



Bu bir MMO
yayıdır

MMO bu yayındaki ifadelerden, fikirlerden, toplantıda çıkan sonuçlardan, teknik bilgi ve basım hatalarından sorumlu değildir.

CEPHELERDE FOTOBİYOREAKTÖR KULLANIMININ BİNALARIN SÜRDÜRÜLEBİLİRLİĞİNE ETKİSİ

İLKNUR KÜKDAMAR
EGE ÜNİVERSİTESİ

CEPHELERDE FOTOBİYOREAKTÖR KULLANIMININ BİNALARIN SÜRDÜRÜLEBİLİRLİĞİNE ETKİSİ

The Effect of using Photobioreactors on Facades to the Sustainability of the Buildings

İlknur KÜKDAMAR

ÖZET

Günümüzde binaların sürdürülebilirliği, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına öncelik vermesi, çevre sorunlarını arttırmaması, enerjiyi, suyu, malzemeyi, bulunduğu araziye etkin kullanabilmesi, insanların sağlığını ve konforunu korumasıyla sağlanmaktadır. Son yıllarda ise bazı sürdürülebilir bina tasarımlarında bu ilkeler göz önüne alınarak farklı bir yöntemin ve aracın kullanımı ortaya çıkmaya başlamıştır. Bu araç, yenilenebilir enerji çeşitlerinden biyoenerjinin üretiminde yararlanılan, bir alg yetiştirme sistemi olan fotobiyoreaktörlerdir. Bu tasarımlarda bina cepheleri fotobiyoreaktörlerle bütünleşerek hem enerji üretimi için etkin alanlara dönüşmekte, hem de cephe elemanlarının sürdürülebilir yapılarda etkisi artmaktadır. Reaktörlerde yetişen algler, binanın atık suyunu dönüştürmekte, fotosentez yaparken çevreye salınan karbondioksidi emmektedir. Ayrıca fotobiyoreaktörler yardımıyla alglerden üretilen biyoenerji de binanın enerji tüketiminde kullanılmaktadır. Böylece, yapıların sıfır karbona yaklaşması ve enerji verimliliği sağlanmaktadır. Bu çalışmada, cephelere fotobiyoreaktör eklenmesinin binaların sürdürülebilirliğine katkısı, tasarlanan bazı cephe önerileri ve bina örnekleriyle incelenerek araştırılmış olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Fotobiyoreaktör, Alg, Biyokütle, Biyoenerji, Bina cepheleri, Sürdürülebilir bina.

ABSTRACT

The sustainability of buildings is provided by giving priority to the usage of renewable energy sources, by not increasing environmental problems, by using energy, water, material and the land effectively, by protecting people's health and comfort nowadays. Recently by taking into account these principles in some sustainable building designs, the usage of a different method and tool has emerged. This tool is the photobioreactor, an algae cultivation system, which is utilized in the production of bioenergy, one of the renewable energy types. In these designs, building facades which are integrated with photobioreactors, both transform into effective area for energy production and influence of facade elements increase on sustainable constructions. Algae that grow in the reactors, recycle the building's waste water, absorb carbondioxide released into environment during photosynthesis. Moreover, bioenergy, which is produced from algae through the photobioreactors, is used for the energy consumption of the building. Thus, converging to zero carbon level and energy efficiency of structures are provided. In this study, the contribution to the sustainability of the buildings by integrating photobioreactors on facades will be investigated by some designed facade suggestions and building examples.

Key Words: Photobioreactor, Algae, Biomass, Bioenergy, Building facades, Sustainable building.

1. GİRİŞ

Fosil enerji kaynaklarının çevre ve insan sağlığı açısından yarattığı olumsuzluklar her geçen gün katlanarak artmakta, açığa çıkan sera gazlarının olumsuz etkileri artık insanlar tarafından bilinmektedir. Çevreye verdiği sera gazı salımlarının net değeri sıfır olan yenilenebilir enerji ise yalnız çevresel nedenlerle değil, aynı zamanda hızla azalan fosil kaynakların yerine geçebilecek enerji kaynakları aranması sebebiyle önem kazanmaktadır. Bunun sonucunda yenilenebilir enerji çeşitlerinden olan biyoenerjinin üretimi de, teknolojinin gelişmesine paralel şekilde giderek artmaya devam etmektedir. Dahası, biyoenerjinin binalar yardımıyla üretileceği ve sürdürülebilir mimarlığa katkıda bulunacağı düşünülmektedir.

Binalar enerji tüketimi söz konusu olduğunda önemli bir paya sahiptir. Bu nedenle binaların enerji verimliliği konusunda daha fazla rol üstlenmesi gerekmektedir. Bunu sağlamak için hem binalar daha az enerji tüketmeli, hem de enerji üretimine katkıda bulunabilmeli, hatta kendi enerjisini kendisi üretebilecek binalar tasarlanmalıdır. Bunu gerçekleştirebilmek için de sürdürülebilir mimarlık ön plana çıkmaya başlamıştır. Sürdürülebilir mimarlık, içinde bulunduğu koşullarda ve varlığının her döneminde, gelecek nesilleri de dikkate alarak, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına öncelik veren, çevreye duyarlı, enerjiyi, suyu, malzemeyi, bulunduğu alanı etkin şekilde kullanan, insanların sağlık ve konforunu koruyan yapılar ortaya koyma faaliyetlerinin tümüdür [1].

Son yıllarda ise sürdürülebilir mimarlığın tanımında geçen yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına öncelik verilmesi kriteri göz önünde bulundurularak, yenilenebilir enerji çeşitlerinden olan biyoenerjinin bina cephelerinden üretilmesine dair tasarımlar ortaya çıkmaya başlamıştır. Biyoenerjinin yapılardan üretilmesinde araç olarak, cephelere uygulanan, bir alg yetiştirme sistemi olan fotobiyoreaktörler, biyoenerji kaynağı olarak da algler kullanılmaktadır. Bu tasarımlarda bina cepheleri fotobiyoreaktörlerle bütünleşerek hem enerji üretimi için etkin alanlara dönüşmekte, hem de cephe elemanlarının sürdürülebilir yapılarda etkisi artmaktadır. Reaktörlerde yetişen algler, binanın atık suyunu dönüştürmekte, fotosentez yaparken çevreye salınan karbondioksidi emmektedir. Ayrıca fotobiyoreaktörler yardımıyla alglerden üretilen biyoenerji de binanın enerji tüketiminde kullanılmaktadır. Böylece, yapıların sıfır karbona yaklaşması ve enerji verimliliği sağlanmaktadır.

Bu çalışmada, öncelikle biyokütle, biyoenerji, alg ve fotobiyoreaktör gibi temel kavramların tanımları yapılacak ve sürdürülebilirliğin ilkelerine bakılarak fotobiyoreaktörler sürdürülebilir tasarım aracı olarak irdelenecek, sonrasında cephelerde fotobiyoreaktör kullanımının binaların sürdürülebilirliğine etkisi, tasarlanan bazı cephe ve bina örnekleriyle incelenerek araştırılmış olacaktır.

2. BİYOKÜTLE, BİYOENERJİ, ALG VE FOTOBİYOREAKTÖR KAVRAMLARI

2.1. Biyokütle ve Biyoenerji

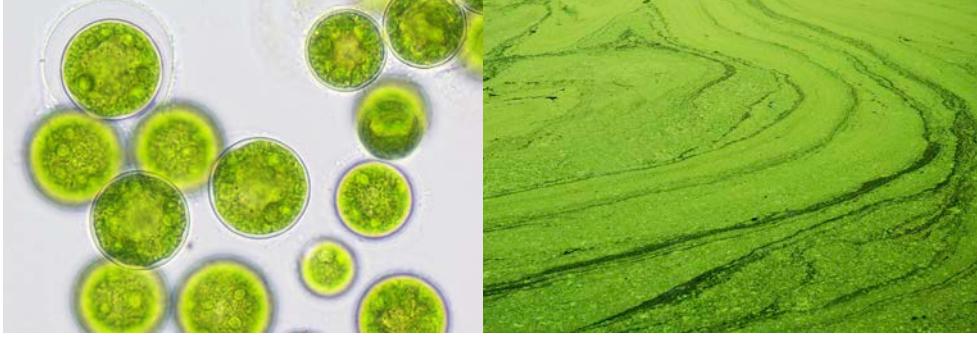
Biyokütle; biyolojik kökenli, fosil olmayan organik madde kütesidir [2]. Türk Dil Kurumu, Bilim ve Sanat Terimleri Sözlüğü'nün Biyoloji Terimleri Sözlüğü'ne göre ise biyokütle, canlı varlıklarda organizmanın suyu alındıktan sonra geriye kalan kuru kütesidir [3]. Biyokütle bitkisel ve hayvansal biyokütle olmak üzere ikiye ayrılmaktadır [2].

Biyokütlenin enerji amaçlı kullanılması ile elektrik ve ısı üretilmekte, katı, sıvı ve gaz yakıtlar elde edilmektedir. Bitkisel veya hayvansal biyokütleden yararlanılarak elde edilen enerji, biyoenerji olarak adlandırılmaktadır [4]. Türk Dil Kurumu'nun Güncel Türkçe Sözlüğü'ne göre ise biyoenerji, biyokütlenin kimyasal dönüşümü ile elde edilen enerjidir [5]. Algler ise bitkilere benzeyen özelliklerinden dolayı bitkisel biyokütle çeşitleri arasında bulunmaktadır.

2.2. Algler

Algler, büyük çoğunluğu fotosentetik olmasına ve bitkilere benzemesine karşın, bitkiler alemiyile yakın akraba değillerdir [6]. Türk Dil Kurumu, Bilim ve Sanat Terimleri Sözlüğü'nün Su Ürünleri Terimleri

Sözlüğü'ne göre, vücut yapıları gerçek kök, gövde ve yaprak olarak farklılaşmamış olan, iletim demetleri bulunmayan ve klorofil-a içeren sucul organizmalardır (Şekil 1) [7]. Birçok alg sucul ortamda yaşamakta, biyolojik karbondioksit (CO_2) / oksijen (O_2) döngüsünde görev almakta ve güneş ışığını kullanarak fotosentez yapabilmektedir [8,9].



Şekil 1. Algler ve büyüme ortamları [10,11]

Bitkisel biyokütle olan algler fotosentez yoluyla gelişirken, tüm canlıların solunumu için gerekli olan O_2 'i atmosfere vermektedir [2]. Burada fotosentez en önemli anahtardır, çünkü biyoenerjiye dönüşüm sırasında yanarak serbest kalan karbonun miktarı, alglerin büyümeleri sırasında yaptıkları fotosentez tarafından emilen karbon miktarına eşittir. Böylece atmosferdeki CO_2 düzeyi ve sera etkisi artmamaktadır. Ayrıca dünyanın bitki biyokütlesinin üçte birini algler oluşturmaktadır. Bu nedenle alglerin biyoenerji üretiminde kullanılması önemli unsurlardan biridir [12].

2.3. Fotobiyoreaktörler

Algler büyüme ortamı oluşturulmasında kullanılan başlıca sistemler ya açık ya da kapalı kültür sistemleri olup, içinde alg yetiştirilen kapalı sistemler “fotobiyoreaktör” olarak adlandırılmaktadır [13,8]. Fotobiyoreaktörlerde şeffaf ve sızdırmaz çeşitli kaplar veya konteynerler kullanılmaktadır (Şekil 2) [12]. Fotobiyoreaktörler, alglerden biyoenerji üretimi için güneş enerjisinden verimli bir şekilde yararlanmalıdır. Bu sebeple fotobiyoreaktörlerin çoğu ışıklandırmaya, güneş ışığına maruz bırakılmış, geniş yüzeylere sahiptirler [13]. Ayrıca güneş ışığını yakalamak, ulaştırmak, yöneltmek ve alglerin yetiştirme alanı içine bu ışığı dağıtmakta kullanılmaktadırlar. Böylece her alge ulaşan ışık miktarını artırmaya çalışmaktadırlar [14]. Bu sistemler güneş ışığı dışında, yapay ışıkla veya hem güneş hem yapay ışık birlikte kullanılarak aydınlatılabilmektedirler [13].

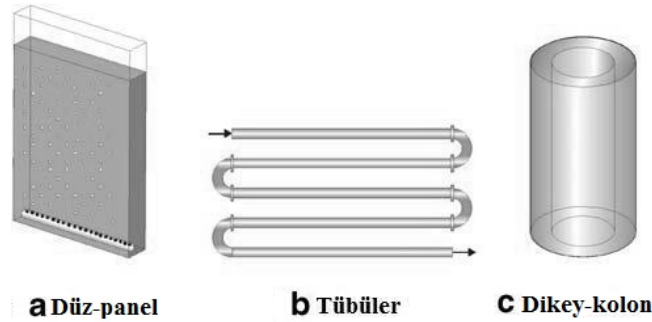


Şekil 2. Çeşitli fotobiyoreaktör örnekleri [15,16,17]

Fotobiyoreaktörler biyoenerji üretiminin verimli olarak gerçekleşmesini sağlayacak şekilde tasarlanmalıdır. Bunun için de alg kültürünün iyi bir şekilde karışmasını sağlayıcı karıştırma sistemine ve yüksek kütle aktarım oranına sahip olmalı, etkili ışık kullanımını ve bunu sağlayacak yüzey-hacim oranını sağlamalı, yüksek yoğunluktaki alg kültürleriyle çalışma imkanı ve yüksek oranda

CO₂ aktarımına izin vermeli, dış alanlarda kurulduğunda en üst seviyede güneş enerjisinden yararlanmalı ve biriken O₂'nin hızla uzaklaştırılmasını sağlamalıdır [12,7].

Yapılan araştırmalar sonucunda, yüksek olumlu özelliklere sahip, en çok üretilen üç çeşit fotobiyoreaktör tasarımı ortaya çıkmıştır. Bunlar “düz-panel”, “tübüler” ve “dikey-kolon” fotobiyoreaktörlerdir (Şekil 3). Bu tasarımların temel ilkeleri ışık yolunu azaltmak ve gerekli ışığın tüm algilere ulaşmasını sağlamak, iyi karıştırma sağlayarak ışığın dağılımını, gaz ve kütle aktarımını en uygun şartlarda sağlayabilmektir [7]. Bu ilkelere bağlı olarak da ışıklandırma, kütle aktarımı/karıştırma, ölçeklendirme, süreç yönetimi ve temizlik gibi alg üretimini etkileyen değişkenler ortaya çıkmaktadır. Ayrıca her çeşit fotobiyoreaktörün tasarımı ve yapımı, sızdırmazlık tipine, ürün hedefine, coğrafi konuma ve üretimin toplam fiyatına bağlı olmaktadır [12].



Şekil 3. Düz-panel, tübüler ve dikey-kolon fotobiyoreaktörler [8]

3. SÜRDÜRÜLEBİLİR TASARIM ARACI OLARAK FOTOBİYOREAKTÖRLER

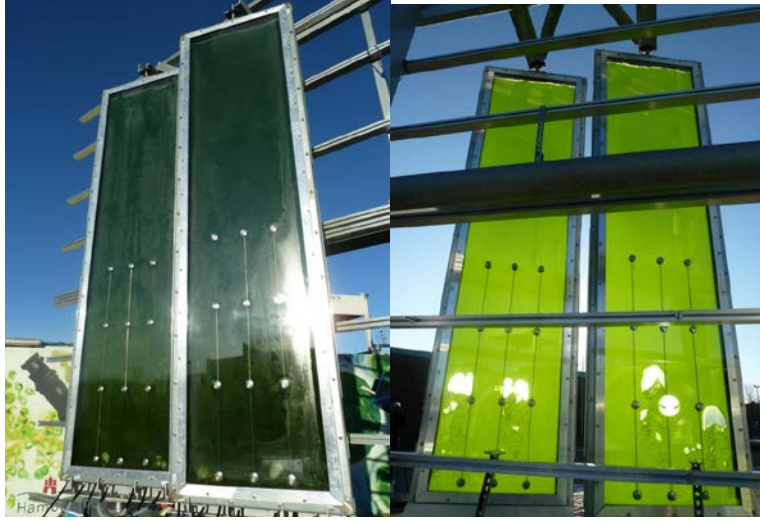
Cephelerde fotobiyoreaktör kullanımının binaların sürdürülebilirliğine etkisinden bahsederken, öncelikle sürdürülebilirliğin ilkelerine bakmak gereklidir. Binaların sürdürülebilirliğinde amaç, kaynakların etkin kullanıldığı ve ekolojik tasarıma dayanan sağlıklı bir çevre yaratmaktır. Bu da yapının tasarım ve inşaat sürecinde belirlenen ve yaşam döngüsü boyunca devam ettirebileceği ilkelere dayanmaktadır. Bu ilkeler;

- yapı arazisi ve yapı kaynaklarının etkin kullanımı,
- enerjinin etkin kullanımı,
- suyun etkin kullanımı,
- malzemenin etkin kullanımı,
- yapı iç konforu ve insan sağlığının gözetilmesi,
- atık yönetimi olarak sıralanabilmektedir [18].

Fotobiyoreaktörler sürdürülebilir tasarım aracı olarak bina cephelerinde kullanıldığında ise, yukarıda bahsedilen sürdürülebilirlik ilkelerinin çoğunu sağlamaktadır (Şekil 4). Fotobiyoreaktörler;

- bina cephelerine uygulandığında, cepheler yeni bir işlev kazanmakta ve enerji üretimi için kullanılacak alanlara dönüşmektedir.
- içinde yetiştirilen alglerden biyoenerji elde edilerek bina için gerekli olan elektrik ve ısı enerjisi üretilmektedir.
- güneş ışınımının yoğunluğu arttığında, gölgeleme sağlayarak, iç mekanın konforunu artırmakta ve insan sağlığını gözetmektedir.
- alglerin büyümek için fotosentez yapmasıyla, yapının sıfır CO₂'e yaklaşmasını ve çevreye salınan CO₂'in emilmesini sağlamaktadır.
- alglerin içinde yetiştiği kültür ortamı için binanın atık suyunu kullanarak geri dönüştürmektedir.

- yüksek ısı yalıtım sağlamaktadır.
- giydirme cephe veya çift kabuk cephe sistemleri şeklinde uygulanabilirliği olmaktadır [19].



Şekil 4. Sürdürülebilir tasarım aracı olarak fotobiyoreaktörler [20]

4. BİNA CEPHELERİNDE FOTOBİYOREAKTÖR ÖRNEKLERİ

Fotobiyoreaktör cepheler, dinamik sistemlerdir. Fotobiyoreaktörler aracılığıyla yenilenebilir enerji çeşitlerinden biyoenerjinin üretimi sağlanmakta, bu, bina cephelerinde uygun fotobiyoreaktör seçimi ve kullanımı ile mümkün olmaktadır. Bu sistemlerin binalarla bütünleşmesi, hem yeni hem varolan yapılar ve sanayisel, ticari, konut ve kamusal yapılar için uygundur [21]. Bu bölümde ise bina cephelerinde fotobiyoreaktörlerin kullanıldığı örnekler incelenmiştir.

4.1. Algler ve Binalar Arasındaki Yenilikçi Ortak Yaşam, SymbIO₂, XTU Mimarlık

XTU Mimarlık, SymbIO₂ projesinde algler ve binalar arasındaki yenilikçi bir ortak yaşamı amaçlayan, içinde alg yetiştirilen cepheleri geliştirmiştir (Şekil 5). Bu cepheler, alg kültürü ile buna ev sahipliği yapan bina arasındaki ısı ve kimyasal etkileşimlerden yararlanmaktadır. Projenin amacı, binanın çevresel niteliğini geliştirmek ve alg kültürlerinin ekonomik üretimi için yeni bir çözüm yolu sunmaktır. Üretken, canlı ve etkin bu yeni cephe, alglere ev sahipliği yapan fotobiyoreaktörler ile donatılmış üretken bir kabuktur. Bu “dikey tarlalar”, alg kültürü için hasadın ısı düzenlemesinde %80 ve su tüketiminde %90 tasarrufla, güneş enerjisini, sağlık, kozmetik ve yiyecek piyasası için yüksek değerli biyokütleye dönüştürmektedir [22].

Bu cephe, alglerin yaptığı fotosentezle, CO₂'i O₂'e, büyüyen bir ormandan beş kat daha verimli dönüştürmektedir. Yağmur suyunu veya gri suları temizlemekte kullanılmaktadır. Böylece iklim değişimini azaltmaya yardımcı olmakta ve şehrin önemli, hayati kaynaklarını korumaktadır. Bu cephede, kentsel alg kültürü ortalama 22 °C'de tutulmaktadır. Bu cephe ısı etkin bir cephedir ve bir yandan binanın ısı ihtiyacından %50 tasarruf ederken, diğer yandan kentsel ısı adası etkisini azaltmaktadır [22].



Şekil 5. SymbIO₂, algler ve binalar arasındaki yenilikçi ortak yaşam [23]

4.2. “In Vivo” Yeşil Projesi

BPD Marignan ve XTU Mimarlık, SNI Grubu ve MU Mimarlık’la birlikte çalıştıkları projeyle, Paris Rive Gauche M5A2 kentsel gelişim bölgesi için, Reinventer.Paris kentsel proje yarışmasını kazanmışlardır. “In Vivo” adındaki bu proje, şehirlerde insanlarla doğa arasındaki bütünleşmeyi, sosyal etkileşimi desteklemek ve başarmak için, daha uygun, sürdürülebilir ve esnek bir şehir ortaya çıkarmaya çalışmaktadır. Tasarlanan üç bina, Ağaç Evi, Bitki Evi ve Alg Evi olarak adlandırılmaktadır ve 13.000 m² konut alanı, 1.200 m² halka açık mekan, 255 m²’lik bir kafe ve 2.000 m²’den daha fazla yeşillik ve bahçe alanında, öğrencilere ve genç araştırmacılara ev sahipliği yapacaktır (Şekil 6) [24].



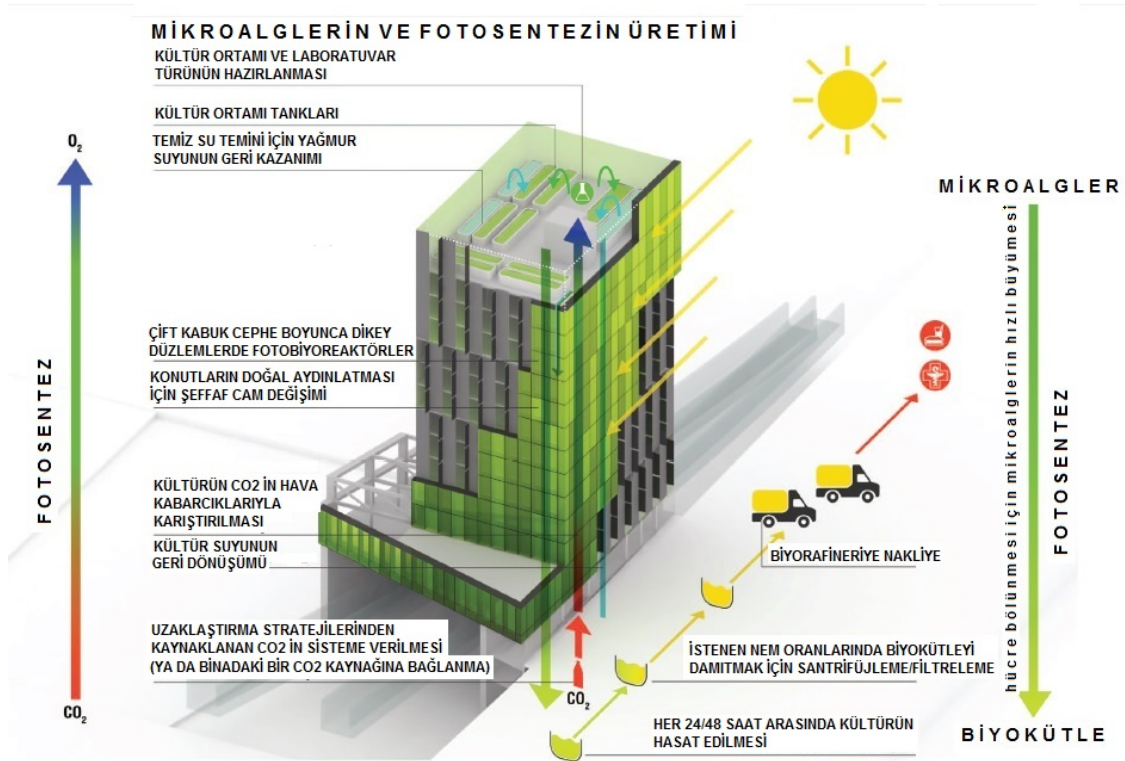
Şekil 6. “In Vivo” yeşil projesi, Alg Evi tasarımı ve Ağaç Evi, Bitki Evi ve Alg Evi üçlüsü [24,25]

Tasarlanan bu üç binadan biri olan Alg Evi, fotobiyoreaktörlerle oluşturulan bina cephesine sahiptir (Şekil 7). 900 m²’lik cephede, bu fotobiyoreaktörlerde tıbbi araştırmalarda kullanılmak üzere alg kültürü üretilmektedir. Bu fotobiyoreaktör cepheler, eve ait sıcak suyu ve ısınmayı sağlamak için, fotobiyolojik yapılar tarafından toplanan ısıyı kullanılmaya izin verecektir. Binada sıcak su eldesi ve ısınmanın neden olduğu yıllık enerji tüketimi fotobiyoreaktör sistemi sayesinde Paris İklim Değişikliği Planı çerçevesinde önerilen, metrekare başına 48 kW/s’in altına düşürülecektir [24].



Şekil 7. Alg Evi, fotobiyoreaktörlerle oluşturulan bina cephesi [24]

Bu Alg Evi'nde yetiştirilecek olan alg türü için gereken kültür ortamının hazırlanması binanın çatısında bulunan laboratuvarlarda gerçekleştirilecektir. Ayrıca çatıda, temiz su temini için yağmur suyunun geri kazanılmasına yönelik sistemler kurulacaktır. Fotobiyoreaktörler binanın yüzeyine çift kabuk cephe olarak uygulanacak ve alglerin fotosentez yapabilmesi için gerekli olan CO_2 binadaki bir karbondioksit kaynağından sisteme verilecektir. Fotosentez yaparak büyüyen alg biyokütlesi, her 24 ile 48 arasında bir hasat edilecek, istenilen nem oranlarında biyokütleyi damıtmak için filtreleme yapılacak ve biyoenerjiye dönüştürülmesi için biyorafineriye nakliye edilecektir (Şekil 8).



Şekil 8. Alg Evi'ndeki fotobiyoreaktörlerden biyoenerji üretimi [25]

4.3. “Sıfır Süreç: İyileştirme Çözümü” Binası Kavramsal Tasarımı, HOK ve Vanderweil Mühendislik ve Mimarlık

Yeşil bir bina söz konusu olduğunda, en kolayı tasarıma sıfırdan başlamaktır ama aslında varolan binalarda enerji verimliliğinin iyileştirilmesi gerekmektedir. Metropol Magazin’in her yıl düzenlediği Gelecek Nesil Tasarım Yarışması, 2011 yılında, 10 yıl veya daha az tecrübeye sahip olan tasarımcılardan bu konuyu çözmeye çalışmalarını istemiştir. Yarışmaya katılan ekipler, Amerika’nın Los Angeles şehrinde bulunan, 1960’lar döneminde inşa edilmiş, U.S. General Services Administration (GSA) ofis binasının, net sıfır karbon bina olarak güçlendirilip tasarlanmasıyla görevlendirilmiştir. Bu problem ekiplere, federal hükümetler, 2020’den önce sera gazlarının salınımını daha düşük, %30 civarında azaltmakla görevlendirildiği için verilmiştir. Bu özel bina, Welton Becket, Albert C. Martin ve Paul R. Williams tarafından tasarlanmıştır. 8 katlı çelik çerçeve yapı, tek cam ve beton panellerle örtülmüştür (Şekil 9). İç koridorlar doğal ışıktan yoksundur, çalışmak için çevre dostu ve hoş bir yer değildir. GSA’nın 33.630.900 m²’lik ofis alanına sahip, 1960’lardan kalma bu binayı, 2020’den önce iyileştirmesi gerekmektedir [26].



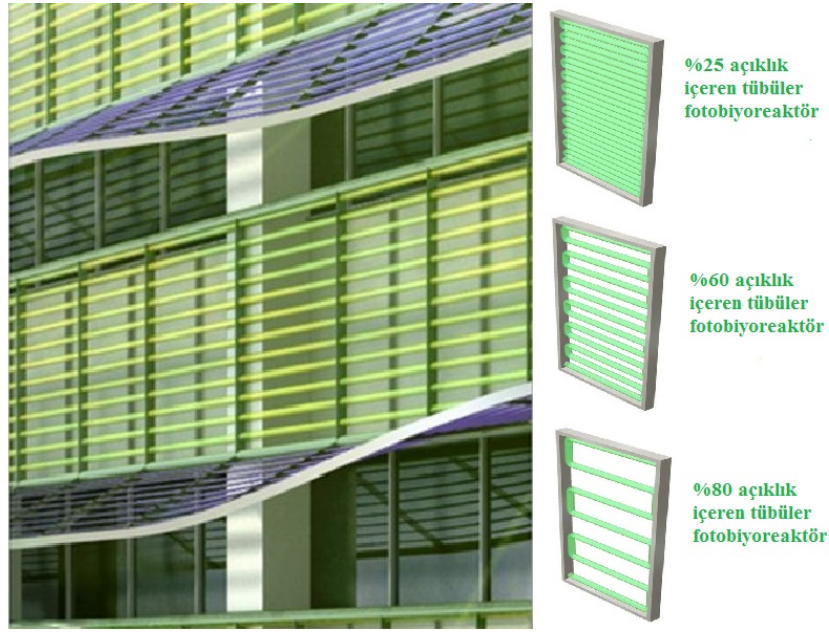
Şekil 9. Los Angeles’da, 1960’larda inşa edilmiş, U.S. GSA ofis binası [27]

Gelecek Nesil Tasarım Yarışması 2011’i kazanan yarışmacı, “Sıfır Süreç: İyileştirme Çözümü” olarak adlandırılan proje olmuştur (Şekil 10). Bu proje HOK ve Vanderweil’in mühendislerinden ve mimarlarından oluşan 15 kişilik bir ekip tarafından, 70.600 m²’lik bir alanda tasarlanmıştır. HOK ve Vanderweil, binanın bütün enerjisini %84 oranında azaltmayı başarmaktadır, geriye kalan %16’sını da arazide üretmektedir. Bu tasarım böylece sıfır karbon bir bina olabilmektedir, ayrıca Living Building Challenge 2.0.’in toplumsal bilinç ölçütlerini karşılamaktadır [26].



Şekil 10. “Sıfır Süreç: İyileştirme Çözümü” binası kavramsal tasarımı [26]

Binanın iyileştirilmesi, dışarıdan yeşil olarak yapılmıştır. Yarışmayı kazanan ekibe göre böyle bir tasarım mimaride ilktir. Doğayı taklit eden tasarım, binaya gereken gücü sağlamak için alglerden üretilen enerjiyi kullanmaktadır. Binanın cephesinde, güneş alma ve gölgeleme için yapılan incelemelere dayanarak, %25, %60 ve %80 oranında açıklık içeren, 2.322,5 m² alan kaplayan tübüler fotobiyoreaktörler algler için büyüme alanı oluşturmaktadır (Şekil 11). Algler besinlerini binanın atık suyundan almaktadır ve binanın dışını örten cam tüplerde yaşayan algler kirli suyu süzmektedir. Bu tasarlanan sistem, güneş ışığını emmektedir ve algler lipitleri üretmektedir, böylece üretilen lipitler alanda biyoenerjiye dönüştürülebilmektedir. Ayrıca algler ofis binasının yakınında bulunan Santa Ana Çevre yolundan salınan CO₂'i fotosentez süreciyle emmektedir ve O₂ üretmektedir. Aynı zamanda bu tübüler sistem, iç mekandaki ofisler için gölgeleme sağlamaktadır ve fotobiyoreaktörler binayı yaşayan, canlı bir varlığa dönüştürmektedir. Bu fotobiyoreaktör sistemi, yenilenen ofis binasının enerji ihtiyacının %9'unu sağlamaktadır (Şekil 12) [26,28].

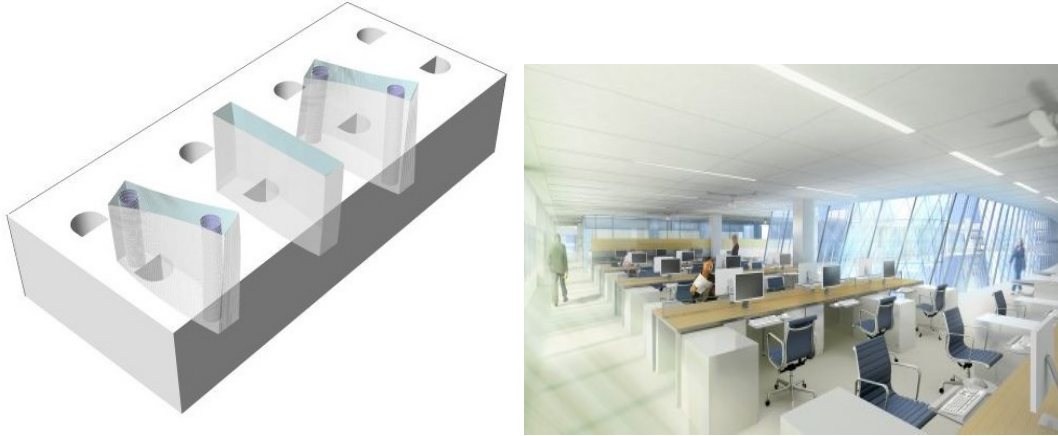


Şekil 11. %25, %60 ve %80 oranında açıklık içeren, 2.322,5 m² alan kaplayan tübüler fotobiyoreaktörler [28]



Şekil 12. Tübüler fotobiyoreaktörlerin bina cephesinde uygulanması [26]

Ayrıca tasarım ekibi kanıtlanmış enerji korunumu ve yenilenebilir stratejileri geliştirmek için çeşitli çözümler bulmuştur. Yeni avlular ve ışık kuyuları çalışma alanlarındaki doğal ışık eksikliğini azaltmaktadır. 3 büyük avlu ve 8 ışık kuyusuyla penceresiz iç mekan parçalara ayrılmaktadır, böylece ofislerin %100'üne gün ışığı getirilmektedir (Şekil 13). Yapay ışıklandırma, binanın enerji yükünün dörtte birini tüketmektedir. Bu açıklıklar aynı zamanda doğal havalandırmayı da sağlamaktadır. Bina'nın yeni cephesi 3.441,5 m²'lik fotovoltaik filmle kaplanmaktadır. Çatıda 2.949,9 m²'lik alanı kaplayan güneş toplayıcıları sıralanmaktadır, bu toplayıcılar ile ısıtılan su binanın döşemesinden geçirilerek binayı ısıtmada kullanılmaktadır. "Faz değişim malzemeleri" tavanda yalıtımı amaçlı kullanılmaktadır. Bulut bilişim sistemi de ısı üreten bilgisayar donanımının yerini almaktadır [26,28].



Şekil 13. 3 büyük avlu ve 8 ışık kuyusuyla ofislerin aydınlatılması [27]

HOK ve Vanderweil ekibi kazandıkları 10.000 dolarlık ödülü daha çok araştırma için hedeflenen yenilenebilir enerji teknolojilerini geliştirmeye tekrar yatıracaktır ve bir gün bu sistem kamu binaları ve diğer bina çeşitlerini iyileştirmek için uygulanabilecektir (Şekil 14) [26,28].



Şekil 14. "Sıfır Süreç: İyileştirme Çözümü" binası perspektif görünümü [26]

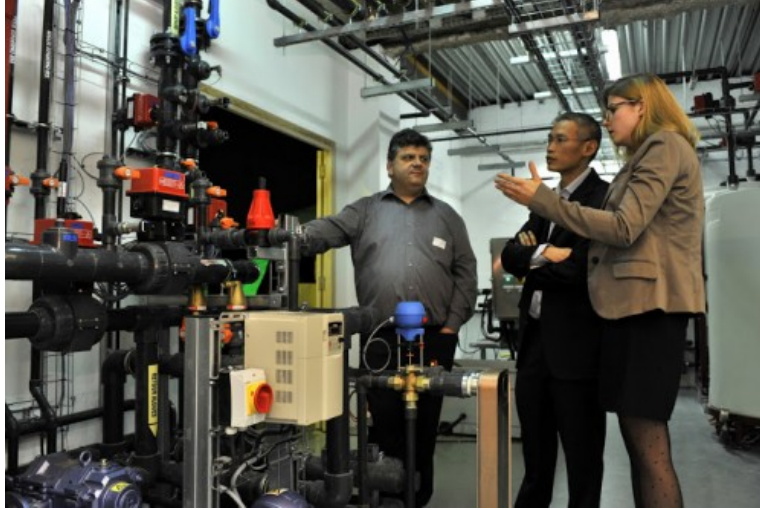
4.4. Ennesys ve OriginOil İşbirliği Binası

Fransa RT2020 olarak adlandırılan çok sıkı bir çevre politikasını benimsemiştir. Bu politikaya göre 2020'ye kadar ülkeyi enerji tüketiminde %20 azalmaya ve yenilenebilir enerji kullanımını %20 artırmaya çağırmaktadır. 2020 hedeflerini gerçekleştirmek için Fransa, kullandıklarından daha fazla enerjiyi üretmek ve atık suyu şehrin belediye kanalizasyon sistemine birdenbire boşaltmak yerine ona özel işlem uygulamak ve dönüştürmek için yeni ticari binalara ihtiyaç duymaktadır. Fransız temelli biyoteknoloji ve enerji sistemleri şirketi Ennesys ve bir Amerikan alg hasat şirketi olan OriginOil, "gerçekten yeşil" binalar için, Paris yakınlarındaki 3.502.444,6 m²'lik ofis alanına sahip olan Nanterre La Defense bölgesinde, bu konudaki ilk sistemlerini 2012 yılının Kasım ayında tanıtmışlardır. Projenin konsepti herhangi bir ekin tarlası kullanmadan, geleceğin temiz ve ucuz yakıtı olan algleri yetiştirerek enerji üretmek ve aynı zamanda binanın atık suyunu temizlemek olarak belirlenmiştir. Ennesys ve OriginOil'in işbirliğiyle oluşturdukları bu yeni sistemin düzenlemelere cevap vereceğine inanılmakta ve alglerin hem enerji üretmek hem de atık suyu temizlemek için mükemmel bir çözüm olduğu bildirilmektedir. Bu düzenlemeler algler için piyasada büyük bir fırsat olarak görünmektedir. Dahası, temiz enerji ve su yönetiminin kaynağı olarak algler büyük miktarda CO₂'i emmekte, fosil yakıtlardan salınan miktara eş değer CO₂'i ortadan kaldırarak karbon-nötr bir yakıt yaratmaktadır [29,30,31].

Ennesys bir enerji dengesini kurmaya yardımcı olmak ve bu süreçte suyu temizlemek için binaların çatılarında ve duvarlarında alg yetiştirilmesini sağlayan yeni "kentsel alg" sektörü içinde bir öncüdür. Polikarbonat veya camdan yapılabilen düz-panel fotobiyoreaktörler bina cephelerine yerleştirilmiştir (Şekil 15). Bu fotobiyoreaktörlerin içinde dolaşan, ışık, kirli su ve CO₂'i kullanan algler, her 24 ila 48 saatte bir hasat edilebilmektedir. Büyüme döngüsünün sonunda algler, OriginOil'in Alg Cihazı kullanılarak hasat edilmektedir ve sonra biyo-hammadde olarak işlenmektedir (Şekil 16). Bu ham madde hemen hemen kömür ile aynı enerji değerine sahiptir ve binanın sistemlerini çalıştırmak için kullanılmaktadır [28,30].



Şekil 15. Ennesys ve OriginOil işbirliği binası [30]



Şekil 16. OriginOil'in Alg Cihazı [32]

Hasat sürecinde hiçbir kimyasal madde kullanılmadığı için, alglerin büyümesi için kullanılan su, büyüme sistemi içinde tekrar dönüştürülebilmektedir. Buna ek olarak, algler atık suyun içinde bulunan nitrati emmektedir ve bu su daha sonra binanın sıhhi tesisat sistemi içinde, sifonlarda “gri su” olarak kullanılabilir. Dahası dış duvarlardaki fotobiyoreaktörler, binanın sıcaklığını ortalama değerlerde tutan bir ısı kalkanı olmaktadır ve düşük maliyetli bir yalıtım sistemi oluşturmaktadır (Şekil 17). En uygun koşullar altında, 1 hektar (yaklaşık 2,5 dönüm) fotobiyoreaktör yılda 150 tona kadar alg üretebilmektedir. Büyük ofis kuleleri için, su tüketimini ve birincil enerji ihtiyacını %80'e kadar azaltacağı düşünülmektedir, bu sayede sağlanan tasarruf yılda yüz binlerce Euro'ya ulaşabilecektir [29,30].



Şekil 17. Ennesys ve OriginOil işbirliği binası perspektif görünümü [30]

4.5. BIQ-Bio Intelligent Quotient, Splitterwerk ve Graz Mimarlık, Arup Mühendislik, Biyo Adaptif Cepheli Bina

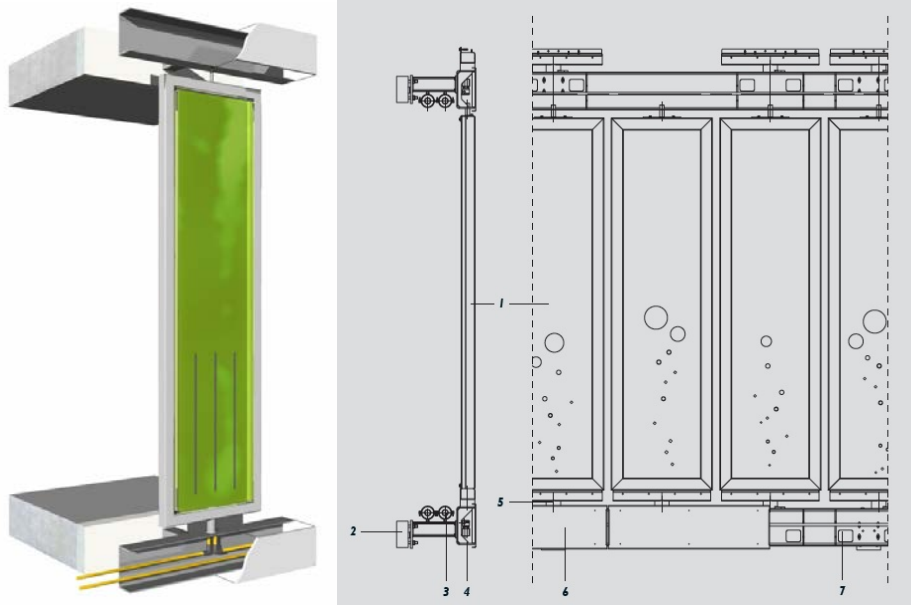
Bina cephelerinde fotobiyoreaktörlerin uygulanmasıyla ilgili ilk somut örnek Almanya, Hamburg'ta inşa edilmiştir. Dünyanın ilk biyo adaptif cephe örneğine sahip olan bina, Avusturyalı mimarlar Splitterwerk ve Graz tarafından tasarlanmıştır. Arup Mühendislik firması ile beraber, Smart Material House yarışması için bu binayı tasarlayıp, birincilik ödülünü kazanmışlardır. Yapı 2013 yılında Uluslararası Bina Sergisi kapsamında, Hamburg'da inşa edilmiştir (Şekil 18) [12].

Konut yapısı, çift kabuk cephe özelliğindeki fotobiyoreaktör cephe tasarımıyla kaplanmıştır. Bu şekilde iç ve dış ortam arasında bir tampon bölge oluşmuştur. Sistem binaya hem güneş ısı enerjisi sağlamakta hem de biyoenerji üretmektedir ve binanın enerji ihtiyacına katkı sağlamıştır [12].



Şekil 18. Hamburg'da inşa edilen biyo adaptif cepheli bina [20]

Tasarım sürecinde çeşitli denemelerde farklı fotobiyoreaktör uygulamaları araştırılmıştır. Bu noktada, düz-panel fotobiyoreaktördeki algal biyokütle güneş ışığını %10 verimlilik ile dönüştürmüştür. Düz-panel fotobiyoreaktörler sadece tübüler fotobiyoreaktörlerden daha verimli olmakla kalmamış, ayrıca daha az bakım ve onarım gerektirmiştir (Şekil 19) [12].



Şekil 19. Binanın cephesindeki düz-panel fotobiyoreaktörün yapısı, kesiti ve görünüşü [20]

Net yüzey alanı 200 m^2 olan cephe sisteminde 129 fotobiyoreaktörden oluşan proje, 2013 ilkbaharında, 4 katlı bir konutta hayata geçirilmiştir. Sistem için güneybatı ve güneydoğu cephelerine ikincil bir yapı inşa edilmiştir. Her bir düz-panel 2,5 m yüksekliğinde, 0,7 m genişliğindedir (Şekil 20). Bina enerji yönetim sistemi, besin desteğini kontrol etmekte, algleri toplamakta, iç ve dış çevrim

sistemini düzenlemekte ve bir ara yüz yardımıyla bina servis sistemini denetlemektedir. Bu ara yüz yardımıyla alglerin içeriği ve ortamın sıcaklık derecesi izlenmektedir. Güneş etkisiyle ortaya çıkan ısı dağıtılmazsa sistem aşırı ısınabilmektedir. Sabit üretim oranında sıcaklık 40°C'nin altında olmalıdır. Aşırı ısı, ısı değiştiriciler ile sistemden dışarı atılmaktadır. Atık ısı ya doğrudan sıcak su tedariki için kullanılmaktadır ya da jeotermal kuyularla zeminde depolanmaktadır [12].



Şekil 20. Bina cephesindeki ikincil fotobiyoreaktör yapısının yakından görünümü [20]

Algal biyokütle cephedeki her metrekare için, 15 gr olarak tahmin edilmektedir. Sistemden üretilen biyokütle, düzenli aralıklarla biyogaz üretim makinesinin yakınında toplanmakta ve depolanmaktadır (Şekil 21) [12]. Bu binanın fotobiyoreaktör cephelerinin her yıl 30 kWh/m² biyoenerji ve 150 kWh/m² ısı enerjisi üreteceği tahmin edilmektedir. Bütün cepheler her yıl binanın CO₂ salımını 6 ton azaltmaktadır ve 2,5 ton CO₂ biyokütle tarafından emilmektedir. Bu fotobiyoreaktör sisteminde, ışığın biyoenerjiye dönüşüm verimliliği %10, ısıya dönüşüm verimliliği ise %38'dir [21].



Şekil 21. Üretilen biyokütlelerin toplandığı biyogaz üretim makinesi [20]

SONUÇ

Bu çalışmada cephelerde fotobiyoreaktör kullanımının binaların sürdürülebilirliğe etkisi araştırılmıştır. Öncelikle biyokütle ve biyoenerjinin tanımı yapılmış, daha sonra biyokütle çeşitlerinden olan algler üzerine yoğunlaşarak alg ve fotobiyoreaktör kavramlarının ne olduğu, fotobiyoreaktörlerin özelliklerine, sağlaması gereken koşullara, değişkenlerine ve çeşitlerine kısaca değinilmiştir. Fotobiyoreaktörler sürdürülebilir tasarım aracı olarak ele alındığında, sürdürülebilirliğin ilkeleri göz önüne alınarak bu kriterleri ne kadar gerçekleştirebildiğine bakılmıştır ve çoğunu sağladığı görülmüştür.

Ardından biyoenerjinin yapılardan sağlanmasında, bina cephelerinde fotobiyoreaktörlerin kullanımına dair örnekler incelenmiştir. Bu örnek binaların genellikle, dünyadaki karbon salımını ve sera etkisini azaltmaya yönelik ülkelerin uyguladığı politikalar, aldığı önlemler, yürürlüğe konan sözleşmeler ve yenilenebilir enerjinin kullanımını artırmaya dair verdiği teşvikler doğrultusunda, CO₂ salımını en düşük noktaya getirebilmek, binaların karbon ayak izini azaltmak için, cepheler ve özellikle diğer sistemler arasındaki işbirliğini kurgulamak için tasarlandığı gözlemlenmiştir. Burada işbirliği yapılan bu çeşitli sistemler arasında bina teknolojisi, biyoenerjinin elektrik ve ısı enerjisine dönüşümü, binaya dağılımı ve atık su dolaşımı bulunmaktadır. Örneklerin sonucunda çeşitli fotobiyoreaktör türlerinden yola çıkılarak, uygulanması, onarımı, bakımı ve verimliliği açısından farklı önerilerin olduğu görülmüştür. Ulaşılan genel kaniye göre, fotobiyoreaktörler bina cephelerine uygulandığında, cepheler yeni bir işlev daha kazanmakta, dış ve iç mekan arasındaki bağlantıyı sağlamasının dışında, biyoenerjinin üretilmesi için, yeni bir üretim alanı sağlayarak, yenilenebilir enerji kullanımı yaygınlaştırılmakta, binalar hem enerji etkin hale getirilmekte hem de sürdürülebilir yapı özelliği kazanmaktadır. Yıllar geçtikçe de fotobiyoreaktörlerin cephelerde kullanımının, cephe teknolojilerinin yapısal ilerlemeleri ve yenilenebilir enerji üzerine yapılan çalışmaların geliştirilmesi gibi teknolojik gelişmeler sayesinde artmaya devam edeceği öngörülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] SEV, A., “Sürdürülebilir Mimarlık”, İstanbul, 2009.
- [2] ONURBAŞ AVCIOĞLU A., TÜRKER U., DEMİREL ATASOY Z., KOÇTÜRK D., “Tarımsal Kökenli Yenilenebilir Enerjiler Biyoyakıtlar” içinde “Biyokütle Enerjiler”, Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık, 2011.
- [3] TÜRK DİL KURUMU, “Biyokütle”, 1998, (3 Kasım 2015), http://www.tdk.gov.tr/index.php?option=com_bts&arama=kelime&guid=TDK.GTS.5637f5fc0d46c6.31691854
- [4] YÜCEER, N. S., “Yapıda Çevre ve Enerji”, Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık, 2015.
- [5] TÜRK DİL KURUMU, “Biyoenerji”, b.t., (3 Kasım 2015), http://www.tdk.gov.tr/index.php?option=com_bts&arama=kelime&guid=TDK.GTS.5637f602c6a518.62605116
- [6] WIKIPEDIA, “Su Yosunları”, b.t., (23 Aralık 2014), http://tr.wikipedia.org/wiki/Su_yosunlar%C4%B1
- [7] TÜRK DİL KURUMU, “Alg”, b.t., (23 Aralık 2014), http://www.tdk.gov.tr/index.php?option=com_bilimsanat&arama=kelime&guid=TDK.GTS.5499d0cf eb0a84.85303587
- [8] CONK DALAY, M., İMAMOĞLU, E., ÖNCEL, S., “Mikroalgal Biyokütle Üretimi İçin Düşük Maliyetli Fotobiyoreaktör Tasarımı”, TÜBİTAK MAG, Proje No: 104M354, 2008.
- [9] ŞAHİN, Y., AKYURT, İ., “Planktonlar ve Fotobiyoreaktörler”, Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi, 1 (2), 83-92., 2010.
- [10] BIBBENS, J., “Using DNA Barcoding to Identify Algae Species”, 2015, (16 Ocak 2017), <https://prezi.com/6n4lpj8i2glc/using-dna-barcoding-to-identify-algae-species/>
- [11] “Harnessing The Power of Algae”, 2015, (16 Ocak 2017), <http://algix.com/sustainability/harnessing-the-power-of-algae/>
- [12] WURM, J., “The Bio-Responsive Facade”, Detail Green, 2013(1), 62-65, 2013.

- [13] UGWU, C.U., AAYAGI, H., UCHİYAMA, H., “Photobioreactors for Mass Cultivation of Algae”, Biosource Technology, 99, 4021- 4028, 2007.
- [14] ZIJFFERS, J. W. F., JANSSEN, M., TRAMPER, J., WIJFFELS, R. H., “Design Process of An Area-Efficient Photobioreactor”, Marine Biotechnology, 10, 404-415, 2008.
- [15] “Algal Greenhouse Up and Running”, 2013, (25 Aralık 2014), <http://iowaepscor.org/news/2013/algae-openhouse-2013>
- [16] “Photobioreactor for Micro Algae Production”, b.t., (16 Ocak 2017), http://neogenesisindia.com/pht_rctr.html
- [17] “Acquacoltura Jonica S.r.l.”, b.t., (16 Ocak 2017), <http://www.acquacolturajonica.it/fotobioreattore.html>
- [18] ODAMAN KAYA, H., “Ölçütlere Dayalı Değerlendirme ve Sertifika Metotlarından Leed ve Breeam’in Türkiye Uygulamalarına Yönelik İrdeleme ve Öneriler”, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, 2012.
- [19] KÜKDAMAR, İ., “Biyo Adaptif Cephe Elemanları”, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, 2016.
- [20] “Research and Practice: The Bio-Responsive Façade”, 2013, (25 Aralık 2014) <http://www.detail-online.com/inspiration/research-and-practice-the-bio-responsive-facade-106313.html>
- [21] ARUP, “Solarleaf Bioreactor Façade” Broşürü, 2013.
- [22] “SymBIO₂ Biofaçades”, b.t., (7 Nisan 2016), <http://www.parisdelavenir.paris/wp-content/uploads/expo/hotel/xtu-symbio2-fr.pdf>
- [23] “SymBIO₂ Biofaçades”, b.t., (7 Nisan 2016), <https://www.facebook.com/symbio2.biofacades/photos>
- [24] SANTOS, S., “XTU Architects' "In Vivo" Green Project Among Winners of Réinventer.Paris Competition”, 2016, (7 Nisan 2016), <http://www.archdaily.com/781923/xtu-architects-in-vivo-green-project-among-winners-of-reinventearis-competition>
- [25] “In Vivo”, b.t., (7 Nisan 2016), <http://www.x-tu.com/>
- [26] BERNARD, M., “HOK / Vanderweil Process Zero Concept Building: As Green As... Algae?”, 2011, (14 Nisan 2016), <http://buildipedia.com/aec-pros/featured-architecture/hok-vanderweil-process-zero-concept-building-as-green-asalgae>
- [27] HALES, L., “Group Effort: The Next Generation 2011 Winner”, 2011, (14 Nisan 2016), <http://www.metropolismag.com/May-2011/Group-Effort-The-Next-Generation-2011-Winner/>
- [28] “Algae Powers Design of Net Zero Energy Building Retrofit”, b.t., (14 Nisan 2016), <http://www.hok.com/about/sustainability/process-zero-concept-building/>
- [29] “Algae Can Make Truly Green Buildings”, 2012, (21 Nisan 2016), <http://www.algaeobserver.com/algae-green-buildings-ennesy>
- [30] LOOMANS, T., “New Urban Algae System Generates Energy While Cleaning Wastewater in Paris”, 2012, (21 Nisan 2016), <http://inhabitat.com/new-urban-algae-system-generates-energy-while-cleaning-sewage-water-in-paris/>
- [31] “OriginOil Ships First Production System to Paris-Based Ennesys, Its European Urban Algae Venture”, b.t., (21 Nisan 2016), <http://www.originclear.com/company-news/8009>
- [32] MEYERS, G., “Origin Oil & Ennesys Use Paris Building Wastewater to Grow Algae for Energy”, 2013, (21 Nisan 2016), <http://greenbuildingelements.com/2013/01/11/origin-oil-ennesys-use-paris-building-wastewater-to-grow-algae-for-energy/>

ÖZGEÇMİŞ

İlknur KÜKDAMAR

1988 yılı Eskişehir doğumludur. 2012 yılında İzmir Ekonomi Üniversitesi Güzel Sanatlar ve Tasarım Fakültesi Mimarlık bölümünden mezun olup, 2016 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, Yapı Bilgisi programını bitirerek yüksek mimar ünvanını almıştır. 2017 yılı itibarıyla Ege Üniversitesi'nde doktora eğitimine başlayıp, mimaride sürdürülebilirlik ve biyo adaptif cephe elemanları konusunda çalışmalar yapmaktadır.