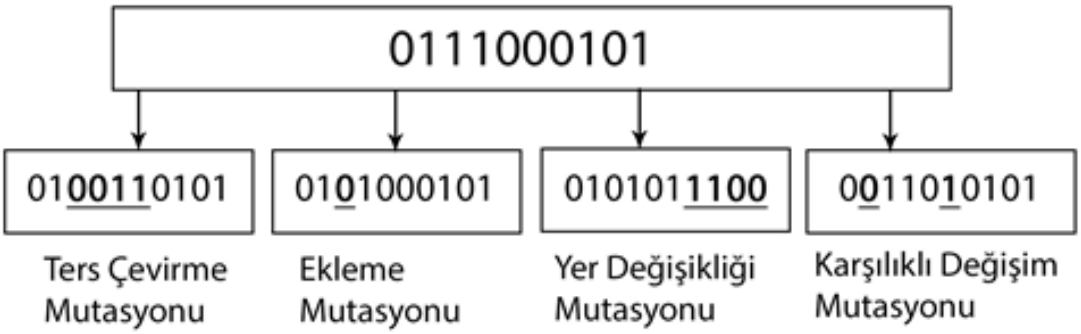
Şekil 3.20 Çaprazlama yöntemleri ve etkileri (Bolat, Erol, & İmrak, 2004)

c. Mutasyon: Çaprazlama sonucunda mevcut genlerin alternatifleri üretilir, fakat oluşan popülasyon tüm kodlanmış bilgiyi içermeyebilir. Bu nedenle mutasyon ile mevcut kromozomlardan yeni kromozomlar üretilerek bir daha elde edilmesi mümkün olmayan olası iyi çözümün korunması sağlanır (Goldberg, 1989); (Emel & Taşkın, 2002). Çaprazlamayla oluşan yeni gen kodları üzerinde mutasyonla kısmi değişimler meydana gelir (Güngör, 2010). Mutasyon ile oluşturulan yeni bireyler popülasyona eklenerek genetik çeşitlilik korunur (Şekil 3.21).

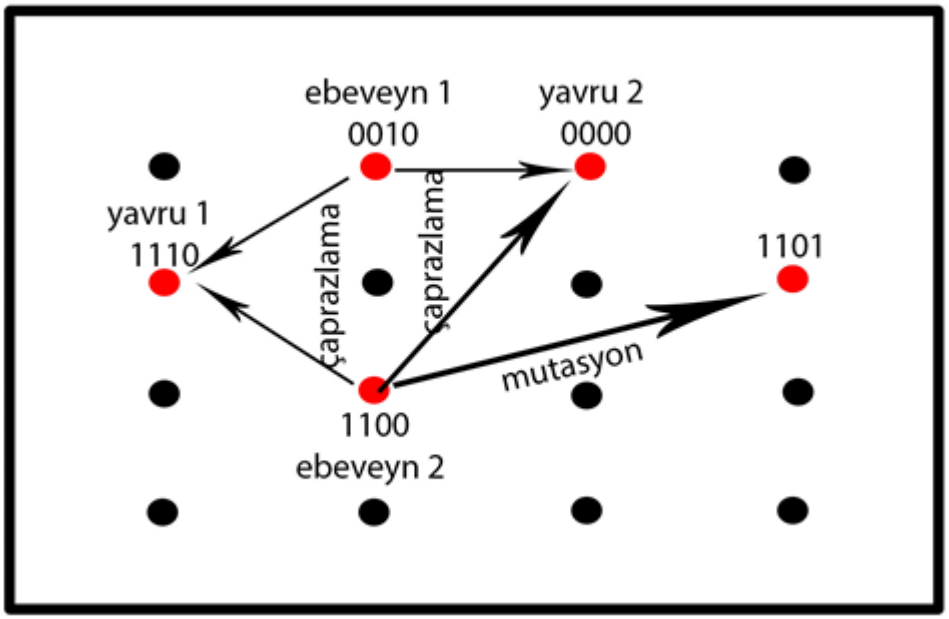


Şekil 3.21 Kromozoma mutasyon uygulanması (Bentley, 1999)

Mutasyonun yapılacağı aralığı mutasyon olasılığı belirler. %0 ile %100 arasında değişen mutasyon olasılığı oranı bir kromozomdaki her bitte uygulanabilir (Badem, 2007). 0 ve 1'lerden oluşan ikili kodlamada olasılık değerinin alt seviyelerinde bitler arasında dönüşüm yapılır (Emel & Taşkın, 2002). İkili kodlamanın kullanılmadığı durumlarda problemin yapısına uygun olacak şekilde, ters çevirme, ekleme, yer değişikliği ve karşılıklı değişim mutasyon operatörlerinden biri seçilerek uygulanır (Şekil 3.22),(Şekil 3.23).



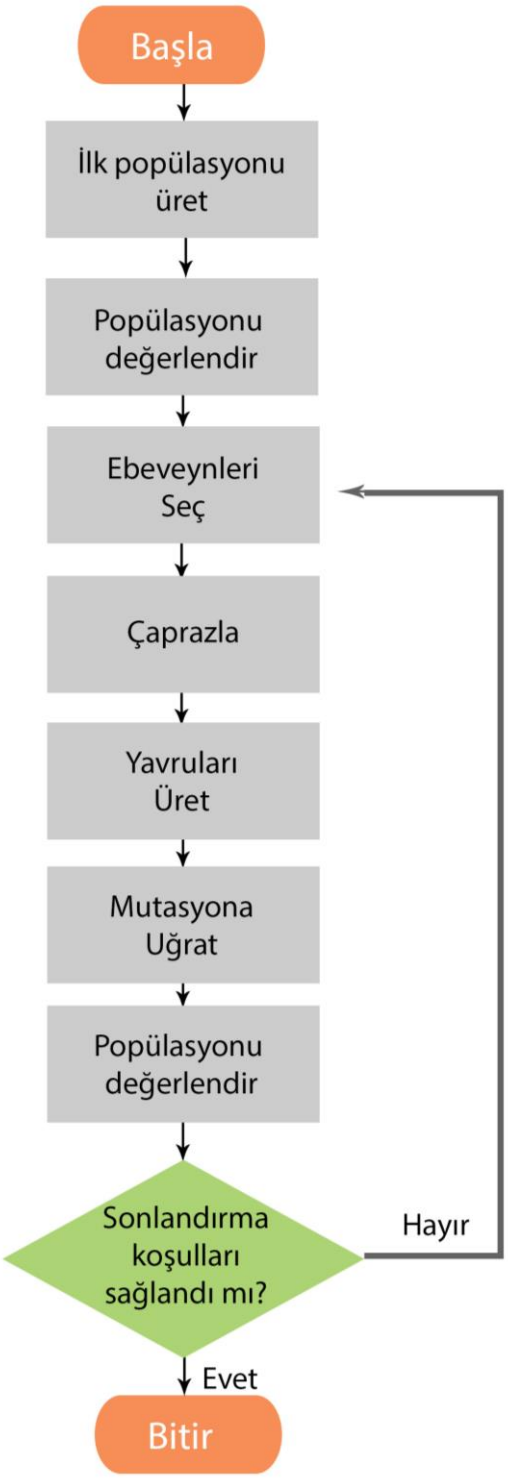
Şekil 3.22 Mutasyon yöntemleri ve etkileri (Bolat, Erol, & İmrak, 2004)



Şekil 3.23 Arama uzayında çaprazlama ve mutasyon (Jo & Gero, 1995)

4. Yer Değiştirme: Mevcut popülasyon çaprazlama ve mutasyon sonucunda oluşan yeni bireylerin oluşturduğu popülasyonla değiştirilir. Sürecin sonsuza kadar devam etmemesi için bir durdurma kriteri belirlenmelidir (Aksoy Y. , 2016). Sonuç, hedeflenen uygunluk değerini sayılıyorsa ya da belirlenen iterasyon sayısına ulaşılmışsa döngü durdurulur.

5. İstenilen sonuç elde edilmezse 2. adıma geri dönülür (Şekil 3.24).



Şekil 3.24 Genetik algoritma işleyişi (Chouchoulas, 2003)

Genetik algoritmaların işleyişinde büyük öneme sahip olan kontrol parametreleri: popülasyon büyüklüğü, çaprazlama olasılığı, mutasyon olasılığı, kuşak aralığı seçim stratejisi ve fonksiyon ölçeklemesidir (Emel & Taşkın, 2002).

- **Konut Üretiminde Genetik Algoritmaların Kullanıldığı Çalışmalar**

Tıp, mühendislik, fen bilimleri, ekonomi, çevrebilim ve planlama gibi birçok farklı alanda, özellikle bilgisayar destekli analiz ve araştırmaların yapılmasında ve makine öğrenmesi temelli çalışmalarda sıklıkça genetik algoritmalar kullanılmaktadır.

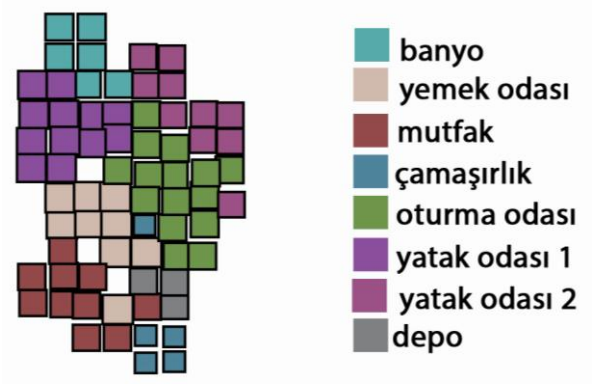
Önceleri bilgisayar bilimleri ağırlıklı olan çalışmalar, mimari tasarımda hesaplamalı tasarımın yaygınlaşması ile mimarların da ilgisini çekmeye başlamıştır. Genetik algoritmalar mimarlıkta farklı tasarım aşamaları ve ölçeklerde kullanılmaya başlanmıştır. Mimari tasarım süreci gibi karmaşık ve doğrusal olmayan problemleri içeren gerçek tasarım problemlerinde, olasılıklı optimizasyon tekniklerinin kullanıldığı genetik algoritmalar ile optimize edilmiş bir çözüm popülasyonuna ulaşılabilmektedir. Bentley'e (1999) göre genetik algoritmalarda tek bir problemin çözümü için ne kadar çok tasarım alternatifi varsa, bazı tasarımların bu süreçten elenmesi de o kadar çabuk olmaktadır.

Mimaride GA'larla ilgili yapılan çalışmalar form türetimi ve optimizasyon çalışmaları olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Form üretim sürecinde belirlenen konsept doğrultusunda formun ortaya çıkış süreci ele alınarak iki boyutlu mekânsal planlamalar ve üç boyutlu form üretimleri yapılırken (Fasoulaki, 2007). Optimizasyon sürecinde yapının strüktürel, ısısal mekanik ve aydınlatma ile gibi iyi tanımlanmış problemleri ele alınmakta ve bu tanımlı problemlerin çözümünde birbirleri ve bina ile optimizasyonun sağlanmasında GA'lar kullanılmaktadır (Dinçer, 2014).

Genetik algoritmaların kullanıldığı form üretim aşaması farklı parametreleri içeren mekânsal optimizasyon süreci olarak da değerlendirilebilir. Jo ve Gero' ya (1995) göre bu süreç tasarımın analiz aşaması, genetik araştırma aşaması ve tasarım değerlendirmesi aşaması olarak üç bölümden oluşur. Analiz aşamasında verilen tasarım problemi analiz edilir, tasarım kuralları şemasına göre tasarım bilgisine dönüştürülür. Genetik araştırma aşamasında, tasarım bilgisi tasarım elemanlarına ve yeni çözümlere dönüştürülür. Değerlendirme aşamasında ise oluşturulan ürünler genellikle kullanıcı tarafından seçilir (Jo & Gero, 1995).

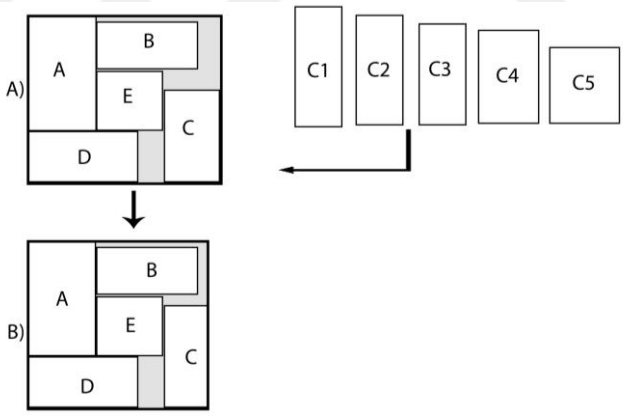
İlk dönemlerde mimaride GA'larla ilgili yapılan çalışmalar iki boyutlu kat planı alternatifleri üretme üzerine odaklanmıştır. Jo ve Gero 1995 yılında yaptıkları çalışmada tasarım uzayındaki optimum tasarımı aramayı kolaylaştırmak amacıyla

Pareto optimizasyonunu kullanarak çok yönlü bir optimizasyon sorunu olan mekan yerleşimine kat planı alternatifleriyle çözümler sunmuşlardır (Şekil 3.25)



Şekil 3.25 100 nesil üretimden sonra bir çözümün fenotipi (Jo & Gero, 1995)

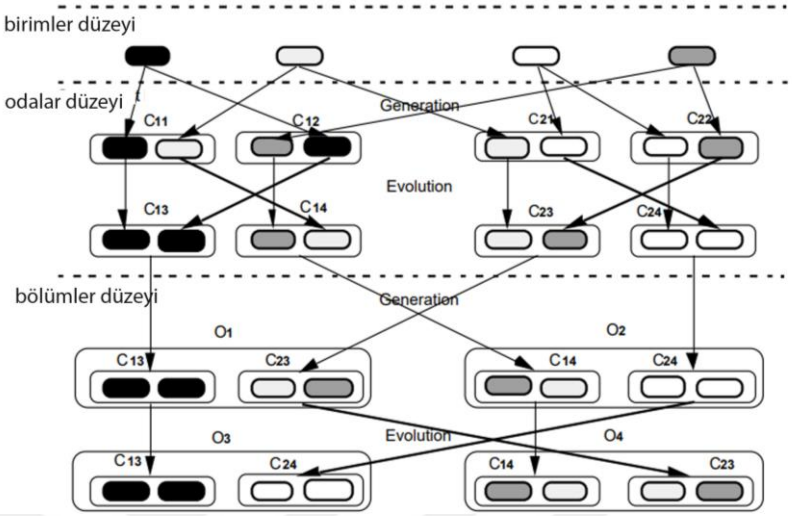
1996 yılında Rebaodengo ve Reorda'nın kat planı alan optimizasyon sorunu için GA'lara dayalı geliştirdikleri algoritmada odaların boyut ve komşuluk ilişkilerini temel alınmaktadır (Rebaudengo & Reorda, 1996). Oluşturulan algoritma, çözümlerin kodlanması ve uygunluk fonksiyonlarının tanımlanması için çaprazlama ve mutasyon operatörlerinin yanı sıra buluşsal (heuristic) operatörleri de içermekte ve bu sayede verimlilik artırılmaktadır (Şekil 3.26).



Şekil 3.26 Kat Planı Örneği (a) buluşsal operatör uygulanma öncesi, (b) buluşsal opertaör uygulama sonrası (Rebaudengo & Reorda, 1996).

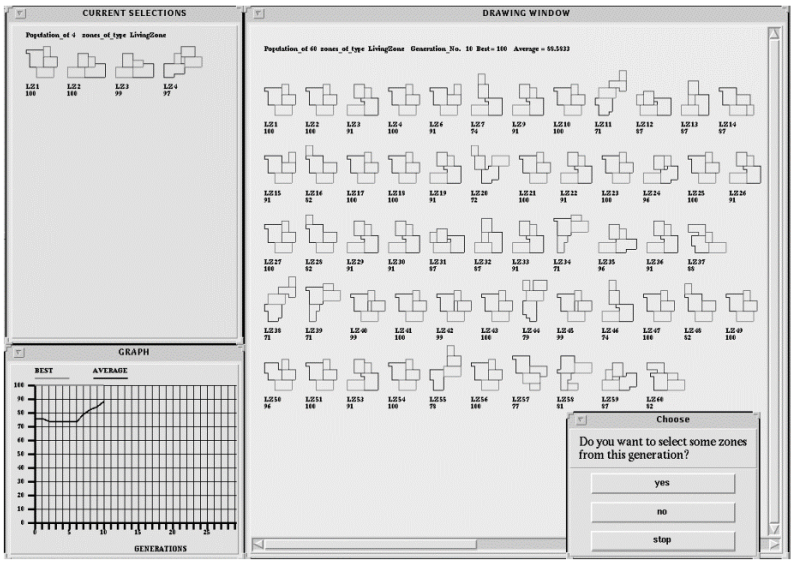
Kullanılan yöntem farklı projelere uyarlanabilme özelliğine sahip olmakla birlikte, seçim operatörleri arasında otomatik olarak optimum değeri saptamaktadır. İterasyon sayısıyla doğru orantılı karmaşıklığı olan ve daha genel bir işleyiş için kurgulanmış olan yöntem literatürdeki önceki çalışmalara kıyasla daha büyük kat planlarını ele alabilmesi açısından önem taşımaktadır (Rebaudengo & Reorda, 1996).

Rosenmann'ın 1997 yılında yaptığı hiyerarşik büyüme modeli temeline dayanan çalışmada üret ve test et yaklaşımıyla kat planları üretilmektedir (Şekil 3.27). Ev bölümlere, bölümler de odalara, odalar ise tasarımda sabit kalacak yüzeysel birimlere ayrılarak değerlendirilmiştir (Rosenman, 1997).



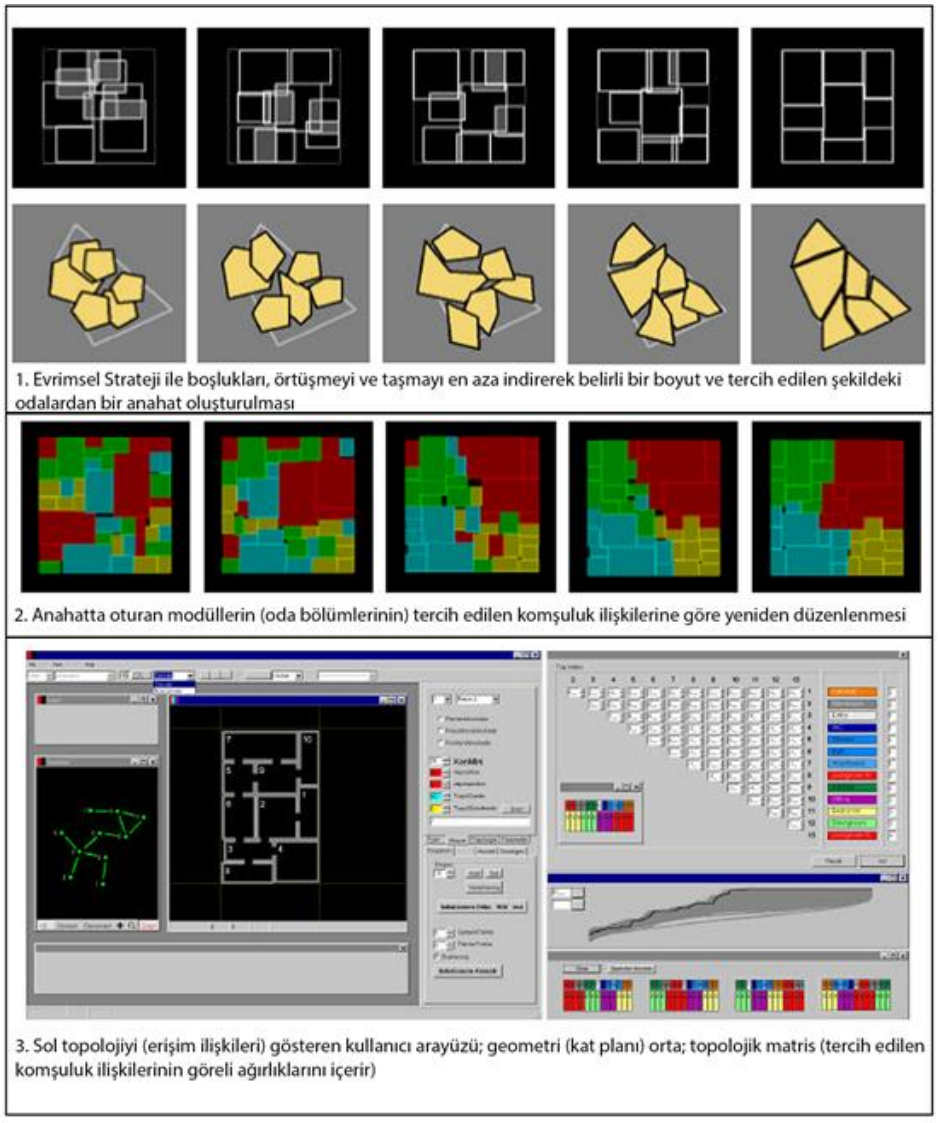
Şekil 3.27 Hiyerarşik büyüme modeli (Rosenman, 1997)

Değişik evler, değişik odaların oluşturduğu bölümleri içerir. Genotipler, üretim kurallarını oluşturan kromozom dizileridir. Küçük birimler çok sayıda alternatif üreten uzun genotiplere sahiptir. Kat planlarının değerlendirilmesi belirlenen uygunluk fonksiyonları ve kullanıcı etkileşimiyle olmaktadır (Rosenman, 1997)(Şekil 3.28).



Şekil 3.28 1. Üretim 10. jenerasyon yaşam birimleri (Rosenman, 1997)

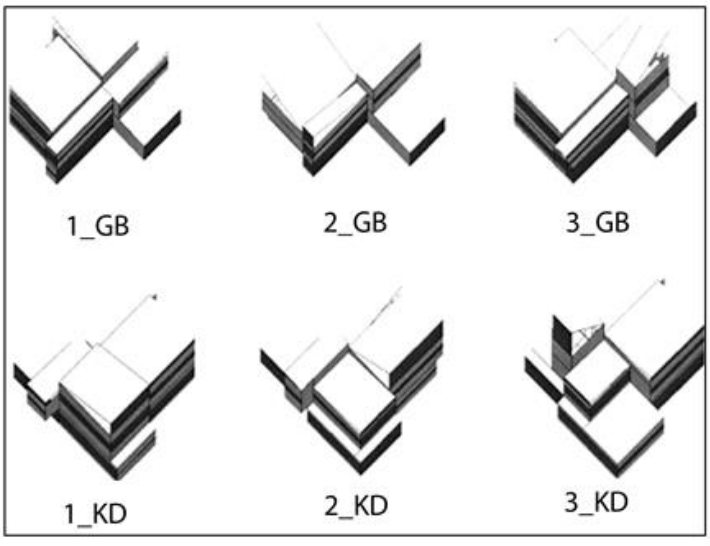
Elezkurtaj ve Frank (1999) Genetik Algoritmalar ve Evrimsel Stratejiyi birlikte kullanarak interaktif mimari kat planı tasarımı yapan üç aşamalı bir model geliştirmişlerdir (Şekil 3.29). Çalışmanın ilk aşamasında bir binaya veya kat planı ölçeğine odaların önceden belirlenen boyut ve biçimlerde yerleşmesi evrimsel strateji ile yapılmaktadır. Bir sonraki aşamada ise odaların komşulukları GA' lardaki çaprazlama ile yeniden yorumlanmaktadır. Son aşamada ise GA' lar ile oluşturulan kat planları arasındaki optimum çözüm kullanıcıya bir ara yüz ile sunulmakta ve bu ara yüzde kullanıcı modelle etkileşime girerek düzenlemeler yapabilmektedir (Elezkurtaj & Franck, 1999).



Şekil 3.29 Elezkurtaj ve Frank 'ın sistem işleyişi (Elezkurtaj & Franck, 1999).

Caldas 2001 yılında doktora tezi kapsamında yaptığı çalışmada mimari tasarım sürecine adaptasyon modellerini dahil etmiştir. Çalışma kapsamında mimari tasarım sürecinde hesaplamalı tasarım aşamasında genetik algoritmaların kullanıldığı "The Generative System" adlı üretken bir model oluşturmuştur. Modelde üretilen çözümlerin çevresel koşullar altında değerlendirilmesi bina enerji analizi programı (DOE2.1E) kullanılarak yapılmıştır. Oluşturulan modelin performansını gözlemlemek amacıyla öncelikle sınırlı bir alanda optimum çözüm üretimi denemesi yapılmış, sonrasında buluşsal arama yöntemleri modele eklenmiştir.

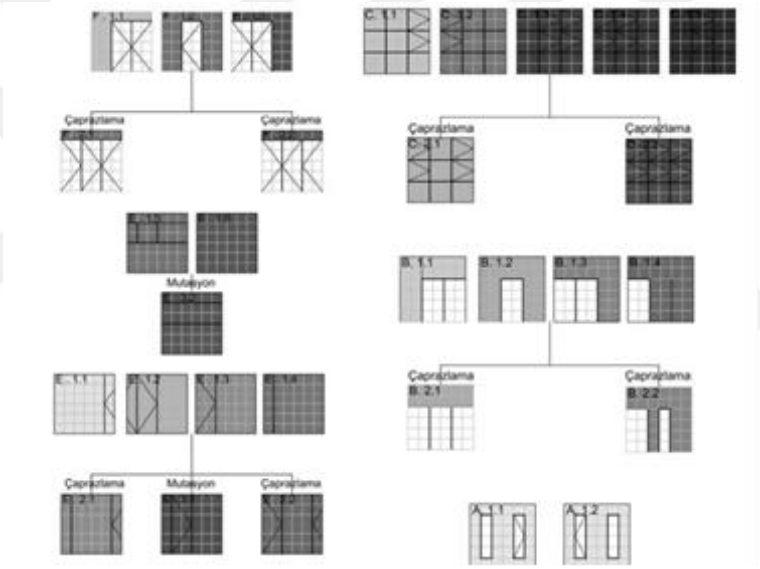
Pareto tabanlı yöntem ile çok yönlü problemler kullanılarak çok kriterli bir uzantı sunulmuştur. Son kararın tasarımcıya ait olduğu üretken sistemde, birbiriyle çelişen tasarım amaçları arasında Pareto tabanlı yöntem aracılığıyla denge kurularak optimum çözüm kümesine ulaşılır (Caldas, 2001). Modelde kullanılan uygunluk fonksiyonları yapım maliyeti, yıllık enerji tüketimi, malzemelerin gaz emisyonları değeridir. Mimari formu geliştirmek amacıyla tasarım elemanları arasındaki soyut bağlantıların uyarlanması yapılır. Model kapsamındaki form türetimleri oluşturulan algoritmanın farklı coğrafi koşullar altındaki işleyişini değerlendirmek amacıyla çeşitli konumlarda üretimler yapılmıştır (Caldas, 2001)(Şekil 3.30).



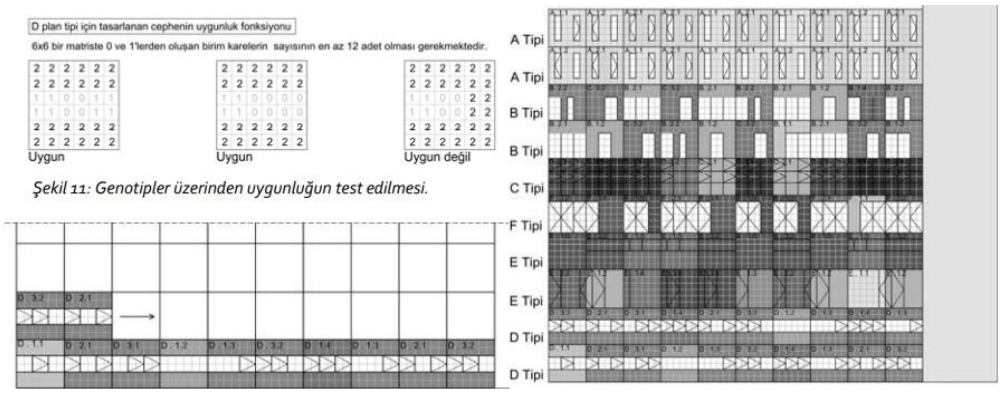
Şekil 3.30 Oporto için üretilmiş en iyi 3 çözüm. her bina için güneybatı (GB) ve kuzeydoğu (KD) görünümleri (Caldas, 2001).

- **Konut Tasarımında Genetik Algoritmaların Kullanıldığı Hibrit Çalışmalar**

Güzelci 2013 yılında yaptığı çalışmada farklı üretken tasarım araçlarının birbirleriyle ilişkilerini gözlemlemek ve farklı teknikleri birarada kullanabilmek amacıyla bir üretken tasarım modeli geliştirilmiştir. Önerdiği bütünleşik üretken tasarım sistemini Silodam Projesi üzerinde alan çalışması yaparak denemiştir. Cephe analizi üzerinden yapılacak olan çalışmada 2 boyutlu gridal sistemi kullanarak cepheyi kapalı, saydam ve hava alabilir saydam yüzeyler olmak üzere üç bölüme ayırarak biçim grameri kurallarını oluşturmuştur (Şekil 3.31). Ortaya çıkan kuralları genetik algoritmalar ile yeniden cephe üretim sürecinde kullanarak değişik varyasyonlar oluşturmuştur (Güzelci, 2013)(Şekil 3.32).

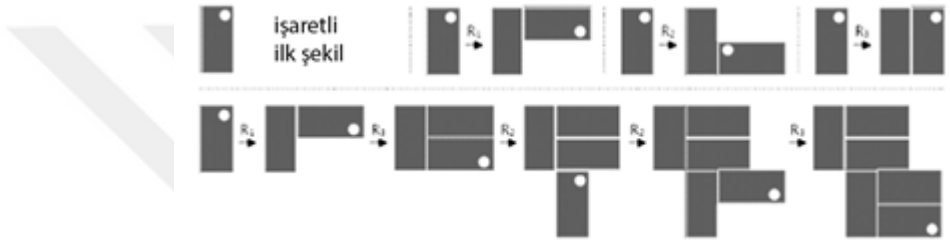


Şekil 3.31 Silodam cephesi biçim grameri kuralları (Güzelci, 2013)



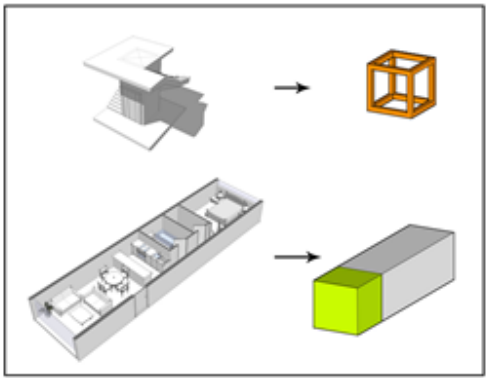
Şekil 3.32 GA'lar ile üretilen cephe alternatifleri (Güzelci, 2013)

Chouchoulas, 2003 yılında yaptığı çalışmada genetik algoritmalar ve biçim gramerlerini bir arada kullanarak hibrit bir model oluşturmuştur. Genetik algoritmalar mimari tasarım problemlerinde etkin çözümler üreten arama algoritmalarıdır. Biçim gramerleri ise estetik ve strüktürel yapı formalarının oluşmasını sağlar. Bu iki üretken tasarım aracının birlikte kullanımı ile arama uzayındaki formlar biçim grameri ile tanımlandıktan sonra genetik algoritma ile bu arama uzayında verimli sonuçlar elde etmeyi amaçlayan bir sistem oluşturmuştur (Chouchoulas, 2003). Üretim ilk şekil ile başlar ve tanımlanan bir dizi dilbilgisi kuralları ile devam eder. (Şekil 3.33). Biçim grameri oluşturulan bu kural seti genetik algoritmada kullanılacak genotiplerin altyapısını oluşturur.



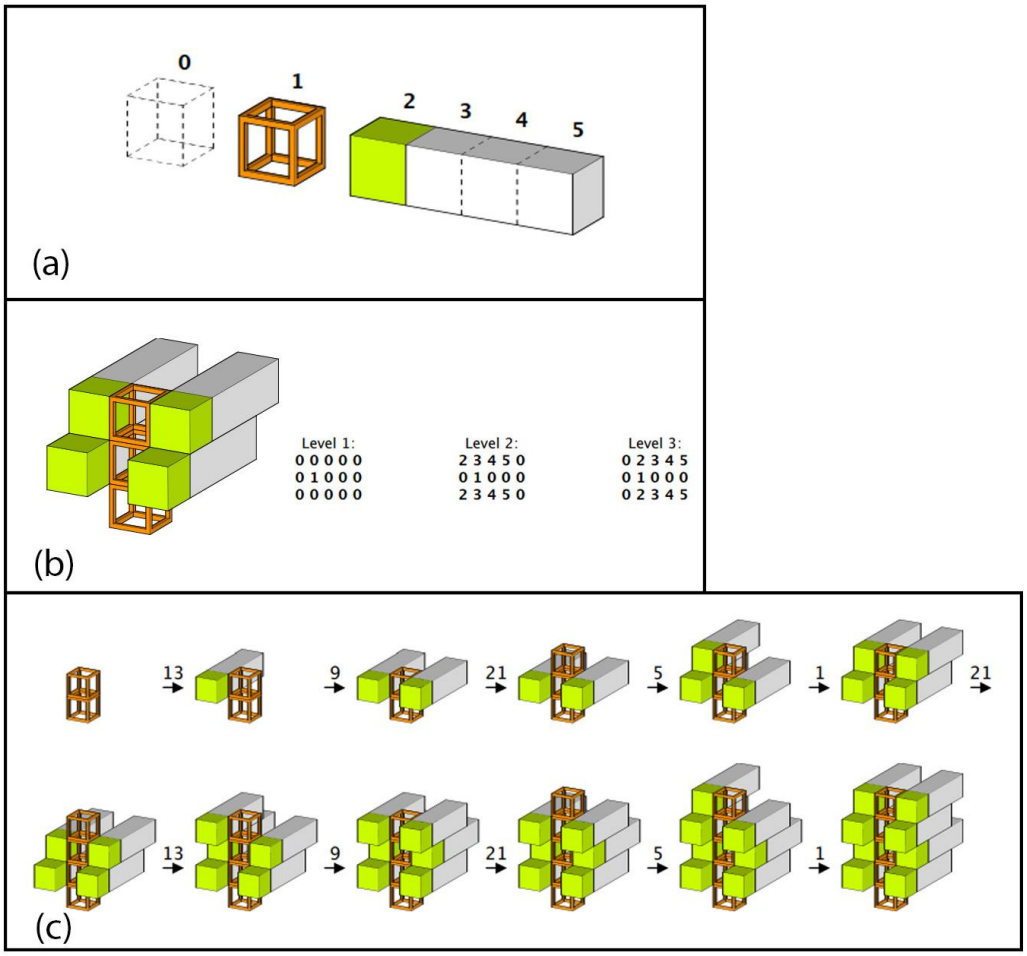
Şekil 3.33 Biçim grameri ile üretilen bir tasarım örneği (Chouchoulas, 2003).

Biçim evrimi modeli farklı tasarım sorunlarına uyarlanabilme özelliğine sahiptir. Çalışmada öncelikli olarak çok katlı bir apartman tasarımı denenmiştir. Apartman bloğu, dairenin yaşam alanı, yatay ve düşey sirkülasyon alanları (4*4*4 lük bir küp şeklinde) olmak üzere üç temel birimle ifade edilmiştir. Tasarım dilini kolaylaştırmak adına basitleştirilmiş iki modül kullanılmıştır (Chouchoulas, 2003). (Şekil 3.34).



Şekil 3.34 Sirkülasyon ve apartman bloğunun basitleştirilmesi (Chouchoulas, 2003)

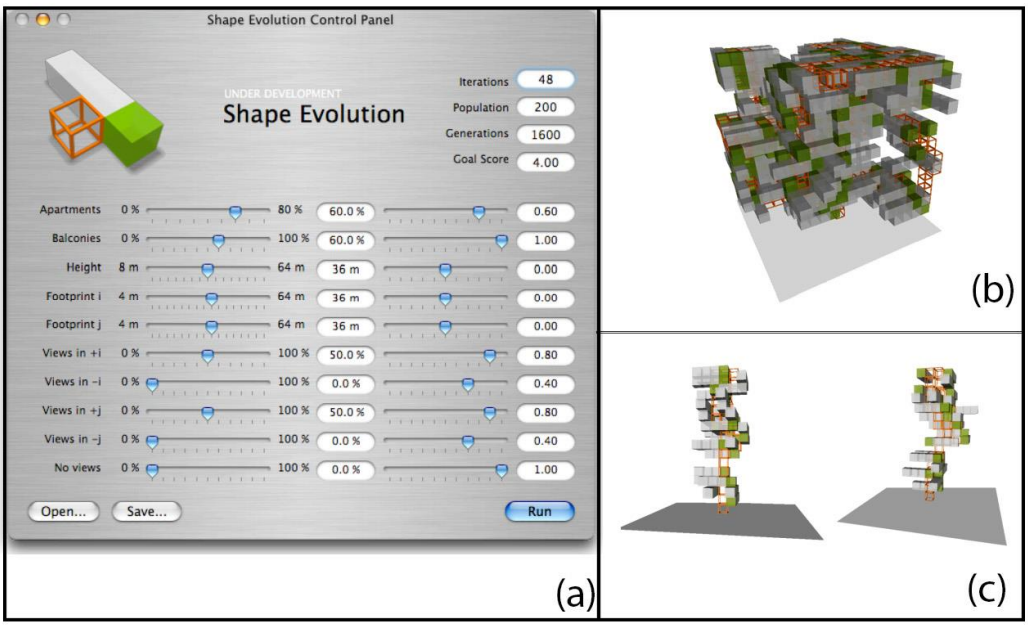
Biçim grameri oluşumunda kullanılan küplerin numaralandırılması ile üç boyutlu dizilerin fenotipleri elde edilir (Şekil 3.35). Belirlenen kuralların rakamsal karşılıkları her katta mekana dönüştürülerek son ürün elde edilir. Oluşturulan biçim grameri ve kurallar ile apartman bloğu konsept tasarımları yapılabilmektedir. Tasarım sürecinde oluşturulan kurallara uymayan tasarımlar elenir.



Şekil 3.35 (a) Küplerin numaralandırılması, (b) dizi genotipleri, (c) sıralı kuralların uygulanması sonucu oluşan örnek apartman bloğu (Chouchoulas, 2003).

Biçim grameriyle oluşturulan formlar kullanıcı ara yüzünde görselleştirilir. Genetik algoritmalar ile oluşan formlar birbirleriyle kıyaslanarak belirlenen kriterler içerisinde oluşturulan arama uzayında değerlendirilir. Bir sonraki aşamada üretilen tüm çözüm kümeleri ilk popülasyondan başlanarak kullanıcı tercihleri (balkon, yükseklik, daire alanı vb.) doğrultusunda teker teker puanlanır (Şekil 3.36). Tüm çözümlerin puanlanmasından sonra rastgele seçilen ikişerli çözümlerin puana kıyaslamalarına göre seçim yapılır her aşamada düşük puanlı çözüm elenir ve

sonuçta en yüksek puanı alan çözüm son ürün olarak gösterilmektedir (Chouchoulas, 2003).



Şekil 3.36 (a) Shape evolution arayüzü, (b) apartman bloğu tasarımı, (c) yüksek yapı tasarımı (Chouchoulas, 2003)

- **Kitlesel Konut Tasarımında Genetik Algoritmaların Kullanıldığı Çalışmalar**

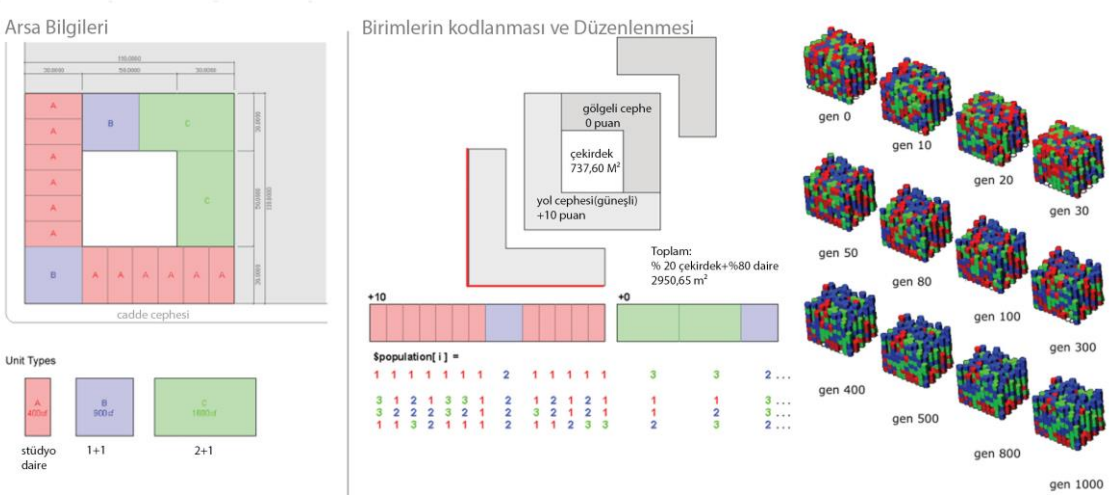
Geleneksel tasarım sürecinde kitlesel konut tasarımı, araziye uygun bir vaziyet planı oluşturulması ile başlar; kat planı alternatifleri ve buna paralel olarak cephe alternatiflerinin ortaya çıkması ile sonlandırılır. Bilgisayar destekli tasarım sürecinde de benzer bir işleyişi barındıran genetik algoritmaların kullanıldığı üretim modelleri, tasarım aşamasında varyasyonların oluşturulması ve optimize edilmesi amacıyla kullanılmaktadır.

2006 yılında Narahara ve Terzidis tarafından oluşturulan modelde amaç çevresel, işlevsel ve ekonomik kısıtlamalar içeren kitlesel konut projesinin GA'lar ile çözümlenmesidir. Bu model kapsamında kent merkezinde yer alan bir arazide 200 daireli bir konut kompleksinin tasarım süreci incelenmiştir.50 adet stüdyo daire, 100 adet 1+1 daire ve 50 adet 2+1 dairenin bulunduğu konut bloğunda her daire için güneş ışığından maksimum ölçüde fayda elde etmek, manzara ve yapım maliyeti temel kriterler olarak ele alınmıştır. Bu iyi tanımlanmış fakat çözümü karmaşık olan

tasarım probleminde insanın öngöremeyeceği varyasyonları oluşturmak amacıyla GA'lar tasarım ve optimizasyon aracı olarak seçilmiştir (Narahara & Terzidis, 2006).

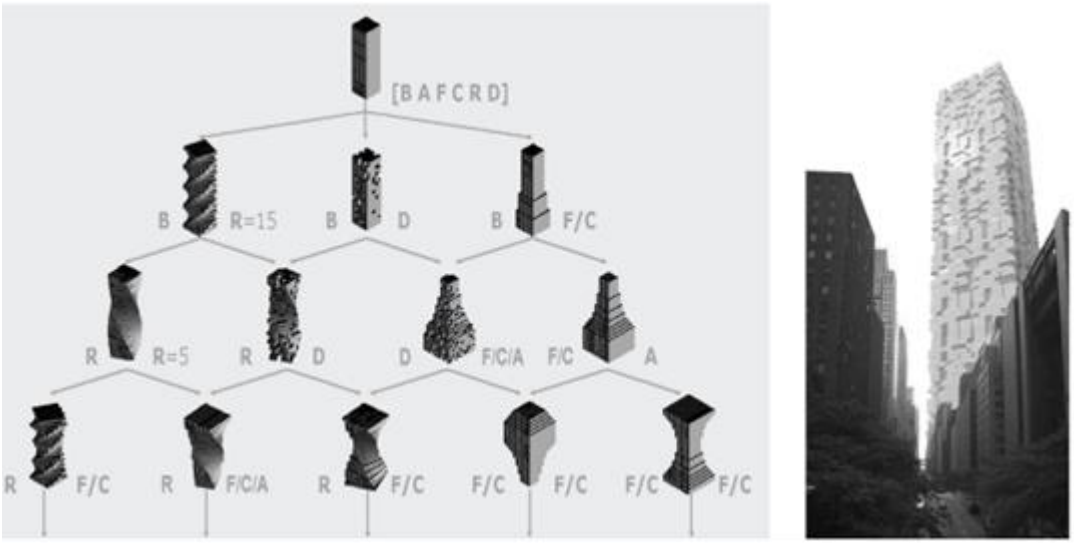
Modelde belirlenen üç farklı konut tipolojisi için ASCII kodlarından yararlanılmıştır. (1: Stüdyo Daire, 2: 1+1 daire, 3: 2+1 daireyi temsil eder). Bu kodlar aynı zamanda her daire tipi için istenilen toplam sayıyı sağlamak üzere programlanmıştır. Daireler konumlarına göre bir puanlama sistemine sahiptir. Örneğin caddeye bakan dairelerin puanı daha yüksek ve buna bağlı olarak maliyeti ve satış fiyatı da daha yüksektir. Puanlama sisteminde her kat planı oluşumunda ve bina boyutunda bir toplam puan hesaplanır ve bu sayede oluşturulan alternatifler arasından maliyet ve satış açısından en uygun olanın seçilmesine olanak sağlar (Narahara & Terzidis, 2006).

Model kapsamında dairelerin iç mekan çözümlemelerine gidilmemiş, kat planı üretim aşaması dairelerin birbirleriyle ve caddelerle olan komşuluk ilişkileri ile sınırlandırılmıştır (Şekil 3.37).



Şekil 3.37 Konut tipolojileri, puanlama sistemi ve GA'lar ile konut üretilen konut bloğu alternatifleri (Narahara & Terzidis, 2006).

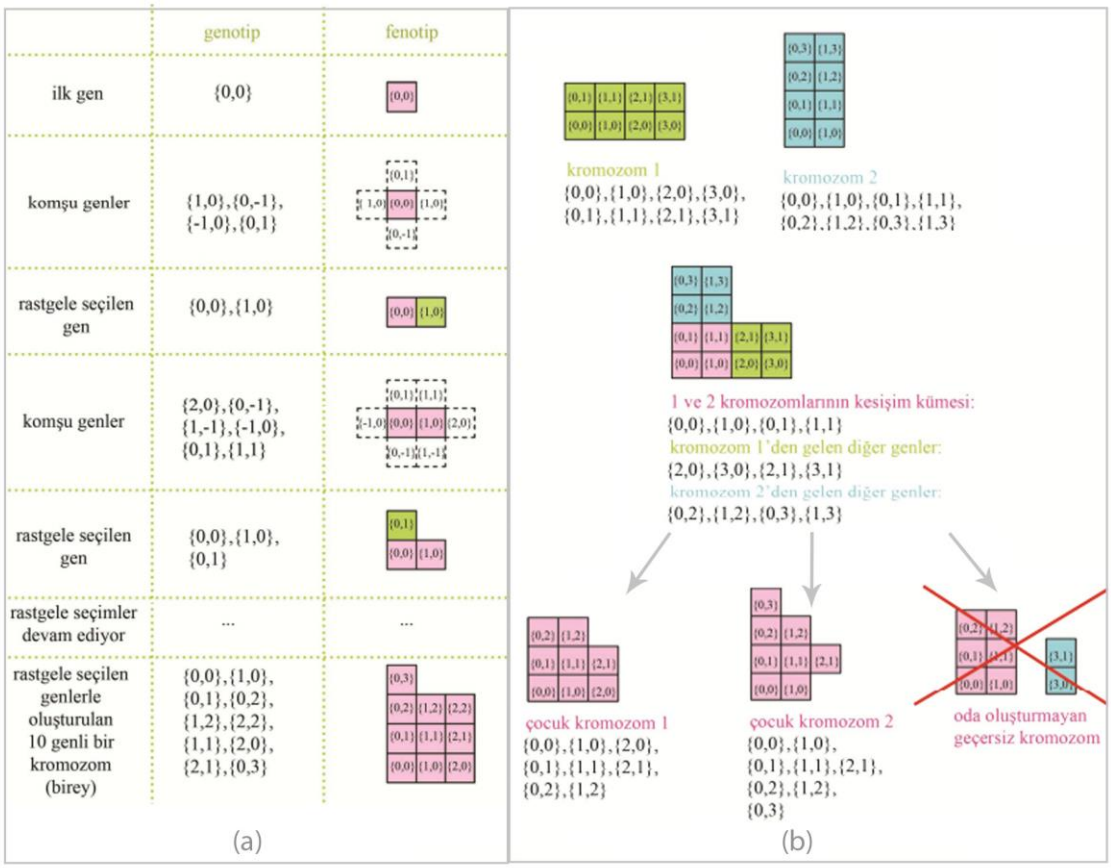
Modelde belirtilen sayıda ve tipolojide üretilen konutların varyasyonlarının sınıflandırılmasıyla formda ve cephede çeşitli alternatifler üretilebilmektedir (Şekil 3.38).



Şekil 3.38 Tasarım alternatiflerinin soyağacı olarak temsili ve seçilen tasarım (Narahara & Terzidis, 2006).

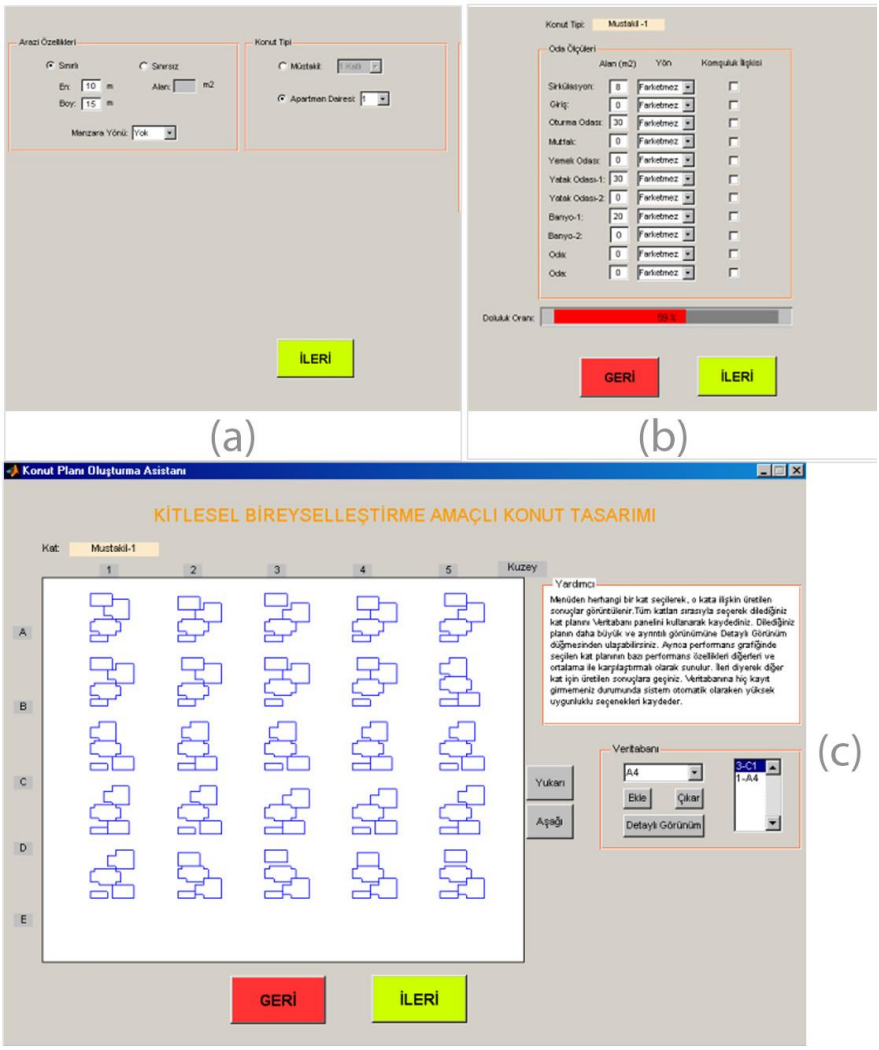
Güngör'ün (2010) yaptığı çalışmada, GA'lar ile uzman tasarımcı olmayan kullanıcının tercihlerine bağlı olarak bireyselleştirilebilen kitlesel konut kat planı tasarımı yapan bir model tümevarım yaklaşımıyla geliştirilmiştir.

Oluşturulan modelde birim kareler genleri, genlerin kullanıcı tercihlerine göre ölçeklendirilmelerinden oluşan kromozomlar ise oda genotiplerini belirlemektedir. Kromozomların uygunluk fonksiyonuna göre en iyileri seçilerek çaprazlanmaktadır (Şekil 3.39). Çaprazlama sonucunda elde edilen yeni ve uyumlu sonuçların veri tabanında saklanması ile kullanıcıya sonuçları karşılaştırma imkânı sağlamaktadır. Algoritmada odaların tercihler doğrultusunda kat planı oluşturulması işlemi istenen sonuç elde edilene kadar sürdürülebilmektedir (Güngör, 2010).

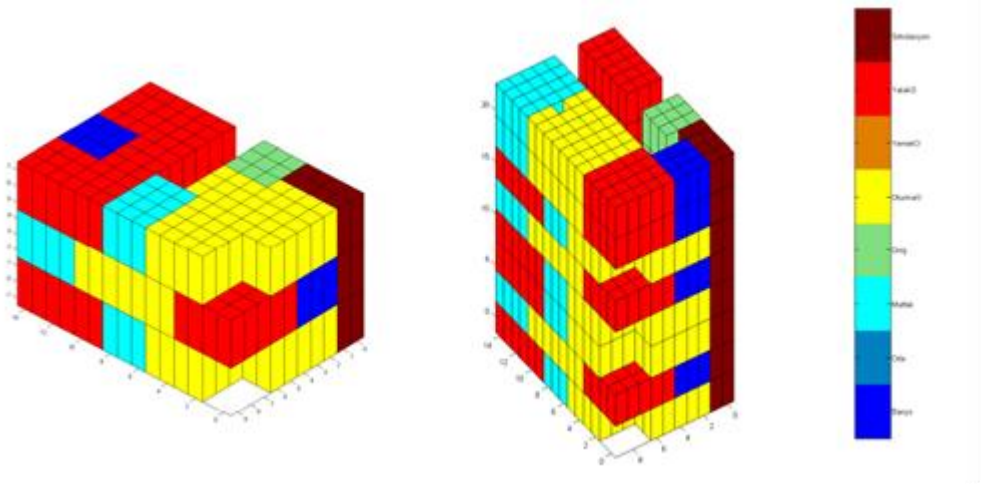


Şekil 3.39 (a) Bir oda oluşumunun fenotipler ve genotiplerle açıklanması, (b) çaprazlama işlemcisinin oda oluşturma örneği (Güngör, 2010).

MATLAB yazılımının kullanıldığı çalışma; veri girişi, oda çeşitlemeleri ve kat planları ara yüzlerinden oluşmaktadır (Şekil 3.40). Arsa ölçüleri, kısıtlamalar, yapı tipi ve kat sayısı veri girişi bölümünde tanımlanmaktadır. Oda çeşitlemelerinin oluşturulduğu ara yüzde ise, odaların tiplerine göre alanları, yönlendirmeleri ve birbirleriyle olan komşuluk ilişkileri belirlenmektedir. Bu tercihler doğrultusunda GA'lar ve uygunluk fonksiyonları ile kat planları oluşturulmakta ve alternatifler son ara yüzde görselleştirilmektedir (Güngör, 2010) (Şekil 3.41).



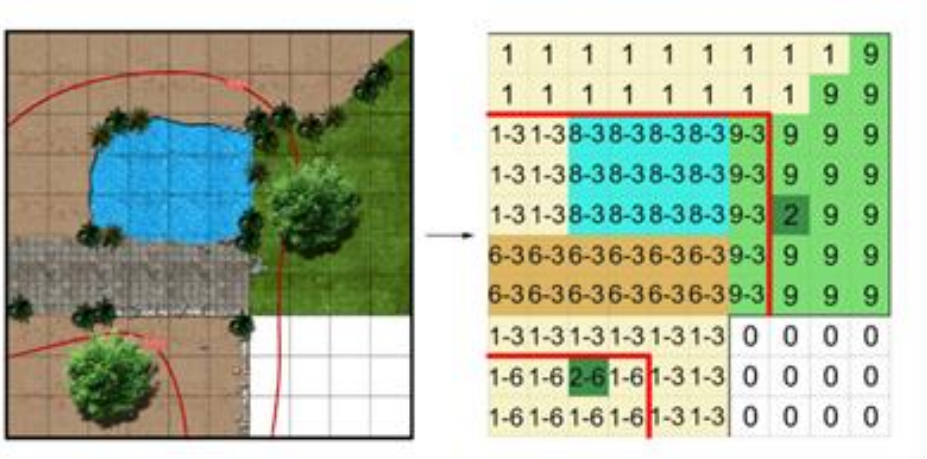
Şekil 3.40 (a) veri girişi arayüzü, (b) oda çeşitlemeleri arayüzü, (c) kat planları arayüzü (Güngör, 2010)



Şekil 3.41 Bir aileye ait 3 katlı konut tasarımı(solda), farklı kullanıcılara için çok katlı konut tasarımı (Güngör, 2010)

Kitlesel konut üretim alanında, Aksoy (2016) doktora tezi kapsamında yerel yönetmelikler, iklim koşulları, LEED ve BREAM yeşil bina sertifikalarının arazi yerleşim kriterlerini uygunluk fonksiyonu olarak kabul eden evrimsel model geliştirmiştir. Bu model ile kitlesel konutlar için arazi yerleşim alternatifleri sunulmaktadır (Aksoy Y. , 2016). Modelde ilk olarak arazi, Excel'de oluşturulan iki boyutlu matrisle tanımlanmaktadır.

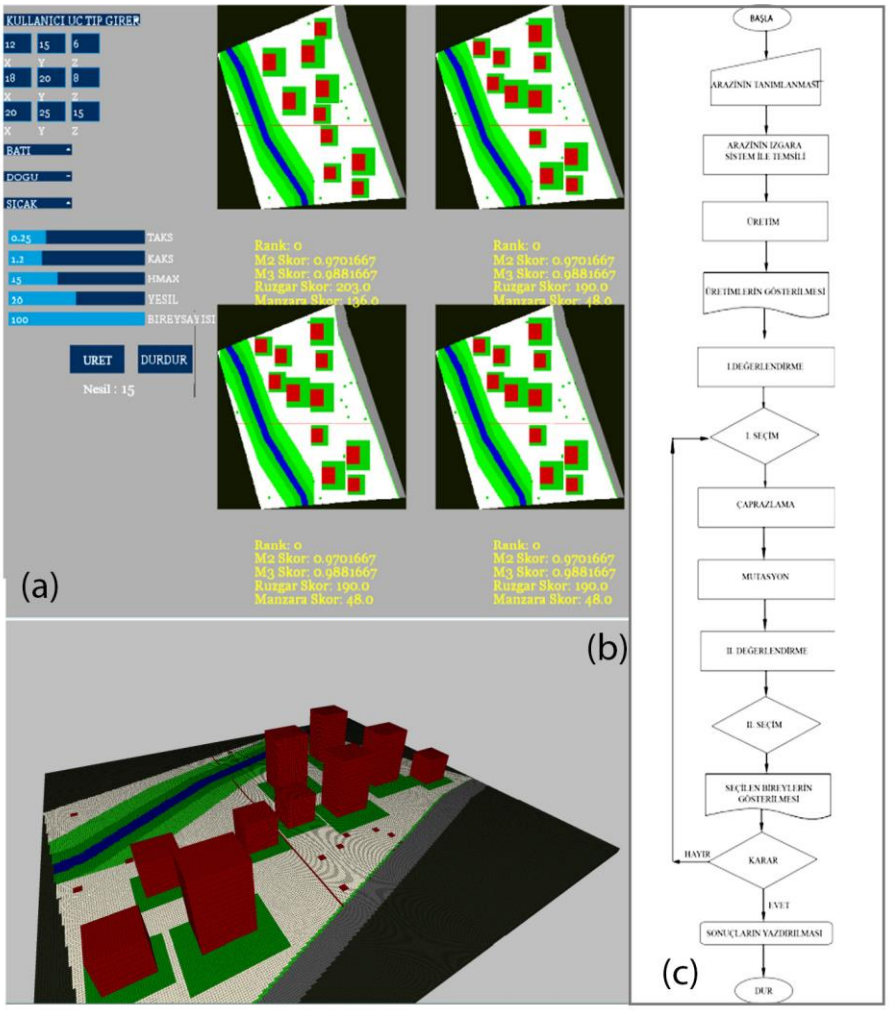
Arazinin sınırlarını oluşturan x ve y uzunlukları bir dikdörtgeni ve bu dikdörtgen de matrisin hücre sayısını belirlemektedir. Topografik veriler kullanıcı tarafından sisteme tanımlanabilmekte ve bu sayede kot farkının çok olduğu arazilerde teraslama yapılarak, topografya ile uyumlu arazi yerleşim çözümleri oluşturulabilmektedir (Şekil 3.42). Ayrıca arazi kullanımı ve vaziyet planı oluşturulması aşamasında arazideki mevcut ağaçlar ve su kaynakları da matriste işlevsiz hücre olarak işaretlenmekte ve yönetmelik verileri entegre edilebilmektedir (Aksoy Y. , 2016).



Şekil 3.42 Excel'de kot farkı tanımlamasının yapılması (Aksoy Y. , 2016).

Bina konumlandırılması aşamasında ise kuzey-güney ve doğu-batı yönlerinde farklı yerleşimleri göz önüne alınmaktadır. Modele önceden tanımlanmış değişkenlere ve yönetmelik verilerine göre formüle edilmiş yan ve arka bahçe mesafeleri doğrultusunda konumlandırma yapılmaktadır.

GA'ların çaprazlanma ve seçilim sürecinde ise model, kullanıcının konut tipi tercihine göre farklı ilerleyişler göstermektedir. Kullanıcı oluşturulan ara yüze verileri girdikten sonra üretim başlamaktadır (Şekil 3.43). Örneğin, rastgele seçilen bir konut tipinde binanın yüksekliği, x ve y eksenindeki genişlikleri, oturum alanı ve bakış yönü önceden belirlenen sabit değerler arasından seçilip ilerleyerek üretim yapılmaktadır. Pareto genetik algoritma kullanılarak üretilen kitlesel konutlar belirlenen uygunluk değerlerine (Taban alanı, emsal , iklim ,manzara ve rüzgar) göre puanlanmaktadır. En yüksek puanı alan çözümler sonraki nesile aktarılmakta ve optimum sonuç elde edilene kadar süreç devam etmektedir. Son aşamada ise pareto optimal çözümler kullanıcıya görselleştirilir (Aksoy Y. , 2016).



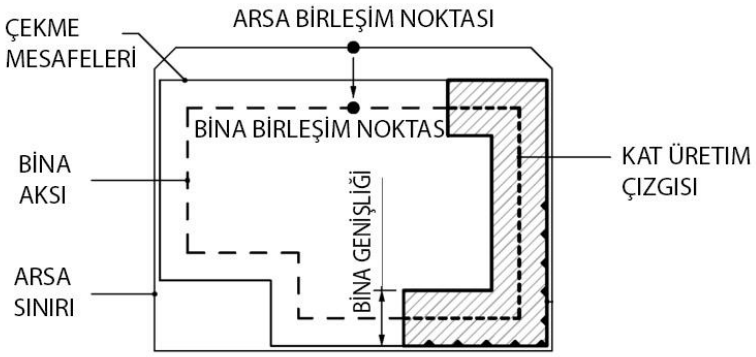
Şekil 3.43 (a) Üç blok tipiyle üretilen 15. nesil üyeleri, (b) 15. neslin en yüksek puanlı bireyi (c) modelin algoritması (Aksoy Y. , 2016).

Jansen & Piątek (2020), bilgi tabanlı karar vermeyi kolaylaştırmak amacıyla Polonya yapı yönetmeliğini esas alarak bir arsayı analiz edip, arsaya en uygun bina formunu öneren MOT (Mass Optimization Tool) adlı bir kod yazmışlar ve bu kodu çok sayıda farklı parsel üzerinde denemişlerdir. Çalışma kapsamında konut bloğunun 3 boyutlu modeli yasal kısıtlamalar doğrultusunda üretilip analiz edildikten sonra binalar; bakış açısı, gün ışığı eldesi, maksimum oturum alanı ve bina yoğunluğu (bütünlüğü) açısından Wallacei X eklentisi ile optimize edilmiş, elde edilen en iyi sonuçlar parametreleriyle görselleştirilmiştir (Jansen & Piątek, 2020).

Modelin ile aşamasında girdiler belirlenmiştir: Arazi sınırları, yapılaşma alanı sınırları, bina kabuğunun çevre sınırları, minimum ve maksimum bina genişliği, oturum alanının arsa alanına oranı, toplam inşaat alanının arsa alanına oranı, maksimum bina yüksekliği, yakın çevredeki binaların form ve yükseklikleri (Şekil 3.44).

İkinci aşamada, girilen verilere göre algoritma bir geri besleme döngüsünde oluşturur. Yeni parametreler hesaplanır ve kullanıcıya sunulur. Bu geri bildirim aşaması ile ilk aşamada tanımlanan kısıtlamalar, aşama 3'e geçmeden önce ayarlanabilir (Jansen & Piątek, 2020).

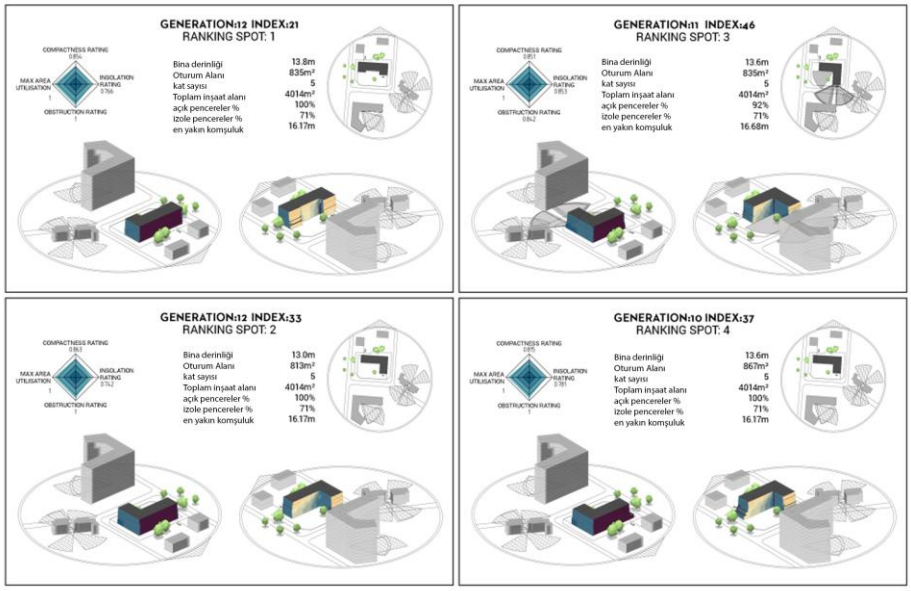
Üçüncü aşamada algoritma, her kat için binanın genişliği ve uzunluğunu tanımlayacak gen değerleri seçer. Generatrix' in (yapıcı-üretici çizginin) uzunluğu, ekseni boyunca ölçülen tüm binanın uzunluğudur (Jansen & Piątek, 2020).



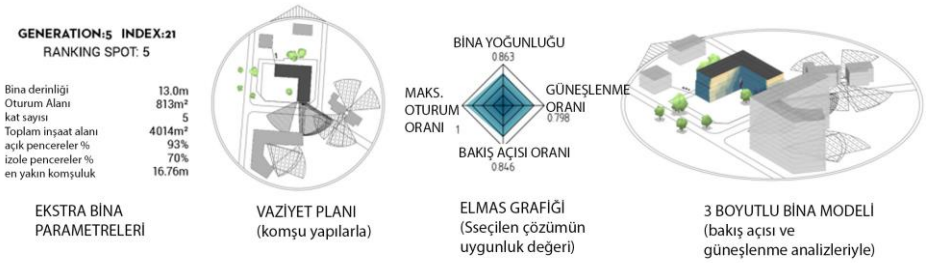
Şekil 3.44 Geometri oluşumu (Jansen & Piątek, 2020).

Dördüncü aşamada ise belirlenen uygunluk değerlerine göre (bakış açısı, gün ışığı eldesi, maksimum oturum alanı ve bina yoğunluğu) değerlendirme yapılmıştır (Şekil 3.45).

Beşinci aşamada, mevcut neslin çözümleri rastgele eşleştirilir. Oluşan optimum çözümün genleri diğer genlerle çaprazlanarak bir yavru oluşturulur. Mutasyon işleminden sonra oluşan tüm yavrular popülasyona eklenir. Son aşamada çözümler analiz edilir ve kullanıcı tercihine bağlı olarak en iyi çözüm seçilir (Jansen & Piątek, 2020).



(a)



(b)

Şekil 3.45 (a) MOT kodu ile üretilen konutlardan seçilen en iyi dört çözüm, (b) bir çözümün detaylı analizi (Jansen & Piątek, 2020).

Tablo 3.1 ve Tablo 3.2 ‘de konut ve kitlesel konut tasarımında üretken tasarım araçlarının kullanıldığı çalışmalar özetlenmiştir.

Tablo 3.1 Konut tasarımında üretken tasarım araçlarının kullanıldığı çalışmalar

Konut Tasarımında Üretken Tasarım Araçlarının Kullanıldığı Çalışmalar

Çalışmanın Adı	*Türü*	*Yazarı*	*Yılı*	*Kurum*	*Amaç*	*Metodoloji*	*Araç*	*Bulgular-Sonuç*
The Palladian Grammar	Dergi Makalesi	Stiny, G; Mitchell ; WJ	1978	Environment and Planning B	Palladio'nun villalarının kat planlarını oluşturan parametrik biçim grameri kurallarının belirlenmesi	Alan Çalışması-Biçim Türetimi	Biçim Grameri	Biçim grameri kuralları Villa Malcontenta'nın planını oluşturmak için uygulanmıştır.
The Language of the Prairie: Frank Lloyd Wright's prairie	Dergi Makalesi	Koning, H.; Eizenberg, J.	1981	Environment and Planning B	Frank Lyod Wrigth'ın kır evinin biçim kurallarının açığa çıkarılması	Alan Çalışması-Biçim Türetimi	Biçim Grameri	yeni tasarımların oluşturulabileceği özyinelemeli dilbilgisi kuralları tanımlanmıştırve bu kurallarla üç yeni kır evi adım adım üretilmiştir.
More Than The Sum of Parts: The Grammar of Queen Anne houses	Dergi Makalesi	U. Flemming	1987	Environment and Planning B,Planning and Design	Queen Anne Evleri'nin kat planlarının çözümlenmesi ve dil yapısına uygun yeni üretimlerin yapılması	Alan Çalışması-Biçim Türetimi	Biçim Grameri	Queen Anne evlerinin gramerline uygun yeni planlar oluşturulmuş,tasarım sürecinde biçim grameri kullanımının kısıtlılıkları ve avantajları değerlendirilmiştir.
A Shape Grammar: The Language of Traditional Turkish Houses	Dergi Makalesi	Gülen Çağdaş	1996	Environment and Planning B,Planning and Design	Geleneksel Türk evlerinin dilinde parametrik şekil grameri oluşturmak	Alan Çalışması-Biçim Türetimi	Biçim Grameri	Tasarım bilgisi kural şemalarıyla açığa çıkarılmıştır. Oluşturulan dilbilgisi kuralları ile yeni tasarımlar üretilebilir
Amasya Yalıboyu Evleri Üzerine Bir Biçim Grameri Çalışması	Yüksek Lisans Tezi	Orkan Zeynel Güzelci	2012	İstanbul Teknik Üniversitesi	Amasya Yalıboyu Evleri'nin kat planlarının çözümlenmesi, yeniden yorumlanarak üretilmesi	Alan Çalışması-Biçim Türetimi	Biçim Grameri	Amasya Yalıboyu Evleri'nin dil gramerine uygun yeni ev planları üretilmiştir.
Façade form-finding with swarm intelligence	Dergi Makalesi	Aslı Ağırbaş	2019	Automation in Construction	sürü zekasının mimari form oluşumu ve cephe üretiminde kullanımı	Rhino grasshopper	Sürü Zekası-Çoklu Etmenler	morfodinamik ve morfogenetik yaklaşımlar sentezlenerek oluşturulan cephe alternatifleri, gün ışığı alımına göre değerlendirilmiştir
Computational Architecture	Web sitesi	Michael Hansmeyer	2003	https://www.michael-hansmeyer.com/i-systems	Üç boyutlu tasarım ortamında hacimsel formlar oluşturmak	Algoritmik Tasarım	L-Sistemler	L-Sistemlerin üretim mantığı modüler tasarım ve üretim süreçleri uygun olması,tanımlara eklenecek yeni değişkenler ile daha esnek ve uyarlanabilir tasarımlar üretilebilmesi.
Opera	Kitap	Cedric Price	2003	Wiley-Academy	tasarım aşamasında alternatif türetme, kullanım aşamasında bina yapısında meydana gelecek değişiklikleri forma yansıtmak		Hücresel Özdevinim	Mikro denetleyici özelliği ile ilk akıllı bina projesidir. İnsanlar arası sosyal etkileşimi ön planda olduğu esnek tasarımdır.
The use of Cellular Automata to explore bottom up architectonic rules	Konferans Bildirisi	Coates, Paul; Healy, N.; Lamb, C.; Voon, W.L.	1996	Eurographics UK Chapter 14th Annual Conference	mimari formların çeşitliliğini arttıran hücresel özdevinim tabanlı bir üretken tasarım sisteni oluşturmaktır	CAM Đ 8	Hücresel Özdevinim	Hücresel özdevinim yöntemiyle esnek tasarımlar üretilmiş ve malzeme kullanımı modele entegre edilmiştir.
A Genetic Search Approach to Space Layout Planning	Architectural Science Review	Jo, Jun H.; Gero, John S.	1995	Architectural Science Review	kat planı alan optimizasyonu		Genetik Algoritmalar	İki boyutlu kat planı alternatifleri üretilmiştir.
GALLO: A Genetic Algorithm for Floorplan Area Optimization	Dergi Makalesi	Rebaudengo, Maurizio; Reorda, Matteo Sonza	1996	IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems	kat planı alan optimizasyonu		Genetik Algoritmalar	odaların boyut ve komşuluk ilişkilerini temel alınarak kat planı alternatifleri buluşsal operatörlerle üretilmektedir.
The Generation Of Form Using An Evolutionary Approach	Rapor	Rosenman, M. A.	1997		kat planı alan optimizasyonu		Genetik Algoritmalar	hiyerarşik büyüme modeli temeline dayarak üret ve test et yaklaşımla kat planları üretilmektedir
Genetic Algorithms in Support of Creative Architectural Design	Konferans Bildirisi	Elezkurtaj, Tomor; Franck, George	1999	eCAADe17	kat planı alan optimizasyonu		Genetik Algoritmalar	Genetik algoritmalar ve evrimsel stratejinin birlikte kullanımı ile kullanıcı etkileşimli modelde at planı alternatifleri üretilmektedir.
An Evolution-Based Generative Design System: Using Adaptation to Shape Architectural Form	Doktora Tezi	Caldas, Luisa Gama	2001	Massachusetts Institue of Technology	üretken konut tasarımı yapan model geliştirilmesi	Alan Çalışması	Genetik Algoritmalar	Mimari tasarım sürecine çevresel etmenlerin adaptasyonu entegre edilerek 3 boyutlu konut üretimleri yapılmıştır.
Bütünleşik Üretken Tasarım Sistemi ile MVRDV Silodam Projesi için Cephe Üretken Sistem Önerisi	Konferans Bildirisi	Orkan Zeynel Güzelci	2013	Sayısal tasarım entropi yaratıcılık	üretken tasarım araçlarının birbirleriyle ilişkilerini gözlemlemek ve farklı teknikleri birarada kullanabilmek	Alan Çalışması	Genetik Algoritmalar + Biçim Grameri	Silodam Projesinin cepheleri biçim grameri ile analiz edilerek benzer dil yapısındaki yeni üretimler GA'lar ile yapılmıştır.

Tablo 3.2 Kitlesel konut tasarımında üretken tasarım araçlarının kullanıldığı çalışmalar (GA'lar hariç)

Kitlesel Konut Tasarımında Üretken Tasarım Araçlarının Kullanıldığı Çalışmalar (GA'lar Hariç)								
Çalışmanın Adı	***Türü***	***Yazarı***	***Yılı***	***Kurum***	***Amaç***	***Metodoloji***	***Araç***	***Bulgular-Sonuç***
Customizing Mass Housing: A Discursive Grammar for Siza's Malagueira Houses	Doktora Tezi	Jose Pinto Duarte	2001	Massachusetts Institute of Technology	Malagueira Evleri'nin tasarım kriterleri biçim ve fonksiyona göre analiz edilmesi ve hesaplamalı tasarım yöntemi oluşturulması	Alan Çalışması-Biçim Türetimi	Biçim Grameri	Oluşturulan uzman sisteme, analiz edilen biçim gramerinin kuralları tanımlanarak Malagueira Evleri'nin tasarım dilinde üç boyutlu konut alternatifleri üretilmiştir.
Yüksek Yapıların Kavramsal Tasarım Sürecinde Üretken Yaklaşımlar	Yüksek Lisans Tezi	Emre Cestel	2008		yüksek yapıların kavramsal tasarım aşamasında L-Sistemleri' in kullanımı	Parametrik Model	L-Sistemler	alternatif yüksek yapı formları oluşturulmuştur.
Adapting cellular automata to support the architectural design process	Dergi Makalesi	Herr, Christiane M.; Kvan, Thomas	2007	Automation in Construction	yüksek yoğunluklu konut tasarımda hücresel özdevim yönteminin kullanılması	Autodesk VIZ	Hücresel Özdevinim	kullanıcıya esnek imkanlar sunarak kitlesel konut varyasyonları arttırılmıştır.
Hücresel Özdevinim Yaklaşımı ile Kitlesel Konut Tasarımında Sayısal Bir Model	Doktora Tezi	Ahmet Emre Dinçer	2014	İstanbul Teknik Üniversitesi	Toplu konutların ön tasarım aşamasında varyasyonlar üretilmesi	3Ds Max	Hücresel Özdevinim	belirlenen HÖ kuralları ve kullanıcı etkileşimli ara yüz ile üç boyutlu tasarım alternatifleri üretilmektedir

3.3 Bölüm Değerlendirmesi

Üretken tasarım araçları; teknik, tasarım ve sistem geliştirme etkenleri açısından değerlendirilmiştir (Singh & Gu, 2012).

Teknik açısında değerlendirildiğinde (Singh & Gu, 2012);

- Hücresel özdevinim, paralel hesaplamalı süreçlerde birden çok etmenin etkileşimli olduğu ortamı ve mevcut ortamdaki değişimleri simüle etmek için elverişli bir kullanıma sahiptir.
- Biçim gramerleri ve L-Sistemler 'de, kademeli olarak büyüyen form tabanlı oluşumlar mevcuttur. HÖ her zamana bağlama duyarlı ve kısıtlı bir yapıdayken, BG ve LS'de kısıtlılık tercihe bağlıdır.
- Sürü zekası, HÖ'ye benzer olarak paralel hesaplama işlemi yapmakla birlikte birimler arasında öz örgütlenme simülasyonu da yapmaktadır. Hücre durumları ve komşuluk ilişkileri HÖ'de paralel süreci belirlerken, SZ 'de etmenlerin bağımsız davranışları süreci tanımlar.
- Genetik Algortimalar, sadece çözüm kümesi değil, çözümü oluşturacak etmenler üzerindeki değişimler, dönüşümler vb. işlemlere dayanır. GA 'da süreç ve etmenlerin kontrolünün koşula bağlı olmayışı her aşamada farklı tasarımların üretilmesine olanak sağlar. GA 'ların rastgele tasarımlar üretebilme özelliği BG ve L-sistemlere kıyasla modelleme sürecini kolaylaştırır. GA'ların zorlayıcı tarafı genlerin, kromozomların ve uygunluk fonksiyonlarının doğru ve yeterli biçimde seçilebilmesidir. HÖ ve SZ de paralel hesaplama süreci yerel seviyede iken, GA'da küresel ölçekte çözüm kümelerinin taranması söz konusudur.

Tasarım açısından değerlendirildiğinde (Singh & Gu, 2012);

- Üretken tasarım tekniklerinin bazıları özelleşmiş tasarım hedeflerine diğerlerinden daha uygun olabilmektedir. Örneğin GA'ların her nesilde artan kalitede çözüm üretebilen yapısı, sıklıkla tasarım optimizasyonunda kullanılmasına neden olmaktadır.
- BG ve LS, ilk şekil üzerine tanımlanan kuralların yinelemeli olarak uygulanması sonucunda şekil veya desen üretir. Bu nedenle son biçime

ulaşılabilmesi, tasarımın görselleştirilmesi ve geliştirilebilmesi zordur ve çok sayıda tekrarlayan denemeler içerebilir. BG ve LS de ortaya çıkan form sonradan işlevselliği açısından tasarımcı tarafından değerlendirilir. BG genellikle iki boyutlu biçim kompozisyonlarının ve kat planı şemalarının üretiminde, nadiren 3 boyutlu üretimlerde kullanılmaktadır. LS tekrar eden dokuların, fraktal ve organik formaların oluşumunda kullanılmakla beraber tasarımda daha çok ulaşım ağlarının ve kent dokusunun oluşturulasında kullanılmaktadır.

- Bağlama duyarlı yapısıyla HÖ de form fonksiyonu izler. İşlevsellik kullanıcı tarafından önceden tanımlandığı için oluşan form işlevselliği karşılar. HÖ daha çok kent ölçeğinde tasarım sorunlarının çözümünde, parselasyon ve blok tasarımlarında ve önceden tanımlanan koşullar altında komşuluk ilişkilerinin sosyal etkilenin saptanmasında kullanılmaktadır.

HÖ ve SZ, davranışsal etkilerin ön planda oluğu tasarımlar için, BG ve LS form üretimi için daha uygundur. GA'lar ise tasarım alanında rastlantısal keşiflere ulaşırken yönlendirilmemiş bir süreç izler fakat uygunluk fonksiyonları ile istenen optimum tasarıma ulaşmaya imkan sağlar.

Dijital tasarım sürecinde daha verimli bir tasarım elde edebilmek için kullanıcı ve tasarım aracının etkileşimi oldukça önemlidir. Sistem geliştirme açısından değerlendirildiğinde (Singh & Gu, 2012);

- BG ve LS kurallarının oluşturulması ve geliştirilmesi fazla sayıda tekrar içeren zaman alıcı bir süreçtir. HÖ' de hücrelerin komşuluk ilişkilerinin ve durumlarının tanımlanması daha kısa bir zamanda gerçekleştirilebildiği için BG ve LS 'ye oranla dijital tasarım aracına dönüşmüş daha çok uygulama mevcuttur.
- SZ da ise genellikle basit şekilde birbirinden ayrılabilen ajanların yönlendirilmeleri ile uygulamalar yapılmaktadır.
- GA 'da ise genlerin ve uygunluk fonksiyonlarının doğru bir şekilde tanımlanması verimli ve kullanışlı bir GA aracı geliştirmek için en önemli özelliktir.

Kitlesel konut projelerinin üretimindeki karmaşık ilişkiler bir kat düzleminde çözülerek diğer katlar boyunca aynı plan şeması kopyalanır. Devamında tekdüze plan şemasından oluşan blok, toplam inşaat alanı gereksinimi karşılanıncaya kadar arazi üzerinde çoğaltılır. Geleneksel tasarım sürecinde uzun zaman alan bu yöntem hesaplamalı tasarım yöntemleri ile çok kısa sürede tamamlanabilmektedir. Burada tasarımcı sadece son ürüne odaklanmakta ve süreçten bağımsız olarak üretim yapılmaktadır. Oysaki bu yaklaşımın yerine tasarımcının öngöremeyeceği birleşim ve oluşumları ortaya çıkarabilecek olan üretken tasarım araçlarının algoritmik yapısı ile süreç planlanarak optimize edilmiş bir ya da daha fazla sonuç ürünlerine ulaşılabilir. Algoritmalarda rastgele birleşimler ve olasılıklar kullanılarak sonucu tahmin edilemeyen üretimler yapılabilmektedir. Örneklerle incelenen üretken tasarım araçları değerlendirildiğinde her birinin benzer ya da farklı çözümler ortaya çıkabileceği, farklı işleyişe ve tasarıma sahip olduğu görüşmüştür.

Belirlenen uygunluk fonksiyonları ile istenen optimum tasarıma ulaşma sürecinde GA'Ların süreç ve etmen kontrolünün koşuldan bağımsız oluşu yönlendirmeyi engelleyerek mimari tasarım aşamasında rastlantısal keşiflere ulaşabilme imkanı sağlar. Aynı zamanda her nesilde artan kalitede çözüm üretebilme özelliği ile de tasarım optimizasyonlarında sıklıkla tercih edilmektedir. Bu nedenle çalışma kapsamında kitlesel konutların araziye yerleşim alternatiflerinin üretilmesi amacıyla GA'lar seçilmiştir.

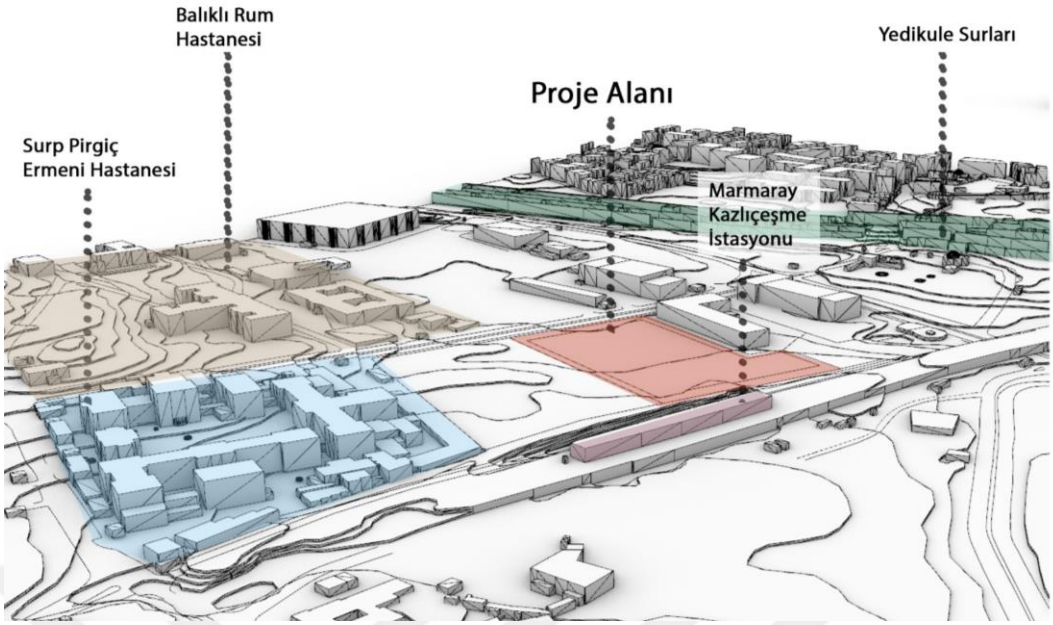
4
ALAN ÇALIŞMASI; GENETİK ALGORİTMALARLA KİTLESEL KONUT TASARIMI DENEMESİ

4.1 Proje Alanı ve Özellikleri

Proje alanı İstanbul İli Zeytinburnu İlçesi Kazlıçeşme Mahallesi'nde, Surp Pirgiç Hastanesi'nin doğu sınırında ve Marmaray Kazlıçeşme İstasyonunun kuzeyinde Sur Tecrit Alanında yer almaktadır (Şekil 4.1, Şekil 4.2).



Şekil 4.1 Proje alanının İstanbul'daki konumu (üstte), proje alanının Zeytinburnu'ndaki konumu (altta)



Şekil 4.2 Proje alanı

- **Bölgenin Tarihi**

İstanbul'un en eski yerleşim alanlarından olan Zeytinburnu'nda tarihi, dini, sosyal, kültürel yapılar ve sağlık yapıları yer almaktadır. Tarihi gelişim sürecinde Zeytinburnu ilçesi Roma, Bizans ve Osmanlı Devleti dönemlerinde sur dışı alan olarak nitelendirilmekte ve yerleşim alanı olarak görülmemektedir (Arslankaya, 2016). 1453 yılında İstanbul'un fethinden sonra çok eski dönemlerden beri kent merkezinde yaşayan Rumlar ile Türkler arasında anlaşmazlık çıkmış ve Kudüslü Papazlar olarak bilinen din adamlarında oluşan bir grup İstanbul'dan ayrılarak, bugün Zeytinburnu olarak adlandırılan bölgeye yerleşmişlerdir. Bu döneme kadar İstanbullular için bir mesire alanı olarak hizmet eden Zeytinburnu'nda yerleşik hayat başlamıştır. Bölgeye yerleşimi büyük ölçüde etkileyen diğer olay ise Kazlıçeşme' de kurulan dericilik sanayidir (Zeytinburnu Belediyesi, 2015).

Türkiye'de 150 yıldan fazla geçmişe sahip olan Dericilik Sanayisinin tarihçesi Kazlıçeşme' de başlamıştır. 1850 yılında Bez Fabrikası, 1923 'te Mensucat Santral Fabrikası ve 1927 yılında dokuma sanayinin kurulması ile bölge ekonomik olarak kalınmaya başlamıştır. 1946 yılından itibaren gelişen sanayi ile alt gelir grubuna mensup olan tekstil ve konfeksiyon işçilerinin bölgeye yerleşiminin artması sonucunda Türkiye'de en erken gecekondu örnekleri bu alanda görülmeye başlanmıştır (Zeytinburnu Belediyesi, 2015). 1950'den sonra bölgenin yerleşim

biçimini sanayiler ve gecekondular olmuştur. 1984'ten itibaren bölgede hızlı bir apartmanlaşma ve yasa dışı yapılaşma süreci başlamıştır (Arslankaya, 2016).

- **Arazi Kullanım Karaları/ Kısıtlamalar**

Zeytinburnu Belediyesi İmar Bilgileri doğrultusunda proje alanı 3344 Ada / 5 Parsel olup, Ticari Hizmet Alanı (TH) Lejantında yer almaktadır (Şekil 4.3)(Tablo 4.1).

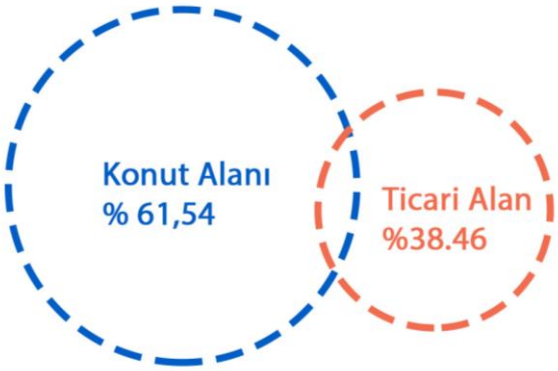
Tablo 4.1 Proje bilgileri

Proje Bilgileri	
Arsa Alanı	13.085 m²
KAKS	1
TAKS	0,5
Emsale dahil alan (Arsa Alanı x KAKS)	13,085 m²
Sirkülasyon %30	3926 m²
Emsale Dahil Toplam Alan	17011 m²
Taban Alanı (Arsa Alanı x TAKS)	6543 m²
Emsal Harici Alan (Bodrum Kat)	6543 m²
Toplam İnşaat Alanı	23553 m²

Çalışma kapsamında bodrum katlar göz ardı edilerek form oluşumunu etkiyecek olan zemin kat (ticari alan) ve normal katların (konut alanları) tasarımına odaklanılmış, bu nedenle hesaplamalarda Toplam İnşaat Alanı= 17.011 m² üzerinden yapılmıştır (Şekil 4.4).



Şekil 4.3 İmar durumu bilgileri (Zeytinburnu Belediyesi , 2022)



Şekil 4.4 Bina programı

4.2 Üretken Modelin Oluşturulması

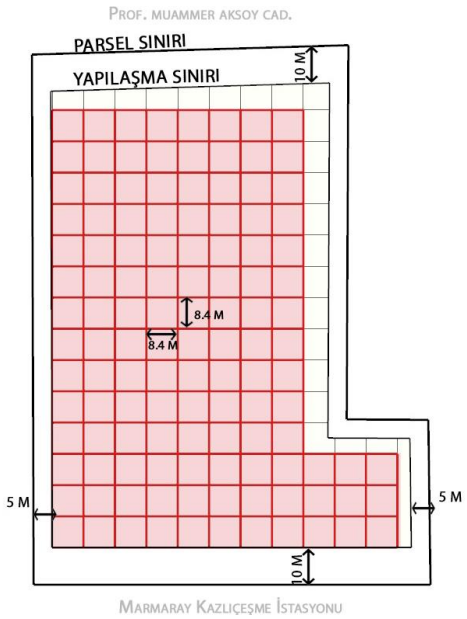
Modelin oluşumu 5 aşamada gerçekleşmiştir. İlk aşamada arazi verileri tanımlanarak gridal sistemle temsil edilmiştir. İkinci aşamada Grasshopper'da parametrik tasarım kuralları ve değişkenler belirlenmiştir. Üçüncü aşamada NSGA - II tabanlı Wallacei X eklentisi ile kitlesel konut üretimleri yapılmıştır. Dördüncü aşamada, yapılan üretimler sonucunda oluşan çözümler analiz edilmiş ve değerlendirilmiştir. Son aşamada ise üç farklı seçim yöntemi uygulanarak çözümler arasından seçimler yapılmıştır (Şekil 4.5).



Şekil 4.5 Modelin oluşum aşamaları

4.2.1 Arazinin Tanımlanması (1. AŞAMA)

İlk aşamada, araziyi kapsayan yakın çevre modeli Rhino'da oluşturulmuştur. Parsel sınırları ve çekme mesafeleri sınırı Rhino'dan Grasshopper' a eğri(curve) olarak tanımlanmıştır. Ana caddelerden 10 m, komşu parsellerden 5 m olacak şekilde çekme sınırı içerisinde kalan alan yapılaşma sınırı olarak tanımlanmıştır. Yapılaşma sınırı içerisindeki alan 8.40 m x 8.40 m ölçülerinde gridal sisteme ayrılmış, grid dışı oluşumlar elenmiştir (Şekil 4.6).



Şekil 4.6 Arazinin tanımlanması

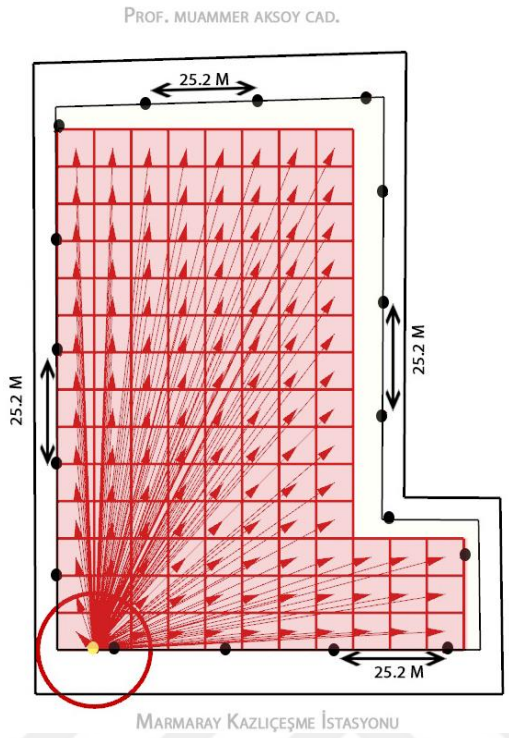
4.2.2 Kuralların ve Değişkenlerin Belirlenmesi (2. AŞAMA)

Modelin 2. Aşamasında belirlenen kurallar ve değişkenler doğrultusunda ticari alan ve konut alanlarının kat planları oluşturulmuştur.

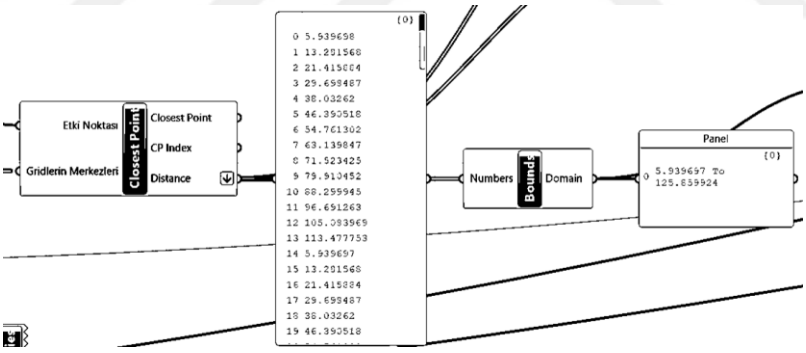
- **Ticari Alan Kat Planının Oluşturulması**

Bu adımda ticari alan kat planı için yapılaşma sınırı çevresi, 25.2m'lik (8.40m * 3) aralıklar olacak şekilde bölünerek, bölüm noktaları kullanıcı seçimine bağlı olarak değişebilen noktalar olarak tanımlanmıştır (Şekil 4.7). Bu noktalar arasından seçilen etki noktasının, gridlerin merkezine olan uzaklıkları hesaplanmış ve gridlerin seçimi

için değer aralığı olarak tanımlanmıştır (Şekil 4.8). Çalışma kapsamında seçilen etki noktasında Marmaray Kazlıçeşme İstasyon çıkışı referans alınmıştır.

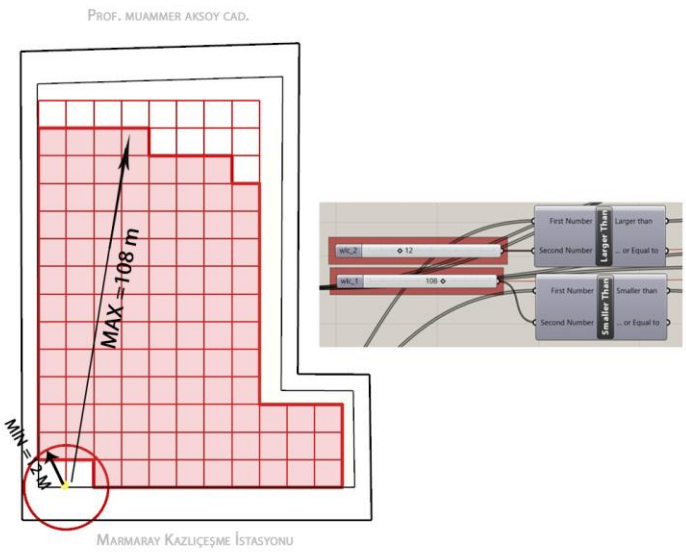


Şekil 4.7 Etki noktasının gridlerin merkezine olan uzaklıkları



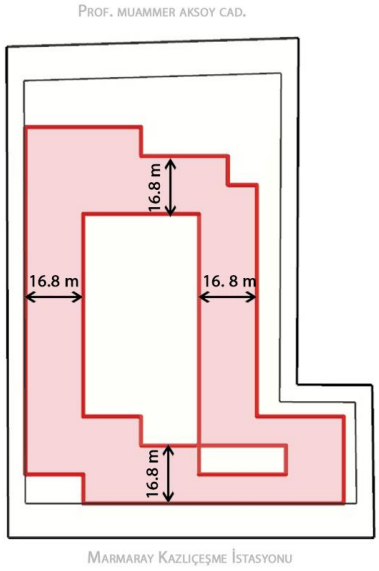
Şekil 4.8 Uzaklıkların değer aralığı olarak tanımlanması

Etki noktasından belirlenen maksimum ve minimum uzaklıktaki gridlerin seçimi yapılmış ve bu gridlerin kesişim kümeleri ticari kat planının dış hattını oluşturmuştur. Bu oluşum modelde işlenmemiş kat planı olarak adlandırılmaktadır (Şekil 4.9).



Şekil 4.9 Ticari alan işlenmemiş kat planının oluşturulması

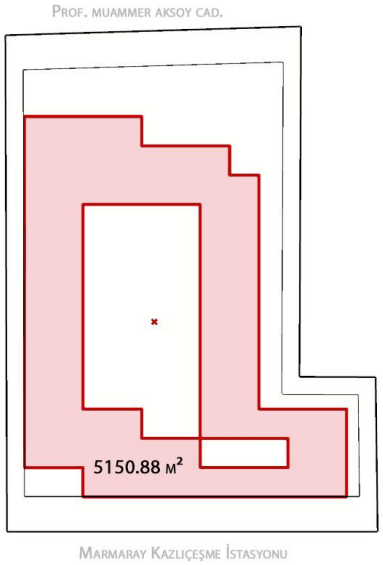
Ticari alanda maksimum bina derinliğini sağlamak için, işlenmemiş kat planı içe doğru 16.4m offsetlenerek orta boşluklar oluşturulmuştur. Çalışma kapsamında yarı açık alanların tasarlanabilmesi amacıyla ticari işlevli olan zemin katta orta boşluk sadece 1. Normal kata kadar devam etmektedir (Şekil 4.10).



Şekil 4.10 Ticari alan orta boşluğunun oluşturulması

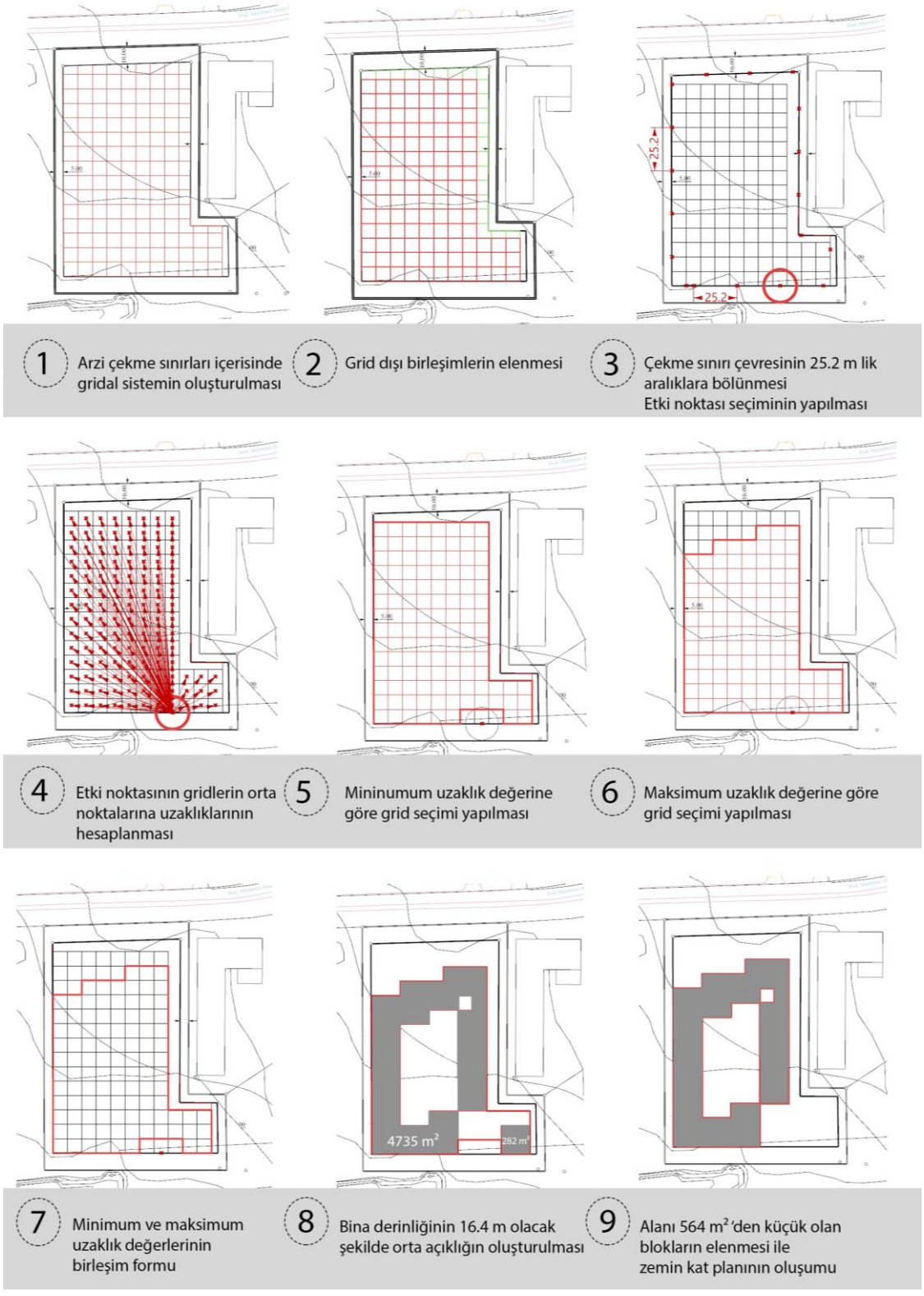
Ticari alanın oluşumunda son aşamada ise ortaya çıkan her bir bloğun alanları hesaplanarak, 564 m^2 den küçük alana sahip olan bloklar elenir. Bu üretimde ticari

alanı oluşturan bloğun alanı 564 m^2'den büyük olduğu için eleme yapılmamıştır (Şekil 4.11).



Şekil 4.11 Ticari kat blokları alan hesabı ve nihai plan

Ticari alanların oluşumu Şekil 4.12 'de gösterilmiştir.



Şekil 4.12 Ticari alan oluşumu

- **Konut Alanları Kat Planlarının Oluşturulması**

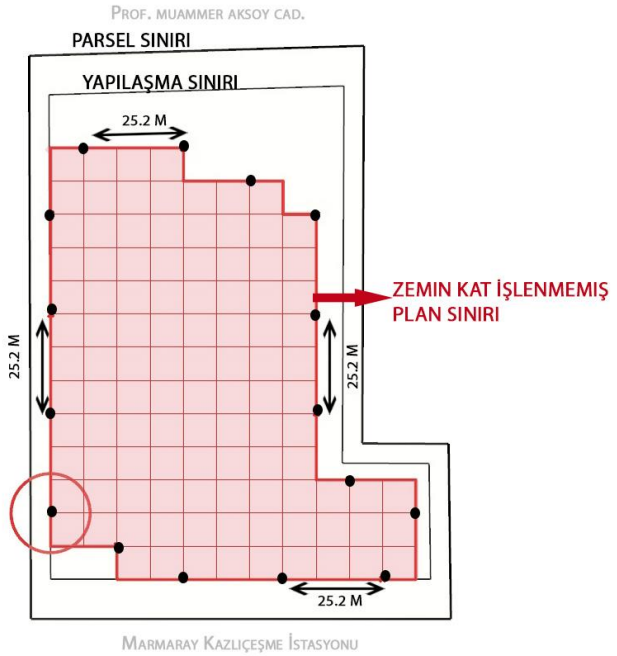
Konut alanları için,her bir normal katın oluşumunda bir önceki katın işlenmemiş kat planı referans alınarak hesaplamalar yapılır.

1. Normal Kat için zemin katın,

2. Normal kat için 1. Normal katın,

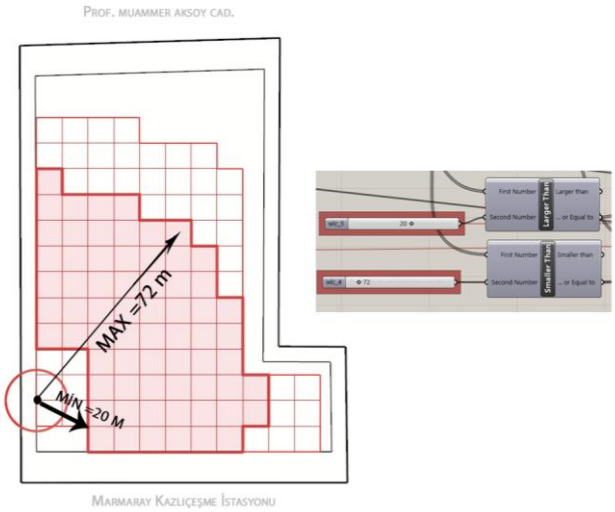
3. normal kat için 2. Normal katın, işlenmemiş kat planları alınarak 8,40 m x 8,40 m ölçülerindeki gridal sisteme yerleştirilir.

Plan Sınırı 25.2m'lik (8.40m * 3) aralıklar olacak şekilde bölünerek, konut alanları için etki noktası seçimi yapılır (Şekil 4.13) Seçilen etki noktasının, gridlerin merkezine olan uzaklıkları hesaplanarak, 1. Normal katın grid seçimi için değer aralığı olarak tanımlanır.



Şekil 4.13 Konut alanları etki noktası seçimi

Seçilen etki noktasından belirlenen maksimum ve minimum uzaklıktaki gridlerin seçimi yapılarak konut alanlarının 1. Normal kat işlenmemiş kat planı oluşturulmaktadır (Şekil 4.14). Bu işlem diğer normal katlarda da aynı etki noktası üzerinden yapılır.



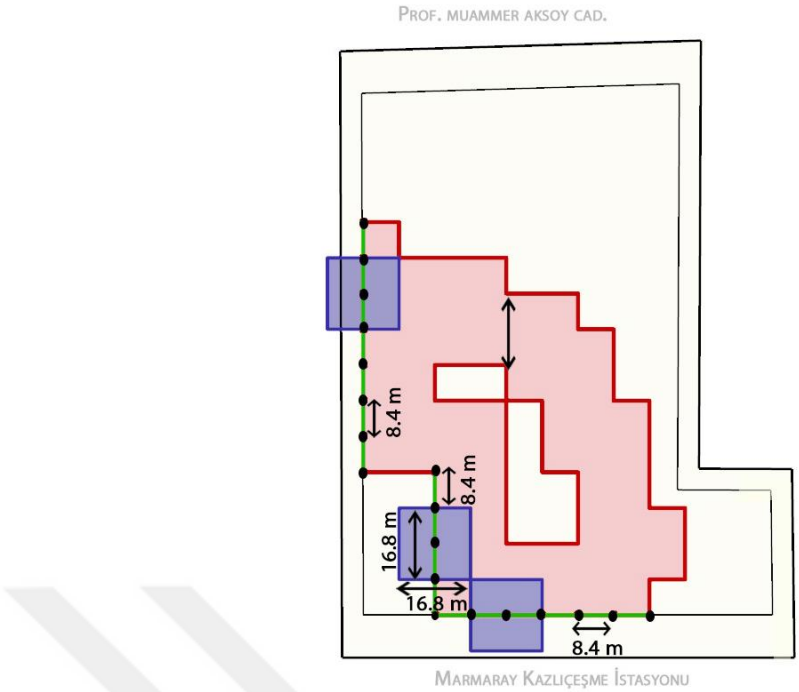
Şekil 4.14 Konut alanları işlenmemiş kat planının oluşturulması

Konut alanlarında maksimum bina derinliğini sağlamak için, işlenmemiş kat planı içe doğru 16.4m offsetlenerek orta boşluklar oluşturulur.1. normal katta oluşan boşluk diğer normal katlar boyunca devam eder (Şekil 4.15).



Şekil 4.15 Orta boşluğun konut alanları boyunca sürdürülmesi, sol: 1. normal kat, sağ: 3. normal kat

Bir sonraki aşamada ise konutlar için cephe uzunlukları hesaplanarak, uzunluğu 33.6 m'den fazla olan cepheler seçilmiştir. Bu cephelerde oluşturulan 8.4m 'lik bölünmeler noktalarla temsil edilerek seçilebilir hale getirilmiştir. Her bir kenar için seçilen bir noktaya merkezi bu nokta olacak şekilde 16.8m*16.8m ölçülerinde kareler yerleştirilmiş, cephede boşluklar oluşturulmuştur (Şekil 4.16).

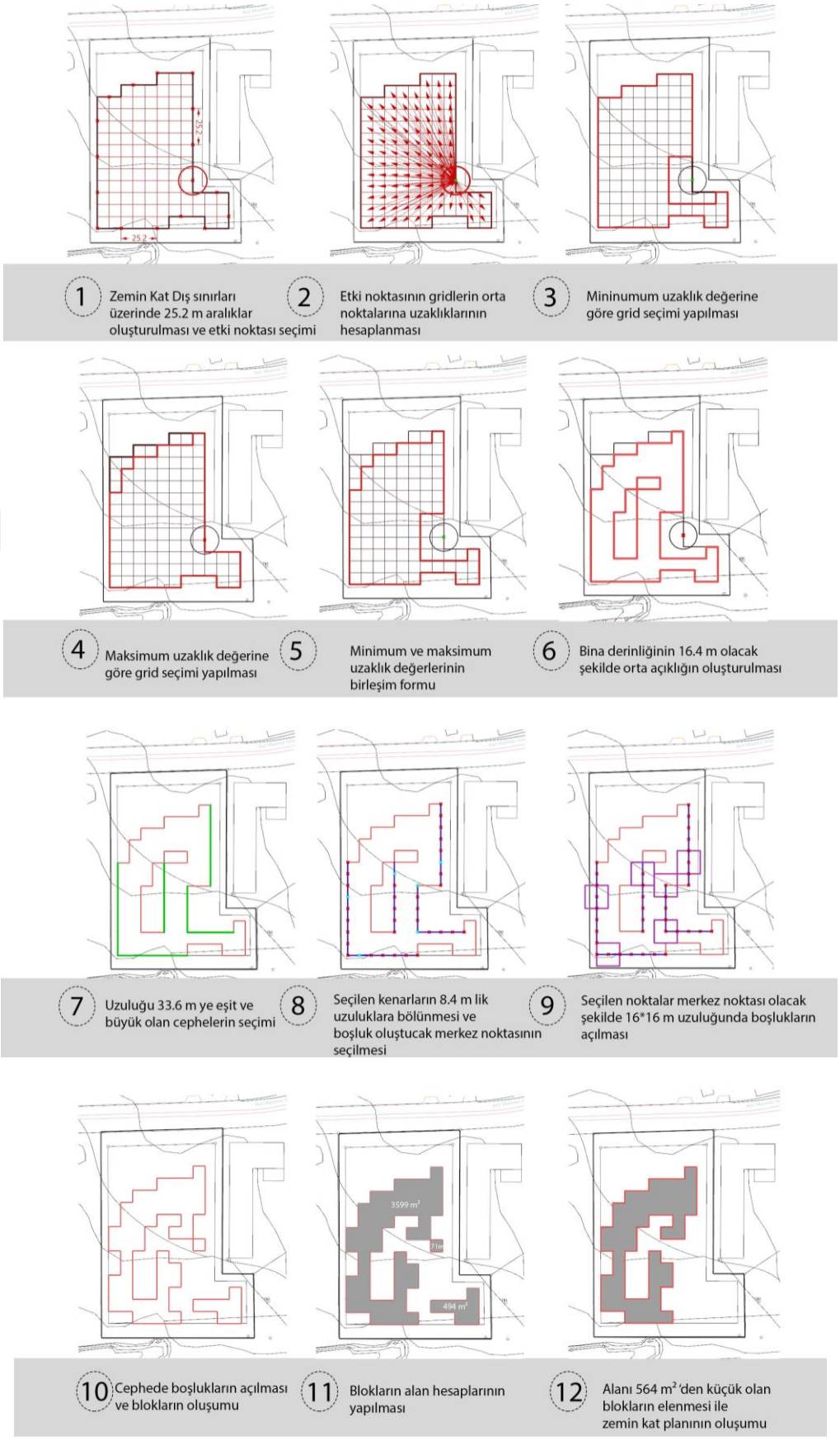


Şekil 4.16 Cephede boşlukların açılması (1. normal kat planı)

Sonraki aşamada kat bazında oluşan blokların her birinin alanları hesaplanarak alanı 564 m^2 den küçük olanlar elenmiş ve nihai kat planları oluşturulmuştur. (Şekil 4.17). Konut alanlarının oluşum aşamaları Şekil 4.18 'da belirtilmiştir.



Şekil 4.17 Alanı 564 m^2 den küçük blokların elenmesi (1. normal kat planı)



Şekil 4.18 Konut Alanlarının Oluşumu

4.2.3 Wallacei X- Genetik Algoritmalar ile Üretim Yapılması (3. AŞAMA)

Çalışmada kitlesel konutların üretimi için pareto optimum kavramının evrimsel algoritmalara uyarlanmasıyla geliştirilen çok amaçlı evrimsel optimizasyon algoritmalarından en başarılısı olarak kabul edilen NSGA-II algoritması tabanlı Wallacei X eklentisinden yararlanılmıştır.

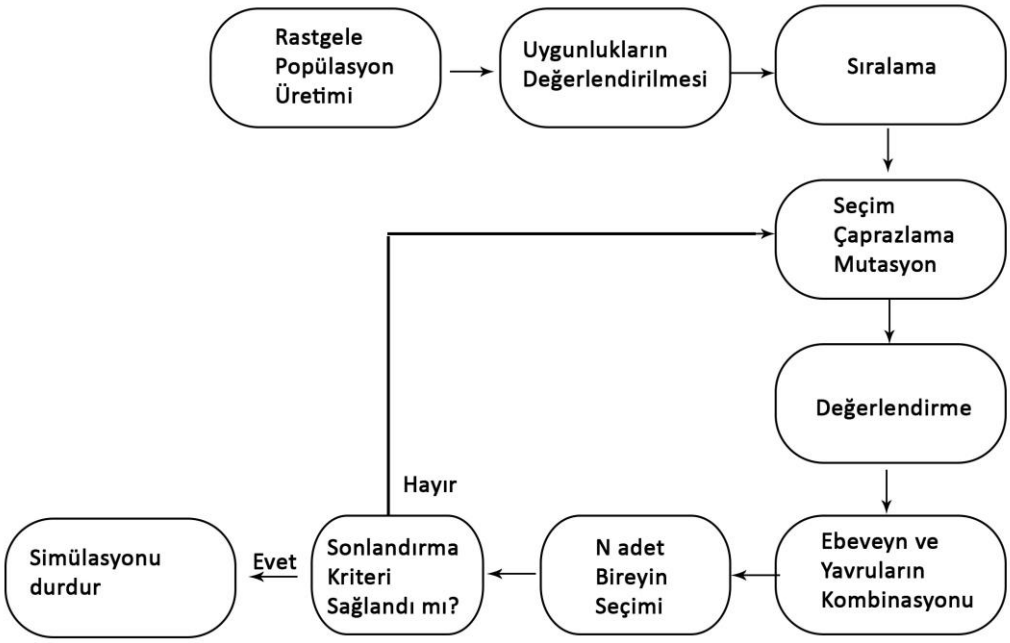
Mimari tasarım süreci gibi birden fazla amacı ve birbiriyle çelişen çözümleri içeren işleyişlerde tasarım probleminin optimize edilmesi amacıyla çok amaçlı genetik algoritmaların kullanımı yaygınlaşmıştır. Çok amaçlı optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılan pareto optimum analizinde çelişen amaçlar içerisinde kabul edilebilen düzeyde optimum çözümler bulunur (Chen, 2001). Pareto optimal çözümlerin oluşturulması ve düzenlenmesinde diğerlerine baskın olmayan çözümlerin sıralanması yöntemi kullanılır.

2002 yılında Deb ve arkadaşları tarafından geliştirilen NSGA-II algoritması (Bastırılmamış Sıralı Genetik Algoritma), diğer evrimsel optimizasyon algoritmalarına kıyasla daha basit yapıda olmakla beraber, hızlı işleyişe sahiptir ve çok amaçlı tasarım sorunlarının çözümüne uygundur(Deb, Agrawal, Pratap, & Meyarivan, 2000).

Wallacei'nin temeli, Mohammed Makki'nin doktora tezi kapsamında evrimsel algoritmalarda tasarım probleminin tanımlanması, sonuçların analizi ve optimize edilen sonuçların seçimine bağlı olarak yaptığı araştırmalara dayanmaktadır. Makki ve Showkatbakhsh 2018 yılında evrimsel simülasyon verilerini analiz edebilen bir araç olarak Wallcei'nin ilk sürümünü, devamında da Song'un da desteğiyle Wallacei X 'i sunmuşlardır.

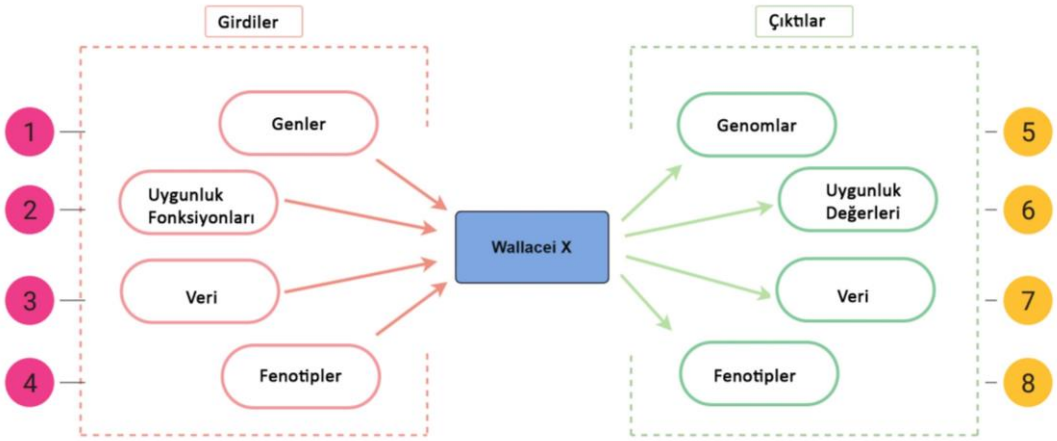
Wallacei (Wallacei Analytics ve Wallacei X'i içeren), kullanıcının evrimsel tasarım sürecini ve simülasyonunu gözlemleyerek detaylı olarak anlamasına ve bu doğrultuda modelde değişiklikler yapmasına imkan sağlayan bir evrimsel tasarım eklentisidir. Oluşturulma amacı her uzmanlık seviyesinden kullanıcının evrimsel tasarım sürecini kurgulayarak üretilen sonuçların analiz ve seçimini tek bir ara yüzde detaylı olarak gözlemleyebilmesidir (Makki, Showkatbakhsh, & Song, 2019) .

Eklentinin işleyişi şu şekilde özetlenebilir (Şekil 4.19):



Şekil 4.19 Wallacei X çekirdek algoritması (NSGA-II) sözde kodu(pseudocode) (Showkatbakhsh, Erdine, & Rodriguez, 2020).

Wallacei X'in işleyişi için gereken girdilerin ve simülasyon sonucunda elde edilen çıktıların parametreleri Şekil 4.20 'de gösterilmiştir.



Şekil 4.20 Wallacei X girdi ve çıktıları (Makki M. , Showkatbakhsh, Tabony, & Weinstock, 2019)

Girdi parametrelerinde;

1. Değişkenler (number sliderler ya da genepool aracılığıyla) genler olarak tanımlanır.
2. Uygunluk fonksiyonları maksimize ya da minimize edilecek şekilde tanımlanır.
3. Veriler her popülasyonda saklanması amacıyla eklenebilir.
4. Üretilecek çözümlerin dışa aktarım biçimini belirleyen fenotipler eklenir.

Simülasyon başlatılır ve hedeflenen sonlanma koşulu sağlandığında bitirilerek, çıktılar elde edilir:

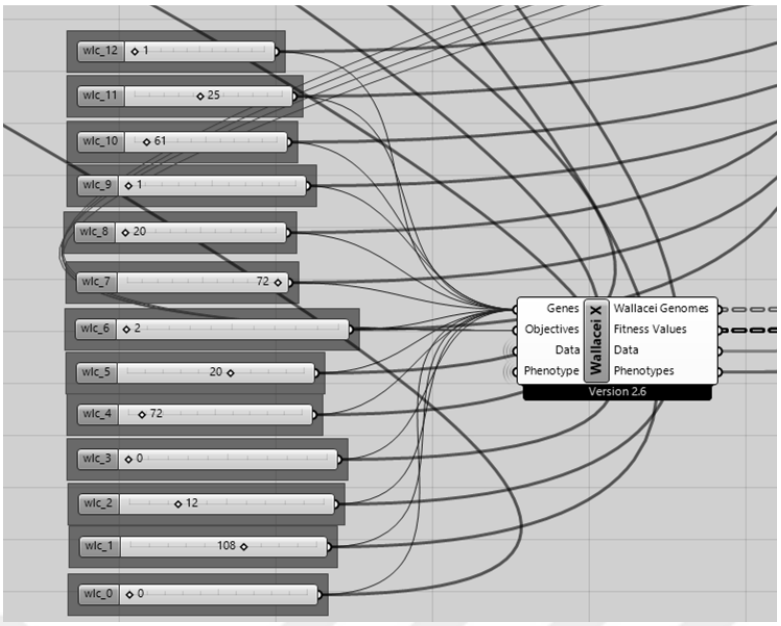
5. Popülasyona ait tüm çözümlerin genomları sayısal olarak çıkarılır.
6. Maksimize ya da minimize edilen uygunluk değerleri bulunur.
7. Popülasyondaki tüm çözümlerin girilen verileri çıkarılır.
8. Dışa aktarılan çözümlerin fenotipleri görselleştirilir.

- **Değişkenlerin Wallcei X'e Genler Olarak Eklenmesi**

Toplamda 13 adet değişken (number slider) bulunmaktadır (Tablo 4.1), (Şekil 4.21).

Tablo 4.2 Değişken dağılımları

Birimler		**Değişkenler (Number Slider)**			
		Etki Noktası	Maksimum Uzaklık	Minimum Uzaklık	Cephe Boşluğu
Ticari Alan		1	1	1	0
Konut Alanları	1. Normal Kat	1	1	1	1
	2. Normal Kat		1	1	1
	3. Normal Kat		1	1	1
	Toplam:	2	4	4	3
		13 Adet			



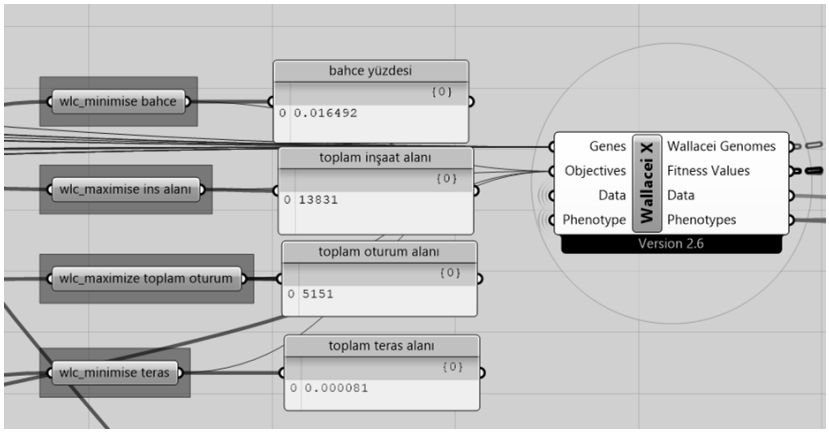
Şekil 4.21 Değişkenlerin gen olarak tanımlanması

- **Uygunluk Değerlerinin Wallacei X'e tanımlanması**

Bu yöntem kapsamında 4 uygunluk kriteri (Fitness Objectives) belirlenmiştir ve bunlar F01, F02, F03 ve F04 olarak adlandırılmıştır. Bunlar,

- Toplam Bahçe Oranı (%)
- Toplam İnşaat Alanı (m^2)
- Toplam Oturum Alanı (m^2)
- Toplam Teras Alanı

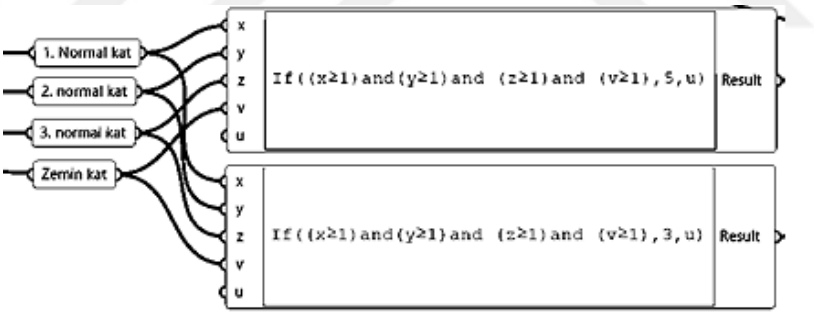
Optimizasyon için uygunluk değerlerinde maksimizasyon (x) ve minimizasyon (1/x) yapılmıştır. Toplam bahçe oranı ve teras alanı minimize edilirken, toplam oturum (TAKS) ve toplam inşaat alanı (KAKS) maximize edilmek üzere Wallacei'ye bağlanmıştır (Şekil 4.22).



Şekil 4.22 Uygunluk değerlerinin Wallacei X'e tanımlanması

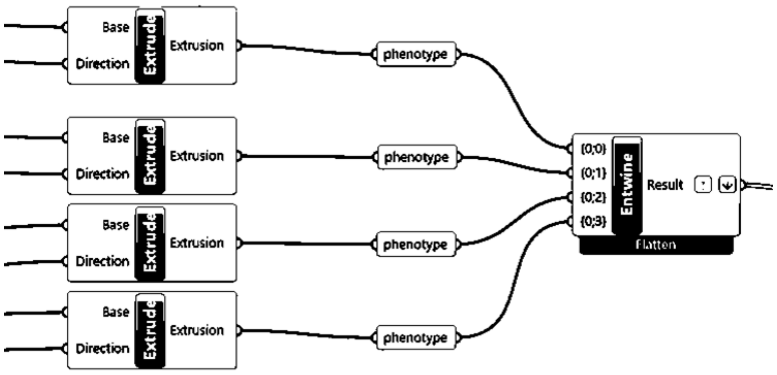
- **Fenotiplerin Belirlenmesi**

Modelde tanımlanan fenotipler üç boyutlu şekillerdir. Bu aşamada tüm kat planlarının ikinci boyutta gerekli koşulları sağlayarak üretilmesi üçüncü boyutta fenotiplerin oluşumu için ön şart olarak kabul edilmiştir. Tüm kat planları için 1 ya da daha fazla blok oluşması halinde ticari alan katında 5 m, konut alanları katlarında (normal katlarda) 3 m yükseltilerek üç boyutlu hale getirilir ve kitlesel konut tasarımı tamamlanır (Şekil 4.23).

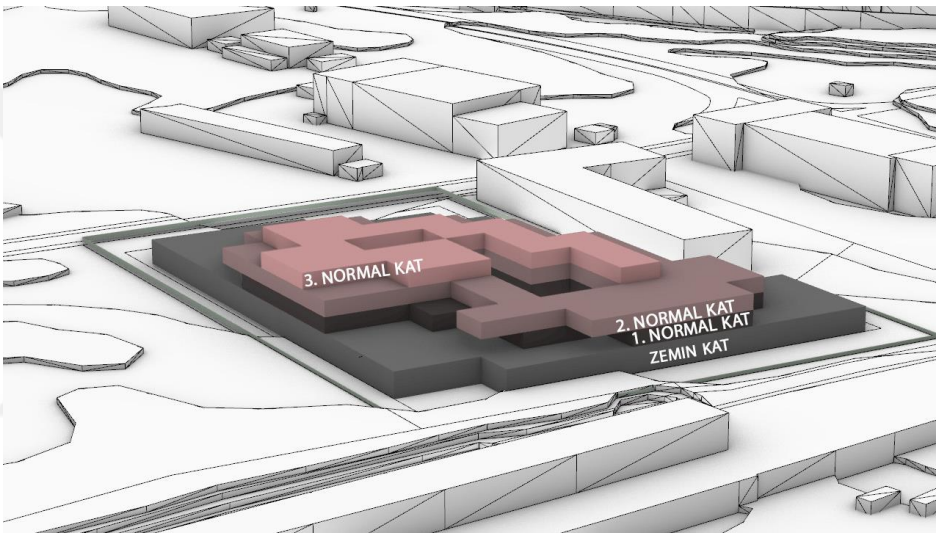


Şekil 4.23 Üç boyutlu kat planlarının oluşum koşulu

Üç boyutlu kütlesel tasarımlar bir sonraki aşamada kullanılmak üzere Fenotip olarak tanımlanır (Şekil 4.24). Modelde her bir kat planı için oluşturulan toplamda 4 adet Fenotip bulunmaktadır (Şekil 4.25).



Şekil 4.24 Fenotiplerin tanımlanması



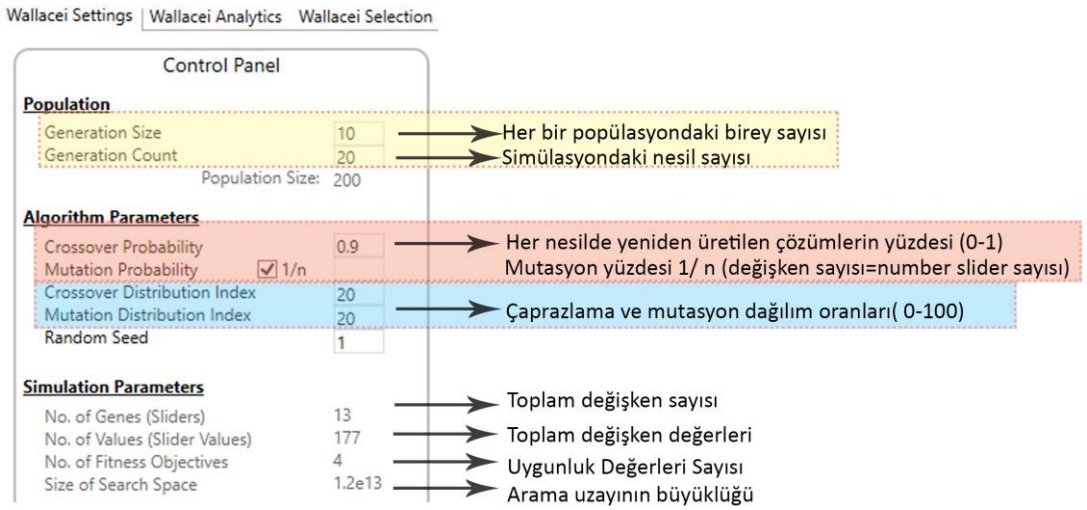
Şekil 4.25 Kütlesel tasarım örneği

- **Genetik Algoritmalar ile Üretim Yapılması**

Çalışma kapsamında geliştirilen yöntem ile genler ve uygunluk değerleri Wallacei X eklentisine tanımlandıktan sonra evrimsel hesaplamaya dayalı simülasyon başlatılır. Bu aşamada Wallacei X arayüzünde kullanıcı kendi belirlediği jenerasyon ve her bir jenerasyona ait birey sayısı doğrultusunda oluşturduğu popülasyon ile üretim yapabilmekte, mutasyon ve çaprazlama değerlerini değiştirebilmektedir (Şekil 4.26).

Kullanıcının belirlediği sayıda rastgele oluşturulan ilk popülasyon ile üretim başlar. Genler (değişkenler), her bir jenerasyonda değiştirilir ve simülasyon belirlenen uygunluk değerlerine ulaşıncaya kadar popülasyonda seçim, çaprazlama ve mutasyon işlemleri uygulanarak jenerasyonlar değiştirilir. Belirlenen popülasyon

büyüklüğüne ulaşıldığında simülasyon sonlandırılır. Sonuç ürünlerde uygunluk değerleri ve fenotipler bir arada değerlendirilebilir.



Şekil 4.26 Wallacei X ayarlar ara yüzü

Çalışma kapsamında genetik algoritma ile yapılacak üretim ve analizler için 10 jenerasyon ve her jenerasyon için 20 bireyden oluşan toplamda 200 çözüm içeren bir popülasyon oluşturulmuştur. Her bir popülasyon için,

- Çaprazlama olasılığı= 0,9

0-1 değer aralığında ara yüzde tanımlı gelen 0,9 değeri alınarak yüksek düzeyde çaprazlama olasılığı tanımlanmıştır.

- Mutasyon olasılığı= 1/n (n= tanımlanan değişkenlerin sayısı)

Modelde 13 adet değişken (number slider) bulunduğu için bu değer 1/13 olacak şekilde otomatik olarak hesaplanmaktadır.

- Çaprazlama ve mutasyon dağılım indeksi = 20

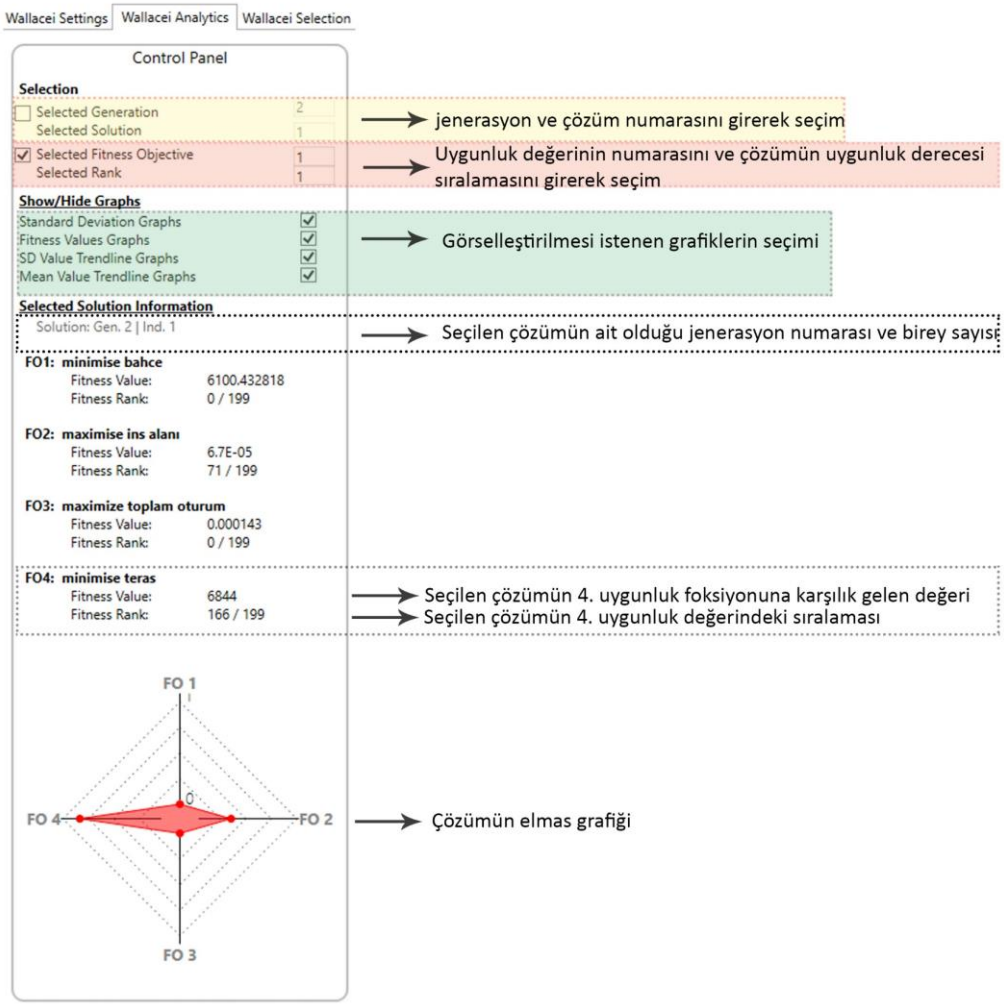
0 ve 100 arasında değer alabilen çaprazlama ve mutasyon dağılım indekslerinde yüksek değerler, yakın ebeveynlerden üretilecek çözümlerin oluşum olasılığını arttırırken, düşük değerler birbirinden uzakta bulunan ebeveynler arasından çözümlerin seçilmesi olasılığını ve çeşitliliği arttırır. Bu nedenle ara yüzde tanımlı olarak gelen 20 değeri sabit tutulmuştur.

- Random değeri = 1 olarak belirlenmiştir.

Modelde toplam 13 adet değişken (number slider) ve 177 adet değişken değeri mevcuttur.

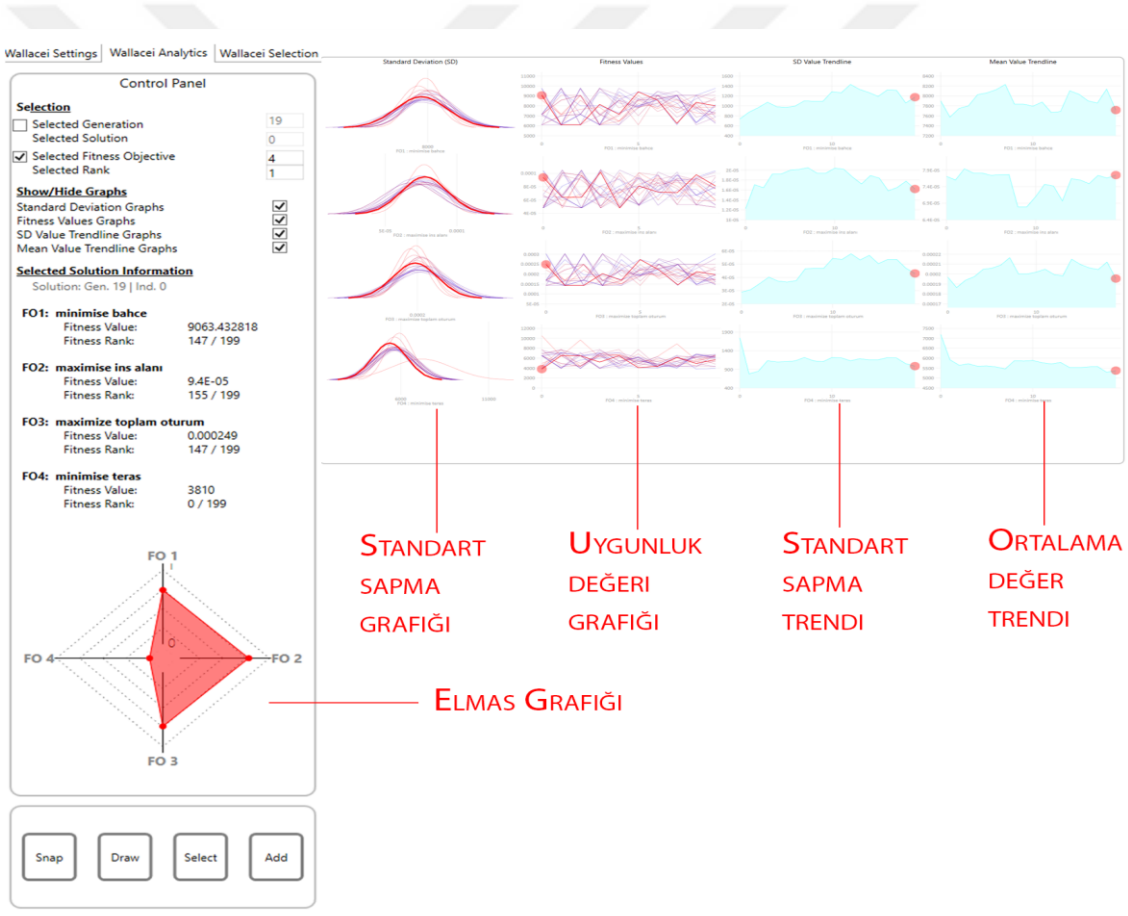
4.2.4 Üretimlerin Analiz ve Değerlendirilmesi (4. AŞAMA)

Kullanıcı Wallacei X Analytics ara yüzünde iki farklı seçim yöntemi kullanarak seçim yapabilir. Birinci yöntemde jenerasyon ve birey seçimi yaparak uygunluk değerlerini ve grafiklerini eş zamanlı olarak görebilmektedir. İkinci yöntemde ise sıralanmış çözümler arasından (rank), seçilen uygunluk değerine göre de seçim yapılabilmektedir. Bu seçim metodu ile seçilen çözümün her bir uygunluk değeri için sıralamasını görebilir. Bu sıralamalarda çözümlerin optimum değeri rank değerinin en düşük olduğu değer yani sıfırdır (Şekil 4.27).



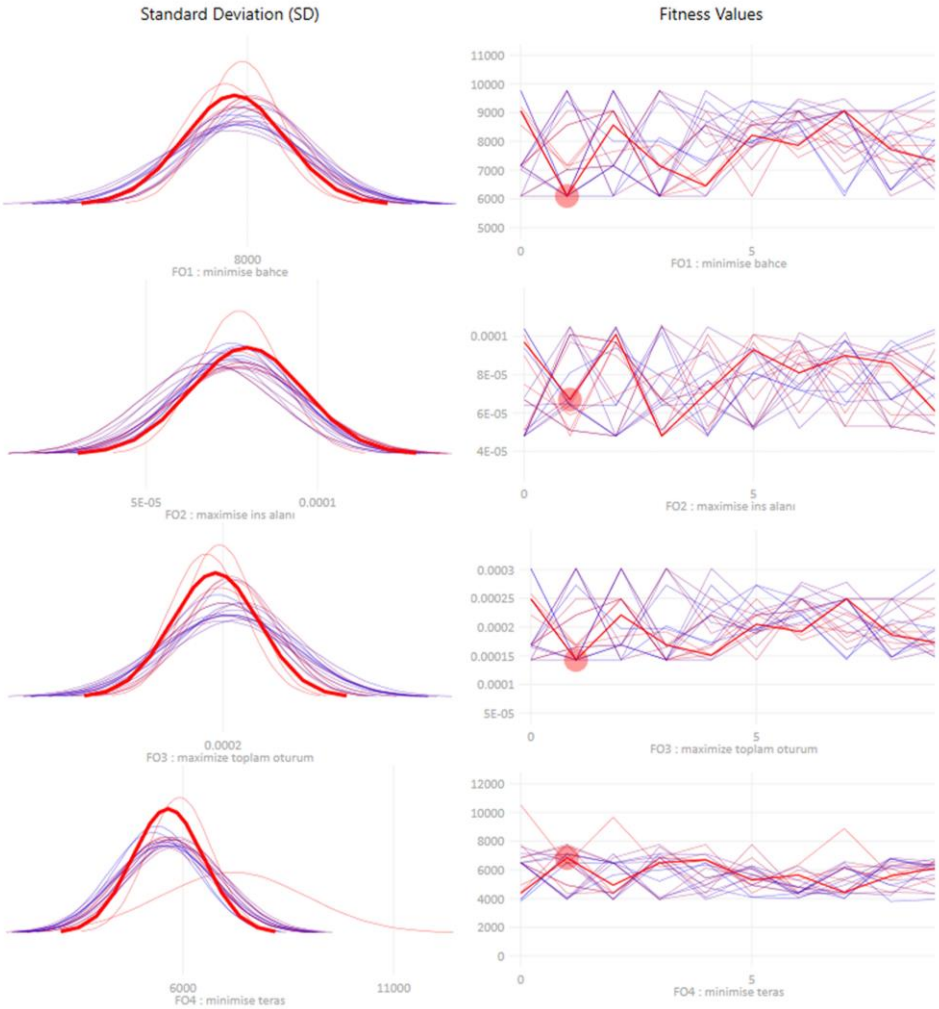
Şekil 4.27 Kontrol paneli

Kontrol panelinin sol alt köşesinde yer alan Elmas grafiği ile seçilen çözümün uygunluk değerleri aynı anda görülebilir. Bu grafikte merkeze yakınlaşan değerler daha optimum sonuçları ifade eder. Tüm değerlerin merkeze olabildiğince yakın olduğu çözüm en optimum çözümdür. Merkezden uzaklaşan noktalarda çözümler o kriter açısından verimliliği azalan çözümlerdir. Bu tip çözümlerde dengesiz dörtgen şeklinde elmas grafiği oluşur. Örneğin, Şekil 4.28' te minimum teras alanını sağlayan optimum birey (rank değeri=1 olan birey) seçilmiştir. Elmas grafiğinden görüldüğü üzere 19. Jenerasyonun ilk bireyi olan bu seçimde dengesiz bir dörtgen oluşumu söz konusudur. Bu seçimde yalnızca minimum teras alanı değeri optimum olarak karşılanmış diğer üç uygunluk değeri de merkezden oldukça uzak noktada hedeften uzaklaşmıştır.



Şekil 4.28 Wallace X analiz ara yüzü

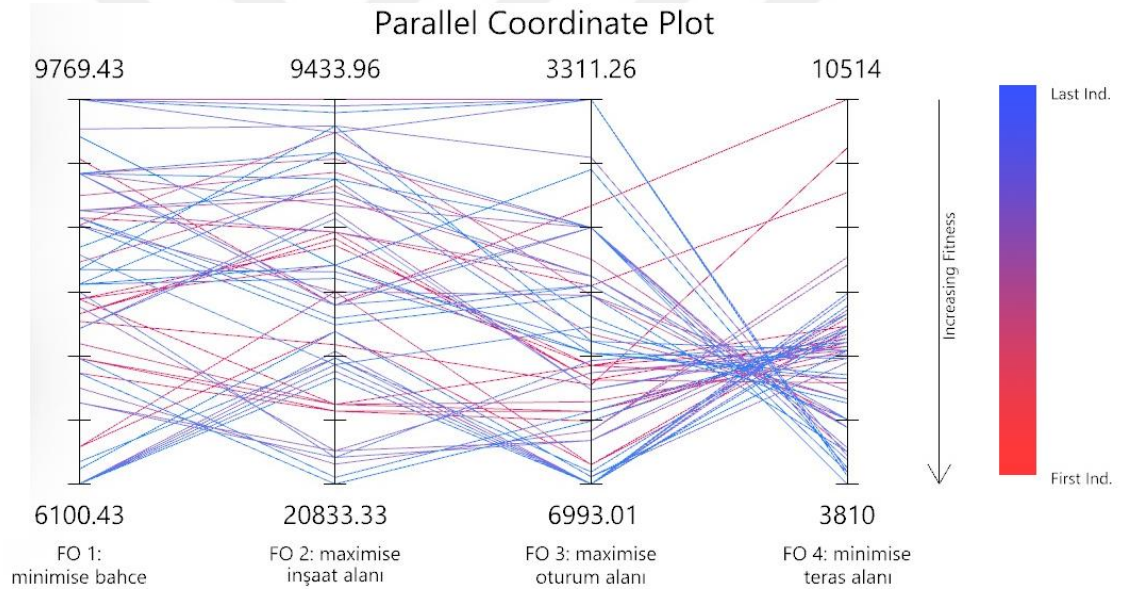
Popülasyondaki tüm çözümler için ayrı ayrı oluşturulan standart sapma eğrilerinde ise her jenerasyonda her bir uygunluk değerinin ortalama değer üzerinden dağılımı ile çözüm değerlerinin yoğunlaştığı bölgeler görülebilmektedir (Şekil 4.29). Grafiğin amacı, her jenerasyondaki çeşitlilik düzeyini belirlemek ve aynı zamanda simülasyon boyunca nesillerin optimize olup olmadığını gözlemlemektir. Çeşitlilik arttıkça eğriler düzleşir. Düşük değerler az varyasyonu, yüksek değerler çok varyasyonu belirtmektedir (Makki, Showkatbakhsh, & Song, 2019). Uygunluk değeri grafiğinde ise her bir uygunluk fonksiyonunun aldığı uygunluk değerleri popülasyondan bağımsız olarak analiz edilir. Grafiğin amacı çözümlerin jenerasyon ve popülasyon düzeyindeki performanslarını görselleştirmektir. Tüm grafiklerde kalın kırmızı çizgi seçilen bireyi temsil ederken, ilk jenerasyon kırmızı son jenerasyon maviyle temsil edilir.



Şekil 4.29 Standart sapma ve uygunluk değeri grafikleri

Standart sapma grafiklerinin sola doğru kayması genel uygunluk amacının optimize edildiğini göstermektedir. Modelde yapılan üretimler sonucunda minimum bahçe ve maksimum inşaat alanı uygunluk değerlerinde standart sapma grafiğinin orta değerlere kaldığı, maksimum toplam oturum ve minimum teras alanı değerlerinde ise sola doğru kayarak diğer uygunluk değerlerine kıyasla daha optimum sonuçlar verdiği gözlenmektedir.

Paralel Koordinat Grafiği ile üretilen tüm çözümlere karşılık gelen değerler çizgisel olarak ifade edilmektedir. Kırmızıdan maviye doğru renk alan yatay çizgiler simülasyondaki her bir bireyi temsil etmektedir. Düşeyde gösterilen eksenler ise uygunluk değerlerini temsil etmektedir. Bu grafik ile kullanıcı simülasyonun çalışmasının doğruluğunu gözlemleyerek gerekli gördüğü noktada müdahalelerde bulunabilir (Şekil 4.30).



Şekil 4.30 Paralel koordinat grafiği

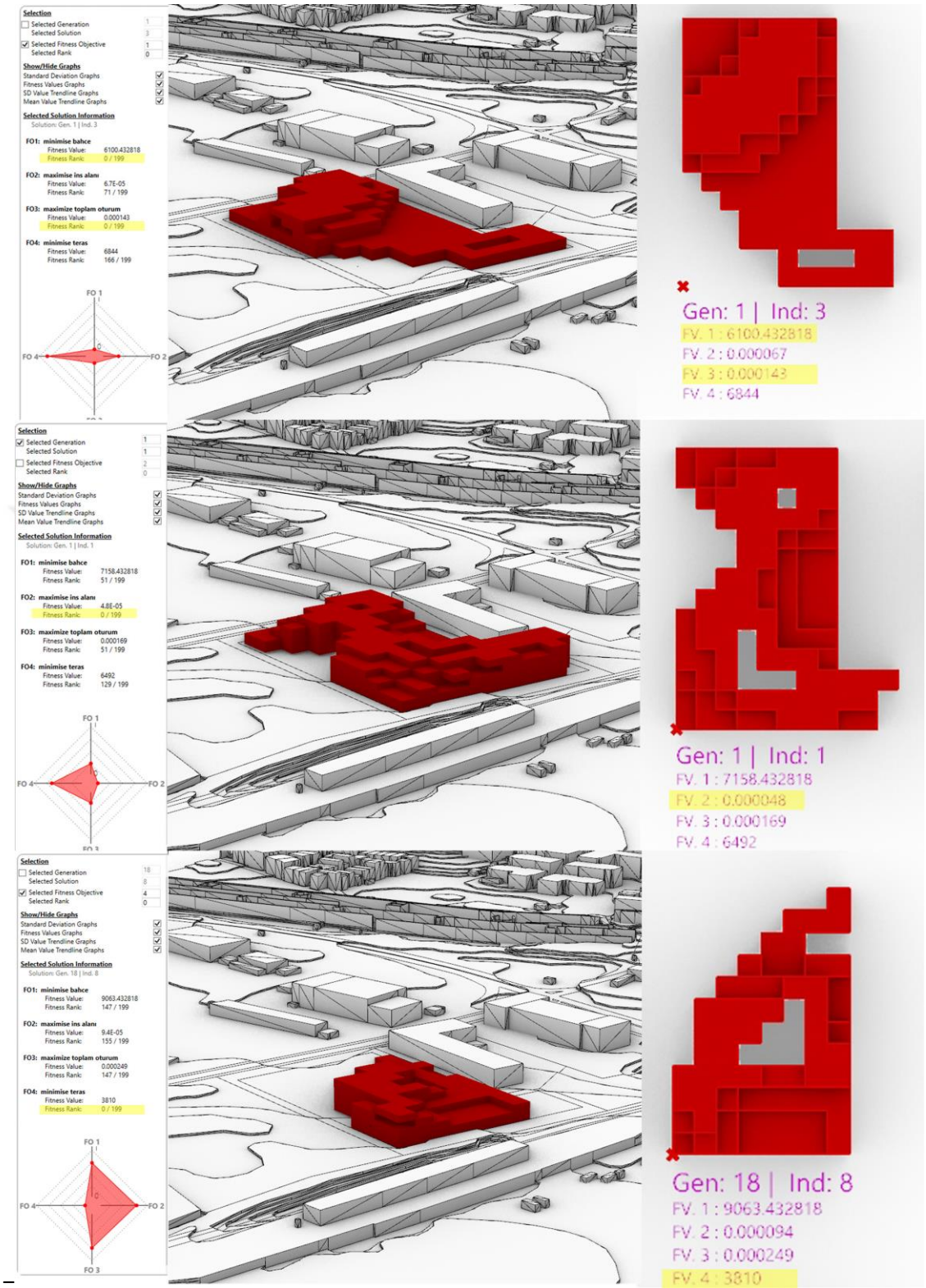
Üretilen çözümlerin paralel koordinat grafiği incelendiğinde ise son jenerasyona doğru üretilen bireylerin minimum bahçe, maksimum oturum alanı ve minimum teras alanı uygunluk değelerinde artış sağlarken, maksimum inşaat alanı uygunluk değerinde son jenerasyona doğru azalma görülmüştür.

4.2.5 Seçim (5. AŞAMA)

Modelde, tasarımcı erken tasarım evresinde üretilen kütlesel çözümler ile belirlediği tasarım parametrelerine göre uygun değerleri sağlayan çözüm veya çözümleri ya da tüm uygunluk değerlerinde optimum sonucu veren tek bir çözümü seçebilir. Erken tasarım evresinde bu eleme yönteminin kullanılması ile tasarımcı kendi belirlediği kriterler doğrultusunda oluşan sınırlı çözüm uzayındaki çözümler üzerinden ilerleyerek ve çözümleri istediği doğrultusunda geliştirerek bir sonraki proje aşamasında daha kolay geçebilir.

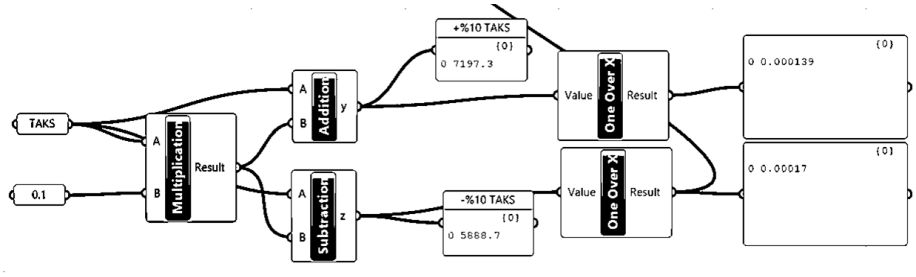
Modelin son aşamasında üç farklı seçim yöntemi yapılmış ve bunlar arasından son seçim yapılmıştır.

İlk olarak her uygunluk değerinde ayrı ayrı en iyi sonuca ulaşan 4 çözüm listelenmiştir. 18. Jenerasyonun 8. Bireyi, FO4'te (minimize teras alanı) en iyi değere sahip olan çözümdür. 1. Jenerasyonun 3. Bireyi, FO1(minimum bahçe alanı) ve FO3 te (maksimum toplam oturum alanı) en iyi değerleri eş zamanlı olarak karşılamıştır. 1. Jenerasyonun 1. Bireyi ise FO2 de en iyi değeri sağlamıştır (Şekil 4.31).



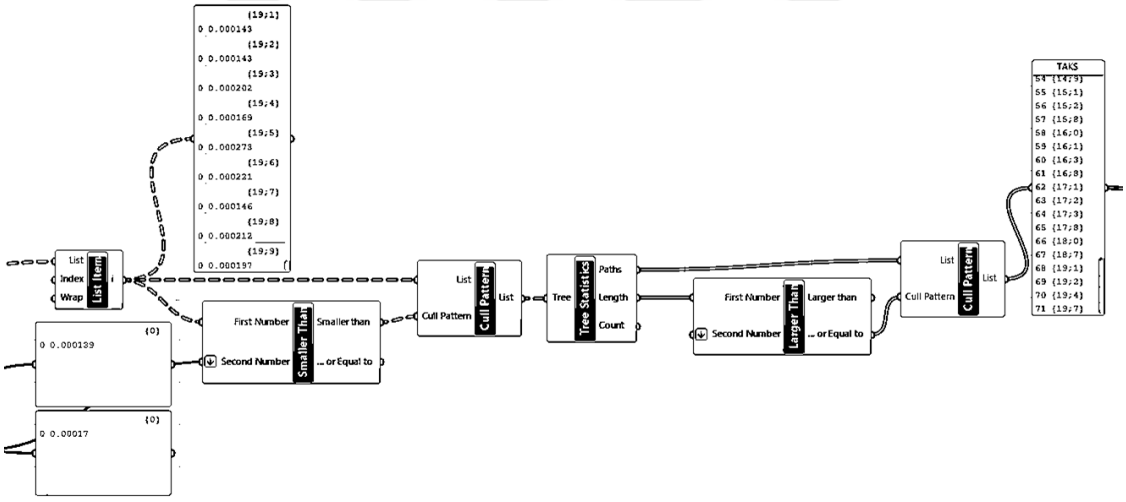
Şekil 4.31 Her bir uygunluk değeri için en iyi değeri sağlayan 3 çözüm

İkinci seçim aşamasında ise, kitlesel konut tasarımında en etkili olan TAKS ve KAKS hesapları doğrultusunda seçimler yapılmıştır (Şekil 4.32).



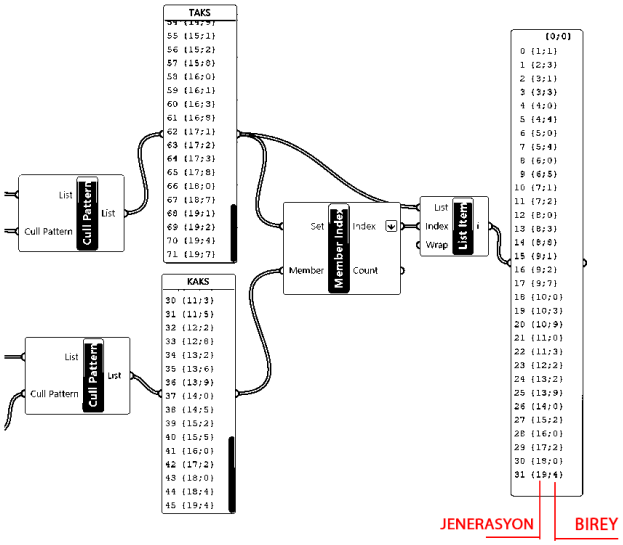
Şekil 4.32 TAKS hesabı

Proje alanı için belirtilen 6543 m^2 toplam oturum alanının +%10 ve -%10 değerleri ilk seçim aralığını oluşturmaktadır. Yapılan üretimler arasından bu aralıktaki çözümler seçildiğinde toplamda 72 adet çözüm olduğu görülmüştür (Şekil 4.33).



Şekil 4.33 Oturum alanı seçimi için değer aralığı belirlenmesi

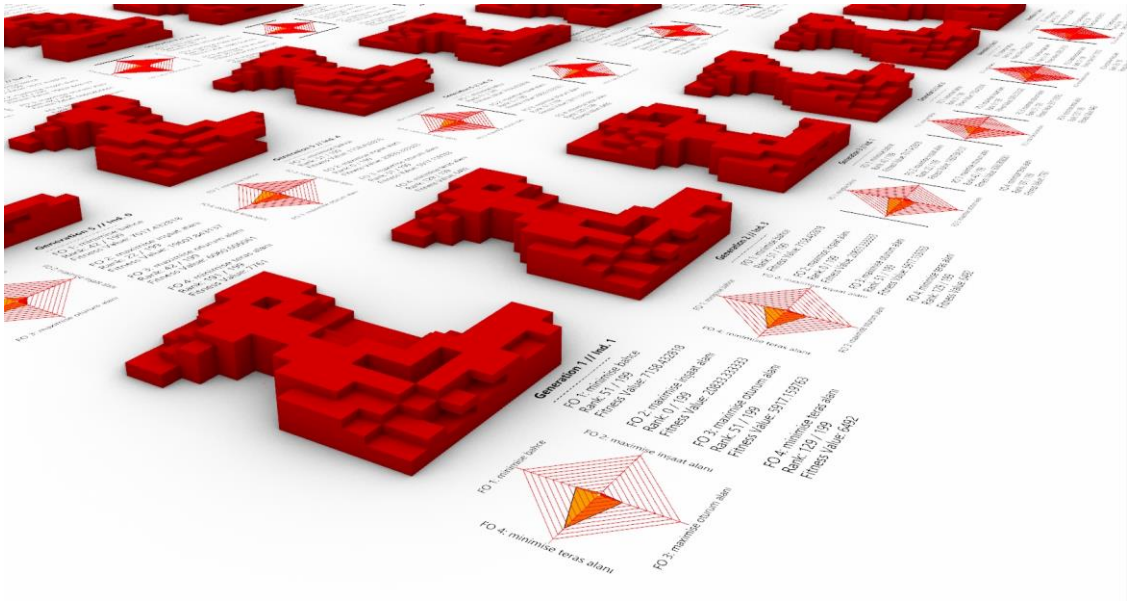
Benzer şekilde 17011m^2 Toplam inşaat alanı hesabının +%10 ve -%10 değer aralığı da ikinci çözüm kümesi olarak belirlendiğinde, bu koşulu sağlayan 46 adet çözüm saptanmıştır. Her iki çözüm kümesinin kesişimi ile hem toplam oturum alanı hem de toplam inşaat alanı değerlerinden en uygun çözümler listelenmiştir. Bu çözüm kümesi toplam 32 bireyden oluşmaktadır (Şekil 4.34).



Şekil 4.34 Belirlenen değer aralıklarındaki bireylerin listelenmesi

Bireylerin ait oldukları jenerasyonlar ve sayıları listelenerek Wallacei listesine eklenmiş ve Rhino ara yüzünde görselleştirilmiştir (Şekil 4.35).

Bu çıkarımda birbirine oldukça benzer formlar gözlenmekle beraber, her bir çözüm için maksimum inşaat ve maksimum oturum alanları uygunluk değerleri elmas grafiğinde merkeze oldukça yakınken, minimum teras alanı ve minimum bahçe alanı değerleri merkezden uzaktadır (Ek B).

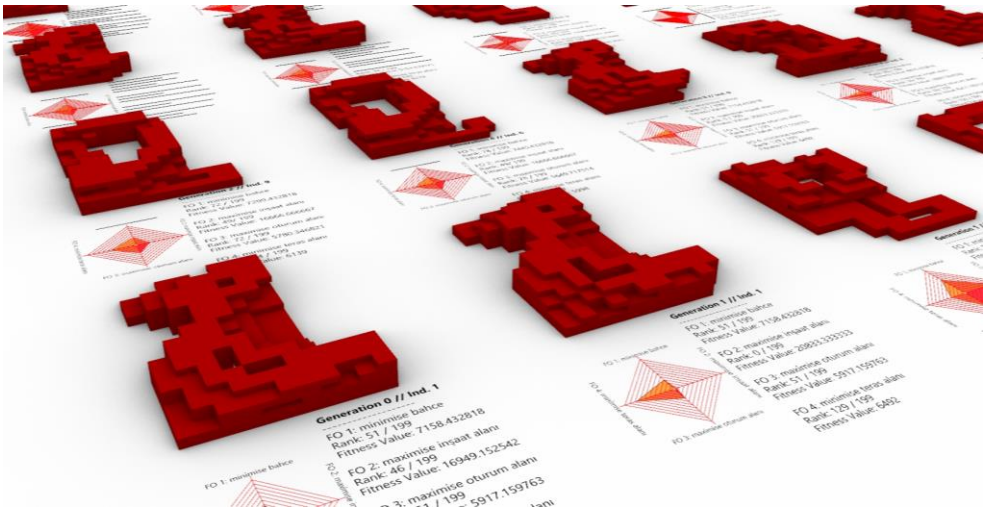


Şekil 4.35 TAKS-KAKS seçimi çözümleri (detaylar için bkz. Ek B)

Son seçim yönteminde ise Wallacei X seçim ara yüzündeki pareto optimum çözümler listelenmiştir (Şekil 4.36). Pareto-Optimal, çözüm kümesindeki diğer herhangi bir çözüm tarafından bastırılmamış olan çözümdür. Çok amaçlı optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılan pareto optimum analizinde çelişen amaçlar içerisinde kabul edilebilen düzeyde optimum çözümler bulunur (Chen, 2001). Modelde tüm jenerasyonların pareto optimum çözümlerini içeren toplam 26 adet birey mevcuttur (Şekil 4.37).

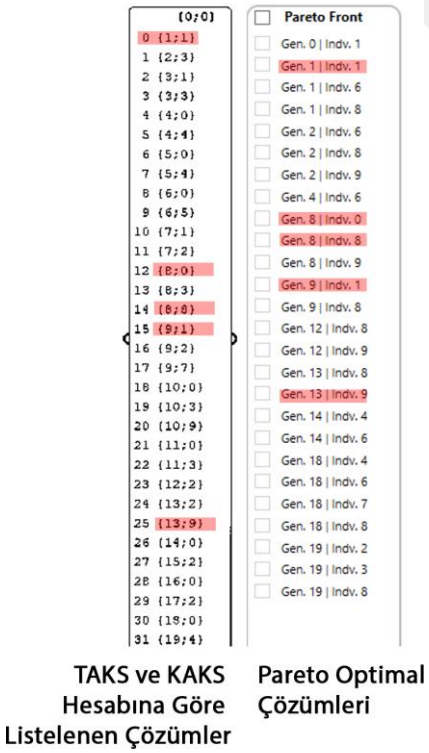


Şekil 4.36 32 Adet Pareto optimal çözüm (detaylar için bkz. Ek C)

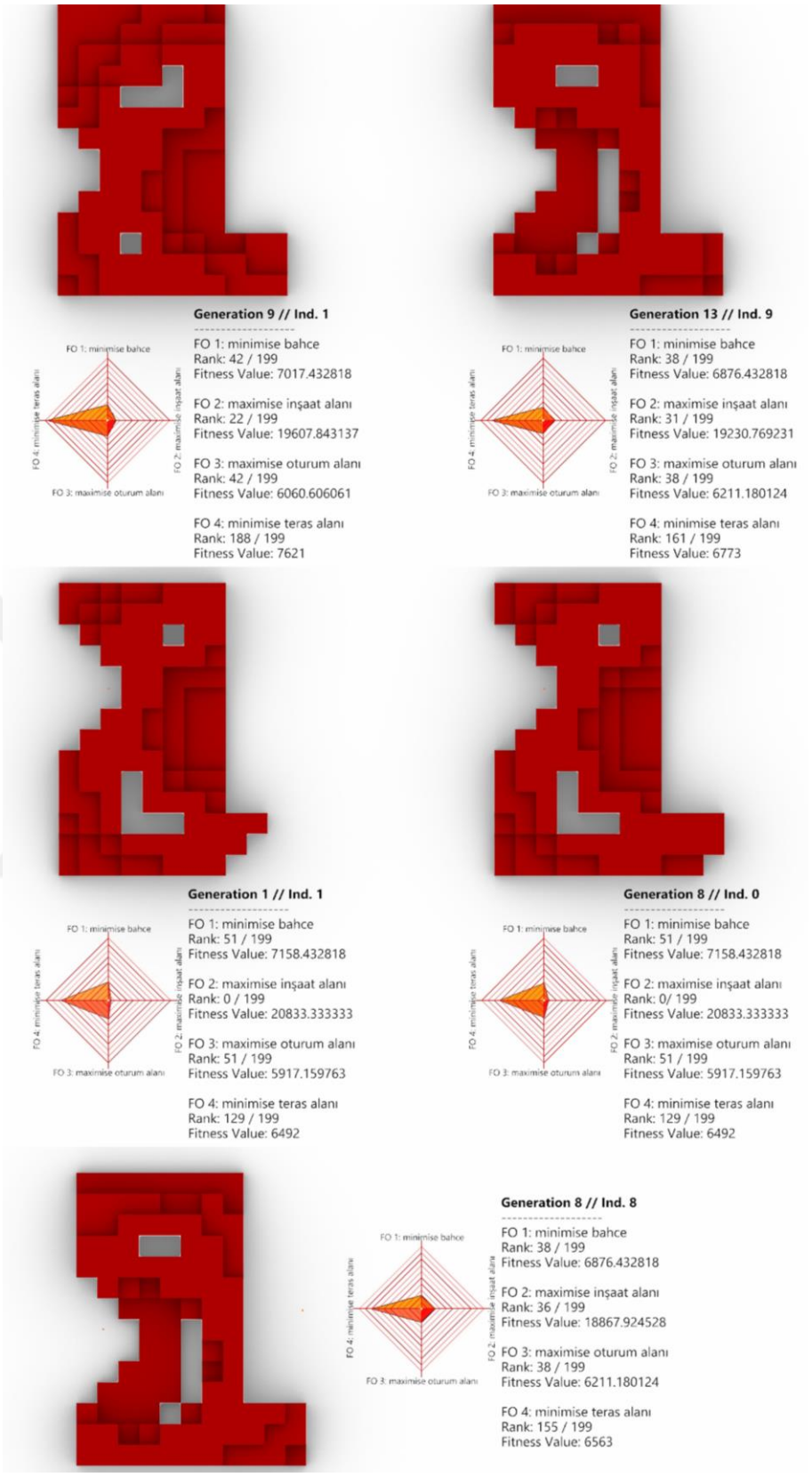


Şekil 4.37 Pareto optimal çözümler (detaylar için bkz. Ek C)

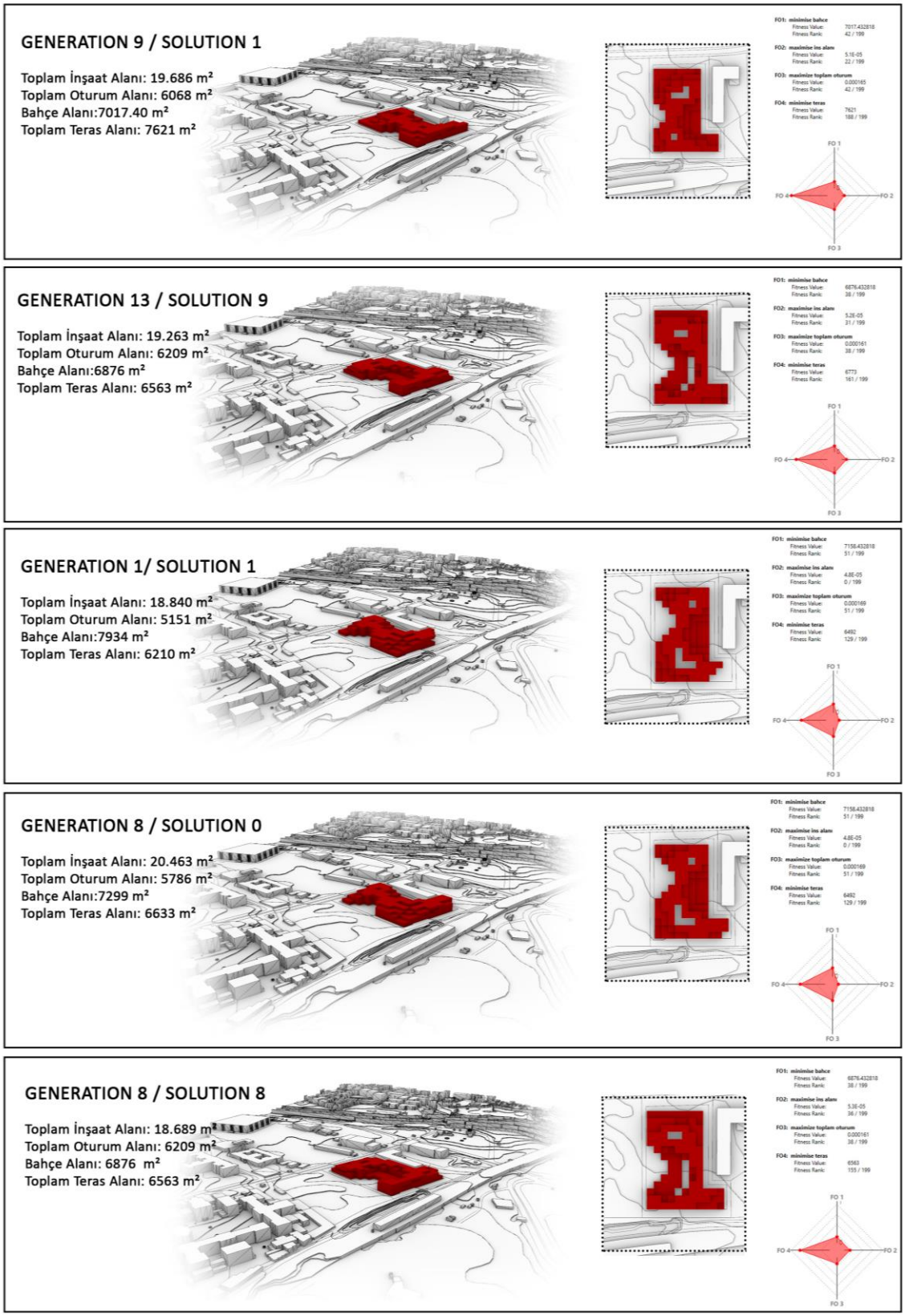
Kullanılan seçim yöntemlerinden TAKS- KAKS Hesabı doğrultusunda seçilen çözümler ve pareto optimal çözümler kıyaslandığında 5 adet ortak çözüm bulunmuştur (Şekil 4.38). İlk seçim de ortaya çıkan, her uygunluk değeri için en optimum çözümü sağlayan 1:3,18:8,2:3 bireyler bu kesişim kümesinde yer almamaktadır (Şekil 4.39), (Şekil 4.40).



Şekil 4.38 Ortak çözümlerin seçimi



Şekil 4.39 Seçilen çözümlerin uygunluk fonksiyonu değerleri



Şekil 4.40 Son seçim kümesi görselleri ve değerleri

5
SONUÇ VE ÖNERİLER

Kitlesel konut tasarımında kullanıcıya bir karar destek sistemi olarak hizmet etmesi planlanan modelde öncelikle araziye uygun tasarım kriterleri ve tasarım değişkenleri belirlenmiştir. Uygunluk değerleri ve genlerin(değişkenlerin) Wallacei eklentisine tanımlanması ile kullanıcının ara yüzde belirlediği popülasyon büyüklüğü, birey sayısı, çaprazlama ve mutasyon olasılıkları gibi parametrelerle farklı üretimler yapılabilmekte ve çok sayıda kütlesel alternatife ulaşılabilmektedir.

Çalışma kapsamında GA'lar ile yapılan üretim sonucu oluşan çözümler son aşama üç farklı yöntemle seçilmiştir. İlk yöntemde dört farklı uygunluk değerinin her biri için en optimum sonucu sağlayan çözümler seçilmiştir. İkinci yöntemde ise proje alanı için belirlenen TAKS ve KAKS değerlerinin kullanıcı tarafından sınırlandırılmış aralığını sağlayan çözümler listelenmiştir. Son yöntemde ise tüm jenerasyonların Pareto-Optimal çözümleri seçilmiştir. Ortaya çıkan üç farklı seçim kümesinin ortak bireyleri son aşamada listelenmiştir. İlk iki seçimde kullanıcının belirlediği çözümler yer alırken, son seçimde ise GA'lar ile oluşturulan Pareto-Optimal çözümler bulunmaktadır. Bu farklı seçim yöntemleri neticesinde ortaya çıkan kesişim kümesindeki bireyler kullanıcı tercihleri ve GA'ların ortak noktada birleştiği çözümleri temsil etmesi açısından önemlidir. Bu sonuç modelin karar destek sistemi olarak işleyişini desteklemektedir.

Model, Zeytinburnu-Kazlıçeşme 'de seçilen arazi üzerinde test edilmiştir. Çalışma kapsamında sadece tasarım optimizasyonuna odaklanılarak bağlama duyarlı tasarımlar üretmek amacıyla farklı işlevler için kullanıcının belirleyebileceği etki noktaları arazi özelinde tanımlanmıştır. Etki noktaları Wallcei X 'e gen olarak tanımlanmış ve türetmeler yapılmıştır. Bu etki noktalarının değer aralıkları farklı tasarım hedefleri doğrultusunda tasarımcı tarafından değiştirilebileceği gibi, çalışma kapsamında proje alanına ulaşımı doğrudan ve olumlu yönde etkileyeceği düşünülerek Marmaray Kazlıçeşme istasyonu ticari alan için etki noktalarının başlangıcı olarak seçilmiştir. Bu sayede kitlesel konut tasarımında en önemli sorunlardan biri olan çevreden kopuk tasarımların üretilmesinin önüne geçilmiştir.

Modelde tasarım kurallarının belirlenmesi aşamasında her kat planı üretiminin bir önceki kat planı üzerinden gerçekleştirilmesi çıkma ve teras oluşumlarını sağlamış ve üretilen kütlesel formları tekdüzelikten uzaklaştırmıştır. Ayrıca ticari işlevli zemin katta belirlenen bina derinliği doğrultusunda oluşturulan orta boşluğun konut alanlarında devam ettirilmemesi yarı açık alanların oluşumuna imkan sağlamıştır.

Plan notlarında belirlenen h max seviyesi doğrultusunda arazi özelinde yapılan üretimler toplam dört katla sınırlıdır. İlerleyen çalışmalarda, başka bir bilgisayar programı aracılığıyla yazılacak kod ve oluşturulacak ara yüz ile modele farklı arazilerin entegre edilmesi ile değişken kat sayıları içeren kitlesel konut bloklarının tasarlanması mümkündür. Çok daha fazla sayıda üretim yapılarak yapılan üretimlerin Wallacei X eklentisinin seçim ara yüzünde yer alan Denetimsiz Makine Öğrenmesi seçim yöntemiyle seçilmesi, kümelendirilmesi ve bu kümelerdeki bireylerin uygunluk değerlerinin optimizasyonu farklı kriterler analiz edilebilir. Aynı zamanda model, oluşan kütlesel form alternatiflerine malzeme kodlamaları yapılarak, verilecek birim maliyetler doğrultusunda çeşitli maliyet hesaplamaları yapabilen çalışmalara doğru geliştirilebilir.

Modelin ilk aşamasında arazinin kullanıcının tanımladığı gridal sistem üzerine oturtulması, tüm sürecin ve değişken değerlerinin minimum grid ölçüleri ve katları baz alınarak tasarlanması ile modüler koordinasyona oluşturularak ön tasarım aşamasında seri üretime elverişli tasarımlar ortaya çıkmıştır.

Çalışmada kullanılan Wallacei X eklentisi birden fazla değişkeni ve birbiri ile çelişen tasarım kriterlerini bir arada kullanmayı sağlayarak genetik algoritmalar ile üretim ve tasarım optimizasyonunda kolaylık sağlamaktadır. Eklentide yer alan grafikler ile çözümlerin uygunluk değerleriyle ilişkileri gözlemlenebilmekte, fakat bu uygunluk değerlerinin doğrudan birbirine olan etkileri net olarak okunamamaktadır. Bu nedenle seçilen çözümlerin uygunluk değeri ilişkileri en net olarak elmas grafikleri ile okunabilmektedir. Aynı zamanda seçim ve değerlendirme kısmında karşılaşılan en önemli sorun eklentinin geri beslemeli olmayışıdır. Seçilen bir ya da daha fazla çözüm için modelin ilk aşamasında belirlenen değişken aralıkları(genler), simülasyondan sonra listelenememekte, sadece simülasyon sonrasında oluşturulan

üretimler seçilerek Rhino ara yüzüne tek tek aktarım yapıldığı takdirde dolaylı olarak okunabilmektedir.

Oluşturulan model ile, mimari tasarım süreci kurgulanırken ön tasarım aşamasında arazi kütle yerleşim kararlarının oluşturulması ve tasarım alternatiflerinin üretilmesinde hesaplamalı tasarım araçlarının kullanımı ile verimli çözümler üretilebilmektedir.

Çalışma kapsamında oluşturulan model mimara/tasarımcıya kitlesel konut tasarımı sürecinde doğrudan bir tasarım aracı olarak değil, tasarım alternatifleri üretiminde ve seçiminde bir karar destek sistemi olarak hizmet etmektedir. Bu yaklaşımla, kitlesel konutun modüler üretime elverişli bir ürün olarak ele alındığı bu çalışmada belirlenen tasarım kriterleri ve değişkenler doğrultusunda genetik algoritmalar ile kitlesel konutların ön tasarım aşamasında kısa sürede çok sayıda özgün alternatif üretilerek tasarım amacına ulaşılmıştır. Kurgulanan algoritmik süreçte üretilen son ürünlerin seçimi kullanıcının kararları ve tercihleri doğrultusunda gerçekleştirilmektedir. İlerleyen çalışmalarda modelin geliştirilmesi ve farklı parametrelerin modele entegrasyonu ile kitlesel konutların ön tasarım aşamasından uygulama aşamasına kadar modüler koordinasyon yaklaşımı ile üretim yapılabilecek aşamaya getirilmesi mümkündür.

KAYNAKÇA

Ågren, R., & Wing, R. D. (2014). Five Moments In The History Of Industrialized Building. *Construction Management and Economics, 32*(1-2), 7-15.

Ağırbaş, A. (2019). Façade Form-Finding With Swarm Intelligence. *Automation in Construction, 99*, 140-151.

Akalın, M. (2016). Sosyal Konutların Türkiye'nin Konut Politikaları İçindeki Yeri ve TOKİ'nin Sosyal Konut Uygulamaları. *Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 26*(1), 107-123.

Akipek, F. Ö., & İnceoğlu, N. (2007). Bilgisayar Destekli Tasarım ve Üretim Teknolojilerinin Mimarlıktaki Kullanımları. *Megaron, 2*(4), 237-253.

Aksoy, M. (2001). *Var Olan Tasarım Dilleri ve Yeni Tasarım Dilleri Bağlamında Biçim Gramerleri Analizi.* Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Aksoy, Y. (2016). *Sürdürülebilir Toplu Konut Yerleşmesi Tasarımı İçin Pareto Genetik Algoritmaya Dayalı Bir Model Önerisi:SSPM.* Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimari Tasarımda Bilişim, İstanbul.

Alba, E., & Cotta, C. (2005). Evolutionary Algorithms. S. Olariu, & A. Y. Zomaya içinde, *Handbook of Bioinspired Algorithms and Applications* (s. 1-14).

Ameijde, J. V. (2019). Non-Standart Housing. *24th International Conference of the Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA). 2*, s. 241-250. Hong Kong: Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia.

Arslankaya, Ş. M. (2016). *Yerleşme Birimlerinde Kentsel Dönüşümün Enerji Konumları Açısından Değerlendirilmesi: Zeytinburnu Sahilpark Projesi.* Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Anabilim Dalı, İstanbul.

Badem, Y. (2007). *Genetik Algoritmaların Yaratıcı Mimari Tasarımda Kullanımı.* Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Bartz-Beielstein, T., Branke, J., Mehnen, J., & Mersmann, O. (2014). Evolutionary Algorithms. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery, 4*(3).

Bentley, P. J. (1999). *Evolutionary Design by Computers* (1. b.). Morgan Kaufmann.

Bianconi, F., Filippucci, M., & Buffi, A. (2019). Automated Design And Modeling For Mass-Customized Housing. A Web-Based Design Space Catalog For Timber Structures. *Automation in Construction, 103*, 13-25.

Bolat, B., Erol, K. O., & İmrak, C. E. (2004). Genetic Algorithms in Engineering Applications and The and Function of Operators. *Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi* (4), 264-271.

Bonabeau, E., Dorigo, M., & Theraulaz, G. (1999). *Swarm Intelligence: From Natural to Artificial Systems.* New York: NY: Oxford University Press.

Brasil, A., & Franco, J. (2019). Customizing Mass Housing in Brazil: Introduction to an Integrated System. *37th eCAADe and 23rd SIGraDi Conference*, (s. 605-612).

Building and Construction Authority. (2000). *Modular Coordination.* Building and Construction Authority.

Caldas, L. G. (2001). *An Evolution-Based Generative Design System: Using Adaptation to Shape Architectural Form.* Doktora Tezi, Massachusetts Institue of Technology, Mimarlık.

Cameron, S. (2018). *Swarm City: An Emerging Transdisciplinary Architecture.* Yüksek Lisans Tezi.

Caputo, J. F. (2009). *The Case of Modern American "Industrialized" Residential Design and Realistic Innovation in Off-site Homebuilding.* Cornell university, Mimarlık. Harvard University.

Cestel, E. (2008). *Yüksek Yapıların Kavramsal Tasarım Sürecinde Üretken Yaklaşımlar.* Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimari Tasarımda Bilişim, İstanbul.

Chen, X. (2001). *Pareto Tree Searching Genetic Algorithm Approaching Pareto Optimal Front by Searching Pareto Optimal Tree.* Teknik Rapor, Nankai University, Optimal Front by Searching Pareto Optimal Tree.

Chouchoulas, O. (2003). *Shape Evolution.* Doktora Tezi, University of Bath, Department of Architecture and Civil Engineering, California.

Clarke, K. H. (1997). A Self-Modifying Cellular Automaton Model of. *Environment and Planning B: Planning and Desing*, 247-261.

Coates, P., & Schmid, C. (1999). Agent Based modelling. *Architectural Computing: from Turing to 2000* , (s. 1-13). İngiltere.

Coates, P., Healy, N., Lamb, C., & Voon, W. (1996). The Use Of Cellular Automata To Explore Bottom Up Architectonic Rules . *Eurographics UK Chapter 14th Annual Conference*, (s. 26-28).

Coyne, R. F., & Subrahmanian, E. (1993). Computer Supported Creative Design: A Pragmatic Approach. J. S. Gero, & M. L. Maher (Dü) içinde, *Modeling Creativity and Knowledge-Based Creative Design* (s. 295-329). Psychology Press.

Çağdaş, G. (1996). A Shape Grammar: The Language of Traditional Turkish Houses. *Environment and Planning B, Planning and Design*(23(4)), 443-464.

D'Autilia, R., & Hetman, J. (2018). Complex Buildings and Cellular Automata- A Cellular Automaton Model for the Centquatre-Paris. *Urban Science*, 2-14.

Deb, K. (2001). Multiobjective Optimization Using Evolutionary Algorithms. New York: Wiley.

Deb, K., Agrawal, S., Pratap, A., & Meyarivan, T. (2000). *A Fast Elitist Non-dominated Sorting Genetic Algorithm for Multi-objective Optimization: NSGA-II.* Indian Institute of Technology Kanpur. Kanpur Genetic Algorithms Laboratory (KanGAL).

Devetakovic, M., Petrusevski, L., Dabic, M., & Mitrovic, B. (2009). Les Folies Cellulaires – An Exploration in Architectural Design Using Cellular Automata. *12th Generative Art Conference*, (s. 181-192).

Dinçer, A. E. (2014). *Hücresel Özdevinim Yaklaşımı ile Kitlesel Konut Tasarımında Sayısal Bir Model.* Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimari Tasarımda Bilişim, İstanbul.

Duarte, J. P. (2001). *Customizing Mass Housing: A Discursive Grammar for Siza's Malagueira Houses.* Doktora Tezi, Massachusetts Institute of Technology.

Duray, R., Ward, P. T., Milligan, G. W., & Berry, W. L. (2000). Approaches To Mass Customization: Configurations And Empirical Validation. *18*, 605-625.

Elezkurtaj, T., & Franck, G. (1999). Genetic Algorithms in Support of Creative Architectural Design. *Architectural Computing: The Intelligent Machine 2: Genetic and Generative* (s. 645-651). Liverpool: eCAADe17.

Elezkurtaj, T., & Franck, G. (2002). Algorithmic Support of Creative Architectural Design. *Umbau*, 1-16.

Eltaweel, A., & Su, Y. (2017). Parametric Design and Daylighting: A Literature Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*(73), 1086-1103.

Emel, G. G., & Taşkın, Ç. (2002). Genetik Algoritmalar ve Uygulama Alanları. *Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, XXI*(1), 129-152.

Fasoulaki, E. (2007). *Genetic Algorithms in Architecture: a Necessity or a Trend?*

Flemming, U. (1987). More Than The Sum Of Parts: The Grammar Of Queen Anne Houses. *Environment and Planning B,Planning and Design, 14*, 323-350.

Garnier, S., Gautrais, J., & Theraulaz, G. (2007). The Biological Principles Of Swarm İntelligence. *Springer Science + Business Media*, 3-31.

Gips, J. (1975). *Shape Grammars and Their Uses.* Basel ve Stuttgart: Birkhauser.

Goldberg, D. E. (1989). *Genetic Algorithms İn Search, Optimization, And Machine Learning.* Boston: Addison-Wesley.

Gökhan, Ç., & Baytın, D. (1979). Standartlaşma ve Boyutsal Eşgüdüm. *Mimarlık Dergisi*(158), 77-79.

Gülen, M. (2019). *Dar Gelirliler İçin Toplu Konut Üretiminde Mimari Tasarım Süreci Ve Kullanıcının Rolü Üzerine Bir Model Önerisi Van Örneği.* Doktora Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Mimarlık Anabilim Dalı, İstanbul.

Güngör, Ö. (2010). *Genetik Algoritmaya Dayalı Kitlesel Bireyselleştirme Amaçlı Konur Tasarım Modeli.* Yüksek Lisans Tezi, Mimari Tasarımda Bilişim, İstanbul.

Güzelci, O. Z. (2012). *Amasya Yalıiboyu Evleri Üzerine Bir Biçim Grameri Çalışması.* Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Anabilim Dalı, Mimari Tasarım Programı, İstanbul.

Güzelci, O. Z. (2013). Bütünleşik Üretken Tasarım Sistemi ile MVRDV Silodam Projesi için Cephe Üretken Sistem Önerisi. *Sayısal Tasarım Entropi Yaratıcılık*, (s. 55-64).

Habraken, J. (1961). *Supports An Alternative To Mass Housing.* (J. Teicher, Dü.) UK: Urban International Press.

Hansmeyer, M. (2003). *Computational Architecture*. Kasım 1, 2021 tarihinde https://www.michael-hansmeyer.com/l-systems adresinden alındı

He, J., Li, X., Yao, Y., Hong, Y., & Jinbao, Z. (2018). Mining transition rules of cellular automata for simulating urban expansion by using the deep learning techniques. *International Journal Of Geographical Information Science*(32), 2076-2097.

Herbert, G. (1984). *The Dream of the Factory-Made House.* Cambridge: MIT Press.

Herr, C. M., & Kvan, T. (2007). Adapting Cellular Automata To Support The Architectural Design Process. *Automation İn Construction*, 61-69.

Holland, J. H. (1992). Genetic Algorithms. *Scientific American, 267*(1), 66-73.

İlksoy, B. (2015). *Architecture Of Constraints: A Mass Customization Oriented Approach For Housing Design.* Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimari Tasarım, İstanbul.

İnan, N., & Yıldırım, T. (2009). Mimari Tasarım Sürecinde Disiplinler Arası İlişkiler ve Eşzamanlı-Dijital Ortam Tasarım Olanakları. *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., 24*(4), 583-595.

Jansen, I., & Piątek, Ł. (2020). The Evolutionary-algorithm-based Automation of the Initial Stage of Apartment Building Design. *eCAADe 38*, *2*, s. 105-114. Berlin.

Jo, J. H., & Gero, J. S. (1995). A Genetic Search Approach to Space Layout Planning. *Architectural Science Review, 38*, 37-46.

Johnson, S. (2002). *Emergence: The Connected Lives of Ants, Brains, Cities, and Software.* New York: Scribner.

Kari, L., Rozenberg, G., & Salomaa, A. (1997). L-Systems. L. Kari, G. Rozenberg, & A. Salomaa içinde, *Handbook of Formal Languages* (s. 253-328). Berlin: Springer.

Kaynarkaya, S., & Çağdaş, G. (2020). Sürü Zekâsı Yaklaşımı İle Metro Hatlarının Değerlendirilmesi. *Journal of Computational Design,*, 17-48.

Keleş, R. (2017). *Kentleşme Politikası* (16. b.). Ankara, Türkiye: İmge Kitabevi.

Kendall, S., & Teicher, J. (2002). *Residential Open Building.* London and New York: Taylor & Francis Group.

Keskin, G. (2008). *Dijital Form Türetici (Froebel Form Türetici) ile Bir Konut Yerleşkesinin Tasarım Süreci.* Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Mimarlık Anabilim Dalı, İstanbul.

Knight, T. W. (1980, Mart 22). The generation of Hepplewhite-style chair-back designs. *Environment and Planning B, 7*, 227-238.

Knight, T. W. (1981). The Forty-one steps: The Language Of Japanese Tea-Room Designs. *Environment and Planning B, 8*, 97-114.

Koca, D. (2015, Mayıs). Türkiye'de Çağdaş Konut Üretiminin Yeniden Okunması. *Tasarım+Kuram*(19), 19-36.

Koning, H., & Eizenberg, J. (1981). The language of the prairie: Frank Lloyd Wright's prairie. *Environment and Planning B, 8*, 295-323.

Liu, Y., Batty, M., Wang, S., & Corcoran, J. (2021). Modelling Urban Change With Cellular Automata: Contemporary Issues And Future Research Directions. *Progress In Human Geography*(45), 3-24.

Liua, X., X. L., Shi, X., Zhang, X., & Chen, Y. (2010, Mayıs). Simulating Land-Use Dynamics Under Planning Policies By Integrating Artificial Immune Systems With Cellular Automata. *International Journal of Geographical Information Science, 24*(5).

Lo, T. T., Schnabel, M. A., & Gao, Y. (2015). ModRule: A User-Centric Mass Housing Design Platform. G. Celani (Dü.), *Computer-Aided Architectural Design Futures. The Next City - New Technologies and the Future of the* içinde (s. 236-254). Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Makki, M., Showkatbakhsh, M., & Song, Y. (2019). *Wallacei Primer 2.0.* Nisan 2021 tarihinde https://www.wallacei.com/. adresinden alındı

Makki, M., Showkatbakhsh, M., Tabony, A., & Weinstock, M. (2019). Evolutionary algorithms for generating urban morphology: Variations and multiple objectives. *International Journal of, 17*(1), 5-35.

Mammen, S. v., & Taron, J. M. (2012). A Trans-Disciplinary Program For Biomimetic Computing And Architectural Design. *Journal of Information Technology in Construction*(17), 239-257.

Manousakis, S. (2006). *Musical L-Systems.* Yüksek Lisans Tezi, The Royal Conservatory, The Hague.

Mitchell, M. (1999). *An Introduction to Genetic Algorithms* (5. b.). London: MIT Press .

Mohssen M. Z. E. Mohammed, M. K. (2017). *Machine Learning: Algorithms and Applications.* CRC Press.

Narahara, T., & Terzidis, K. (2006). Multiple-constraint Genetic Algorithm in Housing Design. G. A. Luhan, P. Anzalone, M. Cabrinha, & C. Clarke (Dü.), *ACADIA 2006: Synthetic Landscapes .* içinde *25*, s. 418-425. Mansfield: Bookmasters.

Niemeijer, R., Vries, B. D., & Beetz, J. (2010). Designing with constraints- Towards mass customization in the housing industry. H. J. Timmermans, & B. Vries (Dü.), *10th International Conference on Design & Decision Support Systems* içinde (s. 1-16). Eindhoven University of Technology.

Nilkaew, P. (2006). Assistant Tool for Architectural Layout Design by Genetic Algorithm. *Conference On Computer Aided Architectural Design Research In Asia*, *11*, s. 641-643. Kumamoto.

Othman, Amavasai, McKibbin, Travis, & Caparrelli. (2006). Evolutionary L-systems for large scale multi-robot formation. *IEEE SMC UK-RI 5th Chapter Conference on Advances in Cybernetic Systems*, (s. 1-6). Sheffield.

Parish, Y. I., & Müller, P. (2001). Procedural Modeling of Cities. *Proceedings Of The 28th Annual Conference On Computer Graphics And İnteractive Techniques*, (s. 301-308).

Petrš, J. (2016). Application of Intelligence of Swarm in Architecture. *Third International Conference on Artificial Intelligence and Pattern Recognition (AIPR)*, (s. 1-6).

Pilgir, E. (2015). *Türkiye'de Toplu Konut Üretimi ve Üretilmiş Biçimler.* Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Mimarlık Anabilim Dalı, İstanbul.

Pine, B. J. (1993). *Mass-Customization: The Frontier in Business Competititon.* Boston-Massachusetts, ABD: Harward Business School.

Price, C. (2003). *Opera.* (S. Hardingham, Dü.) Chichester: Wiley-Academy.

Rebaudengo, M., & Reorda, M. S. (1996, Ağustos). GALLO: A Genetic Algorithm for Floorplan Area Optimization. *IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems, 15*(8), 943-951.

Rosenman, M. A. (1997). *The Generation Of Form Using An Evolutionary Approach.*

Sabetfard, M., & Nadimi, H. (2020). Generating Square Kufc Patterns Using Cellular Automata. *Nexus Network Journal, 22*, 275-290.

Sarıyar, A. (2008). *Endüstrileşmiş Konut Üretiminde Kitlesel Bireyselleştirme.* Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Bina Bilgisi Anabilim Dalı, İstanbul.

Serenyi, P. (1965, Mart 1). Le Corbusier's Changing Attitude Toward Form. *Journal of the Society of Architectural Historians, 24*(1), 15-23.

Showkatbakhsh, M., Erdine, E., & Rodriguez, L. A. (2020). Multi-Objective Optimization of Robotically Bent In-Situ Reinforcement System. *SimAUD 2020* (s. 177-184). 2020 Society for Modeling & Simulation International.

Singh, V., & Gu, N. (2012). Towards an integrated generative design framework. *Design Studies*, 185-207.

Situngkir, H. (2010). Exploring Ancient Architectural Designs with Cellular Automata. *Aesthetics & Philosophy of Art eJournal*, 1-9.

Smith, A. R. (1984). Plants,Fractals, and Formal Languages. *Computer Graphics, 18*(3), 1-10.

Song, H., Ghaboussi, J., & Kwon, T.-H. (2016). Architectural Design Of Apartment Buildings Using The Implicit Redundant Representation Genetic Algorithm. *Automation in Construction, 72*, 166-173.

Stiny, G. (1977). Ice-Ray: A Note On The Generation Of Chinese Lattice Designs. *Environment and Planning B, 4*, 89-98.

Stiny, G. (1980). Introduction To Shape And Shape Grammars. *Environment and Planning B*(7), 343-351.

Stiny, G., & James, G. (1972). Shape Grammars and the Generative Specification of Painting and Sculpture. *The Best Computer Papers of 1971* (s. 125-135). içinde Philadelphia: Auerbach Publishers.

Stiny, G., & Mitchell, W. (1978, Nisan 11). The Palladian Grammar. *Environment and Planning B, 5*, 5-18.

Şener, S. M., & Görgül, E. (2008). A Shape Grammer Algorithm and Educational Software To Analyze Classic Ottoman Mosques. *ITU A|Z Journal Of, 5*(1), 12-30.

Tekeli, İ. (2009). *Konut Sorununu Konut Sunum Biçimleriyle Düşünmek.* İstanbul: Tarih Vakfı Yurt Yayınları.

Tokgöz, H., & Koçak, Y. (2008). Endüstrileşmiş Bina Tasarımında Modüler Koordinasyonun Rolü. *Politeknik Dergisi, 11*(3), 275-284.

Tong, X., & Feng, Y. (2019). How Current And Future Urban Patterns Respond To Urban Planning? An Integrated Cellular Automata Modeling Approach. *Cities*(92), 247-260.

Uzunoğlu, K., & Özer, H. (2014). Toplu Konutların Ön Tasarım Aşamasında Değerlendirilmesi. *Megaron, 9*(3), 167-189.

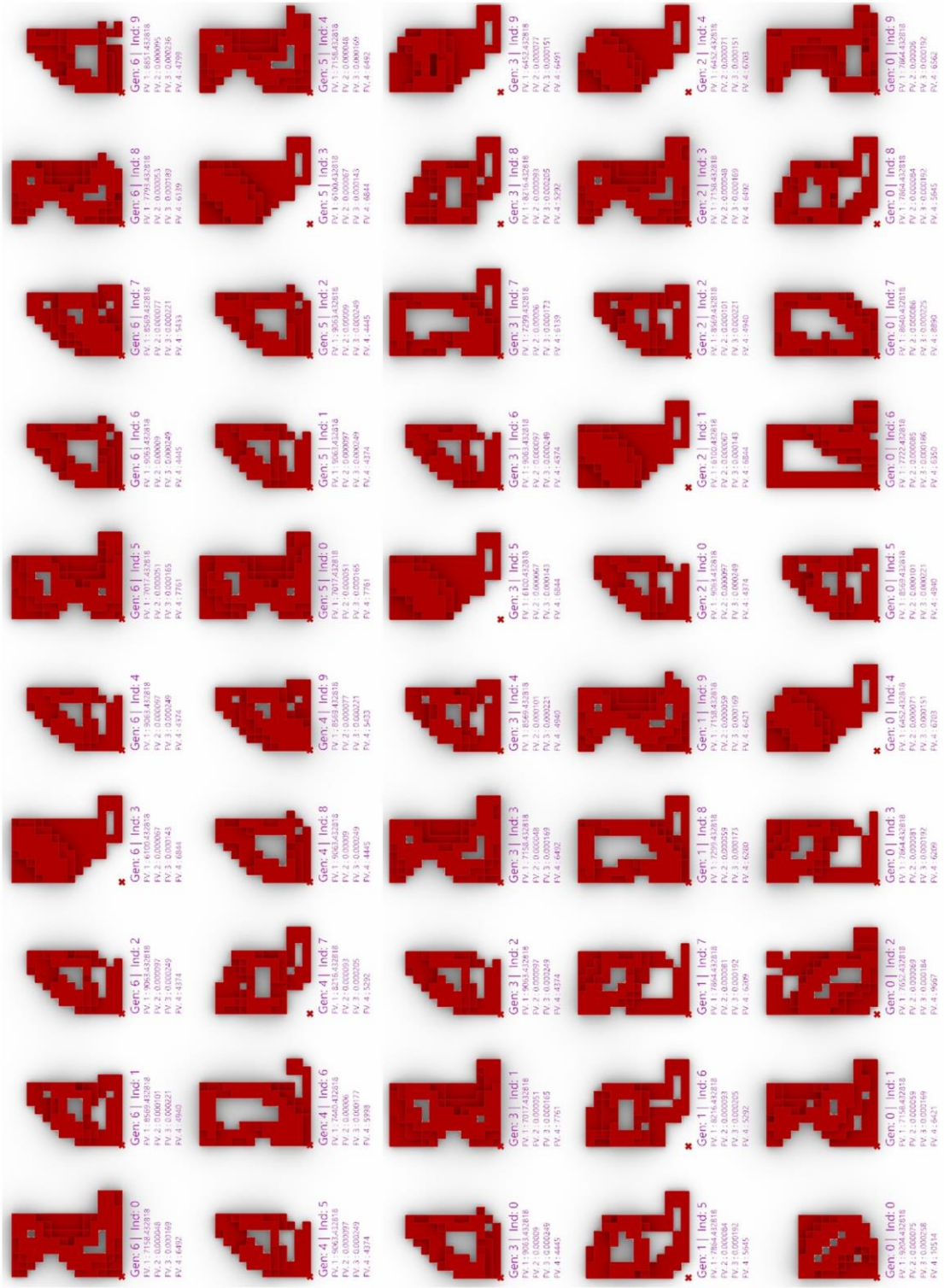
Vogler, A. (2015). *The House As A Product.* (M. Eekhout, Dü.) Amsterdam, Hollanda: IOS Press BV.

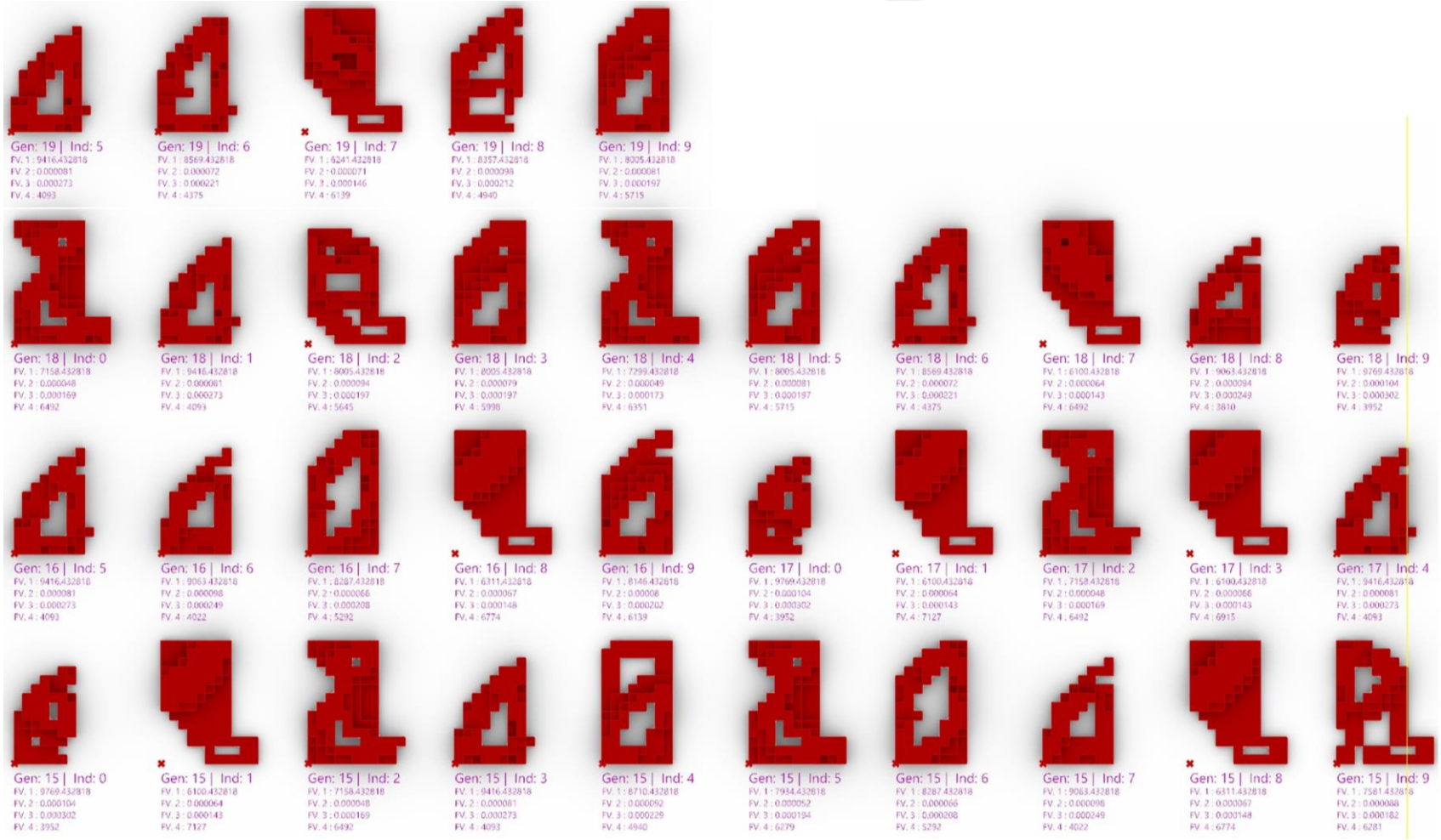
Yıldırım, T., Yavuz, A. Ö., & İnan, N. (2010, Eylül). Mimari Tasarım Eğitiminde Geleneksel ve Dijital Görselleştirme Teknolojilerinin Karşılaştırılması. *Bilişim Teknolojileri Dergisi, 3*(3), 17-26.

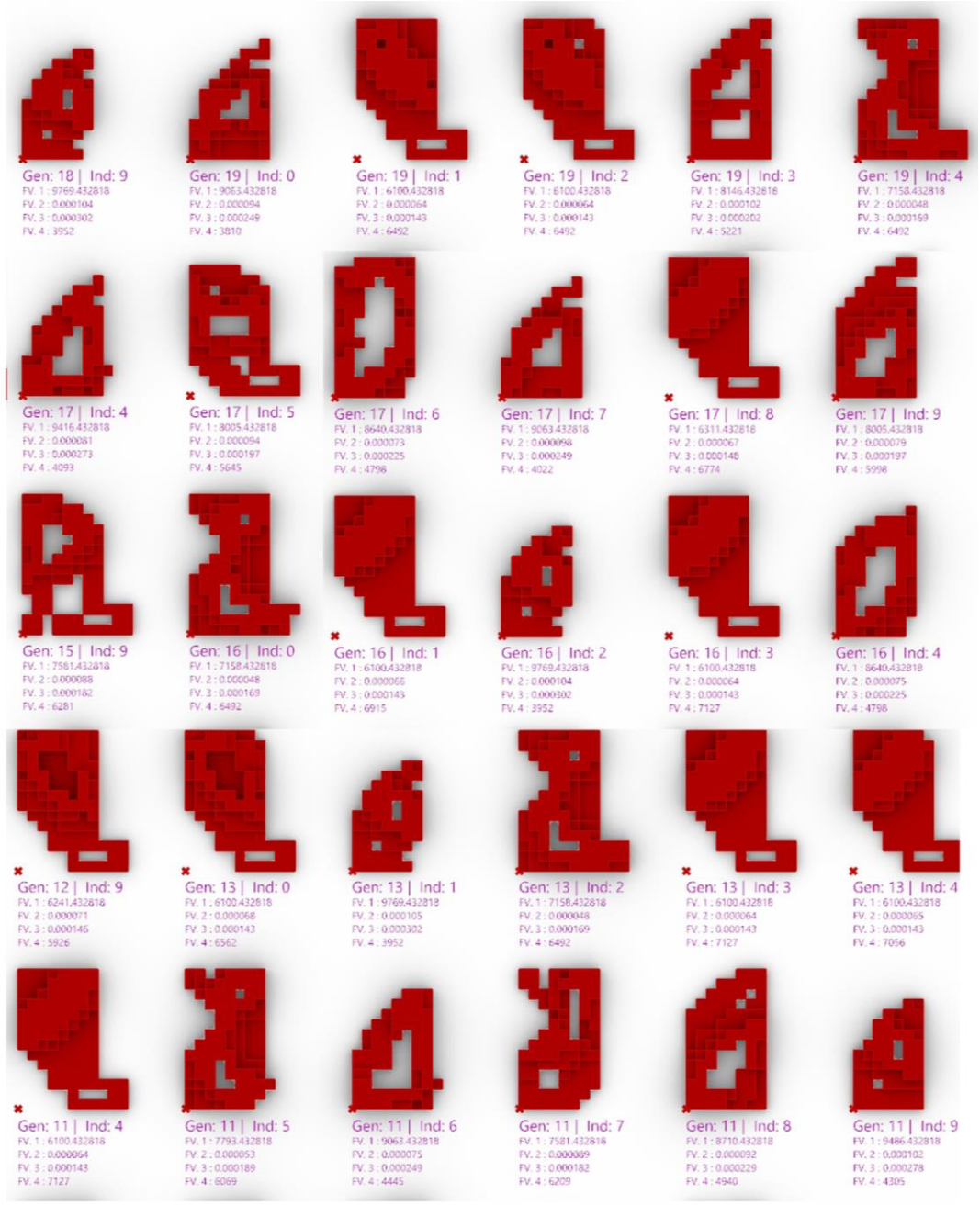
Zeytinburnu Belediyesi. (2022, 01 12). https://sehirrehberi.zeytinburnu.bel.tr/#map=13/3218290.69/5012314.91/0 adresinden alındı

Zeytinburnu Belediyesi. (2015). *Stratejik Plan (2010-2014).* İstanbul.

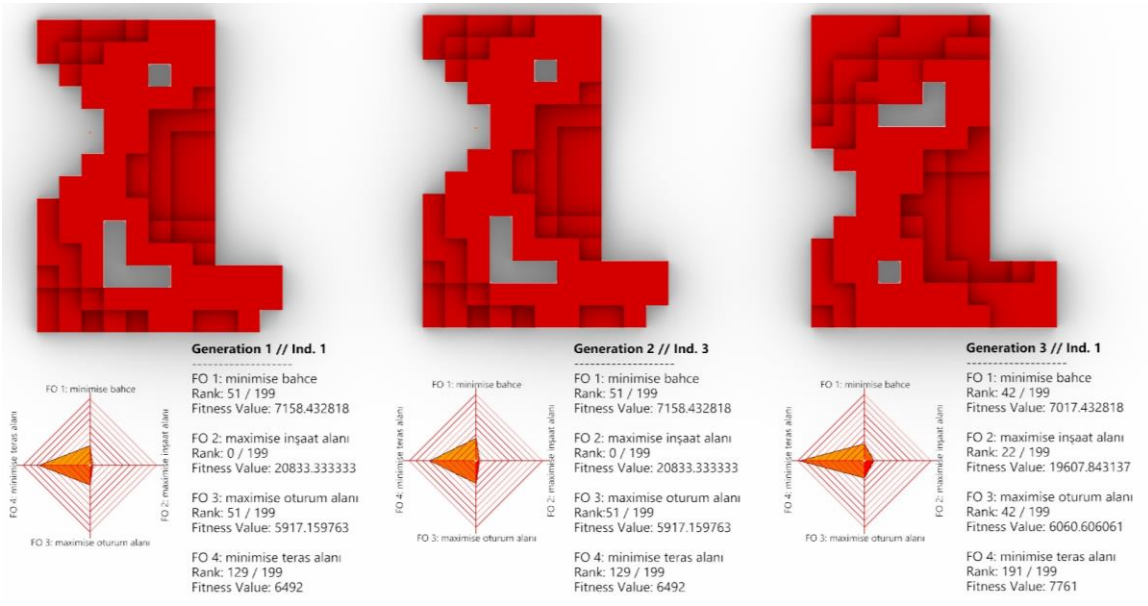
A
MODELDE ÜRETİLEN 200 ADET ÇÖZÜM

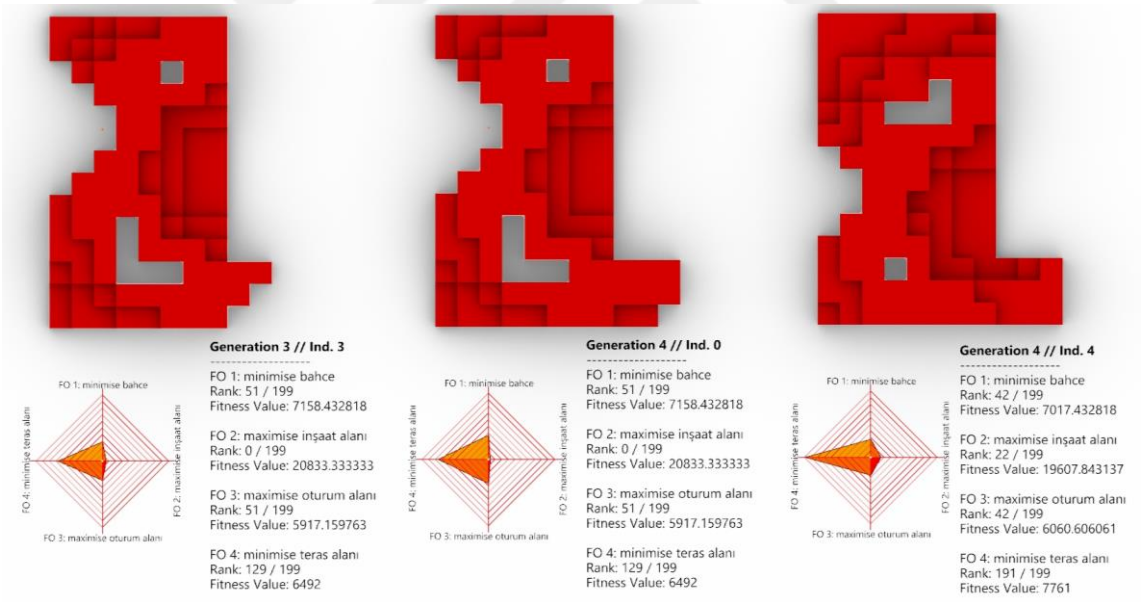


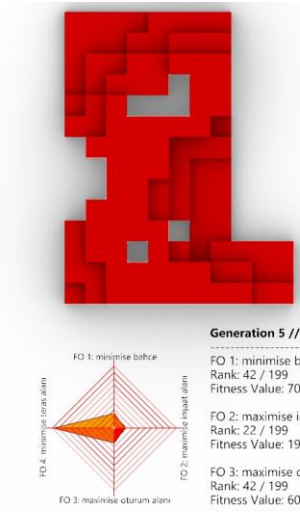

Gen: 19 | Ind: 5
FV. 1 : 9416.432818
FV. 2 : 0.000081
FV. 3 : 0.000273
FV. 4 : 4093
Gen: 19 | Ind: 6
FV. 1 : 8569.432818
FV. 2 : 0.000072
FV. 3 : 0.000221
FV. 4 : 4375
Gen: 19 | Ind: 7
FV. 1 : 6241.432818
FV. 2 : 0.000071
FV. 3 : 0.000146
FV. 4 : 6139
Gen: 19 | Ind: 8
FV. 1 : 8357.432818
FV. 2 : 0.000098
FV. 3 : 0.000212
FV. 4 : 4940
Gen: 19 | Ind: 9
FV. 1 : 8005.432818
FV. 2 : 0.000081
FV. 3 : 0.000197
FV. 4 : 5715
Gen: 18 | Ind: 0
FV. 1 : 7158.432818
FV. 2 : 0.000048
FV. 3 : 0.000169
FV. 4 : 6492
Gen: 18 | Ind: 1
FV. 1 : 9416.432818
FV. 2 : 0.000081
FV. 3 : 0.000273
FV. 4 : 4093
Gen: 18 | Ind: 2
FV. 1 : 8005.432818
FV. 2 : 0.000094
FV. 3 : 0.000197
FV. 4 : 5645
Gen: 18 | Ind: 3
FV. 1 : 8005.432818
FV. 2 : 0.000079
FV. 3 : 0.000197
FV. 4 : 5998
Gen: 18 | Ind: 4
FV. 1 : 7299.432818
FV. 2 : 0.000049
FV. 3 : 0.000173
FV. 4 : 6351
Gen: 18 | Ind: 5
FV. 1 : 8005.432818
FV. 2 : 0.000081
FV. 3 : 0.000197
FV. 4 : 5715
Gen: 18 | Ind: 6
FV. 1 : 8569.432818
FV. 2 : 0.000072
FV. 3 : 0.000221
FV. 4 : 4375
Gen: 18 | Ind: 7
FV. 1 : 6100.432818
FV. 2 : 0.000064
FV. 3 : 0.000143
FV. 4 : 6492
Gen: 18 | Ind: 8
FV. 1 : 9063.432818
FV. 2 : 0.000094
FV. 3 : 0.000249
FV. 4 : 3810
Gen: 18 | Ind: 9
FV. 1 : 9769.432818
FV. 2 : 0.000104
FV. 3 : 0.000302
FV. 4 : 3952
Gen: 16 | Ind: 5
FV. 1 : 9416.432818
FV. 2 : 0.000081
FV. 3 : 0.000273
FV. 4 : 4093
Gen: 16 | Ind: 6
FV. 1 : 9063.432818
FV. 2 : 0.000098
FV. 3 : 0.000249
FV. 4 : 4022
Gen: 16 | Ind: 7
FV. 1 : 8287.432818
FV. 2 : 0.000066
FV. 3 : 0.000208
FV. 4 : 5292
Gen: 16 | Ind: 8
FV. 1 : 6311.432818
FV. 2 : 0.000067
FV. 3 : 0.000148
FV. 4 : 6774
Gen: 16 | Ind: 9
FV. 1 : 8146.432818
FV. 2 : 0.00008
FV. 3 : 0.000202
FV. 4 : 6139
Gen: 17 | Ind: 0
FV. 1 : 9769.432818
FV. 2 : 0.000104
FV. 3 : 0.000302
FV. 4 : 3952
Gen: 17 | Ind: 1
FV. 1 : 6100.432818
FV. 2 : 0.000064
FV. 3 : 0.000143
FV. 4 : 7127
Gen: 17 | Ind: 2
FV. 1 : 7158.432818
FV. 2 : 0.000048
FV. 3 : 0.000169
FV. 4 : 6492
Gen: 17 | Ind: 3
FV. 1 : 6100.432818
FV. 2 : 0.000066
FV. 3 : 0.000143
FV. 4 : 6915
Gen: 17 | Ind: 4
FV. 1 : 9416.432818
FV. 2 : 0.000081
FV. 3 : 0.000273
FV. 4 : 4093
Gen: 15 | Ind: 0
FV. 1 : 9769.432818
FV. 2 : 0.000104
FV. 3 : 0.000302
FV. 4 : 3952
Gen: 15 | Ind: 1
FV. 1 : 6100.432818
FV. 2 : 0.000064
FV. 3 : 0.000143
FV. 4 : 7127
Gen: 15 | Ind: 2
FV. 1 : 7158.432818
FV. 2 : 0.000048
FV. 3 : 0.000169
FV. 4 : 6492
Gen: 15 | Ind: 3
FV. 1 : 9416.432818
FV. 2 : 0.000081
FV. 3 : 0.000273
FV. 4 : 4093
Gen: 15 | Ind: 4
FV. 1 : 8710.432818
FV. 2 : 0.000092
FV. 3 : 0.000229
FV. 4 : 4940
Gen: 15 | Ind: 5
FV. 1 : 7934.432818
FV. 2 : 0.000052
FV. 3 : 0.000194
FV. 4 : 6279
Gen: 15 | Ind: 6
FV. 1 : 8287.432818
FV. 2 : 0.000066
FV. 3 : 0.000208
FV. 4 : 5292
Gen: 15 | Ind: 7
FV. 1 : 9063.432818
FV. 2 : 0.000098
FV. 3 : 0.000249
FV. 4 : 4022
Gen: 15 | Ind: 8
FV. 1 : 6311.432818
FV. 2 : 0.000067
FV. 3 : 0.000148
FV. 4 : 6774
Gen: 15 | Ind: 9
FV. 1 : 7581.432818
FV. 2 : 0.000088
FV. 3 : 0.000182
FV. 4 : 6281


Gen: 18 | Ind: 9
FV. 1 : 9769.432818
FV. 2 : 0.000104
FV. 3 : 0.000302
FV. 4 : 3952
Gen: 19 | Ind: 0
FV. 1 : 9063.432818
FV. 2 : 0.000094
FV. 3 : 0.000249
FV. 4 : 3810
Gen: 19 | Ind: 1
FV. 1 : 6100.432818
FV. 2 : 0.000064
FV. 3 : 0.000143
FV. 4 : 6492
Gen: 19 | Ind: 2
FV. 1 : 6100.432818
FV. 2 : 0.000064
FV. 3 : 0.000143
FV. 4 : 6492
Gen: 19 | Ind: 3
FV. 1 : 8146.432818
FV. 2 : 0.000102
FV. 3 : 0.000202
FV. 4 : 5221
Gen: 19 | Ind: 4
FV. 1 : 7158.432818
FV. 2 : 0.000048
FV. 3 : 0.000169
FV. 4 : 6492
Gen: 17 | Ind: 4
FV. 1 : 9416.432818
FV. 2 : 0.000081
FV. 3 : 0.000273
FV. 4 : 4093
Gen: 17 | Ind: 5
FV. 1 : 8005.432818
FV. 2 : 0.000094
FV. 3 : 0.000197
FV. 4 : 5645
Gen: 17 | Ind: 6
FV. 1 : 8640.432818
FV. 2 : 0.000073
FV. 3 : 0.000225
FV. 4 : 4798
Gen: 17 | Ind: 7
FV. 1 : 9063.432818
FV. 2 : 0.000098
FV. 3 : 0.000249
FV. 4 : 4022
Gen: 17 | Ind: 8
FV. 1 : 6311.432818
FV. 2 : 0.000067
FV. 3 : 0.000148
FV. 4 : 6774
Gen: 17 | Ind: 9
FV. 1 : 8005.432818
FV. 2 : 0.000079
FV. 3 : 0.000197
FV. 4 : 5998
Gen: 15 | Ind: 9
FV. 1 : 7581.432818
FV. 2 : 0.000088
FV. 3 : 0.000182
FV. 4 : 6281
Gen: 16 | Ind: 0
FV. 1 : 7158.432818
FV. 2 : 0.000048
FV. 3 : 0.000169
FV. 4 : 6492
Gen: 16 | Ind: 1
FV. 1 : 6100.432818
FV. 2 : 0.000066
FV. 3 : 0.000143
FV. 4 : 6915
Gen: 16 | Ind: 2
FV. 1 : 9769.432818
FV. 2 : 0.000104
FV. 3 : 0.000302
FV. 4 : 3952
Gen: 16 | Ind: 3
FV. 1 : 6100.432818
FV. 2 : 0.000064
FV. 3 : 0.000143
FV. 4 : 7127
Gen: 16 | Ind: 4
FV. 1 : 8640.432818
FV. 2 : 0.000075
FV. 3 : 0.000225
FV. 4 : 4798
Gen: 12 | Ind: 9
FV. 1 : 6241.432818
FV. 2 : 0.000071
FV. 3 : 0.000146
FV. 4 : 5926
Gen: 13 | Ind: 0
FV. 1 : 6100.432818
FV. 2 : 0.000068
FV. 3 : 0.000143
FV. 4 : 6562
Gen: 13 | Ind: 1
FV. 1 : 9769.432818
FV. 2 : 0.000105
FV. 3 : 0.000302
FV. 4 : 3952
Gen: 13 | Ind: 2
FV. 1 : 7158.432818
FV. 2 : 0.000048
FV. 3 : 0.000169
FV. 4 : 6492
Gen: 13 | Ind: 3
FV. 1 : 6100.432818
FV. 2 : 0.000064
FV. 3 : 0.000143
FV. 4 : 7127
Gen: 13 | Ind: 4
FV. 1 : 6100.432818
FV. 2 : 0.000065
FV. 3 : 0.000143
FV. 4 : 7056
Gen: 11 | Ind: 4
FV. 1 : 6100.432818
FV. 2 : 0.000064
FV. 3 : 0.000143
FV. 4 : 7127
Gen: 11 | Ind: 5
FV. 1 : 7793.432818
FV. 2 : 0.000053
FV. 3 : 0.000189
FV. 4 : 6069
Gen: 11 | Ind: 6
FV. 1 : 9063.432818
FV. 2 : 0.000075
FV. 3 : 0.000249
FV. 4 : 4445
Gen: 11 | Ind: 7
FV. 1 : 7581.432818
FV. 2 : 0.000089
FV. 3 : 0.000182
FV. 4 : 6209
Gen: 11 | Ind: 8
FV. 1 : 8710.432818
FV. 2 : 0.000092
FV. 3 : 0.000229
FV. 4 : 4940
Gen: 11 | Ind: 9
FV. 1 : 9486.432818
FV. 2 : 0.000102
FV. 3 : 0.000278
FV. 4 : 4305

B
TAKS-KAKS SEÇİMİ ÇÖZÜMLERİ (32 ADET)







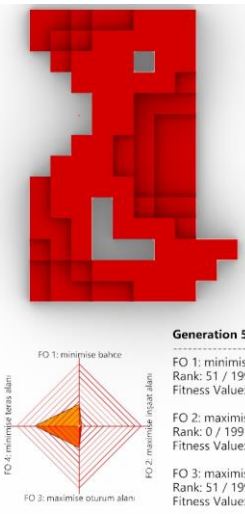
Generation 5 // Ind. 0

FO 1: minimise bahce
Rank: 42 / 199
Fitness Value: 7017.432818

FO 2: maximise inşaat alanı
Rank: 22 / 199
Fitness Value: 19607.843137

FO 3: maximise oturum alanı
Rank: 42 / 199
Fitness Value: 6060.606061

FO 4: minimise teras alanı
Rank: 191 / 199
Fitness Value: 7761



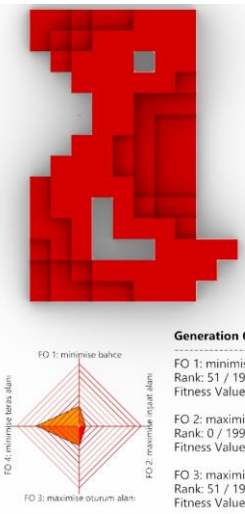
Generation 5 // Ind. 4

FO 1: minimise bahce
Rank: 51 / 199
Fitness Value: 7158.432818

FO 2: maximise inşaat alanı
Rank: 0 / 199
Fitness Value: 20833.333333

FO 3: maximise oturum alanı
Rank: 51 / 199
Fitness Value: 5917.159763

FO 4: minimise teras alanı
Rank: 129 / 199
Fitness Value: 6492



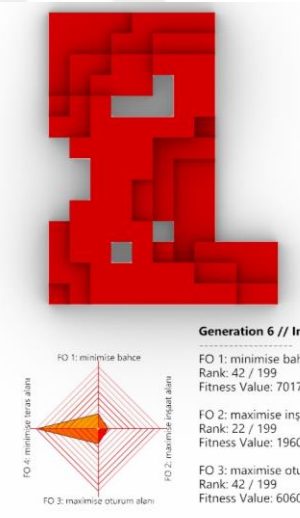
Generation 6 // Ind. 0

FO 1: minimise bahce
Rank: 51 / 199
Fitness Value: 7158.432818

FO 2: maximise inşaat alanı
Rank: 0 / 199
Fitness Value: 20833.333333

FO 3: maximise oturum alanı
Rank: 51 / 199
Fitness Value: 5917.159763

FO 4: minimise teras alanı
Rank: 129 / 199
Fitness Value: 6492



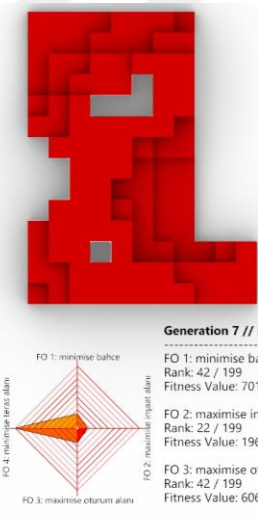
Generation 6 // Ind. 5

FO 1: minimise bahce
Rank: 42 / 199
Fitness Value: 7017.432818

FO 2: maximise inşaat alanı
Rank: 22 / 199
Fitness Value: 19607.843137

FO 3: maximise oturum alanı
Rank: 42 / 199
Fitness Value: 6060.606061

FO 4: minimise teras alanı
Rank: 191 / 199
Fitness Value: 7761



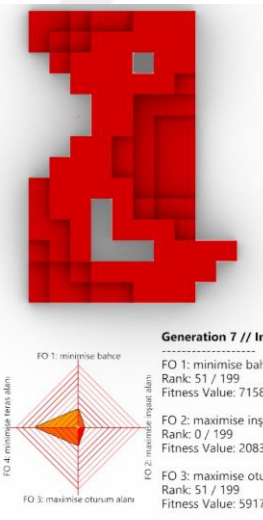
Generation 7 // Ind. 1

FO 1: minimise bahce
Rank: 42 / 199
Fitness Value: 7017.432818

FO 2: maximise inşaat alanı
Rank: 22 / 199
Fitness Value: 19607.843137

FO 3: maximise oturum alanı
Rank: 42 / 199
Fitness Value: 6060.606061

FO 4: minimise teras alanı
Rank: 191 / 199
Fitness Value: 7761



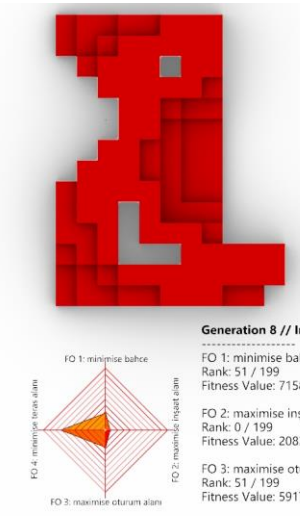
Generation 7 // Ind. 2

FO 1: minimise bahce
Rank: 51 / 199
Fitness Value: 7158.432818

FO 2: maximise inşaat alanı
Rank: 0 / 199
Fitness Value: 20833.333333

FO 3: maximise oturum alanı
Rank: 51 / 199
Fitness Value: 5917.159763

FO 4: minimise teras alanı
Rank: 129 / 199
Fitness Value: 6492



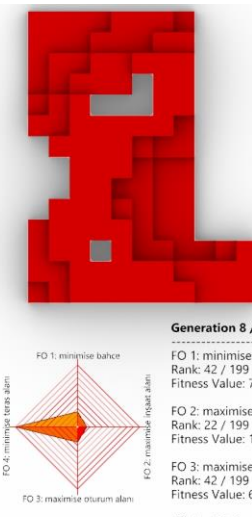
Generation 8 // Ind. 0

FO 1: minimise bahce
Rank: 51 / 199
Fitness Value: 7158.432818

FO 2: maximise inşaat alanı
Rank: 0 / 199
Fitness Value: 20833.333333

FO 3: maximise oturum alanı
Rank: 51 / 199
Fitness Value: 5917.159763

FO 4: minimise teras alanı
Rank: 129 / 199
Fitness Value: 6492



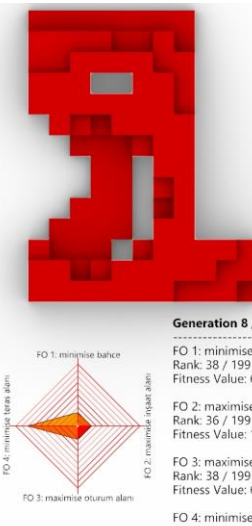
Generation 8 // Ind. 3

FO 1: minimise bahce
Rank: 42 / 199
Fitness Value: 7017.432818

FO 2: maximise inşaat alanı
Rank: 22 / 199
Fitness Value: 19607.843137

FO 3: maximise oturum alanı
Rank: 42 / 199
Fitness Value: 6060.606061

FO 4: minimise teras alanı
Rank: 191 / 199
Fitness Value: 7761



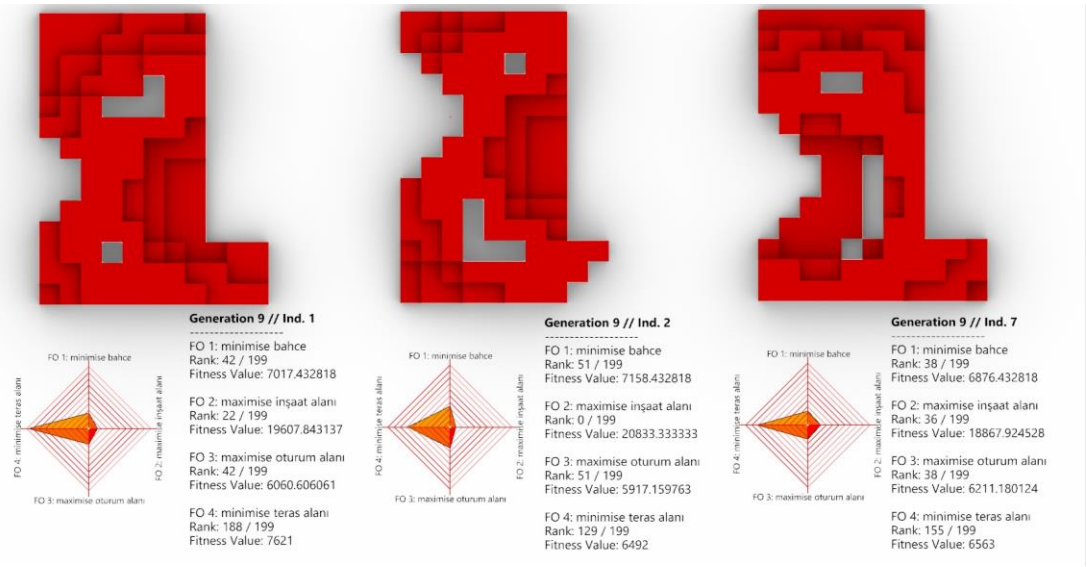
Generation 8 // Ind. 8

FO 1: minimise bahce
Rank: 38 / 199
Fitness Value: 6876.432818

FO 2: maximise inşaat alanı
Rank: 36 / 199
Fitness Value: 18867.924528

FO 3: maximise oturum alanı
Rank: 38 / 199
Fitness Value: 6211.180124

FO 4: minimise teras alanı
Rank: 155 / 199
Fitness Value: 6563



Generation 9 // Ind. 1

FO 1: minimise bahce
Rank: 42 / 199
Fitness Value: 7017.432818

FO 2: maximise inşaat alanı
Rank: 22 / 199
Fitness Value: 19607.843137

FO 3: maximise oturum alanı
Rank: 42 / 199
Fitness Value: 6060.606061

FO 4: minimise teras alanı
Rank: 188 / 199
Fitness Value: 7621

Generation 9 // Ind. 2

FO 1: minimise bahce
Rank: 51 / 199
Fitness Value: 7158.432818

FO 2: maximise inşaat alanı
Rank: 0 / 199
Fitness Value: 20833.333333

FO 3: maximise oturum alanı
Rank: 51 / 199
Fitness Value: 5917.159763

FO 4: minimise teras alanı
Rank: 129 / 199
Fitness Value: 6492

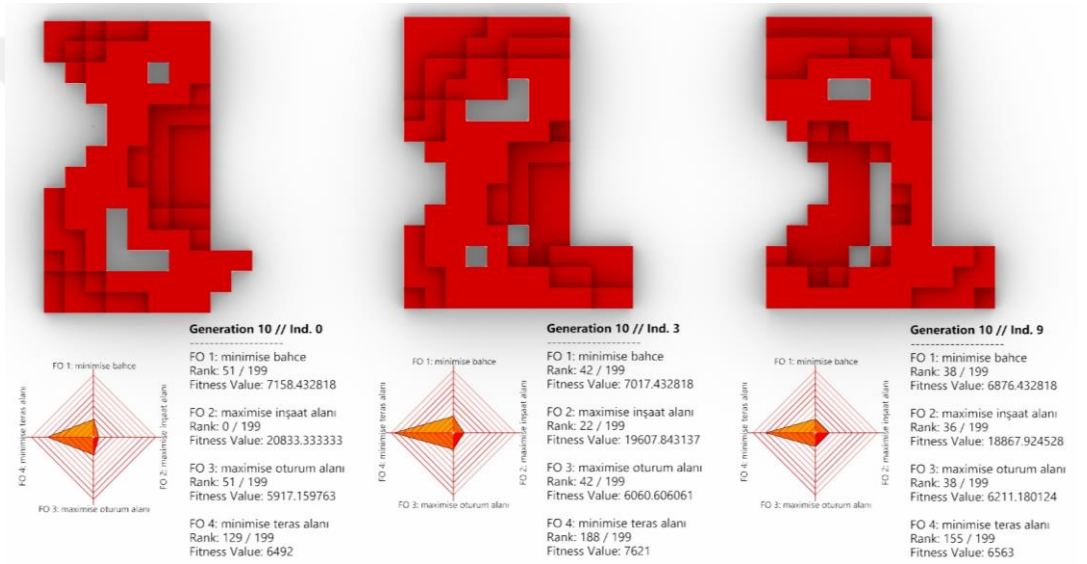
Generation 9 // Ind. 7

FO 1: minimise bahce
Rank: 38 / 199
Fitness Value: 6876.432818

FO 2: maximise inşaat alanı
Rank: 36 / 199
Fitness Value: 18867.924528

FO 3: maximise oturum alanı
Rank: 38 / 199
Fitness Value: 6211.180124

FO 4: minimise teras alanı
Rank: 155 / 199
Fitness Value: 6563



Generation 10 // Ind. 0

FO 1: minimise bahce
Rank: 51 / 199
Fitness Value: 7158.432818

FO 2: maximise inşaat alanı
Rank: 0 / 199
Fitness Value: 20833.333333

FO 3: maximise oturum alanı
Rank: 51 / 199
Fitness Value: 5917.159763

FO 4: minimise teras alanı
Rank: 129 / 199
Fitness Value: 6492

Generation 10 // Ind. 3

FO 1: minimise bahce
Rank: 42 / 199
Fitness Value: 7017.432818

FO 2: maximise inşaat alanı
Rank: 22 / 199
Fitness Value: 19607.843137

FO 3: maximise oturum alanı
Rank: 42 / 199
Fitness Value: 6060.606061

FO 4: minimise teras alanı
Rank: 188 / 199
Fitness Value: 7621

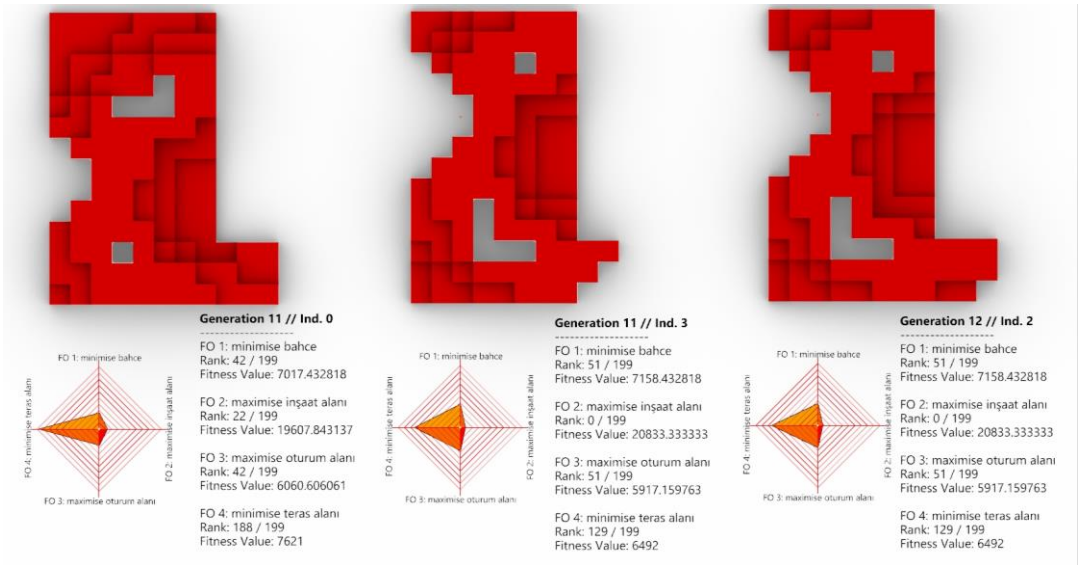
Generation 10 // Ind. 9

FO 1: minimise bahce
Rank: 38 / 199
Fitness Value: 6876.432818

FO 2: maximise inşaat alanı
Rank: 36 / 199
Fitness Value: 18867.924528

FO 3: maximise oturum alanı
Rank: 38 / 199
Fitness Value: 6211.180124

FO 4: minimise teras alanı
Rank: 155 / 199
Fitness Value: 6563



Generation 11 // Ind. 0

FO 1: minimise bahce
Rank: 42 / 199
Fitness Value: 7017.432818

FO 2: maximise inşaat alanı
Rank: 22 / 199
Fitness Value: 19607.843137

FO 3: maximise oturum alanı
Rank: 42 / 199
Fitness Value: 6060.606061

FO 4: minimise teras alanı
Rank: 188 / 199
Fitness Value: 7621

Generation 11 // Ind. 3

FO 1: minimise bahce
Rank: 51 / 199
Fitness Value: 7158.432818

FO 2: maximise inşaat alanı
Rank: 0 / 199
Fitness Value: 20833.333333

FO 3: maximise oturum alanı
Rank: 51 / 199
Fitness Value: 5917.159763

FO 4: minimise teras alanı
Rank: 129 / 199
Fitness Value: 6492

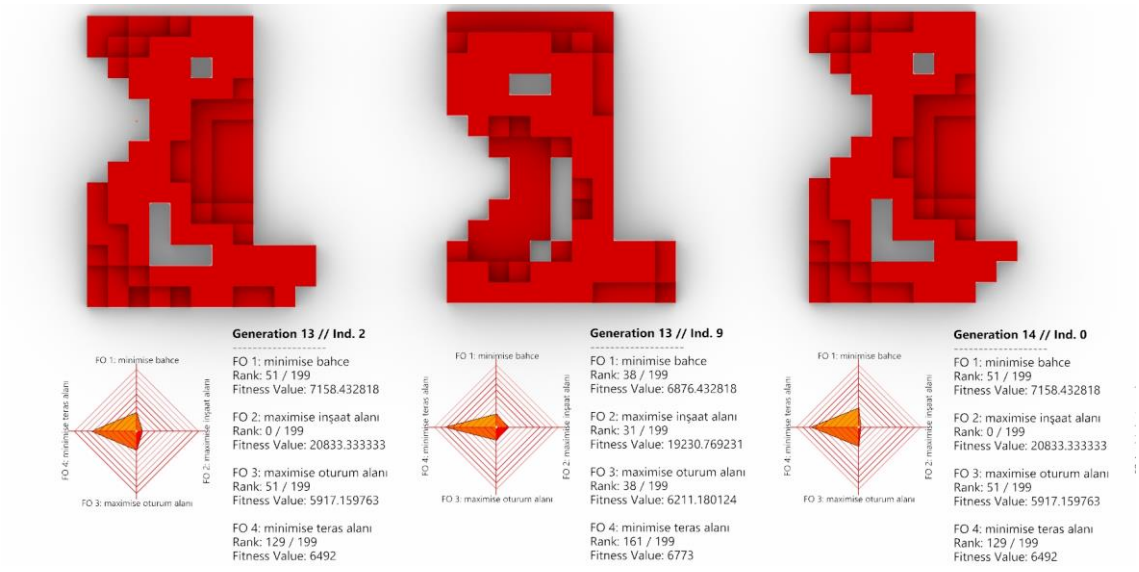
Generation 12 // Ind. 2

FO 1: minimise bahce
Rank: 51 / 199
Fitness Value: 7158.432818

FO 2: maximise inşaat alanı
Rank: 0 / 199
Fitness Value: 20833.333333

FO 3: maximise oturum alanı
Rank: 51 / 199
Fitness Value: 5917.159763

FO 4: minimise teras alanı
Rank: 129 / 199
Fitness Value: 6492



Generation 13 // Ind. 2

FO 1: minimise bahce
Rank: 51 / 199
Fitness Value: 7158.432818

FO 2: maximise inşaat alanı
Rank: 0 / 199
Fitness Value: 20833.333333

FO 3: maximise oturum alanı
Rank: 51 / 199
Fitness Value: 5917.159763

FO 4: minimise teras alanı
Rank: 129 / 199
Fitness Value: 6492

Generation 13 // Ind. 9

FO 1: minimise bahce
Rank: 38 / 199
Fitness Value: 6876.432818

FO 2: maximise inşaat alanı
Rank: 31 / 199
Fitness Value: 19230.769231

FO 3: maximise oturum alanı
Rank: 38 / 199
Fitness Value: 6211.180124

FO 4: minimise teras alanı
Rank: 161 / 199
Fitness Value: 6773

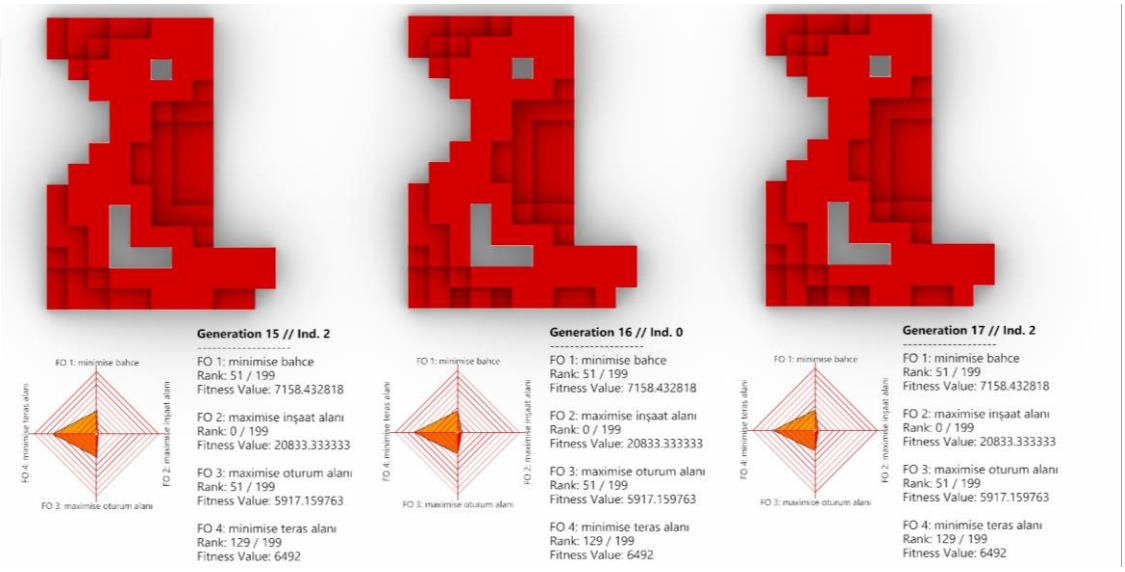
Generation 14 // Ind. 0

FO 1: minimise bahce
Rank: 51 / 199
Fitness Value: 7158.432818

FO 2: maximise inşaat alanı
Rank: 0 / 199
Fitness Value: 20833.333333

FO 3: maximise oturum alanı
Rank: 51 / 199
Fitness Value: 5917.159763

FO 4: minimise teras alanı
Rank: 129 / 199
Fitness Value: 6492



Generation 15 // Ind. 2

FO 1: minimise bahce
Rank: 51 / 199
Fitness Value: 7158.432818

FO 2: maximise inşaat alanı
Rank: 0 / 199
Fitness Value: 20833.333333

FO 3: maximise oturum alanı
Rank: 51 / 199
Fitness Value: 5917.159763

FO 4: minimise teras alanı
Rank: 129 / 199
Fitness Value: 6492

Generation 16 // Ind. 0

FO 1: minimise bahce
Rank: 51 / 199
Fitness Value: 7158.432818

FO 2: maximise inşaat alanı
Rank: 0 / 199
Fitness Value: 20833.333333

FO 3: maximise oturum alanı
Rank: 51 / 199
Fitness Value: 5917.159763

FO 4: minimise teras alanı
Rank: 129 / 199
Fitness Value: 6492

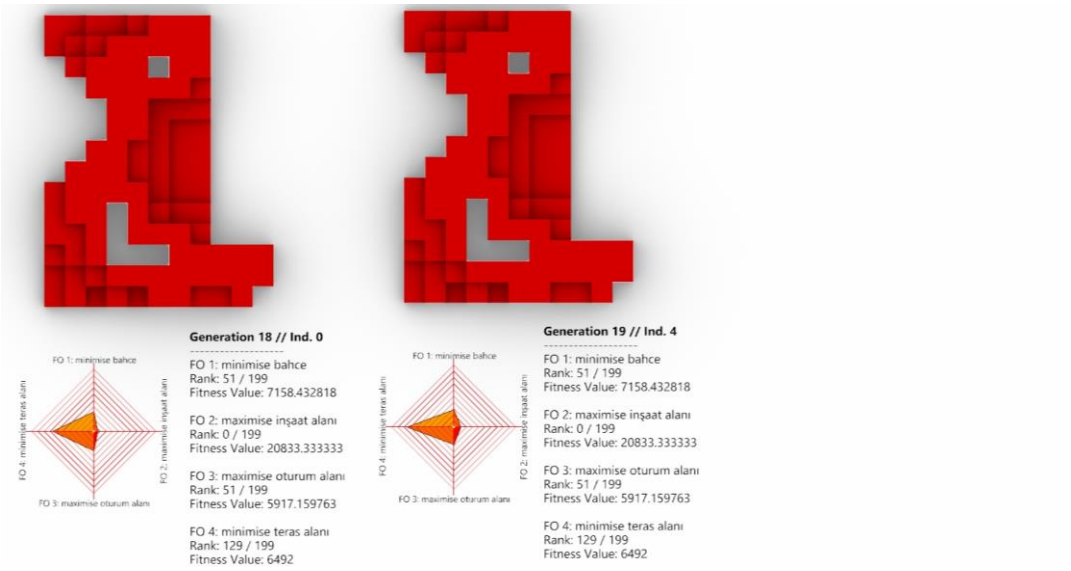
Generation 17 // Ind. 2

FO 1: minimise bahce
Rank: 51 / 199
Fitness Value: 7158.432818

FO 2: maximise inşaat alanı
Rank: 0 / 199
Fitness Value: 20833.333333

FO 3: maximise oturum alanı
Rank: 51 / 199
Fitness Value: 5917.159763

FO 4: minimise teras alanı
Rank: 129 / 199
Fitness Value: 6492



Generation 18 // Ind. 0

FO 1: minimise bahce
Rank: 51 / 199
Fitness Value: 7158.432818

FO 2: maximise inşaat alanı
Rank: 0 / 199
Fitness Value: 20833.333333

FO 3: maximise oturum alanı
Rank: 51 / 199
Fitness Value: 5917.159763

FO 4: minimise teras alanı
Rank: 129 / 199
Fitness Value: 6492

Generation 19 // Ind. 4

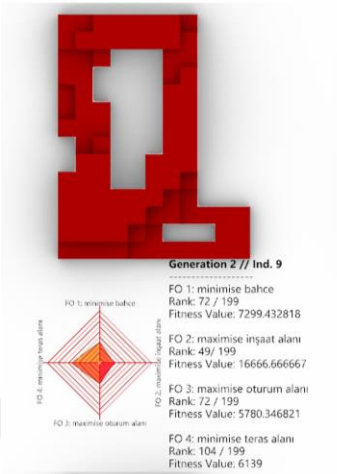
FO 1: minimise bahce
Rank: 51 / 199
Fitness Value: 7158.432818

FO 2: maximise inşaat alanı
Rank: 0 / 199
Fitness Value: 20833.333333

FO 3: maximise oturum alanı
Rank: 51 / 199
Fitness Value: 5917.159763

FO 4: minimise teras alanı
Rank: 129 / 199
Fitness Value: 6492

C
PARETO OPTİMAL ÇÖZÜMLER (26 ADET)



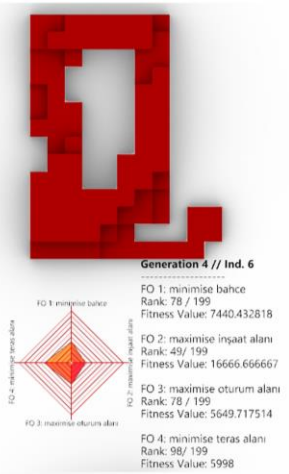
Generation 2 // Ind. 9

FO 1: minimise bahce
Rank: 72 / 199
Fitness Value: 7299.432818

FO 2: maximise inşaat alanı
Rank: 49/ 199
Fitness Value: 16666.666667

FO 3: maximise oturum alanı
Rank: 72 / 199
Fitness Value: 5780.346821

FO 4: minimise teras alanı
Rank: 104 / 199
Fitness Value: 6139



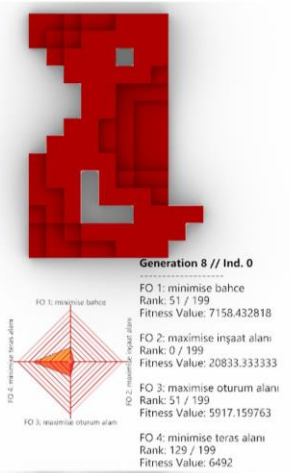
Generation 4 // Ind. 6

FO 1: minimise bahce
Rank: 78 / 199
Fitness Value: 7440.432818

FO 2: maximise inşaat alanı
Rank: 49/ 199
Fitness Value: 16666.666667

FO 3: maximise oturum alanı
Rank: 78 / 199
Fitness Value: 5649.717514

FO 4: minimise teras alanı
Rank: 98/ 199
Fitness Value: 5998



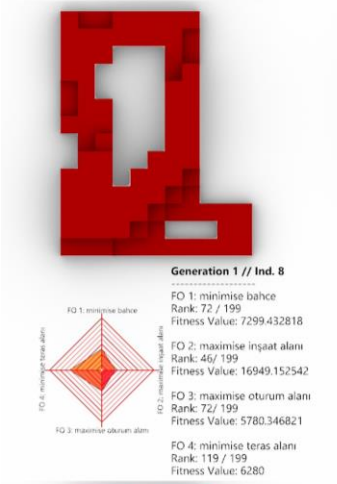
Generation 8 // Ind. 0

FO 1: minimise bahce
Rank: 51 / 199
Fitness Value: 7158.432818

FO 2: maximise inşaat alanı
Rank: 0 / 199
Fitness Value: 20833.333333

FO 3: maximise oturum alanı
Rank: 51 / 199
Fitness Value: 5917.159763

FO 4: minimise teras alanı
Rank: 129 / 199
Fitness Value: 6492



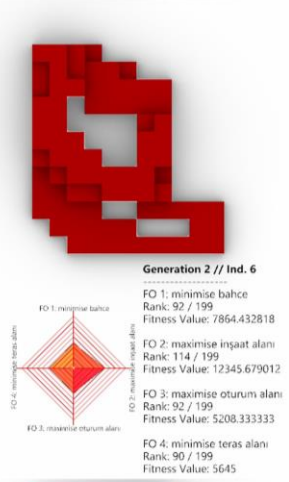
Generation 1 // Ind. 8

FO 1: minimise bahce
Rank: 72 / 199
Fitness Value: 7299.432818

FO 2: maximise inşaat alanı
Rank: 46/ 199
Fitness Value: 16949.152542

FO 3: maximise oturum alanı
Rank: 72/ 199
Fitness Value: 5780.346821

FO 4: minimise teras alanı
Rank: 119 / 199
Fitness Value: 6280



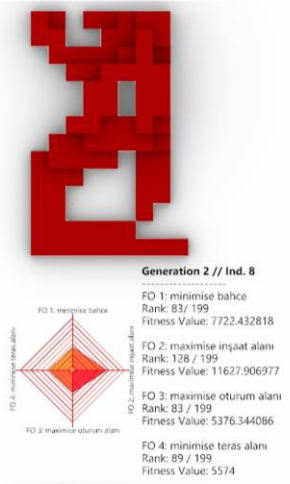
Generation 2 // Ind. 6

FO 1: minimise bahce
Rank: 92 / 199
Fitness Value: 7864.432818

FO 2: maximise inşaat alanı
Rank: 114 / 199
Fitness Value: 12345.679012

FO 3: maximise oturum alanı
Rank: 92 / 199
Fitness Value: 5208.333333

FO 4: minimise teras alanı
Rank: 90 / 199
Fitness Value: 5645



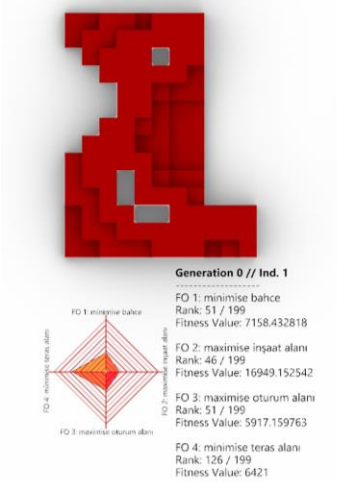
Generation 2 // Ind. 8

FO 1: minimise bahce
Rank: 83/ 199
Fitness Value: 7722.432818

FO 2: maximise inşaat alanı
Rank: 128 / 199
Fitness Value: 11627.906977

FO 3: maximise oturum alanı
Rank: 83 / 199
Fitness Value: 5376.344086

FO 4: minimise teras alanı
Rank: 89 / 199
Fitness Value: 5574



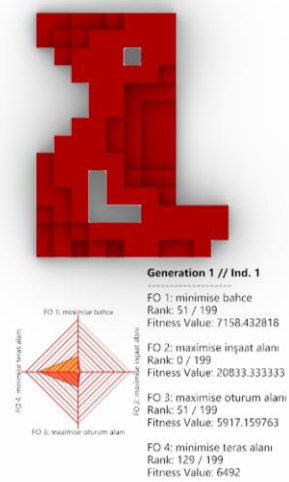
Generation 0 // Ind. 1

FO 1: minimise bahce
Rank: 51 / 199
Fitness Value: 7158.432818

FO 2: maximise inşaat alanı
Rank: 46 / 199
Fitness Value: 16949.152542

FO 3: maximise oturum alanı
Rank: 51 / 199
Fitness Value: 5917.159763

FO 4: minimise teras alanı
Rank: 126 / 199
Fitness Value: 6421



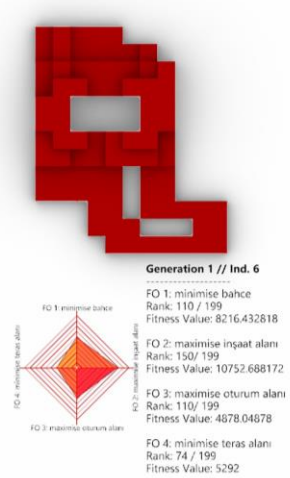
Generation 1 // Ind. 1

FO 1: minimise bahce
Rank: 51 / 199
Fitness Value: 7158.432818

FO 2: maximise inşaat alanı
Rank: 0 / 199
Fitness Value: 20833.333333

FO 3: maximise oturum alanı
Rank: 51 / 199
Fitness Value: 5917.159763

FO 4: minimise teras alanı
Rank: 129 / 199
Fitness Value: 6492



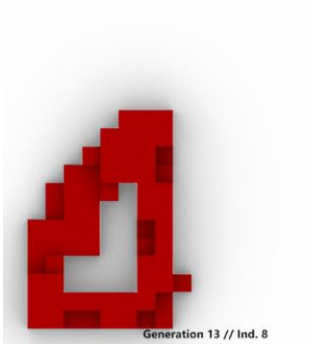
Generation 1 // Ind. 6

FO 1: minimise bahce
Rank: 110 / 199
Fitness Value: 8216.432818

FO 2: maximise inşaat alanı
Rank: 150/ 199
Fitness Value: 10752.688172

FO 3: maximise oturum alanı
Rank: 110/ 199
Fitness Value: 4878.04878

FO 4: minimise teras alanı
Rank: 74 / 199
Fitness Value: 5292



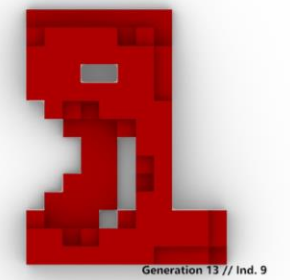
Generation 13 // Ind. 8

FO 1: minimise bahce
Rank: 147 / 199
Fitness Value: 9063.432818

FO 2: maximise inşaat alanı
Rank: 102 / 199
Fitness Value: 13157.894737

FO 3: maximise oturum alanı
Rank: 147 / 199
Fitness Value: 4016.064257

FO 4: minimise teras alanı
Rank: 24 / 199
Fitness Value: 4233



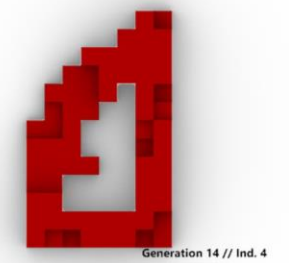
Generation 13 // Ind. 9

FO 1: minimise bahce
Rank: 38 / 199
Fitness Value: 6876.432818

FO 2: maximise inşaat alanı
Rank: 31 / 199
Fitness Value: 19230.769231

FO 3: maximise oturum alanı
Rank: 38 / 199
Fitness Value: 6211.180124

FO 4: minimise teras alanı
Rank: 161 / 199
Fitness Value: 6773



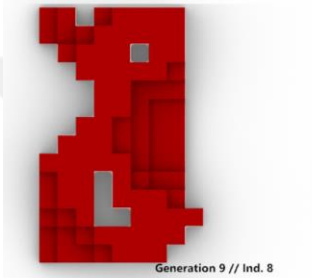
Generation 14 // Ind. 4

FO 1: minimise bahce
Rank: 115 / 199
Fitness Value: 8287.432818

FO 2: maximise inşaat alanı
Rank: 66 / 199
Fitness Value: 15151.515152

FO 3: maximise oturum alanı
Rank: 115 / 199
Fitness Value: 4807.692308

FO 4: minimise teras alanı
Rank: 74 / 199
Fitness Value: 5292



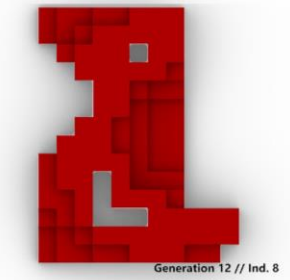
Generation 9 // Ind. 8

FO 1: minimise bahce
Rank: 85 / 199
Fitness Value: 7793.432818

FO 2: maximise inşaat alanı
Rank: 36 / 199
Fitness Value: 18867.924528

FO 3: maximise oturum alanı
Rank: 85 / 199
Fitness Value: 5291.005291

FO 4: minimise teras alanı
Rank: 101 / 199
Fitness Value: 6069



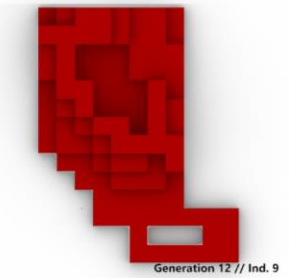
Generation 12 // Ind. 8

FO 1: minimise bahce
Rank: 98 / 199
Fitness Value: 7934.432818

FO 2: maximise inşaat alanı
Rank: 31 / 199
Fitness Value: 19230.769231

FO 3: maximise oturum alanı
Rank: 98 / 199
Fitness Value: 5154.639175

FO 4: minimise teras alanı
Rank: 115 / 199
Fitness Value: 6279



Generation 12 // Ind. 9

FO 1: minimise bahce
Rank: 28 / 199
Fitness Value: 6241.432818

FO 2: maximise inşaat alanı
Rank: 89/ 199
Fitness Value: 14084.507042

FO 3: maximise oturum alanı
Rank: 28/ 199
Fitness Value: 6849.315068

FO 4: minimise teras alanı
Rank: 97 / 199
Fitness Value: 5926



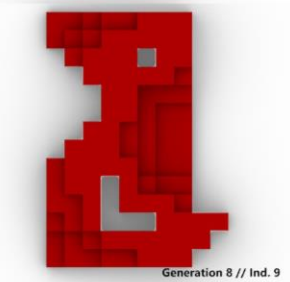
Generation 8 // Ind. 8

FO 1: minimise bahce
Rank: 38 / 199
Fitness Value: 6876.432818

FO 2: maximise inşaat alanı
Rank: 36/ 199
Fitness Value: 18867.924528

FO 3: maximise oturum alanı
Rank: 38/ 199
Fitness Value: 6211.180124

FO 4: minimise teras alanı
Rank: 155 / 199
Fitness Value: 6563



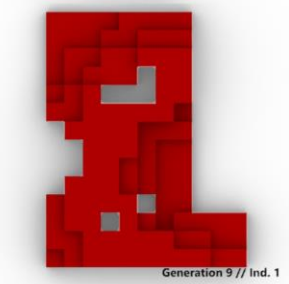
Generation 8 // Ind. 9

FO 1: minimise bahce
Rank: 72 / 199
Fitness Value: 7299.432818

FO 2: maximise inşaat alanı
Rank: 19 / 199
Fitness Value: 20408.163265

FO 3: maximise oturum alanı
Rank: 72 / 199
Fitness Value: 5780.346821

FO 4: minimise teras alanı
Rank: 123 / 199
Fitness Value: 6351



Generation 9 // Ind. 1

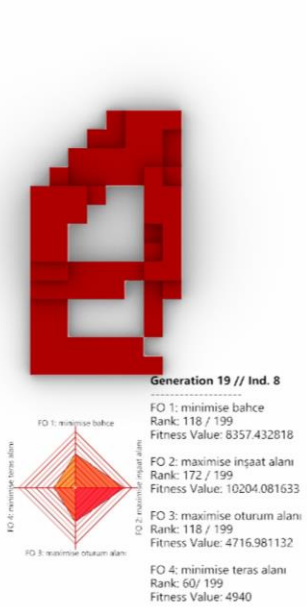
FO 1: minimise bahce
Rank: 42/ 199
Fitness Value: 7017.432818

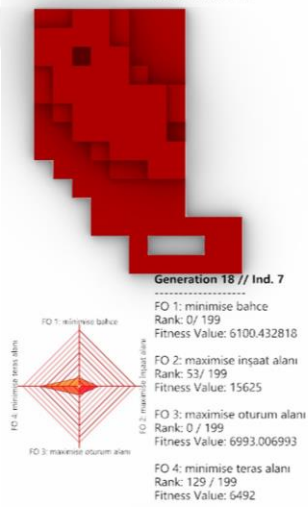
FO 2: maximise inşaat alanı
Rank: 22/ 199
Fitness Value: 19607.843137

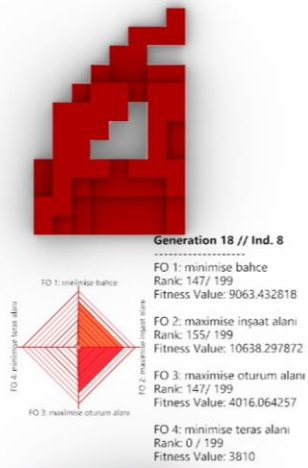
FO 3: maximise oturum alanı
Rank: 42/ 199
Fitness Value: 6060.606061

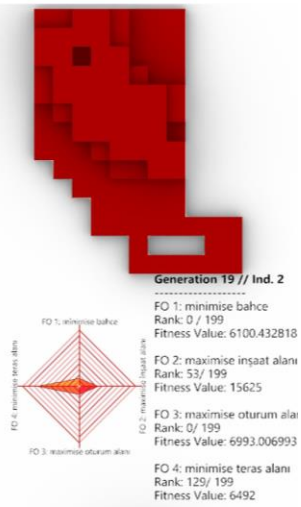
FO 4: minimise teras alanı
Rank: 188 / 199
Fitness Value: 7621

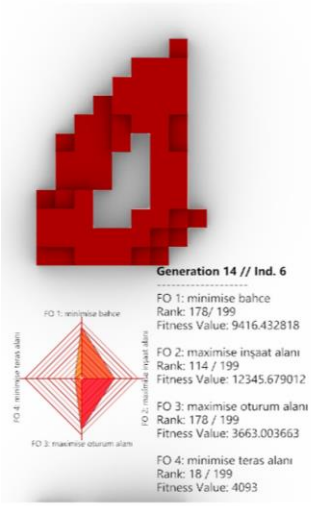

Generation 19 // Ind. 3
FO 1: minimise bahce
Rank: 108 / 199
Fitness Value: 8146.432818
FO 2: maximise inşaat alanı
Rank: 188 / 199
Fitness Value: 9803.921569
FO 3: maximise oturum alanı
Rank: 108 / 199
Fitness Value: 4950.49505
FO 4: minimise teras alanı
Rank: 73 / 199
Fitness Value: 5221

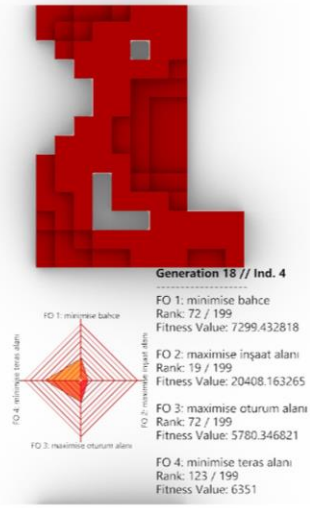

Generation 19 // Ind. 8
FO 1: minimise bahce
Rank: 118 / 199
Fitness Value: 8357.432818
FO 2: maximise inşaat alanı
Rank: 172 / 199
Fitness Value: 10204.081633
FO 3: maximise oturum alanı
Rank: 118 / 199
Fitness Value: 4716.981132
FO 4: minimise teras alanı
Rank: 60/ 199
Fitness Value: 4940

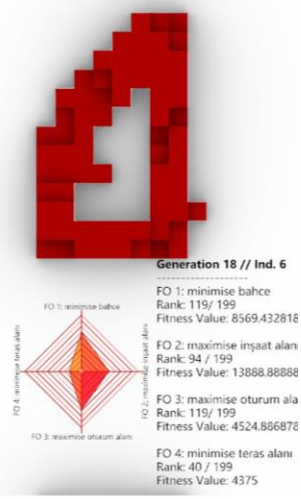

Generation 18 // Ind. 7
FO 1: minimise bahce
Rank: 0/ 199
Fitness Value: 6100.432818
FO 2: maximise inşaat alanı
Rank: 53/ 199
Fitness Value: 15625
FO 3: maximise oturum alanı
Rank: 0 / 199
Fitness Value: 6993.006993
FO 4: minimise teras alanı
Rank: 129 / 199
Fitness Value: 6492


Generation 18 // Ind. 8
FO 1: minimise bahce
Rank: 147/ 199
Fitness Value: 9063.432818
FO 2: maximise inşaat alanı
Rank: 155/ 199
Fitness Value: 10638.297872
FO 3: maximise oturum alanı
Rank: 147/ 199
Fitness Value: 4016.064257
FO 4: minimise teras alanı
Rank: 0 / 199
Fitness Value: 3810

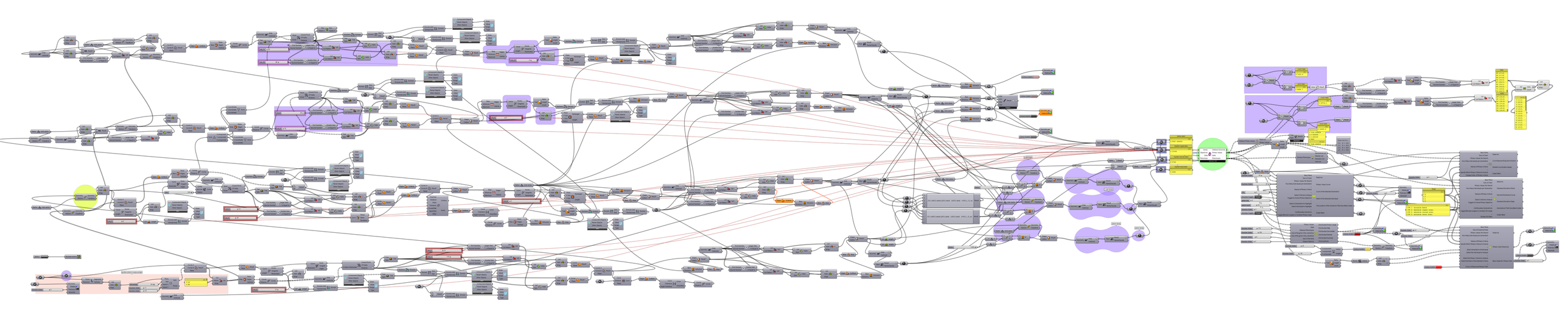

Generation 19 // Ind. 2
FO 1: minimise bahce
Rank: 0 / 199
Fitness Value: 6100.432818
FO 2: maximise inşaat alanı
Rank: 53/ 199
Fitness Value: 15625
FO 3: maximise oturum ala
Rank: 0/ 199
Fitness Value: 6993.006993
FO 4: minimise teras alanı
Rank: 129/ 199
Fitness Value: 6492


Generation 14 // Ind. 6
FO 1: minimise bahce
Rank: 178/ 199
Fitness Value: 9416.432818
FO 2: maximise inşaat alanı
Rank: 114 / 199
Fitness Value: 12345.679012
FO 3: maximise oturum alanı
Rank: 178 / 199
Fitness Value: 3663.003663
FO 4: minimise teras alanı
Rank: 18 / 199
Fitness Value: 4093


Generation 18 // Ind. 4
FO 1: minimise bahce
Rank: 72 / 199
Fitness Value: 7299.432818
FO 2: maximise inşaat alanı
Rank: 19 / 199
Fitness Value: 20408.163265
FO 3: maximise oturum alanı
Rank: 72 / 199
Fitness Value: 5780.346821
FO 4: minimise teras alanı
Rank: 123 / 199
Fitness Value: 6351


Generation 18 // Ind. 6
FO 1: minimise bahce
Rank: 119/ 199
Fitness Value: 8569.432818
FO 2: maximise inşaat alanı
Rank: 94 / 199
Fitness Value: 13888.88888
FO 3: maximise oturum ala
Rank: 119/ 199
Fitness Value: 4524.886878
FO 4: minimise teras alanı
Rank: 40 / 199
Fitness Value: 4375

D
ÜRETKEN MODELİN GRASSHOPPER KODU



TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Konferans Bildirileri

1. Şimşek, Y. G., & Başdoğan, S. (2021, Ocak 26). Bir Ürün Olarak Kitlesel Konut Tasarımında Genetik Algoritmaların Kullanımı, 6*. Uluslararası Mimarlık ve Tasarım Kongresi*, 624.