



T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü



KARBON YUTAĞI OLARAK MİKROALGLERİN PEYZAJ MİMARLIĞI UYGULAMALARINDA KULLANIMI

Yüksek Lisans Tezi

İlke AKKAYA

Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı Adı

İzmir
2024

T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü

**KARBON YUTAĞI OLARAK MİKROALGLERİN
PEYZAJ MİMARLIĞI UYGULAMALARINDA
KULLANIMI**

İlke AKKAYA

Danışman : Prof. Dr. Erhan Vecdî KÜÇÜKERBAŞ

Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı
Peyzaj Mimarlığı Yüksek Lisans Programı

İzmir
2024

İlke AKKAYA tarafından Yüksek Lisans tezi olarak sunulan “Karbon Yutağı Olarak Mikroalglerin Peyzaj Mimarlığı Uygulamalarında Kullanımı” başlıklı bu çalışma EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile EÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi’nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği/oyçokluğu ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri:

İmza

Jüri Başkanı	:	
Raportör Üye	:	
Üye	:	
Üye	:	
Üye	:	

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Karbon Yutağı Olarak Mikroalglerin Peyzaj Mimarlığı Uygulamalarında Kullanımı” başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

03/ 05 / 2024

İlke AKKAYA

ÖZET

KARBON YUTAĞI OLARAK MİKROALGLERİN PEYZAJ MİMARLIĞI UYGULAMALARINDA KULLANIMI

AKKAYA, İlke

Yüksek Lisans Tezi, Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Erhan Vecdi KÜÇÜKERBAŞ

Mayıs 2024, 77 sayfa

Nüfusun hızla artışı sonucu kentleşmenin de hızlı ve düzensiz şekilde artması, fosil yakıtların kullanımı, sanayi süreçleri gibi insan etkinlikleri; küresel iklim değişikliği sorunlarını beraberinde getirmektedir. Küresel sera gazı emisyonları içinde CO₂ gazının payı büyüktür dolayısıyla CO₂'i tutan sürdürülebilir peyzaj mimarlığı uygulamaları oldukça önemlidir. Mikroalgler; en verimli fotosentezi gerçekleştirmekte, yüksek hızla büyüebilmekte, verimli topraklara ihtiyaç duymamakta, tatlı su dışında tuzlu ve acı sularda yetiştirilebilmektedirler. Ayrıca pis suyu temizleme yetenekleri ve sistemlerde açığa çıkan fazla ısının farklı amaçlarla kullanılabilmesinin yanında üretilen biyokütlenin biyoenerjiye dönüştürülmesi gibi çevre sorunlarının giderimi konusunda kullanımı ve gıda, yem, kozmetik, ilaç, gübre, pigment kaynağı olarak farklı sektörlerde pazar alanı bulması ile oldukça avantajlı konumdadırlar. Bu çalışmada küresel iklim değişikliği sorunlarına sunduğu çözüm yollarıyla göze çarpan mikroalgal sistemlerin peyzaj mimarlığı uygulamalarında kullanım alanlarının araştırılması amaçlanmıştır. Çalışmada mikroalgal sistemlerin kullanıldığı Türkiye ve Dünya örnekleri sistem çeşidi, renk, sürdürülebilirlik, kullanım amacı ve estetik başlıkları altında incelenerek kimlik kartları oluşturulmuş ve peyzaj mimarlığı uygulamaları kapsamında değerlendirilmiştir.

Anahtar sözcükler: Alg hazvuzu, CO₂ giderimi, Fotobiyoreaktör, Mikroalg, Peyzaj donatıları, Sürdürülebilirlik

ABSTRACT**USE OF MICROALGAE AS A CARBON SINK
IN LANDSCAPE ARCHITECTURE APPLICATIONS**

AKKAYA, İlke

MSc in Landscape Architecture

Supervisor: Prof. Dr. Erhan Vecdi KÜÇÜKERBAŞ

May 2024, 77 pages

The rapid and disorderly urbanization resulting from the rapid increase in population, the use of fossil fuels, industrial processes, and other human activities bring along the problems of global climate change. The share of CO₂ gas is significant in global greenhouse gas emissions; therefore, sustainable landscape architecture practices that capture CO₂ are highly important. Microalgae can perform the most efficient photosynthesis, grow rapidly, do not require fertile soil, and can be cultivated in salty and brackish waters apart from freshwater. Additionally, their ability to purify wastewater, utilize excess heat generated in systems for various purposes, and convert produced biomass into bioenergy, along with their use in addressing environmental issues and finding market opportunities in various sectors such as food, feed, cosmetics, pharmaceuticals, fertilizers, and pigment sources, make them quite advantageous. This study aimed to explore the application areas of microalgal systems in landscape architecture practices, highlighting their solutions to the problems of global climate change. Examples from Turkey and around the world, where microalgal systems are utilized, have been examined under the headings of system type, color, sustainability, usage purpose, and aesthetics to create identity cards, and evaluated within the scope of landscape architecture applications.

Keywords: Algae reservoir, CO₂ removal, Landscape elements, Microalgae, Photobioreactor, Sustainability

ÖNSÖZ

Nüfus artışı ve modern toplumun giderek artan ihtiyaç ve lüksleri sürekli olarak çevreye salınan CO₂ miktarını artırmaktadır. Bu durum geri dönülemez küresel iklim değişikliği sorunlarına sebep olmakta ve çevre dostu çözüm arayışlarını zorunlu kılmaktadır (Türkeş, 2008; Aghaalipour vd., 2017). Öte yandan yapılan bilimsel çalışmalar dünyanın O₂ ihtiyacının %80'inin algler tarafından karşılandığını ortaya koymaktadır. Aynı zamanda alg üretim sistemleri verimli toprağa ihtiyaç duymamakta dolayısıyla gıda sorunlarına rekabet oluşturmamaktadır (Haznedaroğlu 2020). Mikroalgler 24 saat içinde kütlelerini 2 katına çıkabilirler ve hasatları yapıldıkça tekrar tekrar O₂ üretimi sağlanmaktadır (Chisti, 2007). Mikroalgler bitkilere oranla 10 kat daha fazla CO₂ tutmaktadır (Usui and Ikenouchi, 1997). Aynı zamanda mikroalgler kirli suyu belirli oranlarda temizleyebilmektedirler. Hasat edilen biyokütle yenilenebilir enerji ve pigment kaynağı olarak kullanılabilir; gıda, yem, eczacılık ve kozmetik sektörlerine hammadde sağlamaktadır (Şahin ve Akyurt, 2010). Tüm bunlar göz önünde bulundurulduğunda mikroalg yetiştirme sistemleri çevre dostu çözümler arasında oldukça avantajlı konuma geçmektedir. Peyzaj Mimarlığı çalışmaları da sürdürülebilir, doğayı koruyan ve çevre sorunlarına çözüm arayan bir yerde durmaktadır. Dolayısıyla farklı disiplinlerde çalışma alanı bulan alglerin Peyzaj Mimarlığı uygulamalarında da kullanım alanlarının araştırılması ve bu uygulamaların yaygınlaştırılması; CO₂ tutumunun artırılması ve buna paralel olarak küresel iklim değişikliği etkilerinin azaltılması konularında taşıdığı büyük önem bu tezin konusunu oluşturmaktadır.

İZMİR

03/05/2024

İlke AKKAYA

İÇİNDEKİLER

Sayfa

İÇ KAPAK.....	ii
KABUL ONAY SAYFASI.....	iii
ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI.....	iv
ÖZET	v
ABSTRACT	vi
ÖNSÖZ	vii
1. GİRİŞ	1
1.1. Hipotez ve Araştırma Soruları	3
1.2. Tezin Özgünlüğü ve Önemi.....	4
2. GENEL BİLGİLER	5
2.1 Algler	5
2.1.1 Mikroalglerin gelişim evreleri	6
2.1.2 Mikroalg Gelişiminde Etkili Parametreler.....	7
2.1.3 Alg üretim sistemleri	11
2.1.4 Mikroalglerin hasat işlemi	19
2.1.5 Mikroalglerin kullanım alanları	21
2.2. Peyzaj Donatıları	24
2.2.1. Peyzaj donatılarının sınıflandırılması	25
2.2.2. Donatı elemanlarının tasarım kriterleri.....	26
2.3. CO ₂ Giderimi	29
3. MATERYAL ve YÖNTEM	31
3.1. Materyal	31
3.2. Yöntem	31
4. BULGULAR.....	33
4.1. Mikroalgal Sistemlerin Peyzaj Mimarlığı Uygulamalarında Kullanımı	33
4.1.1. Türlerine göre mikroalgal tasarım örnekleri.....	33
5. TARTIŞMA	48
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	53

KAYNAKLAR DİZİNİ.....	58
TEŞEKKÜR	76
ÖZGEÇMİŞ.....	77
EKLER	



ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1a <i>Spirulina (Arthrospira platensis)</i>	5
2.1b <i>Dunaliella salina</i>	5
2.1c <i>Chlorella vulgaris</i>	5
2.1d <i>Haematococcus pluvialis</i>	5
2.2 Mikroalglerin tipik büyüme evresi	7
2.3 Alg üretim sistemleri	11
2.4a Doğal gölet yetiştirme sistemi	12
2.4b Üretim havuzları	12
2.4c Üretim tankları	12
2.5a Atık su arıtımı amaçlı oksidasyon havuzu	13
2.5b <i>Dunaliella salina</i> havuzları	13
2.6 Yarış pisti havuzu şematik gösterimi.....	13
2.7 Dairesel havuz sistemi	14
2.8 Alg üretim torbaları	15
2.9 Polyester tanklarda üretim	15
2.10a Yatay tübüler fotobiyoreaktör.....	16
2.10b Düşey tübüler fotobiyoreaktör.....	16
2.11 Tübüler fotobiyoreaktör.....	16
2.12 Tübüler fotobiyoreaktörlerin çalışma şekli.....	17
2.13a Şeffaf plastik düz levha fotobiyoreaktör.....	18
2.13b Cam düz levha fotobiyoreaktör	18
2.14 Biocoil tip fotobiyoreaktör örnekleri	18
2.15 Dikey sütun fotobiyoreaktör örnekleri.....	19
3.1 Yöntem şeması.....	32
4.1 Liquid-3 kimlik kartı.....	34
4.2 Algae Dome kimlik kartı	34
4.3 <i>Chlorella</i> Oksijen Pavilyonu kimlik kartı	35
4.4 Arteoli kimlik kartı	35
4.5 AlgaeTECT Evi kimlik kartı	36

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.6 Kentsel çeşme kimlik kartı	37
4.7 Urban Algae Canopy kimlik kartı.....	37
4.8 Algevator kimlik kartı	38
4.9 Park kanopisi kimlik kartı.....	38
4.10 Kentsel ağaç kimlik kartı	39
4.11 Urban Algae Folly kimlik kartı.....	39
4.12 Tree One kimlik kartı	40
4.13 Pert Fotobiyoreaktör kimlik kartı	40
4.14 Kentsel fotobiyoreaktör kimlik kartı	41
4.15 Biyokromik Pencere kimlik kartı.....	42
4.16 Biyodijital Kentsel Perde kimlik kartı	42
4.17 Biyodijital Kentsel Perde kimlik kartı	42
4.18 Alg Perdesi kimlik kartı.....	43
4.19 Algonomad kimlik kartı.....	43
4.20 Airbubble kimlik kartı	44
4.21 Bio-Intelligent Quotient (BIQ) binası kimlik kartı.....	44
4.22 Zero: Retrofit Resolution/GSA Binası kimlik kartı.....	45
4.23 NetZero (AN) Fikir Yarışması/Yaşayan Laboratuvar kimlik kartı	45
4.24 Frenchdreamtowers kimlik kartı.....	46
4.25 In Vivo kimlik kartı	46
6.1 Mikroalgal sistemlerin kullanıldığı Türkiye ve Dünya örneklerinin sayıca dağılımı	53
6.2 Mikroalgal sistemlerin kullanıldığı örneklerin kategorilere göre sayıca dağılımı	54
6.3 Mikroalgal sistemlerin kullanıldığı örneklerin kullanım amaçlarına göre sayıca dağılımı	55
6.4 Mikroalgal sistemlerin kullanıldığı örneklerin estetik olarak sayıca dağılımı	55
6.5 Mikroalgal sistemlerin kullanıldığı örneklerin yetiştiricilik türü olarak sayıca dağılımı	56

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
6.6 Mikroalgal sistemlerin kullanıldığı örneklerin alg renklerinin sayıca dağılımı	56
6.7 Mikroalgal sistemlerin kullanıldığı örneklerin sürdürülebilirlik amaçlarının sayıca dağılımı	57



TABLÖLAR DİZİNİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Mikroalglerin ortalama üretim koşulları.....	7
2.2 Kullanım amaçlarına göre donatı elemanlarının sınıflandırılması	26



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
°C	Degrees Centigrade / Santigrad Derece
%	Yüzde İşareti
μ	Mikron
μm	Mikrometer / Mikrometre
cm	Centimeter / Santimetre
CO ₂	Carbon Dioxide / Karbondioksit
gr	Gram / Gram
h	Hour / Saat
kg	Kilogram / Kilogram
L	Liter / Litre
Lux	Lüx / Birim Alan Başına Işık Akısı
m	Meter / Metre
m ²	Square Meter / Metrekare
m ³	Cubic Meter / Metreküp
ml	Milliliter / Mililitre
mm	Milimeter / Milimetre
NH ₃	Ammonia / Amonyak

nm	Nanometer / Nanometre
O ₂	Oxygen / Oksijen
pH	Power of Hydrojen / Hidrojenin gücü

Kısaltmalar

AIDS	Acquired Immune Deficiency Syndrome/Kazanılmış Bağışıklık Yetersizliği Sendromu
EPA	Eikosapentaenik asit
DHA	Dokosaheksaenik asit

1. GİRİŞ

Richard Smalley (1943, 2005) insanlık sorularını enerji, su, gıda, yoksulluk, eğitim, terörizm ve savaş, hastalıklar, demokrasi, çevre ve nüfus olmak üzere 10 başlık altında toplamaktadır. Dünya nüfusu sürekli artış göstermektedir. Nüfus artışı ile beraber enerji, su, gıda, barınma ihtiyacı, üretilen atık miktarı artmaktadır. Tüm bunların paralelinde gerçekleşen plansız kentleşme, fosil yakıtların kullanımı ve insanların kaynakları bilinçsiz tüketimi gibi sebepler küresel iklim değişikliği sorunlarını beraberinde getirmektedir. Küresel sıcaklık değerlerinin artışı kuraklık, sel, buzulların erimesi dolayısıyla deniz seviyesinin yükselmesi, içilebilir su kaynaklarının yetersiz kalması, kuvvetli kasırgalar, yangın, türlerin yer değiştirmesi veya gerekenden fazla artışı/azalışı, geleneksel tarım rejimlerinin yok olması gibi problemlere yol açmaktadır (Haznedaroğlu, 2020; Aghaalipour vd., 2017). Küresel iklim değişikliğinin insanlar ve çevre üzerindeki olumsuz etkileri CO₂ tutma, kentsel ısı adası etkisinin azaltılması, yenilenebilir enerji üretimi, atık suların arıtımı gibi çevre problemlerine yönelik sürdürülebilir ve doğa dostu çözüm arayışlarını zorunlu kılmaktadır (Kükdamar ve Tokuç 2015).

Dünya enerji ihtiyacının %90'ını fosil kaynaklardan elde etmektedir (Koç vd., 2018). Küresel ısınma, sera gazı emisyonlarının artışından kaynaklanmaktadır ve bu gazlar arasında CO₂ gazı oldukça önemli rol oynamaktadır (Aghaalipour vd. 2017). Türkiye İstatistik Kurumu (2023) 30 Mart 2022'de 2020'ye ilişkin sera gazı emisyonu miktarının 2019'a göre %3,1 arttığını ve 523,9 milyon ton CO₂ eşdeğeri olduğunu açıklamıştır. Bilim insanları CO₂ seviyelerinin artarak devam etmesinin geri dönülmez iklim değişikliği sorunlarına yol açacağını öne sürmektedirler. Ayrıca yapılan çalışmalarda CO₂ salınımının artması sonucu 2100'e kadar ortalama yüzey sıcaklığı artışının 2-4,5 °C aralığında olacağı görülmektedir (Türkeş, 2008; Aghaalipour vd., 2017).

Dünyanın bitki biyokütlesinin 3'te 1'ini algler oluşturmaktadır (Kükdamar ve Tokuç 2015). Algler besin zincirinde önemli bir yer tutmaktadırlar. Primer canlılardır ve su ortamında bulunmaktadırlar. Basit yapıları organizmalardır. Klorofil içermektedirler. Tek hücreli olabildikleri gibi çok hücreli türlerine de rastlanmaktadır veya koloniler halinde bulunabilmektedirler. Türlerine göre 3-10 µ

ile 70 cm arasında boyut farklılıkları olabilmektedir. Sucul ve yarı sucul ortamlarda yaşayabilmektedirler (Aktar ve Cebe, 2010). Algler boyut farklılıklarına göre makroalgler ve mikroalgler olarak 2 grupta, içerdikleri pigment maddelerine göre kahverengi, kırmızı ve yeşil olmak üzere 3 grupta incelenmektedirler. Makroalgler çok hücreli, büyük boyutlu, gözle görülebilen bitki benzeri protistaların farklı bir grubudur. Hızlı büyüyelebilmektedirler. Sucul canlılar için beslenme, barınma ve üreme ortamı oluşturmaktadırlar. Mikroalgler ise mikroskobik canlılardır. Hızlı bir şekilde çoğalabilmekte ve olumsuz şartlarda yaşayabilmektedirler. (Sasa vd., 2020). Mikroalgler bitkiler gibi verimli topraklara ihtiyaç duymazlar, küçük alanlarda da yetiştirilebilmektedirler. Tatlı su dışında tuzlu ve acı sularda da yetişebilirler ve kirli suyu arıtılma özelliğine sahiptirler dolayısıyla temiz suya da rekabet oluşturmazlar (Haznedaroğlu, 2020). 1 kg mikroalg eldesi sonucu 1,83 kg CO₂ yakalanmaktadır. Fotosentez sayesinde açık ortamda algler %6 güneş enerjisi verimliliği ile CO₂ yakalayabilirken gelişmiş bitkiler sadece %0,2 güneş enerjisi verimliliği kullanılmaktadır. Uygun koşulların sağlandığı kapalı bir sistemde ise algler açık bir sistemden 10 kat daha fazla verimlilik elde edebilmektedirler (Oktor, 2018). Çok hızlı büyümeleri ve hızla yeniden üretilebilmeleri sayesinde bitkilere oranla çok daha fazla CO₂ tutabilmektedirler. Aynı zamanda mühendislik sistemleri (reaktörler) içerisinde büyütülebildikleri için CO₂ emisyonu yüksek endüstrilerden (termik santraller, petrol rafinerileri, diğer fabrikalar) CO₂ doğrudan sistem içerisine verilebilmektedir. Mikroalgler azot, fosfor, potasyum gibi besinlere ihtiyaç duyarlar fakat yine mühendislik sistemlerinde büyütülebildikleri için azot ve fosfor çıktısı yüksek olan atık su arıtma tesisleri, gıda üretim fabrikaları, hayvansal ve tarımsal üretim tesislerinden atıklar doğrudan sistem içerisine alınabilmektedir (Haznedaroğlu, 2020). Algler geçmişten günümüze tarım, yem, atık arıtma, akuakültür, biyoenerji, tıp, eczacılık, gıda, tekstil, kozmetik alanlarında kullanılmaktadırlar. İnsanların daha genç ve canlı görünmeleri amacıyla uygulanan Talassoterapi yönteminde deniz alglerinin su, çamur ve kum ile beraber kullanıldığı bilinmektedir. Ayrıca atık sulardan siyanürün uzaklaştırılmasında; diğer kullanılan yöntemlere göre daha ekonomik ve çevre dostu çözüm sunduğu ifade edilmektedir (Sasa vd., 2020).

Kyoto Protokolü'ne göre dünyada gelişmiş ve gelişmekte olan birçok ülke yasal olarak sera gazı salınımını azaltma zorunluluğundadır. Bu yasal zorunluluklar

ABD ve Avrupa ülkelerinde üretici firmalara uygulanmaktadır ve yakın gelecekte ülkemizde de uygulanacağı öngörülmektedir (Sayaner, 2013). Bu doğrultuda CO₂'i tutan, sürdürülebilir peyzaj mimarlığı uygulamaları gün geçtikçe daha fazla önem kazanmaktadır. Tüm bu avantajları dolayısıyla zaten peyzajın bir ürünü olan mikroalglerin peyzaj mimarlığı uygulamalarında kullanımı oldukça önemlidir.

Bu çalışmanın amacı küresel iklim değişikliği sorunlarına farklı konularda çözümler sunan mikroalgal sistemlerin peyzaj mimarlığı uygulamalarında kullanım alanlarının araştırılarak yaygınlaştırılmasına katkı sağlamaktır.

Bu bağlamda;

- Alglerin yetiştirme koşulları ve sistemleri, kullanım alanlarının araştırılması,
- Algal sistemlerin peyzaj mimarlığı uygulamaları içerisindeki yerinin belirlenmesi,
- Peyzaj donatı elemanlarının sınıflandırılması ve tasarım kriterlerinin araştırılması,
- CO₂ giderim yöntemlerinin araştırılması,
- Mikroalgal tasarımların Dünya ve Türkiye örneklerinin araştırılması,
- Mikroalgal tasarımlarda kullanılan sistemlerin araştırılması ve bu sistemlerin ekolojik bakış açısı/sürdürülebilirlik kapsamında değerlendirilmesi,
- Mikroalgal tasarımların peyzaj mimarlığı uygulamaları açısından değerlendirilmesi

hedeflenmektedir.

1.1. Hipotez ve Araştırma Soruları

Hipotez: Küresel iklim değişikliği sorunlarına farklı alanlarda doğa dostu ve sürdürülebilir çözümler sunan ve halihazırda peyzajın bir unsuru olan alglerin peyzaj mimarlığı uygulamaları içerisindeki yeri araştırılmalı ve kullanımı yaygınlaştırılmalıdır.

Tez çalışması süresince aşağıdaki sorulara cevaplar aranacaktır.

1.Mikroalgal sistemler küresel iklim değişikliği sorunlarına nasıl cevap vermektedir?

2.Mikroalgal sistemler peyzaj mimarlığı uygulamaları içerisinde nerelerde yer bulmaktadır?

3.Mikroalgal tasarımlarda kullanılan yetiştirme sistemleri nelerdir?

4.Mikroalgal tasarımlar peyzaj mimarlığı uygulamaları açısından nasıl değerlendirilebilir?

1.2. Tezin Özgünlüğü ve Önemi

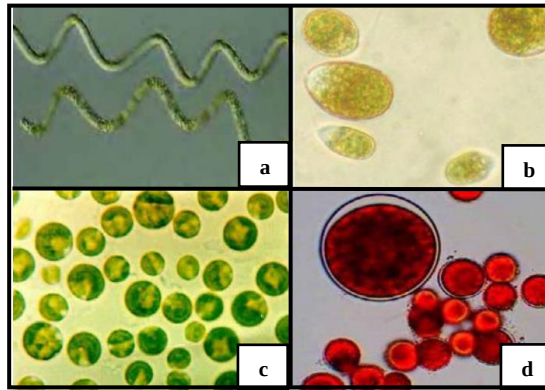
Küresel iklim değişikliği sorunlarına sebep olan en önemli gazlardan biri CO₂'tir (Aghaalipour vd. 2017). Bu nedenle CO₂'i tutan ve kentsel hava kalitesine katkı sağlayan çalışmaların önemi büyüktür. 1 kg mikroalg biyokütlesi 1,83 kg CO₂ yakalamaktadır. Bunun dışında mikroalgler en verimli fotosentezi gerçekleştirmesi, yüksek hızla büyümesi ve her hasatta tekrar tekrar CO₂ tutumu ve ürün eldesi yanında verimli topraklara ihtiyaç duymaması, tatlı su dışında tuzlu ve acı sularda yetişebilmesi açısından avantaj sağlamaktadır (Haznedaroğlu, 2020). Ayrıca diğer kirletici gazları ve pis suyu temizleme yetenekleri ve üretilen biyokütlenin biyoenerjiye dönüştürülmesi gibi çevre sorunlarının giderimi konularında ve gıda, yem, kozmetik, ilaç, pigment kaynağı olarak kullanımı ile tam bir yararlanmaya hizmet vermektedir (Şahin ve Akyurt, 2010). Mikroalg üretim sistemlerinin peyzaj mimarlığı uygulamalarında kullanım alanı bulmasıyla mikroalglerin ekosisteme sağladığı fayda artacaktır. Peyzajın bir unsuru olmasına ve küresel iklim değişikliği sorunlarına sunduğu çözümlere rağmen diğer meslek disiplinlerinde çalışma alanı bulup peyzaj mimarlığı uygulamalarında gereken yerde bulunmayan mikroalgal tasarımların incelenmesi çalışmanın özgünlüğünü oluşturmaktadır. Bu çalışmada mikroalgal tasarımların Türkiye ve Dünya örnekleri peyzaj mimarlığı uygulamaları açısından değerlendirilmektedir ve yapılacak yeni tasarımlara örnek teşkil etmesi açısından önemli bir yerde durmaktadır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1 Algler

Algler dünya üzerinde var olmuş en eski fotosentetik mikroorganizmalardır. Birincil üreticilerdir inorganik karbonu enerjiye çevirirler. Fotosentez yoluyla karbondioksit, su ve güneş ışığını biyokütleyle çevirirler. Tatlı ve tuzlu su kaynaklarından veya birçok çevre ortamından izole edilebilirler. Hücre boyutları göz önünde bulundurulduğunda mikroalgler ve makroalgler (su yosunları) olarak 2'ye ayrılırlar. Renk farklılıklarına göre ise mavi yeşil algler (Cyanophyceae), kahverengi algler (Pheophyceae), kırmızı algler (Rhodophyceae) ve yeşil algler (Chlorophyceae) olmak üzere 4 gruba ayrılırlar (Oktor, 2018).

Mikroalgler tek hücreli veya basit çok hücreli yapıdadırlar. Bu sayede zor şartlarda dahi büyüyebilirler ve hızlı gelişim gösterirler (Mata et al., 2010). Genel olarak 24 saat içinde kütlelerini 2 katına çıkarırlar. Bu süreç üstel büyüme sırasında 3,5 saate kısalabilmektedir (Chisti, 2007). Mikroalglerin tanımlanmış on binlerce türü vardır. En önemli türleri yeşil algler (*Dunaliella*, *Chlorella*, *Haematococcus*), diatomlar ve siyanobakterilerdir (*Spirulina*). Yeşil algler ve diatomlar ökaryotik canlılardır. Hücre zarına sahiptirler ve bir ya da birkaç çekirdekli olabilmektedirler. Siyanobakteriler prokaryotik mikroorganizmalardır. Hücre zarları ve çekirdekleri yoktur (Lundquist et al., 2010). Şekil 2.1'de ticari anlamda önemli mikroalg türleri görülmektedir.



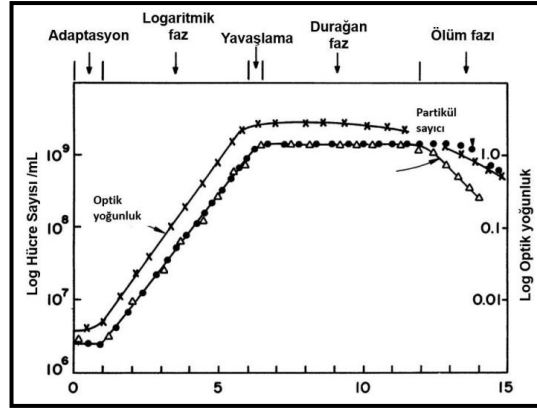
Şekil 2.1. a) *Spirulina* (*Arthrospira platensis*), b) *Dunaliella salina*, c) *Chlorella vulgaris*, d) *Haematococcus pluvialis* (Lundquist et al., 2010).

2.1.1 Mikroalglerin gelişim evreleri

Mikroalglerin fotootrofik, heterotrofik, miksotrofik ve fotoheterotrofik olmak üzere 4 yetiştirme koşulu vardır. Mikroalg yetiştiriciliğinde en çok kullanılan yol fotosentez için gerekli enerjinin ışıktan karbonun ise karbondioksitten karşılandığı **fotootrofik** yetiştirme şeklidir. **Heterotrofik** yetiştirme şekli mikroalglerin karanlık koşullar altında enerji ve karbon kaynağı olarak organik karbonu kullandığı durumdur. Mikroalglerin karbon kaynağı olarak organik bileşikleri ve inorganik karbonu kullandığı biçim **miksotrofik** yetiştirme olarak adlandırılır. Bu durum mikroalglerin fotootrofik veya heterotrofik koşullarda ya da hem fotootrofik hem heterotrofik koşullarda yaşayabileceğini göstermektedir. **Fotoheterotrofik** yetiştirme şeklinde ise mikroalgler enerji kaynağı olarak organik bileşikleri kullanır. Hem şeker hem de ışığa ihtiyaç duyarlar (Huang et al., 2010; Chojnacka and Marquez-Rocha, 2004).

Mikroalglerin hücresel gelişim evreleri aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır.

- **Adaptasyon evresi:** Mikroalg kültürünün çevreye uyum sürecidir.
- **Üstel (logaritmik) büyüme aşaması:** Mikroalg hücre sayısının ve biyokütle konsantrasyonunun besin sınırlayıcı olmaksızın zamana bağlı orantılı biçimde arttığı evredir.
- **Yavaşlama aşaması:** Besin ve ışık sınırlaması veya diğer toksik etkiler sebebiyle kısa bir zaman diliminde gerçekleşen, mikroalglerin büyüme hızının yavaşladığı aşamadır.
- **Durağan faz:** Büyüme hızının 0 veya ölüm hızına eşit olduğu, hücre konsantrasyonunun maksimum değere ulaştığı ve yaklaşık olarak sabit kaldığı evredir.
- **Ölüm fazı:** Bir önceki fazda gerçekleşen hücre ölümleri sonucu ortama yayılan toksik bileşenler ölüm fazını başlatır. Hücre ölüm oranı yüksektir ve büyüme hızı minimal düzeydedir. (Kılıç, 2017). Şekil 2.2’de mikroalglerin tipik büyüme evresi verilmiştir.



Şekil 2.2. Mikroalglerin tipik büyüme evresi (Kılıç, 2017).

2.1.2 Mikroalg Gelişiminde Etkili Parametreler

Mikroalglerin gelişimine etki eden en önemli parametreler; sıcaklık, besin, ışık, karbon kaynağı, havalandırma, pH'tır. Türler göre gelişime etki eden faktörlerin optimum değerleri değişmektedir. *Spirulina* türü yüksek bikarbonat yoğunluğunda ve pH değerlerinde ideal gelişim gösterirken *Chlorella* zengin besin ortamında, *Dunaliella salina* tuz oranı yüksek ortamlarda daha iyi gelişim göstermektedir (Eliçin vd., 2009; Gezici, 2012; Uğuz, 2023). Tablo 2.1'de mikroalglerin ortalama üretim koşulları verilmiştir.

Tablo 2.1. Mikroalglerin ortalama üretim koşulları (Gezici, 2012).

Parametreler	Sınır değerleri	Optimum şartlar
Sıcaklık (°C)	16 – 40	18 – 24
Tuzluluk (g/l)	12 – 40	20 – 24
Işık yoğunluğu (lux)	1000 – 10000	2500 – 5000
Işıklanma süresi (Gündüz:gece h)	-	16:8 minimum 24:0 maksimum
pH	7 – 9	8,2 – 8,7

Işık: Marsh'a (2008) göre ışık mikroalglerin fotosentez yapabilmesi için en önemli unsurdur. Işık şiddeti, ışığın periyodu ve ışık kısıtlaması fotosenteze etki eden ışık değişkenleridir (Sayaner 2013).

Işık şiddeti ortama gelen ışık enerjisi miktarıdır. Işık şiddetinin ortamda gereğinden fazla olması mikroalg gelişimini olumsuz yönde etkilemektedir

(Carvalho et al., 2011). Işık miktarı arttıkça (doyma noktasına ulaşana kadar) mikroalg büyüme oranı da artar. Işık şiddeti doyma noktasını geçtikten sonra artmamakta hatta (inhibisyon şiddeti) yavaşlamaktadır. Doyma noktası ve inhibisyon şiddeti; ortamdaki sıcaklık, CO₂ seviyesi, besin takviyesi ve çevresel faktörlere göre değişkenlik göstermektedir (Sorokin and Krauss 1958). Mikroalgler 400-700 nm arasındaki ışıkları emerler. Yapılan çalışmalar alglerin 750 nm'den fazla ışık spektrumlarını kimyasal enerjiye dönüştürmek için yeterli enerjiye sahip olmadığını 600-800 nm arasındaki spektrumun fotosentez için en iyi optimum foton aralığı olduğunu göstermektedir (Katuwal, 2017).

Mars (2008) çalışmasında ışık periyodunun hücrelerin ışığa maruz kaldığı süreyle ilgili bir kavram olduğuna değinmiştir. Yapay ışıklandırmaların kullanıldığı üretim sistemlerinde ışık kaynağı kontrol edilebilmektedir. Flaş ışıklandırma (ışığın bir açılıp bir kapandığı) sistemleri sürekli ışıklandırma sistemlerinden daha başarılıdır (Sayaner, 2013). Özellikle ışık şiddetinin yüksek olduğu sistemlerde kısa aralıklarla ortamın karanlık bırakılması fotosentezi artırmaktadır (Park and Lee, 2001) Gün ışığının kullanıldığı sistemlerde ışık periyodu gece ve gündüz süreleri olarak değerlendirilir. Işıklandırma sürelerinin azalmasıyla biyokütle üretiminin azalması arasında doğrusal bir ilişki bulunmaktadır (Lopes et al., 2009). Algler güneş ışığının 1/10 kadarını absorbe edebildiği için doğrudan güneş ışığı da alglerin gelişimini olumsuz etkilemektedir (Encarnacion et al., 2010).

Işık kısıtlaması hücrelerin ışık görüp görmemesi ile ilgilidir. Kültür ortamının yüzey kısmındaki hücreler ışık görürken hücrelerin birbirini gölgelemelerinden kaynaklı derinlerdeki hücreler ışık görmemektedir (Suh and Lee, 2003). Fotobiyoreaktörlerde yetiştirme söz konusu olduğunda kullanılan malzemenin geçirgenliği, sistemin yüzey-hacim oranlarına dikkat edilmesi gerekmektedir. Açık havuz sistemlerinde ise sığ havuzlar tercih edilmeli derinlik kısıtlanmalıdır (Larsdotter, 2006; Wang et al., 2012).

Sıcaklık: Sıcaklık, ışıktan sonra alglerin gelişimini kısıtlayan en önemli faktördür (Mata et al., 2010). Alg hücrelerinin gelişimlerini ve metabolik faaliyetlerini etkilemektedir. Çoğu alg kültürü 16-27 °C sıcaklıkta gelişim göstermekle birlikte her alg kültürü için en uygun sıcaklık değeri değişiklik

göstermektedir (Encarnacion et al., 2010; Mahfouz, 2014). Mikroalgler ortamın sıcaklık oranlarına göre psikofilikler (çok düşük sıcaklıklar/0 °C'nin altı), termofiller (yüksek sıcaklıklar/75 °C'nin üstü) ve mezofilikler (iki grup arasında kalanlar) olmak üzere 3 grupta değerlendirilebilirler. Çok yüksek veya düşük sıcaklıklar alg hücrelerinin gelişimlerini olumsuz etkilemektedir dolayısıyla kontrol altında tutulmalıdır. Mikroalgler optimal sıcaklık değerinin 15 °C altına tolerans gösterebilmektedir fakat bu sıcaklığın 2-4 °C üstü biyokütle kayıplarına sebep olmaktadır (Mata et al., 2010). Fotobiyoreaktörlerde üretim yapılırken ortam sıcaklığı 10-30 °C artış gösterebilmektedir (Wang et al., 2012). Sıcak iklim koşullarında ortamdaki sıcaklık artışı sorun oluşturmaktadır. Soğuk iklim koşullarının görüldüğü bölgelerde veya kış aylarında ise ortam sıcaklığı mikroalg gelişimi için uygun olan sıcaklığın altında kalabilmektedir. Termik santrallerin baca gazlarının atık ısısından faydalanılabilmektedir (Darzins et al., 2010).

Besin: Mikroalgler eser miktarda ya da az miktarlarda çinko, potasyum, demir, kükürt, selenyum, kobalt, kalsiyum, molibden, magnezyum ve nikel besinlerine ihtiyaç duysada asıl besin kaynakları temelde fosfor ve azottur (Darzins et al., 2010). Mikroalgler azot kaynağı olarak en çok nitrat, amonyak ve üreyi kullanmaktadırlar. Atık sular farklı formlarda azot kaynaklarını içerdikleri ve ucuz oldukları için tercih edilebilmektedirler (Wang et al., 2008). Fosfatlar metal iyonlarıyla bileşik oluşturdukları için her fosfor kaynağı kullanılamamaktadır dolayısıyla fosfor kültür ortamında fazla bulundurulmalıdır (Chisti, 2007). Kükürt, kömürlü termik santrallerin baca gazından kükürt dioksit şeklinde karşılanabilmektedir (Darzins et al., 2010).

Mikroalglerin gelişimi için gereken besinlere yönelik genel bir formülü yoktur ancak alg türlerine özgü minimum, maksimum ve optimum değerler bulunmaktadır. Alglerin gelişimi için gerekli besin solüsyonları genelde su ve kimyasal tuzları içermektedir. Alglerin yetiştirilmesinde genelde kullanılan besiyerleri; Noro medium, Bold Basal Medium, MA medium, Beneck's medium, BG-11 medium, F-2 medium ve Fogg's medium'dur (Katuwal, 2017; Hagendijk, 2015).

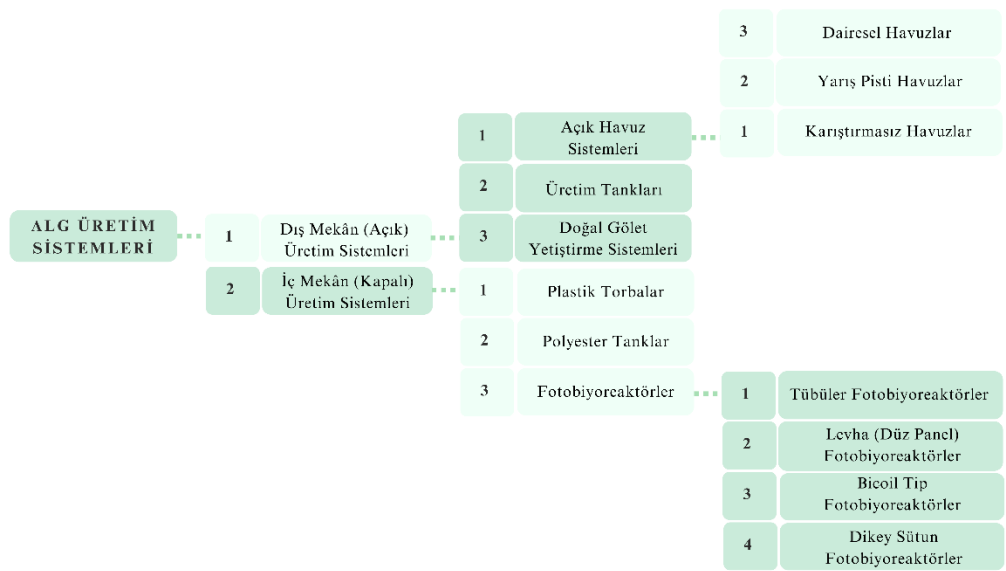
Besin miktarı kontrolü ve tedarik konuları sürdürülebilirlik, ekonomiklik ve verimlilik için önemlidir. Sağlanan besinler ile mikroalglerin gelişimi istenilen yöne çekilebilmektedir. Örneğin ortamdaki fosfat ve azot eksikliği mikroalglerin yağ birikimini etkilemektedir (Wang et al., 2008; Griffiths et al., 2011; Chen et al., 2011; Sforza et al., 2012).

Havalandırma: Mikroalgler doğada yoğunluk olarak yaklaşık 103 hücre/ml ve hücrelerin birbirleri arasındaki uzaklığın 1000 μm 'den fazla olduğu ortamlarda yaşamaktadırlar. Yüksek yoğunluklu (109 hücre/ml) mikroalg kültürlerinde ışık iletimi azalmakta; CO_2 tüketimi, O_2 birikimi ve ortam sıcaklığı artmaktadır (Pulz, 2001; Wang et al., 2012). Kültür ortamında karışım yetersiz kaldığında alg hücrelerinde dibe çökme meydana gelmekte ışığın ve besinlerin yeterli gelmediği durgun bölgelerin varlığına sebep olmaktadır. Bu durum üretkenliği azaltmaktadır. Yetiştirme sistemi ve ölçeğine göre karıştırma sistemleri pompalama, mekanik karıştırma ve gaz püskürtme olarak değişiklik göstermektedir (Kumar et al., 2010). Fotobiyoreaktörlerde yüksek hızlı karıştırma sistemleri kesme stresi yaratarak mikroalglerle zarar verebilmektedir bu yüzden tüm türler için uygun değildir (Eriksen, 2008). Gaz püskürtme sistemi hassas mikroalgler üzerinde daha az hasar oluşturmaktadır (Carvalho et al., 2006). Havuz sistemlerinde ise karıştırma yöntemi olarak çarklar kullanılmaktadır (Stepan et al., 2002).

pH: Mikroalg gelişimi için gerekli pH değerleri 7-9 aralığındadır. Bazı türler için bu aralık asidik bölgede bazıları için bazik bölgede kalmaktadır. Mikroalgler CO_2 kullanarak ortamdaki karbon çekerler bu durum ortamın pH değerini yükseltmektedir (Suh and Lee, 2003). pH değerleri yetiştirme sistemlerine göre farklılık göstermektedir. Açık havuz sistemi için uygun pH değeri 8 iken fotobiyoreaktör sisteminde 10 olabilmektedir (Tsai et al., 2012). Alg hücrelerinin besin ortamından nitrojen alımı esnasında ortamın pH seviyesinde artış olmaktadır (Ahmad et al., 2017). En iyi verimin alınması için ticari kontrol aygıtları aracılığıyla en uygun pH değeri sağlanmalıdır (Suh and Lee, 2003). Yapılan çalışmalarda kültür ortamında hidroklorik asit ve sodyum hidroksit kullanımı pH'nın sabit kalmasını sağlamaktadır (Ahmad et al., 2017). Aşırı pH değerlerinde hücresel işlemler bozulmaktadır (Wang et al., 2012).

2.1.3 Alg üretim sistemleri

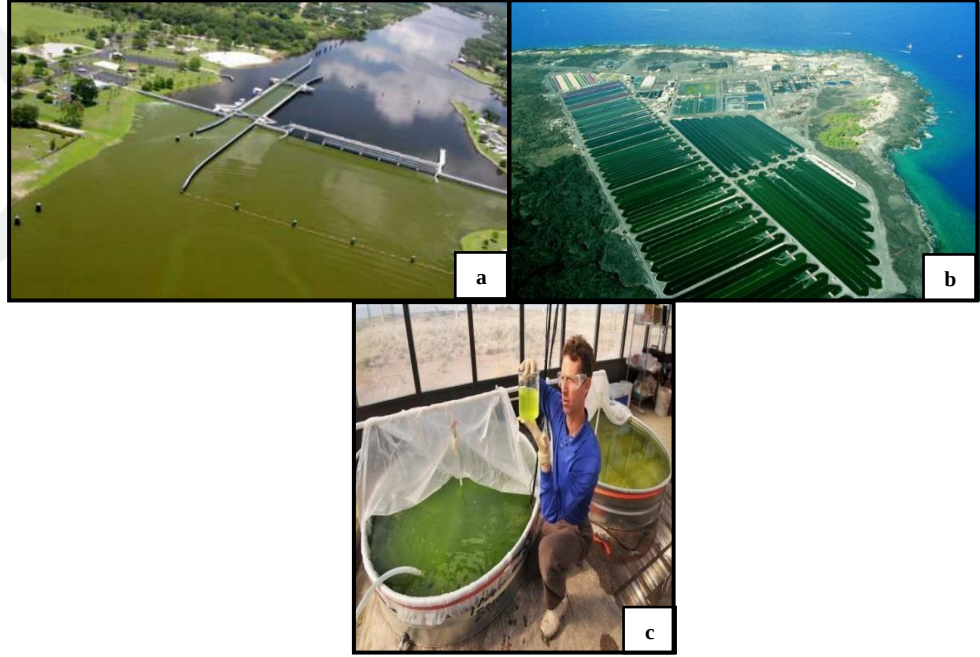
Mikroalgler iç mekân (kapalı) ve dış mekân (açık) üretim sistemleri olarak iki şekilde üretilmektedirler. Kapalı üretim sistemleri açık üretim sistemlerine göre yüksek teknoloji gerektirdiği için daha pahalıdır. Ama yine de dış mekân üretim sistemlerinde çok fazla mikroalg kültürü yetiştirilememektedir. Dış mekân üretim sistemleri; kültürlerin çevre etkilerinden doğrudan etkilenmesi, kirlilik tehlikesinin fazlalığı, önemli oranda buharlaşmanın meydana gelmesi ve CO₂'in atmosfere yayılımının fazlalığı sebeplerinden kaynaklı iç mekân üretim sistemlerine göre dezavantajlıdır (Gezici, 2012).



Şekil 2.3. Alg üretim sistemleri

Dış mekân üretim sistemleri:

Açık sistemler başlangıç ve üretim maliyetlerinin düşüklüğü nedeniyle avantajlıdır. Ancak hücrelerin ışıktan faydalanma oranlarının düşüklüğü, buharlaşma kayıpları, CO₂'in atmosfere yayılması, yeterli havalandırmanın sağlanamaması kısaca sistem kontrolünün sağlanamaması ve istenmeyen türlerin çoğalması dolayısıyla biyokütle veriminin düşüklüğü ile geniş arazi gereksinimleri açık sistemlerin dezavantajlı yönleridir (Ugwu et al., 2008). Açık sistemlerde tek tür yetiştirmek için uç değerlerde kültür ortamının sağlanmasıyla mümkün olabilmektedir (Sayaner, 2013). Şekil 2.4'te dış mekân üretim sistemlerine ilişkin görseller verilmiştir.



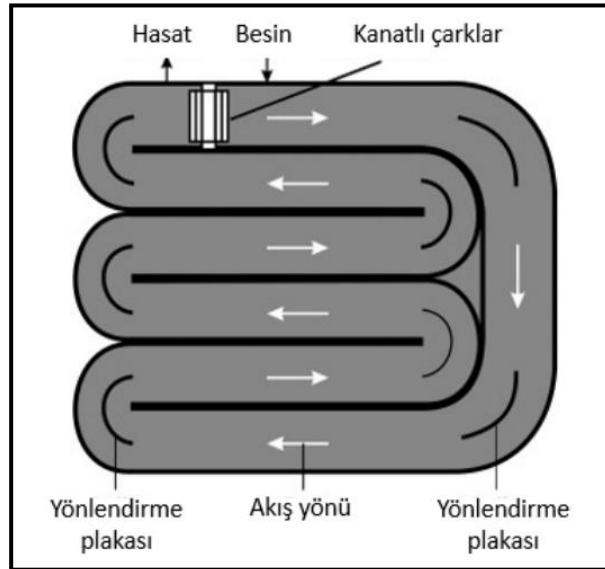
Şekil 2.4. Dış mekân üretim sistemleri a) Doğal gölet yetiştirme sistemi b) Üretim havuzları c) Üretim tankları (Gezici, 2012).

Açık havuz sistemleri; karıştırmasız, yarış pisti ve dairesel olarak 3 grupta incelenebilir. **Karıştırmasız havuzların** kontrolü yapılamakta, CO₂ temini sağlanamamaktadır. Bu sistemlerde verim düşüktür (Lundquist et al., 2010). Şekil 2.5'te karıştırmasız alg havuzlarına örnekler görülmektedir.



Şekil 2.5. a) Atık su arıtımı amaçlı oksidasyon havuzu b) *Dunaliella salina* havuzları (Benemann, 2009).

Yarış pisti havuzlar mikroalg yetiştirmede en çok tercih edilen büyük ölçekli sistemlerdir. Sistem kültürlerin çökmemesi için sürekli çalışan kanatlı çarklar yardımıyla yarış pisti boyunca sirküle edilir. Güneş ışığından daha fazla yararlanabilmek için 15-50 cm derinlikte sığ tasarlanmaktadır. Üretim dönemlerinde besin çarkların ön tarafından sisteme verilmektedir. Hasat işlemi ise çarkların arka kısmından yapılmaktadır. Üretim sırasında mikroorganizmaların kültürler üzerindeki kontaminasyonunu engellemek amacıyla kültür ortamının pH seviyesi yüksek tutulmalıdır. Bu durum yetiştirilebilecek alg türlerini kısıtlamaktadır (Bahadar and Khan, 2013; Elcik ve Çakmakçı 2017). Şekil 2.6’da yarış pisti havuzların şematik gösterimi görülmektedir.



Şekil 2.6. Yarış pisti havuzu şematik gösterimi (Bahadar and Khan, 2013).

Dairesel havuz sistemlerinde karıştırma işlemi merkezi döner karıştırıcılarla yapılmaktadır. Verimli üretim yapılabilmesi için sistemlerin derinliği 20-30 cm ve çapı 40-50 cm olmalıdır. 10000 m²'lik alanlara kadar tasarımı yapılabilmektedir (Ahmad et al., 2021). Şekil 2.7'de dairesele havuz sistemi örneği verilmiştir.



Şekil 2.7. Dairesel havuz sistemi (Shen et al., 2009).

İç mekân (Kapalı) üretim sistemleri:

Torbalar, Polyester tanklar ve fotobiyoreaktörler iç mekân üretim sistemlerine dahildir. İç mekân sistemlerinde kültür ortamının kontrolü sağlanabilmektedir. İstenmeyen türlerin oluşumu engellenebildiği için tek tür kültür yetiştirilmesi çok daha kolaydır. Fotosentetik verim ve biyokütle üretkenliği daha fazladır (Sayaner, 2013).

Plastik torbalarda üretim maliyeti düşük olduğu için ticari amaçla çok kullanılmaktadır. 5-250 L hacimli torbalarda havalandırma sistemleriyle üretimi yapılmaktadır. Karıştırma yetersiz olduğu için bazı bölgelerinde hücre büyümesi azalmaktadır. Büyük ölçekli olması durumunda da ışıktan yararlanma oranı düşmekte dolayısıyla verim azalabilmektedir. Torbalarda üretimin kesikli olması işçiliği artırmakta ve sızdırma, temizleme sorunlarından kaynaklı torbaların ömrünün kısa olması bu sistemin ekonomikliğini sınırlandırmaktadır. Plastik poşetlerin atılması ayrıca potansiyel bir sorun oluşturmaktadır (Gezici, 2012; Kim et al., 2016; Wang et al., 2012). Şekil 2.8'de alg üretim torbaları verilmiştir.



Şekil 2.8. Alg üretim torbaları (Uğuz, 2023).

Polyester tanklarda güneş ışığından faydalanılır fakat üretim performansları daha önceden bilinmemektedir (Gezici, 2012). Şekil 2.'da polyester tank örneği verilmiştir.

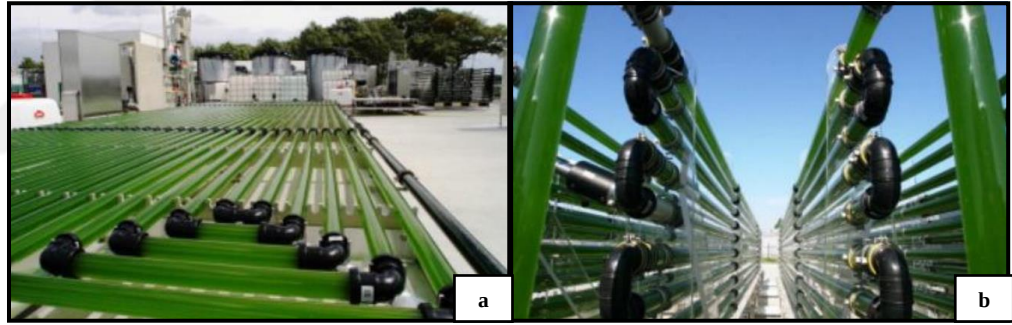


Şekil 2.9. Polyester tanklarda üretim (Gezici, 2012).

Fotobiyoreaktörler teknik tasarımlardan oluşan mikroalg üretim sistemleridir. Fotobiyoreaktör sistemlerinde mikroalglerin fotosentez etkinliği ve biyokütle verimi yüksektir. Fotobiyoreaktörlerde kültür ortamının kontrolü (ışık, besin kaynağı, sıcaklık, hava) kolaylıkla sağlanabilmekte kaliteli ve yüksek verimde ürün elde edilebilmektedir. Kontaminasyon riski ve buharlaşmayla su kaybı düşüktür (Gezici, 2012; Uğuz, 2023). Fotobiyoreaktör sistemlerinde aşırı çözünmüş oksijen varlığı fotosentezi engellemektedir bu yüzden O_2 bertarafı çözülmesi gereken bir sorundur (Molina et al., 2001). Kültür ortamının aşırı ısınması, ışıklandırmada kullanılan malzemelerin hasar görmesi diğer sorunlar arasındadır. Isınan kültür ortamının soğutulması enerji girdisi yaratmakta ve maliyeti artırmaktadır. Uygun ışık, sıcaklık, karıştırma ve kütle transferi işlemleri

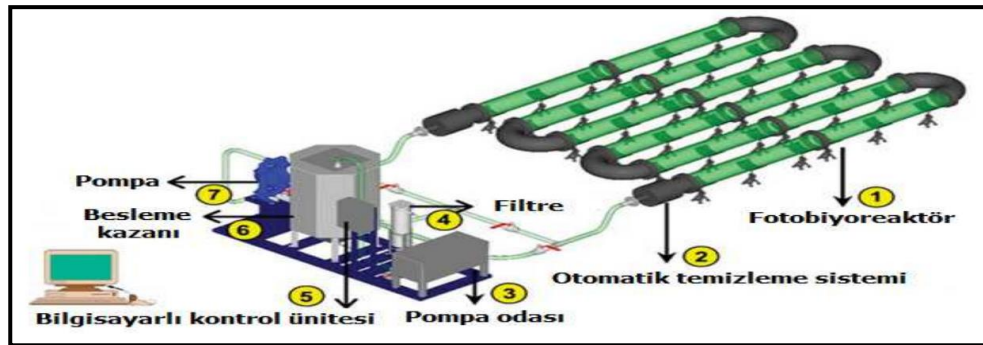
büyük ölçekli sistemlerin kullanımını zorlaştırmaktadır (Tredici, 2004). Fotobiyoreaktörler tübüler, levha, bicoil ve sütun olmak üzere 4 grupta incelenebilir (Gezici, 2012).

Tübüler fotobiyoreaktörler esnek veya sert yapılı saydam plastik borular ya da tüplerin kullanıldığı sistemlerdir. Tübüler sistemlerde tüplerin çapları (10-60 mm), uzunlukları (birkaç yüz metre) ve sayıları artırılabilmekte; farklı desenlerde (düz, bükülmüş, spiral) ve yönlerde (yatay, eğimli, dikey, sarmal) reaktör tasarımları geliştirilebilmektedir. Ancak büyük çaplı tüplerde tüpün orta kısmındaki hücreler az ışık aldığından verim düşmekte, küçük çaplı tüplerde ise hacmin sınırlı olması sebebiyle sıcaklık artışı fazla olabilmektedir. Tüpler yatay ya da arazi kullanımını azaltmak için dikey konumlandırılabilirler. Bu durum maliyeti artırabilmektedir (Posten, 2009; Gezici, 2012; Junying et al., 2013; Huang et al., 2017). Şekil 2.10'da yatay ve düşey tübüler fotobiyoreaktör örnekleri verilmiştir.



Şekil 2.10. a) Yatay tübüler fotobiyoreaktör b) Düşey tübüler fotobiyoreaktör (Slegers et al., 2013).

Şekil 2.11'de tübüler fotobiyoreaktörün parçaları verilmiştir (Gezici, 2012).



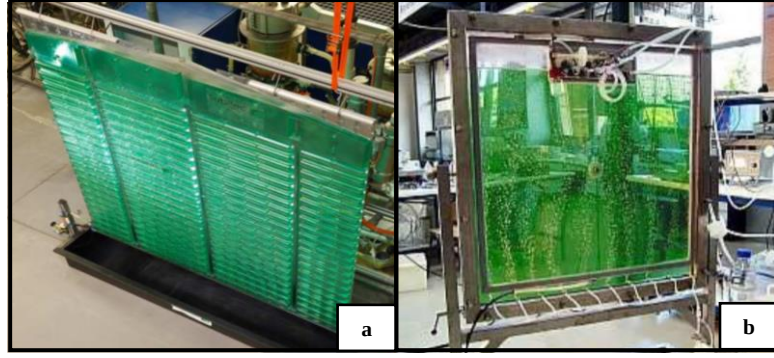
Şekil 2.11. Tübüler fotobiyoreaktör (Gezici, 2012).

Pompa mikroalglerin biyoreaktör içinde dolaşımını sağlamaktadır. Mikroalglerin tüplerin yüzeyine birikmemesi için alglerle beraber dolaşarak sistemin temizliğini sağlayan özel boncuklar kullanılmaktadır. Daha büyük sistemler kurgulanırken dolaşımın rahat sağlanması için tüplerin uzunluğu ve çapları artırılması ve dolayısıyla pompaların büyütülmesi gerekmektedir. Sistemin büyütülmesiyle ışık ve CO₂ tüketimi artmakta ve ortamda O₂ birikimi (satürasyon) gerçekleşmektedir. Bunun sonucunda tüplerin üst kısmında köpüklenme meydana gelmekte ve hücreler fotooksidasyon sebebiyle ağarmaktadır (Gezici, 2012). Tübüler fotobiyoreaktörler temelde mikroalg gelişimi için güneş enerjisi sağlayan borular, alg biyokütlesini ortamdan ayırmak için hasat ünitesi, soğutma/ısıtma ve gaz değişimi amaçlı arındırma kolonu ile karıştırma sağlayan pompalardan oluşmaktadır (Wen and Johnson, 2009). Şekil 2.12’de tübüler fotobiyoreaktörlerin çalışma şekli verilmiştir (Gezici, 2012).



Şekil 2.12. Tübüler fotobiyoreaktörlerin çalışma şekli (Gezici, 2012).

Levha (Düz Panel) şeklindeki fotobiyoreaktörlerde yüzey alanı büyük, derinlik az olduğu için ışık etkin bir biçimde kullanılmaktadır. Fotosentetik mikroalglerin yetiştirilmesinde ön plana çıkmaktadır (Ugwu et al. 2008). Pileksi ya da akrilik cam veya polikarbonat ya da plastik şeffaf malzemelerden tasarlanabilmektedir. (Gezici, 2012; Sirohi et al., 2022). Paneller arası oluşacak gölge ışıktan yararlanma oranını düşüreceği için panel kalınlığının 0,2-0,4 m aralığında olması optimum verimi sağlamaktadır (Slegers et al., 2011). Şekil 2.13’te şeffaf plastik ve cam düz levha fotobiyoreaktörler verilmiştir.



Şekil 2.13. a) Şeffaf plastik düz levha fotobiyoreaktör b) Cam düz levha fotobiyoreaktör (Gezici 2012).

Bicoil Tip fotobiyoreaktörler ince şeffaf boruların kuleyi sarmasıyla oluşturulur. Bicoil tip fotobiyoreaktörler eşit karışımın sağlanabilmesi, alg kültürünün yüzeye yapışmasının az oluşu, taşıma kolaylığı ve iş gücünün az olması nedenleriyle avantajlıdır fakat tüm alg türleri için uygun değildirler (Gezici, 2012). Şekil 2.14’te bicoil tip fotobiyoreaktör örnekleri verilmiştir.



Şekil 2.14. Biocoil tip fotobiyoreaktör örnekleri (Gezici, 2012).

Dikey sütun fotobiyoreaktörlerin hava taşımali ve kabarcık sütunu olmak üzere 2 türü vardır. Hava taşımali reaktörde pompalama sistemi ya da hareket eden parçalar yoktur dolayısıyla kesme sebebiyle hücre hasarı azdır (Kunjapur and Eldridge, 2010). Dikey sütun fotobiyoreaktörlerin kurulum aşaması kolaydır. Mekanik parçaları yoktur dolayısıyla arıza ihtimali dolayısıyla bakım ve işletim maliyetleri düşüktür (Kantarci et al.,2005). Diğer reaktör sistemlerine oranla daha az yer kaplamakta ve daha çok fotosentetik verim sağlamaktadırlar (Kunjapur and Eldridge, 2010). Genel olarak çapları 40 cm, boyları 4 m’ye kadar tasarlanabilmektedir. Gaz transferi konusu ve sütunların inşasında kullanılan

saydam malzemenin dayanıklılığı, yüksekliği sınırlandırmaktadır (Wang et al. 2012). Kültür ortamının kontrolü en rahat sütun fotobiyoreaktörlerde gerçekleştirilmektedir bu yüzden deneysel tasarımlarda çoğunlukla sütun fotobiyoreaktörler tercih edilmektedir (Norsker et al., 2011). Şekil 2.15'te, dikey fotobiyoreaktör örnekleri verilmiştir.



Şekil 2.15. Dikey sütun fotobiyoreaktör örnekleri (Gezici, 2012).

2.1.4 Mikroalglerin hasat işlemi

Mikroalg hasadı kimyasal, fiziksel ve biyolojik olarak 3 şekilde yapılabilmektedir. Kullanılan hasat tekniklerinin başlıcaları çöktürme, yüzdürme, santrifüjleme, filtrasyon ve eleme, flokülasyon ve elektrokoagülasyondur (Uduman et al., 2010). Mikroalg üretiminde toplam maliyetin %20-30'unu alg hücrelerinin küçük yetiştirme alanlarının büyük olmasından kaynaklı olarak hasat aşaması oluşturmaktadır (Elçik ve Çakmakçı, 2017).

Çöktürme: Yer çekimi etkisiyle çöken biyokütlenin çökeltme tankları veya lamellerle (ayırıcı) ayrıştırılması tekniğidir (Uduman et al., 2010). Hücrelerin çökmesi çap ve yoğunluklarına bağlıdır (Brennan and Owende, 2010). Alg hücreleri flokülasyon yöntemi ile bir araya getirildiğinde çöktürme işlemi daha etkili olmaktadır fakat elde edilen biyokütlenin su oranı fazla olduğu için sonraki işlemler için maliyet yükünü artırmaktadır (Chen et al., 2011; Mata et al., 2010).

Yüzdürme (Flotation): Ayırma işleminde yer çekiminden faydalanılmaktadır. Katı parçacıklar hava kabarcıklarına bağlanarak yüzeye çıkmakta ve yüzeye çıkan parçacıklar ortamdan sıyrılarak toplanmaktadır. Mikroalgler ne kadar az hareket ederse hava kabarcıklarına alg parçacıklarının teması o kadar çok olacağından sistem başarısı da bir o kadar fazla olacaktır (Shelef et al., 1984). Kabarcık üretimine dayalı hasat elektrolitik yüzdürme, dağınık hava yüzdürmesi ve çözünmüş hava yüzdürmesi olmak üzere 3 çeşit yüzdürme tekniği ile yapılabilmektedir. Flokülasyon işlemi ile bir araya gelen hücreler çökeltme yöntemi ile de toplanabilir fakat pahalı bir yöntem olmasına rağmen daha düşük biyokütle eldesi sağladığı için çözünmüş hava ile yüzdürme yöntemi avantajlı bir yöntemdir. (Benemann and Pedroni, 2007).

Santrifüjleme: Laboratuvar ortamında çok hassas türler hariç (*Dunaliella*) pek çok mikroalg türü için gerçekleştirilebilen bir yöntemdir. 3-5 dakikada alg kütlelerinin %80-90'ını ortamdan ayırıştırabilen hızlı bir yöntem olmasına rağmen enerji ihtiyacının fazlalığı sebebiyle büyük ölçekli alg yetiştiriciliği için uygun bir yöntem değildir. Yoğunluk farkından yararlanılarak genellikle bir motor yardımıyla biyokütle ortamdan ayırıştırılmaktadır (Grima et al., 2003; Ryan, 2009).

Filtreleme ve eleme: Alg kütlelerinin elekten geçirilerek kültür ortamından ayırıştırıldığı tekniktir (Alabi et al., 2009). Büyük hücreye ($>70 \mu\text{m}$) sahip mikroalgler (*Coelastrum*, *Spirulina*) için konvansiyonel filtrasyon daha efektif bir yöntemdir (Brennan and Owende, 2010). Günlük 2 m^3 'ten küçük alanların filtrasyonu mikrofiltrasyon ile gerçekleştirilebilirken büyük ölçekli alg eldesinde membran filtrasyonu daha uygun olmaktadır (Grima et al., 2003). Küçük ölçekli ve hassas alg türlerinin kullanıldığı sistemler için ultrafiltrasyon daha uygundur (Mata et al., 2010). Teğetsel akış filtrasyonu büyük ölçekli sistemlerde alg hücrelerinin tamamen ayrışmasını sağlayabilmektedir (Uduman et al., 2010). Sistem bakım maliyetleri dolayısıyla ekonomik bir teknik değildir (Mata et al., 2010).

Flokülasyon: Dağılmış parçaların bir araya gelerek büyük kütleler oluşturması için kullanılan bir yöntemdir. Alg hücrelerinin negatif yük taşıması

sebebiyle hücreleri bir araya toplamak için kültür ortamına topraklaştırmacılar eklenmektedir (Grima et al., 2003; Brennan and Owende, 2010). Kimyasal koagülasyon işlemi büyük ölçekli sistemler için daha uygun olmakla beraber çoğu mikroalg türü için kullanılabilir. Alüminyum sülfat, demir klorür, kalsiyum oksit gibi kimyasal maddelerin kültür ortamına katıldığı işlemdir. Biyoflokülasyon çöktürme ile beraber kullanıldığında en düşük maliyetli hasat yöntemi olarak tercih edilebilmektedir (Benemann and Pedroni, 2007).

2.1.5 Mikroalglerin kullanım alanları

Algler çevre, gıda, tarım, yem ve kozmetik alanlarında kullanılmaktadır (Şahin ve Akyurt, 2010).

Mikroalglerin kirletici gazların gideriminde kullanımı: Mikroalgler yenilenebilir kaynak olarak başta biyoyakıt üretimine biyokütle sağlayarak sera gazı emisyonlarını azaltmaya yardımcı olmaktadır. CO₂ kaynağı olarak atık baca gazlarını ve sera gazlarını kullandıkları için atmosfere yayılan CO₂ azaltımında önemli rol oynamaktadır (Soydemir, 2016). Enerji santrali baca gazı ile mikroalg yetiştiriciliği ile yılda 2234 kg CO₂ azaltımı yapılabileceği görülmüştür (Jiang et al., 2013). Ayrıca Kang ve Wen (2015) yaptıkları çalışmada en yüksek CO₂ absorbe etme etkinliğinin %78 CO₂ yüklemesinde gerçekleştiğini belirtmişlerdir.

Fotobiyoreaktör sistemlerinde yüksek konsantrasyonlarda yapılan çalışmada mikroalglerin %9,49 oranında amonyak azaltım kapasitesine sahip olabileceği görülmüştür. Kapalı fotobiyoreaktörlerde hayvansal üretimden kaynaklanan amonyak gazı verilerek alg gelişiminin sağlanabilmekte ve özellikle tavuk işletmelerinden kaynaklı kirleticilerden amonyak gazının mikroalg yetiştiriciliğinde olumlu etkisinin olduğu belirtilmiştir. Hasat edilen biyokütlenin hayvan yemi için gerekli aminoasit besin değerlerine sahip olduğu belirtilmiştir (Kang et al., 2014).

Mikroalglerin gelişimi için gerekli olan azot, fosfor, potasyum, çinko, sodyum, demir ve bakır gibi ana besin maddeleri hayvan barınaklarından çevreye yayılan kirleticilerle karşılanabilmektedir (Li et al., 2014; 2017).

Mikroalg kökenli ürünler: Mikroalg biyokütlesi pek çok üründe kullanılabilir. Bu ürünler enerji ürünleri ve enerji dışı ürünler olarak 2'ye ayrılabilir. Bazı ürünlerin eldesi için kuru biyokütle gerekmektedir. Bu durum maliyeti artırmaktadır. Biyokütlenin kuru olarak kullanıldığı ürünlerde hammadde olarak sulu biyokütlenin kullanılabildiği çalışmalar gerçekleştirilebilirse farklı kaynaklarla rekabet edilebilir duruma gelecektir. Mikroalg kökenli ürünler enerji ürünleri ve enerji dışı ürünler olmak üzere iki grupta incelenebilmektedir (Sayaner, 2013).

Mikroalg biyokütlesinden fosil yakıtlara alternatif olarak elde edilen biyoyakıtlar **enerji ürünleri** olarak değerlendirilebilir (Sayaner, 2013).

Biyodizel üretimi konvansiyonel yakıt bitkileriyle yapılmaktadır. Mikroalglerden elde edilen yağ oranının en iyi yağ üreten bitkilerden bile daha fazla olması biyodizel üretiminde tercih edilebilir olmasını sağlamaktadır. Mikroalg yağlarının biyodizele dönüştürülmesi tarım bitkilerinin dönüşüm proseslerinde olduğu gibi kolayca gerçekleştirilebilmektedir (Demirbaş, 2011).

Biyometanol: Mikroalgler glikoz ve sakaroz biriktirebildikleri için oksijensiz fermentasyon ile etanol üretimi yapılabilir (Parmer et al., 2011).

Biyogaz (Biyometan) pek çok ürün atığı ve biyokütleden elde edilebilir. Mikroalgler yağ, protein ve nişasta olarak nispeten yüksek içeriktedirler. Bitkilerde fermentasyonu zor olan lignin alglarında bulunmamaktadır dolayısıyla biyometan üretimi için daha idealdir (Schenk et al., 2008).

Mikroalgler çeşitli kimyasal içeriklerinden dolayı gerek doğrudan beslenme gerekse de ilaç gibi çeşitli alanlarda beşerî kullanıma hizmet etmektedir. Mikroalglerin gıda, ilaç, yem, gübre, kozmetik gibi alanlarda hammadde olarak

kullanımı sonucu elde edilen ürünler **enerji dışı ürünler** olarak adlandırılmaktadır (Sayaner, 2013).

Beşerî tüketim: Mikroalgler vitamin, nutrasötik, ilaç, aşı ve besin üretiminde kullanılabilmektedir. Mikroalglerin kullanıldığı pasta, ekmek, yoğurt ve meşrubat gibi ürünler bulunmaktadır (Pulz and Gross, 2004).

Pigmentler (Renkveren, Renk maddeciği): Mikroalgler aldıkları ışık oranına bağlı olarak klorofiller, karotenoidler ve fikobilinler gibi çok sayıda pigment içerebilmektedirler (Pulz and Gross, 2004). Klorofiller farmakolojik olarak önemli ürünlerdir. Karaciğer ve ülser ilaçlarında kullanılabılırler (Singh and Gu, 2010). Karotenoidler (β -karoten, astaksantin, lutein, zeaksantin, likopen, biksin) antioksidan olarak kullanılabilmektedirler (Spolaore et al., 2006). Antioksidanlar kanser önleyici etki gösterirler. β -karoten, antioksidan etkisine sahiptir bu yüzden besinlerde provitamin A olarak kullanılabilmektedirler. Astaksantin, en kuvvetli doğal antioksidandır (Iersel and Flammini, 2010). Fikobilinler koyu kırmızı veya koyu mavi renkleri ile gıda, kozmetik ve tıbbi ilaçlarda renklendirici olarak kullanılabılırler (Milledge, 2011).

Çoklu doymamış yağ asitleri (PUFAs): Balık ve balık yağı asitleri çoklu doymamış yağ asitlerinin kaynağıdır. Balıklar bu asitleri su ortamındaki mikroalglerden almaktadır (Yen et al., 2013). Mikroalgler koku, kimyasal kirlilik ve saflaştırma potansiyeli gibi nedenlerle balık yağına da rekabet oluşturabilirler (Pulz and Gross, 2004). Ayrıca mikroalgler yüksek kaliteli EPA ve DHA kaynağıdır (Yen et al., 2013). DHA; kalp hastalıklarını, AIDS ve kanseri önleme ve tedavisinde bağışıklığın güçlendirilmesinde, kolesterolü kontrol altına almada ve detoks malzemesi olarak kullanılmaktadır (Singh and Gu, 2010).

Hayvansal tüketim (Yem): Hayvan yemi için *Spirulina*, *Chlorella* ve *Scenedesmus* yetiştiriciliği en çok tercih edilen mikroalg türleridir. Su ürünleri yetiştiriciliğinde de mikroalg türlerinde yararlanılmaktadır (Parmar et al. 2011). Kedi, köpek, inek, at ve kümes hayvanları gibi birçok hayvan yemi için besin kaynağı oluşturabilirler (Spolaore et al., 2006).

Kozmetik: Başta *Arthrospira* ve *Chlorella* olmak üzere, bazı mikroalg türlerinin özütleri yaşlanma geciktirici, canlandırıcı ve yumuşatıcı gibi amaçlarla yüz ve cilt bakım; güneşten korunma ve saç bakım ürünlerinde kullanılabilmektedir (Spolaore et al., 2006).

Gübre: Mikroalgler farklı amaçlarla yağ ve karbonhidrat ayrıştırıldığında dahi besin ögesi olarak hala zengindir bu yüzden biyogübre olarak değerlendirilebilmektedirler. Kimyasal gübreler yerine mikroalgal gübrelerin kullanımı çevre üzerindeki olumsuz etkileri azaltabilmektedir (Iersel and Flammini, 2010).

2.2. Peyzaj Donatıları

Kentler, insanların sosyal ve kültürel etkinliklerini gerçekleştirebileceği mekânlar bütünüdür. Kent öğeleri de mekânlara canlılık katan, anlam ve kimlik kazandıran kent unsurlarıdır. Donatı elemanları da kent öğeleri içerisinde yer almakta ve çevre kalitesini ve konforunu artırmaktadırlar. Mekâna anlamsal boyut kazandırarak kente görsel zenginlik ve kimlik kazandırmaktadırlar. Kültür ögesi olarak insan-araç-çevre sisteminin bir parçasıdırlar. Bireylerin çevreleri ile olan etkileşimlerini artırma, sosyalleşme ihtiyaçlarını karşılama gereksinimlerinden ortaya çıkmıştır (Aydoğdu, 2017; Aksu, 1998; Uludağ, 1990).

Peyzaj donatıları kullanım, iletişim ve sanat objeleri olarak değerlendirilebilmektedirler. Kent içerisinde duvar, çit vb. elemanların sınırlayıcı; lamba, bank, tabela, heykel vb. elemanların vurgulama amaçlarıyla kullanımları mekânları güçlendirir ve kente zengin görünüm kazandırır (Bayraktar vd., 2008, Taylor, 1999).

Peyzaj donatıları canlı ve cansız öğeleri kapsayabilmektedir. Canlı donatı elemanları bitkisel elemanları kapsamaktadır. Sınırlandırma amaçlı duvar/bariyer, mahremiyet sağlama, rüzgâr ve gürültüyü önleme veya vurgu amaçlı kullanılmaktadırlar. Cansız donatılar kent içindeki tüm mobilyaları kapsamaktadır. Oturma elemanları, bilgilendirme levhaları, sınırlandırıcı elemanlar, satış birimleri,

duraklar, su öğeleri, sanatsal objeler vb. bunlara örnek olarak gösterilebilmektedir (Ekinci, 2022).

Peyzaj donatıları kullanım amaçlarını karşılama; kullanıma davet etme; bulunduğu mekânın özelliklerini yansıtmaya; renk, doku, form, ölçü özelliklerini kullanma; ülkeler ve bölgeler arası kültür yaş ve cinsiyetlerin getirdiği sorunlara ortak çözüm üretme konularına cevap vermelidir (Bulduk, 2012; Banu,1991). Genel anlamda donatı elemanları tasarlanırken kullanım amacına uygunluk, estetik, ergonomi, özgünlük/yaratıcılık, maliyette ucuzluk, güvenlik, kalite, sağlamlık, vandalizme dayanıklılık, taşınabilirlik, işçilik, montaj kolaylığı, yedek parçaların bulunabilir olması, bakım kolaylığı ve fazla bakım gerektirmemesi gibi konulara dikkat edilmelidir (Başal vd., 1993; Bayazıt, 2018; Güney vd., 1996; Şişman ve Yetim, 2004).

2.2.1. Peyzaj donatılarının sınıflandırılması

Peyzaj donatıları kullanım amaçlarına göre 10 grupta sınıflandırılabilir (Kuşkun, 2002; Bulut vd., 2008). Tablo 2.2’de kullanım amaçlarına göre donatı elemanlarının sınıflandırılması gösterilmektedir.

Tablo 2.2. Kullanım amaçlarına göre donatı elemanları (Kuşkun, 2002; Bulut vd., 2008'den değiştirilerek).

Zemin kaplamaları	Beton, taş, ahşap, asfalt, tuğla vb.
Oturma birimleri	Banklar, kamelyalar vb.
Aydınlatma elemanları	Mekân, yol ve bitki aydınlatıcıları vb.
İşaret ve bilgi levhaları	Yer/yön belirleyiciler, bilgi iletişim tabelaları vb.
Sınırlandırıcılar	Sınırlayıcı elemanlar, trafik ve yaya bariyerleri vb.
Su ögesi	Fıskiyeler, çeşmeler, süs havuzları vb.
Üst örtü elemanları	Pergolalar, duraklar, gölgelikler vb.
Satış birimleri	Kiosklar, büfeler vb.
Sanatsal objeler	Heykeller, anıtlar, saatler vb.
Oyun/Spor alanı elemanları	Kaydıraklar, salıncaklar, spor aletleri vb.
Diğer öğeler	Çöp kutuları, çiçeklikler, bisiklet park yerleri vb.

2.2.2. Donatı elemanlarının tasarım kriterleri

Öner Bilen (2004) donatı elemanı tasarım ölçütlerini işlevsel, psikolojik ve teknolojik ölçütler olarak ayırmıştır. **İşlevsel ölçütler:** İnsan ve nesne ilişkisini kapsamaktadır. Ergonomi dikkat edilmesi gereken önemli bir konudur. **Psikolojik ölçütler:** Kullanıcıların sosyo-kültürel özelliklerine bağlı algılama ve değerlendirmeye yönelik ölçütlerdir. **Teknolojik ölçütler:** Tasarımın uygulanabilirliği için belirleyici malzeme, üretim ve ekonomik konuları kapsayan ölçütlerdir.

Donatı elemanları tasarlanırken ölçek, renk, doku, malzeme, biçim vb. gibi tasarım öğelerinin yanı sıra kullanım amacına uygunluk, estetik, ergonomi, taşınabilirlik, ekonomiklik, özgünlük, güvenlik, algılanabilirlik, süreklilik,

sürdürülebilirlik, kalite ve dayanıklılık, bakım kolaylığı, montaj kolaylığı ve çevreye uyum konuları dikkate alınması gereken hususlardır (Perçin, 2024; Kuter ve Kaya, 2019).

Estetik: Donatı elemanları ve bunların kullanım şekilleri estetik görüntüyü etkilemektedir. Estetik mekâna güzellik ve heyecan katmakta ve mekânları daha uzun süreler yaşanabilir kılmaktadır. Estetikle algılanabilirlik arasında doğrudan bir ilişki söz konusudur. Görünebilirlik ve anlamlandırılabilirlik donatılara biçim sağlamaktadırlar (Erdoğan, 2006; Yıldırım, 2004; Aksu, 2012; Güner, 2015).

Algılanabilirlik: Kullanıcıların beğenisi için görsel anlamda kolayca algılanabilir tasarımlar gerçekleştirilmelidir. Tasarımda kullanılan biçim, yön, renk, doku ve malzemelerle kullanıcılara işaretler verilmektedir. Bu işaretler ne kadar sade ve anlaşılır olursa algılanabilirliği o kadar yüksek olmaktadır (Öztürk, 1991; Aksu, 2012).

Özgünlük/Yaratıcılık: Standart tasarımlar yerine donatı elemanlarının kullanılacakları mekânların özellik ve kullanım amaçlarına göre orijinal tasarımlar gerçekleştirilmelidir (Perçin, 2024).

Süreklilik: Donatı elemanları kent içinde noktasal değil hem teknik hem görsel olarak süreklilik göstermelidir. Uygulamalar tek kaldığında dışlanmakta ve kent yaşamına katılamamaktadır (Perçin 2024).

Çevreye Uyum: Donatılar tasarımlarının renk, doku, biçim, form, desen özellikleriyle bulunduğu mekânla ve mekânda bulunan diğer öğelerle uyum ve dengede olması gerekmektedir. (Karadeniz, 2019, İlhan ve Kasap, 2018).

Kullanım amacına uygunluk: Bir bütünün tüm parçalarının görevini yerine getirmesi ve bütüne hizmet etmesidir. Uyum, beklenti, ihtiyaç, fayda ve amaç konularına cevap vermektedir. Ürün ile kullanıcı arasında anlamsal boyut oluşturur. Bir donatının kullanım amacına uygun olması için en önemli unsur ergonomik olmasıdır. Donatı elemanları kullanıcıların fiziksel özelliklerine uygun olarak tasarlanmalıdır (Perçin, 2024; Yıldırım, 2004; Güner, 2015).

Ergonomi: Kullanıcıların antropometrik ölçülerine uygun tasarımlar gerçekleştirilmelidir (Akpınar Külekçi, 2018; Perçin, 2024).

Kalite ve dayanıklılık: Donatıların çevre koşullarına karşı daha uzun süre kullanılabilmesi için tasarımda malzemenin doğru seçilmesi ve ürünün doğru konumlandırılması gerekmektedir (Perçin, 2024).

Malzeme Seçimi ve Bağlantı Detayları: Donatı elemanlarında malzeme türü ve çeşitliliği teknolojik gelişmeler sonucunda farklılaşmaktadır. Kullanılan malzeme ürünün kalitesini etkilemekte aynı zamanda kullanıcılar üzerinde farklı psikolojik etkiler uyandırmaktadır. Beton bir ürün ahşap bir ürüne göre daha ağır bir görüntü oluşturmaktadır. Tasarlanan üründe malzeme türü çeşitliliği tasarımı kaliteli, zengin ve daha estetik göstermektedir. Ayrıca malzemenin iklim koşullarına uygun yerel ürünlerden seçilmesi ve uygun yere konumlandırılması ürünün daha uzun süre kullanımı için önemlidir. Bağlantı elemanlarının sağlam olması da dayanıklılığı etkilemektedir. Bağlantı elemanlarının kolay bulunabilir olması hasar gören ürünlerin kolayca değiştirilebilmesini sağlamaktadır. Donatılarda bağlantı detaylarının çok amaçlı kullanımı tasarımda hareketliliği artırmaktadır (Aksu, 2012; Ertaş ve Bayazıt, 2004; Perçin, 2024).

Güvenlik: Donatı elemanları farklı yaş grupları tarafından kullanılmaktadır. Kullanıcılara kullanım esnasında zarar vermemesi ve kötü kullanımlara (vandalizm) karşı dayanıklı olması amacıyla biçim, ölçü, malzeme seçimi ve kullanım kolaylığına dikkat edilmelidir (Perçin, 2024).

Bakım kolaylığı: Donatı elemanlarının bakımı vandalizmi önleme ve kullanıma özendirme konularında önemlidir. Dolayısıyla tasarımda bakım kolaylığı gözetilmesi gereken bir husustur (Perçin, 2024).

Ekonomiklik: Donatı maliyeti üretim şekli ve kullanılan malzemeye göre değişmektedir. Tasarımlar standartlara uygun ve olabildiğince düşük maliyetle olmalıdır. Standartlara uygun ürünler kullanım sırasında herhangi bir parça değişimi söz konusu olduğunda uyması ve ürünün kullanım ömrünü uzatmak konularında önemlilik arz etmektedir (Perçin, 2024).

Sürdürülebilirlik/Ekolojik Bakış Açısı: Ürün kullanım süresince doğaya zarar vermemeli ve kullanım sonrası geri dönüştürülebilir olmalıdır. Kent yapısı zaman içinde değişmektedir ve donatı elemanları bu değişimlere ayak uydurabilecek esneklikte olmalıdır (Perçin, 2024).

2.3. CO₂ Giderimi

Atmosfere salınan CO₂ miktarı direkt ya da dolaylı yollarla azaltılabilir. Atmosfere salınan CO₂'in tutulması dolaylı biyolojik CO₂ azaltım yöntemidir. Baca gazları ya da CO₂'in yakalanarak mikroalg yetiştiriciliğinde kullanılması veya fosil yakıtların odunlarla birlikte yakılarak kullanımı direkt CO₂ azaltma yöntemlerindendir. Güç santrallerinde ihtiyaç duyulan yakıtı sağlamaya yönelik ağaç yetiştiriciliği yapmak veya karbon depolamak dolaylı CO₂ azaltma yöntemlerindendir (Hughes and Benemann, 1997).

Küresel karbon çevriminde mikroskobik fitoplanktonlardan ağaçlara kadar fotosentez yapabilen karasal ve sucul bitkilerin önemi büyüktür. Bu biyolojik sürecin iyi değerlendirilmesi CO₂ azaltımına yardımcı çözümlerin geliştirilmesine yardımcı olabilmektedir (Kurano et al., 1998).

Bitkilerin CO₂ yakalayarak fotosentezde kullanması biyolojik CO₂ azaltımının bir yoludur. Karasal bitkiler atmosferdeki CO₂'in büyük bölümünü tutmaktadır. Fakat CO₂'in atmosferde nispeten düşük derişimde olması sebebiyle karasal bitkilerin biyolojik CO₂ tutumunda kullanılması ekonomik bir yöntem değildir (Stepan et al., 2002).

Mikroalgler bitkilere kıyasla çabuk çoğalmakta ve daha etkin fotosentez gerçekleştirmektedirler. Mikroalgler suda çözünmüş CO₂'i kullanmaları sebebiyle termik santraller %5-15 yüksek derişimli CO₂ salınımı yapan noktasal kaynaklarla bütünleştirilebilmektedirler. Bu sayede birim alanda daha çok CO₂ azaltımı sağlanabilmektedir (Kurano et al., 1998; Packer, 2009; Hsueh et al. 2009).

Küresel ısınma ile mücadele etmek için CO₂ azaltımında mikroalg kültür ortamının daha kısa sürede daha fazla CO₂ bağlaması gereklidir (Packer, 2009;

Hsueh et al. 2009). Kùltür ortamının kimyası ve CO₂ dağıtım teknolojileri CO₂ tüketim oranlarına etki etmektedir. Mikroalgler gün ışığı ya da gün ışığının olmadığı zamanlarda yapay ışık kaynakları kullanılarak fotosentez yapmaktadırlar dolayısıyla yapay ışık kaynağının kullanılmadığı sistemlerde CO₂ tutumu sadece gündüz gerçekleşebilmektedir. Mikroalg üretim sistemlerinden elde edilen biyokütlenin farklı yöntemlerle biyoyakıtlara dönüştürülebilmesi CO₂ salınımının azaltılmasına ayrıca hizmet etmektedir (Sayaner, 2013).



3. MATERYAL ve YÖNTEM

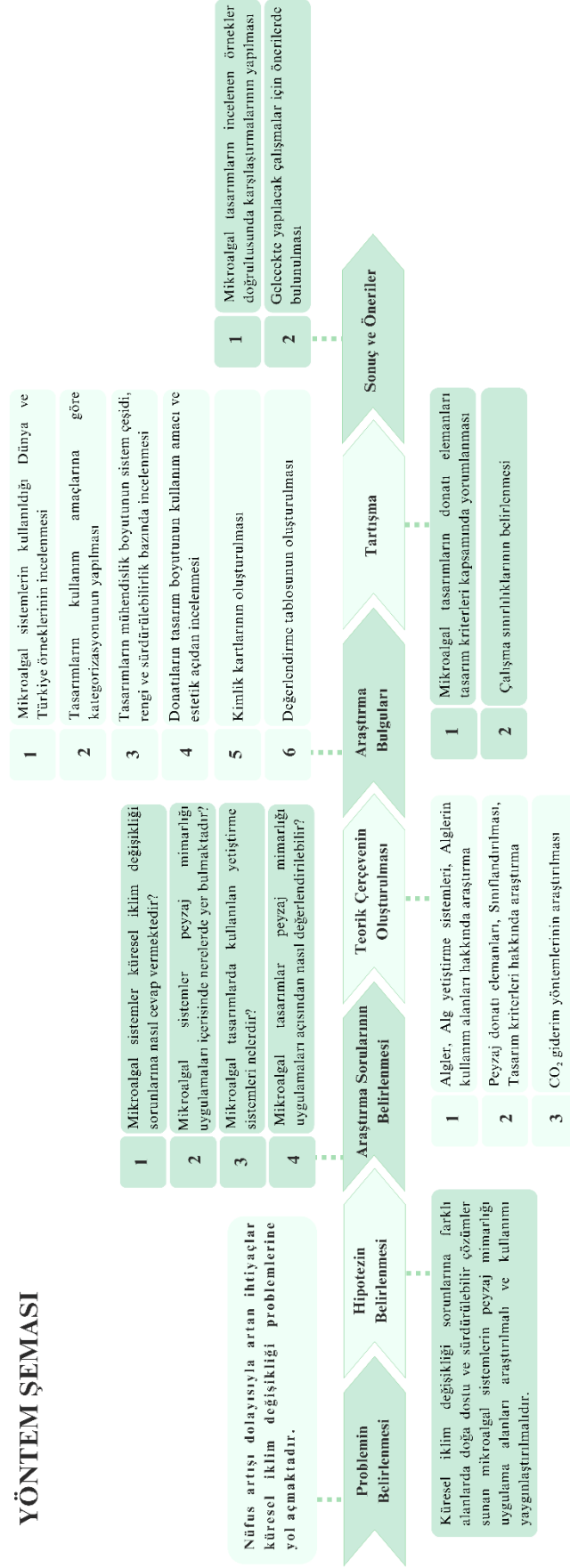
3.1. Materyal

Mikroalgal sistemlerin donatı elemanlarına entegre edildiği tasarımların Dünya ve Türkiye örnekleri çalışmanın ana materyalini oluşturmaktadır. Çalışmanın yardımcı materyallerini ise; çalışma konusuyla ilgili tez, makale, kitap, dergi, internet kaynakları ile sağlanan literatür taramaları oluşturmaktadır.

3.2. Yöntem

Çalışmada öncelikli olarak problem tespiti yapılmış daha sonra belirlenen probleme yönelik hipotez ve araştırma soruları geliştirilmiştir. Mikroalgal sistemler, peyzaj donatıları ve CO₂ giderimi konuları araştırılarak teorik çerçeve oluşturulmuştur. Mikroalgal tasarımların Türkiye ve Dünya örnekleri araştırılmış ve kullanım amaçlarına göre kategorize edilmiştir. Araştırma örnekleri tasarım ve mühendislik olmak üzere 2 boyutta incelemeye alınmıştır. Örneklerin tasarım boyutu donatı elemanları tasarım kriterleri kapsamında değerlendirildiği için donatı üst başlığı altında kullanım amacı ve estetik konularında değerlendirilmiştir. Örneklerin kullanım amaçları donatı elemanlarının kullanım amacına göre sınıflandırılması tablosu baz alınarak değerlendirilmiştir. (Bkz. Tablo 2.2). Estetik başlığında ise peyzaj mimarı ve peyzaj yüksek mimarı ünvanlarına sahip 10 kişilik ekip oluşturularak tasarımların iyi, orta, zayıf olarak değerlendirilmesi istenmiş ve en çok verilen yanıt baz alınarak uzman görüşüne başvurulmuştur. Örneklerin mühendislik boyutu ise algal sistem üst başlığı altında sistem çeşidi, renk ve sürdürülebilirlik (küresel iklim değişikliği sorunlarına sunduğu çözüm) başlıkları altında incelenerek kimlik kartları ve değerlendirme tablosu oluşturulmuştur. Örneklerin donatı elemanları tasarım kriterlerine uygunluğu ve çalışma sınırlılıkları tartışılmıştır. Sonuç olarak tasarım örnekleri arasında karşılaştırmalar yapılmış algal sistemlerin kullanılacağı yeni tasarımlar için önerilerde bulunulmuştur. Şekil 3.1’de yöntem şeması gösterilmiştir.

YÖNTEM ŞEMASI



Şekil 3.1. Yöntem şeması

4. BULGULAR

4.1. Mikroalgal Sistemlerin Peyzaj Mimarlığı Uygulamalarında Kullanımı

Mikroalgal sistemlerin küresel iklim değişikliği sorunlarına getirdiği doğa dostu ve sürdürülebilir çözüm yolları nedeniyle peyzaj mimarlığı uygulamalarında kullanımı oldukça önem arz etmektedir. Mikroalgal sistemler peyzaj mimarlığı uygulamalarında peyzaj donatılarına entegre tasarımlar halinde yer bulabilmektedir. Bu bölümde mikroalgal sistemlerin kullanıldığı tasarımların Dünya ve Türkiye örnekleri peyzaj donatılarının kullanım amaçlarına doğrultusunda kategorize edilmiş kimlik kartları ve değerlendirme tablosu oluşturularak incelenmiştir.

4.1.1. Türlerine göre mikroalgal tasarım örnekleri

Mikroalgal tasarımlar hem tasarım hem mühendislik -multidisipliner- çalışmalar gerektirdiğinden çalışma örneklerinin tasarım ve mühendislik çalışmaları olarak 2 boyutta incelenmesi uygun görülmüştür. Örneklerin tasarım boyutu kullanım amacı ve estetik; mühendislik boyutu yetiştiricilik türü, renk ve sürdürülebilirlik başlıklarına ayrılarak incelenmiştir.

Oturma elemanları: Peyzaj donatıları arasında önemli yer tutmaktadır. İnsanların oturma, dinlenme, gözlem yapma gibi ihtiyaçlarına uzun veya kısa süreli olarak yanıt vermektedir. Estetik, özgün, algılanabilir görünümün yanında ergonomik, taşınabilir, az parçalı, kaliteli ve dayanıklı malzemeye sahip olmalıdırlar (Sağlık vd., 2014). Bank, kamelya, pavilyon vb. bu grupta değerlendirilmiştir.

Liquid 3 kullanıcıların telefon bilgisayar gibi teknolojik aletlerini şarj edebildikleri oturma birimi tasarımıdır (LIQUID3, 2023). Şekil 4.1’de Liquid-3 kimlik kartı görülmektedir.

Kimlik Kartı				
Tasarımın Adı: Liquid-3	Kategori: Oturma elemanı	Yer: Sırbistan	Tasarımcı: Courtesy of R. Crevera ve Cervera and Ploz Architects	
	Donatı		Algal Sistem	
	Kullanım amacı	Estetik	Yetiştiricilik türü	Renk
	Bank	Orta	Levha (Düz Panel) tip fotobiyoreaktör	Yeşil
			Sürdürülebilirlik	
			CO ₂ azaltımı	

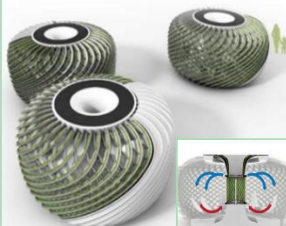
Şekil 4.1. Liquid-3 kimlik kartı

Algae Dome alg üretimi hakkında insanları bilgilendirmek ve sosyal ortam oluşturmak amacıyla sanat fuarı için tasarlanmıştır. Tasarımda 3 günde 450 kg biyokütle eldesi sağlanmıştır (Architizer.com, 2023). Şekil 4.2’de Algae Dome için düzenlenen kimlik kartı verilmiştir.

Kimlik Kartı				
Tasarımın Adı: Algae Dome	Kategori: Oturma elemanı	Yer: Kopenhag Danimarka	Tasarımcı: Aleksander Wadas Studio	
	Donatı		Algal Sistem	
	Kullanım amacı	Estetik	Yetiştiricilik türü	Renk
	Kamelya	Orta	Bicoil tip fotobiyoreaktör	Yeşil
			Sürdürülebilirlik	
			CO ₂ azaltımı	

Şekil 4.2. Algae Dome kimlik kartı

Chlorella Oksijen Pavilyonu kullanıcılara gürültü ve görsel olarak dikkat dağıtıcı unsurlardan uzak dinlenme alanlar sunmaktadır. Tasarım şehir içinde hareket ettirilebilecek şekilde tasarlanmıştır. (Inhabitat.com, 2023). Şekil 4.3’te Oksijen Pavilyonu kimlik kartı gösterilmiştir.

Kimlik Kartı				
Tasarımın Adı: <i>Chlorella</i> Oksijen Pavilyonu	Kategori: Oturma elemanı	Yer: -	Tasarımcı: Adam Miklosi	
	Donatı		Algal Sistem	
	Kullanım amacı	Estetik	Yetiştiricilik türü	Renk
	Pavilyon	İyi	Bicoil tip fotobiyoreaktör	Yeşil
				Sürdürülebilirlik
				CO ₂ azaltımı

Şekil 4.3. *Chlorella* Oksijen Pavilyonu kimlik kartı

Oturma elemanı tasarımlarına bakıldığında estetik ve kullanım amacına uygun ürün tasarımları gerçekleştiriği görülmektedir. İncelenen 3 örnekte de (2'si bicoil tip, 1'i levha tip) fotobiyoreaktör sistemlerin ve yeşil alg türlerinin CO₂ azaltımı için kullanıldığı görülmektedir.

Sınırlandırıcılar: Mekânlarda sınırları belirleme, mahremiyet ve koruma sağlamak, araç ve yaya trafiğini birbirinden ayırmak amaçlarıyla kullanılmaktadırlar (Sağlık vd., 2014). Sınırlayıcı elemanlar, trafik ve yaya bariyerleri vb. bu kategoride incelenmiştir.

Arteoli otoyol kenarında bir üst geçide uygulanmıştır (Creighton, 2014). Şekil 4.4'te Arteoli kimlik kartı gösterilmiştir.

Kimlik Kartı				
Tasarımın Adı: Arteoli	Kategori: Sınırlandırıcılar	Yer: İsviçre Cenevre	Tasarımcı: Cloud Collective	
	Donatı		Algal Sistem	
	Kullanım amacı	Estetik	Yetiştiricilik türü	Renk
	Sınırlayıcı	Zayıf	Tübüler fotobiyoreaktör	Yeşil
				Sürdürülebilirlik
				CO ₂ azaltımı

Şekil 4.4. Arteoli kimlik kartı

Sınırlandırıcılar kategorisinde incelenen örneğe bakıldığında kullanım amacına uygun fakat estetik anlamda zayıf bir tasarımın gerçekleştirildiği görülmektedir. Fotobiyoreaktör (tübüler) tasarımında yeşil alg türünün CO₂ azaltımı için kullanıldığı görülmektedir.

Su ögesi: İnsanlara psikolojik olarak rahatlama hissi veren mekânlara hareketlilik katan ve estetik görünüm kazandıran unsurlardır (Kuter ve Kaya, 2019). Fiskiyeler, çeşmeler, süs havuzları vb. bu kategoriye dahil edilmiştir.

AlgaeTECT Evi Solar Decathlon yarışmaları kapsamında yapılan bir projedir (Özcan Say vd., 2017). Şekil 4.5 AlgaeTECT Evi kimlik kartını göstermektedir.

Kimlik Kartı					
Tasarımın Adı: Algaetect Evi	Kategori: Su ögesi	Yer: Türkiye	Tasarımcı: Teamİstanbul		
	Donatı		Algal Sistem		
	Kullanım amacı	Estetik	Yetiştiricilik türü	Renk	Sürdürülebilirlik
	Süs havuzu	Zayıf	Alg havuzu	Yeşil	CO ₂ azaltımı, Sıcak su ve ısıtma, Su temizleme, Biyoenjerji için biyokütle

Şekil 4.5. AlgaeTECT Evi kimlik kartı

Kentsel çeşme kentsel alanda kullanıma yönelik su ögesi tasarımıdır (Öncel and Köse 2016; Avcı, 2023). Şekil 4.6'da Kentsel çeşme kimlik kartı verilmiştir.

Kimlik Kartı				
Tasarımın Adı: Kentsel çeşme	Kategori: Su ögesi	Yer: -	Tasarımcı: Courtesy of R. Crevera ve Cervera and Pioz Architects	
	Donatı		Algal Sistem	
	Kullanım amacı	Estetik	Yetiştiricilik türü	Renk
	Çeşme	İyi	Dairesel havuz sistemi	Yeşil
				Sürdürülebilirlik
				CO ₂ azaltımı

Şekil 4.6. Kentsel çeşme kimlik kartı

Su öğeleri kategorisinde incelenen 2 örneğe bakıldığında açık havuz sistemlerinde yeşil alg türlerinin kullanıldığı görülmektedir. Kullanım amacına uygun tasarımların gerçekleştirildiği görülmektedir fakat ekolojik bakış açısının daha yoğun olduğu örnekte estetik görüntünün zayıf olduğu görülmektedir.

Üst örtü elemanları: Olumsuz hava koşullarından kullanıcıları korumak konfor ve güven duygusunu artırmak amacıyla tasarlanan elemanlardır (Erdem 1995). Pergolalar, duraklar, gölgelikler vb. bu kategoride incelenmiştir.

Urban Algae Canopy alg hücreleri arttıkça gölgeleme oranının arttığı üst örtü elemanı olarak tasarlanmıştır (Archinect.com, 2023). Şekil 4.7’de Urban Algae Canopy kimlik kartı verilmiştir.

Kimlik Kartı				
Tasarımın Adı: Urban Algae Canopy	Kategori: Üst örtü elemanı	Yer: Milano	Tasarımcı: ecoLogicStudio, Cesare Griffa	
	Donatı		Algal Sistem	
	Kullanım amacı	Estetik	Yetiştiricilik türü	Renk
	Kanopi	İyi	Biyoplastik torbalar	Yeşil
				Sürdürülebilirlik
				CO ₂ azaltımı

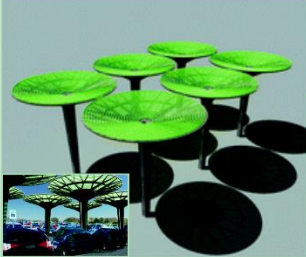
Şekil 4.7. Urban Algae Canopy kimlik kartı

Algevator Bulgars of Transnatural Transparency (BoTT) Lab pavilyonu için tasarlanmış bir üst örtü elemanıdır (Inhabitat, 2023). Şekil 4.8’de Algevator kimlik kartı gösterilmiştir.

Kimlik Kartı					
Tasarımın Adı: Algevator	Kategori: Üst örtü elemanı	Yer: -	Tasarımcı: Jie Zhang ve Tyler Stevermer		
	Donatı		Algal Sistem		
	Kullanım amacı	Estetik	Yetiştiricilik türü	Renk	Sürdürülebilirlik
	Pergola	Orta	Bicoil tip fotobiyoreaktör	Yeşil	CO ₂ azaltımı, Yağmur suyunu toplama

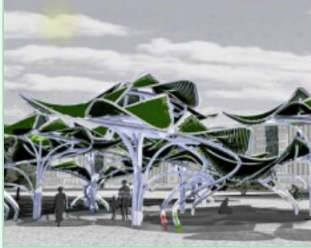
Şekil 4.8. Algevator kimlik kartı

Park kanopisi araçlar için gölgeleme elemanı olarak tasarlanmıştır (Öncel and Köse, 2016; Avcı, 2023). Şekil 4.9’da park kanopisi kimlik kartı bulunmaktadır.

Kimlik Kartı					
Tasarımın Adı: Park kanopisi	Kategori: Üst örtü elemanı	Yer: -	Tasarımcı: Courtesy of R. Crevera ve Cervera and Pioz Architects		
	Donatı		Algal Sistem		
	Kullanım amacı	Estetik	Yetiştiricilik türü	Renk	Sürdürülebilirlik
	Kanopi	İyi	Bicoil tip fotobiyoreaktör	Yeşil	CO ₂ azaltımı, Yağmur suyu toplama

Şekil 4.9. Park kanopisi kimlik kartı

Kentsel ağaç tasarımı sistemin besin, CO₂ ve su ihtiyaçlarının kentsel zeminden sağlandığı üst örtü elemanıdır (Öncel and Köse, 2016; Avcı, 2023). Şekil 4.10’da kentsel ağaç kimlik kartı bulunmaktadır.

Kimlik Kartı					
Tasarımın Adı: Kentsel ağaç tasarımı	Kategori: Üst örtü elemanı	Yer: -	Tasarımcı: Belgrad Üniversitesi Öğrencileri		
	Donatı		Algal Sistem		
	Kullanım amacı	Estetik	Yetiştiricilik türü	Renk	Sürdürülebilirlik
	Kanopi	İyi	Tübüler fotobiyoreaktör	Yeşil	CO ₂ azaltma, Kentsel alanda elektrik ve sıcak su ihtiyacını karşılamak

Şekil 4.10. Kentsel ağaç kimlik kartı

Urban Algae Folly kentsel mekânlarda gölgeleme amacıyla tasarlanmıştır (ecologicstudio.com, 2023). Şekil 4.11’de Urban Algae Folly kimlik kartı verilmiştir.

Kimlik Kartı					
Tasarımın Adı: Urban Algae Folly	Kategori: Üst örtü elemanı	Yer: Milano	Tasarımcı: ecoLogicStudio, Cesare Griffa		
	Donatı		Algal Sistem		
	Kullanım amacı	Estetik	Yetiştiricilik türü	Renk	Sürdürülebilirlik
	Kanopi	İyi	Biyoplastik torbalar	Yeşil	CO ₂ azaltımı

Şekil 4.11. Urban Algae Folly kimlik kartı

Üst örtü elemanları kategorisinde incelenen tasarımların estetik ve kullanım amacına uygun tasarımlar olduğu görülmektedir. Tasarımlarda fotobiyoreaktör (tübüler, bicoil) sistemler ile biyoplastik torbaların kullanıldığı görülmektedir. Yeşil alg türlerinin CO₂ giderimi, elektrik ve sıcak su eldesi için kullanımın yanı sıra tasarımların bazılarının da yağmur suyu toplama gibi ekolojik amaçlı kullanımların da bulunabileceği görülmektedir.

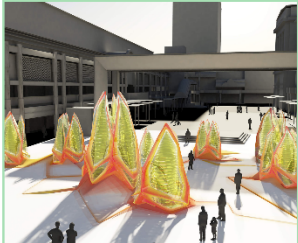
Sanatsal objeler: Peyzajın estetikliğini artıran mekânlara kimlik kazandıran tasarımlardır (Sağlık vd., 2014). Heykeller, anıtlar, saatler vb. bu kategoride değerlendirilmiştir.

Tree One ağaç heykeli olarak tasarlanmıştır (Çamuşoğlu, 2023). Şekil 4.12’de Tree One kimlik kartı yer almaktadır.

Kimlik Kartı					
Tasarımın Adı: Tree One	Kategori: Sanatsal obje	Yer: Kore	Tasarımcı: ecoLogicStudio		
	Donatı		Algal Sistem		
	Kullanım amacı	Estetik	Yetiştiricilik türü	Renk	Sürdürülebilirlik
	Heykel	İyi	Dikey sütun fotobiyoreaktör	Yeşil	CO ₂ azaltımı, Biyokütleden hammadde

Şekil 4.12. Tree One kimlik kartı

Perth Fotobiyoreaktör mikroalg yetiştirme amacıyla tasarlanmış bir sanatsal objedir (Tom Wiscombe Architecture, 2024). Şekil 4.13’te Perth Fotobiyoreaktör kimlik kartı verilmiştir.

Kimlik Kartı					
Tasarımın Adı: Perth fotobiyoreaktör	Kategori: Sanatsal obje	Yer: Avustralya	Tasarımcı: Emergent		
	Donatı		Algal Sistem		
	Kullanım amacı	Estetik	Yetiştiricilik türü	Renk	Sürdürülebilirlik
	Heykel	İyi	Bicoil tip fotobiyoreaktör	Yeşil Kırmızı	CO ₂ azaltımı, Biyodizel üretimi

Şekil 4.13. Perth Fotobiyoreaktör kimlik kartı

Kentsel fotobiyoreaktör kentsel hava kalitesini artırmak için tasarlanmıştır (Gürsu ve Taşaltın, 2023). Şekil 4.14'te kentsel fotobiyoreaktör kimlik kartı verilmiştir.

Kimlik Kartı					
Tasarımın Adı: Kentsel fotobiyoreaktör	Kategori: Sanatsal obje	Yer: Türkiye	Tasarımcı: Gürsu ve Taşaltın		
	Donatı		Algal Sistem		
	Kullanım amacı	Estetik	Yetiştiricilik türü	Renk	Sürdürülebilirlik
	Heykel	Zayıf	Düz/levha tip fotobiyoreaktör	Yeşil	CO ₂ azaltımı

Şekil 4.14. Kentsel fotobiyoreaktör kimlik kartı

Sanatsal objeler kategorisinde 3 örnek incelenmiştir. Genel anlamda estetik ve kullanım amacına uygun tasarımlar gerçekleştirildiği görülmektedir. Tasarımlarda fotobiyoreaktör (dikey sütun, levha, bicoil) sistemlerde yeşil alg türlerinin ve 1 örnekte kırmızı alg türünün CO₂ azaltımı ve biyokütle üretimi amacıyla kullanıldığı görülmektedir.

Diğer: Direkt donatı elemanı olarak değerlendirilemeyecek fakat donatı tasarımlarına fikir oluşturulabilecek tasarımlar bu kategoride değerlendirmeye alınmıştır.

Biyokromik pencere gölgeleme amacıyla bina pencere tasarımı olarak geliştirilmiştir (UNC Charlotte, 2020). Şekil 4.15'te Biyokromik Pencere kimlik kartı verilmiştir.

Kimlik Kartı					
Tasarımın Adı: Yüksek Performanslı Biyokromik Pencere-Karbon Nötre	Kategori: Diğer	Yer: -	Tasarımcı: Kyoung-Hee ve ekibi		
	Donatı		Algal Sistem		
	Kullanım amacı	Estetik	Yetiştiricilik türü	Renk	Sürdürülebilirlik
	Pencere	İyi	Levha (Düz Panel) tip fotobiyoreaktör	Yeşil	CO ₂ azaltımı, Isı yalıtımı

Şekil 4.15. Biyokromik Pencere kimlik kartı

Photo.Synth.Etica farklı iki bina yüzeyine gölgeleme amaçlı uygulanmıştır (urbanNext, 2023). Şekil 4.16 ve Şekil 4.17’de Biyodijital kentsel perde kimlik kartları görülmektedir.

Kimlik Kartı					
Tasarımın Adı: Biyodijital Kentsel Perde	Kategori: Diğer	Yer: İrlanda Dublin	Tasarımcı: EcoLogicStudio		
	Donatı		Algal Sistem		
	Kullanım amacı	Estetik	Yetiştiricilik türü	Renk	Sürdürülebilirlik
	Perde	Zayıf	Biyoplastik Torbalar	Yeşil Kırmızı	CO ₂ azaltımı

Şekil 4.16. Biyodijital Kentsel Perde kimlik kartı

Kimlik Kartı					
Tasarımın Adı: Biyodijital Kentsel Perde	Kategori: Diğer	Yer: Finlandiya, Helsinki	Tasarımcı: EcoLogicStudio		
	Donatı		Algal Sistem		
	Kullanım amacı	Estetik	Yetiştiricilik türü	Renk	Sürdürülebilirlik
	Perde	Orta	Biyoplastik Torbalar	Yeşil	CO ₂ azaltımı

Şekil 4.17. Biyodijital Kentsel Perde kimlik kartı

Alg perdesi şeffaf boruların iç içi geçirilmesiyle oluşturulmuştur. Tekstil ürünü olarak tasarlanmıştır (Loop.ph, 2023). Şekil 4.18’de Alg perdesi kimlik kartı görülmektedir.

Kimlik Kartı				
Tasarımın Adı: : Alg Perdesi	Kategori: Diğer	Yer: Lille / Fransa	Tasarımcı: Loop.ph	
	Donatı		Algal Sistem	
	Kullanım amacı	Estetik	Yetiştiricilik türü	Renk
	Perde	İyi	Bicoil tip fotobiyoreaktör	Yeşil
			Sürdürülebilirlik	
			CO ₂ azaltımı, Biyodize için biyokütle	

Şekil 4.18. Alg Perdesi kimlik kartı

Algonomad bina kabuklarında kullanılmak üzere tasarlanan biyopaneler hakkında insanları bilinçlendirmek için yapılmış bir projedir (XTU Architecture, 2023). Şekil 4.19’da Algonomad kimlik kartı görülmektedir.

Kimlik Kartı				
Tasarımın Adı: Algonomad	Kategori: Diğer	Yer: Fransa	Tasarımcı: XTU Architecture	
	Donatı		Algal Sistem	
	Kullanım amacı	Estetik	Yetiştiricilik türü	Renk
	Yüzey malzemesi	Zayıf	Levha (Düz Panel) tip fotobiyoreaktör	Yeşil
			Sürdürülebilirlik	
			CO ₂ azaltımı	

Şekil 4.19. Algonomad kimlik kartı

Airbubble mikroalgal sistemin çocuk oyun alanı yapı yüzeyinde kullanıldığı bir projedir (İtez, 2023). Şekil 4.20’de Airbubble kimlik kartı görülmektedir.

Kimlik Kartı				
Tasarımın Adı: Airbubble	Kategori: Diğer	Yer: Polonya	Tasarımcı: ecoLogicStudio Claudia Pasquero ve Marco Poletto	
	Donatı		Algal Sistem	
	Kullanım amacı	Estetik	Yetiştiricilik türü	Renk
	Yüzey malzemesi	İyi	Dikey sütun fotobiyoreaktör	Yeşil
				Sürdürülebilirlik
				CO ₂ azaltımı

Şekil 4.20. Airbubble kimlik kartı

BIQ Binası tasarımında fotovoltaik paneller bina yüzeyine ikinci bir kabuk olarak duvar yüzeyine entegre edilmiştir (Kükdamar ve Özbalta, 2018). Şekil 4.21’de BIQ Binası kimlik kartı yer almaktadır.

Kimlik Kartı				
Tasarımın Adı: Bio-Intelligent Quotient(BIQ) Binası	Kategori: Diğer	Yer: Almanya	Tasarımcı: Splitterwerk ve Graz	
	Donatı		Algal Sistem	
	Kullanım amacı	Estetik	Yetiştiricilik türü	Renk
	Yüzey malzemesi	Zayıf	Levha (Düz Panel) tip fotobiyoreaktör	Yeşil
				Sürdürülebilirlik
				CO ₂ azaltımı, Sıcak su ve ısıtma, Biyoenerji için biyokütle

Şekil 4.21. Bio-Intelligent Quotient (BIQ) binası kimlik kartı

Zero: Retrofit Resolution/GSA Binası bina yüzeyinin tüplerle kaplanmasıyla oluşturulan bir tasarımdır (Micler, 2011). Şekil 4.22’de Zero: Retrofit Resolution/GSA Binası kimlik kartı görülmektedir.

Kimlik Kartı					
Tasarımın Adı: Process Zero: Retrofit Resolution /GSA Binası	Kategori: Diğer	Yer: Los Angeles	Tasarımcı: HOK ve Vanderweil Mim. ve Müh.		
	Donatı		Algal Sistem		
	Kullanım amacı	Estetik	Yetiştiricilik türü	Renk	Sürdürülebilirlik
	Yüzey malzemesi	Zayıf	Tübüler fotobiyoreaktör	Yeşil	CO ₂ azaltımı, Biyoenerji için biyokütle

Şekil 4.22. Zero: Retrofit Resolution/GSA Binası kimlik kartı

NetZero (AN) Fikir Yarışması/Yaşayan Laboratuvar (Living Lab) bina yüzeyine tübüler sistemlerin yerleştirilmesiyle oluşturulmuştur (Avcı, 2023). Şekil 4.23'te Yaşayan Laboratuvar kimlik kartı yer almaktadır.

Kimlik Kartı					
Tasarımın Adı: NetZero (AN) Fikir Yarışması/ Yaşayan Laboratuvar	Kategori: Diğer	Yer: -	Tasarımcı: Arup		
	Donatı		Algal Sistem		
	Kullanım amacı	Estetik	Yetiştiricilik türü	Renk	Sürdürülebilirlik
	Yüzey malzemesi	İyi	Tübüler fotobiyoreaktör	Yeşil	CO ₂ azaltımı, Sıcak su eldesi, Biyoenerji için biyokütle

Şekil 4.23. NetZero (AN) Fikir Yarışması/Yaşayan Laboratuvar kimlik kartı

Frenchdreamtowers projesi bina yüzeyine mikroalgal panellerin entegre edilmesiyle oluşturulmuş bir tasarımdır (Stühlinger, 2023). Şekil 4.24'te Frenchdreamtowers kimlik kartı verilmiştir.

Kimlik Kartı					
Tasarımın Adı: Frenchdreamtowers Bina Türü-Programı	Kategori: Diğer	Yer: Çin Hangzhou	Tasarımcı: XTU Architecture		
	Donatı		Algal Sistem		
	Kullanım amacı	Estetik	Yetiştiricilik türü	Renk	Sürdürülebilirlik
	Yüzey malzemesi	İyi	Levha (Düz Panel) tip fotobiyoreaktör	Yeşil	CO ₂ azaltımı, Isı yalıtımı

Şekil 4.24. Frenchdreamtowers kimlik kartı

In Vivo tasarımı mikroalgal panellerin ikinci bir kabuk olarak bina yüzeyine entegre edilmesiyle oluşturulmuştur (Archello, 2024). Şekil 4.25'te Alg Evi kimlik kartı verilmiştir.

Kimlik Kartı					
Tasarımın Adı: In Vivo	Kategori: Diğer	Yer: Paris	Tasarımcı: XTU Architecture		
	Donatı		Algal Sistem		
	Kullanım amacı	Estetik	Yetiştiricilik türü	Renk	Sürdürülebilirlik
	Yüzey malzemesi	İyi	Levha (Düz Panel) tip fotobiyoreaktör	Yeşil	CO ₂ azaltımı, Sıcak su ve ısıtma, Biyoenerji için biyokütle

Şekil 4.25. In Vivo kimlik kartı

Diğer kategorisinde incelenen 11 örnekten 1'i pencere, 3'ü perde, 7'si yüzey malzemesi amaçlarıyla tasarlanmıştır. Tasarımlar değerlendirildiğinde kullanım amacına uygun ve estetik oldukları görülmektedir. Tasarımlarda fotobiyoreaktör (levha, tübüler, dikey sütun, bicoil tip) sistemler ile biyoplastik torbaların kullanıldığı görülmektedir. Yeşil alg türlerinin ve sadece 1 örnekte kırmızı alg türlerinin CO₂ giderimi, ısı yalıtımı, sıcak su, ısıtma ve elektrik ihtiyaçlarının giderimi ve biyokütle eldesi amaçlarıyla kullanıldığı görülmektedir.

Araştırma kapsamında 25 örnek incelenmiştir. Bu örneklerin 2'si Türk, 23'ü yabancı örneklerdir. Türlerine göre ayrıldığında 3'ü oturma elemanı, 1'i sınırlandırıcı, 2'si su ögesi, 5'i üst örtü elemanı, 3'ü sanatsal obje'dir. 11'i ise diğer kategorisinde değerlendirilmiştir. Diğer kategorisinde incelenen 11 örnekten 1'i pencere, 3'ü perde, 7'si yüzey malzemesi amaçlarıyla kullanıldığı görülmektedir. Donatı elemanı örneklerinin ise 3'ünün heykel, 2'sinin pergola, 3'ünün kanopi, 1'inin çeşme, 1'inin süs havuzu, 1'inin sınırlayıcı, 1'inin pavilyon, 1'inin kamelya ve 1'inin de bank olarak tasarlandığı görülmektedir. Örneklere estetik anlamda bakıldığında 14'ü iyi, 4'ü orta, 7'si zayıf olarak değerlendirilmiştir. Tasarımlarda açık ve kapalı alg yetiştirme sistemlerinin kullanıldığı görülmektedir. Bunlardan 2'si; 1'i dairesel, 1'i karıştırmaz olmak üzere açık havuz sistemlerine örnektir. Diğer 23'ü; 4'ü plastik torbalar, 19'u fotobiyoreaktör sistemleri olmak üzere kapalı üretim sistemlerine örnektir. Fotobiyoreaktör sistemlerden 4'ü tübüler, 7'si levha, 6'sı bicoil, 2'si sütun fotobiyoreaktör sistemlerdir. Algal sistem örneklerinin 25'inde de yeşil alg türleri kullanılmakla birlikte 2 tanesinde kırmızı alg türlerine rastlanmaktadır. Tasarımların 25'inde de mikroalgal sistemler CO₂ azaltma sürdürülebilirlik amacına hizmet etmekte bunun yanında 13 örnekte farklı sürdürülebilirlik amaçlarına da hizmet ettiği görülmektedir. Araştırmada ulaşılan genel sonuçlar, mikroalgal tasarımların peyzaj mimarlığı uygulamaları kapsamında değerlendirilmesi başlığı altında tablo halinde verilmiştir. (Bkz. Ek).

5. TARTIŞMA

Küresel iklim değışikliğı sorunlarına çözüm yolları sunan ve en çok da CO₂ giderimi konusunda göze çarpan mikroalgal sistemlerin peyzaj mimarlığı uygulamalarındaki yerinin araştırılarak yaygınlaştırılması konusuna katkı sunmayı amaçlayan bu çalışmada mikroalgal sistemlerin entegre edildiğı tasarımların Dünya ve Türkiye örnekleri araştırılmıştır. Araştırma kapsamında 25 tasarım hakkında detaylı bilgiye ulaşılabilmektedir. Örneklerin az sayıda olması çalışma kapsamında genel yargılara varılmasını engellemekte ve çalışmanın kısıtlılıkları kapsamında değerlendirilebilmektedir.

Mikroalgal sistemlerin peyzaj mimarlığı uygulamaları içinde oturma elemanları, su ögesi, üst örtü elemanları, sınırlandırıcı, sanatsal objeler gibi donatı tasarımlarına entegrasyonu sağlanarak yer bulabildiğı görülmektedir. Fakat kullanım amaçlarına göre donatı elemanları sınıflandırmasında yer alan zemin döşeme kaplamaları, aydınlatma elemanları, işaret bilgi levhaları, satış birimleri, oyun alanı elemanları ve diğer kategorisinde yer alan donatı tasarımlarında örneğine rastlanmamıştır. (Bkz. Tablo 2.2). Bunun nedeninin mikroalgal sistemlerin donatı elemanlarına entegrasyonu konusunun yeni bir konu olmasından kaynaklı olabileceğı düşünülmektedir. Ülkemizdeki örneklerin az sayıda olmasının sebebi de bu konudaki çalışmaların azlığından kaynaklanmaktadır. Mikroalg yetiştirme sistemlerinin donatı elemanlarına entegrasyonu konusu peyzaj mimarlığı disiplini açısından da yeni bir konudur ve alana yeni olanaklar sunmaktadır.

Mikroalgal tasarımlarda mühendislik ve mimarlık disiplinlerinin bir arada çalışması sonucu daha estetik, kullanım amacına uygun ve ekolojik bakış açısı ile tasarımlar üretilebileceğı düşünülmektedir. Tasarımlar incelenirken bu farklılık gözetilerek örneklerin 2 boyutta incelemeye alınması uygun görülmüştür. Örneklerin tasarım boyutu donatı elemanları tasarım kriterleri kaynak alınarak değerlendirildiğı için kimlik kartlarında donatı başlığı altında incelenmiştir. Mühendislik boyutu algal sistemleri içerdiğinden algal sistemler başlığı altında incelenmiştir.

Donatı elemanları tasarımlarında ölçek, renk, doku, malzeme, biçim gibi tasarım öğelerinin kullanımı estetik görüntüyü artırmaktadır. Bunun yanında kullanım amacına uygunluk, estetiklik, ergonomiklik, taşınabilirlik, ekonomiklik, özgünlük, güvenlik, algılanabilirlik, süreklilik, sürdürülebilirlik, kalite ve dayanıklılık, bakım kolaylığı ve çevreye uyum konularına dikkat edilmelidir (Perçin, 2024; Kuter ve Kaya, 2019). Çalışma kapsamında algal sistemler tasarım öğeleri içerisinde sadece renk (alg türü) ve malzeme (alg yetiştirme sistemi) konularında değerlendirmeye alınmıştır. Yapılan çalışmalarda tasarım kriterleri içerisinde en önemlilerinin kullanıma amacına uygunluk ve estetiklik olduğu ifade edilmektedir (Pekin ve Timur, 2008). Diğer tasarım kriterlerinin bu 2 temel başlık altında değerlendirilebileceği düşünülmektedir. Özgünlük, algılanabilirlik, süreklilik, çevreye uyum konularının estetiklik kriterine; ergonomiklik, kalite ve dayanıklılık, güvenlik, ekonomiklik, bakım kolaylığı, malzeme seçimi ve bağlantı detayları, montaj kolaylığı, taşınabilirlik ve sürdürülebilirlik konularının kullanım amacına uygunluk kriterine hizmet ettiği görülmektedir.

Tasarım ve kullanım şekilleri **estetik** görüntüyü etkilemektedir. Daha uzun süreler kullanım sağlamak ve mekanları monotonluktan uzaklaştırmak için tasarımda estetik görüntüyü yakalamak gereklidir. **Algılanabilirlik**, görülebilirlik ve anlamlandırılabilirlikle ilgili bir kavramdır. Bir tasarım ne kadar sade ve anlaşılır olursa o kadar kolay algılanabilmektedir. Bir tasarımın algılanabilirliği estetikliğini de etkilemektedir. Tasarımlarda standardın dışına çıkmak **özgün/yaratıcı** olmak mekanlara kimlik kazandırarak estetik görüntüye katkı sunmaktadır. Tasarımların noktasal olması kent yaşamına katılımını, görünürlüğünü engellemektedir. Dolayısıyla tasarımların teknik ve görsel açıdan **sürekliliğinin** sağlanması önemlidir. Ayrıca tasarımların bulunduğu mekanlarla ilişkilendirilmesi **çevreye uyumu** estetik görüntüye katkı sunmaktadır (Erdoğan, 2006; Yıldırım, 2004; Aksu, 2012; Güner, 2015; Öztürk, 1991; Aksu, 2012; Perçin, 2024; Karadeniz, 2019, İlhan ve Kasap, 2018). Mikroalgal sistemlerin kullanım amacına göre özgün, sade, algılanabilir, estetik, çevreye uyumlu tasarımlarının gerçekleştirilmesi mümkündür fakat tasarımda süreklilik konusunun sistemlerin ekonomik olmaması sebebiyle problem oluşturacağı düşünülmektedir. Diğer bir bakış açısıyla sistemlerin biyokütle üretimi amacıyla kurulması ekonomiye katkı sağlayacağından süreklilik konusunun avantaj sağlayabileceği düşünülmektedir. Mikroalgal sistemlerin renk

etkisinin (yeşil, kırmızı, kahverengi) çevreye uyum konusuna katkı sağlayacağı görülmektedir. Çalışmalarda sadece 2 örnekte yeşil harici kırmızı alg kullanımına rastlanması renk avantajdan çok yararlanılmadığını göstermektedir. Tasarımda renk ögesinin etkisi göz önünde bulundurularak farklı alg türlerinin kullanımının estetik görüntüye fayda sağlayacağı aşikardır. Yeşil rengin sakinlik, huzur, güven, barış, sağlık, çevrecilik, inanç, denge, para, büyüme, yaratıcılık, farkındalık, kibarlık, doğallık, eşitlik, refahlık anlamları vardır. Vejetaryenliği temsil etmektedir. Güven temsili için banka logolarında, rahatlatıcı ve sakinleştirici etkisinden dolayı yatak odası ve hastanelerde kullanımına rastlanmaktadır. Kırmızı renk hareketlilik, canlılık, cinsellik, hırs, kararlılık, tehlike, cesur, aciliyet ve talepkâr anlamlarına gelmekte ve insanlar üzerinde iştah açıcı etki yaratmaktadır. Yemek markalarının logolarında, yemek yenen mekân tasarımlarında, gençlere hitap eden ürünlerde, hız ve adrenalini temsil etmesinden dolayı spor markalarında, insanların kırmızı renklerin kullanıldığı alanlarda zaman kavramını farkedememesinden kaynaklı gece kulüpleri ve barlarda kırmızı renk kullanılmaktadır. Kahverengi renk ise insanların hızlı hareket etmesini sağlamasından kaynaklı fast-food restoranlarında çokça tercih edilmektedir. Bunun dışında kahverenginin resmiyetten uzaklaştıran etkisi bulunmakta ve diğerlerinin arasında kaybolma etkisi yarattığı bilinmektedir. Dolayısıyla vurgu yapılacak görünmesi istenen yerlerde kahverengi kullanılmaktan kaçınılması gerektiği söylenmektedir (Arkhe Sanat, 2024). Uygun alanlarda uygun renkte alg türü kullanılarak kullanıcıların algısının yönetilebileceği görülmektedir.

Kullanım amacına uygunluk; uyum, beklenti, ihtiyaç, fayda ve amaç konularına cevap vermektedir (Perçin, 2024; Yıldırım, 2004; Güner, 2015). Mikroalgal tasarımların temel amacı ekolojik kaygılar olmakla birlikte donatı elemanlarına entegre edilmiş olması tasarımlara farklı kullanım amaçları kazandırmaktadır. Mikroalgal tasarımların donatı elemanı olarak kullanımı insan ihtiyaçlarının karşılanmasına yönelik ihtiyaçların yanında günümüz yaşam tarzı düşünüldüğünde doğanın; koruma kullanma dengesine olan ihtiyacına karşılık da çözüm yolları sunduğu görülmektedir. **Ergonomi** ürün kullanıcılarının konforunu artıran ve kullanım kolaylığı sağlayan bir faktördür ve kullanım amacına hizmet etmektedir (Akpınar Külekçi, 2018; Perçin, 2024). Çalışma kapsamında ergonomi konusunda bilgilere ulaşılamadığı için değerlendirmeye alınmamıştır fakat yeni

tasarımlar için gözden kaçırılmaması gereken en önemli unsurlardan biridir. **Kalite ve dayanıklılık** malzemenin iklim koşullarına dayanıklı olması ve ürünün konumlandırılmasıyla doğrudan ilişkilidir. **Malzeme seçimi ve bağlantı detayları** kalite ve dayanıklılığa etki etmekte ve ayrıca kullanıcılar üzerinde farklı psikolojik etkiler uyandırmaktadır. **Güvenlik** konusu da malzeme seçimi ve kalite ile ilişkilendirilebilmektedir. Kullanıcıların yaş aralıklarına uygun ve vandalizme karşı dayanıklı ürün tasarımı güvenlik açısından önemli konulardır. **Bakım kolaylığı** vandalizmi önleme konusunda önemlidir çünkü hasar görmüş ürünlere zarar verme isteği daha çoktur ve bakımlı ürünler kullanımı özendirilmektedir. Malzeme seçimi ayrıca **ekonomiklik** konusunu etkilemektedir. Tasarımların temel amacı standartlara uygun en düşük maliyette tasarımların gerçekleştirilebilmesi olmalıdır. **Montaj kolaylığı ve taşınabilirlik** kullanımı kolaylaştıran unsurlardandır (Perçin, 2024; Aksu, 2012; Ertaş ve Bayazıt, 2004). Mikroalgal sistemlerin komplike sistemler içermesinden kaynaklı kolayca kurulabilir ve ekonomik sistemler olmadığı görülmektedir. Bunun yanında algal sistemlerden maximum fayda sağlamak için bakımının kısa aralıklarla alg türünün hasat zamanına göre yapılması gerekmektedir. Bu durum ekonomikliğe etki etmektedir. Fakat algal sistemlerden elde edilen biyokütlenin pazara çıkarılması ile sağlanan gelir sistemleri dezavantajlı durumdan avantajlı konuma getirebilmektedir. Tasarımların sık sık bakıma ihtiyaç duyması güvenlik ve vandalizmi önleme konularına ayrıca hizmet edeceği görülmektedir. Tasarımların komplike sistemler içermesi taşınabilirlik konusunda ayrıca endişe oluşturmaktadır fakat incelenen tasarım örneklerinin birinde portatif ürün tasarımının gerçekleştirilebildiği görülmektedir. (Bkz. Şekil 4.3). Ancak tasarımların altyapıyla bütünleşik komplike sistemler şeklinde gerçekleştirilmesinin **sürdürülebilirlik/ekolojik bakış açısına** daha fazla hizmet vereceği düşünülmektedir.

Tasarım örnekleri incelendiğinde asıl amacın mikroalgal sistemlere farklı kullanım amaçları kazandırılarak ekosisteme sağladığı faydanın artırılması olduğu görülmektedir. Mikroalgal tasarımların düşünce temelinde bir kullanım amacı doğrultusunda tasarlanması olduğundan incelenen tüm tasarım örneklerin kullanım amacına uygun tasarımlar olduğu düşünülmektedir. Ayrıca incelenen örneklerin çoğunluğunun görüntü açısından estetik olduğu görülmektedir. Bunun nedeninin

ise donatı elemanlarının kente kimlik kazandırma etkisinin olabileceği düşünülmektedir. İncelenen Türkiye örneklerinin ise estetik olarak zayıf bulunduğu görülmektedir. Bunun sebebinin estetik kaygılardan daha çok sürdürülebilirlik konularına odaklanılmasından kaynaklı olabileceği düşünülmektedir. Sürdürülebilirlik kaygıları her ne kadar tasarımların kullanım amacına hizmet etse de estetik görüntünün tasarıma ve kente kimlik kazandırmak konusunda sağladığı faydalar göz ardı edilmemelidir.

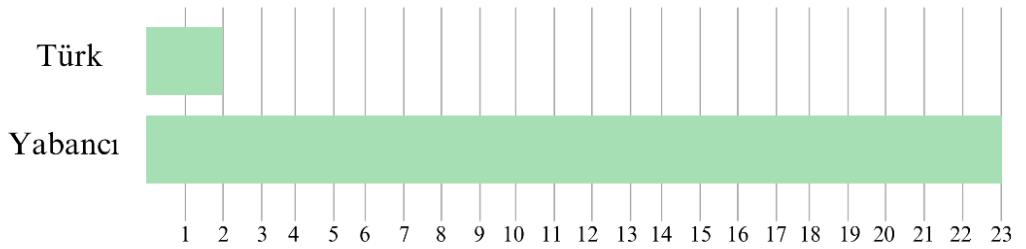
Alg yetiştirme sistemleri değerlendirildiğinde tasarımlarda açık havuz sistemlerinin, plastik torbaların ve fotobiyoreaktör sistemlerin kullanılabileceği görülmektedir fakat tasarım örneklerine bakıldığında açık sistemlerin sadece 2 örnekte varlığına rastlanmaktadır. Açık sistemlerin sadece su ögesi olarak değil heykel tasarımlarında da kullanılabileceği düşünülmektedir. Tasarım örneklerinde yoğunlukla fotobiyoreaktör tasarımlarının kullanıldığı görülmektedir. Fotobiyoreaktör sistemlerin ve plastik torbaların ayrıca aydınlatma elemanları, işaret ve bilgi levhaları, satış birimleri tasarımlarına entegre edilebileceği tasarım örneklerinden açıkça okunabilmektedir. Bunun dışında bina yüzey malzemesi olarak incelenen tasarımlardan bir tanesinin çocuk oyun alanının çevrelemesinde kullanıldığı görülmektedir. (Bkz. Şekil 4.20). Mikroalgal sistemlerin doğrudan oyun alanı elemanı tasarımı olarak kullanımı düşünülmesinde alan tasarımına entegre edilebilmesi doğaya sunduğu fayda açısından önem arz etmektedir.

Tasarımlara genel olarak bakıldığında mikroalgal sistemlerin donatının kullanım amacı ve estetikliği, tasarımda kullanılan algal sistem türü, alg rengi ve sistemin sürdürülebilirlik amaçları tasarımlar doğrultusunda değişkenlik göstermektedir dolayısıyla en doğru, en uygun gibi genel sonuçlara varılmasının mümkün olmadığı görülmektedir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Nüfus artışına paralel artan insan ihtiyaçları ve bu ihtiyaçların koruma kullanma dengesi gözetilmeden giderilmesi küresel iklim değişikliği sorunlarına sebep olmaktadır. Peyzaj mimarlığı disiplininin sorumluluklarından biri de küresel iklim değişikliği sorunlarına sürdürülebilir ve çevre dostu çözüm yolları geliştirmektir. Bu doğrultuda sera gazı salınımı için önemli gazlardan biri olan CO₂'in kentsel hava kalitesini etkilemeden bertarafı oldukça önemli bir konudur. CO₂'in mikroalgal sistemler aracılığıyla azaltımı peyzaj mimarlığı uygulamalarında kullanılabilecek bir yöntemdir. Bu çalışmada mikroalgal sistemlerin peyzaj mimarlığı uygulamalarında kullanım alanları araştırılarak yaygınlaştırılması amaçlanmış ve mikroalgal sistemlerin kullanıldığı Dünya ve Türkiye tasarım örnekleri incelenmiştir.

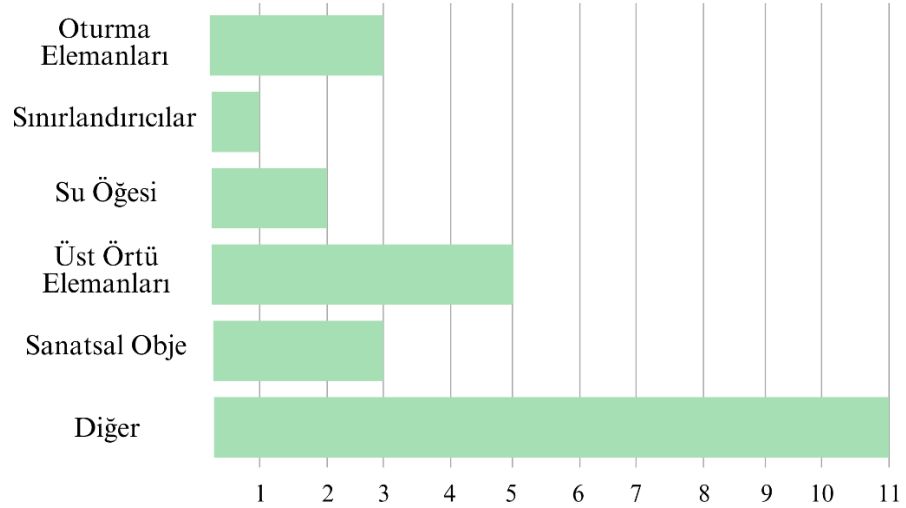
Yer: Yapılan araştırmalarda Türk tasarımcı örneklerinin azlığı dikkat çekmektedir. Şekil 6.1'de araştırma kapsamında incelenen Türkiye ve Dünya örneklerinin sayıca dağılımı görülmektedir. Ülkemizde farklı ekolojik bakış açılarına ilişkin bilincin artırılması ve bu konuda çalışmaların desteklenmesi gerekmektedir. Bu konuda Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı ile belediyelerin ilgili müdürlüklerinin teşviki oldukça önem arz etmektedir.



Şekil 6.1. Mikroalgal sistemlerin kullanıldığı Türkiye ve Dünya örneklerinin sayıca dağılımı

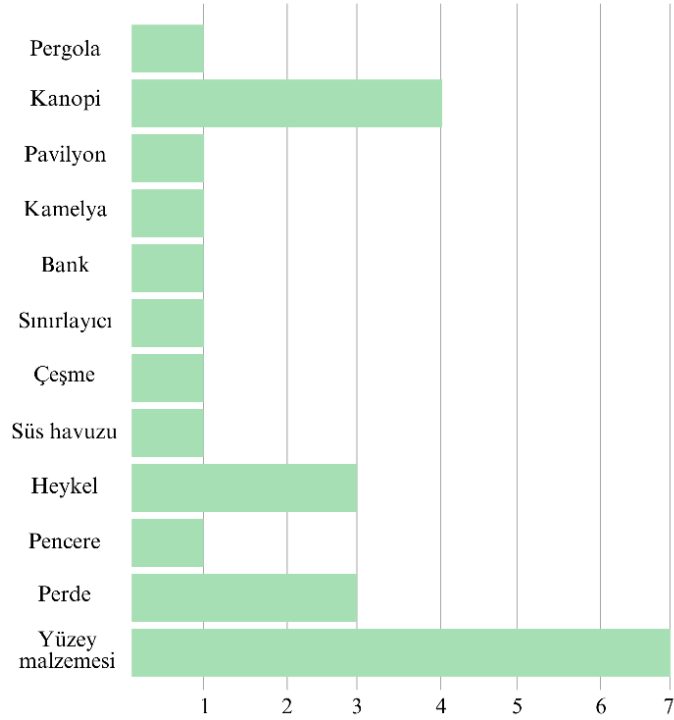
Kategori: İncelenen tasarımlardan 14 tanesi doğrudan donatı elemanı tasarımı iken 11 tanesi donatı tasarımları için örnek olabilecek projeler olarak değerlendirilmeye alınmıştır. Mikroalgal sistemlerin en çok üst örtü elemanlarına entegre edildiği görülmektedir. Zemin/döşeme kaplamaları, aydınlatma elemanları,

satış birimleri, oyun elemanları, işaret ve bilgi levhaları ile diğer öğeler türlerinde donatı elemanı örneğine rastlanmamıştır. Gelecekte yapılacak çalışmaların örneğine rastlanmayan donatı türlerine yoğunlaşması çalışmalara özgünlük açısından artı değer kazandıracaktır. Şekil 6.1’de Mikroalgal sistemlerin kullanıldığı örneklerin kategorilere göre sayıca dağılımı grafik halinde gösterilmiştir.



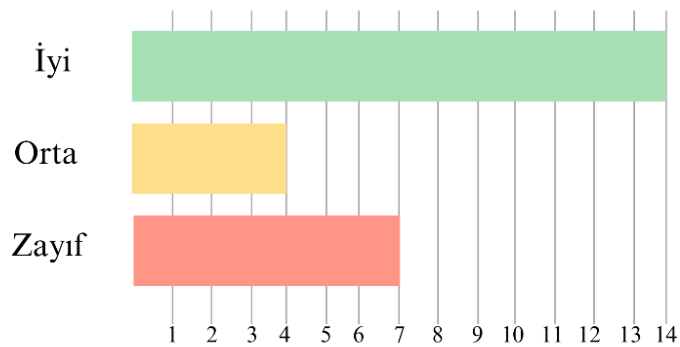
Şekil 6.2. Mikroalgal sistemlerin kullanıldığı örneklerin kategorilere göre sayıca dağılımı

Kullanım amacı: Araştırma örneklerinin 1’inin pencere, 3’ünün perde, 7’sinin yüzey malzemesi, 3’ünün heykel, 2’sinin pergola, 3’ünün kanopi, 1’inin çeşme, 1’inin süs havuzu, 1’inin sınırlayıcı, 1’inin pavilyon, 1’inin kamelya ve 1’inin de bank olarak tasarlandığı görülmektedir. Mikroalgal tasarımların en çok yüzey malzemesi olarak kullanıldığı görülmektedir. Mikroalgal sistemlerin kullanıldığı örneklerin kullanım amaçlarına göre sayıca dağılımı şekil 6.3’te verilmiştir.



Şekil 6.3. Mikroalgal sistemlerin kullanıldığı örneklerin kullanım amaçlarına göre sayıca dağılımı

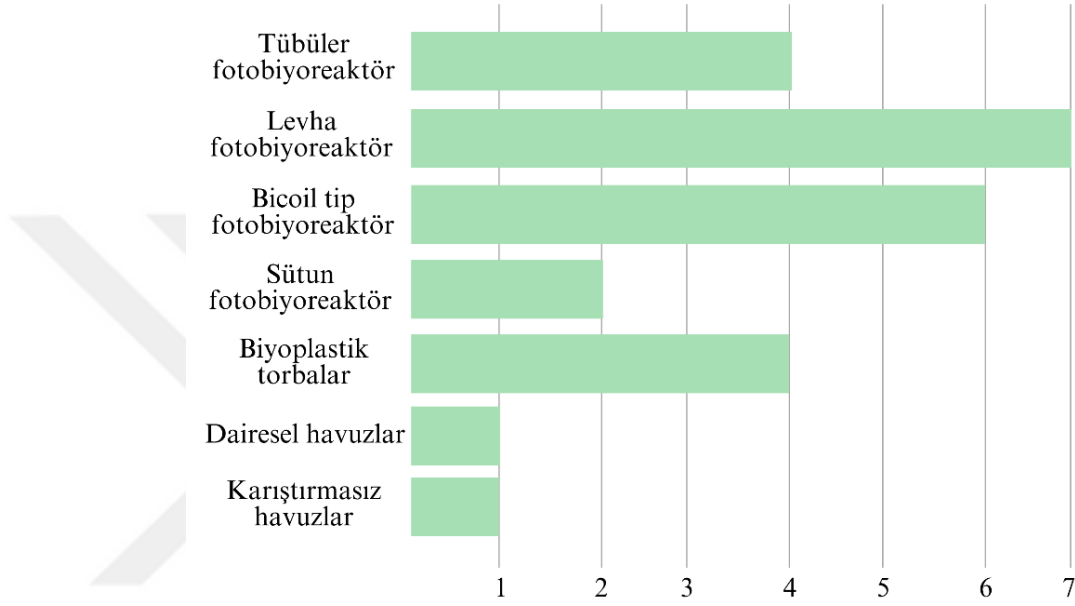
Estetik: Örnekler estetik olarak değerlendirildiğinde 14'ünün iyi, 4'ünün orta, 7'sinin zayıf tasarımlar olduğu görülmektedir. Tasarım örneklerinin çoğunlukla estetik ürünler olduğu sonucunda varılmaktadır. Şekil 6.3'te mikroalgal sistemlerin kullanıldığı örneklerin estetik olarak sayıca dağılımı verilmiştir.



Şekil 6.4. Mikroalgal sistemlerin kullanıldığı örneklerin estetik olarak sayıca dağılımı

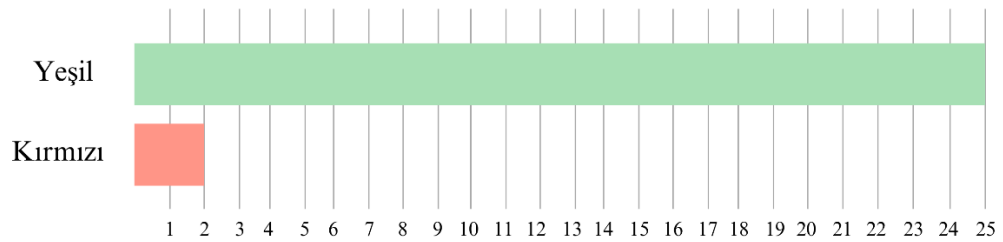
Yetiştiricilik türü: İncelenen tasarım örneklerinde iç mekân üretim sistemlerinden plastik torbalar ve fotobiyoreaktör tasarım örneklerine rastlanmıştır. İncelenen tasarımların 4'ü tübüler fotobiyoreaktör, 7'si levha (düz) fotobiyoreaktör,

6'sı bicoil tip fotobiyoreaktör, 2'si dikey sütun fotobiyoreaktör ve 4'ü biyoplastik torba örnekleridir. Dış mekân üretim sistemlerinden 25 örnekten sadece 2'sinde açık havuz sistemleri örneklerine rastlanmıştır. Donatı elemanı tasarımlarında en çok fotobiyoreaktör sistemlerinin kullanıldığı sonucuna varılmaktadır. Şekil 6.5'te mikroalgal sistemlerin kullanıldığı örneklerin yetiştiricilik türü olarak sayıca dağılımı verilmiştir.



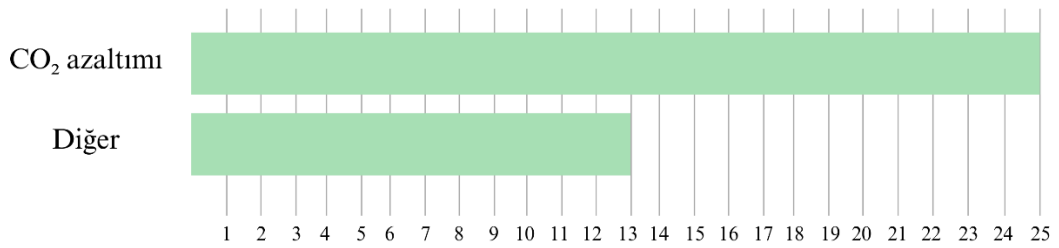
Şekil 6.5. Mikroalgal sistemlerin kullanıldığı örneklerin yetiştiricilik türü olarak sayıca dağılımı

Renk: Tasarımlardan sadece 2 tanesinde yeşil ve kırmızı alg türlerinin beraber örneğine rastlanmıştır. Diğerlerinin hepsinde yeşil alg türleri kullanılmıştır. Şekil 6.6'da mikroalgal sistemlerin kullanıldığı örneklerde alg renklerinin sayıca dağılımı verilmiştir.



Şekil 6.6. Mikroalgal sistemlerin kullanıldığı örneklerde alg renklerinin sayıca dağılımı

Sürdürülebilirlik: Mikroalgal tasarımlar sürdürülebilirlik/ekolojik bakış açısı kapsamında değerlendirildiğinde tüm örneklerin birincil olarak CO₂ tutma odaklı tasarımlar olduğu görülmektedir. Tasarımların 13 tanesinde CO₂ azaltımı yanında mikroalgal sistemlerin yağmur suyu toplama, elektrik ihtiyacını karşılama, sıcak su ihtiyacını karşılama, ısıtma, ısı yalıtımı, farklı amaçlar için biyokütle üretimi ve su temizleme gibi sürdürülebilirlik amaçlarına da hizmet ettiği görülmektedir. Şekil 6.7’de mikroalgal sistemlerin kullanıldığı örneklerin sürdürülebilirlik amaçlarının sayıca dağılımı verilmiştir.



Şekil 6.7. Mikroalgal sistemlerin kullanıldığı örneklerin sürdürülebilirlik amaçlarının sayıca dağılımı

Bu bağlamda mikroalglerin açık veya kapalı üretim sistemleri şeklinde peyzaj mimarlığı uygulamaları içerisinde donatı elemanları tasarımlarına entegre edilebileceği sonucuna varılmaktadır. Burada dikkat edilmesi gereken hem algal sistemin ihtiyaçlarına yanıt verebilmek hem de donatı tasarım kriterlerine uygun ürünler ortaya koyabilmektir. Yapılacak yeni tasarımların uygun mühendislik çalışmaları eşliğinde multidisipliner çalışmalar olarak gerçekleştirilmesi daha estetik, kullanım amacına uygun, doğa dostu ve sürdürülebilir tasarımların gerçekleştirilmesine hizmet edecektir. Bu konuda gerçekleştirilecek yeni çalışmaların bu tezden hareketle daha alt ölçekte donatı tasarım örnekleri bazında gerçekleştirilmesi mikroalgal sistemlerin peyzaj mimarlığı uygulamalarında kullanımını yaygınlaştırmak için gereken süreyi daha kısa kılacaktır.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Aghaalipour, E., Akbulut, A. ve Güllü, G., 2017, Sürekli Fotobiyoreaktör Sistemlerinde Üretilen Karışık Mikroalg Kültürü Kullanılarak CO₂ Giderim Oranlarının İncelenmesi, VII. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu, Ankara, 343-353 s.
- Ahmad, I., Abdullah, N., Koji, I., Yuzir, A. and Muhammad, S. E., 2021, Evolution of photobioreactors: a review based on microalgal perspective, In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 1142(1):012004 pp.
- Ahmad, L., N. A., Radin Mohamed, R. M. S., Apandi, N. M. and Tajuddin, R. M., 2017, Experimental assessment on effects of growth rates microalgae *Scenedesmus* sp. in different conditions of pH, temperature, light intensity and photoperiod. In key engineering materials, 744:546-551 pp.
- Akpınar Külekçi, E., 2018, Kent Donatı Elemanlarında Özgün Tasarımların Peyzaj Ergonomisi Yaklaşımıyla İrdelenmesi. Mimarlık Bilimleri ve Uygulamaları Dergisi (MBUD), 3(2):89-109 s.
- Aksu, Ö.V., 2012, Kent Mobilyaları Tasarımında Özgün Yaklaşımlar, İnönü Üniversitesi Sanat ve Tasarım Dergisi, 2(6):373-386 s.
- Aksu, V., 1998. Kent Mobilyalarının Yer Aldıkları Mekanlara Etkileri-Trabzon Kenti Ölçeğinde- Üzerine Bir Araştırma, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Aktar, S. ve Cebe, G. E., 2010, Alglerin Genel Özellikleri, Kullanım Alanları ve Eczacılıktaki Önemi, Ankara Eczacılık Fakültesi Dergisi, 39(3):237-264 s.
- Alabi, A. O., Tampier, M. and Bibeau E., 2009, Microalgae Technologies & Processes For Biofuels-Bioenergy Production in British Columbia: Current Technology, Suitability & Barriers to Implementation. British Columbia Innovation Council raporu.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Archello, <https://archello.com/project/in-vivo>, (Erişim tarihi:10.11.2023).

archinect.com, "Algae Dome", <https://archinect.com/news/article/98218917/the-urban-algae-canopy-shows-the-power-of-algaetecture-for-milan-expo-2015>, (Erişim tarihi:10.10.2023)

Architizer.com, "The Urban Algae Canopy shows the power of "algaetecture" for Milan Expo 2015", <https://architizer.com/projects/algae-dome/>, (Erişim tarihi: 26.12.2023).

Arkhe Sanat, "Renklerin Anlamı", <https://www.arkhesanat.com/renklerin-anlami/>, (Erişim tarihi: 21.11.2023).

Avcı, E., 2023, Fotobiyoreaktör (FBR) Sistemlerin Bina Kabuğuna Bütünleştirilmesinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı, Edirne, 121 s.

Aydoğdu, H., 2017, Kentsel Donatı Elemanlarının Peyzaj Mimarlığında Kullanımı, Lisans Bitirme Tezi (yayınlanmamış), Selçuk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı, Konya.

Bahadar, A. and Khan, M. B., 2013, Progress in energy from microalgae: a review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 27:128-148 pp.

Başal M, Memlük Y, Yılmaz O., 1993, Peyzaj Konstrüksiyonu, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları: 1322, Ders Kitabı: 381, Ankara, 170s.

Bayazıt, E., 2018. Kentsel Donatı Elemanlarının Kent Kimliği ve Estetik Değerler Yönünden İncelenmesi: Trabzon ve Hükümet Caddeleri Örneği, Kahramanmaraş, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Bayraktar, N., Tekel, A., Ercoşkun, Ö.Y., 2008. Ankara Atatürk Bulvarı Üzerinde Yer Alan Kentsel Donatı Elemanlarının Sınıflandırılması, Değerlendirilmesi ve Kent Kimliği İlişkisi, Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, 23(1):105-118 s.
- Benemann, J., 2009, Microalgae Biofuels: A Brief Introduction. Benemann Associates and MicroBio Engineering, Inc., CA, USA.
- Brennan, L. and Owende, P., 2010, Biofuels from microalgae-A review of technologies for production, processing, and extractions of biofuels and co-products. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14:557-577 pp.
- Benemann, J. R. and Pedroni, P., 2007, Biofixation of fossil CO₂ by microalgae for greenhouse gas abatement. Encyclopaedia Of Hydrocarbons. Volume III / New Developments: Energy, Transport, Sustainability.
- Carvalho, A. P., Meireles, L. A. and Malcata F. X., 2006, Microalgal Reactors: A Review of Enclosed System Designs and Performances, Biotechnol Prog., 22(6):1490-506 pp.
- Carvalho, A. P., Silva, S. O., Baptista, J. M. and Malcata, F. X., 2011, Light requirements in microalgal photobioreactors: an overview of biophotonic aspects, Appl Microbiol Biotechnol, 89:1275-1288 pp.
- Chisti, Y., 2007, Biodiesel from microalgae, Biotechnology advances, 25(3):294-306 pp.
- Chojnacka, K. and Marquez-Rocha, F. J., 2004, Kinetic and stoichiometric relationships of the energy and carbon metabolism in the culture of microalgae, Biotechnology, 3(1):21-34 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Chen, M., Tang H., Maa, H., Holland, T. C., Simon Ng, K. Y. and Salley, S. O., 2011, Effect of nutrients on growth and lipid accumulation in the green algae *Dunaliella tertiolecta*.
- Creighton, J., “The Algae Farm That Eats Highway Pollution”, <https://futurism.com/algae-farm-eats-highway-pollution>, (2014) (Erişim tarihi:23.11.2023).
- Çamuşoğlu, N., “Algler Havayı Temizleyen Biyopolimer Ağaca Dönüştü”, <https://www.ekoyapidergisi.org/algler-havayi-temi-zleyen-bi-yopoli-mer-agaca-donustu> (2023) (Erişim tarihi: 26.12.2023).
- Darzins, A., Pienkos, P. and Edye, L., 2010, Current Status and Potential for Algal Biofuels Production. IEA Bioenergy report, T39-T2.
- Demirbaş, A., 2011, Biodiesel from oilgae, biofixation of carbon dioxide by microalgae: A solution to pollution problems, Applied Energy, 88:3541-3547 pp.
- e-architect, “Net Zero Building: GSA Office Los Angeles”, <https://www.e-architect.com/losangeles/net-zero-building>, (2011) (Erişim tarihi:27.12.2023).
- ecoLogicStudio, “Urban Algae Folly”, <https://www.architectureplayer.com/clips/urban-algae-folly>, (2015). (Erişim tarihi:11.11.2023).
- Ekinci, N., 2022, Kentsel Donatı Elemanlarının Yeterlilik Düzeylerinin Belirlenmesi: Rize Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Artvin Çoruh Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı, Artvin, 122s.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Elcik, H. ve Çakmakcı, M., 2017, Mikroalg üretimi ve mikroalglerden biyoyakıt eldesi. Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 32(3):795-820 s.
- Eliçin, A.K., Kılıçkan, A. ve Avcıoğlu, A. O., 2009, Mikroalglerden Biyodizel Üretimi. 25. Tarımsal Mekanizasyon Ulusal Kongresi Bildiri Kitabı, Isparta, 273-278 s.
- Encarnacion, R. C., Benitez, S. G., Santos, M. G. and Medina, C. S., 2010, Maximization of Scenedesmus dimorphus lipid yield for the production of biodiesel. Polytechnic University of Puerto Rico, San Juan, Puerto Rico.
- Erdem, N., 1995, Kentsel Donatı Elemanları, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 45(1-2):127-133 s.
- Erdoğan, E., 2006, Çevre ve kent estetiği. Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 8(9):68-77 s.
- Eriksen, N. T., 2008, The technology of microalgal culturing, Biotechnol Lett, 30:1525-1536 pp.
- Gezici, M., 2012, Biyodizel Üretimine Uygun Mikroalglerin Gelişimine Bazı Yetiştirme Parametrelerinin Etkisinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları Anabilim Dalı, Ankara, 79s.
- Griffiths, M. J., Dicks, R. G., Richardson, C. and Harrison S. T. L., 2011, Advantages and Challenges of Microalgae as a Source of Oil for Biodiesel, Biodiesel-Feedstocks and Processing Technologies, 978(953):177-200 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Grima, E. M., Belarbi, E. H., Acien Fernandez, F. G., Medina, A. R. and Chisti, Y., 2003, Recovery of microalgal biomass and metabolites: process options and economics, *Biotechnology Advances*, 20:491-515 pp.
- Güner, E., 2015. Kent Kimliği İlişkisi Bağlamında Kent Mobilyaları: Sultanahmet Meydanı Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Arel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Güney, A., Erdem, Ü., Zafer, B., Hepcan, Ş., 1996, Peyzaj Konstrüksiyonu (Donatı Elemanları), Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No:514, Peyzaj Mimarlığı Bölümü Ders Kitabı, İzmir, 149 s.
- Gürsu, G. ve Taşaltın, N., “İklim Değişikliği ile Mücadelede Kentsel Fotobiyoreaktör”,
https://www.researchgate.net/publication/375025421_IKLIM_DEGISIKLI_GI_ILE_MUCADELEDE_KENTSEL_FOTOBİYOREAKTOR (2023)
 (Erişim tarihi:10.11.2023).
- Hagendijk, A. J., 2015, Design of an optimal photobioreactor (Doctoral dissertation, Stellenbosch: Stellenbosch University).
- Haznedaroğlu, B. 2020. “Yosunlar: Makro Sorunlar için Mikro Çözümler”,
<https://www.youtube.com/watch?v=V17aRVH75rU&t=362s>, (Erişim Tarihi: 23.10.2022)
- Hsueh, H. T., Li, W. J., Chen, H. H. and Chu, H., 2009, Carbon bio-fixation by photosynthesis of *Thermosynechococcus* sp. CL-1 and *Nannochloropsis occulta*, *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 95(1):33-39 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Huang, G., Chen, F., Wei, D., Zhang, X. and Chen, G., 2010, Biodiesel production by microalgal biotechnology, *Applied energy*, 87(1):38-46 pp.
- Huang, Q., Jiang, F., Wang, L. and Yang, C., 2017, Design of photobioreactors for mass cultivation of photosynthetic organism, *Engineering* 3(3):318-329 pp.
- Hughes, E. and Benemann J. R., 1997, Biological Fossil CO₂ Mitigation, *Energy Conversion Management*, 38:467-473 pp.
- Iersel, S. V. and Flammini, A., 2010, Algae-based biofuels: applications and co-products. Food and Agriculture Organization of the United Nations review paper, ISBN 978-92-5-106623-2.
- Inhabitat.com. <https://inhabitat.com/algaevator-transforms-algae-production-into-a-beautiful-work-of-art-and-architecture/>, (Erişim tarihi:10.11.2023).
- Inhabitat.com. <https://inhabitat.com/ingenious-chlorella-oxygen-pavilion-helps-city-dwellers-breathe-clean-unpolluted-air-using-algae/chlorella-diagrams-1020x610/>, (Erişim tarihi:10.11.2023).
- İlhan, M. E. ve Kasap, H. Ö., 2018, Sultanahmet Meydanı kent mobilyalarının estetik, işlevsellik ve algılanabilirlik ölçütlerinde kent dokusu ile uyumu. *Kent Akademisi*, 11(4):508-522 s.
- İtez, Ö., “Airbubble”, <https://www.arkitera.com/proje/airbubble/>, (2023) (Erişim tarihi:17.12.2023).
- Jiang, Y., Zhang, W., Wang, J., Chen, Y., Shen, S. and Liu, T., 2013, Utilization of simulated flue gas for cultivation of *Scenedesmus dimorphus*, *Bioresource technology*, 128:359-364 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Junying, Z. H. U., Junfeng, R. O. N. G. and Baoning, Z. O. N. G., 2013, Factors in mass cultivation of microalgae for biodiesel, Chinese Journal of Catalysis, 34(1):80-100 pp.
- Kang, J. and Wen, Z., 2015, Use of microalgae for mitigating ammonia and CO₂ emissions from animal production operations-Evaluation of gas removal efficiency and algal biomass composition, Algal Research, 11:204-210 pp.
- Kang, J., Wang, T., Xin, H. and Wen, Z., 2014, A laboratory study of microalgae-based ammonia gas mitigation with potential application for improving air quality in animal production operations, Journal of the Air & Waste Management Association, 64(3):330-339 pp.
- Karadeniz, Z., 2019, Peyzaj Tasarım Kriterleri Açısından Samsun Kent Parklarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ordu Üniversitesi Fen Bilimleri Fakültesi, Ordu.
- Katuwal, S., 2017, Designing and development of a photobioreactor for optimizing the growth of micro algae and studying its growth parameters, South Dakota State University.
- Kılıç, G. C., 2017, Integrated carbon dioxide mitigation and nutrient removal from municipal and industrial wastewater using microalgal systems (Master's thesis, Middle East Technical University).
- Kim, Z. H., Park, H., Hong, S. J., Lim, S. M. and Lee, C. G., 2016, Development of a floating photobioreactor with internal partitions for efficient utilization of ocean wave into improved mass transfer and algal culture mixing, Bioprocess and biosystems engineering, 39:713-723 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Koç, A., Yağlı, H., Koç, Y. ve Uğurlu, İ., 2018, Dünya’da ve Türkiye’de Enerji Görünümünün Genel Değerlendirilmesi, Mühendislik ve Makine Dergisi, 59(666):86-114 s.
- Kumar, A., Ergas, S., Yuan, X., Sahu, A., Zhang, Q., Dewulf, J., Malcata, F. X. and Langenhove, H., 2010, Enhanced CO₂ fixation and biofuel production via microalgae: recent developments and future directions, Trends in Biotechnology, 28(7):371-380 pp.
- Kunjapur, A. M. and Eldridge, R. B., 2010, Photobioreactor Design for Commercial Biofuel Production from Microalgae, Ind. Eng. Chem. Res., 49:3516-3526 pp.
- Kurano, N., Sasaki, T. and Miyachi, S., 1998, Carbon dioxide and microalgae, Studies in Surface Science and Catalysis, 114:55-63 pp.
- Kuter, N., ve Kaya, Z., 2019, Kentsel donatı elemanlarının peyzaj mimarlığı açısından değerlendirilmesi: Çankırı Örneği. Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 21(1):81-96 s.
- Kükdamar, İ. ve Özbalt, T. G., 2018, Bina Kabuğunda Yenilikçi Yaklaşımlar-Fotobiyoreaktör Cephele. 3.Ulusal Yapı Fiziği ve Çevre Kontrolü.
- Kükdamar, İ. ve Tokuç, A., 2015, Sıfır Karbon Binalara Ulaşmada Anahtar Bir Cephe Önerisi, 12. Ulusal Tesisat Kongresi, İzmir, 2267-2280 s.
- Larsdotter, K., 2006, Wastewater treatment with microalgae-a literature review, VATTEN, 62:31-38 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Li, Q. F., Liu, Y., Liao, W. and Powers, W., 2014, Microalgae Cultivation from Animal Production Exhaust Air: Mitigate Air Emissions and Recovery Nutrients, American Society of Agricultural and Biological Engineers, 141904843.
- Li, Q. F., Liu, Y., Liao, W. and Powers, W., 2017, Microalgal Cultivation Using Animal Production Exhaust Air: Technical and Economic Feasibility. CLEAN–Soil, Air, Water, 45(4):1500309.
- LIQUID3, “Urban Photo-Bioreactor”, <https://liquid3.rs/> (Erişim tarihi:15.11.2023).
- Lopes, E. J., Scoparo, C. H. G., Lacerda, L. M. C. F. and Franco, T. T., 2009, Effect of light cycles (night/day) on CO₂ fixation and biomass production by microalgae in photobioreactors. Chemical Engineering and Processing, 48:306-310 pp.
- Loop.pH, “Algae Curtain”, <https://loop.ph/portfolio/algae-curtain/> (2012) (Erişim tarihi:26.12.2023).
- Lundquist, T. J., Woert, I. C., Quinn, N.W.T. and Benemann, J. R., 2010, A Realistic Technology and Engineering Assessment of Algae Biofuel Production. Energy Biosciences Institute University of California, Berkeley, California.
- Mahfouz, G. N., 2014, Mineral Uptake Rates and Yield Coefficients of the Green Microalgae Scenedesmus Dimorphus.
- Marsh, A. A., 2008, A Study into the Cultivation of Algae for Carbon Dioxide Sequestration from a Power Plant and It’s Use as a Bio Fuel, MSc Thesis, Cardiff School of Engineering Cardiff University.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Mata, T. M., Martins, A. A. and Caetano, N. S., 2010, Microalgae for biodiesel production and other applications: A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14(1):217-232 p.
- Micler, A., “Process Zero: Retrofit Resolution Wins Next Generation Design Competition”, <https://www.evolo.us/process-zero-retrofit-resolution-wins-next-generation-design-competition/>, (2011) (Erişim tarihi:12.12.2023).
- Milledge, J. J., 2011, Commercial application of microalgae other than as biofuels: a brief review, Rev Environ Sci Biotechnol, 10:31-41 pp.
- Molina, E., Fernandez, J., Acien, F. G. and Chisti, Y., 2001, Tubular photobioreactor design for algal cultures, Journal of Biotechnology, 92:113-131 pp.
- Mumcu, S., Yılmaz, S. ve Düzenli, T., 2017, Açık Mekanlardaki Oturma Donatılarının ve Yerlerinin Tasarımına İlişkin Faktörler, İnönü Üniversitesi Sanat ve Tasarım Dergisi, 7:1-16 s.
- Norsker, N. H., Barbosa, M. J., Vermue, M. H. and Wijffles, R. H., 2011, Microalgal production-A close look at the economics, Biotechnology Advances, 29:24-27 pp.
- Oktor, K., 2018, Mikroalglerin Çevre Teknolojilerindeki Yeri, Çevre Bilim ve Teknoloji, 330-343 s.
- Öncel, S. Ş., Köse, A. and Öncel, D. Ş., 2016, Façade integrated photobioreactors for building energy efficiency, Start-Up Creation, 237-299 s.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Öner Bilen S., 2004, Kentsel Dış Mekanların Tasarımında Antropometrik Verilere Bağlı Olarak Peyzaj Elemanlarının Ankara Örneğinde Araştırılması, Doktora Tezi (yayınlanmamış), Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı, Ankara.
- Özman Say, N., Gönül, A., Çelik, İ., Arslaner, E., Döner, B. 2017, Türkiye'nin Yosundan Enerji Üreten İlk Konut Tasarımı ve Uygulaması-Algaetect Evi, 13. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir, 43-55 s.
- Öztürk, K., 1991, Kent Mobilyaları Tasarımında Bilgi-İletişim Estetiği, Kamu Mekânları Tasarımı ve Kent Mobilyaları Sempozyumu, Mimar Sinan Üniversitesi, İstanbul, 69-73 s.
- Packer, M., 2009, Algal capture of carbon dioxide; biomass generation as a tool for greenhouse gas mitigation with reference to New Zealand energy strategy and policy, Energy Policy, 37:3428-3437 pp.
- Park, K. H. and Lee, C. G., 2001, Effectiveness of Flashing Light for Increasing Photosynthetic Efficiency of Microalgal Cultures over a Critical Cell Density, Biotechnol. Bioprocess Engineering, 6:189-193 pp.
- Parmar, A., Singh, N. K., Pandey, A., Gnansounou, E. and Madamwar, D. 2011, Cyanobacteria and microalgae: A positive prospect for biofuels, Bioresource Technology, 102:10163-10172 pp.
- Pekin, U., Timur, B., 2008, Kentsel dış mekanlar ve donatı elemanları- Eskişehir kenti örneği. 21. Uluslararası Yapı ve Yaşam Kongresi, Bursa, 80- 85 s.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Perçin, M. H., “Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Peyzaj Mimarlığı Bölümü Peyzaj Konstrüksiyonu 2 Ders Notları”, https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/61576/mod_resource/content/1/14.%20B%C3%B6l%C3%BCm-%20Kentsel%20donat%C4%B1%20elemanlar%C4%B1.%20.pdf, (Erişim tarihi:01.01.2024).

Posten, C., 2009, Design principles of photo-bioreactors for cultivation of microalgae, Engineering in Life Sciences, 9(3):165-177 pp.

Pulz, O. and Gross W., 2004, Valuable products from biotechnology of microalgae, Appl Microbiol Biotechnol, 65:635-648 pp.

Ryan, C., 2009, Cultivating Clean Energy: The Promise of Algae Biofuels. The Natural Resources Defense Council raporu.

Sağlık A., Sağlık E., Kelkit A., 2014. Kentsel Donatı Elemanlarının Peyzaj Mimarlığı Açısından İrdelenmesi: Çanakkale Kent Merkezi Örneği. 1. Uluslararası Kentsel Planlama-Mimarlık-Tasarım Kongresi, Kocaeli, Türkiye, 1023–1035.

Sasa, A., Şentürk, F., Üstündağ, Y. ve Erem, F., 2020, Alglerin Gıda veya Gıda Bileşeni Olarak Kullanımı ve Sağlık Üzerine Etkileri, Uluslararası Mühendislik, Tasarım ve Teknoloji Dergisi, 2(2):97-110 s.

Sayaner, O., 2013, Mikroalg Yetiştiriciliği Yoluyla Baca Gazı Kaynaklı Karbondioksit Azaltımı, Yüksek Lisans Tezi, İ. T. Ü. Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı Enerji Bilim ve Teknoloji Programı, 106s.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Schenk, P. M., Thomas-Hall, S. R., Stephens, E., Marx, U. C., Mussgnug, J. H., Posten, C., Kruse, O. and Hankamer, B., 2008, Second Generation Biofuels: HighEfficiency Microalgae for Biodiesel Production, BioEnergy Research, 1:20-43 pp.
- Sforza, E., Bertucco, A., Morosinotto, T. and Giacometti, G. M., 2012, Photobioreactors for microalgal growth and oil production with *Nannochloropsis salina*: From lab-scale experiments to large-scale design, Chemical Engineering Research and Design, 90:1151-1158 pp.
- Shelef, G., Sukenik, A. and Green, M., 1984, Microalgae Harvesting and Processing: A Literature Review, Solar Energy Research Institute a Subcontract Report, Golden, Colorado.
- Shen, Y., Yuan, W., Pei, Z. J., Wu, Q. and Mao, E., 2009, Microalgae mass production methods, Transactions of the ASABE, 52(4):1275-1287 pp.
- Singh, J. and Gu, S., 2010, Commercialization potential of microalgae for biofuels production, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14:2596-2610 pp.
- Sirohi, R., Pandey, A. K., Ranganathan, P., Singh, S., Udayan, A., Awasthi, M. K. and Sim, S. J., 2022, Design and applications of photobioreactors-A review, Bioresource technology, 126858.
- Slegers, P. M., Van Beveren, P. J. M., Wijffels, R. H., Van Straten, G. and Van Boxtel, A. J. B., 2013, Scenario analysis of largescale algae production in tubular photobioreactors, Applied energy, 105:395-406 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Slegers, P. M., Wijffels, R. H., Van Straten, G. and Van Boxtel, A. J. B., 2011, Design scenarios for flat panel photobioreactors, *Applied energy*, 88(10):3342-3353 pp.
- Sorokin C. and Krauss R. W., 1958, The Effects of Light Intensity on the Growth Rates of Green Algae., *Plant Physiology*, 33(2):109-113 pp.
- Soydemir, G., 2016, Atıksu Ortamında Yetiştirilen Mikroalglerin Yağının Karakterizasyonu ve Değerlendirilmesi, Doktora Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 142s.
- Spolaore, P., Joannis-Cassan, C., Duran, E. and Isambert, A., 2006, Commercial Applications of Microalgae. *Journal Of Bioscience and Bioengineering*, 101(2):87-96 pp.
- Stepan, D. J., Shockey, R. E., Moe, T. A. and Dorn, R., 2002, Subtask 2.3-Carbon Dioxide Sequestering Using Microalgal Systems. DE-FC26- 98FT40320 Energy & Environmental Research Center University of North Dakota, Grand Forks, ND.
- Stühlinger, J., “Built with algae”, <https://www.ubm-development.com/magazin/en/french-dream-towers/>, (Erişim tarihi:10.11.2023)
- Suh, I. S. and Lee, C. G., 2003, Photobioreactor Engineering: Design and Performance. *Biotechnology and Bioprocess Engineering*, 8:313-321 pp.
- Şahin, Y. ve Akyurt, İ., 2010, Planktonlar ve Fotobiyoreaktörler, *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 1(2):83-92 s.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Şişman, E.E., Yetim, L., 2004, Tekirdağ Kentinde Donatı Elemanlarının Peyzaj Mimarlığı Açısından İrdelenmesi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 5(19): 43-51 s.
- Taylor, N., 1999. The Elements of Townscape and the Art of Urban Design, Journal of Urban Design, 4(2): 195-209.
- Tom Wiscombe Architecture, “Perth Photobioreactor”, <https://tomwiscombe.com/PERTH-PHOTOBIOREACTOR>, (Erişim tarihi:11.01.1024).
- Tredici, M. R., 2004, Mass Production of Microalgae: Photobioreactors, in Handbook of Microalgal Culture: Biotechnology and Applied Phycology, Ed.Richmond A. Blackwell Publishing.
- Tsai, D. D. W., Ramaraj, R. and Chen P. H., 2012, Growth condition study of algae function in ecosystem for CO₂ bio-fixation. Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology, 6(107):27–34 pp.
- TÜİK, “Sera Gazı Emisyon İstatistikleri, 1990-2021”, <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Sera-Gazi-Emisyon-Istatistikleri-1990-2021-49672> (2023) (Erişim Tarihi: 16.10.2023).
- Türkeş, M., 2008, Küresel iklim değişikliği nedir? Temel kavramlar, nedenleri, gözlenen ve öngörülen değişiklikler. İklim Değişikliği ve Çevre Dergisi, 1:26-37 s.
- Uduman, N., Qi, Y., Danquah, M. K., Forde, G. M. and Hoadley, A., 2010, Dewatering of microalgal cultures: A major bottleneck to algae-based fuels. Journal Of Renewable and Sustainable Energy, 2(1), 0127011-16.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Ugwu, C. U., Aoyagi, H. and Uchiyama, H., 2008, Photobioreactors for mass cultivation of algae, *Bioresource Technology*, 99(10):4021-4028 pp.
- Uğuz, S., 2023, Hayvan Barınaklarının Salınan Kirletici Gazların Fotobiyoreaktör Sistemleri ile Azaltılması, Yüksek Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa, 89s.
- Uludağ, K., 1990. Kent Mobilyalarında Seramiğin Yeri, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- UNC Charlotte, “Mikroalgae Façade Project Wins Nsf Grant”, <https://coaa.charlotte.edu/news/2020-05-28/microalgae-fa%C3%A7ade-project-wins-nsf-grant> (2020) (Erişim tarihi:26.12.2023).
- urbanNext, “Photo.Synth.Etica: Biyo-dijital Bir Kent Perdesi”, <https://urbannext.net/photo-synth-etica/> (Erişim tarihi:26.12.2023).
- Usui, N. and Ikenouchi, M., 1997, The Biological CO₂ Fixation And Utilization Project By RITE(1)-Highly-Effective Photobioreactor System, *Environmental Science, Biology, Engineering Energy Conversion and Management*, 38:487-492 pp.
- Wang, B., Lan, C. Q. and Horsman, M., 2012, Closed Photobioreactors For Production Of Microalgal Biomasses, *Biotechnology Advances*, 30(4):904-912 pp.
- Wang, B., Li, Y., Wu, N. and Lan, C. Q., 2008, CO₂ Bio-mitigation Using Microalgae. *Appl Microbiol Biotechnol*, 79(5):707-718 pp.
- Wen, Z. and Johnson, M. B., 2009, Microalgae as a Feedstock for Biofuel Production, Virginia Cooperative Extension report, 442-886 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

xtuarchitects.com., “Algonomad”, <https://www.xtuarchitects.com/algonomad/>,
(Erişim tarihi:10.12.2023).

Yen, H. W., Hu, I. C., Chen, C. Y., Ho, S. H., Lee, D. J. and Chang, J. S., 2013,
Microalgae-based biorefinery-From biofuels to natural products, Bioresource
Technology, 135:166-174 pp.

Yıldırım, E., 2004. İstanbul’da Kent Mobilyalarının Değerlendirilmesi
“Sultanahmet Meydanı Örneği”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma süresince danışmanlığımı yürüten sayın hocam Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı Öğretim Üyesi **Prof. Dr. Erhan Vecdi KÜÇÜKERBAŞ**'a;

Çalışmamın temelini oluşturduğum algılar konusunda beni bilgilendiren ve farkındalık oluşturan sevgili kardeşim S. S. İzmir Bölgesi Su Ürünleri Kooperatifler Birliği **Su Ürünleri Mühendisi Ezgi AKKAYA**'ya;

Çalışma sürecimde kendisinden almış olduğum bölüm dışı derslerle bana destek veren ve çalışmamı yönlendirmemde katkıda bulunan sayın hocam Ege Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Yetiştiricilik Anabilim Dalı Öğretim Üyesi **Prof. Dr. Yaşar DURMAZ**'a;

Yine çalışma sürecimde kıymetli yardımlarını esirgemeyen canım arkadaşlarım Bursa Teknik Üniversitesi Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı **Araş. Gör. Buse Nur Çırak** ve Eti Bakır A.Ş. Mazıdağı Metal Geri Kazanım ve Entegre Gübre Tesisleri **DAP Üretim Mühendisi Merve Roza KURUÖZ**'e;

Yüksek lisans eğitimime destek sağlayan **5S Otomotiv İmalat Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi**'ne;

Destek ve inançlarını her zaman hissettiğim değerli babam **Cevat AKKAYA** ve annem **Fatma AKKAYA**'ya sonsuz saygı, sevgi ve teşekkürlerimi sunuyorum.

03/05/ 2024

İlke AKKAYA

ÖZGEÇMİŞ

İlke AKKAYA, 2020’de Ankara Üniversitesi Peyzaj Mimarlığı Bölümünden 3,39 ortalama ile mezun olmuş, 2020-2021 eğitim öğretim döneminin bahar yarıyılında Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı’nda tezli yüksek lisans öğrenimine başlamıştır.



EKLER

EK-1. MİKROALGAL SİSTEMLERİN PEYZAJ MİMARLIĞI UYGULAMARI KAPSAMINDA DEĞERLENDİRİLMESİ

Mikroalgal Tasarımların Peyzaj Mimarlığı Kriterleri Kapsamında Değerlendirmesi																																		
KATEGORİ	TASARIM ADI	YER		DONATI															ALGAL SİSTEM															
		Türk	Yabancı	Kullanım amacı												Estetik			Yetiştiricilik türü										Renk			Sürdürülebilirlik		
				Pergola	Kanopi	Pavilyon	Kamelya	Bank	Sınırlayıcı	Çesme	Süs havuzu	Heykel	Pencere	Perde	Yüzey Malzemesi	İyi	Orta	Zayıf	Açık (Dış Mekan) Üretim Sistemleri					Kapalı (İç Mekan) Üretim Sistemleri					Yeşil	Kırmızı	Kahverengi	CO ₂ azaltım	Diğer	
																			Doğal Gület	Üretim Tankları	Açık Havuz Sistemleri			Plastik Torbalar	Polyester Tanklar	Fotobiyoreaktörler								
																					Dairesel	Yarış Pisti	Karıştırmasız			Tübbüler	Levha	Bicoil	Sütun					
Oturma Elemanları	Liquid 3		✓					✓									✓										✓				✓			
	Algae Dome		✓				✓										✓											✓				✓		
	Chlorella Oksijen Pavilyonu		✓			✓										✓												✓				✓		
Sınırlandırıcılar	Artenli		✓						✓										✓							✓					✓			
Su Ögesi	AlgaeTECT Evi	✓									✓										✓								✓				✓	✓
	Kentsel Çesme		✓							✓						✓					✓								✓				✓	
Üst Örtü Elemanları	Urban Algae Canopy		✓			✓										✓							✓						✓				✓	
	Algevector		✓	✓														✓						✓					✓				✓	✓
	Park Kanopisi		✓			✓										✓												✓				✓	✓	
	Kentsel Ağaç Tasarımı		✓			✓										✓									✓				✓				✓	✓
	Urban Algae Folly		✓			✓										✓							✓						✓				✓	
Sanatsal Obje	Tree One		✓									✓				✓												✓	✓				✓	✓
	Perth Fotobiyoreaktör		✓									✓				✓											✓		✓	✓			✓	✓
	Kentsel Fotobiyoreaktör	✓										✓						✓										✓					✓	
Diğer	Biyokromik Pencere		✓										✓			✓											✓		✓				✓	✓
	Photo.Synth.Etica		✓																				✓						✓	✓			✓	
	Photo.Synth.Etica		✓																				✓						✓				✓	
	Alg Perdesi		✓													✓											✓		✓				✓	✓
	Algonomad		✓													✓											✓		✓				✓	
	Airbubble		✓													✓	✓												✓				✓	
	BIQ Binası		✓													✓												✓					✓	✓
	Zero: Retrofit Resolution		✓													✓											✓		✓				✓	✓
	NetZero		✓													✓	✓											✓					✓	✓
	Frenchdreamtowers		✓													✓	✓											✓					✓	✓
	In Vivo		✓													✓	✓											✓					✓	✓
TOPLAM		2	23	1	4	1	1	1	1	1	1	3	1	3	7	14	4	7	0	0	1	0	1	4	0	4	7	6	2	25	2	0	25	13