

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YAYA DAVRANIŞLARININ ALGORİTMİK
YAKLAŞIMLA ANALİZİ VE TASARIMA
AKTARILMASI

Erdem YILDIRIM

Temmuz, 2019

İZMİR

YAYA DAVRANIŞLARININ ALGORİTMİK YAKLAŞIMLA ANALİZİ VE TASARIMA AKTARILMASI

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Doktora Tezi

Mimarlık Anabilim Dalı, Bina Bilgisi Programı

Erdem YILDIRIM

Temmuz, 2019

İZMİR

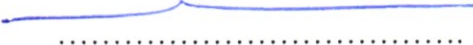
DOKTORA TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

ERDEM YILDIRIM tarafından, DOÇ. DR. HİKMET GÖKMEN yönetiminde hazırlanan “YAYA DAVRANIŞLARININ ALGORİTMİK YAKLAŞIMLA ANALİZİ VE TASARIMA AKTARILMASI” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir doktora tezi olarak kabul edilmiştir.



Doç. Dr. Hikmet GÖKMEN

Yönetici



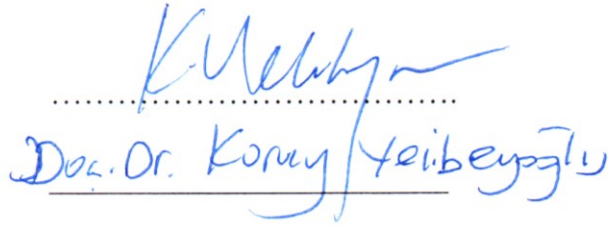
Prof. Dr. Mert ÇUBUKÇU

Tez İzleme Komitesi Üyesi



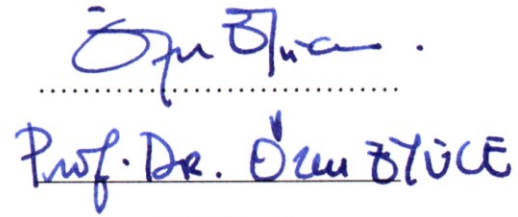
Doç. Dr. T. Didem ALTUN

Tez İzleme Komitesi Üyesi



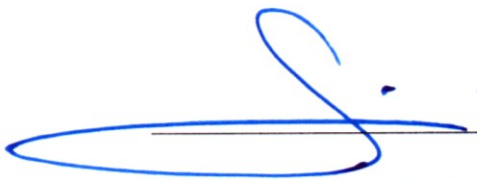
Doç. Dr. Koray Teibeyoğlu

Jüri Üyesi



Prof. Dr. Ömer ÖZÜCE

Jüri Üyesi



Prof. Dr. Kadriye Ertekin

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Öncelikle beni küçük yaşlarda rehberlik araştırma merkezlerine götürüp yeteneğimin ve ilgimin sınanmasıyla mimar olmamı sağlayan özellikle babama ve anneme teşekkür ederim. Doktora sürecimin uzamasına ve dolayısıyla birçok konu hakkında bilgi sahibi olmama sebep olan eski tez danışmanlarım Doç. Dr. Zehra Akdemir ve Prof. Dr. Açalıya Allmer'e de teşekkür ederim. Bana her zaman destek olan ve yönlendiren tez danışmanım Doç. Dr. Hikmet Gökmen'e, jüri komite üyeleri Doç Dr. Didem Akyol Altun ve Prof. Dr. Mert Çubukçu'ya, parametrik tasarım konusunda beni destekleyen Bilge Göktoğan ve Müge Halıcı'ya, literatür taramasında bana yardımcı olan İdil Hasanköyoğlu'na, tasarım atölyelerinin gerçekleştirilmesine yardım eden İzmir Mimarlık Merkezi yönetimine, Hilmi Güner ve Nilay Aydoğmuş Çelebi'ye ve son olarak akademik yönden her zaman eleştirel bakış açısı sağlayan sevgilim Neşe Şahin'e teşekkür ederim.

Erdem YILDIRIM

YAYA DAVRANIŞLARININ ALGORİTMİK YAKLAŞIMLA ANALİZİ VE TASARIMA AKTARILMASI

ÖZ

Kentsel mekân gibi girdilerin ve değişkenlerin çok fazla olduğu tasarım alanlarında, tasarımcıların öznel bakış açısı yerine nesnel verilerin karar verme sürecinde etkin rol alması gerekmektedir. Çalışmada temel olarak parametrik tasarım araçları kullanılarak performansa dayalı tasarım yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntemde, kentsel mekândaki video görüntülerinden elde edilen yaya hareketlerinin üç boyutlu analiz verileri kullanılarak, sert zeminlerin yoğun olduğu kentsel yaya mekânlarında yumuşak zemin alanları tasarımı için bir yönerge elde edilmektedir. Bu çalışma, tasarımcılara, yaya hareketi ile ilgili veri sağlamak üzere, hesaplamalı tekniklerin nasıl bir tasarım rehberi olabileceğini göstermektedir. Parametrik tasarım yazılımı olan *Grasshopper* kullanılarak, görsel kodlamaya dayalı analiz yöntemiyle kentsel mekândaki yaya hareketlerinin yoğunluğu elde edilmiş ve bu analiz doğrultusunda tasarım yapan bir algoritma geliştirilmiştir. Algoritmanın ürettiği tasarım, konvansiyonel yöntemlerle profesyonel tasarımcılar tarafından geliştirilen tasarımlar ile performans bakımından kıyaslanmıştır. Sonuç olarak geliştirilen algoritmanın ürettiği tasarımın, insan eliyle elde edilen tasarımlardan daha performanslı olduğu saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Algoritmik tasarım, yaya davranışları, kentsel tasarım

ANALYSIS OF PEDESTRIAN BEHAVIOR AND TRANSFERRING TO DESIGN BY ALGORITHMIC APPROACH

ABSTRACT

In design fields such as urban space, where inputs and variables are high, objective data should play an active role in decision-making rather than subjective perspective of designers. In this study a performance-based design method was developed by using parametric design tools. This method uses three-dimensional data analysis of pedestrian movements obtained from video recordings in urban spaces for softscape design in urban pedestrian spaces where hardscapes are dense. This study shows how computational techniques can be a design guide providing designers with pedestrian movement data. By using the parametric design software *Grasshopper*, the intensity of pedestrian movements in urban space is analysed based on visual coding and a design algorithm is developed in accordance with this analysis. This algorithm-derived design is then compared to designs developed by professionals by conventional methods. As a result, it is determined that the design which is obtained by the algorithm developed has a higher performance than the designs obtained conventional manual methods.

Keywords: Algorithmic design, pedestrian behavior, urban design

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
DOKTORA TEZİ SINAV SONUÇ FORMU.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ.....	iv
ABSTRACT.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	x
TABLolar LİSTESİ.....	xvii

BÖLÜM BİR - GİRİŞ..... 1

1.1 Problemin Tanımı.....	2
1.2 Çalışmanın Amacı	3
1.3 Metodoloji	5

BÖLÜM İKİ - MİKRO ÖLÇEKTEKİ KAMUSAL MEKÂNLARDA YAYA HAREKETİNİN HESAPLAMALI YAKLAŞIMLA ANALİZİNİN İNCELENMESİ 8

2.1 Mimari/Kentsel Tasarımda Hesaplamalı Yöntemler.....	8
2.1.1 Bilgisayar Destekli Mimarlık	11
2.1.2 Algoritmik Mimarlık	14
2.1.2.1 Parametrik Modelleme.....	16
2.1.2.2 Tepkimeli Çevreler	21
2.1.2.3 Performansa Dayalı Tasarım.....	23
2.2 Kamusal Mekânda Yaya Dinamikleri	35
2.2.1 Kentsel Mekân Ve Yaya Arasındaki Etkileşim	39
2.2.2 Yaya İz Sürümünün Kullanıldığı Alanlar.....	43
2.2.2.1 Yaya Gözetimi	43
2.2.2.2 Tahliye Dinamikleri	45

2.2.2.3 Yaya Geçitleri ve Sinyalizasyon	45
2.2.2.4 Kentsel Tasarım	45
2.3 Yaya Analiz Yöntemleri.....	48
2.3.1 Mekânın Fiziksel Potansiyellerini Yaya Hareketleri Üzerinden İnceleyen Yöntemler.....	50
2.3.1.1 Yaya Simülasyonları.....	51
2.3.1.2 Mekân Diziminde Yaya Hareketi	55
2.3.2 Analog Yaya Takibi.....	57
2.3.3 Sayısal Yaya Takibi.....	60
2.3.3.1 Sayısal Konumlandırma Servisleri	60
2.3.3.2 Sensör-Lazer Takibi.....	63
2.3.3.3 Video Temelli Yaya Takibi	64
2.3.4 Video Temelli Yaya Yoğunluğu Analizi.....	70
2.4 Bölgesel Analiz Aracı Olarak Kuadrat Yöntemi.....	76
2.5 Hesaplamalı Yöntemlerin Kentsel Yeşil Alan Tasarımında Kullanıldığı Örnekler.....	78
2.6 Bölüm Sonucu	86

BÖLÜM ÜÇ - VIDEO KAYNAKLI YAYA ANALİZİ İÇİN PARAMETRİK BİR ALGORİTMA ÜRETİMİ

88

3.1 Manuel Sayım Yöntemiyle Yapılan Pilot Çalışmalar	88
3.1.1 Kıbrıs Şehitleri Caddesi Çalışması	88
3.1.2 Yaşar Üniversitesi Kampüsü Çalışması	90
3.2 Algoritmada Kullanılan Temel Teknikler ve Sayısal Araçlar.....	92
3.3 Yoğunluk Analizine Yönelik Algoritmanın Geliştirilmesi	93
3.3.1 Algoritmanın Temelinin Oluşturulması.....	94
3.3.1.1 İmaj İşleme.....	95
3.3.1.2 Kuadrat Analizi.....	97
3.3.1.3 Hiperyüzey Oluşumu	97
3.3.1.4 Renklendirme.....	98

3.3.2 Değişkenlerin Sonuç Analize Etkisi	99
3.4 Bölüm Sonucu	101

BÖLÜM DÖRT - ALAN ÇALIŞMASI: BORNOVA CUMHURİYET MEYDANI YUMUŞAK ZEMİN TASARIMI 103

4.1 Algoritmanın Kentsel Mekânda Kullanılması.....	103
4.2 Algoritmanın Geliştirilmesi.....	105
4.2.1 Optik ve Geometrik Kısıtlamalar.....	105
4.2.1.1 Kamera Pozisyonu	106
4.2.1.2 İlgilenilen Bölgenin Seçimi	106
4.2.2 Algoritmanın Uyarlanması	107
4.2.2.1 İmaj İşleme Modülü	108
4.2.2.2 Kuadrat Analizi Modülü	109
4.2.2.3 İlgilenen Alan Modülü	109
4.2.2.4 Hiperyüzey Modülü	110
4.2.2.5 Renklendirme Modülü	112
4.2.2.6 Yeşil Alan Tasarımı Modülü	113
4.3 Algoritmanın Zayıf Yönleri.....	115
4.4 Geçici Müdahale Uygulaması	118
4.4.1 Tasarımdaki Poligonların Alan Üzerine Çizimi	119
4.4.2 Tasarımın Meydana Boyanması	119
4.5 Bölüm Sonucu	120

BÖLÜM BEŞ - ALGORİTMANIN ÜRETTİĞİ TASARIMIN KONVANSİYONEL YÖNTEMLERLE ELDE EDİLEN TASARIMLAR İLE KARŞILAŞTIRILMASI 121

5.1 Tasarım Atölyesinin Kurgusu	122
5.2 Tasarımcı Profillerine Göre Elde Edilen Öneriler.....	125
5.2.1 Mimarlık Bölümü Öğrencileri İle Yapılan Tasarım Atölyesi.....	126

5.2.2 Profesyonel Mimarlar Ve Peyzaj Mimarları İle Yapılan Tasarım Atölyesi	129
5.3 Tasarımların Karşılaştırılması	132
5.3.1 Tasarımların Vektörel Formata Dönüştürülmesi	132
5.3.2 Tasarımların Manuel Sayımla Elde Edilen Nokta Bulutuyla Çakıştırılması	133
5.3.2.1 Nokta Bulutunun Oluşturulması	133
5.3.2.2 Parametrik Analiz Yöntemi İle Tasarımların Analizi	135
5.3.3 Tasarım Performansı Kriterleri	139
5.3.3.1 Mimarlık Bölümü Öğrencilerinin Performansı	139
5.3.3.2 Profesyonel Mimarlar Ve Peyzaj Mimarlarının Performansı	140
5.4 Algoritmanın Farklı Meydanlarda Kullanımı	149
5.5 Bölüm Sonucu	150
BÖLÜM ALTI - SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	151
KAYNAKLAR	155
EKLER.....	175
EK 1: Algoritma	175

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 Çalışmanın metodolojik diyagramı.....	5
Şekil 2.1 Hesaplamalı mimarlıkta kavramlar – karakterler grafiği.....	9
Şekil 2.2 Appleby ve VandeKopple’nin mimarların kullandığı yazılımların sınıflandırması ve Daniel Davis’in bu sınıflandırma dahilinde güncel tasarım yazılımlarının konumlandırması	10
Şekil 2.3 Farklı disiplinlerdeki teknolojilerin etkileşimi diyagramı	12
Şekil 2.4 Guggenheim Bilbao Müzesi (üstte), Pekin Ulusal Olimpiyat Stadı (altta)..	13
Şekil 2.5 Algoritmanın şematik gösterimi.....	15
Şekil 2.6 Luigi Moretti’nin “Parametrik Mimarlık” araştırması modeli, 1960 Milan Trianeli.	18
Şekil 2.7 Nicholas Grimshaw ve Partners tarafından yapılan Londra'daki Waterloo Uluslararası Terminali.....	19
Şekil 2.8 Greg Lynn’in H2 evi maketi, 1998.....	20
Şekil 2.9 Konvansiyonel tasarım (üst), Tersine tasarım (alt) diyagramı.....	25
Şekil 2.10 Evrimsel yöntemlerle oluşturulmuş farklı çözümlemelerin dış kabuğunun radyasyon değerleri	30
Şekil 2.11 Generative Components (GC) yazılımı ile oluşturulmuş bir stadyum çatısı modeli için eifForm tarafından üretilen yedi farklı açıklığa sahip optimize edilmiş konsol giriş seti: (a) GC'de başlangıç tasarım çizimi, (b) eifForm'a giriş için minimum başlangıç tasarımları, (c) stadyum konsepti için görselleştirilen bir dizi konsol giriş, (d) yakın bir görüş	31
Şekil 2.12 Akustik şekillenmede deneme-yanılma yöntemi ile elde edilen formlar..	33
Şekil 2.13 Adaptif Kentsel Doku, Ursula Frick ve Thomas Grabner, 2012.....	35
Şekil 2.14 Yaya çalışmalarında otomatize veri toplanmasının zaman çizelgesi	36
Şekil 2.15 Kaldırım, yaya ve akış ilişkisi	37
Şekil 2.16 William Whyte’ın “Küçük Kentsel Mekânların Sosyal Hayatı” isimli filminden sahneler (1988).	38
Şekil 2.17 Konak Meydanı uygulamasından sonra yayaaların kendi kendine oluşturdukları patikalar	40

Şekil 2.18	Cumhuriyet Bulvarı ile otobüs durağı arasında yayaların oluşturduğu geçiş	41
Şekil 2.19	Konak Meydanı'nın değişimi.....	42
Şekil 2.20	Konak Meydanı'nda tasarımın engellediği yaya geçişi (Kişisel arşiv)...	43
Şekil 2.21	Çeşitli yaya sayım teknolojileri: Akıllı telefonların atası olan cep bilgisayar (PDA) ile yapılan elle sayım yazılımı (a), Kızıl ötesi ışın sensörü (b), Ağırlık duyarlı mat (c), IRIS kızılötesi sayım sistemi (d), DILAX sayım sensörü (e), LASE PeCo lazer tarayıcısı	49
Şekil 2.22	Zaman Coğrafya, iki boyutlu bir alanda, gezinenin z boyutunda yükselen bir çizginin grafik gösterimidir	50
Şekil 2.23	Stuttgart-Vaihingen Üniversitesi kampüsünde düz, taş döşeli yollar arasında bir iz sistemi gelişmiştir (resmin merkezi). Düz bir çizgide çalışan iki parkurun kesişme noktaları ve tek bir iz içine pürüzsüzce karışan iki yolun birleşimleri olmak üzere iki tip düğüm gözlemlenmektedir.	54
Şekil 2.24	Yayalar yere ayak bastığında izler gelişir ve yürüyüş için sadece toprak parçaları kullanılmaktadır (yeşil alanların aksine). Simülasyon sonucu (solda) ile Brasilia üniversite kampüsündeki iz sistemi (sağda) arasındaki benzerlik gözlemlenebilir.....	55
Şekil 2.25	Tasarım önerisindeki en bağlı bölge (a), Tasarımın bağlanırlık analizi (b)	57
Şekil 2.26	Gözlem yöntemi ile elde edilen yaya davranışı analizi.....	58
Şekil 2.27	Bergama Cumhuriyet Meydanı'nın gözle iz sürüm tekniği ile oluşturulan veri seti. Analizde yayaların izlekleri alana giriş noktalarına göre renklere ayrılmıştır	59
Şekil 2.28	Video kayıtlardan elle açıklama (annotate) yöntemi ile elde edilen gezinge veri seti	60
Şekil 2.29	Mekke'deki yaya hareketi hızının GPS iz sürümü tekniği ile elde edilen veri seti. Avlunun Güneydoğu bölgesinde yayalarının hızının arttığı görülmektedir	61
Şekil 2.30	Konvansiyonel yöntemle (kırmızı noktalar) ile öneri yöntemle (sarı noktalar) elde edilen hata mesafesi kıyaslaması	62

Şekil 2.31	Plansal olarak konumlandırılmış Kinect sensöründen alınmış ham derinlik verisi (koyu gri noktalar) ve otomatik olarak elde edilmiş gezingeler (kırmızı).....	63
Şekil 2.32	Teknomo ve arkadaşlarının hesaplamalı yaklaşımla üretilmiş öncül yaya hareketi çalışması: hareke yönleri (solda), hareket yönünün zamana göre x eksenindeki değerleri (ortada), hareket yönünün zamana göre y eksenindeki değerleri (sağda).....	65
Şekil 2.33	Yaya hareketinin hız profili.....	65
Şekil 2.34	Video analizinde kullanılan yayaların şapka giydiği görülmektedir (üstte), Videodan arka fon çıkartma işlemi (altta).....	66
Şekil 2.35	Algoritmadan ürettiği grafiklerde, xy , tx ve ty düzlemlerinde elde edilmiş değerlerin karşılaştırması, algoritmanın başarılı bir şekilde çalıştığını göstermektedir.....	67
Şekil 2.36	Bir hafta içinde alandan geçen 40.000 yayanın analizi; alanın boş hali (a), toplam gezingeler (b), semantik bölgelerdeki saptanan alışkanlıklar (c), farklı gezinge yoğunlaşmaları (d), saptanan 80 anormal gezingeler (e). Grafiklerde hareket yönleri farklı renklerde temsil edilmektedir; $\Rightarrow$ kırmızı, $\Leftarrow$ camgöbeği, $\Uparrow$ eflatun, $\Downarrow$ mavi.	68
Şekil 2.37	PeTrack yazılımının çalışması için gereken işaretleyici (üstte), PeTrack yazılımının arayüzü (altta)	69
Şekil 2.38	Orjinal video görüntüsü (yukarı sol), nesne detektörü algoritması ile belirlenen insan kafaları (alt sol), kalabalık yoğunluğu (yukarı sağ), yoğunluk analizine duyarlı bir şekilde belirlenen insan kafaları (alt sağ).	70
Şekil 2.39	Kalabalık yoğunluğunun farklı akış yönlerinde bağlamdan etkilenmesi	71
Şekil 2.40	Çalışmada düşük yoğunluklu bir zaman dilimindeki durum (sol) ile yüksek yoğunluklu bir durum karşılaştırılmaktadır.....	72
Şekil 2.41	12 Ocak 2006'daki Hac felaketinden hemen önceki yoğunluk haritalaması (solda), "kalabalık baskısı", "kalabalık türbülansı" nın başlangıcının nicel bir ölçüsüdür. Felaket, "kalabalık baskısı" yüksek değerlere ulaştığında başlamıştır (sağda).....	72
Şekil 2.42	Lowland'de belirlenen- etkinlik zamanındaki yaya yoğunluk grafiği	73

Şekil 2.43	Voronoi yoğunluk analizi.....	74
Şekil 2.44	Geliştirilen simülasyon için farklı modellerde elde edilen üç boyutlu yoğunluk grafikleri (üstte), Yoğunluk grafiğinin topografik gösterimi (altta).	74
Şekil 2.45	Üst: Farklı iz-sürüm algoritmalarının sonuçları, a. Çevrimiçi Artırım, b. Ortalama Kaydırma, c. AdaPT, Orta: İçmekânda elde edilen yaya gezingeleri, Alt: Video iz-sürüm tekniği ile çeşitli mekânlarda üretilen yaya gezingeleri.....	75
Şekil 2.46	Hipotetik kuadrat analizi haritalaması.....	77
Şekil 2.47	Akko'daki ziyaretçilerin aktivite yoğunluğunun ü boyutlu görselleştirilmesi	78
Şekil 2.48	Liaoyang kentindeki oksijen yoğunluğu haritalaması (üstte), Önerilen yeşil alan kurgusu (altta)	79
Şekil 2.49	Parselasyon için geliştirilen algoritma (üstte), yazılımın arayüzü (ortada) ve algoritmanın türettiği türetimler (altta).....	80
Şekil 2.50	Alanın erişilebilirlik haritalaması; kırmızı: otobüs erişimi, yeşil: otomobil erişimi (üstte), alanın kentsel cepleri ve açıklık kurgusu (altta)	81
Şekil 2.51	Tasarımın oluşturduğu gölgenin üç boyutlu gösterimi	82
Şekil 2.52	Evrimsel algoritma döngüsü (üst), Fotosentetik Aktif Işıma analizi (sol alt), ekim bölgelemesi (sağ alt).....	83
Şekil 2.53	Yaya izlekleri kullanılarak oluşturulan kentsel tasarım önermesi	84
Şekil 2.54	Kentsel alandaki yaya izleklerinin oluşumu (sol üst), izleklerin manuel yöntemlerle vektörel forma geçirilmesi (sağ üst – sol alt), vektörel fotmata üst üste birdirme yöntemiyle üretilen yeşil alan tasarımı (sağ alt).....	85
Şekil 3.1	Plansal video çekiminin perspektifinin oturtulması (a), Video çekiminde gerçekleşen sallantının giderilmesi (b), Video sekansları üzerinde manuel olarak gerçekleştirilen yaya sayımı (c), Kuadrat analizi yöntemi ile elde edilen yoğunluk grafiği (d), Yoğunluk grafiğinin optimizasyonu (e), Elde edilen analiz grafiğinin gerçek dünya koordinatlarına (Real World Coordinates, RWC) oturtulması.....	89
Şekil 3.2	Çalışmanın erken aşamalarında geliştirilen, manuel sayma yöntemiyle elde edilen Kıbrıs Şehitleri Caddesi'nin başlangıç noktasındaki yaya	

	davranışı analizleri karşılaştırması. Mavi : canlı heykel etkinliği varken, Sarı: herhangi bir etkinlik yokken.	90
Şekil 3.3	Yaya yoğunluğunun analog yöntemle sayımı.	90
Şekil 3.4	Parametrik yöntemle geliştirilmiş yaya yoğunluğu analizin görselleştirilmesi	91
Şekil 3.5	Elde edilen yaya yoğunluğu analizine göre türetilen üst örtü; Parasol ...	92
Şekil 3.6	Alışveriş merkezinin atriumunun kaydedildiği perspektifi düzeltilmiş görüntü	95
Şekil 3.7	Algoritmanın imaj işleme modülünün ekran görüntüsü.....	96
Şekil 3.8	Küçük vektörlerin elenmesi	96
Şekil 3.9	Algoritmanın kuadrat analizi modülü	97
Şekil 3.10	Hiperyüzey oluşumundaki nokta dizimi	98
Şekil 3.11	Nihai analiz hiperyüzeyi.....	98
Şekil 3.12	Sonuç hiperyüzeyin renklendirilmesi (solda), Algoritmanın renklendirme modülü (ortada), hiperyüzeyin iki boyutlu görünümü (sağda)	99
Şekil 3.13	Farklı Varyasyonlarda Elde Edilen Analiz Matrisi	100
Şekil 3.14	Algoritmanın tamamı; yeşil: imaj işleme, sarı: kuadrat analizi, pembe: hiperyüzey oluşumu, mavi: renklendirme	102
Şekil 4.1	Bornova Cumhuriyet Meydanı	104
Şekil 4.2	Perspektifi plansal hale getirilmiş görüntü.....	105
Şekil 4.3	İlgilenen alanın video düzenleme yazılımı ile maskelenmesi	107
Şekil 4.5	Kuadrat analizi modülü	109
Şekil 4.6	İlgilenen alan modülü ile kuadrat analizi modülü arasındaki bağıntı ...	110
Şekil 4.7	Bölme işleminin olmadığı hiperyüzey (solda), yüksekliğinin 10'a bölümü ile oluşan hiperyüzey (sağda)	111
Şekil 4.8	Hiperyüzey oluşturma modülü	112
Şekil 4.9	Renklendirme modülü	113
Şekil 4.10	Analiz sonucu	113
Şekil 4.11	Yeşil alan tasarımı modülü Yeşil alan tasarımı modülü (solda), yeşil alan oluşum mantığı (sağda)	114
Şekil 4.12	Nihai tasarım	115
Şekil 4.13	Alandaki kamera açısına giren flamlar.....	116

Şekil 4.14	Gün batımında oluşan ağaç gölgelerinin analize etkisi.....	117
Şekil 4.15	Meydanda güvercinleri beslenirken yoğunlaşmasının analize etkisi	117
Şekil 4.16	Grasshopper içerisinde hazırlanmış küme (cluster)	118
Şekil 4.17	Alanın boyanması.....	119
Şekil 4.18	Uygulama Sonrası Alan	120
Şekil 5.1	Tasarımcılara verilen halihazır vaziyet planı ve talimatlar	123
Şekil 5.2	Bornova Cumhuriyet Meydanı'nda çekilen panoramik görüntünün sanal gerçeklik gözlüğü ile tasarımcılar tarafından deneyimlenmesi.....	124
Şekil 5.3	Alanın video görüntüleri hızlandırılarak tasarımcılara izletilmesi.....	125
Şekil 5.4	Mimarlar Odası İzmir Şubesi'nde gerçekleştirilen atölye.....	127
Şekil 5.5	Öğrenci deneklerin yeşil alan tasarımları: O4 (sol üst), O5 (sağ üst), O9 (sol alt), O6 (sağ alt).....	127
Şekil 5.6	Öğrenci deneklerin yeşil alan tasarımları: O3 (sol üst), O1 (sağ üst), O8 (sol alt), O2 (sağ alt).....	128
Şekil 5.7	Öğrenci deneklerin yeşil alan tasarımları: O10 (sol), O7 (sağ).....	128
Şekil 5.8	Profesyonellerin yeşil alan tasarımları: P16 (sol üst), P21 (sağ üst), P14 (sol alt), P19 (sağ alt).	129
Şekil 5.9	Profesyonellerin yeşil alan tasarımları: P4 (sol üst), P18 (sağ üst), P6 (sol alt), P3 (sağ alt).	130
Şekil 5.10	Profesyonellerin yeşil alan tasarımları: P20 (sol üst), P12 (sağ üst), P9 (sol alt), P5 (sağ alt).	130
Şekil 5.11	Profesyonellerin yeşil alan tasarımları: P10 (sol üst), P13 (sağ üst), P22 (sol alt), P1 (sağ alt).	131
Şekil 5.12	Profesyonellerin yeşil alan tasarımları: P17(sol üst), P2 (sağ üst), P15 (sol alt), P7 (sağ alt).	131
Şekil 5.13	Profesyonellerin yeşil alan tasarımları: P11 (sol), P8 (sağ).	132
Şekil 5.14	Tasarımların Archicad yazılımı ortamında, raster formattan vektörel formata getirilmesi aşamasındaki örnek bir ekran görüntüsü.	133
Şekil 5.15	Videolardan elde edilen görsellerin bir bölümü.	134
Şekil 5.16	Görsellerin perspektiflerinin düzeltilerek plansal düzleme oturtulması	134
Şekil 5.17	Nihai nokta bulutu.....	135
Şekil 5.18	Rhinoceros yazılıma katmanlar halinde aktarılan tasarımlar	136

Şekil 5.19	Tasarımların Grasshopper yazılımına tanıtılması	136
Şekil 5.20	Nokta sayımı yapan algoritma (üstte), algoritmanın örnek olarak, mimarlık öğrencisi O3'ün yaptığı tasarım üzerinden hesapladığı noktalar	137
Şekil 5.21	Nokta bulutu kümesinden tasarımın içerisine girenleri hesaplayan algoritma.....	138
Şekil 5.22	Agoritmanın ürettiği tasarım, nokta bulutu ve yüksek performans elde eden tasarımların karşılaştırılması; Algoritmanın ürettiği tasarım (sol üst), P1 (orta üst), P4 (sağ üst), P2 (sol alt), P3 (orta alt), P5 (sağ alt).	144
Şekil 5.23	Kamera pozisyonundan dolayı görüntülenemeyen alan.....	145
Şekil 5.24	Algoritmanın içinde güncelleme yapılan tanımlı alan (yeşil) ve nokta bulutu.....	146
Şekil 5.25	Buca Çevik Bir Meydanı'nda yapılan pilot çalışma; Siyah noktalar elle sayım yöntemi ile haritalanmıştır, Renkli yoğunluk grafiğini algoritma oluşturmuştur.....	149
Şekil 5.26	Konak Meydanı'nda yapılan pilot çalışma; Siyah noktalar elle sayım yöntemi ile haritalanmıştır, Renkli yoğunluk grafiğini algoritma oluşturmuştur.....	150

TABLolar LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 2.1 Kentsel nitelikler ve yaya arasındaki ilişkiyi inceleyen çalışmalar.....	46
Tablo 2.2 Tasarım sonrası kullanılan ağaç türleri ve istatistikleri.....	82
Tablo 2.3 Hesaplamalı yöntemlerin kentsel yeşil alan tasarımında kullanıldığı örneklerin tablosu	86
Tablo 5.1 Tasarımcıların profilleri, öğrenciler (üst), profesyoneller (alt)	126
Tablo 5.2 Öğrenci atölyesinde elde edilen tasarımların performans tablosu. (Tabloda performans metrekaresine düşen insan sayısı olduğu için düşük değerler daha başarılıdır).....	140
Tablo 5.3 Profesyonellerle yapılan atölyede elde edilen tasarımların performans tablosu. (Tabloda performans; metrekaresine düşen insan sayısı olduğu için düşük değerler daha başarılıdır)	141
Tablo 5.4 Deneklerin tecrübe grafiği (yıl).....	142
Tablo 5.5 Profesyonel tasarımcıların 1/performans * deneyim grafiği	143
Tablo 5.6 Algoritmanın kilise duvarı kenarına yeşil alan tasarladığı varsayılarak elde edilen performans	147
Tablo 5.7 Tasarımcıların bu alan içinde kalan yeşil alanları yok sayılarak elde edilen performansı.....	148

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

Kente dair tasarımların karmaşık ve iç içe geçmiş değişkenleri vardır. Bu değişkenlerin merkezinde ise insan bulunur. Bu nedenle, kullanıcıyı merkeze alan, onun davranışlarını ve mekân üretim pratiklerine odaklanan tasarım yöntemlerini– ki kısaca ‘kullanıcı odaklı tasarım’ yaklaşımları olarak adlandırabiliriz- kamusal alanların biçimlendirilmesinde kullanışlı bir yöntem olduğu bilinmektedir (Jensen, 2009; Poulsen, Andersen, Gade, Jensen ve Moeslund, 2012). Kentsel mekânlarda hareket, dinamizm ve etkileşim çok yüksektir. Tüm mekân ölçeklerinde olduğu gibi kentsel alanlarda da üstten kavrayıcı ve nesnel tasarım yaklaşımlarına kullanıcının tepkisi alternatif çözümler üretmek olmuştur.

Mekân tasarlayan profesyoneller, mimarlar, kentsel tasarımcılar, kent plancıları gibi mekân üreticilerinin, tasarım sürecinde kullanıcılarla ilişkili olması ideal bir tasarım yaklaşımı olarak karşımıza çıkmaktadır. Bugün geldiğimiz noktada, özellikle kentsel mekânlar konu olduğunda, bağlama bağlı tasarım anlayışı esastır. Diğer bir deyişle kentsel ölçekte tasarımcıyı ve tasarımı etkileyen en önemli faktör ilgili mekânın bağlamıdır. Her tasarım süreci kendine özgüdür. Kullanıcı ve çevre verileri tüm tasarımlarda problemin temel bileşenleridir. Yerin özellikleri, kullanıcı yapısı, kullanıcıların davranış pratikleri, kültürel kodlar vb. tasarım sürecini özgün kılar ve genellemeleri engeller. Kullanıcı odaklı tasarım yaklaşımlarının bir temel özelliği de tek ve genel geçer bir süreç yerine bağlama bağlı olmalarıdır.

Özellikle kentsel açık alanlar konu olduğunda kullanıcıların kültürel ve yerel karakteristiklerden kaynaklı farklı davranışları, hareketleri ve kullanım biçimleri oluşur ve tasarıma veri olarak incelenmesi gerekmektedir. Geleneksel tasarım yöntemlerinin aksine, yapılaşmış çevrenin yaratımında sayısal araçların tasarım sürecinde kullanılması yeni ufuklar açmaktadır. Ancak, Türkiye örneğinde sayısal araçlar tasarımın her sürecinde yaygın olarak kullanılmamaktadır. Hesaplamalı sayısal araçların uyarlanabilir niteliklerinin ve üretim tekniklerinin birçok endüstride

gözlemlenen etkisine rağmen, mimarlık ve inşaat sektöründe henüz yaygın olmadığını bilinmektedir (Şahin ve Gül, 2014).

Yayaların kentsel mekânda yapılmış davranış incelemeleri ölçek olarak ikiye ayrılmaktadır. Bölge, semt, mahalle bazındaki incelemeler makro ölçek, sokak, meydan ve park gibi alanlarla sınırlandırılmış, yayaların davranış özelliklerini ele alan incelemeler ise mikro ölçek olarak literatürde tanımlanmaktadır (Anntonini, 2005).

1.1 Problemin Tanımı

Yukarıdakilerin ışığında kentsel mekân üzerine tasarım yöntemi geliştirmek için öncelikle kullanıcıların davranış ve hareket pratiklerine dayalı tepkilerinin detaylı bir şekilde analiz edilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada mikro ölçekteki yaya davranışlarının, tasarımcılara yönelik analiz diyagramları elde etme yöntemi geliştirilmektedir. Yaya hareketlerini incelemede kullanılan analog ve sayısal yöntemlere çalışmanın literatür taraması olan ikinci bölümünde detaylı olarak değinilmektedir.

Günümüzde *Pedflow*, *Logiroad*, *Crowdvision* gibi yaya analiz yazılım örnekleri bulunmaktadır (Kukla, Kerridge, Willis ve Hine, 2001; Ota ve Plews, 2015). Her yazılımın kendi kullanıcı arayüzü vardır ve bu yazılımların operatörleri kullanımdan önce eğitim almaktadırlar (Rogsch ve Klingsch, 2012). Kamusal açık ve kapalı mekânlarda yaya yoğunluğunun saptanmasında, tasarımcılar için bilgisayarla tasarımda kullanabilecekleri bir “çözüm arayüzü” bulunmamaktadır. Diğer mevcut yaya takip programlarındaki ham veri, tasarımcının kullanımı için etkin değildir. Ancak performansa dayalı tasarım anlayışı bağlamında, bu çalışmada önerilen parametrik tasarım modeliyle, tasarımcıların çoğunlukla tercih ettiği bir arayüz olan *Grasshopper* ortamında gerçekleştirilerek, tasarımcıların faydalanabileceği çok boyutlu veriler elde edilmektedir. Performansa dayalı tasarım anlayışına koşut olarak *Grasshopper* programının dinamik karakterinin kullanılmasıyla karar verici algoritmalar oluşturulabilir.

Yaya analiz yazılımları ile oluşturulan haritalamaların (*mappings*) yanı sıra bu çalışma, yaya akışının zaman içindeki morfolojik verilerini geliştirmeye

odaklanmaktadır. Ayrıca, mevcut yaya hareketi analizi yazılımları, yaya akışı verilerini mekân içerisindeki yoğunluğunu görselleştirmektedir. Çalışmada, yaya akışının zaman içindeki değişken kantitatif verileri üretilmektedir. Kentsel zeminlerin kesin konumlarının saptanmasında algoritmik bir tasarım eklentisi olan *Grasshopper* kullanılmaktadır. Algoritma ile elde edilen morfolojik veri, belirli bir alandaki kentsel yeşil alanların konumlandırılmasında bir rehber olarak kullanılmaktadır. Buna ek olarak geliştirilen algoritma yere-özü ve/veya uyarlanabilir kentsel tasarım geliştirmek için etkin veri türetebilmektedir.

İnsanların yeşil alanlar üzerinde bıraktığı izler kolaylıkla görülebilmektedir. Ancak sert zeminlerde bu iz sürüm gerçekleşmemektedir. Kentsel alanlarda sıklıkla bulunabilen sert zeminlerde bu kullanım yoğunluğun analizi, bu tezin en kuvvetli motivasyonudur.

1.2 Çalışmanın Amacı

Çalışmanın amacı özet olarak, hesaplamalı tasarım yöntemleri kullanarak kamusal mekânlarda yaya hareketi analizi ile yumuşak zemin tasarımına veri üretmektir. Bu çalışmada, tasarımdan uygulamaya geçişte analizler maksimum ölçüde detaylandırılabilen, kullanıcı etkileri ve davranışları daha sistematik olarak gözlenmekte ve tasarımcılara yönelik niteliksel ve niceliksel analiz yöntemleri geliştirilmektedir. Tasarım bitmeyen bir süreçtir. Bu doğrultuda kullanıcılar ile birlikte bitmiş tasarımlar da daha doğru analizlerle düzeltilebilir, iyileştirilebilir ve daha verimli kullanımlar ortaya çıkarılabilir. Hesaplamalı tasarım teknikleri kullanılarak, yaya hareketlerinden elde edilen verilerin yumuşak zemin tasarımını biçimlendirici bir öge olarak kullanılmasıyla daha performanslı mekânlar elde edilebilir.

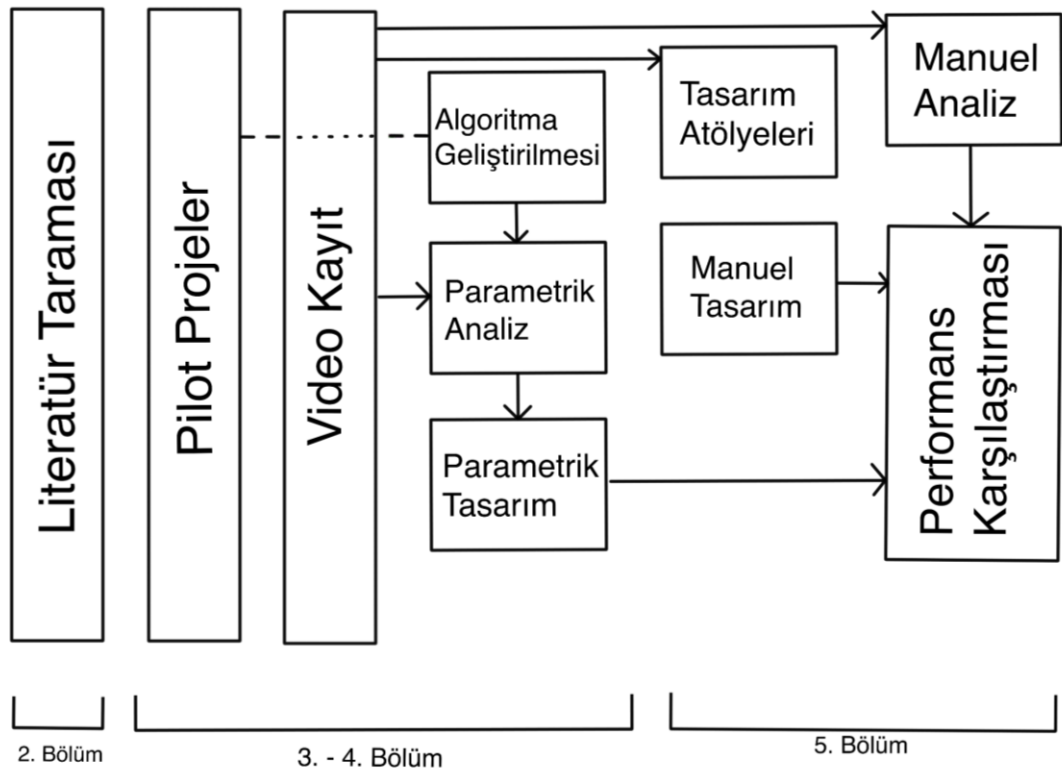
Bu bağlamda çalışmanın **hipotezi**; algoritmik tasarım yöntemleriyle yaya hareketlerinden elde edilen üç boyutlu analiz verisinin kentsel mekânlarda yumuşak zemin tasarımında kullanılması, konvansiyonel yöntemlerle elde edilen tasarımlar ile karşılaştırıldığında, yaya hareketlerine uyumluluk bakımından daha verimli sonuçlar üretmektedir.

Bu çalışmanın bir diğer amacı, yaya yoğunluğunu analiz eden, tasarımcılar tarafından sıklıkla kullanılan, görsel kodlama diline dayanan *Grasshopper* eklentisi ile işletilebilecek bir algoritma oluşturmaktır. Böylelikle *Grasshopper* yazılımının görsel kodlama dilini bilen bir tasarımcı, geliştirilen analiz algoritmasını kolaylıkla kullanıp, kendi çalıştığı alandaki öznel uyarlamalarını yapabilecektir. *Grasshopper* programının içerisinde kullanıcılar kendi geliştirdikleri algoritmaları küme (*cluster*) haline dönüştürerek, diğer kullanıcıların algoritmaları çok daha kolay kullanabilmesine olanak tanımaktadır. Bu çalışmanın çıktısı olan algoritma da bir kümeye dönüştürülerek bu kolaylık sağlanmaktadır.

Çalışmanın ekoloji adına getirisi ise, meydanlardaki tamamı sert zeminden oluşan yüzeylerin yarattığı ‘ısı adası etkisi’nin (*heat island effect*) olumsuzluklarının giderilmesidir. Günümüzde küresel ısınmanın şiddetli etkilerine dünyanın çok farklı bölgelerinde şahit olunmaktadır. Kentleşmenin yoğun olduğu alanlarda ısı adası etkisinin kentlerdeki yaşanabilirliği olumsuz derecede etkilediği gözlemlenebilmektedir. Isı adasının en temel nedenleri betonlaşma ve fosil yakıtı kullanımıdır (Mohajerani, Bakaric ve Jeffrey-Bailey, 2017). Özellikle gece saatlerinde, gün boyu güneş ışınlarını sönümleyen ısı kütleleri (beton, asfalt v.b.) güneş battıktan sonra uzun bir süre boyunca depoladıkları ısıyı yavaş bir şekilde çevrelerine yaymaktadır. Sonuç olarak kentsel alanlardaki fazla betonlaşma şehirlerdeki yaşam kalitesini düşürmektedir. Bu çalışmanın diğer bir hedefi, sert zeminlerin çok yoğun olduğu kamusal alan olan meydanlardaki ısı adası etkisini minimuma indirmektir. Sonuç olarak elde edilen tasarımların mekânlara uygulanmasıyla kentlerdeki yeşil alanların niceliksel artışı sağlanacaktır. Ekoloji kapsamına giren bir diğer durum ise dünya çapında gerçekleşmeye başlayan ani yağmur baskınlarındaki su tahliyesidir. Kentlerdeki sert zeminlerin yoğun olduğu yerlerde direnaj altyapısının yoğun miktardaki yağışlar karşısında yetersiz kaldığı gözlemlenmektedir. Yumuşak zemin alanlarının artırılmasıyla yağmur suyunun daha çok yeraltı suyuna karışması sağlanmaktadır. Kişi başına düşen yeşil alan oranının çok düşük olduğu ülkemizde, çevreye duyarlı kentsel konfor artırımı yapan çalışmalar elzemdir.

1.3 Metodoloji

Çalışmanın metodolojisi temel olarak dört bölüme ayrılmaktadır. Öncelikle kavramsal altyapı ve literatür incelemesi (2. Bölüm), sonrasında kullanılan algoritmanın geliştirilmesi ve alan çalışmasında kullanılarak tasarım için pilot çalışmaların türetmesi (3. Bölüm), alan çalışması (4. Bölüm) ve son olarak manuel yöntemlerle elde edilen tasarımların algoritmanın ürettiği tasarım ile kıyaslanması (5. Bölüm) olarak özetlenebilir (Şekil 1.1).



Şekil 1.1 Çalışmanın metodolojik diyagramı

Kavramsal Altyapı İncelemesi

Öncelikle bilgisayar destekli tasarım, algoritmik mimarlık, yaya takibi ve yapılaşmış çevrede hesaplamalı analiz başlıkları altında literatür taraması yapılmıştır. Literatür taramasında, ilk olarak hesaplamalı mimarlık konusu, temel olarak bilgisayar destekli mimarlık ve algoritmik mimarlık olmak üzere iki başlık altında çalışılmıştır. İkinci kısımda kamusal alanlarda yaya hareketleri incelenmiştir. Yaya hareketi analizi

yöntemleri, yaya takibinin kullanıldığı alanlar, yaya simülasyon modelleri, video kaynaklı yaya analizi örnekleri ve parametrik yöntemlerle elde edilen yeşil alan tasarımları detaylı bir şekilde irdelenmiştir. Son kısımda ise çalışmada kullanılan kuadrat analizi yönteminin kullanıldığı alanlara değinilmiştir.

Pilot Çalışmalar

Pilot çalışmalar için yaya yoğunluğu yüksek olan mekânlarda gözlem yapılmış ve videolar kaydedilmiştir. Analiz kurgusu oluşturulduktan sonra kentsel donatı tasarımları türetilmeye çalışılmıştır. Daha sonra analiz süreci hesaplamalı yöntemler kullanılarak otomatize edilmiştir.

Algoritmanın Geliştirilmesi

Yaya hareketi analizi için bir algoritma geliştirilmesinde sayısal araç olarak bilgisayar ortamında *Rhinoceros*, *Grasshopper* ve *Firefly* yazılımlarından faydalanılmıştır. Farklı zaman ve mekânlarda çekilen videolar, algorithmada kullanılarak analiz grafikleri elde edilmiştir. Bu analiz grafiklerini kullanarak algoritma alana ilişkin bir yeşil alan tasarımı türetmiştir.

Manuel ile Hesaplamalı Yöntemlerin Performans Karşılaştırılması

Mimarlık öğrencileri ve Hilmi Güner Mimarlık Ofisi çalışanlarının katılımıyla ‘Kamusal Mekânlarda Yeşil Alan Tasarımı’ konulu atölye düzenlenmiştir. Düzenlenen atölyelerde tasarımcılara Bornova Cumhuriyet Meydanı’nın video görüntüleri izletilmiştir. Daha sonra bu gözlemlere dayanarak meydana seyrek olarak kullanılan alanların yumuşak zemin olarak kurgulanacağı bir tasarım yapmaları istenmiştir. Tasarlanan alan yüzeylerinin yaklaşık olarak eşit olması için tasarımcılara toplam alan kısıtlaması getirilmiştir.

5. bölümde kurgulanan algoritmanın verimliliğinin sınanmasına ayrılmaktadır. Atölye çalışmalarından elde edilen tasarımlar, alanın videolarından manuel yöntemlerle elde edilmiş analizleri ile üst üste bindirilmiştir. Diğer yandan, çalışmanın hipotezini oluşturan algoritmanın türettiği yeşil alan da manuel olarak elde edilen nokta bulutu ile üst üste bindirilerek sınanmaktadır.

Sonuç olarak gözlem yöntemi ile elde edilen tasarımlar ile algoritmanın geliştirdiği tasarım kıyaslanarak performans değerlendirilmesi yapılmıştır. Performansı değerlendirilmesi yapılırken kullanılan teknikler ve performans kriterleri ilgili bölümde detaylı olarak irdelenmektedir.

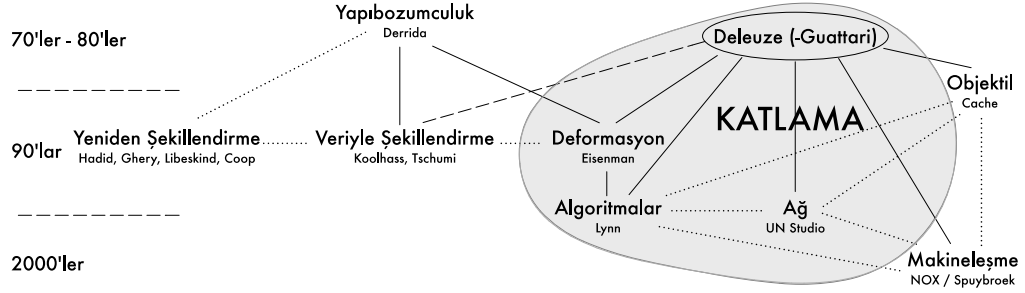
BÖLÜM İKİ

MİKRO ÖLÇEKTEKİ KAMUSAL MEKÂNLARDA YAYA HAREKETİNİN HESAPLAMALI YAKLAŞIMLA ANALİZİNİN İNCELENMESİ

Bilgisayar destekli tasarımın erken safhalarında mimarlar, bilgisayar ekranı iki boyutlu olmasına rağmen her türlü üç boyutlu formun bilgisayar ortamında temsil edilebildiğini fark etmeye başlamışlardır. Bu kronoloji bilgisayar yazılımlarının geliştirilmesi ve piyasaya sürülmesi ile çeşitlenme göstermektedir. Sonuç olarak bugün bile kullanılan Bilgisayar Destekli Tasarım, BDT - CAD (*Computer Aided Design*) yazılımları bir noktanın kartezyen koordinat düzleminde nereye denk geldiğinin, diğer bir deyişle üçüncü boyuttaki tanımının sayısal veri kullanılarak temsil edilmesini temel alır (Carpo, 2011, s. 33).

2.1 Mimari/Kentsel Tasarımda Hesaplamalı Yöntemler

1970'lerden itibaren mimarlıkta hesaplamalı tasarıma yapıbozumculuk ile kuramsal olarak değinilmiştir. Bu kuramların gerçekleşmesi ve form bulması için 90'lara kadar beklenilecektir (Şekil 1.1). 90'ların sonu, 2000'lerin başında hesaplamalı mimarlık kuramında etkin isimlerden Gregg Lynn, bilgisayarla üterilen form biçimleri ile mimarlar arasındaki ilişkiye şu şekilde değinmiştir: "Bilgisayar destekli görselleştirmenin ortaya çıkması ile, mimarların ilk defa kalkülüs temelli formları araştırmalarına olanak sağladığı şüphe edilemez" (Lynn, 1999, s. 16). Çağımızda mimarlığa ilişkin sanal mekânlar bilgisayar temelli gelişmiş devinim araçları ile birlikte yeniden düşünülmektedir. Gregg Lynn, bu konuda geliştirdiği kuramını 'Blob Mimarlığı' olarak tanımlamaktadır (Lynn ve Rappolt, 2008). Blob mimarlığı temel olarak mimari formun tasarımcının öznel bakış açısından tahayyül ettiği formları kullanmak yerine, bilgisayarlar vasıtasıyla bir takım parametrelerin şekillendirdiği form anlayışı olarak özetlenebilir.



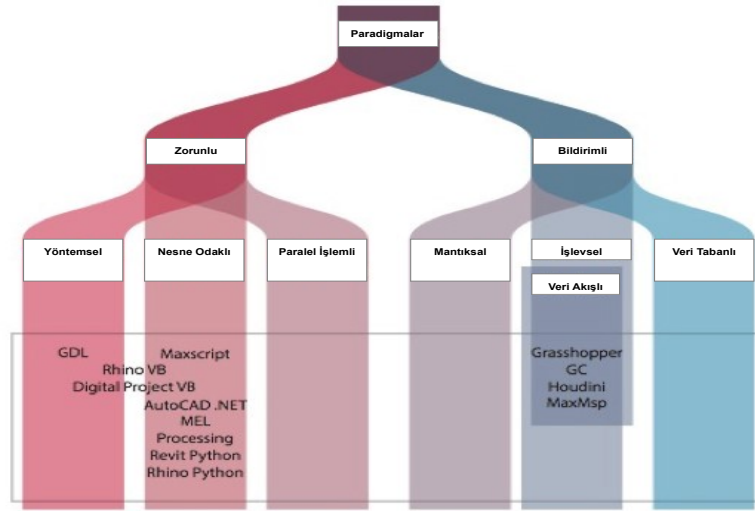
Şekil 1.1 Hesaplamalı mimarlıkta kavramlar – karakterler grafiği (Bun, 2012)

Profesyonel mimarlar bilgi teknolojisini iki farklı şekilde kullanmaktadırlar: Birincisi, halihazırda yapılması gereken elle çizime koşut, daha verimli bir yöntem olarak bilgisayarın kullanımınıdır. İkincisi ise, tasarım ve uygulama sürecinde iş ortakları ve paydaşları ile daha kolay bilgi paylaşımında, dokümantasyonda, metrajda ve organizasyonel uygulamalarda kullanımınıdır. Alfredo Andia bilgisayarın mimarlık üzerinde etki etmeye başladığı erken dönemlerde mimarlık uygulamasında bilgisayar destekli sistemlerin kullanımını şu şekilde değerlendirmektedir. “Günümüzde mimari uygulamaları bilgisayara geçirme yöntemleri diğer endüstrilerde geliştirilen metotlara çok benzer. Fakat görülen değişim düzeyi endüstrinin daha parçalanmış, projeye özel ve incelikli sözleşmelere dayalı olduğundan dolayı başka sektörlerden daha az göze çarpan boyutlardadır” (Andia, 2001, s. 4).

Andia (2001), bilgisayarların mimarlık eğitiminde kullanılma yöntemlerini beş ana başlık altında toplamıştır. Bunlardan birincisi yazılım tasarım sürecine yardım etmek üzere odaklanmış ‘tasarım metotları yazılımları’dır. İkincisi, geleneksel mimarlık eğitiminde ve uygulamasında kullanılan BDT (CAD) görselleştirmeleridir. Üçüncüsü kağıtsız veya blob mimarlığı olarak tanımlanmaktadır. Blob mimarlığı, son teknoloji bilgisayar grafiklerini kullanarak karmaşık üç boyutlu geometrileri tasavvur etmeye ve parametrik olarak nedenselleştirmeye olanak sağlamaktadır. Terim olarak “kağıtsız mimarlık”ın kullanılmasında neden, blob mimarlığında oluşturulan formların konvansiyonel kartezyen geometri kullanılarak yapılan teknik çizimlerin algısal olarak yetersiz kalması ve uygulanamamasıdır. Dördüncüsü ise yapılaşmış çevrenin

etkileşimli olarak sanal gerçeklik ile bütünleşmesini sağlayan siber gerçek mimarlıktır. Son olarak beşincisi ise sanal stüdyolardır. Bu stüdyolarda kullanılan sensörler ile kullanıcıların verileri toplanabilmektedir.

Doris Appleby, mimarlıkta kullanılan bilgisayar programlarını temel olarak ikiye ayırmıştır (Appleby, 1997). Bunlardan birincisi üç boyutlu tasarımların görselleştirmesini sağlayan *3DSMax*, *Rhinoceros* gibi zorunlu (*imperative*) programlardır. Bu yazılımlarda modelleme süreci çizgisel bir doğrultuda gerçekleşmektedir. İkincisi ise kodlama temelli bildirimli (*declarative*) programlardır (Şekil 1.2). Bu yazılımlar birinci kategorideki zorunlu programların içinde çalışan eklentilerdir (*plug-in*). Yazılımlar görselleştirme için zorunlu programları araç olarak kullanmaktadırlar. Ancak formu veya geometriyi oluşturan komutlar bu eklenti yazılımlarının içinde algoritmik olarak kodlama veya görsel kodlama yöntemi ile gerçekleşmektedir.



Şekil 1.2 Appleby ve VandeKopple'nin mimarların kullandığı yazılımların sınıflandırması ve Daniel Davis'in bu sınıflandırma dahilinde güncel tasarım yazılımlarının konumlandırması (Davis, 2013)

Bu iki kategorideki programları ayırt etmek için şöyle düşünülebilir. Zorunlu yazılımlarda modellenen bir formu oluştururken erken safhalarda verilen bir kararı değiştirmek etmek için, başa dönüp (geri alıp - *undo*) tekrar üretmek gerekmektedir. Ancak bildirimli programlarda modelleme sürecinde verilen tüm komutlar eşzamanlı olarak değiştirilebilmektedir.

Bunlara ek olarak yukardaki ikili sınıflandırmanın (zorunlu-bildirimli) kesişiminde bulunan yazılımlar da vardır. Yapı Bilgi Modellemesi - BIM (*Building Information Modelling*) destekli, *Autodesk Revit*, *Graphisoft Archicad*, *Nemetschek Allplan* gibi mimari çizim – modelleme programları sıklıkla kullanılmaktadır. Bu yazılımlarda önceden programlanmış parametre alanlarına değerler girilerek yapı bileşenleri oluşturulmaktadır. Ancak mimarlık otoriteleri bu parametre koşullarının önceden belirlenmesi (yazılımın geliştirilmesi safhasında) durumunu, hayal gücünü kısıtlayıcı ve tasarlanan ürünlerin tek dile yönlendirmekte olduğu-yönünde eleştirmektedirler. Son yıllarda programlar arası simultane veri akışı sağlayan eklentiler ile bu durum aşılmaya çalışılmaktadır. *ArchiCad* ile *Grasshopper* programları arasında 2016'dan bu yana veri akışı *Grasshopper*'dan *ArchiCad* yönüne olmak üzere tek yönlü olarak gerçekleştirilebilmektedir. 5 Haziran 2019'da yapılan *ArchiCad* in dünya galasında tanıtıldığı üzere artık bu simultane veri akışı çift yönde sağlanabilmekte ve dolayısıyla tasarımcıların çok daha özgür formlar üretebilmelerine olanak tanımaktadır.

2.1.1 Bilgisayar Destekli Mimarlık

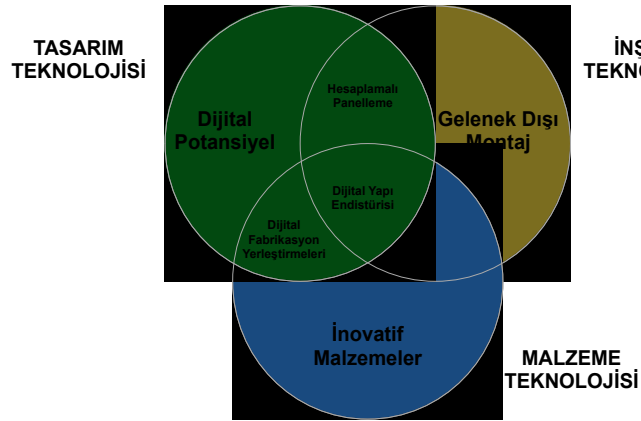
Mimarlıkta bilgisayarların kullanımı grafik işlemcilerin gelişmesiyle birlikte başlamaktadır. Öncelikle bilgisayar ortamında mimari teknik çizimin iki boyutlu olarak yapılması gerçekleşmiştir. Ancak bilgisayarlarda üç boyutlu tasarım yapabilmenin yaygınlaşması ve sektöre girmesi biraz daha zaman almıştır. Mimari firmaların bilgisayar teknolojisinden faydalanmaları 1970'lerde Birleşik Devletlerde, 1980'lerde ise Japonya'da başlamıştır (Andia, 2002). Ancak yazılımların ve özellikle donanımların maliyetinin çok yüksek olması bu teknolojinin yayılmasını geciktiren en önemli sebeptir.

Çizim ve tasarım alanında bilgisayardan nasıl faydalanabileceğini kavramak için öncelikle mevcut yöntemlerin incelenip, problemlerinin açığa çıkarılması gerekmektedir. Charles Allen bilgisayar destekli tasarımın çok erken safhalarında bilgisayar ve tasarım arasındaki ilişkiye şu şekilde değinmektedir: “Elbette bilgisayarların kullanımları maliyet açısından mantıklı olmalıdır. Tercihen hem tasarım ve tasarlarda zaman ve çaba tasarrufu, hem de gelişmiş tasarımlar sağlamalıdır” (Allen, 1966).

Grafik işlemcilerin gelişerek üç boyutlu modelleme yapabilmesiyle birlikte yeni mimari temsil olarak görselleştirme (*render*) yöntemleri kullanılmaya başlanmıştır. Aynı zamanda işlemcilerin de gelişip hesap hızının artmasıyla ışık simülasyonlarının da önü açılarak foto-gerçekçi (*photo-realistic*) temsillerin yapılabilmesi mümkün olmuştur.

Sayısal teknolojinin tasarım, inşaat ve malzeme bilimi gibi disiplinlerde kullanılmaya başlamasıyla yeni yöntemler ortaya çıkmıştır. Sayısal mimarlığın önemli isimlerinden Branco Kolarevic ve arkadaşları mimarlıkta bilgisayar kullanımını şu şekilde yönlendirmiştir: “Geleneksel mimari düşünce biçimlerini farklı bir alanda doğrultmaya çalışmak yerine, bugünkü stratejimiz, mimarlığı farklı araç ve disiplinler ile kaynaştırarak yeni bir melez yaratmak olmalıdır” (Kolarevic ve diğer., 2000, s. 251).

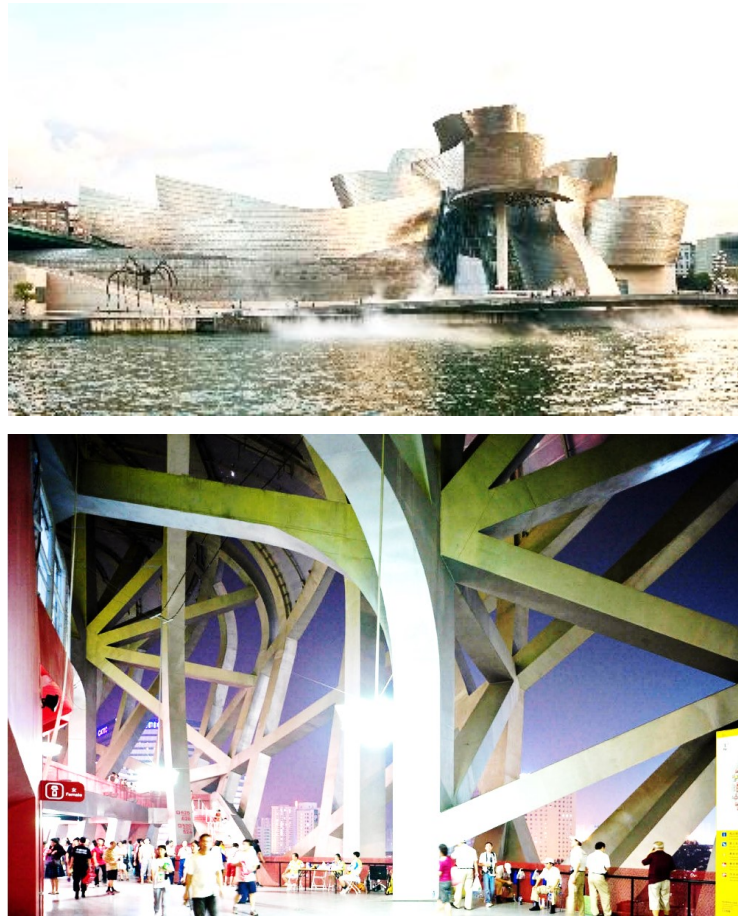
Mimarlığa ilişkin teknolojiler 3 ana gruba ayrılmaktadır. Bunlar tasarım teknolojisi, yapım teknolojisi ve malzeme teknolojisidir. Bu üç ana kümenin kesişiminde farklı konular yer almaktadır. Diğer bir deyişle, mimarlık ve teknoloji adı altında bulunan bir konu, bu üç ana başlıktan beslenerek tanımlanabilir (Şekil 1.3).



Şekil 1.3 Farklı disiplinlerdeki teknolojilerin etkileşimi diyagramı (Boldrin, 2014)

Sayısal olarak kontrol edilen üretim süreci beraberinde “kitlesel bireyselleşme” (*mass-customization*) söylemini getirmektedir. Kitlesel bireyselleşmenin en temel noktası, yapılacak olan tasarımın yer, zaman veya kullanıcıya göre farklılaştırılabilmesidir. Ayrıca bu yöntemde, geleneksel yapım yöntemleri

kullanılarak yapılamayan veya çok zor olan formlar üretilebilmektedir. Çağdaş mimaride belirgin olan kesintisiz ve son derece eğrisel yüzeylerin, öklid olmayan formların mekânsal ve tektonik etkilerini nasıl çözecekleri sorusunu öne çıkarmaktadır (Kolarevic, 2001). Frank Gehry'nin Bilbao'daki Guggenheim Müzesi bu yöntemle inşa edilmiş en etkileyici örneklerinden biridir (Kolarevic ve diğer., 2000). Diğer bir örnek olarak Herzog & de Meuron tarafından tasarlanan ve 2007 de yapılan Pekin Ulusal Stadyumu verilebilir. Bu yapıda tüm konstrüksiyon bileşenleri bilgisayar destekli üretim süreciyle imal edilmiştir (Şekil 1.4).



Şekil 1.4 Guggenheim Bilbao Müzesi (üstte) (Guggenheim, 2014), Pekin Ulusal Olimpiyat Stadı (altta) (De Mouron, 2010)

Mimari tasarım ve inşaat sektöründe teknolojinin kullanımı yaygınlaştıkça ortaya çıkan ürünler de farklılaşmaya ve karmaşılaşmaya başlamıştır. Bu tekniklerde en çok kullanılan yöntemler CNC, lazer kesim ve üç boyutlu yazımdır. CNC yöntemi katı bir kütleden delici ve yontucu uçlar kullanılarak elde edilen katı modelleme tekniği olarak

tanımlanabilir. Lazer kesim ise iki boyutlu düzlemsel elemanların vektörel olarak tariflenen kesimi ve/veya yakma sureti ile elde edilen çizimdir. Sonuç olarak elde edilen ürünler iki boyutludur.

Üç boyutlu yazım tekniği ise belli bir ısıda eriyen plastik kökenli maddeleri katmanlar halinde üst üste getirerek nihai formu oluşturma yöntemidir. Son yıllarda karbon fiber ve metal yazan yazıcılar da kullanılmaktadır. Üç boyutlu yazıcılar temel olarak orthogonal ve delta yazıcılar olmak üzere ikiye ayrılır. Orthogonal yazıcılar Öklid sisteminde olduğu gibi x, y ve z düzleminde hareket ederek katmanları oluştururlar. Delta yazıcılarda ise z düzleminde bir eşkenar üçgen prizma hacminde hareket eden çizgisel elemanlarla katmanları oluşturur. Delta yazıcıların daha hızlı yazma ve z ekseninde daha uzun nesneler üretebilme potansiyelleri vardır. Diğer yandan, yazma alanı, yani $x-y$ düzleminde daha kısıtlı hareket edebilme yetisi delta yazıcıların olumsuz özelliğidir.

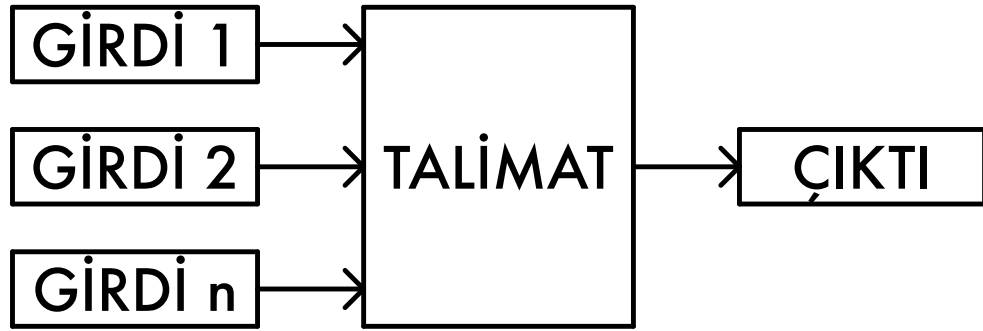
Üç boyutlu yazıcılar son on yıldır yaygınlaşmış ve özellikle maket üretimi ve medikal sektörlerde kullanımı artmıştır. Bunlara ek olarak son yıllarda yazıcıların boyutunun büyütülmesi ve katman malzemesi olarak yapısal malzemeler kullanımıyla gerçek mimari ölçekte ürünler ortaya çıkmaktadır. 24 saatte inşa edilebilen üç boyutlu yazma tekniğinin kullanıldığı örnekler günümüzde hızla çoğalmaktadır. Bunun yanı sıra, gezegenlerarası yaşam ve kolonileşme çalışmalarında üç boyutlu yazım tekniğinin mekân üretme potansiyelleri güncel olarak araştırılmaya devam etmektedir.

2.1.2 Algoritmik Mimarlık

Algoritma kelimesi 9.yy. İranlı matematikçi El-Harizmi (Al-Khwarizmi)'den gelmektedir. El-Harizmi cebir alanındaki algoritmik çalışmalarını kitaba dökerek matematiğe çok büyük katkı sağlamıştır (Tedeschi ve Wirz, 2014). “Hisab el-cebir ve el-mukabala” kitabı dünyanın ilk cebir kitabı olmaktadır. Bununla birlikte bu kitap, algoritma verilerini içeren ilk örneklerdir. Latince çevirisi Avrupa’da çok ilgi görmeye birlikte, alimin ismini telaffuz edemeyen Avrupalılar “algorism” sözcüğünü “Arap sayıları kullanarak aritmetik problemler çözme kuralları” anlamında kullanmışlardır.

Bu sözcük daha sonra “algoritma”ya dönüşmüş ve genel kapsamda kullanılmaktadır (Arndt, 1983).

Algoritma bir süreç olarak düşünülebilir. Bu sürecin başında “girdi”ler vardır. Bu girdiler kesin olarak tanımlanmış talimatların içinde yer alırlar. Sonuç olarak çalışan bir algorithmada çözümlemeler doğrultusunda somut bir çıktı elde edilmelidir (Şekil 1.5).



Şekil 1.5 Algoritmanın şematik gösterimi (Tedeschi ve Wirz, 2014)

Algoritmaların bilgisayar ortamında kullanımı için öncelikle bir editör yazılıma gerek vardır. Bu yazılım bağımsız (*stand-alone*) veya spesifik bir program içinde çalışan bir eklenti (*add-on*) olabilir. Mimarlık alanında en çok kullanılan algoritmik eklentiler, *Rhinoceros* içinde çalışan *Rhinoscript* ve *Grasshopper*, *3DSMax* içinde çalışan *MaxScript* ve *Para3D*, *Autodesk Revit* içinde çalışan *Dynamo* olarak sıralanabilir. Bu eklentilerden *MaxScript* yazısal kodlama (*text scripting*) arayüzüne ve diline sahiptir. *Dynamo* ve *Grasshopper* ise görsel kodlama (*visual scripting*) dilini kullanmaktadır. *Dynamo* ve *Grasshopper* eklentilerindeki görsel kodlama dili, tasarımcılar gibi görsel algısı yüksek kişiler tarafından daha kolay kurgulanabilmektedir. Ancak, görsel kodlamanın gerçekleşmesi için daha çok CPU (işlemci) ve GPU (grafik işlemci) gücü gerekmektedir. Bu bakımdan *MaxScript* kullanılarak düşük donanımlı bilgisayarlarda daha karmaşık modeller gerçekleştirilebilmektedir (Eltaweel ve Su, 2017). Bu çalışmada yukarıda belirtilen eklentiler içerisinde en çok bilinen, içinde çalıştırılmak üzere açık kaynak olarak bir çok farklı alanlarda kullanılan eklentiler geliştirilmiş *Grasshopper* kullanılmaktadır.

Böylelikle tezin çıktısı olan algoritmayı çok daha fazla sayıda tasarımcı kullanabilecektir.

Algoritmik modelleme tasarımcılara, tasarımın değişkenlerini kontrol etme ve güncelleme imkânı veren yeni bir yaklaşımdır. Bu sistemlerde algoritmaya girilen parametreler doğrultusunda bütün model veya çizimler otomatik olarak yenilenir (Beesley, Hirose ve Ruxton, 2006).

Bilgisayar algoritmalarında sıklıkla kullanılan iş akışı (*workflow*) diyagramlarında hangi komutun ne zaman ve hangi koşulda uygulanacağı kontrol edilmektedir. Veri akış diyagramlarında ise komutların uygulanma sırası değil, işlenen verinin süreç içerisinde nereden nereye doğru ilerlediği, nasıl evrim geçirdiği (sayıdan çizgiye, çizgiden yüzeye, yüzeyden katıya... vb. gibi) ve hangi komutların hangi verilerle ilişkilendirildiği ön plandadır. Dolayısıyla bu bakış açısı, *Rhinoscript*, *Maxscript* gibi dillerin gerek duyduğu çalışma sıralamasına, hatta bir “çalıştır” komutuna bile ihtiyacı olmayan, gerçek zamanlı ve dinamik modellerin oluşturulmasını mümkün kılmaktadır (Yazar ve Uysal, 2016). Bu durum *Grasshopper*’ın etkileşimli, tepkimeli, interaktif ortamlar ile eşzamanlı kullanımına olanak tanımaktadır. Bununla birlikte *Grasshopper* için üretilmiş farklı eklentiler ile bu interaktif ortam sensörler ile desteklenerek çok farklı kaynaklar ile algoritmik form verme eylemine olanak sağlanmıştır.

Veri akış diyagramları yardımıyla kodlanan bir modelleme sürecinde verilerle oynanarak alternatifler hızla türetilir veya farklı geometrik ilişkiler araştırılabilir. Buna ek olarak diyagram içerisinde bir komutun girdisi olarak kullanılan bir nesne veya sayı, başka komutların girdisi olarak defalarca kullanılabileceği için ilişkisel model, diyagram üzerinden geliştirilmeye her zaman açıktır. Bu nedenle veri akış diyagramlarının tasarımcılar için sadece bir modelleme ve temsil yöntemi olmanın ötesinde bir tasarım yöntemi olarak da popülerleşmesi söz konusudur (Yazar ve Uysal, 2016).

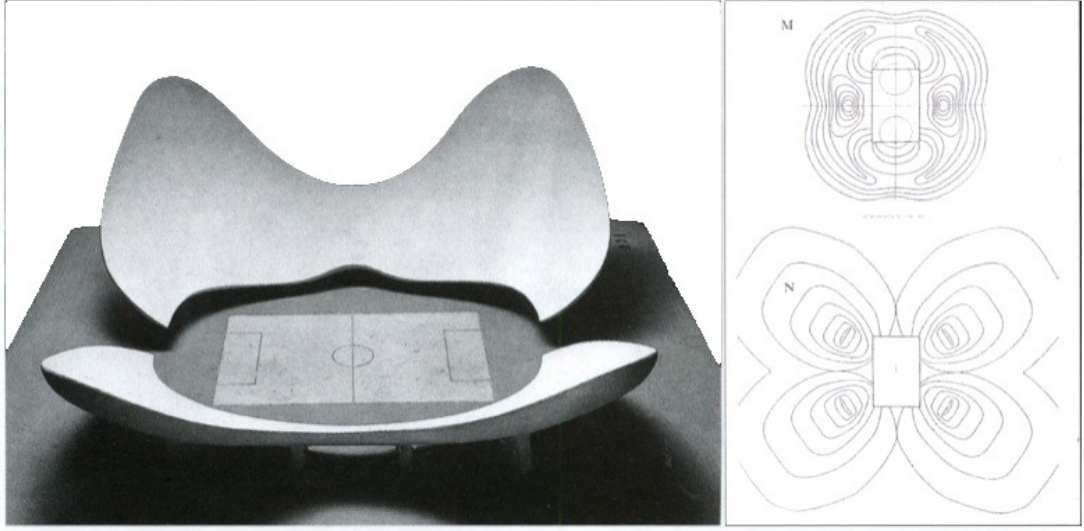
2.1.2.1 Parametrik Modelleme

Etimolojik olarak parametre, Grek kökenli *para* (bağımlı, koşul), ve *metron* (ölçü) kelimelerinin birleşiminden oluşmaktadır (Hudson, 2010). Parametrik teriminin

kökeni matematikten gelmektedir. Parametre bir denklemin içindeki değişkenler olarak tanımlanabilir. Parametrik kavramının analitik geometri ve 3 boyutlu temsil alanında ilk kullanımı James Dana'nın 1837'deki "Kristallerin Figürlerinin Çizimi Üzerine" adlı çalışmasına kadar uzanır. Çalışmada kristal şekillerin oluşumu ve bir düzlem ile kesişimi matematiksel denklemlerle ifade edilmiştir. Dana bu çalışmasında parametrik terimini kullanmamıştır, ancak geliştirdiği geometri mantığı yıllar sonra Antoni Gaudi, Frei Otto ve Luigi Moretti gibi mimarlar tarafından form bulma amaçlı olarak kullanılacaktır (Davis, 2013).

Parametrik tasarım kullanılarak geliştirilen ürünlerin en öncül ve bilinen örnekleri, Gaudi'nin geçtiğimiz yüzyılın başında Colonia Güell yapısının içindeki, tasarımında parametrik form denklemleri kullanarak ürettiği avizeleri, Frei Otto'nun sabun köpüğü balonları çalışması ve Luigi Moretti'nin stadyum tasarımı verilebilir.

İtalyan mimar Luigi Moretti, "Parametrik Mimarlık" terimini ilk olarak 1939'da kullanmıştır. 1960'da 12. Milan Trienal'i sergisi için geliştirdiği stadyum maketleri parametrik kavramının ilk olarak form bulduğu örnektir (Şekil 1.6). Günümüze göre çok ilkel sayılabilecek konfigürasyondaki bilgisayarlar ile üretilmiş bu çalışmada, Moretti'nin parametreleri izleyicilerin görüş açısı ve ekonomik fizibilitedir.



Şekil 1.6 Luigi Moretti'nin "Parametrik Mimarlık" araştırması modeli, 1960 Milan Trianeli (Martinez, 2015)

Parametrik tasarımda yöntem olarak çoğunlukla daha önce bahsedilen bildirimli (*declarative*) yazılımlar kullanılır. Parametrik mimarlığın temel unsuru tasarımcı tarafından kodlanan algoritmadır. Algoritmanın kodlama süreci başında, oluşacak olan nihai form kesin olarak tahmin etmek güçtür. Çünkü değişkenler her an sonuç ürünü güncelleyebilir.

Parametrik tasarımda, parametreler biçimsel değil, beyan edilen belirli bir tasarımın parametreleridir. Parametrelere farklı değerler atayarak, farklı nesneler veya konfigürasyonlar oluşturulabilir. Denklemler, nesneler arasındaki ilişkileri tanımlamak için kullanılabilir, ve sonuç olarak ilişkisel, "karşılıklı olarak bağlanmış kurucu geometri" tanımlanır (Burry, 1999). Bu şekilde, nesneler arasındaki karşılıklı bağımlılıklar oluşturulabilir ve nesnelerin dönüştürülmüş davranışları tanımlanabilir.

Burry'nin gözlemlediği gibi, "geometrik ilişkileri tanımlama, belirleme ve yeniden yapılandırma yeteneği belirli bir değerdir." Tasarımcılar, parametreler kullanarak, sonsuz sayıda benzer nesne yaratabilir, daha önceden eklemlenmiş değişken boyutlu, ilişkisel ya da işlevsel bağımlılıkların şematik çizgilerinin geometrik tanımlarını oluşturabilmektedirler (Kolarevic, 2005).

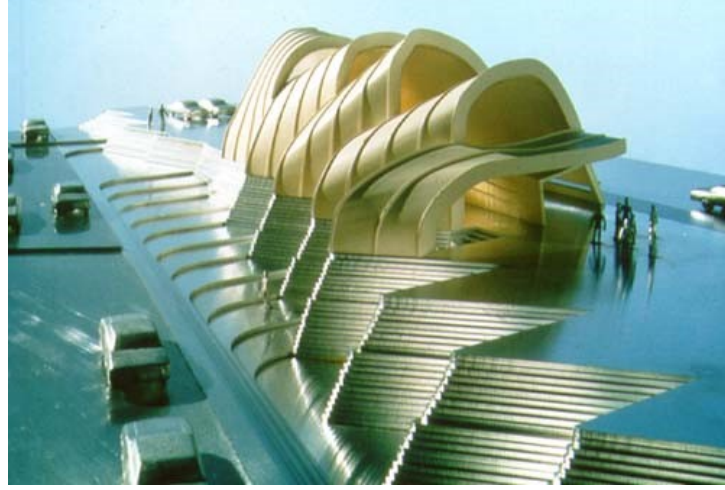
Nicholas Grimshaw ve Partners tarafından yapılan Londra'daki Waterloo Uluslararası Terminalinin tasarımında parametrik yaklaşımının sağlandığı kavramsal ve gelişimsel faydaların açık bir gösterimi sunulmaktadır (Şekil 1.7). Binanın dar ve kıvrımlı planı, projenin karmaşıklığının ana kaynağı olan ve Grimshaw'ın tasarımındaki en önemli zorluk olan alanın geometrisi ile belirlenir. Projede, yay büyüklüğünün ve bireysel kemerlerin eğriliğinin ilişkili olduğu temel tasarım kurallarına dayalı olarak genel bir parametrik model oluşturulmuştur. Yayılma parametresine farklı değerler atanarak, otuzaltı boyutsal olarak farklı ancak topolojik olarak aynı olan kemerler hesaplanmış ve genel geometrik modele eklenmiştir.

Terminal projesinde parametrik tasarım özellikle karmaşık yapı formunun geometrisini modellemek için kullanılmıştır. Son derece karmaşık karşılıklı bir bağımlılık hiyerarşisi parametrik olarak modellenmiştir, bu da iteratif arıtmaya, yani projenin tasarımının tüm aşamalarında, kavramsal tasarımdan konstrüksiyona, boyutsal ince ayarlamalara izin vermektedir. Başarılı bir uygulama, açık bir bağımlılık stratejisinin yeterince açık bir şekilde tanımlanabilmesini, açık bir tektonik çözüm stratejisinin dikkatli bir şekilde eklemlenmesini gerektirir; diğer bir deyişle, parametrelerin etkili bir şekilde uygulanması için iyi tanımlanmış bir tasarım stratejisi gereklidir.



Şekil 1.7 Nicholas Grimshaw ve Partners tarafından yapılan Londra'daki Waterloo Uluslararası Terminali (Wikimedia, 2014)

Parametrik mimarlığın öncülerinden Gregg Lynn'in bu alandaki önemli mihenk taşı H2 evidir (Şekil 1.8). Evin tasarımı, farklı çevresel verilerin algoritmaya işlenerek optimum form bulması ile oluşmuştur (Lynn, 1998). Daha önce bahsedildiği üzere bu tür formların uygulanabilirliğinin mümkün olmaması bu tür yaklaşımları 'kağıt mimarlığı' olarak tanımlandırılmasına neden olmuştur.



Şekil 1.8 Greg Lynn'in H2 evi maketi, 1998 (Lynn, 2009)

Parametrisizmin günümüzdeki en önemli uygulayıcılarından Zaha Hadid Architects'in direktörü Patrick Schumacher, kuramını şu şekilde açıklamıştır: "Avangard mimarlıkta kendini yeni bir stil olarak tayin eden Parametrisizm'e küresel bir yönelim vardır. Bu stil, sayısal animasyon tekniklerinden köklenip, en son gelişmiş parametrik tasarım yöntemlerine ve kodlama yöntemlerine dayanır. Son 15 yıldır geliştirilen ve avangard mimarlıkta üstünlük iddiasında bulunan parametrisizm sistematik yeniliğin modernizmden sonraki aşamasıdır (Schumacher, 2009).

Mimari tasarımda kullanılan parametrik tasarım programları; *Catia*, *MaxScript*, *Dynamo*, *Generative Components*, *Marionette*, *Modelur* ve *Grasshopper* olarak sıralanabilir (Eltaweel ve Su, 2017). Bunların yanı sıra özellikle makine mühendisliği alanında kullanılan parametrik *SolidWorks* yazılımı mevcuttur. Parametrik tasarım ve parametrik mimarlık alanında en çok kullanılan program *Grasshopper*'dir (Tedeschi ve Wirz, 2014; Davis, 2013; Eltaweel ve Su, 2017). *Grasshopper* programı TUDelft Mimarlık ve Kentsel Tasarım Fakültesi mezunu David Rutten tarafından 2007'de

geliştirilmeye başlanmış ve halen geliştirilmeye devam edilmektedir. Bunun yanı sıra bir çok araştırmacı *Grasshopper* içerisinde çalışmak üzere 650'nin üzerinde eklenti geliştirmiştir. Ayrıca bu tezde olduğu gibi çok sayıda farklı amaçlara hizmet eden 'küme' (*cluster*) geliştirilmiş ve geliştirilmeye devam edilmektedir.

Yukardaki yazılımlara ek olarak "yarı parametrik" olarak tanımlanabilen mimari çizim ve modelleme programları da mevcuttur. Bu yazılımların en fazla bilinenleri olan *ArchiCad*, *Revit* ve *AllPlan* gibi programlarda, arayüzlerinin içerisinde tanımlanmış parametreler tasarımcılar tarafından değiştirilmektedir. Örneğin bir duvar parametresini tasarımcı istediği boyutta, genişlikte, düşey açıda ve malzemede modelleyebilir. Ancak bu programlar, örneğin hiperbolik paraboloid gibi karmaşık 3 boyutlu formlar üretmek için yetersiz kalmaktadırlar. Bu gibi durumlarda tasarımcılar, diğer parametrik tasarım yazılımlarında ürettiği formları, çalıştığı programın içine katı model olarak aktarabilmektedirler. Ancak bu durum daha önce bahsedildiği gibi güncel sürümlerde programlar arası simultane veri aktarımı ile kolaylaşmaktadır.

Bilindiği gibi görsel kodlama (*visual coding*) esaslı, tasarımcılar tarafından yaygın olarak kullanılan *Grasshopper* eklentisi (*plug-in*), eğrisel formlar üzerinde çalışmak için verimli bir arayüze sahip olan *Rhinoceros* programının içinde çalışmaktadır (Davis, Burry ve Burry, 2011). *Grasshopper* yazılımı, parametrik modellemenin yanı sıra, çok çeşitli eklentilerle (*add-on*) strüktürel hesaplama (Piker, 2013), ekolojik tasarım (Peters, 2013), mekân dizimi (May, 2015; Nourian, Rezvani, Sariyildiz ve van der Hoeven, 2017), akustik (Norton, 2013; Garber, 2011), tepkimeli çevreler (Fischer, De Biswas, Ham, Naka ve Huang, 2012), makine mühendisliği, ilaç ve moda (Eltaweel ve Su, 2017) gibi bir çok alanda kullanılabilmektedir.

2.1.2.2 Tepkimeli Çevreler

Performansa dayalı tasarım nadiren bazı bilim insanları tarafından "Tepkimeli Çevreler" (*Responsive Environments*) ile birlikte anılmaktadır. Bu anlayışta performans kinetik bir durumla bağdaşmaktadır. Teknolojinin ve sensörlerin gelişmesiyle birlikte, kinematik sistemler olarak adlandırabileceğimiz bu olguyla, çevreden gelen verilere göre değişen, kullanıcıya ayak uyduran, dinamik, esnek ve

tepkisel nitelikli ortamların önü açılmıştır. Başak Uçar çalışmasında bu tepkiselliğin sosyal boyutuna şu şekilde açıklık getirmiştir: “Bu gelişmelerden faydalanan ortamların, değişen koşulların yanı sıra katılımcılarının sosyal etkileşimlerine ve davranışlarına etkili bir şekilde cevap verdiği iddia edilebilir” (Uçar, 2011, s. 1).

Tepkimeli çevrelerin tanımındaki belirsizliğe ise Thomas Markussen şu şekilde değinmiştir; “Genellikle karşılaşılan başlıca zorluklardan biri, tasarım semiyotiklerinin gösterim fikrini, obje odaklı teşhisle kısıtlayıp, ‘kavramsal modellerin’ benzersiz şekilde görsel formlara karşı eşleştirilmesidir” (Markussen, 2010). Tepkimeli mimaride tasarım kararları, çağdaş mimarlığa uygun olmakla birlikte, neyin algılanması ve gerçekleştirilmesi gerektiği ve hangi girdi veya geribildirim kombinasyonlarında ne tür etkilere sebep olacağı konusunda kararlar alınmaktadır (Meyboom, Johnson ve Wojtowicz, 2011).

Tepkimeli çevrelerin oluşmasında ve yaygınlaşmasındaki en önemli faktör, sensör teknolojisinin gelişmesidir. Otomatik kayan kapılar, karşısında durunca konuşan oyuncaklar, termostatlı ısıtıcılar gibi bir çok eski ve yeni teknoloji tepkimeli çevreler bağlamında düşünülebilir.

Günümüzde sayısal olarak kurgulanmış tepkimeli çevrelerin çoğunun temelinde *Arduino* mikroişlemcisi yer almaktadır. Son altı yıldır kullanımı hızla yayılan, küçük, farklı işlevlere göre esnek olarak kurgulanabilen bu elektronik mikroçip, programlama dili bilen mucitler için çok büyük potansiyeller barındırmaktadır. Sadece yazı olarak kodlama değil, *Grasshopper* gibi görsel kodlama diliyle de programlanabilmektedir. *Arduino* için üretilen ısı, ışık, nem, hareket, esneklik, dokunma, uzaklık gibi birçok farklı sensör modülleri bulunmaktadır. Bu sensörler aracılığıyla çok farklı değişkenlere tepki verebilen cihazlar, mekânlar, ortamlar ve hatta üründen, kentsel ölçeğe kadar tasarımlar üretilebilmektedir.

Sonuç olarak bu çalışmanın öngörümündeki kentsel yeşil mekânların bir açıdan tepkimeli olduğu söylenebilir. Ancak bu çalışma kapsamında, ‘tepkimeli’ kavramının içerisindeki gerçek zamanlı reflekslerden söz etmek mümkün değildir. Kentsel tasarım yaklaşımında ise ‘tepkimeli çevreler’ daha başka bir bağlamda ele alınmaktadır.

Zaman değişkendir. Birçok insanın bir araya gelip “tepkimeli” bir mekân yaratması için daha uzun bir zaman gereklidir. Tepkimeli kavramına gerçek zamanlı tepkiden ziyade, zamanla oluşan tepkilere ilişkin kavramlar da literatürde yer almaktadır (Bosselmann, 1998 ; Carmona ve diğer., 2010). Kentsel mekanların tepkimeli niteliği ‘kullanıcılar için geçerli olan tercih derecesini en üst seviyeye çıkarmak için daha demokratik, zenginleştirici ortamlara olan ihtiyaç’ olarak da tanımlanmaktadır (Bentley ve diğer., 1985)

2.1.2.3 Performansa Dayalı Tasarım

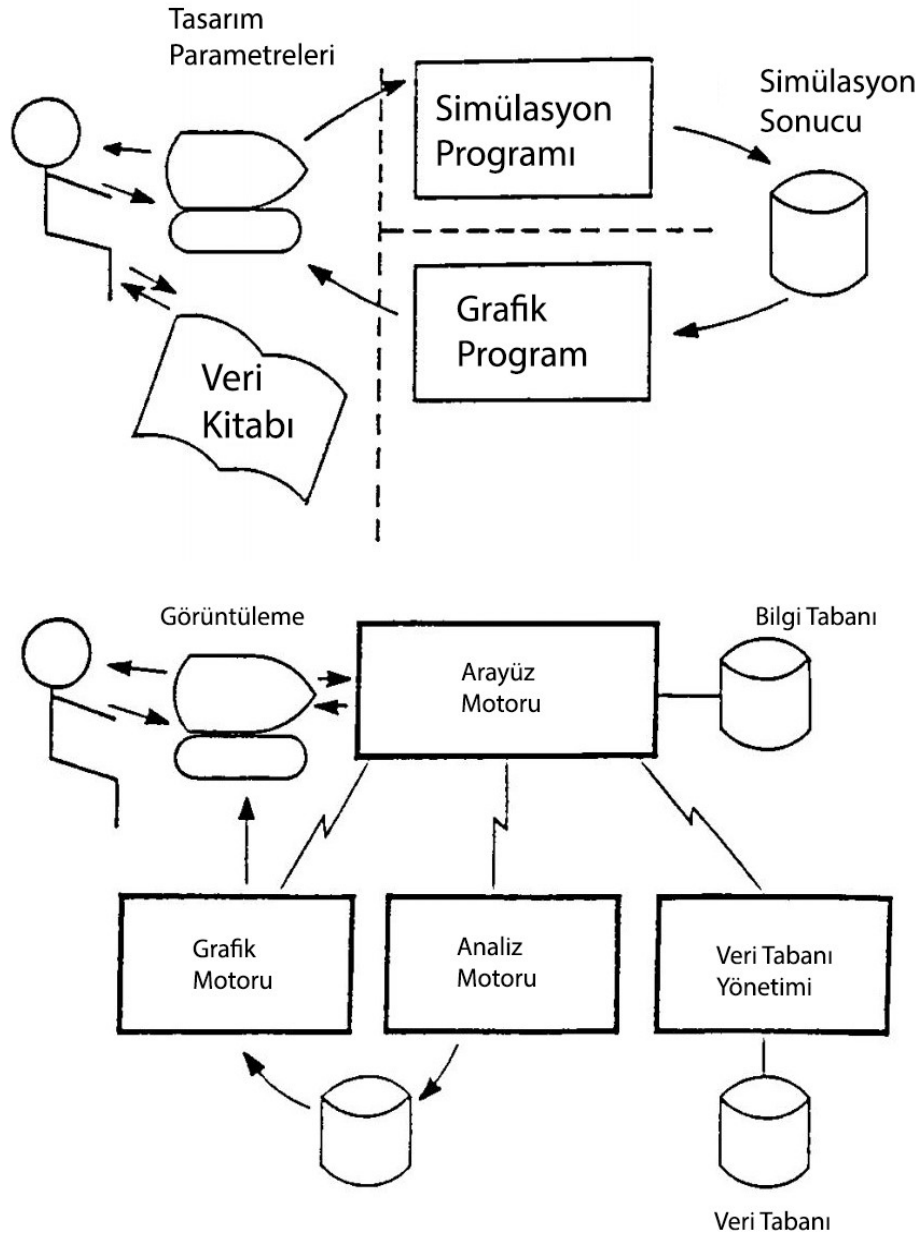
Bilgisayar sistemlerinin gelişmesinin erken safhalarında, tasarımcılar ve tasarım kuramcıları performansa dayalı tasarım yönteminin potansiyellerinin farkına varmaya başlamışlardır. ‘Üretken Tasarım’ (Generative Design) terimi ilk 60’larda Cristopher Alexander tarafından ortaya atılmıştır (Alexander, 1964). Alexander “Sentezleme Üzerine Notlar” başlıklı kitabında bilgisayar teknolojilerinden faydalanarak, ürün tasarımında en verimli optimum formun bulunmasının sağlanabileceğini belirtmiştir.

Tasarımın ikili anlamı vardır. Aynı anda hem objenin tasarım eylemi (aktivite olarak tasarım), hem de tasarım eylemi sonucu olan tasarlanan obje (eser olarak tasarım) anlamına gelir. Bu ayırım üretken tasarım (*generative design*) sistemlerinin merkezini oluşturur. Üretken sistem tasarım nesnesini betimlemek yerine, bu eserin yapım aşamasının prosedürü kodlanır (Dino, 2012). Diğer bir deyişle tasarımcı tasarım aşamasında sonuç ürünün ne olacağını tahmin edebilir ancak tam olarak tahayyül edemez. Bununla birlikte üretken sistem ile geliştirilen tasarımla, kullanılan verilerin değişmesi ile farklı alternatifler türetilebilir.

Performansa dayalı kentsel tasarımda parametrik tasarımdan farklı olarak, algoritmaya girilen veriler tasarımcıların öznel kararları yerine ya simülasyonlardan, ya da çevreden gelen nesnel verilerdir. Örneğin performansa dayalı tasarımda algoritmada kodlanan değişkenler statik girdiler olabilir. Diğer bir deyişle tasarımı oluşturan formun parametreleri statik açıdan en performanslı sonucu verecek şekilde tanımlanabilir. Başka bir örnek verilecek olursak, güneşe bağlı tasarımda geometriye

şekil verecek açılar istenilen en optimum açıda hesaplanabilir. Bu konu bir sonraki “termal konfor” bölümünde daha detaylı olarak ele alınmıştır.

Mevcut veriler ile tasarımın şekillenmesi hususunda “Tersine Tasarım” (*Inverse Design*) tanımının irdelenmesi gerekmektedir. Tersine tasarım sürecinde tasarlanacak alandan alınan niteliksel ve niceliksel değerler tasarımı gerçekleştirmektedir (Hirano ve Yamada, 1988). Bu noktada ‘Tersine Tasarım’ anlayışının ve ‘Performansa Dayalı Tasarım’ yaklaşımlarının birçok ortak noktaları bulunmaktadır. Her iki tasarım sürecinde tasarıma son şeklini veren tasarımcı değil, tasarımcının düzenlediği yöntemdir. Konvansiyonel tasarım sürecinde tasarım tanımlı kriterlere bağlı olarak simülasyon programına sokulur ve simülasyon sonucu grafik program vasıtasıyla incelenir. Gereken durumlarda tasarımdaki kriterler değiştirilerek tekrar simülasyona sokulur ve çıkan sonuçlar karşılaştırılır. Bu süreç istenen sonuca yaklaşılmaya çalışarak devam eder. Tersine tasarım sürecinde ise analiz motoru grafik program ile iç içedir. Tasarımcı kafasındaki sonuç tasarımı analiz etmez, analiz verileri doğrultusunda geliştirilen tasarımı gözetler (Şekil 1.9).



Şekil 1.9 Konvansiyonel tasarım (üst), Tersine tasarım (alt) diagramı (Hirano ve Yamada, 1988)

Performansa dayalı tasarımın gelişmiş nitelikteki örneklerinde yapay zekanın kullanıldığı da görülmektedir. Yapay zekanın temelinde bir öğrenme süreci bulunur. Bu öğrenme sürecinde algoritmaya seçenekler sunulur ve amaçlar tanımlanır. Buna örnek olarak, basit bir iki boyutlu video oyununun yapay zeka tarafından oynanması verilebilir. Sinir ağına (*neural networks*) tanıtılan oyun yapay zeka tarafından oynandıkça ne zaman hangi hamleleri yapması gerektiğini zamanla öğrenmektedir.

Yapay zekanın satranç gibi karmaşık bir strateji oyununda ‘süper insan’ seviyesine gelerek, 1997 yılında dünya üzerinde oyunu en iyi oynayan Garri Kasparov’u malub etmiştir. 5000 yıllık geçmişiyle dünyanın en eski ve oynaması en zor oyunu olan, farklı oyun olasılığı sayısı evrendeki tüm atomlardan daha fazla olan Go oyununda ise bu yengi *Google DeepMind*’ın Lee Sedol’u 2017 yılında yenmesi ile gerçekleşmiştir. Doğal olarak oyun oynayan yapay zekaların performans tanımı oyundaki yengileridir.

Performansa dayalı tasarımın bir diğer unsuru ise yerinde hesaplama (*ubiquitous computing*). Yerinde hesaplama temel olarak bilgisayarın her zaman ve her yerde kullanılması olarak özetlenebilir. Teknolojinin boyutsal olarak küçülerek her an ve her yerde taşınabilmesiyle bu fenomen form bulmaktadır. Ancak yerinde hesaplama çalışmaları performansı anlık olarak değerlendirmektedir. Bu noktada tepkimeli çevreler ile performans arasındaki ilişkiyi irdelemek gerekir. Performans ve tasarım arasındaki ilişkiyi yerinde hesaplama metodu doğrultusunda Mark Gross şu şekilde açıklamıştır: “Hesaplama ekrandan fiziksel dünyaya geçerken, etkileşim tasarımının boyutları da endüstriyel tasarımcıların ve mimarların alanları doğrultusunda genişlemektedir. Biçimlenmiş hesaplama sistemlerinin etkin tasarımı, fiziksel ve hesaplama özelliklerinin anlaşılması ve haritalanmasına bağlıdır. Artık çoğu gelişmekte olan eserde somut etkileşim, karışık ve artırılmış gerçeklik, yerinde hesaplama (*ubiquitous computing*) kullanılmaktadır” (Gross ve Do, 2004).

Mimarlıkta performansa dayalı tasarım ve performatizm terimi Yasha Grobman tarafından aşağıdaki gibi detaylı bir şekilde irdelenmiştir:

Peki mimarlıkta performans nedir? Son yıllarda mimarlık neleri kapsar? Nasıl işler? Onu esasen bir öğreti haline getiren nedir? Dijital teknolojilerin çıkışı ve adaptasyonu ile mimarlık büyük değişikliklerden geçmiştir. Tasarımda hesaplama potansiyelinin üstüne gelmek isteyen mimarlar eskiye göre daha geniş ve ayrıntılı ifade ve üretim araçlarına sahip oldukları için görsel özelliklerden çıkan sonuçlara dayanarak ve mimarlığın diğer yönlerini dahil etmeden sıra dışı diye algılanan formlar araştırmaya başlamışlardır. Bu eğilim, örneğin Marcus Novak ve Stephan Perrella gibi mimarlar tarafından sergilenmiştir. Uygulanan projelerinde formel kültürel yönlerini incelerken bile, yaklaşımları öncelikle formun görsel

özelliklerine dayanmaktadır. Frank Gehry'nin öncül dijital projeleri inşa etme uğraşı (“Fish” ve Bilbao'daki Guggenheim Müzesi projesi gibi), “biçim ve işlev birdir” gibi modernizmin yönlerini reddetmiş, biçim ile biçimsel görünüm arasındaki ilişkide yeni bir özgürlük düzeyi tanımlamış ve sıra dışı formların gerçekleştirilme olasılığını göstermiştir. Mimarlar için performans, mimari form anlayışı için daha geniş bir alan sunmaktadır, çünkü işlevsel ve imaj temelli form oluşturma ve algılama yaklaşımlarını birleştirir ve bu kavramlar arasında yer almaktadır. Aynı zamanda, bir nesnenin formunun performansı ile insan öznesinin performansı arasındaki ikilemi kırmayı önermektedir. Bu durumda form çevresindeki nesneler / formlar ve insan özneleri ile canlandırılır, hareket eder ve etkileşime girer ve yeni gerçekliklerin ortaya çıkması için olanaklar sağlamaktadır. Doğanın yanı sıra kültüre dayalı kapsayıcı süreçlerin sonucunun ayrılmaz bir parçasıdır. Bu nedenle, uygulamalı bir form algısı, teknik kullanımın bir ürünü olarak optimizasyona neden olurken, aynı zamanda teknik modalitelerinin ötesinde sembolik, mimari formun dahil edilmesini de hedeflemektedir. Bu durumda ikili performans fikri, baştaki formu şekillendiren bir üretici güç kaynağı ve üretim odaklı bir kısıtlama sistemi içermektedir. (Grobman, 2012, s. 4)

Mimari form ile performansa dayalı kriterler arasındaki ilişki, evrimsel tasarımın erken safhalarında ortaya çıkan inovatif bir bakış olarak ele alınabilir. Evrimsel tasarımın yararlarından Peter Bentley şu şekilde bahsetmiştir; Evrimsel tasarım sistemleri, insanların yerine geçmek için değil, insanlar tarafından kullanılmasına yönelik gelişmiş yazılım araçlarıdır. Verimlilik, kalite, hız ve tasarım masraflarını azaltmak için oluşturulan bir çok bilgisayar yazılım gelişmeleri arasında en yenisidir. Evrimsel tasarım, tasarım sürecinin bir bölümünü üstlenerek bu yazılım araçlarına dayanmaktadır. Tasarımlarının performansını otomatik olarak analiz yazılımıyla değerlendirilmiş bir şekilde düzeltmesini sağlamaktadır (Bentley, 1999).

Evrimsel tasarımda en fazla kullanılan yöntem *Grasshopper* yazılımının *Galapagos* eklentisidir. *Galapagos*'un içerisinde evrimsel ve genetik olmak üzere iki çeşit “çözümleyici” bulunmaktadır (Rutten, 2013). Bu eklentide temel olarak farklılaşması istenilen değişkenler *Galapagos* eklentisine bağlanır. Bununla birlikte sonuç olarak elde edilecek verilerin maksimumu veya minimumu yine bu eklentiyle ilişkilendirilir.

Galapagos algoritmada tanımlanan değişkenlere farklı rakamlar girerek bir gen havuzu (*gene pool*) oluşturur. Daha sonra, çözümleyiciler vasıtasıyla sonuç olarak aranılan kriterlere en fazla yaklaşan değerler belirlenmiş olur. Ve böylelikle tasarım istenilen özelliğe en fazla performans veren formu bulur.

Günümüzde evrimsel tasarım araçlarının etkin bir şekilde kullanıldığı alan olarak biyomimikri örnek verilebilir. Biyomimikri terimi bilimsel literatürde ilk olarak 1962 de yer almaya başlasa da yaygın olarak 1980’lerde malzeme bilimciler tarafından kullanılmıştır. Kimi bilim insanları ‘biyomimetik’ veya daha seyrek olarak ‘biyonik’ terimini tercih etmektedirler. Bu alanda çalışmalar son on yıldır giderek artmıştır. Alanda bir çok çalışması olan Prof. Dr. Julian Vincent biyomimikriyi “doğadaki iyi tasarımın soyutlaması ” olarak açıklarken, yazar Janine Benyus “doğanın dehasına bilinçli bir öykünme” olarak tanımlamıştır (Pawlyn, 2011).

Temel olarak biyomimikri veya biyomimetik tasarım doğada var olan canlıların belli bir işleve göre adapte olduğu formları veya davranış biçimlerini baz alır. Bu işlevler strüktürel dayanım, en optimum formu bulma, en az malzeme kullanımı veya en etkin zamanlama olabilir (Zari, 2007; Pawlyn, 2011). Günümüzde bilgisayar teknolojisi kullanılarak doğanın ürettiği formlar etkin bir şekilde analiz edilip, taklit edilebilmektedir (Zbašnik-Senegačnik ve Kitek Kuzman, 2014).

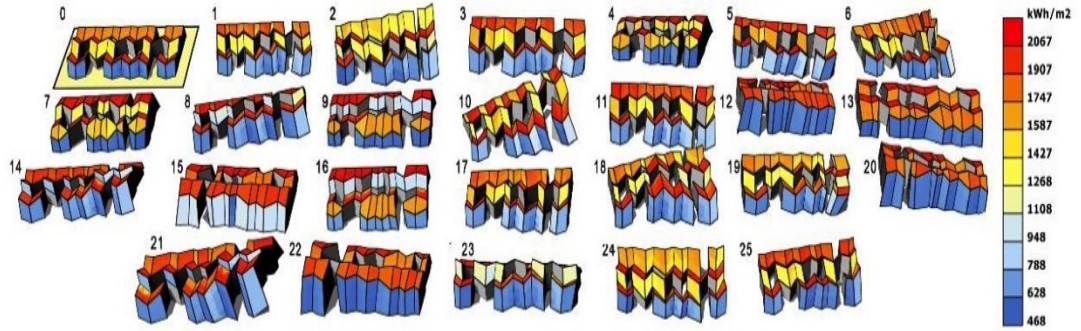
Bu çalışmada performansa dayalı tasarım yönteminin kullanılma alanları dört farklı kategoride ele alınmıştır. Bunlar termal konfor, strüktürel şekillenme, akustik şekillenme ve diyagrama dayalı tasarımıdır.

-Termal Konfor

Geleneksel mimari tasarım sürecinde, tasarımı oluşturan lokasyon, yönlenme, güneş ışınması gibi bağlamsal parametreler bulunmaktadır. Bu parametreler değiştiğinde tasarımcının süreci yeniden ele alarak değiştirmesi gerekmektedir. Bu ise tasarımcıya fazladan zaman ve iş yüküne mal olur. Parametrik tasarım yöntemleri bu süreci hızlandırarak, değişken parametrelere dayalı bir model oluşturarak tasarımcıların işini kolaylaştırmaktadır (Eltaweel ve Su, 2017).

Termal konfor, performansa dayalı tasarım kapsamında en fazla işlenen konudur (Touloupaki ve Theodosiou, 2017). Bu alandaki yazılımlara örnek olarak *Ecotect*, *Ladybug*, *Honeybee*, *Dayism*, *Radiance* ve *Energyplus* verilebilir. Bu programlarda projenin konumu girilerek nasıl bir güneş ışımasına maruz kalacağının simülasyonu yapılabilir. Bunun yanı sıra, *Galapagos* eklentisi gibi evrimsel tasarım yazımları kullanılarak, simülasyonlara ek olarak elde edilen form, geliştirilen algoritma ile daha efektif hale getirilmesi için parametrik olarak optimize edilebilmektedir (Touloupaki ve Theodosiou, 2017). Örneğin bir cephe tasarımındaki güneş kırıcıların derinliği ve açısı bu programlar kullanılarak maksimum fayda sağlamak adına optimize edilebilir (El Sheikh, 2011; Erlendsson, 2014; Mahdavinejad ve Nazar, 2017). Bunun yanı sıra, elde edilen mimari formun termal kütle katsayısı, izolasyon katsayısı gibi değerler de parametrik olarak modeli değiştirebilmektedir (Dogan, 2015).

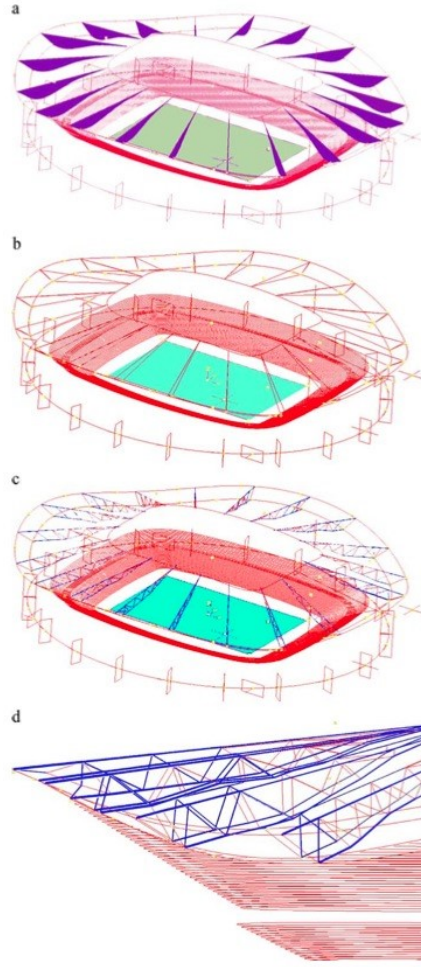
Erken tasarım aşamasında termal konforu ele alan Ionut Anton ve Daniela Tanase, süreci “optimizasyon sonrası” (*post-optimization*) ve “rasyonelizasyon öncesi” (*pre-rationalization*) olarak ikiye ayırmıştır (Anton ve Tănase, 2016). Sonraki optimizasyon sürecinde tasarlanan form çeşitli analiz ve simülasyon programları vasıtasıyla sınanarak performansı test edilir ve sonrasında değiştirilir. Ön-mantık oluşturma sürecinde ise simülasyon değerleri ile birlikte form eş zamanlı olarak kendi kendine oluşabilmektedir. Diğer bir deyişle, deneme yanılma yönteminden ziyade, formu oluştururken kullanılan evrimsel tasarım metotlarının çok daha efektif olduğundan söz edilebilir. Kullanılan evrimsel algoritmada bilgisayar deneme yanılma yöntemini otomatik bir şekilde yaparken (iterasyon), veri setinin değişimiyle elde edilen hedeflere ne kadar ulaştığını kaydeder ve en optimum sonucu tasarımcıya sunar (Şekil 1.10).



Şekil 1.10 Evrimsel yöntemlerle oluşturulmuş farklı çözümlemelerin dış kabuğunun radyasyon değerleri (Leccese, Mattoccia, Rocca ve Salvadori, 2015)

-Strüktürel Şekillenme

Performansa dayalı tasarım yöntemlerini kullanan bir diğer başlık ise strüktürel şekillenmedir. Konvansiyonel yapısal analiz sürecinde tasarlanan form öngörülen yükler eklenerek hesaplanır. Bu süreç sonucunda formun dayanıklılığı ve stabilitesi test edilmiş olur. Eğer form yükleri taşıyamayacak yapıdaysa güncellenir ve yeni bir form oluşturulur. Bu süreç simülasyonlar kullanarak biraz daha hızlandırılabilir. Yapının hangi noktasında daha fazla gerilim olduğu simülasyonlar tarafından analiz edilerek, tasarım aşamasında, belirlenen alanda formun stabilitesinin korunması için gerekli önlemler alınmaktadır (Şekil 1.11).



Şekil 1.11 *Generative Components* (GC) yazılımı ile oluşturulmuş bir stadyum çatısı modeli için eifForm tarafından üretilen yedi farklı açıklığa sahip 20 optimize edilmiş konsol giriş seti: (a) GC'de başlangıç tasarım çizimi, (b) eifForm'a giriş için minimum başlangıç tasarımları, (c) stadyum konsepti için görselleştirilen bir dizi konsol giriş, (d) yakın bir görüş (Shea, Aish ve Gourtovaia, 2005)

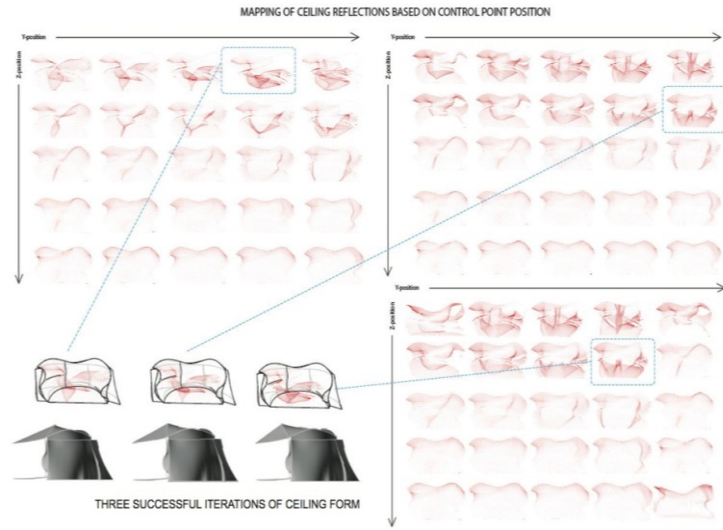
Ağ (*web*) tabanlı, makas tasarımı için kullanılan *structureFIT* gibi çizgisel yapıdaki programlar sadece 2 boyutlu çözümlemeler yapabilmektedir. Parametrik strüktürel tasarım araçları olarak *Generative Components* içinde çalışan *eifForm*, *Microstation* içinde çalışan *Triforma*, *Grasshopper* içinde çalışan *Kangaroo*, üç boyutlu makaslar için kullanılan *ParaGen*, evrimsel optimizasyon yöntemi ile çalışan *Dreamcatcher* örnek verilebilir (Danhaive, 2015). Bu programlar arasında parametrik tasarım ortamı olan *Grasshopper*'da en çok kullanılan *Kangaroo* eklentisinin doğrusal olmayan (*non-linear*) yapısı ile gergi-membran, hiperyüzey griddeki ahşap yapılar, şişme strüktürler gibi çok farklı materyallerin deformasyonları hesaplanarak tasarımlarına altlık oluşturulabilmektedir (Piker, 2013).

Strüktürel simülasyon programlarıyla birlikte evrimsel tasarım yöntemleriyle yukarıda bahsedilen tüm strüktürel hesaplama ve tasarlama sürecini eşzamanlı olarak gerçekleştirilebilmektedir (Shea ve diğer., 2005). Örneğin bir strüktürdeki elemanların boyutu, yüklerin dağılımı doğrultusunda, maksimum verimliliği sağlayacak şekilde güncellenebilmektedir. Bu yöntem “Türetken Tasarım” (*Generative Design*) tanımlamasıyla ilişkilendirilmektedir. Türetken tasarımda strüktürel şekillenmenin nihai formunu algoritma belirler. Bu güncel yöntemin öncül çalışmaları *Grasshopper* yazılımının içinde farklı eklentiler (*plug-in*) ile sağlanabilmektedir. Bu eklentilerin en eskisi 2017’de geliştirilen *Millipede*’dir. *Millipede*’de strüktürel analiz, eklentinin yüklü olduğu bilgisayar tarafından yapılır. Strüktürel hesaplama sürecinin bilgisayarın işlemcisi (CPU) yerine bilgisayarın ekran kartı (GPU) vasıtasıyla 10.000 kat daha hızlı gerçekleştirerek büyük bir zaman tasarrufu sağlayan *tOpos* eklentisi de *Grasshopper* yazılımının içerisinde çalışan diğer bir eklentidir. Ancak bu yöntem CUDA desteği olan ekran kartları ile gerçekleştirilebildiği için güçlü donanıma sahip bilgisayarlarda kullanılabilmektedir. Bir diğer türetken tasarım eklentisi ise *Ameba*’dır. *Ameba* eklentisinin en önemli özelliği hesaplama işleminin kendi sunucularında yapılmasıdır. Form türetmek isteyen tasarımcıların yazılımın geliştirildiği yer olan merkez sunuculara bağlanması suretiyle hesaplama süreci çok daha hızlandırılmıştır. Ayrıca dünya üzerinde bu eklentiye kullanarak üretilen tüm örneklemelerin sonuçları biriktirilerek algoritma güncellenmekte ve halen beta aşamasında olan eklenti geliştirilmeye devam edilmektedir.

Türetken tasarım yöntemini hazır bir paket olarak sunan öncül yazılımlardan biri ise Frank Ghery’nin avangart yapılarını tasarlarken kullandığı *Catia* yazılımıdır. *Catia* yazılımının içerisinde türetken tasarım modülünün konuşturılması ise 2018 yılında gerçekleşmiştir. Son yıllarda türetken tasarım modülünü geliştiren bir diğer tasarım yazılımı ise *Autodesk Fusion 360*’dir. Makine mühendisleri ve endüstri ürünleri tasarımcılarının sıklıkta kullandığı bu yazılımda türetken tasarım modülü 2018 yılında eklenmiştir. Türetken tasarım yöntemini kullanın, özellikle makine mühendisleri tarafından kullanılan diğer yazılımlar ise *SolidThinking* ve *Solidworks* olarak sıralanabilir.

-Akustik Şekillenme

Bilgisayar teknolojilerinin gelişmesiyle birlikte akustik simülasyon teknikleri mümkün olabilmektedir. *EASE*, *Odeon*, *Ecotect*, *LMS Virtual*, *Actran*, *I-Simpa* vb. gibi akustik simülasyon programları, var olan 3 boyutlu model içerisinde hesaplamalar yapmaktadırlar. Elde edilen değerlerin modifikasyonu gerektiğinde modelin de değiştirilmesi ve tekrar simülasyonunun yapılması gerekmektedir (Şekil 1.12). Ancak yukarıdaki bölümlerde de değinildiği üzere evrimsel algoritmaların bu simülasyon programları ile birbirlerine koşut olarak kullanımıyla performansa dayalı akustik şekillenmeler sağlanabilmektedir.



Şekil 1.12 Akustik şekillenmede deneme-yanılma yöntemi ile elde edilen formlar (Soru, 2014)

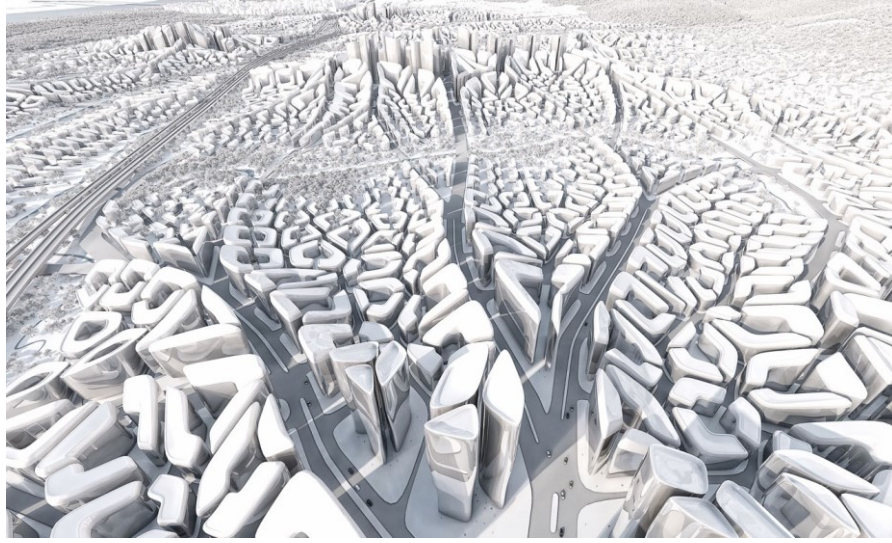
-Diyagrama Dayalı Tasarım

Dijital teknolojilerin kullanıldığı tasarım sürecinde, diyagramlar form oluşturmada kaynak grafikler olarak kullanılma eğilimindedir. Diyagram mimarisi, tündengelim temelli planlama kararları olmayan, çevresel faktörlerin ya da program temelli ilişkilerin düzenlenmesine dayanan bir mimari anlayışa dayanır. Kullanıcılar, senaryo içindeki kopyaları çoğaltmak ve yeni kullanımlar, yeni anlamlar için bir pay bırakır. Bu anlayış içindeki diyagramlar, kendi başına bir nesneyi veya projeyi temsil etmeyen,

bunun yerine olası sonuçların düşünsel altyapısını oluşturan operasyonel grafiklerdir (Akipek, 2004).

Diyagrama dayalı tasarım yaklaşımında, tasarımcı çevre verilerinden ve/veya yapılan analizlerden elde edilen veriler doğrultusunda tasarımı şekillendirir. Performansa dayalı form üretiminin mimari ölçekteki ilk örnekleri Greg Lynn'in Port Authority yaya köprüsü yarışması için önerisi ve Franken Architekten'nin Dynaform projesi olarak verilebilir. Bu tasarımlarda yaya ve otomobil güzergahları gibi çeşitli mekânsal hareketlerinin simülasyonları ve animasyon yazılımları kullanılmıştır (Grobman ve Ron, 2011). Bir diğer başarılı örnek olarak Ursula Frick ve Thomas Grabner tarafından, 'Parametrisizm' manifestosunun sahibi Patrik Schumacher koordinatörlüğünde geliştirilen "Adaptif Kentsel Doku" çalışması verilebilir (Şekil 1.13). Bu çalışmada Hindistan'daki Navi Mumbai şehri için alternatif gelişim planı üretmek amacıyla Frei Otto'nun kentsel planlama teorisi parametrik yöntemlerle ele alınmıştır. Projede mevcut çevresel verilerin analizleri öneri dokuyu oluşturmaktadır.

Tschumi ve Berman diyagrama dayalı tasarımı şu şekilde tanımlamışlardır: Diyagram mimarlığı diyagram gibi davranan mimaridir. Bu tür bir mimari, programla biçim arasında birebir ilişki kuramaz, çok amaçlı kullanımlara izin verir; mimari bileşenler oluşturdukları kanallarla aktivitelere yol açar ancak onları sınırlandırmaz; minimum mimari etkiyle maksimum performans etkisini sağlayan mimaridir (Dollens, 2004).



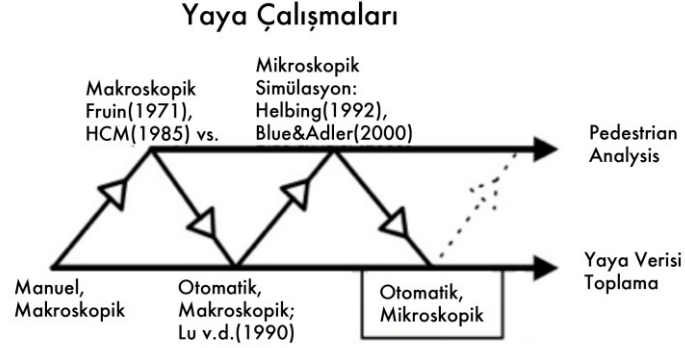
Şekil 1.13 Adaptif Kentsel Doku, Ursula Frick ve Thomas Grabner, (Grobman ve Ron, 2011)

Sonuç olarak performansa dayalı tasarım yöntemlerinin kullanılması suretiyle, modelin tekrar ve tekrar değiştirilmesine gerek kalınmadan, çok büyük bir işgücü ve zaman tasarrufu yapabilmektedir. Evrimsel tasarım yöntemleri kullanılarak, mekânı oluşturan parametreler ile simülasyon verileri veya bu tez konusundaki gibi çevreden gelen analizler senkronize bir şekilde hareket ederek istenilen en optimum form bulunabilmektedir.

2.2 Kamusal Mekânda Yaya Dinamikleri

Yaya davranışları empirik olarak yaklaşık 90 yıldır incelenmektedir (Bell, 1927; Stuart, 1968; Batty, 2001; Teknomo, Takeyama ve Inamura, 2001a; Kukla ve diğer., 2001; Bierlaire, Antonini ve Weber, 2003; Bertozzi ve diğer., 2004); Borgers ve Timmermans, 2005; Antonini, Bierlaire ve Weber, 2006; Amanda ve Director, 2006; Al-Azzawi ve Raeside, 2007; Berclaz, 2010; Asadi-Shekari, Moeinaddini ve Zaly Shah, 2014; Bera, Galoppo, Sharlet, Lake ve Manocha, 2014; Bernardini, Quagliarini ve D’Orazio, 2016). Yapılan makro ve mikro ölçekteki çalışmalar insan hareketlerinin niceliksel ve niteliksel analizi olarak yorumlanmaktadır. Bu analizlerin sonucunda yaya davranışlarının çevre ile etkileşimi gözlemlenmektedir. Otomatize olarak yapılmış yaya çalışmalarının ise teknolojinin gelişmesine paralel olarak 40 yıllık bir

geçmişini bulunmaktadır. Bu çalışmaların zaman geçtikçe makro ölçekten mikro ölçeğe doğru yönelmekte olduğu gözlemlenmektedir (Şekil 1.14).

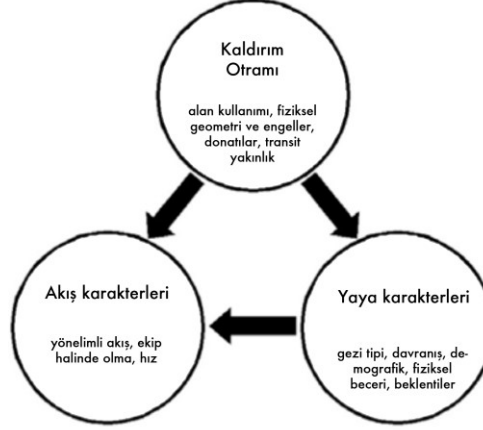


Şekil 1.14 Yaya çalışmalarında otomatize veri toplanmasının zaman çizelgesi (Teknomo, Takeyama ve Inamura, 2001b)

Yaya hareketlerinin benzetimi diğer bir değişle simülasyonu yine sıklıkla çalışılan bir konudur. Daniel Orrellana ve Chiara Renso, yaya hareketlerini betimlemede anahtar eleman olarak etkileşimi öne sürmüşlerdir. Bu teoride yaya hareketi ile etkileşime giren “bireysel”, “çevresel” ve “kolektif” olmak üzere temel üç farklı bileşeni “ajan/temsilci” olarak adlandırmaktadırlar. Onlara göre hareket etkileşimleri her türlü bağlamda ajanlar arası etki-tepki dinamikleri yaratmaktadır. “Yaya etkileşimleri, katılan grup türünü, oluştuğu şartları ve bunları gösteren özel hareket modelleri akılda tutularak temsil edilmelidir. Olası etkileşimlerin çeşitliliği, bunları ontolojik bir temsilde düzenlememizi sağlayan bir tür sınıflandırma gerektirmektedir” (Orrellana ve Renso, 2010). Bireysel etkileşimde yayaların birbirlerini etkileyen dinamikleri ön plandadır. Çevresel etkileşimde ise mekânda bulunan elemanlar gibi mekânın fiziksel koşullarının yarattığı dinamikler olarak sınıflandırılabilir. Son olarak kolektif etkileşim ise birden çok bireyin ortaklaşa verdiği kararlar doğrultusunda oluşan, etkinlik, tören, protesto gibi dinamiklerdir. Yaya simülasyonlarına bu çalışmanın 0 bölümünde daha detaylı olarak değinilmektedir.

Kaldırımlar kentsel sirkülasyonun en yoğun olduğu alanlardan biridir. Çizgisel karakterde gözlemlenen yaya hareketleri, bağlamındaki fiziksel özelliklere doğrudan koşullanmaktadır. Kaldırım ortamında yaya karakterleri ve akış karakterleri etkileşim

içerisindedir. Bunlardan kaldırım çehresi başlıca etken, yaya karakteri etken ve edilgen, akış karakteri ise edilgen yapıdadır (Şekil 1.15).



Şekil 1.15 Kaldırım, yaya ve akış ilişkisi (Amanda ve Director, 2006)

Michael Batty'e göre Pushkarev ve Zupan'ın 1975'te yaptığı, detaylı hareket kayıtlarından basit genellemeler, Manhattan'da o zamana kadar yapılan en detaylı analizdir. Kent bilimcileri tarafından farklı ölçeklerde gerçekleştirilen denemeler bulunmaktadır. Ancak günümüzdeki çalışmalar kentsel hareketten çok, Jacobs'un 'Sokaklar' kitabı gibi, kentsel morfoloji alanındadır (Batty, 2001).

Kamusal alandaki yaya davranışları hakkında yapılmış diğer bir önemli örnek ise William Whyte'in "Küçük Kentsel Mekânların Sosyal Hayatı" (*The Social Life of Small Urban Spaces*) isimli kitabı ve aynı isimdeki belgeselidir. Bu belgeselde insanların farklı ortamlardaki, farklı iklimlerdeki kamusal mekân kullanımları detaylı bir şekilde incelenmektedir (Şekil 1.16).



Şekil 1.16 William Whyte'in "Küçük Kentsel Mekânların Sosyal Hayatı" isimli filminden sahneler (1980)

İnsanlar, iç veya dış mekânda, kamusal veya özel alanlarda, diğer insanların davranışlarıyla etkileşimli olarak yürürler. "Yaya hareketleri için sağlanan olanaklar birbiriyle ilişkili üç farklı perspektiften analiz edilebilmektedir: İlki kentsel arazi kullanımlarının düzenli örüntüleri arasında dizilmesi gereken yer değerlendirmeleri; bir diğer ulaşım biçimi ise genellikle tesislerin tamamlanması için gereken ulaşım bağlantıları; ve üçüncüsü, kentsel tasarım kompozisyonları için hem görüntüleme etabı hem de bunların bütünsel parçaları olarak tanımlanmaktadır" (Stuart, 1968).

Bir paradigma olarak akış; sosyal teoride Deleuze ve Irigaray'ın çalışmalarında kullandıkları akışın nosyonu olarak bilinmektedir. "İzole edilmiş ve statik objelerin deneysel bir yaklaşımından ziyade, akışları toplumsal soruşturmanın merkezinde ayarlamak, hareket halinde bir dünyayı ve bireyleri kabullenmeye zorlamaktadır" (Shields, 1997).

Çevre ile insanların hareketinin ilişkisinin görselleştirilmesine ilgi 70'lerde başlar. Hagerstrand "Zaman-Coğrafyası" kuramında bireylerin zaman-mekân gezinmelerini (*trajectory*) inceleyerek, insan hareketlerini karakterize eden geçici değişkenleri

sınıflandırmıştır. “Hägerstrand tarafından kullanılan mekân-zaman yörüngeleri, kısmen sezgisel görselleştirme ve yorumlama nedeniyle insan hareketlerinin en yaygın temsilciliği haline gelmiş, aynı zamanda izleme teknolojilerinin verilerini doğrudan temsil etme imkanına da kavuşmuştur” (Orellana ve Renso, 2010).

2.2.1 Kentsel Mekân Ve Yaya Arasındaki Etkileşim

Yaya davranışlarını etkileyen en önemli faktörlerden biri, bağlamdaki kentsel mekândır. Kentsel mekânlar tasarlandıkları işlevlere göre konumlandırılırsalar da, bazı durumlarda farklı amaçlara da hizmet edebilmektedirler (Mehta, 2009). Bu durum, her bir bağlamı kendi özelinde incelemeye değer kılmaktadır.

Alan gözlemleri araştırmalarda analizler ve sonrasında tasarım önerisi için veri toplamada temel faktördür. Kullanıcıların kentsel mekânla ve kentsel yumuşak zeminlerle nasıl etkileşime girdiği anlaşılmaktadır (Siu ve Wong, 2015); Fotoğraflar ve video kayıtları analizler için veri oluşturabilen temel kaynaklardır (Siu ve Wan, 2010).

Eğer kentsel mekân kamusal alan tasarımıyla düzgün bir şekilde entegre olmuşsa, kendi çevresinde bir kimlik tanımlayarak mekân hissi yaratır (Telford, 2000). Kentsel donatılar, alanın mevcut ve istenilen kullanım örüntüsü üzerine yapılan analizler doğrultusunda konumlandırılmalıdır (Crankshaw, 2009; Fateme ve Azadeh, 2012). Kentsel alanda yanlış konumlandırılmış objeler, bir çok soruna yol açmaktadır: Örneğin, kavşakların kenarına fazla yakın konumlandırılmış elemanların başında toplanan insanlar, sürücülerin görüş açılarını kısıtlamaktadır. Diğer bir örnek, taşıt yoluna çok yakın konumlandırılmış elemanların yarattığı tehlikeden söz edilebilir (Yücel, 2013).

Kentsel mekân tasarımıındaki doğru uygulamaların belirlenmesi ve konumlandırılması kentsel donatıların daha akılcı kullanımını meydana getirir. Bu belirlemede kalabalığın sirkülasyonu, kullanım sıklığı, mevsimsel faktörler, kullanıcıların davranış ve alışkanlıkları, yeşil alanların görünürlüğü, mekân kısıtlamaları gibi değişkenler kullanılabilir. Bank ve oturaklar, yayaların durup

dinlenmesine ve özel alanlar tanımlamaya yönelik önemli elemanlardır (Paryabi, 2015).

Kentsel mekânlardaki yeşil alanların konumları, yaya sirkülasyonunu doğrudan etkileyen faktörlerdendir. Yayaların onlar için tanımlanan akslardan ilerleyerek bir sirkülasyon ağı oluşturduğu söylenebilir. Ancak kentsel mekân gibi çok kullanıcı ve birçok değişkeni olan alanlarda bazen kullanıcıların tasarım kararlarında öngörülmeven davranışlar sergilediği gözlemlenebilir. Bu durumlarda yayaların yeşil zemin üzerinde belirli bir alanda ilerleyerek kendi akslarını oluşturdukları gözlemlenmektedir (Şekil 1.17, Şekil 1.18).



Şekil 1.17 Konak Meydanı uygulamasından sonra yayaların kendi kendine oluşturdukları patikalar (Kişisel arşiv, 2010)



Şekil 1.18 Cumhuriyet Bulvarı ile otobüs durağı arasında yayaların oluşturduğu geçiş (Kişisel arşiv, 2010)

Örnek olarak Ersen Gürsel ve Haluk Erar tarafından tasarlanıp 2003 yılında yapımı biten Konak Meydanı verilebilir. Bu meydanın tasarımındaki vaziyet planında kurgulanan yaya aksları zaman içinde yetersiz kalmış, kullanıcılar kendi akslarını oluşturmuşlardır. Sonrasında, İzmir Büyükşehir Belediyesi tarafından bu eksikler görülmüş ve uygulama revize edilerek, yayaların tanımladığı, tasarımda olmayan doğrultular yapılandırılarak daha nitelikli mekânlar elde edilmiştir. Meydanın zaman içindeki değişimi Şekil 1.19'daki gibidir..



Şekil 1.19 Konak Meydanı'nın değişimi

Ancak hala meydanın belirli bölgelerinde kısıtlamalar ve zorlayıcı yönlendirmeler bulunmaktadır. Bu mekânlar içinde en fazla dikkat çeken nokta, taşıt alt geçidinin üzerinde bulunan membran üst örtüler ile tanımlanmış alanın Saat Kulesi'ne yakın köşesindeki engellemedir. Bu nokta 2003'den beri tasarımsal olarak yaya geçişine izin vermediğinden, kullanıcıların tasarımı zorlayarak alternatif geçiş yarattığı gözlemlenebilir (Şekil 1.20).



Şekil 1.20 Konak Meydanı'nda tasarımın engellediği yaya geçişi (Kişisel arşiv, 2009, 2014, 2017)

2.2.2 Yaya İz Sürümünün Kullanıldığı Alanlar

Yaya iz sürümü doğası gereği yaya yoğunluğu fazla olan alanlarda daha çok kullanılmaktadır. Video sekanslarından hareket algılanması, çok çeşitli kamusal veya özel ortamlarda uygulama alanı bulmaktadır. Ancak video işleme teknolojisi bir çok özel alan gözetimi alanlarında da kullanılmaktadır. Bu uygulamalara yaya gözetimi başlığı altında; güvenlik, suç önleme, trafik kontrolü, kaza öngörümü ve tespiti, hasta veya çocuk görüntülemesi verilebilir. Bu uygulamalar hava alanları, tren istasyonları, otoyollar, otoparklar, mağazalar, ofisler ve evler gibi bir çok mekânda kullanılabilmektedir. Sensör ve video teknolojisinin erişiminin kolaylaşması ve yaygınlaşması otomatik hareket tespitin kullanımına olan talebi artıran en büyük nedenlerdendir (Wang, 2011).

2.2.2.1 Yaya Gözetimi

Bu bölümde yaya takibinin sektörel olarak kullanımları, güvenlik kamera kayıtları, anormal hareket tespiti ile suç önleme ve kaza öngörümü ile araç güvenliği başlıkları altında, üç kategoride incelenmiştir.

-Güvenlik Kamera Kayıtları

Yaya takibi yöntemi kullanılan güvenlik sistemlerinde kameralar her an kayıt etmezler. Kameralar kayıt etmeye video görüntüsünde herhangi bir değişiklik olduğu zaman başlarlar. Bunun sonucunda kayıtların sayısal büyüklüğünden tasarruf edilmektedir.

-Anormal Hareket Tespiti ile Suç Önleme

Yine güvenlik kaydı yapılan gelişmiş sistemlerde anormal hareket akışları tespit edilebilmektedir. Kalabalık davranışının otomatik analizi, halka açık alanların güvenliği için kullanılmasıyla önem kazanmaktadır. Kamusal alanlarda yaya yoğunluğu değişkenlik gösterebilmektedir. Bu nedenle, yazılımların hem düşük, hem de yüksek yoğunluklu ortamlarda etkin bir şekilde çalışması gerekmektedir. Temel olarak kalabalık yoğunluğunu irdeleyen iki adet yöntem bulunmaktadır: Öznelerin iz sürümünü temel alan ve kalabalıktaki bireyleri teker teker takip eden yöntemler, diğeri ise, kalabalığı bir bütün olarak algılayıp, akışkan dinamikleri ile analiz eden yöntemler olarak sıralanabilir (Gündüz, 2014).

-Kaza Öngörümü ile Araç Güvenliği

Son dönemde otomobil sektöründe yapılan güvenlik araştırmaları optik ve lazer teknolojilerinin olanaklarından yararlanmaktadır. “Son zamanlarda, robot görüntüleme teknikleriyle insan algılaması için kızılötesi kameralar kullanılması ve bu kameraların fiyatlarında keskin düşüşler ve düşük ışık koşullarında çalışabilme yetenekleri gittikçe artmaktadır” (Ran, Weiss, Zheng ve Davis, 2007). Güvenlik konusunda önde gelen Volvo firmasının geliştirdiği yaya algılama sistemi buna en iyi örnek olarak verilebilir. Bu sistemde ön camın yukarısında bulunan kamera ve lazer tarayıcı, aracın önündeki yaya formunu algılayarak otomobili durdurmaktadır (Sato, Hashimoto, Takita, Takagi ve Ogawa, 2010). Bu sistemler, sürücü için gerçek zamanlı bilgiler sağlayarak olası dikkatsizlikleri elimine edebilmektedir (Olmeda, Hilario, de la Escalera ve Armingol, 2008).

2.2.2.2 Tahliye Dinamikleri

Yaya hareketinin modellenmesi (simülasyonu), bir çok teorik ve pratik alanda kullanılmaktadır. Tahliye dinamikleri (*evacuation dynamics*) üzerine yapılan güncel deneylerde, yaya etkileşiminin niceliksel detayları ile matematiksel denklemler arasında bağ kurulabilmektedir (Helbing ve Johansson, 2011). Bununla birlikte, yüksek sayıda yaya verisinin girildiği bilgisayar simülasyonları, empirik olarak gözlemlenen kalabalık dinamikleri ile örtüşen sonuçlar vermektedir. Böylelikle, bireysel davranışların toplamından, makro ölçekteki kolektif davranışın nasıl oluştuğu hakkında bilgi sağlanabilmektedir.

2.2.2.3 Yaya Geçitleri ve Sinyalizasyon

Yaya hareketi karakterleri, yaya geçitlerinde ve ışıklandırılmalı kavşakların tasarımında önemli bir veridir. Bekleme ve geçiş zamanı parametreleri, yaya geçitleri tasarımlarını ve zamanlama planlamasını geliştirmede anahtar değişkenlerdir. Yaya hareketleri verisinin elle toplanması yoğun işgücü gerektirmektedir. Ancak, sıradan video kameralarla, bilgisayar grafiği temelli otomasyon yöntemiyle bu verilerin işlenmesi kolaylık oluşturabilmektedir (Malinovskiy, Wu ve Wang, 2008).

2.2.2.4 Kentsel Tasarım

Küresel nüfusun artması ve bunun sonucu olarak ortaya çıkan kentleşme, sıkışık alanların çoğalması ve ulaşım sorunlarının artmasını beraberinde getirmektedir. Ulaşımın daha çevre dostu hale getirilmesi, insanların yürümesi için daha uygun kentsel tasarım elde edilmesi, aynı zamanda kalabalık alanlarda kentsel bağlamda ulaşım terminallerinin tasarımı ve entegrasyonu sağlanmalıdır. Kentsel tasarım çevresel korumaya, daha fazla sağlığa, daha kolay erişilebilirliğe ve genel olarak daha iyi bir yaşam kalitesine doğru daha dikkatli bir toplumun gelişmesi için gereklidir.

Kentsel tasarım, peyzaj ve mimari tasarım, şehir planlama ilkelerini ve daha pek çok disiplini kapsayan karmaşık bir süreçtir. Tek bir yerleşimden mimariye çeşitli mekânsal ölçeklerde çalışılmaktadır. Kentsel tasarımcılar, faaliyet gösterdikleri ölçeğin üstünde ve altında bulunan ölçek ilişkilerinin sürekli olarak farkında

olmalıdırlar (Carmona ve diğer., 2010). Tablo 1.1’de kentsel form ile yaya arasındaki ilişkileri inceleyen çalışmalar derlenmiştir.

Tablo 1.1 Kentsel nitelikler ve yaya arasındaki ilişkiyi inceleyen çalışmalar

Tasarım Nitelikleri	Tasarım Parametreleri	Yazar
Erişilebilirlik	Ana fonksiyonlar arasındaki mesafe (örneğin, konut, perakende ve eğlence tesisleri ve ulaşım noktaları); peyzaj dalgalanması ve yaya yolu yapılandırması	(Lynch, 1981)
Yeşil alana erişilebilirlik	Açık mekâna bakan bina cephelerinin alanı	(Tibbalds, 1992)
Açıklık derecesi	Açık mekâna bakan bina cephelerinin alanı	(Stiles, 2008)
Tahayyül edilebilme	Avlu, plaza ve park sayısı, gürültü seviyesi	(Ewing ve Handy, 2009)
Kapalılık	Gökyüzünün görünürlüğü	(Ewing ve Handy, 2009)
Yürünebilirlik	Yeşil alan ile açık alanların ilişkisi	(Ewing, Handy, Brownson, Clemente ve Winston, 2006)

Yaya hareketleri olgusunun kentsel tasarımda kullanılması ile daha ergonomik kentsel mekânlar elde edilebilmektedir. Erken dönemlerde gözlem yoluyla, video görüntü alımının yaygınlaşmasıyla görüntülerin incelenerek insan hareketlerinin tasarıma verdiği tepkiler daha detaylı bir şekilde analiz edilebilmiştir. Kentsel tasarım konu olduğunda ulaşım ve erişilebilirlik en önemli unsurlardan biridir. Bu yüzden, yayaların hareketi, yoğunluğu, yönlenmesi ile ilgili birçok çalışma yapılmış ve yapılmaya devam etmektedir (Carmona, 1996; Batty ve diğer., 2000; Kaparias, Bell, Biagioli, Bellezza ve Mount, 2015).

Başarılı bir şekilde tasarlanmış kentsel mekânlarda kullanılan donatıların, yaya akışı doğrultularına ve düğümlerine göre optimum konumları saptanmalıdır (Salingaros, 1999). Yaya hareketliliğinin hesaplamalı analiz teknikleri aracılığıyla saptanması ve tasarım için bir girdi olarak kullanılması, yere özgü olan ve kullanıcıya ilişkin kriterleri dikkate alan bir tasarım altlığı oluşturulmasını sağlayarak kentsel donatılara yönelik tasarım / yerleşim / kullanım sorunlarının giderilmesine katkı vermektedir.

Kentsel tasarım işbirlikçi ve disiplinler arası bir süreçtir. Yaya hareketleri çevresinde bulunan birçok kentsel unsurlardan etkilenerek biçimlenmektedir (Tablo 2.2). İşbirlikçi tasarım ve/veya katılımcı tasarım yöntemlerinde ise entegre bir yaklaşım olmakta ve çok çeşitli katılımcıların bilgi ve becerileri kullanılmaktadır. Bu şekilde bir yaklaşım, önemli miktarda veri toplanmasını ve yönetilmesini gerektirir (Koltsova, Kunze ve Schmitt, 2012).

Yaya analizi ve kentsel objeler konusuna değinmek gerekirse, Kardi Teknomo yaya alanlarının nötr halde bulunmasının önemini şu şekilde dile getirmiştir: “Yaya çalışmalarının başlıca kaygısı, yaya tesislerinde yayalar için alan tahsisidir. Yayalar arasındaki etkileşimi göz önüne almaz ve yaya bölgelerinde veya bazı yapılardaki objelerin varlığı (kiosklar, oturma elemanları, telefon kulübeleri, sebilller, vb.), yaya akış performansının tahmini için uygun değildir” (Teknomo ve diğer., 2001a). Tüm bunlardan dolayı yaya analizi yapılan bölgelerin çevresel faktörlerden maksimum derecede izole olması, analizin kalitesini etkilemektedir.

Tablo 2.2 Yaya hareketini etkileyen çevresel faktörler (Stuart, 1968)

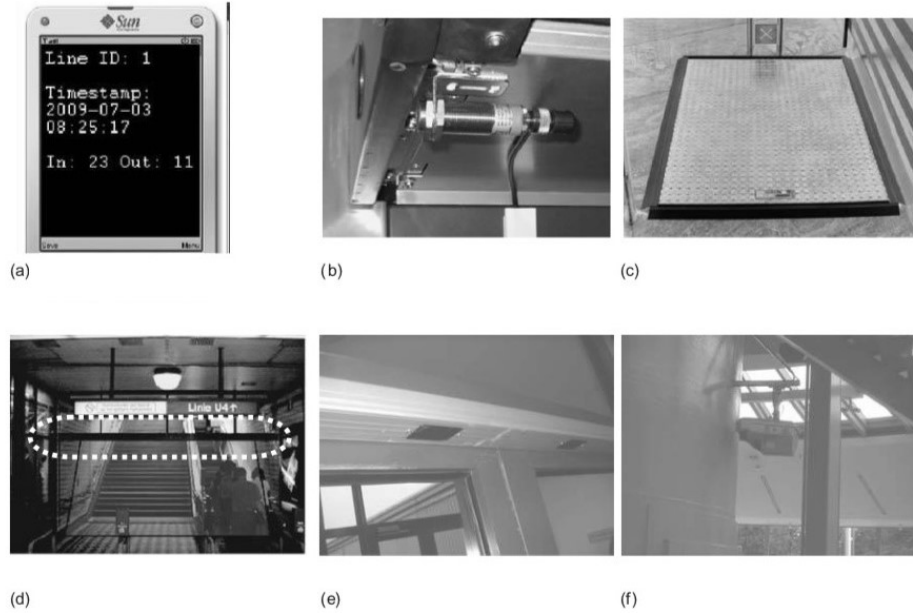
Alan kullanımı kontrolü	Çevresel elemanlar	Örnekler
Sirkülasyon planlaması	Hareket örüntüsü	İzleğin sürekliliği Rota tercihi
	Noktasal elemanlar	Meydanlar ve küçük parklar Toplu taşıma durakları
	Jeneratör dağılımı	İzlek ağı boyunca ana bağlantıların koordinasyonu Ana jeneratörlerin birbirleri ile ilişkili konumu
Kentsel Tasarım	Tanımlanabilirlik	Nirengi noktalarının gelişimi Eşsiz mimari veya topografik özelliklerin ayırımına vurgu
	Rastlantısal Aktiviteler	Sokak mobilyaları Kaldırım aktiviteleri
	Görsel Çeşitlilik	Mimari cephelerin çeşitliliği Kaldırım demirbaşları

2.3 Yaya Analiz Yöntemleri

Yukarıda bahsedildiği gibi literatürde yaya hareketleri ile ilgili bir çok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmaların yöntemleri yapıldığı zamana bağlı olarak değişkenlik

göstermektedir. Teknolojinin gelişmesi ile birlikte yaya hareketlerinin analiz yöntemleri de gelişmektedir.

Yaya incelemelerinde niteliksel yaya takibinden önce niceliksel yaya sayımı yapılmaktadır. Sensör teknolojilerin gelişmesi ile birlikte yaya sayım olanakları da çeşitlenmiştir. Erken zamanlarda yaya sayımı yine dijital bir cihaza el ile verinin girilmesi, yani her yaya geçtiği gözlemlendiğinde tuşa basılması suretiyle yapılırken, sensör teknolojisi ile bu işlem otomatize edilebilmiştir. Harekete duyarlı matların kamusal zemine döşenmesi gibi verimsiz yöntemlerin denemeleri de yapılmıştır. Ancak en son gelinen noktada video ve lazer teknolojisi güncel olarak kullanılmaktadır (Şekil 1.21).



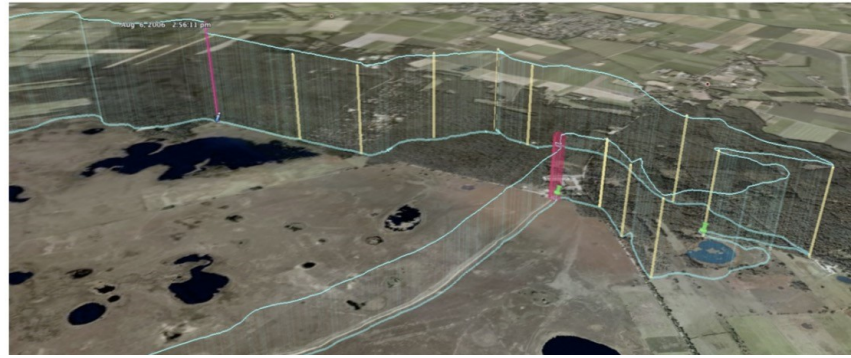
Şekil 1.21 Çeşitli yaya sayım teknolojileri: Akıllı telefonların atası olan cep bilgisayarı (PDA) ile yapılan elle sayım yazılımı (a), Kızıl ötesi ışın sensörü (b), Ağırlık duyarlı mat (c), IRIS kızılötesi sayım sistemi (d), DILAX sayım sensörü (e), LASE PeCo lazer tarayıcısı (Bauer, Brändle, Seer, Ray ve Kitazawa, 2009)

Yapılan yaya analizi çalışmalarının çoğu makroskopik ölçekte dir. Makroskopik ölçekteki yaya analizi yöntemi ilk olarak 1971’de Fruin ve takibinde 1985’te HCM (*Highway Capacity Manual Special Report, Washington*) tarafından önerilmiştir. 1994’te ITE (*Manual of Transportation Engineering Studies, New Jersey*)’nin

önerdiği makroskopik yaya verisinde ise yaya hareketleri akış, ortalama hız ve alan modülü olarak sınıflandırılmıştır.

2.3.1 Mekânın Fiziksel Potansiyellerini Yaya Hareketleri Üzerinden İnceleyen Yöntemler

Yaya hareketlerinde hesaplamalı yaklaşımın gerçekleşmesi için öncelikle birkaç terimden bahsetmek gereklidir. İnsanların zaman içinde yer değiştirmeleri, yani hareketlerinin incelenmesine ilişkin farklı kavramlar türetilmiştir. Bu kavramların ilki zaman-coğrafya'dır (*time-geography*). Zaman-coğrafya, iki boyutlu bir düzlem üzerindeki zamansal yer değiştirmenin yükseklik ile görselleştirilmesidir. Diğer bir deyişle, Kartezyen koordinat sistemindeki Z boyutunun zaman ile yer değiştirmesi olarak değerlendirilebilir. GPS (Coğrafi Konumlanma Sistemleri) iz sürüm teknikleri ile zaman-coğrafya analizinde kullanılacak veri, çalışılan ölçek dahilinde çok keskin bir şekilde elde edilebilmektedir.



Şekil 1.22 Zaman coğrafya, iki boyutlu bir alanda, gezinenin z boyutunda yükselen bir çizginin grafik gösterimidir. (Orellana ve Renso, 2010)

İnsanların hareketlerinin yorumlanması için insan hareketini analiz etme önerisi, insan aktivitesinin sadece bireylerin aldığı kararlarla değil, temel olarak mekânsal ve zamansal kısıtlamalarla nasıl belirlenebileceğini gösteren Torsten Häger tarafından gerçekleştirilen Zaman-Coğrafya'da ilk kez görülmüştür (Hägerstrand, 1970). Hägerstrand'ın hareketi mekân-zamansal yollar olarak temsil etme önerisi (hareket

eden bir nesnenin mekân-zamansal konumlarının dizisi) hala mevcut çoğu yaklaşımın temeli olmaya devam etmektedir. Diğer yazarlar aynı kavramı “gezingeler” (*trajectories*) (Smyth, 2000); Andrienko, Andrienko, Pelekis ve Spaccapietra, 2008) veya “geo-uzamsal hayat çizgisi” (*geospatial life line*) (Hornsby ve Egenhofer, 2002) gibi farklı kavramlar olarak kullanmaktadır. Miller, Zaman-coğrafya için bir ölçüm teorisi bağlamında, uzay-zaman yolu, prizmalar, demetler ve kavşaklar gibi temel kavramlar geliştirmiştir (Miller, 2005). Bu tanımların geliştirilmesi için, hareket eden nesnelerin veri tabanını oluşturma teknikleri genişletmiştir (Orellana ve Renso, 2010).

2.3.1.1 Yaya Simülasyonları

Bireylerin hareket kalıplarını mekân yoluyla tahmin etmeleri, yayalar için etkili kentsel mekânlar tasarlama ile ilgilenen kentsel ve ulaşım plancılarının gittikçe daha önemli bir hedefi haline gelmektedir (Batty, 1997). Bununla birlikte, bu tür öngörüler basit değildir, çünkü hem yayaların kendileri, hem de bulundukları durum ve ortamlarla ilgili çok sayıda değişken dikkate alınmalıdır (Willis, Gjersoe, Havard, Kerridge ve Kukla, 2004).

Yayalar ulaşım sisteminin önemli bir bileşenini oluşturur. Yaya alanlarının planlanması ve tasarımı (havaalanları, alışveriş merkezleri, tiyatrolar vb.) yayalar için verimli, konforlu ve güvenli yürüyüş olanağı gerektirir. Aynı şekilde, bir binanın acil durumlardaki tahliyesinin tahmin edilmesi için çok sayıda insan hareketinin modellenmesi gerekmektedir. Tüm bu hedeflere ulaşmak için, son yıllarda algılama ve izleme teknolojileriyle, yürüme dinamikleri analitik olarak modellenmiş ve simülasyon yazılımı geliştirilmiştir. Araç hareketlerinden farklı olarak yayalar, diğer yayalar ve çevredeki altyapı ile sürekli olarak etkileşir, yönlerini ve hızını sık sık değiştirir (Caramuta ve diğer., 2017). Yayaların bu karmaşık hareket davranışını temsil etmek için temel olarak mikroskobik ve makroskopik olmak üzere çeşitli modeller önerilmiştir.

Simülasyon modelleri, kentsel tasarımcıların çeşitli kentsel alanları incelemeleri sırasında, çok sayıda yayaların hareket modellerini tahmin edebilmeleri için potansiyel bir araç olmaktadır. Bunlar arasında, bireysel yaya seviyesinde çalışan modeller şu

anda literatürde baskındır; bu, yaya davranışlarını gerçekçi bir şekilde taklit etme potansiyellerini yansıtmaktadır.

-Mikroskopik Modeller

Mikroskopik modeller, en küçük temsil edilebilir varlıktan, bir kalabalığın içinde tek yayadan başlayarak yaya geçişini tanımlamakta ve zaman içinde belirli bir alanı işgal eden bireysel bir “ajan” olarak davranmaktadır (Shiwakoti, Sarvi ve Rose, 2008). Üç ana mikroskopik model grubu tanımlanabilir: fiziksel güç tabanlı modeller, hücresel tabanlı modeller ve sıralama ağı modelleridir (Esteves, Rossetti ve Oliveira, 2009).

Fiziksel güçlere dayalı modeller arasında üç tür öne çıkmaktadır: manyetik güç, fayda maksimizasyonu ve sosyal güç modelleri (Helbing, Buzna, Johansson ve Werner, 2005). Manyetik güç modeli Okazaki tarafından 1979’da gerçekleştirilmiştir, ikinci ve üçüncü olan ise Helbing tarafından 1999’da geliştirilmiştir (Teknomo, 2002). Gipps ve Marksjo'nun fayda - maliyet modeli (Teknomo ve diğer., 2001a) ve Blue ve Adler'in hücresel otomata modeli (Dijkstra, Jessurun ve Timmermans, 2001), hücresel temelli modellerden anlaşılabilir (Waldau, 2006). Son olarak, ağ modelleri sıralı olarak tahliye çalışmaları için geliştirilmiş ve kullanılmıştır (Teknomo, Takeyama ve Inamura, 2016).

Yukarıda bahsedilen yaklaşımlar, mikroskopik yaya modellemesinin temelini temsil eder ve Helbing'in öne sürdüğü gibi, aralarındaki artı ve benzerliklerin yanı sıra, artıları ve eksileri de bulunmaktadır. Öncelikle, her bir modelin birbiriyle ilişkili olamayacağı ve bir model için yararlı olan verilerin başka bir yaklaşımla değiştirilemeyeceği fark edilmelidir (Saadat ve Teknomo, 2011). Ayrıca, mikroskopik modelin her genel duruma uygunluğunu garanti etmek için istatistiksel bir kalibrasyon çalışması gerekir, yani bireysel hareket verilerini ölçmek gerekir (Shiwakoti ve diğer., 2008).

-Makroskopik Modeller

Mikroskopik modellerden farklı olarak, makroskopik yaklaşımlar, kalabalığın en küçük temsil edilebilir varlık olarak kabul ettiği yaya dinamikleriyle uğraşırlar: Diğer

bir deyişle, yaya hareketini tanımlamak için kalabalığın akış, yoğunluk ve hız ilişkileri aracılığıyla toplu temsilini kullanırlar (Shiwakoti ve diğer., 2008). Bu teknikte olan bir modellemede, yaya davranışı, bireylerin davranışlarını göz önüne almadan, akış, ortalama hız ve alan modülü gibi değişkenlerle karakterize edilen akışkan bir sıvı olarak tasvir edilmektedir (Helbing, 1992; Teknomo, 2002).

Mikroskobik yaklaşımlardan farklı olarak, makroskopik yaya akış performansını tahmin etmek için yayalar arasındaki etkileşimleri dikkate almazlar. Birçok yazarın bildirdiği gibi, ilk makroskopik modelleme girişimleri Hughes ve Henderson tarafından ele alınmıştır (Helbing ve Johansson, 2011). İlk önceleri yaya akışını bir “düşünme akışkanı” olarak modellendiği bir teori ile karakterize edilmiştir (Colombo, Goatin, Maternini ve Rosini, 2010). Daha sonra, yaya davranışını moleküler sıvıya benzetme yoluyla açıklanmıştır (Hughes, 2002).

Makroskopik modellemenin avantajlarından biri, grupların davranışlarının tanımlanabilir olduğu çok yüksek yoğunluklu durumlara uygunluğudur (Shiwakoti ve diğer., 2008). Bununla birlikte, kalabalığın tek bileşeni, davranışı göz önüne almadan, bu modeller bireyin davranışının gittikçe daha fazla kümelenme sistemini etkilediği acil durumlar için kurgulanmış yaklaşımlarda önemli sonuçlar gösterebilmektedir (Shiwakoti ve diğer., 2008).

Makroskopik yöntemler arasında geliştirilen en ilginç ve başarılı yöntemlerden biri Akışkan Dinamikleri Modeli'dir. Akışkan dinamikleri modelinde yayalar hareket yönüne ve belirlenen hızlara göre gruplara ayrılır (Helbing, 1992). Modelde, her bir yaya grubunun hareketini tanımlamak için yoğunluklar ve hız, yön gibi ortalama değerlerin arasındaki ilişkiler kullanılmaktadır (Helbing, 1992).

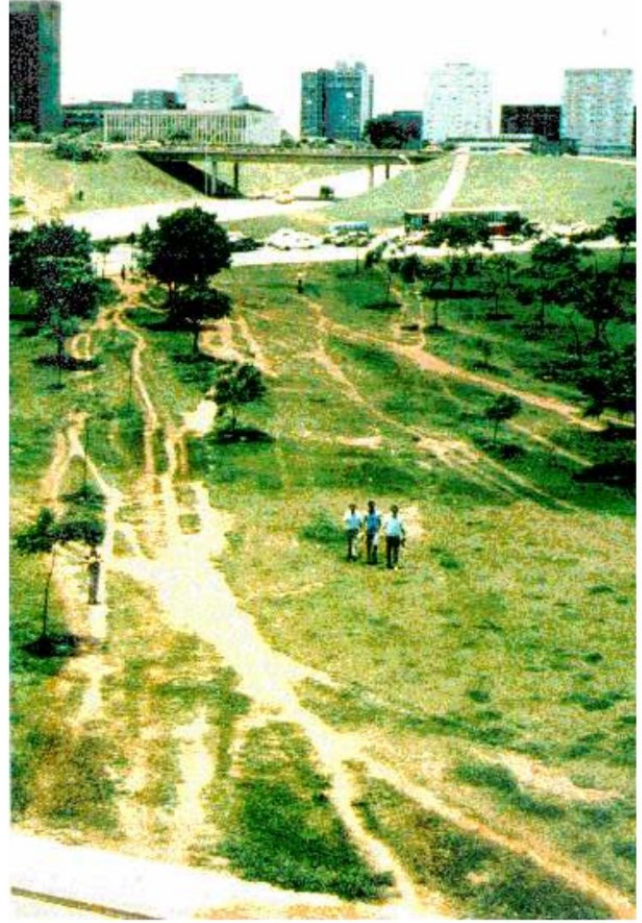
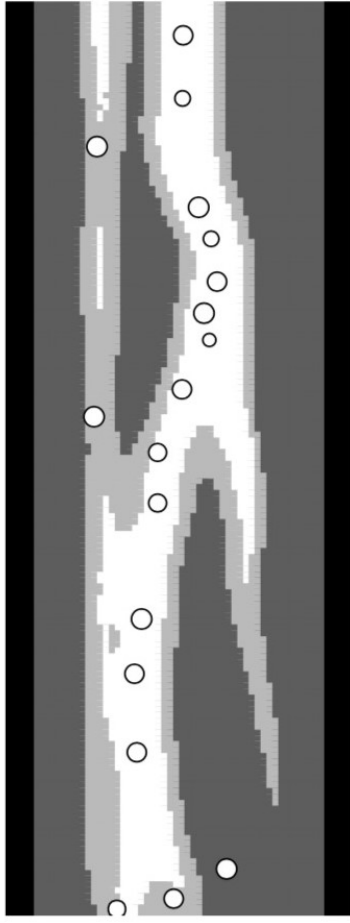
Yoğunluk değişimi dört veriye dayanır: Bunlardan ilki yayaların dinlenme süresidir. İkincisi, diğer yayalar ile etkileşimleri, üçüncüsü ise hedeflenen hıza ulaşma eğilimidir. Ve son olarak gruplardaki bazı yayaların alana giriş ve çıkışı olarak sıralanabilir (Helbing, 1992). Modelin ihtiyaç duyduğu girdiler grup sayısı, hareket yönü ve istenilen hızdır.

Yumuşak zemin karakterli alanlarda yürüyen yayaların, belirli bir zaman sonra kendi izleklerini oluşturduğu kolaylıkla gözlemlenebilir. Yumuşak zeminin zaman içinde ezilmesi, zeminin basınçla sıkışmasıyla patikalar oluşmaktadır (Şekil 1.23). Kırsal alanlarda bu rotalar, genellikle insanların ve hayvanların oluşturduğu patikalardır. Yaya hareketleri ve simülasyon kavramlarının öncül isimlerinden Dirk Helbing, “İnsan ve Hayvan İzi Sistemi Şekillenmesi için Aktif Yürüyücü Modeli” adlı makalesinde bu patikaların oluşma biçimini inceleyerek sistematize etmiştir. Dirk Helbing, daha sonra bu sistematiği geliştirerek bir simülasyon modeli oluşturmuştur.



Şekil 1.23 Stuttgart-Vaihingen Üniversitesi kampüsünde düz, taş döşeli yollar arasında bir iz sistemi gelişmiştir (resmin merkezi). Düz bir çizgide çalışan iki parkurun kesişme noktaları ve tek bir iz içine pürüzsüzce karışan iki yolun birleşimleri olmak üzere iki tip düğüm gözlemlenmektedir (Helbing, Schweitzer, Keltsch ve Molnár, 1997)

Bu modelde Dirk Helbing yaya simülasyonu alanında “gövde izi biçimlenmesi” (*trunk trail formation*) modelini geliştirmiştir. Karıncaların davranışlarında gövde izi biçimlenmesine rastlandığı gözlemlenmektedir (Schweitzer, Lao ve Family, 1997). Helbing, daha sonra bu simülasyonları gerçek çevreden elde ettiği veriler ile kıyaslayarak algoritmalarını sınamıştır (Şekil 1.24).



Şekil 1.24 Yayalar yere ayak bastığında izler gelişir ve yürüyüş için sadece toprak parçaları kullanılmaktadır (yeşil alanların aksine). Simülasyon sonucu (solda) ile Brasilia üniversite kampüsündeki iz sistemi (sağda) arasındaki benzerlik gözlemlenebilir (Helbing ve diğer., 1997)

Sonuç olarak simülasyon modelleri temelde yukarıda bahsedilen yöntemlerle kurgulanmaktadır. Yazılımların bazıları kullanılan yöntem veya bileşik yöntemlere göre kalabalık örneklerde daha iyi sonuç verirken, bazı yazılımlar az yoğunluklu kurgularda daha başarılı sonuç vermektedir.

2.3.1.2 Mekân Diziminde Yaya Hareketi

Mekân dizimi (*Space Syntax*), mekânın fiziksel yapısının belirli kriterlerdeki potansiyellerinin analiz edilmesi olarak özetlenebilir. Mekân diziminin ana özelliği, insan algısındaki mekânın yansıması/haritası olarak adlandırabilecek deneyimlere dayalı bilginin oluşmasında kritik rolü olan, mekânın soyut karakteristiklerini ilk kez somut olarak ifade ve analiz etmeyi sağlayabilen sayısal bir teknik olmasıdır (Hillier,

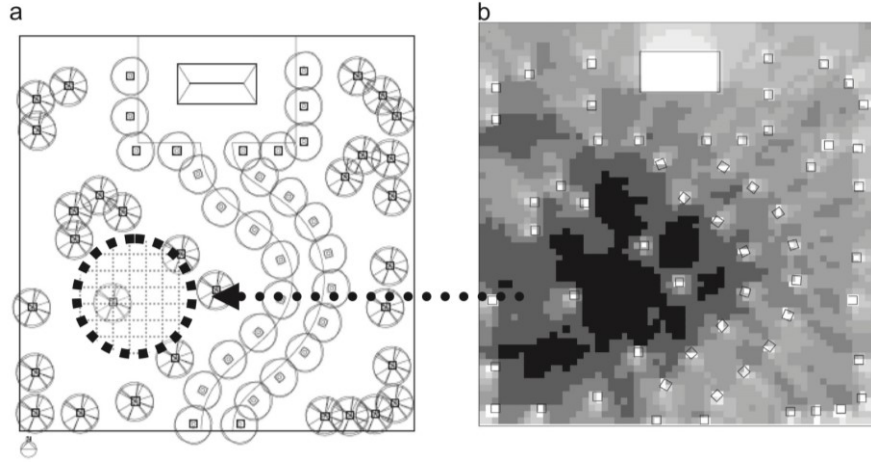
Leaman, Stansall ve Bedford, 1976). Bu yöntemin ana teması, mekânları parçalara ayırarak, bu parçaları haritalar veya grafikler haline getirip, bunlar üzerinde sayısal analizler yapmaya olanak sağlamaktır (Kubat ve diğer., 2007). Bu parçalara ayırma fikri, insanların mekânı kavramasının (*cognition*) senkronik olarak değil, zaman içerisinde deneyimlerden kazanılan asenkron algıların zihinde bir araya getirilmesi teorisine dayanmaktadır (Hillier ve Iida, 2005). Bu deneyimlerin temsili olan bu parçalar şunlardır:

- a) İsovist adı verilen ve bir noktadan görülebilecek en geniş bakış yelpazesini oluşturan poligon,
- b) Görüş hatları (*axial lines*), insanların hareketlerini yönlendirmekte kullandıkları bir noktadan görülebilecek en uzun görüş hattı
- c) Kullanılabilir/fonksiyonel içbükey alanlar (*convex spaces*).

Bununla birlikte mekân dizimi, mekânın kullanıcılarının davranışlarının kartografyalarını da incelemektedir. Bu kartografyalar oluştururken yaya davranışlarını saptanmasında GPS (*Global Positioning System*) iz sürüm teknikleri kullanılmaktadır. GPS kullanılan makroskopik ölçekteki bu çalışmalarda, taranılan alan büyük olduğu için, GPS verisi ile elde edilen izlerin kesinliği kompanse edilebilir bir düzeydedir. Ancak mikroskobik ölçekte yapılması gereken çalışmalarda GPS kaynaklı veriler ölçekteki duyarlılığın gereksinimini sağlamamaktadır. Bu noktada, video görüntülerinden elde edilmiş veriler işlenerek mekân dizimi çalışmalarında kolaylıkla kullanılabilir. Bu çalışmada kullanılan *Grasshopper* yazılımında mekân dizimi için kullanılmak üzere eklentiler geliştirilmiştir. Böylelikle mekân dizimi çalışmaları yapan ve ilgili yazılımı kullanan tasarımcılar, mikro ölçekte de yaya hareketi analizi gerçekleştirebilmektedir.

Mekân diziminde yaya hareketi ile ilgili temel teknikler görünürlük grafik analizi (*VGA: Visibility Graph Analysis*) ve bağlanabilirlik yöntemidir. Bu yöntem ile tasarlanan mekânın potansiyelleri yaya sirkülasyonu yönünden irdelenebilmektedir. Örnek olarak Hassaan Mahmoud ve Reham Omar tarafından yapılmış park alanlarındaki ağaçlandırma tasarımını yaya güzergahının bağlanırlığı üzerinden değerlendirildiği çalışma verilebilir (Mahmoud ve Omar, 2015). Çalışmada mekân

dizimi yöntemi dahilinde görünürlük grafik analizi (*visibility graph analysis*) ve bağlantırlık (*connectivity*) tekniğiyle yaya güzergahları ve ağaçlandırma tasarımı bu güzergahlara göre oluşturulmuştur.



Şekil 1.25 Tasarım önerisindeki en bağlı bölge (a), Tasarımın bağlantırlık analizi (b) (Mahmoud ve Omar, 2015)

2.3.2 Analog Yaya Takibi

Analog yaya takibinde klasik gözlem ve izlenim yöntemleri kullanılmaktadır. Bu yöntemlerin en çok kullanılanları anket bazlı veri toplama ve gözle iz sürümdür. Analog yaya takibi metotlarının kolay uygulanması, her hangi bir teknolojiye gereksinim duyulmaması gibi avantajları vardır. Ancak oluşturulan verilerin hassaslığı tartışılabilir.

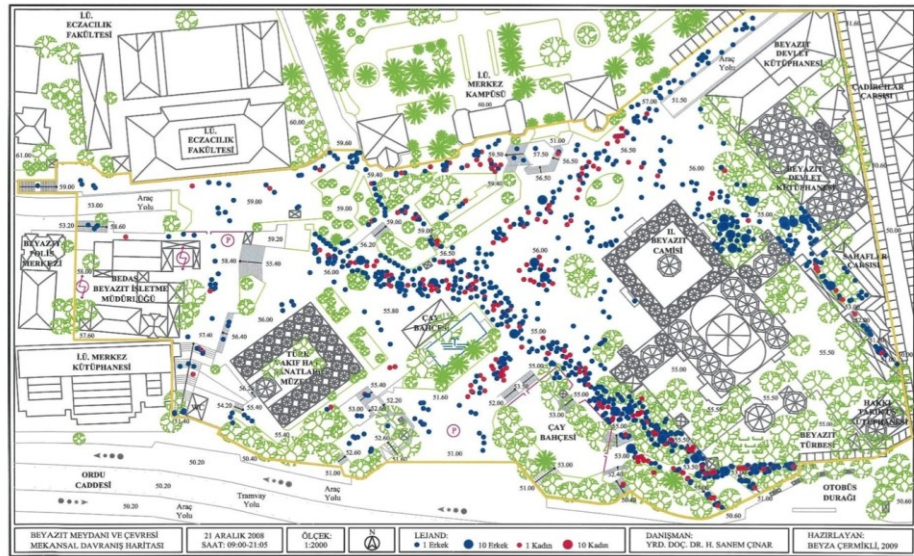
-Anket Bazlı

Yaya hareketlerinin, araştırılmasında anket yöntemi ilk olarak 1967’de Hartenstein ve Iblher tarafından kullanılmıştır (Hill, 1984). “Çoğu şekilsel ayırım (*modal split*) ve diğer ulaşım sorunlarının ulusal araştırmalarında ana veri toplama tekniği hala ankettir” (Hill, 1984). Bu yöntemde önceden hazırlanan sorular mekân kullanıcılarına yöneltilir. Mekân kullanıcıları tercih ettikleri güzergahlar gibi verileri araştırmacıya aktarırlar. Diğer yandan mikro ölçekte yapılan yaya analizlerinde anket yönteminin verimliliği tartışılabilir.

-Gözle İz Sürüm

Gözle iz sürüm tekniği uygulanabilirliği en kolay yöntemdir. Belirli bir zaman diliminde alanı gözlemleyen araştırmacı/araştırmacılar, bulundurdıkları plan veya krokiye gözlemledikleri davranışları elle kaydetmektedirler. Bu yöntem, gezinge (*trajectory*) analizi belirlemekten daha çok, kullanıcı giriş çıkışı gibi rakamsal veriler toplamak için daha verimli bir yöntemdir.

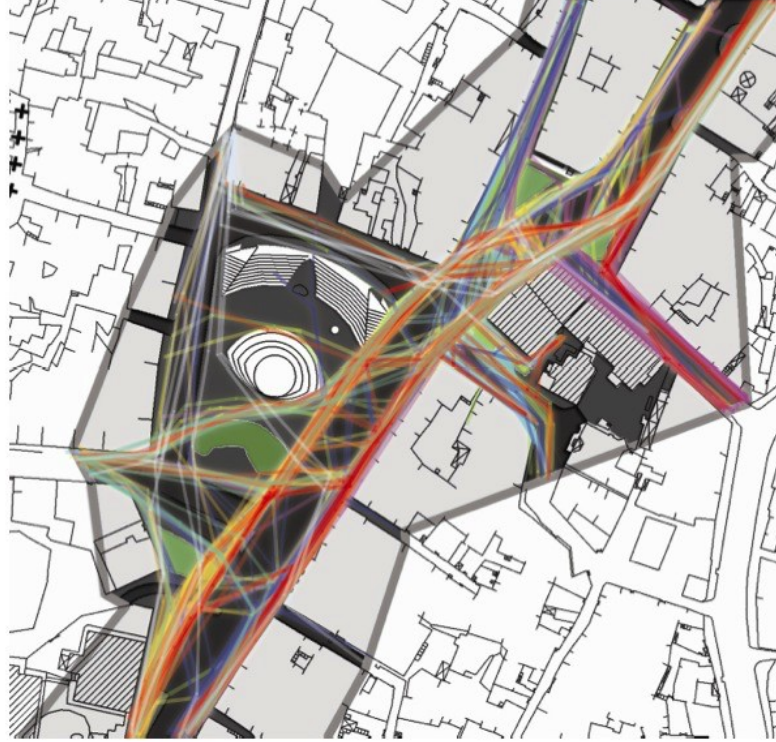
Gözle iz sürüm tekniğinde kullanılan bir diğer yöntem ise nokta bulutu oluşturma tekniğidir. İstanbul Beyazıt meydanındaki yayaları inceleyen Beyza Çermikli yüksek lisans çalışmasında alandaki kullanıcıların davranışlarını ve cinsiyetlerini detaylı olarak incelemiştir (Çermikli, 2009). Oluşturduğu grafikte cinsiyeti mavi ve kırmızı olarak belirlemiş, 10 kişilik gösterimi büyük yuvarlak, tekil bireyleri ise küçük yuvarlak olarak haritalamıştır (Şekil 1.26).



Şekil 1.26 Gözlem yöntemi ile elde edilen yaya davranışı analizi (Çermikli, 2009)

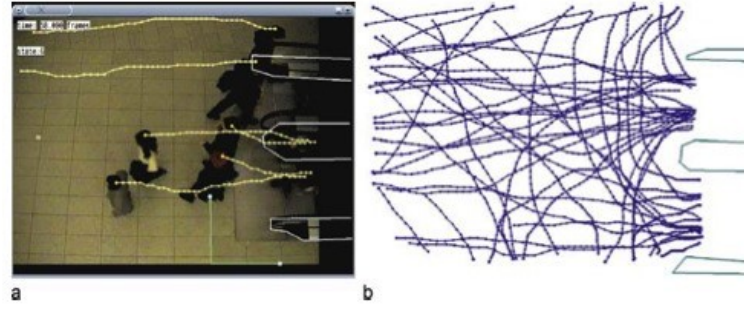
Gözle iz sürüm tekniğinde bir de yayaların güzergahlarının gözlemlendiği ve kaydedildiği çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalara örnek Ozan Can Özübal Bergama'daki İnönü Meydanı üzerindeki yaya hareketlerini inceleyen yüksek lisans tez çalışmasında belirlenen alan dahilinde giriş noktaları arasındaki sirkülasyon dağılımını analiz etmiştir. Bu analizde renkler alana her bir giriş noktasından gelen

insanların oluşturduğu gezingeleri temsil etmektedir. Özübal'ın örneğindeki gibi karmaşık morfolojide -tek bir kamera açısından alanın görüntülenemeyeceği- ve düşük teknoloji çalışmaları için gözlem yöntemi çok kullanışlıdır.



Şekil 1.27 Bergama Cumhuriyet Meydanı'nın gözle iz sürüm tekniği ile oluşturulan veri seti. Analizde yaya izlekleri alana giriş noktalarına göre renklere ayrılmıştır (Özübal, 2009)

Gözle iz sürüm tekniği sayısal araçlardan da yararlanabilmektedir. Bu gibi durumlarda mekândan elde edilmiş video görüntüleri araştırmacı tarafından izlenerek mouse veya trackpad donanımına sahip teknolojiler yardımı ile kayıt altına alınabilmektedir. Yaya çalışmaları ve yaya simülasyonu modelleri alanında literatürde en etkili isim olan Dirk Helbing yaya davranışlarını sayısal olarak incelerken bu teknikten yararlandığı görülmektedir (Şekil 1.28).



Şekil 1.28 Video kayıtlardan elle açıklama (annotate) yöntemi ile elde edilen gezinge veri seti (Johansson, Helbing ve Shukla, 2007)

2.3.3 Sayısal Yaya Takibi

Teknolojinin gelişmesi ile birlikte kullanılan yaya takibi yöntemleri de sayısallaşmaya başlamıştır. Bu, yapay zeka, veri madenciliği, psikoloji, biyomekânîk, örüntü tanıma ve görüntü işleme gibi birkaç alanı kapsayan çok disiplinli bir alan olacaktır (Afsar, Cortez ve Santos, 2015). Bu bölümde incelenecek olan yöntemler, sayısal konumlandırma servisleri, video takibi ve lazer taraması olmak üzere üç ana başlık altında toplanmıştır.

2.3.3.1 Sayısal Konumlandırma Servisleri

Sayısal konumlandırma servisi insanların konumunu saptamada bilgisayar destekli sistemlerden yararlanması olarak özetlenebilir. Kaynağı oluşturacak olan veri bir sinyalden elde edilmektedir. Bu sinyal yayaların üzerinde bulundurduğu bir cihaz (akıllı telefon, akıllı saat, mobil telefon, çağrı cihazı vb.) ile etkileşimdedir.

Sayısal konumlandırma servisleri özellikle mekân dizimi araştırmalarında tercih edilmektedir. Analiz alanının çok büyük olması bu teknik için bir engel oluşturmamaktadır. Ayrıca, mekân diziminde elde edilmesi gereken niceliksel anlamda çok fazla olan veri bu yöntemle otomatize edilerek toplanabilmektedir.

Bu yöntem de kendi içinde hücresel veri ve GPS (Global Positioning System) verisi olmak üzere iki kategoriye ayrılmaktadır. Hücresel veriler cep telefonlarının

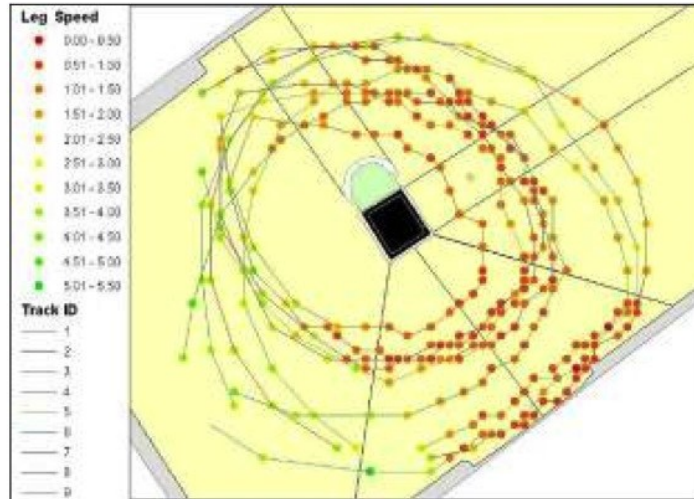
kullanılmaya başlaması ve baz istasyonlarının yaygınlaşması ile elde edilmektedir. GPS verisi toplanması ise akıllı telefonların kullanımı sayesinde gerçekleşmektedir.

-Hücresele Veriyle Yaya Takibi

Hücresele veri her türlü cep telefonu kullanıcılarının baz istasyonları arasındaki mesafe ve dolayısıyla sinyal gücü farkının hesaplanmasıyla oluşmaktadır. Ancak hücresele veri sinyallerinin stabil olmaması konumlanmayı keskin bir şekilde gerçekleştirememektedir. Bu yüzden yaya hareketi tespitinde kullanım ömrü çok kısa olmuştur. Bu teknik günümüzde yaya hareketi analizinden daha çok, adli vakalarda kişilerin konumlarının yaklaşık olarak belirlenmesinde kullanılmaktadır.

-GPS (Global Positioning System) Verisiyle Yaya Takibi

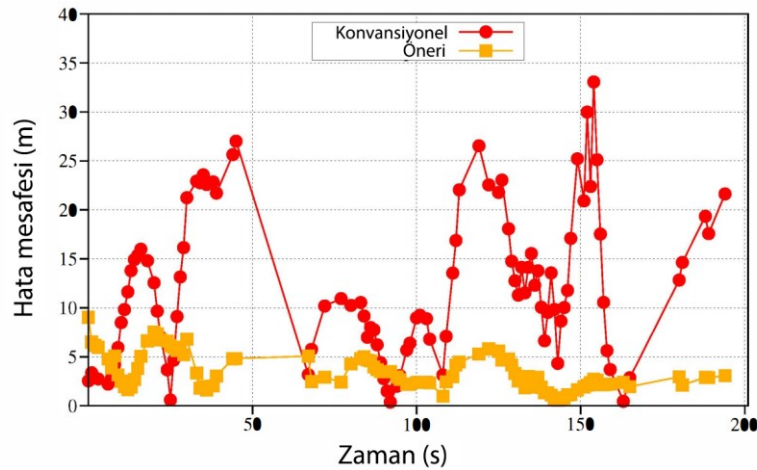
GPS (Küresel Konumlama Sistemi) verisi yayaaların kullandığı GPS modülüne sahip olan akıllı telefonlardan üretilmektedir (Şekil 1.29). GPS verisinin en büyük avantajı çok büyük bir alanda kesin veriler elde edilebilmesidir. Böylelikle, yön ve özellikle hız gibi veriler çok ayrıntılı olarak analiz edilebilmektedir. Bu yöntemler ile özellikle tahliye dinamikleri ile kalabalıkların acil bir durumdaki refleksleri araştırılabilmektedir.



Şekil 1.29 Mekke'deki yaya hareketi hızının GPS iz sürümü tekniği ile elde edilen veri seti. Avlunun Güneydoğu bölgesinde yayaalarının hızının arttığı görülmektedir (Koshak ve Fouda, 2008)

GPS uydu sinyallerinin telefonlara gerekli seviyede ulaşması için mekânın açık olması gerekmektedir. Kapalı mekânlarda ve hatta yüksek yapılarla çevrelenmiş açık alanlarda sinyallerin pozisyonlamayı yanılttığı gözlemlenebilmektedir. Günümüzde akıllı telefonların kullanımının çoğalmasıyla GPS veri kaynakları niceliksel olarak büyük bir artış göstermektedir. Ancak, bu kişisel verilerin arşivlenerek büyük veri (*big data*) kavramı altında toplanması çok başka etik konulara sahne olmaktadır. Geçtiğimiz yıllarda, özellikle bazı sosyal medya platformlarının kullanıcılarından elde ettiği birçok veri gibi, GPS verisini, yani kullanıcıların dünya üzerindeki yerleri ile bağlantılı olarak yaptığı tercihler birçok politik yönlendirmelere sahne olduğu ortaya çıkmıştır.

Küresel konumlama sisteminin bu tezin kapsamındaki gibi kentsel meydanlarda kullanılması efektif değildir. Kentsel ‘kanyon’larda yapı yüksekliklerinden dolayı GPS verisinin kalitesinin düştüğü bilinmektedir. Bu problemi azaltmak adına çeşitli çalışmalar yapılmışsa da (Miura, Hisaka ve Kamijo, 2013), halen 2 metre ile 5 metre arasında hata payı mevcuttur Şekil 1.30. Bu sistemde elde edilen konum bilgisi, video çözümüyle elde edilen konum verisinden daha az hassastır. Bu durum, bu tezin alan çalışmasındaki yapısal çevrede gözükmese de, incelenecek kentsel alanların çevresinde yüksek binaların olması durumunda çok daha yanıltıcı sonuçlar doğurabilmektedir.



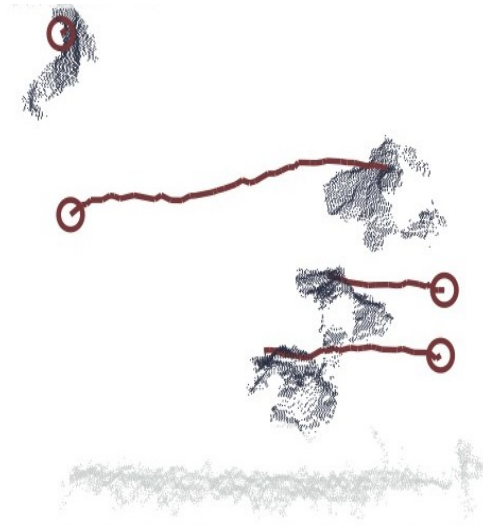
Şekil 1.30 Konvansiyonel yöntemle (kırmızı noktalar) ile öneri yöntemle (sarı noktalar) elde edilen hata mesafesi kıyaslaması (Miura ve diğer., 2013)

2.3.3.2 Sensör-Lazer Takibi

Teknolojinin gelişmesi ile birlikte çeşitli sensörler de yaya takibi ve özellikle yaya sayımı alanında faaliyet göstermeye başlamışlardır. Bu teknolojiye kullanılan sensörler temelde kızıl ötesi ışınlarla dayanmaktadır. Kızıl ötesi ışınların çeşitli araçlarda kullanılmasıyla yaya takibi yapılabilmektedir. Bu teknolojinin günümüzde en gelişmiş versiyonu lazer taramasıdır.

Lazer taraması yöntemi birçok etkileşimli sistemde kullanılmaya başlanmıştır. Bu yöntemin en popüler donanımı Kinect'dir. Microsoft'un oyun konsolu Xbox 360'ın Kinect sensörünün makul tüketici fiyatlarında satılması ve konsoldan bağımsız olarak bilgisayara takılıp kullanılması, üzerine yazılımların geliştirilmesi bu disiplinler arası yaygınlaşmanın en önemli sebeplerinden biridir.

Lazer tarama tekniği de video iz sürüm tekniği gibi küçük alanlarda etkilidir (Şekil 1.31). Lazer algılayıcıların menzili bunu etkileyen en önemli faktördür. Kinect'in menzilinin altı metre olması alansal olarak çok kısıtlayıcı bir etkidir. Bu yüzden iç mekânlar gibi çok küçük ölçeklerde rahatlıkla kullanılabilmekte, ancak kamusal alanlar gibi daha büyük ölçekli çalışmalar için uygun değildir.



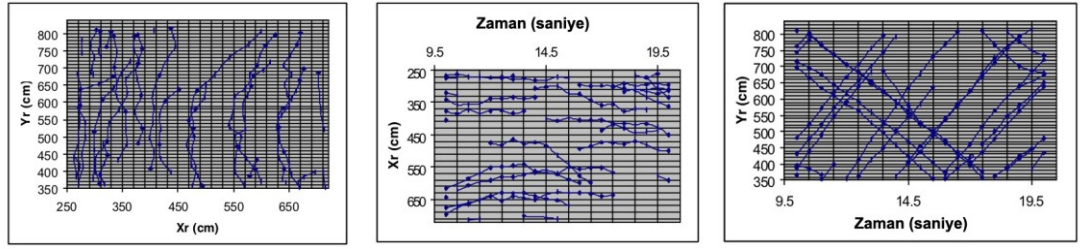
Şekil 1.31 Plansal olarak konumlandırılmış Kinect sensöründen alınmış ham derinlik verisi (koyu gri noktalar) ve otomatik olarak elde edilmiş gezinmeler (kırmızı) (Seer, Brändle ve Ratti, 2014)

2.3.3.3 Video Temelli Yaya Takibi

İlk yaya davranışları analizi günümüzden yaklaşık 90 yıl öncesine kadar gitmektedir (Bell, 1927). Bell, makalesinde yaya davranışlarının hız, yönlenme ve yayaların bireysel olarak kapladığı alanların ortalamalarını değerlendirmiştir. Bu teknikler daha sonra geliştirilecek ve sayısal yöntemlere kılavuz oluşturacaktır. Yaya analizinin sayısal yollarla otomatize edilmesi yaklaşık altmış yıl sonra, bilgisayar teknolojisinin gelişmesi ile başlayacaktır.

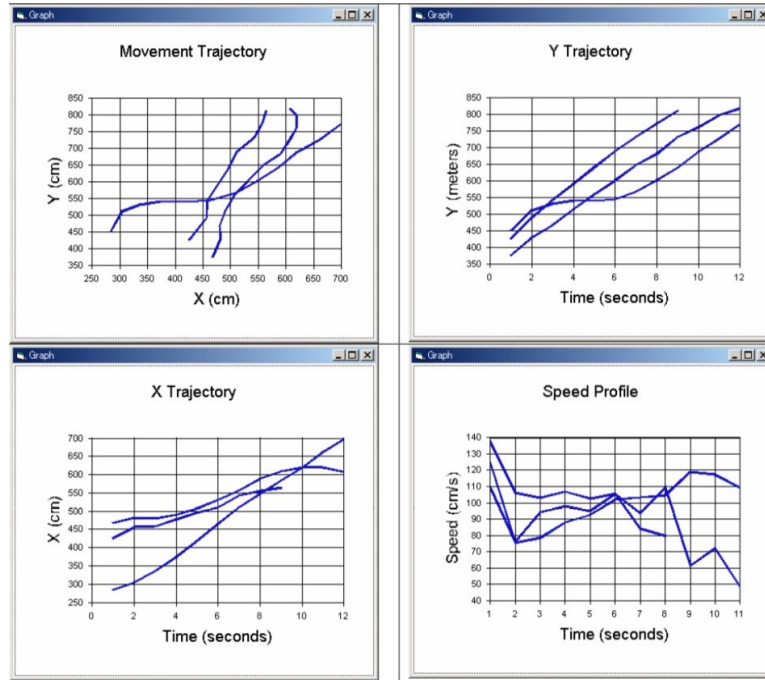
Teknolojinin bugüne kıyasla daha alt seviyede olduğu 20.yy.da bilgisayarlar sabit bir imaj üzerindeki yaya noktalarının elle belirlenmesi vasıtasıyla analiz edilmektedir. Bunun en büyük sebebi dijital formatta video görüntü teknolojisinin olmamasıdır. Video çekimlerinde analog format sınıflandırmasını, görüntü karelerinin kimyasal bir geçirgen yüzeye kaydetmek olarak özetlenebilir. Bu teknoloji seviyesinde, hızlandırılmış görüntü (*time-lapse*) tekniği kullanılarak, yaya davranışları için bir analiz yöntemi geliştirilmiştir (Lam ve Cheung, 2000).

Dijital video formatı, videonun sayısallaştırılarak sinyal formatında işlenebilmesidir. Video işleme yöntemlerinin gelişmesi beraberinde “iz sürme” (*tracking*) tekniğini getirmiştir. Yaya hareketlerinin otomatik olarak analiz edilmesinin ilk örneklerini Kardi Teknomo vermiştir. Video imaj işletiminin erken örneklerinde, görüntüye giren yayaların ilk başta manuel olarak seçildiği, bilgisayarın daha sonra bu noktanın nereye doğru hareket ettiğini, yani gezingesini (*trajectory*) haritalandırdığı görülmektedir (Teknomo, Takeyama ve Inamura, 2000). Teknomo ve arkadaşlarının bu erken örneğinde yaya hareketi yönlerini hesaplamalı tekniklerle analiz edilmiştir . Yöntem, literatürdeki otomatik iz sürüm tekniklerinde öncül model olarak baz alınmıştır.



Şekil 1.32 Teknomo ve arkadaşlarının hesaplamalı yaklaşımla üretilmiş öncül yaya hareketi çalışması: hareke yönleri (solda), hareket yönünün zamana göre x eksenindeki değerleri (ortada), hareket yönünün zamana göre y eksenindeki değerleri (sağda) (Teknomo ve diğer., 2000)

Video görüntüsü üzerinden yayaların otomatik olarak algılanması için erken çalışmalarda bir işaretleyici (marker) kullanılmaktadır (Boltes, Seyfried, Steffen ve Schadschneider, 2010). Otomatize yaya hareketi analizinin öncül isimlerinden Kardi Teknomo'nun sonraki çalışmalarında yaya hızlarının (Şekil 1.33) üzerine de yoğunlaştığı görülebilir (Teknomo ve diğer., 2001b). Ancak bu çalışmada da video kadrājına giren yayalar ilk başta manuel yöntemle belirlenmişlerdir.

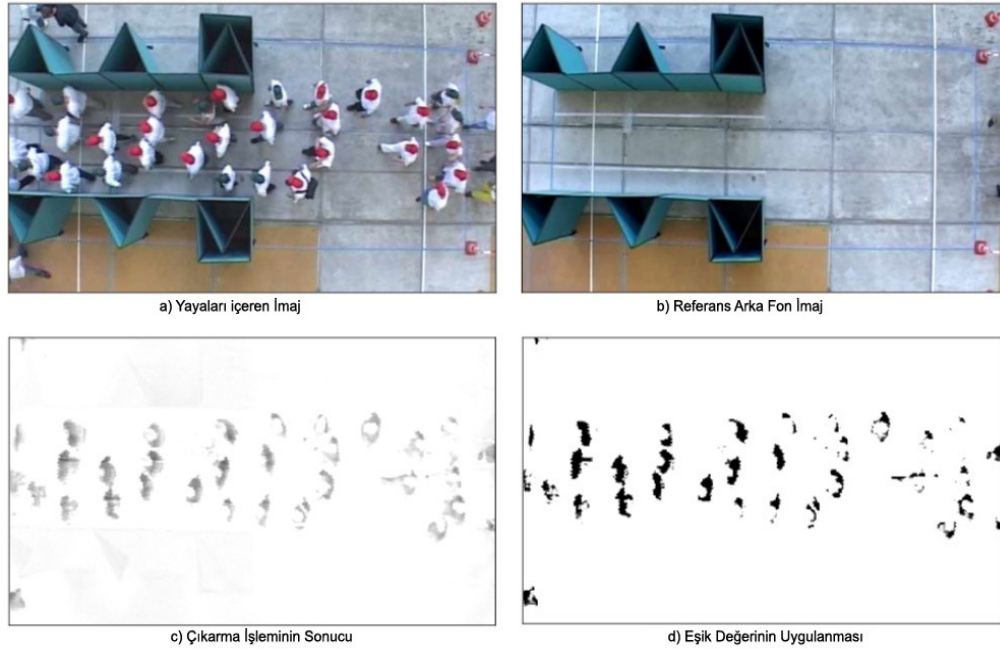


Şekil 1.33 Yaya hareketinin hız profili (Teknomo ve diğer., 2001b)

Yaya hareketlerinin hızının analiz edildiği diğer bir çalışma ise Winnie Daamen ve Serge Hoogendorn'un yaptığı çalışmadır (Daamen ve Hoogendoorn, 2003). Bu

çalışmada yayaların tespiti manuel olarak değil, otomatize edilmiş bir yöntem ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın analiz verisi için kullanılan videoda, yayaların siyah ve kırmızı şapka taktıkları ve böylece algoritmanın yayaları tespit edebildiği görülmektedir.

Çalışmada, serbest ve şişe ağzı formlarında olmak üzere, farklı fiziki koşullardaki geometrilerin kullanıldığı durumlarda yaya hareketlerini analiz ettiği görülmektedir. Bu erken teknikte ‘arka fon çıkartılma’ (background subtraction) tekniği kullanılmıştır. Arka fon çıkarma tekniği; herhangi bir verinin olmadığı imaj baz alınarak, diğer imajlarda değişen unsurların saptanması olarak özetlenebilir.

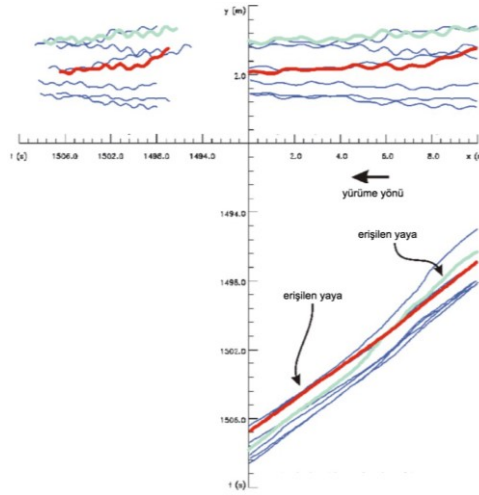


Şekil 1.34 Video analizinde kullanılan yayaların şapka giydiği görülmektedir (üstte), Videodan arka fon çıkartma işlemi (altta) (Daamen ve Hoogendoorn, 2003)

Video kaynaklı insan davranışları analizlerinde temel yöntem olarak cepheden video kayıtları kullanılmaktadır. Arka fon çıkarma işlemi (*background subtraction*), işte bu noktada çok değerli sonuçlar verebilmektedir. Videolardaki sabit arka fonun eksiltilmesiyle, kol kaldırma, el sallama gibi hareketler tespit edilebilmektedir. Böylelikle arka fon çıkarma tekniği, insanların davranışsal analizlerini yapmak için çok uygun bir yöntemdir.

Arka fon eksiltme tekniğinin en büyük dezavantajı, ışık kaynaklarının zaman içinde farklılaşması ve/veya gölge verisinin değişmesi ile tüm görüntünün etkilenerek, kaynak görüntü ile farklılaşması sonucu yöntemin başarı oranının çok fazla düşmesidir. Sonuç olarak bu yöntem sabit ve yapay ışık kaynaklarının olduğu iç mekân ortamlarında daha başarılıyken, güneş faktörünün girdiği kentsel açık mekânlarda etkinliğini yitirmektedir.

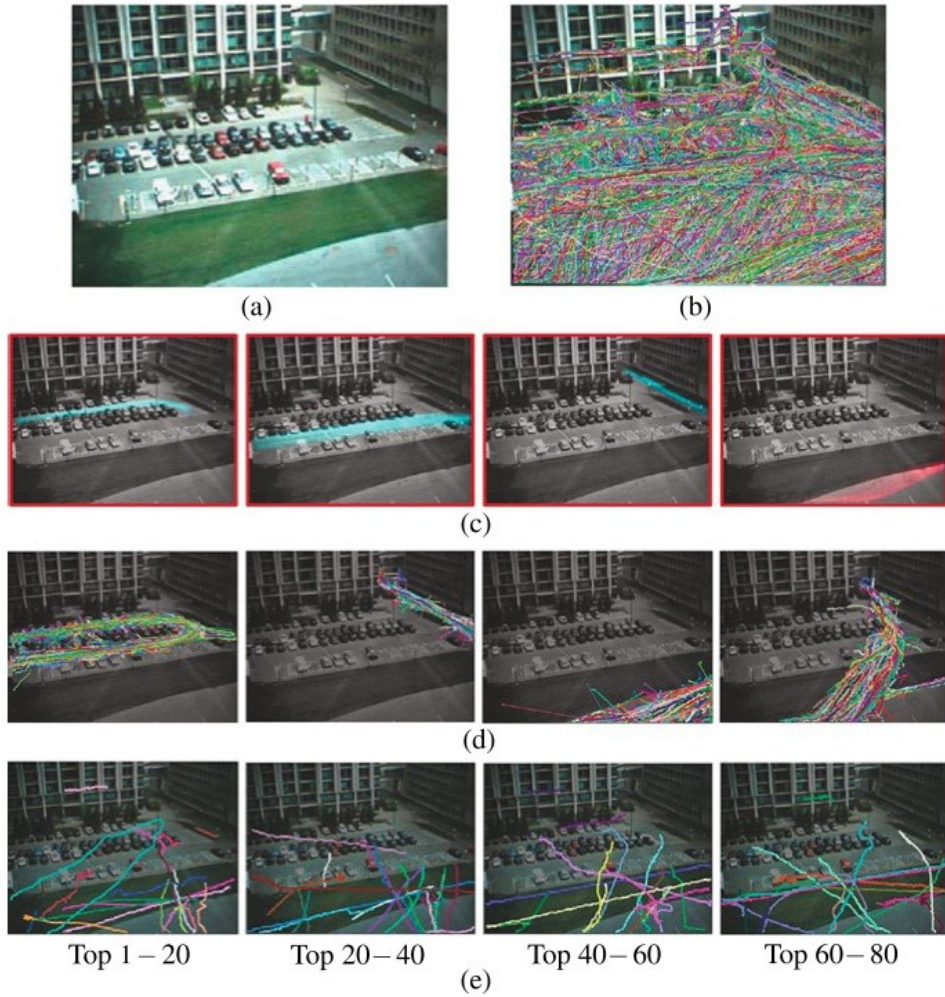
Daamen ve Hoogendoorn'nun çalışmasının sonuç verilerinde yayaaların gezinmeleri (trajectory) tespit edilebilmiştir Şekil 1.35. Bu grafikler incelendiğinde, özellikle sağ üst köşedeki xy grafiği yayaaların hareketinin dökümü olarak tanımlanmaktadır. Kurgudaki yaya hareketlerinin hepsi aynı yönde hareket ettiği için grafiklerde birbirine paralel sonuçlar gözlemlenebilir. Tabi bu durumda çalışma sahibinin elde ettiği en değerli çıktı, bir video kaydından, algoritma kullanılarak iz-sürüm yapılabilmesidir. Ancak, tekrar belirtmek gerekirse, yayaaların giydikleri kırmızı şapkaların kullanıma zorunluluğu, bu tekniği gerçek kullanıcı bir alanda kullanılmasına olanak tanımamaktadır.



Şekil 1.35 Algoritmadan ürettiği grafiklerde, xy , tx ve ty düzlemlerinde elde edilmiş değerlerin karşılaştırması, algoritmanın başarılı bir şekilde çalıştığını göstermektedir (Daamen ve Hoogendoorn, 2003)

Reel bir ortamdaki insan hareketlerini haritalamak için Xiaogang Wang ve arkadaşları bir model önermiştir (Wang, Ma, Nege ve Grimson, 2011). Video

görüntülerinden elde edilen verilerle iz sürüm yapan modelde yayaaların yönü de ayrıştırılabilmektedir. Böylelikle yayaaların belirli alanlardan belirli yönle gittiği tespit edilmekte ve bu yönle aykırı doğrultuda hareket eden kişiler aykırı davranış biçimi olarak tanımlanabilmektedir (Şekil 1.36). Bu yöntem günümüzde, birçok kalabalık ulaşım istasyonlarındaki mobese kameralarında anormal hareket tespiti yapılarak, güvenlik için kullanılmaya başlanmıştır.

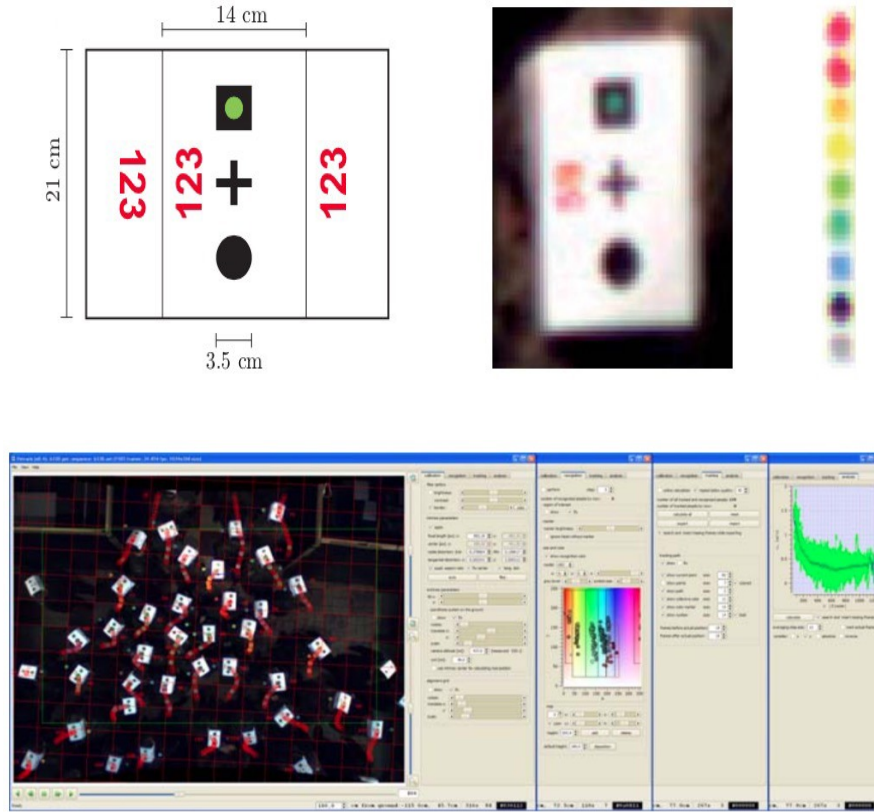


Şekil 1.36 Bir hafta içinde alandan geçen 40.000 yayanın analizi; alanın boş hali (a), toplam gezingeler (b), semantik bölgelerdeki saptanan alışkanlıklar (c), farklı gezinge yoğunlaşmaları (d), saptanan 80 anormal gezingeler (e). Grafiklerde hareket yönleri farklı renklerde temsil edilmektedir; $\Rightarrow$ kırmızı, $\Leftarrow$ camgöbeği, $\Uparrow$ eflatun, $\Downarrow$ mavi (Wang ve diğer., 2011)

Yaya gezinge tespiti üzerine yapılan bir diğer kayda değer çalışma ise Laura Leal-Taixé ve Bodo Rosenhahn'ın gerçekleştirdiği, sosyal güç (Helbing'in türettiği yaya

similasyonu modeli) ve küresel optimizasyon tekniklerini kıyasladığı çalışmadır (Leal-Taixé ve Rosenhahn, 2012). Bu çalışmanın amacı kalabalık zaman dilimindeki gruplanmaları saptamaktır. Bu gruplanmalar aynı zamanda hız ve yön olarak da sınıflandırılmıştır.

Video görüntülerinden yaya hareketi analizi yapan hazır yazılım çalışmalarına 2010 yılında başlanmıştır. Maik Botles ve arkadaşlarının *PeTrack* yazılımı, kullanıcıya hazır bir arayüz sunarak, analizin değişkenlerinin kontrol edilebildiği bir hizmet sunmaktadır. Ancak bu programda denekler kafalarında bir işaretleyici (marker) giymeleri gerektirdiğinden, kentsel mekânda saha analizi yapabilmek için uygun değildir (Şekil 1.37). Bu programı reel bir mekânda kullanmak yerine, kontrollü ortamlarda, mekânın formuna yönelik davranışsal analiz deneylerinin yapılmasına uygun olduğu görülmektedir.

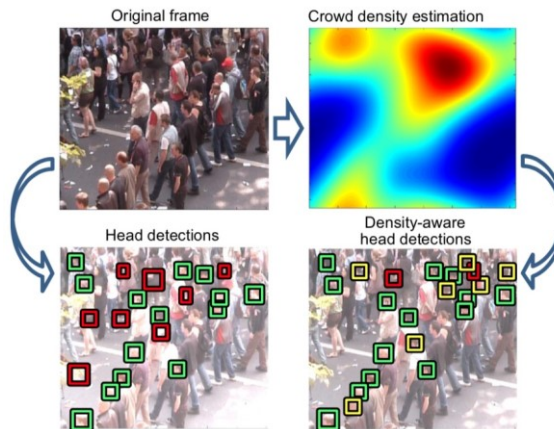


Şekil 1.37 PeTrack yazılımının çalışması için gereken işaretleyici (üstte), PeTrack yazılımının arayüzü (altta) (Boltes ve diğer., 2010)

2.3.4 Video Temelli Yaya Yoğunluğu Analizi

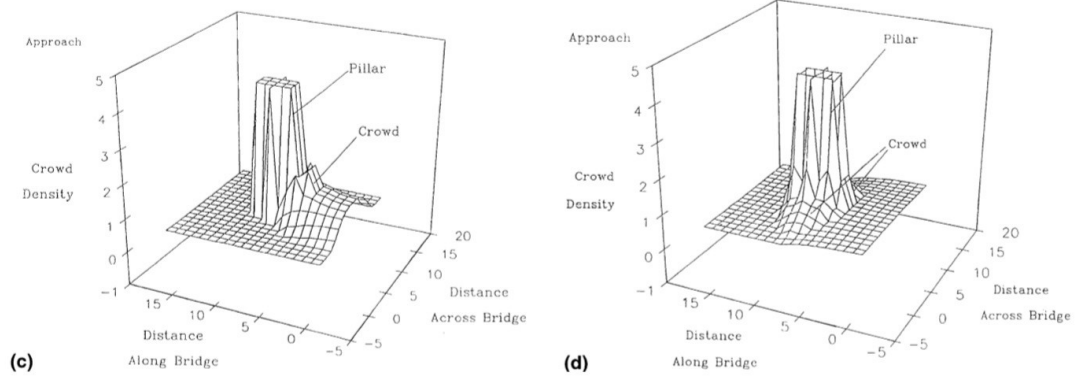
Yukarıda değinilen çalışmalar yayaların oluşturduğu gezinmelerin analizini elde etmek içindir. Bu çalışmada ise, yayaların yoğunluğunun analizi geliştirilmektedir. Dolayısıyla yoğunluk analizi gösterim tekniklerine özellikle değinilmelidir. Yoğunluk analizi kartografyası oluşturmak için bilinen en temel yöntem “yoğunluk fonksiyonu” (*density function*) tekniğidir. Bu teknik literatürde ısı haritası (*heat map*) tekniğinin bir alt kategorisi olarak sınıflandırılmaktadır. Bilindiği gibi ısı haritası belirli bir bölgedeki ısı miktarının, soğuktan sığağa doğru değışen renk skalasında gösterimidir. Ancak bu terimin yaygınlaşmasıyla ve ısı gösterimi tekniğindeki renk skalası dağılımının basınç, hız, yoğunluk vb. gibi kriterler için de temsil edilmesiyle ısı haritası terimi daha geniş anlamlarda kullanılmaya başlamıştır. Bu çalışmada da elde edilen analiz grafikleri ısı haritası tekniği ile iki boyutlu olarak gösterilmektedir. Diğer bir deyişle, bu çalışmada yayaların “yoğunluk fonksiyonu” “ısı haritası” tekniği ile görselleştirilmektedir.

Yaya yoğunluğu analizinde ısı haritası tekniğini ilk olarak kullanan çalışma Mikel Rodriguez ve arkadaşlarının kalabalık sahnelerdeki insan sayımı üzerine geliştirdiği yöntemdir (Rodriguez, Laptev, Sivic ve Audibert, 2011). Ancak bu yöntem anlık yaya yoğunluk grafiğı oluşturmaktadır. Algoritma, yayaların çok yoğun olduğu bölgelerde daha detaylı bir tarama gerçekleştirmek üzere yazılmıştır (Şekil 1.38).



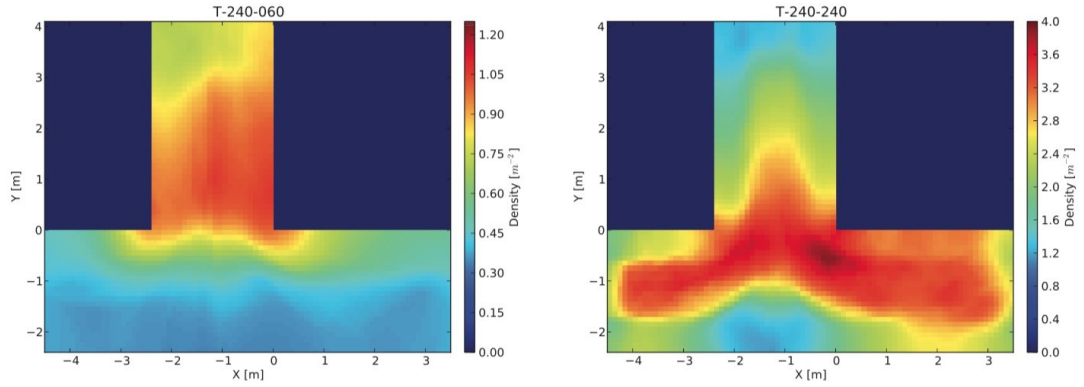
Şekil 1.38 Orjinal video görüntüsü (yukarı sol), nesne detektörü algoritması ile belirlenen insan kafaları (alt sol), kalabalık yoğunluğu (yukarı sağ), yoğunluk analizine duyarlı bir şekilde belirlenen insan kafaları (alt sağ) (Rodriguez ve diğer., 2011)

Yaya yoğunluğunun gösteriminde bir diğer yöntem ise 3 boyutlu hiper-yüzeylerdir. Bu teknikte 2 boyutlu alan üzerine yoğunluk grafiği, z uzamında yükselen fonksiyonda bir hiper-yüzey olarak betimlenmektedir. Bu yöntemin en büyük dezavantajı, analizin grafiği 3 boyutlu hipotetik bir nesne olduğu için sadece bilgisayar ortamında kontrollü olarak gözlemlenebilmesidir (Şekil 1.39). Bu gösterim biçiminin algısı ısı haritası gibi basit olmadığı için kullanımı yaygın değildir. Bu tezin algoritma üretimi bölümünde bu teknikten yararlanarak analiz grafikleri oluşturulmaktadır.



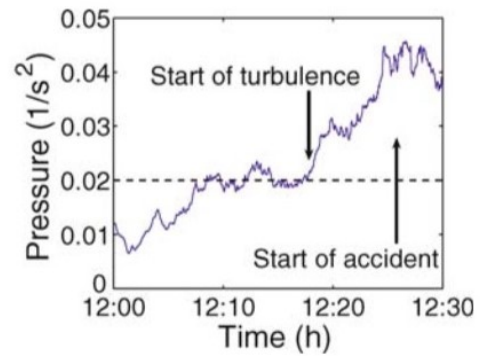
Şekil 1.39 Kalabalık yoğunluğunun farklı akış yönlerinde bağlamdan etkilenmesi (Hughes, 2002)

PeTrack yazılımının alanda kullanılmasıyla birlikte otomatize yaya hareketleri verisi toplama konusunda çok farklı çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. Bu çalışmalarda yoğunluk analizi yapan en erken örnek Jun Zhang'ın *PeTrack* yazılımı kullanarak T biçiminde bir darboğaz kurgusunda yapılan deneyidir (Şekil 1.40). Ancak yukarıda belirtildiği gibi, *PeTrack* yazılımı deneklerin kafalarına spesifik olarak bir “işaretleyici” giyilmesi gerektirdiğinden, reel mekânda kullanılamamakta, kontrollü mekânlarda ve deney için orada olan insanlar tarafından gerçekleştirilmektedir.



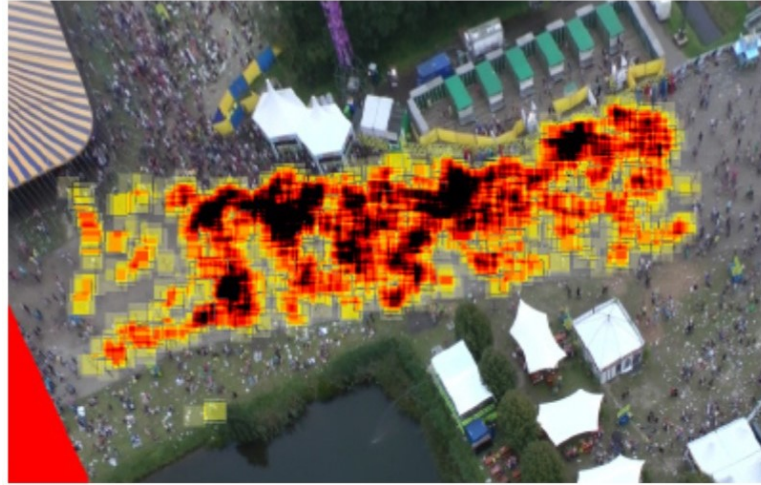
Şekil 1.40 Çalışmada düşük yoğunluklu bir zaman dilimindeki durum (sol) ile yüksek yoğunluklu bir durum karşılaştırılmaktadır (Zhang, 2012)

Yaya yoğunluğu gösteriminde bir diğer örnek ise Dirk Helbing ve arkadaşlarının 12 Ocak 2006’de gerçekleşen Hac dönemindeki izdiham felaketiyle ilgili yaptığı analiz çalışmasıdır (Helbing ve Johansson, 2011). Çalışmada kullanılan video kaydı incelendiğinde kalabalık o kadar fazladır ki, yukarıdaki örnekler gibi belirli bir zaman aralığındaki yoğunlaşma değil, gerçek zamanlı görüntülerdeki yoğunlaşma açıkça gözlemlenebilmektedir (Şekil 1.41). İnsanların bu denli sıkışık ve hareketli olma durumunu Helbing “kalabalık baskısı” (*crowd pressure*) olarak tanımlamıştır. “Kalabalık türbülansı” ise bu baskının fazlalaşması sonucu oluşan yüksek hızlı yaya akışıdır.



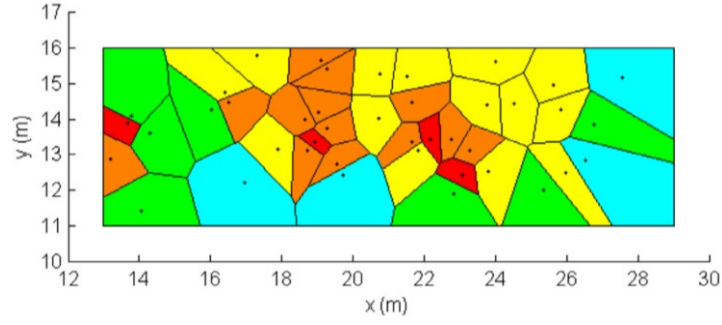
Şekil 1.41 12 Ocak 2006’daki Hac felaketinden hemen önceki yoğunluk haritalaması (solda), “kalabalık baskısı”, “kalabalık türbülansı”nın başlangıcının nicel bir ölçüsüdür. Felaket, “kalabalık baskısı” yüksek değerlere ulaştığında başlamıştır (sağda) (Helbing ve Johansson, 2011)

Yaya yoğunluğu görselleştirme adına yapılmış bir diğer çalışma ise Dorine Duvies'in geliştirdiği yöntemdir (Duives, 2013). Duvies video kayıtlarını gerçekleştirmek için alana kuş bakışı bir noktada sabit duran bir *dron*dan alınan kısıtlı sredeki kayıtları kullanmıştır. Bu yöntemde Duives, Helbing'in de kullandđđı Gauss dağılımı tekniğini kullanarak haritalama yapmaktadır. Bu haritalama tekniğinde her bir birey iki boyutlu bir düzlemde hipotetik bir kareyi temsil etmektedir. Bu karelerin kesişerek şt şte binmesiyle renk değişimi uygulanmıştır (şekil 1.42). Koyu renklerin yoğun açık renklerin seyrek olarak tanımlandđđı bu görsellerde, yoğunluğu çok fazla olduğu bölgelerdeki gösterim hassasiyetinin kaybolduğu gözlemlenebilir.



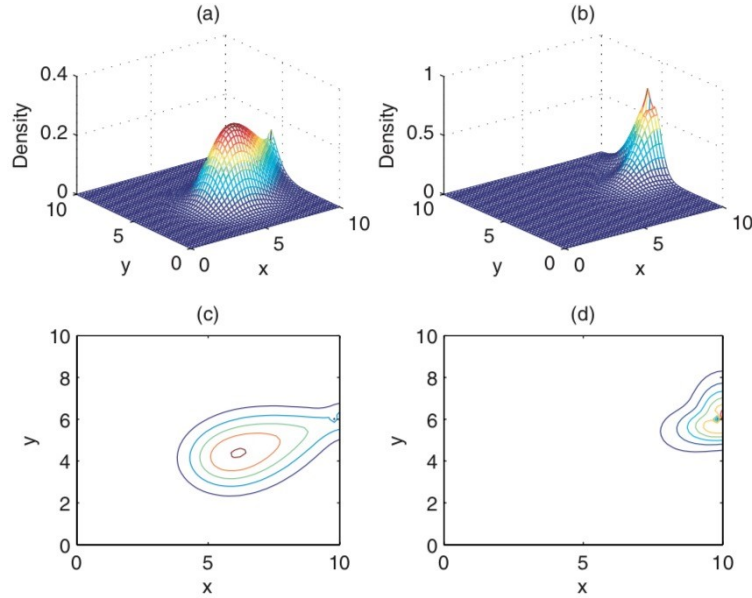
şekil 1.42 Lowland'de belirlenen- etkinlik zamanındaki yaya yoğunluk grafiği (Duives, 2013)

Video kayıtlarından elde edilen yaya yoğunluğuğunun gösteriminde bir diğer yöntem ise Voronoi tekniğidir. Bu tekniğin en büyük dezavantajı videodaki anlık yoğunluğu betimlemek üzere olmasıdır. Video görselinde belirlenen yayaların pozisyonlarına göre voronoi hücreleri tanımlanmakta, bu hücrelerin büyüklüklerine göre ise renklendirme uygulanmaktadır (şekil 1.43). Böylelikle sıkışık ve yoğun alanların farklılaşması sağlanmaktadır.



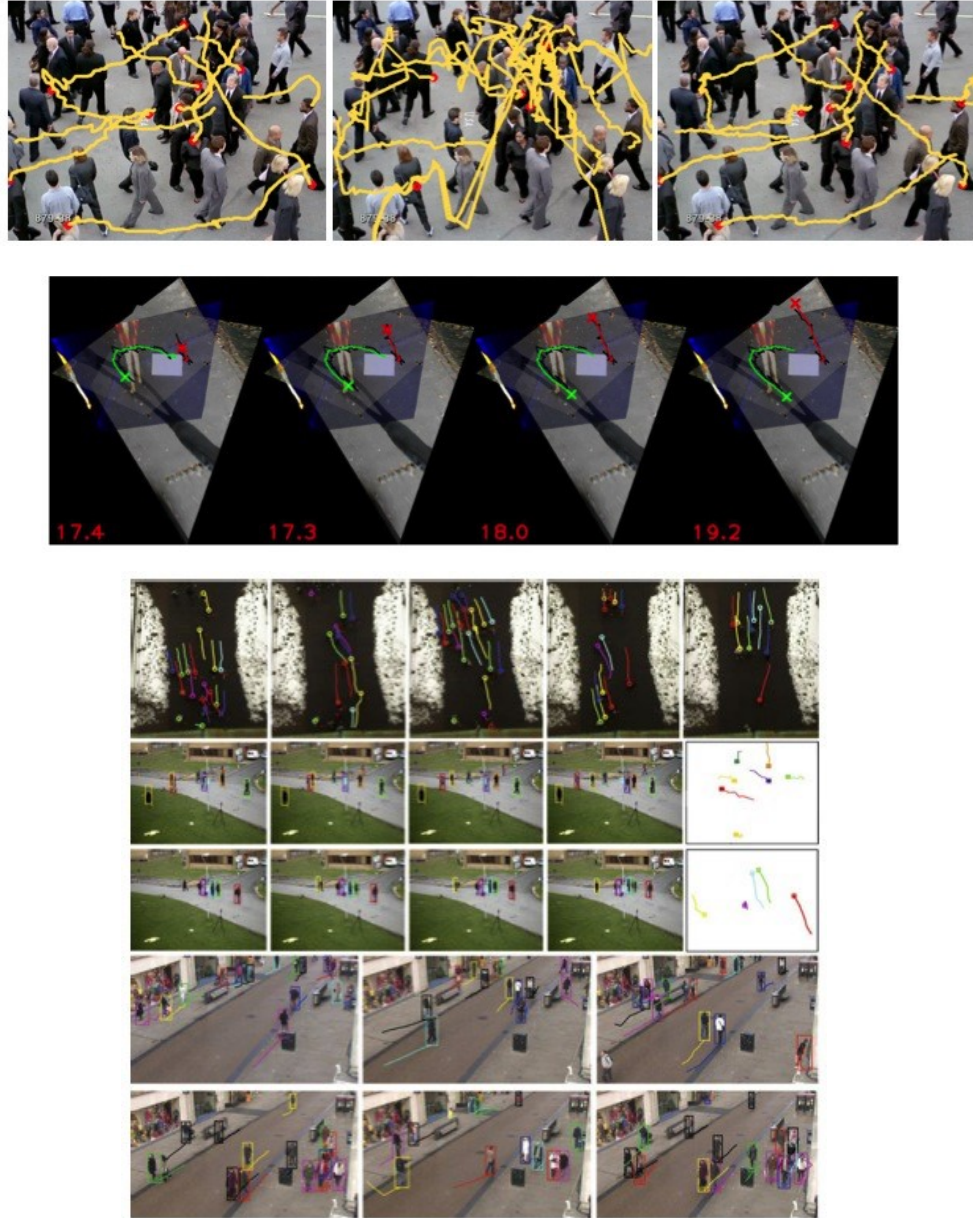
Şekil 1.43 Voronoi yoğunluk analizi (Nikolić, Bierlaire, Farooq ve de Lapparent, 2016)

Bu çalışmada kullanılan yaya yoğunluğunu gösterim tekniği olarak ısı haritasına benzer bir yöntem uygulanmıştır. Yoğunluk hiperyüzeylerinin yükseklik gösterimi ile ilgili olarak Hughes’de çalışmasında değinmektedir (Hughes, 2002). Bu çalışma için geliştirilen algorithmada ise analiz hiperyüzeylerinin yükseklik değerleri renk kodlaması yöntemi ile betimlenmiştir (Şekil 1.44). Bu tekniğin yaya davranışları kapsamında kullanımında, Pushkin Kachroo ve arkadaşlarının yaya simülasyonu modelleri üzerine geliştirdiği modellerin gösterimi de yaptığı görülmektedir (Kachroo, Al-nasur, Wadoo ve Shende, 2008).



Şekil 1.44 Geliştirilen simülasyon için farklı modellerde elde edilen üç boyutlu yoğunluk grafikleri (üstte), Yoğunluk grafiğinin topografik gösterimi (altta) (Kachroo ve diğer., 2008)

Bu çalışmada da olduğu gibi, yaya hareketlerini gözlemlemede video takibi mikro ölçekteki çalışmalar için uygundur. Yöntemde kullanılan temel algoritma, videodaki hareket noktalarının ortalamasının alınıp, bunların çizgisel yörüngelere dönüştürülmesine dayanır. Daha sonra zaman içinde oluşan patikalar üst üste bindirilerek analiz diyagramları oluşturulmaktadır. (Şekil 1.45).



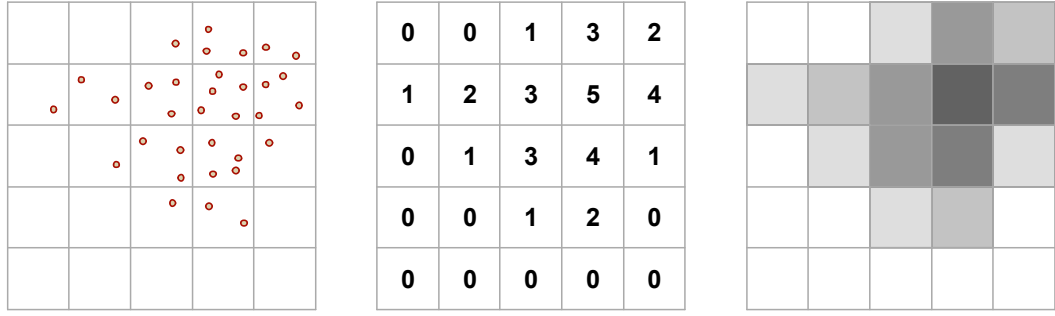
Şekil 1.45 Üst: Farklı iz-sürüm algoritmalarının sonuçları, a. Çevrimiçi Artırım, b. Ortalama Kaydırma, c. AdaPT (Bera ve diğer., 2014), Orta: İç mekânda elde edilen yaya gezinimleri (Varga, Sziranyi, Kiss, Sporas ve Havasi, 2015), Alt: Video iz-sürüm tekniği ile çeşitli mekânlarda üretilen yaya gezinimleri (S. Ali, Nishino, Manocha ve Shah, 2013)

Video iz sürümünde bir diğer yöntem ısıya duyarlı kameralarla elde edilen kayıtlardır. Bu yöntemde ısı yayan her canlı renklerle ayrıştırılarak görünür hale gelmesidir. Yöntemin en önemli avantajı hareketin olmadığı durağan kullanımlarda (bankta oturma - yatma gibi) veri elde ediminin oluşabilmesidir. Ancak kamusal alanda özellikle yakın çekimlerde kullanımı, etik problemleri de birlikte getirmektedir.

Bu tezin kapsamında yukarıda bahsedilen algoritmadan farklı olarak videodaki piksel hareketlerinin belirlenmesi ve bu hareketlerin haritalanması suretiyle analiz grafikleri oluşturulmaktadır. Yukarıda belirtilen video iz sürüm tekniği bu tezin kapsamı olan yoğunluk analizine girmemektedir. Yukarıdaki örneklerde analiz amacı yaya sirkülasyonunun yönelimlerinin belirlenmesi üzerinedir. Videolardan elde edilen yaya hareketlerinin yoğunluğunun gösterim teknikleri bu çalışmanın ‘ 2.3.3.3 Video Temelli Yaya Takibi’ bölümünde detaylı olarak incelenmektedir.

2.4 Bölgesel Analiz Aracı Olarak Kuadrat Yöntemi

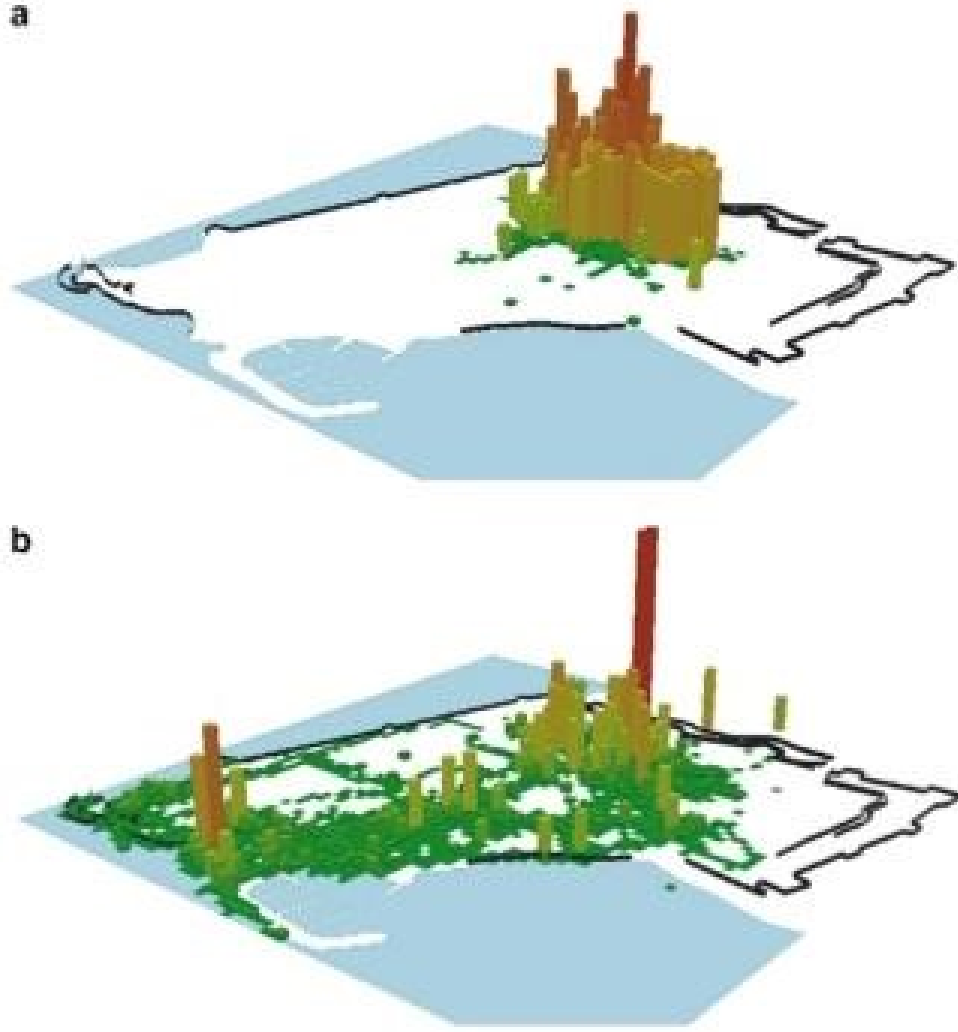
Bu çalışmada mekânsal analiz yöntemi olan kuadrat analizi, “görsel kodlama”ya (*visual scripting*) dayalı parametrik tasarım yazılımı olan *Grasshopper* ile oluşturulmuştur. Mevcut kuadrat analizi kullanan, mekânsal analiz yapan yazılımlar sabit, statik verilerin analizini gerçekleştirmektedir (De Smith, Goodchild ve Longley, 2009). Bu programda zaman içinde değişken veriler, farklı katmanlar halinde kaydedilebilmektedir. Ancak, gerçek zaman etkileşimli, dinamik verilerin toplanabilmesi için güncel, açık kaynak teknolojilerin gereksinimine ihtiyaç duyulmaktadır. *Grasshopper* yazılımı parametrik tasarım aracı olarak en çok kullanılan, birçok üçüncü parti yazılımlara ve etkileşimli ortamlara uyumlu bir yazılımdır (Stouffs, Janssen, Roudavski ve Tunçer, 2013). Kuadrat analizi yönteminin bu etkileşimli ortamda kullanımı, gerçek-zamanlı analizlerin yapılmasına olanak tanımaktadır.



Şekil 1.46 Hipotetik kuadrat analizi haritalaması

Kuadrat analizi, gride bölünmüş bir bölgedeki, grid hücrelerinin her birinin içerisindeki eleman sayısına göre tespit edilmiş yoğunluk analizi olarak özetlenebilir (Şekil 1.46). Kuadrat analizi özellikle alansal analiz yapmak üzere yoğunlaşma bölgesi saptamada kullanılan bir yöntemdir (Ashby ve Stevens, 1935); Smith, 1952); Thomas, 1977). Bir bölgede yoğunlaşma analizi yapmak için, kuadrat analizi dışında çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemlerin en bilinenleri; -En Yakın Komşu Aaliz (Getis, 1964; Silverman, 1986), -Voronoi Analizi (Aurenhammer, 1991; Flötteröd ve Lämmel, 2015; Gengnagel, Kilian, Palz ve Scheurer, 2012), -Çekirdek Yoğunluk Tahmini (Zhang, Zhu ve Huang, 2017; Sun, Zhang, Yan ve Gao, 2016), -Ripley'in K Fonksiyonudur (Tang, Feng ve Jia, 2015). Bu çalışmada, görsel kodlama yöntemi ile geliştirilmeye en uygun olması nedeniyle kuadrat analizi ele alınmaktadır.

Kuadrat analizi yöntemi ilk olarak 1935'te biyoloji alanında bölgesel analiz yöntemi geliştirmek için kullanılmıştır (Ashby ve Stevens, 1935). Daha sonrasında, Greig Smith kuadrat analizi metodunu rastgele belirlenen alanlarda uygulayarak bitki popülasyonlarını incelemiş (Smith, 1952), Andreas Stampfli biyolojik çeşitlilik dağılımını araştırmada kullanmıştır (Stampfli, 1991; Stampfli, 1992). Yöntem, biyolojinin yanında ekoloji (Hristopulos ve Tsantili, 2017), tıp (Guan, Qian ve Yang, 2017), kartografi (Pearson, 2012) gibi alanlarda da etkili bir yöntem olarak kullanılmaktadır. Kentsel tasarım gibi çok fazla verinin çok büyük bir alana yayıldığı örneklerde de etkin bir analiz görselleştirme metodudur (Şekil 1.47).



Şekil 1.47 Akko'daki ziyaretçilerin aktivite yoğunluğunun üç boyutlu görselleştirilmesi (Shoval, 2008)

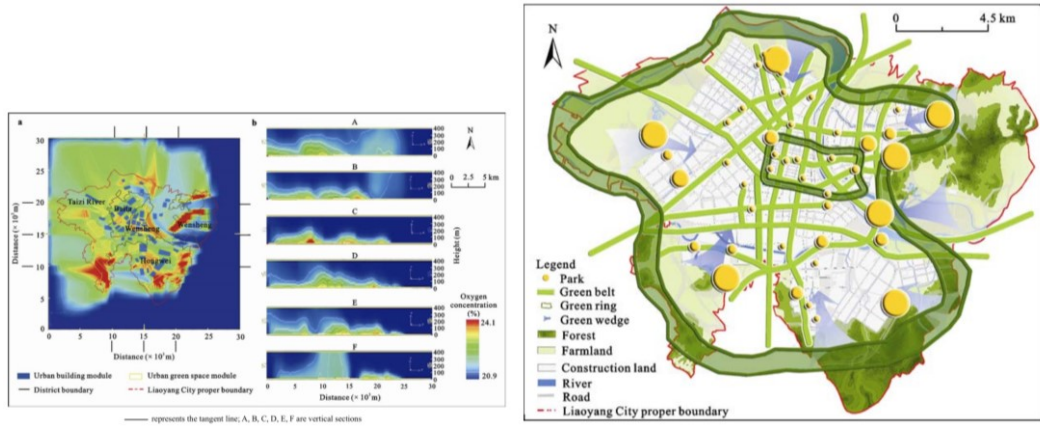
2.5 Hesaplamalı Yöntemlerin Kentsel Yeşil Alan Tasarımında Kullanıldığı Örnekler

Kentsel tasarım gibi karmaşık ve iç içe geçmiş değişkenleri olan konularda bilgisayarların kullanılması veri işleme ve dolayısıyla işgücü tasarrufu sağlamaktadır. Ancak hangi verinin hangi yöntemlerle toplandığı ve nasıl kompoze edildiği önem kazanmaktadır. Bilgisayar teknolojisinin kentsel tasarımda kullanılması simülasyon programlarıyla başlamıştır (Hensher, Button, Haynes ve Stopher, 2004). Kentsel mekânın dinamiklerinin simülasyon yöntemleri ile incelenmesiyle farklı nitelikte veri setleri oluşturulabilmektedir.

Kentsel mekânı hesaplamalı yöntemlerle ele alan ‘Mekân Dizimi’ ise bir diğer analiz aracıdır. Mekân dizimi temel olarak kentin fiziksel koşullarının potansiyellerini hesaplamalı yöntemlerle analiz eden bir bilim dalıdır (Jiang, Claramunt ve Batty, 1999). Bu konu ‘0 2.3.1.2 Mekân Diziminde Yaya Hareketi’ bölümünde ele alınmıştır.

Hesaplamalı yaklaşımla kentsel alan analizi genellikle makro ölçekte uygulanmaktadır. Bu ölçek, bir çok farklı disiplinlerin ilgi alanına girmektedir. Çalışmaların yapıldığı disiplinler şehir ve bölge planlama, kentsel tasarım, peyzaj mimarlığı ve mimarlık alanlarında gerçekleştirilmektedir.

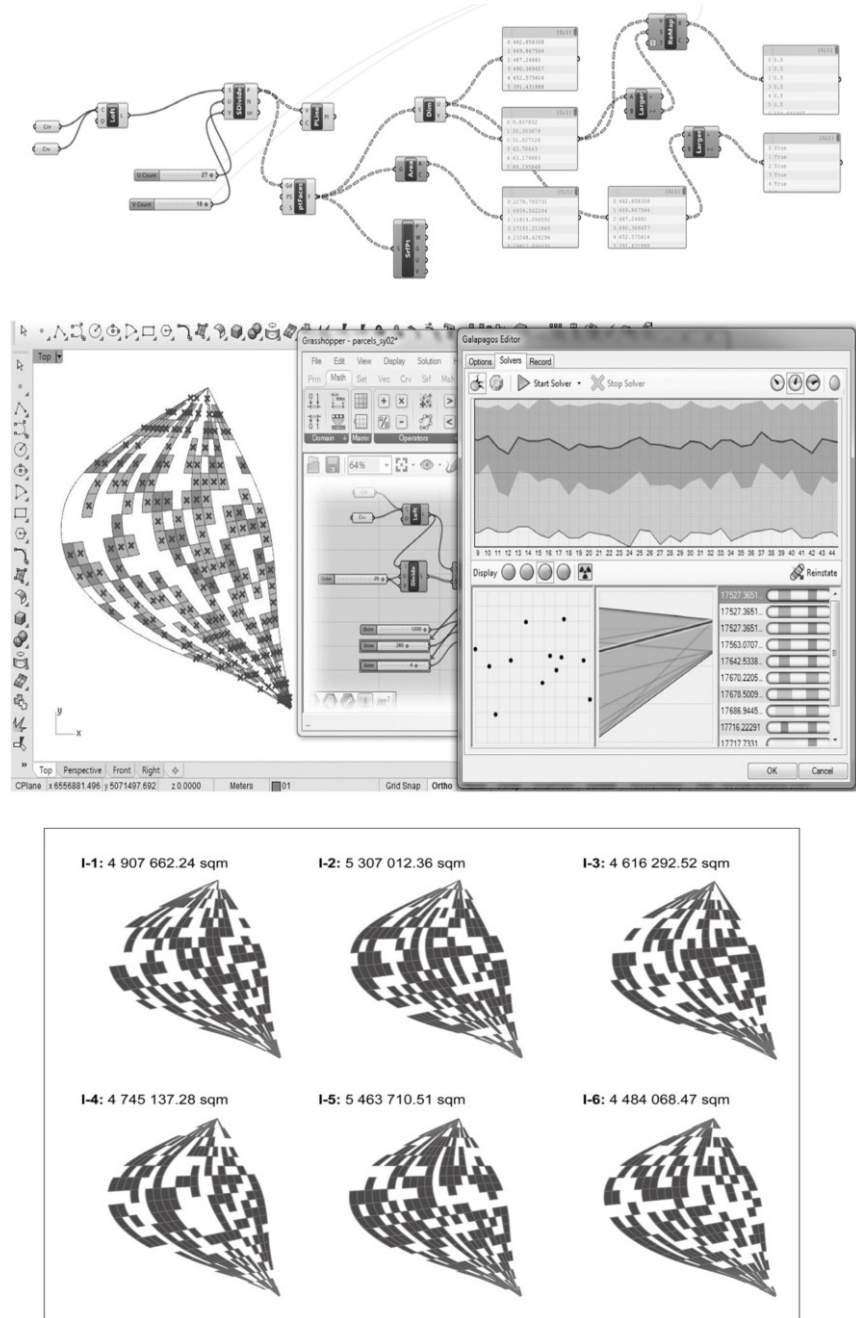
Parametrik yöntemler kullanılarak şehir ölçeğinde yapılmış kayda değer bir çalışma ise Yuan Zhou ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilmiştir (Zhou ve diğer., 2011) Çalışma alanı kapsamında Çin’deki Liaoyang kentindeki oksijen dağılımına göre yeşil alan tasarımı yapan bir algoritma geliştirilmiştir (Şekil 1.25).



Şekil 1.48 Liaoyang kentindeki oksijen yoğunluğu haritalaması (üstte), Önerilen yeşil alan kurgusu (altta) (Zhou ve diğer., 2011)

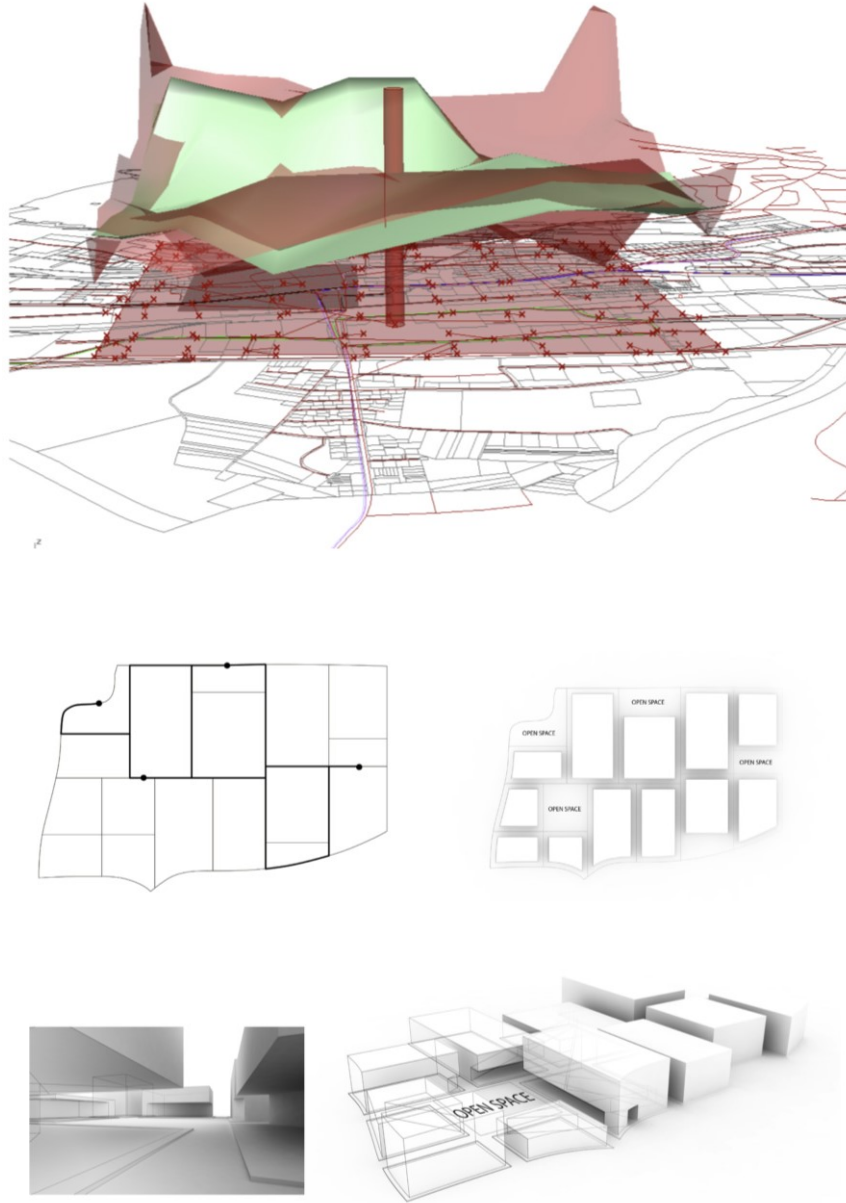
Parametrik kentsel yeşil alan tasarımı üzerine yapılmış bir diğer kayda değer çalışma ise Sevil Yazıcı’nın parselasyon ve yeşil alan dağılımı üzerine yoğunlaşan çalışmasıdır (Yazıcı, 2016). Çalışmada öncelikle tasarlanacak alanın fiziksel parametreleri ve değişkenleri belirlenmektedir. Daha sonra alanın geometrisine ve fiziksel koşullarına uygun parselasyon parametrik olarak belirlenmektedir. Son olarak

parselasyonun içinde en uygun yeşil alan olabilecek parseller genetik algoritma (*Grasshopper* > *Galapagos*) kullanılarak saptanmıştır (Şekil 1.49).



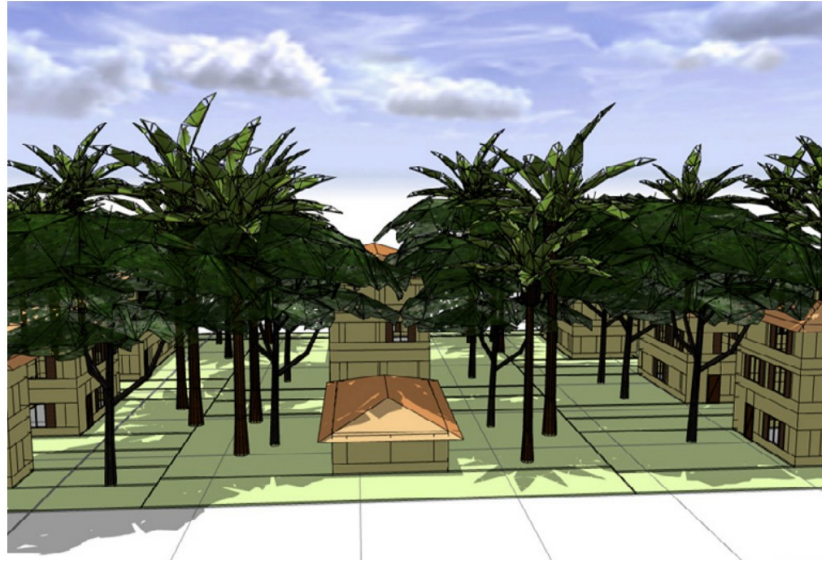
Şekil 1.49 Parselasyon için geliştirilen algoritma (üstte), yazılımın arayüzü (ortada) ve algoritmanın ürettiği türetimler (altta) (Yazıcı, 2016)

Diğer bir örnekte ise kentsel mekânın açıklık kurgusunu erişilebilirlik üzerinden incelenmektedir (Koltsova, Tuncer, Georgakopoulou ve Schmitt, 2012). Kentsel ceplerin kentsel açık alanlarla ilişkisinin erişilebilirlik ve görünürlük üzerinden incelendiği çalışmada, parametrik tasarım yöntemleri kullanılarak kentsel açıklıkların parsel ölçeğindeki konumlandırması önerilmektedir (Şekil 1.50).



Şekil 1.50 Alanın erişilebilirlik haritalaması; kırmızı: otobüs erişimi, yeşil: otomobil erişimi (üstte), alanın kentsel cepleri ve açıklık kurgusu (altta) (Kaynak: (Koltsova, Tuncer, ve diğer., 2012)

Parametrik yöntemlerle elde edilmiş diğer bir yeşil alan tasarımı ise Ulrikie Wissen Hayek ve arkadaşlarına aittir. Çalışmada ağaçlandırma yapılacak alan parametrik yöntemlerle analiz edilmektedir (Hayek, Neuenschwander, Halatsch ve Grêt-Regamey, 2010). Alanı çeperleyen yapıların yüksekliğinin güneş yönüne ve su kullanımına göre yapılacak bitkilendirme çeşitlemesiyle maksimum ederece uyumun sağlanması amaçlanmıştır (Şekil 1.51). Yine parametrik yöntemlerle ağaçların gölge yapacak alanları hesaplanarak nihai tasarım ortaya çıkmaktadır (Tablo 1.2).

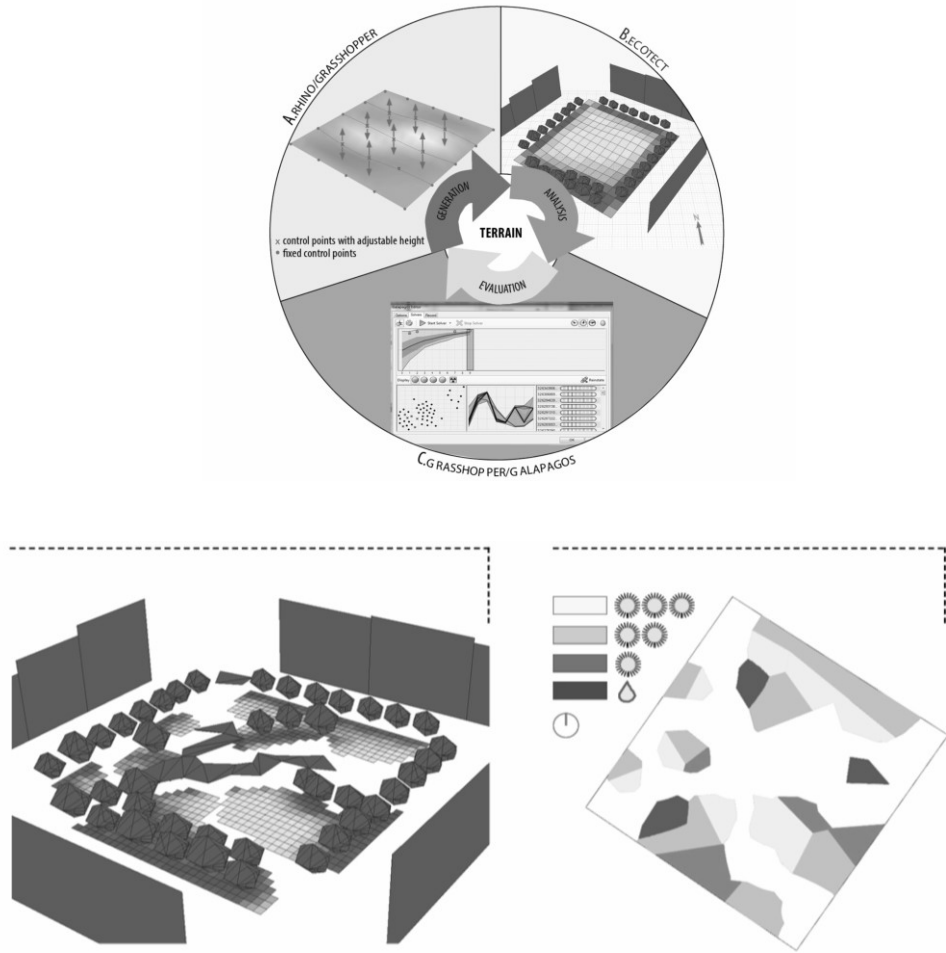


Şekil 1.51 Tasarımın oluşturduğu gölgenin üç boyutlu gösterimi

Tablo 1.2 Tasarım sonrası kullanılan ağaç türleri ve istatistikleri

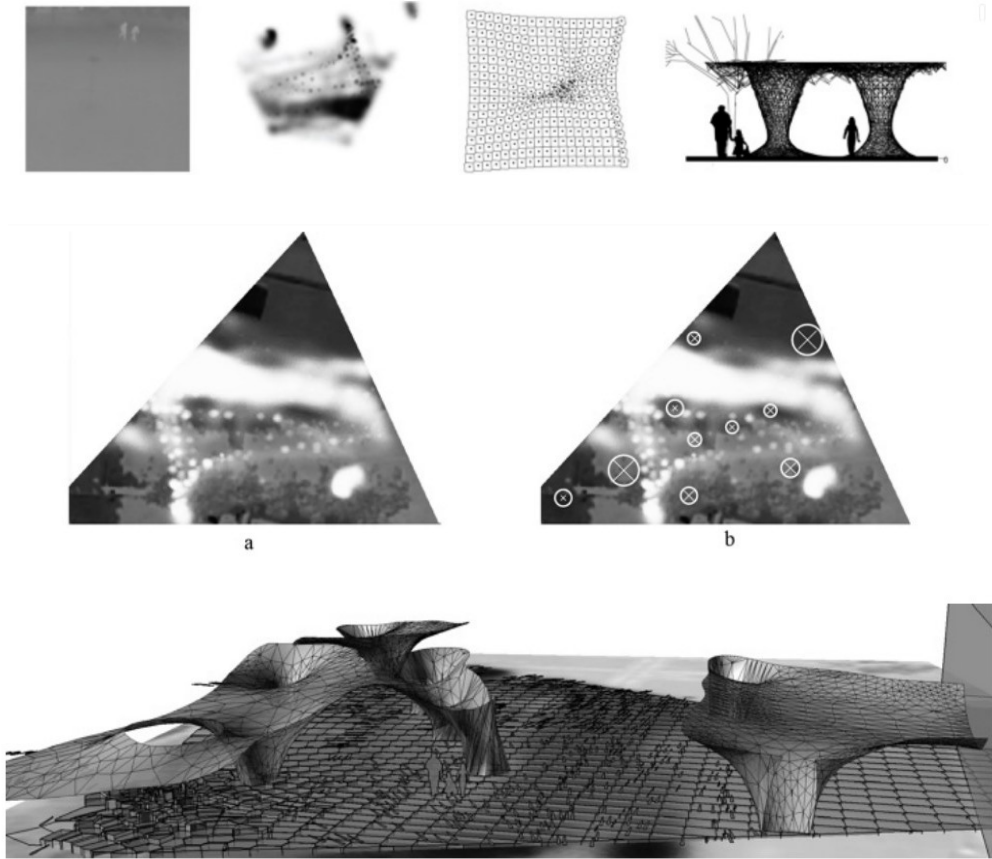
	Örnek sayısı	Toplam
Phoenix dactylifera	16	16
Pinus pinaster	9	9
Gölge alanı (m ²)	25	1941,2
Su kullanımı (m ³)	25	3690,0

Kentsel yeşil alan tasarımı parametrik yöntemlerle elde etmiş diğer bir çalışmada ise Efthymios Charalampidis ve Ioannis Tsalikidis tarafından yapılmıştır (Charalampidis ve Tsalikidis, 2015). Bu çalışmada Rhinoceros yazılımında oluşturulan model *Ecotect* programında güneş ışıması simülasyonuna sokularak mekânsal veriler elde edilmektedir. Daha sonra bu mekânsal analiz verileri evrimsel algoritma kullanılarak parametreleri oluşturan veriler ile ilişkilendirilerek maksimum derecede efektif mekânsal konfigürasyon sağlanmaya çalışılmıştır (Şekil 1.52). Yöntemin tespit edilen en zayıf yanı, yaya güzergahlarının direnaj eğiminden elde edilmesidir.



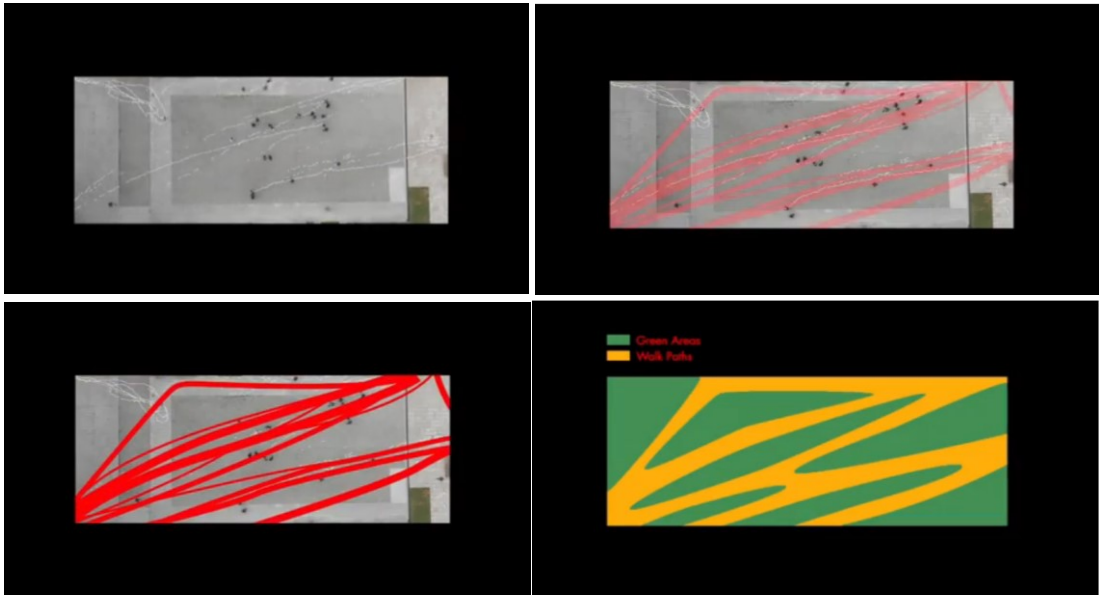
Şekil 1.52 Evrimsel algoritma döngüsü (üst), Fotosentetik Aktif Işıma analizi (sol alt), ekim bölgelemesi (sağ alt) (Charalampidis ve Tsalikidis, 2015)

Yaya sirkülasyonu ile parametrik olarak şekillenmiş diğer bir uygulanmamış çalışma ise Esben Poulsen ve arkadaşlarına aittir. Çalışmada 2012’de Danimarka’daki Aalborg şehrinde GI Torv. Meydanında gerçekleştirilmiş, kızıl ötesi videolar kullanılarak haritalama yapılmıştır (Poulsen ve diğer., 2012). Haritalama doğrultusunda yaya yoğunluğuna göre şekillenen irrasyonel bir tasarım örüntüsü oluşturulmuştur. Yoğunluğun az olduğu alanlarda kanopinin destek noktaları manuel olarak belirlenirken zemin topoğrafyası yoğunluk doğrultusunda oluşturulmuştur (Şekil 1.53). Çalışmanın yönteminde stürüktürel kurgu olarak bir çok öznel yaklaşımın olduğu, dolayısıyla parametrik tasarım yöntemlerinden uzaklaştığı söylenilebilir.



Şekil 1.53 Yaya izlekleri kullanılarak oluşturulan kentsel tasarım önermesi (Poulsen ve diğer., 2012)

Bu tezin kapsamındaki yumuşak zemin belirleme metodolojisine en yakın olarak kurgulanmış çalışma Paris merkezli Design by Data grubunun 2018’de yaptığı çalışmadır. Francesco Cingolani yönetiminde gerçekleştirilen çalışmada seçilen kentsel alandaki yaya sirkülasyonu drone kullanarak kaydedilmiştir. Elde edilen kayıtlarda iz sürme tekniği uygulanarak yayaların izlekleri belirlenmiştir. Daha sonra bu izlekler kullanılarak izlerin olmadığı alanlara yeşil alan önerilmektedir. Çalışmanın bu teze kıyasla en zayıf noktası, yeşil alan belirlenirken herhangi bir algoritma veya parametrik yöntemlerin kullanılmasından ziyade, izleklerin üzerinden manuel yöntemlerle vektörel olarak üzerinden geçilerek alanlar belirlenmiştir. Diğer bir handicap ise veri setinin çok düşük nicelikte olmasıdır. Drone kullanılarak elde edilen video kaydının süresinin dronun uçuş süresi ile kısıtlı olmasıyla yaya izleklerinin sayısı bu çalışmada çok düşüktür (Şekil 1.54).



Şekil 1.54 Kentsel alandaki yaya izleklerinin oluşumu (sol üst), izleklerin manuel yöntemlerle vektörel forma geçirilmesi (sağ üst – sol alt), vektörel fotmata üst üste birdirme yöntemiyle üretilen yeşil alan tasarımı (sağ alt) (Cingolani, 2018)

Sonuç olarak parametrik yöntemlerle yeşil alan tasarımı yapan algoritmaların çoğu makro ölçekte yer almaktadır. Ele alınan örneklerde görüldüğü gibi yeşil alan kurgusu ve tasarımı parsel ölçeğinde çalışılmıştır. Mikro ölçekte yapılan çalışmalar ise daha çok kentsel eleman ve ağaçlandırma kapsamında kullanılmış ve bu tezin geldiği algoritmik otomasyon seviyesine erişmemişlerdir. Bu tezin kurgusuna en yakın olan

son iki çalışma ise insan eli, yani manuel tasarım yöntemleri ile sonuçlandırılmıştır. Bu bölümde değinilen tüm örneklerin derlemesi Tablo 2.3'ten incelenebilir.

Tablo 1.3 Hesaplamalı yöntemlerin kentsel yeşil alan tasarımında kullanıldığı örneklerin tablosu

Yazar	Yıl	Yer	Ölçek	Yeşil alan tasarım kriter(ler)i
Zhou v.d.	2011	Liaoyang	Makro	Oksijen yoğunluğu
Yazıcı	2016	Abu Dhabi	Makro	Topoloji
Koltsova v.d.	2012	Schlieren	Makro	Kentsel cepler, erişilebilirlik
Hayek v. d.	2010	Abu Dhabi	Mikro	Güneş yönü, gölge alanı, su ihtiyacı
Charalampidis ve Tsalikidis	2015	Thessaloniki	Mikro	Güneş ışıması, direnaja eğimi
Poulsen v.d.	2012	Aalborg	Mikro	Yaya hareketleri
Cingolani	2018	Paris	Mikro	Yaya hareketleri

2.6 Bölüm Sonucu

Kamusal alanlarda yapılan zemin tasarımlarında da tasarımcıya bağlı öngörüm ile belirlenen, kullanıcı reflekslerinin arka planda olduğu tasarımlar gözlemlenmektedir. Tasarımcının öznel öngörülerini ile oluşturduğu tasarımlar yerine bağlamdan alınan niceliksel verilerin mekânı şekillendirmede daha kullanışlı bir yöntem olduğu görülmektedir. Thomas Telford bağlamda katılımcı tasarıma *By Design* adlı kitabında şu şekilde değinmiştir;

“Belli bir alan için tasarım politikalarını hazırlamak, alanın karakteri, ihtiyaçları ve geliştirme baskılarının hem planlama ve tasarım uzmanları tarafından, hem de yerel halk tarafından değerlendirilmesine bağlı olacaktır. Yerel tasarım politikalarına uygun bir temel oluşturması için böyle bir değerlendirme titiz olmalı, işbirliği ve danışmalara dayanmalıdır. Bağlam değerlendirme biçimleri, sadece tanımlayıcı değil, analitik olmalıdır” (Telford, 2000, s.17).

Bu çalışmanın giriş bölümünde belirtildiği üzere, kentsel mekânlar için yapılan tasarımlarda bağlam ve bağlama bağlı tasarım esastır. Diğer bir deyişle, kentsel mekân tasarımında, gözlem analitiğinin keskinleştirilmesiyle, bağlam ve kullanıcı dinamikleri ile elde edilmiş modeller kullanılmalıdır.

Kente ilişkin tasarımlarda, tasarımı oluşturan bağlamsal girdiler zaman içinde değişmektedir. Bu durumda her bir müdahalede alanı yeni baştan kurgulamak yerine, mevcut mekâna tutunan, minimum dokunuş ile alana eklemlenebilen, halihazıra uyarlanabilen “adaptif” tasarımlar öne çıkmalıdır. Adaptif tasarım terimi çoğunlukla bir ortama ayak uyduran kinetik bir tasarım (Baalman ve diğer., 2010) veya bir ortamdaki kritere kendi kendine adapte olan sistemler olarak tanımlanmaktadır (Kormaníková, Kormaníková ve Katunský, 2017). Ancak bu çalışmada adaptif tasarım, güncel çalışmalarda belirtildiği üzere bağlamdaki veriler ile şekillenip, bağlama eklemlenebilen bir tasarım anlayışı olarak ele alınmıştır (Schnädelbach, 2010).

Bölümün çıkarımları arasında sonuç olarak elde edilen diğer bir kavram ise “Performansa Dayalı Tasarım” sürecidir. Performansa Dayalı Tasarım süreci, tasarımı, tasarımcının öznel bakış açısından kurtarıp, nesnel ve nedensel bakış açısı ile şekillendirme şansı tanımaktadır. Parametrik tasarım kurgusu ve *Grasshopper* yazılımının kazandırdığı tepkimeli ve etkileşimli ortamda, bu nesnel bakış açısını yakalamak ve uygulamak mümkün olabilmektedir. Bununla birlikte, bu tezin yöntemindeki temel yazılım olan *Grasshopper*’ın kullanılmasıyla tasarımcılara parametrik tasarım ortamında kullanışlı bir araç ortaya çıkmaktadır.

BÖLÜM ÜÇ

VIDEO KAYNAKLI YAYA ANALİZİ İÇİN PARAMETRİK BİR ALGORİTMA ÜRETİMİ

Bu bölümde çalışmanın konusu olan algoritmanın gelişim süreci aktarılmaktadır. 0 Pilot Çalışmalar bölümünde algoritmanın mantığındaki manuel yöntemler ele alınmaktadır. Alansal yoğunluk analizi yöntemi kurgulanıp alan çalışmaları olarak örneklendirilmektedir. Sürecin devamında algoritmanın form bulma önerileri geliştirilmektedir. 3.2 Algoritmada Kullanılan Temel Teknikler ve Sayısal Araçlar bölümünde ise çalışmanın yönteminde faydalanan teknikler ve yazılımlar tanıtılmaktadır. 3.3 Video Bazlı Yaya Hareketi Analizi için Bir Algoritma Üretimi bölümünde ise kodlanan algoritmanın çalışma prensibi detaylı bir şekilde açıklanmaktadır.

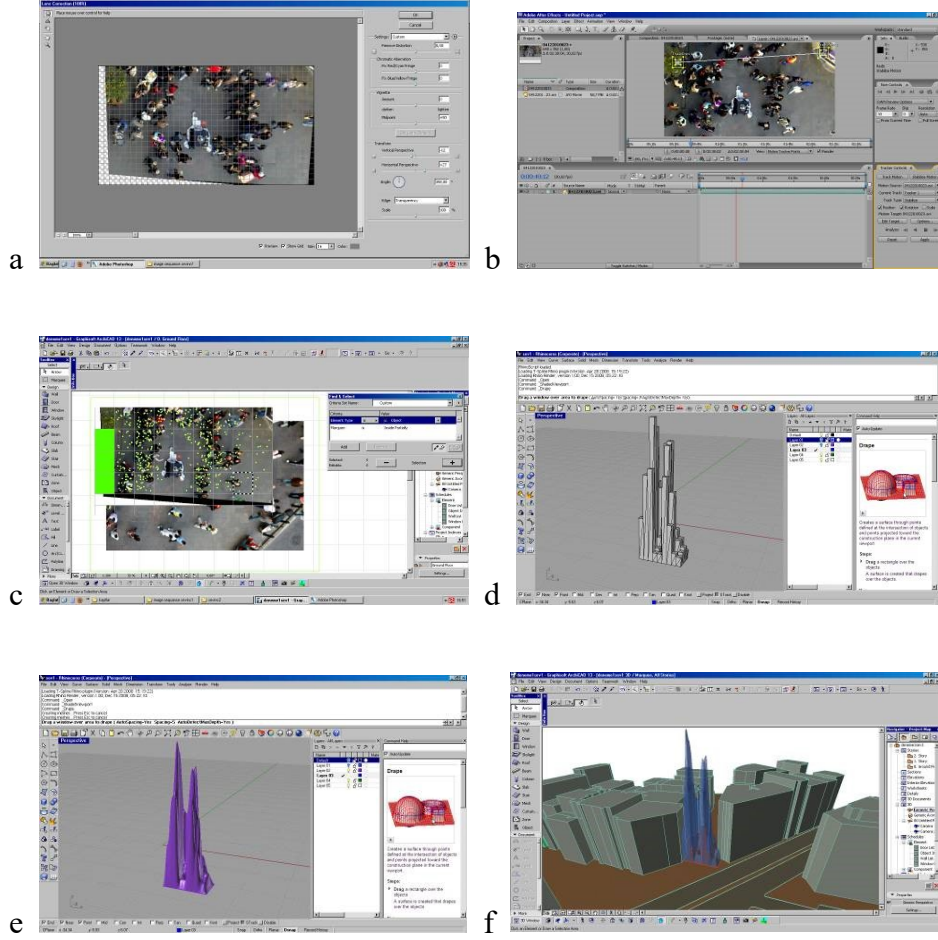
3.1 Manuel Sayım Yöntemiyle Yapılan Pilot Çalışmalar

Çalışmanın erken safhalarında yaya yoğunluğunu ölçmek için yöntemler geliştirilmiştir. Yaya yoğunluğu analizi yapmak ve yapılan analizler doğrultusunda tasarım ürünleri elde etmek amacıyla pilot çalışmalara yoğunlaşılmıştır. Bu yöntemlerin ilk aşamalarında sayısal teknolojiler kolaylaştırıcı bir araç olarak kullanılmaktadır.

3.1.1 Kıbrıs Şehitleri Caddesi Çalışması

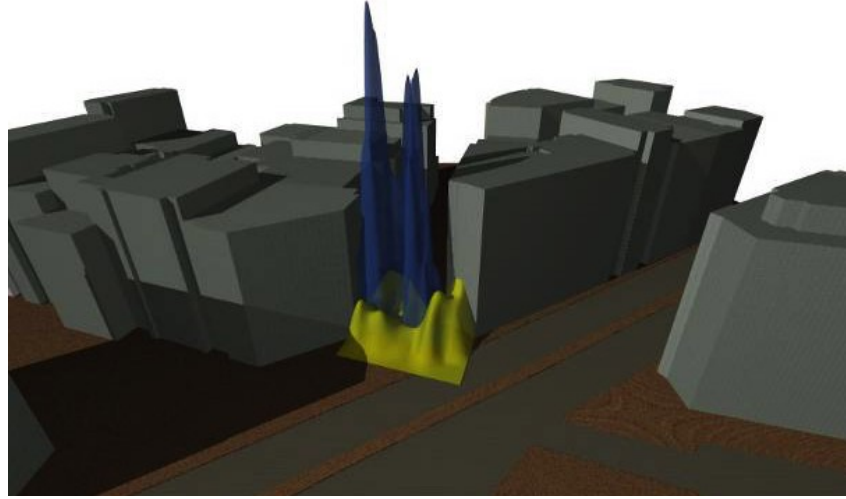
İlk olarak İzmir'deki yaya yoğunluğu en yüksek aks olan Kıbrıs Şehitleri Caddesi'nin Talatpaşa Bulvarı ile kesiştiği köşe çalışma alanı olarak belirlenmiştir. Yürüme, bekleme, buluşma, sanatsal etkinlik veya eylem gibi birçok farklı dinamiklere sahne olan bu nokta yaya analizi yapmak için en uygun nokta olarak tespit edilmiştir. Öncelikle alana plansal olarak tepeden bakan bir noktadan video kayıtları yapılmıştır. Elde edilen video kayıtlarından manuel yöntemlerle (gözle sayım) ve kuadrat analizi tekniği uygulanarak analiz grafikleri elde edilmiştir (Şekil 3.1). Daha sonra Kıbrıs Şehitleri Caddesi üzerinde farklı zamanlardaki (canlı heykel performansı varken ve normal bir zamanda) veriye göre elde edilmiş iki yaya yoğunluğu analizi

karşılaştırılmıştır. Bu çalışmalarda yaya yoğunluğu grafiği elde etme biçimi test edilmiştir.



Şekil 2.1 Plansal video çekiminin perspektifinin oturtulması (a), Video çekiminde gerçekleşen sallantının giderilmesi (b), Video sekansları üzerinde manuel olarak gerçekleştirilen yaya sayımı (c), Kuadrat analizi yöntemi ile elde edilen yoğunluk grafiği (d), Yoğunluk grafiğinin optimizasyonu (e), Elde edilen analiz grafiğinin gerçek dünya koordinatlarına (Real World Coordinates, RWC) oturtulması

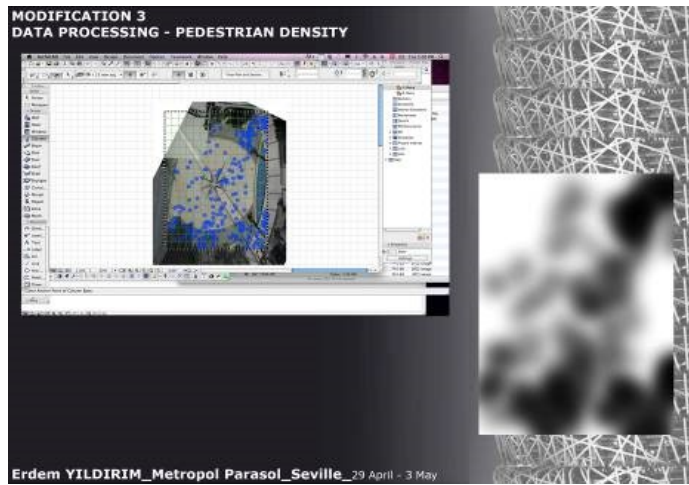
İlk pilot çalışmanın sonucunda, video çekimi görüntülerinden, videoları belirli aralıklarda karelere ayırıp, o karelerdeki insanları manuel yöntemlerle belirleyip, bilgisayar yardımıyla sayım yöntemiyle elde edilen haritalamalar karşılaştırılabilmektedir. Sanat etkinliğinin olmadığı zamanda yaya geçidine yakın bölgede az miktarda yoğunluk saptanırken, canlı heykel etkinliğinin olduğu analizde izleyicilerin ışınsal formda yoğunluğu gözlenmektedir (Şekil 3.2).



Şekil 2.2 Çalışmanın erken aşamalarında geliştirilen, manuel sayma yöntemiyle elde edilen Kıbrıs Şehitleri Caddesi'nin başlangıç noktasındaki yaya davranışı analizleri karşılaştırması. Mavi : canlı heykel etkinliği varken, Sarı: herhangi bir etkinlik yokken

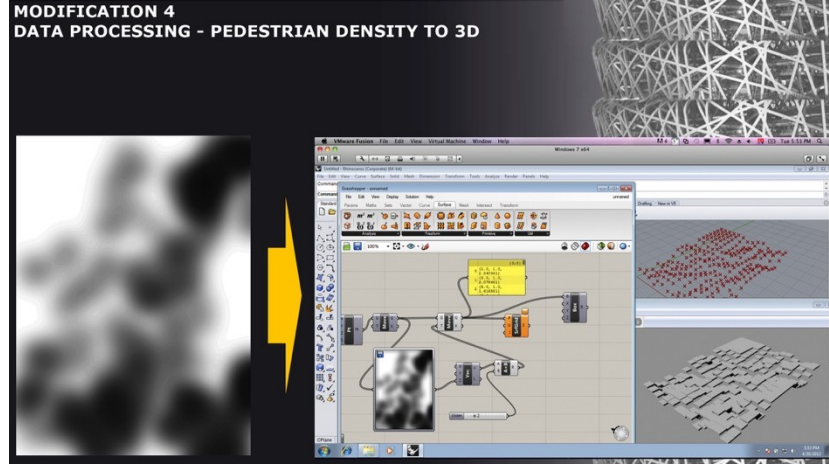
3.1.2 Yaşar Üniversitesi Kampüsü Çalışması

Diğer bir çalışmada ise Yaşar Üniversitesi'nin orta avlusundaki yaya akışına istinaden bir üstörtü tasarımıdır. Yaşar Üniversitesi Mimarlık Bölümünün düzenlediği atölye kurgusu dahilinde örneklencek yapıtlar doğrultusunda Seville'deki Parasoley yapısı seçilmiştir. Üniversite avlusunda öğle tatili zamanında kaydedilmiş görüntülerden elde edilen kareler kuadrat analizi yöntemiyle analog olarak yaya sayımı yapılmıştır (Şekil 3.3).



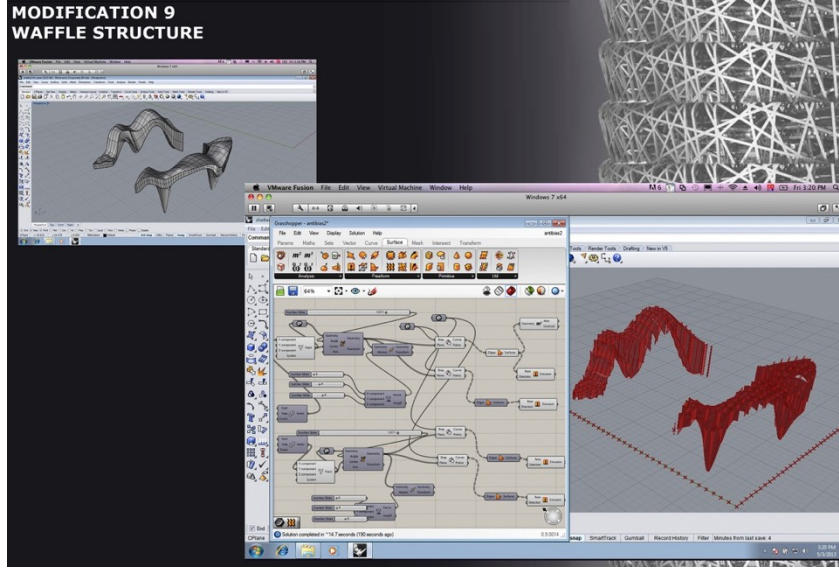
Şekil 2.3 Yaya yoğunluğunun analog yöntemle sayımı

Atölyede parametrik tekniklerle *Grasshopper* kullanılarak algoritma geliştirilmiş ve yaya yoğunluk analizleri elde edilmiştir. Kuadrat analizinden elde edilen yoğunluk verisi üçüncü boyutta kaldırılarak yaya yoğunluk haritalaması oluşturulmuştur (Şekil 3.4).



Şekil 2.4 Parametrik yöntemle geliştirilmiş yaya yoğunluğu analizinin görselleştirilmesi

Çalışmanın çıktısı olarak yaya yoğunluğu analizinin tasarımda nasıl kullanılabileceği konusuna yoğunlaşmıştır. Elde edilen bu grafikler belirlenmiş alanda bir üst örtü türetmek için kullanılmıştır (Şekil 3.5). Bu tasarımda yaya yoğun bölgelerde üst örtünün yükselmesi, yoğunluğun az olduğu bölgelerde ise strüktürün yere dokunarak konstrüktif elemana dönüşmesi kurgulanmıştır. Ancak atölye yürütücülerinin kapsamı dışında kalan nedenlerden dolayı taşıyıcı elemanların kurgusu manuel yöntemlerle şekillenmiştir. Sonuç olarak elde edilen tasarım “yarı parametrik” bir yaklaşım olduğu nitelendirilmiştir. Yaya hareketlerinden elde edilen tasarımın tamamen parametrik yöntemlerle elde edilmemesi çalışmanın başka tasarım araçlarına yönelmesine neden olmuştur. Ayrıca, analiz yönteminin tamamen analog olması da bu motivesizliğin diğer bir nedenidir.



Şekil 2.5 Elde edilen yaya yoğunluğu analizine göre türetilen üst örtü; Parasol

3.2 Algoritmada Kullanılan Temel Teknikler ve Sayısal Araçlar

Pilot çalışmaların devamında, yaya analizi yöntemleri ve parametrik tasarım yöntemleri kullanılarak yeni yöntemlerin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Tasarıma dair formlar parametrik yöntemlerle elde edilse de, yaya analizinin elde etme biçiminin parametrik yöntemlerden ziyade manuel olarak gerçekleştirilmesi hesaplamalı yaklaşımla bağdaşmadığı ortaya çıkmaktadır. Bu durumun giderilmesi için yaya analiz yönteminin de parametretize edilmesi zorunluluğu ortaya çıkmıştır. İmaj işleme teknikleriyle mekânsal haritalama yönteminin geliştirildiği bu bölümde, parametrik tasarım araçları kullanılarak, yaya hareketinin niceliksel analizinin elde edilmesi amaçlanmaktadır. Mikro ölçekte incelenen yaya hareketleri analizinde, kaynak girdi olarak video görüntüleri kullanılmıştır.

Öncelikle video işleme sürecinde yüksek noktalardan elde edilen videoların perspektifleri düzeltilerek plansal düzleme oturtulmuştur. Daha sonra, analiz alanının sınırları belirlenerek, dışarıda kalan alanlar beyazlatılmaktadır. Diğer bir deyişle ilgilenilen alanın (*ROI, region of interest*) belirlenmesi yapılmaktadır.

Bilindiği gibi görsel kodlama (*visual scripting*) esaslı, tasarımcılar tarafından yaygın olarak kullanılan *Grasshopper* eklentisi, eğrisel formlar üzerinde çalışmak için

verimli bir arayüze sahip olan *Rhinoceros* programının içinde çalışmaktadır (Davis ve diğer., 2011). *Grasshopper* yazılımı, parametrik modellemenin yanı sıra, çok çeşitli eklentilerle (add-on; plug-in ile add-on'u kaynaklar eklenti olarak çevirmektedir) strüktürel hesaplama (Piker, 2013), ekolojik tasarım (Peters, 2013), mekân dizimi (May, 2015), tepkimeli çevreler (Fischer ve diğer., 2012) gibi bir çok alanda kullanılmaktadır. Bu çalışmada, mekâna ilişkin zaman içindeki verilerin analizi, Grasshopper arayüzünde çalışmak için son derece uygundur.

3.3 Yoğunluk Analizine Yönelik Algoritmanın Geliştirilmesi

Bilişim alanında analiz yazılımları, işlemci (CPU) ve grafik işlemci (GPU) teknolojisinin gelişmesi ile çok sayıda verinin işlenmesine olanak tanımıştır (Karimi, 2014; Tang ve diğer., 2015; Zhang ve diğer., 2017). Coğrafi Bilgi Sistemleri gibi bilgisayar teknolojisini bir araç olarak kullanan alanlarda kullanılmak üzere, çeşitli yazılımların geliştirilmesiyle, kentsel veriler gibi büyük nicelikte ve nitelikte verilerin işlenmesi ve analiz edilebilmesi mümkün olabilmektedir (Wang, Brown ve Liu, 2015). Bu yazılımların en çok bilinen örneği olarak *ArcGIS* verilebilir. Yazılım, geometrik yayılım, bölgesel yoğunluk gibi statik verilerin analizine olanak tanımaktadır. Bunun yanı sıra, kuadrat analizi için zaman içinde farklı yazılımlar geliştirilmiştir (Skelton, 1996; Cheng ve diğer., 2015; Colin ve Dazzo, 2013). Bu yazılımlar farklı disiplinlere hizmet etmektedirler: Kentsel analiz (S. Zhang, Tang, Wang, Wang ve An, 2017; Rohde ve Corcoran, 2012), mekân dizimi (Garip ve diğer., 2015), bilgisayar oyunu (Almeida, Mealha ve Veloso, 2016) gibi birçok sayısal platformlarda kullanılmaktadır.

Video temelli imaj işleme teknolojisinde, lazer veya GPS iz sürümü gibi veriler matematiksel (diğer bir deyişle vektörel) fotmatta değildirler. Video formatları bilindiği gibi ardıl olarak gösterilen örüntü (raster) temelli dijital imajlardan oluşmaktadır. Diğer bir deyişle, piksellerin oluşturduğu görüntülerin zaman içerisinde değişmesiyle hareketli görüntü oluşmaktadır. Dolayısıyla, lazer iz sürümü hedeflerin noktasal koordinatlarını çok az hata payıyla, GPS iz sürümü ise kapsanan ölçeğe göre keskin sonuçlar verebilirken, imaj işleme ile görüntülerden koordinat çıkartımı işlemsel olarak çok daha güçtür. Bir DVD videonun bir karesinde 307,200 piksel bulunmaktadır. Bu durumda bir saniyede 7,372,800 piksel, bir dakikalık videoda ise

442,368,000 adet piksel verisi vardır. Bu yüzden imaj işleme teknolojisi yoğun bir işlemci gücü gerektirmektedir. Bu yüzden, görüntü işleme sürecinde işlemciye gelecek yükü maksimum derecede hafifletmek genel amaçlar arasında olmalıdır. Görüntü işleme için kullanılan bilgisayarların adı üzerinde ‘işlem gücü’ çok yüksek olmalıdır. Bu çalışmada da işlem gücü yüksek bir bilgisayar kullanılmıştır. Kullanılan bilgisayarda 8. nesil 8750H işlemci, 32 GB DDR4 bellek ve 8GB DDR5 GTX 1070 ekran kartı bulunmaktadır.

3.1.1 Algoritmanın Temelinin Oluşturulması

Pilot çalışmalarda yaya sayımı manuel olarak yapıldıktan sonra elde edilen yaya konumlarının oluşturduğu nokta bulutu üzerinden kuadrat analizi yapılmaktadır. Geliştirilen algorithmada da bu temel mantık ilk olarak taklit edilmeye çalışılmıştır. Pilot çalışmada videonun her bir karesinin dondurulup yaya sayımı işlemini, videoyu dondurmada, zaman içinde değişen karelerde sayım işleminin yapılması amaçlanmıştır. Bu amaç için *Grasshopper* için yazılmış *Firefly* eklentisinin imaj işleme yöntemi ile video kayıtlarındaki piksel değişimlerini vektörlere dönüştüren komut olan optik akış (*optical flow*) bileşeni kullanılmıştır. Daha sonra, bu vektörlerin dağılımına kuadrat analizi yöntemi uygulanarak mekânsal info-morfolojik analizler elde edilmiştir.

Kuadrat analizini algoritmasının sınanması için öncelikle bir ön çalışma kurgulanmıştır. Alan çalışmasının yer seçiminde yaya sirkülasyonunun yoğun olduğu mimari bir mekân olması en önemli kriterlerden biridir. Diğer kriterler ise kontrollü bir mekânda ve veri toplamak için geniş bir alanda olması, bir diğer kriter ise; ilgilenen alana (*ROI: Region Of Interest*), yani görüntü düzleminde analizin etkin olacağı alanın dikey olarak yukarıdan görüntülenebilecek olanaklara sahip olmasıdır. Yaya sirkülasyonu, ilgilenen alan ve bakış açısı kriterleri doğrultusunda bir alışveriş merkezinin atrium zemini ön çalışma için uygun görülmüştür. Plansal perspektife en yakın açıdan görüntü elde etme amacıyla, alana bakan en yüksek kattan çekim yapılmıştır. Çekimin yapıldığı zaman aralığı, kullanıcı yoğunluğunun fazla olduğu bir zaman dilimi olarak Cumartesi akşamı seçilmiştir. Kaydedilen videonun perspektifi plansal hale getirilerek algoritmanın üretimine başlanmıştır (Şekil 2.6).

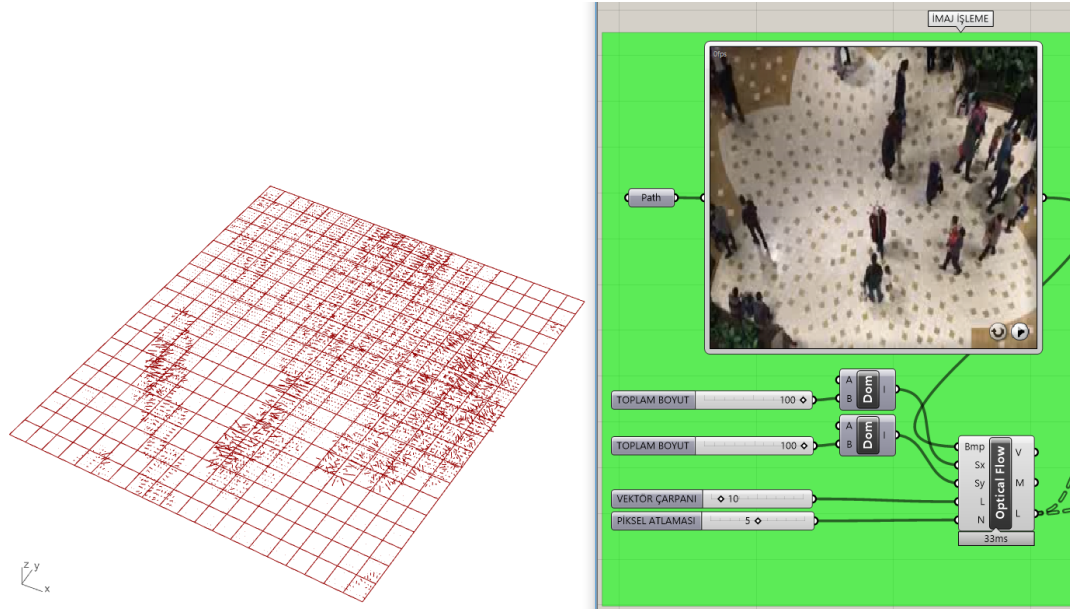


Şekil 2.6 Alışveriş merkezinin atriumunun kaydedildiği perspektifi düzeltilmiş görüntü

Geliştirilen algoritma temel olarak dört bölümde incelenebilir. Bunlar sırasıyla imaj işleme, kuadrat analizi, hiperyüzey oluşturma ve renklendirme.

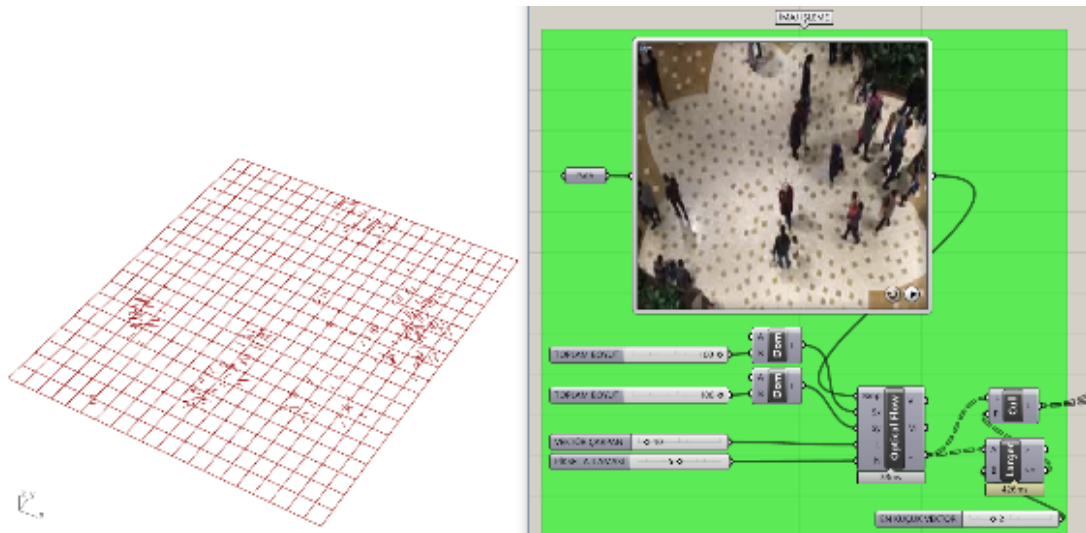
3.3.1.1 İmaj İşleme

Öncelikle bilgisayarın içerisinde işlenmek istenen videonun konumu tanımlanmıştır. Bu video görüntüler ardından ‘*optical flow*’ komutuna bağlanmıştır. Bu bileşen, videodaki piksel hareketliliğini algılamakta ve bu hareketliliği vektörlere dönüştürmektedir (Şekil 2.7). ‘*Optical flow*’ bileşenine bağlanan yüzey boyutu girdileri ise ‘*domain (Dom)*’ bileşeni kullanılarak, 100 x 100’lük bir alanda analizin gerçekleştirileceği belirlenmektedir. Diğer bir girdi ise algılanan hareketlerin vektör çarpandır. Bileşenin son değişkeni ise piksel atlama sayısıdır. Piksel atlama sayısının beş rakamından daha düşük olduğu durumlarda algoritma darboğaza girmekte ve programın kilitlendiği gözlemlenmektedir. Bu durum daha düşük çözünürlüklü videolar kullanılarak çözümlense de optimum değerin 5 piksel olduğu saptanmıştır.



Şekil 2.7 Algoritmanın imaj işleme modülünün ekran görüntüsü

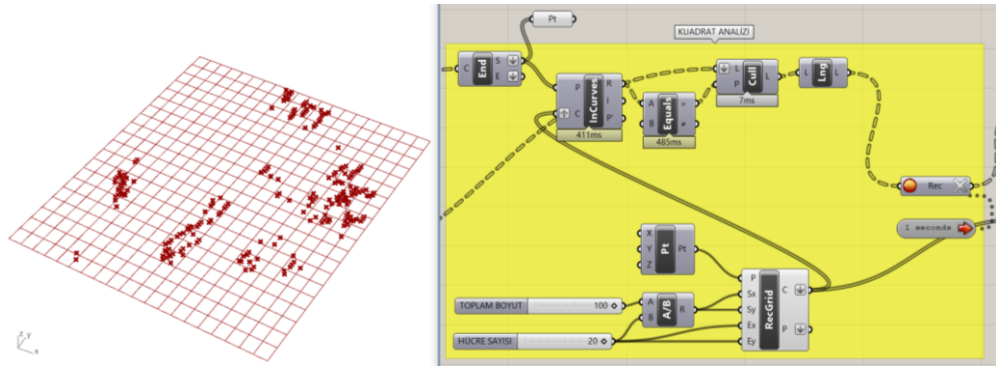
Şekil 2.7’de gözlemlendiği üzere ‘*optical flow*’ bileşeninin algıladığı piksel hareketleri niceliksel olarak çok fazladır. Bu durum daha sonraki evrelerde gerçekleştirilecek olan kuadrat analizini olumsuz yönde etkileyeceği öngörülmüştür. Bu yüzden vektörlerin niceliğine kısıtlama getirilmiştir. Oluşan vektörlerin uzunluğu 2 birimden az olanlar elenerek veriler ‘*cull pattern (Cull)*’ bileşeniyle sadeleştirilmiştir (Şekil 2.8).



Şekil 2.8 Küçük vektörlerin elenmesi

3.3.1.2 Kuadrat Analizi

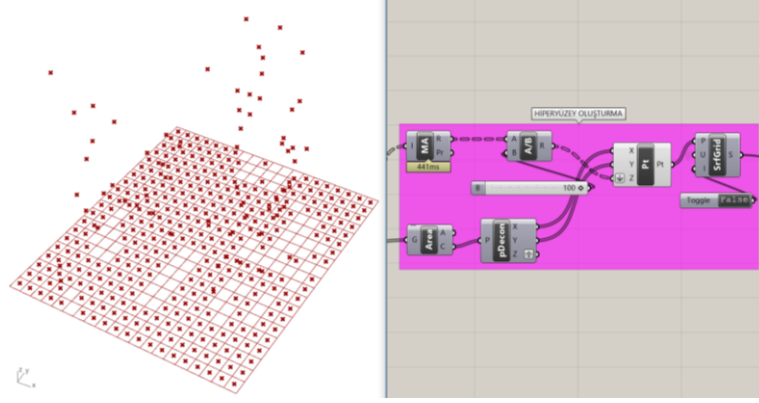
Kuadrat analizinin ilk adımında 20x20 hücre sayısında ve toplam 100 birim genişliği olan bir ızgara yapılmıştır. ‘End points (End)’ bileşenine büyüklük elemesinden geçen vektörler bağlanarak, bu vektörlerin başlangıç noktaları belirlenmiştir. Bu noktalar ‘point in curves (InCurves)’ bileşenine bağlanarak ızgara içerisindeki her bir hücrenin içerisinde olup olmadığı saptanmıştır. ‘InCurves’ bileşeni, verilen noktaların her bir hücre içinde olup olmadığının sonucunu 0 veya 2 rakamıyla tanımlamaktadır. Her bir hücrenin içerisindeki noktalar, yani ‘2’ olarak adlandırılmış noktalar ‘Equals’ ve ardından ‘Cull’ bileşeni kullanılarak seçilmiştir. Son olarak hücre içerisindeki nokta verileri 1 saniyelik zaman aralığında ‘Rec’ bileşeniyle kaydedilerek kuadrat analizi modülü tamamlanmıştır (Şekil 2.9).



Şekil 2.9 Algoritmanın kuadrat analizi modülü

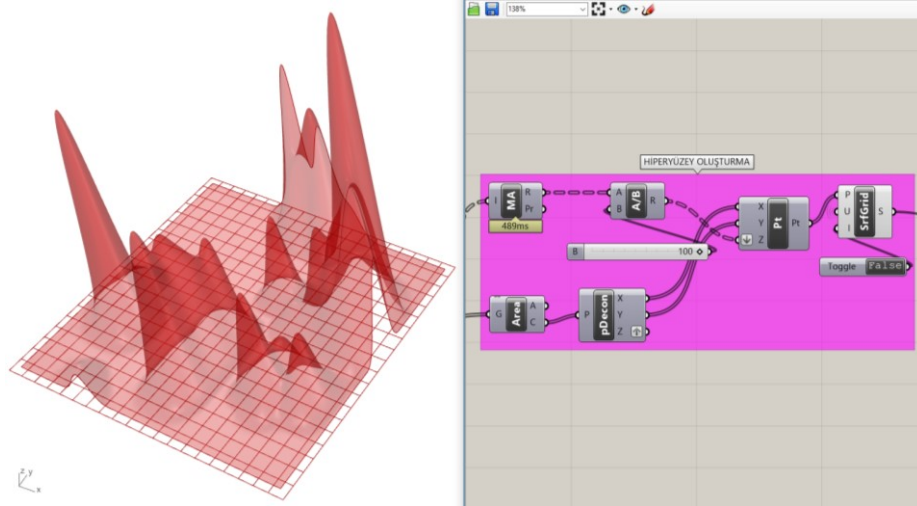
3.3.1.3 Hiperyüzey Oluşumu

Kuadrat analizi bölümünde kaydedilen veriler ‘mass addition (MA)’ bileşeni kullanılarak toplamı alınmıştır. Diğer yandan oluşturulan ızgara hücrelerinin ağırlık merkezleri, yani orta noktaları ‘area’ bileşeni kullanılarak saptanmış ve ‘point deconstruction (pDecon)’ komutu kullanılarak x ve y koordinatları çıkartılmıştır. Elde edilen 2 boyutlu nokta diziminin z boyutuna, kuadrat analizinden gelen toplam veriler bağlanmış ve üç boyutlu bir nokta dizimi elde edilmiştir (Şekil 2.10).



Şekil 2.10 Hiperyüzey oluşumundaki nokta dizimi

Hiperyüzey oluşturma modülünün son aşamasında ise elde edilen üç boyutlu nokta dizimi '*surface from points (SrfGrid)*' bileşeni kullanılarak nihai analiz hiperyüzeyi elde edilmiştir (Şekil 2.11).

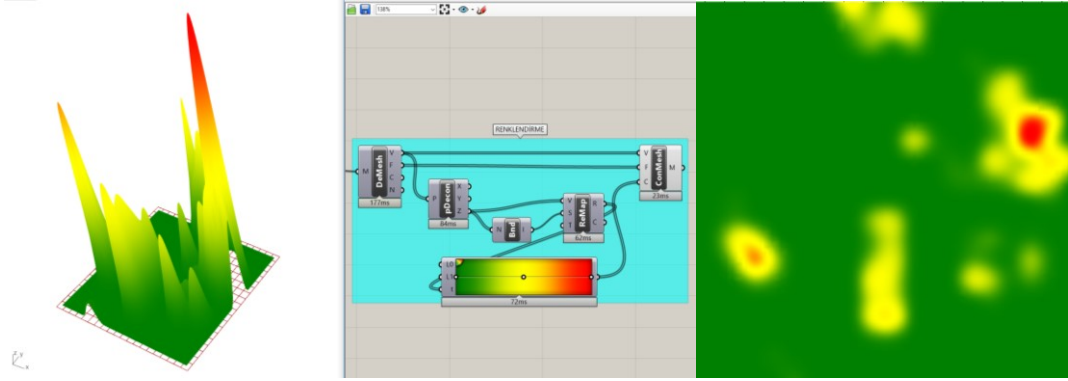


Şekil 2.11 Nihai analiz hiperyüzeyi

3.3.1.4 Renklendirme

Alışveriş merkezi atrium için geliştirilen algoritmanın son aşamasında, bir önceki 'hiperyüzey oluşumu' aşamasından elde edilen üç boyutlu veri, iki boyutlu görsel bilgi aktarımı sağlamak için renklendirilmiştir. Bunu yapmak için öncelikle hiperyüzey '*deconstruct mesh (DeMesh)*' bileşeni kullanılarak ayrıştırılmıştır. Daha sonra her bir yüzeyin z verisi seçilerek (*pDecon*), oluşturulan hiperyüzeyin toplam yüksekliği

'*remap numbers*' (*ReMap*) bileşeni kullanılarak haritalandırılmıştır. Son olarak elde edilen harita bilgisi yeşil>sarı>kırmızı renk skalasında tanımlanıp, '*construct mesh*' (*ConMesh*)' bileşenine renk bilgisi vermek üzere bağlanmıştır (Şekil 2.12).



Şekil 2.12 Sonuç hiperyüzeyin renklendirilmesi (solda), Algoritmanın renklendirme modülü (ortada), hiperyüzeyin iki boyutlu görünümü (sağda)

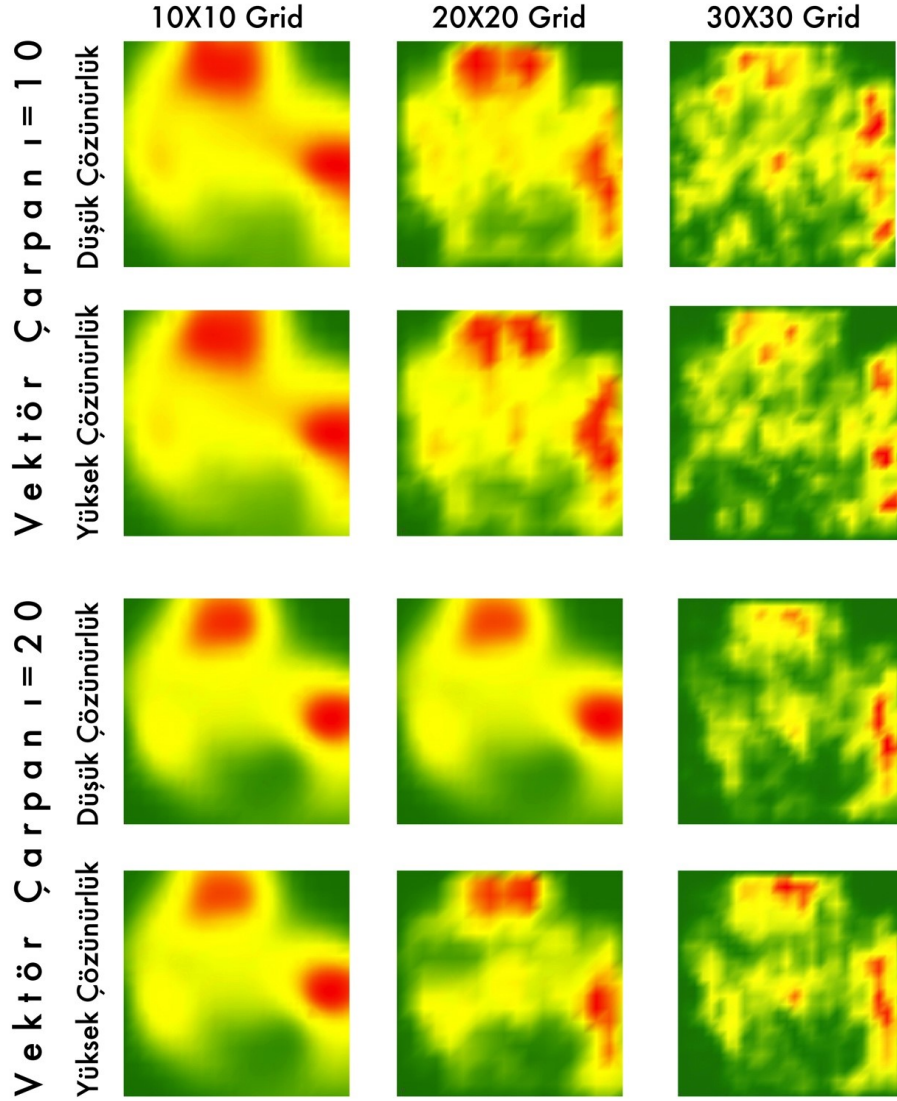
Yukarıda görüntülenen analiz haritalaması alışveriş merkezi atriumunda elde edilen video kaydının tamamından elde edilmemiştir. Algoritmanın açıklama sürecinin daha akışkan, sürekli ve sonuç olarak daha başarılı bir şekilde aktarılması için '0

3.3.1.1 İmaj İşleme' bölümünden itibaren tek bir andaki vektör bilgileri kullanılmıştır. Diğer bir deyişle Şekil 2.12'nin alt tarafındaki haritalama Şekil 2.7 de görüntülenen video görüntü karesine aittir. Analiz haritalamasının sonuçları çalışmanın bir sonraki bölümde detaylı olarak irdelenmektedir.

3.3.2 Değişkenlerin Sonuç Analize Etkisi

Örnekleme sürecinde 3 farklı değişken kullanılmıştır. Bunlardan ilki grid boyutudur. Kuadrat analizi yönteminde, grid sayısının değişiminin sonucu etkilediği bilinmektedir (Thomas, 198); Hengl, 2007). 10x10, 20x20 ve 30x30 grid matrisi olmak üzere üç farklı boyut belirlenmiştir. Algoritmada, video görüntüsündeki piksellerin yer değiştirmesi vektörlere dönüşmektedir. Bu dönüşüm sırasında vektörlerin büyüklüğünün ölçek faktörü ikinci değişkendir. Üçüncü değişken ise videonun çözünürlüğüdür. Video çözünürlüğünün artması ile birim zamanda çok daha fazla sayıda vektörlerin oluştuğu gözlemlenmiştir. Grid boyutu, vektör katsayısı ve

Çözünürlük olmak üzere üç farklı değışken birbirleri ile çaprazlanarak karşılaştırmalar yapılmıştır (Şekil 2.13).



Şekil 2.13 Farklı Varyasyonlarda Elde Edilen Analiz Matrisi

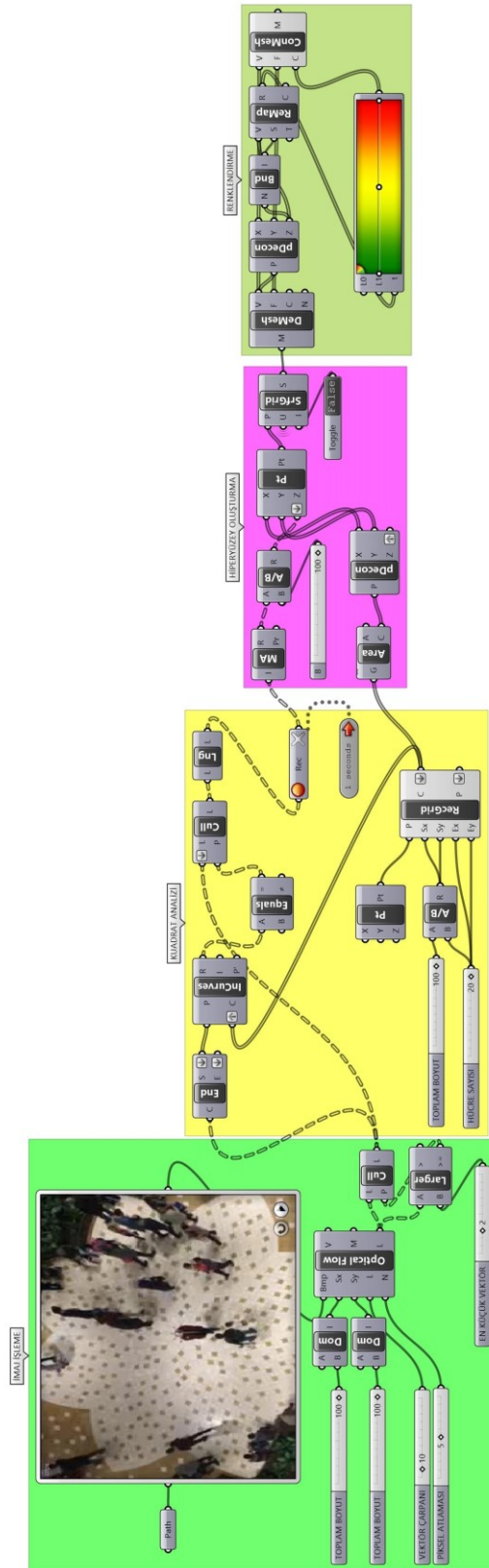
Elde edilen analiz matrisi incelendiğinde, grid sayısının ve vektör katsayısının artması ile analiz görselinin detaylandığı gözlemlenmiştir. Video çözünürlüğünün yüksek veya düşük olması ise herhangi bir değışikliğe neden olmadığı gözlemlenmiştir. Algoritmanın işlem yükü farklı konfigürasyondaki bilgisayarlarda da denenmiştir. Analiz esnasında kullanılan bilgisayarların CPU ve GPU gücü arttıkça video çözünürlüğünün ve ızgara hücre sayısı arttırımının mümkün olduğu saptanmıştır.

Algoritmanın içerisinde kullanılan bir diğer değişken ise hiperyüzey yükseklik çarpanıdır. Bu değişken analize etki etmemektedir. Değişken sadece oluşturulan hiperyüzeyin perspektif açısında veya aksonometrik açılarda görüntüleme esnasında z boyutundaki niceliği ile ilgilidir. Plansal olarak değerlendirilen bu çalışmada ise herhangi bir sonuç değişikliğine neden olmamaktadır. Ön çalışma sonucunda geliştirilen algoritma Şekil 2.14'ten incelenebilir.

3.4 Bölüm Sonucu

Grasshopper içinde yaya tespiti için kullanılan temel bileşen olan *optical flow* yukarıda belirtildiği gibi temek olarak video görüntüsündeki piksellerin zaman içerisindeki yer değişmelerini kullanmaktadır. Bu noktada, görüntü işleme sürecinde algoritmanın veriyi doğru okuması için öncelikle görüntünün sabit olması gerekmektedir. Bunu sağlamak için görüntüyü çekiminin üç-ayak (tripod) kullanılarak yapılması önerilir. Diğer bir dolanbaçlı çözüm ise, bu çalışmada da olduğu gibi, video düzenleme yazılımları kullanılarak görüntü titreşiminin giderilmesidir. Görüntü çekimi konusunda ikinci dikkat edilecek husus ise, çekiminin yüksek bir mevkiiden yapılması gerektiğidir. Analiz edilecek alana mümkün olduğunca plansal olarak bakan bir açı içe çekim yapılmalıdır.

Kullanılan optical flow bileşenini yanıltma potansiyeli olan bir diğer unsur ise zemin desenidir. Zemin deseninin homojen olmadığı, farklı renklerde çok parçalı olan durumlarda da, hareketli piksel algılaması yanıltıcı olabilmektedir. Bu durumda, bu çalışmada da olduğu gibi algılanan vektörlerin kuvvetine kısıtlama getirilmelidir.



Şekil 2.14 Algoritmanın tamamı; yeşil: imaj işleme, sarı: kuadrat analizi, pembe: hiperyüzey oluşumu, mavi: renklendirme

BÖLÜM DÖRT

ALAN ÇALIŞMASI: BORNOVA CUMHURİYET MEYDANI

YUMUŞAK ZEMİN TASARIMI

4.1 Algoritmanın Kentsel Mekânda Kullanılması

Meydanlar yaya sirkülasyonunun en fazla gözlemlenebildiği, karmaşık akış aksları barındıran kentsel mekânlardandır. Diğer yandan, meydanlarda kentsel donatıların niteliksel ve niceliksel çeşitliliği mevcuttur. Bu nedenle çalışma alanı olarak meydanlar ön plana çıkmaktadır.

Alan çalışmalarında seçilecek meydanın kriterleri;

-Yaya sirkülasyonu yoğunluğu olan

-Yaya akış dinamikleri değişken olan (lineer yapıda sokak değil, bir çok farklı geometrik odaklardan beslenen)

-Potansiyel kentsel yumuşak zemin alanları eklemenebilir olarak belirlenmiştir.

Bu kriterler doğrultusunda çalışma alanı olarak Bornova Cumhuriyet Meydanı seçilmiştir (Şekil 3.1). Alanların farklı noktalarındaki sirkülasyon odakları, tanımlı rekreasyon alanları ve yoğun sert zemin dokusu bu seçimdeki en önemli etkenlerdir. İzmir Büyükşehir Belediyesi mobese kameralarından farklı ay ve saat dilimlerinde elde edilen toplam 60 dakikalık video kayıtları çalışmada kaynak veri olarak kullanılmıştır.



Şekil 3.1 Bornova Cumhuriyet Meydanı (Kişisel arşiv, 2016)

Yöntemde bazı kısıtlamalar bulunmaktadır. Bunlardan en önemlisi, algorithma kaynak olarak kullanılacak video, plansal görüntüye yaklaşmak amacıyla, kuş bakışına yakın, yüksek bir noktadan çekilmesidir. İkinci olarak çekimde kamera ile ilgilenen alan (ROI: region of interest) arasında bayrak flama gibi rüzgarda hareket eden nesneler bulunmamalıdır. Geliştirilen algoritma videodaki piksel yer değiştirmesine odaklı olduğu için insanlar dışındaki diğer hareket eden nesneler oluşan analizleri etkilemektedir. Bu etkiyi minimuma indirmek için vektör katsayıları sınırlandırılmakta, diğer bir deyişle yaya hareketinin oluşturduğu vektörlerin optimum uzunlukları dışında oluşan vektörler elenmektedir.

Elde edilene video kayıtları daha sonra 3.3.1 Algoritmanın Temellerinin Oluşturulması bölümünde olduğu gibi video düzenleme program kullanılarak perspektifi plansal hale getirilmiştir. Bu durum, kentsel mekân ölçeğinde yapılacak çalışmada kullanılan video görüntüsünün alana olan açısından dolayı, ön çalışmadaki perspektif düzeltmesinden daha fazla deformasyon oluşmaktadır (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 Perspektifi plansal hale getirilmiş görüntü

4.2 Algoritmanın Geliştirilmesi

Analiz yöntemi tezin kapsamı dahilinde kentsel kentsel bir mekânda kullanılmıştır. Veri seti olarak çeşitli zaman aralıklarında kaydedilmiş toplam bir saatlik video işlenmiştir. Kentsel mekânlarda alan genişlediği ve dolayısıyla görüntüdeki insan boyutunun küçülmesi ile birlikte, vektör çarpanı gibi parametrelerin değiştirilmesi gerektiği gözlemlenmiştir. Ancak bu konuya geçmeden önce, yöntem dahilindeki kısıtlamalardan bahsetmek gerekmektedir.

4.2.1 Optik ve Geometrik Kısıtlamalar

İmaj işleme sürecinin diğer sayısal iz sürme tekniklerine göre belirli dezavantajları bulunmaktadır. İşlemsel güç gereksinimi bu dezavantajın başında bulunmaktadır. İmaj işleme sürecindeki kaynak imajların niteliğinin bozulmaması için bir takım kısıtlamalar kullanılmalıdır. Kaynak olarak kullanılacak görsellerin optik ve geometrik kısıtlamaları da bunun başında gelir. Bu kısıtlamalardan ilki videonun çekileceği

kamera pozisyonudur. İkincisi ise ilgilenen alanın vaziyet dahilindeki geometrisidir. Bu iki kıstas, birbirleri ile ilişkili bir şekilde görsellerin işlenebilirliği etkilemektedir.

4.2.1.1 Kamera Pozisyonu

Video çekim noktasının alana göre pozisyonu, yani perspektif oluşturan bakış açısı, analizin tespit doğruluğunu etkilediği bilinmektedir (Tsui ve Brimicombe, 1999); Hu, Zheng, Chen ve Chen, 2015; Garcia-Bunster, Torres-Torriti ve Oberli, 2012). Bundan dolayı, bakış açısının maksimum dikeylikte olmasıyla plansal bir görüntü elde edilmeye çalışılmalıdır (Ryan, Denman, Sridharan ve Fookes, 2015).

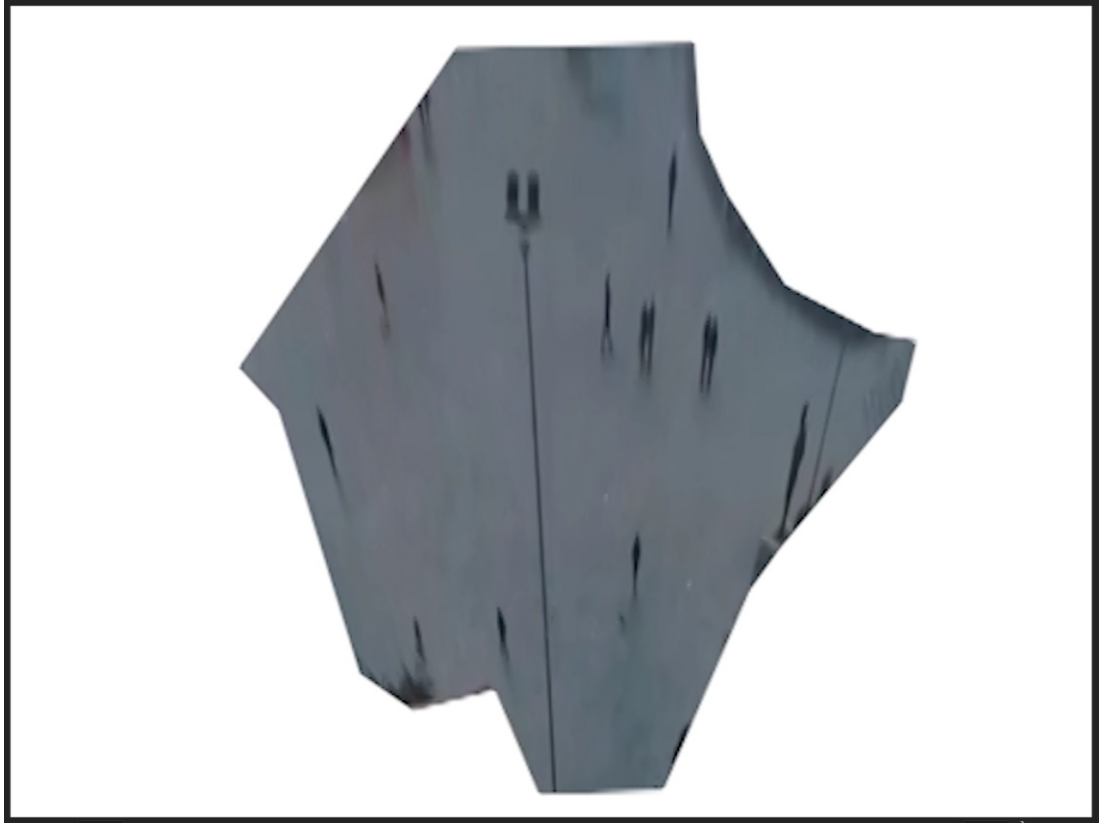
Diğer bir nokta ise videonun çekildiği kameranın objektifinin görüş açısıdır. Bilindiği gibi kamera objektifinin görüş açısı arttıkça daha geniş alan görüntüye girmektedir. Ancak görüş açısının artmasıyla birlikte perspektif deformasyonları da beraberinde artmaktadır. Jingchen Liu ve arkadaşları imaj işleme süreci için en optimum görüş alanının 25 - 35 derecelik açıya sahip objektiflerle sağlandığı konusunda saptamalar gerçekleştirmiştir (Liu, Collins ve Liu, 2011). Ancak bu durum pratikte gerçekçi değildir. 25 - 35 derecelik açıyla görüş alanına sahip objektiflerin standart bir 35mm sensörlü kamerada 70mm ile 90mm odak uzunluğuna sahip olması gerekir. Bu durumda gözlemlenecek olan kentsel alana çok uzak bir noktadan çekim yapılması gerektiği ortaya çıkmaktadır. Gözlemlenecek kentsel mekânı kapsayacak bir açıda görüntü alınabilmesi adına normal bir düzenekte tripod kullanılarak yapılması gereken kayıt için uygun kamera pozisyonu çok yüksekte bulunmalıdır. Bu durum çoğu kentsel alanlar için uygun değildir. Drone ile yapılacak çekimlerin bu özellikleri sağlama şansı bulunsa da, daha önceki bölümlerde bahsedildiği üzere drone kullanımının uçuş süresi ile kısıtlanması veri elde edim sürecini olumsuz yönde etki etmektedir.

4.2.1.2 İlgilenilen Bölgenin Seçimi

Yaya sayımı ile ilgili yapılan çalışmaların çoğunda ham video görselleri kullanılmaktadır. Bu durum yaya dağılımı üzerine yoğunlaşan çalışmalarda ise farklılık göstermektedir. İlgilenen alan seçiminde, kameradan uzak olan bölgelerdeki hareket tespitinin zorlaştığı bilinmektedir (Ryan ve diğer., 2015). Bu durumu önlemek

için, bir önceki bölümde anlatılan kamera açısının, diğeri bir deyişle plansal görüntü almak verilerin tutarlılığı için önemlidir.

Videodan elde edilen görüntülerden ilgilenen bölgenin seçilmesi için yine video düzenleme yazılımlarından faydalanılmıştır. Video görselinde ilgilenen alan dışında kalan alanlara bir maske uygulanarak, bu alanlardaki piksel hareketliliğinin algoritmanın oluşturacağı hiperyzeeye etkisi nlenmiştir. Yapılan denemeler sonucunda hazırlanan maskenin renginin siyah gibi koyu bir renk olması algoritmadaki piksel hareketliliği algılamasına etki ettiği gözlemlenmiştir. Bu nedenle maske beyaz renkte yapılarak daha keskin sonuçlar elde edilmeye çalışılmıştır (şekil 3.3).



şekil 3.3 İlgilenilen alanın video düzenleme yazılımı ile maskelenmesi

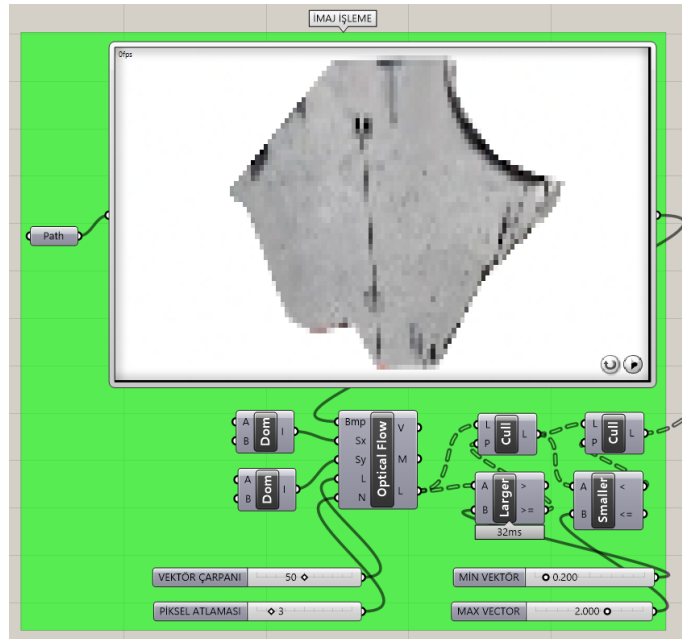
4.2.2 Algoritmanın Uyarlanması

Algoritmada işlenecek olan video yukarıda anlatıldığı süreçte düzenlendikten sonra algoritmada kullanılmak üzere hazır hale getirilmiştir. Ölçek olarak bu çalışmanın 3.3

bölümündeki alışveriş merkezi ölçeğinden çok daha büyük bir alanda çalışıldığı için algortmada birtakım değışikliklere gidilmiştir. Bu modifikasyonlar ilerleyen bölümde detaylı olarak anlatılmaktadır.

4.2.2.1 İmaj İşleme Modülü

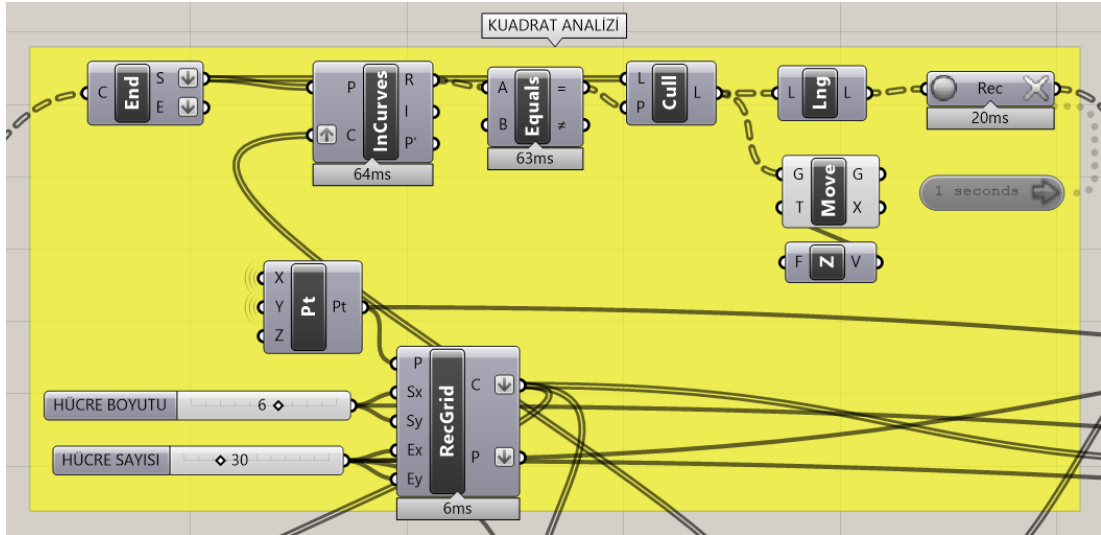
İmaj işleme modülünde öncelikli olarak vektör çarpanı büyütölmüştür. Bunun nedeni yukarıda belirtildiğı gibi çalışılan alanın, dolayısıyla görüntüdeki insanların küçölmesidir. Bunun yanında algortmanın piksel atlama katsayısı kuadrat analizi modölündeki gride uygun olması için 3 belirlenmiştir. Bu durum yüksek 640x480 çözünürlükte bilgisayarın işlem gücünü dar boğaza soktuğı tespit edilmiştir, bu yüzden VGA çözünürlüğünde, yani 320x240 boyutunda videolar kaynak olarak kullanılmıştır. Çalışmanın ‘0 3.3.2 Değişkenlerin Sonuç Analize Etkisi’ bölümünde değinildiğı üzere video çözünürlüğünün düşürölmesinin analize olumsuz olarak etki etmediğı, hatta bilgisayarın işlem gücünün daha verimli bir şekilde kullanıldığına değinilmiştir. Bu yüzden analiz sürecinde video çözünürlüğünü düşük seviyede tutulmuş, bilgisayarın işlem gücü daha çok piksel atlamalarını algılayacak şekilde optimize edilmiştir. Sonuç olarak kullanılan imaj işleme modülü Şekil 4.4’teki gibi kurgulanmıştır.



Şekil 3.4 Algortmanın imaj işleme modülü

4.2.2.2 Kuadrat Analizi Modülü

Algoritmada kuadrat analizi modülü ve ilgilenen alan modülü birbirleri arasında etkileşim içerisinde. Ancak algoritma anlatımının daha sınıflandırılmış bir yaklaşımda olması için öncelikle kuadrat analizi modülü açıklanacaktır. Kuadrat analizi modülündeki ızgara boyutunu imaj işleme modülündeki vektör başlangıç noktaları dizimine getirmek için hücre boyutu ve sayısı düzenlenmiştir. Kuadrat analizi yapacak ızgaranın videonun maskelendiği bölgeye oturması için *RecGrid* bileşeninin *point* girdisine Kartezyen düzlemindeki koordinatı verilmiştir. Daha sonra *InCurves* bileşenine, bir sonraki ilgilenen alan seçimi modülünde gösterilecek olan *Cull* bileşeninden veri aktarılmaktadır. Elde edilen nokta bilgileri *InCurves* komutu ile ızgara hücrelerinin içerisinde olup olmadığı belirlendikten sonra, *Equals* ve ardından *Cull* bileşenleriyle, her bir hücre içerisindeki noktalar ayrıştırılmaktadır. Her bir hücre içerisindeki nokta sayısı bilgisi *Lng* bileşeni içe aktarılmakta, ve son olarak bu veri *Rec* komutuyla her saniyede bir kaydedilmektedir. Sonuç olarak geliştirilen modül Şekil 3.5'ten incelenebilir.



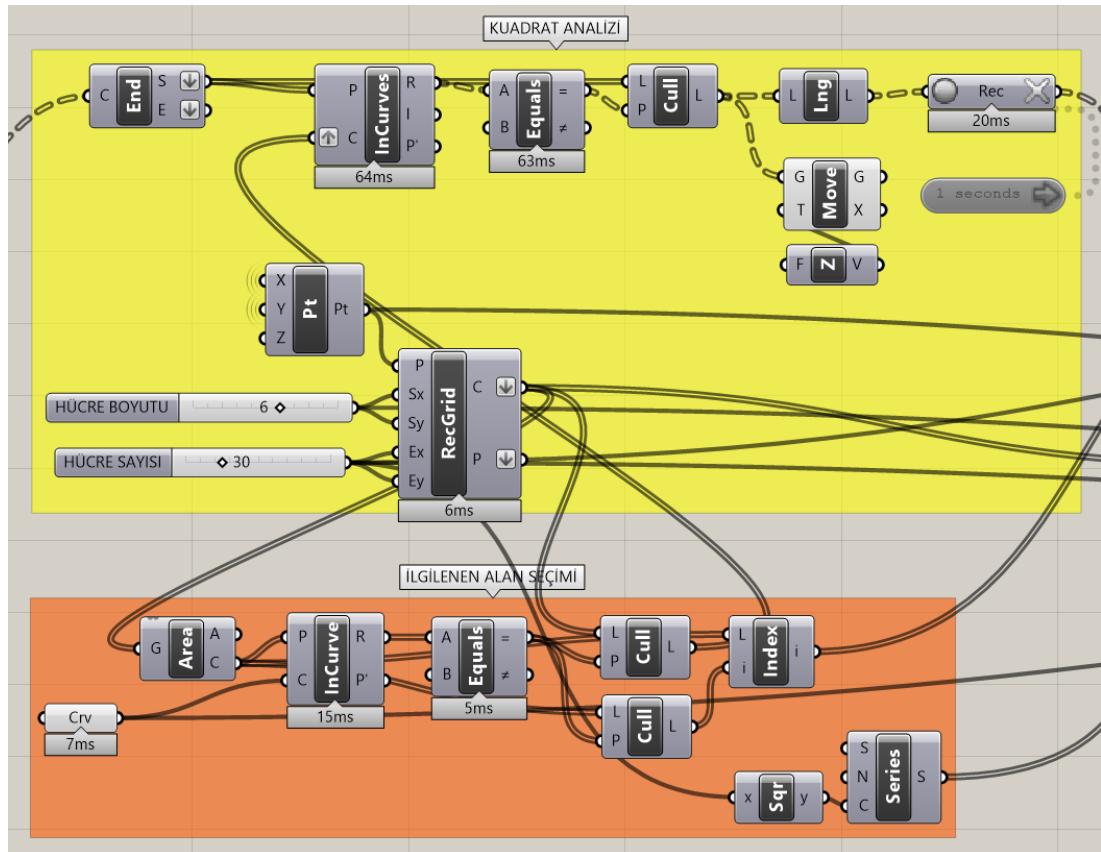
Şekil 3.5 Kuadrat analizi modülü

4.2.2.3 İlgilenen Alan Modülü

Alışveriş merkezi örneğinde kuadrat analizi tüm videoya yapılmıştır. Ancak Bornova Cumhuriyet Meydanı örneğinde elde edilen videoda kadrage giren ve

ilgilenen alan içinde olmayan çok fazla maskelenmiş görüntü alanı vardır. Bu alanda kuadrat analizinin daha verimli olması, diğer bir deyişle bilgisayarın işlem gücünden daha fazla yararlanmak üzere ilgilenen alan modülü geliştirilmiştir.

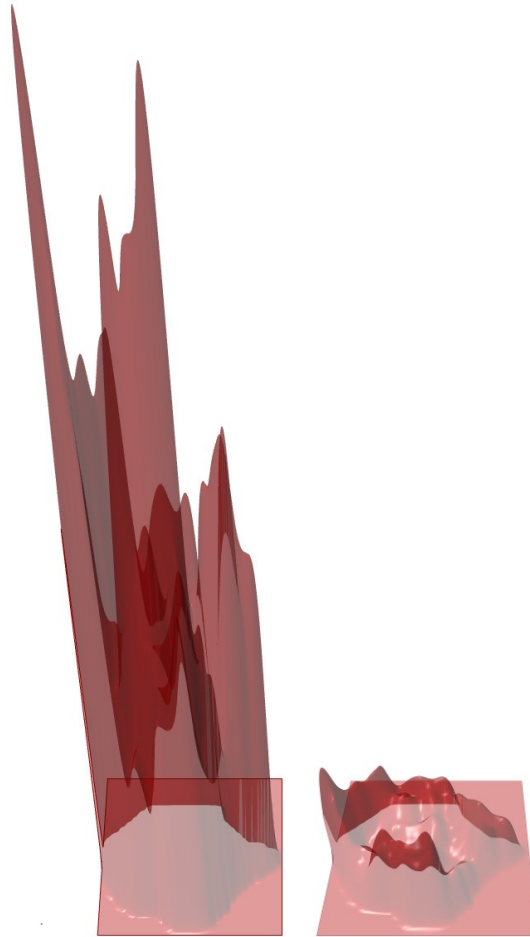
Modülde öncelikle videoda kullanılan beyaz maskenin çeperi vektörel bir poligon olarak *Grasshopper* yazılımına *Crv* bileşeni ile tanımlanmıştır. Kuadrat analizi bölümünde yer alan *RecGrid* bileşenindeki ızgara hücrelerinin maskelenen alana girip girmediğini saptamak üzere *Area* ve *InCurves* bileşeni sırasıyla kullanılmıştır. Daha sonra *Cull* komutları kullanılarak bu veriler ayrıştırılmıştır. Kuadrat analizindeki ızgara büyüklüğü verisindeki rakamın karesi *Sqr* komutu ile alınarak, elde edilen sonuç *Series* bileşeniyle bir dizim haline getirilmiştir. Bu dizim verisi daha sonra hiperyüzey oluşturma modülünde kullanılacaktır. Sonuç modül ile kuadrat analizi modülü arasındaki bağıntı Şekil 3.6'dan incelenebilir.



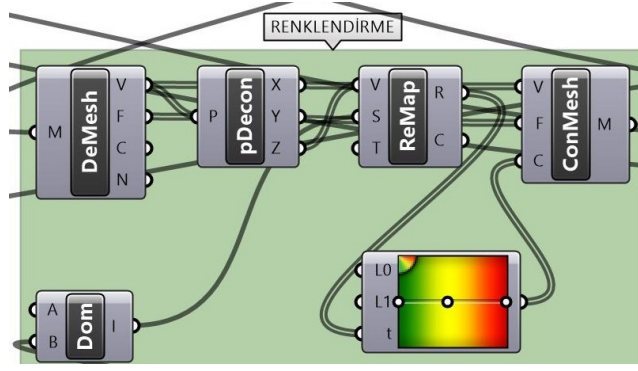
Şekil 3.6 İlgilenen alan modülü ile kuadrat analizi modülü arasındaki bağıntı

4.2.2.4 Hiperyüzey Modülü

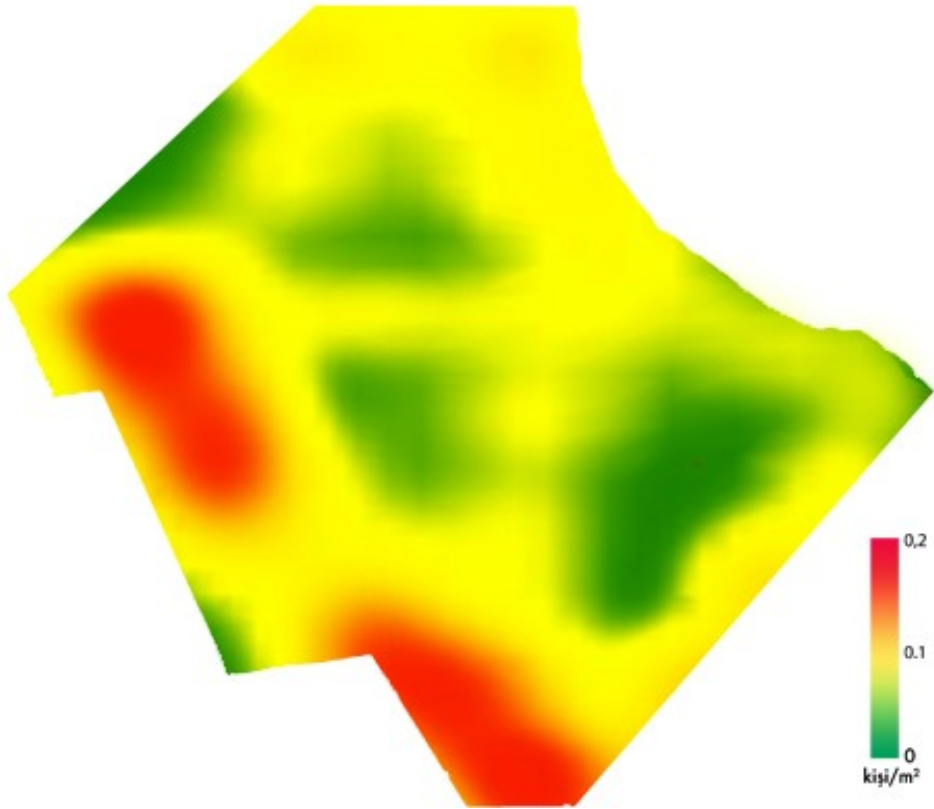
Hiperyüzey oluşturma modülünde öncelikle kuadrat analizi modülündeki Rec bileşeninde saniyede bir kaydedilen veriler, *Mass Addition* (MA) bileşenine bağlanarak üst üste bindirilmektedir. Daha sonra *Replace* bileşenine bu toplam ve bir önceki bölümdeki *Index* ve *Series* komutlarından gelen veri aktarılmakta ve oluşacak hiperyüzeyin z boyutu hesaplanmaktadır. Z boyutu oluşturulurken ayrıca bir bölme işlemi gerçekleştirilmektedir. Bu bölme işlemi nihai tasarıma etki etmese de, renklendirme sürecini etkilemektedir. Yüksekliğin z boyutunun kısaltılmasıyla analizin üç boyutlu görselinin algısı kolaylaştırmaktadır. Analiz lejantı oluşturulurken bu bölme işleminin gerçekleşmemesi için 1 değeri kullanılmış, ancak analizin gözlemlenmesi durumunda bu değer 10 olarak kullanılmıştır (Şekil 3.7).



Şekil 3.7 Bölme işleminin olmadığı hiperyüzey (solda), yüksekliğinin 10'a bölümü ile oluşan hiperyüzey (sağda)



Şekil 3.9 Renklendirme modülü

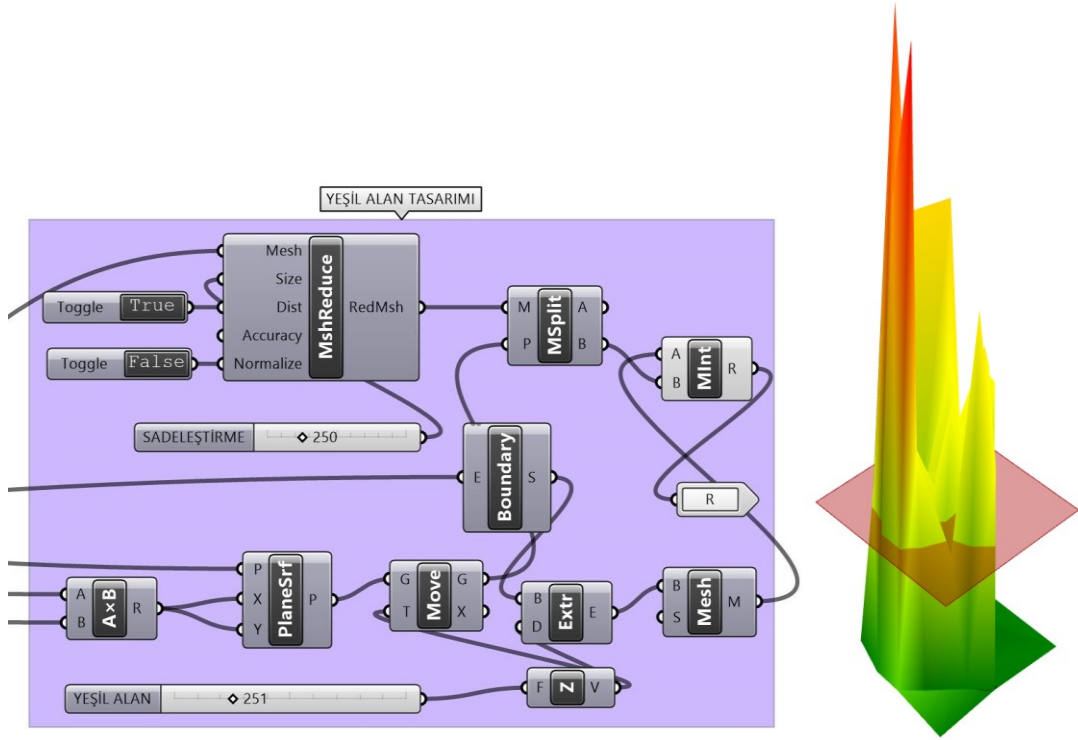


Şekil 3.10 Analiz sonucu

4.2.2.6 Yeşil Alan Tasarımı Modülü

Bu modülün temel işlevi özet olarak oluşturulan hiperyüzden bir tasarım çıkarmadır. Bunu yapmak için öncelikle hiperyüzey bir yüksekliğe kadar z boyutunda kesilmiş, ve alt tarafında kalan alan yeşil alan olarak belirlenmiştir. Ancak tasarımın

uygulanabilirliğini artırmak adına poligonal geometride alanların belirtilmesi amaçlanmıştır. Bunu yapmak için ise hiperyüzeyden devşirilen ve üçgenlerden oluşan bir örüntü (*mesh*) haline getirilmiştir (Şekil 3.11).



Şekil 3.11 Yeşil alan tasarımı modülü (solda), yeşil alan oluşumunun mantığı (sağda)

Oluşan hiperyüzeye renklendirme lejantı uygulandıktan sonra *MshReduce* bileşenine aktarılarak, hiperyüzey üçgenlerle tanımlı bir örüntü haline getirilmiştir. *MshReduce* bileşenine giren bir diğer parametre de oluşacak yüzeyin toplam üçgen sayısıdır. Bu noktada sadeleştirme süreci gerçekleşmektedir. Sayı ne kadar az olursa, o kadar az poligonlu bir tasarım ortaya çıkmaktadır. Diğer yandan ızgara büyüklüğünden alınan verilerin *PlaneSrf* bileşenine bağlanması ile plansal bir düzlem oluşturulmuştur. Bu düzlem ve ilgilenen alan sınırı bileşeni olan *Boundary*, z boyutunda yükseltilmiş ve *Extr* komutu ile hacimleştirilmiştir. Bu hacim daha sonra hiperyüzeyle kesiştirilip, yeşil alan tanımlamadaki eşik değeri belirlemektedir. Bu kesişimi sağlamak için *MSplit* ve daha sonrasında da *MInt* komutları kullanılmıştır. Kesişim sonucu oluşan yüzeyin alanı hesaplanmış, istenilen yeşil alan büyüklüğü

doğrultusunda bu kesişim belirlenmektedir. Algoritma sonucunda elde edilen nihai tasarım Şekil 3.12 deki gibidir.

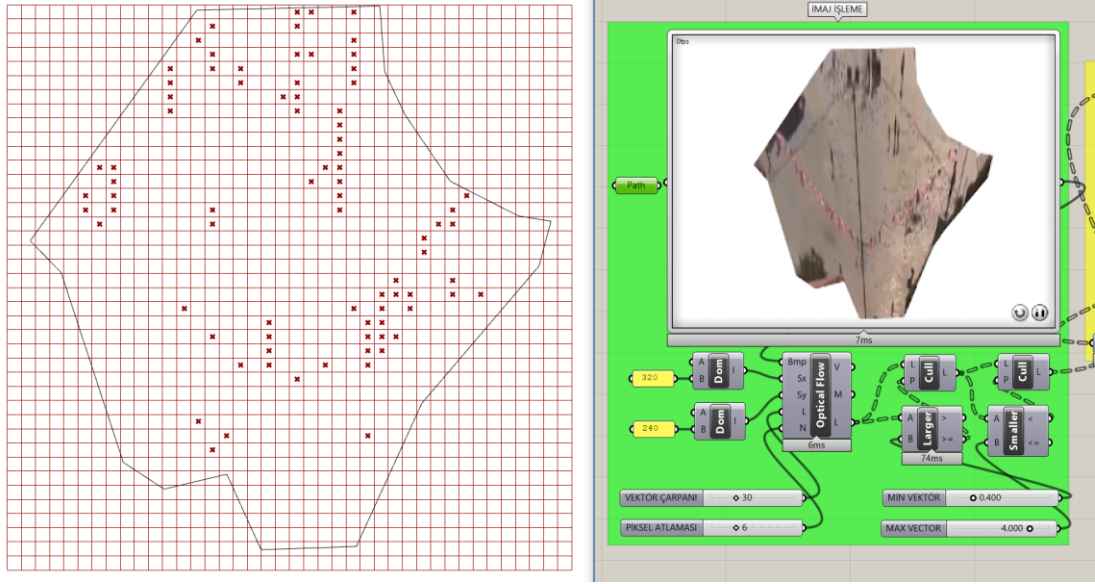


Şekil 3.12 Nihai tasarım

4.3 Algoritmanın Zayıf Yönleri

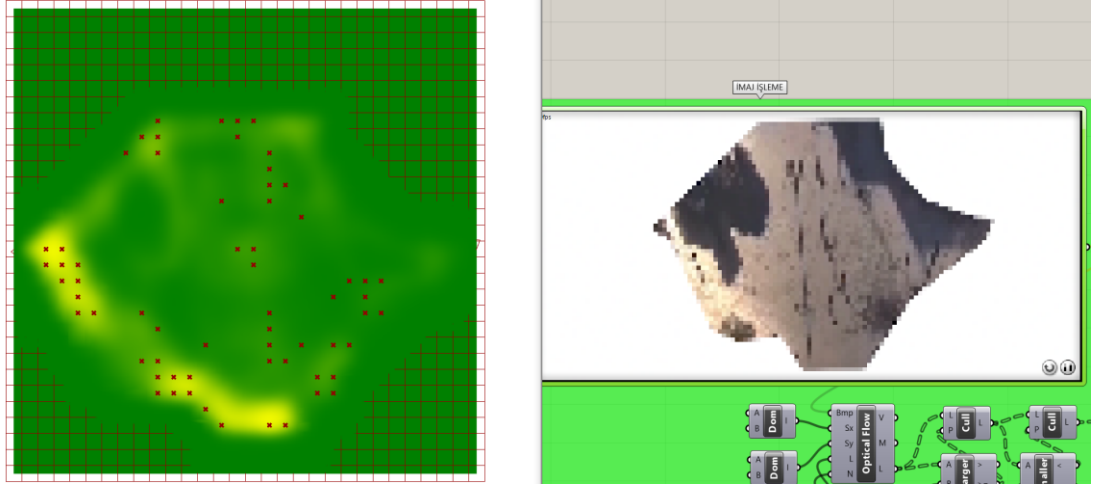
Algoritmanın birtakım zayıf yönleri bulunmaktadır. Bu zayıflıkların en temeli alana bakan kamera ile alan arasına giren objelerdir. Bu çalışmada kamera açısına giren en belirgin obje meydanın ışılandırma direğidir. Diğer nesneler ise meydanın Güney-Doğu köşesinde bulunan duvarları ve meydanın kuzeyindeki Atatürk heykelidir. Bazı tarihlerde flamaların asılması ise diğer bir geçici handikaptır (Şekil 3.13). Bu görsel

engellerin arkasında kalan hareketler algoritmanın ‘*optical flow*’ bileşeni tarafından algılanmamakta ve sonuca az da olsa etki etmektedir.



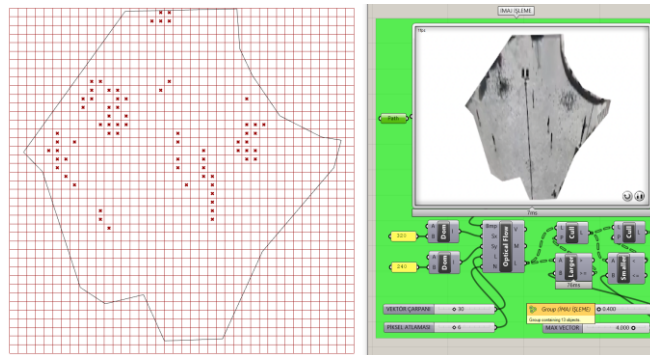
Şekil 3.13 Alandaki kamera açısına giren flamalar

Diğer bir zayıf nokta ise gün batımında meydanın çevresindeki ağaçların gölgesidir. Kameraların ‘yüksek dinamik menzil’inden (*high dynamic range – HDR*) dolayı kaydedilen görüntü, insan gözünün algıladığı kadar koyu renklerle açık renkleri ayrıştırılamamaktadır. Yüksek dinamik menzili anlatmak için küçük bir örnek vermek gerekirse, bir mağara içerisinde bulunan bir insanı görüntülemek isteyen bir kamera, insan gözünün algıladığı kadar net bir şekilde figürleri kaydedemez. Bu nedenle yüksek dinamik menzil ile ilgili fotoğraf çekimi yapılması gerektiğinde açık, normal ve koyu olarak üç ayrı ayarla birlikte çekim yapılmalı ve daha sonra bu görseller yazılımla birleştirilmelidir. Ancak video çekimlerinde ise HDR kullanmak olanaksızdır. Elde edilen video görüntüleri algoritmayla birlikte izlendiğinde, özellikle gün batımında gölge alanda kalan insan hareketlerinin algoritma tarafından algılanmadığı gözlemlenmiştir. Alanın doğusunda herhangi bir büyük obje olmadığı için bu durum gün doğumunda söz konusu değildir (Şekil 3.14).



Şekil 3.14 Gün batımında oluşan ağaç gölgelerinin analize etkisi

Algoritmayı şaşırtan bir diğer unsur ise mekân kullanıcılarının meydana gelen güvercinleri besleme eylemidir. Güvercinlerin normal zamandaki hareketleri ve uçuşlarının algılanmaması için algoritmada küçük vektörlerin elenmesi sağlanmıştır. Böylelikle kuşların video görüntüsündeki kapladığı alan ve bu alanın hareketi algoritma tarafından göz ardı edilmektedir. Ancak yem atıldığında, güvercinler bir öbek oluşturarak görselde büyük bir obje gibi görünmektedir. Bu büyük karaltının hareket etmesiyle algoritma bunu insan gibi algılayarak yanlış saptama yapmaktadır (Şekil 3.15). Tüm değinilen zayıf yönler doğrultusunda düzenlenen algoritma Şekil 4.16'daki gibidir.



Şekil 3.15 Meydanda güvercinleri beslenirken yoğunlaşmasının analize etkisi

4.4.1 Tasarımdaki Poligonların Alan Üzerine Çizimi

Öncelikle elde edilen tasarım vektörel çizim yazılımı olan *Archicad*'e aktarılmıştır. Alanın halihazır planı eski olduğu için gözlem yapılmak üzere sahaya gidilmiştir. Hâlihazır plan ile mevcut durumda kesişen ve tüm alanı gören noktalar olarak kilisenin bahçe kapıları seçilmiştir. Seçilen kapılardan üçgenleme yapılarak tasarımın poligonlarının koordinatları belirlenmiştir. Boyama atölyesinden bir gün önce alana gidilip lazer metre kullanılarak poligonlar zemine işaretlenmiştir.

4.4.2 Tasarımın Meydana Boyanması

Tasarım meydana çizildikten sonra, 'İyi Tasarım İzmir 2' etkinliği kapsamında gerçekleştirilen bir atölye kapsamında zemine uygulanmıştır. Uygulama çalışması mimarlık öğrencilerinin ve mekân kullanıcılarının katılımıyla gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.17, Şekil 3.18). Uygulama malzemesi olarak doğaya ve çevreye zarar vermemesi bakımından gıda boyası kullanılmıştır.



Şekil 3.17 Alanın boyanması (Kişisel arşiv, 2017)



Şekil 3.18 Uygulama Sonrası Alan (Kişisel arşiv, 2017)

4.5 Bölüm Sonucu

Algotirma sonuç olarak otomatize edilmiş bir tasarım yöntemi geliştirmektedir. Analiz yöntemine alandan gelen boyut, kamera açısı, video kaydı esnasındaki kullanıcı tepkileri gibi bir çok parametreler bulunmaktadır. Bu değişken parametreler yukarıda belirtildiği gibi algoritmada yaya tespitine maksimum derecede artıracak şekilde düzenlenmiştir. Algoritmanın tasarımının performansı, manuel yöntemlerle elde edilen tasarımlarla kıyaslanarak bir sonraki bölümde ele alınmaktadır. Sonuç olarak elde edilen algoritmanın açılımı çalışmanın sonunda Ek 1'deki gibidir.

Geliştirilen algoritmanın başka alanlarda kullanılabilmesi adına *Grasshopper* içerisinde bir küme (*cluster*) oluşturulmuştur. Kümenin girdileri çözünürlük, vektör çarpanı, minimum ve maksimum vektör, grid sayısı, yeşil oranı ve tasarım sadeleştirme parametreleridir. Bunun yanı sıra 0 4.2.1.2 İlgilenilen Bölgenin Seçimi bölümünde belirtildiği üzere, videonun maskelendiği sınırlar vektörel olarak tanımlanmış bir *Curve* bileşeni ile algoritmaya tanıtılmalıdır. Bu çalışma sonucunda tasarımcıların algoritmayı kullanırken etkileşim kuracağı arayüz Ek 1'deki gibidir.

BÖLÜM BEŞ

ALGORİTMANIN ÜRETTİĞİ TASARIMIN KONVANSİYONEL YÖNTEMLERLE ELDE EDİLEN TASARIMLAR İLE KARŞILAŞTIRILMASI

Günümüzün dijital çağında algoritmaların ve yapay zekanın ürettiği çözümlerden bir çok alanda yararlanılmaktadır (M. Ali ve diğer., 2013). Ancak bu sayısal araçların kullanımının performans derecesi tartışılmalıdır. Bu noktadan hareketle bu çalışma için geliştirilen algoritma, konvansiyonel yöntemlerle elde edilen tasarımlarla karşılaştırılmıştır. Çalışmada konvansiyonel yöntem olarak, alana ilişkin çeşitli iki boyutlu ve üç boyutlu görsellerin incelenmesi ve alanın farklı zamanlardaki video görüntülerinin seyrettirilerek tasarımcıların izlenimleri doğrultusunda biçimlendirdiği tasarımlar ele alınmıştır.

Tasarımcılar ile birlikte yapılan atölye çalışması açıklanmakta, atölyenin özellikleri 5.1 bölümünde aktarılmakta ve tasarımcı profilleri 5.2 bölümünde irdelenmektedir. Mimarlık bölümü öğrencileri ve profesyonel mimarlar ve peyzaj mimarları ile yapılan atölyelerde alana ilişkin elde edilen yeşil alan düzenlemeleri gösterilmektedir. Düzenlenen atölyelerde elde edilen tasarımların performans değerleri ele alınmaktadır. Elde edilen tasarımlar ile algoritmanın ürettiği tasarım, videolardan manuel gözle sayım yöntemiyle elde edilen nokta bulutunun oluşturduğu veri seti üzerinden karşılaştırılmıştır. Algoritmanın ürettiği tasarım atölye çalışmaları sonucunda elde edilen tasarımlar ile kıyaslanarak çalışmanın etkinliği sonuçlandırılmıştır.

Karşılaştırma yöntemi olarak farklı nitelikte tasarımcılardan yararlanılmıştır. İlk kategoride farklı sınıflardan mimarlık öğrencileri ile birlikte bir tasarım atölye çalışması yapılmıştır. İkinci kategoride bir mimarlık ofisinin mimarlık ve peyzaj mimarlığı disiplininin mezun çalışanları ile aynı atölye düzenlenmiştir. Böylelikle algoritmanın performansının, sadece eğitim gören ve tasarım nosyonu tam olarak gelişmemiş tasarımcılar üzerinden değil, profesyonellerin ürettiği tasarımlarla da karşılaştırılması amaçlanmaktadır.

5.1 Tasarım Atölyesinin Kurgusu

Tasarımcılara öncelikle alanın 1/500 ölçekte A4 boyutunda halihazır planları verilmiştir (Şekil 4.1). Ardından alanın kent içindeki konumu aktarılmış ve uydu fotoğrafları üzerinden bağlamına ilişkin özellikleri gösterilmiştir. Ayrıca, alandan insan gözü perspektifinden çekilmiş fotoğraflar ve sanal gerçeklik teknikleri ile elde edilen 360 derece sanal gerçeklik görüntüleri VR gözlüğü kullanılarak gösterilmiştir. Böylelikle tasarımcıların mekânı daha iyi kavramaları ve tasarlayacakları alanın ölçek olarak algılamaları sağlanmıştır. Bunun yanında sanal gerçeklik ortamında kaydedilen görüntü insan göz seviyesinde olduğu için, tasarımcıların mekânı insan ölçeğinden algılamasına katkı koymaktadır (Şekil 4.2).

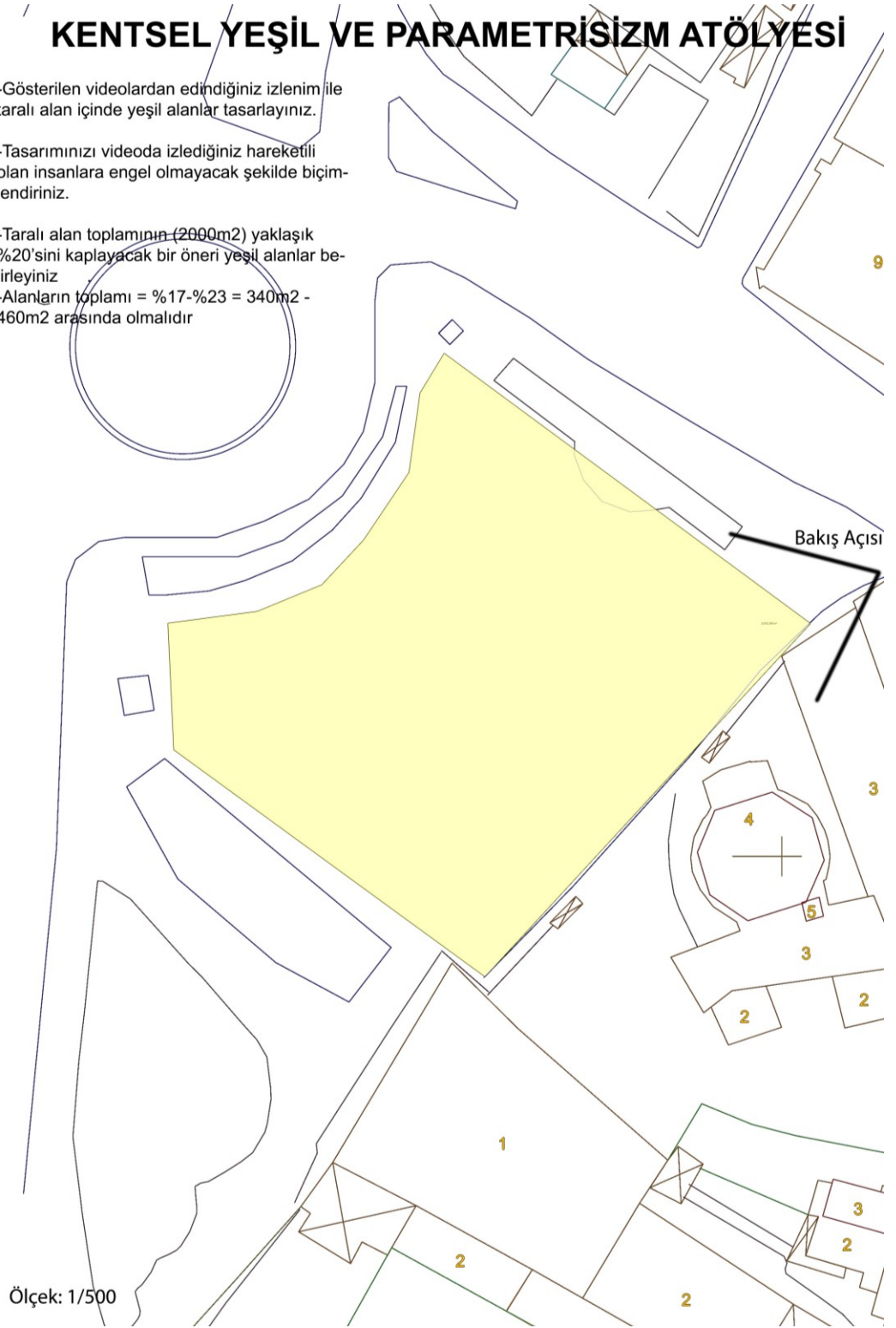
KENTSEL YEŞİL VE PARAMETRİSİZM ATÖLYESİ

-Gösterilen videolardan edindiğiniz izlenim ile taralı alan içinde yeşil alanlar tasarlayınız.

-Tasarımınızı videoda izlediğiniz hareketli olan insanlara engel olmayacak şekilde biçimlendiriniz.

-Taralı alan toplamının (2000m²) yaklaşık %20'sini kaplayacak bir öneri yeşil alanlar belirleyiniz

-Alanların toplamı = %17-%23 = 340m² - 460m² arasında olmalıdır



Şekil 4.1 Tasarımcılara verilen halihazır vaziyet planı ve talimatlar



Şekil 4.2 Bornova Cumhuriyet Meydanı'nda çekilen panoramik görüntünün sanal gerçeklik gözlüğü ile tasarımcılar tarafından deneyimlenmesi (Kişisel arşiv, 2018)

Alandan çekilen videolardan elde ettiği gözlemleri ve/veya tasarımı yapacağı planın üzerinde şu bilgiler yer almaktadır:

- Gösterilen videolardan edindiğiniz izlenim ile taralı alan içinde yeşil alanlar tasarlayınız.
- Tasarımınızı videoda izlediğiniz hareketli olan insanlara engel olmayacak şekilde biçimlendiriniz.
- Taralı alan toplamının (2000 m²) yaklaşık %20'sini kaplayacak öneri yeşil alanlar belirleyiniz.
- Alanların toplamı = %17 - %23 = 340 m² - 460 m² arasında olmalıdır.

Atölyenin devamında tasarımcılara alana ilişkin farklı zaman diliminde çekilmiş video görüntüleri hızlandırılarak gösterilmiştir (Şekil 4.3). Bu süreçte 1/500 ölçekli plana analiz ve eskiz yapmaları istenmiştir. Sonuç tasarımlarını gerekirse dağıtılan

ikinci A4 planlara işlemleri istenmiştir. Tasarımı oluştururken tanımlı bir yeşil alan çeperinin net bir şekilde çizilmesi gerektiğinin üzerinde durulmuştur. Böylelikle sayısal ortama aktarım sürecinde tanımsız alan probleminden kaçınılmıştır.



Şekil 4.3 Alanın video görüntüleri hızlandırılarak tasarımcılara izletilmesi (Kişisel arşiv, 2018)

5.2 Tasarımcı Profillerine Göre Elde Edilen Öneriler

Algoritmanın geliştirdiği tasarımı karşılaştırmak için, farklı tasarımcı profilleri ile atölyeler düzenlenmiştir. Düzenlenen atölyelerin sonucunda alana ilişkin 10 öğrenci tasarımı ve 22 profesyonellerden olmak üzere toplam 32 adet tasarım elde edilmiştir. Tasarımcıların profilleri Tablo 4.1den incelenebilir.

Tablo 4.1 Tasarımcıların profilleri, öğrenciler (üst), profesyoneller (alt)

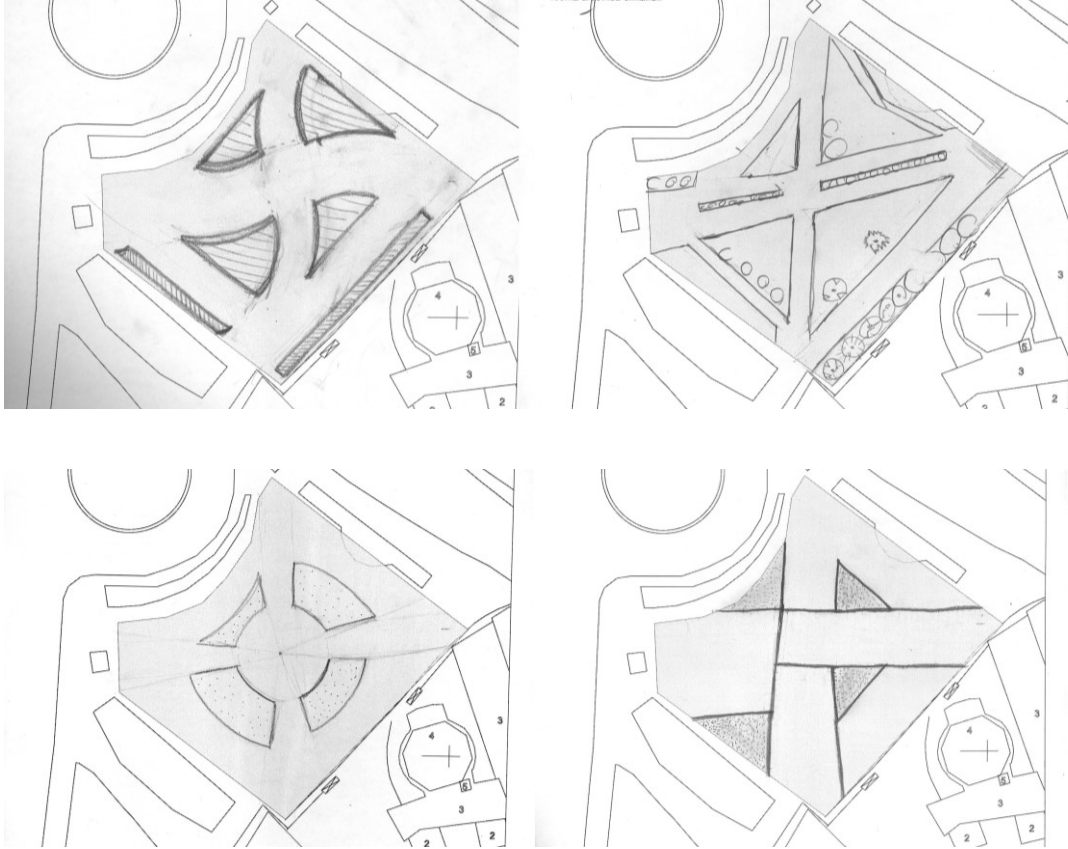
Kod	Üniversite	Bölüm	Cinsiyet	Tecrübe (Yıl)
O1	D.E.Ü.	Mimarlık	K	2
O2	D.E.Ü.	Mimarlık	K	1
O3	D.E.Ü.	Mimarlık	E	3
O4	D.E.Ü.	Mimarlık	E	1
O5	D.E.Ü.	Mimarlık	E	3
O6	D.E.Ü.	Mimarlık	K	2
O7	D.E.Ü.	Mimarlık	E	3
O8	D.E.Ü.	Mimarlık	E	3
O9	D.E.Ü.	Mimarlık	E	2
O10	D.E.Ü.	Mimarlık	K	3
P1	Selçuk Ü.	Mimar	K	21
P2	Gazi Ü.	Mimar	E	15
P3	Gazi Ü.	Mimar	K	15
P4	ODTÜ	Mimar	K	3
P5	İTÜ	Mimar	K	3
P6	ODTÜ	Mimar	K	9
P7	Gazi	Mimar	K	1
P8	Gazi Ü.	Mimar	E	16
P9	İstanbul Ü.	Peyzaj Mimarı	K	7
P10	Çantaka Ü.	Mimar	K	2
P11	Gazi Ü.	Mimar	K	2
P12	Gazi Ü.	Mimar	K	2
P13	Çantaka Ü.	Mimar	K	1
P14	Osmangazi Ü.	Mimar	E	14
P15	Gazi Ü.	Mimar	K	3
P16	İTÜ	Mimar	E	6
P17	Çukurova Ü.	Peyzaj Mimarı	K	7
P18	İTÜ	Mimar	K	4
P19	Bilkent Ü.	Peyzaj Mimarı	K	10
P20	Bilkent Ü.	Mimar	K	1
P21	Gazi Ü.	Mimar	E	2
P22	İYTE	Mimar	E	1

5.2.1 Mimarlık Bölümü Öğrencileri İle Yapılan Tasarım Atölyesi

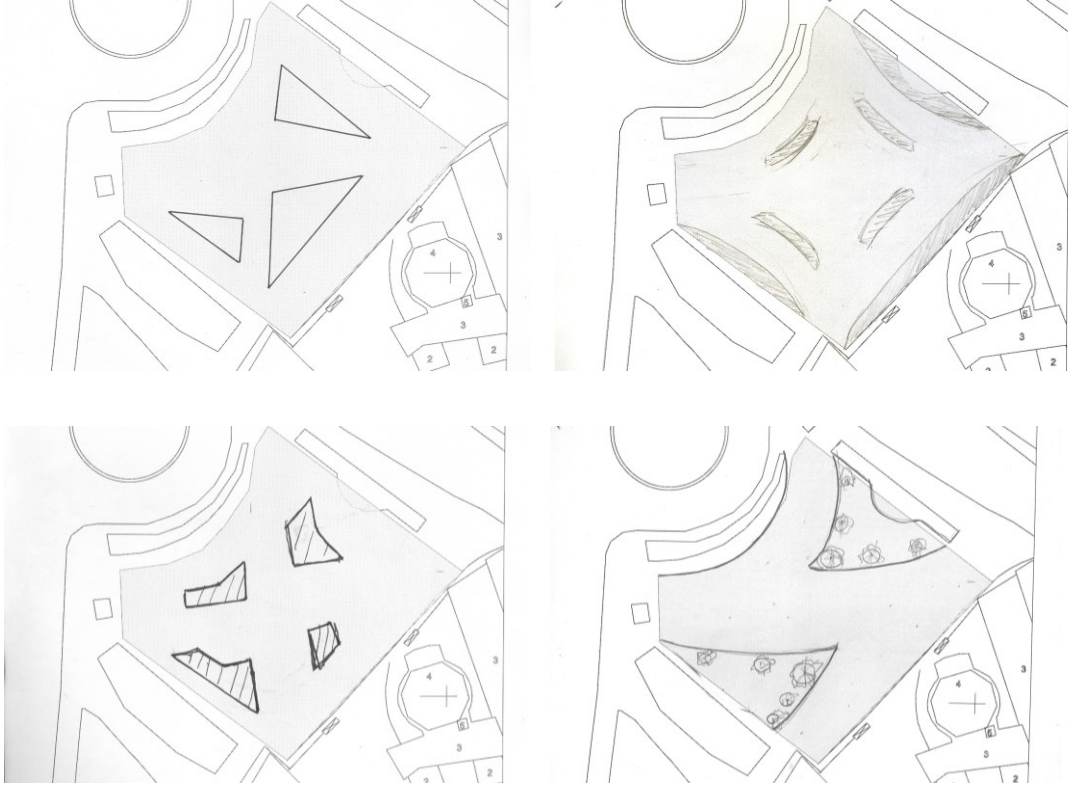
12 Haziran 2018 tarihinde, Mimarlar Odası İzmir Şubesi’nde mimarlık öğrencileri ile “Kentsel Tasarım ve Parametrisizm” başlıklı atölye düzenlenmiştir (Şekil 4.4). On mimarlık öğrencisinin katıldığı atölye, 0 bölümünde açıklanan kurgu ile düzenlenmiştir. Atölyenin sonucunda elde edilen tasarımlar aşağıdaki gibidir (Şekil 4.5, Şekil 4.6, Şekil 5.7).



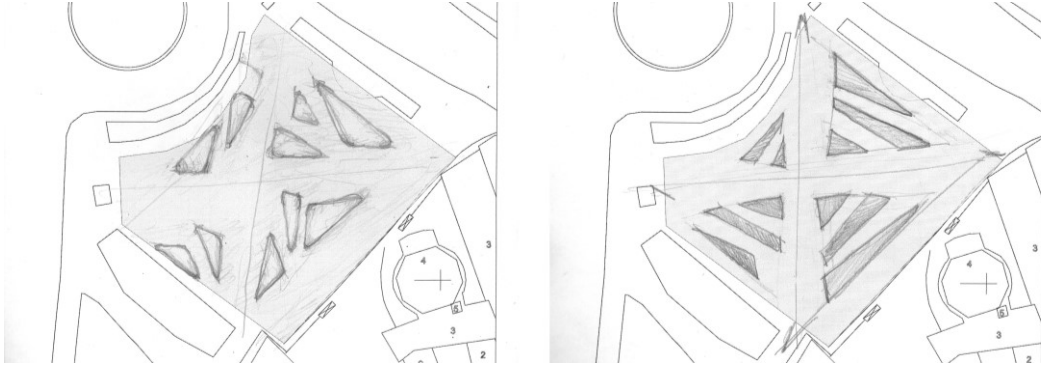
Şekil 4.4 Mimarlar Odası İzmir Şubesi'nde gerçekleştirilen atölye (Kişisel arşiv, 2018)



Şekil 4.5 Öğrenci deneklerin yeşil alan tasarımları: O4 (sol üst), O5 (sağ üst), O9 (sol alt), O6 (sağ alt)



Şekil 4.6 Öğrenci deneklerin yeşil alan tasarımları: O3 (sol üst), O1 (sağ üst), O8 (sol alt), O2 (sağ alt)

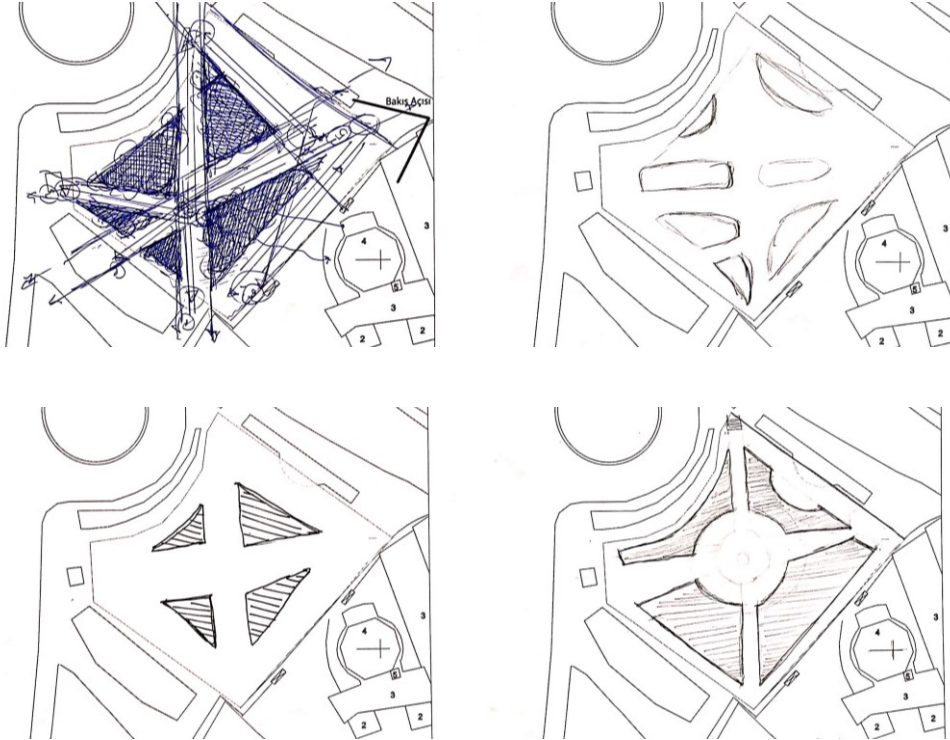


Şekil 4.7 Öğrenci deneklerin yeşil alan tasarımları: O10 (sol), O7 (sağ)

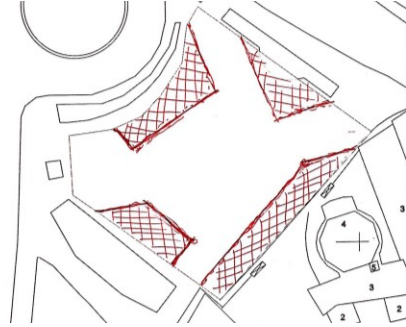
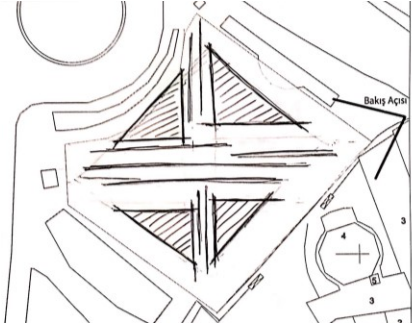
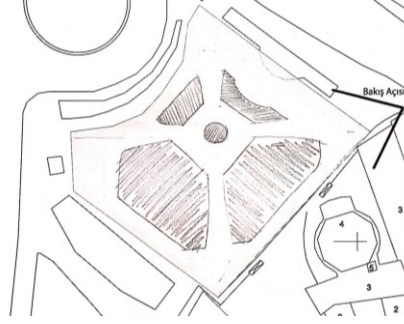
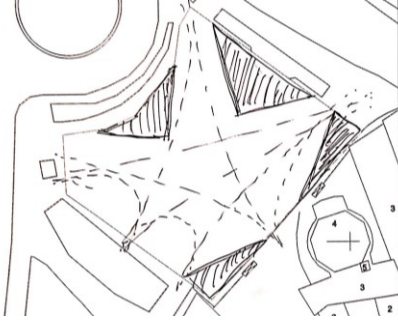
Meydan bir dikdörtgen olarak ele alınırsa sirkülasyon akslarının meydanın zıt köşelerini birbirine bağlayan iki temel diyagonal aks algılanmaktadır. Tasarımlar incelendiğinde, birçoğunun meydandaki diyagonal sirkülasyon dikkate alınarak planlandığı gözlemlenmektedir. Böylelikle birçok tasarımda meydanı dört eşit parçaya ayıran üçgenler kurgulanmaktadır. Parçalı yapıdaki tasarımlarda da parçalanma mantığının yukarıda bahsedilen geometrik şekillenmeye uygun olarak biçimlendiği görülmektedir.

5.2.2 Profesyonel Mimarlar Ve Peyzaj Mimarları İle Yapılan Tasarım Atölyesi

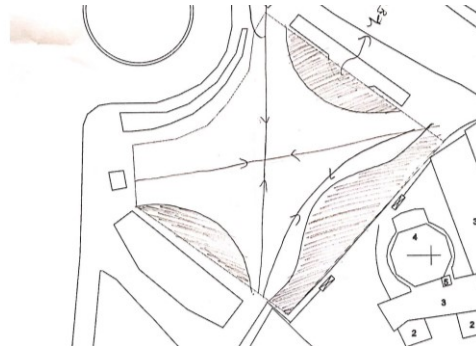
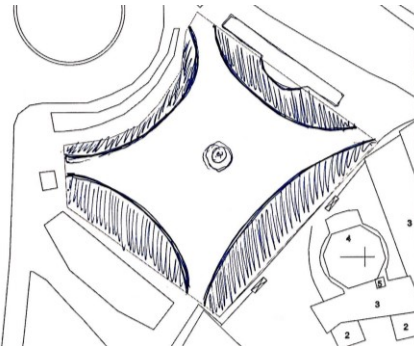
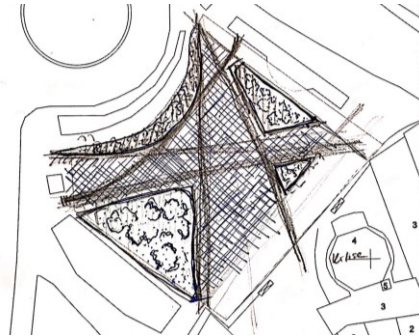
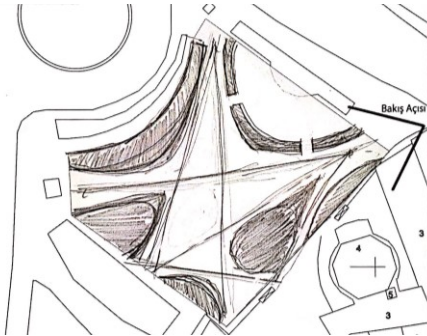
Profesyonel mimarlar ve peyzaj mimarlarıyla ise Ankara’da Hilmi Güner’in mimarlık bürosunda, Nilay Aydoğmuş Çelebi’nin koordinatörlüğünde bir atölye düzenlenerek tasarımlar elde edilmiştir. Atölyenin gerçekleştirildiği mimarlık ofisinde çok farklı profillerde tasarımcılar bulunmaktadır. 3 peyzaj mimarı ve 19 mimardan oluşan atölye grubunun mesleki tecrübesi 21 yıl ile 1 yıl arasında değişkenlik göstermektedir. 6 erkek 16 kadın tasarımcının oluşturduğu deney grubunda Gazi Üniversitesi’nden 8 kişi, İstanbul Teknik Üniversitesi’nden 3 kişi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi’nden 2 kişi, Bilkent Üniversitesi’nden 2 kişi, Çankaya Üniversitesi’nden 2 kişi, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü’nden 1 kişi, Selçuk Üniversitesi’nden 1 kişi, İstanbul Üniversitesi’nden 1 kişi, Çukurova Üniversitesi’nden 1 kişi ve Osmangazi Üniversitesi’nden 1 mezun bulunmaktadır. Atölyeden elde edilen tasarımlar aşağıdaki gibidir (Şekil 4.8, Şekil 4.9, Şekil 4.10, Şekil 4.11, Şekil 4.12, Şekil 4.13).



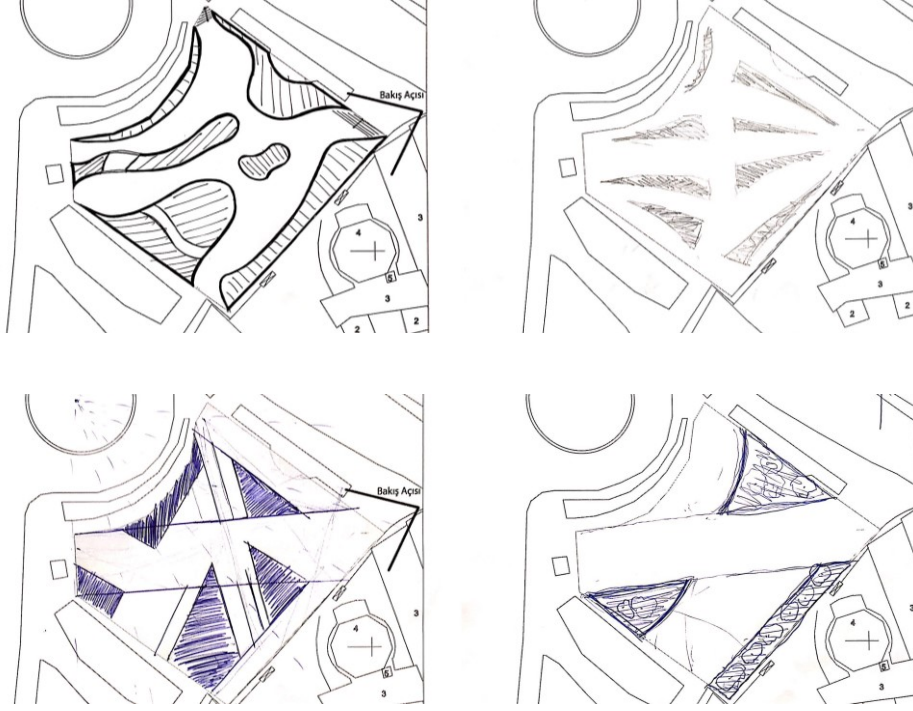
Şekil 4.8 Profesyonellerin yeşil alan tasarımları: P16 (sol üst), P21 (sağ üst), P14 (sol alt), P19 (sağ alt)



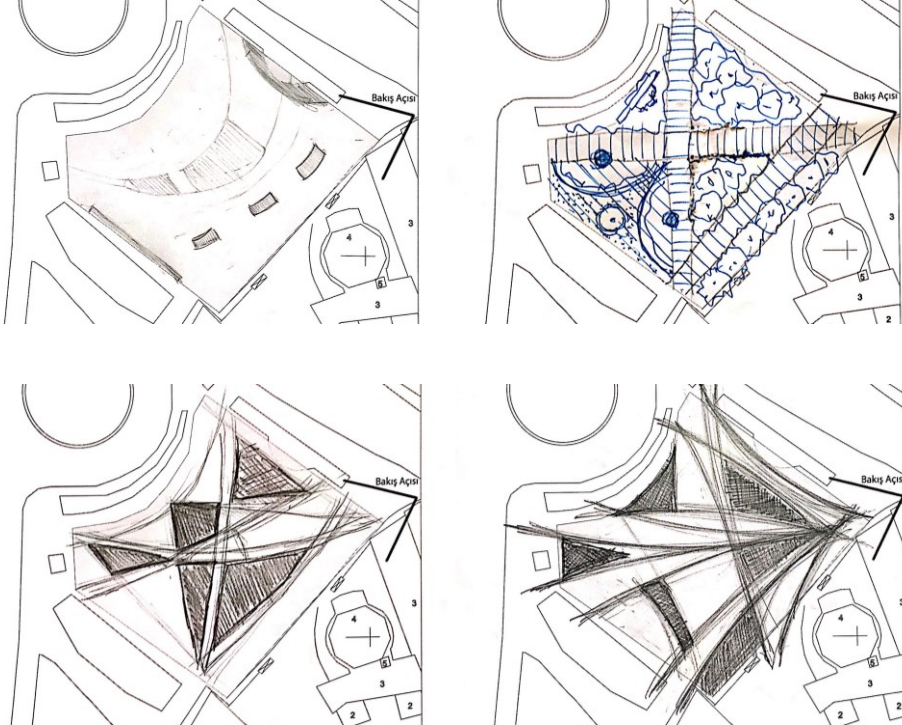
Şekil 4.9 Profesyonellerin yeşil alan tasarımları: P4 (sol üst), P18 (sağ üst), P6 (sol alt), P3 (sağ alt)



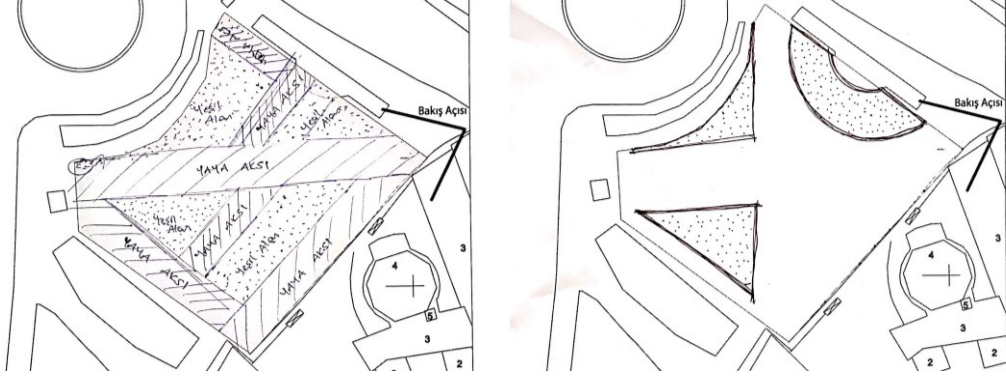
Şekil 4.10 Profesyonellerin yeşil alan tasarımları: P20 (sol üst), P12 (sağ üst), P9 (sol alt), P5 (sağ alt)



Şekil 4.11 Profesyonellerin yeşil alan tasarımları: P10 (sol üst), P13 (sağ üst), P22 (sol alt), P1 (sağ alt)



Şekil 4.12 Profesyonellerin yeşil alan tasarımları: P17(sol üst), P2 (sağ üst), P15 (sol alt), P7 (sağ alt)



Şekil 4.13 Profesyonellerin yeşil alan tasarımları: P11 (sol), P8 (sağ)

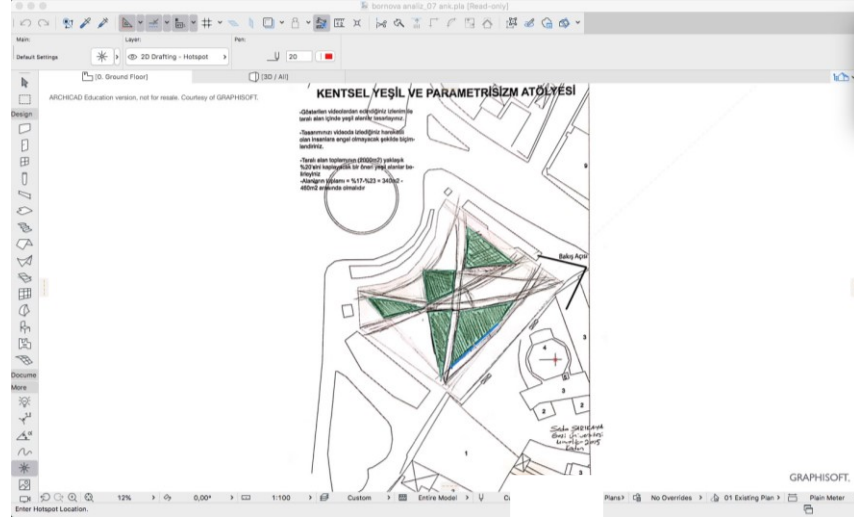
5.3 Tasarımların Karşılaştırılması

Gerçekleştirilen 2 atölyeden elde edilen tasarımlar taranarak dosyalanmıştır. Daha sonra vektörel formata dönüştürülmüş, tasarımcı katmanlarına ayrılmış bir çizim dosyası oluşturulmuştur. Oluşturulan dosya daha sonra parametrik tasarım yöntemleri ile analiz edilmiştir. Analizin performans kriteri, tasarımcının belirlediği yeşil alanın içinde, veri havuzunu oluşturan nokta bulutundaki öğeleri kapsamaları ile ters orantılıdır. Performansı oluşturan birim ise tasarlanan alana göre 1 metrekareye düşen ortalama nokta (insan) sayısıdır. Bu konu detaylı bir şekilde '0 5.3.3 Tasarım Performansı Kriterleri' bölümünde irdelenmektedir.

5.3.1 Tasarımların Vektörel Formata Dönüştürülmesi

Bilindiği gibi çizim programları ve dolayısıyla sayısal grafikler raster ve vektörel olarak ikiye ayrılmaktadır. Raster formatı piksel bazlı küçük noktalara atanan renk değerlerinin kompozisyonu ile oluşmaktadır. Vektörel grafiklerde ise şekiller matematiksel denklemlerle tanımlanmaktadır. Elde edilen tasarımların sayısal ortamda parametrik tasarım yöntemleri kullanılabilmesi için vektörel formata geçirilmesi zorunludur.

Yukarıda bahsedilen geçişi sağlamak için tasarımlar tarandıktan sonra Archicad yazılımına raster olarak aktarılmıştır. Görseller katmanlarına ayrıldıktan sonra her bir tasarımın üzerinden geçilerek tasarımlar vektörel formata getirilmiştir (Şekil 4.14).



Şekil 4.14 Tasarımların Archicad yazılımı ortamında, raster formattan vektörel formata getirilmesi aşamasındaki örnek bir ekran görüntüsü

5.3.2 Tasarımların Manuel Sayımla Elde Edilen Nokta Bulutuyla Çakıştırılması

Tasarımların performansının sınanması için videodaki veriler ile tasarımlar üst üste çakıştırılmıştır. Bu noktada manuel yöntemler kullanılarak, video görselleri üzerindeki her bir yaya işaretlenmektedir. Böylelikle alana ilişkin yayalardan elde edilen nokta bulutu oluşturulmuştur.

5.3.2.1 Nokta Bulutunun Oluşturulması

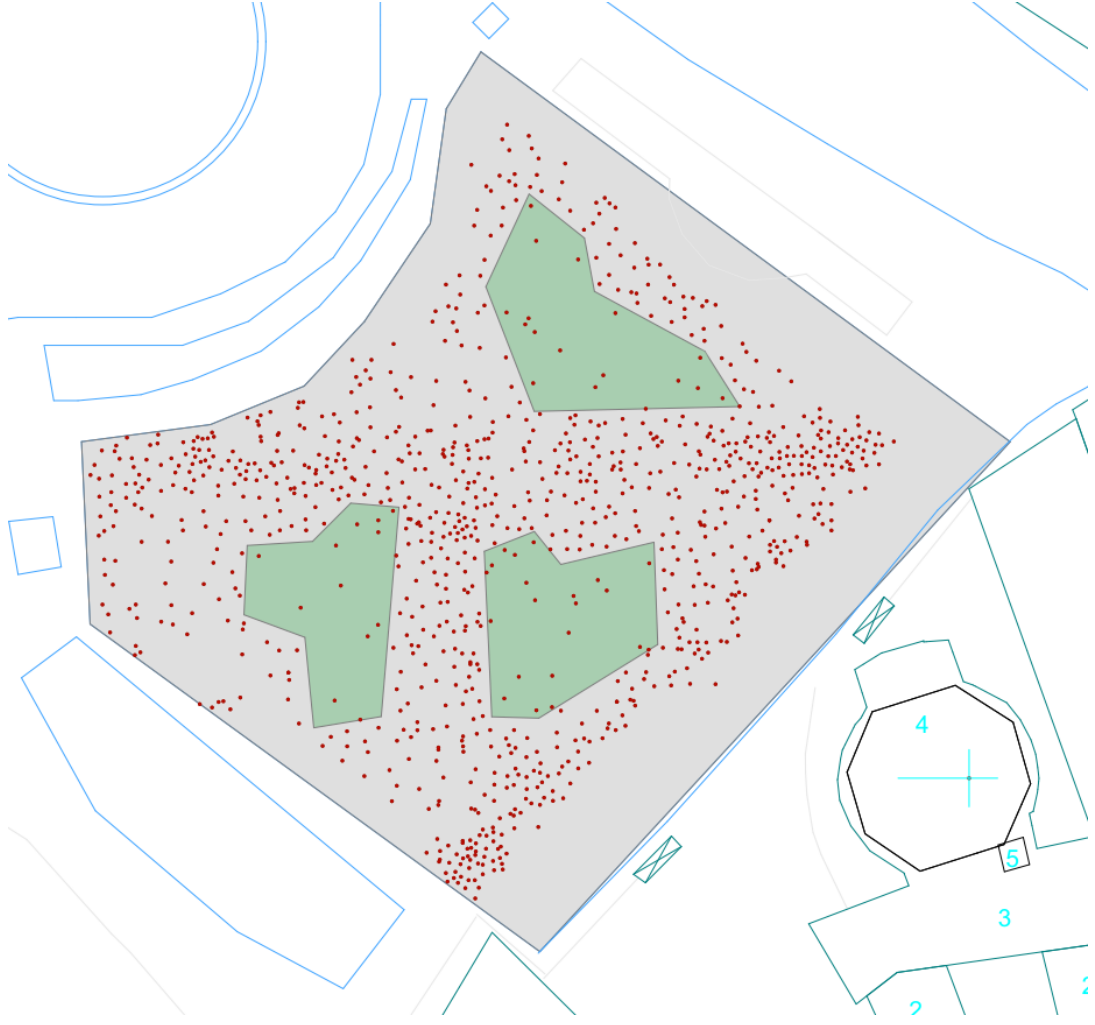
Öncelikle kaynak videolardan her 10 saniyede bir görüntü alınarak kaynak resimler elde edilmiştir (Şekil 4.15). Bu görseller daha sonra perspektifleri düzeltilerek plansal düzleme oturtulmuştur (Şekil 4.16). Daha sonra perspektifi düzeltilmiş her bir görüntüdeki insanlar işaretlenerek nokta bulutu oluşturulmuştur. Sonuç olarak toplamda 1608 adet nokta tespit edilmiştir (Şekil 4.17).



Şekil 4.15 Videolardan elde edilen görsellerin bir bölümü



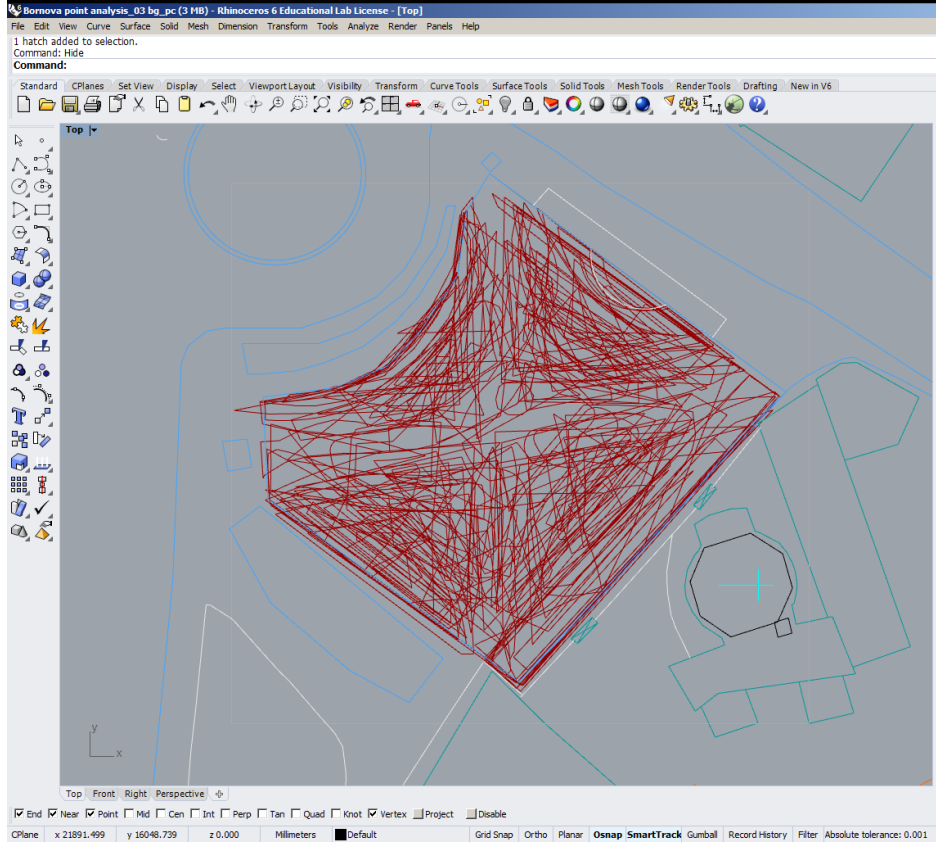
Şekil 4.16 Görsellerin perspektiflerinin düzeltilerek plansal düzleme oturtulması



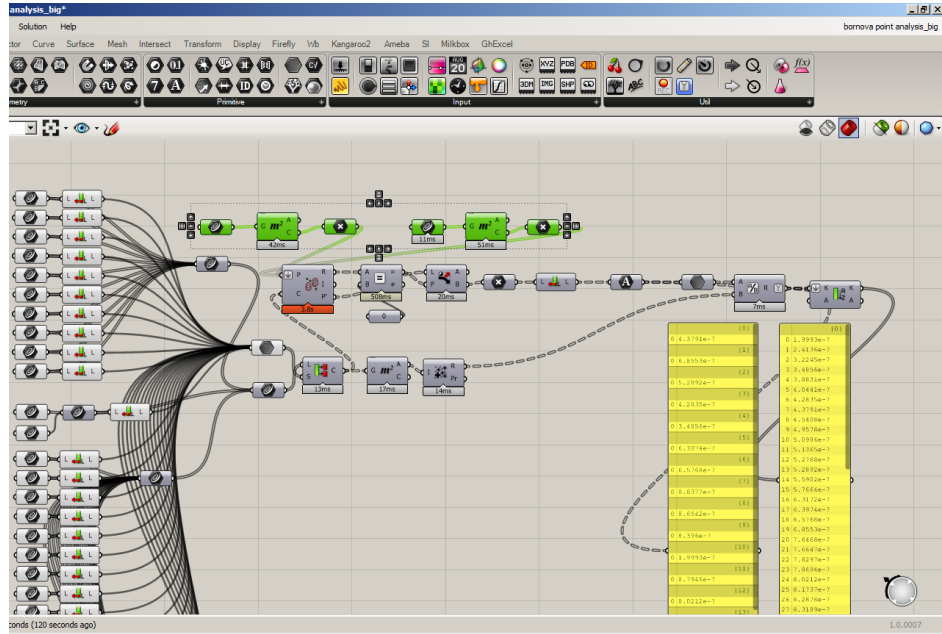
Şekil 4.17 Nihai nokta bulutu

5.3.2.2 Parametrik Analiz Yöntemi İle Tasarımların Analizi

Çalışmanın bu aşamasında atölyelerden elde edilen 32 adet tasarım ve algoritmanın ürettiği tasarım analiz edilmektedir. Noktaların niceliği ve elde edilen tasarımların niteliği bakımından, nokta sayımı işlemi için parametrik tasarım yöntemleri kullanılarak, *Grasshopper* yazılımında bir algoritma oluşturulmuştur. Algoritmaya veri sağlamak için öncelikle vektörel formata getirilen tasarımlar tasarımcı kodlamalarına göre katmanlandırılarak *Rhinoceros* programına aktarılmıştır (Şekil 4.18). Daha sonraki aşamada tasarımlardaki yeşil alan olarak tanımlanan alanlar *Grasshopper* yazılımına tanıtılmıştır (Şekil 4.19).

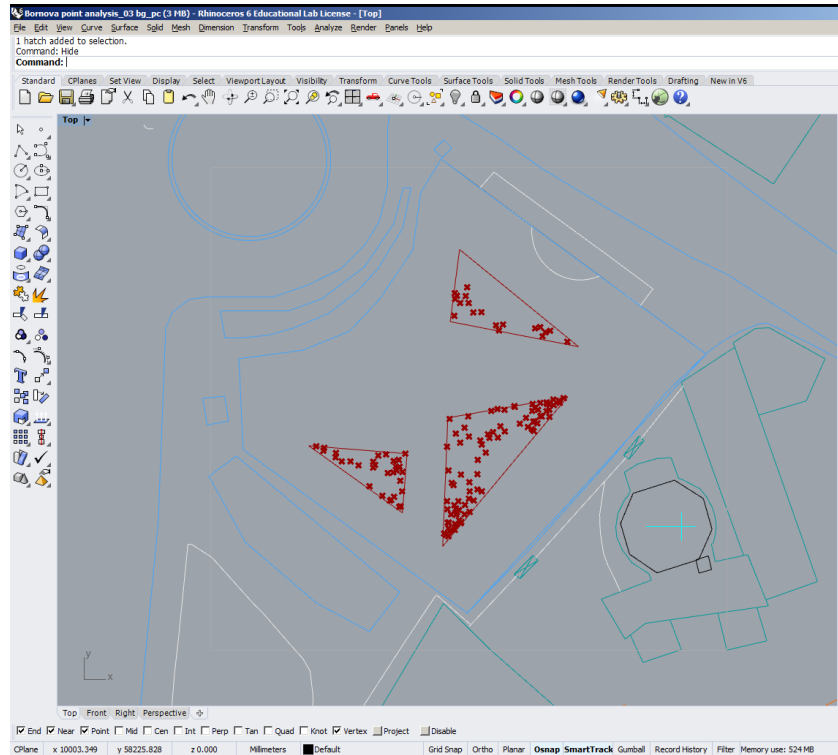
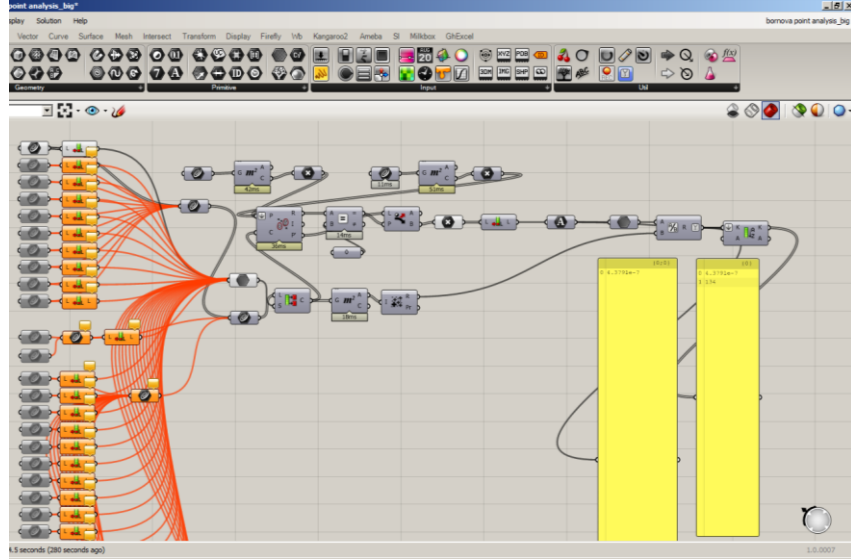


Şekil 4.18 Rhinoceros yazılıma katmanlar halinde aktarılan tasarımlar

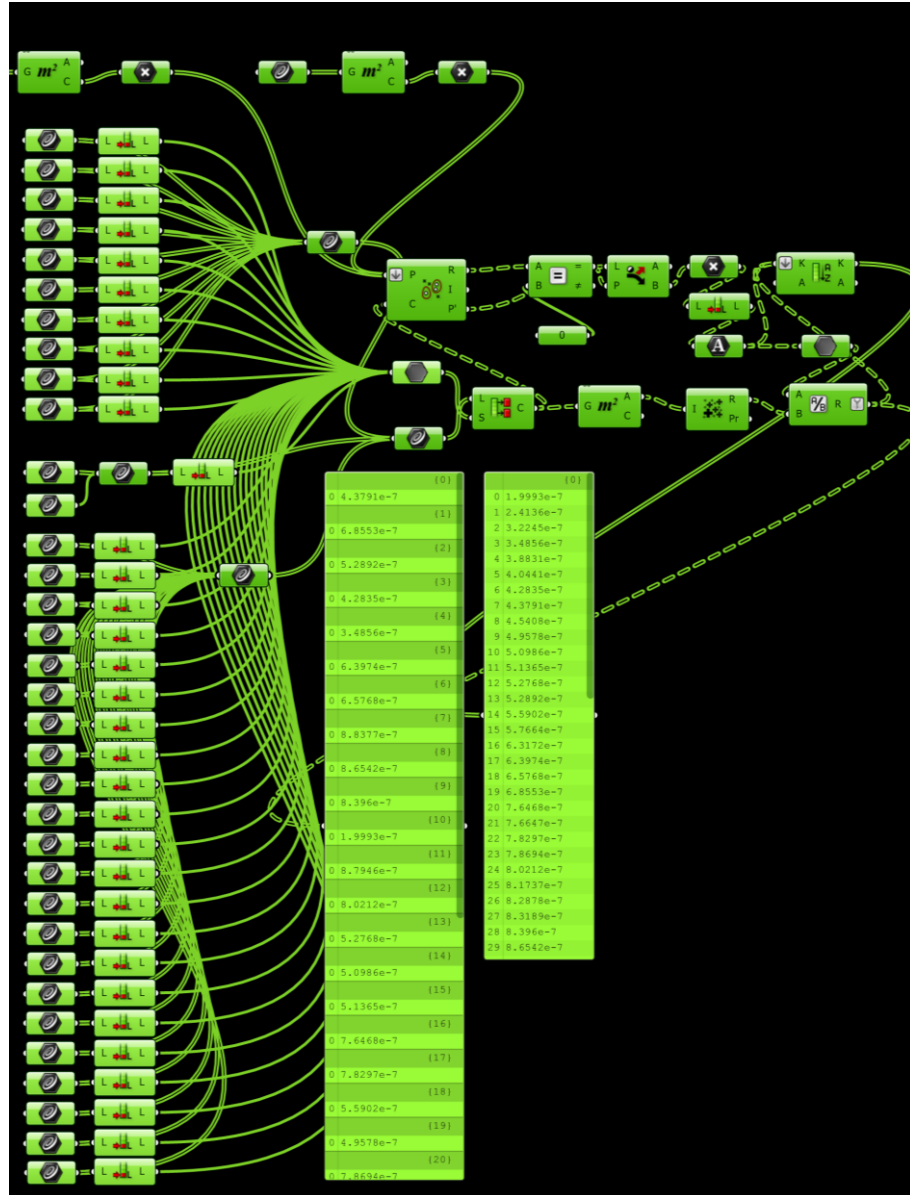


Şekil 4.19 Tasarımların Grasshopper yazılımına tanıtılması

Geliştirilen algoritma, nokta bulutunun üzerinden, her bir tasarımda tanımlanan yeşil alanların içerdiği nokta sayısını hesaplamaktadır (Şekil 4.20). Böylelikle çalışmada işgücü ve dolayısıyla zaman tasarrufu sağlanmıştır.



Şekil 4.20 Nokta sayımı yapan algoritma (üstte), algoritmanın örnek olarak, mimarlık öğrencisi O3'ün yaptığı tasarım üzerinden hesapladığı noktalar (altta)



Grasshopper yazılımında öncelikle Rhinoceros içindeki her bir tasarım ayrı ‘eğri’ (*curve*) bileşenlere tanımlanmıştır. Daha sonra her bir tasarımın içerisindeki tanımlı alan sayısının tespit edilmesi ve daha sonra ayrıştırılması için ‘liste uzunluğu’ (*list lenght*) komutu kullanılmıştır. Tüm tanımlı eğriler sırası ile tek bir ‘*curve*’ bileşenine bağlanarak veri seti oluşturulmuştur.

Veri seti oluşturulduktan sonra ‘liste düzenleme’ (*sort list*) bileşeni kullanılarak algoritmanın ‘veri ağacı’ (*data tree*) hazırlanmıştır. Daha sonra veriler ‘eğriler içindeki

noktalar' (*points in curves*) bileşenine bağlanarak her bir noktanın ilgili kapalı poligonun içinde olup olmadığının analizi yapılmaktadır. Kapalı eğrilerin içerisinde bulunan noktalar 'dağıt' (*dispatch*) komutu ile ayrıştırıldıktan sonra her bir tasarımın eğrilerinin içindeki noktalar toplanmıştır (Şekil 4.21). Son olarak her bir tasarımın tanımlanan yeşil alanları toplanarak içerisinde barındırdığı nokta sayısına bölünmüş ve tasarım performans katsayısı elde edilmiştir. Tasarım performans kriterleri bir sonraki bölümde daha detaylı olarak ele alınmaktadır.

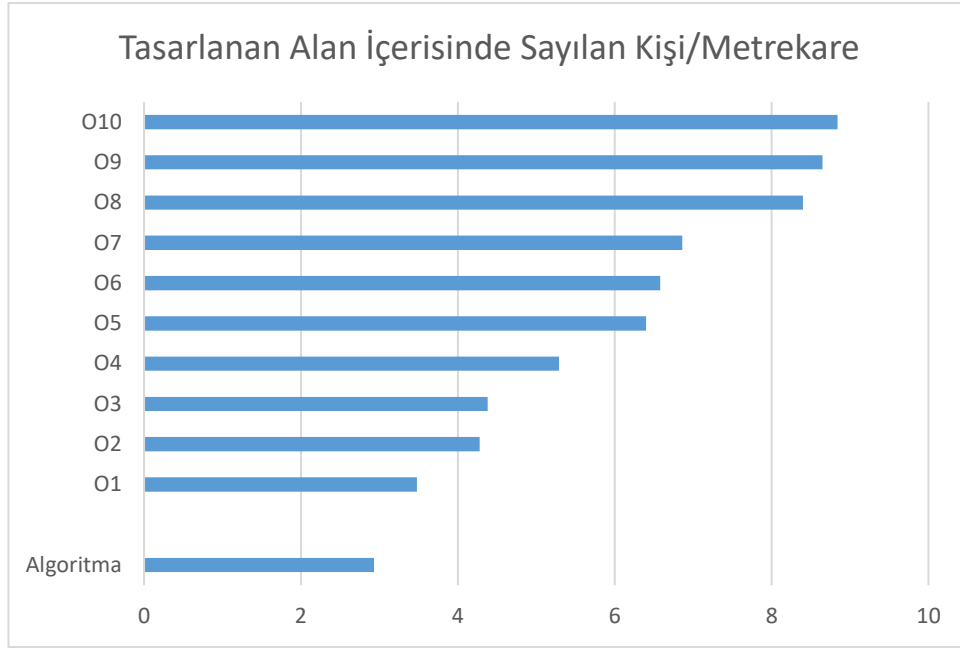
5.3.3 Tasarım Performansı Kriterleri

Tasarım performans kriteri olarak öncelikle nokta bulutu üzerinden, tasarlanan yeşil alanların içerisindeki nokta sayısı alınmıştır. Diğer bir kriter ise tasarlanan yeşil alanın metrekaresidir. Çünkü mantık olarak tasarım alanı arttıkça, alanın içine giren nokta sayısı da artmaktadır. O zaman tasarlanan alan küçüldükçe performans artabilmektedir. Bu durumda performans kriteri olarak sadece tasarım alanına giren nokta sayısını ele almak yanlış olacaktır. Bu yüzden, her bir tasarım üzerinden, yeşil alan olarak tanımlanan alanlara giren toplam nokta sayısı, tasarlanan alanın metrekaresine bölünmüştür. Bu durumda performans birimi olarak 'nokta/metrekaresi' olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak elde edilen sayı ne kadar küçükse o kadar performans elde edilmektedir.

5.3.3.1 Mimarlık Bölümü Öğrencilerinin Performansı

Mimarlık öğrencileri ile yapılan atölyede elde edilen tasarımlar önceki bölümde belirtilen algoritma ile analiz edildiğinde aşağıdaki tablo ortaya çıkmaktadır (Tablo 4.2). Algoritmandan elde edilen tasarımın yapılan tüm tasarımlardan daha düşük değerde sonuç verdiği, dolayısıyla daha fazla performans sağladığı gözlemlenmektedir.

Tablo 4.2 Öğrenci atölyesinde elde edilen tasarımların performans tablosu. (Tabloda performans metrekareye düşen insan sayısı olduğu için düşük değerler daha başarılıdır)

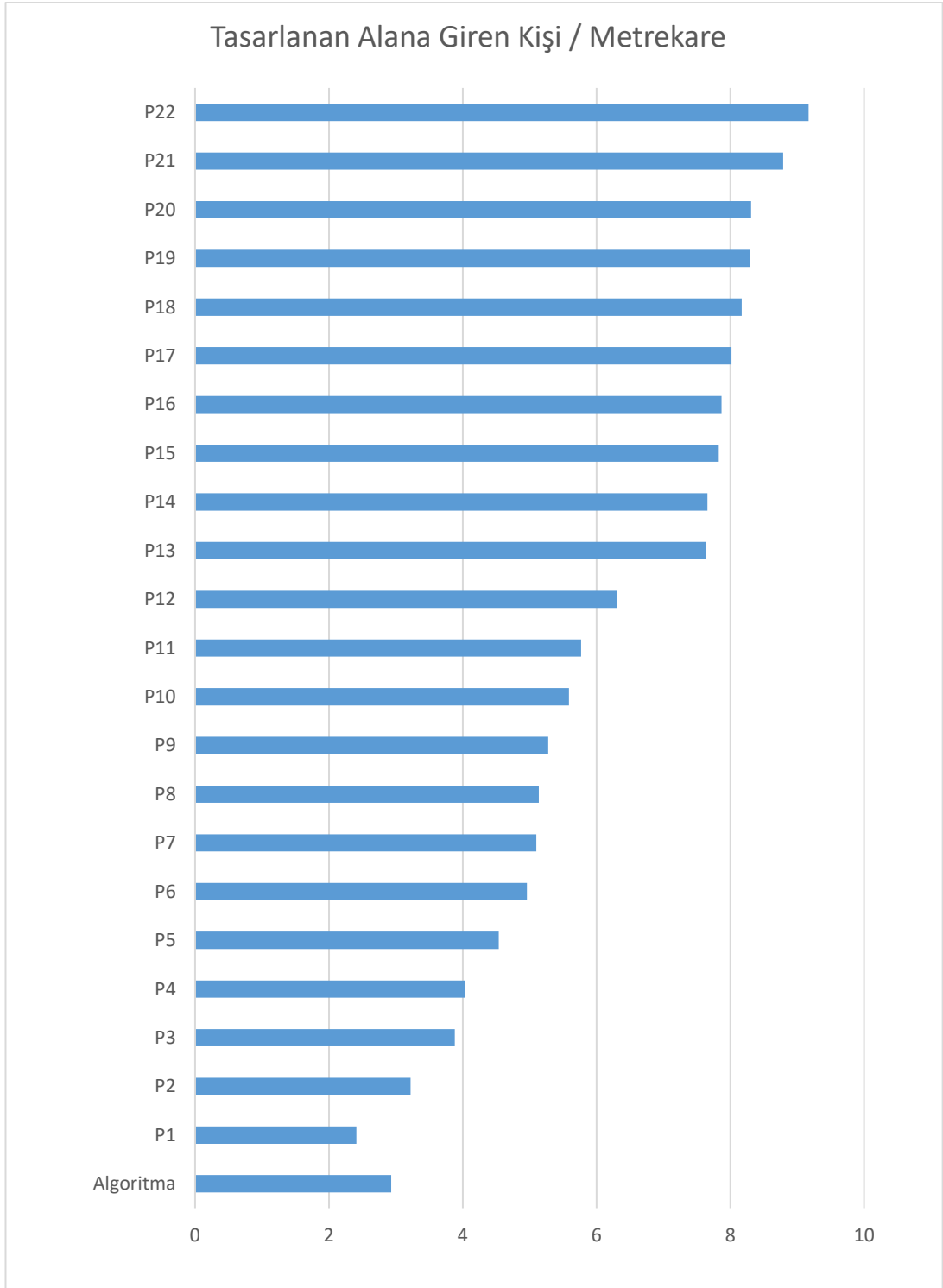


5.3.3.2 Profesyonel Mimarlar Ve Peyzaj Mimarlarının Performansı

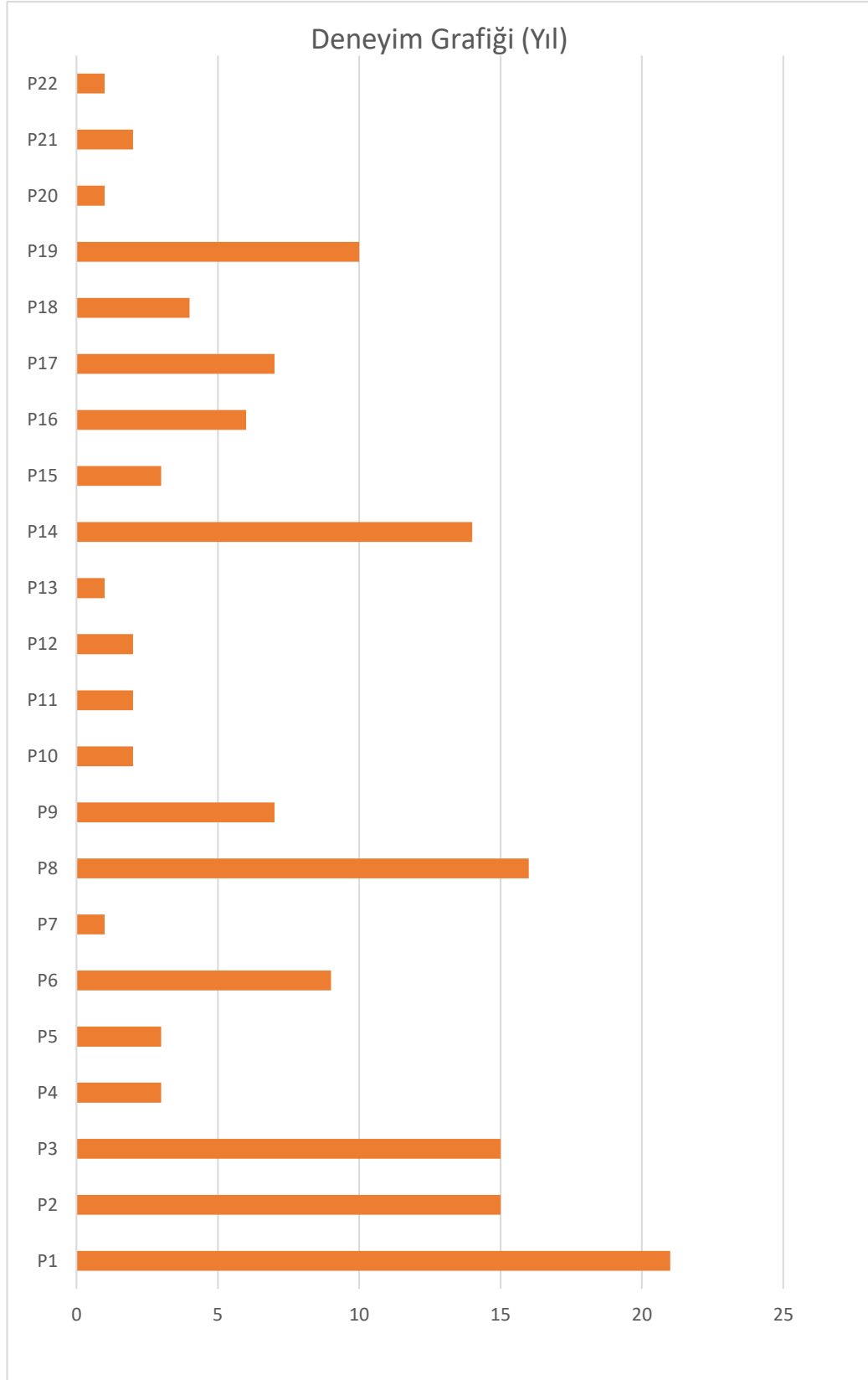
Profesyonel tasarımcıların katıldığı atölyeden elde edilen tasarımlar analiz edildiğinde aşağıdaki sonuç ortaya çıkmaktadır (Tablo 4.3). Deneklerin mezuniyet tarihinden atölyenin yapıldığı tarih arasındaki zaman aralığının grafiği ise

Tablo 4.4'den incelenebilir. Tecrübe grafiği performans grafiği ile karşılaştırıldığında ise Tablo 4.5'deki sonuç ortaya çıkmaktadır.

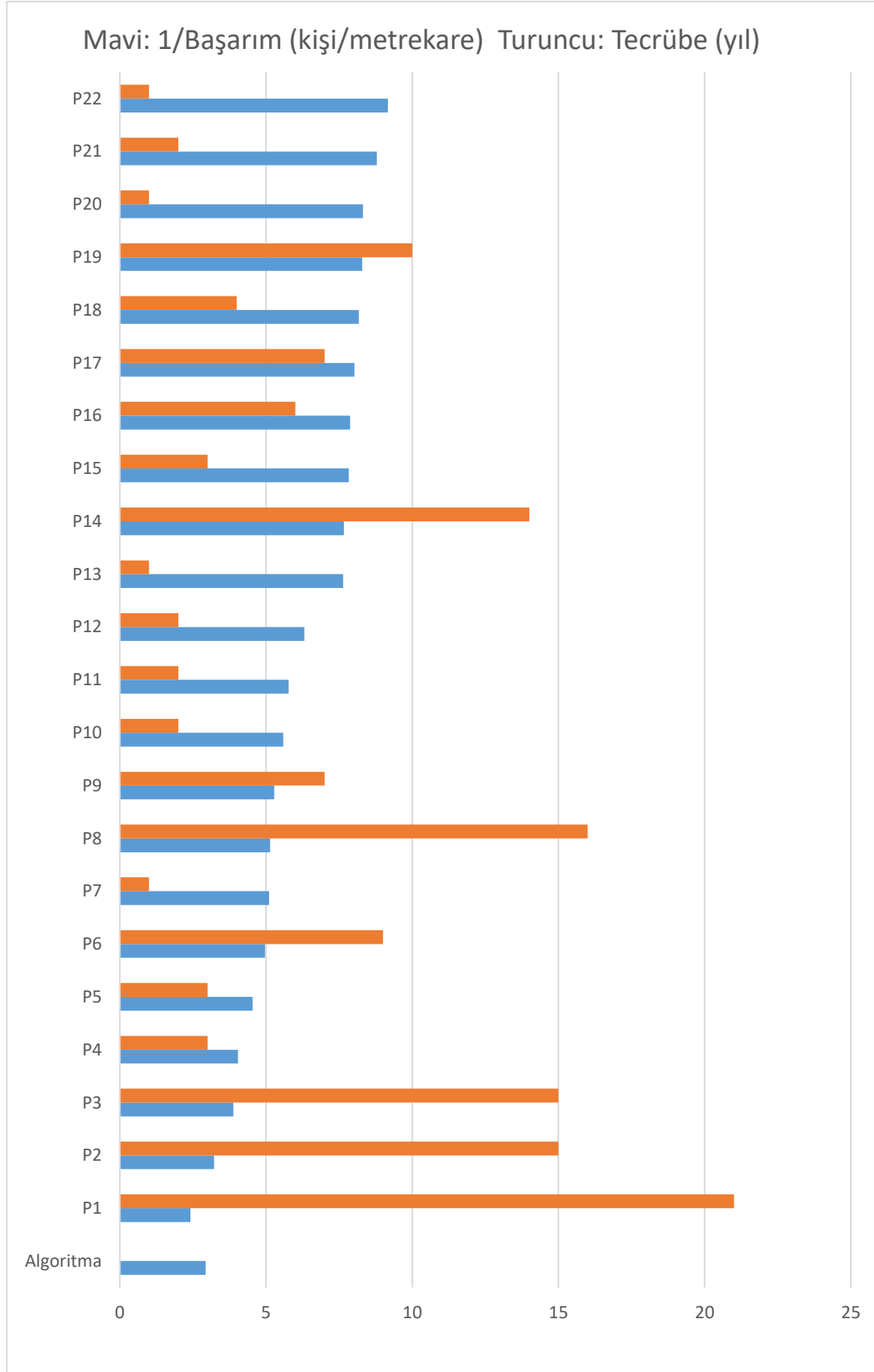
Tablo 4.3 Profesyonellerle yapılan atölyede elde edilen tasarımların performans tablosu. (Tabloda performans; metrekareye düşen insan sayısı olduğu için düşük değerler daha başarılıdır)



Tablo 4.4 Deneklerin tecrübe grafiği (yıl)

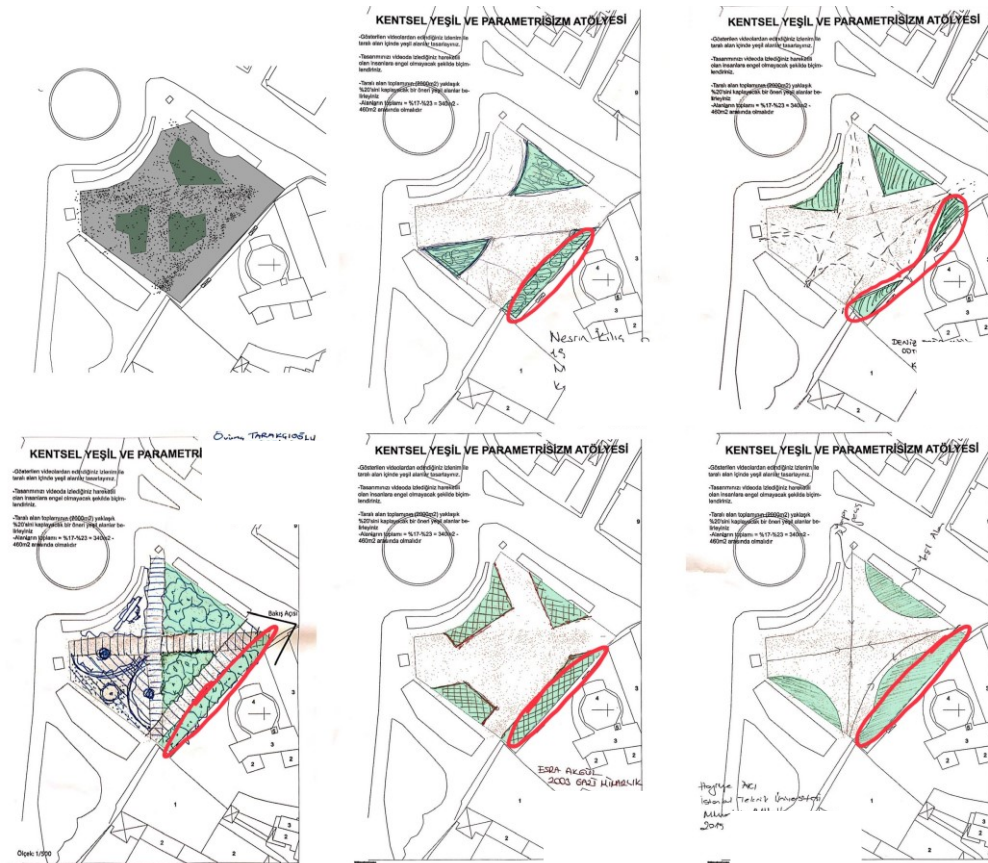


Tablo 4.5 Profesyonel tasarımcıların 1/performans * deneyim grafiği



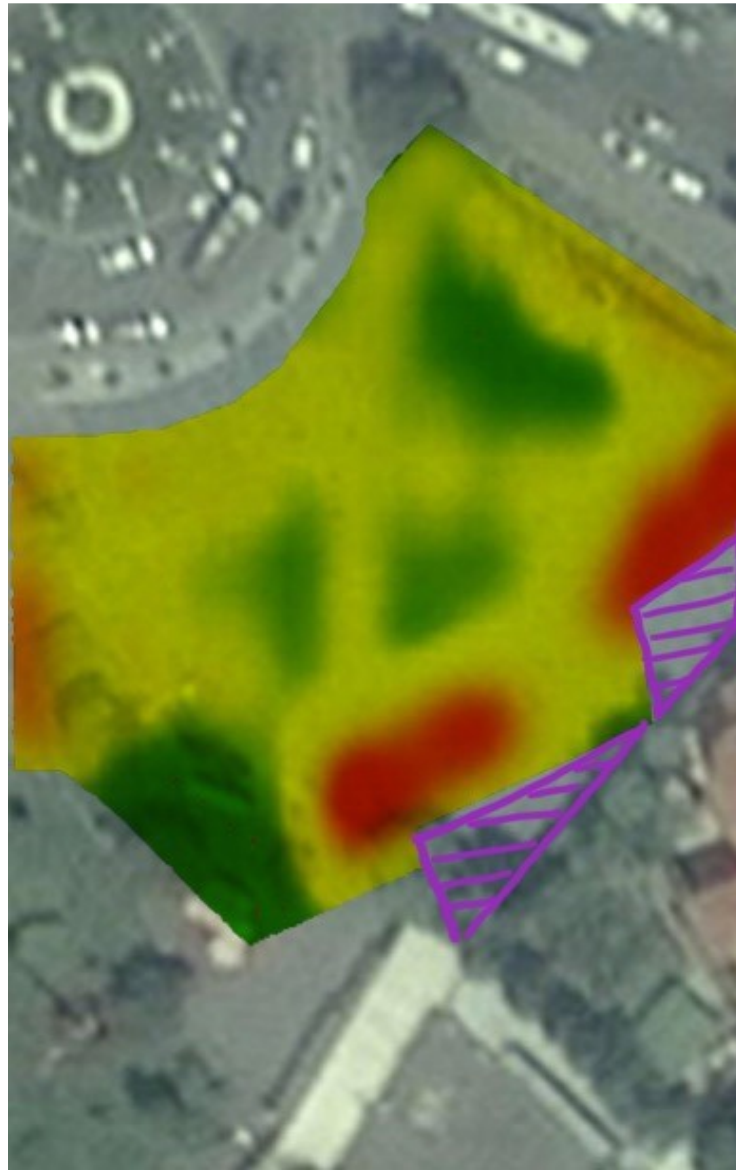
Tablo 4.5 incelendiğinde deneyimli tasarımcıların geliştirdiği önerilerde nokta bulutundaki elemanların daha az olduğu, böylelikle daha verimli tasarımlar yaptığı gözlemlenmektedir. Bu durum, tasarım atölyelerinin ve performans belirleme kurgusunun pozitif olduğunu ispatlamaktadır.

Tasarım performansı değerleri incelendiğinde, bazı tasarımcıların ürettiği tasarımın performansı, algoritmanın türettiği tasarımın performansına yakın seviyelerdedir. Bu durumun irdelenmesi için algoritmanın ürettiği tasarım, nokta bulutu ve yüksek performans elde eden tasarımlar karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma yapıldığında tasarımcıların tasarımlarının ortak özelliği olarak, meydanın kenarında bulunan kilise duvarı önünde yeşil alan tanımlayan tasarımların öne çıktığı görülmektedir (Şekil 4.22).



Şekil 4.22 Algoritmanın ürettiği tasarım, nokta bulutu ve yüksek performans elde eden tasarımların karşılaştırılması; Algoritmanın ürettiği tasarım (sol üst), P1 (orta üst), P4 (sağ üst), P2 (sol alt), P3 (orta alt), P5 (sağ alt)

Bu durumun nedeninin çalışmanın 0 4.2.1 Optik ve Geometrik Kısıtlamalar bölümünde açıklandığı üzere kamera pozisyonu ile ilgili olduğu saptanmıştır. Kameranın bulunduğu pozisyon gereği alanın kilise duvarına yakın bölümü gözlemlenememektedir. Kilisenin kütlesi ve yüksek duvarları alanın görüntülenmesine engel olmaktadır. Alandan elde edilen videoların perspektifi düzeltilip plansal hale getirildiğinde bu durum açıkça gözlemlenebilmektedir (Şekil 4.23). Algoritma tasarımını yaparken kilise duvarına yakın bölgeler kapsam dışında kaldığı için bu alana tasarım yapmadığı saptanmıştır.



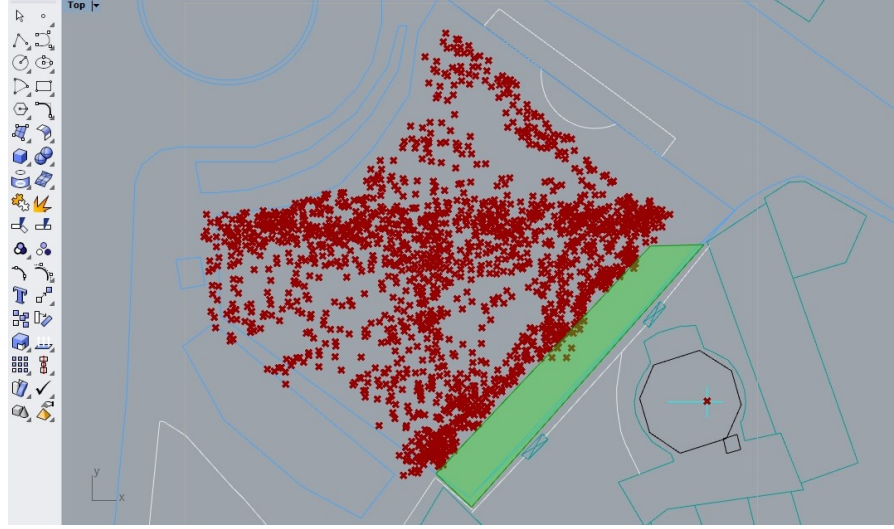
Şekil 4.23 Kamera pozisyonundan dolayı görüntülenemeyen alan

Yukarıda bahsedilen sebepten dolayı analiz yönteminde iki çeşit güncellemeye gidilmiştir:

I) Algoritmanın kilise duvarı kenarına yeşil alan tasarladığı varsayılarak performans grafiği yenilenmiştir (Tablo 4.6).

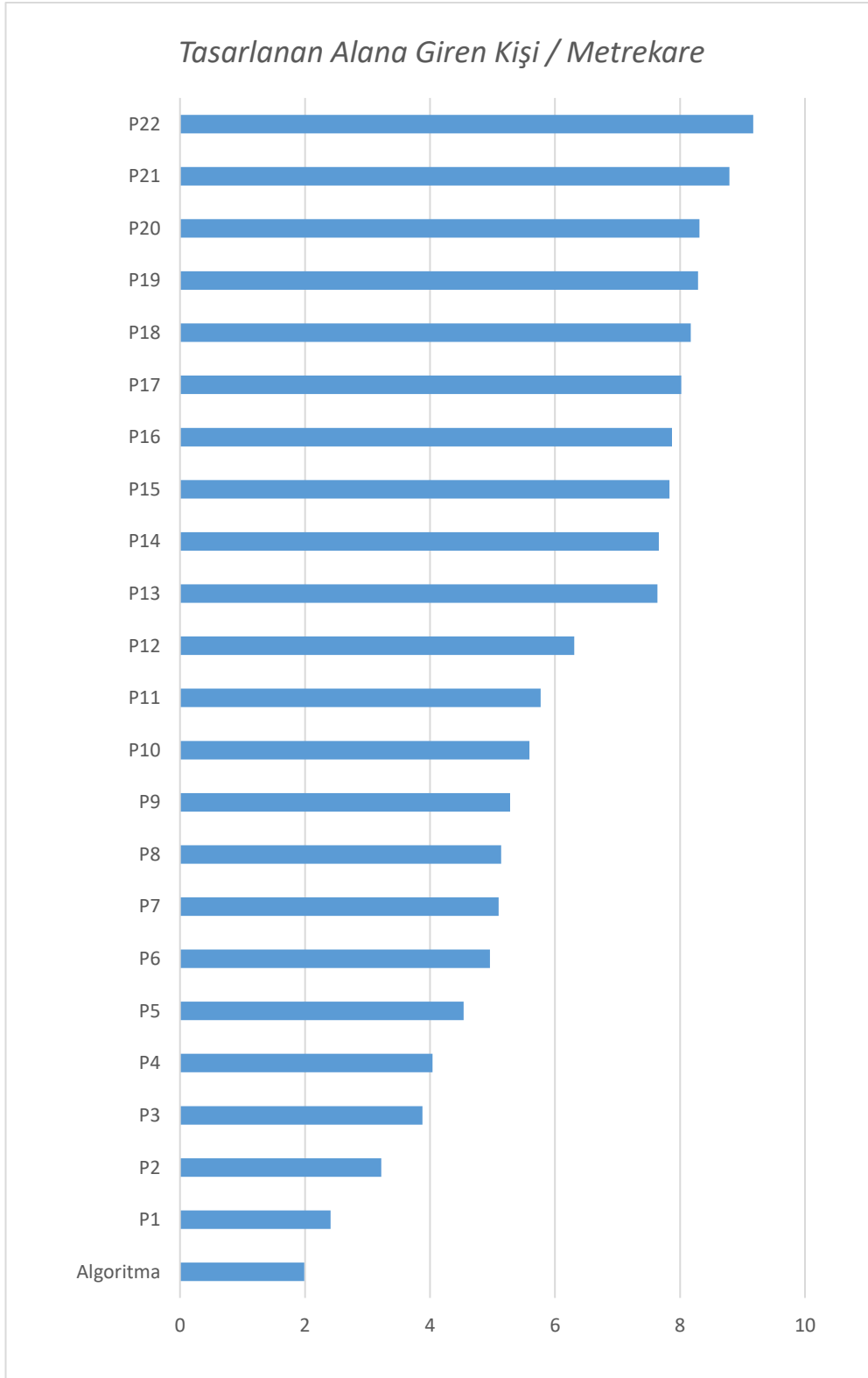
II) Tasarımcıların bu alan içinde kalan yeşil alanları yok sayılarak performans grafiği yenilenmiştir (Tablo 4.7).

Meydanın kenarındaki kilise duvarının bulunduğu alanın önü algoritmada ayrıca tanımlanarak yukarıda bahsedilen birinci ve ikinci güncelleme gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.24).

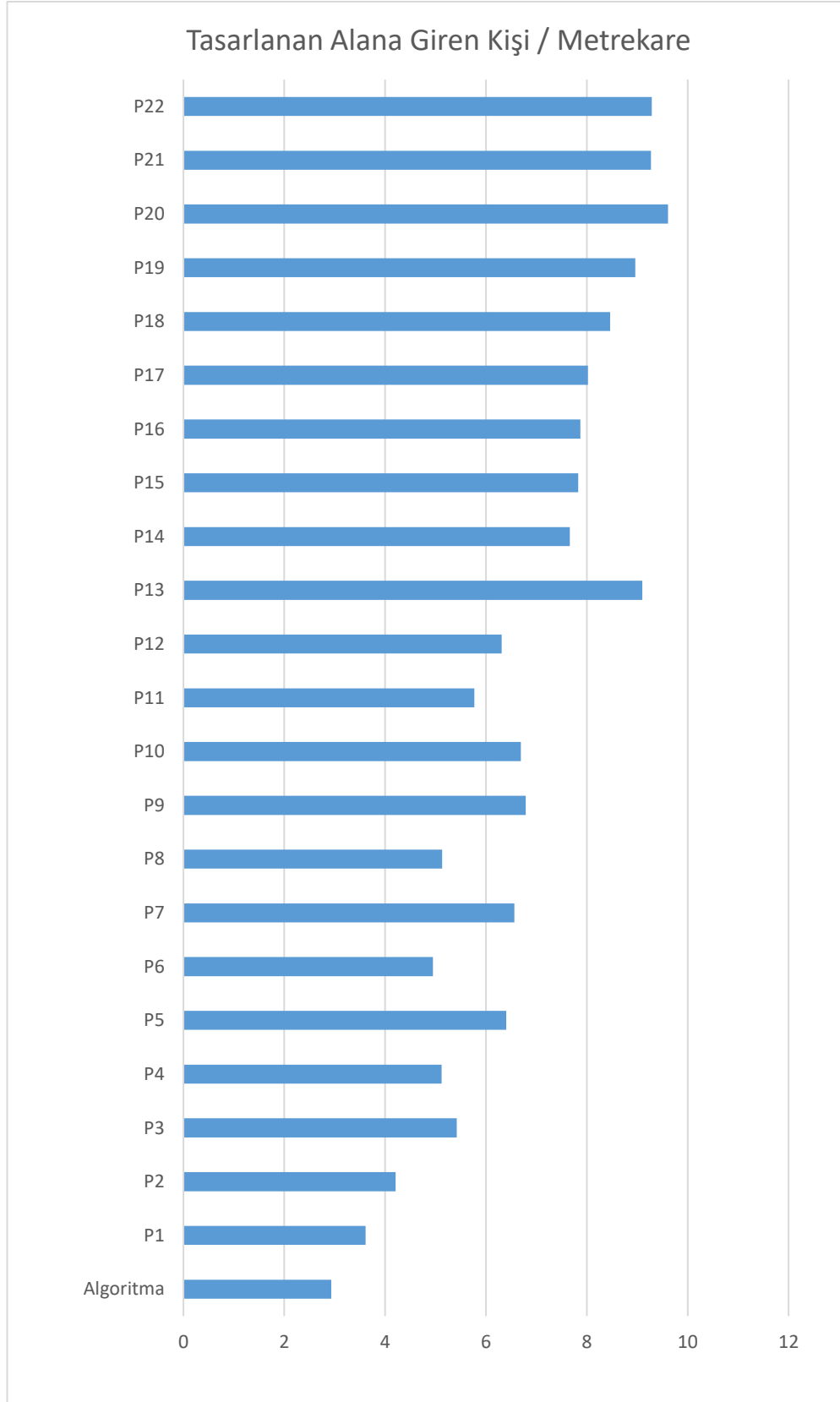


Şekil 4.24 Algoritmanın içinde güncelleme yapılan tanımlı alan (yeşil) ve nokta bulutu

Tablo 4.6 Algoritmanın kilise duvarı kenarına yeşil alan tasarladığı varsayılarak elde edilen performans



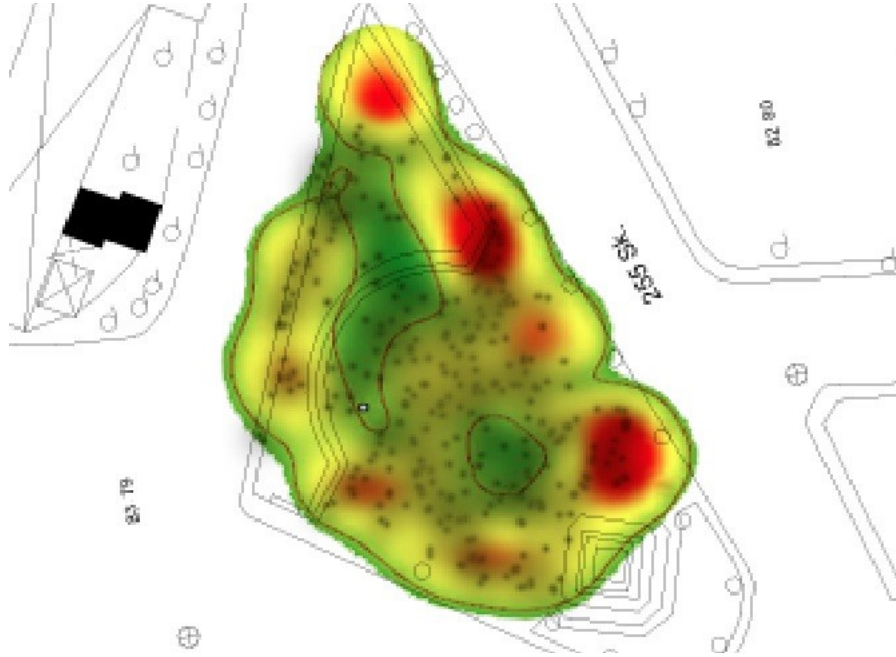
Tablo 4.7 Tasarımcıların bu alan içinde kalan yeşil alanları yok sayılarak elde edilen performansı



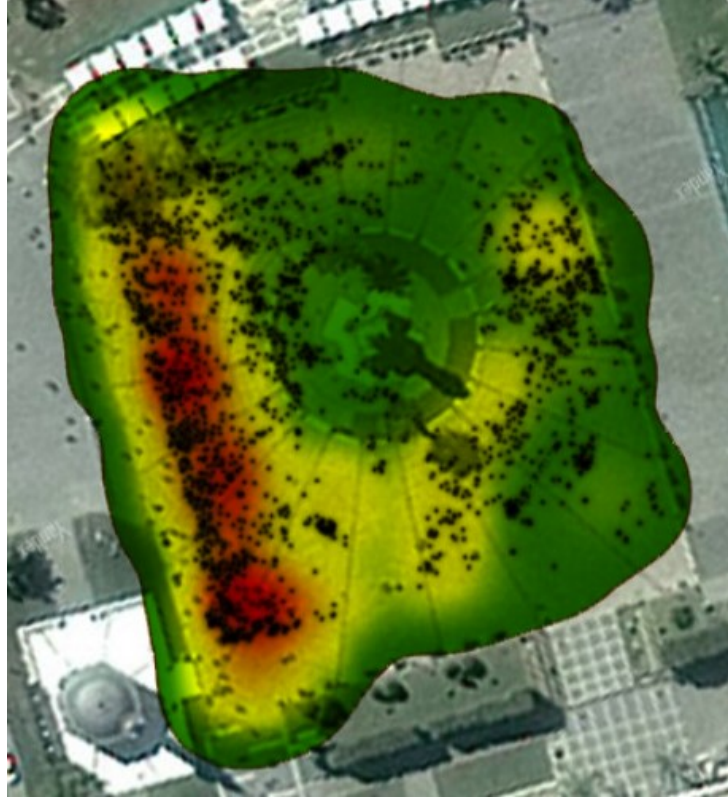
Tablo 4.6 ve Tablo 4.7 incelendiğinde, yukarıda belirtilen iki durumda da algoritmanın manuel yöntemlerle elde edilmiş tüm tasarımlardan daha etkin bir tasarım geliştirdiği gözlemlenmektedir.

5.4 Algoritmanın Farklı Meydanlarda Kullanımı

Analiz yöntemi, tezin kurgusu ve kapsamı dahilinde başka kentsel mekânlarda da kullanılmıştır. Kentsel mekânlarda alan genişlediği ve dolayısıyla görüntüdeki insan boyutunun küçülmesi ile birlikte algoritmada vektör çarpanı gibi parametrelerin değiştirilmesi gerektiği gözlemlenmiştir. Bir sonraki sınama aşamasında, aynı videolardan manuel sayma yöntemi ile oluşturulan grafikler, algoritmadan elde edilen veriler ile üst üste çakıştırılmış ve algoritma sınanmıştır. Bu uygulama Konak Meydanı ve Buca Çevik Bir Meydanı gibi farklı kamusal alanlardan elde edilmiş veriler üzerinde de yapılmıştır. Sonuç olarak elde edilen analiz diyagramlarının birbirlerine koşut sonuçlar oluşturduğu gözlemlenmiştir (Şekil 4.25, Şekil 4.26).



Şekil 4.25 Buca Çevik Bir Meydanı'nda yapılan pilot çalışma; Siyah noktalar elle sayım yöntemi ile haritalanmıştır, Renkli yoğunluk grafiğini algoritma oluşturmuştur



Şekil 4.26 Konak Meydanı'nda yapılan pilot çalışma; Siyah noktalar elle sayım yöntemi ile haritalanmıştır, Renkli yoğunluk grafiğini algoritma oluşturmuştur

5.5 Bölüm Sonucu

Çalışmada nokta sayım yöntemi olarak algoritmanın kullanılmasıyla otomatizasyondan ve dolayısıyla zaman ve işgücünden maksimum derecede yararlanılmıştır. Manuel gözle sayım yöntemi için her bir fotoğraf üzerindeki insanlar teker teker işaretlenmiştir. Bu durum çok fazla iş gücü gerektirmektedir. Tasarımların performans analizinde kullanılan sayım algoritması sayesinde ise değerlendirme çok daha otomatize bir yöntemle gerçekleştirilmiştir.

Tasarımların manuel sayım yöntemiyle oluşturulan nokta bulutu ile karşılaştırılıp analiz edildiğinde, algoritmanın ürettiği tasarımın manuel yöntemlerle elde edilen tasarımlardan çok daha başarılı sonuçlar verdiği gözlemlenmiş ve tezin hipotezi ispatlanmıştır. Son olarak, algortimanın farklı kentsel mekânlar için de kullanılabilirliği gösterilmiş ve yöntemin uyarlanabilirliği örneklenmiştir.

BÖLÜM ALTI

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

2007 yılında dünyadaki nüfusun çoğunluğunun kentsel alanlarda yaşamaya başladığı bilinmektedir. Kentsel yoğunluk nedeni ile şehirlerin yaşam kalitesinin düşmemesi için ‘akılcı’ tasarımlara ihtiyaç duyulmaktadır. Kentsel tasarım gibi karmaşık, birçok girdisi ve değişkeni olan konulara ilişkin tasarımlarda, sayısal teknoloji ve algoritmalarından yararlanılarak gereken akılcı çözümler elde edilebilmektedir.

Sayısal teknolojiler ile birlikte, sayısal analiz yöntemleri de birbirlerine koşut olarak gelişmişlerdir. Bunlara ek olarak, işlemci teknolojisinin gelişmesi ve erişilebilir hale gelmesiyle çok sayıda veri analiz edilebilmektedir. Bilgisayar donanımının limitleri dahilinde güçlendirilebilen algoritmik analiz metoduyla çok fazla miktarda veri ayrıştırılıp kategorize edilerek bir sentez oluşturulabilmektedir.

2025 yılından itibaren bir takım iş tanımlarının yapay zeka tarafından icra edileceği gündeme gelmektedir (Smith ve Anderson, 2014). Alman çalışma bakanlığının hazırladığı makalede, 2030 yılında yapılacak olan bazı mesleklerin henüz icat edilmediğine değinmektedir (Vogler-Ludwig, Düll ve Kriechel, 2016). Yapay zekâ ile ilgili yapılan çalışmalar günümüzde hızla artmaktadır. Bugün, sinir ağları (*neural networks*) ve derin öğrenme (*deep learning*) yöntemleri ile algoritmalar birçok konuda insan kabiliyetlerinin önüne geçmeye başlamışlardır. Örneğin, performans dayalı tasarım ve türetken sistemler kullanılarak strüktürel form optimizasyonu konusunda bu eşik aşılmıştır (McLaughlin, 2018). Türetken tasarım, genetik algoritma ve sinir ağlarının kullanımıyla bilgisayarlar insan kabiliyetlerinin ötesinde bir keskinlikte tasarım yapabilmektedirler. Bu çalışmada da tasarımcıların kentsel sert zeminlerdeki yaya hareketlerine istinaden geliştireceği yeşil alan tasarımı bir algoritma ile, dolayısıyla bir yapay zekâ ile gerçekleştirilmektedir. Bu tezin çıktısı olan algoritmanın ürettiği yeşil alan tasarımının, manuel yöntemlerle elde edilen tasarımlardan daha verimli olduğu Tablo 4.6 ve Tablo 4.7’den incelenebilir. Sonuç olarak çalışmanın hipotezi olan ‘algoritmik tasarım yöntemleriyle yaya hareketlerinden elde edilen üç

boyutlu analiz verisinin kentsel mekânlarda yumuşak zemin tasarımıda kullanılması, konvansiyonel yöntemlerle elde edilen tasarımlar ile karşılaştırıldığında, yaya hareketlerine uyumluluk bakımından daha performanslıdır' öngörüsü kanıtlanmıştır.

Gelişen teknoloji ile tasarımcıların görev tanımı, kodlama teknikleriyle yapay zekayı kullanarak tasarım yapan algoritmalar tasarlama olarak evrilmelidir. Tasarımcıların konvansiyonel tasarımlar oluşturmada üç boyutlu teknik çizim aracı olarak bilgisayarı kullanmak yerine, kodlama yöntemi ile algoritmalar geliştirerek form bulma olgusu yeniden tanımlanmalıdır. Bu noktada, tasarımcıların yetisi olarak kodlama sürecinde yazılım araçlarını kullanmak ön plana çıkmaktadır. *Grasshopper* yazılımı bu noktada çok fazla potansiyele sahiptir. Kodlama eyleminin yazma yöntemiyle (*scripting*) değil, görsel kodlama yöntemiyle yapılmasıyla tasarımcılar çok daha kolay bir arayüzde çalışabilmektedir. Bu nedenle *Grasshopper* halihazırda en çok kullanılan algoritmik tasarım yazılımıdır.

Bugüne kadar, *Grasshopper* yazılımının içinde çalıştırılmak üzere geliştirilmiş 650'nin üzerinde eklenti (*add-on*) geliştirilmiştir. Bu eklentiler çok çeşitli simülasyon ve türetken sistemleri icra etmektedir. *Grasshopper* kullanıcıları, araştırma yaptıkları konu dahilinde, eklentileri kullanarak birçok kombinasyon üretebilmektedir. Birçok araştırmacı bu kombinasyonları bir kompozisyon dahilinde kodlayarak farklı amaçlara hizmet eden 'küme'ler (*cluster*) geliştirilmektedir. Bu tezin geliştirdiği sonuç ürün olan kentsel yumuşak zemin tasarımı yapan küme farklı kamusal mekânlarda kullanılmaya elverişlidir.

Bu tezin kapsamında ayrıca kuadrat analizi yöntemi ele alınmıştır. Kuadrat analizi yapan birçok yazılım bulunsa da kuadrat analizi yapan herhangi bir *Grasshopper* eklentisi bulunmamaktadır. Bu çalışmanın diğer bir çıktısı olarak *Grasshopper* yazılımı içerisinde kuadrat analizi yapan bir küme (*cluster*) geliştirilmiştir. Bunun yanı sıra, sensor teknolojileri ile güçlü bağları olan *Grasshopper* yazılımının içerisinde bu algoritmanın kullanılmasıyla gerçek zamanlı analizlerin de yapılma olanağı bulunmaktadır.

Sensör teknolojileri gibi etkileşimli araçlarla birlikte ‘tepkimeli çevreler’ (*responsive environments*) kavramını biraz daha irdelemek gerekebilir. Tepkimeli Çevreler terimi genellikle anlık etkileşime dayalı çalışmalara ilişkin kullanılmaktadır. Ancak kullanıcı ile etkileşime geçen, tasarım verilerinin aktif veya pasif olarak da olsa, kullanıcılar tarafından oluşturulduğu tasarımlar da ‘Tepkimeli Çevreler’ tanımı altında değerlendirilmektedir (Bentley ve diğer., 1985 ; Bosselmann, 1998 ; Salim ve Haque, 2015). Diğer yandan, kentsel morfolojilerin niteliksel amaçlara ilişkin mekânsal potansiyelleri ‘Tepkimeli Çevreler’ kavramı altında kullanılabilir (Silavi, Hakimpour, Claramunt ve Nourian, 2016). Bu çalışmadaki tepkisellik, yaya davranışlarıyla uyumlu, konforlu kentsel yeşil alan elde etmektir.

Çalışmada elde edilen yöntemin kentsel konforu yükseltme potansiyelleri çok fazladır. Yerel yönetimlerin iş birliği ile, kamusal mekânları gören bir açıya konumlandırılmış kamera görüntülerini –ki meydan gibi kamusal alanlarda bulunan kameralar belediyelerin internet sitelerinde canlı olarak yayınlanmaktadır- kaynak olarak kullanılabilir. Bu verilerin eş zamanlı grafik analizi oluşturulup bir matris sisteminde depolanmasıyla, kentsel mekân için çok değerli zamansal kullanım verileri elde edilebilir. İstenilen ve seçilen aralıklarda ortalama değerler saptanabilir. Eğer bu video yukarıdan, uzaktan ve kimliklerin belli olmayacak düzeyde düşük çözünürlükte kaydedilirse kişisel haklar ve etik problemleri de olmayacaktır. Çalışmada değinildiği üzere düşük çözünürlük geliştirilen algoritmanın kullanımına etki etmemektedir. Video görüntülerinin bu tezin ürettiği algorithmada kullanılmasıyla kamusal alanlara ilişkin çok değerli veri setleri oluşturulabilir. Kentteki tüm yaya yoğunluğu fazla olan sert zeminlerde, kamusal alanlardan elde edilen verilerin bir merkezde birleştirilmesiyle bir şehirdeki yaya hareketliliğine ilişkin ‘büyük veri’ (*big data*) elde edilebilir. İncelenen her bir mekân için, alana plansal perspektifle bakan bir kamera ve çalışmanın 0 bölümünde belirtilen donanıma sahip bir bilgisayarın kullanılmasıyla bu veri oluşturulabilir. Böylelikle mekânlara ilişkin yapılacak kamusal tasarımlarda, özellikle kitlesel bireyselleştirmeye (*mass customization*) dayalı tasarım anlayışıyla elde edilmesi gereken tasarımlarda bu verilerden yararlanılabilir.

Çalışmada kullanılan videoların toplam 60 dakikadan oluşması bir eksikliktir. Bu durum yerel yönetimlerin işbirliği ile kaydedilen videoların akışlarının paylaşılması

ile mümkün olabilecektir. Diğer bir eksiklik ise videoların perspektifinin düzeltilerek algoritmada kullanılmasıdır. Perspektifi plansal hale getirilen videolarda kameraya uzak olan noktalardaki piksel hareketliliği az da olsa deforme olabilmektedir. Kamera açısının daha plansal bir açıda alana bakmasıyla analiz edilecek videoların deformasyonları minimuma indirilebilecektir. Video deformasyonunu minimuma indirmenin diğer bir yöntemi ise video kaydında standart kameraların kullanılmasından ziyade, profesyonel kameralara takılmış perspektif düzelten (*tilt-shift*) objektiflerin kullanılmasıdır. Ancak özellikle mimari fotoğraf alanında kullanılan perspektif düzelten objektiflerin bakış açısının (*tilt*) 12-14 derece arasında olması kamera pozisyonunu da kısıtlamaktadır. Algoritmanın sonucunun daha detaylandırılması gerektiğinde ise 0 bölümünde belirtildiği üzere, kuadrat analizi yöntemindeki ızgara sayısı yükseltilmelidir.

1.2 bölümünde belirtildiği üzere çalışmanın bir diğer amacı ise kentlerdeki sert zemin yoğunluğunu azaltarak ‘ısı adası’ etkisini indirmektedir. Özellikle insan yoğunluğunun çok fazla olduğu kentsel mekanlarda bu uygulamanın gerçekleşmesi ile daha nitelikli kamusal mekanların elde edilmesi öngörülmektedir. Küresel iklim değişimin etkilerinin sıklıkla karşılaşıldığı göz önüne alınırsa, yoğun ve ani yağışın olduğu zamanlarda yeşil alanların niceliğinin artırılmasıyla sert zeminlerdeki direnç problemlerinin azaltılması da bir diğer kazançtır.

Erken modernizm anlayışındaki ‘biçim işlevi takip eder’ (*form follows function*) mottosu, 21. yüzyıl mimarlık anlayışında, bilgisayarların yardımıyla değişikliğe uğramaktadır. Artık kelimenin tam anlamıyla, performansa dayalı tasarım yöntemleriyle, biçim işlevi takip etmektedir. Bu tezin çıktısı olan performansa dayalı algoritmanın kullanımı ile ‘kentsel ergonomi’si yüksek yeşil alan tasarımları elde edilebilmektedir.

Bilgisayarlarla tasarımcının buluşmasında, kalem ve kâğıt yerine fare ve klavye kullanmaktan bir adım öteye geçerek, bilgisayarların işlem hacminin potansiyellerinden yararlanarak daha akılcı mekânlar elde edilmelidir. Bu noktada, yakın gelecekte ‘tasarımcı’ tanımının da değişeceği muhtemeldir. Tasarımcılar artık akılcı tasarımlar yapan algoritmalar tasarlamalıdır.

KAYNAKLAR

- Afsar, P., Cortez, P. ve Santos, H. (2015). Automatic visual detection of human behavior: A review from 2000 to 2014. *Expert Systems with Applications*, 42(20), 6935-6956.
- Akipek, F. Ö. (2004). *Bilgisayar teknolojilerinin mimarlıkta tasarım geliştirme aracı olarak kullanımı*. Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Al-Azzawi, M. ve Raeside, R. (2007). Modeling pedestrian walking speeds on sidewalks. *Journal of Urban Planning and Development*, 133(3), 211–219.
- Alexander, C. (1964). *Notes on the synthesis of form*. Massachusetts: Harvard University Press.
- Ali, M., Bosse, T., Hindriks, K. V., Hoogendoorn, M., Jonker, C. M. ve Treur, J. (2013). *Recent trends in applied artificial intelligence. Lecture notes in computer science*. Berlin: Springer.
- Ali, S., Nishino, K., Manocha, D. ve Shah, M. (Ed.). (2013). *Modeling, simulation and visual analysis of crowds*. The International Series in Video Computing (11-16). New York: Springer.
- Allen, C. (1966). Computer-aided drawing and design. *Production Engineer*, 45(8), 442-456.
- Almeida, S., Mealha, Ó. ve Veloso, A. (2016). Video game scenery analysis with eye tracking. *Entertainment Computing*, 14, 1-13.
- Amanda, M. (2006). *New York city pedestrian level of service study phase I*. 6 Haziran 2019, https://www1.nyc.gov/assets/planning/download/pdf/plans/transportation/td_fullpedlosb.pdf.
- Andia, A. (2001). Integrating digital design and architecture during the past three decades. *Proceeding. Seventh International Conference on Virtual Systems and Multimedia* içinde (677–686). Berkeley: IEEE.

- Andia, A. (2002). Pencils and pixels. *Architecture in Communication Challenge and Opportunity in Building Information Age* içinde . 90th ACSA Annual Meeting, sunulmuş bildiri (369-374). New Orleans: IEEE.
- Andrienko, N., Andrienko, G., Pelekis, N. ve Spaccapietra, S. (2008). Basic concepts of movement data. *Mobility, Data Mining and Privacy: Geographic Knowledge Discovery* içinde (15-38). Berlin: Springer.
- Anton, I. ve Tănase, D. (2016). Informed geometries. parametric modelling and energy analysis in early stages of design. *Energy Procedia*, 85, 9-16.
- Antonini, G. (2005). *A discrete choice modeling framework for pedestrian walking behavior with application to human tracking in video sequences*. Doktora Tezi, Ecole Polytechnique Federale De Lausanne, Lausanne.
- Antonini, G., Bierlaire, M. ve Weber, M. (2006). Discrete choice models of pedestrian walking behavior. *Transportation Research Part B: Methodological*, 40(8), 667-687.
- Appleby, D. (1997). *Programming languages: paradigm and practice*. California: McGraw.
- Arndt, A. B. (1983). Al-Khwarizmi. *Mathematics Teacher*, 76(9), 668–670.
- Asadi-Shekari, Z., Moeinaddini, M. ve Zaly Shah, M. (2014). A pedestrian level of service method for evaluating and promoting walking facilities on campus streets. *Land Use Policy*, 38, 175-193.
- Ashby, E. ve Stevens, W. L. (1935). The quantitative analysis of vegetation. *Annals of Botany*, 49(196), 779-802.
- Aurenhammer, F. (1991). Voronoi diagrams—a survey of a fundamental geometric data structure. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 23(3), 345–405.
- Baalman, M. A., Smoak, H. C., De Belleval, V., Bergmann, B., SALTER, C. L., Malloch, J., Wanderlay, M. M. (2010). Sense/Stage—low cost, open source wireless sensor and data sharing infrastructure for live performance and interactive realtime environments. *Linux Audio Conference* içinde *Advances in Landscape Architecture* (623-644). Londra: InTech.

- Batty, M. (1997). Predicting where we walk. *Nature*, 388(6637), 19–20.
- Batty, M. (2001). Agent-based pedestrian modeling. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 28(3), 321-326.
- Batty, M., Chapman, D., Evans, S., Haklay, M., Kueppers, S., Shiode, N. ve Torrens, P. M. (2000). *Visualizing the city: communicating urban design to planners and decision-makers*. Londra: IEEE.
- Bauer, D., Brändle, N., Seer, S., Ray, M. ve Kitazawa, K. (2009). Measurement of pedestrian movements: a comparative study on various existing systems. *Pedestrian Behavior* içinde (325-344). Alabama: Emerald Group Publishing Limited.
- Beesley, P., Hirose, S. ve Ruxton, J. (2006). Toward responsive architectures. *Responsive architectures: Subtle technologies*, 1, 3–11.
- Bell, J. H. (1927). The pedestrian and the city plan. *The ANNALS of the American Academy of Political and Social Science*, 133, 207–214.
- Bentley, I., Alcock, A., Murrain, P., McGlynn, S. ve Smith, G. (1985). *Responsive Environments: A Manual for Designers*. London: Architectural Press.
- Bentley, P. (Ed.). (1999). *Evolutionary design by computers*. San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers.
- Bera, A., Galoppo, N., Sharlet, D., Lake, A. ve Manocha, D. (2014). Adapt: real-time adaptive pedestrian tracking for crowded scenes. *Robotics and Automation (ICRA), 2014 IEEE International Conference on* içinde (1801–1808). IEEE.
- Berclaz, J. (2010). *Pedestrian localization, tracking and behavior analysis from multiple cameras*. Doktora Tezi, Ecole Polytechnique Federale De Lausanne, Lausanne.
- Bernardini, G., Quagliarini, E. ve D’Orazio, M. (2016). Towards creating a combined database for earthquake pedestrians’ evacuation models. *Safety Science*, 82, 77-94.
- Bertozzi, M., Broggi, A., Fascioli, A., Tibaldi, A., Chapuis, R. ve Chausse, F. (2004). Pedestrian localization and tracking system with Kalman filtering. *Intelligent Vehicles Symposium*, içinde (584–589). IEEE.

- Bierlaire, M., Antonini, G., ve Weber, M. (2003). Behavioral dynamics for pedestrians. *10th International Conference on Travel Behavior Research* (1-20). Lucerne: Session Behavioral Dynamics.
- Boldrin, N. (2014). *Dynamic inevitability in computational design*. Yüksek Lisans Tezi, University of Cincinnati, Ohio.
- Boltes, M., Seyfried, A., Steffen, B. ve Schadschneider, A. (Ed). (2010). Automatic extraction of pedestrian trajectories from video recordings. *Pedestrian and Evacuation Dynamics 2008* içinde (43-54). Berlin: Springer Heidelberg.
- Borgers, A., ve Timmermans, H. (2005). Modelling pedestrian behaviour in downtown shopping areas. *10th International Conference on Computers in Urban Planning and Urban Management* (1-15). Londra: CUPUM.
- Bosselmann, P. (1998). *Representation of places: Reality and realism in city design*. Berkeley: University of California Press.
- Bun, Z. (2012). Between analogue and digital diagrams. *enquiry: A Journal for Architectural Research*, 5(2).
- Burry, M. (1999). “Paramorph” in *AD profile 139*. Hypersurface in Architecture (2). London: Academy Edition.
- Caramuta, C., Collodel, G., Giacomini, C., Gruden, C., Longo, G. ve Piccolotto, P. (2017). Survey of detection techniques, mathematical models and simulation software in pedestrian dynamics. *Transportation Research Procedia*, 25, 551-567.
- Carmona, M. (1996). Controlling urban design—part 2: Realizing the potential. *Journal of Urban Design*, 1(2), 179-200.
- Carmona, M., Heath, T., Oc, T. ve Tiesdell, S. (2010). *Public places, urban spaces: the dimensions of urban design*. Oxford: Architectural Press.
- Carmo, M. (2011). *The alphabet and the algorithm*. Writing architecture. Cambridge, Mass: MIT Press.
- Charalampidis, E. ve Tsalikidis, I. (2015). A parametric landscape design approach for urban green infrastructure development. *Changing Cities II: Spatial, Design, Landscape & Socio-economic Dimensions* (591-600). Selanik: IEEE.

- Cheng, X., Gui, Z., Hu, K., Gao, S., Shen, P. ve Wu, H. (2015). A cloud-based platform supporting geospatial collaboration for gis education. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 1(1-4).
- Cingolani, F. (2018). *Projects*. 3 Mayıs 2019, www.designbydata.org.
- Colin, C. ve Dazzo, F. B. (2013). CMEIAS Quadrat maker: a digital software tool to optimize grid dimensions and produce quadrat images for landscape ecology spatial analysis. *Journal of Ecosystem & Ecography*, 3(3).
- Colombo, R. M., Goatin, P., Maternini, G., ve Rosini, M. D. (2010). Macroscopic models for pedestrian flows. *Big Events And Transport: The Transportation Requirements For The Management* (1-13). Venedik: HAL.
- Crankshaw, N. (2009). *Creating vibrant public spaces: streetscape design in commercial and historic districts*. Washington: Island Press.
- Çermikli, B. (2009). *Yaya bölgelerinde kullanım alanı üzerine bir araştırma: beyazıt meydanı ve çevresi örneği*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul.
- Daamen, W. ve Hoogendoorn, S. P. (2003). Extracting microscopic pedestrian characteristics from video data (15). *Annual Meeting Transportation Res. Board*, sunulmuş bildiri. Washington: Mira Digital Publishing.
- Danhaive, R. A. (2015). *Integrating interactive evolutionary exploration and parametric structural design*. Yüksek Lisans Tezi, MIT, Massachusetts.
- Davis, D. (2013). *Modelled on software engineering: flexible parametric models in the practice of architecture*. Doktora Tezi, RMIT University, Melbourne.
- Davis, D., Burry, J. ve Burry, M. (2011). Understanding visual scripts: Improving collaboration through modular programming. *International Journal of Architectural Computing*, 9(4), 361–376.
- De Mouron, H. (2010). *National Stadium*. 05 Mayıs 2019, <https://www.herzogdemeuron.com/index/projects/complete-works/226-250/226-national-stadium/image.html>.

- De Smith, M. J., Goodchild, M. F. ve Longley, P. A. (2009). *Geospatial analysis: a comprehensive guide to principles, techniques and software tools*. Leicester: Matador.
- Dijkstra, J., Jessurun, J. ve Timmermans, H. J. (2001). A multi-agent cellular automata model of pedestrian movement. *Pedestrian and evacuation dynamics, 1*, 173–181.
- Dino, İ. G. (2012). Creative design exploration by parametric generative systems in architecture. *METU Journal of the Faculty of Architecture*, 29(1), 207-224.
- Dogan, T. (2015). *Procedures for automated building energy model production for urban and early design*. Doktora Tezi, MIT, Massachusetts.
- Dollens, D. (2004). *Index architecture*. Massachusetts: MIT Press.
- Duives, D. (2013). *Analysis of pedestrian crowd movements at Lowland*. Yüksek Lisans Tezi, TU Delft, Delft.
- El Sheikh, M. M. (2011). *Intelligent building skins: parametric-based algorithm for kinetic facades design and daylighting performance integration*. Yüksek Lisans Tezi, University of Southern California, California.
- Eltaweel, A. ve Su, Y. (2017). Parametric design and daylighting: A literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 73, 1086-1103.
- Erlendsson, Ö. (2014). *Daylight optimization-a parametric study of atrium design: early stage design guidelines of atria for optimization of daylight autonomy*. Stockholm: Royal Institute of Technology Pb.
- Esteves, E. F., Rossetti, R. J. ve Oliveira, E. C. (2009). A software environment for microscopic pedestrian simulation. *ISC'2009-Industrial Simulation Conference'2009 içinde Advances in Landscape Architecture* (623-644). Londra: InTech.
- Ewing, R. ve Handy, S. (2009). Measuring the unmeasurable: urban design qualities related to walkability. *Journal of Urban Design*, 14(1), 65-84.
- Ewing, R., Handy, S., Brownson, R. C., Clemente, O. ve Winston, E. (2006). Identifying and measuring urban design qualities related to walkability. *Journal of Physical Activity & Health*, 3, 223.

- Fateme, A. S. N. ve Azadeh, A. (2012). Explaining security in urban environments based on physical and design parameters. *Environmental Based Territorial Planning (Amayesh)*, 4(15), 81-105.
- Fischer, T., Biswas, K. D., Ham, J., Naka, R., ve Huang, W. (2012). Toward a performance-oriented architecture. *Beyond Codes and Pixels: Proceedings of* (59-68). Hong Kong: Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia.
- Flötteröd, G. ve Lämmel, G. (2015). Bidirectional pedestrian fundamental diagram. *Transportation Research Part B: Methodological*, 71, 194-212.
- Garber, E. (2011). *Chamber hall threshold design and acoustic surface shaping with parametric modeling*. Yüksek Lisans Tezi, Virginia Polytechnic Institute and State University, Virginia.
- Garcia-Bunster, G., Torres-Torriti, M. ve Oberli, C. (2012). Crowded pedestrian counting at bus stops from perspective transformations of foreground areas. *IET Computer Vision*, 6(4), 296.
- Garip, E., Şalgamcıoğlu, M. E., ve Koş, F. C. (2015). The influence of architectural configuration on the pedestrian network in Büyük Beşiktaş market. *ITU AZ*, 105-113.
- Gengnagel, C., Kilian, A., Palz, N. ve Scheurer, F. (Ed.). (2012). *Computational design modelling*. Berlin: Springer.
- Getis, A. (1964). Temporal land-use pattern analysis with the use of nearest neighbor and quadrat methods. *Annals of the Association of American Geographers*, 54(3), 391-399.
- Grobman, Y. J. (2012). *Performatism: form and performance in digital architecture*. New York: Routledge.
- Grobman, Y. J., ve Ron, R. (2011). Digital form finding: generative use of simulation processes by architects in the early stages of the design process. *In Respecting Fragile Places: 29th eCAADe Conference* (s. 107-115). Ljubljana: University of Ljubljana. Faculty of Architecture.

- Gross, M. ve Do, E. (2004). Toward design principles for invisible interfaces. *Workshop on Invisible and Transparent Interfaces in conjunction with AVI conference on Advanced Visual Interfaces içinde Advances in Landscape Architecture* (623-644). Londra: InTech.
- Guan, X., Qian, X. ve Yang, Z. (2017). Comparison of several image analysis methods for fiber dispersion uniformity in water. *Journal of Dispersion Science and Technology*, 38(1), 19-25.
- Guggenheim. (2014). *Guggenheim*. 15 Mayıs 2019, <https://www.guggenheim-bilbao.eus/en/the-building>
- Gündüz, A. E. (2014). *Anomaly detection using sparse features and spatio-temporal hidden markov model for pedestrian zone video surveillance*. Yüksek Lisans Tezi, Middle East Technical University, Ankara.
- Hägerstraand, T. (1970). What about people in regional science? *Papers Of The Regional Science Association*, 24(1), 7-24.
- Hayek, U. W., Neuenschwander, N., Halatsch, J. ve Grêt-Regamey, A. (2010). Procedural modeling of urban green space pattern designs taking into account ecological parameters, *Generative and Parametric Design – eCAADe*, , 28(79), 339-347.
- Helbing, D. (1992). A fluid-dynamic model for the movement of pedestrians. *Complex Systems*, 6(25), 391-415.
- Helbing, D., Buzna, L., Johansson, A. ve Werner, T. (2005). Self-organized pedestrian crowd dynamics: experiments, simulations, and design solutions. *Transportation Science*, 39(1), 1-24.
- Helbing, D., ve Johansson, A. (2011). *Pedestrian, crowd and evacuation dynamics*. Berlin: Springer-Verlag.
- Helbing, D., Schweitzer, F., Keltsch, J. ve Molnár, P. (1997). Active walker model for the formation of human and animal trail systems. *Physical Review*, 56(3), 2527-2539.

- Hengl, T. (2007). *A practical guide to geostatistical mapping of environmental variables*. Luxembourg: European Comission Joint Research Centre Publications Office.
- Hensher, D. A., Button, K. J., Haynes, K. E. ve Stopher, P. R. (Ed.). (2004). *Handbook of transport geography and spatial systems: handbooks in transport*. Alabama: Emerald Group Publishing Limited.
- Hill, M. R. (1984). Stalking the urban pedestrian: A comparison of questionnaire and track methodologies for behavioral mapping in large-scale environments. *Environment and Behavior*, 16(5), 539.
- Hillier, B. ve Iida, S. (2005). Network and psychological effects in urban movement. *Spatial information theory içinde Advances in Landscape Architecture* (623-644). Londra: InTech.
- Hillier, B., Leaman, A., Stansall, P. ve Bedford, M. (1976). Space syntax. *Environmental Planning B*, 3, 147-185.
- Hirano, T. ve Yamada, T. (1988). *Multi Paradigm Expert System Architecture Based Upon The Inverse Design Concept* içinde . International Workshop on Artificial Intelligence for Industrial Applications, sunulmuş bildiri, Japan: JPX Publishing.
- Hornsby, K. ve Egenhofer, M. J. (2002). Modeling moving objects over multiple granularities. *Annals of Mathematics and Artificial Intelligence*, 36(1), 177-194.
- Hristopulos, D., ve C.Tsantili, I. (2017). Space–time covariance functions based on linear response theory and the turning bands method. *Spatial Statistics*, 321-337.
- Hu, X., Zheng, H., Chen, Y. ve Chen, L. (2015). Dense crowd counting based on perspective weight model using a fisheye camera. *Optik - International Journal for Light and Electron Optics*, 126(1), 123-130.
- Hudson, R. (2010). *Strategies for parametric design in architecture: an application of practice led research*. Doktora Tezi, University of Bath, Bath.
- Hughes, R. L. (2002). A continuum theory for the flow of pedestrians. *Transportation Research Part B: Methodological*, 36(6), 507-535.

- Jensen, O. B. (2009). Flows of meaning, cultures of movements – urban mobility as meaningful everyday life practice. *Mobilities*, 4(1), 139-158.
- Jiang, B., Claramunt, C. ve Batty, M. (1999). Geometric accessibility and geographic information: extending desktop GIS to space syntax. *Computers, Environment and Urban Systems*, 23(2), 127–146.
- Johansson, A., Helbing, D. ve Shukla, P. K. (2007). Specification of the social force pedestrian model by evolutionary adjustment to video tracking data. *Advances in complex systems*, 10(02), 271–288.
- Kachroo, P., Al-nasur, S. J., Wadoo, S. A. ve Shende, A. (2008). *Pedestrian dynamics: feedback control of crowd evacuation*. Understanding complex systems. Berlin: Springer.
- Kaparias, I., Bell, M. G. H., Biagioli, T., Bellezza, L. ve Mount, B. (2015). Behavioural analysis of interactions between pedestrians and vehicles in street designs with elements of shared space. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 30, 115-127.
- Karimi, H. A. (2017). *Big Data: Techniques and Technologies in Geoinformatics*. Florida: CRC Press.
- Kolarevic, B. (2001). Digital fabrication: manufacturing architecture in the information age. *ACADIA*, 268–277.
- Kolarevic, B. (2005). Digital praxis: From digital to material. *Proceedings of the 3rd Conference on Innovation in Architecture, Engineering and Construction (AEC) içinde I* (5–18). Delft University of Technology, Rotterdam.
- Kolarevic, B. ve diğer. (2000). Digital architectures. *ACADIA 2000*, 126(1), 123-130.
- Koltsova, A., Kunze, A., ve Schmitt, G. (2012). Design of urban space at pedestrian scale: a method for parameterization of urban qualities. *16th International Conference on Information Visualisation* (403-409). Zürih: Conference Publishing Services.

- Koltsova, A., Tuncer, B., Georgakopoulou, S. ve Schmitt, G. (2012). Parametric tools for conceptual design support at the pedestrian urban scale. *Digital Aids to Design Creativity* içinde 1(279-288). eCAADe 2012, sunulmuş bildiri, Prague.
- Kormaníková, L., Kormaníková, E. ve Katunský, D. (2017). Shape design and analysis of adaptive structures. *Procedia Engineering*, 190, 7-14.
- Koshak, N. A., ve Fouda, A. (2008). Analyzing pedestrian movement in mataf using gps and gis to support space redesign. *The 9th international conference on design and decision support systems in architecture and urban planning* (1-14). Leende: Technische Universiteit Eindhoven.
- Kubat, A. S., Güney, İ. ve Özer, Ö. (2007). *Space syntax üzerine. 11 Haziran 2019*, <http://v3.arkitera.com/news.php?action=displayNewsItem&ID=15866>.
- Kukla, R., Kerridge, J., Willis, A. ve Hine, J. (2001). PEDFLOW: Development of an autonomous agent model of pedestrian flow. *Transportation Research Record: Journal Of The Transportation Research Board*, (1774), 11–17.
- Lam, W. H. K. ve Cheung, C. (2000). Pedestrian speed/flow relationships for walking facilities in Hong Kong. *Journal of Transportation Engineering*, 126(4), 343-349.
- Leal-Taixé, L. ve Rosenhahn, B. (2012). Pedestrian interaction in tracking: the social force model and global optimization methods. *The International Series in Video Computing* içinde , Modeling, Simulation and Visual Analysis of Crowds 1(11). London: Springer.
- Leccese, F., Mattoccia, A., Rocca, M. ve Salvadori, G. (2015). A parametric approach to design a wooden climatic responsive village in Atacama Desert. Pre-Prints of BSA 2015 - *Building Simulation Application*, sunulmuş bildiri (231-238). Pisa: IEEE.
- Liu, J., Collins, R. T. ve Liu, Y. (2011). Surveillance camera autocalibration based on pedestrian height distributions. British Machine Vision Conference, sunulmuş bildiri (1-11). London: IEEE.
- Lynch, K. (1981). *A Theory of Good City Form*. Massachusetts: The MIT Press.

- Lynn, G. (1998). *Folds, bodies & blobs: collected essays*. Books-by-architects. Bruxelles: La Lettre volée.
- Lynn, G. (1999). *Animate Form* (1. bs.). New Jersey: Princeton Architectural Press.
- Lynn, G. ve Rappolt, M. (2008). *Greg Lynn Form*. New York: Rizolli.
- Lynn, G. (2009). *Greg Lynn Form*. 25 Mayıs 2016, <http://glform.com/buildings/h2-house/>.
- Mahdavinejad, M. ve Nazar, N. S. (2017). Daylightophil high-performance architecture: multi-objective optimization of energy efficiency and daylight availability in bsk climate. *Energy Procedia*, 115, 92-101.
- Mahmoud, A. H. ve Omar, R. H. (2015). Planting design for urban parks: Space syntax as a landscape design assessment tool. *Frontiers of Architectural Research*, 4(1), 35-45.
- Malinovskiy, Y., Wu, Y.-J. ve Wang, Y. (2008). Video-based monitoring of pedestrian movements at signalized intersections. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2073, 11-17.
- Markussen, T. (2010). A cognitive semiotic approach to the aesthetic interplay between form and meaning in responsive environments. *Design semiotics in use* (160-169). Helsinki: University of Arts and Design Helsinki.
- Martinez, D. (2015). *Pinterest*. 16 Haziran 2018, <https://tr.pinterest.com/pin/4714774593054180/>.
- May, R. (2015). Engineering urban complexity: bespoke integrated design. *Architectural Design*, 85(6), 104–109.
- McLaughlin, M. (2018). *Computer-generated inventions*. 11 Haziran 2019, http://infojustice.org/wp-content/uploads/2018/11/Computer-Generated-Inventions-v2_McLaughlin.pdf
- Mehta, V. (2009). Look closely and you will see, listen carefully and you will hear: urban design and social interaction on streets. *Journal of Urban Design*, 14(1), 29-64.

- Meyboom, A., Johnson, G. ve Wojtowicz, J. (2011). Architectronics: towards a responsive environment. *International Journal of Architectural Computing*, 9(1), 77–98.
- Miller, H. J. (2005, Ocak 1). A measurement theory for time geography. *Geographical Analysis*, 1, 17-45.
- Miura, S., Hisaka, S. ve Kamijo, S. (2013). GPS multipath detection and rectification using 3D maps. *16th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC 2013)* içinde (1528-1534). 2013 16th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems - (ITSC 2013), sunulmuş bildiri, The Hague, Netherlands: IEEE.
- Mohajerani, A., Bakaric, J. ve Jeffrey-Bailey, T. (2017). The urban heat island effect, its causes, and mitigation, with reference to the thermal properties of asphalt concrete. *Journal of Environmental Management*, 197, 522-538.
- Nikolić, M., Bierlaire, M., Farooq, B. ve de Lapparent, M. (2016). Probabilistic speed–density relationship for pedestrian traffic. *Transportation Research Part B: Methodological*, 89, 58-81.
- Norton, C. (2013). *Changing space and sound: parametric design and variable acoustics*. Yüksek Lisans Tezi, University of Southern California, California.
- Nourian, P., Rezvani, S., Sariyildiz, I. S. ve van der Hoeven, F. D. (2017). Spectral modelling for spatial network analysis. *Proceedings of the Symposium on Simulation for Architecture and Urban Design (simAUD 2016)* içinde. (18-24). simAUD.
- Olmeda, D., Hilario, C., de la Escalera, A. ve Armingol, J. M. (2008). Pedestrian detection and tracking based on far infrared visual information. *Advanced Concepts for Intelligent Vision Systems* içinde (958–969). Springer.
- Orellana, D. ve Renso, C. (2010). Developing an interactions ontology for characterising pedestrian movement behaviour. *Movement-Aware Applications for Sustainable Mobility: Technologies and Approaches: Technologies and Approaches* içinde (62–86). New York: IGI Global.

- Ota, M. ve Plews, R. (2015). Development of a software tool as an introduction to Geospatial Information Technology based on geospatial standards. *Cartography and Geographic Information Science*, 42(5), 419-434.
- Özübal, O. C. (2009). *Bergama örneğinde, kentsel açık mekânlarda yaya hareketlerinin çözümlenmesi konusunda bir yöntem*. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Paryabi, A. (2015). Organizing and tailoring of urban furniture. *Cumhuriyet Science Journal*, 36(4), 998–1012.
- Pawlyn, M. (2011). *Biomimicry in architecture*. London: Riba Publishing.
- Pearson, B. C. (2012). Deconstructing galbraith: a geostatistical analysis of cartographic intent. *The Cartographic Journal*, 49(3), 218-233.
- Peters, B. (2013). Computation works: the building of algorithmic thought. *Architectural design*, 83(2), 8–15.
- Piker, D. (2013). Kangaroo: form finding with computational physics. *Architectural Design*, 83(2), 136–137.
- Poulsen, E. S., Andersen, H. J., Gade, R., Jensen, O. B. ve Moeslund, T. B. (2012). Using human motion intensity as input for urban design. *AmI 2011 Workshops* içinde (128-136). International Joint Conference on Ambient Intelligence, sunulmuş bildiri, Aalborg.
- Ran, Y., Weiss, I., Zheng, Q. ve Davis, L. S. (2007). Pedestrian Detection via Periodic Motion Analysis. *International Journal of Computer Vision*, 71(2), 143-160.
- Rodriguez, M., Laptev, I., Sivic, J. ve Audibert, J.-Y. (2011). Density-aware person detection and tracking in crowds, *International Conference on Computer Vision*, (2423-2430).
- Rogsch, C. ve Klingsch, W. (2012). Basics of software-tools for pedestrian movement—identification and results. *Fire Technology*, 48(1), 105-125.
- Rohde, D. ve Corcoran, J. (2012). Graphical tools for conditional probabilistic exploration of multivariate spatial datasets. *Computers, Environment and Urban Systems*, 36(5), 359-370.

- Rutten, D. (2013). Galapagos: On the logic and limitations of generic solvers. *Architectural Design*, 83(2), 132–135.
- Ryan, D., Denman, S., Sridharan, S. ve Fookes, C. (2015). An evaluation of crowd counting methods, features and regression models. *Computer Vision and Image Understanding*, 130, 1-17.
- Saadat, S. ve Teknomo, K. (2011). Automation of pedestrian tracking in a crowded situation. *Pedestrian and Evacuation Dynamics* içinde (231–239). Boston: Springer.
- Salim, F. ve Haque, U. (2015). Urban computing in the wild: A survey on large scale participation and citizen engagement with ubiquitous computing, cyber physical systems, and Internet of Things. *International Journal of Human-Computer Studies*, 81, 31-48.
- Salingaros, N. A. (1999). Urban space and its information field. *Journal of Urban Design*, 4(1), 29-49.
- Sato, S., Hashimoto, M., Takita, M., Takagi, K. ve Ogawa, T. (2010). Multilayer lidar-based pedestrian tracking in urban environments. *Intelligent Vehicles Symposium (IV)*, 2010 IEEE içinde (849–854)..
- Schnädelbach, H. (2010). Adaptive architecture - A conceptual framework. *Proceedings of Media City*, 197, 522-538.
- Schumacher, P. (2009). Parametricism: A new global style for architecture and urban design. *Architectural Design*, 79(4), 14–23.
- Schweitzer, F., Lao, K. ve Family, F. (1997). Active random walkers simulate trunk trail formation by ants. *Biosystems*, 41(3), 153-166.
- Seer, S., Brändle, N. ve Ratti, C. (2014). Kinects and human kinetics: A new approach for studying pedestrian behavior. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 48, 212-228.
- Shea, K., Aish, R. ve Gourtovaia, M. (2005). Towards integrated performance-driven generative design tools. *Automation in Construction*, 14(2), 253-264.
- Shields, R. (1997). Flow as a new paradigm. *Space and Culture*, 1(1), 1-7.

- Shiwakoti, N., Sarvi, M. ve Rose, G. (2008). Modelling pedestrian behaviour under emergency conditions. *Australian Transportation Research Forum*, 31(1), 457-473.
- Shoval, N. (2008). Tracking technologies and urban analysis. *Cities*, 25(1), 21-28.
- Silavi, T., Hakimpour, F., Claramunt, C. ve Nourian, F. (2016). Design of a spatial database to analyze the forms and responsiveness of an urban environment using an ontological approach. *Cities*, 52, 8-19.
- Silverman, B. W. (1986). *Density Estimation for Statistics and Data Analysis*. Londra: Chapman and Hall/CRC.
- Siu, K. W. M. ve Wan, P. H. (2010). Street furniture design: A starting point for quality urban renewal. *Design Principles & Practice: An International Journal*, 4(1).
- Siu, K. W. M. ve Wong, K. S. L. (2015). Flexible design principles: Street furniture design for transforming environments, diverse users, changing needs and dynamic interactions. *Facilities*, 33(9-10), 588-621.
- Skelton, A. G. (1996). Quadrat analysis software for the detection of spatial or temporal clustering. *Statistics In Medicine*, 15(7-9), 939-941.
- Smith, A. ve Anderson, J. (2014). *AI, Robotics and the Future of Jobs*, Washington: Riba Publishing.
- Smith-Grieg, P. (1952). The use of random and continuous quadrats. *Annals of Botany*, 1, 293-316.
- Smyth, C. S. (2001). Mining mobile trajectories. *Geographic Data Mining and Knowledge Discovery*, 1, 337-361.
- Soru, M. (2014). *A spatial kinetic structure applied to an active acoustic ceiling for a multi-purpose theatre*. Yüksek Lisans Tezi, TU Delft, Delft University of Technology, Delft.
- Stampfli, A. (1991). Accurate determination of vegetational change in meadows by successive point quadrat analysis. *Plant Ecology*, 96(2), 185-194.
- Stampfli, A. (1992). Year-to-year changes in unfertilized meadows of great species richness detected by point quadrat analysis. *Plant Ecology*, 103(2), 125-132.

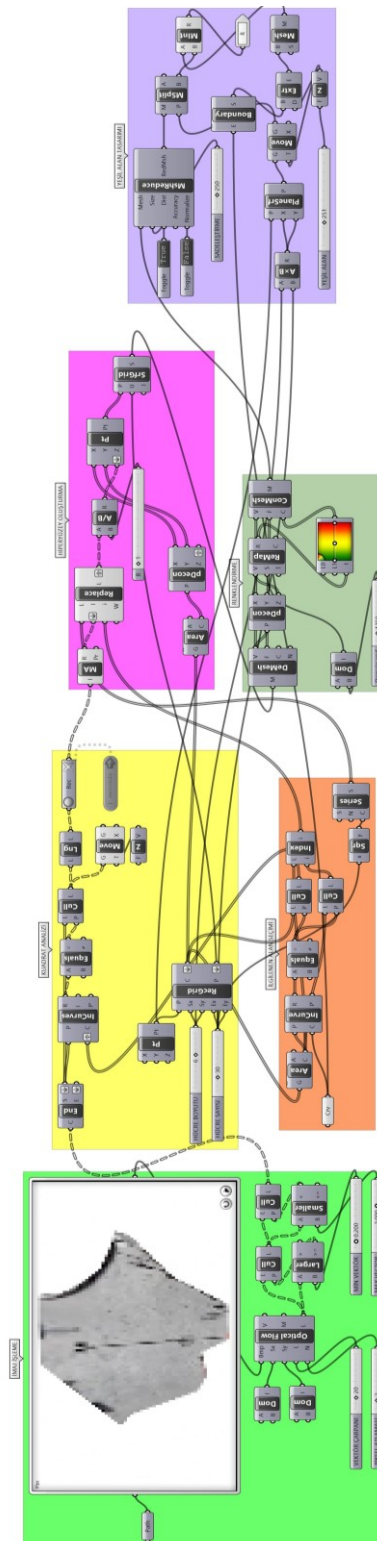
- Stiles, R. (2008). *Urban spaces – enhancing the attractiveness and quality of the urban environment*, New York: Springer.
- Stouffs, R., Janssen, P., Roudavski, S. ve Tunçer, B. (2013). Generative design intervention. *Conference on Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA 2013)* içinde 345(1), 354-361.
- Stuart, D. G. (1968). Planning for pedestrians. *Journal of the American Institute of Planners*, 34(1), 37-41.
- Sun, R., Zhang, G., Yan, X. ve Gao, J. (2016). Robust pedestrian classification based on hierarchical kernel sparse representation. *Sensors*, 16(8), 1296.
- Şahin, B. ve Gül, L. F. (2014). Understanding design practice, a case of turkey how really we employ digital tools for everyday designing?. *Proceedings of the 2nd ICAUD International Conference in Architecture and Urban Design*, sunulmuş bildiri, Tirana.
- Tang, W., Feng, W. ve Jia, M. (2015). Massively parallel spatial point pattern analysis: Ripley's K function accelerated using graphics processing units. *International Journal of Geographical Information Science*, 29(3), 412-439.
- Tedeschi, A. ve Wirz, F. (2014). *AAD - Algorithms-aided design: parametric strategies using grasshopper*. Brienza: Le Penseur publisher.
- Teknomo, K. (2002). *Microscopic pedestrian flow characteristics: development of an image processing data collection and simulation model*. Doktora Tezi, Tohoku University, Tohoku.
- Teknomo, K., Takeyama, Y. ve Inamura, H. (2000). Data collection method for pedestrian variables. *Dimensi Teknik Sipil*, 2(1), 43-48.
- Teknomo, K., Takeyama, Y. ve Inamura, H. (2001a). Measuring microscopic flow performance for pedestrians. *Proceedings of the 9th World Conference on Transport Research*. Seoul, Korea, Citeseer.
- Teknomo, K., Takeyama, Y. ve Inamura, H. (2001b). Tracking system to automate data collection of microscopic pedestrian traffic flow. *Proceedings of the 4th Eastern Asia Society for Transportation Studies*. Hanoi, Vietnam, 3(1), 11–25.

- Teknomo, K., Takeyama, Y., ve Inamura, H. (2000). Review on microscopic pedestrian simulation. *Japan Society of Civil Engineering Conference* (1-2). Morioka: Japan Society of Civil Engineering.
- Telford, T. (2000). *By design: Urban design in the planning system: Towards better practice*. Department of the Environment, Transport and the Regions Publications, 29(3), 432-439.
- Thomas, R. W. (1977). *An introduction to quadrat analysis*. Norwich: Geo Abstracts Ltd.
- Thomas, R. W. (1983). Scale effects and the information content of frequency arrays obtained by quadrat methods. *Environment and Planning A*, 15(8), 1015–1026.
- Tibbalds, F. (1992). *Making people-friendly towns : improving the public environment in towns and cities*. London: Longman.
- Touloupaki, E. ve Theodosiou, T. (2017). Energy performance optimization as a generative design tool for nearly zero energy buildings. *Procedia Engineering*, 180, 1178-1185.
- Tsui, P. H. ve Brimicombe, A. J. (1997). The hierarchical tessellation model and its use in spatial analysis. *Transactions in GIS*, 2(3), 267–279.
- Uçar, B. (2011). *An inquiry into the ontology of responsiveness: assessing embodiment and human-machine interaction in responsive environments*. Doktora Tezi, Middle East Technical University, Ankara.
- Varga, D., Sziranyi, T., Kiss, A., Sporas, L. ve Havasi, L. (2015). A multi-view pedestrian tracking method in an uncalibrated camera network. *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision Workshops* içinde (37–44).
- Vogler-Ludwig, K., Kriechel, B. ve Düll, N. (2016). *Arbeitsmarkt 2030 - Wirtschaft und Arbeitsmarkt im digitalen Zeitalter: Prognose 2016*. Bielefeld: W. Bertelsmann Verlag
- Waldau, N. (Ed.). (2006). *Pedestrian and evacuation dynamics 2005*. New York: Springer.

- Wang, D., Brown, G. ve Liu, Y. (2015). The physical and non-physical factors that influence perceived access to urban parks. *Landscape and Urban Planning*, 133, 53-66.
- Wang, X. (2011). *Visual Analysis of Humans*. London: Springer.
- Wang, X., Ma, K. T., Nege, G.-W. ve Grimson, W. E. L. (2011). Trajectory analysis and semantic region modeling using nonparametric hierarchical bayesian models. *International Journal of Computer Vision*, 95(3), 287-312.
- Whyte, W. (1980). *The social life of small urban spaces*. Washington: Project for Public Spaces.
- Wikimedia. (2014) Commons. 17 Haziran 2016, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Waterloo_International_Station_geography-4062143-by-Ben-Brooksbank.jpg.
- Willis, A., Gjersoe, N., Havard, C., Kerridge, J. ve Kukla, R. (2004). Human movement behaviour in urban spaces: implications for the design and modelling of effective pedestrian environments. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 31(6), 805-828.
- Yazar, T. ve Uysal, S. (2016). *Grasshopper ile parametrik modelleme*. İstanbul: Pusula.
- Yazıcı, S. (2016). A parametric landscape urbanism method: The search for an optimal solution. *A/Z : ITU journal of Faculty of Architecture*, 13(3), 155-165.
- Yücel, G. F. (2013). Street furniture and amenities: designing the user-oriented urban landscape. *Advances in Landscape Architecture* (623-644). Londra: InTech.
- Zari, M. P. (2007). *Biomimetic approaches to architectural design for increased sustainability*. Auckland: IEEE.
- Zbašnik-Senegačnik, M. ve Kitek Kuzman, M. (2014). Interpretations of organic architecture. *Prostor: Znanstveni Časopis Za Arhitekturu I Urbanizam*, 22(2), 290–301.
- Zhang, G., Zhu, X. ve Huang, Q. (2017). A GPU-accelerated adaptive kernel density estimation approach for efficient point pattern analysis on spatial big data. *International Journal of Geographical Information Science*, 31(10), 2068-2097.

- Zhang, J. (2012). *Pedestrian fundamental diagrams: comparative analysis of experiments in different geometries*. Jülich: Forschungszentrum Jülich.
- Zhang, S., Tang, J., Wang, H., Wang, Y. ve An, S. (2017). Revealing intra-urban travel patterns and service ranges from taxi trajectories. *Journal of Transport Geography*, 61, 72-86.
- Zhou, Y., Shi, T., Hu, Y., Gao, C., Liu, M., Fu, S. ve Wang, S. (2011). Urban green space planning based on computational fluid dynamics model and landscape ecology principle: A case study of Liaoyang City, Northeast China. *Chinese Geographical Science*, 21(4), 465-475.

EK 1: Algoritma



Şekil A.1 Algoritma