

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

***PHYSARUM POLYCEPHALUM* TÜRÜ**
CIVİK MANTARLARIN
MİMARİ / KENTSEL TASARIMA
ALTLIK OLUŞTURMAKTA KULLANIMI

İrem KALE

Temmuz, 2019

İZMİR

***PHYSARUM POLYCEPHALUM* TÜRÜ**
CIVİK MANTARLARIN
MİMARİ / KENTSEL TASARIMA
ALTLIK OLUŞTURMAKTA KULLANIMI

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi

Mimarlık Anabilim Dalı, Bina Bilgisi Programı

İrem KALE

Temmuz, 2019

İZMİR

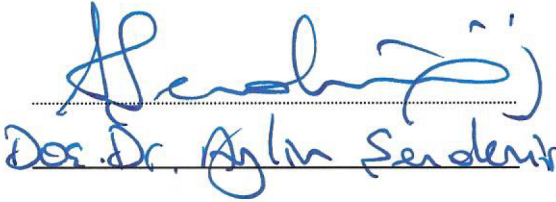
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

İREM KALE, tarafından DOÇ. DR. TUTKU DİDEM ALTUN yönetiminde hazırlanan “*PHYSARUM POLYCEPHALUM* TÜRÜ CIVİK MANTARLARIN MİMARİ/ KENTSEL TASARIMA ALTLIK OLUŞTURMAKTA KULLANIMI” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

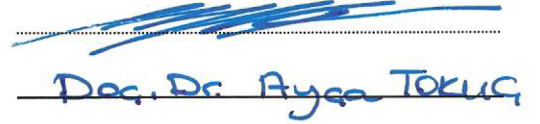


Doç. Dr. T. Didem ALTUN

Yönetici



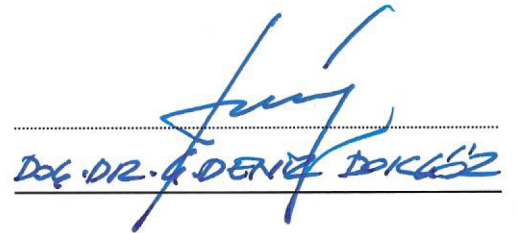
Jüri Üyesi



Jüri Üyesi



Jüri Üyesi



Jüri Üyesi



Prof. Dr. Kadriye ERTEKİN

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Gerek lisans, gerekse yüksek lisans eğitim sürecim boyunca her konuda bana destek ve cesaret veren, tanıdığım ilk günden beri ufkumu genişleten, mimarlık ve aynı zamanda biyolojiye olan ilgimi ve heyecanımı artıran, yapmak istediğimden fazlasını başarmamı sağlayan ve karşıma her zaman güzel fırsatlar çıkaran değerli hocam ve tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Tutku Didem AKYOL ALTUN'a teşekkür ederim.

Her zaman yapmak istediğim şeyleri gerçekleştirmem konusunda en büyük destekçim ve yardımcılarım olan, fikirlerime her zaman saygı gösteren, maddi manevi verdikleri karşılıksız sevgi ve destek için babam Bayram KALE ve annem Döne KALE başta olmak üzere, ilk öğretmenim, ablam Ebru TAŞDEMİR'e, ağabeyim Emre KALE'ye, tez kapsamında yaptığım deney sürecinde en az benim kadar ilgili olan yeğenlerim Arzu TAŞDEMİR ve Göktuğ TAŞDEMİR'e, her derdime ve sevincime içtenlikleriyle ortak olan tüm arkadaşlarıma, tez sürecimde büyük katkı ve yardımları olan Türkiye Biyotasarım Takımı'na, 1002 Hızlı Destek Programı kapsamında gerçekleştirilen 216M507 no.lu proje desteklerinden dolayıTübitak'a, tüm destek ve anlayışları için Bursa Teknik Üniversitesi Güzel Sanatlar ve Mimarlık Fakültesi'ndeki hocalarım ve çalışma arkadaşlarıma ayrı ayrı çok teşekkür ederim.

İrem KALE

**PHYSARUM POLYCEPHALUM TÜRÜ CIVIK MANTARLARIN
MİMARİ / KENTSEL TASARIMA
ALTLIK OLUŞTURMAKTA KULLANIMI**

ÖZ

Geçtiğimiz elli yıl içerisinde, özellikle Sanayi Devrimi'yle birlikte doğaya verilen zararın farkına varılmış; bunun sonucunda mimarlık da farklı bir noktaya doğru evrilerek, kendi sınırlarını genişletebilmek adına pek çok disiplinle ilişki kurarak ortak düşünmeye başlamıştır. Diğer disiplinler içinde mimarlığın en çok etkilendiği disiplin biyoloji olmuş ve bu doğrultuda, ilk çağlardan itibaren insanlar için en büyük esin kaynağı olan doğanın uzun yıllardır geliştirdiği yöntemleri inceleyen "biyomimikri" kavramı güncel tasarım yaklaşımları arasında önemli bir yer edinmiştir.

Tez kapsamında ilk olarak mimarinin, tarihsel süreçte doğadan nasıl esinlendiği, çeşitli kırılma noktalarıyla birlikte örnekler üzerinden anlatılmış ve esinlenme düzeyleri yorumlanarak geliştirilmiştir. Literatürdeki mevcut sınıflanma geliştirilerek yeni bir esin düzeyi olarak biyoişbirlikçi tasarım yaklaşımı ortaya konmuştur. Biyoişbirlikçi tasarım, doğada bulunan canlı bir sistemi tasarım sürecine direkt olarak dahil etme yaklaşımıdır ve bu tez çalışması biyoişbirlikçi bir tavırla cıvık mantarlara odaklanmaktadır. Tez çalışmasında 900 cıvık mantar türünden biri olan, besin kaynakları arasında bağlantılar oluşturma ve en kısa yolu bulma konusunda önemli bir yeteneğe sahip *Physarum Polycephalum*'un kentsel ölçekteki tasarımlarda yol gösterici bir altlık olma potansiyelleri ele alınmaktadır. Bu doğrultuda, İzmir İli, Karabağlar İlçesi'nde, 2017 yılında Karabağlar Belediyesi tarafından yarışmaya açılan, yaklaşık 40.000 metrekarelik atıl bir alan seçilmiş ve cıvık mantarların davranış modelleri doğrultusunda bir tasarım altlığı geliştirilmiştir. Sonrasında, öneri altlığın yarışmada ödül alan projelerle karşılaştırmalı değerlendirmesi yapılmıştır.

Sonuç olarak cıvık mantarların, en kısa yolu bulduğu ve mesafeleri optimize ettiği gözlemlenmiştir.

Disiplinlerarası yapılan bu çalışma, sadece seçilen bir alan için bir tasarım altlığı oluşturmakla kalmamakta; aynı zamanda **tasarım sürecine ilişkin yeni bir yöntem** önermektedir. Tasarımcıya arazi kullanımı ve optimum yaya hareketini öngörme fırsatı sunan bu yöntem, farklı arazilerde de uygulanabilecek şekilde konvansiyonel tasarım sürecine bir aşama eklemektedir. Kentsel ölçekte ana tasarım kararlarının alınmasının zor ve karmaşık bir süreç olduğudüşünüldüğünde, cıvık mantarların kentsel alanlarda optimum yolların bulunmasında ilham alınabilecek canlılar olduğu ve tasarımcılara yol gösterme konusunda bir rehber olacağı öngörülmektedir.

Anahtar kelimeler: Biyomimikri, biyomimetik tasarım, biyotasarım, *Physarum Polycephalum*, cıvık mantar, mimari tasarım, kentsel tasarım

THE USE OF *PHYSARUM POLYCEPHALUM* AS A DESIGN GUIDE IN ARCHITECTURAL AND URBAN DESIGN

ABSTRACT

In the last fifty years, especially with the Industrial Revolution, the damage to nature has been realized; as a result of this, architecture has evolved towards a different point and started to think in mutual with many disciplines in order to expand its boundaries. Among the other disciplines, biology was the most influenced discipline of architecture and in this direction, the concept of biomimicry which examines the methods developed by nature for many years, which has been the greatest source of inspiration for humans since the early ages, has gained an important place among contemporary design approaches.

Within the scope of the thesis, firstly, how architecture is inspired from nature in the historical process is explained with examples with various breaking points, and the levels of inspiration are interpreted and developed. Accordingly, biodesign, which means the creation of biological partnerships from new levels of inspiration, is an approach of directly incorporating a living system in nature into the design process, and this thesis primarily focuses on collaborative studies with living beings and biodesign. *Physarum Polycephalum*, which is one of 900 slime mould species, has an important ability to establish connections between food sources and to find the shortest path. In this thesis, the potentials of *Physarum Polycephalum* being a guide in urban designs is assessed. Within this scope, an inert area of approximately 40,000 square meters was selected by Karabağlar Municipality in 2017 in Karabağlar District of İzmir Province and a design proposal was developed in line with the behavioral models of slime moulds. Subsequently, a comparative evaluation of the design proposal was made with the projects that were awarded in the competition. As a result, slime moulds found the shortest path and optimized the distances. Considering that it is a difficult and complex process to make major design decisions

on an urban scale, slime moulds are predicted to provide inspiration for finding optimal pathways in urban areas and provide guidance to designers.

Keywords: Biomimicry, biomimetic design, biodesign, *PhysarumPolycephalum*, slime moulds, architectural design, urban design



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZ	iv
ABSTRACT	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xii
TABLolar LİSTESİ	xvii
BOLÜM BİR - GİRİŞ.....	1
1.1 Problem Tanımı ve Çalışmanın Amacı	1
1.2 Literatür Özeti	3
1.3Yöntem ve Kapsam	4
BÖLÜM İKİ - DOĞA VE MİMARLIK İLİŞKİSİNE DAİR AÇILIMLAR	7
2.1 Biyoloji- Mimarlık İlişkisi ve Biyomimetik Tasarım.....	7
2.1.1 Biyoloji- Mimarlık İlişkisi	7
2.1.2 Biyomimetik Tasarım/ Biyomimikri Kavramı	8
2.1.3 Biyotasarım Kavramı	12
2.2 Tarihsel Süreçte Mimarlıkta Doğayı Taklit Etme Biçimleri	13
2.2.1 Erken Dönemler	13
2.2.2 Aydınlanma Dönemi ve Sonrası	15
2.2.3 Sanayi Devrimi ve 20. Yüzyıldaki Gelişmeler	16

2.2.3.1 Organik Mimarlık.....	19
2.2.3.2 Metabolist Hareket.....	21
2.2.3.3 Ekolojik Hareket	22
2.2.4 21. Yüzyıldaki Gelişmeler	23
2.3 Literatürde Mimarlık Alanında Doğadan Esinlenme Yöntemlerine İlişkin Sınıflandırmalar.....	25
2.4 21. Yüzyılda Biyoloji ve Mimarlık Ortaklığında Biyomimetik Tasarım Örnekleri.....	31
2.4.1 Biçimsel Esinlenme	33
2.4.2 Fizyolojik Esinlenme	41
2.4.3 Davranışsal Esinlenme.....	49
2.4.4 Biyolojik Ortaklıklar Kurma- Biyoişbirliği	57
BÖLÜM ÜÇ - BİYOİŞBİRLİKÇİ BİR YAKLAŞIM OLARAK <i>PHYSARUM POLYCEPHALUM</i> TÜRÜ CIVIK MANTARLARIN TASARIMDA KULLANIM POTANSİYELLERİ	73
3.1 Biyolojik Açıdan <i>Physarum Polycephalum</i> Türü Cıvık Mantar	74
3.1.1 <i>Physarum Polycephalum</i> 'un Yaşam Döngüsü	75
3.1.2 <i>Physarum Polycephalum</i> 'un Büyüme Koşulları.....	78
3.1.2.1 Işık Optimizasyonu	78
3.1.2.2 Sıcaklık Optimizasyonu	79
3.1.2.3 Besin Türü Optimizasyonu	80
3.1.2.4 Farklı Kimyasallara Karşı Tepkisinin Belirlenmesi.....	82
3.1.2.5 Nem Optimizasyonu.....	83
3.2 Cıvık Mantarların Tasarım Aracı Olarak Kullanılabilecek Özellikleri.....	85

3.3 <i>Physarum Polycephalum</i> 'un Davranışsal Özelliklerinin Ulaşım Ağları ve Tasarım ile İlişkili Kullanımları	90
3.3.1 Ulaşım Ağı Örnekleri.....	90
3.3.1.1 Tokyo Metro Ağı	91
3.3.1.2 İber Otoyol Ulaşım Ağı.....	92
3.3.1.3 ABD Eyaletler Arası Ulaşım Ağı.....	93
3.3.1.4 Almanya “Autobahn” Ulaşım Ağı	94
3.3.1.5. Antik Dönem Ulaşım Ağları	95
3.3.1.6 İzmir Otoyol Ulaşım Ağı	98
3.3.1.7 Üç Boyutlu Model Üzerinde <i>Physarum Polycephalum</i> Davranışı.....	99
3.3.2 <i>Physarum Polycephalum</i> ile İlişkili Mimarlık ve Tasarım Örnekleri.....	100
3.3.2.1 İzmir Kadifekale Rekreasyon Alanı Tasarımı.....	100
3.3.2.2 Cıvık Mantarlarla Mekân Organizasyonu	104
3.3.2.3 Yaşayan Ekranlar	105
3.3.2.4 Gülümseyen Robot.....	107
3.3.2.5 Korkuyla Hareket Eden Robot	108
3.3.2.6 <i>Physarum Polycephalum</i> Şarkısı.....	109
3.3.2.7 Sanatsal Çalışmalar	110
3.4 Hesaplamalı Tasarımda En Kısa Yol Bulmaya Dair Algoritmalar	111

BÖLÜM DÖRT - KARABAĞLAR KENT MEYDANI TASARIMI'NDA CIVIK MANTARLARLA İŞBİRLİĞİ..... 117

4.1 Alanın Tanıtımı ve Çevre Analizleri	117
4.1.1 Kentsel Doku Analizleri	120
4.1.1.1 Dolu- Boş Analizi	120

4.1.1.2 Yeşil Alan Analizi.....	121
4.1.1.3 Gabari Analizi	122
4.1.1.4 Röper Noktaları.....	123
4.1.2 Kamusal Alan Analizleri	124
4.1.2.1 Yol Ağı Analizi.....	124
4.1.2.2 Toplu Taşıma Ağı Analizi.....	125
4.1.2.3 Zemin Kat Kullanım Analizi.....	126
4.1.2.4 Güvenlik Analizi	127
4.1.3 GZFT Analizi.....	128
4.2 Alan Çalışmasına İlişkin Deney Ortamının Hazırlanması ve Yöntem.....	129
4.3 İki Boyutlu Harita Deneylerine İlişkin Bulgular	137
4.4 Bulgular Doğrultusunda Bir Tasarım Altlığı Oluşturulması	140
4.5 Yarışma Sonuçlarıyla Karşılaştırmalı Değerlendirme	146
4.5.1 Karabağlar Belediyesi Kamusal Açık Mekân ve Kent Meydanı Kentsel Tasarım Yarışması, 1. Ödül.....	147
4.5.2 Karabağlar Belediyesi Kamusal Açık Mekân ve Kent Meydanı Kentsel Tasarım Yarışması, 2. Ödül.....	148
4.5.3 Karabağlar Belediyesi Kamusal Açık Mekân ve Kent Meydanı Kentsel Tasarım Yarışması, 3. Ödül.....	150
4.5.4 Physarum Polycephalum'un Besine Ulaşma Davranışı Doğrultusunda Oluşturulan Tasarım Altlığının Ödül Alan Projelerle Karşılaştırılması..	152
BÖLÜM BEŞ	159
KAYNAKLAR	164

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 Clement Ader'in tasarladığı uçabilen ilk araç	11
Şekil 2.2 Farklı bölgelerde bulunan yapılar ve doğada bulunan benzerleri	13
Şekil 2.3 Parthenon tapınağının cephesinde kullanılan altın oran	14
Şekil 2.4 İnsan iskeleti ile ters payanda ilişkisini gösteren çizim, Sagra da Familia. 15	
Şekil 2.5 Crystal Palace ve Victoria Amazonica'nın yaprağının alt kısmı	16
Şekil 2.6 Eyfel Kulesi ve femur	17
Şekil 2.7 BCE Place	18
Şekil 2.8 Şelale evi.....	20
Şekil 2.9 Helix City.....	22
Şekil 2.10 Waterloo Uluslararası Terminali ve pangolin.....	26
Şekil 2.11 Namibya Üniversitesi Hidroloji Merkezi.....	27
Şekil 2.12 Eastgate Merkezi'nde yer alan akkarınca havalandırma kanalının taklit edilmesi.....	29
Şekil 2.13 Lloyd Crossing Projesi.....	30
Şekil 2.14 Eden Projesi	31
Şekil 2.15 Fennel evi cephesi.....	34
Şekil 2.16 Su küpü binası.....	35
Şekil 2.17 Yusufçuk böceği binası.....	36
Şekil 2.18 Zhuhai gözlem kulesi	37
Şekil 2.19 Projenin konsept görseli.....	38
Şekil 2.20 Gmond Uluslararası Binası	39
Şekil 2.21 1. Ödülü alan öneri projesi.....	40
Şekil 2.22 Esplanade tiyatrosu	42
Şekil 2.23 Spiral kafe	43
Şekil 2.24 Stuttgart havaalanı taşıyıcı sistemi	44
Şekil 2.25 Beijing ulusal stadyumu.....	45
Şekil 2.26 Ağaç restoranın iç mekân görseli.....	46
Şekil 2.27 Proje görseli	47

Şekil 2.28 Elytra filament pavyonunun görünüşü.....	48
Şekil 2.29 Stadyumun üstten görünüşü	50
Şekil 2.30 Dış cephe panelleri.....	51
Şekil 2.31 Projenin konsept görseli.....	52
Şekil 2.32 Proje görselleri	53
Şekil 2.33 Projenin üç boyutlu görseli	54
Şekil 2.34 Projenin iç mekân görseli	55
Şekil 2.35 Kaktüs projesi	56
Şekil 2.36 Fab tree hab projesi 3 boyutlu görseli.....	58
Şekil 2.37 Projenin öngörülen gelişim süreci	59
Şekil 2.38 Küp çınarının görünümü	60
Şekil 2.39 Ağaçların zaman içinde büyümesi ve dış cepheyi oluşturması	61
Şekil 2.40 Ağaç dallarının birbirine bağlanması.....	61
Şekil 2.41 Projenin konsept görselleri	62
Şekil 2.42 Projenin konsept görselleri	63
Şekil 2.43 Bakteri enjekte edilmiş kum	63
Şekil 2.44 Hy- Fi kulesi	64
Şekil 2.45 Malzemenin üretim süreci ve yapım yöntemi.....	65
Şekil 2.46 Hamburg’ta inşa edilen biyoadaptif cepheli bina	66
Şekil 2.47 Binanın cephesindeki düz-panel fotobiyoreaktörün yapısı, kesiti ve görünüşü.....	67
Şekil 2.48 Bina cephesindeki ikincil yapının yakından görünümü.....	68
Şekil 2.49 Üretilen biyoenerjinin toplandığı biyogaz üretim makinesi	68
Şekil 2.50 Projenin cephe görünüşü.....	69
Şekil 2.51 İç mekân görselleri ve detayları.....	70
Şekil 2.52 Proje strüktürünü oluşturulması.....	71
Şekil 2.53 Farklı ortamlarda kullanımı	72
Şekil 2.54 Strüktür etrafında büyüyen istiridye mantarları	72
Şekil 3.1 Physarum Polycephalum’un plazmodyum hali	76
Şekil 3.2 Physarum polycephalum’un spor yapısı	77
Şekil 3.3 Cıvık mantarın büyümesi için en uygun ışık değerinin belirlenmesi çalışmaları	79

Şekil 3.4 Cıvık mantarın büyümesi için en uygun sıcaklık değerinin belirlenmesi çalışmaları	80
Şekil 3.5 Cıvık mantarın büyümesi için en uygun besin maddesinin belirlenmesi çalışmaları.....	81
Şekil 3.6 Cıvık mantarın büyümesinin farklı kimyasallara etkisinin belirlenmesi çalışmaları	83
Şekil 3.7 Cıvık mantarın büyümesi için en uygun nemlendirme miktarının belirlenmesi çalışmaları.....	84
Şekil 3.8 Physarum Polycephalum tarafından oluşturulan ağlar	87
Şekil 3.9 Physarum Polycephalum'un labirent çözme davranışı	88
Şekil 3.10 Labirent çözme davranışı ve ikili görüntü	89
Şekil 3.11 Physarum Polycephalum'un labirent üzerinde davranışı ve oluşturduğu rotalar	89
Şekil 3.12 Oluşturulan labirentin olası yol güzergahları.....	90
Şekil 3.13 Tokyo raylı sistem ağı.....	91
Şekil 3.14 Canlının oluşturduğu ağ (ortada), mevcut tokyo metro ağı (sağda)	92
Şekil 3.15 Şehir merkezleri ve cıvık mantarın çıkardığı ağ.....	93
Şekil 3.16 Cıvık mantarın ABD haritası üzerinde davranışı (sırayla 12,36 ve 60. saat görünümü)	93
Şekil 3.17 ABD ulaşım ağı ve cıvık mantar ağının çakıştırılmış hali.....	94
Şekil 3.18 Autobahn ağı ve cıvık mantar ağının çakıştırılmış hali	95
Şekil 3.19 Cıvık mantarların oluşturduğu yol ağı (solda) ve bilinen (sağda) yol ağı	96
Şekil 3.20 Cıvık mantarın oluşturduğu ağ (a,b,c,) ve bilinen yol ağı (d).....	97
Şekil 3.21 İki boyutlu İzmir haritası üzerinde canlı yayılımı ve mevcut ağ ile çakıştırılması	99
Şekil 3.22 Model üstünde cıvık mantarın davranışı (solda ABD, sağda Almanya)	100
Şekil 3.23 İzmir-Şehir Projesi bağlamında ön planlama çalışmalarının deneyim yolları	101
Şekil 3.24 İki boyutlu haritanın hazırlanması ve arazi kararları	102
Şekil 3.25 En çok tercih edilen rota ve en kısa yolların çakıştırılması (sırayla canlı deneyleri, ACO ve FW algoritması)	103
Şekil 3.26 Odak noktası (a) ve tasarım önerisi (b).....	104

Şekil 3.27 Cıvık mantarların plan üzerinde davranışı	105
Şekil 3.28 Yaşayan ekranın iç mekânda görünümü	105
Şekil 3.29 Dış cephede kullanımı (Barselona oteli)	106
Şekil 3.30 Robotun cıvık mantara göre yüz ifadesinin değişimi	107
Şekil 3.31 Cıvık mantar hareketiyle ilerleyen robot	108
Şekil 3.32 Cıvık mantarların hareketini sese dönüştüren cihaz	109
Şekil 3.33 Floresan hücre boyama (solda) ve yaşayan strüktürler (sağda)	110
Şekil 3.34 Cıvık mantar olmak atölyesi	111
Şekil 3.35 ODTÜ kampüs yerleşkesi	113
Şekil 3.36 Güzergah çalışmaları	113
Şekil 3.37 Simülasyon sonucu (solda) ve Brasilia Üniversitesi Kampüsü (sağda)..	114
Şekil 4.1 Karabağlar ilçesinin İzmir il fiziki haritasındaki konumu	118
Şekil 4.2 Tasarım alanı.....	119
Şekil 4.3 Dolu- boş analizi haritası	120
Şekil 4.4 Yeşil alan analizi haritası	121
Şekil 4.5 Gabari analizi haritası	122
Şekil 4.6 Röper noktaları.....	123
Şekil 4.7 Yol ağı analizi haritası	124
Şekil 4.8 Toplu Taşıma Ağı Haritası	125
Şekil 4.9 Zemin kat kullanım haritası	126
Şekil 4.10 Güvenlik analizi haritası	127
Şekil 4.11 Karabağlar'da seçilen alana ilişkin yapılan işaretlemeler	129
Şekil 4.12 Alan sınırının agar yüzeyinden kesilerek oluşturulması ve belirlenen erişim noktalarına yulaf konulması	131
Şekil 4.13 <i>Physarum Polycephalum</i> 'un deney ortamı üzerinde davranışı, birinci aşama deneyler	133
Şekil 4.14 <i>Physarum Polycephalum</i> 'un deney ortamı üzerinde davranışı, ikinci aşama deneyler, ilk deney (84 saatlik gözlem süreci)	135
Şekil 4.15 <i>Physarum Polycephalum</i> 'un deney ortamı üzerinde davranışı, ikinci aşama deneyler (5 günlük gözlem süreci)	136
Şekil 4.16 Birinci aşama yapılan deney sonuçlarının karşılaştırılması.....	137
Şekil 4.17 İkinci aşama yapılan deney sonuçlarının karşılaştırılması	139

Şekil 4.18 İki aşamalı olarak yapılan deneyler doğrultusunda geliştirilen tasarım altlığı rotaları	141
Şekil 4.19 Tasarım süreci	143
Şekil 4.20 Önerilen tasarım altlığı	146
Şekil 4.21 1. Ödül vaziyet planı	147
Şekil 4.22 1. Ödül soyutlama grafiği	148
Şekil 4.23 2. Ödül vaziyet planı	148
Şekil 4.24 2. Ödül soyutlama grafiği	149
Şekil 4.25 3. Ödül vaziyet planı	150
Şekil 4.26 3. Ödül soyutlama grafiği	151
Şekil 4.27 Öneri tasarım altlığı ve ödül alan projelerdeki yollar, meydanlar, etkinlik alanları ve yeşil alanlar (sırasıyla öneri proje, 1., 2., 3. ödül)	152
Şekil 4.28 Proje önerilerindeki ana yollar (sırasıyla öneri proje, 1., 2. ve 3. ödül) .	154
Şekil 4.29 Önemli noktalardan meydana olan mesafeler (mavi çizgi Faruk Akar Karasu Caddesi, kırmızı çizgi İhsan Alyanak Bulvarı, yeşil çizgi İhsan Alyanak Kapalı Spor Salonu).....	155
Şekil 4.30 Önemli noktalar arası mesafeler (mavi çizgi Faruk Akar Karasu Caddesi- İhsan Alyanak Bulvarı, kırmızı çizgi Faruk Akar Karasu Caddesi- İhsan Alyanak Kapalı Spor Salonu).....	156
Şekil 4.31 Kuzey- güney (kırmızı çizgi), doğu- batı (mavi çizgi) rotasının mesafeleri	157
Şekil 5.1 Konvansiyonel tasarım süreci	162
Şekil 5.2 Cıvık mantarların altlık olarak kullanıldığı öneri tasarım süreci	162

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa

Tablo 4.1 GZFT Analizi.....	128
-----------------------------	-----



BOLÜM BİR

GİRİŞ

1.1 Problem Tanımı ve Çalışmanın Amacı

Doğada tek hücreli bir canlı olarak bulunan *Physarum Polycephalum* türü cıvık mantarın beslenme davranışlarının, yaya yol ağları tasarımında kullanım potansiyellerinin araştırılması; bu doğrultuda, kentsel alanlarda iz sürmeyi kolaylaştıracak ve farklı ölçeklerdeki mimari/ kentsel tasarım çalışmalarına temel oluşturması, bu tez çalışmasının genel kapsamını oluşturmaktadır.

Mimarlık ve doğa sürekli olarak etkileşim halindedir. Geçmişten günümüze kadar olan süreçte insan, gereksinimlerini karşılayabilmek adına doğadan çeşitli şekillerde faydalanmıştır. Doğa, içinde bulunduğumuz ana mekân olarak kabul edildiğinde, zaman içerisinde insanlar barınma ve doğal etkenlerden korunma gibi eylemler için farklı mekânlara ihtiyaç duymuş; bu doğrultuda alt mekânlar oluşturmaya başlamıştır. Erken dönemlerden 19. yüzyıla kadar doğa ve doğadaki formların tasarıma yansması daha yüzeysel olurken, Sanayi Devrimi ve sonraki süreçlerde, teknoloji, bilim alanındaki gelişmeler doğrultusunda tasarım anlayışı belirgin bir değişime uğramış; doğa, daha kapsamlı ve sorgulayıcı bir biçimde ele alınmaya başlanmıştır. Sanayi Devrimi'nden itibaren doğadan sadece biçimsel olarak değil, aynı zamanda doğadaki canlı sistemlerin strüktürleri incelenerek, yapısal olarak da etkilenilmiştir. 20. yüzyılın sonları ve günümüzde ise doğa- mimarlık etkileşimi, bilimsel altyapısı daha kuvvetli olacak şekilde gelişmiş ve mimarlığın farklı bilim dallarıyla birlikte düşünölmeye başlanmasıyla yeni bir tasarım anlayışı ortaya çıkmıştır. Bu süreçte doğadan esinlenme yaklaşımlı çok sayıda biyomimetik tasarım örneği karşımıza çıkmaktadır. Bu dönemdeki araştırmalar moleküler ölçeğe kadar inebilmiş ve doğadan esinlenme biçimi boyut değiştirmiştir. İlk kez OttoSchmidt tarafından kullanılan "biyomimetik" kavramı, "yaşam" ve "taklit etme" kelimelerinin birleşmesiyle oluşmaktadır ve özünde insanların karşılaştığı tasarımsal problemlerin çözümü için doğayı temel almasına dayanmaktadır. Biyomimikri terimini oluşturan

Benyus (1997) ise, bu fikri doğrular nitelikte, doğada insanların çözmeye çalıştığı problemlerin çözümünün zaten olduğunu; çözüm için doğaya bakılması gerektiğini savunmaktadır. Günümüz tasarım yaklaşımlarında artık doğadaki bir oluşumdan biçimsel ya da davranışsal olarak esinlenilmenin ötesinde, canlı bir sistemle birlikte bir tasarım ortaya konulması durumu önem kazanmaya başlamıştır. Bu tez çalışması kapsamında biyotasarım kavramıyla ilişkilendirilerek ve "**biyoişbirlikçi tasarım**" olarak adlandırılan bu tasarım yöntemi, doğada bulunan canlı bir oluşumun tasarım sürecine direkt olarak dahil edilmesini önermektedir ve konvansiyonel yöntemlerden bu yaklaşımıyla ayrılmaktadır.

Tez çalışmasında biyotasarım yaklaşımıyla, doğada bulunan tek hücreli, ökaryotik, 900 cıvık mantar türünden biri olan *P. polycephalum* organizmasının kentsel ölçekteki tasarımlarda yol gösterici bir altlık olma potansiyelleri ele alınmaktadır. Kendi gibi diğer hücrelerle birleşip, ortak hareket eden ve kaynakları maksimumda kullanan bu canlı; merkezi bir sinir sistemi ya da bir beyni olmamasına rağmen yön bulmak ve besin kaynakları arasında bağlantı yolları oluşturmak konusunda önemli bir yeteneğe sahiptir. Literatürde, *P. polycephalum*'un "en kısa yolu bulma" özelliği araştırmacıların ilgisini çekmiş ve bu anlamda pek çok çalışma yapılmıştır. Yapılan deneylerde cıvık mantarların farklı nitelikteki labirentlerde en kısa yolu oluşturarak labirenti çözümleyebildiği, oluşturduğu yol ağlarının, mevcutta bulunan üst ölçekteki kentsel yol ağlarıyla büyük ölçüde çakıştığı gözlemlenmiştir.

Büyük ölçekli kentsel alanlarda ana tasarım kararlarının alınmasının zorlu ve karmaşık bir süreç olduğu göz önünde bulundurulduğunda; cıvık mantarların tasarımcılara yol gösterme ve bir tasarım altlığı oluşturma konusunda bir rehber olarak kullanılabileceği öngörülmektedir. **Bu doğrultuda tez çalışmasının temel hedefi, cıvık mantarların ilham verici özelliklerine dikkat çekmenin yanı sıra, bir kent boşluğunda, cıvık mantarların yaya yolları oluşturmada kullanılmasına dair biyo işbirlikçi bir yaklaşım sunmaktır.** Gerek kentlerde ulaşım ağlarının belirlenmesinde, gerekse büyük ölçekli alanların tasarımında, arazi kullanımı ve optimum yaya hareketi, dolayısıyla kısa mesafeli yollar oluşturmak, kullanılabilirlik

açısından önemli parametrelerdir. Tasarım sürecinde, en kısa yolları temel alan rotalar oluşturmanın mevcutta uygulanan bilindik, konvansiyonel yöntemlerle yetersiz olduğu düşünüldüğünden, alan çalışmasında oluşturulan modelde temel olarak, *P. polycephalum*'un besine en kısa yoldan ulaşma yeteneğinden esinlenilerek bir kentsel alan için tasarımda rehber olarak kullanılma potansiyelleri araştırılmıştır. Ancak bu tez çalışması, cıvık mantarların en kısa yolu bulma özelliklerine öncelikle odaklanmakla birlikte, gelecekteki farklı ve yenilikçi çalışmalarla canlıların tasarımın farklı aşamalarında kullanılma olanaklarının potansiyeline de dikkat çekmektedir. Bu doğrultuda, tasarım, biyoloji ve mühendislik disiplinlerinin ortaklığında, konvansiyonel kentsel tasarım sürecine entegre olabilecek bir tasarım süreci model önerisi sunmaktadır.

Dolayısıyla tez çalışmasında öne sürülen hipotez, kentsel ölçekteki tasarımlarda cıvık mantarların, disiplinlerarası çalışmanın da gücüyle, tasarımcılar için yol gösterici bir altlık sunma potansiyeli taşıdığı ve bu yolla daha etkili ve verimli bir tasarım süreci vadettiğidir. Bu doğrultuda tez çalışması, gerek doğadan esinlenen fikirleri, gerekse bilimsel anlamdaki yaratıcı denemeleriyle, projeye ilişkilenen tüm disiplinler için yeni ve özgün açılımlar sunmaktadır.

1.2 Literatür Özeti

Literatürdeki çalışmalara dayanarak cıvık mantarların maliyet ve verimlilik arasında iyi bir denge sağlayabilecek; optimizasyon yöntemleri için ilham alınabilecek canlılar olduğunu söylemek mümkündür. Uluslararası ölçekte yapılmış çalışmalara bakıldığında, mevcut kentsel yerleşimlerin ölçekli haritaları üzerinde cıvık mantarların davranışlarını gözlemleyen ve oluşturduğu bağlantıların mevcutta bulunan ulaşım ağlarıyla kıyaslandığı çalışmaların ağırlıklı olduğu görülmektedir. Ayrıca arkeolojik alanlarda geçmişteki yol ağlarının keşfinde, cıvık mantarların yol bulma yetilerinin kullanımı konusunda yapılmış birtakım çalışmalar da mevcuttur (Evangelidis ve diğer., 2015). Bunun yanı sıra Elektrik Elektronik ve Bilgisayar

Mühendisliği disiplinleriyle ilişkili, devre ve robot yapımı gibi çeşitli alanlarda da kullanılmaktadır. Davranışsal özelliklerinden dolayı tasarımcı ve sanatçıların da oldukça ilgisini çeken bu canlı, birçok sanatsal çalışmada da kullanılmıştır. Ulusal ölçekteki çalışmalara bakıldığında ise, Türkiye'de cıvık mantarların pek bilinen bir konu olmadığı görülmektedir. Farklı disiplinlerden üyeler barındıran resmi ve akademik bir oluşum olan Türkiye Biyotasarım Takımı (TBT), 2016 yılından bu yana cıvık mantarlarla ilgili çeşitli çalışmalar yürütmektedir. Mimarlık alanında ise bu konuyla ilgili literatürde herhangi bir çalışmanın olmaması, tez çalışmasının özgünlüğünü destekler niteliktedir.

Özetle literatüre bakıldığında, *P. polycephalum*'un davranışsal özelliklerinin ulaşım ve kent planlaması alanında çok sayıda çalışmaya konu olduğu, ancak mimarlık alanında bu konunun yeterince araştırılmadığı ve bilinmediği görülmektedir. Bu doğrultuda üst ölçekteki kentsel yol ağlarının yanı sıra, bu canlıların kentsel tasarım ölçeğinde de biyoişbirlikçi bir yaklaşımla, tasarım sürecinde bir tasarım altlığı oluşturma konusunda tasarımcılara rehber olabileceğini öngörmek mümkündür.

1.3 Yöntem ve Kapsam

Tez kapsamında hem nitel hem de nicel araştırma yöntemleri kullanılmıştır. Çalışma, biyomimetik tasarım yaklaşımlarının araştırılması ve biyoişbirlikçi bir yaklaşımla yeni bir tasarım yöntemi geliştirilmesi olmak üzere iki temel aşamadan oluşmaktadır. **İlk aşama, nitel araştırma yöntemleri doğrultusunda literatürdeki mevcut sınıflandırmaya bir katkı niteliğindedir.** Öncelikle, biyoloji ve mimarlık ilişkisine dair genel bir çerçeve kurmak üzere tezin 2. bölümünde, biyomimikri, biyotsarım ve ilişkili kavramlar ortaya konduktan sonra; doğa esinlenmeli tasarım yaklaşımlarının tarihsel süreç içinde gösterdiği değişim ve ele alınış biçimleri, literatürdeki örnekler irdelenerek ve kendi içinde değerlendirmeler yapılarak tartışılmıştır. Güncel biyomimikri yaklaşımının içinde yer alan, Benyus'un, doğadan öğrenme sonucu gerçekleşen ve üç ana başlık altında sınıflandırdığı esinlenme

düzeyleri yorumlanarak geliştirilmiş; “biçimsel esinlenme”, “fizyolojik esinlenme”, “davranışsal esinlenme” ve canlının kendisinin tasarım sürecine dahil olduğu, biyolojik işbirliğinin kurulduğu “biyoişbirlikçi tasarım” yaklaşımı olarak yeniden sınıflandırılmıştır. Yapılan sınıflandırmaya göre her başlığın altına girebilecek örnekler incelenmiş ve her başlık altında yedişer proje olmak üzere, toplamda 28 proje bu yaklaşımlar üzerinden irdelenmiştir. İncelenen örneklerde, projenin mimarı, bulunduğu yer, yapım yılı, biyomimikri düzeyi, esin kaynağı, yapıldığı malzeme ve tasarım uygulaması parametreleri belirtilip tartışılmıştır. Bu sayede mevcut sınıflandırmaya eklenen 4. kategori olan biyoişbirlikçi yaklaşımın daha iyi anlaşılması sağlanmıştır.

Yapılan tez çalışmasının ikinci aşaması ise *P. polycephalum* türü cıvık mantarlara odaklanmaktadır ve bu aşamanın **temel araştırma modeli deneysel yöntem**dir. Tezin üçüncü bölümünde, tez çalışmasının temelini oluşturan ve dördüncü bölümde alan çalışmasında kullanılan *P. polycephalum* türü cıvık mantarlara ilişkin literatürü ortaya koymak adına organizma biyolojik açıdan incelenmiş; canlının büyüme koşullarında etkin parametreler olan ışık, sıcaklık, besin türü, nem ve farklı kimyasallara karşı tepkisinin belirlenmesi için optimizasyonlar yapılmıştır. Sonrasında canlının gelişimi ve yol bulma davranışlarını gözlemlemek için literatürde yapılmış çalışmalar temel alınarak çeşitli deney ortamları tasarlanmıştır. Daha sonra literatürde, cıvık mantarların davranışsal özelliklerinin ulaşım ağları, mimarlık ve tasarım projelerindeki kullanımları iki ana başlık altında ve örnekler üzerinden incelenmiştir.

Tezin dördüncü bölümü tezin hipotezinin araştırılmasına odaklanmıştır ve bu kapsamda tezde önerilen model, İzmir İli Karabağlar İlçesi'nde seçilen kentsel bir boşlukta denenmiştir. İlk olarak alan hakkında genel bilgiler verilmiş ve alana ilişkin yapılan çevre analizleri ortaya konulmuştur. Yapılan çevre analizleri sonucu, rekreasyon alanı olarak tasarlanacak alan için ana parametreler belirlenmiştir. Daha sonra canlı hücreleri içeren gerekli deney ortamları oluşturulmuş ve alan çalışması için seçilen alanı temsil eden ortamda canlının sergilediği davranışlar

gözlemlenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda, canlının oluşturduğu güzergahlar doğrultusunda bir tasarım altlığı oluşturulmuş; yarışma sonuçlarıyla karşılaştırılarak değerlendirilmesi yapılmıştır.

Tezin beşinci ve sonuç bölümünde, tez çalışmasının hipotezine ilişkin tartışmalar yapılmış ve cıvık mantarların kentsel tasarımda bir altlık olarak kullanılabilmesine ilişkin yeni bir model önerilmiştir.



BÖLÜM İKİ

DOĞA VE MİMARLIK İLİŞKİSİNE DAİR AÇILIMLAR

2.1 Biyoloji- Mimarlık İlişkisi ve Biyomimetik Tasarım

“İnanıyorum ki gerçekten sürdürülebilir evler ve şehirler inşa etmek ancak bu yapıları doğaya bağlamakla mümkündür, doğadan izole etmekle değil.” (Armstrong, 2009)

2.1.1 Biyoloji- Mimarlık İlişkisi

Biyoloji, beklenmedik ve farklı yöntemlerle tasarım sürecini etkileyen bir bilim dalıdır. Doğanın tasarım sürecine nasıl entegre edileceği sorusunun cevabına, biyolojinin özünde neyi hedeflediği anlaşıldığında ve nasıl kullanılacağı tam olarak öğrenildiğinde ulaşılabilir. Canlı sistemler, cansız sistemlerden ayrıldığında biyoloji bir bilim dalı olarak ortaya çıkmıştır (Karabetça, 2016). Biyoloji kavramı Türk Dil Kurumu’na göre “bitki ve hayvanların köken, dağılım, yapı, gelişim, büyüme ve üremelerini inceleyen bilim dalı, dirim bilimi” olarak tanımlanmaktadır (Türk Dil Kurumu [TDK], 2018). Biyoloji Terimleri Sözlüğü’ne göre ise “Hayat ilmi genel anlamda bitki ve hayvanların köken, yapı, gelişme, çalışma, dağılışı, büyüme ve çoğalmaları ile uğraşan bilim dalı” olarak tanımlanmaktadır (Karabetça, 2016). Biyoloji kendi içinde zooloji, antropoloji, botanik gibi alt dallara ayrılan çok kapsamlı bir bilim dalıdır. Bu alt dallar canlı sistemlerin incelenmesiyle ilgilenmektedir ve “yaşam bilimleri” olarak da tanımlanmaktadır (Mayr, 2014). Biyoloji bilimi dünyadaki doğal düzeni, canlı varlıkların oluşum, yaşam biçimlerini ve davranışlarını incelemekle ve bunları açıklamakla ilgilenmektedir. Biyoloji biliminin keşfettiği canlı organizmaların yaşayış şekilleri gibi davranış ve oluşum özellikleri, insan yaşamında karşılaşılan birtakım sorunların çözülmesi için büyük bir katkı sağlamaktadır.

Doğa, insanın yaşamını etkileyen, her açıdan insan ve diğer tüm canlıları içinde barındıran ana mekân olarak kabul edilebilmektedir (Crowe,1995). Bu ana mekânın içinde insan, doğanın kendisinden ya da doğadaki diğer canlılardan kendini koruyabileceği ve barınabileceği alt mekânlara da ihtiyaç duymaktadır. İnsanın, mekân oluştururken doğaya yaklaşım şekli, mimarlık ve doğa arasında kurulan ilişkiyi belirleyen önemli bir faktör olarak karşımıza çıkmaktadır (Beyaztaş, 2012). Mimarlığın doğayla kurduğu ilişki, ilk dönemlerden günümüze kadar insanın doğayı gözlemleyerek, taklit ederek, doğadan bir şeyler öğrenerek ve öğrendiklerini yorumlayarak bir mekâna dönüştürmesi olarak ifade edilebilmektedir (Karabetça, 2016).

2.1.2 Biyomimetik Tasarım/ Biyomimikri Kavramı

Yunanca yaşam anlamına gelen “bios” ve taklit etme anlamına gelen “mimesis” kelimelerinin birleşmesiyle oluşan ve ilk defa 1950’de Amerikalı bir mühendis olan Otto Schmidt tarafından kullanılan “biyomimetik” kavramı, insanların karşılaştığı problemlere karşı, doğanın çok uzun yıllardır uyguladığı yöntemleri inceleyerek çözüm aramakta olan bir tasarım yaklaşımı olarak tanımlanmaktadır. Biyomimetik, biyoloji, kimya, elektronik, bilişim, tıp, fizik, matematik, sanat ve daha pek çok bilim dalını kapsayan interdisipliner bir konudur. Biyomimetiğe göre canlı organizmaların ve mühendislerin benzer bir amacı vardır: mümkün olan en ucuz yoldan (enerji ya da maddi açıdan) bir yapı oluşturmak (Eggermont, 2007). Aristoteles'e göre ise taklidin kavramsal olarak daha derin anlamları vardır. “Mimesis” sadece doğada bulunan canlı ya da cansız bir şeyin gözle görülen özelliğinin taklit edilmesi anlamına gelmek zorunda değildir; canlının yaşam bilgilerini, görünmeyen özünü, nitelikleri oluşturan ve biçimlendiren kavramları arama, bulma ve onları görünür hale getirme uğraşıdır. Bu sebeple de taklit yaratıcı bir eylem olmaktadır. Aristoteles taklidi kozmik düzene, doğaya katılmak için bir yol olarak görür, bundan ötürü sadece sanat değil, birçok yaratıcı ve üretici eylem ona göre mimetiktir (Güler, 2000).

Türkçe'ye “biyo- taklit” olarak çevrilen biyomimikri terimi ilk kez biyolog, yazar, inovasyon danışmanı olan Janine Benyus'un 1997'da yayınladığı “Biomimicry: Innovation Inspired by Nature (Biyomimikri: Doğadan İlham Alan Yenilik)” adlı kitabında “doğanın dehasının bilinçli olarak taklit edilmesi” olarak tanımlanmıştır. Benyus (1997) biyomimikriyi doğadan faydalanılacak 3 unsurla açıklamıştır:

1. Model Olarak Doğa: Biyomimikri, doğadaki modelleri inceleyerek günümüz problemlerini çözmek için doğadaki tasarımlardan ve süreçlerinden esinlenen bir bilimdir. İnsanların karşılaştığı birçok problemin çözümü doğada bulunmaktadır, çözüm için doğaya bakmak büyük fayda sağlayacaktır.

2. Ölçü Olarak Doğa: Doğa, 3,8 milyar yıldır varlığını sürdürebilmesi sonucunda neyin çalıştığını, neyin olması gerektiğini ve neyin Dünya'da bozulmadan kalacağı sorularına cevap vermektedir. Ekolojik dengeyi kullanarak tasarımın iyi ya da kötü olduğuna da karar vermektedir.

3. Akıl Hocası Olarak Doğa: Biyomimikri doğadan kazanım ya da çıkarım elde edilecek bir yaklaşım değil, doğadan öğrenme temelli bir yaklaşımdır (Benyus 1997).

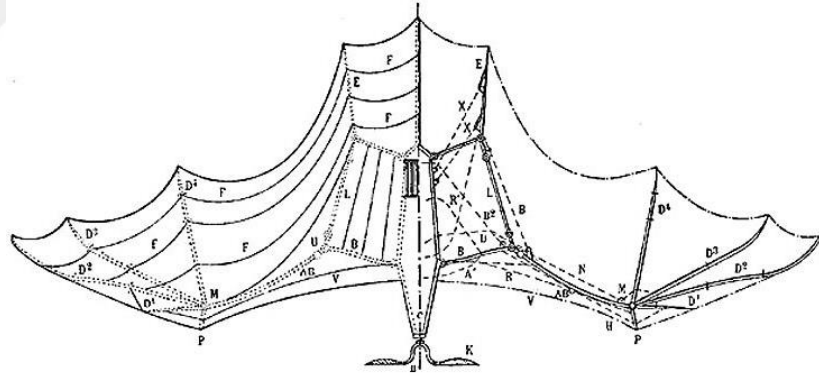
Julian Vincent ise biyomimikriyi “doğadaki iyi tasarımın soyutlanması” olarak tanımlamaktadır (Pawlyn, 2011). Bu iki tanımın ortak noktası, biyomimikri kavramının doğadan öğrenmeyi temel alıp, bu bilgiyi bir tasarım problemini çözmede kullanmasıdır. Benyus'a göre doğada insanın çözmeye çalıştığı sorunların çoğu zaten çözülmüş haldedir, bu noktada önemli olan insanın aradığı çözüm yöntemleri için doğaya bakmasıdır (Benyus, 1997). Doğa, ilkeleri ve hiyerarşik sistemi sayesinde milyarlarca yıldır sürekliliğini sağlayabilmiştir. Doğa güneşe bağlı yaşar, ihtiyaç duyduğu kadar enerji harcar, formu işlevine uygundur, her şeyi geri dönüştürür, işbirliğini, uyumlu olmayı ödüllendirir ve çeşitliliği destekler (Benyus, 1997). Doğadaki malzeme ve biçimlerin ihtiyaç duyulan sağlamlık, enerji korunumu, kendi kendini yenileyebilme gibi özelliklerinin olması, doğadaki sistemlerin analiz edilip, insan yaşantısında da birtakım problemlere çözüm olma potansiyeli barındırdığından, birçok bilim insanı doğadaki canlı veya cansız sistemleri incelemeye yönelmiştir (Selçuk ve Sorguç, 2007). Benyus, yayınladığı kitabında

tasarımların ve yeniliklerin faydalı olup olmadığının test edilebilmesi, doğada bu tasarımın örneğinin olup olmadığının anlaşılması için aşağıdaki sorulara cevap olarak “Evet” denilebilmesinin gerektiğini belirtmiştir:

- Gün ışığında çalışıyor mu?
- Sadece ihtiyaç duyduğu kadar enerji mi kullanıyor?
- Biçimi işlevine uyuyor mu?
- Her şeyi geri dönüştürebiliyor mu?
- İşbirliğini ödüllendiriyor mu?
- Çeşitliliğe olanak sağlıyor mu?
- Yerel parametrelerden faydalıyor mu?
- Kendi aşırılıklarını engelliyor mu?
- Güç sınırlarının üstünde ve güzel mi? (Benyus, 1997)

Biyomimikri 20. ve 21. yüzyıllarda ortaya çıkan bir kavram olarak görünse de aslında eski çağlardan beri insanlar doğadan etkilenmiş, bilim ve teknoloji alanında olan gelişmelerde doğa, insan için en büyük esin kaynağı olmuştur. Günlük hayattaki problemlere karşı çözüm arayışı içinde olan insanlık, akıl ve sezgilerini kullanarak bilgi birikimleri olmasa da sorunları için doğadaki mevcut çözüm yöntemlerini uygulamışlardır (Senosiain, 2003). Örnek olarak, Yunan mitolojisinde Daedalus’un Girit Adası’ndan kaz kanatlarını kullanarak kuşun uçuşu eylemini taklit ederek kaçmayı denemesi bilinen efsanelerden biridir (Yiatros ve diğer., 2007). M.Ö. 400 yılında Antik Yunan filozofu olan Democritus ise “Biz hayvanları taklit ederek önemli şeyler öğreniriz. Bizler kıyafet dokuma ve hazırlamada örümceklerin onları taklit eden çıraklarıyız. Kırılmaçlardan yuva yapmayı, tarlakuşları ve kuğulardan şarkı söylemeyi öğreniriz” demiştir (Senosiain, 2003; Cıgızoğlu, 2011).

Biyomimikri tarih boyunca birçok alanda kullanılmış ve gündelik hayatta kullandığımız çoğu araç gerecin bugünkü haline gelme sürecinde büyük rol oynamıştır. İlk zamanlarda doğayı gözlemleyerek deneyim kazanan insanlık daha sonraki süreçlerde doğayı sadece model almanın ötesinde, ondan bir karşılaştırma ölçütü ve bir akıl hocası olarak ders almaya başlamıştır. Örneğin, 1933 yılında Buckminster Fuller, tasarladığı otomobilin istediği performansı sağlamadığını tespit ettiğinde yağmur damlasının aerodinamik özelliklerini incelemiş ve yağmur damlasının atmosfere girdiğinde küresel biçiminin değiştiğini, yan yüzeylerin hava akımıyla daralarak uzadığını, ön tarafın ise dairesel olarak kaldığını görmüştür (Yiatros ve diğer., 2007). Leonardo da Vinci ise yarasadan ilham alarak uçuş makinesini tasarlamıştır. Leonardo da Vinci'nin buluşu gerçek hayatta başarılı olamasa da Clement Ader, 400 yıl sonra bu çalışmalardan esinlenmiş, yarasanın uçuş prensiplerini irdeleyerek uçabilen ilk aracı tasarlamıştır (Eggermont, 2007) (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 ClementAder'in tasarladığı uçabilen ilk araç (Eggermont, 2007)

Askeri alanda kullanılan birçok araç gereç de doğadaki canlıların savunma gibi eylemlerinden esinlenilerek yapılmıştır. Örnek olarak savaşlarda kullanılan kaskların kaplumbağa kabuklarından, helikopterlerin ise şekil ve çalışma mekânizması olarak helikopter böceğinden ilham alınarak yapılması verilebilir. Denizaltı tasarımlarında da kum balığının batarken solungaçlarına su alması, yüzeye çıkarken de aldığı suyu boşaltma prensipleri esin kaynağı olmuştur (Akbulut ve diğer., 2009).

Görüldüğü gibi biyomimetik tasarım, mühendislik ve benzeri alanlarda eski çağlardan itibaren kullanılan bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Biyomimikrinin mimarlığa yansımaları da ilk olarak doğadaki canlıların barınma, korunma gibi eylemlerinden esinlenilmesiyle olmuş ve süreç içerisinde evrilerek gelişmiştir.

2.1.3 Biyotasarım Kavramı

Son yıllarda biyomimikriye olan ilgi oldukça artmış ve bu kavram mimarlık ürünleri, gelişmiş yüksek hızlı trenler, uçak strüktürleri gibi yenilikçi tasarım çözümleri için oldukça ilham verici bir yaklaşım türü olmuştur. Biyotasarım sözcüğü ise, sadece tasarımla ilişkili değil, tıp ve ilişkili bilim alanları, biyomedikal teknolojileri, elektrik-elektronik, bilgisayar ve bilişim teknolojileri vb. gibi pek çok farklı alanda kullanılan bir üst kavram haline gelmiştir.

William Myers, 2012 yılında yayınladığı "Bio Design. Nature. Science. Creativity" kitabında biyomimikri kavramının "*biyotasarım*" olarak adlandırılan yeni bir tasarım paradigmasıyla değişeceğini savunmuştur. Bu yeni kavram biyomimikriden farklı olarak, sadece doğadaki canlı sistemlerden esinlenmemekte; aynı zamanda bu canlı sistemleri tasarıma dahil etmeyi hedeflemekte ve doğadaki canlı sistemler ile tasarımcı arasındaki bağlantının giderek kuvvetlenmesini temsil etmektedir. Myers (2012)'a göre biyomimikri, tasarımı doğal form ve süreçlerden türetmeyi amaçlamaktadır, ancak doğal formlardan ilham alınmasına rağmen sadece çağdaş endüstriyel ve teknolojik malzemeler kullanılarak ortaya bir tasarım ürünü çıkabilmektedir. Biyotasarım ise çok daha karmaşık bir süreçtir. Bu yaklaşım türünde tasarım, ağaçlardan bakterilere kadar birçok canlı malzemedен oluşmakta ya da oluşturulmaktadır. Myers, biyotasarımın "tasarlanmış mekânları ya da nesneleri, her şeyin eninde sonunda bağlı olduğu bir durum olan doğa ile sürdürülebilir bir uyum içine sokmayı hedeflediğini" savunmaktadır (Myers, 2012). Son dönemde tasarım alanında geleneksel tuğla yapım yöntemlerinin yerine kum parçacıkları, bakteri ve diğer malzemeler olarak kullanılarak oluşturulan "biyo-tuğla"; tekstil

alanında geri dönüştürülebilir deri benzeri bir materyal oluşturmak için bakterilerin kullanıldığı "biyo-kıyafet" ve kullanıldığı bölgede aydınlatmayı destekleyecek, canlı sistemleri içeren "biyolüminesans aydınlatma" gibi biyotasarım sözcüğü ile birlikte kullanılan yenilikçi işlere sıklıkla rastlanmaktadır. Bu doğrultuda biyomimikri ya da biyomimetik sözcüklerinden çok biyotasarım kavramının 21.yüzyılın tasarımlarıyla yakından ilişkili hale geldiğini söylemek mümkündür. Bu tez çalışmasında da biyotasarım, canlılarla işbirliği içinde geliştirilen biyoişbirlikçi tasarım yaklaşımlarını ifade edecek şekilde kullanılmaktadır.

2.2 Tarihsel Süreçte Mimarlıkta Doğayı Taklit Etme Biçimleri

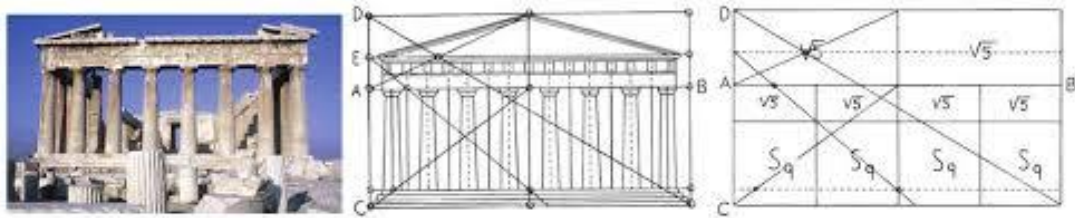
2.2.1 Erken Dönemler

Doğada paylaşılan ortak formlar, görsel hafızada yer etmiş biçimler, insanın estetik algısında, kültürel gelişiminde ortak anlam ve sembollerin oluşmasında önemli rol oynamıştır. Sezgisel ya da bilinçli olarak, hem tasarım sürecinde, hem de ürünün algılanmasında ve kullanımında bu formlara eğilim olmaktadır (Çalikoğlu, 2004). Yapım teknikleri geliştirilirken de doğadaki “canlı”, “cansız” ve “canlının ürettiği” yapılaşmalardan esinlenilmiştir. İlk dönemlerde çeşitli coğrafyalarda yapılmış mimari örneklerin doğadaki oluşumlara benzemesi bu durumu kanıtlar niteliktedir (Selçuk ve Sorguç, 2007).



Şekil 2.2 Farklı bölgelerde bulunan yapılar ve doğada bulunan benzerleri (Portoghesi, 2000;Selçuk ve Sorguç, 2007)

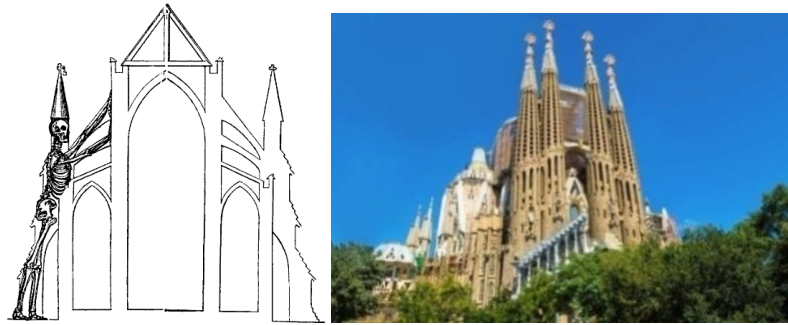
Antik Yunan kentlerinde insanlar evlerini ekolojik ve biyolojik yönden dengeli, doğaya saygılı olacak şekilde inşa etmişlerdir. En az enerji kullanma ve harcama konusunda doğadaki kanunları izlemişlerdir. Keçilerin ve koyunların gitmiş olduğu yolları takip ederek kendilerine yollar açmışlardır. Yerleşimlerinde, kutsal görünümlere, doğu batı aksına göre çevre binaları yerleştirme konusunda dikkatli davranmışlardır (Antoniades, 1992). Özellikle Antik Yunan olmak üzere eski çağlardan itibaren insanlar dünyadaki oluşumlarla matematik düzen arasında bir bağ olduğunu düşünmüştür. Doğadaki canlı oluşumların büyüme modellerini, yapılaşma sistemlerini, biçimlerini açıklamak için ve aynı zamanda öğrenilen bilgilerin uygulanabilmesinde kullanılan altın oran, mimarlıkta da matematiğin yansıması olarak görebileceğimiz doğadan esinlenme ölçütü olmuştur (Selçuk, Sorguç ve Akan, 2009). M.Ö. 3. Yüzyılda Euklid'in yazdığı "Elementler" isimli kitabında ilk olarak karşımıza çıkan altın oran kavramı "sıra dışı ve ortalama oran" olarak tanımlanmaktadır. Altın oran ilk kez Elementler kitabında tanımlanmış olsa da, kullanımının M.Ö. 3000 yılına dayandığı söylenmektedir (Bergil, 1993). Doğada sıkça karşılaştığımız altın oran basit olarak "bütünün büyük parçaya oranı; büyük parçanın küçük parçaya oranına eşittir" olarak tanımlanabilir (Doczi, 1994). Antik dönem mimarisine bakıldığında son derece sade olan cephe dilinin altın oran kullanılarak oluşturulduğu, sonrasında Le Corbusier'in Modulor'una kadar olan süreçte farklı dönemlerde geometrik düzen ve oranların, yapı boyutlarını oluşturma ve biçimlendirmede kullanıldığı görülmektedir (Şekil 2.3).



Şekil 2.3 Parthenon tapınağının cephesinde kullanılan altın oran (Ghyka, 1977)

2.2.2 Aydınlanma Dönemi ve Sonrası

Ortaçağ sonrası dini yapının sorgulanması, doğanın metafiziksel açıklamalar yerine bilimsel yöntemlerle incelenmesine olanak sağlamıştır. Bu dönemde doğa yasalarının soyut akıl yürütmelerle değil, dikkatle yapılmış deneyler sonucunda keşfedilebileceği anlaşılmıştır (Bahadır, 2011; Zeytün, 2014). 1759 yılında John Smeaton tarafından Plymouth'da yapılan Eddystone Fener Kulesi, ağacın dallanarak büyüme prensibinden ilham alınarak yapılmıştır. Doğadaki yapılaşmadan strüktürel olarak esinlenilip kullanılmasına gotik katedrallerde rastlanılmaktadır. Yığma yapım sistemiyle en yüksek yapının en hafif şekilde tasarlanmaya çalışıldığı bu dönemde iskelet yapısından esinlenilerek binalara payandalar eklenmiştir (Steadman, 2008). Gotik mimaride iskelet sistemleri ve kemik analogilerini kullanan dönemin önemli mimarlarından biri de Antonio Gaudi'dir. Gaudi'nin tasarladığı yapılara bakıldığında, doğanın mimariye yol gösterici olduğunu savunduğu görülmektedir (Şekil 2.4). Yapılarında estetiği yakalamak ve işlevselliğin gerektirdiği statik sorunlara çözüm bulabilmek için yumuşakçaları, hayvanların iskeletini, kabuklu canlıları ve bitkileri inceleyerek doğadaki yapılaşmaların yüklere nasıl karşı koyabildiğini gözlemlemiş ve yapılarında uygulamıştır.



Şekil 2.4 İnsan iskeleti ile ters payanda ilişkisini gösteren çizim, Sagra da Familia (Cığızoğlu, 2011)

Mimarlık tarihi boyunca ağaç, iskelet yapısı, çiçek, kristal vb. oluşumların analogisi karşımıza çıkmaktadır. Buna rağmen, 19. yüzyılın ortalarına kadar mimaride ve diğer alanlarda doğadan esinlenmenin daha çok estetik kaygılarla ve

biçimsel ağırlıklı uygulandığı görülmektedir. Bu dönemdeki ressam ve mimarlar, doğanın güzelliklerinden etkilenmiş, ortaya koydukları eserlerde doğa tasarımlarının sadece görünüşlerini örnek almışlardır. Doğadaki oluşumların farklı boyutlarda incelenip, taklit edilip tasarıma entegre edilmesi fikri, ancak doğa moleküler ölçekte incelenmeye başlandığında mümkün olabilmiştir (Benyus, 1997).

2.2.3 Sanayi Devrimi ve 20. Yüzyıldaki Gelişmeler

Sanayi Devrimi'yle birlikte üretim ve teknoloji alanındaki gelişmelerin hızlanmasıyla günlük hayatta görebileceğimiz bal peteklerinin altıgen geometrisi, örümceklerin oluşturduğu ağların hafifliği ve dayanımı, bitkilerin güneşe yönelişi, yarasa kanatlarının kinetiği gibi doğada bulunan canlıların yapısal özellikleri, süreçleri incelenmeye ve binalarda kullanılmaya başlanmıştır (Selçuk ve Sorguç, 2007). 1851 yılında botanik uzmanı olan Joseph Paxton'ın tasarladığı Crystal Palace, mimari açıdan bir dönüm noktası olarak kabul edilmektedir. Paxton tarafından tasarlanan yapı, "Victoria Amazonica" isimli bir tür nilüfer çiçeğinin alt yapraklarının çatallı yapısından esinlenilerek oluşturulmuş çelik bir kaburga strüktür üzerine geniş camlar yerleştirilerek inşa edilmiştir (Eggermont, 2007) (Şekil 2.5).



Şekil 2.5 Crystal Palace ve Victoria Amazonica'nın yaprağının alt kısmı (Archexpo, 2018)

Gustave Eiffel ise, Eyfel Kulesi'ni anatomist Karl Cullman ve mühendis Hermann Von Meyer'in yaptığı araştırmalara dayanarak inşa etmiştir. VonMeyer ve Cullman

kalça kemiğinin (femur) baş kısmını, çalışma sistemini incelemişler ve bu sistemin dış yükleri desteklemek için oldukça kullanışlı olduğunu fark etmişlerdir. Gustave Eiffel, kalça kemiğinin yapısal özelliklerini mimariye aktararak Eyfel Kulesi'ni inşa etmiştir (Şekil 2.6).



Şekil 2.6 Eyfel Kulesi ve femur (Sztukowski, 2012)

Buckminster Fuller, doğada dinamik, fonksiyonel ve ürünlerin hafif olduğu bir teknolojinin varlığından bahsetmiş ve doğadaki yapılaşmanın tasarım sürecine dahil edilebilecek önemli ipuçları barındırdığını söylemiştir (Fuller, 1969). Pek çok bilimsel alanda çalışması bulunan Fuller'in buluşlarından mimarlığı etkileyen en önemlisi "Jeodezik Kubbeler" dir. Frei Otto ise, 1964 yılında kurduğu "Lightweight Structures" Enstitüsü'nde doğada bulunan nesnelerle ilgili çok sayıda araştırma yapmış ve araştırmalarını hafif yapılar kurma üzerine yoğunlaştırmıştır. Buckminster Fuller ve Frei Otto'nun süreci anlamaya yönelik sorgulamaları, yeni form ve strüktür arayışları, mimarlıkta doğadan bilinçli öğrenme sürecinin başlangıcı olarak görülmektedir (Selçuk ve Sorguç, 2007). Fuller'in Jeodezik Kubbesi'nde, Otto'nun asma germe sistemli çadır örtülerinde en az malzemeye en büyük açıklık geçme, sürdürülebilir bir çevre için daha hafif bir yapı üretme kaygısı görülmektedir (Jirapong, 2002).



Şekil 2.7 BCE Place (Calatrava, b.t.)

Doğadan esinlendiğini sıkça dile getiren bir diğer mimar ise Santiago Calatrava'dır. Calatrava, mimarlığı anlamak için geometrinin dilini anlamanın, strüktürün dilini anlamak kadar temel olduğunu ve her ikisinin de malzeme nitelikleri ve doğadaki yapılaşmalarla birlikte onun için esin kaynağı olduğunu söylemektedir (Tzonis, 2004). Örneğin, Toronto'da bulunan BCE Place kompleksi, içe doğru eğimli 8 çelik kolonun taşıdığı, ortada parabolik bir kemer olarak birleşen ve 14m açıklık geçen bir örtü sistemiyle kapatılmıştır (Şekil 2.7). Plan, ağaç şeklindeki kolonlar üzerinde yükselerek 9 kemerin kesişim noktasında yarattığı orman etkisiyle çarpıcı bir atmosfer yaratmaktadır (Selçuk ve Sorguç, 2007). Calatrava'nın benimsediği "doğadan bilinçli öğrenme" arayışının sonucunda sıklıkla hayvan formlarından ve iskelet sistemlerden yola çıktığı ve tasarımlarında kullandığı görülmektedir. Bununla birlikte Calatrava'nın tasarımlarında ulaştığı form ve strüktürlerin süreci yeterince yansıtamadığı için abartıya kaçtığını düşünen eleştirmenler de vardır (Zardini, 1996).

Genel olarak 20. yüzyıldaki teknolojik ve bilimsel gelişmeler, tasarımcılar tarafından doğanın farklı bir şekilde ele alınmasını sağlamıştır. Endüstrileşmenin getirdiği sorunlara çözüm bulmak için yine doğadan ilham alınmıştır. Dönemin genel mimari anlayışıyla doğru orantılı olarak, Metabolistlerin geliştirmiş olduğu ütöpik

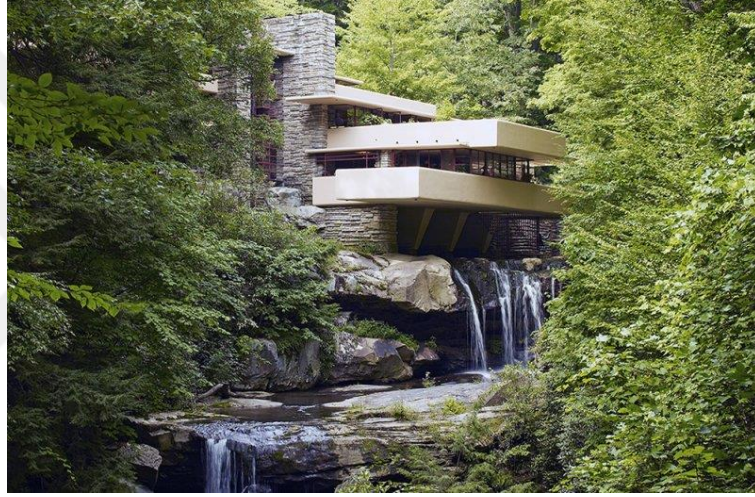
projeler, Wright'ın Organik Mimarlık anlayışı gibi doğa esinlenmeli projeler, düşünceler de bu dönemin tasarımlarında yer bulmuştur.

2.2.3.1 Organik Mimarlık

Organik mimarlık, yapıların biçimlenişinde işlev ve çevreyle olan ilişkisi bakımından doğadaki canlı sistemlerle uyum içinde ve çıkış noktası doğa olan çağdaş mimarlık akımlarından biri olarak tanımlanmaktadır (Uzun, 2011). 19. yüzyılda yapıyı işlevden türetmek, biçimin de yapıyla uyum içerisinde olması gerektiğini savunan mimarlık düşünceleri arasında da doğa pek çok kez örnek gösterilmiştir. Örnek olarak Louis Sullivan bir yapıyı, kökü, gövdesi ve çiçekleri olan bir ağaca benzetmesi verilebilir. Buna göre yapının temeli ağacın köküne, kendisi gövdesine, süslemeleri de çiçeklerine karşılık gelmektedir. 20. yüzyılın başlarında Peter Bahrens, Hans Poelzig Max Berg, Otto Bartnin ve Rudolph Steiner gibi birçok mimar, tasarımlarında kristal ve organik formları kullanmaya başlamışlardır. Rudolph Steiner, bitkilerin büyüme prensibinden ilham alarak tasarımlarında gridal formların yerine organik formları benimsemiştir. Bruno Taut, Alplerin zirvesindeki kristalize görünüşten etkilenerek mevcut mimari formları kullanmak yerine canlı cansız oluşumları tasarımlarına taşımıştır. Modernizmin önemli isimlerinden ve organik mimarlık akımının da öncüsü olan Frank Lloyd Wright ise mimarlığın doğayla uyum içinde olması gerektiğini söylemektedir (Selçuk ve Sorguç, 2007). Wright düşüncesini şöyle tanımlar: "Doğa sadece dış ortam, bulutlar, ağaçlar, fırtınalar, yeryüzü ve hayvan yaşamı ile sınırlı değildir; malzemenin doğasına, bir planın, bir duygunun veya aracın doğasına olduğu gibi yukarıda sayılanların da doğasına atıfta bulunulabilir" (Wright, 1953). Wright'ın organik mimarisinin temelinde; "Lao Tze'nin, yapının dört duvarla bir çatıdan ibaret olmadığı, gerçeğin asıl bunların içindeki öze ait yaşama mekânlarından oluştuğu" fikri önemli rol oynamıştır.

Wright, organik kavramının tanımını "bütünsel bir varlık" olarak yapmaktadır, çünkü ona göre organığın amacı bütüncül olarak var olan her şeydir. Bütünselliğin de yapıları kutulara bölmek yerine, mekânların birbirleriyle ilişkili kuracak şekilde

yatay ve düşey elemanlarla bölerek, yapının birbirine geçen alt bölümlerinin yer aldığı tek bir mekân olarak algılanması gerektiğini savunmuştur. Wright, organik mimarlığa dair tüm düşüncelerini 1936 yılında tasarladığı Şelale Evi'yle somutlaştırarak doğa, insan ve mekânı birleştirmeyi başarmıştır (Şekil 2.8). Yatay ve düşey hatlarla yapıya sadelik katmış ve aynı zamanda doğayla yapının uyum içinde olmasını sağlamıştır. Şelaleyi de evin bir parçası olarak tasarlayan Wright, "zamana, mekâna ve insana uygunluk" felsefesini Şelale Evi'nde tam anlamıyla uygulamıştır (Ayyıldız ve Özbayraktar, 2005).



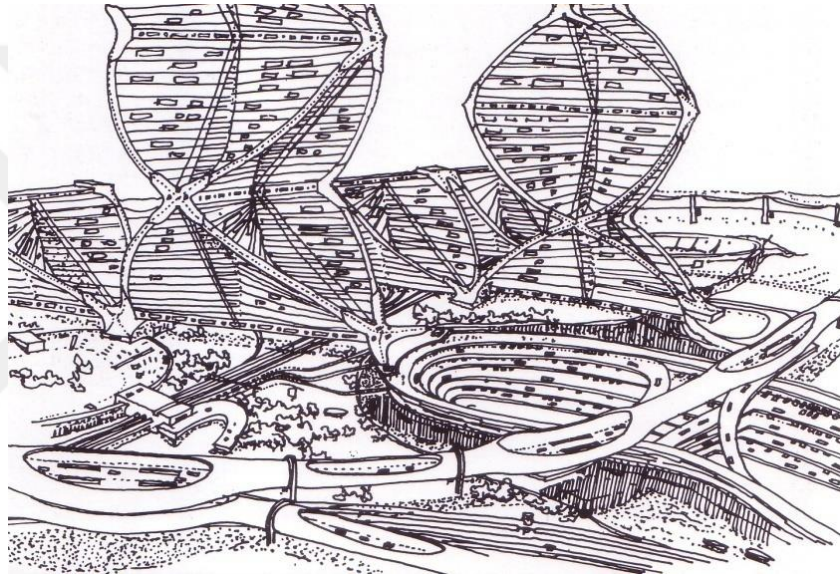
Şekil 2.8 Şelale evi (Arkitera, 2011)

Özetle organik mimarlık, yapıları doğadaki organizmalara benzeten, rijit geometrik formlar yerine doğal formları çağrıştıran kıvrımlı formları öneren tasarım yaklaşımıdır. İnsan boyutları ve hareketleriyle şekillenen mekânların birbirleriyle ilişki içinde bir bütünü oluşturmasını ve bütünün, içinde bulunduğu çevreyle uyumlu olmasını hedeflemektedir.

2.2.3.2 Metabolist Hareket

1953 yılında James D. Watson ve Francis Crick, "Nature" isimli dergideki yayınlarıyla DNA'nın yapısının keşfedildiğini kamuoyuna duyurmuşlardır. Doğadan esinlenme eylemi yöntem olarak bu noktadan sonra boyut değiştirmiş ve diğer alanlarda olduğu gibi mimarlıkta da doğrudan genetik bilimiyle ilgili gelişmeler olmaya başlamıştır. DNA keşfinin yaşama dair bilinmezleri aydınatabileceği umudu Metabolistlere de ilham kaynağı olmuştur (Bahadır, 2011). Metabolist hareket doğada bulunan canlı sistemlerin metabolizmasından esinlenerek mimarlığa farklı bir yaklaşım sunmuştur. Mimarlık ve kentler büyüyen canlılara benzetilmektedir. “Artık tek bir sözcükle özetlenemeyen geçmişin, günün, geleceğin ortakyaşarlıkları, insanoğlu ve teknoloji, yaşamın merkezine yerleştirilmektedir. Bu, yeniden bir arada olma merkezli bir yaklaşımdır ve her şeyin birbiriyle ilişkisi olduğu düşüncesine tutunarak, hayvanların, insanların, bitkilerin ve minerallerin bir arada oluşlarıyla açıklanmaktadır” (Lökçe,2001). Metabolist tasarımcılar, metabolizmanın biyolojik sürecinin kent ve mimarlıktaki karşılığını büyük bir düzen, yapı sistemi veya gelişen kent parçası olarak tanımlamaktadır. Kurgusal olarak, sürekli bir üretim ve yıkım döngüsü içinde, evrilebilen devingen mekânların oluşturulması anlamına gelmektedir. Bu nedenle metabolistler kendilerini yeniden üretebilen, ekleme-çıkarma yapmaya elverişli dinamik kentlere yöneltmektedirler (Sharp,2002). Metabolist hareket, tasarlanan her objenin ya da mekânın insan ölçeğine uygun ve insana özgü olması gerektiğini savunur, çünkü merkeze insanı koymaktadır. “Metabolist hareket atomdan nebula kadar insanı asıl etken olarak görmektedir. Yaklaşım sadece insana değil hayvan ve bitkilere de yeterli değeri göstermeyi öngörmektedir. Teknolojiyi de insanın bir uzantısı olarak ele almaktadır” (Kurokawa, 1992). Kisho Kurokawa, Metabolist yaklaşımı; “Yaşayan organizmalarının metabolizmalarının olduğu gibi, şehirlerin ve mimarının de büyüdüğüne, metabolizmalarının olduğuna inandık. Bu bizim hareketimizin felsefesinin başlangıç noktasıydı. İnsanoğlunun ve teknolojinin, geçmişinin, mevcut anının ve geleceğinin bir arada bulunması demek doğru olur. Aynı zamanda Metabolizmin çekirdeğinde Doğu düşüncesi vardır” (Kurokawa, 1997) sözleriyle açıklamaktadır.

Kisho Kurokawa daha sonraki süreçte bir adım daha ileri giderek “Symbiosis” olarak adlandırdığı kendi felsefesini oluşturmuştur. “Başkalaşım” ve “Simbiyoz” kavramlarına dayanan felsefeye göre, tek bir idealin yani batı idealinin var olduğu makine çağının son bulması ile onun yerine geçen yaşam çağında, farklı kavramların bir arada varoluşları ve hatta birbirilerinden karşılıklı yarar sağlamaları durumu insanların geleceğini oluşturmaktadır. Kurokawa’nın felsefesi, yazılarında olduğu kadar, insan DNA’sının ikili sarmal yapısından yola çıktığı 1961 yılında tasarladığı “Helix Kent” projesinde de görülebilmektedir (Şekil 2.9).



Şekil 2.9 Helix City (Noosphe, 2017)

2.2.3.3 Ekolojik Hareket

1970’lerin başından itibaren bilim ve teknoloji alanındaki gelişmelere olan güven, ekolojik sorunların ortaya çıkmasıyla giderek azalmaya başlamıştır. Doğaya verilen zararın farkına varan uzmanlar, kamuya gerekli uyarı ve eleştirilerde bulunmuştur. 1972 yılında Roma Kulübü’nün yayınladığı “Büyümenin Sınırları” çalışması, büyüme ve kaynak ilişkisine dikkat çekmektedir. Bu rapora göre sorunları azaltmak için gerekli olan şey, plansız büyümenin kontrol altına alınmasıdır. “Sıfır Büyüme Raporu” olarak da tanımlanan bu rapor, tartışmaları da beraberinde getirmiş;

sanayileşme, ekonomi ve doğa ilişkisini yeniden gözden geçirilmesi gerektiğini tetiklemiştir (İncedayı, 2004). 1987’de Çevre Kalkınma Komisyonu’nun yayınladığı “Ortak Geleceğimiz” başlıklı rapor, çevre hareketinin önemli bir konuma gelmesini sağlamıştır. 1992 yılında yapılan Heidelberg Buluşması’nda 60’dan fazla bilim insanı, yapılan çevre hareketinin bilimsel olmadığını, ülkelerin ekonomisine büyük zarar verdiğini savunmuştur (Keleş, 2003). Çevresel hareket açısından yaşanan bu olumsuz olayın ardından yine 1992 yılında Rio de Janeiro’da “Çevre ve Kalkınma Konferansı” yapılmıştır. Toplantının sonucunda “sürdürülebilirlik” kavramı küresel ölçekte kabul görmüştür. 1997 yılında yapılan Kyoto Protokolü’nde ise iklimsel değişimler ve bu değişimlerin dünyaya olan etkileri gündemde olmuştur. “Sürdürülebilirlik” eyleminin gerçekleşebilmesi için, küresel ölçekte ortaklıkların kurulması gerektiği benimsenmiş ve bu doğrultuda “Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Komisyonu” kurulmuştur (İncedayı, 2004).

Özetle endüstrileşmeyle birlikte başlayan, insan problemleri için sadece teknolojinin çözüm olacağı anlayışında olan “tekno- merkezci” yaklaşım, 60’lı yıllarda yerini insanı merkez alan ve insanın önemini savunan “insan- merkezci” yaklaşıma bırakmıştır (Keleş, 2003). Yaşanan gelişmeler doğrultusunda çevrenin önem kazanmasıyla bu anlayış da süreç içinde evrilmiş ve 20. yüzyılın sonunda yerini, insanı da doğanın bir parçası olarak kabul eden, doğa içinde diğer canlılarla birlikte uyum içinde yaşaması gerektiğini savunan “çevre- merkezci” anlayışa bırakmıştır.

2.2.4 21. Yüzyıldaki Gelişmeler

Endüstrileşmenin sonucu olarak çevre kirliliğinin artması, doğadaki kaynakların giderek azalması ve küresel ısınmanın olması gibi birtakım nedenler, tasarımcıları doğayla barışık projeler üretmeye yöneltmiş ve bu dönemde doğa esinlenmeli çok sayıda bina tasarlanmıştır. Michael Pawlyn’e göre biyomimikri, doğadaki canlılarda bulunan işlevsel adaptasyon ilkelerinin taklit edilmesinde ve ardından edinilen bu bilgilerle insan gereksinimlerine yeni çözüm önerileri getirilmesinde büyük katkı

sağlamaktadır. Mimarlığın tarihsel süreç boyunca doğadan esinlenerek gelişim göstermesine rağmen, günümüze bakıldığında mevcut yapılaşmanın doğadan giderek soyutlandığı görülmektedir. Bu duruma tepki olarak "Yaşayan Mimarlık" kavramı oluşmuş ve geleceğin mimarisinin Sentetik Biyoloji'de olduğuna dair birtakım görüşler ortaya çıkmıştır. Yaşayan mimarlık teorisi, mimarlık- çevre, doğa- yapı arasında köprü görevi görmekte ve çevreye duyarlı enerji verimli binalar ya da şehirler yaratmayı amaçlamaktadır.

Rachel Armstrong (2009), fiziksel olarak yapı inşa edildikten sonra durağan bir objenin ortaya çıktığını, bu durumun çevreden evlere ya da şehirlere doğru tek yönlü bir enerji akışını gerçekleştirdiğini ve bunun sürdürülebilir olmadığını söylemektedir. Gerçekten sürdürülebilir evler ve şehirler inşa etmenin, bu yapıları doğadan izole ederek değil, doğaya bağlamakla mümkün olacağını savunmaktadır. Mimarının idealist, iyimser olduğuna ve yaşadığımız çevreyi değiştirmek için teknolojinin ve bilimin uygulanmasına ihtiyaç duyduğuna inanan Armstrong, canlı sistemler ve kimya disipliniyle ilgili olan Sentetik Biyoloji gibi ileri teknolojiler kullanarak sürdürülebilir yapı ve doğal çevreler tasarlamaktadır. Armstrong, Yaşayan Mimarlık'ı, 21. yüzyılın zorluklarıyla başa çıkmak için ekolojik çözümler kullanmanın bir yolu olarak tanımlamaktadır. Yaşayan mimarlık konusundaki araştırmalarında, canlı sistemlerinin bazı özelliklerini yapılara entegre edilebildiği malzemeler oluşturmak için yeni bir yaklaşım araştırmaktadır. Üzerinde çalıştığı teknolojilere örnek olarak *protocelller*, *civik mantarlar*, *bakteri* ve diğer karmaşık canlı sistemler verilebilir. Bu yeni teknolojiler çevreye duyarlı olma ve doğrudan tepki verme becerisine sahiptir.

The Living firmasının ortaklarından olan David Benjamin, Cambridge bitki biyologları Fernan Federici ve Jim Haseloff ile Ulusal Bilim Vakfı destekli "Sentetik Estetik" projesi üzerinde çalışmış; bakteri ve bitkilerin ksilem hücrelerinden yetiştirilen, problem çözebilen kompozit materyaller üretmek için biyofabrikasyonu ve biyo-hesaplamayı araştırmıştır. Arup Mimarlık'tan Jan Wurm ve ortakları, karbondioksit emerek biyokütle, ısı enerjisi ve metan üretmek için hızlı büyüeyebilen

mikroalglerin kullanıldığı cepheye monte edilmiş düz panel fotobiyoreaktörleri araştırmış ve Hamburg'daki Internationale Bauausstellung'daki pilot projeye, 2013'te dünyanın ilk entegre fotobiyoreaktör uygulaması olan dört katlı bir konut yapılmasını sağlamıştır. Armstrong, Christian Kerrigan ile birlikte, DNA içermeyen ancak hareket edebilen ve tepki gösterebilen protocell teknolojisi üzerinde çalışmış; Venedik şehrinin altına kireç taşı kayalıkları yerleştirerek şehrin ahşap temellerini taşıyarak sağlamlaştırmayı hedeflemişlerdir.

Görüldüğü üzere, günümüzde Sentetik Biyoloji'nin mimarlığa entegre edilmesiyle ilgili çok sayıda çalışma yapılmaktadır. Bu çalışmaların literatürde, geçmişteki biyomimikri ve biyomimetik kavramlarının ötesine geçerek sıklıkla biyotasarım kavramı ile birlikte anıldığı görülmektedir. Yapılan laboratuvar çalışmalarında, yeni sistemlerin oluşturulması ve sürdürülebilir malzeme ihtiyacının giderilebilmesi için katkı sağlayabilecek birçok ipucu bulunmaktadır. Bu çalışmaların nitelikli olması ve hayata geçirilebilmesi için ise disiplinler arası ortaklıkların kurulması gerekmektedir (Arslan ve Selçuk, 2007).

2.3 Literatürde Mimarlık Alanında Doğadan Esinlenme Yöntemlerine İlişkin Sınıflandırmalar

İlk olarak Janine M. Benyus (1997) tarafından kullanılan biyomimikri kavramı, Julian Vincent tarafından "doğada bulunan iyi bir tasarımın soyutlanması" olarak geliştirilerek tanımlanmış ve Benyus bu tanım doğrultusunda biyomimikri kavramını daha detaylı ele alarak, doğadan öğrenme sonucu gerçekleşen taklidi 3 düzeyde açıklamıştır.

Organizma düzeyi olarak tanımlanan ilk düzey, doğal biçimin taklit edilmesidir. Bu düzeydeki esinlenme, bir organizmanın göze çarpan formu, bileşenleri, malzemesi gibi morfolojik özelliklerinin, kısacası organizmanın tasarımının taklidine dayanmaktadır. Canlı organizmalar, değişen koşullara karşı hayatta kalabilmek, yeni

ortamlara adapte olabilmek için sürekli evrim geçirmektedirler. Doğal seçim sayesinde, en güçlü olan ve şartlara en kolay uyum sağlayabilen canlılar nesillerini devam ettirebilmiştir. Bu sebeple diğer organizmaların yaşam ve adaptasyon süreçleri gözlemlenerek, tasarım problemlerinde çözüm olarak kullanılabilir (Wilson, 2008). **Organizma düzeyinde**, bir organizmanın fiziksel özellikleri taklit edilmektedir ve buna bağlı olarak etkin enerji kullanımı ve malzemeyle ilgili çözümler elde edilebilmektedir. Benyus'a göre organizma düzeyinde biyomimikri, belirli bir problemi çözebilmek için organizmanın belirli özelliklerinin taklit edilmesidir. Bu noktada biyomimikri tasarımın vazgeçilmez bir parçası olmayıp, tasarım genel hatlarıyla geleneksel yollarla ortaya çıkabilmektedir. Ortaya çıkan tasarımda işlevsel bir taklit olması zorunlu değildir, sadece biçimsel ölçekte de kalabilir. Genellikle organizma düzeyindeki yaklaşımda esinlenme bütün bir sistemden çok, organizmanın bir özelliğine yöneliktir. Bu yaklaşım çok yüzeysel kaldığından ve organizma kendi bağlamından kopuk düşünüldüğünden ortaya çıkan ürün performans açısından çok faydacı olmayabilir. Zari (2007)'ye göre her ne kadar organizma düzeyinde taklit, yenilikçi teknolojiler ya da malzemeler ortaya çıkarabilecek olsa da sürdürülebilirlik bağlamında aynı etkiyi göstermesi çok mümkün değildir.

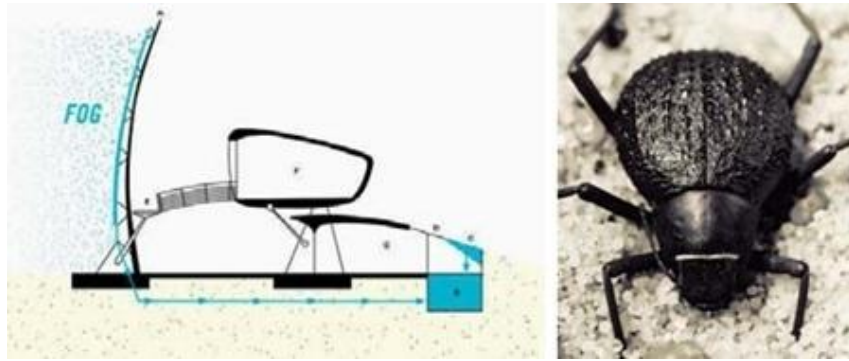


Şekil 2.10 Waterloo Uluslararası Terminali ve pangolin (Cığızoğlu, 2011)

Form ve sürece dayalı bir taklide örnek olarak Nicolas Grimshaw & Partners tarafından tasarlanan Waterloo Uluslararası Terminali verilebilir (Şekil 2.10).

Binanın tasarımında yer alan geniş açıklığa sahip alanların, tren varış ve kalkışlarında ortaya çıkan çok farklı ve kuvvetli basınç değişimlerine tepki vermesi gerekmektedir. Çatıda yer alan cam panellerin, bu değişken ve kuvvetli basınca gerekli tepkiyi verip uyum sağlayabilmesi açısından binanın tasarımında pangolinlerin dış kabuğu örnek alınmıştır (Zari, 2007).

Organizma düzeyinde biyomimikri için Namibian çöl böceğinin sis yakalayabilme özelliğinden etkilenilerek tasarlanan Namibya Üniversitesi Hidroloji Merkezi de iyi bir örnek olarak verilebilir (Şekil 2.11). Bu canlı, yağış miktarının çok az olduğu çöllerde minimum su ile yaşayabilmektedir. Rüzgarlı havalarda, sırtını rüzgara çevirerek sırtındaki pürüzlü yüzeyden suyu alarak ilk önce kanatlarına, oradan da ağzına gelen su damlacıklarıyla su gereksinimini karşılamaktadır. KSS Mimarlık Ofisi'nden Matthew Parkes, çöl böceğinin sisteki suyu yakalama özelliğinden esinlenerek Namibya Üniversitesi Hidroloji Merkezi'ni tasarlanmıştır (Ravilios,2007). Knight (2001), ise çöl böceğinin bu özelliğini, havalimanı pistlerinde ve ekipmanlarda oluşan nemi engellemek için kullanmaya çalışmıştır.

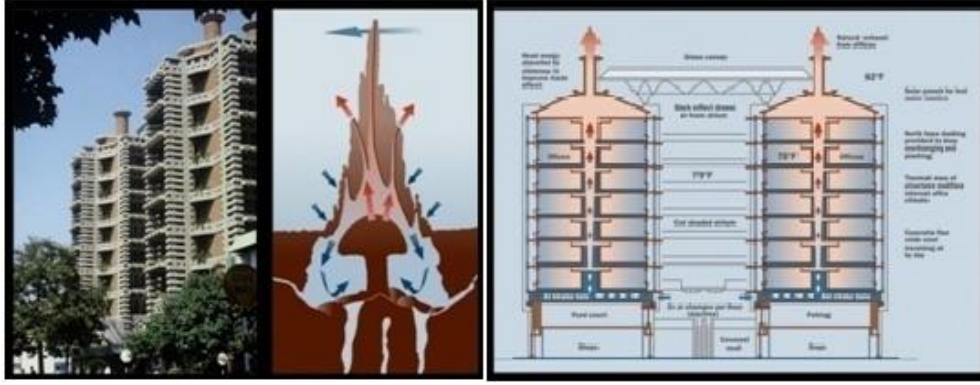


Şekil 2.11 Namibya Üniversitesi Hidroloji Merkezi (Cıgızoğlu, 2011)

Davranış düzeyinde biyomimikri, bir canlının çevresiyle nasıl ilişki kurduğunu ve çevresi içerisinde nasıl davrandığını araştırarak ve anlayarak mümkün olmaktadır. Bir başka deyişle bir organizmanın kendi çevresel kapasitesi, enerji sınırları ve malzeme imkanları içerisinde nasıl hareket ettiği incelenmekte ve davranışı taklit

edilmektedir (Zari, 2007). Akkarıncaların davranışı bu düzeyi anlatmak için örnek olarak gösterilmektedir. Akkarıncalar yuvalarında var olan ve ürettikleri mantarları sakladıkları depo alanlarını 30°C’de korumaları gerekirken, bulundukları coğrafi özellikler sebebiyle çevre ısısı gece-gündüz 21°C fark gösterebilmektedir. Bu duruma karşı akkarıncalar, içerideki sıcaklık dengesini sağlayabilecekleri 13cm uzunluğunda bir havalandırma kanalı inşa etmektedirler. Akkarıncaların oluşturduğu tepeliklerin fonksiyonu için yaygın olarak kabul edilen iki model bulunmaktadır. Bu modellerden ilki, yuvanın kapalı olması durumunda termosifon akışı oluşturularak, yuvanın oluşturduğu sıcak hava, yenileneceği yerde yuvanın tepesine yükselmekte ve gözenekli tepe duvarlarından su buharıyla beslenmektedir. Daha yoğun olan hava, daha sonra döngüye katılmaktadır. İkinci model, üstünde dışarı açılan kanalları bulunan yuvaların çalışma prensibini anlatmaktadır. Bu model, düzenleme istif etkisi olarak da adlandırılan indüklenmiş akış yaratmaktadır. Hava kanalları yüzey sınır katmanını kırmakta ve zemindeki girişlere kıyasla daha fazla rüzgara maruz kalmaktadır. Tek yönlü olan akış, hava kanalları ve dışarıdan geçen temiz havayı yuvaya çekmektedir.

Zimbabve’de yer alan Eastgate Alışveriş ve Ofis Merkezi’nde tasarımcılar bu iki modeli de yapıya uygulamaya çalışmıştır. Yapı, duvar ve zeminde hava sirkülasyonunu sağlayan geniş bir havalandırma sistemine sahiptir. Yapı içinde üretilen ısı, depolanmış ısı ile birlikte, havayı yukarı çeken ve büyük baca yığınlarının bulunduğu çatıların üstünden geçen bir termosifon etkisi yaratmaktadır. Eastgate Merkezi’nin akkarınca yuvalarının çalışma prensibinden farkı, yapının gün boyunca oluşan sıcak havayı gece boyunca soğuk havayla değiştirerek, gündüzleri düşük kapasiteli fanları ve geceleri hava sirkülasyonunu sağlamak için yüksek kapasiteli fanların kullanılmasıdır. Bu yöntem yüksek maliyetli havalandırma sistemlerini kullanmaktan kaçınmakta ve iyi çalışmaktadır, ancak hiçbir termit yuvasında fan çalıştırılmadığı gerçeği, yapının akkarınca yuvalarından esinlenme fikrini zedelemektedir (Wallis ve diğer., 2010).



Şekil 2.12 Eastgate Merkezi'nde yer alan akkarınca havalandırma kanalının taklit edilmesi (Karabetça, 2016)

Zari (2007)'ye göre davranış düzeyindeki taklidin tasarım önerisi olarak kullanımında taklit için hangi canlının seçileceği büyük önem taşımaktadır. Çünkü her organizmanın sergilediği davranış insan ölçeğine indirildiğinde uygun olmayabilmektedir. Örnek olarak, ortamdaki sıcaklığı sabitlemek için karınca yuvaları taklit edilebilir ama bu düşünceyle insanların koloni halinde yaşamaya başlamaları uygun bir durum oluşturmayacaktır. Bu yaklaşımda, organizmaların sosyal açıdan değil de biyolojik açıdan yaşamlarını devam ettirebilme prensiplerinin incelenerek, daha yaşanılabilir ortamların yaratılması temel düşüncedir.

Ekosistem düzeyindeki taklit yaklaşımı literatürde “ekomimikri” olarak da geçmekte ve sadece insan ölçeğinde değil, ekosistem ölçeğindeki yaşantının sürdürülebilirliğiyle de ilgilenmektedir (Cıgızolu, 2011). Bu düzeydeki biyomimikri yaklaşımı, diğer iki düzeyi de içinde barındırarak sürdürülebilir çevreler yaratabilmek için bütüncül bir ekosistem yaratmayı amaçlamaktadır. Bu durum beraberinde ekoloji ve doğanın kendini yenileme süreçlerini de inceleme ve anlama zorunluluğunu getirmektedir. Ekosistem düzeyindeki biyomimikride, küçük ölçekten başlayarak daha büyük ölçekte düşünmek gerekmektedir. Bu düzeydeki taklide örnek olarak Mithun Mimarlık'ın tasarladığı Lloyd Crossing Projesi verilebilir (Şekil 2.13). Portland, Oregon'da tasarlanan bu projede tasarımcılar ilk olarak bu alanın önceki

ekosistemini araştırmış ve bu doğrultuda, tasarım ürünü olarak devamlılığını uzun bir süre sağlayabilecek olan bir proje ortaya çıkarmayı hedeflemişlerdir.



şekil 2.13 Lloyd Crossing Projesi (Mithun, 2018)

Grimshaw Mimarlık tarafından Londra’da tasarlanan Eden Projesi de kendi içinde yarattığı kapalı dğüyle ekosistem düzeyindeki taklide örnek olarak gösterilebilir (şekil 2.14). Sürekli değişen bir alana sera inşa etmeleri gerektiğini söyleyen Michael Pawlyn, sabun köpüğünden esinlenerek bu projeyi tasarlanmıştır. Doğadaki diğer formları da inceleyerek altıgen ve beşgen formların bu proje için en verimli çözüme ulaştırdığını söylemiştir. Ayrıca bu projede şeffaf altıgen yüzeyler ETFE ile kaplanarak, cam yüzeye göre oldukça hafif bir yapı da inşa edilmiştir. Pawlyn (2014), Eden Projesi’ni “biyolojiden alınan fikirlerin radikal kaynak verimliliği artışı sağlayabileceği konusuna iyi bir örnek” olarak tanımlamaktadır.

Zari (2007), bu taklit düzeyinin tasarım ürünü olarak ortaya konmasının zor olduğunu ancak ekosistemlerin metafor olarak incelenmesiyle daha bütüncül ve ona göre daha doğru tasarımların yapılabileceğini savunmuştur. Ekosistem düzeyindeki taklitte metaforik açıdan biyoloji bilgisine çok ihtiyaç olmasa da, işlevsellik konusunda tasarım sürecinde birçok uzmanın bir araya gelmesi gerektiğini söylemiştir.



Şekil 2.14 Eden Projesi (Ecobrooklyn, 2012)

2.4 21. Yüzyılda Biyoloji ve Mimarlık Ortaklığında Biyomimetik Tasarım Örnekleri

Sanayi Devrimi'ne kadarki süreçte doğadan esinlenmelerin daha yüzeysel ve biçim ağırlıklı olduğu görülmektedir. Sanayi Devrimi'yle birlikte gelişen teknolojinin getirişiyle biyoloji bilimi de gelişmiş ve doğanın, doğadaki canlıların yapısal, davranışsal gibi birtakım özelliklerinin daha ayrıntılı incelenmesi için uygun ortam oluşmuştur. Bu dönemde gelişen teknolojinin sayesinde biyolojik araştırmalar mimari tasarım sürecinde yer bulmuş; doğadan esinlenme eylemi derinlik kazanmış ve sadece canlıların biçimsel özellikleri değil davranışsal özellikleri de tasarımcılara esin kaynağı olmuştur. 21. yüzyılın gelişmeleri ise, canlıların da bir tasarım parametresi olarak ele alındığı yeni ve farklı araştırmalarıyla, söz konusu biyomimetik yaklaşımları yeniden değerlendirme gereksinimini doğurmuştur. Bu doğrultuda biyotasarım üst başlığı altında canlılarla ortaklık kurulan tasarımları da işin içine katarak literatürdeki mevcut örnekler yeniden kategorize edilmiştir.

Tez kapsamında literatürde genel bir kabul gören sınıflandırma olarak Benyus'un (1997); organizma düzeyi, davranış düzeyi ve ekosistem düzeyi olarak 3 başlık altında topladığı doğadan esinlenme düzeyleri, günümüz tasarım yaklaşımları ele

alınarak yorumlanıp geliştirilmiştir. Bu doğrultuda tez çalışmasında **güncel biyomimetik tasarım yaklaşımları 4 ana başlık altında kategorize edilmiştir:**

- **biçimsel esinlenme**
- **fizyolojik esinlenme**
- **davranışsal esinlenme**
- **biyoışbirlikçi yaklaşım**

Aşağıda, bu 4 başlık altında gruplanmış esinlenme düzeylerinin 2000 yılı sonrası mimari örneklerde tasarıma nasıl yansıtıldığı araştırılmıştır. Biçimsel esinlenme, fizyolojik esinlenme, davranışsal esinlenme ve biyoışbirlikçi tasarım yaklaşımlarından 4'er örnek olmak üzere toplamda 28 proje incelenmiştir. İncelenen projelerin mimarı, bulunduğu konum, yapım yılı, esin düzeyi, esin kaynağı ve malzeme özelliklerini içeren künye oluşturulmuş ve tasarım uygulamaları anlatılmıştır.

2.4.1 Biçimsel Esinlenme

Biçimsel esinlenme düzeyindeki tasarım, işlevsel bir kaygı duyulmadan, esinlenilen organizmanın sadece biçimsel özelliklerini taklit eden bir yaklaşım türüdür. Bu yaklaşım türünde genellikle tasarımcılar alışıldık olmayan, yeni ve sembolik anlam ifade edebilecek bir form arayışı için doğayı esin kaynağı olarak kullanmaktadırlar. Yapılan tasarım seçilen organizma formunun analogisi olarak kalmakta ve taklit edilen canlının biyolojik özellikleri ve işlevini dikkate almamaktadır. Doğanın sadece biçimsel taklidi olan ve doğayı metafor olarak kullanan bu yaklaşım “Biyomorfik Tasarım” olarak da tanımlanabilmektedir. Bu yaklaşım türünün sembolik oluşu, görsellik üzerine kurulması ve tasarımcının vermek istediği mesajın kütlede direkt olarak okunabilmesi avantaj olarak sayılabilirken, mimari tasarımda mekânsal bir kaygıdan çok dekoratiflik, görsellik önem kazandığından süslemeye kaçması, işlev ikinci planda kaldığından konfor açısından sağlıklı olmayan mekânlar ortaya çıkarma ihtimali dezavantaj olarak sayılabilmektedir.

Bina Adı	FENNELL RESIDENCE
Mimarı	Robert Oshatz
Yeri	Oregon, ABD
Proje Tarihi	2005
Biyomimikri düzeyi	Biçimsel Esinlenme
Esin Kaynağı	Okyanus Dalgası
Malzeme	Ahşap, Cam



Şekil 2.15 Fennel evi cephesi (Oshatz, b.t.)

Tasarımcı, nehir kenarında yaptığı bu projede okyanus dalgalarından ve oluşturduğu kıvrımlardan esinlenmiş ve oluşturduğu bu form yapıya heykelsi bir hava katmıştır. Projede aynı zamanda malzemelerde sıcaklık ve rahatlık hissini verebilmek amaçlanmıştır. Cephede okunan akışkan formlar, iç mekânlardaki boşlukların bir yansımasıdır. Eğrisel yüzeyler, duvarlar ile bitişik alanlar yaratmak için kullanılmış ve tavanlar tekrar duvarlara dönüşürken, eğrilerdeki değişiklikler ve kırılmalar açıklıklar oluşturmak için kullanılmıştır. Lamine kirişlerin tüm eğrilikleri, yapı boyunca farklı şekilde yorumlanmış özdeş bir yarıçaptan çizilmiş, böylelikle binaya mantıksal ve uyumlu bir oran kazandırmıştır (Şekil 2.15).

Bina Adı	NATIONAL AQUATICS CENTRE (WATER CUBE)
Mimarı	Chris Bosse, Rob Leslie Carter
Yeri	Beijing, Çin
Proje Tarihi	2008
Biyomimikri düzeyi	Biçimsel Esinlenme
Esin Kaynağı	Su Baloncukları
Malzeme	Çelik, ETFE, Betonarme



Şekil 2.16 Su küpü binası (McManus, 2016)

Tasarımcı, mimarideki analogiyi köpük yığınındaki su kabarcıkları üzerinden yaparak, Ulusal Su Sporları Merkezi için uygun bir tamamlayıcı oluşturmuştur. Köpükte olduğu gibi tamamen rastgele oluşturulan görüntünün arkası, kristaller, hücreler ve moleküler yapılar gibi doğal sistemlerde bulunabilen sıkı bir geometriyi gizlemektedir. Dış yüzey, açık mavi renkli kabarcık membranlar ve kabarcık efekti yaratan ETFE'den yapılmış pnömatik yastıklar ile kaplanmıştır (Şekil 2.16). Yüzeyi kaplayan bu su kabarcıkları, yüzme havuzlarını ısıtmak için güneş enerjisi toplamaktadır. Kavramsal olarak, doğanın kültüre dönüşümünü sembolize etmek için dikdörtgen prizma ve iç mekânlar tanımlanmamış köpük kümelerden oluşmuştur.

Bina Adı	YUSUFÇUK BÖCEĞİ (THE DRAGONFLY)
Mimarı	Vincent Callebaut Architects
Yeri	New York, ABD
Proje Tarihi	2009
Biyomimikri düzeyi	Biçimsel Esinlenme
Esin Kaynağı	Yusufçuk böceğinin kanatları
Malzeme	Cam, çelik



Şekil 2.17 Yusufçuk böceğı binası (Vincent.callebaut, b.t.)

Bu projede, yusufoçuk böceğinin kanatlarından esinlenilerek dikey bir çiftlik tasarlanmıştır. New York'taki Roosevelt adasının güney ucundaki nehir boyunca yer alan kule, su, enerji ve biyogübrelemede kendi kendine yeterli olabilecek gerçek bir organizma olarak tasarlanmıştır. 132 katlı ve 600 metreye yayılan Yusufçuk projesi, meyve, sebze, tahıl, et ve süt ürünleri üretimi için 28 farklı tarım alanı barındırmaktadır. Projede sosyal çeşitliliğı ve kalıcı yaşam döngüsünün sürekli sağlanabilmesi için karma program konut ve iş yerleri olmak üzere iki farklı kola ayrılmıştır. Sirkülasyon, çok sayıda asansörün, fabrika asansörlerinin ve merdivenlerin, bitkilerden, hayvanlardan ve insanlardan geri dönüştürülen atıkları aynı anda ayırarak tüm katlara hizmet eden sistem bir omurgada toplanmıştır (Şekil 2.17).

Bina Adı	ZHUHAI GÖZLEM KULESİ
Mimarı	RMJM
Yeri	Zhuhai, Çin
Proje Tarihi	2014
Biyomimikri düzeyi	Biçimsel Esinlenme
Esin Kaynağı	Balık
Malzeme	Çelik, Alüminyum panel, Betonarme



Şekil 2.18 Zhuhai gözlem kulesi (Inhabitat, 2014)

Bölgenin geleneksel su kültüründen esinlenen mimarlar, kıvrımlı yapı cephesini atlayan bir balık imajı oluşturmak amacıyla, balığın pullarını anımsatan ve kuleyi güneşten koruyacak olan 1400 delikli alüminyum panellerle kaplamışlardır. İkonik kule, kent merkezi işlevi görecektir ve şehrin yeni yaya yolu ağının merkezinde iki büyük nehrin birleştiği yerde konumlandırılacaktır. 2 boyutlu 12 kıvrımdan oluşan kulenin atlayan bir balık formunda yapılması, kentin refahını ve hızlı dönüşümünü temsil etmektedir (Şekil 2.18). Karma kullanımlı olarak tasarlanan kule, zemin katta ticaret ve restoranlara sahip platformlardan, orta bölgede etkinlik alanlarından ve üst katlarda gözlem alanlarından oluşmakta ve toplamda 3 ana işleve ayrılmaktadır.

Bina Adı	İSRAİL PAVYONU, HAYAT NESNESİ
Mimarı	Bnaya Bauer, Arielle Blonder, Noy Lazarovich, Dr. Ido Bachelet, Dr. Yael Eylat Van-Essen
Yeri	Venedik, İtalya
Proje Tarihi	2016
Biyomimikri düzeyi	Biçimsel Esinlenme
Esin Kaynağı	Kuş yuvası
Malzeme	Biyolojik materyal



Şekil 2.19 Projenin konsept görseli (Oh, 2016)

Life Object sergisi, çağdaş mimarlık alanında biyoloji paradigmasının artan ilgi çekiciliği üzerinde durmaktadır. İnsan ve çevre arasındaki şekillenen yeni ilişkileri incelemekte ve doğa kültür arasındaki ayrımı ortadan kaldırmayı hedeflemektedir. Bir kuş yuvasının oluşturulmasından esinlenilerek yapılmış kendinden destekli bu strüktür, akıllı ve biyolojik materyalleri birleştiren yaşayan bir yapıdır (Şekil 2.19). Yapı çevresinde, insan varlığı, "mimari tasarım ve yapım üzerinde önemli bir etkisi olması beklenen biyolojik materyalle doldurulmuş" bir doluluk açmaktadır.

Bina Adı	GMOND INTERNATIONAL BUILDING
Mimarı	Aedas
Yeri	Shenzhen, Çin
Proje Tarihi	2016
Biyomimikri düzeyi	Biçimsel Esinlenme
Esin Kaynağı	Bambu
Malzeme	Betonarme, Çelik



Şekil 2.20 Gmond Uluslararası Binası (Archello, b.t.)

Güney Çin'in büyük bir şehirlerinden Shenzhen'de yapılacak olan Gmond International Building'in tasarımına geleneksel Çin totemine göre refah ve ahlaki bütünlüğü simgeleyen bambu formu esin kaynağı olmuştur. Tasarımında kullanılan dış peyzajlı merdivenler ve çevre dostu çatı bahçeleri ile farklı bir yaklaşım sunan binanın zemin cephesinde kullanılan eğimli podyum ise büyük bambu yapraklarını andırmaktadır (Şekil 2.20). Ortak alanların yer aldığı bu yaprak formları, binanın ticari bileşeni olan çiçeklenme kulesiyle uyumlu bir bütünlük oluşturmaktadır. 200 metre yüksekliğindeki gökdelen, yaklaşık 60.000 metrekare brüt zeminiyle büro alanlarına ve Mücevher Ticaret Merkezi'ne ev sahipliği yapacaktır.

Bina Adı	MOSKOVA SİRK OKULU YARIŞMASI 1. ÖDÜL
Mimarı	Maryam Fazel, Belinda Ercan
Yeri	Moskova, Rusya
Proje Tarihi	2016
Biyomimikri düzeyi	Biçimsel Esinlenme
Esin Kaynağı	Elitra Böceği
Malzeme	Betonarme, Cam



Şekil 2.21 1. Ödülü alan öneri projesi (Santos, 2016)

Elitra adı verilen böceğin formundan esinlenen proje konseptinde, koruyucu bir kabuk oluşturmak için böceğin ön kanatlarından esinlenilmiştir (Şekil 2.21). Oluşturulan bu kabuk da yukarıya doğru açılabilmekte ve bu sayede hem kamusal hem de özel alana sahip olabilmektedir. Çatıya erişim halka açık olarak tasarlanmıştır, bu sayede içerideki faaliyetlerin şeffaflığı ve kültürel bir merkez oluşturulması kolaylaşacaktır. Kamusal çatı, bekleme ve sergi alanlarında halka açık alanların dolaşım bölgesi olarak işlev görürken, içerideki iç mekânın şeffaflığını da sağlayabilmektedir. Açık hava amfi tiyatrosu kamusal ve özel alanların kesiştiği alanda konumlandırılmıştır. Bu sayede ziyaretçiler ve sirk sanatçıları arasında görsel bağlantı ve karşılaşma imkânı sağlanmıştır. Projede ayrıca sergi ve etkinlik alanları, Tiyatro gösterilerinin yapıldığı alanlar ve restoran olarak kullanılabilen esnek mekânlar da önerilmiştir.

2.4.2 Fizyolojik Esinlenme

Fizyolojik esinlenme düzeyi, taklit edilen organizmanın biçimsel ya da yapısal özelliklerini inceleyip, bu özelliklerin işlevsel olarak tasarıma yansıtılması yoluyla yapılan esinlenme türüdür. Biçimsel esinlenmede olduğu gibi bir organizmanın formunun taklidi bu yaklaşımda da bulunmaktadır. Biçimsel esinlenmeden farklı olarak fizyolojik esinlenmede esinlenilen canlıyı sadece görsel olarak taklit etmekle kalmayıp, canlının yapısal özellikleri de incelenerek taşıyıcı sistemi tasarımda esin kaynağı olmaktadır.

Doğadaki canlıların strüktürlerinin incelenip, keşfedilmesi ve bunu mimari tasarımda taşıyıcı sisteme entegre edilmesi bu düzeydeki esinlenmenin avantajı olarak kabul edilebilir. Tasarım sürecinde sadece strüktürel yaklaşıp, mimari açıdan önemli sayılacak diğer parametreler göz ardı edilirse, biçimsel ve mekânsal açıdan olumsuz koşullar ortaya çıkabilme durumu ise bu yaklaşım türünün dezavantajı olarak sayılabilmektedir.

Bina Adı	THE ESPLANADE- THEATRES ON THE BAY
Mimarı	DP Architects, Michael Wilford, Russell Johnson
Yeri	Singapur
Proje Tarihi	2002
Biyomimikri düzeyi	Fizyolojik Esinlenme
Esin Kaynağı	Durian Meyvesi
Malzeme	Betonarme, Cam, Çelik



Şekil 2.22 Esplanade tiyatrosu (Archnewsnow, 2003)

Durian meyvesine benzeyen bu dış cephe, güneş ışığının binaya direkt olarak girmesini engellerken aynı zamanda performans merkezinin bulunduğu mekânın dışarıya engelsiz bir şekilde bakmasını sağlayan şeffaflığa sahiptir (Şekil 2.22). Esplanade Tiyatrosu'nun dış kabuğu sadece biçimsel bir özenmeye değil, durian meyvesinin sağlamlığını bina dış cephesine taşımayı hedefleyen işlevsel bir yaklaşıma sahiptir (Kalaycı, 2010). Bu kabuk, gün boyunca doğal ışıkla gölge ve dokuların dramatik dönüşümünü sağlarken, gece vakti ışıklandırılarak kent silüetine dikkat çekici bir katkıda bulunmaktadır.

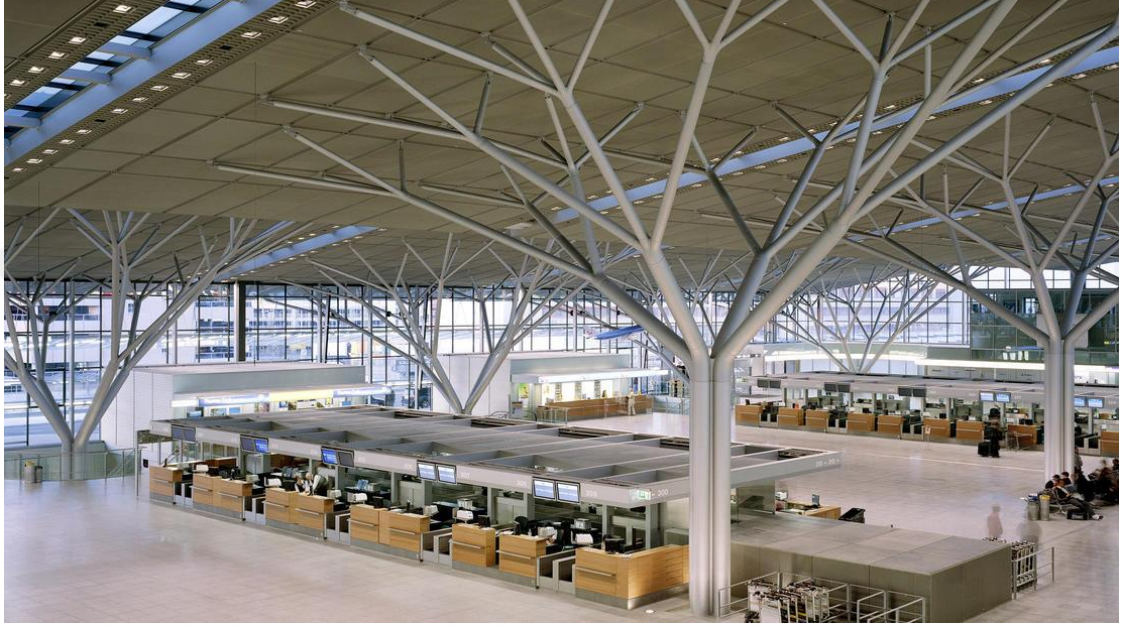
Bina Adı	SPIRAL CAFE
Mimarı	Marks Barfield Architects
Yeri	Birmingham, İngiltere
Proje Tarihi	2004
Biyomimikri düzeyi	Fizyolojik Esinlenme
Esin Kaynağı	Deniz Kabuğu
Malzeme	Bakır, Cam, Çelik, Betonarme



Şekil 2.23 Spiral kafe (Lomholt, 2016)

Bu tasarım, deniz kabukları ve çam kozalaklarından, galaksiler içindeki fraktal desenlere kadar evrendeki doğal büyüme kalıplarını tanımlayan 13. yüzyıl matematikçisi Leonardo Fibonacci'den ilham almaktadır. Binanın kabuk şeklindeki formunu yansıtan dış kısım, kabartmalı post patine bakırla kaplanmış ve iç kısmı açık vernikle kaplanan pürüzsüz bronz levhalarla kaplanmıştır. İç mekânda asılı olan cam küre şeklindeki aydınlatma elemanları da yapılan analogiyi tamamlayacak nitelikte olmuştur. Projeye, küçük bir alan işgal ederek geniş bir hacim tasarlamak amacıyla yola çıkılmıştır. Ayrıca kafe yapısının ince bir kabuğu olması istendiği için deniz kabuklarının kabuk yapısını taklit edilmiştir (Şekil 2.23).

Bina Adı	STUTTGART HAVAALANI
Mimarı	Von Gerkan
Yeri	Stuttgart, Almanya
Proje Tarihi	2004
Biyomimikridüzeyi	Fizyolojik Esinlenme
Esin Kaynağı	Ağaçların Dallanma Sistemi
Malzeme	Çelik



Şekil 2.24 Stuttgart havaalanı taşıyıcı sistemi (Gmp-architekten, b.t.)

Ağaçlar, ayakta durma, güneşe uzanma, çevreden gelecek etkilere, rüzgâra dayanma gibi işlevleri asal geometrik olmayan bağımsız organik formları sayesinde, en az enerji harcayarak yaparlar. Bu sürdürülebilir yaklaşım, iç mekânda binaların kendi sistemlerini kurmaları için verimli bir çözüm yolu olmuştur. Ağaçlarından esinlenilmiş bu tasarımda, küçük dallar üzerinde duruyormuş izlenimi veren görkemli çatıyı devasa çelik gövde ve dallar taşımaktadır (Şekil 2.24).

Bina Adı	BEIJING ULUSAL STADYUMU
Mimarı	Herzog& de Meuron
Yeri	Beijing, Çin
Proje Tarihi	2008
Biyomimikri düzeyi	Fizyolojik Esinlenme
Esin Kaynağı	Kuş Yuvası
Malzeme	Çelik, ETFE, PTFE, Betonarme



Şekil 2.25 Beijing ulusal stadyumu(Arch2o, b.t.)

Stadyumun dairesel formu cenneti temsil etmektedir, ancak proje Çin stili çömleklerden esinlenerek oluşturulmuş bir kuş yuvası olarak da tanımlanmaktadır. Tavanı desteklemek ve koltukları gölgelendirmek için bir dizi kirişli kafes kirişler tasarlanmıştır. Bu "kuş yuvası" formu rastgeleymiş gibi görünse de birtakım hesaplamalar sonucu bu form oluşturulmuştur ve 36 km çelik ile sarılmıştır (Şekil 2.25). Çatının formu ise Çin denge ve uyum felsefesi *ying- yang*'dan esinlenilerek yapılmıştır. Çatı, üst kısma sabitlenmiş şeffaf bir ETFE membran ve alt kısmında sabitlenmiş bir yarı saydam PTFE membran olmak üzere çift katmanlıdır. İç halkanın yan duvarlarına da bir PTFE akustik tavan eklenmiştir. Stadyumun yapısındaki boşluklar şişirilmiş ETFE yastıkları ile doldurulmuştur. Ön cephede bulunan şişirilmiş yastıklar, rüzgâra karşı koruma sağlamak için, gerektiğinde yapının iç tarafına monte edilebilmektedir.

Bina Adı	TREE RESTAURANT
Mimarı	Koichi Takada Architects
Yeri	Sidney, Avustralya
Proje Tarihi	2010
Biyomimikri düzeyi	Fizyolojik Esinlenme
Esin Kaynağı	Ağaç
Malzeme	Ahşap, Cam, Betonarme



Şekil 2.26 Ağaç restoranın iç mekân görseli (Frearson, 2011)

Projede, kiraz çiçeğinin geleneksel Japon festivali olan Hanami'yi yeniden canlandıran bir yemek konsepti önerilmiştir (Şekil 2.26). Kiraz çiçeği ağaçlarının altında yemek, baharın gelişini kutlayan bir sosyal buluşmadır. Tasarımcı, bu konseptin sadece Japon mutfaklarının sunumunu temsil etmekle kalmayıp aynı zamanda yerel halkın “büyük bir ağaç” altında toplanıp yemek için sembolik bir yer tutmasını ve sahibinin işi bir ağaç yetiştiriyormuş gibi yetiştirmesini ümit ettiğini ifade etmiştir. Ağaçların gövde ve dallarının yalnızca taşıyıcı özelliğinden değil, örtü yüzeyinde bulunan gölgelik, sundurma, tente ve saçak gibi elemanları tasarlarken, gölgelik yaratma prensiplerinden de faydalanılmaktadır.

Bina Adı	SİNOSTEEL INTERNATIONAL PLAZA
Mimarı	MAD Architects
Yeri	Tinajin, Çin
Proje Tarihi	2008
Biyomimikri düzeyi	Fizyolojik Esinlenme
Esin Kaynağı	Arı kovanı
Malzeme	Betonarme, çelik, cam



Şekil 2.27 Proje görseli (Etherington, 2008)

Tasarım konsepti, geometriyi tekrarlayan bir motif olarak, bina boyunca evrim geçiren altıgen bir cephe olarak birleşmektir. Cephe, beş farklı altıgen pencere modülünden oluşmaktadır. Bu pencereler, organik hücrelerin çoğalması gibi, doğal olarak evrim geçiren bir yapı içinde akmaktadır. Bu tasarım detayı, cepheyi canlandırmakta ve farklı perspektiflerden binaya bakıldığında görüntünün sürekli değişerek dinamik bir cephe oluşturduğu görülmektedir. Petek formu cephe aynı zamanda binanın, dış iskeletin ve yüzeyin omurgasıdır. Bu, iç mekânlarda kolon ihtiyacını ortadan kaldırmakta ve çok daha esnek bir kullanım için yapı içinde yer açılmasını sağlamaktadır (Şekil 2.27).

Bina Adı	ELYTRA FİLAMENT PAVYONU
Mimarı	Achim Menges, Moritz Dörstelmann
Yeri	Londra, İngiltere
Proje Tarihi	2016
Biyomimikri düzeyi	Fizyolojik Esinlenme
Esin Kaynağı	Elitra Böceğinin Kabuksu Ön Kanatlarındaki Ağ Sistemi
Malzeme	Cam ve Karbonfiber örtü



Şekil 2.28 Elytra filament pavyonunun görünüşü (Santos, 2016)

Elitra Filament Pavyonu, mimarlık, mühendislik ve biyomimetik disiplinlerinin ortak çalışmaları sonucunda ortaya çıkmış bir projedir ve biyolojik elyaf sistemlerinin mimariye nasıl aktarılabilirliğini araştırmaktadır. 200m²'lik pavyon yapısı, doğada bulunan hafif yapı prensiplerinden esinlenmiştir ve elitraböceğinin kabuklarını kaplayan lifli yapıları taklit etmektedir (Şekil 2.28). Elitra Filament Pavyonu, dört aylık bir inşaat sürecinde bilgisayar programlı Kuka robotu tarafından oluşturulan, her biri 45 kg ağırlığındaki 40 altıgen hücreden ve yedi sütundan oluşmaktadır. Her bir bileşenin yapılmasında robot, sert bir fırın içinde sertleşmesi için ısıtılmadan önce, altıgen bir iskele üzerine reçine ile ıslatılmış cam ve karbon fiberler sarmıştır.

2.4.3 Davranışsal Esinlenme

Davranışsal esinlenme, organizmaya ya da canlı sistemlerin doğma, büyüme, üreme, çürüme gibi doğal yaşam süreçlerinden ya da hareket, tepki, yönelim gibi davranış özelliklerinden ve bu canlıların çevreyle kurduğu etkileşimlerden esinlenilerek yapılan biyomimikri düzeyidir. Bu esinlenme düzeyinde, esinlenilen canlının çevre koşullarına karşı nasıl adapte olabildiği, tehlike anlarına ya da beklenmedik durumlara karşı nasıl cevap verdiği incelenmektedir. Biçimsel ya da strüktürel bir esinlenmeden çok canlının davranış biçimi ön plana çıkmaktadır.

Bu esinlenme düzeyinde bitkilerin, hayvanların veya oluşturdukları kolonilerin farklı çevresel koşullara verdikleri tepkilerin sistematiği detaylıca incelendiğinde, tasarım problemlerinde çözüm olarak kullanılabilme potansiyeli barındırması durumu, yaklaşım türünün avantajı olarak sayılabilmektedir. Davranışsal esinlenmenin mimari tasarıma entegre edilmesi sürecinde birtakım teknik sistemler de gerekmektedir. Oluşturulan sistemlerin her türlü koşula cevap verebilecek nitelikte olması gerekmektedir. Aksi takdirde oluşabilecek teknik problemler olumsuz koşullar ortaya çıkardığında bu esinlenme türünün dezavantajı olarak görülebilmektedir.

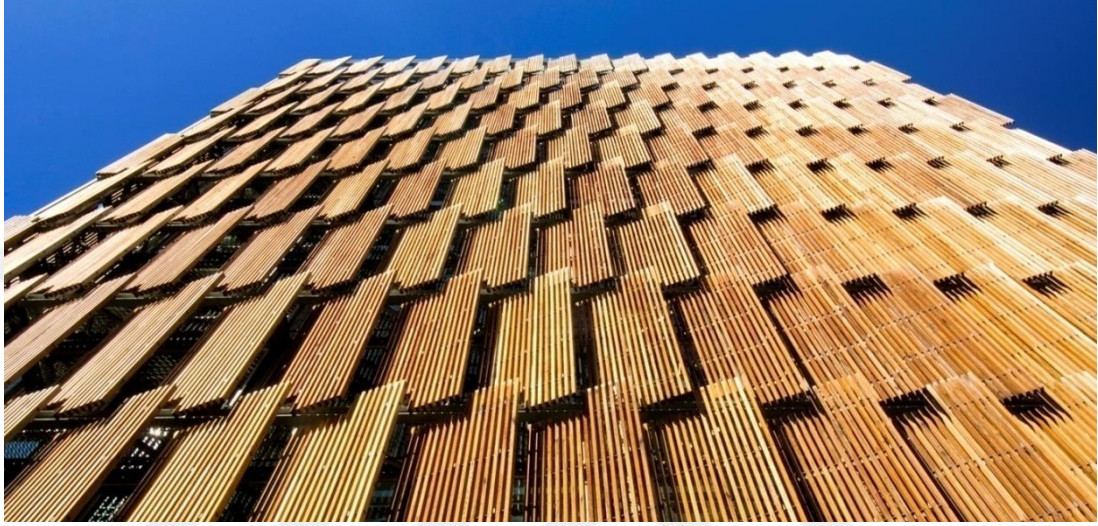
Bina Adı	QIZHONG STADYUMU
Mimarı	Mitsuru Senda
Yeri	Şangay, Çin
Proje Tarihi	2005
Biyomimikri düzeyi	Davranışsal Esinlenme
Esin Kaynağı	Manolya Çiçeği
Malzeme	Betonarme, çelik levha



Şekil 2.29 Stadyumun üstten görünüşü (Architizer, 2005)

Mimar, Şanghay'ın ulusal çiçeği olan manolyadan esinlenmiştir. Manolya çiçeği, hava durumuna ve mevsime göre yapraklarını açıp kapatabilme yeteneğine sahip olduğundan, stadyumun çatısı da çiçek gibi davranarak farklı hava koşullarına cevap verebilecek şekilde tasarlanmıştır. Stadyuma açık ve kapalı olmak üzere iki farklı kullanım olanağı sunmuş olmakta ve yapraklar açık olduğu zaman da proje açık bir çiçeği anımsatmaktadır. Manolya yaprağı şeklinde tasarlanan ve 8 parçadan oluşan yapraklar, 8 dakikalık gibi bir sürede açılıp kapanabilmektedir (Şekil 2.29).

Bina Adı	COUNCIL HOUSE 2
Mimarı	DesignInc
Yeri	Melbourne, Avustralya
Proje Tarihi	2006
Biyomimikri düzeyi	Davranışsal Esinlenme
Esin Kaynağı	Termit tepecikleri
Malzeme	Beton, geri dönüşümlü ahşap



Şekil 2.30 Dış cephe panelleri (Archdaily, b.t.)

CH2, dünyanın en sağlıklı iş yerlerinden birini yapmak için güneşe ve rüzgâra yanıt verebilecek şekilde tasarlanmıştır. Gelişmiş teknolojileri sayesinde güç tüketimini %80, su tüketimini ise %75 oranında azaltabilmektedir. Doğal klimalandırmayı sağlamak için termit tepeciklerinden esinlenilmiştir. Termitlerdeki canlıların ürettiği ısı, havayı ısıtır ve daha sonra ısınan hava yükselir. Yuvanın tepesindeki havalandırma deliklerinden ısınan hava kaçır ve yerine aşağıdaki soğuk hava akmaya başlar. Tasarımcılar da termitlerde oluşan bu sistemi binaya uyarlamışlardır. Akkarıncalarından esinlenilmesinin yanı sıra cephe kaplamasının seçiminden başlayarak, suyun nasıl kullanıldığı, güneş enerjisinden faydalanma ve korunma vb. tüm konular atmosferik olaylar gibi, belli bir dinamiği olan, sürekli bir süreç olarak ele alınmıştır (Şekil 2.30).

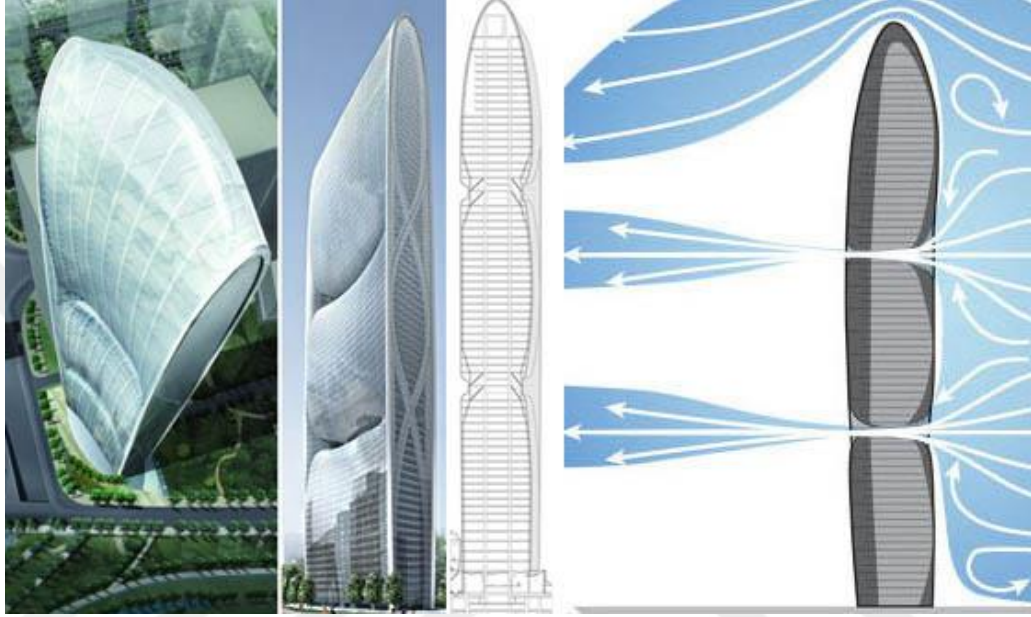
Bina Adı	CAPTURE THE RAIN
Mimarı	H3AR, Ryszard Rychlicki, Agnieszka Nowak
Yeri	ABD
Proje Tarihi	2010
Biyomimikri düzeyi	Davranışsal Esinlenme
Esin Kaynağı	Nilüfer yaprağı
Malzeme	Cam, çelik



Şekil 2.31 Projenin konsept görseli (Cilento, 2010)

Tasarlanan projede nilüfer yaprağının kendini temizleme ve suyu kontrollü olarak kullanması esin kaynağı olmuştur (Şekil 2.31). Cephe boyunca yer alan yağmur suyunu toplayan oluklar, suyun bir depoda toplanarak arıtılmasını ve kontrollü olarak yapıya verilmesini amaçlamıştır. Yapıda, yağmur suyunun geri kullanımını temel prensip olarak ele alınmıştır.

Bina Adı	PEARL RIVER KULESİ
Mimarı	SOM Architecture
Yeri	Guangzhou, Çin
Proje Tarihi	2013
Biyomimikri düzeyi	Davranışsal Esinlenme
Esin Kaynağı	Deniz süngerİ
Malzeme	Cam, çelik



Şekil 2.32 Proje görselleri (Openbuildings, 2017)

Projede tasarımcılar, süngerin günde galonlarca suyu ve organizmayı içine alabilen yapısını örnek almıştır. Pearl River Kulesi, teknoloji ve mühendislik gelişmelerini birleştirerek sürdürülebilir tasarımda nelerin mümkün olabileceğini yeniden tanımlayan bir projedir. Binanın gözenekli yapısı, dışarıdaki rüzgârdan elektrik üretimi sağlayan türbinli evleri, süngere benzerliğini yansıtmaktadır. Bina dışarıdan bakıldığında süngerİ andıran yapıdadır ve dışarıdaki havayı yapının havalandırma sisteminde kullanır ve bu şekilde enerji tasarrufu sağlar (Şekil 2.32). Fotovoltaik panellerin doğru konumlandırılmasıyla, yapıda güneş enerjisinden verimli bir şekilde yararlanılmaktadır. Bu sayede binadaki enerji kullanımı %60 azalmış durumdadır. Kulenin tasarımında enerji verimliliğine katkıda bulunmak adına güneş panelleri, soğuk tavan sistemi, çift cidarlı bir perde duvar gibi bileşenler de kullanılmıştır.

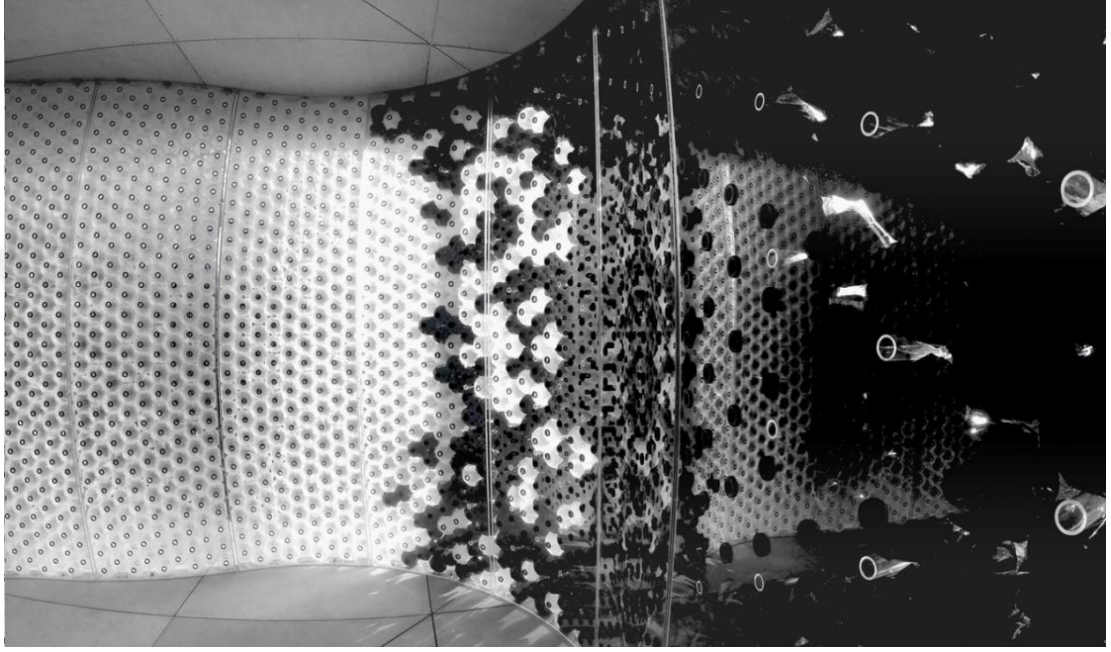
Bina Adı	RAINFOREST GUARDIAN SKYSCRAPER
Mimarı	Jie Huang, Jin Wei, Qiaowan Tang, Yiwei Yu, Zhe Hao
Yeri	Amazon
Proje Tarihi	2014
Biyomimikri düzeyi	Davranışsal Esinlenme
Esin Kaynağı	Nilüfer
Malzeme	Cam, çelik



Şekil 2.33 Projenin üç boyutlu görseli (Evolo, b.t.)

Rainforest Guardian Skyscraper bir su kulesi, bir orman yangın istasyonu, bir hava istasyonu ve bilimsel araştırma ve eğitim laboratuvarlarından oluşmaktadır. Yağmur mevsimi boyunca yağmur suyunu yakalayıp ve araziye kuru mevsimde sulayarak etkin bir şekilde yangınları önleyen Amazon'un sınırında bulunan projede, Lotus şeklindeki su kulesi doğrudan yağmur suyunu yakalayabilmektedir (Şekil 2.33). Buna ek olarak, Guardian Skyscraper, bilim adamlarının iklim değişikliğini ve ekosistem istikrarını izlemesi için özel bilimsel araştırma laboratuvarları sunmaktadır. Laboratuvarlar aynı zamanda turistlerin çevre bilincini oluşturmaları için sergi alanları olarak da hareket etmektedir. Bu proje 2014 Evolo Gökdelen Yarışması'nda mansiyon ödül olarak seçilmiştir.

Bina Adı	BREATHING SKINS SHOWROOM
Mimarı	Tobias Backer, Simon Huffer
Yeri	Mandelbachtal, Almanya
Proje Tarihi	2015
Biyomimikri düzeyi	Davranışsal Esinlenme
Esin Kaynağı	Derinin gözenekli yapısı
Malzeme	Cam panel, pnömatik kaslar



Şekil 2.34 Projenin iç mekân görseli (Breathingskins, b.t.)

Bu projede, iç mekândan dış mekâna doğru ışık, madde ve sıcaklık akışını kontrol etmek için geçirgenliğini ayarlayabilen organik derilerden esinlenilmiştir. Cepheler, cildin gözenekleri açacak veya daralacak gibi, yüzey boyunca dağılmış açıklıkların boyutunu artırarak veya azaltarak çalışmaktadır. Solunan cilt cephesinin her metrekaresinde, Becker tarafından "pnömatik kaslar" olarak tanımlanan 140 hava kanalı bulunmaktadır. Bu pnömatik kasların şişebilme özelliği cephe geçirgenliğinin kontrol edilmesini sağlamaktadır. Duyarlı mimarinin bir formu olan sürekli değişen pnömatik kaslar, kullanıcıların tercihlerine göre belirli bir miktarda hava, ışık ve görünürlük sağlamaktadır (Şekil 2.34).

Bina Adı	MINISTRY OF MUNICIPAL AFFAIRS & AGRICULTURE BUILDING
Mimarı	AestheticsArchitects Go Group
Yeri	Doha, Katar
Proje Tarihi	2008- 2015
Biyomimikri düzeyi	Davranışsal Esinlenme
Esin Kaynağı	Kaktüs
Malzeme	Betonarme, Çelik, Cam



Şekil 2.35 Kaktüs projesi (Meinhold, 2009)

Çöllere kaplı çok sıcak ve ortalama yağış miktarı 3,2 metre inç olan Katar'da yapılacak bu proje, sert çöl iklimlerinde yaşama kabiliyetine sahip olan kaktüs bitkisinden esinlenilerek tasarlanmıştır (Şekil 2.35). Pencerelelerdeki güneş kırıcılar, bünyesindeki suyu korumak için gece boyunca terlemeyi kontrol eden kaktüsün davranışını taklit ederek, mevcut sıcaklık ve ışık miktarına göre açılıp kapanabilir şekilde tasarlanmıştır. Zeminde bulunan kubbe, ekstra yeşil noktalar için yenilenebilir bir bahçe ve atık sulardan temizlenerek bitkilerin sulamasında kullanıldığı bir botanik bahçesi olarak önerilmiştir.

2.4.4 Biyolojik Ortaklıklar Kurma- Biyoışbirliği

Biyolojik ortaklıklar kurularak yapılan biyoışbirlikçi tasarım yaklaşımı, yukarıda bahsedilen diğer tüm esinlenme düzeylerini de kapsamaktadır. Doğadaki herhangi bir canlının biçimsel, strüktürel ya da yaşam süreçlerindeki davranışsal özellikleri tasarım sürecine dahil edilebilmektedir. Farklı olarak bu yaklaşım türünde, canlıdan esinlenmenin ötesine geçilerek canlı, tasarım sürecine direkt dahil olmakta ve tasarımın bir parçası haline gelmektedir.

Bu esinlenme düzeyinde tasarım anlayışı, bilinen tasarım yaklaşımlarının bir adım öteye götürülerek farklı bir boyuta getirilmesiyle kendi içinde çok büyük potansiyel barındırmaktadır. Ek olarak tasarım sürecinde canlı direkt olarak kullanıldığından dinamik bir tasarım oluşmakta ve “belirsizliğin estetiği” gibi bir kavram da ortaya çıkmaktadır. Belirtilen bu özellikler bu yaklaşım türünün avantajları olarak sayılabilirken, canlıyı bu süreçte hayatta tutabilmek, uzun vadede canlının ne tepki vereceği, tasarımın hangi noktaya doğru evrileceği gibi belirsiz konuların bulunması dezavantaj olarak sayılabilmektedir.

Bina Adı	FAB TREE HAB, TERRE FORM ONE
Mimarı	Mitchell Joachim, Lara Greden, Javier Arbona
Yeri	-
Proje Tarihi	2005- devam ediyor
Biyomimikri düzeyi	Biyotasarım
Esin Kaynağı	Ağaçların yapısal yetenekleri
Malzeme	Sayısal kontrollü üretilen iskeletler, çeşitli yerel ağaçlar

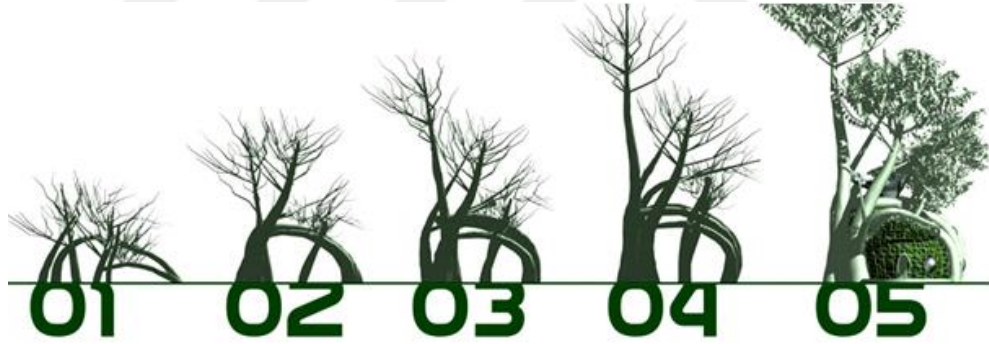


Şekil 2.36 Fab tree hab projesi 3 boyutlu görseli (Designboom, b.t.)

Mitchell Joachim, Javier Arbona ve Lara Greden tarafından MIT'de geliştirilen Fab Tree Hab deneysel bir ekolojik ev tasarımıdır. Bu tasarımda bir iskelet etrafında yetişen ağaçlar ve diğer bitkiler büyüdükçe konut ortaya çıkmaktadır. Tasarımcı, insanlık için modası geçmiş tasarım çözümlerinin yerini alan, küresel, sosyal ve çevresel değişimlere cevap verebilecek nitelikte konutlar yapılması gerektiğini söylemiş ve bunun için de yerli ağaçlardan evler yetiştirmeyi önermiştir. Yapının, belirli bir boyuta ulaştıktan sonra gövdelerinin tabanında (prefabrik CNC yeniden kullanılabilir iskeleler aracılığıyla) aşılınmış bir canlı yapı olarak büyüyen, yaşayan bir form olarak yaşamasını öngörmektedir (Şekil 2.36). %100 canlı malzemelerden oluşan "fabtreehab", tasarımcıya göre konutların ekolojik bir topluluğa tamamen entegre olmasını sağlamaktadır. Hava şartlarına ve yapının konumuna bağlı olarak, büyümesi yaklaşık olarak yedi yıl almaktadır (Myers, 2012). Fab Tree Hab'ın oluşturulması, ağaç dallarının birbirine dokunduğu, böylece kemerler, kafesler veya

perdeler biçiminde büyümeye devam ettikleri ağaç şekillenme sürecine dayanmaktadır. Dalları, duvarlar ve çatılar için kesintisiz bir çapraz çerçeve oluştururken, karaağaç, meşe ve tahta gibi inkülasyon (kendi kendine aşılınmış) ağaç gövdeleri yük taşıyıcı elemanları oluşturmaktadır. Dış kısım boyunca birbirine bitişik olan, büyüyen bitkileri destekleyen toprak cepleri ile serpilmiş yoğun bir koruyucu tabaka bulunmaktadır (Myers, 2012).

Tamamen yaşayan sistemlerden oluşan bu yapı, ekosisteme olumlu yönde katkı yapmakta ve insanın doğaya verdiği zararın azalmasını sağlamaktadır. Aynı zamanda Arboreal tarım ve üretimi sağlama, kararsal çevrelerde teknolojiyi kullanma, suyu ve metabolik akışları simbiyotik olarak dolaştırma gibi özelliklere sahip olan Fab Tree Hab; kullanımından imha edilmesine kadar tüm süreci tasarlanmış bir projedir (Şekil 2.37).



Şekil 2.37 Projenin öngörülen gelişim süreci (Designboom, b.t.)

Bina Adı	PLATENEN KUBUS (KÜP ÇINAR)
Mimarı	Ferdinand Ludwig, Daniel Schönle
Yeri	Nagold, Almanya
Proje Tarihi	2012- 2028
Biyomimikri Düzeyi	Biyotasarım
Esin Kaynağı	Ağaçların yapısal yetenekleri
Malzeme	Çınar Ağacı, Çelik Strüktür



Şekil 2.38 Küp çınarının görünümü (Baubotanik, b.t.)

Platanen Kubus (Küp Çınar) isimli çok katlı bu yapı, tek bir canlı organizma haline gelen 100'den fazla çınar ağacından oluşmaktadır. Hint kabilelerin geleneksel evlerinden esinlenen Ludwig, bunun için çınar ağacı gövdelerini canlı strüktürler haline getirmiştir. Bütün yapı, vidalı bir tabana gömülü, ağaçların gelişimi belli bir seviyeye gelene kadar destek sağlayan, daha sonra çıkarılacak olan geçici bir çelik boru iskeleti tarafından desteklenmektedir (Şekil 2.40). Bitki kalıpları, ağaçlar için gerekli suyu sağlamak için sürekli olarak nemli tutulmaktadır. Bu sayede tüm bitkiler birbirleriyle tamamen kaynaşabilecektir. Strüktür, eşkenar dörtgen şeklinde düzenlenmiştir ve ağaçların kesiştikleri alanda birbirlerine bağlanmıştır. Zamanla bu

ağaçların birbirleriyle kaynaşıp, daha dayanıklı bir strüktür haline geleceği öngörülmüştür.



Şekil 2.39 Ağaçların zaman içinde büyümesi ve dış cepheyi oluşturması (Baubotanik, b.t.)

Geçici strüktürün çıkarılmasının, ağaçların gelişimine bağlı olarak 5- 10 yıl süreceği düşünülmektedir. 10x10x10m boyutlarındaki bu küp, tasarımcının yapmış olduğu en büyük botanik kule olma özelliğini taşımaktadır. Başlangıçta yeşil strüktürler halinde olan ve açık alan sayılabilecek olan bu yapı zamanla ağaçların büyüyerek, dallanıp yapraklanmasıyla kapalı mekâna dönüşecektir (Şekil 2.39). Kullanılan canlının gelişimine bağlı olarak kütle sürekli değişmektedir (Myers, 2014). Tamamen canlı ağaçlardan oluşmuş bu yapıda ağaç gölgelerinin serinliği sayesinde doğal klimalandırma sağlanmıştır. Almanya'nın güneyindeki Nagold kentinde inşası süren yapının 2028'de tamamlanması beklenmektedir.



Şekil 2.40 Ağaç dallarının birbirine bağlanması (Baubotanik, b.t.)

Bina Adı	KUM TEPECİKLERİ
Mimarı	Magnus Larsson
Yeri	Sahra Çölü, Kuzey Afrika
Proje Tarihi	2013 (fikir)
Biyomimikri Düzeyi	Biyotasarım
Esin Kaynağı	BacillusPasteurii'nin Kumu Sertleştirme Özelliği
Malzeme	Kum, Bakteri



Şekil 2.41 Projenin konsept görselleri (Designboom, 2013)

Magnus Larsson, çölleşme tehdidine karşı bakterilerden ve katılaştırmış kum malzemededen, Sahra Çölü boyunca uzayan bir duvar önermiştir. Kum, güzel çelişkilerin sihirli malzemesi olarak tanımlayan tasarımcı, kayalar ve dağlar yok oldukça kumlara dönüştüğünü ve dünyada her saniye bir milyar kum taneciğinin var olduğunu, oluşan kum taneciklerinin ise doğal bir şekilde betonlaşarak kumtaşlarına dönüşebileceğini söylemektedir. Sahara'nın güneyinde bulunan anlamı çölün köşesi olan Sahel, çölleşme ile en fazla ilişkilendirilen yerdir. Yaklaşık olarak 250 bini ölen, 3 milyon insanı acil gıda yardımına bağımlı kılan 60'lı ve 70'li yıllarındaki birçok kuraklık bu bölgede gerçekleşmiştir. Çölleşme bütün kıtalar üzerinde, yaklaşık 110 ülkeyi ve dünyadaki tarım arazilerinin yaklaşık %70'ini etkileyen, özellikle Afrika ve Çin'de milyonlarca insanın geçimini ve yaşamını tehdit etmektedir. Mevcut kaynakların sürdürülemez kullanımı büyük bir problem oluşturmaktadır. Proje, temelde üç işlevi yerine getirmektedir. Bunlardan ilki, kum tanelerini birbirine bağlayarak kum tepeciklerinin yüzeyine pürüzsüzlük katmaktadır. İkinci olarak, ağaçlar için destek yapısı sağlamaktadır ve son olarak fiziksel boşluklar kum tepelerinin arasında yaşabileceklermekânlar yaratmaktadır (Şekil 2.41).



Şekil 2.42 Projenin konsept görselleri (Designboom, 2013)

Doğada, bataklık ve sulak alanlarda bulunan *Bacillus Pasteurii* bakterisi, gevşek halde bulunan kum taneciklerinin arasındaki boşlukları kalsit üreterek doldurmaktadır ve bu şekilde partikülleri bir arada tutan, bir çeşit doğal beton oluşabilmektedir. Bu betonlaşma süreci ise 24 saat gibi bir sürede tamamlanabilmektedir. Tasarım sürecinde ilk olarak, yapıda katı olması istenilen yerlerin katılaştırıldıktan sonra kalan kumun çıkarılmasıyla mekân oluşumu sağlanmaktadır. Birkaç yıl sonra ise kalıcı kültürleme stratejileri kullanılarak alandaki bazı bölümlerin yeşillendirilmesi öngörülmüştür (Şekil 2.42, Şekil 2.43).



Şekil 2.43 Bakteri enjekte edilmiş kum (Designboom, 2013)

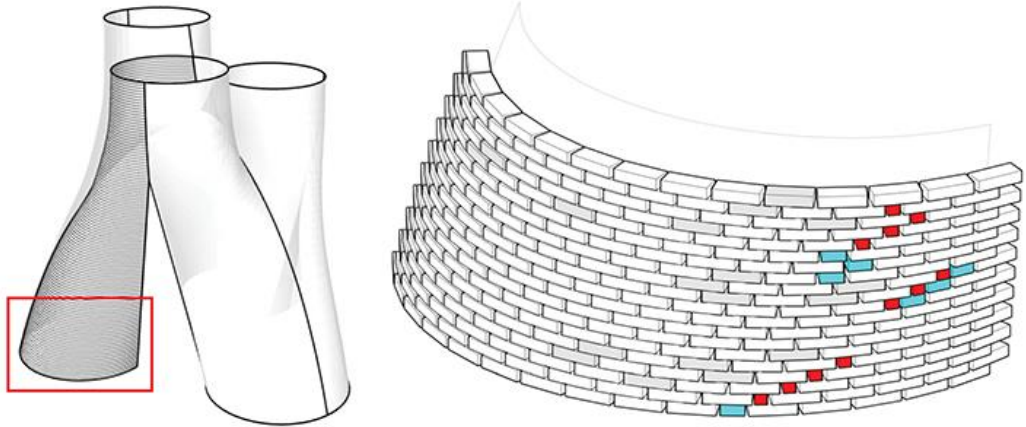
Bina Adı	HY- FI TOWER
Mimarı	David Benjamin
Yeri	New York, A.B.D.
Proje Tarihi	2014
Biyomimkri Düzeyi	Biyotasarım
Esin Kaynağı	Doğal Malzemelerin Doğada Çözünebilirliği
Malzeme	Mısır Koçanı Kabuğu ve Miselyumdan Oluşturulan Geri Dönüşümlü Tuğla



Şekil 2.44 Hy- Fi kulesi (Architizer, b.t.)

Her yıl düzenlenen "Genç Mimarlar Yarışması" nın 2014 yılında 1. ödül seçilen, MoMA PS1 müzesi tarafından inşa edilen Hy- Fi Kulesi, büyüleyici bir fiziksel çevre ve sürdürülebilir mimari için yeni bir paradigma sunmaktadır. MoMA PS1'in avlusundaki Hy-Fi, biyolojik teknolojileri ileri hesaplama ve mühendislik teknikleriyle birleştirilerek üretilen yeni bir malzemeyle inşa edilmiştir. Bu malzeme, doğada %100 çözünbilmekte ve büyülebilmektedir. Sadece toprağa ihtiyacı olan bu yapı atık, enerji ya da karbon emisyonu üretmeden tekrar toprağa karışabilmektedir. Dairesel kulelerin yapı malzemesinin üretim süreci atık mısır yapraklarının çiftçilerden toplanmasıyla başlamaktadır. Yapraklar ilk olarak küçük

parçalar haline getirilip bir tür canlı mantar kökü olan miselyum ile karıştırılmaktadır. Oluşturulan bu karışım önceden hazırlanmış kalıplara dökülüp, birkaç gün içinde hafif bir objeye dönüşmektedir. Tuğla tamamen katılaştığında ise kullanıma hazır hale gelmektedir (Şekil 2.45). Organik tuğlaların en üstünde yansıtıcı tuğlalar bulunmaktadır. Bu yansıtıcı tuğlalar, loş ışığı içeriye alarak iç mekânda farklı yansımalar yapmaktadır. Hy-Fi, soğuk havanın alttan alınıp, sıcak havanın yukarıdaki silindirik boşluklardan dışarı verildiği doğal bir havalandırma sistemine de sahiptir. Yapı, doğal karbon döngüsünün bir uzantısıdır ve yapının yaşam döngüsünün sonunda kompostlama yoluyla toprağa dönen devrim niteliğinde yeni bir yapı malzemesidir. Tipik kısa görüşlü mimarinin aksine, görünmek için tasarlandığı kadar yok olmak üzere tasarlanmıştır.



Şekil 2.45 Malzemenin üretim süreci ve yapım yöntemi (Architizer, b.t.)

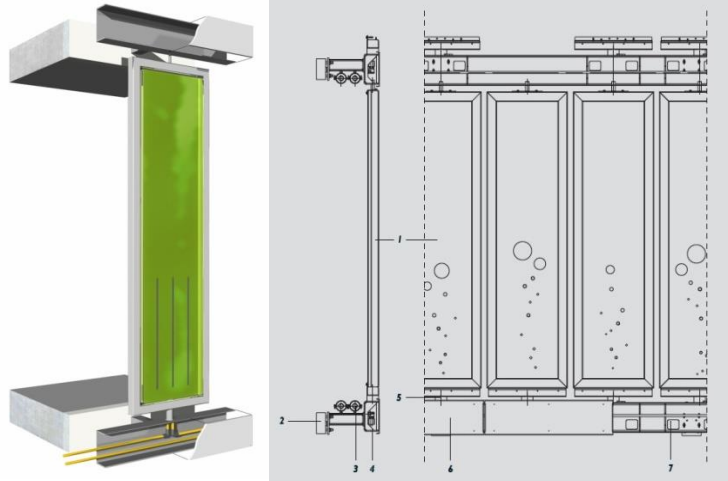
Bina Adı	BIQ HOUSE
Mimarı	Splitterwerk ve Graz Mimarlık
Yeri	Hamburg, Almanya
Proje Tarihi	2016
Biyomimkri Düzeyi	Biyotasarım
Esin Kaynağı	Alglar
Malzeme	Betonarme, Fotobiyoreaktif Cephe



Şekil 2.46 Hamburg’ta inşa edilen biyoadaptif cephe bina (Iba-hamburg, 2013)

Bina cephelerinde fotobiyoreaktörlerin uygulanmasıyla ilgili ilk projedir. Dünyanın ilk biyoadaptif cephe örneğine sahip olan bina, Avusturyalı mimarlar Splitterwerk ve Graz tarafından tasarlanmıştır. Arup mühendislik firması ile beraber, Smart Material House yarışması için bu binayı tasarlayıp, birincilik ödülünü kazanmışlardır. Yapı 2013 yılında Uluslararası Bina Sergisi kapsamında, Hamburg’ta inşa edilmiştir (Wurm, 2013). Konut yapısı, ikinci bir deri özelliğindeki fotobiyoreaktör cephe tasarımıyla kaplanmıştır. Bu şekilde iç ve dış ortam arasında bir tampon bölge oluşmuştur. Sistem binaya hem güneş ısı enerjisi hem de

biyokütleenerjisi (biyoenerji) sağlamaktadır ve binanın enerji ihtiyacına katkı sağlamıştır (Wurm, 2013, s. 65). Yapının güneş alan cephelerine "biyo deri" adı verilen ikinci bir dış cephe eklenmiştir ve bu cephelerde alg üretilmektedir (Şekil 2.47). İki cam arasına yerleştirilen, büyümesi için gerekli besinleri sağlanan bu algler, güneş ışığı yardımıyla fotosentez yapmaktadır ve bu sayede yapının enerji gereksinimine katkıda bulunmaktadır. Algler, hasat edilinceye kadar düzenli bir döngü içinde gelişip çoğalmaktadır. Daha sonra büyüyen alglerin fazlası cepheden alınıp teknik odada toplanmaktadır. Toplanan algler harici bir biyogaz tesisinde fermente edilip biyogaz üretimi için kullanılabilir (Şekil 2.49). Algler, bu süreç için özellikle uygundur, çünkü toprakta yetiştirilen bitkiler ile karşılaştırıldığında, hektar başına beş kat daha fazla biyokütle üretir ve özellikle enerji üretmek için kullanılacak yağların büyük bir kısmını içermektedir. Alternatif olarak, algler kozmetik ve gıda endüstrileri tarafından araştırma için kullanılabilir. Mevsime bağlı olarak hasat edilen alglerin kullanılma alanları değişken özellik gösterebilmektedir.



Şekil 2.47 Binanın cephesindeki düz-panel fotobiyoreaktörün yapısı, kesiti ve görünüşü (Detail-online, 2016)

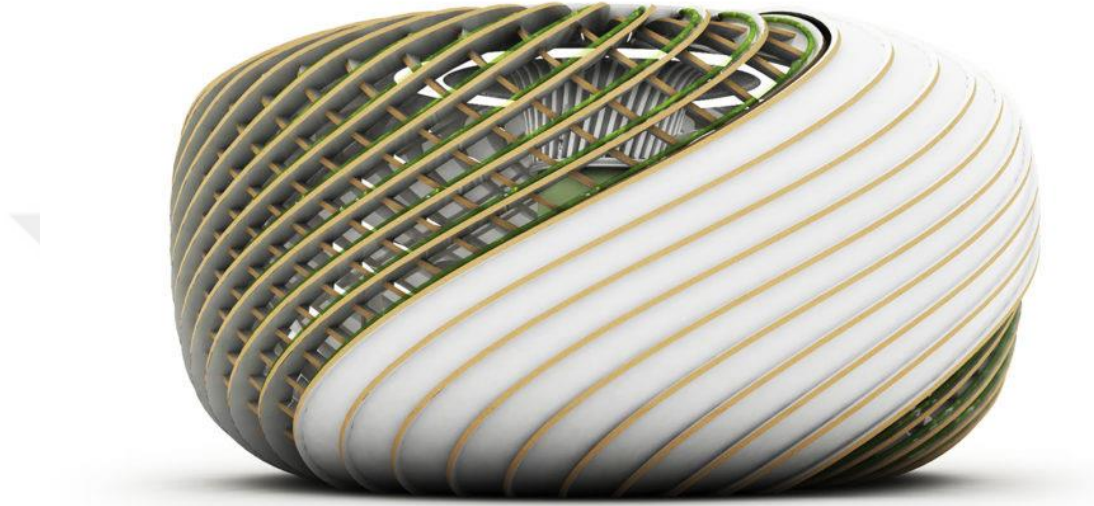


Şekil 2.48 Bina cephesindeki ikincil yapının yakından görünümü (Detail-online, 2016)



Şekil 2.49 Üretilen biyoenerjinin toplandığı biyogaz üretim makinesi (Detail-online, 2016)

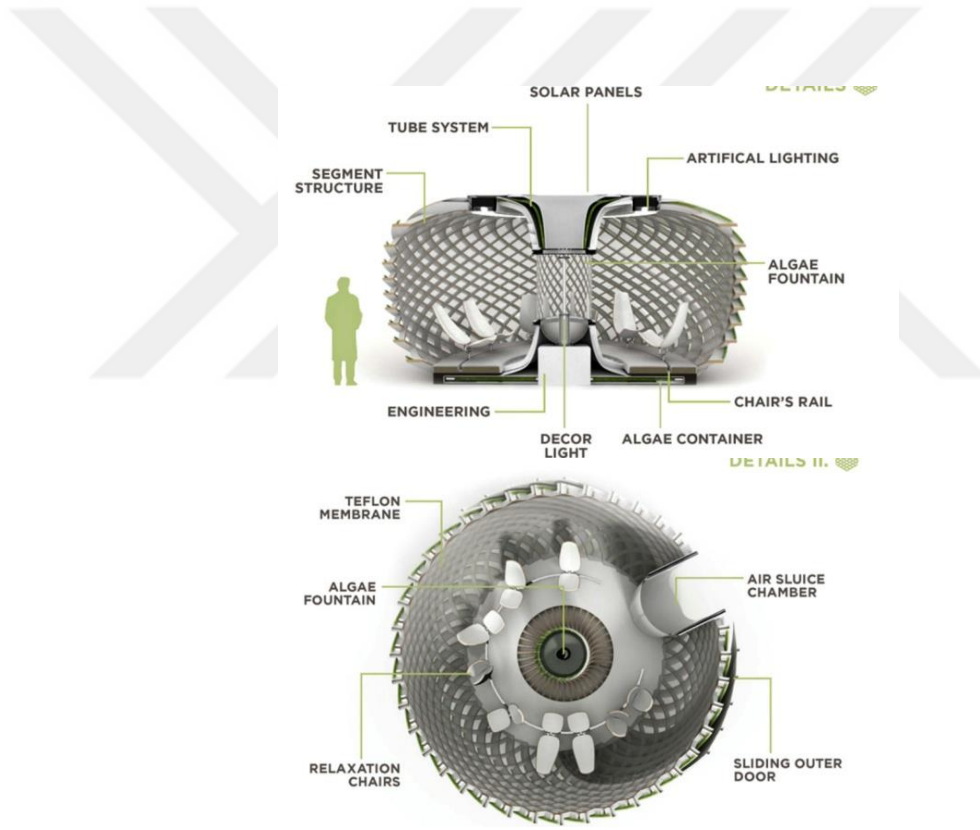
Bina Adı	CHLORELLA OKSİJEN PAVYONU
Mimarı	Adam Miklosi
Yeri	-
Proje Tarihi	2016
Biyomimikri Düzeyi	Biyotasarım
Esin Kaynağı	Alglerin Fotosentez Yapmaları
Malzeme	Fotobiyoreaktör, Ahşap



Şekil 2.50 Projenin cephe görünüşü (Mediock, 2016)

Tasarımcı Adam Miklosi, Chlorella Pavillion olarak adlandırılan, yorgun insanlara oksijeni zengin, rahatlayabilecekleri bir oksijen barı yaratmak için simbiyoz kavramından ilham almıştır (Şekil 2.51). Miklosi, mekânın iç ve dış kısımları boyunca dönen bir “yosun çeşmesi” yaratmak için yapı boyunca yosunlar oluşturmayı önermektedir. Tüm fotosentez yapan organizmalar gibi, algler doğal olarak CO₂ tüketmekte ve solunum yoluyla oksijen üretmektedir. İç mekândaki rahatlatma alanlarında insanların solunum sonucu ürettikleri CO₂ alglerin fotosentez yapmasında kullanılacaktır. İç mekândaki oksijen çeşmesi oturma alanları ile çevrilidir, böylece insanlar temiz havanın tadını çıkarabilmektedir. Bu yapının iç mekânına giren ziyaretçiler, solunum yaparak ortama CO₂ verecek ve ortama giren CO₂'de oksijenin solunarak CO₂'ye dönüştürerek algleri besleyecek ve sürekli bir

döngü oluşturacaktır. Tüm sistem, fotosentezi destekleyen yapay aydınlatma için güç sağlayan güneş panelleri tarafından çalıştırılmaktadır. Fotobiyoreaktörler, her biri 5 metreküp alglerle doldurulmuş şeffaf plastik tüplerden oluşan bir ağ oluşturmaktadır. “Rahatlama tapınağı” olarak da adlandırılan Chlorella Pavilion, kalabalık şehir sakinlerinin doğal olarak oksijenle çalışan enerjinin doğal bir kullanımını ya da sadece temiz hava kullanabileceği büyük şehirler de dahil olmak üzere hemen hemen her yere yerleştirilebilmektedir. Yenilikçi yapı, kalıplanmış kayın ağacından inşa edilmiş olup, dışarıda gevşeme ve toparlanma için bir alan yaratmaya yardımcı olacak şekilde izole bir teflon film kullanılmıştır. Bu tasarım 2016 yılında Inhabitat’ın Biodesign Yarışması’nın kazananı olmuştur.



Şekil 2.51 İç mekân görselleri ve detayları (Mediock, 2016)

Bina Adı	GROWN STRUCTURES / MUSHROOM SAUSAGES
Mimarı	Aleksi Vesaluoma, Astudio
Yeri	Londra, İngiltere
Proje Tarihi	2017
Biyomimkri Düzeyi	Biyotasarım
Esin Kaynağı	Miselyumun Bağlayıcı Özelliği
Malzeme	Mantar Miselyumu, Pamuk Kalıp, Karton



Şekil 2.52 Proje strüktürünü oluşturulması (Grozdanic, 2017)

Brunel Üniversitesi öğrencisi olan Aleksi Vesaluoma, istiridye mantarının miselyum kısmından sıfır atık, çevreye duyarlı ve dayanıklı bir yapı malzemesi geliştirmiştir (Şekil 2.52). Miselyumun saman gibi organik materyaller üzerinde büyüdüğünde, maddeyi tutkal gibi birbirine bağlama özelliği bulunmaktadır. Vesaluoma'nın geliştirdiği teknikte, malzeme “mantar sosisi” adındaki tüp şeklinde pamuktan yapılmış kalıplara yerleştirilmeden önce, mantar miselyumu karton ile karıştırılmaktadır. Sonraki aşamada, sosisler kalıp işlevi görecektir bir strüktürün etrafına yerleştirilerek 4 hafta boyunca havalandırılmalı bir serada büyümeye bırakılmaktadır.

Tasarımcıya göre, strüktürün etrafında büyüyen istiridye mantarları toplanıp yemeklerde de kullanılabilmektedir. Yapı %100 doğal malzemeden üretildiği için sıfır atıkla parçalanabilmektedir.



Şekil 2.53 Farklı ortamlarda kullanımı (Grozdanic, 2017)



Şekil 2.54 Strüktür etrafında büyüyen istiridye mantarları (Grozdanic, 2017)

BÖLÜM ÜÇ
BİYOİŞBİRLİKÇİ BİR YAKLAŞIM OLARAK
PHYSARUM POLYCEPHALUM TÜRÜ CIVIK MANTARLARIN
TASARIMDA KULLANIM POTANSİYELLERİ

“Toplu konutlar, çevre mühendisliği ve kentsel planlama hakkında uzunca bir süredir kompleks bir sistem geliştirildi. Bu sistemi geliştirmek bizim 100 yıldan fazla zamanımızı alırken, cıvık mantarın bir günden biraz fazla zamanını aldı.” (Barnett, 2014)

21. yüzyılda gerçekleşen teknolojik ve bilimsel gelişmeler doğrultusunda, disiplinlerarası çalışmalar oldukça popüler bir konu haline gelmiştir. Özellikle biyoloji, biyomühendislik ve biyoteknoloji alanındaki gelişmeler tasarımcıların ilgisini çekmekte ve bu disiplinlerle kurulan ortaklıklara her geçen gün yenileri eklenmektedir. Süreç içerisinde, literatürde biyomimikri, biyomimesis olarak geçen doğadan esinlenme kavramı, evrilerek biyotasarım kavramını oluşturmuştur. Bir biyotasarım biçimi olarak ortaya konan biyoışbirlikçi tasarım, bir tasarım probleminin çözümü için doğadaki canlı oluşumların sadece biçimsel ya da davranışsal özelliklerinden ilham alınmasını değil, aynı zamanda tasarım sürecine bu canlıyı direkt olarak aktarmayı odağa alan bir yaklaşımdır. Mimarlık, mühendislik ve biyoloji disiplinlerinin ortaklığında gerçekleşen canlı organizmaları tasarım sürecine dolaylı yoldan değil de, direkt olarak dahil etme çalışmaları büyük önem taşımaktadır. Bu bölümde önce *P. polycephalum* türü cıvık mantar biyolojik açıdan incelenmiş; tasarım sürecine dahil edilebilecek özellikleri belirlenmiştir ve literatürde bu konuyla ilgili yapılan çalışmalar irdelenmiştir. Bunun yanı sıra cıvık mantarların literatürde en çok öne çıkan en kısa yolu bulma özellikleriyle ilişkilenen yol optimizasyonu konusunun, analog ve dijital benzerlerinden bahsedilmiştir.

3.1 Biyolojik Açıdan Physarum Polycephalum Türü Cıvık Mantar

P. polycephalum, Amoeba ailesine ait olduğu bilinen 900 cıvık mantar türünden biridir. Bu organizma **bir sinir sistemi ya da bir beyne sahip olmamasına rağmen öğrenme, ezberleme, problem çözme, en kısa yolu bulma, karar verme, bağlantı yolları oluşturma gibi ilham kaynağı olabilecek birçok yeteneğe sahiptir** (Adamatzky ve diğer., 2010). Biyokimyacılar, kimyagerler, biyologlar, genetikçiler ve fizikçiler gibi pek çok farklı bilim dalından araştırmacıların ilgisini oldukça çekmiş bir canlı olan cıvık mantarlar, ilk kez 1822'de Von Schweinitz tarafından tanımlanmıştır. Farklı türdeki cıvık mantarların DNA'sını analiz eden araştırmacılar, bu canlıların yaklaşık bir milyar yıl öncesine uzanan kökenlerinin olduğunu ve karasal yaşamın öncülerinden olduğunu keşfetmişlerdir. Bu doğrultuda **evrimsel teorinin temellerinde cıvık mantarların olabileceği düşünülmektedir** (Zimmer, 2011). Japon imparatoru Hirohito ise, sıra dışı organizmalar olan cıvık mantarlar tarafından büyülenmiş ve 1935'te yazlık sarayının etrafında bulunan bu organizmalarla ilgili bir kitap yazmıştır. O zamandan beri, cıvık mantarların incelenmesi Japonya'da değerli bir çalışma konusu olarak görüldüğünden çok sayıda araştırmanın kökeni burada bulunmaktadır (Oettmeier ve diğer., 2017). 1960'lı yılların sonrasında *P. polycephalum*, canlı organizmaların çalışma sistemlerine dair temel ve önemli soruların cevaplandırılması için kullanılmıştır. Cıvık mantarların sayısız çekirdeğinin yüksek genetik kararlılığı, eşzamanlı mitotik döngüsü ve DNA sentezi mekânizması gibi özellikleri, üzerinde antitümör bileşikler test eden kanser araştırmacılarına da ilham kaynağı olmuştur (Gorman ve diğer., 1979). Organizmanın çok çekirdekli yapısındaki tüm çekirdeklerinin birbirinin aynısı olması, normalin üstünde tekrarlanabilirlik sağlayabilme gibi özelliklerinden dolayı moleküler biyologlar da bu canlıyı çok değerli görmüştür. *P. polycephalum*, doku mühendisliği ve hücre kültüründeki teknikler gelişmeden önce çok faydalı bir organizma olmuş ve farklı disiplinlere yeni bakış açıları katmış olsa da, 1970'ler ve 1980'lerdeki hücre kültüründeki gelişmeler bu organizmalarla ilgili yapılan çalışmaların azalmasına neden olmuştur. Son zamanlarda bu organizma, yeniden farklı disiplinler için önemli bir araştırma alanı olmaya başlamıştır. Ayrıca literatüre bakıldığında, bu canlıların günümüz mimarlık ve mühendislik alanlarındaki pek çok

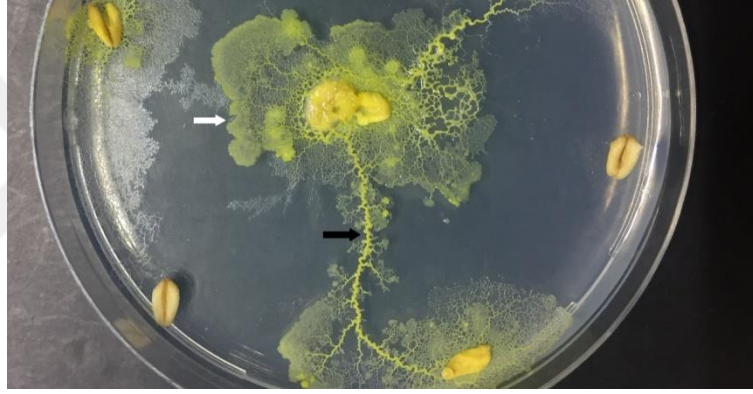
çalışmaya da ilham kaynağı olmaya devam ettiği görülmektedir. Özellikle *P. polycephalum*'un yiyecek bulma ve farklı besin kaynakları arasında ağ oluşturmak için birtakım karmaşık stratejiler kullanarak ilerleme yeteneğinin olması ulaşım ağları, yapay zekâ gibi konularla ilişkilendirildiğinde dikkat çekici ve faydalı bulunmaktadır (Altun ve diğer., 2018).

3.1.1 *Physarum Polycephalum*'un Yaşam Döngüsü

“Gerçek cıvık mantarlar” veya “miksomiset” olarak da tanımlanan bu organizma, isminde mantar olmasına rağmen mantar ailesine ait değildir (Zümre ve diğer., 2013). Genellikle nemli ve karanlık ortamları tercih eden, diğer mikroorganizmalarla beslenen ve serbest şekilde yaşayan tek hücreli organizmalardır (Whiting ve diğer., 2014). Cıvık mantarların büyük çoğunluğu 1- 2mm boyutlarında, çok küçük organizmalardır. Çıplak gözle görülebilmelerine rağmen ayrıntılı olarak incelenmek istendiğinde bir büyüteç ya da mikroskoba ihtiyaç duyulmaktadır. Cıvık mantarlar koloniler halinde yaşamaktadırlar ve çok değişken habitatlarda bulunabilirler, ancak genellikle ılıman bölgelerdeki nemli ormanlarda yaygın olarak bulunmaktadır. Ormanlarda, çürüyen kütükler, ölü yapraklar, canlı ağaç kabukları, orman tabanındaki ölü örtü ve diğer bazı organik maddeler üzerinde yaşamaktadırlar. Bunun yanı sıra tropik ormanlarda, çayırarda, alpin bölgelerde, arktik ve antarktik bölgelerde ve hatta çöllerde de yaşayan türleri bulunmaktadır. Bazı türler çok yaygın olarak her yerde bulunurken, bazı türler ise sadece belirli habitatlara yerleşmiştir (Martin ve diğer., 1983).

Organizmanın canlı formu olarak adlandırılan plazmodyum, çok geniş bir zaman aralığında besin kaynağı ile beslenebilmektedir (Adamatzky ve Schubert, 2012). Yaşam döngülerinde jelatinimsi görünüme sahip bu organizmalar, tek başına birkaç mm²'den yarım m²'ye kadar alan kaplayabilmektedir. Bir araya geldiklerinde ise 30 gram ağırlığına ulaşabilmekte ve büyük alanlara yayılabilmektedir (Mayne, 2016). Organizmanın yaşam döngüsünün plazmodyal aşaması, büyük tek hücreli sarı plazmodyum yığınının oluşumudur (Stephenson ve Stempen, 2000). Plazmodyum

formu, bir dizi şeritsel elemanın ince bir ağ örmesini anımsatmaktadır. Jölemsi/sümüksü bir görünüme sahip olan organizma, öne arkaya salınım şeklinde sürünerek gözle görülür bir hızla ilerlemektedir. Hareketi sırasında formu büyük oranda değişiklik göstermektedir. Dağılmış aktin-miyosin ipliklerini içeren bir “sünger” kısmı ve aktin-miyosin liflerinden oluşan bir “tüp kısmı” olmak üzere iki ana kısımdan oluşmaktadır. Plazmodyumun hareket ederken ön kısmında gözlemlenen aktin-miyosin iplikleri (beyaz ok, Şekil 3.1) yelpaze gibi açılmakta ve birbirleri ile yoğun bağlantı kurmaktadır. Tüp kısmında ise bazı tüplerin arkaya doğru kalınlaşmakta (siyah ok, Şekil 3.1) olduğu, bazılarının ise yok olduğu görülmektedir (Mayne ve diğer., 2015).



Şekil 3.1 Physarum Polycephalum'un plazmodyum hali (Kişisel arşiv, 2018)

Nakagaki (2001)'ye göre cıvık mantarlar, saatte 1 cm^2 hıza kadar hareket edebilmektedir. Canlının hareketine göre ağ ve tüplerin yerleşimleri sürekli farklılık göstermektedir. Bu tüpler hücre içi madde alışverişinde önemli rol oynamaktadır. Bu doğrultuda tüpün kalınlığı arttıkça madde akış hızının da arttığı söylenebilmektedir. Cıvık mantarın yer değiştirme ve yayılması ise kasılma-gevşeme hareketiyle sağlanmaktadır. Organizmanın her noktasında ritmik kasılma-gevşeme hareketi gözlemlenmektedir. Kasılma süreleri canlının her yerinde aynı olmakla birlikte, fazı kendi içinde farklılık gösterebilmektedir. Bu sayede canlı, kasılan kısımlardan gevşeyen kısımlara doğru akış göstermektedir. Tero ve diğer. (2007), **organizmanın en kısa ve en kalın tüpü oluşturması sayesinde hayatta kalabildiğini,**

üreyebildiğini savunmaktadır. Oluşturulan kalın tüpler sayesinde hem besin üzerinde yer alan organizma alanı maksimuma çıkmakta, hem de besin kaynakları arasında kimyasal sinyallerin iletildiği hücre içi iletişim en etkin durumda olmaktadır. Bu akıl içeren strateji, organizmanın karmaşık problemleri çözebildiğine dair ipuçları taşımaktadır. Fizyolojik olarak bakıldığında ucunda besin kaynağı bulunmayan ya da biten tüpler zamanla yok olmaktadır. Bununla birlikte aynı besin kaynağını bağlayan birden fazla yol var ise daha uzun yollar da zaman içinde yok olmaktadır.



Şekil 3.2 Physarum polycephalum'un spor yapısı (Carolina, b.t.)

P. polycephalum, plazmodyum formundayken besin bulamadığında veya çok fazla ışığa maruz kaldığında “sklerotyum” olarak adlandırılan bir kist haline gelerek, olumsuz koşullara yanıt verebilmektedir. Sklerotyum, açlık, kuruluk, soğuk, düşük pH, yüksek ozmotik basınca sahip çözeltiler ve bazı ağır metaller gibi bir dizi uyarana cevap olarak oluşabilmektedir. Sklerotyum formuyla organizma yıllarca hayatta kalabilmektedir. Böylece, sonradan tekrar plazmodyuma dönüşebilecek olan organizma, daha elverişli yaşam koşulları oluşuncaya kadar olumsuz ortam koşullardan korunmuş olmaktadır. Çıplak gözle, sporlar daha küçük, daha koyu haşhaş tohumu gibi görünür. Mikroskop altında ise, çok katlı yapıları belirgin haldedir (Şekil 3.2) (Altun ve diğer., 2018).

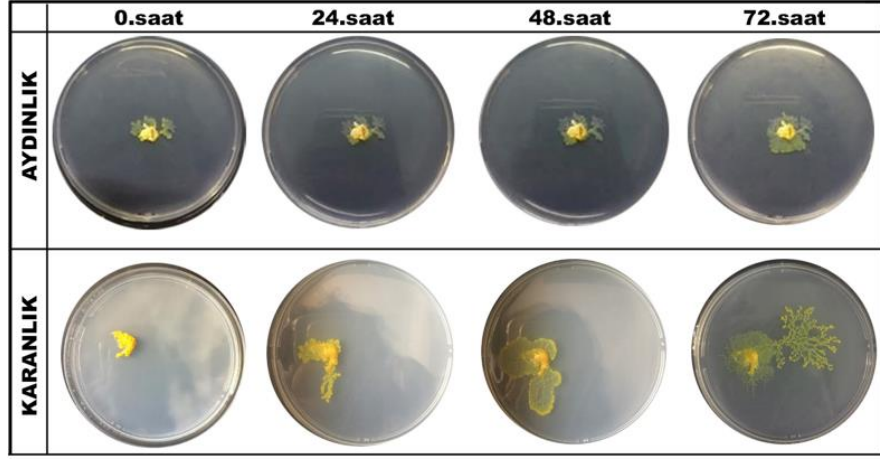
3.1.2 *Physarum Polycephalum*'un Büyüme Koşulları

P. polycephalum'un büyümesi ve hareketi daha çok ortamdaki besin, sıcaklık, ışık miktarı ve nem oranı gibi koşullara bağlıdır. Organizma, ortamdaki birtakım etkenlere karşı olumlu ya da olumsuz yönde tepki oluşturabilmektedir. Bazı maddelerin *P. polycephalum*'da kemotaktik özellik olarak adlandırılan kimyasal maddelere karşı olumlu ya da olumsuz tepkiyi tetiklediği de tespit edilmiştir (Carlile, 1970). Başka pek çok uyarıcının da *P. polycephalum*'da tepki yarattığı bilinmektedir. Örneğin; karanlık yerlerde büyümeyi seven organizma, ışığa maruz kaldığında fototaktik olarak adlandırılan ve özellikle organizmanın beyaz, mavi ve ultraviyole ışıktan kaçması olarak tanımlanan bir tepkiye neden olmaktadır (Wohlfarth-Bottermann ve Block, 1981; Nakagaki ve diğer., 1999). Aşağıda 2018 Aralık ayında tamamlanan TÜBİTAK destekli bir proje kapsamında, *P. polycephalum* türü cıvık mantarın büyümesi için ışık, sıcaklık, besin türü, birtakım kimyasallara karşı tepkisi ve nem parametrelerinin laboratuvar ortamında optimizasyonları yapılmış ve sonuçlar literatürdeki çalışmalarla desteklenerek sunulmuştur.¹

3.1.2.1 Işık Optimizasyonu

P. polycephalum'un büyümesi için gereken en uygun ışık miktarının belirlenmesi için ışık dışındaki nem, sıcaklık, besin gibi diğer parametreler sabit tutularak 72 saat boyunca günde 8 saat aydınlık (gün ışığı) ve tamamen karanlık ortamlarda deney setleri kurulmuştur. En iyi büyümenin karanlık ortamdaki deney setlerinde olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 3.3). Buna karşın 8 saat aydınlık ortamda tutulan canlının bulunduğu petrillerdeki büyüme neredeyse sabit kalmış ve karanlık ortamdaki kadar artış gösterememiştir.

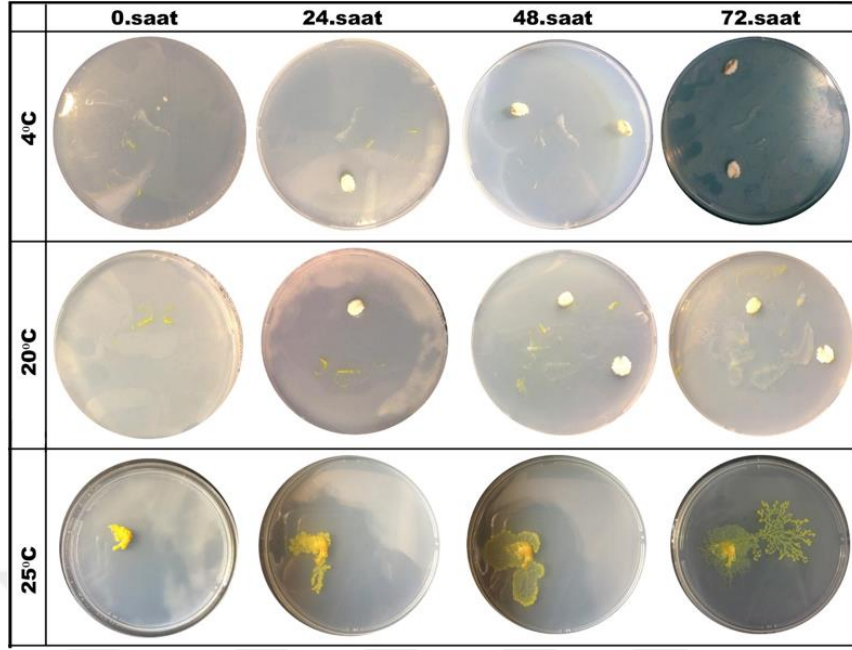
¹ Söz konusu çalışma, tez çalışmasının bursiyer ve danışmanının yürütücü olarak içinde bulunduğu "Physarum Polycephalum Cıvık Mantarları Kullanılarak Yol İzlerinin Bulunması: İzmir Örneği" başlıklı 1002 program kodlu, 216M507 proje numaralı TÜBİTAK projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.3 Cıvık mantarın büyümesi için en uygun ışık değerinin belirlenmesi çalışmaları (Altun ve diğer., 2018)

3.1.2.2 Sıcaklık Optimizasyonu

Durham ve Ridgway (1976), *P. polycephalum*'un içinde bulunduğu agar ortamının 18°C'den 35°C'ye doğru ısıtıldığında canlının sıcak ortamı tercih ettiğini gözlemlemiştir. Ravi (2014), 4°C, 25°C, 27°C, 30°C ve 37°C olan ortamlarda *P. polycephalum* 'un nasıl tepki verdiğini 10 gün boyunca gözlemlemiştir. Organizma, 4°C olan ortamda uyku fazından canlı forma geçememiştir. 25°C'deki ortamda *P. polycephalum*'un üremeye başladığı ve 5 gün içerisinde tüm petriyi kapladığı görülmüştür ve 10 günlük süreçte canlının büyümesi devam etmiştir. 27°C'deki ortamda ise ilk 3 gün çok hızlı bir şekilde büyüme gerçekleşmiştir. Ancak 4. günden sonra petri kabında yeşil noktalar halinde küfler oluşmaya başlamıştır. 7. günde *P. polycephalum*'da bozulma görülmeye başlamış ve 10. günün sonunda organizmanın tamamen öldüğü tespit edilmiştir. 30°C'deki ortamda ise cıvık mantar sadece ilk 6 gün canlılık gösterebilmiştir. 37°C'de ise 4°C'dekiyle benzer şekilde, organizma uyku fazına girdiği için canlılık gözlemlenememiştir (Ravi, 2014).



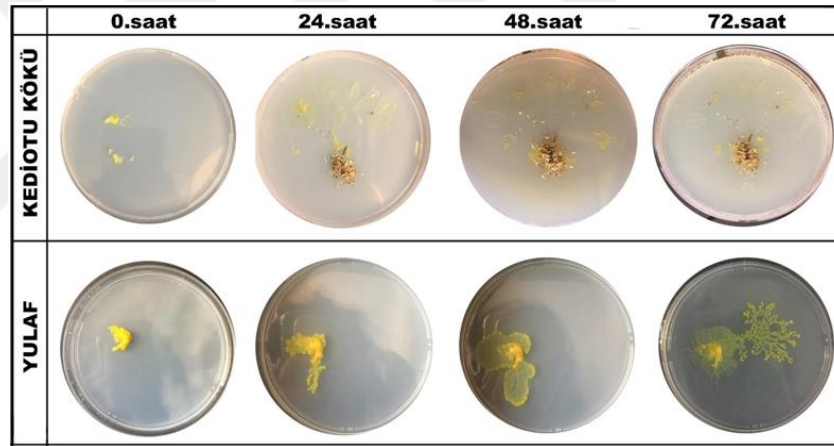
Şekil 3.4 Cıvık mantarın büyümesi için en uygun sıcaklık değerinin belirlenmesi çalışmaları (Altun ve diğer., 2018)

P. polycephalum'un büyümesi için gereken en uygun sıcaklık derecesinin belirlenmesi için sıcaklık dışındaki diğer parametreler (nem, karanlık vb.) sabit tutulmuştur. Steril koşullarda canlılar ortama bırakılmış ve en uygun sıcaklık denemeleri için 4, 20, 25°C sıcaklıkları belirlenmiştir. 48 ve 72 saat sonunda en iyi büyümenin 25 °C'de yapılan çalışmalarda olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 3.4). 72 saatin sonunda 4°C derecedeki *P. polycephalum*'da hiç büyüme gerçekleşmediği görülmüştür. 20°C derecedeki *P. polycephalum*'un ise sadece bölgesel ve çok az oranda büyüme gösterdiği gözlemlenmiştir. Yapılan bu deneylerin sonucunda *P. polycephalum* canlısı için optimum sıcaklığın 25°C olduğunu söylenebilmektedir.

3.1.2.3 Besin Türü Optimizasyonu

P. polycephalum'un büyümesi ve hareketini farklı besin kaynaklarının nasıl etkilediğiyle alakalı çok sayıda çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda besin kaynağı olarak genellikle yulaf taneleri kullanılmıştır. Cıvık mantarların farklı kaynaklara yönelimini araştıran Adamatzky ve Costello (2012), besin dışında bazı

kaynakların, örneğin uyku haplarının da *P. polycephalum*'u aralarında uzun mesafe olsa dahi cezbedtiğini gözlemlemiştir. Adamatzky, çalışmalarda besinler arası mesafenin artması gereken durumlarda yulafın yetersiz kalabileceğini, onun yerine uyku hapının kullanılabileceğini belirtmiştir. Uyku haplarının neden bu kadar çekici olduğunu anlayabilmek amacıyla haplarda bulunan tüm aktif maddeleri test etmiş ve sonuç olarak organizmanın, kediotu kökünü (*Valeriana officinalis*) sevdiği tespit edilmiştir. Besin kaynakları *P. polycephalum*'a çekici gelmektedir, ancak organizma besin kaynağı olmayan başka kimyasalları da çekici veya itici bulabilmektedir (de LacyCostello ve Adamatzky, 2014). Bu itici özellikteki besin maddeleri, deneysel çalışmalarda organizmanın gitmesinin istenilmediği noktaları belirtmek için kullanılabilmektedir.



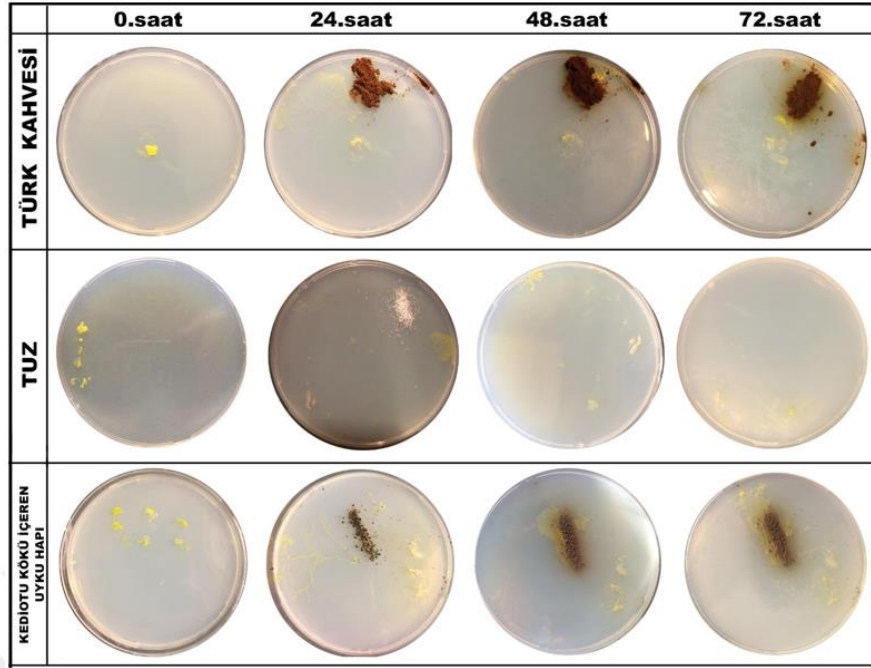
Şekil 3.5 Cıvık mantarın büyümesi için en uygun besin maddesinin belirlenmesi çalışmaları (Altun ve diğer., 2018)

P. polycephalum organizmasının büyümesi için en uygun besin maddesinin belirlenmesinde steril hale getirilen kedi otu kökü ve yulaf taneleri denenmiştir. 48 saatin sonunda *P. polycephalum*'un toz halindeki kedi otu köküne doğru bölgesel olarak yönelim gösterdiği görülürken, 72. saatin sonunda petri kabında sadece bölgesel bir büyüme gözlemlenmiştir. *P. polycephalum* organizması için en iyi büyümenin ise 48 ve 72 saatin sonunda yulafa karşı olduğu belirlenmiştir (Şekil 3.5).

3.1.2.4 Farklı Kimyasallara Karşı Tepkisinin Belirlenmesi

Whiting ve diğer. (2014), sekiz kimyasalın canlı üzerindeki çekicilik veya iticiliğini araştırmıştır. Petri kaplarına başka bir besin eklemekten %2, %4, %6 ve %8 agar içeren jel ile yaptıkları denemelerde, %2 agar içeren ortamda diğer besinlerin yokluğunda canlı büyümesinin sağlanabileceği, %6 agarın ise neredeyse besin kaynağı kadar çekici etki gösterdiği gözlemlenmiştir. Ayrıca, deneysel çalışmalar sırasında veya öncesinde, plazmodyumun spor halinden canlandırıldığı ortamın nemli ve canlıya itici gelmeyen bir ortam olması gerekmektedir. Adamatzky (2009), Niizato ve diğer. (2010), Shirakawa ve diğer. (2009) yaptıkları bazı çalışmalarda yüzey olarak agar yerine nemlendirilmiş kâğıt havlu da kullanmıştır. Kâğıt havlunun kullanıldığı çalışmalarda organizma canlılığının devam edebildiği gözlemlenmiş ancak, sık aralıklarda kâğıdın kurumasını önlemek için su ilavesi yapılması gerektiğinden dolayı çok tercih edilen bir yöntem olmamıştır.

P. polycephalum organizmasının farklı kimyasallara karşı verdiği tepkilerin belirlenmesi konusundaki yapılan araştırmalarda kedi otu kökü içeren bitkisel uyku hapi, Türk kahvesi ve tuz denenmiştir. Organizmanın, Türk kahvesi ve kedi otu kökü içeren uyku hapına olumlu yönde tepki verdiği, bu kimyasallara doğru ilerlediği görülmüştür. En iyi büyümenin ise, bitkisel uyku hapına karşı 48 ve 72 saatlerde olduğu rapor edilmiş (Şekil 3.6), Türk kahvesine karşı 48 ve 72 saatlerde organizmanın sadece bölgesel büyüme gösterdiği gözlemlenmiştir. Türk kahvesi ve bitkisel uyku hapının yanı sıra 48 saatin sonunda organizmanın, tuzdan uzaklaştığı ve 72 saatin sonunda ise büyümesinin tamamen durduğu görülmüştür.

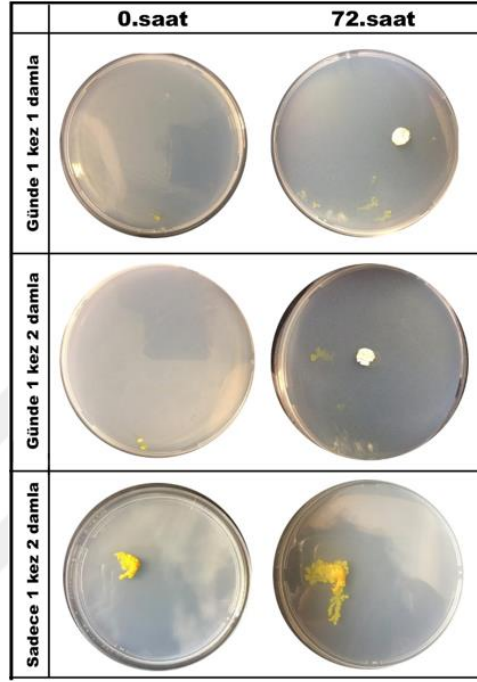


Şekil 3.6 Cıvık mantarın büyümesinin farklı kimyasallara etkisinin belirlenmesi çalışmaları (Altun ve diğer., 2018)

3.1.2.5 Nem Optimizasyonu

Cıvık mantarların nemli ortamı tercih etmesi pek çok kaynakta belirtilmiş olmakla birlikte (Yulo ve diğer., 2012), yaptıkları çalışmalarda daha çok canlıların doğal ortamlarındaki davranışlarını incelemektedir. Tanaka ve diğer. (2014) ise laboratuvar ortamında yüzeyin ve ortam neminin, canlı yaşamına etkisini ölçmek için tamamen karanlık ortamda, 26°C sabit sıcaklıkta ve %1 agar çözeltisi üzerinde birtakım deneyler gerçekleştirmiştir. İlk deney setinde yaklaşık %90 nemlilikte, kapağı hafif açık cam bir kapta (9 cm çap ve 12 cm yükseklik), ikinci deney setinde ise tamamen kapalı bir plastik petrinin (14 x 10 x 1,5 cm) üzerinde delikler açılarak nemli ortam oluşturulmuştur. Çalışmada her bir deney 25 kere tekrarlanmıştır. Yapılan çalışma sonucunda, %75 ve %95 nem aralığında daha fazla sporlaşmanın gerçekleştiği, diğer en yüksek sporlaşmanın ise %30 civarındaki nem ortamında gerçekleştiği, %50 ve %75 arasında ise organizmanın ortamdaki besin bitene kadar plazmodyum formunda kaldığı gözlemlenmiştir. Sharp (2016) ise organizmayı belirli aralıklarda sevmediği soğuk ve kuru havaya maruz bırakmıştır. Organizmanın buna yavaşlayarak ve

büyümesini kontrol altında tutarak yanıt verdiği görülmüştür. Bu durum belirli aralıklarda tekrarlandığında ise her seferinde cıvık mantarların aynı tepkiyi verdiği, sonunda soğuk hava gelmese bile soğuk havanın tekrar gelme ihtimaline karşı büyüme hızlarını yavaşladıkları görülmüştür. Bu deneyin sonucunda da *P. polycephalum*'un öğrenme yeteneğinin olduğu tespit edilmiştir (Sharp, 2016).



Şekil 3.7 Cıvık mantarın büyümesi için en uygun nemlendirme miktarının belirlenmesi çalışmaları (Altun ve diğer., 2018)

P. polycephalum organizmasının büyümesi için en uygun nem oranının belirlenmesi çalışmaları kapsamında, günde 1 kez birer damla saf su ile nemlendirme, günde 2 kez birer damla saf su ile nemlendirme ve deney süresince sadece bir kez 1 damla saf su ile nemlendirme olmak üzere 3 farklı deneme gerçekleştirilmiştir. Günde bir kez ve günde iki kez birer damla haline saf su ile yapılan nemlendirme çalışmalarında organizmanın cılız ve bölgesel bir büyüme gösterdiği gözlemlenirken en uygun nem oranının, deney süresince sadece bir kere 1 damla saf su ile nemlendirilen petri kabında olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 3.7).

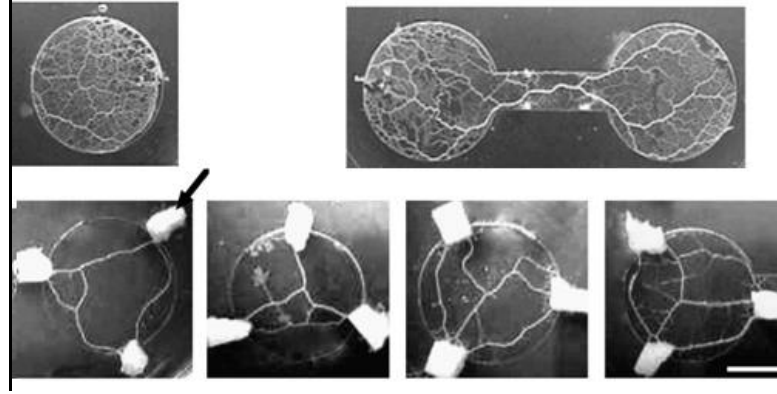
Optimizasyonlardan anlaşıldığı üzere *P. polycephalum*, karanlık ortamda, 25°C sıcaklığında, besin olarak yulaf kullanıldığında ve bulunduğu ortam nemli olduğunda en verimli yayılımını göstermektedir. Yapılan iki boyutlu harita deneylerinde, *P. polycephalum*'un 25°C'nin altında sıcaklıkta plazmodyum formuna geçemediği; 25-28°C arasında verimli bir yayılım gösterdiği, ancak bunun üstüne çıktığında hem canlı hücrenin hem de agarın kurumaya başladığı görülmüştür. Ravi (2014) tarafından yapılan çalışmada, 27°C'deki ortamda ise ilk 3 gün çok hızlı bir şekilde büyüme gerçekleştiği, sonrasında kontaminasyon meydana geldiği ve hücrenin öldüğü bilinmektedir. Bu projede elde edilen sonuçların literatürdeki bu veriyle uyumlu olduğunu söylemek mümkündür. Sıcaklığın yanı sıra ortamdaki ve yüzeydeki nem canlının yayılımında önemli bir parametredir. Organizmanın canlılığını sağlaması ve verimli bir şekilde ilerleyebilmesi için ortamdaki nem miktarının yüksek olması gerekmektedir. Yapılan optimizasyonlarda canlının %50 ve üzerindeki neme ihtiyaç duyduğu, ortamın nem oranı %70'in üzerine çıktığında yayılımındaki verimliliğin arttığı görülmüştür. Bu bulgu literatürdeki çalışmalarla tamamen uyumludur (Tanaka ve diğer., 2014). Optimizasyonlardan ve literatür çalışmalarından öğrenildiği üzere, *P. polycephalum* için en iyi büyüme ortamının, %2 oranında herhangi başka bir nutrient içemeyen agar olduğu tespit edilmiştir. Optimizasyonlarda kullanılan agar, 121 °C'de 15 dakika boyunca otoklavda steril edilerek bek alevinde tek kullanımlık petrilere dökülmüştür.

3.2 Cıvık Mantarların Tasarım Aracı Olarak Kullanılabilecek Özellikleri

Hafıza ve yön bulma yetenekleri nedeniyle “akıllı mantarlar” olarak nitelendirilen *P. polycephalum*, sinir ağı ve beyni olmayan tek hücreli bir organizmadır. Ancak bu canlı, merkezi bir sinir sistemi ya da duyu organları olmasa da hareket ederek yön bulma gibi bir yeteneğe sahiptir. Cıvık mantarlar, uygun ortam sağlandığı sürece sürekli yeni alanlar keşfetmek üzere büyüyerek yayılmakta ve eğer kendisiyle karşılaşırsa o noktadan geri çekilerek diğer yönlerde doğru hareket etmektedir. Organizmanın besine ulaşmak için kullandığı yöntemler karmaşıktır. Organizma, yiyecekleri belli bir mesafeden algılayabilmekte ve besine yaklaştığında ya da besinden uzaklaştığında bu durumu anlayabilmektedir. Hareketini bu duruma göre

ayarlamakta ve basit kemotaksi sergilemektedir (Altun ve diğer., 2018). Ayrıca organizma, ortamdaki besin arayışını optimize etmek için etrafındaki keşfedilmemiş tüm alanları kaplayana kadar önceden gittiği bir alana tekrar gitmeyi reddetmektedir. Nörolojik bir hafızanın yokluğunda organizma, çekildiği bölgelere bir iz bırakarak bir tür harici bellek oluşturmaktadır. Organizma daha sonra, bulunduğu ortama yeni bir besin konulmadıkça veya kendisinin bıraktığı izi içermeyen tüm bölgeleri keşfedene kadar, gittiği alanlara tekrardan gitmemektedir. Söz konusu bu beyaz iz, *P. polycephalum* kolonisinin bu bölgeye tekrar gelmesini önlemek için verdiği bir tür mesajdır. Bu akılcı davranışın yiyecek arama verimini arttırdığı düşünülmektedir. Ortama yeni bir besin kaynağı konulduğunda ise yeni bir sinyal geldiğinden, bu mesaj geçersiz olabilmektedir.

Besin arayışı sırasında, kaynakları en verimli şekilde kullanabilmek amacıyla diğer hücrelerle birleşerek “süper organizma” olarak adlandırılabilen bir koloni oluşturan cıvık mantarlar, gelen sinyaller doğrultusunda besin kaynağına doğru hareket etmektedirler. Ayrıca cıvık mantarlar, besinlerle ilgili karmaşık kararlar verebilme, kendisi için en uygun besini seçip ona doğru hareket etme özelliğine de sahiptir (Carolina, b.t.). Literatürde *P. polycephalum*’un en kısa yolu bulma ve yüksek kaliteli ağlar oluşturma, değişen ortamlara uyum sağlama, ezberleme- öğrenme ve biyolojik hesaplama yetenekleri konusunda çok sayıda araştırma bulunmaktadır (Sun, 2017). Besin arama davranışlarından biri olarak *P. polycephalum*, çoklu besin kaynaklarını birleştiren bir ağ oluşturabilmektedir. Bu kapsamda yapılan birçok deneyde, **organizmanın tüp şeklindeki topolojilerinin karmaşık matematiksel ağlara benzediği** gösterilmiştir (Şekil 3.8) (Shirakawa ve Gunji, 2007). Cıvık mantarların bu yeteneği, özellikle buna benzer ağları tasarlamak için geleneksel yöntemlerin kullanılmasının zorluğu göz önünde bulundurulduğunda, oldukça değerli bir yöntem haline gelmektedir.

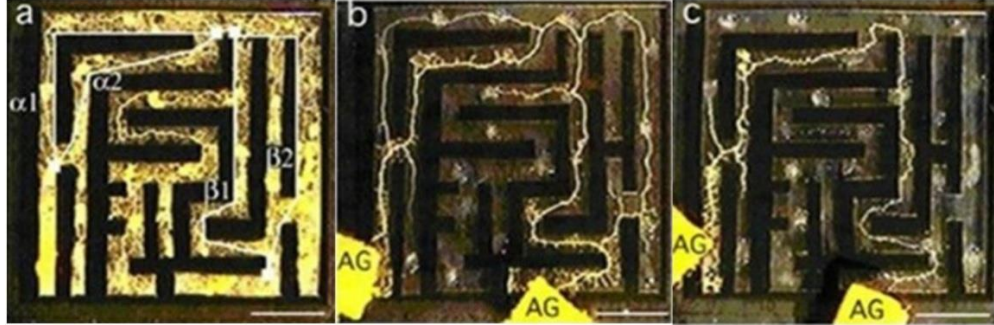


Şekil 3.8 Physarum polycephalum tarafından oluşturulan ağlar (Shirakawa ve Gunji, 2007)

P. polycephalum türü cıvık mantarın bir başka dikkat çekici özelliği ise, **insanlar için bile zor sayılabilecek bir eylem olan labirent çözme davranışını sergileyebiliyor olmasıdır**. Labirent çözmenin bilinen en kolay yolu, gidilebilecek tüm yolların denenmesi ve gidilen yolların işaretlenmesidir. Yapılan çeşitli deneylerde canlının yaşaması için uygun koşullar sağlandığında cıvık mantarların, birden fazla çıkış rotası olmasına rağmen besine giden en kısa yolu bulabildiği gözlemlenmiştir (Nakagaki ve diğer., 2007).

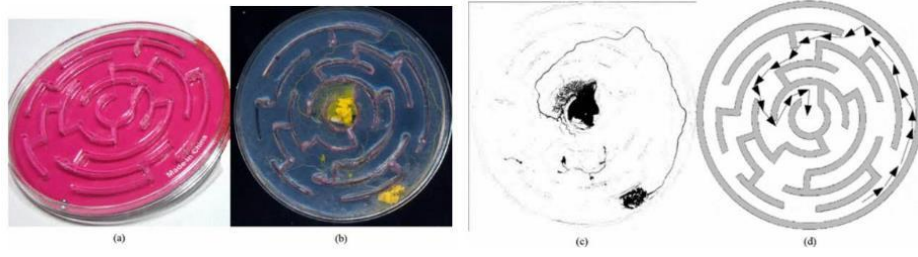
Nakagaki ve diğer.(2000), deneylerinde labirenti oluşturmak için plastik malzemeden canlıya sınır oluşturacak şekilde labirent duvarlarını çıkarmış ve agar yüzeyi üzerine yerleştirmiştir. Daha sonra 25x35 cm ölçülerindeki bir kültürden ince şeritler halinde kestiği cıvık mantar parçalarını agar üzerine bırakmıştır. Cıvık mantarların sadece plastik ile kaplanmamış nemli yüzey üzerinde hareket ettiği gözlenmiştir. Birkaç saat sonra bu parçalar çoğalarak diğer parçalarla birleşmiş ve tüm labirenti kaplamıştır. Cıvık mantarların bırakıldığı agar yüzeyinde besin bulunmadığı için cıvık mantarlar tüm labirenti kaplayana kadar aç bırakılmıştır. Daha sonra, içinde besin bulunan agar parçaları labirentte belirli noktalar üzerine yerleştirilmiş ve bu besin parçalarının, labirentin giriş ve çıkışlarını temsil ettiği varsayılmıştır. Birkaç saat içinde organizmanın labirentte besin bulunmayan kısımlarındaki kollarının çekilmeye başladığı ve besinleri birbirine bağlayan ana ağların giderek netleştiği gözlemlenmiştir (Şekil 3.9). Deney sonucunda labirent

incelendiğinde, cıvık mantarın oluşturduğu rotaların sadece besin kaynaklarını birleştiren olası rotalar üzerinde yer aldığı ve bu labirente bakıldığında olası 4 rota bulunurken organizmanın en kısa rotayı kullanarak besine ulaştığı görülmüştür.



Şekil 3.9 Physarum Polycephalum'un labirent çözme davranışı (Nakagaki, 2000)

Adamatzky (2012) yaptığı çalışmada, cıvık mantarın labirentte yol bulma yeteneklerini 70 mm çapında, 4 mm genişliğinde ve 3 mm derinliğindeki belirli yollara sahip plastik bir petri kabında incelemiştir. Başlangıçta yolları %2 agar ile doldurmuş, üst yüzeyleri ise cıvık mantarların duvarları aşip kısa yol oluşturmasını önleyecek şekilde bir madde ile kapatmıştır. Labirentin merkez noktasına bir yulaf parçası yerleştirmiş ve labirentin en dış noktasına cıvık mantarları bırakmıştır. Karanlık ortam ve 20-23°C sıcaklıkta sabit tutulan labirentler günde iki defa kontrol edilmiştir. 72 saat sonraki halin görüntüsü kaydedilerek bu görüntü taranmış ve cıvık mantarın izlediği ana güzergahlar kalın siyah çizgilerle ifade edilmiştir. Daha sonra organizmanın besine ulaşmak için izlediği yol, hız vektörlerini sembolize eden siyah oklarla gösterilmiştir (Şekil 3.10). Bu deney aynı boyuttaki labirentlerle 35 kere tekrarlanmıştır. Tekrarlardan 16 tanesi başarıya ulaşırken elde edilen en kısa yol 12,4 cm, en uzun yol ise 19,9 cm, ortalama yol uzunluğu 13,13 cm, standart sapması ise 2,1 cm olmuştur. Adamatzky, tüm başarılı deney sonuçlarını ikili görüntüye çevirerek algoritma oluşturmakta kullanmıştır.

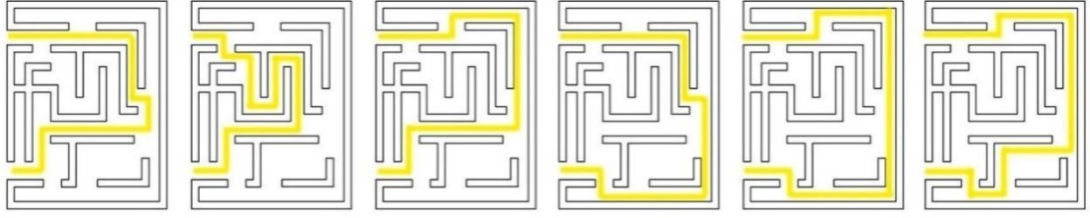


Şekil 3.10 Labirent çözme davranışı ve ikili görüntü (Adamatzky, 2012)

Literatürde yapılmış çalışmalar doğrultusunda Altun ve diğer. (2018) tarafından yapılan çalışmada, 9x11 cm boyutlarında, siyah filament 3D baskı ile yapılmış labirent yollarına %2 agar konulmuş, giriş- çıkış noktalarına yulaf taneleri bırakılmış ve labirentin farklı noktalarına cıvık mantarlar yerleştirilmiştir. *P. polycephalum* davranışı 5 gün boyunca gözlemlenmiş, canlının labirentte besin arayışını tamamlayarak iki besine 2 farklı rota oluşturarak ulaştığı görülmüştür. Toplamda 6 olasılığı bulunan bu labirent çalışmasında canlının izlediği güzergahlardan biri 22,5 cm uzunluğunda olan en kısa rota olduğu görülmüştür. Canlının izlediği diğer rotanın ise ikinci en kısa rota olan 23,8 cm uzunluğundaki güzergâh olduğu görülmüştür.



Şekil 3.11 PhysarumPolycephalum'un labirent üzerinde davranışı ve oluşturduğu rotalar (Altun ve diğer. 2018)



Şekil 3.12 Oluşturulan labirentin olası yol güzergahları

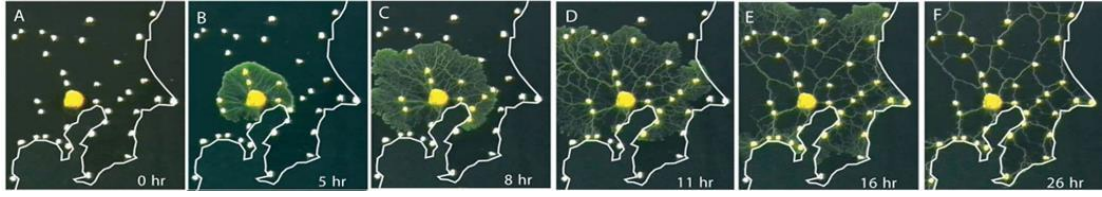
Bu çalışmalar doğrultusunda cıvık mantarların özellikle en kısa yolu bulma niteliklerinin ön planda olduğu ve literatürde günümüze kadar yapılmış az sayıda çalışmanın da tasarım alanından çok ulaşım ağlarının optimizasyonuna odaklandığı görülmektedir. Bununla birlikte cıvık mantarların yalnızca ulaşım planlaması açısından değil kentsel planlama ve kentsel tasarım ölçeğinde de tasarımcılara yol gösterici potansiyelleri olduğunu söylemek mümkündür.

3.3 *Physarum Polycephalum*'un Davranışsal Özelliklerinin Ulaşım Ağları ve Tasarım ile İlişkili Kullanımları

3.3.1 Ulaşım Ağı Örnekleri

Cıvık mantarların oluşturduğu ağların maliyet, verimlilik ve esneklik arasında iyi bir denge sağladığı düşünülmektedir. Bu organizmaların bağlantılar oluşturma, en kısa yoldan besine ulaşma, kendilerine özgü bir iletişim sistemine sahip olma ve labirent çözebilme gibi davranışları oldukça ilgi çekici bulunmuş ve bu canlılarla ilgili çok sayıda çalışma yapılmaya başlanmıştır. Bu konuyla ilgili yapılmış çalışmalarda *P. polycephalum*'un oluşturduğu yol ağlarının mevcutta bulunan ulaşım ağlarıyla büyük ölçüde çakıştığı gözlemlenmiştir.

3.3.1.1 Tokyo Metro Ağı



Şekil 3.13 Tokyo raylı sistem ağı (Tero ve diğer., 2010)

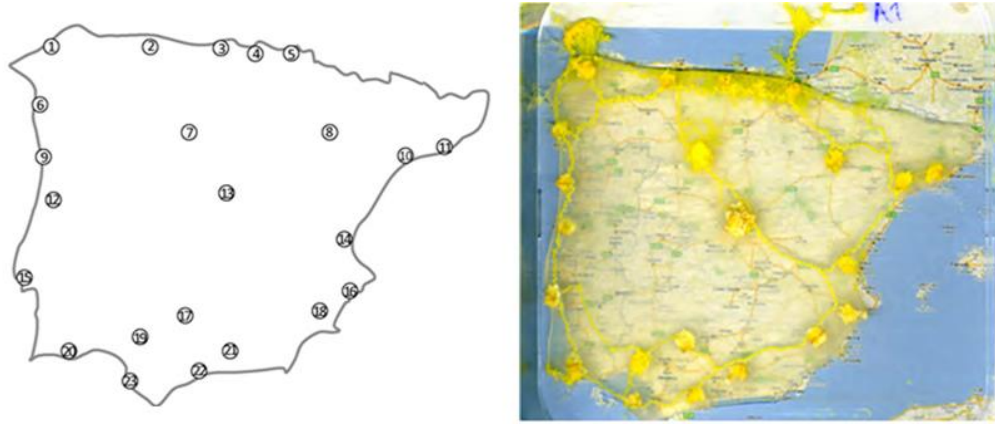
Tero ve diğer. (2010) yaptığı çalışmada, besin olarak kullanılan yulaf parçalarını, harita üzerinde Tokyo metro ağındaki metro istasyonlarının bulunduğu noktalara yerleştirmiş ve *P. polycephalum*'u merkezi bir noktaya bırakarak organizmanın büyümesini 26 saat boyunca gözlemlemiştir. 17 cm genişliğindeki Tokyo haritası üzerine istasyonları temsil eden 36 adet besin kaynağı (yulaf) konulmuştur. Başlangıçta her yöne doğru yayılma gösteren organizma, yulaf parçalarına ulaştıkça daha karmaşık bir ağ örmeye başlamış ve 26 saatin sonunda yulaflar arasında kalın tüpler oluşturacak şekilde net bir ağ örmüştür (Şekil 3.11). Bu ağdaki rotaların toplam uzunlukları, hata toleransları ve besin kaynakları arasındaki en kısa uzaklık ölçülerek mevcut metro ağıyla karşılaştırma yapılmıştır. Haritalamadan sonra organizmanın oluşturduğu ağda, düğüm noktaları arasındaki en kısa mesafe $0,85 \pm 0,04$ olarak ölçülürken, tren ağında ise 0,85 olarak belirlenmiştir. Ek olarak, ağdan bir hattın silinmesi ile ağın bütünlüğünün bozulması durumunda, canlının oluşturduğu ağın hata toleransı $\%14 \pm \%4$, tren ağının ise $\%4$ olarak hesaplanmıştır. Araştırmacılar, cıvık mantarların Tokyo metro ağını taklit ettiklerini ve neredeyse mühendisler kadar başarılı bir ulaşım ağı ördüğü sonucuna ulaşmışlardır.



Şekil 3.14 Canlının oluşturduğu ağ (ortada), mevcut tokyo metro ağı (sağda) (Tero ve diğer., 2010)

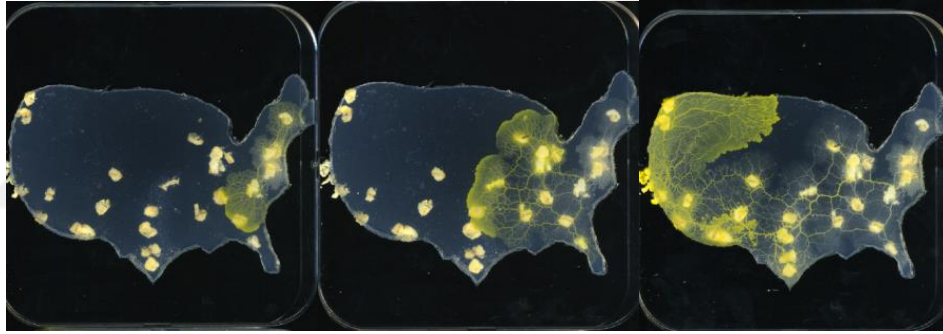
3.3.1.2 İber Otoyol Ulaşım Ağı

West England Üniversitesi'nden Prof. Andrew Adamatzky, 2006 yılından itibaren cıvık mantarlarla ilgilenmektedir ve cıvık mantarların yol bulma yeteneklerinin ulaşım ağlarında kullanılmasıyla ilgili çok sayıda çalışma yapmıştır. Adamatzky ve ekibi 2010 yılında, cıvık mantarları Avrupa haritası üzerinde İspanya ve Portekiz'in üzerine yerleştirmiş ve her iki ülkenin büyük şehirlerini temsil eden noktalara yulaf parçaları koyarak canlının gelişimini izlemiştir (Şekil 3.15). Cıvık mantar kolonisi şehirlere doğru uzayıp, kollara ayrılıp yulaf parçalarına ulaştıkları gözlenmiştir. Organizmanın ortaya çıkardığı ağın, İber Otoyol ağına oldukça benzediği görülmüştür. Beyni olmayan ve zekadan yoksun olduğu düşünülen cıvık mantar kolonisinin, merkezleri en kısa yoldan birbirine bağlama yeteneğine sahip olduğu sonucu çıkmıştır (Adamatzky ve Alonso-Sanz, 2011). Bu çalışmanın devamında Adamatzky ve ekibi farklı coğrafyalardaki ulaşım ağları üzerine çalışmalar gerçekleştirmiştir. Çalışmalarından hareketle Adamatzky şehir plancılara, planlama ve dağıtım ağı tasarımı için *P. polycephalum*'dan ilham almalarını, canlının oluşturduğu rotaların tasarımöncesinde incelenmesini önermektedir.



Şekil 3.15 Şehir merkezleri ve cıvık mantarın çıkardığı ağ (Adamatzky ve Alonso- Sanz, 2011)

3.3.1.3 ABD Eyaletler Arası Ulaşım Ağı



Şekil 3.16 Cıvık mantarın ABD haritası üzerinde davranışı (sırayla 12,36 ve 60. saat görünümü) (Adamatzky ve Ilachinski, 2012)

Adamatzky ve Ilachinski (2012), Amerika Birleşik Devletleri'nin haritası şeklinde hazırlanmış agar yüzeyi üzerinde ABD'nin 20 büyük şehrini temsil eden noktalara yulaf parçaları koymuş ve canlıyı da bu deney ortamına New York bölgesini temsil eden yulaf parçası üzerine bırakarak canlının davranışlarını gözlemlemiştir (Şekil 3.16). Cıvık mantarların, Denver'ı San Jose bölgesine, Houston'ı Albuquerque'ye ve Jacksonville'e, New York bölgesinden Nashville'e ve Boston'dan Chicago bölgesini doğrudan bağlayan güzergahlar hariç neredeyse tüm yolların mevcutla çakıştığı tespit edilmiştir (Şekil 3.17). Laboratuvar deneylerinde, olası bir felakete karşı organizmanın yayılımı taklit edilerek, ulaşım ağının bu tür felaketler doğrultusunda

nasıl yeniden yapılandırılabileceğine dair çeşitli senaryolar üretilmiştir (Adamatzky ve Ilachinski, 2012).

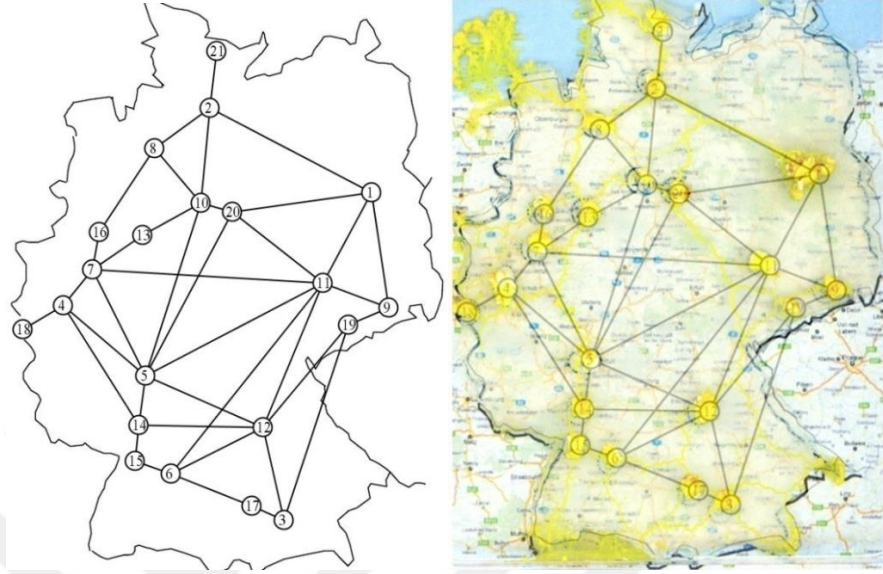


Şekil 3.17 ABD ulaşım ağı ve cıvık mantar ağının çakıştırılmış hali (Adamatzky ve Ilachinski, 2012)

3.3.1.4 Almanya “Autobahn” Ulaşım Ağı

Adamatzky ve Schubert (2012), Almanya haritası üzerinde, Avrupa’da örnek bir ulaşım hattı olan ve geçmişte çok iyi bir şehir planlaması ile tasarlandığı bilinen, Doğu ve Batı Almanya arasındaki bağlantıyı sağlayan otobanı *P. polycephalum* kullanarak modellemiştir. Almanya otobanı öncü ve eski Almanya dönemlerinden beri yapılmış en başarılı mühendislik çalışmalarından biri olarak görülmektedir. Almanya’nın ana şehirleri yulaf parçalarıyla temsil edilmiş ve cıvık mantarlar Berlin’i temsil eden yulaf parçası üzerine bırakılmıştır. Diğer şehir merkezlerine yayılım gözlenmiş, organizmanın tüm yüzeye yayıldıktan sonra oluşturduğu ağ istatistiksel olarak yapılandırılmıştır. Bu şekilde gerçekleştirilen 22 deneme sonucunda, tüm bağlantıların olmasa da bağlantıların çoğunun var olan ulaşım ağıyla benzerliği ortaya konmuştur. Hamburg-Bremen; Hanover-Bielefeld, Cologne-Dortmund arasındaki yollar cıvık mantar yolları ile benzer bulunmamış, diğer tüm bağlantılar, merkezler arası otoban hatlarına benzer çıkmıştır (Şekil 3.13). Cıvık mantarların oluşturduğu ağ ve Almanya’nın mevcut ulaşım ağı karşılaştırıldığında, organizma davranışının, tespit edilemeyen yolların tespitinde kullanılabilmesi

önerilmiştir. Ayrıca bu çalışmanın zayıf yönünün, sadece iki boyutlu harita üzerinde yapılması olduğu ortaya konmuştur.

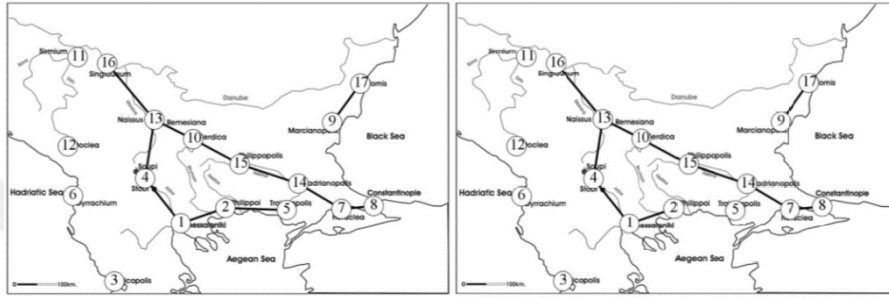


Şekil 3.18 Autobahn ağı ve cıvık mantar ağının karşılaştırılmış hali (Adamatzsky ve Schubert, 2012)

3.3.1.5 Antik Dönem Ulaşım Ağları

Arkeoloji alanında son 20 yıldır arkeolojik kalıntıların doğrulanması için birçok sayısal yöntem ve bilgisayar simülasyonu kullanılmaktadır (Bursalı, 2015). Balkanlardaki Antik Roma yol güzergahlarıyla ilgili yapılan bir çalışmada, petri kabı içerisine Antik Roma’da bulunan 17 şehir merkezini temsil eden noktalara besin konulduktan sonra cıvık mantar deney ortamına bırakılmış ve süreç içinde canlıların besinler arası oluşturduğu bağlantılar Roma yol güzergahlarıyla karşılaştırılmıştır (Şekil 3.19). Deney sonucunda cıvık mantarların besine ulaşmak için kurduğu ana bağlantılar, Balkanlar’daki iki Roma askeri yol güzergahı olan, Makedonya’dan geçen Via Egnatia ve merkez Avrupa’dan İstanbul’a uzanan ViaDiagonalis’i çizdiği görülmüştür. Evangelidis ve diğer. (2015), Journal of ArchaeologicalScience (Arkeolojik Bilim Dergisi)’da yayınlanan “Cıvık Mantarlar Balkanlardaki Roma Yollarının Taklit Ediyor” başlıklı makalede, *P. polycephalum*’un özgün yeteneklerini arkeoloji alanına uygulamak konusunda diğer araştırmacıları teşvik etmiştir. Balkanlarda Antik Roma yol ağlarının, tarihsel gelişiminin analiz edildiği bu

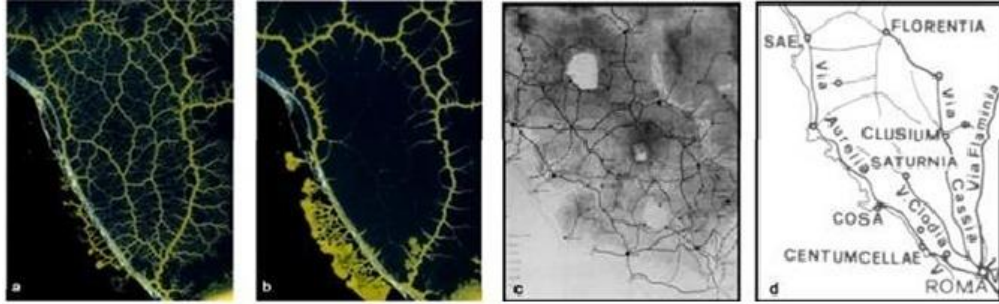
çalışmada bir dizi deney ve bir bilgisayar modeli yardımıyla ekip, cıvık mantarların, Roma İmparatorluğu'nun MÖ. 100 ile MS. 400 yılları arasında ihtiyaçlarını karşılayan ve 2000 yıl önce Balkanlara yayılımıyla eşleşen bir ağ geliştirdiğini görmüştür. Bir canlının, özel geliştirilmiş benzetim modellerinden neredeyse daha doğru sonuçlar doğurduğunun önerilmesi, arkeolojinin geleceğiyle ilgili ilginç soruları da beraberinde getirmiştir. Bu yöntem, başka yöntemler ile bir araya getirilerek yapılan interdisipliner araştırmalar, güvenilir ve kapsamlı sonuçlara ulaşmamızı sağlayabilecektir.



Şekil 3.19 Cıvık mantarların oluşturduğu yol ağı (solda) ve bilinen (sağda) yol ağı (Evangelidis ve diğer., 2015)

Strano ve diğer. (2012), cıvık mantarların bulunduğu en kısa yol ile Romalıların aynı merkez üzerinde kullandıkları yolları karşılaştırmıştır. Bu çalışmada, İtalyan Yarımadası'ndaki iyi çalışılmış, incelenmiş ve tarihsel olarak iyi anlaşılmış olan Vie Consolari Sokağı'na odaklanılmıştır. Vie Consolari sistemi şehirleri birbirine bağlayan Avrupa'daki ilk oluşturulmuş sistemlerden biridir. Aynı zamanda bu sistem, oluşturulduğu zamanda bölgesel bir ulaşım ağı olarak da kullanılmıştır. Vie Consolari'nin geçirmiş olduğu evrimi geriye doğru inceleyerek, İtalya yarımadasındaki tüm antik önemli şehirlerin Romalılar tarafından birbirlerine bağladıklarını gözlemlemek mümkündür. Ulaşım sistemlerine yönelik teknolojik gelişmelerden ve savaşlar, demografi grafikleri, doğal afetler gibi tarihi olgulardan kaynaklı büyük çaplı karmaşık değişimlerden etkilenmeden kalan bir ulaşım ağı olması sebebiyle, Vie Consolari önemli bir yoldur. Yolun önemi, bölgesel planlamaya yönelik kesin olarak hiçbir teknolojinin olmadığı bir durumda, bir şekilde baştan aşağı kendiliğinden örgütlenmiş, kendiliğinden oluşturulmuş yerel bir

düzenin varlığından kaynaklanmaktadır. Deney sonucunda, Romalılar tarafından inşa edilen yollar içerisinde Placentia'dan Bononia'ya olan ve Cenova'dan Floransa'ya kadar olan yollar hariç diğer tüm Roma yollarının, cıvık mantarın çıkardığı uzantılardan oluşan harita ile büyük oranda benzeşmekte olduğu gözlenmiştir (Şekil 3.20). Cıvık mantarın, farklı noktalardaki besinlere ulaşmak için mümkün olan en kısa yolu kullanmaları dikkate alındığında, Romalılar'ın da farklı kent merkezleri arasında inşa ettikleri yolları mümkün olan en kestirme şekilde inşa etmiş oldukları ve yol inşasında ileri düzey matematik ve mantık biliminden yararlandıkları sonucuna ulaşılabilmektedir. Fakat Placentia'dan Bononia'ya olan ve Cenova'dan Floransa'ya olan iki güzergâh için Romalılar, cıvık mantarın bulduğu en kısa yol haritasına uygun olmayan bir güzergâh izlemişlerdir. Daha kısa şekilde yol güzergâhı çizilebileceği halde, bu iki güzergâhın uzun şekilde inşa edilmiş olduğu düşünüldüğünde bu çalışma sonucunda, Roma yoluyla uyuşmayan yol güzergâhı için, muhtemelen o zamanın koşullarında günümüzde bilinmeyen farklı faktörlerin etkili olduğu yorumu yapılmıştır. Çalışmanın sonucu, eski zamanlarda geliştirilen Roma ulaşım sisteminin sıkı matematiksel mantığa dayalı olduğu şeklinde değerlendirilmiştir (Strano ve diğer., 2012).

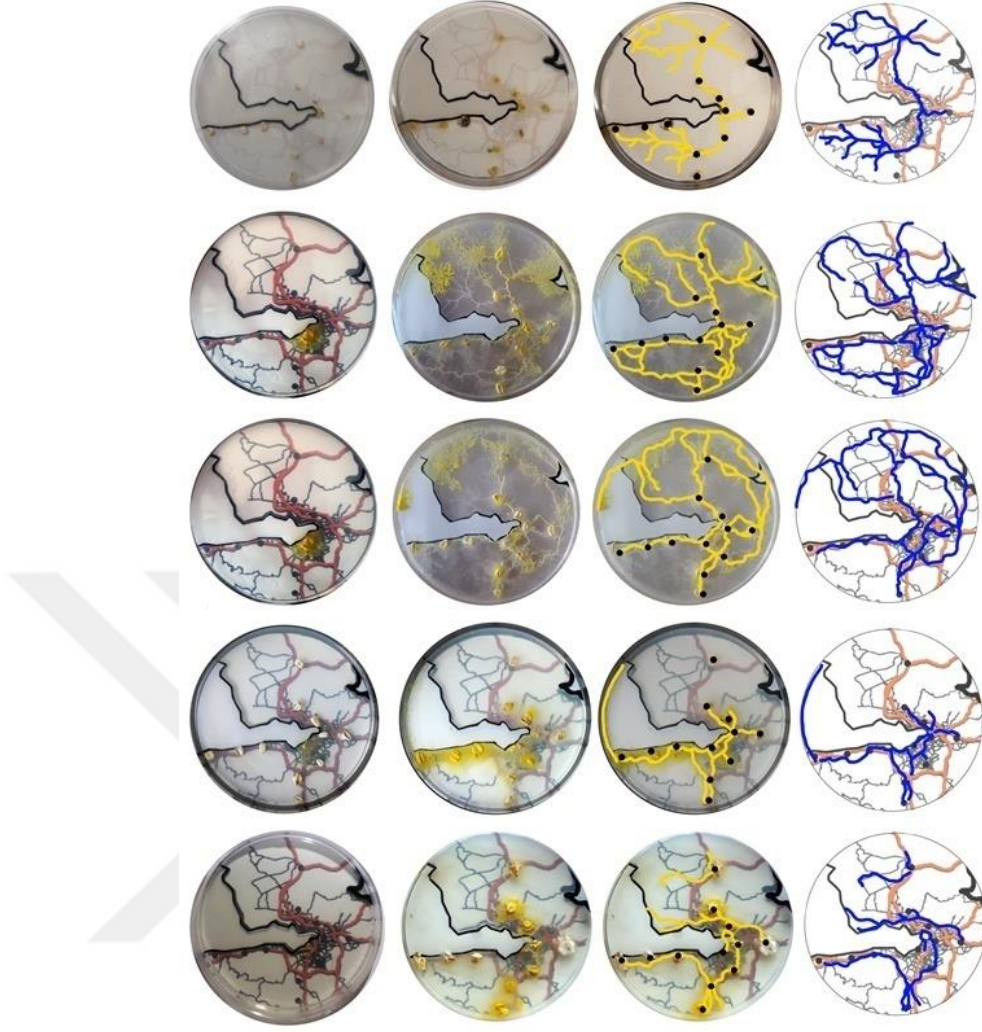


Şekil 3.20 Cıvık mantarın oluşturduğu ağ (a,b,c,) ve bilinen yol ağı (d) (Strano ve diğer., 2012)

3.3.1.6 İzmir Otoyol Ulaşım Ağı

Türkiye Biyotasarım Takımı (2018), TÜBİTAK 1002 programı tarafından desteklenen bir proje kapsamında yaptıkları çalışmada mimarlık, mühendislik, kentsel tasarım gibi farklı disiplinler ortaklığında cıvık mantarların ulaşım ağlarında kullanım potansiyellerini incelemiş; canlıyla ilgili birtakım optimizasyonlar yaptıktan sonra harita üzerinde İzmir ilinin ulaşım ağlarıyla ilgili çeşitli deneyler yapıp, çıkan sonuçları mevcut İzmir yol ağlarıyla karşılaştırmıştır. 140 mm.lik petri kaplarında hazırlanan iki boyutlu haritalarda, 11 ilçeyi temsil eden noktalara yulaf tanesi bırakılmış, merkez ilçeyi temsil eden noktaya ise organizma bırakılarak canlının davranışı 10 gün boyunca gözlemlenmiştir.

Çalışmada aynı harita altlığı üzerinde 5 farklı deney yapılmıştır ve yapılan bu 5 farklı deneyde canlı yayılımının büyük ölçüde benzer olduğu görülmüştür. Sonuçlar değerlendirildiğinde, canlı yayılımının özellikle batı aksında (Narlidere, Güzelbahçe, Balçova) ve yoğun nüfusa sahip olan ilçelerde (Konak, Karşıyaka, Çiğli, Bornova) daha fazla olduğu görülmüştür. Daha az nüfusa sahip olan kuzey bölgesinde (Menemen) ise yulaf konulmasına rağmen organizma o alanda yayılım göstermemiştir. Bu durum, doğu, batı ve güneydeki yerleşimlerin birbirine daha yakın, kuzey bölgesinin daha uzak konumlanmış olmasıyla ilişkilendirilebilmektedir. Canlının gösterdiği bu davranış, İzmir ilinin kentsel gelişim süreciyle örtüşmektedir. Çalışma sonucunda İzmir ilindeki mevcut ulaşım ağıyla *P. polycephalum* canlısı tarafından oluşturulan ağlar arasındaki farkların büyük oranda fiziksel ve topoğrafik sebeplerden kaynaklandığı görülmüştür. Bu parametreler göz ardı edildiğinde, canlının oluşturduğu ağların, mevcutta bulunan ulaşım ağıyla büyük ölçüde örtüştüğü sonucuna ulaşılmıştır.

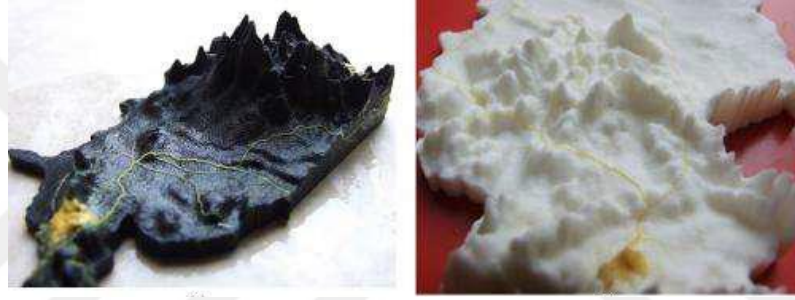


Şekil 3.21 İki boyutlu İzmir haritası üzerinde canlı yayılımı ve mevcut ağ ile karşılaştırılması (Altun ve diğer., 2018)

3.3.1.7 Üç Boyutlu Model Üzerinde *Physarum Polycephalum* Davranışı

Adamatzky (2016), literatürdeki çalışmaların çoğunlukla iki boyutlu olması, üç boyutlu çalışmanın çok az sayıda olması sebebiyle, üç boyutlu modelleme için Almanya ve ABD üzerinden deneysel ve sayısal modelleme gerçekleştirmiştir. Öncelikle üç boyutlu Almanya maketi 8,2 cm genişliğinde, 11 cm uzunluğunda ve 3 cm yüksekliğinde, ABD ise 11 cm genişliğinde, 5,9 cm uzunluğunda ve 3 cm yüksekliğindedir. Maketin topoğrafik yapısı uydu görüntülerinden alınmış ve sinterleme yöntemiyle naylon 12 malzemesi kullanarak basılmıştır. Arazi maketleri,

kapalı ancak doğal havalandırması olan kaplarda tutulmuştur. Gerekli nem koşullarını sağlamak için modeller su dolu kapların üzerine yerleştirilmiştir. Bu sayede, cıvık mantarın naylon yüzeyde yayılması için gerekli nemli ortam sağlanmıştır. Maketler görüntü kaydı ve gözlemlene dışındaki zamanlarda karanlıkta ve 22-27°C arasında tutulmuştur. Organizmanın oluşturduğu ağ fotoğraflanmış, taranmış ve sayısal olarak modellenmiştir (Şekil 3.22). Yapılan deney sonucunda organizmanın besin konulmayan noktalara neredeyse hiç gitmediği, birkaç güzergâh dışında diğer güzergahların mevcutla uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. 3 boyutlu model üzerinde yapılan çalışmanın, 2 boyutlu harita üzerinde yapılan çalışmadan daha verimli olduğu ve doğru sonuçlar çıkardığı sonucuna varılmıştır (Adamatzky, 2016).



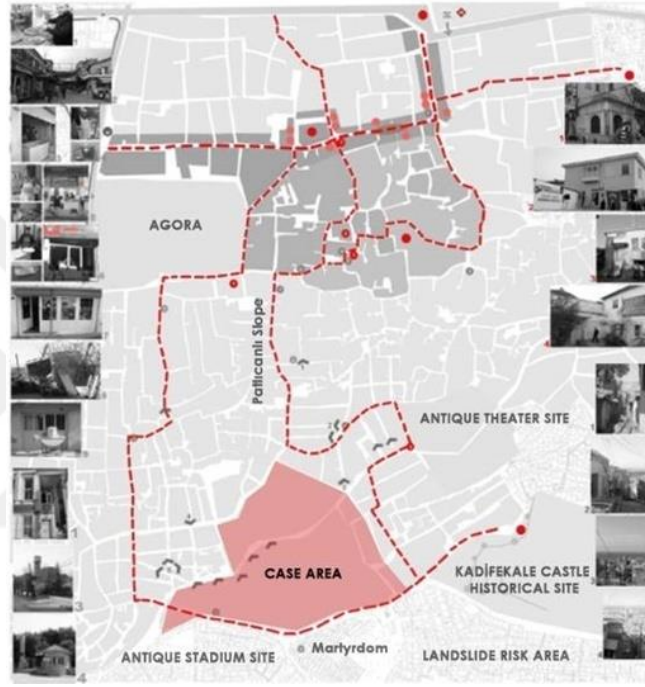
Şekil 3.22 Model üstünde cıvık mantarın davranışı (solda ABD, sağda Almanya) (Adamatzky, 2016)

3.3.2 *Physarum Polycephalum* ile İlişkili Mimarlık ve Tasarım Örnekleri

3.3.2.1 İzmir Kadifekale Rekreasyon Alanı Tasarımı

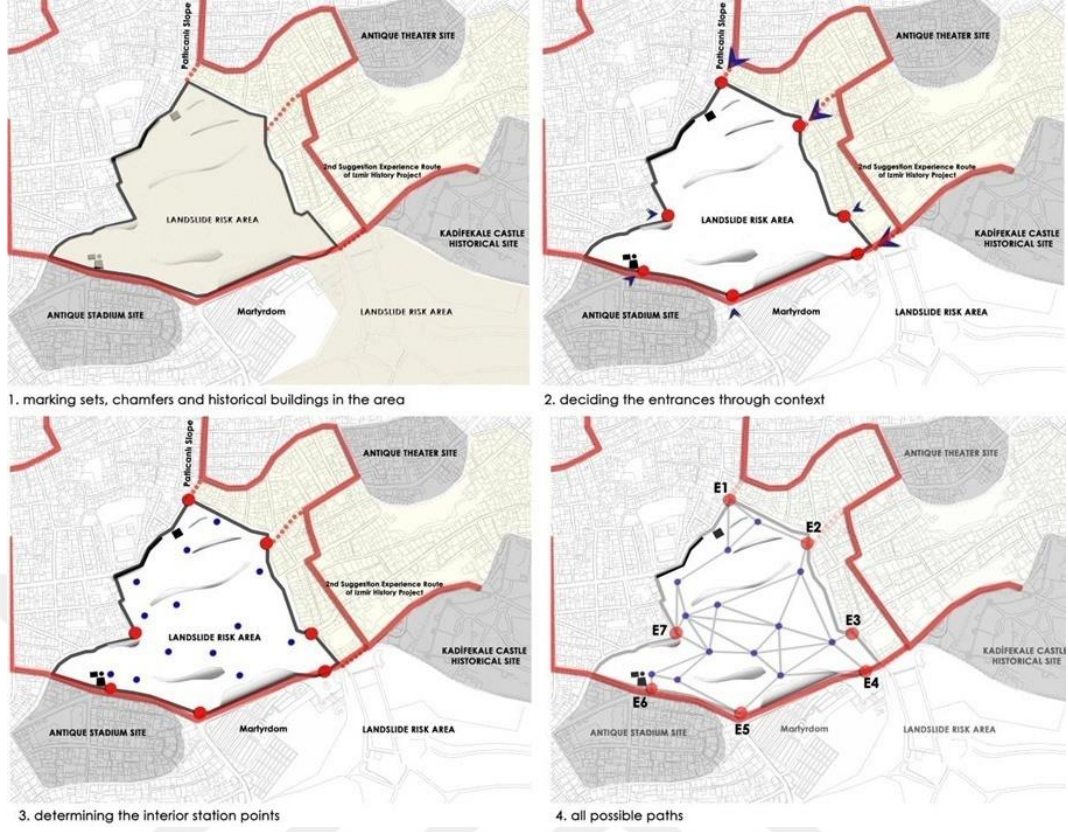
Türkiye Biyotasarım Takımı (2019), en kısa yol algoritmalarının kentsel ulaşım ağları planlamasına yönelik metodolojik bir yaklaşımla hem canlı hücrelerle deneysel olarak hem de matematiksel modelleme yoluyla değerlendirilmesini hedefleyen bir çalışma yapmıştır. Çalışmada bir model önerisi geliştirilmiş ve İzmir'in tarihi bölgelerinden olan Kadifekale rekreasyon alanındaki bir park tasarımında, yaya yollarının oluşturulması için bu model rehber olarak kullanılmıştır. Seçilen alan, İzmir Tarih Projesi ile de yakından ilgilidir. Üst ölçekten bakıldığında proje

Kemeraltı, Kadifekale, Agora ve Antik Tiyatro gibi kültürel odak noktalarını birleştirmeyi ve ayrıca farklı yerel deneyimler içeren rotalar oluşturmayı hedeflemektedir. Çalışma alanı, tüm bu alanların merkezinde kaldığından, eski şehir merkezinin yenilenmesinde önemli rol oynamaktadır. Türkiye Biyotasarım Takımı, bu boşaltılmış alan için biyoloji ile işbirliği yaparak bir tasarım konsepti oluşturmayı ve alanın rekreasyon amaçlı, İzmir Tarih Projesi'nde kullanılabilecek bir potansiyel ile yeniden düzenlenmesi için bir tasarım önerisi geliştirmeyi hedeflemiştir.



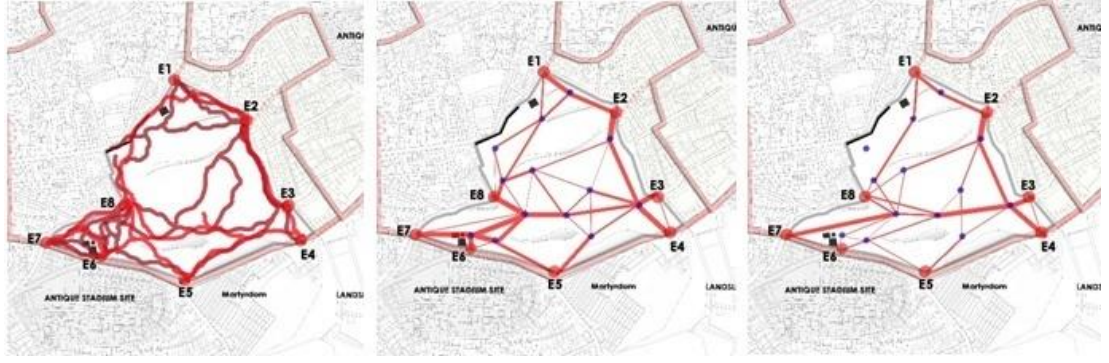
Şekil 3.23 İzmir-Şehir Projesi bağlamında ön planlama çalışmalarının deneyim yolları (DEÜ Final Raporu, 2015, s.66)

Çalışmada ilk olarak Kadifekale alanının bulunduğu petri kapları içinde cıvık mantarların davranışı gözlemlenmiştir. Daha sonra canlıların gösterdiği davranış, literatürde en kısa yol bulmak için kullanılan algoritmalarla karşılaştırılmış ve algoritma sonuçlarının canlının oluşturduğu yollara benzer sonuç verip vermediği gözlemlenmiştir. Çalışma kapsamında grafik teorisine dayanan Floyd- Warshall (FW) Algoritması ve biyolojik temelli olan Karınca Kolonisi Optimizasyonu (ACO) Algoritması kullanılmıştır.



Şekil 3.24 İki boyutlu haritanın hazırlanması ve arazi kararları (Köktürk ve diğer, 2019)

Deney ve simülasyon çalışmaları iki boyutlu haritanın hazırlanmasıyla başlamıştır. İlk aşamada arazi eğimleri, sınırlar ve tarihi binalar işaretlenmiştir. İkinci aşamada, alana giriş- çıkışların işaretlenmesi için alana yaklaşımlar incelenmiş ve erişim noktaları belirlenmiştir. Bu noktada bağlamsal birtakım veriler, yakın çevredeki arkeolojik alanlar ve oluşturulan deneyim rotaları etkin parametreler olmuştur. Sonraki aşamada, tarihi bina, topoğrafya ve eğim gibi sınırlayıcı öğeler doğrultusunda alan içinde odak noktaları işaretlenmiştir (Şekil 3.24, mavi noktalar). Son olarak, olası tüm yollar çizilmiş, FW ve ACO algoritmaları ile noktalar arasında en kısa yollar bulunmuştur.

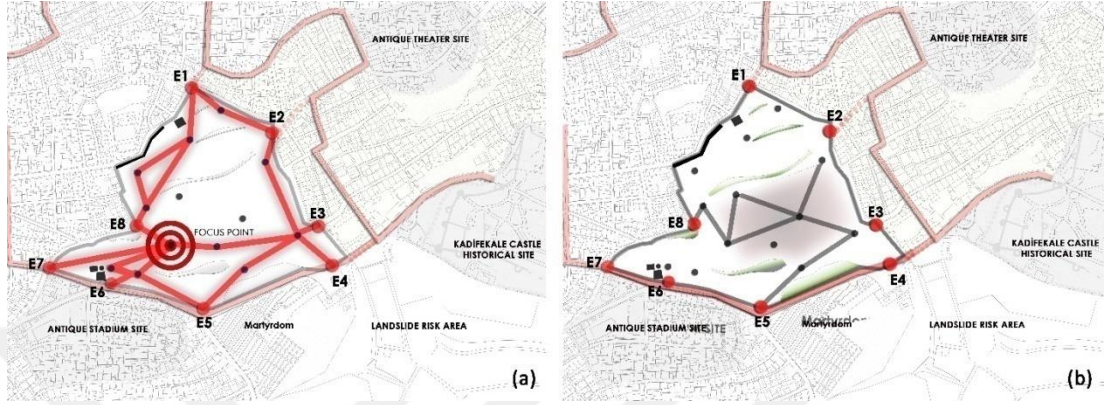


Şekil 3.25 En çok tercih edilen rota ve en kısa yolların karşılaştırılması (sırayla canlı deneyleri, ACO ve FW algoritması) (Köktürk ve diğer., 2019)

Cıvık mantarların beslenme davranışlarından faydalanılan ilk yöntem sonucunda, canlılar tarafından oluşturulan yolların en çok çeşitliliğe sahip olduğu görülmektedir (Şekil 3.25). İkinci yöntem olan FW algoritması ise en kısa yolları çıkaran geleneksel bir yöntemdir, ancak modelleme parametrelerinde yetersizdir ve en az çeşitliliği sağlamaktadır. Biyolojik temelli olan ACO yöntemi ise daha çok yol çeşitliliği sağlamaktadır ve düğüm noktaları arasında bağlantılar oluşturabilmektedir. Sonuç olarak cıvık mantarların oluşturduğu rotayla ACO ve FW algoritmalarının oluşturduğu rotaların büyük ölçüde örtüştüğü sonucuna ulaşılmıştır.

Köktürk ve diğer. (2019), petri deneyleri ve iki algoritmadan elde edilen sonuçlar göz önüne alındığında, kentsel tasarım bağlamında bazı öneriler getirilmiştir (Şekil 3.26). Özellikle, alanın batısında bulunan bir noktadan tüm cıvık mantarların geçmeyi tercih ettiği gözlemlenmiştir ve bu noktanın tüm alan için bir odak noktası olma potansiyeli taşıdığı belirtilmiştir. En kısa rotalar, insanlar için en aktif yollar olarak belirlenmiş ve bu yollarda kullanıcıların hızlı bir şekilde yürüyeceklerinden bu yolların sert bir malzemeye döşenmesi önerilmiştir. Ek olarak bu yol güzergahları üzerinde küçük satış birimlerinin yerleştirilmesi de önerilmiştir. Belirlenen noktalar arasındaki en uzun olan ve genellikle alanın ortasında bulunan yollar daha pasif alanlar olarak tanımlanmaktadır. Bu yolların daha farklı ve yumuşak bir malzemeye de kaplanabileceği, bu yollara bank gibi kent mobilyaları yerleştirilebileceği, piknik alanları, küçük amfi tiyatro basamakları veya yeşil doku olarak kullanılabileceği

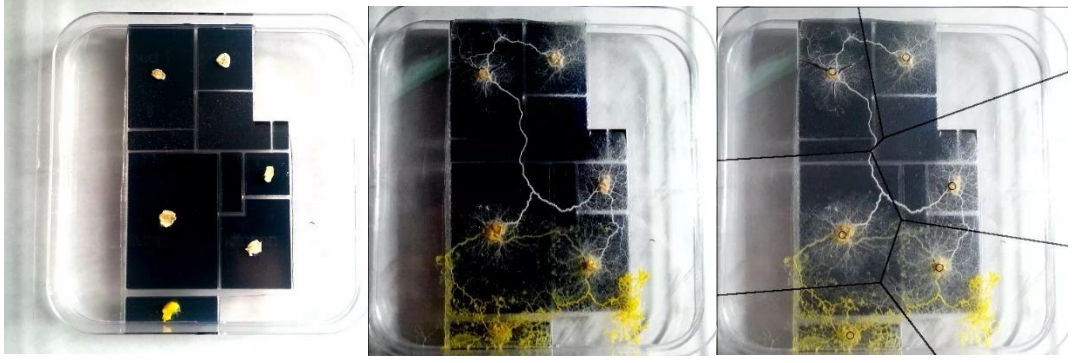
önerileri getirilmiştir. Sonuç olarak, CA simülasyonu, haritadaki olası insan rotalarıyla ilgili önemli bilgiler sağlamıştır. Bu verilerin analizi, Kadifekale'deki rekreasyon alanının tasarımında bir altlık olarak kullanımı için önemli bir potansiyele sahiptir.



Şekil 3.26 Odak noktası (a) ve tasarım önerisi (b) (Köktürk ve diğer., 2019)

3.3.2.2 Cıvık Mantarlarla Mekân Organizasyonu

Mimari tasarım sürecinde cıvık mantarlardan esinlenme olanaklarını araştıran mimar Matthew Hynam ve biyomedikal bilimcisi olan Richard Mayne (2015), yaptıkları çalışmada cıvık mantarları plan üzerindeki çizim sürecinde bir araç olarak kullanılmasını ve bunu pratiğe dökmeyi amaçlamıştır. İlk olarak dikdörtgen mekânlardan oluşan bir plan çizilip, bu mekânların orta noktalarına yulaf taneleri yerleştirilmiştir. Daha sonra belirlenen başlangıç noktasına canlı bırakılmış ve çalışma alanı içindeki davranışı incelenmiştir (Şekil 3.26). Canlının oluşturduğu rotalar mekânsal olarak ilginç bulunmuş; tasarımcılar, canlıların oluşturduğu rotalara göre bu plan tekrar çizildiğinde “biyo tasarlanmış bir ev” olacağını ve gelecekte yapılacak çalışmalarla cıvık mantarların tasarıma entegreolma potansiyeli barındırdığını söylemiştir. Ayrıca, bu konuyla alakalı bir algoritma oluşturulup, çeşitli mimari tasarım programlarına dahil edilmesi de önerilmiştir.



Şekil 3.27 Cıvık mantarların plan üzerinde davranışı (Mayne ve Hynam, 2015)

3.3.2.3 Yaşayan Ekranlar

Katalonya Mimarlık Enstitüsü (IAAC) öğrencileri (2017), doğa esinlenmeli tasarım sürecine odaklanan çalışmaları, mimarlık alanındaki çalışmalarla kesiştirebilecekleri yeni yollar aramaktadır. "Yaşayan ekranlar" olarak adlandırılan proje, bir cıvık mantar türü olan *P. polycephalum*'un tasarıma entegre edilme olasılıklarını araştırmaktadır. Proje, mekân ve kullanıcı arasındaki bilişsel ilişkileri ifade edebilecek yapısal bir "biyo makine" oluşturmak için cıvık mantarların biyolojik özelliklerini maksimuma çıkarmayı hedeflemektedir. İki ana bölüme ayrılan araştırmalardan ilki, cıvık mantarların biyolojik özelliklerinin saptanmasına odaklanırken, ikinci bölüm ise bilgisayar destekli prototipler kullanılarak cıvık mantarların mimariye nasıl entegre edilebileceği üzerinedir.



Şekil 3.28 Yaşayan ekranın iç mekânda görünümü (Rivera, 2017)

Araştırmacılar *P. polycephalum*'la dinamik desenler oluşturarak, bunu bir iç mekânda uygulamayı başarmıştır. İstenilen kullanım alanı ve koşullarına bağlı olarak, bir "besin dağıtım makinesi", kriterleri bir g koduna çevirmekte ve bu kodlar cıvık mantarların düzenlenmesinde koordinat olarak kullanılmaktadır. Bu "yaşayan ekran", güneş ışığının cıvık mantarın gelişimine engel olmadığı alanlarda dış mekânda da kullanılabilir. Kullanılan materyalin aslında yaşayan bir canlı sistem olması, zaman içinde kullanıcı ve mimari eser arasında dinamik deneyimler oluşmasını sağlamaktadır. Yaşayan ekran sistemi gelen ışığı filtreleme, rengini değiştirebilme ve saydam- yarı saydam- opak efektler oluşturabilme gibi özelliklere sahiptir (Şekil 3.28). Tasarımcılar doğayla birlikte ortak bir tasarım konsepti geliştirerek çevreyi kişiselleştirme fırsatı sunmayı ve kullanıcı- mimarlık arasında daha doğrudan bir ilişki kurmayı amaçlamaktadır. Ayrıca tasarımda biyolojik sistemlerin önemini vurgulayarak, canlı bir organizmanın o mekânı canlı hissettirebildiğini savunmaktadır (Rivera, 2017).



Şekil 3.29 Dış cephede kullanımı (Barselona oteli) (Rivera, 2017)

3.3.2.4 Gülümseyen Robot

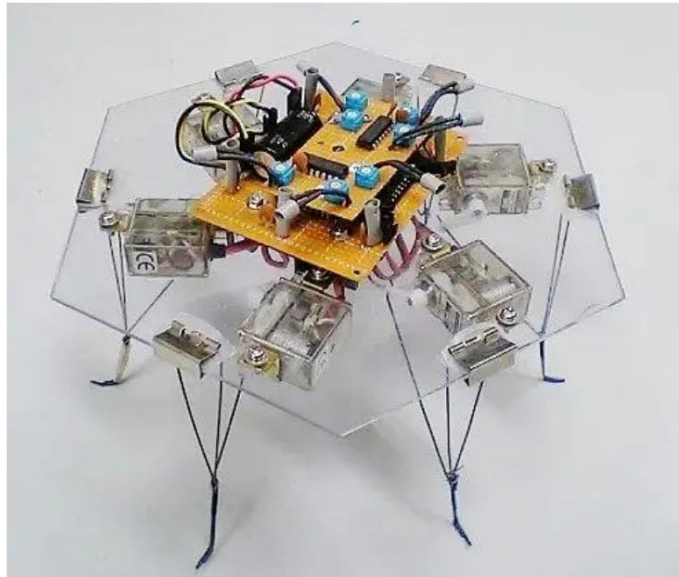
2013 yılında yapılan bir çalışmada, insana benzeyecek şekilde tasarlanan bir robotun yüz ifadesi, cıvık mantarlar ışık kaynağından uzaklaştığında ya da besine doğru hareket ettiğinde ürettiği elektrik sinyalleriyle kontrol edilmek üzere bağlanmıştır. Bu sistemde üretilen elektrik sinyalleri, duygular ile eşleştirilen sinyallere dönüşmektedir ve dönüşen ses de robotu, ilgili duyguyu yansıtmaları için tetiklemektedir. Ella Gale ve ekibi, ilk olarak ses verilerini birtakım parçalara bölmüştür. Daha sonra, bu parçaların her birini, cıvık mantarların besine doğru hareket etmesi ya da ışık kaynağından kaçması gibi eylemleri pozitif veya negatif olarak sınıflandırmışlardır. Bir psikolojik model kullanarak her ses parçasına bir duygu atamışlar (öfke, negatif, yüksek uyarılma; sevinç, pozitif, düşük uyarılma gibi) ve cıvık mantarın hareketi doğrultusunda oluşturan sesler HansonRobotics tarafından tasarlanan "Jules" isimli robotun duygu değişime göre şekillenen yüz ifadelerinde kullanılmıştır. Robotun tanıtımı, 1 Ağustos 2013 yılında Londra'daki "Living Machines" konferansında yapılmıştır. Gale, tasarlanan bu robotun *P. polycephalum*'un özel yeteneğinin güçlü bir yansıması olarak tariflemektedir. Cıvık mantarla beyin arasındaki bağlantıyı iki farklı sistemin de öğrenme yeteneği olduğunu savunarak kurmaktadır (Biever, 2013).



Şekil 3.30 Robotun cıvık mantara göre yüz ifadesinin değişimi (Biever, 2013)

3.3.2.5 Korkuyla Hareket Eden Robot

Southampton Üniversitesi'nden Klaus Peter Zauner 2006 yılında, Kobe Üniversitesi'nden bir ekiple cıvık mantar tarafından kontrol edilen bir robot geliştirmiştir. Zauner, " Bugün sahip olduğumuz bilgisayarlar onları tasarladığımız için çok iyi ancak karmaşık bir ortamda işler yolunda gitmiyor" diyerek bir robotun davranışlarını kontrol etmenin daha basit yollarını aramaktadır. Zauner ve ekibi, *P. polycephalum*'un besine doğru hareket etmesi, ışıktan kaçması ve nemli ortamları sevme gibi özelliklerini altı ayaklı (hexapod) olarak tasarladıkları hareket edebilen bir robotu yönlendirmek için kullanmışlardır. Cıvık mantar, altı köşeli yıldız şeklindeki bir devrenin üstüne yerleştirilmiş ve bilgisayar aracılığıyla hexapod robota bağlanmıştır. Altı noktası bulunan devrenin her bir noktası robotun bir bacağına karşılık gelmektedir. Devrenin üzerine gelen ışığı kontrol etmek için robotun üzerinde monte edilen sensörlere ışık kaynağı eklenmiştir. Cıvık mantarlara ışık verildiğinde canlı uzaklaşmaya başlamakta ve bu durum devre tarafından algılanarak robotun bacaklarından birini hareket ettirmektedir. Bu proje ile ilgili detaylar 26- 27 Ocak tarihinde Japonya'nın Osaka kentinde düzenlenen, İkinci Uluslararası İleri Bilgi Teknolojisinde Biyoloji Esinlenmeli Yaklaşımlar Atölyesi'nde sunulmuştur (Knight, 2006).



Şekil 3.31 Cıvık mantar hareketiyle ilerleyen robot (Knight, 2006)

3.3.2.6 *Physarum Polycephalum* Şarkısı

Meksikalı bir sanatçı olan Leslie Garcia (2015), Paloma Lopez ile birlikte “Enerji Bükme Laboratuvarı” adını verdikleri, cıvık mantarların elektriksel hareketlerini sese çevirebilen bir cihaz tasarlamıştır. Bu cihaz aslında cıvık mantarların düşük voltajlarını yükselten ve onları “insan dışı ritimler” denilen ürkütücü ve çarpıcı birtakım seslere dönüştürebilen bir dizi modüler araçtır. Elektrotlar, elektriksel aktiviteyi ölçmek ve kaydetmek için petri kabındaki cıvık mantarlara bağlanmış ve bilgisayar programları aracılığıyla duyulabilir salınımlara çevrilmiştir. Oluşan ritimlerin canlının hareketine bağlı olmasına rağmen, melodi tasarımcı tarafından seçilmektedir. Garcia, estetiğin tasarımcı tarafından belirlendiğini ve ortaya çıkan bu şarkının organizma-insan işbirliği olduğunu söylemektedir. Çeşitli uyarıcılar petri kabına verilerek ritmin frekansı belirlenebilmektedir. Örneğin ışığı sevmeyen bu organizma, ışığa maruz kaldığında elektriksel aktiviteyi yavaşlatmakta ve daha yumuşak bir ses ortaya çıkmaktadır. Garcia, bu canlılara doğadaki bir organizmanın sesini vererek, bilim insanlarının küçük organizmaların çevrelerini nasıl algıladıklarını öğrenme konusunda yardımcı olacağını savunmaktadır (Stinson, 2015).



Şekil 3.32 Cıvık mantarların hareketini sese dönüştüren cihaz (Stinson, 2015)

3.3.2.7 Sanatsal Çalışmalar

P. polycephalum'un uygun ortam koşullarında gözle görülebilir şekilde büyümesi, alana yayılırken oluşturduğu desenler birçok sanatçının dikkatini çekmiştir ve bu organizmaları kullanarak yapılan sanatsal çalışmalar da bulunmaktadır. Sarah Roberts isimli sanatçı, canlıyı yaptığı resimlerin üzerine bırakarak, canlı alana yayıldığında floresanla boyayarak bu çalışmaları görsel olarak kaydetmiştir. Bio-Logic ise “Yaşayan Strüktürler ve Koloni” isimli çalışmasında, organizmaların büyümesi için yararlı olan besin maddelerini (yulaf) içeren agar bazlı desenler oluşturup cıvık mantarların davranışı video şeklinde görselleştirmiştir (Şekil 3.33).



Şekil 3.33 Floresan hücre boyama (solda) ve yaşayan strüktürler (sağda) (Roberts, 2019)

Ayrıca bu canlının besine ulaşmak için sinir sistemi ya da beyni bulunmamasına rağmen diğer organizmalarla birleşip besine ulaşma davranışı sosyal bir deney konusu olmuş ve Heather Barnett öncülüğünde “Cıvık Mantar Olmak: Biyotasarım İçin Canlandırma” isimli bir çalışma yapılmıştır (Şekil 3.34). Bu çalışmada birbirlerine iplerle bağlanan katılımcılar hiç konuşmadan, sadece beden dillerini kullanarak hedefe ulaşmayı denemiştir. Yapılan bu çalışmanın amacı, modern hayat dinamikleri sonucu bireylerin unuttuğu topluluk olma hissini yeniden canlandırmak ve egolarından sıyrılıp bir arada olabilmelerini sağlamaktır.



Şekil 3.34 Cıvık mantar olmak atölyesi (Heatherbarnett, 2017)

Yaklaşık 200 yıl önce tanımlanan ve o zamandan beri çok farklı disiplinlerden bilim insanlarının dikkatini çeken bu canlı, merkezi bir sinir sistemi ya da duyu organları bulunmamasına rağmen hareket etme ve yön bulma yeteneğine sahiptir. **Besin arama sürecinde besine giden en kısa yolu bulabilen bu canlı, bu doğrultuda mimarlık ve planlama gibi disiplinler için yaratıcı düşünciyi tetikleyebilecek bir potansiyel olarak görülmektedir.**

3.4 Hesaplamalı Tasarımda En Kısa Yol Bulmaya Dair Algoritmalar

Kentsel tasarım, şehir planlama, mimarlık ve peyzaj gibi birçok disiplini kapsayan karmaşık ve zorlu bir süreçtir. Kentsel nüfusun artması, alan yetersizliği ve ulaşım gibi birtakım problemleri de beraberinde getirmektedir. Kentleşmenin artmasıyla, kolay erişilebilirlik ve hız kavramı kullanıcılar için önemli parametrelerden biri olmuştur. Kentsel tasarım ölçeğinde özellikle kamusal açık alanlarda, yaya davranışlarıyla uyumlu kısa yolların dikkate alınması, daha sağlıklı ve kolay erişilebilir kentsel alanların tasarlanması açısından önem taşımaktadır. Ancak çoğunlukla sadece gözleme dayalı ya da tasarımcının sezgileri doğrultusunda öngörüler geliştiren konvansiyonel tasarım süreçleri, kullanım aşamasında kullanıcı davranışlarıyla uyumsuz ve yetersiz kalmaktadır. Buna yönelik olarak, kullanıcının davranış biçimlerini tasarım sürecine entegre etmeye yönelik çeşitli denemelere rastlanmaktadır.

Tüm hayvanların ve insanların, içgüdüsel olarak zaman içinde kısa yolu bulmaya yönelik eğilimleri mevcuttur. Yumuşak zeminli alanlarda yürüyen yayaların belli bir süre sonra kendi izlerini oluşturdukları kolaylıkla gözlemlenebilmektedir. Bilgisayar teknolojilerinin henüz tasarıma entegre olmadığı dönemlerde, tasarımcılar bu sezgisel davranış biçimlerinden kentsel tasarım ölçeğinde yararlanmıştır. Bunun en bilinen yerel örneklerinden biri ODTÜ yerleşkesinin peyzaj tasarımıdır.

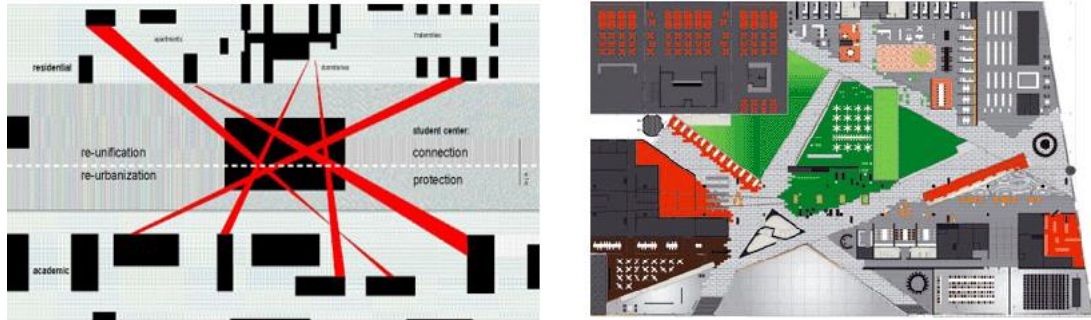
Orta Doğu Teknik Üniversitesi'nin bugünkü yerleşkesinin yerleşim planı 1961 yılında açılan, uluslararası jüri üyelerinin yer aldığı, ulusal proje yarışması ile elde edilmiştir. Yarışmayı kazanan Altuğ ve Behruz Çinici'nin projeleri doğrultusunda yerleşkenin inşasına 12 Mayıs 1961 yılında Mimarlık Fakültesi binası ile başlanmıştır. Çinicilerin planının öngördüğü binaların inşaatlarının tamamlanması 1970'li yılların sonuna kadar sürmüştür. Yerleşke dokusu, *alle* olarak adlandırılan ve yerleşim sisteminin omurgasını oluşturan yaya dolaşım eksenini boyunca örgütlenmektedir. Ana yaya omurgası, topografik yapıya uyumlanarak yumuşak arazide sırt boyunca kuzey-güney doğrultuda uzanmaktadır. Yaya yolu boyunca batıda “akademik bölge” doğuda ise ortak yapıların oluşturduğu “merkez” yer alır. Merkezde oluşan ikinci bir yaklaşım eksenini, “akademik olmayan bölge” ile bağlantıyı sağlamaktadır (Büyükcivelek ve diğer., 2016).

ODTÜ Ankara Yerleşkesi, ilk kurulduğu dönemden itibaren yaya öncelikli bir mekânsal tasarım ve planlama yaklaşımına konu olmuştur. İnşaat sürecinde *alle* olarak adlandırılan ana yaya omurgası, eğitim binaları ve taşıt yolları inşa edildikten sonra, Behruz ve Altuğ Çinici özellikle yapılar arasındaki geçiş patikaları ve küçük yaya yollarını bu süreçte boş bırakarak, bir yıl sonra öğrencilerin yürüyerek patikaya çevirdiği alanları yaya yolları olarak tasarlamışlardır.



Şekil 3.35 ODTÜ Kampüs yerleşkesi (Saltonline, 2015)

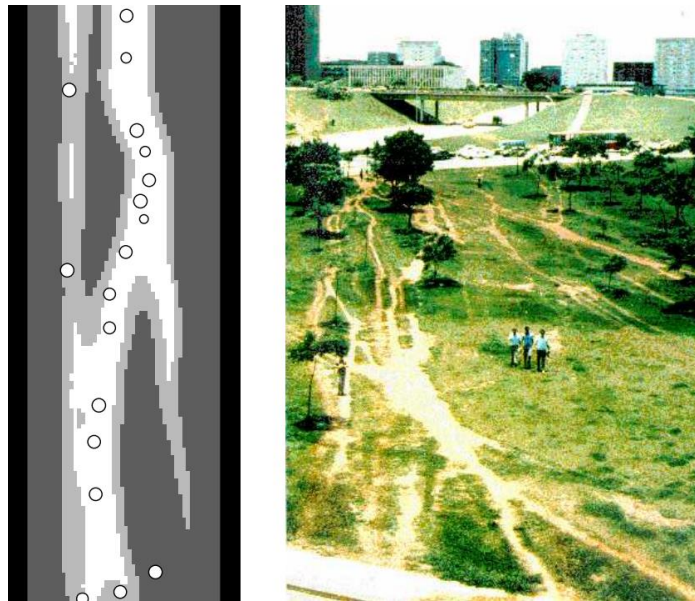
Benzer bir yaklaşımın uluslararası ölçekteki örneği olarak ise Rem Koolhaas'ın McCormick Tribune Öğrenci Merkezi'nden (2003) bahsedilebilir. Koolhaas, tasarım öncesinde yaptığı gözlemler doğrultusunda öğrencilerin sıkça kullandığı güzergahları belirlemiştir ve binalar arasında aşındırdıkları yollar, Koolhaas'ın tasarımındaki koridorları oluşturmuştur (Pehlivan, 2010).



Şekil 3.36 Güzergah çalışmaları (Pehlivan, 2010)

Elbette ki bu yöntem, bitmiş bir tasarımın ve mevcutta kullanılan bir alanın uzun süre gözlemlenmesini gerektirmektedir. Bu anlamda düşünüldüğünde cıvık mantarların en kısa yolu bulma niteliklerinin hem süreç açısından daha avantajlı olduğunu, hem de tasarıma başlamadan önce veri elde edebilme avantajını taşıdığını söylemek mümkündür. Zaman içinde gelişen bilgisayar teknolojileri sayesinde, yayaların ve diğer canlıların davranışlarını gözlemleyerek biyomimetik bir yaklaşımla dijital ortama aktaran çalışmalardan da bahsetmek gerekir. Bu ortamlar, kentsel alanlarda en kısa yolu bulma konusunda, hızlı ve faydacıl bir seçenek sunmaktadırlar.

Yaya hareketleri ve simülasyon kavramlarının öncülerinden olan Dirk Helbing, "İnsan ve Hayvan İzi Sistemi Şekillenmesi İçin Aktif Yürüyücü Modeli" adlı makalesinde, yayaların yumuşak zeminde oluşturdukları patikaların biçimini incelemiş; daha sonra bu sistemi geliştirerek bir simülasyon modeli oluşturmuştur. Helbing, yaya simülasyon alanında "gövde izi biçimlenmesi" (trunk trail formation) modelini geliştirmiştir. Helbing, daha sonra oluşturduğu simülasyonların, çevreden edindiği gerçek verilerle kıyaslamasını yapmıştır (Helbing ve diğer., 1997).



Şekil 3.37 Simülasyon sonucu (solda) ve Brasilia Üniversitesi Kampüsü (sağda) (Helbing ve diğer., 1997)

Literatürde kısa yol bulma algoritmaları (shortest path algorithm) arasında Floyd-Warshall Algoritması (FWA), Bellman-Ford Algoritması, Dijkstra Algoritması, Johnson's Algoritması, Postman Algoritması vb. gibi farklı matematiksel modellemeleri esas alan algoritmalar mevcuttur. Bunlar hali hazırda navigasyon programları, kargo dağıtım ağları, taşıt rotaları, altyapı şebekeleri gibi farklı alanlarda herhangi bir servis hizmeti için en uygun yerlerin tespit edilmesi, en yakın mesafenin ortaya konulması ve dağıtım güzergâhlarının ortaya çıkarılması için kullanılmakta olup Graf Teori tabanlıdır. Karınca Kolonisi Optimizasyonu (ACO), *Physarum Polycephalum* Algoritması, Genetik Algoritma (GA), Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) ise en kısa yol bulan diğer algoritmalar olup, canlıların davranışlarını esas alarak geliştirilen biyolojik tabanlı algoritmalar.

"Karınca Kolonisi Optimizasyonu" (ACO), gerçek karıncaların yuvaları ile besin noktası arasındaki en kısa yolu bulma yeteneklerinden esinlenilerek geliştirilmiş bir algoritmadır. Karıncalar, alternatif güzergahların söz konusu olduğu durumlarda ilk olarak bu yollara eşit olasılıkla dağılırken, bir süre sonra en kısa olan yolda yoğunlaşmaktadır. Zaman geçtikçe ise tüm karıncalar en kısa güzergahı tercih etmektedir. Karıncalar bunu yaparken, önceki geçişlerde güzergahlarda kalan *feromon* izlerinden faydalanırlar. Görme yetileri çok gelişmiş olmayan karıncalar, yol tercihlerini *feromon* izlerinde göre yapmaktadır ve *feromon* miktarının yüksek olduğu güzergahlar daha çok tercih edilmektedir. Karınca Kolonisi Optimizasyonu (ACO) ilk olarak Gezgin Satıcı Problemi (Travelling Salesman Problem) (TSP) üzerinde uygulanmıştır. Bir noktadan başlayarak ve tüm noktalara bir kez uğrayarak tekrar aynı noktaya en kısa yoldan dönmek diye tanımlanan TSP'nin çözümünde ACO'nun oldukça etkili olduğu görülmüştür (Kesintürk ve Söyler, 2006). Birtakım kentsel ölçekteki problemler için de ACO algoritması önerilmiştir. Bunlar arasında kentsel büyümenin sınırlandırılması, tedarik zincirinin fiziksel akışının etkin kontrolü, tsunami tahliye bölgeleri, su kaynaklarının yönetimi, elektrik enerjisi dağıtım şebekeleri bulunmaktadır (Köktürk ve diğer., 2019).

P. polycephalum türü cıvık mantarın davranışsal yeteneklerini modelleyerek en kısa yolu bulma problemine çözüm önerisi getiren algoritmalar üzerinde çalışan farklı araştırmacılar bulunmaktadır. Tero, Kobayashive Nakagaki (2006) tarafından erken dönemde üretilen matematiksel modelin yanı sıra, Adamatzky ve ekibi tarafından (Zhang ve diğ, 2014) geliştirilen *Physarum Polycephalum Algoritması* (IPPA), Siriwardana ve Halgamuge (2012)'un çalışmaları ile Y. Sun'un (2016) *Physarum-inspired Algorithms* (PAs) buna örnek olarak verilebilir. Bilgisayar mühendisi Jeff Jones ise, *P. polycephalum* türü cıvık mantarın davranışsal yeteneklerinden esinlenerek, Rhino programının algoritma editörü olan Grasshopper'da simülasyon yapmak için "Physarealm" adlı açık kaynaklı bir araç (tool) geliştirmiştir. Jones, 2015 yılında yayınladığı "Örüntü Oluşumundan Malzeme Hesaplamasına: *Physarum Polycephalum*'un Çok Etmenli Modellemesi" (From Pattern Formation to Material Computation: Multi-agent Modelling of *Physarum Polycephalum*) adlı kitabında, sentez yaklaşımını ve basit davranışları kullanan çok etmenli mobil bir sistem benimsemiştir. Geliştirdiği model, *P. polycephalum*'un büyümesi, noktalar arasında bağlantılar oluşturmaları, nokta bulunmayan alanlardan çekilme gibi davranışsal özelliklerini taklit etmektedir. Önceki çalışmalardan farklı olarak, cıvık mantarların hareketlerini grafik temelli bir arayüze taşıdığı için önemli olan ancak birtakım kısıtlılıklar da barındıran bu model üzerinde daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir (Yidong ve Weiguo, 2017).

Biyolojik tabanlı en kısa yol bulma algoritmaları her ne kadar gerçek zamanlı deneylere daha kısa süreli bir alternatif olarak düşünülebilirse de, henüz gelişmekte olan bu araştırmaların da belirli kısıtları bulunmaktadır. Tasarım sürecinde, tasarım alanında belirlenen nokta sayılarının artması durumunda mevcut algoritmaların hesaplama süresi uzamakta ve algoritma yetersiz kalmaktadır. Ancak canlı organizma, nokta sayısının artması durumunda da sağlıklı bir optimizasyon yaparak ağ kurmayı başarabilmektedir. Bunun yanı sıra bu tez çalışması, cıvık mantarların en kısa yolu bulma özelliklerine öncelikle odaklanmakla birlikte, farklı ve yenilikçi çalışmalarla gelecekte, canlıların tasarımın farklı aşamalarında kullanılması olanaklarının keşfedileceğine inanılmaktadır.

BÖLÜM DÖRT

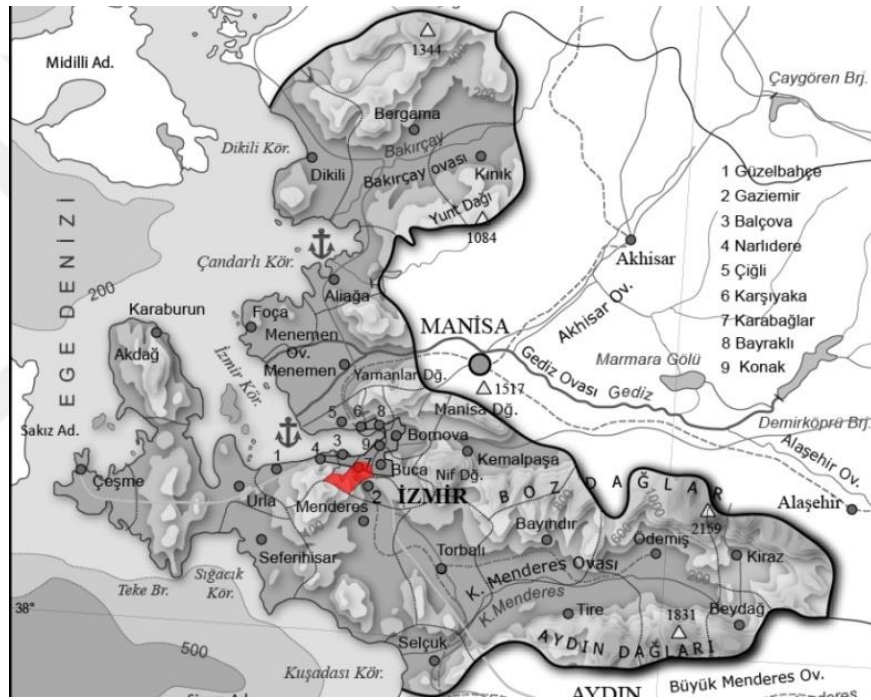
KARABAĞLAR KENT MEYDANI TASARIMI'NDA CIVIK MANTARLARLA İŞBİRLİĞİ

Tezin üçüncü bölümünde incelenen cıvık mantarların akılcı davranışlarının kentsel tasarımda kullanım potansiyellerini araştırmak için alan çalışması kapsamında belirli bir alan seçilmiş ve kentsel ölçekte yaya yolları tasarımı *P. polycephalum* türü cıvık mantarın altlık olarak kullanılmasıyla ilgili çeşitli denemeler yapılmıştır. Bu süreçte ilk olarak seçilen alanın tanıtımı ve yapılan kapsamlı çevre analizinden bahsedilmiştir. Yapılan çevre analizlerinin sonuçları doğrultusunda iki boyutlu haritanın hazırlanması ve üçüncü bölümde canlıya ilişkin yapılan optimizasyonlar doğrultusunda deney ortamının uygun hale getirilmesi çalışmaları yapılmıştır. Daha sonra iki boyutlu harita üzerinde hazırlanan deney ortamına canlı bırakılmış, deney sonuçları doğrultusunda bir tasarım altlığı oluşturulmuştur. Son olarak ise, tez çalışması kapsamında seçilen alan için geliştirilen tasarım altlığının, aynı alanda 2017 yılında Karabağlar Belediye'si tarafından açılan yarışmada ödül kazanan tasarımlarla karşılaştırmalı değerlendirmesi yapılmıştır.

4.1 Alanın Tanıtımı ve Çevre Analizleri

P. polycephalum türü cıvık mantarların kentsel tasarım altlığı oluşturmakta kullanımına yönelik deneme çalışmaları kapsamında seçilen arazi, İzmir İli, Karabağlar İlçesi'nde, mevcutta boş halde bulunan yaklaşık 40.000 metrekarelik bir alandır. Bu alan, deney sonuçlarında optimum verilere ulaşabilmek adına eğimi az olduğu ve aynı alanda 2017 yılında açılan bir tasarım yarışması bulunduğundan ödül almış projelerle karşılaştırma olanağı sunduğu için seçilmiştir. Karabağlar İlçesi İzmir için; kent merkezine yakınlığı ile ulaşım ağları, hizmet sektörlerini barındırması, kentsel fonksiyonlardaki çeşitlilik, konut ve işgücü talebinin arttığı, gelişme potansiyeli olan önemli ilçelerden biri olarak belirtilmektedir. İlçenin tarihine bakıldığında, yaklaşık 200 yıl önce bölgede çiftliklerin ve bağ evlerinin yer

aldığı; ilçenin adını kara üzüm bağlarından aldığı bilinmektedir.1950’li yıllarda başlayan hızlı göç ve gecekondulaşmanın getirdiği çarpık kentleşme sonucunda bölge hızlı bir değişim sürecine girmiş; 1963 yılında planlama alanını da içeren şimdiki Karabağlar İlçe sınırları içerisinde Yeşilyurt Belediyesi kurulmuş ve 1980’li yıllara kadar Belediye olarak kalmıştır. Sonraki süreçte 2008 yılına kadar Konak Belediyesi sınırları içinde kalmıştır. 2008 yılındaki idari bölünmeden sonra kurulan Karabağlar İlçesinin yüz ölçümü yaklaşık 9860 hektar olup Türkiye İstatistik Kurumu’nun 2016 yılı adrese dayalı nüfus kayıt sistemine göre toplam nüfus 480253 kişi olarak belirlenmiştir (Karabağlar Belediyesi, 2017).



Şekil 4.1 Karabağlar ilçesinin İzmir il fiziki haritasındaki konumu (Cografyaharita, 2015)

Karabağlar İlçesi; kuzeyde Konak, Balçova, Narlıdere, doğuda Buca ve Gaziemir, batıda Güzelbahçe, güneyde Menderes İlçeleri ile sınır komşusudur. Seçilen tasarım alanı, Karabağlar İlçesi’nin yoğun yerleşim bölgesi olan Vatan Mahallesi sınırları içinde, İhsan Alyanak Bulvarı üzerinde bulunmakta olup, bu bulvar da İzmir’in önemli bağlantı yollarından olan İnönü Caddesi’ni Dostluk Bulvarı üzerinden Yeşillik Caddesi’ne, Aydın- İzmir Çevreyoluna bağlamakta ve İzmir Adnan Menderes Havalimanı’na erişimi kolaylaştırmaktadır.



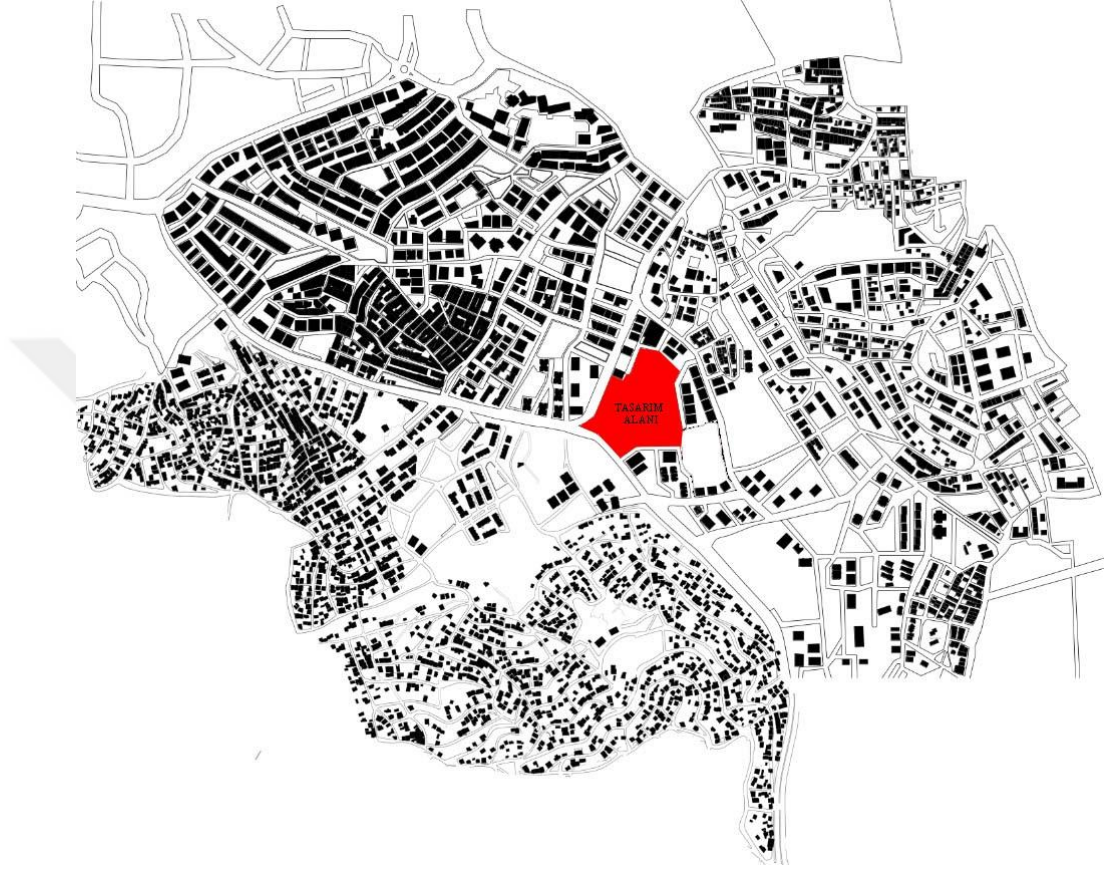
Şekil 4.2 Tasarım alanı

İzmir Karabağlar Belediye Başkanlığı tarafından 24 Nisan 2017 tarihinde “Kamusal Açık Mekân ve Kent Meydanı Kentsel Tasarım Proje Yarışması” başlıklı açılan yarışmayla kentteki bu boşluğun kente geri kazandırılması; kentsel yaşam kalitesi ve kentin mekânsal kimliğine katkı sağlayacak tasarım yaklaşımları ile işlevsel ve yenilikçi çözümler öneren uygulanabilir projelerin elde edilmesi hedeflenmiştir. Tez kapsamında da alan çalışması için yarışma arazisi seçilmiş ve seçilen tasarım alanını merkez alan 1,24 km yarıçaplı dairesel bir bölge belirlenerek bu bölgenin kentsel doku farklılıkları, kamusal alan kullanımları, yapılı çevre, ulaşım analizleri yapılmıştır.²

²Alana ilişkin yapılan çevre analizleri, DEÜ ARC5116 Seminars on Architecture Yüksek Lisans dersi kapsamında, Doç. Dr. İlknur Türkseven Doğrusoy yürütücülüğünde; İrem Kale, Rabia Akgül, Can Hazal Ar, Gizem EROL ve Rafet Utku tarafından 2017 yılında hazırlanmıştır.

4.1.1 Kentsel Doku Analizleri

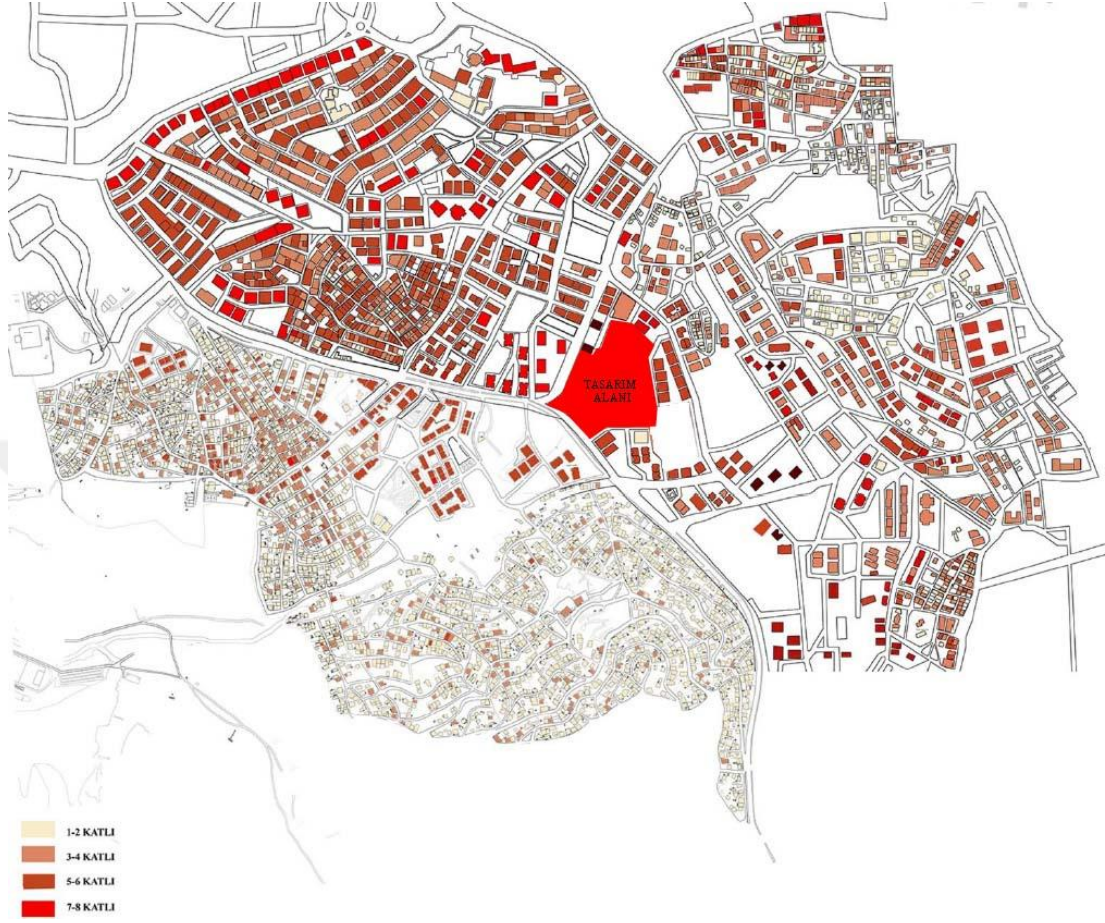
4.1.1.1 Dolu- Boş Analizi



Şekil 4.3 Dolu- boş analizi haritası

Alana genel olarak bakıldığında kuzeybatısı, doğusu ve güneyi olmak üzere net olarak 3 bölgeye ayrıldığı görülmektedir. Arazinin kuzeybatısında kalan bölge, yapılaşmanın en yoğun olduğu yerdir. Bu alanda daha çok kapalı konut siteleri bulunmaktadır. Doğusunda kalan bölge daha küçük parsellerden oluşmakta ve bu alanda topoğrafyayla uyumlu şekilde yerleştirilmiş tekil apartmanlar bulunmaktadır. Arazinin güneyinde kalan bölge ise gecekondü yapılarıyla şekillendiği için; düzensiz, sıkışık doku oluşmuştur. Bu alanda hafriyat ve inşaat alanı olarak belirtilen boş ve atıl alanlar büyük oranda bulunmaktadır.

4.1.1.3 Gabari Analizi

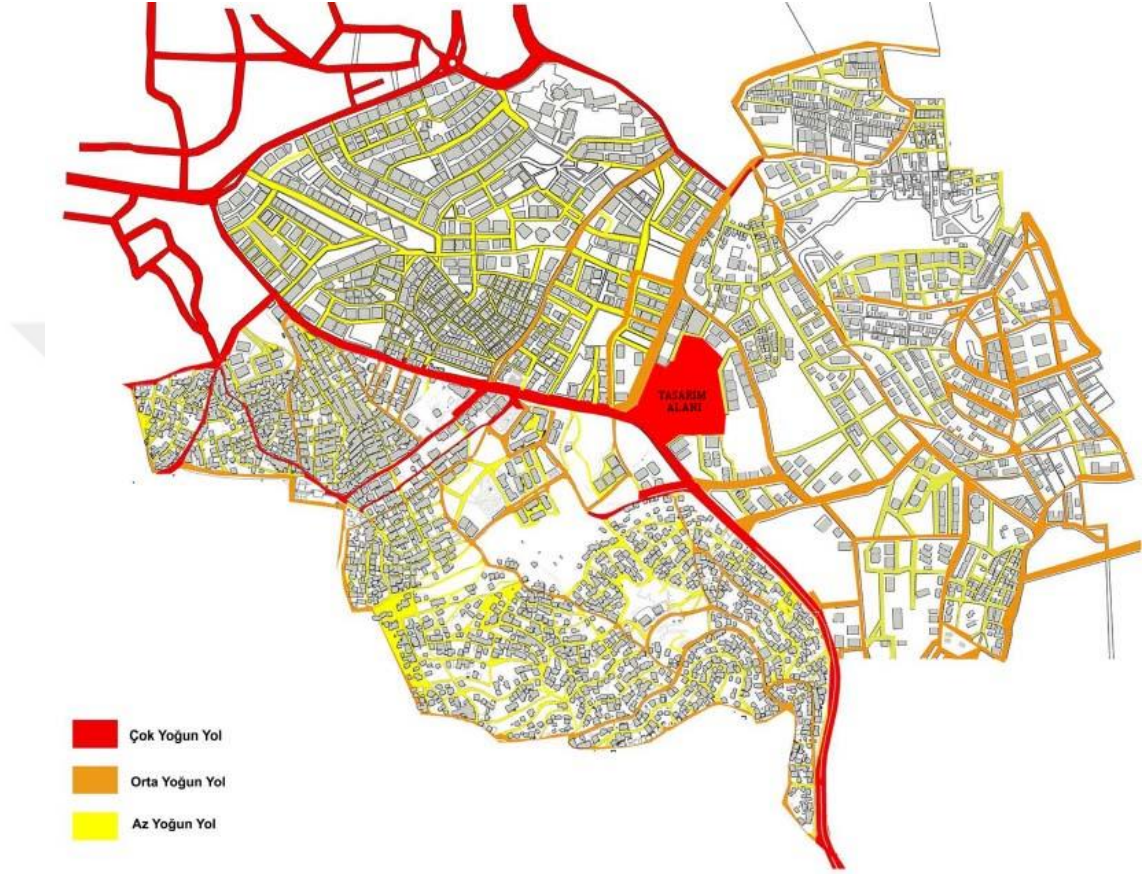


Şekil 4.5 Gabari analizi haritası

Arazinin kuzeybatısında kalan bölge diğer bölgelerle kıyaslandığında gabarinin en fazla olduğu bölgedir. Tasarım alanının çeperini oluşturan İnönü Caddesi boyunca yüksek katlı konut blokları olduğu görülmektedir. Doğusunda kalan bölgede ise gecekonduların yıkılarak yerini kapalı sitelere bırakmaya başladığı görülmektedir ve bu bölgede çoğunlukla 3-4 katlı yapıların bulunduğu görülmektedir. Arazinin güneyinde kalan bölge gecekondular ağırlıklı yerleşime sahip olduğundan gabari olarak çok daha düşüktür.

4.1.2 Kamusal Analizleri

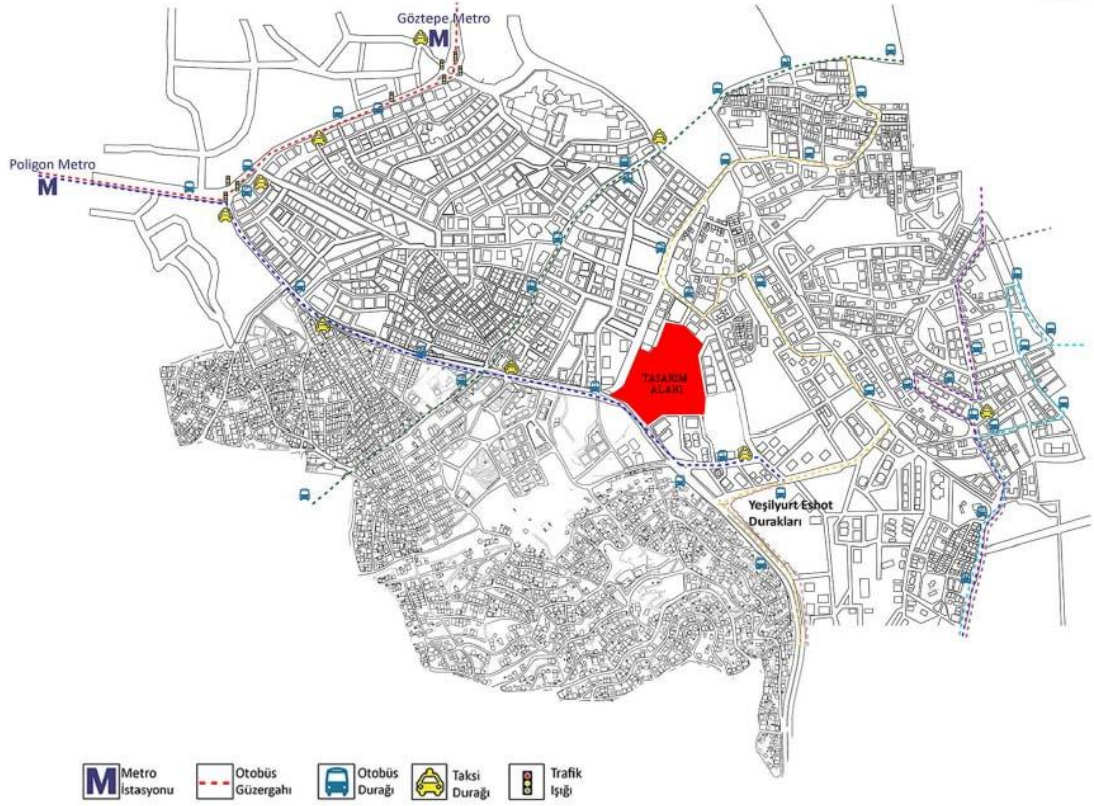
4.1.2.1 Yol Ağı Analizi



Şekil 4.7 Yol ağı analizi haritası

Tasarım alanının güneyinde 1. Derece yoğun yol olan İhsan Alyanak Caddesi, batısında ise yoğun trafiğe sahip İnönü Caddesi bulunmaktadır. Bu iki ana aks dışındaki yollar genellikle konut dokusuna hizmet ettiği için az yoğun yollardır. Bölgede eğimden dolayı konutlara ulaşım merdivenli sokaklar üzerinden yapıldığı için bu sokaklar taşıt ulaşımını engellemektedir. Yakın çevrede taşıt trafiğinin olmadığı, herhangi bir düzenlemenin yapılmadığı patika yollar da bulunmaktadır.

4.1.2.2 Toplu Taşıma Ağı Analizi



Şekil 4.8 Toplu Taşıma Ağı Haritası

Toplu taşıma güzergahlarına bakıldığında, İnönü Caddesi üzerinde Göztepe ve Poligon metro durakları bulunmaktadır. İnönü Caddesi, İhsan Ayanak Bulvarı ve 52/1 Sokak, toplu taşıma (ESHOT) aksı olarak kullanılmaktadır. Ana aks olarak kullanılan yollarda çok sayıda taksi durağı bulunmaktadır. Arazinin doğusunda kalan bölgede Yeşilyurt Aktarma Merkezi bulunmaktadır. Ayrıca alanda hastane bulunduğundan bu akstan toplu taşıma araçları sıklıkla geçmektedir.

4.1.2.4 Güvenlik Analizi



Şekil 4.10 Güvenlik analizi haritası

Gece kullanımına bakıldığında, bölgede taşıt trafiği ve ticaretin yoğun olduğu alanların daha güvenli olduğu tespit edilmiştir. Bu alanlarda donatı elemanı olan aydınlatmalar yeterli düzeyde kullanılmıştır. Tasarlanan aktif yeşil alanlar dışında kalan pasif yeşil alanlar ve büyük atıl boşluklara herhangi bir düzenleme yapılmadığından bu alanların akşam saatlerinde karanlık ve güvensiz olduğu tespit edilmiştir.

4.1.3 GZFT Analizi

Tablo 4. 1 GZFT Analizi

Güçlü Yönler
İzmir kent merkezine, kıyıya, çevreyoluna toplu taşıma ve özel araçlarla kolay ulaşılabilir bir bölge olması
Ulaşım kolaylığından dolayı konut yerleşiminde yeni gelişen ve tercih edilen bir bölge olması
Eğim sayesinde bazı alanlarda denizle görsel bağlantı kurulabilmesi
Bu alan geçmişte tarım arazisi olarak kullanıldığı için verimli bir toprağa sahip olması
Zayıf Yönler
Tasarlanmış yeşil alanlarda eğime yönelik çözüm yetersizliklerin erişilebilirliği zayıflatması
Kamusal alanlarda fiziksel ve görsel erişim güçlüğü
Kentsel donatı ve ticari alan yetersizliği
Alanda gerek yapısal gerek sosyokültürel farklılıkların bulunmasından dolayı bölgeleşme oluşmuş ve bölgelerin kendi içine dönük olup; karşılaşma, etkileşme alanları barındırmaması
Yeni gelişen bölgeler dışında genel olarak alanda altyapı eksikliği bulunması
Fırsatlar
Eğimin yönlendirici özelliği kullanılarak değerlendirilebilecek manzara potansiyelleri
Merdivenli sokakların, trafikten arınmış olduklarından dolayı sokak yaşantısına dair potansiyel barındırması
Tasarım alanının çevre yoluna bağlantısı bulunması nedeniyle bir çekim noktası olabilme potansiyeli
Birbirinden soyutlanmış farklı sosyokültürel yapıdaki insanlar için bir karşılaşma mekânı olma potansiyelini barındırması
Tehditler
Hızla gelişen yüksek katlı yoğun yapılaşmanın soylulaştırmaya zemin hazırlaması
Farklı sosyokültürel yapıdaki kullanıcıların birbirini ötekileştirme olasılığı
Kalifiye olamayan iç göç ve çarpık yerleşme
İstinat duvarlarının fiziksel erişilebilirliği kesmesi ve bazı bölgelerdeki aydınlatma elemanlarının yetersiz olması sebebiyle güvenlik tehdidi

4.2 Alan Çalışmasına İlişkin Deney Ortamının Hazırlanması ve Yöntem

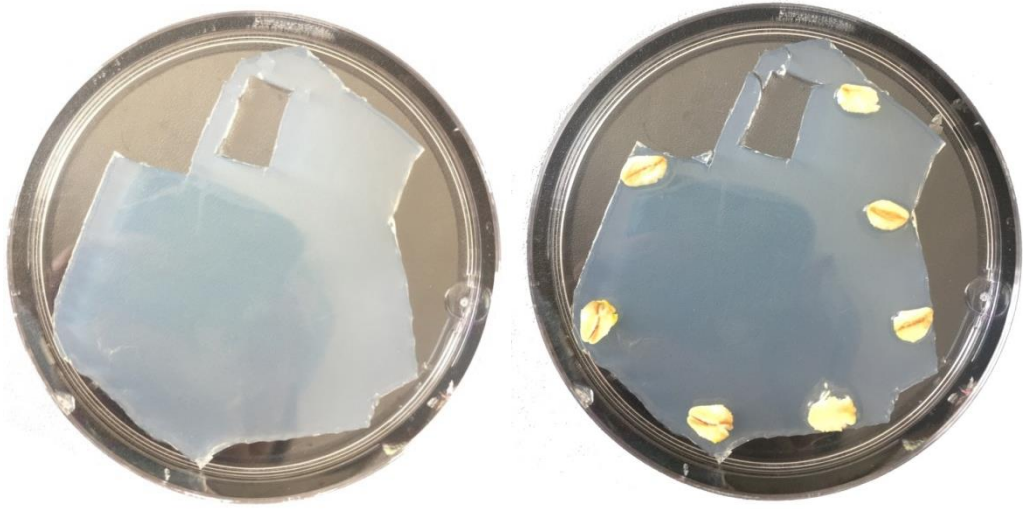
İki boyutlu olarak hazırlanan haritalarda, literatürde yapılmış çalışmalardan öğrenilenler doğrultusunda, ilk olarak alan içinde engel oluşturabilecek nitelikler hazırlanan vaziyet planı üzerinde işaretlenmiştir. Seçilen alan içinde bulunan İhsan Ayanak Kapalı Spor Salonu, alan içindeki yaya hareketini belirleyen faktörlerden olup, yaya ulaşımını engellediği için *P.polycephalum*'un yayılımının istenmediği alan olarak tespit edilmiştir. Spor salonu binasıyla birlikte, seçilen alan sınırı da bir sınırlayıcı olarak ele alınmış, bu iki faktör dışında alandaki eğimin yürünebilir olmasından dolayı herhangi bir coğrafi engel belirlemeye ihtiyaç duyulmamıştır. Bir sonraki aşamada, giriş-çıkış noktalarının işaretlenmesi için alana yaklaşımlar incelenmiş; İhsan Ayanak Bulvarı'ndan yaya yaklaşımın olduğu (no. 1 ve 7), Faruk Akar Karasu Caddesi'nden (no. 2), Pazar Yeri ve İhsan Ayanak Kapalı Spor Salonu'ndan (no. 3), mahalle yaşantısının bulunduğu bölgelerden (no. 4 ve 5) ve hem mahalle yaşantısının olduğu hem de eğitim yapısının yakınında bulunan alandan yaya yaklaşımının olduğu nokta (no. 6) olmak üzere toplamda 7 erişim noktası belirlenerek iki boyutlu harita üzerinde işaretlenmiştir. Bu noktalar, alana ilişkin yapılan ve Bölüm 4.1'de sunulan kapsamlı çevre analizleri sonucu belirlenmiştir.



Şekil 4.11 Karabağlar'da seçilen alana ilişkin yapılan işaretlemeler

Literatürde yapılmış çalışmalara bakıldığında canlının gitmesi istenilmeyen bölgelere deney ortamında ışık bantları ya da tuz ile işaretlemeler yapıldığı görülmektedir. Ancak üçüncü bölümde yapılan optimizasyonlar ve pilot çalışmalar doğrultusunda *P. polycephalum*'un yayılımındaki en önemli etkenlerden birinin nem olduğu görülmüş, bu doğrultuda en verimli yayılım gösterdiği yüzeyin agar olduğu ve sonuç olarak en etkili sınır işaretleme yönteminin agar yüzeyini kesmek ya da yapışkanlı kâğıt kullanmak olduğu anlaşılmıştır. Bu doğrultuda tez çalışması kapsamında yapılan deneylerde agar yüzeyi kesilerek işaretleme yapılmıştır.

P. polycephalum'un karanlık ortamları tercih ettiği ve koyu renkli yüzeylerde daha iyi yayılım gösterdiği bilinmektedir (Wohlfarth-Bottermann ve Block, 1981; Nakagaki ve diğer., 1999). Yapılan optimizasyonlar sonucunda canlının aydınlık ortamda da gelişme gösterdiği ancak karanlık ortamda maksimum verimde yayılım gerçekleştirdiği bilindiğinden, yapılan deney düzenekleri, fotoğraflama süreci dışında, koyu renkli bir kutuya ışık alamayacak şekilde ve oda sıcaklığı 25°C'de sabit tutularak konulmuştur. İki boyutlu kent haritalarının literatürdeki çalışmalarda (Tero ve diğer., 2010; Adamatzky, 2016) genellikle 90mm.lik petri kapları içerisinde denendiği görülmektedir. Bu çalışmada, canlının en verimli yayılım gösterdiği yüzeyin agar olması doğrultusunda 90mm.lik petri kapları deney ortamı olarak tercih edilmiş, seçilen alanın 90mm.lik petri kaplarına sığabilmesi için iki boyutlu harita yaklaşık olarak 1/5000 ölçekli hazırlanmıştır (Şekil 4.12). Büyüme ortamı olarak da %2 oranında başka herhangi bir besleyici içermeyen agar (nonnutrientagar) kullanılmıştır. Agar, 121°C'de 15 dakika boyunca otoklavda steril edilmiş, kabinde tek kullanımlık steril petrilere dökülerek kullanılmıştır.



Şekil 4.12 Alan sınırının agar yüzeyinden kesilerek oluşturulması ve belirlenen erişim noktalarına yulaf konulması (Kişisel arşiv, 2019)

Literatürde incelenen çalışmalarda (Adamatzky, 2016; Tero, 2010), insan yoğunluğunun en fazla olduğu ya da politik, sosyal, ekonomik, coğrafik açıdan merkez olarak kabul edilebilecek bir noktadan canlının alana bırakıldığı görülmüştür. Bu doğrultuda tez kapsamında yapılan alan çalışmasında belirlenen erişim noktaları, alana ilişkin yapılan kapsamlı çevre analizleri sonucunda yaya kullanımının yoğun olduğu ve sosyal anlamda önem taşıyan bölgelerde işaretlenmiştir. Alana yaklaşımın olduğu çeperde 7 erişim noktası belirlenmiş, 8. noktanın konumu ise en yoğun yaklaşımın olduğu İhsan Akyan Bulvarı'na yakın olması, alanda bulunan eğimin düzleşmeye başladığı yer olması ve yaklaşık olarak geometrik merkezde bulunması gerekçeleri doğrultusunda belirlenmiştir. Benzer yöntemlerle 11 farklı petri kabı deney çalışması için oluşturulmuştur.

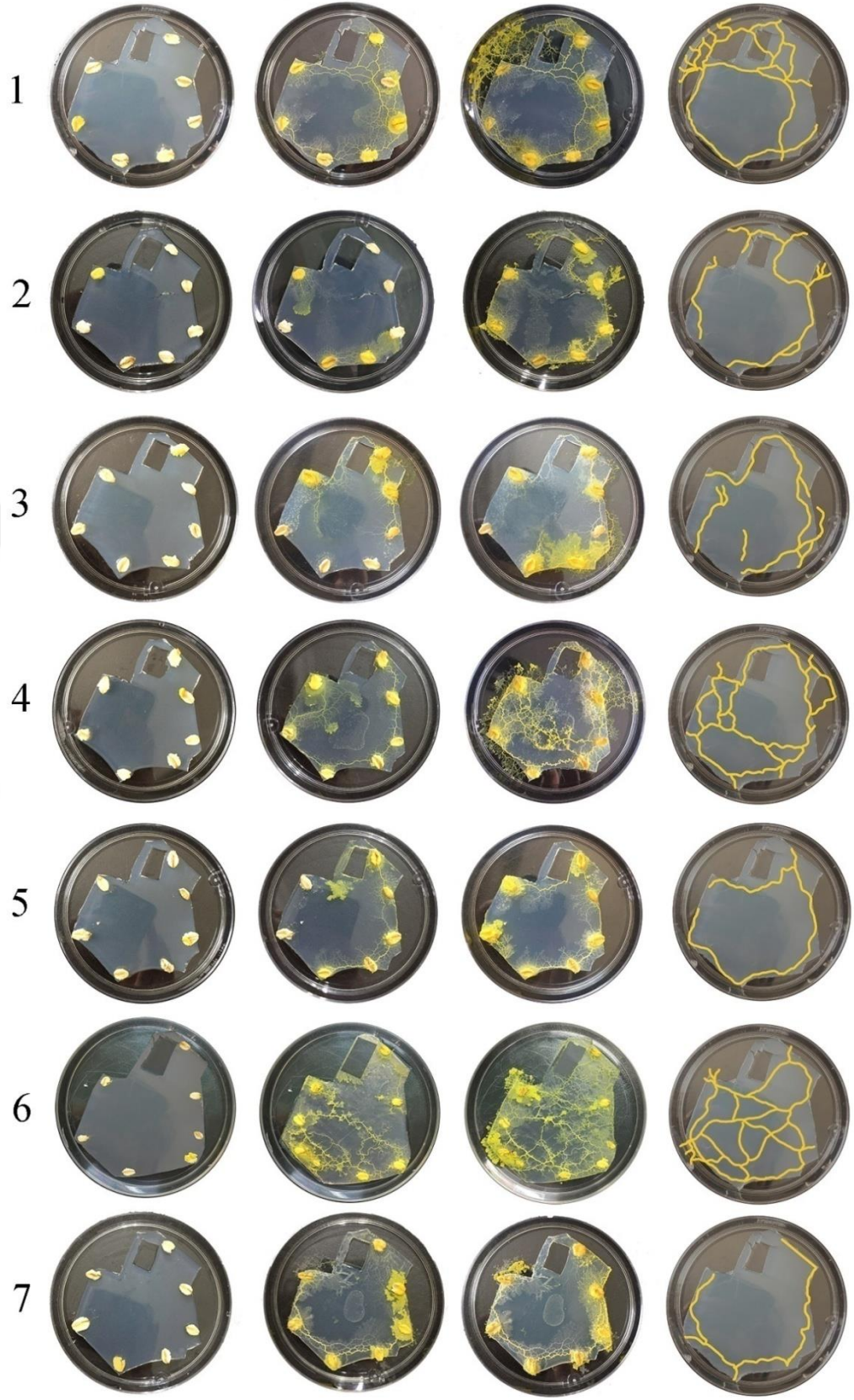
Çalışmalarda en çok kullanılan besin maddesinin yulaf olduğu görülmüştür (Adamatzky ve Schubert, 2012). Bu çalışmada da erişim noktalarına besin kaynağı olarak birer adet yulaf tanesi yerleştirilmiş ve distile su ile nemlendirilmiştir (Şekil 4.12). Thompson (2018) yaptığı 2 boyutlu harita denemelerinde *P. polycephalum* ile yulaf tanelerini harita üzerine eş zamanlı olarak yerleştirmiştir. Türkiye Biyotasarım Takımı (TBT) ise, yaptıkları çalışmada (Altun ve diğer., 2018) canlı ve besinin harita

üzerine eş zamanlı ya da ardıl olarak yerleştirilmesine ilişkin deneyler yapmış ve sonuçlarda önemli bir değişiklik olmadığını gözlemlemiştir. Sonuç olarak bu çalışmada da canlı ve besin, deney ortamına eş zamanlı olarak yerleştirilmiş ve canlı davranışları gözlemlenmiştir. Gözlem süresi, *P. polycephalum* yayılımının yavaşlaması, durması, kontrolü zorlaştıracak kadar hızlanması ya da kontaminasyon³ durumuna bağlı olarak belirlenmiştir. Söz konusu durumlardan biri oluştuğunda yeni bir deney seti kurularak canlı hücre bir öncekinden yeniden kültürlenmiştir⁴.

İki aşamalı olarak kurgulanan deneylerin **birinci aşamasında**, 90mm.lik petri kaplarında, iki boyutlu olarak hazırlanan deney ortamlarında yaya giriş- çıkış noktalarını temsil eden erişim noktalarına yulaf konulmuş, canlı, her deneyde farklı bir erişim noktası üzerinde olacak şekilde deney ortamına bırakılmıştır. Birinci aşama deneylerde bu yöntemle toplam 7 deney yapılmıştır. **İkinci aşama deneylerde** ise, ilk deney setinde canlıların tasarım alanının merkezine gitmedikleri görüldüğünden öncelikle 1 deneyde erişim noktalarının her birine yulaf konulmuş, canlı merkezde bir noktaya bırakılmış; sonrasındaki 3 deneyde erişim noktalarının yanı sıra orta noktaya da yulaf konulmuş ve canlının davranışı gözlemlenmiştir. Böylece tez kapsamında toplamda 11 deney ortamı oluşturulmuştur. İlk aşama kapsamında yapılan deney sürecinde canlının gösterdiği davranışlar belli aralıklarla fotoğraflanmış, Şekil 4.13'te canlının çizdiği final rotalar ile birlikte sunulmuştur. *P.polycephalum*, literatüre benzer bir şekilde nemli olmayan ortamlardan kaçınarak agar yüzeyi üzerinde yayılım göstermiştir. Ancak ortamın nem oranının yükseldiği deneyin son aşamalarında, canlının agar bulunmayan petri kabının yüzeyine geçtiği, hatta petri kabından çıkmaya çalıştığı görülmektedir.

³Temiz olan bir ortama herhangi bir yolla kir ve/veya mikroorganizmaların bulaşması/ bulaştırılması

⁴Organizmanın canlılığı devam ettirilerek yeni bir petri kabına aktarılması



Şekil 4.13 *PhysarumPolycephalum*'un deney ortamı üzerinde davranışı, birinci aşama deneyler (Kişisel arşiv, 2019)

Birinci aşama deneylerde yapılan ilk deneyde, yaya giriş çıkış noktalarını temsil eden erişim noktalarından altısına yulaf tanesi, noktalardan İhsan Alyanak Bulvarı üzerinde olan ve yaya kullanımının en yoğun olacağı düşünülen, arazinin güneybatısında bulunan (no. 1) erişim noktasına yulaf tanesi ile birlikte eş zamanlı olarak canlı da bırakılmıştır. Yaklaşık 120 saatlik gözlem sonucunda canlının oluşturduğu ana bağlantıların net olarak okunabilmesi, yulaflarda kontaminasyon başlaması ve canlının petri kabından dışarı çıkmaya çalışması sebebiyle deney sonlandırılmıştır.

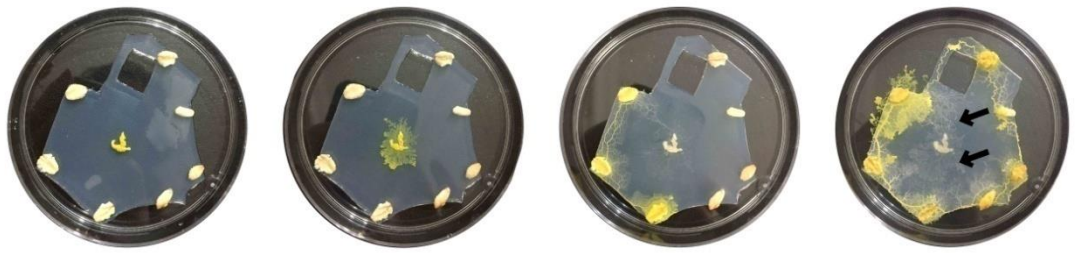
İkinci deneyde Faruk Akar Karasu Caddesi'nden alana yaklaşım için belirlenen erişim noktasına (no. 2) yulaf tanesiyle canlı bırakılmış, diğer 6 noktaya da eş zamanlı olarak yulaf taneleri konulmuş ve 92 saat boyunca canlının davranışı gözlemlenmiştir. 92 saatin sonunda cıvık mantar kolonisinin 7 nokta arasında koyu ve kalın sarı yolların yanı sıra daha ince ve kılcak izler de oluşturduğu, sonuç olarak da arayışına devam ettiği görülmüştür. Agar yüzeyinde başlayan renk değişimi ve kontaminasyon belirtisi nedeniyle canlı hücreler yeni bir petriyekültürlenerek ikinci deney sonlandırılmıştır.

Üçüncü, dördüncü ve beşinci deney ortamları eş zamanlı olarak kurulmuş ve 92 saat boyunca petri kapları gözlemlenmiştir. Her üç petride de tüm noktalara yulaf konulmuş, canlılar da; üçüncü petride 9242. Sokaktan yaklaşım alan ve spor salonunun hemen yanına bulunan noktaya (no. 3), dördüncü petride 9242/3 Sokaktan yaklaşım alan noktaya (no. 4) ve beşinci petride 9242/3 ve 9244 Sokaklarının kesişiminde bulunan noktaya (no. 5) yulaflarla birlikte konulmuştur. 92 saatin sonunda yulaflarda kontaminasyon başlaması, agar yüzeyindeki renk değişimi ve canlının petri kabından çıkmaya çalışması sebebiyle deneyler sonlandırılmıştır.

Altıncı ve yedinci deney ortamları eş zamanlı olarak kurulmuş ve 168 saat boyunca petri kapları gözlemlenmiştir. Her iki petriye de eş zamanlı olarak canlı ve yulaf taneleri konulmuştur. Altıncı deney ortamına canlı, 9105/8 Sokaktan yaklaşım

alan erişim noktasına (no. 6), yedinci deney ortamına ise İhsan Alyanak Bulvarı ve 9105/8 Sokakların kesişiminde bulunan erişim noktasına (no. 7) konulmuştur. 120. saate gelindiğinde altıncı deney ortamındaki canlı petri kabından dışarı çıktığından dolayı deney sonlandırılmıştır. Yedinci deney ortamında, 168 saatin sonundacanlının oluşturduğu ana bağlantıların çok net okunabilmesi ve erişim noktalarına konulan yulafları çürütmesi sebebiyle deneyler sonlandırılmıştır (Şekil 4.13).

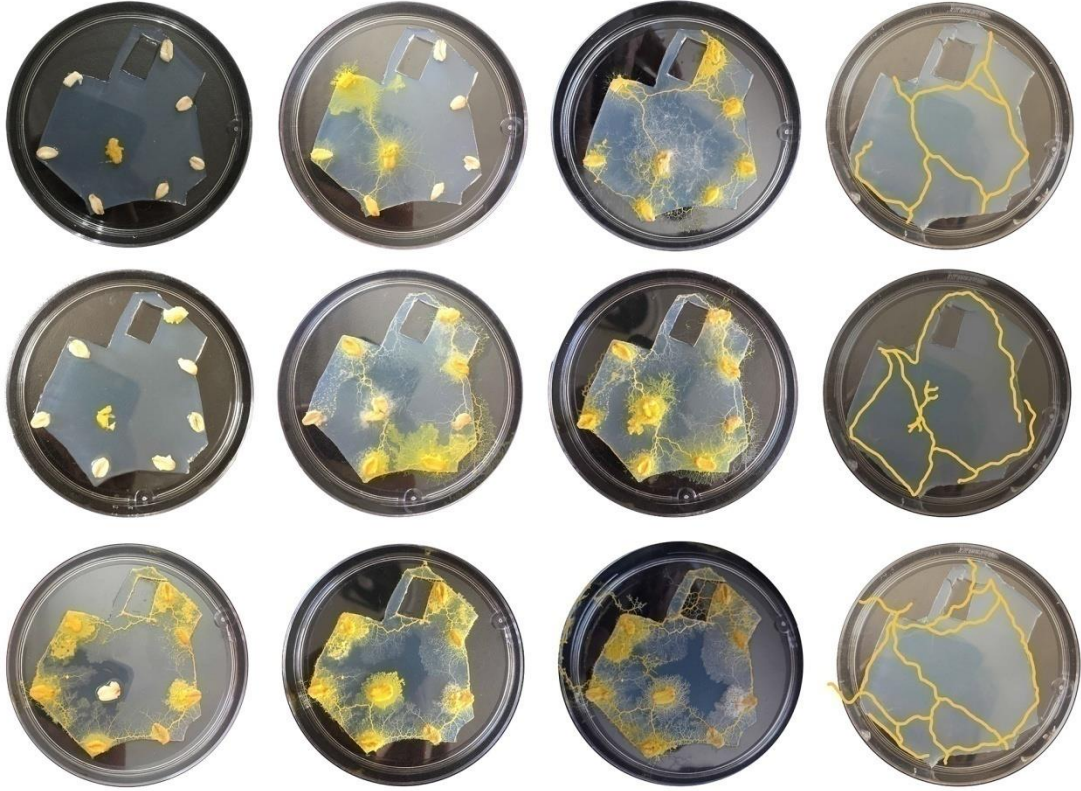
Birinci aşamada yapılan deneylerde canlının orta alandan geçmediği görüldüğünden (4. ve 6. deney ortamları hariç), **ikinci aşama kapsamında** yapılan sekizinci deneyde, 7 erişim noktasına yulaf taneleriyle eş zamanlı olarak merkezde bir noktaya da (no. 8) canlı bırakılmış ve 84 saat boyunca davranışı gözlemlenmiştir. Deney sonucunda canlının, bırakıldığı noktadan yulafların olduğu alanlara gittiği ve konulduğu bölgeye beyaz izlerden bıraktığı görülmüştür (Şekil 4.14, siyah ok). Beyaz izin, koloninin bu bölgeye tekrar gelmesini önlemek için organizmanın kendi kendine vermiş olduğu bir mesaj olması sebebiyle deney sürecinde canlı bu bölgeye tekrar gelmeyi reddetmiştir. Merkez noktaya sadece canlı konulmasının yetersiz kaldığı anlaşıldığından, sonraki deneylerde canlıyla birlikte yulaf da konulmaya başlanmıştır.



Şekil 4.14 *Physarum Polycephalum*'un deney ortamı üzerinde davranışı, ikinci aşama deneyler, ilk deney (84 saatlik gözlem süreci) (Kişisel arşiv, 2019)

İkinci aşama deneylerin devamında dokuzuncu ve onuncu deney ortamları eş zamanlı olarak kurulmuş, 72 saat boyunca petri kapları gözlemlenmiştir. Her iki petride de erişim noktalarına konulan yulaflarla eş zamanlı olarak merkez noktaya yulaf ve canlı konulmuştur. 72 saatlik deney sürecinin sonunda, canlının oluşturduğu ana bağlantıların okunuyor olması ve yulaflarda kontaminasyon başlaması sebebiyle deneyler sonlandırılmıştır.

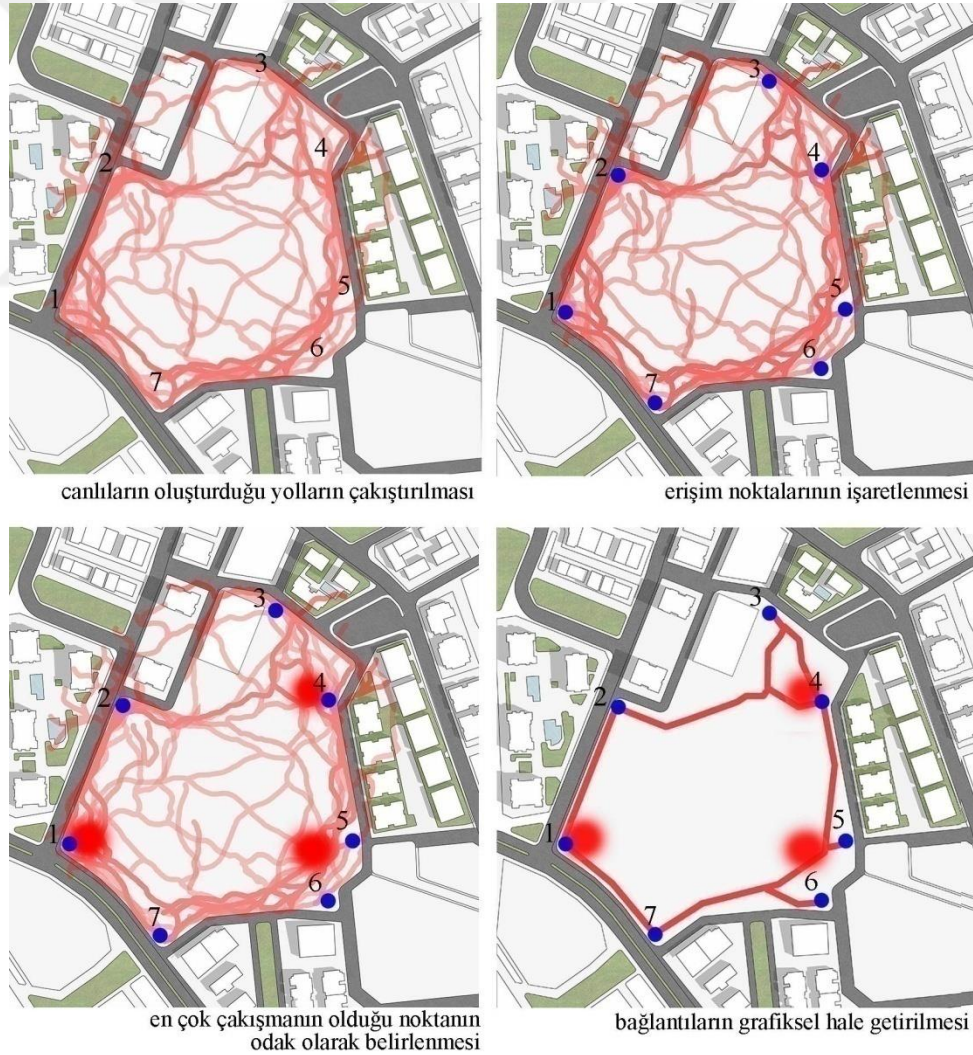
On birinci deney ortamında ilk olarak erişim noktalarına yulaf taneleri ve canlı konulmuş, 72 saat sonunda canlının besinler arasında oluşturduğu ana bağlantıların okunabilir hale gelmesiyle merkez noktaya (no. 8) yulaf konulmuş ve 24 saatlik süreçte canlı davranışı gözlemlenmiştir. 96 saatlik deney sürecinin sonunda, canlının besinler arası kurduğu bağlantıların okunabiliyor olması ve ilk süreçte konulan yulaflarda kontaminasyon oluşması sebebiyle deney sonlandırılmıştır (Şekil 4.15).



Şekil 4.15 *Physarum Polycephalum*'un deney ortamı üzerinde davranışı, ikinci aşama deneyler (5 günlük gözlem süreci) (Kişisel arşiv, 2019)

4.3 İki Boyutlu Harita Deneylerine İlişkin Bulgular

Birinci aşama kapsamında yapılan 7 deney sonucunda ilk olarak, canlının oluşturduğu bağlantılar hazırlanan vaziyet planı üzerinde çakıştırılmıştır. Daha sonra vaziyet planı üzerine, önceden belirlenen erişim noktaları konulmuş ve bu noktalar arasındaki ana bağlantılar (canlının en çok gittiği güzergahlar) çizilmeye başlanmıştır. Çakıştırılan bağlantılara bakıldığında, canlıların arazinin çevresinde bulunan erişim noktalarını birbirine bağlama biçiminin 7 deneyde de neredeyse aynı ve arazi sınırına paralel olduğu görülmektedir (Şekil 4.16). *P. polycephalum*'un bırakıldığı noktanın değiştirilmesinin sonuçlarda önemli bir değişikliğe sebep olmadığı sonucuna ulaşılmıştır.



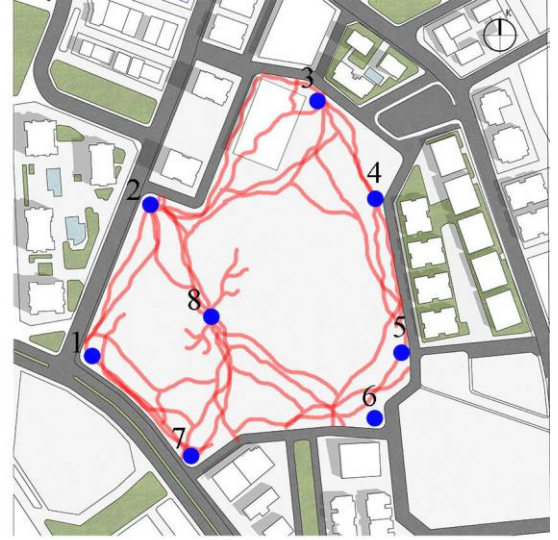
Şekil 4.16 Birinci aşama yapılan deney sonuçlarının çakıştırılması

Deney sürecinde yalnızca iki deney ortamında (4. ve 6. deney ortamları) bulunan canlı hücreler orta alana gitmeyi tercih etmiş, diğer 5 deney ortamındaki canlılar alanın merkezine gitmemiştir. Bu durum, canlının iki nokta arasını en kısa yoldan bağlama yeteneği göz önünde bulundurulduğunda, orta alana gitmenin mesafeyi uzatması ve canlı için optimum bağlantıdan uzaklaşılmasıyla ilişkilendirilebilmektedir. 2. ve 3. noktalar arasında spor salonu engelinin bulunması sebebiyle canlılar bu bağlantıyı çeperden değil iç alandan ve optimum şekilde bağlamıştır. 1, 4 ve 5 ile 6 noktaları yakınlarındaki bölgeleri canlının genellikle tercih ettiği görülmektedir. Küçük odaklar olarak belirlenen bu noktalara tasarım sürecinde, odak noktaları, alt meydanlar gibi işlevlerin önerilmesi potansiyeli bulunmaktadır. Sonuç olarak birinci aşama deneylerde canlıların alanın merkezine gitmeyi genel olarak tercih etmediği, arazi çeperlerinde bağlantılar kurduğu görülmüştür. Canlıların bu davranış biçimi noktalar arasını en kısa ve verimli şekilde bağlamış olsa da, tasarım altlığı olarak kullanılmasında bu veriler yetersiz bulunmuş, bu sebeple de ikinci aşama deney sonuçlarıyla birlikte ortak bir altlık önerisi getirilmiştir.

İkinci aşama kapsamında yapılan 4 deney sonucunda, ilk olarak canlının oluşturduğu bağlantılar hazırlanan vaziyet planı üzerinde çakıştırılmıştır. Daha sonra vaziyet planı üzerine, önceden belirlenen erişim noktaları konulmuş ve bu noktalar arasındaki ana bağlantılar çizilmeye başlanmıştır. İkinci aşama yapılan deneylerde, belirlenen 7 erişim noktası dışında alanın merkezinde bir nokta tanımlanmıştır. Çakıştırılmış bağlantılara bakıldığında, her 4 deneyde de canlıların neredeyse aynı bağlantıları oluşturduğu; 1. aşama deneylerde olduğu gibi, 2. ve 4. noktaları ile 3. nokta arasındaki bağlantının arazi içinden olduğu görülmektedir. İkinci aşama deneylerde de canlının, erişim noktaları arasında çeperde bağlantılar kurduğu gözlemlenmiştir (Şekil 4.17).



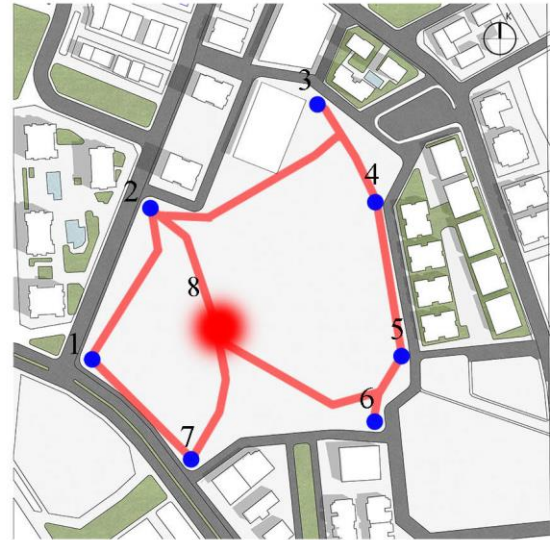
canlıların oluşturduğu yolların çakıştırılması



erişim noktalarının işaretlenmesi



en çok çakışmanın olduğu noktanın odak olarak belirlenmesi



bağlantıların grafiksel hale getirilmesi

Şekil 4.17 İkinci aşama yapılan deney sonuçlarının çakıştırılması

Orta alana tanımlanan 8 noktasına bağlantının, sadece 2., 7. ve 6. numaralı noktalardan olduğu görülmektedir. Erişim noktaları arasındaki bağlantının, üç bağlantıyla en çok 3., 8. ve 2. noktadan sağlandığı görülmektedir. Canlılar tarafından çok tercih edildiğinden, bu noktalar tasarım sürecinde yüksek kamusallık barındıran işlevler atanma potansiyeli taşımaktadır.

Özetle 2. aşama deneyler sonucu canlının besinler arasındaki en kısa yolu bulması sebebiyle, *P. polycephalum*'un merkeze tek başına konulduğu ilk deney sonuçlarında bir farklılık oluşmamış ve deney sonucunun 1. aşama deneylerle yaklaşık olarak benzer bir rota oluşturarak, canlının alanın merkezine gitmediği görülmüştür. Canlının, alan içini deneyimleyebilmesi ve ekstra veri sağlayabilmek adına ikinci aşama kapsamında yapılan diğer deneylerde, orta noktaya canlıyla birlikte yulaf tanesi de eklenmiş, bu deney 3 kere tekrarlanmıştır. Yapılan deney sonuçlarına göre orta alanda tanımlanan nokta, canlının noktalar arasını bağlarken en çok tercih ettiği nokta olarak belirlenmiştir. Bu sonuç da, noktanın alanın merkezinde bulunması ve canlının noktaları en kısa yoldan birbirine bağlamasıyla ilişkilendirilebilmektedir.

4.4 Bulgular Doğrultusunda Bir Tasarım Altlığı Oluşturulması

Tasarım altlığı oluşturulurken ilk olarak, birinci ve ikinci aşamada yapılan deneylerin karşılaştırılması yapılmıştır. Daha sağlıklı bir tasarım yapabilmek adına iki aşamada yapılan deney sonuçları karşılaştırılmış, bu doğrultuda canlının oluşturduğu yollar referans alınarak, yapılan çevre analizinden elde edilen verilerle bir tasarım altlığı önerisi getirilmiştir (Şekil 4.18).



canlıların oluşturduğu tüm yolların çakıştırılması



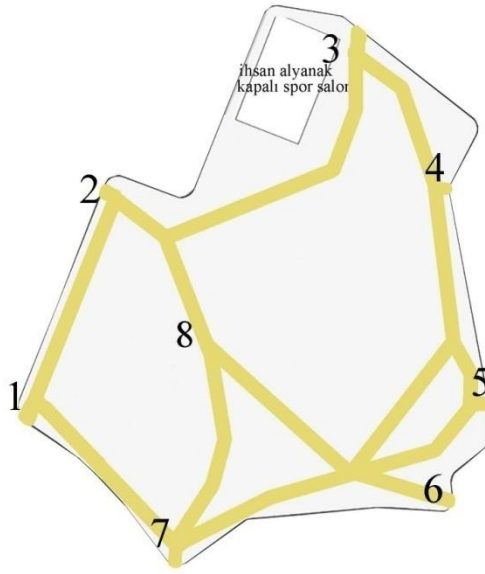
bağlantıların grafiksel hale getirilmesi ve odakların işaretlenmesi

Şekil 4.18 İki aşamalı olarak yapılan deneyler doğrultusunda geliştirilen tasarım altlığı rotaları

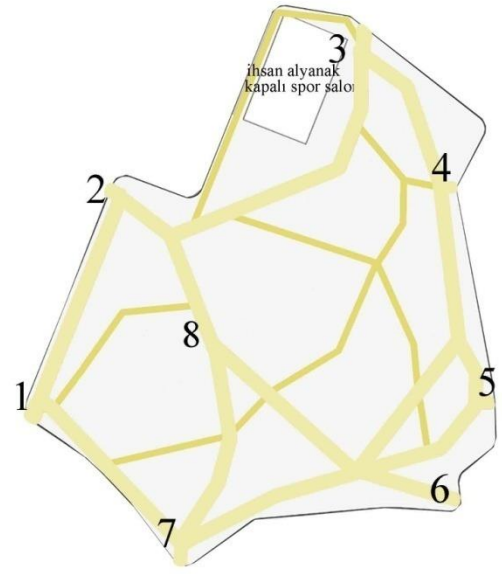
İkinci aşama deneylerde belirlenen 8 numaralı nokta, 2., 3. noktayla birlikte, canlının besinler arası kurduğu bağlantılardan en çok tercih edilen nokta olmuştur. 8 numaralı noktanın alanın merkezinde olması, tüm noktalarla ilişki kurabilecek mesafede bulunması ve canlının en çok tercih ettiği noktalardan biri olması sebebiyle bu nokta alanın **genel odak noktası olma potansiyeli** taşımaktadır. 1., 4. ve 6. nokta yakınlarındaki bölgelerde de canlının yoğunlaştığı gözlemlenmiştir. Bu noktalar da **küçük odaklar** olarak belirlenmiş, daha küçük toplanma alanları, amfiteyatrolar gibi kamusal işlevleri için uygun görülmüştür.

Yaya hareketinde en kısa olan yollar genellikle aktif yollar olarak belirlenmektedir. *P. polycephalum* türü cıvık mantarın da yapılan deneyler sonucunda oluşturduğu ana bağlantılar (Şekil 4. 19), noktalar arası en kısa yol olduğundan, aktif yollar olarak belirlenmiş ve önerilen altlıkta, bu rotaların kamusallık derecelerinin daha yüksek olacağı kabul edilmiştir. Canlının oluşturduğu yollar karşılaştırıldığında, en çok geçtiği rotaların genellikle arazi sınırına yakın bölgeler olduğu görülmektedir. Bu ana yolların yaya dolaşım hızının yüksek olması sebebiyle ağırlıklı sert zemin kaplamasıyla döşenmesi, daha geniş olması ve yapılan çevre analizleri doğrultusunda bölgede ticari alanların yetersiz olduğu görüldüğünden, kamusallığının artırılması için ticari birimlerle desteklenmesi uygun bulunmuştur.

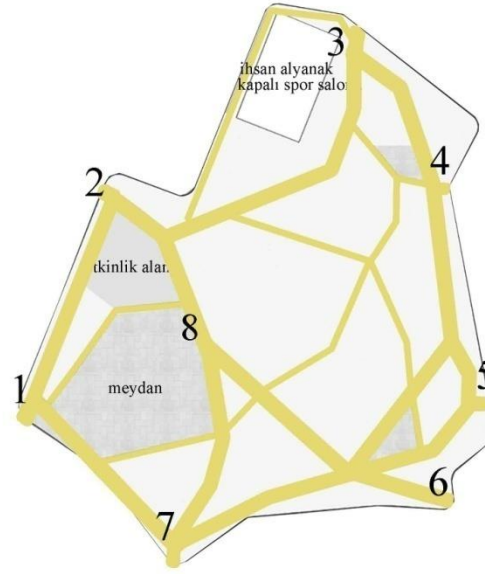
P. polycephalum'un, yapılan deneyler sonucu oluşturduğu bağlantılar haritaya işlendikten sonra, yapılan çevre analizlerinden elde edilen veriler doğrultusunda kamusallık derecelerine göre yaya yolları belirlenmiştir. Faruk Akar Karasu Caddesi (no.2), İhsan Alyanak Bulvarı (no. 7) ve Pazar yerinin bulunduğu 9242. Sokak (no. 3) arasındaki bağlantıların, deney sonuçları incelendiğinde çok tercih edilen güzergâh olduğu görülmüş ve bu nedenle ana aks olarak belirlenmiştir (Şekil 4.19).



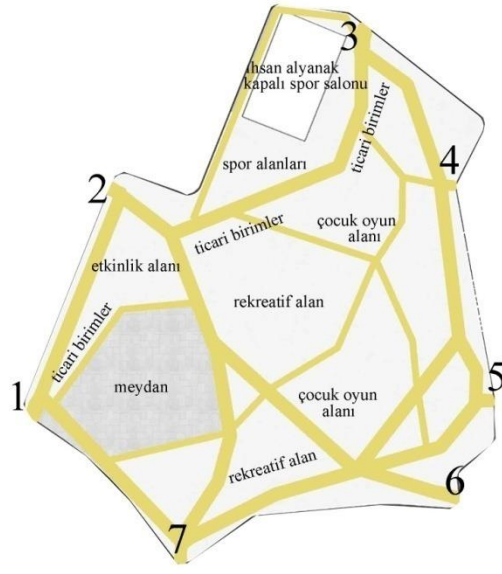
ana yolların oluşturulması



ara yolların oluşturulması



meydanın ve etkinlik alanlarının konumlandırılması



bağlantılar arasında işlevleri konumlandırılması

Şekil 4.19 Tasarım süreci

Alanın güneybatısındaki bölge, deney sürecinde canlı tarafından en çok geçilen güzergâh üzerinde olması sebebiyle geliştirilen tasarım altlığında meydan olarak tanımlanmıştır. En çok kullanıcı yaklaşımının olacağı ve alan içinde çekim noktası olma potansiyeli bulunan meydanın İhsan Alyanak Bulvarı ile sınır bölgede bulunması, ana aks üzerinde ve kolay erişilebilir bir nokta olması konum tercihini destekleyen analiz verileridir.

Geliştirilen tasarım altlığında, meydan dışında canlının oluşturduğu yollar arasında oluşan bölgelere alanın ihtiyacı doğrultusunda farklı işlevlere sahip (etkinlik alanları, çocuk oyun alanları, spor alanları küçük ticari birimler,rekreatif alanlar vb.) mekânlar önerilmiştir. Faruk Akar Karasu Caddesi sınırında bulunan bölgeye, meydanı besleyebilecek kafe gibi ticari işlevlere sahip küçük birimler eklenmiştir. Yine meydanı beslemesi için meydanın kuzeyine, küçük toplanma alanları, amfityatrolar gibi çeşitli etkinliklerin yapılabileceği mekânlar konumlandırılmıştır. İhsan Alyanak Kapalı Spor Salonu'nun güneybatısında bulunan bölgeye spor alanları konumlandırılmış; bu sayede spor salonunun kullanımının daha aktif hale geleceği düşünülmüştür.

Canlının gittiği ama çok tercih etmediği noktalar ise tasarım önerisinde pasif özellik gösteren yollar olarak tanımlanmış ve noktalar arasını, aktif özellik gösteren yollardan daha uzun mesafeyle bağladığı görülmüştür. Pasif yol olarak tanımlanan bağlantılar, genellikle tasarım alanının ortasında bulunmakta ve ana güzergahlara bağlanmaktadır. Yaya sirkülasyon hızının yüksek olmadığı bu güzergahlar üzerinde dinlenme ve pasif rekreasyona yönelik çeşitli oturma elemanları, parklar, piknik alanları konumlandırılması önerilmektedir.

Pasif yollardan erişilebilen ve genellikle alanın iç kısımlarında bulunan bölgeler, rekreatif alan olarak tanımlanmıştır. Bu alanların tasarlanarak bazı yerlerde piknik ve seyir alanları, bazı yerlerde ağaçlar ve diğer peyzaj düzenlemeleriyle kullanılma potansiyeli bulunmaktadır. Bu sayede bu alanlar farklı sosyokültürel yapıdaki

insanlar için karşılaşma ve etkileşimmekânı olma, aynı zamanda mahalle yaşantısını destekleme potansiyeli barındırmaktadır. Ara yolların kesişiminde bulunan bölgelerde yaya dolaşım hızının dūřuk olması gereken ocuk oyun alanları, rekreatif alanlar, oturma alanları gibi alanlar önerilebilir. Bu bölgelerin alanın iç kısımlarında olması güvenlik, erişilebilirlik gibi parametreler dūřnldğnde olumlu bir durum oluşturmaktadır. Konutların yoğn olduğu ve mahalle yaşantısının bulunduğu alan sınırlarına ağaçların yoğn olduğu rekreatif alanlar önerilerek bu sayede yol, konutlar ve tasarım alanında önerilen mekânlar arasında bir tampon bölge oluşturması sağlanmıştır.

Yapılan evre analizlerine bakıldığında alan için en büyük problemlerden birinin güvenlik olduğu görülmektedir. Bu duruma, tasarım alanı çevresindeki eğimden dolayı yapılan istinat duvarlarının erişilebilirliği kısıtlaması ve aydınlatma elemanlarının yetersiz olması sebep olmaktadır. Tasarım altlığında, alanın yaya için her bölgeden fiziksel ve görsel olarak kolay erişilebilir olması için farklı işlevlere sahip mekânlar bu doğrultuda yerleştirilmiştir.

Birinci ve ikinci aşama yapılan deney sonuçları alan analizleriyle sentezlenerek hazırlanan tasarım altlığı şekil 4. 20'de sunulmaktadır. Görüldüėü üzere, cıvık mantarların oluşturduğu rotalar, en kısa yola dayalı ana ve ara arterleri de kapsayan bir ağortaya koymaktadır. Bu tasarım altlığı, tasarımcının grafik / estetik arayışları, bağlama ilişkin yorumları ve özgün fikirleri ile geliştirilebilecek yol gösterici bir řema / izlek olarak dūřnlmelidir. Dolayısıyla cıvık mantarlarla biyoişbirlikçi bir yaklaşım ile oluşturulan bu tasarım altlığına temellenen pek çok tasarım nerisi geliştirilmesi mümkündür.



Şekil 4.20 Önerilen tasarım altlığı

4.5 Yarışma Sonuçlarıyla Karşılaştırmalı Değerlendirme

Karabağlar Belediyesi tarafından 24 Nisan 2017 tarihinde “Kamusal Açık Mekân ve Kent Meydanı Kentsel Tasarım Proje Yarışması” başlıklı açılan yarışmada 1., 2. ve 3. ödülü alan projeler, tasarımcılar tarafından önerilen yaya ulaşım yolları bağlamında incelenmiş ve *P. polycephalum* türü cıvık mantarın yine aynı arazi üzerinde oluşturduğu bağlantılar doğrultusunda oluşturulan tasarım altlığıyla karşılaştırılması yapılmıştır. Tez çalışması kapsamında öneri tasarım altlığının ve ödül grubu projelerinin vaziyet planları soyutlanarak yollar, ana meydan, etkinlik alanları, çocuk oyun alanları ve spor alanları işaretlenmiştir.

4.5.1 Karabağlar Belediyesi Kamusal Açık Mekân ve Kent Meydanı Kentsel Tasarım Yarışması, 1. Ödül



Şekil 4.21 1. Ödül vaziyet planı (Çevik, 2017)

Proje Ekibi: Ebru Yılmaz, Uğur Bozkurt, Asiye Asil Yurtsev

Proje Raporu: Tasarımcılar, tasarımın temel çıkış noktasını “yarışma alanını bir yaya dolaşım rotası ile tanımlamak, meydan ve diğer buluşma noktalarını da bu rota ile ilişkilendirmek” olarak belirtmişlerdir. Proje, farklı işlevleri bünyesinde barındıran, topoğrafyayla uyumlu, meydana doğru farklı bakış noktaları oluşturacak şekilde tasarlanmıştır. Tasarım alanının yapısının çanak niteliğinde olmasından dolayı meydan bulvar tarafından giriş alacak şekilde konumlandırılmıştır. Arazideki kot farklılıkları, farklı işlevlerin farklı kotlarda çözülmesine ve görsel bağlantının kurulmasına olanak sağlamıştır. Açık alandaki mekân organizasyonunda 3 ana tasarım kararı belirlenmiştir. İlki, alandan çevredeki diğer parklara uzanabilen, arazinin üst ve alt kotunu bağlayabilen “kesintisiz yaya promenade”dir. İkinci olarak, kapalı mekânlar da topoğrafyanın bir parçası olacak şekilde tasarlanmıştır. Son belirlenen karar ise meydanın, tasarım alanının her noktasından görülebilmesidir.

Proje Ekibi: MEES Mimarlık

Proje Raporu: Tasarımcılar önerdikleri proje kurgusunda “deneyim için bir ortam yaratmak” fikrinden yola çıkmıştır. Yakın çevrenin kullanım analizi yapıldığında, üst kottan gelen bölge mahalleden gelen platform yani “mahalle kotu”, bulvardan gelen kot ise çevre yolu bağlantısı olduğu için üst ölçeğe hizmet ettiğinden bu bölge kentten gelen platform yani “kent kotu” olarak belirlenmiştir. Bu platformları birbirine bağlayan farklı işlevleri barındıran bir ara mekân tasarlanmış ve ana tasarım yaklaşımı, mahalle ve kent kotunun ara mekân ile düğümlenmesidir. Yaya etki alanları ve barındırdığı potansiyeller incelenerek tasarım alanına İhsan Alyanak Bulvarı, 9250. Sokak, 9242/ 3. Sokak, 9242. Sokak olmak üzere 4 yaya girişi önerilmiştir. Bulvar yönünden gelen yaya ulaşımında, yayayı bir yarıkla alana alan ve meydana odaklayan bir kurgu bulunmaktadır. Mahalle kotundaki ulaşım ise konut ve pazar yerinden gelen aks önemsenmiş, spor salonuyla bağlantısı bulunan yönelimler kurgulanmıştır. Tüm alanda açık alandan yayayı farklı işlevlere yönelten yollar ve peyzaj düzenlemesi bulunmaktadır.



Şekil 4.24 2. Ödül soyutlama grafiği

4.5.3 Karabağlar Belediyesi Kamusal Açık Mekân ve Kent Meydanı Kentsel Tasarım Yarışması, 3. Ödül

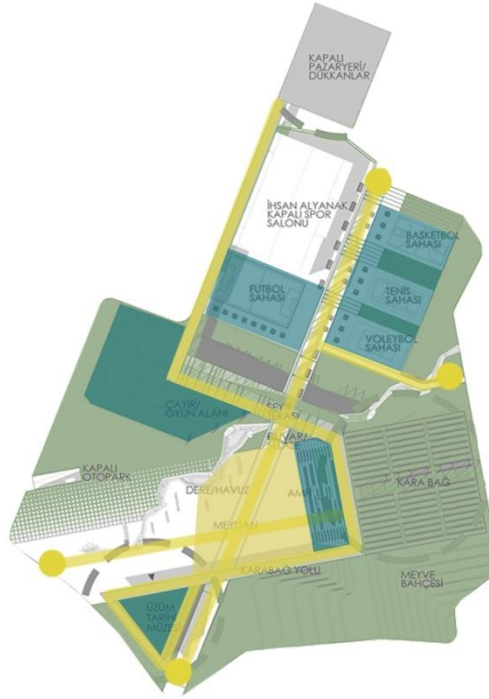


Şekil 4.25 3. Ödül vaziyet planı (Karakoç, 2017)

Proje Ekibi: Erhan Vecdi Küçükerbaş, Elvan Barbaros Ersan, İrem İnce

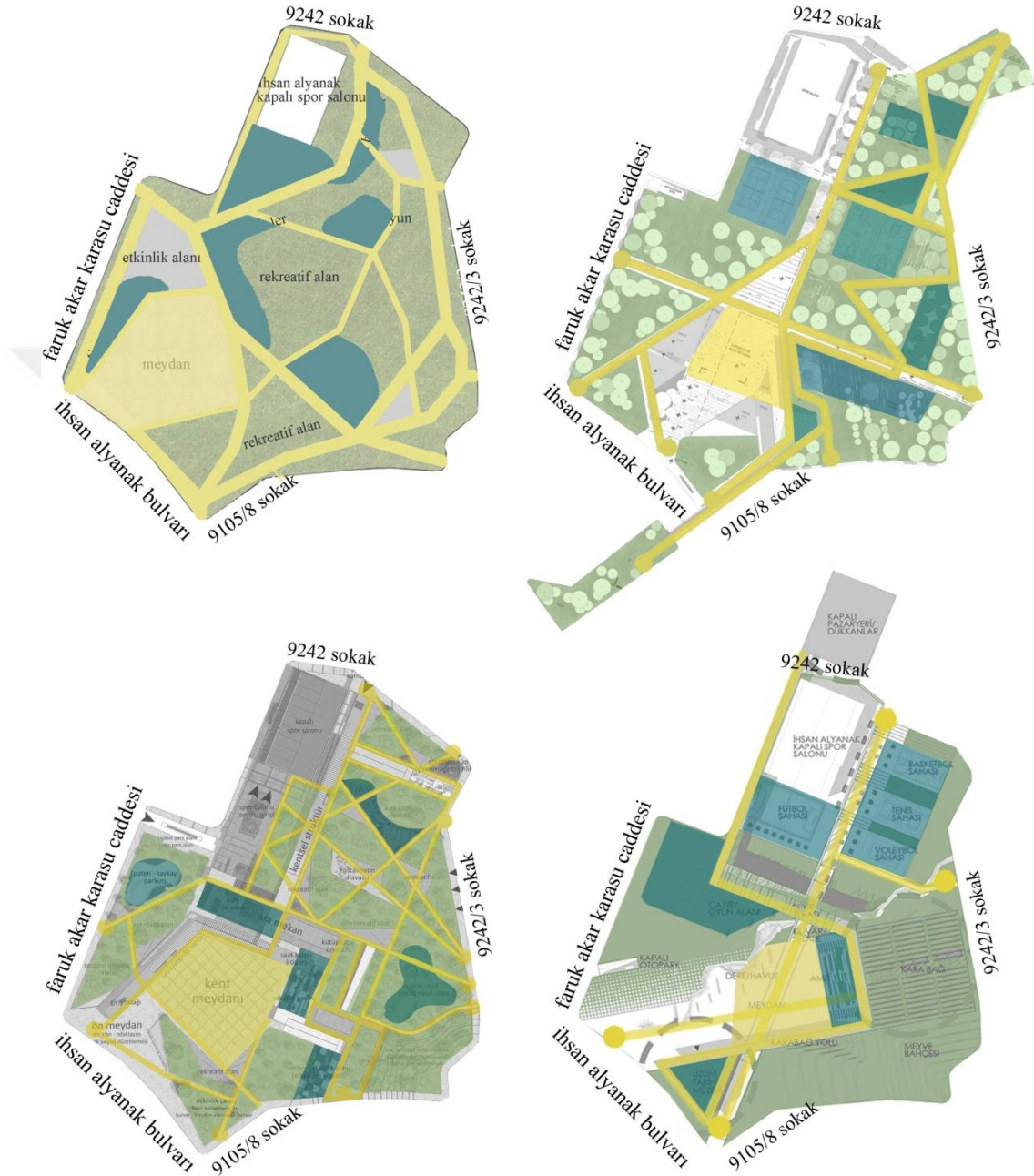
Proje Raporu: Tasarımcılar, yarışma şartnamesinde istenilen “kent meydanı” ve diğer kamusal açık mekân tasarımlarını, Karabağlar’ın kültürel geçmişini dikkate alarak vurgulamıştır. Bu mekânların ilişkisini alanda tasarlanan ana bir omurgayla güçlendirilmiş ve açık alan sürekliliği bulunan bir kurgu oluşturulmuştur. Tasarım konseptini “Karabağlar’ın kent belleğinde yer alan 200 yıllık üzüm bağlarının ve meyve bahçelerinin temsili olarak canlandırılması, kent halkının bu konuda bilinçlendirilmesi ve ekolojik duyarlılık” oluşturmaktadır. Alan tasarımı üç aşamada yapılmıştır. İlk aşamada alanın mevcuttaki durumu ve yakın çevreyle kurduğu ilişki irdelenmiş ve bu doğrultuda tasarım kurgusu oluşturulmuştur. İkinci aşamada, İhsan Alyanak Kapalı Spor Salonu ve Pazar Yeri’nin farklı kotlardaki yaya yolu ulaşımalarıyla alan bağlantısının güçlendirilmesi, tasarlanan meydanın mevcut dokudaki mekânlarla birlikte çalışması hedeflenmiştir. Üçüncü aşama olarak da tasarım konseptini oluşturan “Karabağlar’ın geçmişe ait kültürel alt yapısını gün

yüzüne çıkarılması” amacıyla tasarım alanına “Üzüm Bağı, Meyve Bahçeleri” ve “Üzüm Bağı Tarihi Müzesi” önerilmiştir. Tasarlanan meydan ile çevre ilişkilerini güçlendirecek şekilde yaya yolları kurgulanmış ve açık- kapalı mekânlar ana omurgayı oluşturan promenat ile desteklenmiştir. Pazar yeri, promenat ile tasarım alanıyla birlikte kurgulanmıştır. Alanın ana girişi, promenatla sarılan dikdörtgen şeklindeki meydanın uzantısı olacak şekilde tasarlanmıştır.



Şekil 4.26 3. Ödül soyutlama grafiği

4.5.4 Physarum Polycephalum'un Besine Ulaşma Davranışı Doğrultusunda Oluşturulan Tasarım Altlığının Ödül Alan Projelerle Karşılaştırılması



Şekil 4.27 Öneri tasarım altlığı ve ödül alan projelerdeki yollar, meydanlar, etkinlik alanları ve yeşil alanlar (sırasıyla tasarım altlığı, 1., 2., 3. ödül)

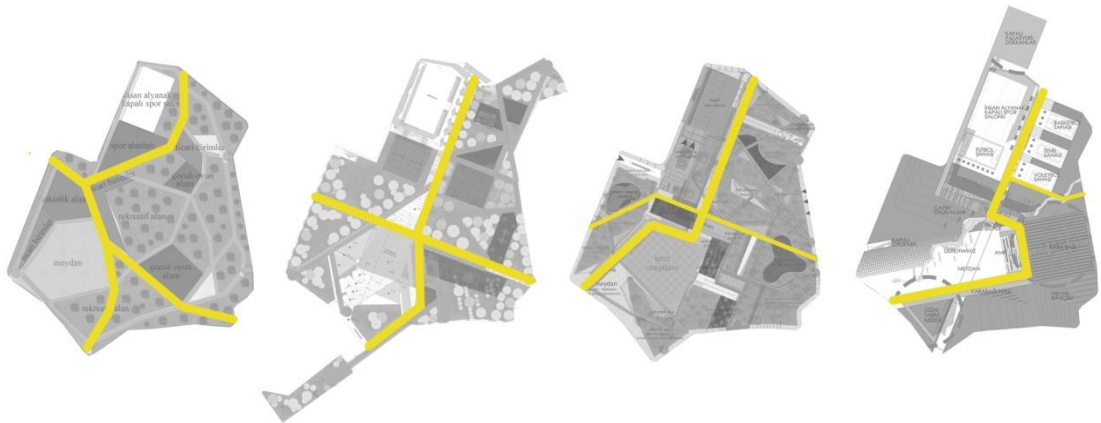
Tez kapsamında önerilen tasarım altlığında, alanın kuzeyinde bulunan ve İhsan Alyanak Kapalı Spor Salonu'nun olduğu nokta (no. 3), alanın batısında bulunan ve Faruk Akar Karasu Caddesi'nden yaklaşım alan nokta (no. 2), alanın güneyinde bulunan ve İhsan Alyanak Bulvarı'nın çeperinde bulunan nokta (no. 7) ana yaklaşımlar olarak belirlenmiş ve toplamda alana yedi noktadan erişim sağlanmıştır. Yarışmada 1., 2. ve 3. ödül alan projeler incelendiğinde, hepsinde İhsan Alyanak Bulvarı ve Faruk Akar Karasu Caddesi'nin kesişiminde bulunan noktadan; Pazar yerinden yaklaşımın olduğu, İhsan Alyanak Kapalı Spor Salonu'nun yanında bulunan noktadan ve tasarım alanının batısındaki İhsan Alyanak Bulvarı ile 9105/8 sokakların kesişiminde bulunan noktalarından ortak olarak yaklaşım aldığı görülmektedir. Öneri tasarım altlığında bu üç noktadan yaklaşım bulunduğundan dolayı ödül alan projelerin, cıvık mantarlara ilişkin deney sonuçları doğrultusunda geliştirilen tasarım atlığı ile örtüştüğü; bu doğrultuda bu üç projenin ana yaklaşımlarını mantıklı noktalardan aldığı söylenebilmektedir.

Tez kapsamında önerilen altlık için yapılan deneylerde alana yaklaşımların olduğu çeperdeki erişim noktalarıyla birlikte, alanın güneyinde bulunan İhsan Alyanak Bulvarı'na yakın ve yaklaşık olarak geometrik merkez olan noktaya (no. 8) da besin bırakılmış; canlının oluşturduğu bağlantılar arasında kalan ve ana giriş ile odak noktasını tanımlayabilecek konumdaki bölgeye meydan konumlandırılmıştır. Ödül alan projeler incelendiğinde, hepsinin neredeyse meydanı aynı yere konumlandırıldığı ve yaklaşık olarak tasarım altlığıyla aynı alanda olduğu görülmektedir. Yarışmaya ait jüri değerlendirme raporunda, tasarımlarda önerilen meydanın, İhsan Alyanak Bulvarı'yla arasındaki ilişkinin iyi kurulmuş olmasının yarışmacılardan beklenen parametrelerden biri olduğu belirtilmektedir. Budurumun jüri raporunda da görüldüğü gibi meydanın konumunun önemsinmesiyle ilişkili olduğu anlaşılmaktadır.

Ödül alan projelere bakıldığında bir omurga ya da rota oluşturma yaklaşımı olduğu görülmektedir. Önerilen ana rotalar İhsan Alyanak Kapalı Spor Salonu'nun olduğu noktadan (no. 3), İhsan Alyanak Bulvarı'na doğru oluşturulduğu ve genellikle

bu rotanın alanın doğusunda bulunan 9242/3 Sokak'tan yaklaşım aldığı görülmektedir. Tez çalışması kapsamında yapılan deneyler sonucunda da canlı ana bir omurga oluşturmak yerine, belirlenen tüm noktaları en kısa yoldan birbirine bağlamakta ve rotaları çeşitlendirerek her yere erişimi kolaylaştırmaktadır. Deney sürecinde gitmeyi en çok tercih ettiği, İhsan Alyanak Bulvarı'ndan (no. 7), alanın batısında bulunan Faruk Akar Karasu Caddesi'nden (no. 2) ve spor salonunun yanında bulunan noktaları (no. 3) bağlayan yollar ana aks olarak tanımlanmış fakat canlı, ödül alan projelerde olduğu gibi doğrusal bir omurga yerine organik bir kurgu oluşturmuştur.

Tasarım altlığında çocuk oyun alanları, alanın doğusunda bulunan mahallelerden yaklaşım alan, ana ve ara rotaların kesişimindeki ve alanın iç kısımlarındaki bölgelere yerleştirilmiştir. Yarışma projelerine bakıldığında, 1. ödülü alan projenin, öneri tasarım altlığıyla uyumlu olarak alanın doğusunda bulunan mahalleden yaklaşım aldığı ve oyun alanının yakın yere konumlandırıldığı görülmektedir. 2. ödül alan proje oyun alanlarını, alanın doğusu ve batısındaki mahallelerin bulunduğu alan sınırına konumlandırmıştır. 3. ödül alan proje ise sadece alanın batısında ve spor salonunun aşağısında bulunan alana çocuk oyun alanlarını konumlandırmıştır. Öneri tasarım altlığı kapsamında programda bulunan spor alanları İhsan Alyanak Kapalı Spor Salonu'nun güneyindeki alana konumlandırılmıştır. Ödül alan projelere bakıldığında spor alanlarının kapalı spor salonuna yakın yerlerde konumlandırıldığı ve tasarım altlığıyla örtüştüğü görülmektedir.



Şekil 4.28 Proje önerilerindeki ana yollar (sırasıyla tasarım altlığı, 1., 2. ve 3. ödül)

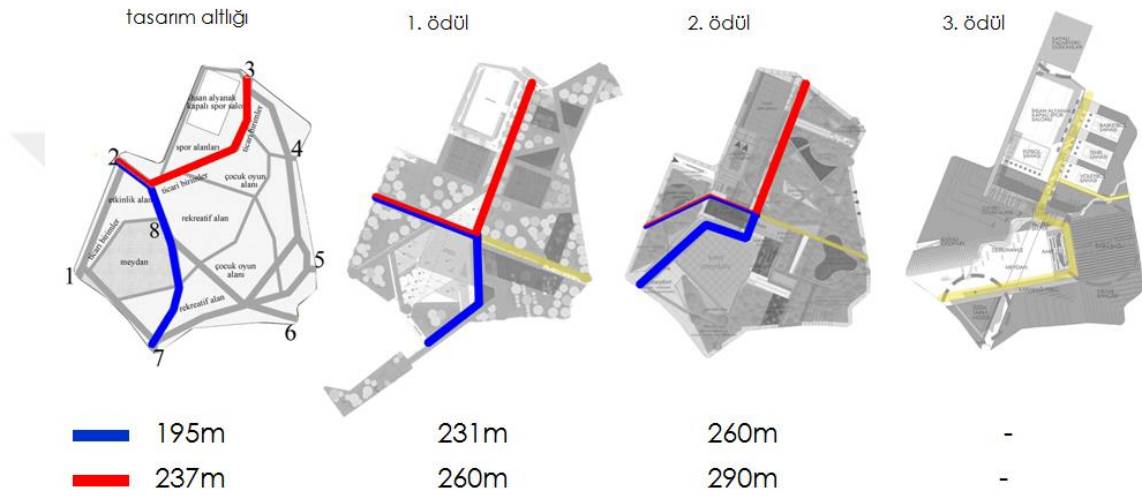
Cıvık mantarların farklı noktalar arasını en kısa ve optimum şekilde bağladığı bilindiğinden tez çalışmasında önerilen tasarım altlığı ve ödül alan projelerin ana güzergahlarının mesafe karşılaştırılması yapılmıştır. Bu kapsamda kuzey, güney doğu ve batı yönlerindeki ana yaklaşımların olduğu noktalar arasındaki bağlantılar ve bu noktaların meydana olan uzaklıkları incelenmiştir.



Şekil 4.29 Önemli noktalardan meydana olan mesafeler (mavi çizgi Faruk Akar Karasu Caddesi, kırmızı çizgi İhsan Alyanak Bulvarı, yeşil çizgi İhsan Alyanak Kapalı Spor Salonu)

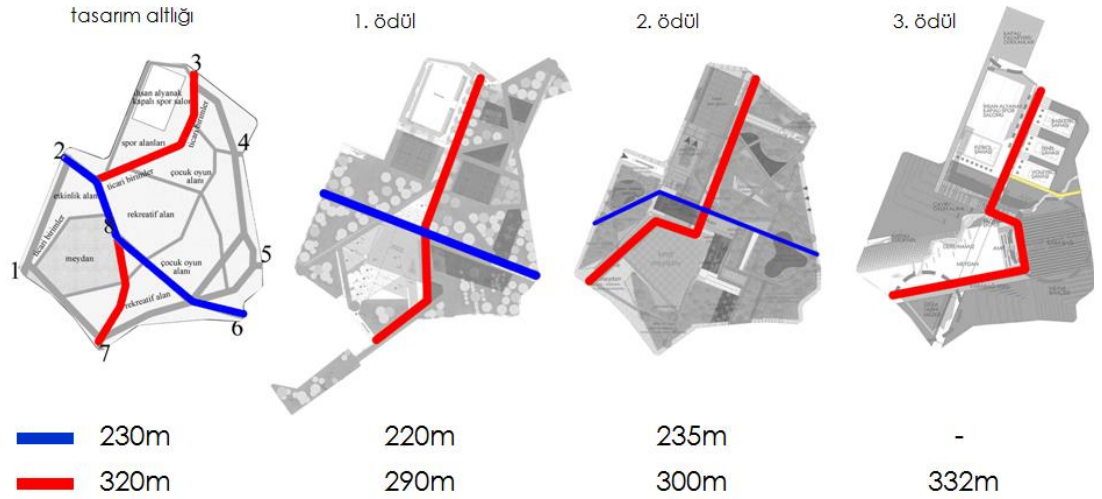
Tez çalışmasında önerilen tasarım altlığında, alanın batısında bulunan Faruk Akar Karasu Caddesi'nden tanımlanan noktanın (Şekil 4.29, no. 2) meydana olan mesafesi (mavi çizgi) 64m olarak ölçülmüştür. Bu mesafe 1. ödül projesinde 80m, 2. ödül projesinde 147m olarak ölçülmüştür. 3. ödül projesinin ise Faruk Akar Karasu Caddesi'nden ana yaklaşım almadığı görülmektedir. Kamusalılık derecesi yüksek olan cadde üzerinden meydana en kısa mesafeyle ulaşımın cıvık mantarlarla oluşturulan tasarım altlığında olduğu görülmektedir. Tüm projelerde ana yaklaşımın alındığı İhsan Alyanak Bulvarı (Şekil 4.29, no. 7) ile meydana arasında (kırmızı çizgi) tasarım altlığında 57m, 1. ödül projesinde 80m, 2. ödül projesinde 55m ve 3. ödül projesinde 78m mesafe bulunmaktadır. En kısa mesafelerin yaklaşık olarak aynı olan tasarım altlığı ve 2. ödül projesinde olduğu görülmektedir. Alanın kuzeyinde bulunan ve

İhsan Alyanak Kapalı Spor Salonu'nun yanından yaklaşım alan nokta (Şekil 4.29, no. 3) meydan arasındaki mesafe (yeşil çizgi) öneri tasarım altlığında 182m, 1. ödül projesinde 159m, 2. ödül projesinde 164m ve 3. ödül projesinde 185m olarak ölçülmüştür. 1. ve 2. ödüllerin cıvık mantardan daha kısa mesafeyle meydana ulaşması, yaklaşım noktasından meydana doğrusal bir aks oluşturulmasıyla açıklanabilmektedir. Bu durum meydana ulaşımı kolaylaştırıyor olsa da, diğer noktalara erişimi zorlaştırmaktadır.



Şekil 4.30 Önemli noktalar arası mesafeler (mavi çizgi Faruk Akar Karasu Caddesi- İhsan Alyanak Bulvarı, kırmızı çizgi Faruk Akar Karasu Caddesi- İhsan Alyanak Kapalı Spor Salonu)

Kamusallığın en yoğun olduğu İhsan Alyanak Bulvarı (Şekil 4.30, no. 7) ve Faruk Akar Karasu (no. 2) arasındaki rotaların mesafeleri öneri tasarım altlığında 195m, 1. ödülde 231m, 2. ödülde 260m olarak ölçülmüştür. 3. ödül projesi ise Faruk Akar Karasu Caddesi'nden ana yaklaşım almamaktadır. En sık kullanılacak güzergahlardan biri olan bu aksta cıvık mantarlarla yapılan tasarım ile ödül alan projeler arasında çok fazla fark olduğu görülmektedir. Bir diğer yoğun kullanılacak güzergâh olan Faruk Akar Karasu Caddesi (Şekil 4.30, no. 2) ve spor salonunu bağlayan (no. 3) rotaların uzunluğu öneri tasarım altlığında 237m, 1. ödülde 260m ve 2. ödülde 290m olarak ölçülmüştür. Cıvık mantarların bu iki kamusal noktayı da en kısa mesafeyle bağladığı görülmektedir.



Şekil 4.31 Kuzey- güney (kırmızı çizgi), doğu- batı (mavi çizgi) rotasının mesafeleri

Projelerin doğu- batı aksının uzunluğuna bakıldığında, öneri tasarım altlığında (Şekil 4.31, mavi çizgi) bu mesafenin 230m, 1. ödülde 220m, 2. ödülde ise 235m olduğu görülmektedir. 3. ödül projesinde doğu-batı aksı ana yollarla bağlanmamaktadır. 1. ödülün, cıvık mantarların oluşturduğu güzergahtan daha kısa olmasının sebebi doğrusal bir aksla bağlanıyor olmasıdır. Kuzey- güney aksını oluşturan güzergahlara (Şekil 4.31, kırmızı çizgi) bakıldığında öneri tasarım altlığında bu mesafenin 320m, 1. ödülde 290m, 2. ödülde 300m ve 3. ödülde 332 m olduğu görülmektedir. Bu durum da ödül grubu projelerinin doğrusal bir omurga izlemesiyle açıklanabilmektedir.

Özetle, cıvık mantarların noktalar arasında bağlantı kurarken optimizasyon yaptığı ve erişilebilirliği alanın bütüne yaydığı görülmektedir. Bu sayede daha homojen ve aynı zamanda daha optimal bir tasarım rotası oluşabilmektedir. Konvansiyonel bir tasarım sürecinde, tasarımcı genellikle gözleme dayalı ya da sezgileri doğrultusunda öngörüler geliştirir ve tasarımını şekillendirir. Bunun yanı sıra tasarımcının estetik ve grafik kaygıları baskın gelebilmektedir. Bu kentsel tasarım ölçeğinde vaziyet planının şekillendirilmesi ve arterlerin belirlenmesinde de geçerlidir. Bu doğrultuda şekillenen kentsel alanlar, kullanım aşamasında yayaaların davranışlarıyla uyumsuz sonuçlar doğurabilmektedir. Kentsel alanların tasarımında,

cıvık mantarlarla biyoişbirlikçi bir yaklaşımla geliştirilebilecek tasarım altlıkları, tasarım sürecinde yol gösterici olma ve söz konusu uyumsuzlukları gidererek sonuç ürününün verimini artırma potansiyeli taşımaktadırlar.



BÖLÜM BEŞ

SONUÇ

Sanayi Devrimi ve sonrasında yaşanan teknolojik, bilimsel gelişmeler; insanlığın tarihsel süreç boyunca, her alanda en hızlı dönüşüm yaşadığı dönem olmasına sebep olmuştur. Yapım teknikleri ve teknolojinin gelişmesi, ucuz ve hızlı üretim anlayışını doğurmuş; çok farklı coğrafyalarda, farklı işlevlerde kullanılacak olmasına rağmen, benzer yöntemlerle, plansız yapılaşmalar ve yanlış uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Hızlı sanayileşmenin, plansız birtakım uygulamaların, doğal kaynakların giderek yok olması ve küresel ısınma gibi çok ciddi problemlere yol açması sonucu mimarlık disiplini, karşılaştığı sorunların çözümü için milyarlarca yıldır optimum şekilde yaşamını devam ettirebilen doğaya bakmaya ve yeni çözüm yöntemlerinin üretilmesi için diğer disiplinlerle ortaklıklar kurmaya başlamıştır.

Tarihsel sürece bakıldığında, mimarlığın doğadan esinlenmesinin erken dönemlerden itibaren başladığı ve devam ettiği görülmektedir. Bu dönemlerde insan, doğayı sadece gözlemleyerek doğadan esinlenebilmiş; bu durum da ortaya çıkan tasarımların biçimsel ağırlıklı olmasına neden olmuştur. Günümüzde ise, bilimsel gelişmelerin sayesinde doğa, daha kapsamlı bir şekilde ele alınabilmiş; bu durum daha sorgulayıcı bir yaklaşımı mümkün kılmış ve bu doğrultuda tasarım anlayışını geliştirmiştir. 20. yüzyılın ortalarında doğadan esinlenme yaklaşımı "biyomimetik tasarım" ya da "biyomimikri" olarak ilk kez tanımlanmıştır. Bu kavram pek çok bilim insanı tarafından irdelenmiş; sadece mimarlık alanında değil, farklı disiplinler için de tercih edilen bir sorun çözme yöntemi olmuştur. Biyomimikri düzeyleri mimarlık literatüründe J. Benyus'a referansla, organizma düzeyi, davranış düzeyi ve ekosistem düzeyi olarak kabul görmüştür. Ancak bunlar tarihsel süreçte mimarlığın doğadan nasıl etkilendiğinin incelendiği tezin ikinci bölümünde, günümüz tasarım yaklaşımları açısından yetersiz bulunmuş ve yeni bir sınıflandırma önerilmiştir. Bunların içinde canlıyı direkt olarak tasarım sürecine dahil etmeyi kapsayan **"biyotasarım"**, bu tez çalışmasının da odağında yer alan ana yaklaşım olarak, **canlılarla işbirlikçi tasarım süreçlerine dikkat çekmektedir.** Tez kapsamında

canlı bir sistemle tasarım yapmanın yolları aranmış ve bu doğrultuda doğada bulunan tek hücreli ve ökaryotik bir canlı olan *P. polycephalum* türü cıvık mantarlar, en kısa yolu bulma özellikleri doğrultusunda mimari ve kentsel tasarıma bir altlık oluşturma potansiyeli sundukları düşüncesiyle seçilmiştir. Tek hücreli bir canlı olan *P. polycephalum*, hafıza, öğrenme, karar verme, ezberleme, problem çözme, en kısa yolu bulma, yüksek kaliteli ağ oluşturma, hareket etme ve yön bulma gibi yetilere sahip olduğundan bu canlının, özellikle mimarlık ve kent planlama disiplinleri için yaratıcı düşünciyi tetikleyecek potansiyeller barındırdığını söylemek mümkündür.

Literatürde cıvık mantarların yol bulma yeteneklerinin ulaşım ve kent planlama alanlarında çok sayıda çalışmaya konu olduğu; ancak mimarlık ve kentsel tasarım açısından yeterince araştırılmadığı görülmüştür. Özellikle üst ölçekte kentsel birtakım kararları almanın oldukça karmaşık bir süreç olduğu düşünüldüğünde, cıvık mantarları tasarım sürecine dahil etmenin tasarımcılara büyük fayda sağlayacağını öngörmek mümkün olmaktadır. Bu doğrultuda tez çalışması, cıvık mantarların mimari / kentsel tasarımla ilişkisini sorgulayarak **literatüre özgün bir katkı** koymaktadır.

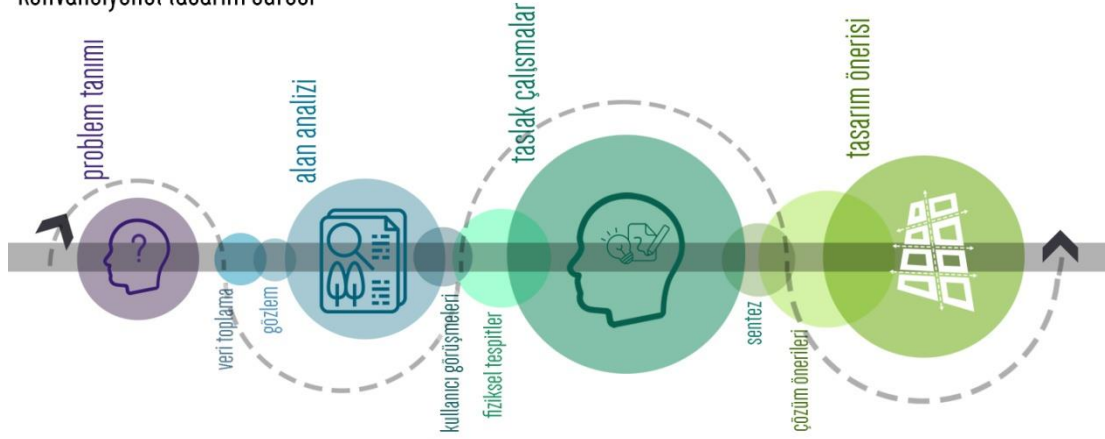
Tez çalışması, *P. polycephalum* türü cıvık mantarın davranış modellerini gözlemleyerek İzmir'in Karabağlar İlçesi'nde bulunan, yaklaşık 40.000 m²'lik bir alanda tasarım altlığı oluşturmakta kullanılmış ve bunun bir tasarım yöntemi olabileceği iddiasıyla yola çıkılmıştır. Sonuç olarak cıvık mantarın en kısa yolu bulurken, farklı noktalar arasındaki uzaklığı optimize ettiği görülmüştür. Aynı alanda konvansiyonel yöntemlerle üretilmiş ödül alan tasarımlarla kıyaslandığında, cıvık mantarların davranış modelleri doğrultusunda yapılan tasarımın, daha optimal ve erişilebilir olduğu görülmektedir. Tez kapsamında yapılan çalışma sonucu ulaşılan bulgular küçük ölçekli bir alan için olduğu kadar, kentsel ölçekte daha büyük alanlar içindedegerli olabilir. Kentsel rotaların ya da ulaşım ağlarının tasarlanması sürecinin ilk aşamasında, cıvık mantarlarla, en sık tercih edilen ve en kısa olan yolların belirlenip bir tasarım altlığı oluşturulması, tasarımcılara bu süreçte büyük fayda sağlayacaktır. Tasarım sürecinin başında alınan doğru tasarım kararları, hem

kullanımı hem de yapım sürecindeki maliyetleri olumlu yönde etkileyecektir. Bu doğrultuda *P. polycephalum*, kentsel ulaşım ağlarının tespitinde ya da boş kentsel alanlarda optimum yolların bulunmasında ilham alınabilecek bir canlı olarak farklı interdisipliner araştırmaların konusu olma potansiyeli taşımaktadır.

Disiplinlerarası yapılan bu çalışma, sadece seçilen bir alan için bir tasarım altlığı oluşturmakla kalmamakta; aynı zamanda **tasarım sürecine ilişkin yeni bir yöntem** önermektedir. Kentsel ölçekte ulaşım ağlarının belirlenmesinde en kısa yol bulmayı hedefleyen algoritmaların kısıtlarını gideren canlı hücre deneyleri ile, tasarımcıya arazi kullanımı ve optimum yaya hareketini öngörme fırsatı sunan bu yöntem, farklı arazilerde de uygulanabilecek şekilde konvansiyonel tasarım sürecine bir aşama eklemektedir. *P. polycephalum*'un beslenme davranışının incelenmesiyle kentsel alanlarda yol ağlarının optimizasyonu arasında, bu tez çalışması ile kurulan ilişki doğrultusunda önerilen alternatif tasarım yöntemi aşağıdaki gibi özetlenebilir.

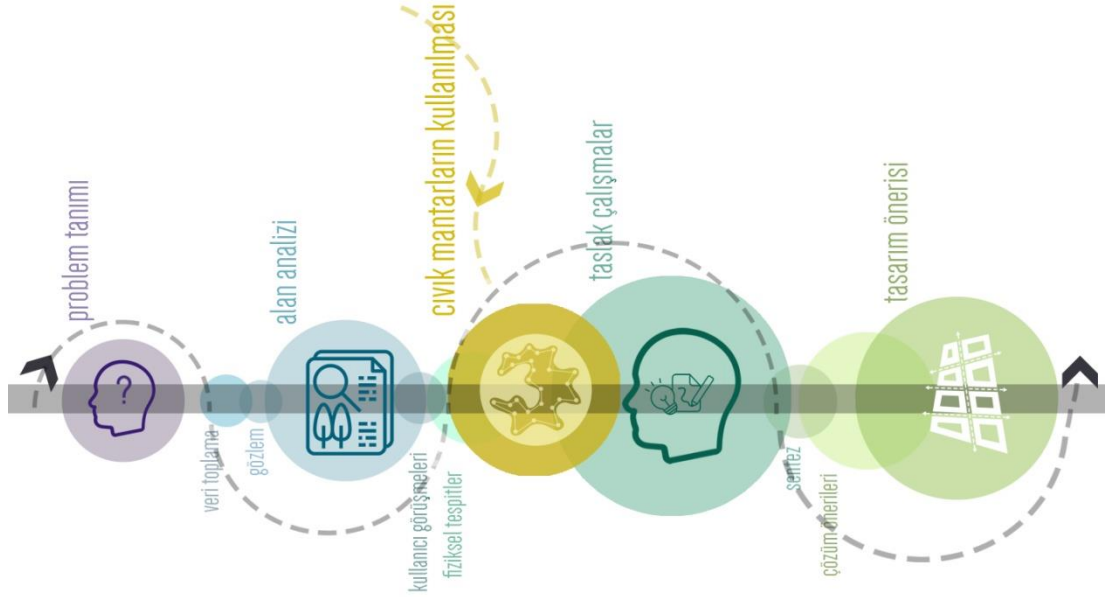
Konvansiyonel tasarım sürecinde ilk aşama problem tanıımıdır. Bu adımda alana ilişkin gerekli bilgiler toplanır, gözlemler sonucunda alan analiz edilir. Alan analizinde de çevreye ilişkin iklimsel, coğrafik, bağlamsal birtakım tespitler yapılarak kullanıcı görüşmeleriyle desteklenir ve bu süreçten sonra tasarımcı bu alan için taslak çalışmalar oluşturmaya başlar. Analizler doğrultusunda yapılan sentez sonucu çeşitli çözüm önerileri oluşturulur ve son aşamada tasarım önerisi geliştirilir (Şekil 5.1).

konvansiyonel tasarım süreci



Şekil 5.1 Konvansiyonel tasarım süreci

cıvık mantarlar kullanılarak geliştirilen tasarım süreci



Şekil 5.2 Cıvık mantarların altlık olarak kullanıldığı öneri tasarım süreci

Tez kapsamında önerilen alternatif tasarım sürecinde ise aşamalar temel olarak konvansiyonel yöntemle benzerdir (Şekil 5.2). Ancak alan analizinden sonraki aşamada, tespit edilen parametreler doğrultusunda cıvık mantarlarla deney sürecine gidilir ve canlının oluşturduğu güzergahlar doğrultusunda bir tasarım altlığı oluşturulur. Taslak çalışmalar aşamasında tasarımcı, cıvık mantarların oluşturduğu

bağlantılar sonucu ortaya çıkan altlıkla birlikte; iklim, coğrafya, bağlam, malzeme, estetik kaygılar, tasarımcı kararları gibi tasarım sürecinde gerekli parametreler doğrultusunda çeşitli çözüm önerileri getirerek tasarım önerisini geliştirmektedir.

Tez kapsamında geliştirilen öneri tasarım altlığının deney sürecinde, oluşturulan model üzerinde gelişim süresince organizmayı hayatta tutmak, gerekli ortam koşullarını sağlamak gibi kısıtlılıklar ortaya çıkmıştır. Gelecek çalışmalarda daha verimli sonuçlar almak için deney tasarımlarında bazı iyileştirmelere ve eklemelere gidilebilir. Bu nedenle ortam koşullarının stabilizasyonunda uygun sıcaklık ve nemi sağlamak için iklim kontrol kabini kullanılabilir. Bu çalışmanın kısıtlarından biri de, canlı organizmanın düz ve eğimin çok az olduğu yüzeylerde yayılım gösterebilmesidir. İki boyutlu olarak yapılan deneylerden daha verimli sonuçlar almak için, harita üzerinde yayaların ulaşımına engel teşkil edebilecek coğrafi ve fiziksel engellerin işaretlendiği daha detaylı haritalama çalışmalarının ardından deneyler tekrar edilebilir. Kamusalılığı daha yüksek olan noktalara daha fazla yulaf ya da canlının daha çok sevdiği besinler eklenerek deneyler yeniden yapılabilir. Topoğrafik yüzeylere ilişkin gerçeğe daha yakın veri elde etmek amacıyla ise ölçek büyütülerek ve 3D baskı modeller oluşturularak canlının davranışları gözlenebilir.

Gelecekte yapılacak çalışmalarda belirlenen alanda kamusalılığı daha yüksek olan yaklaşım noktalarına, daha fazla yulaf konularak ya da canlının daha çok ya da az tercih ettiği diğer besinlerle deneyler gerçekleştirilebilir. Oluşturulan tasarım altlığı, farklı tasarımcılara verilerek üretecekleri olası farklı alternatifler karşılaştırılarak bu yeni model önerisinin denemeleri yapılabilir. Cıvık mantarların farklı yetenekleri ve ilginç yaşam döngüleri, interdisipliner çalışma pratikleri içinde çok farklı yönlerde değerlendirilebilecek potansiyeller taşımaktadır. Bu doğrultuda gelecekte yapılacak çalışmalar için olası öngörüler Mimari Tasarım ve Kentsel Tasarım alanından, Arkeoloji'ye; Elektronik Mühendisliği ve Bilgisayar Mühendisliği'nden Ulaşım Mühendisliği'ne varan geniş bir yelpazede çeşitlendirilebilmektedir.

KAYNAKLAR

- Adamatzky, A. (2010). *Slime mould logical gates: exploring ballistic approach*.13 Haziran 2019, <https://arxiv.org/pdf/1005.2301.pdf>
- Adamatzky, A. ve Schubert, T. (2012). Schlauschleimer in Reichsautobahnen: Slime mould imitates motorway network in Germany. *Kybernetes*, 41(7/8), 1050-1071.
- Adamatzky, A. ve Costello, B. D. L. (2012). Physarum attraction: why slime mold behaves as cats do? *Communicative & Integrative Biology*, 5(3), 297-299.
- Adamatzky, A. (2009). Developing proximity graphs by Physarum polycephalum: does the plasmodium follow the Toussaint hierarchy? *Parallel Processing Letters*, 19(1), 105-127.
- Adamatzky, A. (2012). Slime mold solves maze in one pass, assisted by gradient of chemo-attractants. *IEEE Trans on Nano Bioscience*, 11(2), 131 - 134.
- Adamatzky, A. ve Alonso-Sanz, R. (2011). Rebuilding Iberian motorways with slime mould. *BioSystems*, 105(1), 89–100.
- Adamatzky, A. ve Ilachinski, A. (2012). Slime mold imitates the united states interstate system. *Complex Systems*, 21(1), 1-20.
- Adamatzky, A. (Ed.). (2016). Slime mould approximates longest roads in USA and Germany: Experiments on 3D terrains. *Springer*, 18 (2), 311-335.
- Akbulut, S., Çalık, O. ve Demir, H., (2009). *Biyolojinin toplum, bilim ve teknoloji açısından önemi*. 13 Haziran 2016, <http://kisi.deu.edu.tr/bulent.cavas/ders/bok4.pdf>
- Altun, T.D., Köktürk, G., Özkaban, F., Deniz Can, İ., Tokuç, A. ve Kale, İ. (2018). *Physarum polycephalum cıvık mantarları kullanılarak yol izlerinin bulunması: İzmir örneği*, TÜBİTAK 216M507 no.lu Proje Raporu.
- Antoniades, a.c. (1992). *Poetics of architecture- theory of design*. New York: Van Nostrand Reinhold.

- Armstrong, R. (2009). *Systems architecture: a new model for sustainability and the built environment using nanotechnology. Biology, information technology and cognitive science with living technology.* 11 Haziran 2019, http://philipbeesleyarchitect.com/press/MIT-AL/MIT-AL_RAarticle.pdf.
- Atasoy, B. (2011). *Şelale evi 75 yaşında.* 15 Mayıs 2019, <https://www.arkitera.com/haber/2865/selale-evi-75-yasinda>
- Ayyıldız, S. ve Özbayraktar, M. (2005). Organik mimarlık ve doğaya öykünme serüveni. *Tasarım Dergisi*, 148, 132- 134.
- Bahadır, Ö. (2011). *Doğabilimleri- mimarlık etkileşimine "canlılık" kavramı üzerine bakış.* 2 Kasım 2015, <http://ozlembahadir.com/?action=icerik&id=86>
- Bahadır, Ö. (2006). *Mimarlıkta doğaya uyum ve elde edilebilecek kazanımların örnekler üzerinden incelenmesi.* Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Benyus, J. M. (1997). *Biomimicry.* New York: Harper Collins Publishers.
- Barnett, H. (2016). *Physarum workshop at blast.* 1 Temmuz 2018. <http://heatherbarnett.co.uk/physarum-workshop-at-blast/>
- Benyus, J. (1997). *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature.* New York: Harper Collins Publishers.
- Bergil, M., (1993), *Doğada/ Bilimde/ Sanatta, Altın Oran.* İstanbul: Arkeoloji ve Sanat Yayınları.
- Beyaztaş, H. S. (2012). *Mimari tasarımda ekolojik bağlamda biçim ve doğa ilişkisi.* Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Biever, C. (2013). *Robot face lets slime mould show its emotional side.* 22 Şubat 2019, <https://www.newscientist.com/article/dn24012-robot-face-lets-slime-mould-show-its-emotional-side/>
- Bird's nest – beijing olympic stadium (b.t.).* 15 Ağustos 2018, <https://www.arch2o.com/birds-nest-beijing-olympic-stadium-herzog-de-meuron/>

Breathingskins (b.t.). 20 Eylül 2018, <https://www.breathingskins.com/>

Bursalı, A. (2015). *Cıvık mantarlar antik roma yollarını ortaya çıkartıyor*. 16 Mart 2015, <http://arkeofili.com/civik-mantarlar-antik-roma-yollarini-ortaya-cikariyor/>

Büyükcivelek, A. B., Çakmaklı, B., Cihanger, C., Alanyalı, E., Babalık Suttcliffe, E., Korkut, F., Temizel, E., Balkanay, E., Baş Bütüner, F. ve Bilgin Altınöz, G. (2016). *Orta Doğu Teknik Üniversitesi Ankara yerleşkesi mekânsal strateji ve tasarım kılavuzu*. 19 Temmuz 2019, https://arch.metu.edu.tr/system/files/About/odtu_ankarayerleskesi_mekânsalstrateji_ve_tasarim_kilavuzu_28haz2016.pdf

Carlile, M. J. (1970). Nutrition and chemotaxis in the myxomycete *Physarum polycephalum*: the effect of carbohydrates on the plasmodium. *Journal of General Microbiology*, 63(2), 221–226.

Carolina biological supply company (b.t.). Slime mold growing kit teacher's manual.

Ch2 melbourne city council house 2 / designinc (b.t.). 20 Eylül 2018, <http://www.archdaily.com/395131/ch2-melbourne-city-council-house-2>

Cilento, K. (2010). *Capture the rain*. 20 Eylül 2018, <http://www.archdaily.com/52671/capture-the-rain-h3ar>

Cığızolu, M. (2011). *Biyomimetik tepkisel yüzey örtüsü tasarımı için bir model önerisi: hexa-myosis*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Crowe, N., (1995). *Nature and the idea of a man-made world*, Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.

Çalikoğlu, A. (2004). *Yapay doğa*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Çevik, A. (2017). *1. ödül, Karabağlar Belediyesi kamusal açık mekân ve kent meydanı kentsel tasarım yarışması*. 9 Ağustos 2017, <http://www.arkitera.com/proje/7922/1-odul-karabaglar-belediyesi-kamusal-acik-mekân-ve-kent-meydani-kentsel-tasarim-yarismasi>

deLacy Costello, B., Adamatzky, A. (2014). Routing of *Physarum polycephalum* “signals” using simple chemicals. *Communicative & Integrative Biology*, 7(3), 2853- 2864.

Doczi, G., (1994). *The power of limits: proportional harmonies in nature, art, and architecture*, Colorado: Shambhala Publications.

Dokuz Eylül Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi (2015). *Izmir-history project anafartalar street 2nd stageand 1st circlepre-planning of housingpattern through operational plan final report*, İzmir.

Dragonfly (b.t.). 18 Nisan 2019, http://vincent.callebaut.org/object/090429_dragonfly/dragonfly/projects

Durham, A. C. H. ve Ridgway, E. B. (1976). Control of chemotaxis in *Physarum polycephalum*. *Journal of cell biology*, 69(1), 218–223.

Eggermont, M. (2007). *Biomimetics as problem-solving, creativity and innovation tool*. Calgary: University of Calgary Schulich School of Engineering.

Esplanade theatre on bay (b.t.). 25 Eylül 2018, <https://www.mimoo.eu/projects/Singapore/Singapore/Esplanade%20Singapore/>

Etherington, R. (2008). *Sinosteel plaza by mad*. 20 Eylül 2018, <https://www.dezeen.com/2008/07/30/sinosteel-international-plaza-by-mad/>

Evangelidis, V., Tsompanas, M. A., Sirakoulis, G. C. Ve Adamatzky, A. (2015). Slime mould imitates development of Roman roads in the Balkans. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 2, 264-281.

Fab tree hab is a living graft prefab structure by terreformone (b.t.) 26 Eylül 2018, <https://www.designboom.com/architecture/fab-tree-hab-is-a-living-graft-prefab-structure-by-terreform-one/>

Fennell residence (b.t.). 21 Eylül 2018, <http://www.oshatz.com/text/fennel.htm>

Frearson, A. (2011). *Tree restaurant by koichi takada architects*. 20 Eylül 2018, <https://www.dezeen.com/2011/06/08/tree-restaurant-by-koichi-takada-architects/>

- Fuller, B. (1969). *Utopia or oblivion: the prospects for humanity*. New York: Overlookpress.
- Ghyka, M., (1977), *The geometry of art and life*. New York: Dover Publications.
- Gmond international building (b.t.). 21 Ağustos 2018, www.archello.com/en/project/gmond-international-building
- Gorman, J. A., Dove, W. F. ve Shaibe, E. (1979). Mutations affecting the initiation of plasmodial development in *Physarum polycephalum*. *Developmental Genetics*, 1(1), 47-60.
- Grozdanic, I. (2017). *These amazing zero-waste buildings were grown from mushrooms*. 26 Eylül 2018, <https://inhabitat.com/these-amazing-zero-waste-buildings-were-grown-from-mushrooms/>
- Güler, B. (2000). *Mimari- doğa ilişkisi ve doğayla uyumlu mimari tasarım yaklaşımları üzerine bir inceleme*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Güleryüz, M. (2013). *Bir ütopya hareketi olarak eko-köyler; Türkiye'deki örnekler üzerine bir inceleme*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Kültür Üniversitesi, İstanbul.
- Hagan, S., (2001). *Taking shape: a new contract between architecture and nature*. Oxford: Architectural Press.
- Helbing, D., Schweitzer, F., Keltsch, J., ve Molnar, P. (1998). *Active walker model for the formation of human and animal trail systems*. 19 Temmuz 2019, <https://arxiv.org/abs/cond-mat/9806097v1>
- Hy-fi (b.t.). 26 Eylül 2018, <https://architizer.com/projects/hy-fi/>
- İncedayı, D. (2004). *Çevresel duyarlılık bağlamında davranış biçimi olarak "sürdürülebilirlik"*. 17 Ocak 2019. <http://www.mimarlikdergisi.com/index.cfm?sayfa=mimarlik&DergiSayi=30&RecID=732>

- İnceköse, Ü.(2006). *Mimarlık bilgisinin yeniden yapılandırılması doğa bilimlerinin araçsallaştırılması: Lissitzky, Doesburg, Meyer, Teige*. Doktora Tezi, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, İzmir.
- Jirapong, K. (2002). *Discovering architecture within a seashell*. Doktora Tezi, The Graduate College of the Illinois Institute of Technology, Illinois, Chicago.
- Karabetça, A. R. (2016). *Biyomimikri destekli mekân tasarım ölçütleri ve bu ölçütlerin örnekler üzerinden incelenmesi*. Doktora Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, İstanbul.
- Karakoç, N. (2017). 3. ödül, *karabağlar belediyesi kamusal açık mekân ve kent meydanı kentsel tasarım yarışması*. 9 Ağustos 2017, <http://www.arkitera.com/proje/7921/3-odul-karabaglar-belediyesi-kamusal-acik-mekân-ve-kent-meydani-kentsel-tasarim-yarismasi>
- Keleş, R., (2003). Sosyal bilimler açısından çevre konferansı, *Mimar Sinan Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi Yayınları*, İstanbul.
- Keskin, M. (2017). 2. ödül, *Karabağlar Belediyesi kamusal açık mekân ve kent meydanı kentsel tasarım yarışması*. 9 Ağustos 2017, <http://www.arkitera.com/proje/7925/2-odul-karabaglar-belediyesi-kamusal-acik-mekân-ve-kent-meydani-kentsel-tasarim-yarismasi>
- Keskintürk, T. ve Söyler, H. (2006). Global karınca kolonisi optimizasyonu. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 21 (4), 689- 698.
- Knight, W., (2001). Beetle fog-catcher inspires engineers. *New Scientist*, 13, 235-249.
- Knight, W., (2006). *Robot moved by a slime moulds fears*. 22 Şubat 2019, <https://www.newscientist.com/article/dn8718-robot-moved-by-a-slime-moulds-fears/>
- Köktürk, G., Tokuç, A., Andiç Çakır, Ö., Akyol Altun, D., Avcı Özkaban, F., Deniz, İ., Keskin Gündoğdu, T. ve Şendemir Ürkmez, A., (2016). *Slime moulds for supportive biologically-based urban design methods*.

- Köktürk, G., Tokuç, T., Altun, T.D., Kale, İ., Özkaban F. F., Andiç Çakır, Ö. ve Şendimir Ürkmez, A. (2019). Experimental and numerical shortest route optimization in generating a design template for a park in Kadifekale. *Environmentally- Benign Energy Solutions*. New York: Springer Publishing.
- Kurokawa, K. (b.t.), *Helix city*. 17 Şubat 2017, <http://www.kisho.co.jp/page.php/199>
- Kurokawa, K. (1992). *From metabolism to symbiosis*, New York: St. Martin Press,
- Kurokawa, K. (1997). *Each one a hero: the philosophy of symbiosis*. 26 Kasım 2016. <http://www.kisho.co.jp/page/292.html>
- Lomholt, I. (2016). *Spiral cafe birmingham: special street*. 25 Eylül 2018, <https://www.e-architect.co.uk/birmingham/spiral-cafe>
- Lökçe, S., (2001). Kisho Kurokawa, *Boyut Çağdaş Dünya Mimarları Dizisi 15*, İstanbul
- Magnus larsson sculpts the saharan desert with bacteria* (b.t.). 26 Eylül 2018, <https://www.designboom.com/architecture/magnus-larsson-sculpts-the-saharan-desert-with-bacteria/>
- Martin, G. W., Alexopoulos, C. J. ve Farr, M. L. (1983). *The genera of Myxomycetes*. 14 Haziran 2019, https://www.researchgate.net/profile/Martin_Schnittler/publication/267717411_Distribution_and_Ecology_of_Myxomycetes_in_the_Forests_of_Yucatan/links/545a0ec0cf2bccc4912fe0d/Distribution-and-Ecology-of-Myxomycetes-in-the-Forests-of-Yucatan.pdf
- Mayne, R. ve Hynam, M. (2015). *Physarum for architectural inspiration*. 22 Şubat 2019, <http://www.designleap.org/30/>
- Mayne, R., Adamatzky, A. ve Jones J. (2015). On the role of the plasmodial cytoskeleton in facilitating intelligent behavior in slime mold *Physarum polycephalum*. *Communicative & Integrative Biology*, 8(4), 155-179.

- Mayne, R. (2016). Biology of the *Physarum polycephalum* Plasmodium: preliminaries for unconventional computing. *Advances in Physarum Machines* 4(2), 3-22.
- Mayr, E., 2014. *Biyoloji budur canlı dünyanın bilimi* (2. Baskı). İstanbul: Say Yayıncılık.
- Mazzoleni, I., ve Price, S. (2013). *Architecture follows nature, biomimetic principles for innovative design*. Florida: CRC Press, Taylor and Francis Group.
- McManus, D. (2016). *Water cube Beijing: national swimming centre China*. 21 Eylül 2018, <https://www.e-architect.co.uk/beijing/watercube-beijing>
- Mediock, K. (2016). *Ingenious chlorella oxygen pavilion helps city dwellers breathe clean, unpolluted air using algae*. 27 Eylül 2019, <https://inhabitat.com/ingenious-chlorella-oxygen-pavilion-helps-city-dwellers-breathe-clean-unpolluted-air-using-algae/>
- Meinhold, B. (2009). *Qatar sprouts a towering cactus skyscraper*. 21 Eylül 2018, <https://inhabitat.com/qatar-cactus-office-building/cactus-building-1/>
- Myers, W. (2012). *Beyond biomimicry*. London: Thames & Hudson.
- Myers, W. (2012). *Bio Design. Nature. Science. Creativity*. New York: The Museum of Modern Art.
- Nakagaki, T. (2001). Smart behavior of true slime mold in a labyrinth. *Research Microbiology*. 152(1), 767-770.
- Nakagaki, T., Yamada, H. ve Ueda, T. (1999). Modulation of cellular rhythm and photo avoidance by oscillatory irradiation in the *Physarum plasmodium*. *Biophysical Chemical*, 82, 23–28.
- Nakagaki, T., Iima, M., Ueda, T., Nishiura, Y., Saigusa, T., Tero, A., Kobayashi, R. ve Showalter, K. (2007). Minimum-risk path finding by an adaptive amoeba network. *Physical Review Letters*. 99 (6). 145-167.

- Nakagaki, T., Yamada, H., Tóth, Á. (2000). Intelligence: Maze-solving by an amoeboid organism. *Nature*, 407 (6803), 470.
- Niizato, T., Shirakawa, T. ve Gunji, Y. P. (2010). A model of network formation by Physarum plasmodium: Interplay between cell mobility and morphogenesis. *Biosystems*, 100(2), 108-112.
- Oettmeier, C., Brix, K. ve Döbereiner, H. G. (2017). Physarum polycephalum- a new take on a classic model system. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 50, 41.
- Oh, E. (2016). *Lifeobject: israel pavilion at the 2016 venice biennale to study the relationship between biology and architecture*. 1 Haziran 2017, <https://www.archdaily.com/787504/israel-pavilion-at-the-2016-venice-biennale-lifeobject-studies-the-relationship-between-biology-and-architecture>
- Oksay, R. (2013). *Mimaride biyomimikri*. 18 Ocak 2019 <http://www.arkitera.com/haber/19038/mimaride-biyomimikri>
- Pawlyn, M. (2011). *Biomimicry in architecture*. London: RIBA Publishing.
- Pehlivan, F. D. (2010). *Rem Koolhaas ve yapıtları*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Platenen kubus (b.t.) 26 Eylül 2018, <https://www.competitionline.com/de/projekte/48309>
- Rainforest guardian skyscraper (b.t.). 20 Eylül 2018, <http://www.evolo.us/rainforest-guardian-skyscraper/>
- Ravi, S. (2014). *The effects of temperature on the growth and behavior of Physarum polycephalum*. 10 Ağustos 2018, https://suhasiniravi.wordpress.com/2014/10/10/the-effects-of-temperature-on-the-growth-and-behavior-of-physarum-polycephalum/#_Toc225759000
- Ravillious, K., (2007). *Borrowing from nature's best ideas*. New York: The Guardian.
- Rivera, F. (2017). *The institute for advanced architecture of catalonia proposes slime mould as architectural application*. 22 Şubat 2019,

- <https://www.designboom.com/design/living-screens-slime-mould-iaac-11-01-2017>
- Roberts, S. (2016). *Thinking with slime mould*. 18 Haziran 2018. <http://www.sarahroberts.net/?portfolio=thinking-with-slime-mould>
- Santos, S. (2016). *Elytra filament pavilion explores biomimicry at london's victoria and albert museum*. 18 Nisan 2019, <https://www.archdaily.com/787943/elytra-filament-pavilion-explores-biomimicry-in-london>
- Santos, S. (2016). *Insect-wing-inspired design wins moscow circus school competition*. 20 Eylül 2018, <http://www.archdaily.com/794885/insect-wing-inspired-design-wins-moscow-circus-school-competition/57d03983e58eace500002f-insect-wing-inspired-design-wins-moscow-circus-school-competition->
- Selçuk S., Sorguç A. ve Akan A. (2009). Altın oranla tasarlamak: doğada, mimarlıkta ve yapısal tasarımda Φ dizini. *Trakya Üniversitesi Journal of Science*,10(2), 149- 157.
- Selçuk S. ve Sorguç A. (2007). Mimarlık tasarımı paradigmasında biomimesisin etkisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22(2), 451- 459.
- Senosiain J. (2003). *Bio-Architecture*. Jordan Hill, Oxford: Architectural Press.
- Sharp, D. (2002). Kisho Kurokawa, *Boyut Yayınları Çağdaş Mimarlar Dizisi*,2,36-37.
- Sharp, J. (2016). The creeping garden: articulating the science of slime mould on film. *Advances in Physarum Machines*. New York: Springer Publishing.
- Shirakawa, T., Adamatzky, A., Gunji, Y. P. ve Miyake, Y. (2009). On simultaneous construction of Voronoi diagram and Delaunay triangulation by Physarum polycephalum. *International Journal of Bifurcation and Chaos*, 19(09), 3109-3117.

- Shirakawa, T. ve Gunji, Y. P. (2007). Emergence of morphological order in the network formation of *Physarum polycephalum*. *Biophysical chemistry*, 128(2-3), 253-260.
- Song, P. D. (2014). *Living architecture*. 11 Haziran 2019, <https://issuu.com/pfsong/docs/essay>.
- Steadman, P., (2008). *The evolution of designs: biological analogy in architecture and the applied arts*. Londra: Routledge Publishing.
- Stephenson, S.L. ve Stempen, H. (2000). *Myxomycetes: A handbook of slimemolds*. New York: Timber Press.
- Stinson, E. (2015). *Listen to slime mould sing a song*. 22 Şubat 2019, <https://www.wired.com/2015/10/listen-slime-mold-sing-song/>
- Strano, E., Adamatzky, A. ve Jones, J. (2012). *Vie Physarale: evaluation of roman roads with slime mould*. 13 Haziran 2019, https://www.researchgate.net/publication/223130191_Vie_Physarale_Evaluation_of_Roman_roads_with_slime_mould
- Stuttgart airport terminal 3 (b.t.). 21 Eylül 2018, <http://www.gmp-architekten.com/projects/stuttgart-airport-terminal-3.html>
- Şeker, Ş. E. (2009). *Floyd-Warshall algoritması*. 19 Temmuz 2019, <http://bilgisayarkavramlari.sadievrenseker.com/2009/05/29/floyd-warshall-algoritmasi/>
- Tanaka, H., Kondo, Y. ve Nei, H. (2014). What do amoebae look before they leap? an efficient mechanism before sporulation in the true slime mold *Physarum polycephalum*. *Nonlinear Theory and Its Applications*, 6 (2), 275-284.
- Ted (2009). *Magnus larsson: kum tepciklerinin mimariye dönüşümü*. 26 Eylül 2018, <https://www.youtube.com/watch?v=PXMJobWlXks>
- Tedglobal (2009). *Rachel armstrong: architecture that repairs itself?* 10 Haziran 2019,

https://www.ted.com/talks/rachel_armstrong_architecture_that_repairs_itself?language=tr

Tedsalonberlin (2014). *İnsan yarım akıllı cıvık mantarlardan ne öğrenebilir?* 17 Haziran 2018, https://www.ted.com/talks/heather_barnett_what_humans_can_learn_from_semi_intelligent_slime_1?language=tr

Tero, A., Kobayashi, R. ve Nakagaki, T. (2007). A mathematical model for adaptive transport network in path finding by true slime mold. *Journal of Theoretical Biology*, 244, 553–564.

Tero, A., Takagi, S., Saigusa, T., Ito, K., Bebbber, D. P., Fricker, M. D., Yumiki, K., Kobayashi, R. ve Nakagaki, T. (2010). *Rules for Biologically Inspired Adaptive Network Design*. *Science*, 327(5964), 439-442.

Türk Dil Kurumu, *Biyoloji*. 10 Ocak 2019. http://www.tdk.gov.tr/index.php?option=com_gts&arama=gts&guid=TDK.GTS.5bffc34bee3bb9.47201415

Tzonis, A. (2004). *Santiago Calatrava complete works*. New York: Rizzoli.

Uzun, S. (2015). *Modern mimarlığın gelişim süreci ve organik mimarlığın modern mimarlıktaki yeri*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Arel Üniversitesi, İstanbul.

Wallis, I., Bilan, L., Smith, M. ve Kazi, A. S. (2010). Beyond biomimicry: what termites can tell us about realizing the living building. *sustainable construction*. 234- 248.

Whiting, J. G. H., Costello, B. J. D. L. ve Adamatzky, A. (2014). Sensory fusion in physarum polycephalum and implementing multi-sensory functional computation. *BioSystems*, 119, 45-52.

Wilson, J. O., (2008). *A Systematic Approach To Bio-Inspired Conceptual Design*. Yüksek Lisans Tezi, Georgia Institute Of Technology, Georgia.

- Wohlfarth-Bottermann, K. E. ve Block, I. (1981). The pathway of photosensory transduction in *Physarum polycephalum*. *Cell Biology International Reports*.5 (4), 365–373.
- Wright, F. L., (1953). *The future of architecture*, New York- London: Horizon Press.
- Yiatros, S. ve diğer., (2007). *The Load-bearing duct: biomimicry in structural design*. 18 Eylül 2018, https://www.researchgate.net/publication/245409133_The_load-bearing_duct_Biomimicry_in_structural_design
- Yidong, M. ve Weiguo, X. (2017). *Physarealm*. 22. Uluslararası Bilgisayar Destekli Mimari Tasarım Araştırmaları Birliği Konferansı (CAADRIA).
- Yulo, P. R. J. Y. ve Cruz, T. E. E. D. (2012). Diversity and distribution of cellular slime molds (dictyostelids) in Lubang Island, Occidental Mindoro, Philippines. *An International Journal on Fungal Biology*, 3 (3): 188-194.
- Zardini, M. (1996). *Santiago Calatrava secret sketchbook*. New York: Monacelli Press.
- Zari, M. P. (2007). *Biomimetic approaches to architectural design for increased sustainability*. 17 Haziran 2019, <http://www.cmnzl.co.nz/assets/sm/2256/61/033-PEDERSENZARI.pdf>
- Zelef, H. (2000). Ütopya Kent ve Doğa; Frank Lloyd Wright ve Brodacre, *Mimarlık Dergisi*, 291, 15-19.
- Zeytün Uç, B. (2014). *Mimari tasarımda biyomorfik yaklaşımlar*. Yüksek Lisans Tezi, Yakındoğu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Lefkoşa.
- Zimmer, C., (2011). *Can answers to evolution be found in slime? The New York Times*, 3 Ekim 2011, <https://www.nytimes.com/2011/10/04/science/04slime.html>
- Zümre, M., Baba, H., Gelen, M. (2013). Türkiye miksomisetleri için yeni bir varyete kaydı, *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 3(8), 47-51.